



مجله مخاطرات محیط طبیعی

(علمی - پژوهشی)

دوره نهم

شماره بیست و پنجم

پاییز ۱۳۹۹

هیأت تحریریه فصلنامه

صاحب امتیاز: دانشگاه سیستان و بلوچستان

مدیر مسئول: دکتر حسین نگارش

سر دبیر: دکتر محمود خسروی

مدیر داخلی: دکتر صمد فتوحی

- | | |
|--------------------------------|--|
| ۱- دکتر عیسی ابراهیمزاده | استاد جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه سیستان و بلوچستان |
| ۲- دکتر احمد اکبری | استاد اقتصاد کشاورزی دانشگاه سیستان و بلوچستان |
| ۳- دکتر سعید جهانبخش | استاد اقلیم شناسی دانشگاه تبریز |
| ۴- دکتر محمود خسروی | استاد اقلیم شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان |
| ۵- دکتر محمدحسین رامشت | استاد ژئومورفولوژی دانشگاه اصفهان |
| ۶- دکتر علیرضا شهریار | دانشیار منابع طبیعی دانشگاه سیستان و بلوچستان |
| ۷- دکتر علی عسگری | دانشیار برنامه ریزی مخاطرات محیطی دانشگاه یورک (تورنتو) کانادا |
| ۸- دکتر بهلول علیجانی | استاد اقلیم شناسی دانشگاه تربیت معلم |
| ۹- دکتر حسنعلی غبور | استاد هیدرومتئورولوژی دانشگاه اصفهان |
| ۱۰- دکتر صمد فتوحی | دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه سیستان و بلوچستان |
| ۱۱- دکتر سید ابوالفضل مسعودیان | استاد اقلیم شناسی دانشگاه اصفهان |
| ۱۲- دکتر حسین نگارش | استاد ژئومورفولوژی دانشگاه سیستان و بلوچستان |

همکاران علمی این شماره

محمود خسروی، دانشگاه سیستان و بلوچستان- داریوش رحیمی، دانشگاه اصفهان- محسن آرمش، دانشگاه سیستان و بلوچستان- تقی طاوسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان- مجید رضایی بنفشه، دانشگاه تبریز- غلامرضا روشن، دانشگاه گلستان- فرهاد ذوالفقاری، مجتمع آموزش عالی سراوان- علیرضا شهریار، دانشگاه سیستان و بلوچستان- حسین سرگزی، دانشگاه گرگان- عزتاله قنواتی، دانشگاه خوارزمی- پیمان محمودی، دانشگاه سیستان و بلوچستان- محسن حمیدیان پور، دانشگاه سیستان و بلوچستان- رضا جهانشاهی، دانشگاه سیستان و بلوچستان- نوراله نیک پور، دانشگاه سیستان و بلوچستان- سعید نگهبان، دانشگاه شیراز- عبدالعظیم قانقرمه، دانشگاه گلستان- عباسعلی ولی، دانشگاه کاشان- مهدی قنبری فردی، دانشگاه سیستان و بلوچستان- ملیحه عرفانی، دانشگاه زابل- حسین بدری پور، عضو شورایعالی سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور- مصطفی مقدمی راد، دانشگاه گنبد کاووس.

ویراستار ادبی فارسی: ادهم سیدزاده

ویراستار ادبی انگلیسی: دکتر زادمهر ترابی و مرضیه دارائی

مدیر اجرایی: مسعود سعیدی

کارشناس مجله: مرضیه دارائی

ویرایش و صفحه آرایی: مرضیه دارائی

مجله مخاطرات محیط طبیعی

مجله مخاطرات محیط طبیعی طی ابلاغیه شماره ۳/۱۸/۴۲۱۶ مورخ ۱۳۹۵/۰۱/۱۷ در کمیسیون
بررسی نشریات علمی کشور از درجه علمی - پژوهشی برخوردار گردید.

دوره نهم

شماره بیست و پنجم

پاییز ۱۳۹۹

چاپ و لیتوگرافی: انتشارات دانشگاه سیستان و بلوچستان

شماره شاپا چاپی: ۲۶۷۶-۴۳۷۷ شماره شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۳۸۵

آدرس: استان سیستان و بلوچستان، زاهدان، خیابان دانشگاه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده
جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، کدپستی: ۹۸۱۶۷۴۵۶۳۹

صندوق پستی: ۹۸۱۳۵-۹۸۷

تلفن: ۰۵۴-۳۱۱۳۶۷۹۹ ، دورنگار: ۰۵۴-۳۳۴۱۶۱۴۱

آدرس سامانه: <http://jneh.usb.ac.ir>

آدرس پست الکترونیک: Ehazards@usb.ac.ir و Ehazards@hotmail.com

لیست کامل مقاله های مجله در پایگاه های اطلاع رسانی زیر نمایه می شود:

پایگاه استنادی علوم جهان اسلام - www.isc.gov.ir

پایگاه اینترنتی جهاد دانشگاهی - www.sid.ir

بانک اطلاعاتی نشریات کشور - www.magiran.com

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

راهنمای تدوین و نحوه ارسال مقاله برای مجله مخاطرات محیط طبیعی

۱- پذیرش مقاله صرفاً از طریق سایت مجله jenh.usb.ac.ir امکان پذیر می باشد و برای ثبت نام در سایت مجله مخاطرات محیط طبیعی و ارسال مقاله لطفاً مراحل زیر را اجرا فرمائید.

- به سایت jenh.usb.ac.ir وارد شوید. به سایت مجله مخاطرات محیط طبیعی خوش آمدید.

- روی گزینه (ارسال و پیگیری مقالات) کلیک کنید، سپس روی کلمه (ثبت نام) کلیک کنید. صفحه ثبت نام ظاهر خواهد شد. پس از تکمیل صفحه ثبت نام روی گزینه ثبت نام (Submit) در پایین صفحه کلیک کنید، آنگاه به Email خود مراجعه فرمائید و روی آدرسی که در نامه الکترونیکی درج شده، کلیک نمایید تا مجدداً به سایت مجله متصل شوید و ثبت نام شما تکمیل شود.

- این بار Username و Password خود را که قبلاً ثبت شده مجدداً وارد نمایید و از خدمات online مجله استفاده نمایید.

یادآوری: قابل ذکر است که از این اسم شناسه و کلمه عبور هم برای انجام داوری و هم برای ارسال مقالات خود می توانید استفاده نمایید.

۲- مجله مخاطرات محیط طبیعی به دلیل تخصصی بودن فقط در موضوعات مرتبط با مخاطرات محیط طبیعی پذیرای مقالات می باشد.

۳- مقاله ارسال شده برای این نشریه همزمان برای سایر مجلات ارسال نشده باشد.

۴- زبان رسمی مجله، فارسی است، اما چکیده مقالات به زبان انگلیسی نیز ضروری است.

۵- مقاله علاوه بر چکیده فارسی (حداقل ۲۰۰ و حداکثر ۳۰۰ کلمه، معادل حداکثر ۱۵ سطر)، بایستی دارای واژه های کلیدی، مقدمه، داده ها و روش ها، نتیجه گیری و فهرست منابع و مآخذ و همه منابع فارسی باید ترجمه شوند و به همراه منابع انگلیسی در فایل جداگانه آورده شود.

۶- مقاله علمی - پژوهشی لزوماً دارای اجزای ساختاری زیر است که به ترتیب عبارتند از: چکیده (۲۰۰ تا ۳۰۰ کلمه) به زبان فارسی، واژگان کلیدی، مقدمه نظری و توجیهی، روش تحقیق، یافته های تحقیق، تجزیه و تحلیل، نتیجه گیری، قردادانی، فهرست منابع و چکیده انگلیسی (ترجمه صحیح). رعایت این ساختار از سوی ارائه کنندگان مقاله ضروری است.

۷- مقالاتی که توسط دانشجویان کارشناسی ارشد و دکتری با همکاری استادان راهنما و یا مشاور تهیه می شود، ضرورتاً باید با امضای استاد مربوطه به فصلنامه ارسال گردد؛ در غیر این صورت در هیأت تحریریه قابل طرح نخواهد بود. در عین حال نویسنده مسئول و ترتیب اسامی نویسندگان به همان ترتیبی که در سایت ثبت شده باشد، در مقاله خواهد آمد و پس از آن غیر قابل تغییر خواهد بود.

۱-۷- تمام مقالات ارسالی در صورتیکه دانشجو یا غیر عضو هیأت علمی نیز جزو نویسندگان آن باشند می بایست صرفاً توسط یکی از نویسندگان که عضو هیأت علمی است به مجله ارسال گردد؛ در غیر اینصورت مقاله قابل بررسی نخواهد بود.

۲-۷- با توجه به مصوبات هیأت تحریریه مجله، چنانچه نویسنده یا نویسندگان، مقاله دیگری در مراحل داوری در مجله داشته باشند، لذا تا زمان روشن شدن نتایج داوری آن مقاله، مجله از پذیرش همزمان مقالات متعدد معذور می باشد.

بدیهی است، با توجه به تأکید کمیسیون نشریات بر تنوع جغرافیایی نویسندگان و جلوگیری از ادامه فرآیند داوری نویسنده تکراری، می توانید مقاله خود را به مجلات دیگر ارسال ننمایید و یا منتظر روشن شدن نتایج مقالات قبلی خود یا همکاران باشید.

۸- مقالات ارسالی به مجله، در محیط Word با قلم B Nazanin نازک فونت ۱۳ نازک و لاتین Times New Roman فونت ۱۱ نازک، فاصله تقریبی میان سطور، یک (۱) حروفچینی و تایپ گردد. حاشیه از بالا ۴، از پایین ۵، از راست ۵، و حاشیه چپ ۵، سانتیمتر باشد. عنوان مقاله با فونت تیتیر ۱۶، مشخصات نویسنده یا نویسندگان با فونت تیتیر ۱۲، چکیده فارسی با فونت B Nazanin سیاه ۱۰، فهرست عناوین متن با فونت BNazanin سیاه ۱۳، منابع و مآخذ با فونت BNazanin نازک ۱۱ و لاتین با فونت Times New Roman نازک ۹ نگاشته شود.

۹- مقاله در چهار فایل اصلی (ضروری) جداگانه شامل؛ یک فایل صفحه مشخصات نویسنده یا نویسندگان مقاله در محیط Word به شرح بند ۱۰ این راهنما، فایل دوم حاوی مقاله اصلی در محیط Word بدون مشخصات نویسندگان، فایل سوم: فرم تعهد باید توسط عضو هیأت علمی تکمیل و نام همه نویسندگان طبق فرمت فایل مشخصات و سامانه، امضا شده باشد و این فایل را می تواند به فرمت Pdf و یا Jpg ارسال نماید، فایل چهارم: ترجمه منابع فارسی و انگلیسی فایل تکمیلی حاوی مقاله اصلی Pdf شده بدون صفحه مشخصات نویسندگان باشد.

۱۰- مقالات ارسال شده باید دارای بخش های زیر باشد:

فایل اول: (فرم مشخصات نویسندگان)

- رتبه علمی و نام مؤسسه یا محل اشتغال نویسنده یا نویسندگان به فارسی و انگلیسی.

- نشانی کامل نویسنده/عهده دار مکاتبات: شامل نشانی پستی، شماره تلفن و همراه، شماره دورنگار و نشانی پیام نگار (پست الکترونیکی - حتماً ایمیل دانشگاهی نویسنده مسئول) به فارسی و انگلیسی در محیط Word، از ذکر مشخصات فوق در سایر صفحه های مقاله باید خودداری شود.

- چنانچه مخارج مالی تحقیق یا تهیه مقاله توسط مؤسسه ای تأمین شده باشد باید نام مؤسسه در پاورقی صفحه اول درج شود.

بدیهی است صفحه اول باید حتی الامکان در محیط Word و در فایل جداگانه بصورت Cover letter ارسال گردد.

فایل دوم: (فایل اصلی مقاله بدون نام نویسندگان): عنوان کامل مقاله به فارسی، چکیده فارسی (حداقل ۲۰۰ تا حداکثر ۳۰۰ کلمه)، کلید واژگان فارسی (حداقل ۳ و حداکثر ۷ واژه که با ویرگول (،) جدا شده اند)، در صفحه اول و

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

از صفحه دوم: به بعد متن اصلی مقاله خواهد آمد. مقاله اصلی حتماً در محیط word ارسال شود. از مقالاتی که در محیط Pdf فرستاده شده باشند، در اولویت داوری قرار نخواهند گرفت.

در انتهای مقاله، چکیده (Abstract) به انگلیسی آورده شود. (حداقل ۲۰۰ و حداکثر ۳۰۰ کلمه).

فایل سوم (ترجمه منابع فارسی و انگلیسی): همه منابع فارسی باید ترجمه و طبق فرمت (ترجمه فارسی جدا و انگلیسی جدا) در فایل جداگانه آورده شود.

فایل چهارم (فرم تعهد): فرم تعهد باید توسط عضو هیأت علمی تکمیل و نام همه نویسندگان طبق فرمت فایل مشخصات و سامانه، امضا شده باشد و این فایل را می‌تواند به فرمت Pdf یا Jpg ارسال نماید.

۱۱- مأخذ در متن مقاله، داخل پرانتز با ذکر نام خانوادگی نویسنده و سال انتشار آورده شود.

مثال نحوه ارجاع در داخل متن: (نگارش، ۱۳۹۰)

۱۲- معادل های انگلیسی در هر صفحه با علامت شماره‌گذاری مستقل برای هر صفحه، در پاورقی آورده شود.

۱۳- روش ارائه منابع و مأخذ در انتهای مقاله:

۱-۱۳- نام خانوادگی، نام نویسنده یا نویسندگان به صورت کامل، (سال انتشار)، عنوان کتاب، شماره جلد، نوبت چاپ، محل انتشار، نام ناشر، تعداد صفحه.

نحوه درج در فهرست منابع و مأخذ به ترتیب حروف الفبا خواهد بود.

مثال برای کتاب: امیدوار، کمال، (۱۳۹۰). مخاطرات طبیعی، انتشارات دانشگاه یزد، جلد اول، چاپ اول، ۳۶۰ صفحه.

۲-۱۳- مثال برای نشریه: نام خانوادگی، نام نویسنده یا نویسندگان به صورت کامل، (سال انتشار)، عنوان مقاله، نام نشریه، دوره، محل انتشار، صص ۲۵-۲۰.

۱۴- حداقل منابع مورد استفاده نباید از ۲۰ منبع کمتر باشد.

۱۵- واحدهای استفاده شده در مقاله بایستی در سیستم متریک باشد.

۱۶- در متن مقاله به شماره عکس‌ها، جداول و نمودارها اشاره شود و محل تقریبی آنها مشخص گردد.

در تنظیم جداول، منحنی‌ها، اشکال و تصاویر، رعایت نکات زیر الزامی است:

الف- اطلاعات جداول نباید به صورت منحنی و یا به شکل دیگر در مقاله تکرار شوند. شماره و عنوان در بالای جدول ذکر گردد.

ب- هر ستون جدول باید دارای عنوان و واحد مربوط به خود باشد، چنانچه تمام ارقام جدول دارای واحد یکسان باشند، می‌توان واحد را در عنوان جدول ذکر نمود.

ج- توضیحات اضافی عنوان و متن جدول، به صورت زیرنویس ارائه گردد. نتایج بررسی‌های آماری، باید به یکی از روش‌های علمی در جدول منعکس شود و در هر صفحه نباید بیش از دو جدول آورده شود.

د- شکل‌های هر مقاله شامل منحنی، نمودار، عکس و نقشه بوده و همه بطور یکسان به عنوان شکل شماره‌گذاری می‌شوند.

شکل‌ها باید بصورت رنگی یا سیاه و سفید و با کیفیت مناسب و مطلوب تهیه شده و شماره و عنوان آنها در پایین بیاید. عکس‌ها باید واضح، مطالب آنها خوانا و دارای مقیاس باشند. ذکر مأخذ عکس‌ها یا شکل‌هایی که از منابع دیگر اقتباس شده‌اند الزامی است.

۱۷- اعداد در متن فارسی باید حتماً به فارسی و در متن لاتین به انگلیسی، باشند.

۱۸- مقاله‌های رسیده توسط سه الی چهار نفر از استادان متخصص به صورت محرمانه داوری خواهد شد.

۱۹- مسؤولیت صحت و سقم مقاله به لحاظ علمی و حقوقی به عهده نویسنده عهده‌دار مکاتبات است.

۲۰- مقالات ترجمه اصولاً پذیرفته نمی‌شود.

۲۱- حداکثر حجم مقالات، شامل جدول‌ها و منحنی‌ها ۲۰ صفحه A4 باشد.

۲۲- مجله حق رد یا قبول و نیز ویراستاری مقالات را برای خود محفوظ می‌دارد و از بازگرداندن مقالات دریافتی معذوراست.

۲۳- پس از چاپ مقاله یک نسخه از مجله حاوی مقاله نویسندگان به آنان اهدا خواهد شد.

۲۴- اصل مقالات رد یا انصراف داده شده پس از سه ماه از مجموعه آرشیو مجله خارج خواهد شد و مجله مخاطرات محیط طبیعی هیچگونه مسؤولیتی در این ارتباط نخواهد داشت.

نشانی: زاهدان، خیابان دانشگاه، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی

صندوق پستی: ۹۸۷-۹۸۱۳۵، تلفن: ۳۱۱۳۶۷۹۹-۰۵۴۱، نمابر: ۰۵۴-۳۳۴۱۶۱۴۱

سایت: <http://jenh.usb.ac.ir>

یادداشت سردبیر و دعوت از اساتید برجسته برای ارسال مقالات ویژه تغییرات اقلیمی

گرمایش جهانی و تغییر اقلیم تأثیرات غیرقابل انکاری را بر رویدادهای حدی اقلیمی و مخاطرات محیطی دارد. این پدیده فراوانی و شدت مخاطراتی مانند سیلاب، خشکسالی، امواج گرمایی و سرمای، ریزش تگرگ، بارشهای سنگین، آلودگی هوا و گسترش بیماریهای عفونی و غیره را تشدید می کند.

تغییر اقلیم، تغییر در الگوهای آب و هوایی درازمدت است که در مناطقی از جهان نمودی بارز دارد. شواهد تغییر اقلیم کنونی را می توان در بسیاری از مکان ها مشاهده نمود. بالا آمدن سطح آب دریاها، افزایش دمای سیاره زمین، گرمایش اقیانوس ها، اذهم گسیختگی صفحات یخی، کاهش گستره و ضخامت یخ دریایی در قطب شمال، پسروری یخچال ها، اسیدی شدن اقیانوس ها، ذوب یخ و برف و تغییر الگوهای آب و هوایی نموده های بارز این پدیده هستند.

اقلیم سیاره زمین در طول تاریخ تغییر کرده است. سیاره زمین، فقط در ۶۵۰۰۰۰ سال اخیر، هفت سیکل از پسروری و پسروری یخچال ها را تجربه نموده است. پایان ناگهانی آخرین عصر یخبندان در حدود ۷۰۰۰ سال پیش بوده است که نشانه آغاز عصر اقلیمی مدرن و تمدن بشری می باشد. بسیاری از این تغییرات اقلیمی در تاریخ سیاره زمین به تغییرات بسیار اندک در مدار زمین مربوط می شود که مقدار انرژی خورشیدی دریافتی سیاره زمین را تغییر داده است. تغییرات اقلیم طی دهه های گذشته در مقایسه با آنچه در تاریخ سیاره زمین رخ داده است بی سابقه نیست اما شدت و سرعت این گرمایش در طول تاریخ زمین کم سابقه است و برای سیاره زمین یک تهدید جدی محسوب می شود.

اثرات قابل توجه بشر بر اقلیم جهانی به اثبات رسیده است. طی ۱۵۰ سال اخیر، سرعت انتشار گازهای گلخانه ای ناشی از فعالیت های انسانی تشدید گردیده است. غلظت جوی گازهای دی اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن از سال ۱۷۵۰ تا ۲۰۰۰ به ترتیب ۳۱، ۱۵۱ و ۱۷ درصد رشد داشته است. پیامد ملموس افزایش گازهای گلخانه ای در جو، گرمایش جهانی می باشد. دی اکسید کربن به عنوان مهم ترین عامل گرمایش جهانی اخیر به بالاترین تراکم خود یعنی ۴۱۱ ppm رسیده که در طی ۱۵ میلیون سال گذشته بی سابقه است به گونه ای که میانگین دمای سطح در مقیاس جهانی از سال ۱۸۸۰ تاکنون ۱ درجه سلسیوس افزایش داشته است. دانشمندان به صراحت گرمایش سیاره زمین را تأیید می کنند. تغییرات طبیعی اقلیم، به تنهایی قادر به تبیین روند گرمایش سیاره زمین نمی باشد. مدل ها و پیش بینی ها نشان دهنده تغییرات دمای کره زمین بین ۱/۷ تا ۵/۸ درجه سلسیوس تا سال ۲۱۰۰ می باشد. از سال ۲۰۰۰ تاکنون بارها رکورد ثبت شده دمای کره زمین افزایش یافته است و گرم ترین سال های کره زمین از ۱۲۰۰۰ سال گذشته تاکنون در حال وقوع است. سال ۲۰۱۸ به عنوان چهارمین سال گرم جهان به شمار می رود.

تغییر اقلیم، یک بحران فزاینده است که اقتصاد، بهداشت و ایمنی، تولید غذا، امنیت و سایر ابعاد را درگیر و بر اکوسیستم ها، منابع آب شیرین و سلامت انسان تأثیر می گذارد. این تغییر الگوهای آب و هوایی، برای مثال، تولید غذا را از طریق افزایش پیش بینی ناپذیری بارش تهدید می کند. افزایش جمعیت و نیاز به غذای بیشتر فشار بر منابع آب را تشدید نموده و بحران آب و معضلات زیست محیطی با افزایش دمای کره زمین تشدید می شود.

بالا آمدن سطح آب دریا (به طور متوسط ۳/۲ میلی متر در سال)، منابع آب شیرین ساحلی را تهدید و خطر سیل های فاجعه بار را افزایش می دهد. گرمایش جو به گسترش آفات و بیماری های گرمسیری کمک می کند. متأسفانه، شرایط تا به امروز بد و وخیم تر شده است. هشدار اساسی این است که احتمالاً بسیاری از اکوسیستم های مهم و از جمله سیستم

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

اقلیم از آستانه تغییرات برگشت‌ناپذیر عبور نموده باشند. برای نمونه، پسروری یخچال‌های کوهستانی، اکوسیستم جنگل بارانی آمازون و توندرای قطب شمال یک تهدید اساسی می‌باشند.

هرچند تغییر اقلیم به‌طور کامل اجتناب‌ناپذیر است، اما تأثیرات بسیار شدید تغییر اقلیم را می‌توان از طریق کاهش قابل‌ملاحظه مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای کاست. با این حال، زمان کافی برای آغاز اقدام جدی در جلوگیری از پیامدهای شدید جهانی بسیار کوتاه است. طرح‌های بسیاری توسط سازمان‌ها و کشورهای مختلف مانند کنوانسیون سازمان ملل متحد درباره تغییرات اقلیمی (UNFCCC)، برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد (UNEP) و مجمع بین‌المللی تغییر آب و هوا (IPCC) در راستای کاهش و سازگاری با تغییرات اقلیمی انجام شده است. به‌طور کلی، تدوین یک برنامه جامع و اقدام عملی، جهت انطباق با این پدیده و کاهش اثرات سوء ناشی از آن ضروری است.

در کنار همه اینها سیاست و تأثیر نظام‌های حاکم بر کشورها در مقابله با انتشار گازهای گلخانه و تعدیل گرمایش جهانی باعث شده که افق روشنی از توافق بین‌المللی در زمینه حل این مشکل وجود نداشته باشد.

هرچند اجماع کلی دانشمندان علوم اقلیمی در رابطه با علل انسانی گرمایش جهانی اخیر وجود دارد اما برخی نظریات که به نفی این پدیده می‌پردازند و به دلایل انسانی ایجاد آن باور ندارند، وجود دارد.

بر اساس تصمیم هیأت تحریریه، مجله مخاطرات محیط طبیعی آمادگی دارد با توجه به اهمیت حیاتی موضوع گرمایش جهانی، تغییرات اقلیمی و آشکارسازی علل و اثرات آن با تأکید بر نقش فعالیت‌های انسانی و طبیعی مقالات مروری (Review Article) و پژوهشی اساتید صاحب‌نظر و برجسته در این زمینه را به‌صورت ویژه بر اساس موافقت هیأت تحریریه چاپ و منتشر نماید. این مقالات بایستی حاصل اندیشه‌ها و نظریات اساتید محترم باشد و در این رابطه نظرات موافقین و مخالفین اثر فعالیت‌های انسانی و همچنین الزامات پیوستن یا نپیوستن به توافقات بین‌المللی از جمله توافق‌نامه تغییرات اقلیمی پاریس و لهستان می‌تواند موضوع مقالات ارسالی باشد. بر این اساس از کلیه اساتید برجسته دانش اقلیم‌شناسی و سایر علوم وابسته دعوت می‌شود مقالات خود را برای بررسی و چاپ در مجله ارسال فرمایند.

دکتر محمد خسروی

سردبیر مجله مخاطرات محیط طبیعی و

استاد اقلیم‌شناسی، مخاطرات آب و هوایی دانشگاه سیستان و بلوچستان

فهرست مطالب

- ارزیابی خشکسالی جریان رودخانه مبتنی بر رویکرد سطح آستانه با استفاده از داده جریان دائمی در زیرحوضه آبریز بیابان لوت
- حمید نظری پور^۱، مهدی صداقت^۲، محمدرضا پودینه^۳، امیرحسین حلبیان^۴..... ۳
- واکاوی فصلی رخداد روزهای همراه با بارش سنگین در حوضه تالش - تالاب انزلی
- فریدون آزاد غلامی خسمخی^۱، پرویز رضائی^۲، امیر گندمکار^۳..... ۱۷
- شناسایی مناسبترین راهبردهای بیابانزایی به روش بردار ویژه و مدل ویگور
- محمدحسن صادقی روش^۱، حسن خسروی^۲..... ۴۱
- تهیه نقشه حساسیت سیلاب با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)
- علی چراغی قلعه‌سری^۱، محمود حبیب‌نژاد روشن^۲، سید حسین روشن^۳..... ۶۱
- ارائه یک مدل ساده برای تعیین مناطق در خطر سیل
- حمید حساس^۱، ابوالفضل عزیزیان^۲، محسن قاسمی^۳..... ۸۱
- ارزیابی تغییر موقعیت رودباد جنب‌حارهای مستقر بر روی ایران و آینده‌نگری آن بر اساس دو مدل اقلیمی GFDL-CM3 و CANESM2
- عبدالعظیم قانقرمه^۱..... ۱۰۱
- بررسی تأثیر روند تغییرهای کاربری اراضی روی افت تراز آب زیرزمینی (محدوده مطالعاتی: ماهیدشت کرمانشاه)
- سمیه عمادالدین^۱، نسرین شیدایی مجد^۲، صالح آرخی^۳..... ۱۲۵
- تجزیه و تحلیل رفتار فصلی رخدادهای سیل و تغییرهای زمانی آن در آبخیزهای هیرکانی (مطالعه نمونه: آبخیزهای حوضه رودخانه گرگانرود)
- اکرم لالوزایی^۱، امیر سعدالدین^۲، آرش زارع گاریزی^۳، واحد بردی شیخ^۴..... ۱۴۳
- ارزیابی اثرهای محیط‌زیستی واحد تولید سنگ آهن (مطالعه موردی: معدن سنگ آهن قینرجه تکاب)
- میرمهرداد میرسنجری^۱، نفیسه رضاپور اندبیلی^۲..... ۱۵۹
- بررسی شبیه‌سازی آتش با استفاده از مدل فارسایت (مطالعه موردی: ییلاق قصرداغ، شهرستان مشگین‌شهر)
- رقیه جهدی^۱، اردوان قربانی^۲، کیومرث سفیدی^۳..... ۱۷۱

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره نهم، شماره ۲۵، پاییز ۱۳۹۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۰/۰۸

تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۱۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۱۲

صفحات: ۱۶ - ۱

مقاله (علمی پژوهشی)

ارزیابی خشکسالی جریان رودخانه مبتنی بر رویکرد سطح آستانه با استفاده از داده جریان دائمی در زیر حوضه آبریز بیابان لوت

حمید نظری پور^۱، مهدی صداقت^{۲*}، محمدرضا پودینه^۳، امیرحسین حلبیان^۴

۱. استادیار، گروه محیط زیست، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، و

استادیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲. استادیار، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران

۳. استادیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

۴. دانشیار، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، ایران

چکیده

خشکسالی، از مخاطرات طبیعی اساسی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک شناخته شده است که مسائل قابل‌ملاحظه‌ای در رابطه با مدیریت منابع آب دارد. شناسایی، پایش و بررسی مشخصه‌های خشکسالی‌ها، برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب بسیار مهم است. این پژوهش متمرکز بر بررسی خشکسالی آب‌شناختی با استفاده از رویکرد سطح آستانه متغیر در زیر حوضه آبریز کویر لوت می‌باشد. این رویکرد، با استفاده از داده‌های ۱۰-روزه جریان در رودخانه نساء برای دوره‌ی آبی ۵۸-۱۳۵۷ تا ۹۲-۱۳۹۱ اجرا شده است. رویدادهای خشکسالی مستقل به‌وسیله ادغام رویدادهای وابسته با رویکرد معیار داخلی شناسایی و مشخصه‌های آن‌ها شامل آغاز، پایان و دوام بررسی شده است. علاوه بر آن، شدت خشکسالی‌های مستقل با استفاده از شاخص شدت خشکسالی رده‌بندی شده است. نتایج این بررسی نشان داد که رژیم آبدی رودخانه نساء بیشتر درگیر خشکسالی‌های طولانی‌مدت و شدید بوده است. رویدادهای خشکسالی مستقل طولانی‌مدت و با شدت فرین در رژیم آبی رودخانه یادشده بر دهه‌ی آخر متمرکز هستند. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی اثر روش‌های مختلف در ادغام رویدادهای وابسته خشکسالی با روش مبتنی بر حجم و زمان میان رویدادی (معیار داخلی) مقایسه شود.

واژگان کلیدی: جریان کم، خشکسالی آب‌شناختی، سطح آستانه، شاخص شدت خشکسالی، کسری جریان.

مقدمه

خشکسالی، پدیده‌ی آب و هوایی تکرارپذیر است که ماهیت منطقه‌ای داشته و با کاهش چشمگیر موجودیت آب در دوره قابل‌ملاحظه‌ای از زمان مشخص می‌شود (نالبنتیس و تساکریس، ۲۰۰۹؛ چن و همکاران، ۲۰۰۹). فاز اول از خشکسالی، خشکسالی هواشناسی است که اشاره به کمبود بارش دارد. ادامه خشکسالی هواشناسی منجر به کاهش رطوبت خاک می‌شود که از آن به‌عنوان خشکسالی کشاورزی یاد می‌شود. کمبود بیشتر آب سبب کاهش آب در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و مخازن می‌شود که خشکسالی هیدرولوژیکی است (جاین و همکاران، ۲۰۱۴). با توجه به شرایط مختلف از تنش کم‌آبی، تعریف خشکسالی بسیار پیچیده می‌شود. ادبیات هیدرولوژیکی کنونی نشان می‌دهد که هیچ تعریف واحدی موجود نیست که مورد پذیرش همگان باشد (پاندی و راماساستری، ۲۰۰۲؛ فلاگ و همکاران، ۲۰۰۶؛ دراگپ و همکاران، (الف) ۱۹۸۰؛ کجلدسن و همکاران، ۲۰۰۰). بحث درباره‌ی تعاریف متعدد خشکسالی را می‌توان در دراگپ و همکاران (۱۹۸۰ ب)، ویلهایت و گلانتز (۱۹۸۵)، تاتی و گاستارد (۲۰۰۰) و تالاکسن و لانن (۲۰۰۴) یافت. تمرکز این پژوهش به‌طور عمده روی جنبه‌های هیدرولوژیکی خشکسالی است. خشکسالی هیدرولوژیکی با آثار دوره‌های کمبود بارش (شامل باران، برف و غیره) بر منابع آب‌های سطحی و زیرسطحی (جریان رودخانه، تراز دریاچه و مخازن آب و آب زیرزمینی) در ارتباط است. فراوانی و شدت خشکسالی آب‌شناختی اغلب در مقیاس حوضه رودخانه و آبخیز تعریف می‌شود (سازمان هواشناسی جهانی، ۱۹۷۵). در میان اشکال مختلف آب، جریان رودخانه بسیار مهم است؛ زیرا برنامه‌ریزی منابع آب بر اساس موجودیت آب در رودخانه‌ها و مخازن است (وسیلیدز و همکاران، ۲۰۱۱). کمبود بارش در درجه اول مسئول کاهش موجودیت منابع آب در رودخانه‌ها و مخازن و به تبع آن علل خشکسالی هیدرولوژیکی است (زایدمن و همکاران، ۲۰۰۱؛ ویدال و همکاران، ۲۰۱۰، لوزنزو-لاکروز و همکاران، ۲۰۱۰؛ هانافورد و همکاران، ۲۰۱۱؛ ادوسا و همکاران، ۲۰۱۰، وسیلیدز و لوکاس، ۲۰۰۹). کاهش آب‌دهی یک رودخانه سبب کاهش عرضه آب برای فعالیت‌های کشاورزی و همچنین برای دیگر کاربردهای خانگی و صنعتی می‌شود و نتیجه‌ی آن کاهش تولیدهای کشاورزی و آثار آن بر زندگی روزمره است (میشرا و سینگ، ۲۰۱۰).

برای تجزیه و تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی، داده جریان رودخانه به‌عنوان متغیر کلیدی برای شناسایی رویدادهای خشکسالی با استناد به یک سطح آستانه خاص تقاضا استفاده می‌شود که به اختصار سطح آستانه نامیده می‌شود (سن، ۱۹۸۰، زلنهاسیک و سالوی، ۱۹۸۷، بن-زوی، ۱۹۸۷). تقریباً تمام نمایه‌های موجود از خشکسالی جریان رودخانه با لحاظ سطح آستانه به استخراج رویدادهای خشکسالی از رکوردهای مداوم و یا گسسته جریان رودخانه می‌پردازند (چانگ و کلیپا، ۱۹۹۱؛ وی و همکاران، ۲۰۰۷؛ هیسدل و همکاران، ۲۰۰۴). همچنین برخی پژوهشگران توزیع‌های احتمال را به داده‌های جریان رودخانه به‌منظور ارزیابی شدت و مدت برازش داده‌اند (طبری و همکاران، ۲۰۱۳؛ ویسنته-سرانو و همکاران، ۲۰۱۲؛ خدون و همکاران، ۲۰۱۳؛ راجسار و همکاران، ۲۰۱۳). اسماختین (۲۰۰۱)، یک بررسی جامع از مطالعات جریان کم را ارائه داده است که روش‌های برآورد جریان کم و ارتباط بین نمایه‌های جریان کم را در بر می‌گیرد. تالاکسن و لانن (۲۰۰۴)، مباحث جامعی درباره فرایندها و روش‌های برآورد خشکسالی بر اساس جریان رودخانه و موجودیت آب‌های زیرزمینی را ارائه داده‌اند که انواع تکنیک‌های برآورد نمایه‌های جریان‌های کم و خشکسالی‌های هیدرولوژیکی را در بر می‌گیرد. کینزل (۲۰۰۶)، یک روش بر اساس جریان پایه مشتق‌شده از منحنی‌های جریان و هیدروگراف رودخانه را پیشنهاد داده است. به‌طورکلی، از روش سطح آستانه

به‌طور گسترده برای تحلیل خشکسالی با استفاده از سری‌های روزانه، ماهانه و سالانه آورد رودخانه استفاده شده است. این روش به ارائه یک تفسیر تحلیلی از جریان رودخانه مورد انتظار می‌انجامد، زمانی که جریان رودخانه به زیر سطح آستانه نزول می‌کند و یک رویداد خشکسالی است. این سطح اغلب به‌عنوان یک جریان صدک معین لحاظ شده و فرض بر این است که در طول دوره (ماه، فصل یا سال) ثابت باشد. از آنجاکه توزیع فضایی و به‌ویژه زمانی بارش و به تبع آن رواناب در موارد زیادی بسیار نامنظم است، استفاده از سطح آستانه ثابت سالانه برای پایش خشکسالی هیدرولوژیکی مناسب نیست؛ بدین سبب پیشنهاد داده شده است سطح آستانه برای هر ماه به‌صورت مجزا از منحنی‌های دوام جریان استخراج شود (پاندی و همکاران، ۲۰۰۸).

در ایران، خشکسالی‌ها تقریباً هر سال بخش‌های مختلف از کشور را تحت تأثیر قرار می‌دهند. با توجه به نگرانی‌های فزاینده از خطرهای خشکسالی، مطالعه‌های مختلفی در طول دهه گذشته در ایران انجام شده است. این مطالعه‌ها، بیشتر با بازنگری در شیوه‌های مطالعه و ارزیابی خشکسالی‌ها همراه بوده است. زارچ و همکاران (۲۰۱۱) پایش خشکسالی را در ایران با استفاده از شاخص اکتشافی خشکسالی انجام داده‌اند که این نمایه علاوه بر متغیر بارش، یک پارامتر اضافی (تبخیر و تعرق پتانسیل) را نیز در بر دارد. رضیئی و همکاران (۲۰۱۱)، کاربرد پایگاه‌های داده‌های شبکه‌ای جهانی را برای تحلیل تغییرپذیری خشکسالی در ایران بررسی کرده‌اند. طبری و همکاران (۲۰۱۲)، روند زمانی و مشخصه‌های فضایی خشکسالی و بارش را در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران بررسی نموده‌اند. منصوری دانشور و همکاران (۲۰۱۲)، اثر خطر خشکسالی را در کشت گندم با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده در ایران بررسی نموده‌اند. طبری و همکاران (۲۰۱۳)، به ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیکی در شمال غرب ایران با شاخص خشکسالی جریان رودخانه پرداخته‌اند. رضیئی و همکاران (۲۰۱۳)، حالت‌های خشکسالی منطقه‌ای در ایران را با شاخص بارش استاندارد شده و با ملاحظه اثر مقیاس زمانی و مکانی بررسی کرده‌اند. کوثری و همکاران (۲۰۱۴)، به آشکارسازی روند خشکسالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران بر اساس شاخص اکتشافی خشکسالی و کاربرد روش آماری ناپارامتری پرداخته‌اند. بذرافشان و همکاران (۲۰۱۴)، شاخص بارش استاندارد شده چندمتغیره را بر اساس تجزیه و تحلیل مؤلفه مبنا توسعه داده‌اند. حسین‌زاده طلایی و همکاران (۲۰۱۴)، خشکسالی‌های هیدرولوژیکی در غرب ایران را در ارتباط با الگوهای گردشی جوی بزرگ‌مقیاس بررسی نموده‌اند. گلیان و همکاران (۲۰۱۵)، روند خشکسالی‌های هواشناسی و کشاورزی را در ایران بررسی کرده‌اند.

بررسی جامع ادبیات پژوهش بیانگر آن است که از جنبه تاریخی در ایران توجه اندکی به خشکسالی هیدرولوژیکی در مقایسه با خشکسالی هواشناسی گردیده است؛ بنابراین دامنه‌ی پژوهش درباره‌ی خشکسالی‌های هیدرولوژیکی در ایران محدود است. از سوی دیگر، در مطالعه‌ی خشکسالی‌های هیدرولوژیکی در ایران چندین محدودیت وجود دارد که مهم‌ترین آنها عبارتند از: الف) در مطالعه بیشتر از شاخص‌ها و نمایه‌های مبتنی بر مقیاس سالانه و ماهانه استفاده گردیده است. ب) با توجه به آن که پایش خشکسالی هیدرولوژیکی نیازمند نمایه‌های متعدد کنترل‌گر تغییر در ذخیره آب میان سیستم‌های هیدرولوژیکی است، در ایران بیشتر از یک یا دو شاخص خاص (به‌عنوان مثال، بارش و دبی رودخانه) استفاده گردیده است. ج) بر اساس مشخصه‌های خشکسالی و ویژگی‌های محیطی، هر رویداد خشکسالی می‌تواند با رویداد قبل یا بعد از خود دارای وابستگی باشد و به این جنبه از خشکسالی کمتر پرداخته شده است.

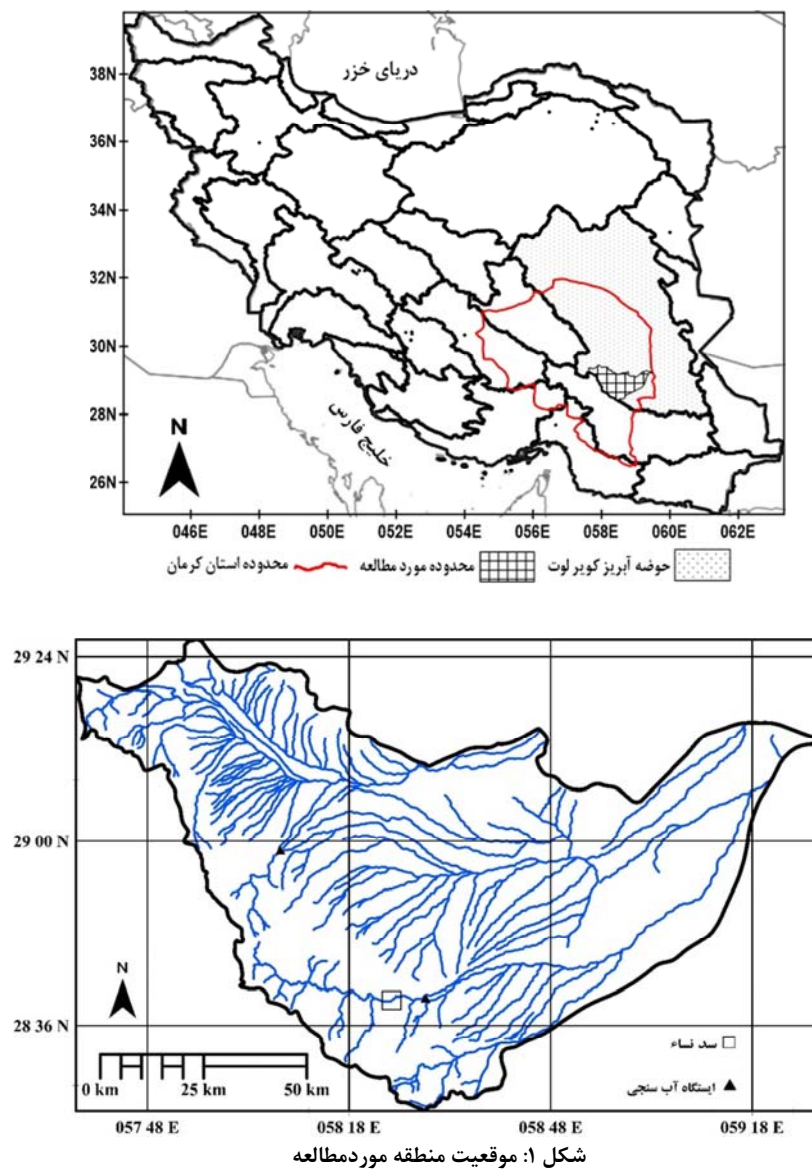
بنابراین، هدف از این مطالعه (الف) بررسی مشخصه‌های خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از داده‌های جریان در رودخانه نساء، (ب) تعیین رویدادهای خشکسالی مستقل، دوام و شدت آن‌ها با استفاده از رویکرد سطح آستانه متغیر و (ج) استنتاج شاخص شدت خشکسالی می‌باشد.

داده‌ها و روش‌ها

حوضه آبریز کویر لوت (کد ۴۶)، از مجموعه ۹ حوضه آبریز درجه ۲، از حوضه آبریز فلات مرکزی ایران می‌باشد. حوضه آبریز یادشده با مساحت ۲۰۶۳۵۴ کیلومترمربع، کم آب‌ترین و خشک‌ترین حوضه آبریز ایران است که قسمتی از آن در استان کرمان واقع شده است و شهرستان‌های بم، کرمان و راور را در بر می‌گیرد. رودخانه نساء از جمله رودخانه‌های با رژیم آبدهی دائمی استان کرمان هست که در این حوضه آبریز واقع شده است. سد نساء (دومین سد بزرگ استان کرمان) در روستای انجیرک واقع در ۸۰ کیلومتری جنوب شرق شهر بم، روی رودخانه نساء قرار دارد و یک منبع مهم آب برای بخش‌های صنعت، کشاورزی و شرب محسوب می‌شود. پیشینه این سد در متون قدیمی به دوران هخامنشیان و اردشیر یکم بر می‌گردد.

داده‌ها

مطالعه پیش رو با استفاده از داده‌های جریان رودخانه نساء در زیر حوضه بزرگ کویر لوت انجام شده است (شکل ۱). داده‌های روزانه جریان رودخانه در ایستگاه هیدرومتری یال خری روی رودخانه نساء، اساس این پژوهش را شکل می‌دهند. بررسی‌های مقدماتی داده‌های دبی رودخانه نساء، بیانگر این است که رژیم آبدهی آن، پایا و الگوی آبدهی آن زنگدیس است. آبدهی رودخانه از انتهای سال آبی رو به افزایش ناگهانی می‌رود، در انتهای فصل زمستان به اوج می‌رسد و از آن پس رو به کاهش می‌گذارد. دوره‌ی پرآب در رژیم آبدهی این رودخانه از دی تا اردیبهشت است و در سایر ایام رژیم آبدهی یکسان و حداقل دارد. دوره‌ی آماری موجود برای آبدهی این رودخانه بر اساس سال هیدرولوژیکی از ۱۳۵۷-۵۸ تا ۱۳۹۱-۹۲ است. سال‌های آبی ۵۹-۱۳۵۸ و ۸۲-۱۳۸۱ بدون داده جریان بوده و در محاسبات لحاظ نشده‌اند.



روش شناسی

این مطالعه، کاربرد رویکرد سطح آستانه متغیر را در برآورد شدت و دوام خشکسالی‌های هیدرولوژیکی برجسته می‌کند. همان‌گونه که پیش‌تر بیان شد، حوضه‌ی رودخانه نساء یک توزیع فصلی قوی و نامنظم از جریان را در طول سال دارد (نظری پور، ۱۳۹۵). جریان رودخانه دارای تنوع ماهانه است؛ با وجود این، رژیم آبدهی رودخانه مزبور پایا است. یک رویکرد سطح آستانه متغیر برای پایش خشکسالی‌های هیدرولوژیکی اتخاذ شده است که در آن سطح

آستانه برای هر دوره‌ی ده-روزه از هر ماه، متفاوت است. اتخاذ چنین رویکردی در تناسب با رژیم هیدرولوژیکی رودخانه قادر خواهد بود آثار دوره‌های موقتی از تغییرهای جریان را در مشخصه‌های خشکسالی آشکار کند.

الف: تحلیل انحراف

در مطالعه‌های خشکسالی، مقایسه‌ی ساده از داده‌های جریان رودخانه مشاهده‌شده، اطلاعات زیادی را آشکار نمی‌کند؛ بااین‌حال، انحراف متغیرهای هیدرولوژیکی از آستانه‌ها با توجه به میانگین بلندمدت می‌تواند در فهم رژیم‌های هیدرولوژیکی مفید باشد. تاکنون بسیاری از نمایه‌های خشکسالی هواشناختی بر اساس انحراف بارش از متوسط دراز مدت توسعه داده شده‌اند. در این بررسی، انحراف‌های جریان رودخانه سالانه با توجه به مقادیر میانگین به شرح زیر محاسبه شده است:

$$D = \frac{(Q_i - \bar{Q})}{\bar{Q}} \times 100 \quad (1)$$

در اینجا، D انحراف به درصد، Q_i متغیر جریان رودخانه برای سال i ام و $\bar{Q}$ متوسط درازمدت جریان رودخانه است.

ب: سطح آستانه

در روش تجزیه و تحلیل دنباله‌ها، خشکسالی‌های هیدرولوژیکی به‌عنوان دوره‌ای تعریف شده است که در آن جریان در زیر یک سطح آستانه معین قرار می‌گیرد (تالاکسن و همکاران، ۱۹۹۷؛ مادسن و رسبرگ، ۱۹۹۵؛ زلنهایسک و سالوی، ۱۹۸۷؛ چن و همکاران، ۲۰۱۳). آغاز، پایان، دوام، سختی، شدت و بزرگی، ویژگی‌های اصلی یک رویداد خشکسالی هستند. توالی رویدادهای خشکسالی معمولاً از طریق هیدروگراف جریان رودخانه و به‌وسیله تحلیل منحنی تداوم جریان به‌دست می‌آید. در روش تجزیه و تحلیل دنباله‌ها، منطقی است که یک صدک خاصی از جریان (از صدک ۷۰ تا ۹۰) به‌عنوان مقدار آستانه بهینه در نظر گرفته شود (زلنهایسک و سالوی، ۱۹۸۷). در این روش‌شناسی، تحلیل محدود به بررسی دوره‌های پیوسته‌ای است که در آن جریان رودخانه در زیر یک حد آستانه از پیش تعیین‌شده قرار می‌گیرد. یک آستانه می‌تواند از طریق روش‌های متعدد انتخاب شود و این انتخاب تابع شرایط تنش آبی منطقه مورد مطالعه است. انتخاب صدک متکی بر رژیم‌های هیدرولوژیکی است. برای رودخانه‌های دائمی، یک دامنه‌ی آستانه پایین (Q_{70}, Q_{90}) می‌تواند معقول باشد (هیس‌دال و همکاران، ۲۰۰۴؛ مایگ و همکاران، ۲۰۰۲).

از آنجاکه برای رودخانه‌های تناوبی و بی‌دوام با اغلب جریان‌های صفر، Q_{70} صفر خواهد بود، پیشنهاد داده شده است جریان میانگین به‌عنوان آستانه لحاظ شود (مایگ و همکاران، ۲۰۰۲). به‌عنوان یک جایگزین، صدک ۷۵ به‌عنوان سطح آستانه برای منحنی دوام جریان ماهانه پیشنهاد داده شده است که می‌تواند بیانگر یک الگوی خشکسالی واقع‌بینانه‌تر نسبت به سطح آستانه سالانه ثابت باشد (کجلدسون و همکاران، ۲۰۰۰). در این بررسی سطح آستانه به‌عنوان یک صدک ثابت (برابر با ۷۵) از منحنی دوام جریان برای هر ماه به‌دست آمده است؛ به‌عبارت دیگر، تنوع ماهانه جریان‌های رودخانه در منطقه مورد مطالعه سبب استفاده از روش سطح آستانه متغیر شده است.

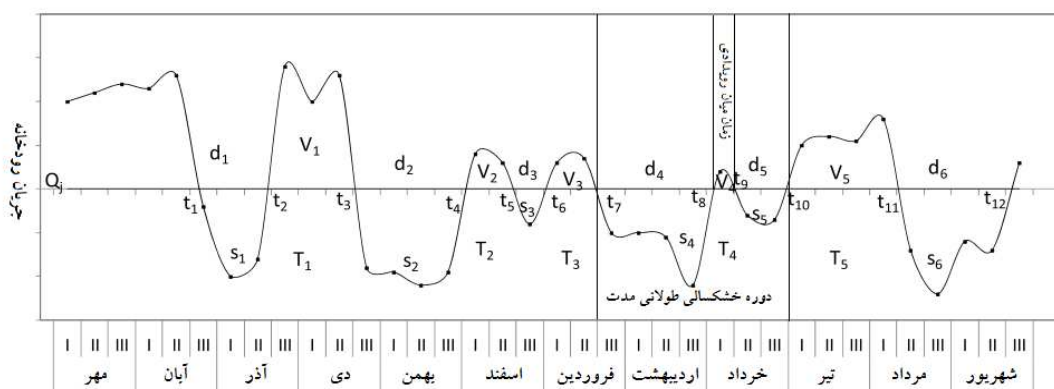
برای این منظور، منحنی‌های دوام جریان برای هر ماه با استفاده از داده جریان ۱۰-روزه توسعه داده شده است. برای جریان‌های پایا، احتمال رخداد با استفاده از فرمول موقعیت ترسیمی ویبول به شرح زیر است:

$$Pn_{j,i} = \frac{R_{j,i}}{N+1} 100 \quad (2)$$

در اینجا، $Pn_{j,i}$ احتمال رخداد ارزش j ام جریان در ماه i ام و $R_{j,i}$ برابر ارزش j ام جریان در ماه i ام و i شمارگان ماه که عدد صحیح بین ۱ تا ۱۲ و در نهایت N تعداد کل سال‌ها با داده جریان در ماه i ام می‌باشد. بنابراین، منحنی دوام جریان برای هر ماه به وسیله احتمال رخداد ارزش j ام جریان در ماه i ام در برابر ارزش‌های دبی متناظر در ماه i ام ترسیم می‌گردد (پاندی و همکاران، ۲۰۰۸).

ج: ادغام رویدادهای خشکسالی وابسته

با استفاده از جریان‌های ۱۰-روزه و رویکرد سطح آستانه متغیر، یک دنباله از رویدادهای خشکسالی به دست آمده است. هر رویداد خشکسالی توسط دوام D_i ، حجم کسری (یا سختی) S_i و زمان رخداد T_i مشخص می‌گردد که به‌عنوان یک طرح تشریحی در شکل شماره ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: طرح تشریحی از رویدادهای خشکسالی وابسته

در شکل شماره ۲، d_i دوام کمبود، s_i حجم کمبود یا سختی، t_i زمان میان رویدادی، Q_i سطح آستانه می‌باشد. چنانچه زمان آغاز رویداد t_i باشد آنگاه زمان پایان آن رویداد $t_i + 1$ خواهد بود.

اغلب مشاهده می‌شود در طول یک دوره خشک طولانی‌مدت، جریان برای دوره کوتاه‌مدت (موقتی) از سطح آستانه گذر می‌کند و در نتیجه‌ی آن یک دوره خشکسالی بزرگ به تعدادی از رویدادهای جزئی خشکسالی تقسیم می‌شود. برای مثال در شکل ۲، در طول یک دوره خشک طولانی (به‌عنوان نمونه ۲۰ فروردین تا ۳۰ خرداد)، ممکن است جریان برای یک دوره کوتاه (به‌عنوان نمونه ۱ تا ۱۰ خرداد) از سطح آستانه گذر کند و در نتیجه یک دوره‌ی خشکسالی

بزرگ به تعداد جزئی رویدادهای خشکسالی (۲۰ فرودین تا ۳۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد تا ۳۰ خرداد) تقسیم شود که وابستگی متقابل دارند. برای غلبه بر چنین شرایط و تعریف دنباله‌ی مستقل از خشکسالی، لازم است از یک روش ادغام رویدادهای وابسته استفاده شود.

سه دسته روش برای ادغام رویدادهای وابسته موجود است (تالاکسن و همکاران، ۱۹۹۷). در این بررسی از یک معیار بر اساس زمان و حجم میان رویدادی (زلنهاسیک و سالوی، ۱۹۸۷) استفاده شده است. معیار یادشده به وسیله مادسن و رسبرگ (۱۹۹۵) تجدیدنظر و در نهایت توسط تالاکسن و همکاران (۱۹۹۷) بهینه‌سازی شده و از آن زمان به‌طور گسترده استفاده می‌شود. بر این اساس، اگر (الف) زمان میان رویدادی t_i بین دو رویداد خشکسالی با مشخصه‌های $\{d_i, s_i\}$ و $\{d_i+1, s_i+1\}$ کمتر از یک مدت‌زمان بحرانی از پیش تعیین‌شده t_c و (ب) نسب بین حجم مازاد میان رویدادی بالاتر از سطح آستانه v_i و حجم کمبود قبلی s_i کمتر از حجم بحرانی از پیش تعریف‌شده P_c باشد، آنگاه دو رویداد خشکسالی در یک خشکسالی واحد با مشخصه‌های جدید به شکل زیر ادغام می‌شوند:

$$\begin{cases} d_{pool} = d_i + d_i + 1 + t_i \\ s_{pool} = s_i + s_i + 1 - v_i \end{cases} \quad (۳)$$

فرایند ادغام می‌تواند به‌طور مداوم برای رویدادهای خشکسالی ادغام‌شده بر پایه روش معیار داخلی و با استفاده از معادله (۳) تکرار شود، چنانچه شرایط (الف) و (ب) برآورده شود. در عمل مقادیر بسیار زیاد t_c ، به‌طور هم‌زمان توسط P_c محدود نمی‌شود. در این بررسی، دوام بحرانی میان رویدادی (t_c) برابر با سه گام زمانی ده روز و نسبت حجم بحرانی از پیش تعیین‌شده برابر با ۱ لحاظ شده است؛ هرچند بسته به شرایط جغرافیایی و رژیم هیدرولوژیکی در مناطق مختلف، این مقادیر متفاوت می‌باشند.

د: نمایه شدت خشکسالی

هورست در سال ۱۹۵۱، شاخصی برای شناخت نوع خشکسالی‌ها از نظر دوام (خشکسالی‌های فصلی و چندساله) پیشنهاد داده که به شکل زیر است:

$$m = \frac{1 - \alpha}{C_v} \quad (۴)$$

در اینجا، α سطح آستانه به‌عنوان نسبتی از جریان و C_v ضریب تغییرهای جریان می‌باشد. بر طبق این نمایه، ارزش‌های کوچک از m دلالت بر غلبه خشکسالی‌های چندساله دارد؛ درحالی‌که ارزش‌های بزرگ آن ($m > 1$) دلالت بر خشکسالی‌های درون سالی (فصلی) دارد (تالاکسن و همکاران، ۱۹۹۷).

با استفاده از روش ادغام که پیش‌تر موردبحث قرار گرفت، رویدادهای وابسته خشکسالی در هم دیگر ادغام و رویدادهای مستقل خشکسالی ایجاد گردیده است. دوام و شدت رویدادهای خشکسالی مستقل نیز از طریق شاخص هورست (۱۹۵۱) برآورد شده است. مازاد بر این، برای توصیف بیشتر درجه شدت رویدادهای خشکسالی جریان

رودخانه، یک شاخص شدت خشکسالی (DSI_e) توسط پاندی و همکاران (۲۰۰۸) توسعه داده شده است. این شاخص به عنوان تابعی از دو نسبت زیر تعریف شده است.

۱. نسبت حجم جریان کسری (V_d) به حجم متناظر از سطح آستانه (V_{TL}) در طول رویداد خشکسالی.
 ۲. نسبت دوام جریان کسری (d_e) به بیشینه دوام ممکن از رویداد مستقل خشکسالی جریان رودخانه (d_m).
- بیان ریاضی این شاخص به شرح زیر است:

$$DSI_e = \frac{V_d}{V_{TL}} \times \frac{d_e}{d_m} \quad (5)$$

درجه‌های شدت خشکسالی بر اساس این شاخص به شرح جدول شماره ۱ می‌باشد.

جدول ۱: گروه‌بندی شدت خشکسالی‌های مستقل جریان رودخانه بر اساس شاخص شدت خشکسالی

قدرت خشکسالی	محدوده شاخص شدت خشکسالی
ضعیف	$DSI_e < 0.01$
خفیف	$0.01 \leq DSI_e \leq 0.05$
متوسط	$0.05 < DSI_e \leq 0.2$
شدید	$0.2 < DSI_e \leq 0.5$
فرین	$DSI_e > 0.5$

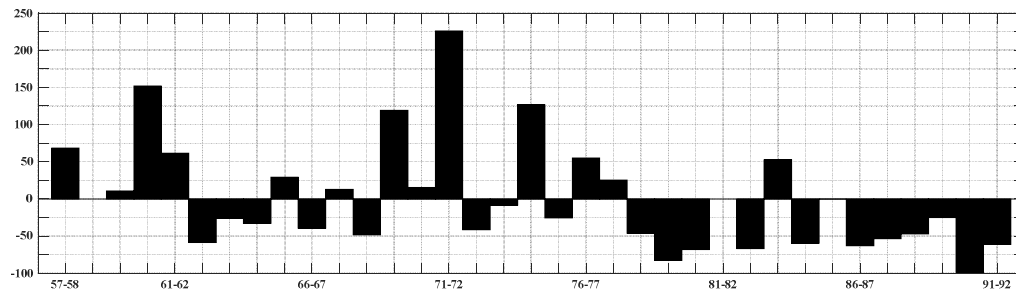
بر این اساس، شدت خشکسالی رویدادهای مستقل محاسبه گردیده است.

یافته‌ها و بحث

الف: یافته‌های حاصل از تحلیل انحراف

در بحث تحلیل انحراف جریان رودخانه، همان‌طور که پیش‌تر بیان گردید، مقایسه انحراف جریان رودخانه از آستانه با توجه به میانگین درازمدت می‌تواند در فهم رژیم هیدرولوژیکی رودخانه مفید باشد. انحراف سالانه جریان ۱۰-روزه رودخانه نساء بیانگر وجود یک انحراف قابل‌ملاحظه در مقدار جریان یک ماه خاص در سال‌های خشک و تر می‌باشد. این نتایج بیانگر توزیع فصلی قوی و نامنظم جریان رودخانه نساء در طول سال می‌باشد. انحراف سالانه جریان رودخانه (شکل ۳) بیانگر پیوستگی و دوام دوره‌های منفی انحراف از میانگین می‌باشد. به عنوان نمونه، از سال آبی ۷۹-۱۳۷۸ تا انتهای دوره مورد مطالعه در تمامی موارد (به جز یک مورد) رواناب سالانه همواره کمتر از متوسط رواناب درازمدت به عنوان آستانه بوده است. شدت انحراف منفی در نیمه اول دوره مطالعه حداکثر تا ۵۰- و در نیمه دوم به ۱۰۰- رسیده است. این نتایج بیانگر آن است که بیش از نیمی از سال‌های آبی در رودخانه نساء با انحراف منفی از جریان متوسط سالانه مواجه می‌باشد که بر فراوانی و شدت آن‌ها در اواخر دوره‌ی مورد مطالعه افزوده شده است. در

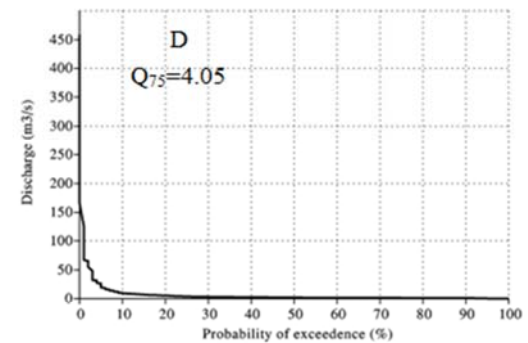
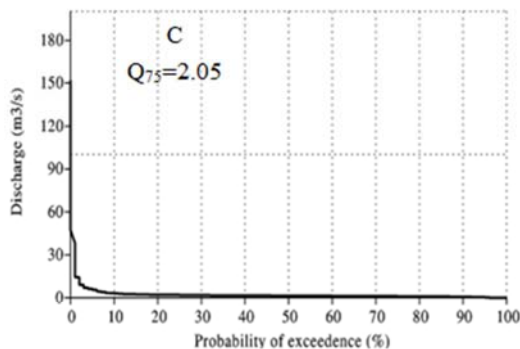
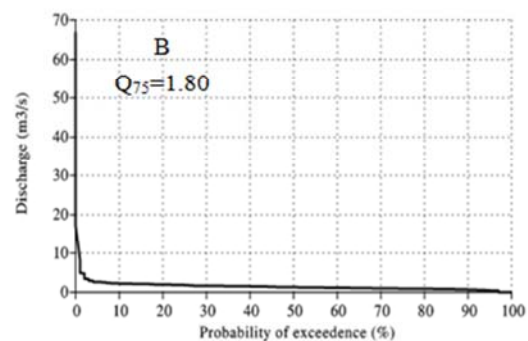
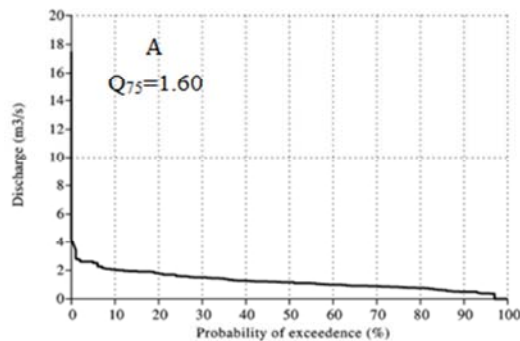
کنار اثر عوامل طبیعی تغییرهای رواناب رودخانه مانند کاهش بارندگی، لازم است به اثرهای رفتارهای انسانی در حوضه آبریز این رودخانه پرداخته شود.

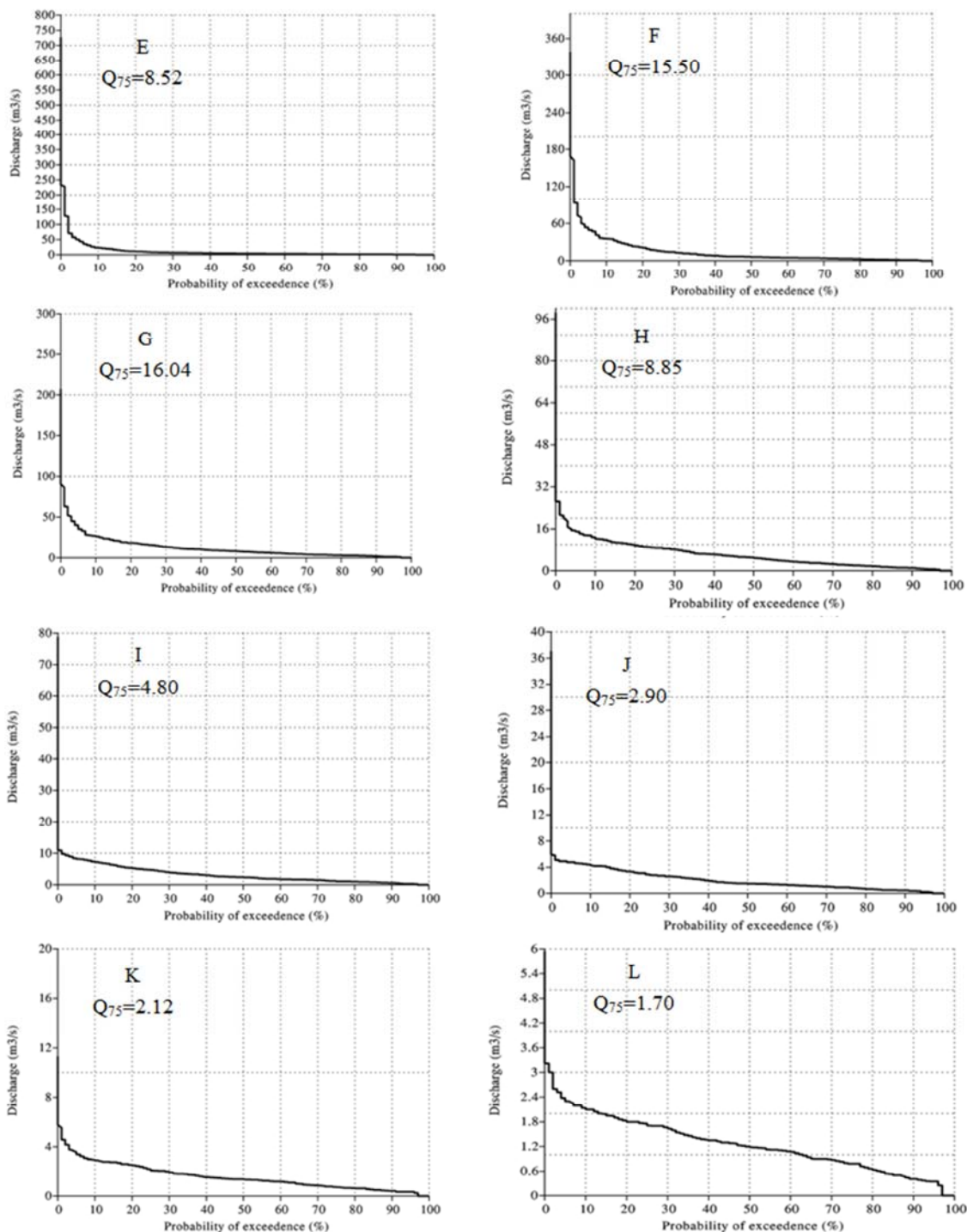


شکل ۳: انحراف رواناب سالانه در رودخانه نساء

ب: یافته‌های سطح آستانه

منحنی‌های دوام جریان ماهانه برای رودخانه نساء بر اساس احتمالات رخداد جریان متفاوت در ماه‌های مجزا (رابطه شماره ۲) و با لحاظ سطح آستانه استخراج و ترسیم شده است (شکل ۴). این منحنی‌ها در برآورد جریان‌های قابل‌اعتماد متفاوت در هر ماه مورد استفاده قرار گرفته است. به این‌گونه که ارزش‌های سطح آستانه متغیر از سطح احتمال ۷۵ درصد برای هر ماه به دست آمده است. این ارزش‌ها برای تشخیص دوره‌های جریان مازاد و کمبود و همچنین برای رویدادهای خشکسالی مستقل که با استفاده از روش ادغام شناسایی شده‌اند، استفاده شده‌اند.



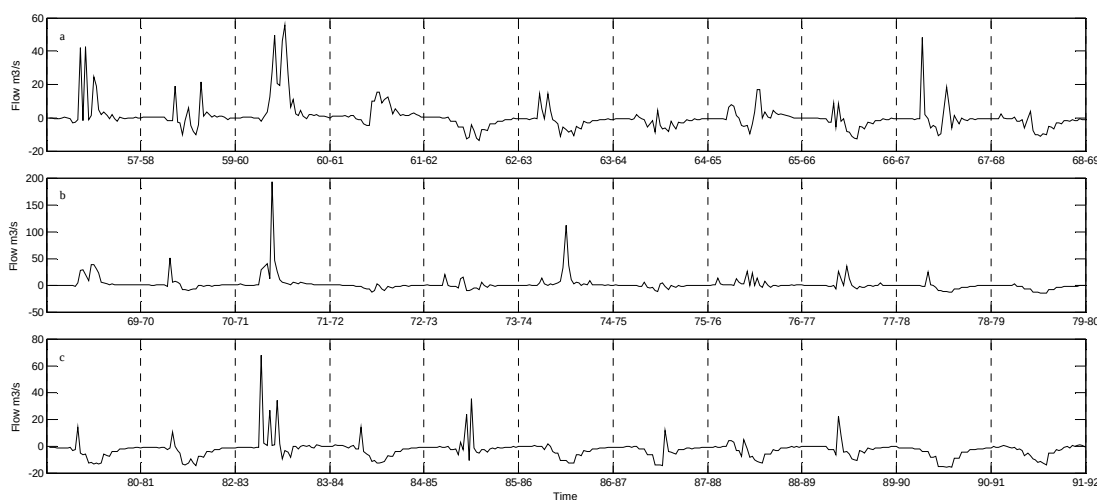


شکل ۴: منحنی دوام جریان ماهانه رودخانه نساء (A) مهر، (B) آبان، (C) آذر، (D) دی، (E) بهمن، (F) اسفند (G) فروردین، (H) (I) خرداد، (J) تیر، (K) مرداد، (L) شهریور.

ج: یافته‌های ادغام و مشخصه رویدادهای مستقل خشکسالی

از آنجاکه داده ۱۰-روزه جریان رودخانه در این بررسی مورد استفاده قرار گرفته است، بنابراین، حداقل دوام جریان کسری، ۱۰-روز می‌باشد. شکل ۵، انحراف جریان ۱۰-روزه از سطح آستانه متغیر را در دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد. دوره‌های جریان مازاد و کمبود با توجه به ارزش‌های سطح آستانه متغیر، شناسایی شده‌اند. از آن پس رویدادهای خشکسالی وابسته با استفاده از روش معیار داخلی شناسایی و از طریق معادله شماره ۳، ادغام و رویدادهای مستقل خشکسالی ایجاد شده‌اند.

برای نمونه، یک رویداد خشکسالی از گام اول (۱۰-روزه نخست) دی‌ماه سال آبی ۱۳۶۲-۶۳ آغاز و در گام اول آذرماه سال آبی ۱۳۶۳-۶۴ پایان می‌یابد. از انتهای این دوره جریان کمبود، یک دوره میان رویدادی (مازاد جریان) آغاز می‌شود و تا گام سوم دی‌ماه سال آبی ۱۳۶۳-۶۴ ادامه می‌یابد؛ از آن پس انحراف جریان منفی شده و تا گام اول آذرماه سال آبی ۱۳۶۵-۶۶ ادامه می‌یابد. برای تصمیم‌گیری درباره‌ی دوره خشکسالی مستقل (گام نخست دی‌ماه سال آبی ۱۳۶۲-۶۳ تا گام نخست آذرماه ۱۳۶۵-۶۶) باوجود جریان مازاد میان رویدادی کوتاه‌مدت، کجلدسون و لاندروف (۱۹۹۷) و کجلدسون و همکاران (۲۰۰۰)، اوج‌های جزئی دوره‌های خیلی کوتاه را نادیده گرفته‌اند. این به دلیل مداخله دوره‌های مرطوب کوچک در پایان دادن به آثار منفی خشکسالی‌های طولانی‌مدت است. برای ادغام، دوام بحرانی میان رویدادی (t_c) سه گام زمانی ۱۰-روزه (۳۰-روز) لحاظ شده است و نسبت حجم بحرانی (P_c) به‌عنوان نسبت حجم مازاد میان رویدادی به حجم کمبود قبلی برای دوره دوام بحرانی برابر ۱ قرار گرفته است.



شکل ۵: انحراف جریان ۱۰-روزه از سطح آستانه متغیر در رودخانه نساء

پیش از ادغام رویدادهای وابسته، برای شناخت نوع خشکسالی‌ها از نظر دوام، شاخص هورست و همکاران (۱۹۵۱) روی داده‌های جریان رودخانه نساء اجرا شده است. این شاخص به‌عنوان نسبتی از جریان (صدک ۷۵) و ضریب تغییرات آن‌ها است (معادله ۴). ارزش این شاخص برای جریان رودخانه نساء ۱/۹۵- محاسبه شده است که بیانگر غلبه رویدادهای طولانی‌مدت خشکسالی (سالانه) در رژیم آبدهی آن است.

بر اساس روش معیار داخلی، ادغام رویدادهای خشکسالی وابسته انجام و رویدادهای خشکسالی مستقل شناسایی شده‌اند (جدول ۲). از آن پس مشخصه‌های خشکسالی‌های مستقل شامل زمان آغاز، پایان، دوام و شدت نیز تشریح شده است. همچنین، شدت خشکسالی برای هر یک از رویدادهای خشکسالی مستقل با استفاده از نمایه شدت خشکسالی (پاندی و همکاران، ۲۰۰۸) محاسبه شده است. همان‌گونه که در این جدول مشخص است، بیشینه خشکسالی‌های آب‌شناختی رودخانه نساء در رده شدید است. در طول دوره‌ی مطالعه، چهار رویداد خشکسالی مستقل با شدت فرین رخ داده است که به ترتیب شدت عبارتند از: (۱) ۱۳۸۲/۰۷/۰۱ تا ۱۳۸۳/۰۹/۳۰؛ (۲) ۱۳۸۸/۱۰/۱۰ تا ۱۳۹۲/۰۵/۲۰؛ (۳) ۱۳۷۸/۰۱/۰۱ تا ۱۳۸۱/۰۶/۳۰ و (۴) ۱۳۸۴/۱۱/۰۱ تا ۱۳۸۸/۰۹/۱۰. همان‌گونه که پیداست تمرکز رویدادهای خشکسالی فرین در دهه‌ی آخر دوره‌ی مورد مطالعه است. علاوه بر آن، دوام رویدادهای فرین نیز بیش از ۱ تا ۳ سال است.

جدول ۲: رویدادهای مستقل خشکسالی مبتنی بر روش ادغام معیار داخلی و مشخصه‌های آن در جریان رودخانه نساء

ردیف	آغاز	پایان	دوام(روز)	شدت	رواناب مورد انتظار	نمایه شدت	رده شدت
۱	۱۳۵۷/۰۷/۲۰	۱۳۵۷/۱۰/۳۰	۱۰۰	-۸/۹۶	۲۵/۳۰	-۰/۳۸	شدید
۲	۱۳۵۹/۱۰/۰۱	۱۳۵۹/۱۰/۳۰	۳۰	-۵/۰۵	۱۲/۱۵	-۰/۴۴	شدید
۳	۱۳۵۹/۱۱/۱۰	۱۳۶۰/۰۲/۲۰	۱۰۰	-۱۷/۴۹	۱۲۰/۵۱	-۰/۱۸	متوسط
۴	۱۳۶۰/۰۶/۲۰	۱۳۶۰/۰۷/۲۰	۳۰	-۰/۶۹	۴/۹۳	-۰/۱۲	متوسط
۵	۱۳۶۰/۰۹/۲۰	۱۳۶۰/۱۰/۱۰	۳۰	-۲/۲۱	۸/۱۵	-۰/۲۹	شدید
۶	۱۳۶۱/۱۰/۰۱	۱۳۶۱/۱۱/۳۰	۶۰	-۱۶/۷۰	۳۷/۷۱	-۰/۴۲	شدید
۷	۱۳۶۲/۱۰/۰۱	۱۳۶۵/۰۹/۱۰	۱۰۶۰	-۲۷۴/۵۱	۶۲۵/۵۴	-۰/۴۱	شدید
۸	۱۳۶۵/۱۰/۲۰	۱۳۶۵/۱۲/۲۰	۶۰	-۲۸/۴۳	۶۰/۶۱	-۰/۴۶	شدید
۹	۱۳۶۶/۰۶/۲۰	۱۳۶۶/۱۰/۲۰	۱۳۰	-۷/۹۲	۲۷/۹۱	-۰/۳۲	شدید
۱۰	۱۳۶۶/۱۱/۲۰	۱۳۶۷/۱۲/۲۰	۳۹۰	-۸۷/۱۷	۲۴۹/۴۰	-۰/۳۳	شدید
۱۱	۱۳۶۸/۰۳/۲۰	۱۳۶۹/۱۰/۲۰	۵۸۰	-۱۲۸/۵۳	۲۶۴/۱۸	-۰/۴۷	شدید
۱۲	۱۳۷۰/۱۲/۰۱	۱۳۷۱/۰۴/۳۰	۱۵۰	-۵۵/۲۸	۱۴۴/۲۷	-۰/۴۳	شدید
۱۳	۱۳۷۱/۰۸/۰۱	۱۳۷۱/۰۹/۱۰	۴۰	-۰/۷۹	۷/۴۵	-۰/۱۳	متوسط
۱۴	۱۳۷۲/۰۸/۱۰	۱۳۷۴/۰۹/۱۰	۷۵۰	-۱۲۵/۷۶	۴۲۵/۴۱	-۰/۳۲	شدید
۱۵	۱۳۷۵/۰۶/۱۰	۱۳۷۶/۰۷/۱۰	۳۹۰	-۶۲/۸۹	۲۱۴/۹۴	-۰/۲۸	شدید
۱۶	۱۳۷۷/۰۲/۱۰	۱۳۷۷/۰۵/۳۰	۱۱۰	-۷/۶۸	۴۷/۱۶	-۰/۱۸	متوسط
۱۷	۱۳۷۷/۰۷/۰۱	۱۳۷۷/۱۱/۱۰	۱۳۰	-۱۶/۵۶	۳۷/۰۲	-۰/۴۶	شدید
۱۸	۱۳۷۸/۰۱/۰۱	۱۳۸۱/۰۶/۳۰	۱۲۶۰	-۴۵۰/۲۲	۷۳۸/۹۶	-۰/۶۴	فرین
۱۹	۱۳۸۲/۰۷/۰۱	۱۳۸۳/۰۹/۳۰	۴۵۰	-۱۵۳/۵۰	۲۲۶/۲۳	-۰/۷۱	فرین
۲۰	۱۳۸۳/۱۲/۲۰	۱۳۸۴/۰۷/۱۰	۲۰۰	-۳۲/۱۳	۱۲۶/۴۲	-۰/۲۵	شدید
۲۱	۱۳۸۴/۰۸/۲۰	۱۳۸۴/۱۰/۲۰	۶۰	-۵/۴۰	۱۶/۰۵	-۰/۳۴	شدید
۲۲	۱۳۸۴/۱۱/۰۱	۱۳۸۸/۰۹/۱۰	۱۳۹۰	-۴۰۶/۳۵	۸۲۳/۲۷	-۰/۵۱	فرین
۲۳	۱۳۸۸/۱۰/۱۰	۱۳۹۲/۰۵/۲۰	۱۳۰۰	-۵۱۳/۴۱	۸۱۱/۸۱	-۰/۶۶	فرین

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، خشکسالی‌های آب‌شناختی یکی از خُرد حوضه‌های آبریز کویر لوت با استفاده از روش سطح آستانه متغیر برای دوره آبی ۵۸-۱۳۵۷ تا ۹۲-۱۳۹۱ بررسی شده است. داده‌های ۱۰-روزه جریان رودخانه در ایستگاه آب-سنجی یال خری بر روی رودخانه نساء در حوضه مورد مطالعه بررسی شد. بررسی‌های اولیه از رژیم آبدی رودخانه آشکار کرد که جریان رودخانه پایا بوده و الگوی آبدی آن زنگدیس است. آبدی رودخانه از ابتدای سال آبی (مهر) ابتدای سال آبی لحاظ شده است) رو به افزایش تدریجی می‌رود که در انتهای فصل زمستان به اوج آبدی می‌رسد و از آن پس رو به کاهش می‌گذارد. در راستای بهره‌گیری از رویکرد سطح آستانه متغیر در ارزیابی خشکسالی، جریان‌های قابل‌اعتماد هر ماه سال آبی بر اساس احتمالات رخداد جریان و از طریق منحنی‌های دوام جریان برآورد شد. برای این منظور، سطح آستانه صدک ۷۵ درصد منظور گردید. در ادامه، انحراف جریان‌های ۱۰-روزه از سطح آستانه محاسبه و مبنای تشخیص دوره‌های مازاد و کمبود جریان قرار گرفت. برای ادغام رویدادهای وابسته خشکسالی از روش معیار حجم و زمان میان رویدادی که به معیار داخلی مشهور است، استفاده و رویدادهای مستقل خشکسالی در رودخانه نساء شناسایی شد. در نهایت، سختی رویدادهای مستقل خشکسالی با استفاده از یک شاخص جدید برآورد شد. تحلیل مشخصه‌های خشکسالی آب‌شناختی در رودخانه نساء نشان داد که خشکسالی‌های طولانی‌مدت از مشخصه‌های رژیم هیدرولوژیکی این رودخانه است. علاوه بر آن، بیشینه خشکسالی‌های هیدرولوژیکی در رژیم آبی این رودخانه بر اساس شاخص سختی خشکسالی در رده شدید قرار دارد. در دوره مورد مطالعه، چهار رویداد خشکسالی مستقل و طولانی‌مدت با سختی فرین در رژیم هیدرولوژیکی رودخانه نساء رخ داده است که به دهه آخر دوره مورد مطالعه متمرکز است. از این رو، پیشنهاد می‌گردد بازنگری‌های واقع‌بینانه‌تر در برنامه‌های مدیریت آب این رودخانه به‌ویژه در بخش توزیع و تخصیص آن به منابع مختلف انجام شود.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از آقای Rajendra P. Pandey از مؤسسه ملی هیدرولوژی وابسته به وزارت منابع آب دولت هند بابت راهنمایی‌ها و نظارت بر محاسبه داده‌ها قدردانی می‌گردد.

منابع

- نظری پور حمید (۱۳۹۵)، واسنجی روابط بارش-جریان رودخانه برای ارزیابی و امکان پیش‌بینی خشکسالی آب‌شناختی در حوضه آبریز کویر لوت (ایران)، مهندسی منابع آب، دوره ۹، شماره ۳۱، صص ۹۰-.
- Barradas, Victor L., (1991). Air temperature and humidity and human comfort index of some city parks of Mexico City, International Journal of Biometeorology, Vol. 35, No.1.
- Bazrafshan, J., Hejabi, S., & Rahimi, J. (2014). Drought monitoring using the multivariate standardized precipitation index (MSPI). Water resources management, 28(4), 1045-1060.
- Ben-Zvi, A. (1987). Indices of hydrological drought in Israel. Journal of hydrology. 92(1-2), 179-191.
- Chang, T. J., and Kleopa, X. (1991). A proposed method for drought monitoring. Water Resources. Bull., 27(2), 275-281.
- Chen, S. T., Kuo, C. C., and Yu, P. S. (2009). Historical trends and variability of meteorological droughts in Taiwan. Hydrological Sciences Journal., 54(3), 430-441.
- Chen, Y. D., Zhang, Q., Xiao, M., & Singh, V. P. (2013). Evaluation of the risk of hydrological droughts by the trivariate Plackett copula in the East River basin (China). Natural hazards, 68(2), 529-547.

- Daneshvar, M. R. M., Bagherzadeh, A., & Khosravi, M. (2013). Assessment of drought hazard impact on wheat cultivation using the standardized precipitation index in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(11), 4463-4473.
- Dracup, J. A., Lee, K. S., and Paulson, E. G., Jr. (1980a). On the statistical characteristics of drought events. *Water Resources Research*, 16(2), 289-296.
- Dracup, J. A., Lee, K. S., and Paulson, E. G., Jr. (1980b). On the definition of droughts. *Water Resources Research*, 16(2), 297-302.
- Edossa, D. C., Babel, M. S., and Gupta, A. D. (2010). Drought analysis in the Awash River Basin, Ethiopia. *Water Resources Management*, 24(7), 1441-1460.
- Fleig, A. K., Tallaksen, L. M., Hisdal, H. Y., and Demuth, S. 2006. A global evaluation of streamflow drought characteristics. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(4), 532-552.
- Golian, S., Mazdiyasni, O., & AghaKouchak, A. (2015). Trends in meteorological and agricultural droughts in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 119(3-4), 679-688.
- Hannaford, J., Lloyd-Hughes, B., Keef, C., Parry, S., and Prudhomme, C. (2011). Examining the large-scale spatial coherence of European drought using regional indicators of precipitation and streamflow deficit. *Hydrological Processes*, 25(7), 1146-1162.
- Hisdal, H., Tallaksen, L. M., Clausen, B., Peters, E., and Gustard, A. (2004). Hydrological drought characteristics. Hydrological drought processes and estimation methods for streamflow and groundwater, L. M. Tallaksen and H. A. J. Van Lanen, eds., Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 139-182.
- Hosseinzadeh Talaei, P., Tabari, H., & Sobhan Ardakani, S. (2014). Hydrological drought in the west of Iran and possible association with large scale atmospheric circulation patterns. *Hydrological Processes*, 28(3), 764-773.
- Hurst, H. E. (1951). Long-term storage capacity of reservoirs. *Trans. American Society of Civil Engineers*, 116, 770-808.
- Jain, V. K., Jain, M. K., & Pandey, R. P. (2014). Effect of the length of the streamflow record on truncation level for assessment of streamflow drought characteristics. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(7), 1361-1373.
- Khedun, C. P., Chowdhary, H., Mishra, A. K., Giardino, J. R., and Singh, V. P. (2013). Water deficit duration and severity analysis based on runoff derived from the Noahland surface model. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(7), 817-833.
- Kienzle SW. (2006). The use of the recession index as an indicator for streamflow recovery after a multi-year drought. *Water Resources Management*, 20(6):991-1006.
- Kjeldsen, T. R., Lundorf, A., and Rosbjerg, D. (2000). Use of a two-component exponential distribution in partial duration modelling of hydrological droughts in Zimbabwean rivers. *Hydrological Science Journal*, 45(2), 285-298.
- Kjeldsen, T.R. and Lundorf, A. (1997). Drought Management and Modelling — Zimbabwe Case, MSc Thesis, DTU, Technical University of Denmark
- Kousari, M. R., Dastorani, M. T., Niazi, Y., Soheili, E., Hayatzadeh, M., & Chegzi, J. (2014). Trend detection of drought in arid and semi-arid regions of Iran based on implementation of reconnaissance drought index (RDI) and application of non-parametrical statistical method. *Water resources management*, 28(7), 1857-1872.
- Lorenzo-Lacruz, J., et al. (2010). The impact of droughts and water management on various hydrological systems in the headwaters of the Tagus River (central Spain). *Journal of Hydrology*, 386(1-4), 13-26.
- Madsen, H., and Rosbjerg, D. (1995). On the modelling of extreme droughts. *Modeling and Management of sustainable basin-scale water resources systems: Proc., Boulder Symp. July 1995, International Association of Hydrological Sciences (IAHS), U.K.*, 377-385.
- Meigh J, Tate E, McCartney M. (2002). Methods for identifying and monitoring river flow drought in southern Africa. In: van Lanen and Demuth (eds.) *FRIEND 2002—Regional hydrology: bridging the gap between research and practice*. IAHS Publication No. 274, 181-188.
- Mishra, A. K., and Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1-2), 202-216.
- Nalbantis, I., and Tsakiris, G. (2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23(5), 881-897.
- Nazaripour, H. (2016). Calibration of rainfall-stream flow relationship for assessing and forecasting hydrological drought in kavir-e lut basin, Iran. *water resources engineering*, 9(31), 73-90.
- Pandey, R. P., and Ramasastri, K. S. (2002). Incidence of droughts in different climatic regions. *Hydrological Sciences Journal*, 47(Suppl. 1), S31-S40.
- Pandey, R. P., Mishra, S. K., Singh, R., and Ramasastri, K. S. (2008). Streamflow drought severity analysis of Betwa River System (India). *Water Resources Management*, 22(8), 1127-1141.
- Rajsekhar, D., Mishra, A. K., and Singh, V. P. (2013). Regionalization of drought characteristics using an entropy approach." *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(7), 870-887.
- Raziei, T., Bordi, I., & Pereira, L. S. (2011). An application of GPCC and NCEP/NCAR datasets for drought variability analysis in Iran. *Water resources management*, 25(4), 1075-1086.
- Raziei, T., Bordi, I., & Pereira, L. S. (2013). Regional drought modes in Iran using the SPI: the effect of time scale and spatial resolution. *Water resources management*, 27(6), 1661-1674.
- Sen, Z. (1980). Statistical analysis of hydrologic critical droughts. *Journal of hydraulics Division*, 106(1), 99-115.
- Smakhtin, V. U. 2001. Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology* 240:147-186.

- Tabari, H., Abghari, H., & Hosseinzadeh Talaei, P. (2012). Temporal trends and spatial characteristics of drought and rainfall in arid and semiarid regions of Iran. *Hydrological Processes*, 26(22), 3351-3361.
- Tabari, H., Nikbakht, J., & Talaei, P. H. (2013). Hydrological drought assessment in Northwestern Iran based on streamflow drought index (SDI). *Water resources management*, 27(1), 137-151.
- Tabari, H., Nikbakht, J., and Talaei, P. H. (2013). Hydrological drought assessment in Northwestern Iran based on Streamflow Drought Index (SDI). *Water resources management* 27(1), 137-151.
- Tallaksen L. M., van Lanen H. A. J (eds.) (2004). *Hydrological drought-processes and estimation methods for streamflow and groundwater*. Development in Water Science, Elsevier, Amsterdam.
- Tallaksen, L. M., and Van Lanen, H. A. J. (2004). *Hydrological drought—Processes and estimation methods for streamflow and groundwater*. Developments in water sciences 48, Elsevier, Netherlands.
- Tallaksen, L. M., Madsen, H., and Clausen, B. (1997). On the definition and modelling of streamflow drought duration and deficit volume. *Hydrological Sciences Journal*, 42(1), 15-33.
- Tate, E. L., and Gustard, A. (2000). Drought definition: A hydrological perspective. *Drought and drought mitigation in Europe*, Kluwer, Dordrecht, Netherlands, 23-48.
- Vasiliades, L., and Loukas, A. (2009). Hydrological response to meteorological drought using the palmer drought indices in Thessaly, Greece. *Desalination*, 237(1-3), 3-21.
- Vasiliades, L., Loukas, A., and Liberis, N. (2011). A water balance derived drought index for Pinios River Basin, Greece. *Water Resources Management*. 25(4), 1087-1101.
- Vicente-Serrano, S., López-Moreno, J., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Azorin-Molina, C., and Morán-Tejeda, E. (2012). Accurate Computation of a Streamflow Drought Index." *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(2), 318-332.
- Vidal, J. P., et al. (2010). Multilevel and multi-scale drought reanalysis over France with the Safran-Isba-Modcou hydrometeorological suite. *Hydrol. Earth System. Science.*, 14(3), 459-478.
- Wilhite, D. A., and Glantz, M. H. (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of definitions.» *Water International*. 10(3):111-120.
- World Meteorological Organization (WMO). (1975). *Drought and agriculture*. Note 138, Publ. WMO-392, Geneva, Switzerland.
- Wu, H., Soh, L. K., Samal, A., and Chen, X. H. (2007). Trend analysis of streamflow drought events in Nebraska.» *Water resources management*. 22(2), 145-164.
- Zaidman, M. D., Rees, H. G., and Young, A. R. (2001). Spatio-temporal development of streamflow droughts in north-west Europe. *Hydrology and Earth System Sciences.*, 6(4), 733-751.
- Zarch, M. A. A., Malekinezhad, H., Mobin, M. H., Dastorani, M. T., & Kousari, M. R. (2011). Drought monitoring by reconnaissance drought index (RDI) in Iran. *Water resources management*, 25(13), 3485-3504.
- Zelenhasic, E., and Salvai, A. (1987). A method of streamflow drought analysis. *Water Resources Research.*, 23(1), 156-168.

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره نهم، شماره ۲۵، پاییز ۱۳۹۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۰۲

تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۲۴

صفحات: ۴۰ - ۱۷

مقاله (علمی پژوهشی)

واکاوی فصلی رخداد روزهای همراه با بارش سنگین در حوضه تالش - تالاب انزلی

فریدون آزاد غلامی خسمخی^۱، پرویز رضائی^{۲*}، امیر گندمکار^۳

۱. دانش آموخته دکتری اقلیم‌شناسی، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد

۲. دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت

۳. دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد

چکیده

یکی از انواع مخاطرات طبیعی، وقوع بارش‌های سنگین است. بارش‌های سنگین، به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم بر روی زندگی انسان و فعالیت‌های آن تأثیرگذارند. محدوده مورد مطالعه در این تحقیق، دو حوضه تالاب انزلی و تالش در غرب استان گیلان است. جهت تعیین احتمال رخداد بارش‌های سنگین و وجود روند از آزمون غیر پارامتریک من-کندال و برای تعیین احتمال رخداد بارش ≥ 30 میلی‌متر از توزیع پواسون و جهت شناسایی الگوهای مکانی رخداد بارش از روش میان‌یابی IDW استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده شامل، بارش روزانه ≥ 30 میلی‌متر، ۲۰ ایستگاه باران‌سنجی و سینوپتیک در یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۸۷-۲۰۱۶) است. نتایج تحقیق نشان داد که بیشتر روند تغییرات افزایشی است. به‌طوری‌که ایستگاه‌های واقع در مرکز به سمت نیمه شمالی محدوده تحقیق در هر ۴ فصل و ایستگاه انزلی در بهار و ماسوله در سه فصل تابستان، پاییز و زمستان، دارای روند افزایشی و به‌صورت موردی برخی ایستگاه‌ها بیشتر به سمت نیمه جنوبی حوضه، مانند کسما در تابستان، باش‌محل و رشت در زمستان و قلعه‌رودخان در دو فصل پاییز و زمستان دارای روند کاهشی شدید هستند. همچنین در تمام فصول سال تغییرات نامنظم و تصادفی در فراوانی رخداد بعضی ایستگاه‌ها مشاهده می‌شود که این بی-نظمی در اثر عدم تداوم افزایش یا کاهش فراوانی رخداد بارش یا عدم وقوع بارش ≥ 30 میلی‌متر در برخی از ایستگاه‌ها است. توزیع پواسون نشان داد که احتمال عدم رخداد در ایستگاه‌های دارای اقلیم غیر مرطوب بسیار بالا است و جمع عدم رخداد با یک رخداد، بیش از ۹۰٪ فراوانی رخداد بارش ≥ 30 میلی‌متر است. همچنین حداکثر احتمال برای رخداد‌های مختلف در همه فصول سال در ایستگاه‌های شمالی و مرکزی حوضه به ثبت رسیده است. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که توزیع پواسون ارزیابی مناسبی از رخداد‌های بارش در این ناحیه دارد.

واژگان کلیدی: بارش سنگین، رخداد بارش، من-کندال، پواسون، حوضه تالش، تالاب انزلی.

مقدمه

کاهش یا افزایش بارش بر بسیاری از پدیده‌های اقلیمی و محیطی مانند رواناب، سیلاب، دمای هوا، رطوبت هوا و همچنین بر بسیاری از فعالیت‌های بشر مانند، کشاورزی و نوع مسکن تأثیر دارد. تغییرهای اقلیمی در اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای باعث افزایش رخداد برخی از پدیده‌های حد اقلیمی در چند دهه اخیر شده است. بارش‌های رگباری، سیلاب‌ها، ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها و یخبندان‌های شدید از جمله رخدادهایی هستند که دچار تغییر شده‌اند. آثار تغییرها نیز به صورت تحدید منابع انسانی، کشاورزی و اقتصادی مشخص می‌شود. از این حیث اهمیت مطالعه پدیده‌های فرین جوی از جمله، رخداد بارش سنگین و تحلیل مکانی - زمانی و احتمال رخداد مکانی آن نیز به عنوان یک ضرورت مطرح می‌گردد. در زمینه‌ی بارش‌های سنگین مطالعه‌های متعدد با رویکردهای مختلف (همدید، آماری و...) در کشور و جهان انجام شده که به برخی از آنها اشاره می‌گردد.

آناگستوپولو و تولیکا^۱ (۲۰۱۱) آستانه بارش‌های حدی ۶۵ ایستگاه هواشناسی منطقه اروپا را با استفاده از دو روش پارامتریک (صدک ۹۹ و ۹۵) و ناپارامتریک (مقادیر حدی تعمیم‌یافته، شاخص پراکندگی و توزیع پارتو تعمیم‌یافته) بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که روش‌های پارامتریک مناسب‌تر از روش‌های ناپارامتریک هستند و آستانه بارش‌های حدی اروپا را ۳۰ میلی‌متر تعیین کردند. جونز^۲ و همکاران (۲۰۱۲) تغییرهای شدید فصلی و سالانه بارش‌های حدی را در بریتانیا در دوره آماری (۲۰۰۹-۱۹۶۱) موردبررسی قرار دادند. نتیجه پژوهش آن‌ها نشان داد که بارش‌های حدی در بریتانیا، در فصل پاییز روند افزایشی دارد و همچنین نتیجه گرفتند که اکثر بارش‌های حدی در اثر نفوذ نوسان‌های اطللس شمالی رخ می‌دهد. امین^۳ و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی بهترین توزیع احتمال بارش در مناطق شمالی پاکستان به این نتیجه رسیدند که توزیع نرمال بهترین توزیع احتمال در ایستگاه باران‌سنجی ماردان^۴ است و توزیع لگاریتم پیرسون III به عنوان بهترین توزیع احتمال در سایر ایستگاه‌های باران‌سنجی انتخاب گردید. بارکوتولا^۵ (۲۰۱۷)، در تجزیه و تحلیل برآورد احتمال بارش‌های فرین سالانه نواگان^۶ بنگلادش به این نتیجه رسیده است که توزیع پیرسون نوع III، مناسب‌ترین توزیع احتمال حداکثر بارش یک‌روزه سالانه است. سئو^۷ و همکاران (۲۰۱۷)، در تحلیل فراوانی بارش شدید کره جنوبی با استفاده از برآوردگر حداقل واگرایی قدرت تراکم^۸ و مقادیر حد تعمیم‌یافته نشان دادند برآوردگر حداکثر درست‌نمایی نسبت به برآوردگر بالا از حساسیت بیشتری جهت تخمین باران طرح برخوردار است و فراوانی و شدت بارش در دو دهه گذشته در این کشور افزایش یافته است. علاوه بر تخمین توزیع احتمال فراوانی وقوع بارش، بررسی روند تغییرهای سالانه نیز از اهمیت زیادی در مباحث اقلیمی و هیدرولوژیک برخوردار است. عساکره (۱۳۹۱) تغییر توزیع فراوانی بارش‌های حدی شهر زنجان را با استفاده از روش توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته موردبررسی قرار داد و نتیجه گرفت که فراوانی و مقدار بارش‌های سنگین و سبک به

1. Anagnostopoulou & Tolika

2. Jones et al,

3. Amin

4. Mardan

5. Barkotulla

6. Naogaon

7. Seo et al

8. minimum density power divergence estimator

سمت کاهش میل می‌کند. محمدی (۱۳۹۱) روند آستانه بارش‌های سنگین ایران را با استفاده از داده‌های ۱۳۴۷ ایستگاه همدید، اقلیمی و باران‌سنجی در دوره ۴۰ ساله بررسی کرد. ایشان پس از مشخص کردن آستانه بارش سنگین هرسال، از روش‌های ناپارامتری من-کندال برای تحلیل روند آستانه بارش‌های سنگین و از روش برآورد کننده شیب‌خط سنس برای تخمین شیب‌خط روند استفاده کرده است، نتایج نشان داد که روند افزایشی معنی‌داری در آستانه بارش‌های سنگین سالانه ایران به‌ویژه از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۸۲ مشاهده شده است که این مقدار افزایشی به‌طور متوسط ۰/۵ میلی‌متر در هرسال برآورد شده است. فرسادنیا و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی روند بارندگی استان مازندران با روش من-کندال نشان دادند که اگر استان مازندران یک منطقه واحد در نظر گرفته شود، هیچ روندی در سری زمانی حداکثر بارش ۲۴ ساعته در سطح معنی‌داری ۵٪ مشاهده نمی‌شود. اما اگر با استفاده از تحلیل خوشه‌ای فازی استان مازندران به نواحی هیدرولوژیکی تقسیم گردد، مشاهده می‌شود که در قسمت غربی استان مازندران روند معنی‌داری در سطح ۵٪ وجود دارد. باهک (۱۳۹۲) احتمال تغییر اقلیم ایستگاه کرمان با روش من-کندال را بررسی و نتیجه گرفت که زمان شروع بیشتر تغییرها ناگهانی و از هر دو نوع روند و نوسان است. میزان تغییرهای بارش در ماه‌های گرم چشمگیرتر است، درحالی‌که میانگین، حداقل و حداکثر درجه حرارت در ماه‌های آوریل، نوامبر و دسامبر بیشتر و چشمگیرتر بوده و در سایر ماه‌ها تغییرهای قابل‌ملاحظه‌ای مشاهده نمی‌شود. نادری و خلیلی (۱۳۹۲) در طبقه‌بندی اقلیم بارش ایران با روش تحلیل عاملی-خوشه‌ای به این نتیجه رسیدند که نقش بارز متغیرهای ضریب تغییرهای بارندگی، تعداد روزهای برفی و شدت بارندگی را در شناسایی عامل‌های مؤثر بر اقلیم بارش ایران آشکار می‌سازد. خوشرو و همکاران (۱۳۹۴) با مطالعه روند تغییرهای دمای شبانه در ایران مرکزی به روش ناپارامتری من-کندال به این نتیجه رسیدند که زمان شروع بیشتر تغییرها ناگهانی و از هر دو نوع روند و نوسان بوده است. در تمام ایستگاه‌ها روند دمای شبانه مثبت ارزیابی شده است و حاکی از گرم شدن دمای شبانه در طول دوره بوده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که درصد تغییرهای فصل زمستان با تابستان و بهار با پاییز به‌طور دقیق باهم برابر بوده است؛ ولی زمان شروع تغییرها در ایستگاه‌های منطقه یکسان نیست. مریانجی و عباسی (۱۳۹۵) در پهنه‌بندی احتمال رخداد بیشینه بارش روزانه در استان همدان به این نتیجه رسیدند که در دوره برگشت‌های فوق، مناطق جنوب شرق و شمال غرب استان همدان (دشت کبودآهنگ) دارای بیشترین بارش محتمل روزانه است. فراوانی تعداد سیل‌های رخ داده در استان، نشان‌دهنده این واقعیت است که مناطق نامبرده بیشترین و مهیب‌ترین سیل‌ها را در استان به خود اختصاص داده‌اند (سیل سال ۱۳۶۶، منطقه کبودآهنگ). طبق این نقشه‌ها مناطق شرقی استان دارای کمترین بارش محتمل روزانه است. نتایج این مطالعه می‌تواند در پهنه‌بندی و پیش‌بینی سیلاب و همچنین برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب منطقه بکار برده شود. مظفری و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی و تعیین آستانه بارش-های حدی غرب ایران با استفاده از روش توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته به این نتیجه رسیده‌اند که روش ناپارامتریک با توجه به دو معیار ارزیابی که معیار اول مربوط به طول سری داده‌های بالاتر از آستانه و دیگری به مقدار آستانه انتخاب شده است، نتایج رضایت‌بخشی نشان ندادند. آستانه بارش‌های حدی کمتر از نصف تعداد ایستگاه‌های مورد مطالعه در مرزهای مفروض هر دو معیار قرار گرفت و نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل روش‌های پارامتریک (توزیع حدی تعمیم‌یافته) و ناپارامتریک بر روی ۶۹ ایستگاه تحت مطالعه نشان داد که آستانه بارش‌های حدی اکثر ایستگاه‌ها بین ۲۲ تا ۲۶ میلی‌متر قرار دارد و روش CPOT یک روش اثبات‌شده و کارآمد برای تعیین آستانه بارش

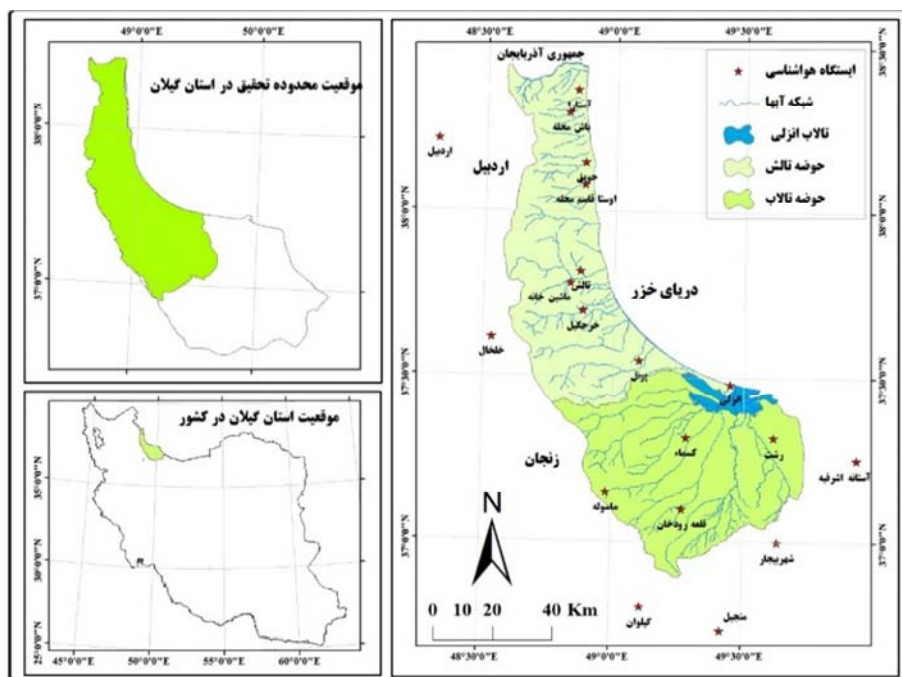
حدی غرب کشور است و همچنین روش MRL نیز یک روش رضایت‌بخش برای انتخاب آستانه بارش‌های حدی می‌باشد. محمدی و همکاران (۱۳۹۶) روند شاخص‌های حدی بارش روزانه در ایران را بررسی و نشان دادند که در دوره‌ی مورد مطالعه همه‌ی شاخص‌های حدی بارش در ایران دارای تغییر و روند است. در بیشتر ایستگاه‌ها، بارش سالانه کاهش (شامل حدود ۹۲٪ از ایستگاه‌ها) و تعداد روزهای خشک (CDD) افزایش یافته است (شامل حدود ۷۲٪ از ایستگاه‌ها) و فقط در برخی از ایستگاه‌ها در نواحی مرکزی و دامنه‌های زاگرس تعداد روزهای خشک روند کاهشی دارد. از نظر بارش‌های سنگین و نیمه سنگین و همچنین روزهای مرطوب و فوق‌العاده مرطوب، سهم تغییرها در ایستگاه‌های واقع در سواحل شمال و جنوب بیشتر است. معروف‌نژاد و قاسمی (۱۳۹۶) با بررسی روند تغییرهای دما در چهار شهرستان استان چهارمحال و بختیاری به روش من-کندال نشان دادند که ماه مارس با ۱۰۰٪ روند، بیشترین تغییر و ماه دسامبر با ۸۵٪ بدون روند، کمترین تغییر را نشان می‌دهد. همچنین در فصل زمستان روند منفی با ۳۰٪، در فصل بهار تغییر ناگهانی افزایشی با ۵۵٪، در فصل تابستان روند مثبت با ۳۵٪، فصل پاییز بدون روند با ۵۵٪ و در تغییرهای سالانه تغییر ناگهانی افزایشی با ۳۵٪ مشاهده می‌شود. اوجی و غفاریان (۱۳۹۷) با شناسایی و برآورد بارش‌های فرین سواحل جنوبی دریای خزر بر اساس نظریه مقدار فرین، بارش‌های روزانه ۱۳ ایستگاه سینوپتیک واقع در سواحل جنوبی دریای خزر را طی دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۵۷ مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که بارش‌های فرین ایستگاه انزلی بر اساس رویکرد حداکثر بلوک و ایستگاه‌های رامسر و مراوه‌تپه بر اساس رویکرد فراتر از آستانه فاقد ایستایی بودند که در برازش مدل و برآورد سطوح برگشت مورد توجه قرار گرفتند. مقایسه نتایج بر اساس روش‌های گرافیکی و معیار آکائیکه نشان داد که رویکرد حداکثر بلوک بر اساس برآورد درست‌نمایی بیشینه، برازش بهتری با بارش‌های فرین اغلب ایستگاه‌های منطقه دارند. ایستگاه‌های رشت، انزلی، آستارا، نوشهر، رامسر و گرگان با دارا بودن سری زمانی طولانی‌تر، نتایج بهتری ارائه نمودند. بر اساس سطوح برگشت محاسبه‌شده با احتمال ۹۵٪ می‌توان اطمینان داد که بارش‌های فرین ایستگاه‌های ساحلی با نرخ بالاتری نسبت به سایر ایستگاه‌های منطقه افزایش خواهند داشت، درحالی‌که احتمالاً بارش‌های فرین ایستگاه‌های دیگر روند افزایش کندتری را تجربه خواهند نمود. صفرپور و همکاران (۱۳۹۸) در پیش‌بینی بارش‌های سنگین غرب کشور بر اساس برآوردهای رادار هواشناسی، به این نتیجه رسیده‌اند که برآورد بارش رادار به روش Z-R، با تقریب خوبی مورد قبول بوده و اگر ضرایب رادار برای مناطق مختلف به‌درستی تصحیح شوند، می‌توان بارش‌ها را پیش‌بینی و از وقوع حوادث غیرمترقبه جلوگیری کرد. مطالعه‌های همدیدی و آمار مرتبط نیز در محدوده تحقیق انجام گرفته است، ازجمله می‌توان به تحقیق مفیدی و همکاران (۱۳۸۶) به‌منظور «تعیین الگوی همدیدی بارش‌های شدید و حدی در سواحل جنوبی دریای خزر»، با استفاده از آمار ۸ ایستگاه سینوپتیک در یک دوره ۱۰ ساله (۲۰۰۳-۱۹۹۴)، با توجه به آستانه‌های درصدی، روزهای دارای بارش شدید و حدی برای همه فصول سال، ویژگی‌های بارش منطقه خزری را مورد بررسی قرار دادند. با توجه به تمرکز بیش از ۷۵٪ از روزهای بارش شدید در فصل پاییز، آستانه ۱۰٪ از مقدار بارش فصل پاییز (۵۲/۸ میلی‌متر) در نظر گرفته شد و در نهایت ۲۸ روز بارش شدید تعیین شد. یافته‌ها نشان داد که بارش‌های شدید و حدی سواحل جنوبی دریای خزر در سه الگوی همدیدی اصلی شامل الگوی پرفشار، کم‌فشار و زوجی جا می‌گیرد. از ۲۸ روز بارش شدید، ۱۶ روز آن (۵۷/۲٪) نتیجه استقرار الگوی پرفشار و تلاویی منفی ناشی از نفوذ زبانه پرفشار در سواحل جنوبی دریای خزر و در مقابل فقط ۶ روز آن دارای الگوی کم‌فشار (۲۱/۴٪) است. الگوی زوجی که شامل

استقرار مرکز پرفشاری در غرب- شمال غرب دریای خزر و مرکز کم‌فشاری در جانب شرقی آن است، ۶ روز بارش شدید (۲۱/۴٪) را در بر می‌گیرد. جانباز قبادی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی مشابه به‌منظور شناسایی الگوهای همدیدی حاکم در زمان وقوع بارش‌های شدید زمستانه در منطقه خزری، بر اساس همان داده‌ها به نتیجه مشابه برای فصل زمستان سواحل جنوبی دریای خزر رسیدند. رضایی و همکاران (۱۳۹۷) جهت تحلیل آماری- همدیدی بارش‌های ماه مرداد در جنوب غربی ساحل دریای خزر با استفاده از توزیع پواسون و مقدار بارش با توزیع نرمال دو فرا سنجی در دوره برگشت‌های مختلف نشان داد، الگوهای پرفشار و کم‌فشار با منشأ اروپایی، اسکاندیناوی، دریای سیاه، شمالگان، مدیترانه و خزری عامل بارش‌های ماه مرداد بوده و همچنین رخداد الگوها دارای بی‌نظمی زمانی هستند. داده‌های هواشناسی کشور نشان می‌دهد که استان گیلان بیش از هر استان دیگر کشور در سال بارش دریافت می‌کند و بخشی از این بارش‌ها شدید و رگباری است. در این مقاله سعی بر این است تا روند بارش‌های سنگین سالانه حوضه تالش و تالاب انزلی شناسایی و میزان تأثیر این بارش‌ها در ایستگاه‌های حوضه موردبررسی و ارزیابی قرار گرفته و روابط حاکم در وقوع بارش‌های سنگین شناسایی و مورد واکاوی قرار گیرد.

داده‌ها و روش‌ها

الف - موقعیت جغرافیایی قلمرو تحقیق

محدوده مطالعاتی در این تحقیق شامل دو حوضه بزرگ تالش و تالاب انزلی است. این محدوده در غرب استان گیلان و جنوب جمهوری آذربایجان قرار دارد. محدوده تحقیق از آستارا چای تا مرز حوضه سفیدرود در مرکز استان گیلان ادامه دارد. مساحت حوضه ۶۹۹۷ کیلومترمربع است. از این سطح ۴۹/۳٪ (۳۴۵۲ کیلومترمربع) مربوط به حوضه تالش و ۵۰/۷٪ (۳۵۴۵ کیلومترمربع) مربوط به حوضه تالاب انزلی است. حدود ۴۰ زیر حوضه هیدرولوژیکی و غیر هیدرولوژیکی در این دو حوضه قرار دارد که سرشاخه‌های اکثر آنها در استان گیلان بوده و چند زیر حوضه آن از ارتفاعات استان اردبیل و زنجان منشأ می‌گیرد. برخی از رودخانه‌های این حوضه‌ها، به‌طورمستقیم به دریای خزر و برخی دیگر در ابتدا به تالاب انزلی و در ادامه به دریای خزر می‌ریزند (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت حوضه تالش - تالاب انزلی

ب- داده‌های تحقیق:

مبنا و معیار تحلیل بارش سنگین در این تحقیق، بارش‌های روزانه ۳۰ میلی‌متر و بیشتر است. این داده‌ها از ۲۰ ایستگاه منتخب در بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۸۷ تا ۲۰۱۶) از آرشیو سازمان هواشناسی و وزارت نیرو استخراج شده است. از ۲۰ ایستگاه منتخب ۱۳ ایستگاه در داخل محدوده مطالعاتی (حوضه تالش و تالاب انزلی) و ۷ ایستگاه در مجاور آن (حوضه سفیدرود و دو استان اردبیل و زنجان) جهت تحلیل مکانی داده‌ها انتخاب شده است (جدول ۱).

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در بازه زمانی ۳۰ ساله (۲۰۱۶-۱۹۸۷)

نام ایستگاه	مختصات جغرافیایی		ارتفاع (متر)	نوع ایستگاه	نام ایستگاه	مختصات جغرافیایی		ارتفاع (متر)	نوع ایستگاه
	طول	عرض				طول	عرض		
آستارا	۴۸ ۵۱	۳۸ ۲۲	۲۱/۱-	سینوپتیک، باران‌سنجی	کسماء	۴۹ ۱۷	۳۷ ۱۹	۵	باران‌سنجی
باش محله	۴۸ ۴۹	۳۸ ۱۸	۳۹	باران‌سنجی	ماسوله	۴۹ ۴۹	۳۷ ۰۹	۱۰۸۰/۹	سینوپتیک
حویق	۴۸ ۵۳	۳۸ ۰۹	۱۵-	باران‌سنجی	قلعه رودخان	۴۸ ۱۶	۳۷ ۰۶	۱۷۰	باران‌سنجی
اوستا قاسم محله	۴۸ ۵۳	۳۸ ۰۵	۶۲	باران‌سنجی	آستانه اشرفیه	۴۹ ۵۶	۳۷ ۱۵	۳	باران‌سنجی
تالش	۴۸ ۵۴	۳۷ ۴۸	۹۹	سینوپتیک، باران‌سنجی	لاهیجان	۵۰ ۰۱	۳۷ ۱۲	۳۴/۲	سینوپتیک، باران‌سنجی
ماشین خانه	۴۸ ۵۰	۳۷ ۴۷	۳۰۰	باران‌سنجی	شهر بیجار	۴۹ ۳۸	۳۷ ۰۰	۱۰۷	باران‌سنجی
خر جگیل	۴۸ ۵۳	۳۷ ۴۲	۱۳۰	باران‌سنجی	منجیل	۴۹ ۲۵	۳۶ ۴۴	۳۳۸/۳	سینوپتیک، باران‌سنجی
پونل	۴۹ ۰۶	۳۷ ۳۳	۵۰	باران‌سنجی	اردبیل	۴۸ ۱۹	۳۸ ۱۳	۱۳۳۵	سینوپتیک
انزلی	۴۹ ۲۷	۳۷ ۲۹	۲۳/۶-	سینوپتیک	خلخال	۴۸ ۳۲	۳۷ ۳۷	۱۷۹۵	سینوپتیک
رشت (فرودگاه)	۴۹ ۳۷	۳۷ ۱۹	۸/۶-	سینوپتیک	گیلوان	۴۹ ۰۷	۳۶ ۴۸	۳۱۱	باران‌سنجی

ماخذ: سازمان هواشناسی استان گیلان، اردبیل و زنجان، سازمان آب منطقه‌ای استان گیلان، ۱۳۹۶

ج - روش کار:

جهت تعیین روند تغییرهای روزهای همراه با بارش سنگین از روش من-کندال استفاده شده است. روش من-کندال ابتدا توسط من^۱ (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال^۲ (۱۹۷۰) بسط و توسعه یافت. فرض صفر آزمون من-کندال بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها است. در این روش، ابتدا اختلاف بین هر یک از مشاهددها با تمام مشاهددهای پس‌از آن محاسبه شده و پارامتر S مطابق رابطه زیر به دست می‌آید.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

که n تعداد مشاهددهای سری و x_j و x_k به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری می‌باشند. تابع علامت sgn نیز به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$\begin{cases} \text{sgn}(x_j - x_k) = +1 & \text{for } (x_j - x_k) > 0 \\ \text{sgn}(x_j - x_k) = 0 & \text{for } (x_j - x_k) = 0 \\ \text{sgn}(x_j - x_k) = -1 & \text{for } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

در مرحله بعد محاسبه واریانس S توسط یکی از روابط زیر محاسبه شد:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad \text{for } n > 10 \quad (3)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad \text{for } n < 10 \quad (4)$$

که n و m و معرف تعداد دنباله‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. t نیز بیانگر فراوانی داده‌های بالارزش یکسان در یک دنباله (تعداد گره‌ها) می‌باشد. درنهایت نیز آماره Z به کمک یکی از روابط زیر استخراج می‌شود:

$$z = \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \quad \text{for } s > 0 \quad (5)$$

$$z = 0 \quad \text{for } s = 0 \quad (6)$$

$$z = \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \quad \text{for } s < 0 \quad (7)$$

با فرض دو دامنه آزمون روند، فرضیه صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که شرط زیر برقرار باشد:

$$|z| < Z_{\alpha/2} \quad (8)$$

که α سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و Z_α آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری α می‌باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، $\alpha/2$ استفاده شده است. در بررسی حاضر، این آزمون برای سطوح اعتماد ۹۵٪ و ۹۹٪ به کار گرفته شده است. در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود (من ۱۹۴۵ و کندال ۱۹۷۰). برای تعیین احتمال رخداد بارش مساوی و بیش از ۳۰ میلی‌متر از توزیع احتمال پواسون استفاده گردید. محاسبه توزیع پواسون بر مبنای میانگین استوار است که از میانگین طولانی‌مدت پیشامدهای یک رخداد به دست می‌آید. با فرض معلوم بودن تعداد میانگین تعداد پیشامدهای یک رخداد، توزیع پواسون، اجازه می‌دهد که احتمال داشتن یک تعداد پیشامد مشخص تعیین شود. تابع پواسون به صورت زیر بیان می‌شود.

$$p(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} \quad x = 0, 1, 2, \dots \quad (9)$$

در اینجا λ میانگین تعداد پیشامدها و برابر با $e \cdot np$ عدد نپر (۲/۷۱۸۲۸) و متغیر x نشان‌دهنده تعداد پیشامدهای یک رخداد در گذر زمان یا گستره جغرافیایی است (وانگ و لی^۱ ۲۰۰۵ نقل از رضائی و روشنی ۱۳۸۹)، با افزایش مقدار λ منحنی حالت تقارن پیدا می‌کند. وقتی $n \geq 20$ و $p \leq 0.05$ باشد، توزیع پواسون تقریب خوبی از توزیع دوجمله‌ای و با $n \geq 100$ و $p \leq 10$ ، تقریب بسیار عالی خواهد بود (عساکره، ۱۳۹۰). این توزیع برای رخدادهای نادر با احتمال کم کاربرد دارد (مارکوس و سا^۲ ۲۰۰۵ نقل از رضائی و روشنی ۱۳۸۹). مجموع احتمالات $x = 0, 1, 2, 3, \dots, \infty$ برابر با ۱ است. بنابراین احتمال کل برای x بزرگتر یا مساوی عدد مفروض k برابر با رابطه زیر است:

$$p(x \geq k) = 1 - [p(0) + p(1) + p(2) + \dots + p(k-1)] \quad (10)$$

در همین راستا برای طبقه‌بندی شباهت بین فراوانی رخداد بارش روزانه ۳۰ میلی‌متر و بیشتر فصول مختلف از روش تحلیل خوشه‌ای استفاده شد. تحلیل خوشه‌ای برای تعیین شباهت نسبی بکار می‌رود که این شباهت، همگنی در ویژگی‌های اندازه‌گیری شده پارامترها را نشان می‌دهد. شباهت بین خوشه‌ها و جداسازی خوشه‌های همگن بر اساس مربع فاصله اقلیدسی تعیین می‌شود. روش «وارد» فاصله بین دو خوشه را به عنوان مجموع مربع‌های بین دو خوشه که بر روی تمام متغیرها اضافه شده، محاسبه می‌کند. اگر C_L و C_K دودسته هستند که برای تشکیل خوشه C_L ترکیب شده‌اند، فاصله بین خوشه جدید و خوشه دیگر C_J است.

$$d_{J,M} = \frac{((n_J + n_K) d_{JK} + (n_J + n_L) d_{JL} - n_J d_{KL})}{n_J + n_M} \quad (11)$$

در این رابطه n_J ، n_K و n_M به ترتیب تعداد اعضاء در خوشه‌های J ، K و M است و d_{JK} ، d_{JL} و d_{KL} نیز به ترتیب فاصله بین مشاهده‌ها در خوشه‌های J و K ، J و L و K و L را نشان می‌دهند (سلطانی و مدرس، ۲۰۰۶).

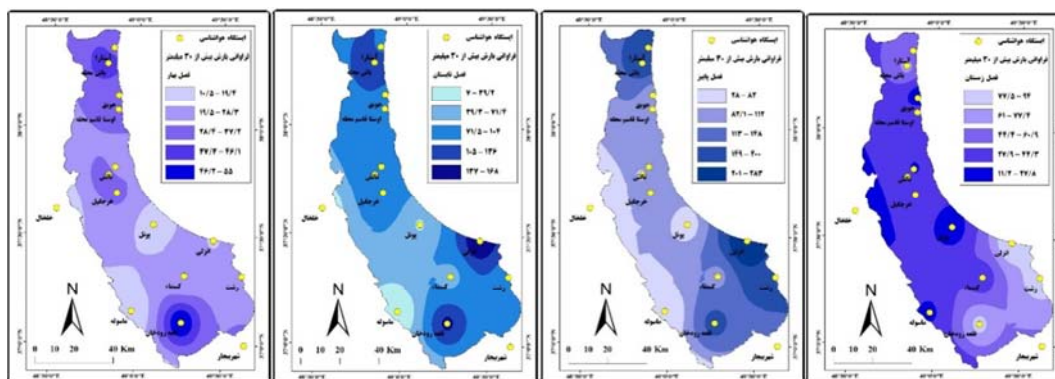
یافته‌های تحقیق

الف- فراوانی بارش‌های شدید فصلی

شرایط جغرافیایی منحصربه‌فرد حوضه تالش- تالاب انزلی، همچون نزدیکی به دریا و کوهستان به همراه پوشش جنگلی انبوه و سایر عوامل محیطی، شرایطی مساعد برای بارش و بخصوص بارش‌های سنگین در این محدوده فراهم کرده است که تأثیر این بارش‌های سنگین بر اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی و زیرساخت‌ها حائز اهمیت است. نتایج به‌دست‌آمده از فراوانی رخداد بارش ≥ 30 ایستگاه‌ها بیانگر این است که فصل پاییز با ۲۰۷۸ فراوانی دارای بیشترین بارش سنگین و بهار با ۴۲۷ فراوانی دارای کمترین فراوانی بارش سنگین در طول دوره مطالعاتی است. داده‌های جدول (۲) نشان می‌دهد که هر ۱۳ ایستگاه داخل حوضه تالاب و تالش در چهارفصل سال دارای بارش سنگین هستند. بیشترین فراوانی بارش فصلی بیش از ≥ 30 میلی‌متر در شمال، شرق و جنوب شرق محدوده است (شکل ۲).

جدول ۲: فراوانی بارش‌های شدید فصلی در حوضه تالش- تالاب انزلی

نام ایستگاه	پاییز	تابستان	بهار	زمستان	مجموع	نام ایستگاه	پاییز	تابستان	بهار	زمستان	مجموع
آستارا	۱۵۶	۹۹	۳۳	۴۷	۳۳۵	کسما	۱۰۴	۶۳	۲۱	۳۴	۲۲۲
باش محله	۱۹۱	۱۳۱	۴۶	۶۶	۴۳۴	ماسوله	۴۲	۷	۱۱	۲۶	۸۶
حویق	۹۴	۱۰۲	۲۹	۱۷	۲۴۲	قلعه‌رودخان	۱۶۳	۱۴۲	۵۵	۸۲	۴۴۲
اوستا قاسم محله	۱۰۴	۱۰۳	۲۹	۳۷	۲۷۳	آستانه اشرفیه	۱۶۴	۵۸	۱۸	۷۲	۳۱۲
تالش	۹۱	۸۰	۲۳	۲۵	۲۱۹	لاهیجان	۲۰۹	۹۳	۳۱	۹۱	۴۲۴
ماشین خانه	۷۹	۹۰	۳۵	۴۲	۲۴۶	شهربیجار	۱۱۷	۷۲	۳۲	۵۹	۲۸۰
خرجیل	۱۰۱	۹۹	۳۰	۳۵	۲۶۵	منجیل	۶	۰	۲	۶	۱۴
پونل	۶۸	۳۷	۱۳	۱۹	۱۳۷	اردبیل	۴	۱	۱	۲	۸
انزلی	۲۸۳	۱۶۸	۱۹	۹۴	۵۶۴	خلخال	۵	۰	۴	۳	۱۲
رشت	۱۷۹	۹۳	۲۰	۸۷	۳۷۹	گیلوان	۴	۰	۲	۱	۷



شکل ۲: توزیع فصلی رخداد بارش بیش از ۳۰ میلی‌متر حوضه تالش- انزلی

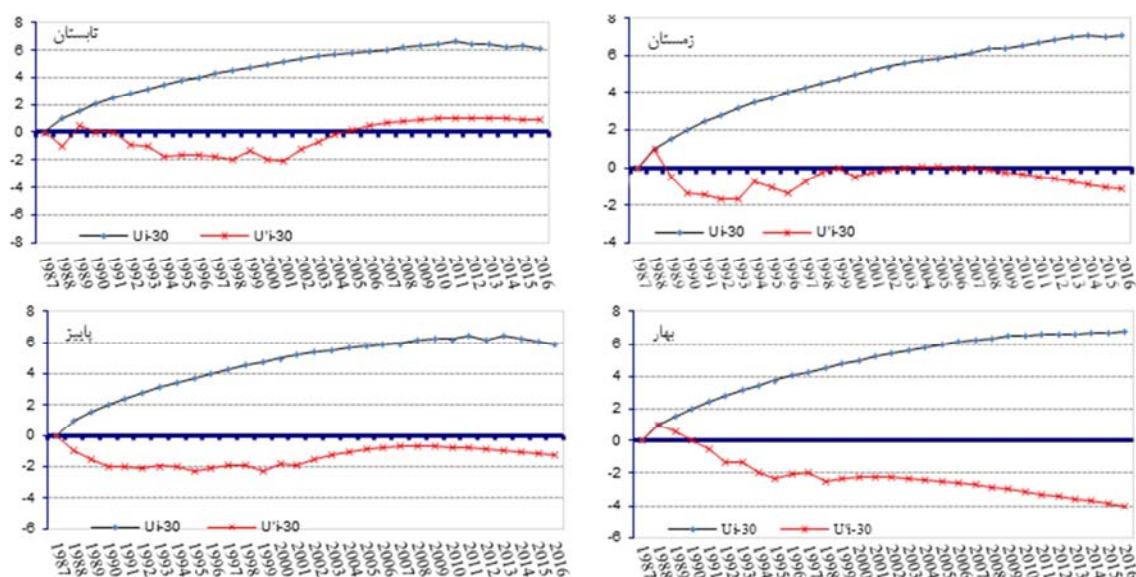
ب- تحلیل روند فصلی بارش‌های سنگین

بر اساس محاسبه‌های انجام‌شده به روش من-کندال و بررسی رفتار تغییرهای مؤلفه‌های u و u' فراوانی بارش ≥ 30 میلی‌متر فصلی مشخص شد که تغییر از نوع ناگهانی، روند افزایشی و کاهشی در برخی از ایستگاه‌ها مشاهده می‌شود. به‌طوری‌که رفتار غیر تصادفی مثبت یا منفی بارش و تداوم آن در طی زمان بر اهمیت موضوع افزوده است. در بررسی تغییرهای بارش ۳۰ ساله حوضه تالش-تالاب انزلی به‌طور کامل مشهود است که تغییرهای تصادفی در سطح معنی-داری $\alpha=0/05$ در برخی از ایستگاه‌ها رفتار غالب محسوب شده و بیانگر طبیعی بودن رخداد سیل در آن است. البته فرایند افزایش و کاهش فراوانی رخداد بارش ≥ 30 در برخی از ایستگاه‌ها در خارج از محدوده $\pm 1/96$ نیست و باوجود افزایش یا کاهش آن، تغییرهای معنی‌داری که نشانه وجود روند باشد قابل‌شناسایی نبوده و با احتمال ۰/۹۵، تصادفی بودن فراوانی بارش تأیید می‌گردد.

شکل (۳) یک نمونه از نمودارهای مربوط به آزمون گرافیکی من-کندال فراوانی بارش ≥ 30 حوضه تالش-تالاب انزلی را نشان می‌دهد. در این آزمون، محل تقاطع دو مؤلفه u و u' که در بیشتر مواقع با تغییر ناگهانی در فراوانی رخداد بارش است، به‌عنوان زمان شروع روند تعیین می‌شود که در صورت تداوم مقدار مؤلفه u در جهت افزایشی یا کاهشی و خروج آن از محدوده بحرانی $\pm 1/96$ ، روند معنی‌دار در سری فراوانی رخداد بارش تأیید می‌گردد. تغییرهای فراوانی رخداد بارش ایستگاه‌ها را می‌توان به پنج حالت ۱- افزایشی پیوسته ۲- کاهشی پیوسته ۳- روند مثبت ۴- روند منفی ۵- نامنظم طبقه‌بندی کرد. با توجه به تعاریف بالا در جدول (۳) رفتار فراوانی بارش آورده شده است. به‌عنوان مثال در زمستان ایستگاه‌های ماشین‌خانه، خرگکیل، آستانه‌اشرفیه، ماسوله، پونل، حویق و تالش دارای روند مثبت بوده و نوع تغییرهای بارشی افزایشی دارند و رخداد بارش در سطح اطمینان ۰/۹۵ قابل مشاهده است. در این فصل به‌جز ایستگاه‌های قلعه‌رودخان، باش‌محله، رشت که نوع تغییرهای بارشی کاهشی داشته، مابقی ایستگاه‌ها نیز تغییرهای افزایشی داشته و مقدار آماره u از محدوده $1/96$ - هم پایین‌تر آمده است. در بهار ایستگاه‌های ماشین‌خانه، خرگکیل، انزلی، باش‌محله، پونل، حویق و تالش روند مثبت وجود داشته و نشانه تداوم افزایشی فراوانی رخداد بارش ≥ 30 است. در این ایستگاه‌ها روند معنی‌دار بوده و ایستگاه‌هایی مانند قلعه‌رودخان، شهر بیجار، کسماء، اوستا قاسم‌محله، ماسوله و لاهیجان فاقد روند معنی‌دار بوده و از محدوده بحرانی مفروض خارج نشده است؛ ولی تداوم افزایشی فراوانی رخداد بارش ≥ 30 در آنها بوده و رخداد بارش در سطح اطمینان ۰/۹۵ قابل مشاهده است. در فصل تابستان در برخی ایستگاه‌ها مانند: ماشین‌خانه، آستانه‌اشرفیه، ماسوله، پونل، لاهیجان و تالش روند مثبت وجود داشته و نشانه تداوم افزایشی فراوانی رخداد بارش ≥ 30 است. ایستگاه‌های قلعه‌رودخان، انزلی و رشت از محدوده بحرانی مفروض خارج نشده و فاقد روند هستند. در این فصل کاهش فراوانی رخداد بارش در ایستگاه خرگکیل، شهر بیجار، کسماء، اوستا قاسم‌محله، باش‌محله، آستارا و حویق بوده و حاکی از کاهش پیوسته و متداوم فراوانی رخداد بارش بوده و مقدار آماره u از محدوده $1/96$ - هم پایین‌تر آمده است.

جدول ۳: تعیین نوع تغییرهای بارش‌های روزانه بیش از ۳۰ میلی‌متر (فصول مختلف) در ایستگاه‌های حوضه تالش - تالاب انزلی

ردیف	نام ایستگاه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
۱	آستارا	افزایشی، دارای روند	افزایشی، دارای روند و معنی‌دار	کاهشی، بدون روند	افزایشی، دارای روند و معنی‌دار
۲	باش محله	کاهشی، عدم روند	افزایشی، دارای روند و معنی‌دار	کاهشی، عدم روند	افزایشی، عدم روند
۳	حویق	افزایشی، دارای روند و معنی‌دار	افزایشی، دارای روند و معنی‌دار	کاهشی، بدون روند	افزایشی، بدون روند
۴	اوستا قاسم محله	افزایشی دارای روند و معنی‌دار	افزایشی و عدم روند	کاهشی و بدون روند	افزایشی، عدم روند
۵	تالش	افزایشی، دارای روند و معنی‌دار	افزایشی، دارای روند و معنی‌دار	افزایشی، دارای روند و معنی‌دار	افزایشی، بدون روند
۶	ماشین‌خانه	افزایشی، دارای روند و معنی‌دار	افزایشی دارای روند و معنی‌دار	افزایشی دارای روند و معنی‌دار	افزایشی، دارای روند و معنی‌دار
۷	خرجگیل	افزایشی، دارای روند و معنی‌دار	افزایشی، دارای روند و معنی‌دار	کاهشی، بدون روند	افزایشی پیوسته و بدون روند
۸	پونل	افزایشی، دارای روند و معنی‌دار	افزایشی، دارای روند و معنی‌دار	افزایشی، دارای روند و معنی‌دار	افزایشی، دارای روند و معنی‌دار
۹	انزلی	افزایشی، عدم روند	افزایشی، دارای روند و معنی‌دار	افزایشی، عدم روند و معنی‌دار	افزایشی، عدم روند
۱۰	رشت	کاهشی، عدم روند	افزایشی، دارای روند و معنی‌دار	افزایشی، بدون روند	افزایشی، بدون روند
۱۱	کسماء	افزایشی و عدم روند	افزایشی و عدم روند	کاهشی، نامنظم و عدم روند	افزایشی و عدم روند
۱۲	ماسوله	افزایشی، دارای روند و معنی‌دار	افزایشی و دارای روند	افزایشی، دارای روند و معنی‌دار	افزایشی و دارای روند
۱۳	قلعه رودخان	کاهشی پیوسته و بدون روند	افزایشی و بدون روند	افزایشی و بدون روند	کاهشی پیوسته و بدون روند
۱۴	آستانه	افزایشی، دارای روند و معنی‌دار	افزایشی و دارای روند	افزایشی و دارای روند و معنی‌دار	افزایشی و دارای روند
۱۵	لاهیجان	افزایشی، بدون روند	افزایشی، بدون روند	افزایشی دارای روند و معنی‌دار	افزایشی، بدون روند
۱۶	شهر بیجار	افزایشی، عدم روند	افزایشی، عدم روند	کاهشی پیوسته و بدون روند	افزایشی، عدم روند
۱۷	منجیل	نامنظم	نامنظم	نامنظم	نامنظم
۱۸	اردبیل	نامنظم	نامنظم	نامنظم	نامنظم
۱۹	خلخال	نامنظم	نامنظم	نامنظم	نامنظم
۲۰	گیلوان	نامنظم	نامنظم	نامنظم	نامنظم



شکل ۳: تعیین نقاط جهش فصلی ایستگاه ماشین‌خانه به روش رتبه‌ای من کندال

در پاییز برخی ایستگاه‌ها مانند: ماشین‌خانه، آستارا، ماسوله، پونل دارای روند مثبت بوده و نوع تغییرهای بارشی افزایشی دارند و رخداد بارش در سطح اطمینان ۹۵٪ قابل مشاهده است و ایستگاه‌هایی مانند خرگیل، شهر بیجار، کسماء، اوستا قاسم‌محله، حویق، لاهیجان و تالش نیز تداوم افزایشی فراوانی رخداد بارش ≥ 30 است؛ ولی مقدار آماره u از محدوده ۱/۹۶- هم پایین‌تر است. ایستگاه قلعه‌رودخان نیز کاهش فراوانی رخداد بارش ≥ 30 است و از محدوده بحرانی مفروض خارج نشده است. همچنین در تمام فصول سال تغییرهای بی‌نظم و تصادفی در فراوانی رخداد بعضی از ایستگاه‌ها مشاهده می‌شود که این بی‌نظمی در اثر عدم تداوم افزایش یا کاهش فراوانی رخداد بارش یا عدم وقوع بارش ≥ 30 در برخی از ایستگاه‌های با شرایط اقلیمی خشک (گیلوان، منجیل، اردبیل و خلخال) ایجاد می‌شود.

ج- احتمال رخداد فصلی بارش ≥ 30 در حوضه تالش - تالاب انزلی

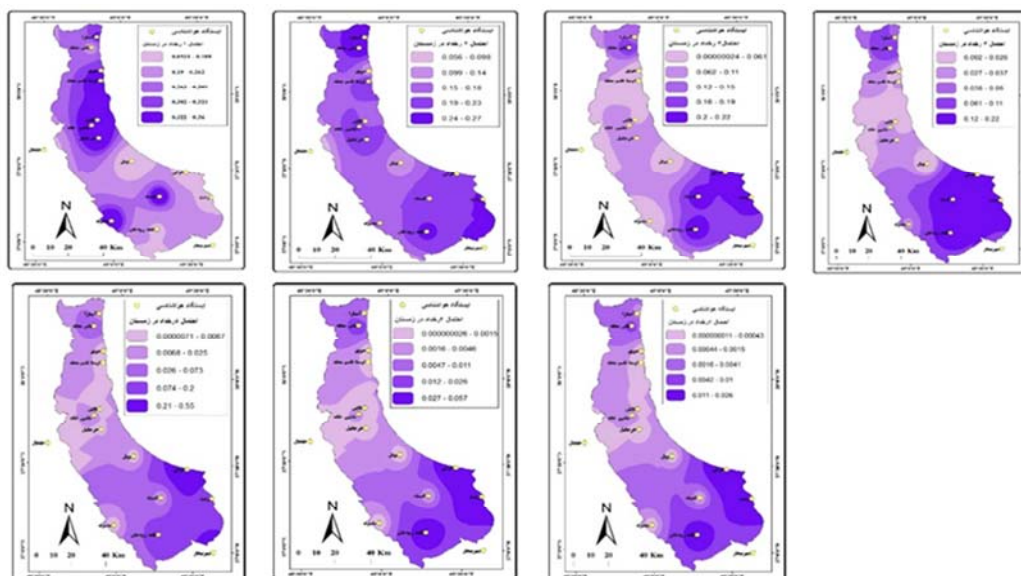
بررسی احتمال رخداد بارش‌های سنگین با توابع احتمال گسسته کمک بسزایی در احتمال وقوع و پیش‌بینی این نوع بارش می‌کند. از این‌رو، از توزیع گسسته پواسون برای رخداد پدیده‌هایی که از احتمال وقوع کمتر از ۵٪ نسبت به کل رخداد فراوانی بارش برخوردار هستند استفاده گردید. نتایج حاصل از احتمال رخداد بارش ≥ 30 میلی‌متر در زمستان برای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، $x=0$ محاسبه و در جدول (۴) آورده شده است. احتمال $p(x=0)$ یا عدم رخداد بارش در ایستگاه انزلی ۰/۴۳ درصد و $p(x=0)$ تا $p(x=7)$ به ترتیب ۰/۱۳۷ و ۰/۲۱۴ و ۰/۲۲۳ و ۰/۱۷۵ و ۰/۵۴۷ درصد است. احتمال به‌دست‌آمده از $p(x=0)$ نشان می‌دهد که عدم رخداد چنین بارشی در برخی ایستگاه‌ها در فصل زمستان بسیار کم بوده و وقوع آن حتمی است. در چهار ایستگاه منجیل، گیلوان، خلخال و اردبیل احتمال عدم رخداد بارش ≥ 30 بیش از ۸۰٪ بوده و بیانگر آن است که فراوانی رخداد این بارش‌ها کمتر از ۱٪ فراوانی رخداد بارش‌های دوره است. درواقع فراوانی رخداد بارش ≥ 30 به ترتیب ۱، ۲، ۳ و کمتر از ۱ بار در سال است. در نتیجه عدم رخداد بارش‌های سنگین در این ایستگاه‌ها کاهش‌یافته و توزیع پواسون تخمین درستی از احتمال وقوع نخواهد داشت. همین‌طور احتمال $p(x=1)$ نسبت به احتمال‌های دیگر در چهار ایستگاه بسیار بالا است، به عبارت دیگر احتمال رخداد یکبار بارش نسبت به رخداد‌های بالاتر بیشتر بوده و جمع احتمال عدم رخداد و یکبار بارش بیشتر یا مساوی ۳۰ میلی‌متر بیش از ۹۰٪ است. توزیع پواسون ارزیابی خوبی از احتمال رخداد بارش ایستگاه‌های انزلی، رشت، لاهیجان و آستانه داشته و در برخی ایستگاه‌ها مانند ماشین‌خانه، قلعه‌رودخان، خرگیل، شهر بیجار، کسماء، اوستا قاسم‌محله، ماسوله، تالش و باش‌محله بیش از ۵۰٪ است.

تحلیل مکانی احتمال رخداد بارش‌های ≥ 30 در حوضه تالش - تالاب انزلی برای $p(x=0)$ تا $p(x=7)$ در فصل زمستان نشان می‌دهد که احتمال عدم رخداد بارش در دامنه‌های شمالی و شمال غربی در بخش کوهستانی کمتر از ۰/۱ است. در دامنه‌های شرقی و شمال شرق بر احتمال وقوع افزوده می‌شود (تا ۰/۶). به عبارتی ایستگاه‌های ماسوله، حویق، تالش، پونل و اطرافش فاقد رخداد بارش شدید با احتمال بالای ۵۰٪ است. همچنین احتمال ≥ 1 رخداد در فصل زمستان نشان می‌دهد که وقوع بارش در ایستگاه‌های شمال شرق و جنوب غرب بیشتر بوده و وقوع بارش شدید با احتمال بالای ۴۰٪ بوده و در $p(x=2)$ تا $p(x=4)$ احتمال کانون مستقلی را با رخداد کمتر از ۳۰٪ تشکیل داده و رخداد $p(x=6)$ و $p(x=7)$ قسمت اعظم ناحیه مورد مطالعه از احتمال کمتر از ۱۰٪ برخوردار است (شکل ۴). با افزایش

رخداد به ۵، هسته بیشینه احتمال نیز به سمت نواحی جلگه‌ای مانند انزلی و اطرافش جابه‌جا شده و چندین هسته جدا به وجود می‌آید.

جدول ۴: احتمال رخداد بارش سنگین ایستگاه‌های حوضه تالش - تالاب انزلی در فصل زمستان

نام ایستگاه	p= x	p= 1	p= 2	p= 3	p= 4	p= 5	p= 6	p= 7
آستارا	۰/۲۱	۰/۳۳	۰/۲۶	۰/۱۳	۰/۰۵۳	۰/۰۱۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱
باش محله	۰/۱۱	۰/۲۴	۰/۲۷	۰/۲۰	۰/۱۱	۰/۰۴۵	۰/۰۱۷	۰/۰۰۵
حویق	۰/۵۶	۰/۳۲	۰/۰۹۳	۰/۰۱۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
اوستا قاسم محله	۰/۲۹	۰/۳۶	۰/۲۳	۰/۰۹	۰/۰۲۸	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰
تالش	۰/۴۳	۰/۳۶	۰/۱۵	۰/۰۴۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
ماشین خانه	۰/۲۵	۰/۳۴	۰/۲۴	۰/۱۱	۰/۰۳۹	۰/۰۱۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
خرجگیل	۰/۳۱	۰/۳۶	۰/۲۱	۰/۰۸۲	۰/۰۲۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰
پونل	۰/۵۷	۰/۰۵۳	۰/۱۱	۰/۰۲۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
انزلی	۰/۰۴۳	۰/۱۴	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۱۷	۰/۵۵	۰/۰۵۷	۰/۰۲۶
رشت	۰/۰۵۵	۰/۱۶	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۱۶	۰/۰۹	۰/۰۴۵	۰/۰۱۹
کسماء	۰/۳۲	۰/۳۶	۰/۲۱	۰/۰۸	۰/۲۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰
ماسوله	۰/۴۲	۰/۳۶	۰/۱۶	۰/۰۴۶	۰/۰۳۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
قلعه رودخان	۰/۰۶۵	۰/۱۸	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۱۵	۰/۰۸۳	۰/۰۳۸	۰/۰۱۵
آستانه اشرفیه	۰/۰۹۰	۰/۲۲	۰/۲۶	۰/۲۱	۰/۱۲	۰/۰۶۰	۰/۰۲۴	۰/۰۱
لاهیجان	۰/۰۴۸	۰/۱۵	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۱۷	۰/۰۱۰	۰/۰۵۲	۰/۰۲۳
شهربیجار	۰/۱۴	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۱۸	۰/۰۸۷	۰/۰۳۴	۰/۰۱۱	۰/۰۰۳
منجیل	۰/۸۲	۰/۱۶	۰/۰۱۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
اردبیل	۰/۹۳	۰/۰۶۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
خلخال	۰/۹۰	۰/۰۹	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
گیلوان	۰/۹۷	۰/۰۳۲	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰



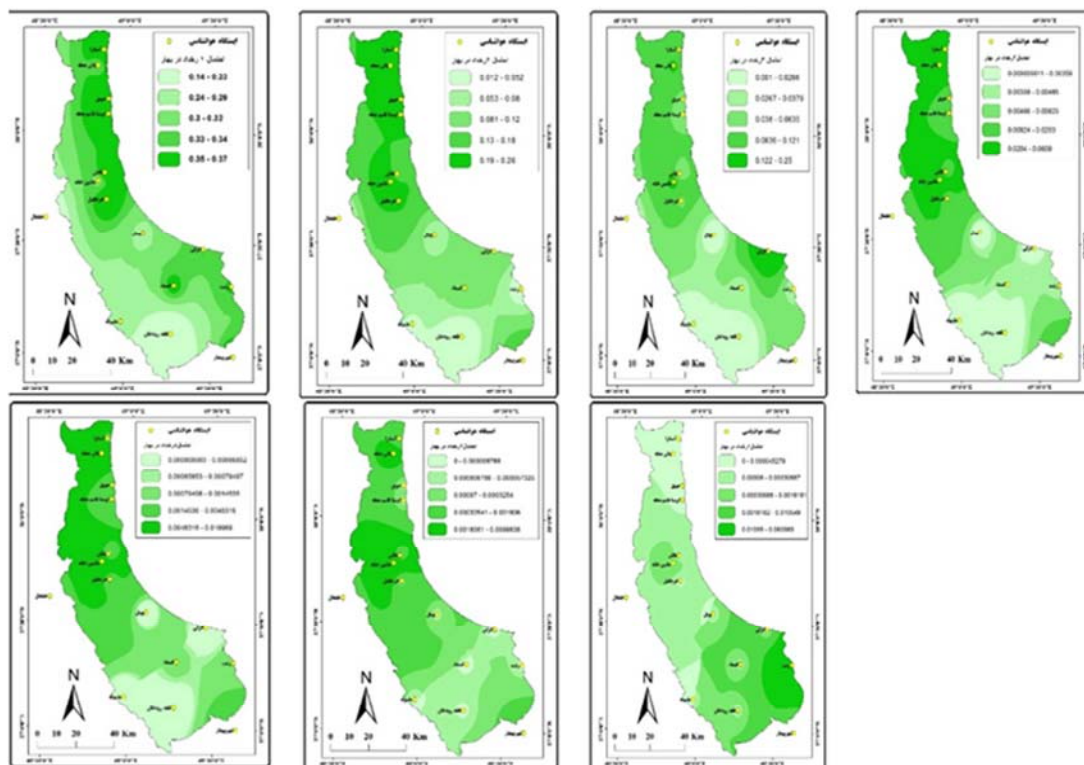
شکل ۴: احتمال رخداد بارش سنگین ایستگاه‌های حوضه تالش-تالاب انزلی در فصل زمستان

نتایج حاصل از احتمال رخداد بارش ≥ 30 میلی‌متر در فصل بهار برای ۰, ۱, ۲, ۳, ۴, ۵, ۶, ۷, ۸, ۹, ۱۰, ۱۱, ۱۲, ۱۳, ۱۴, ۱۵, ۱۶, ۱۷, ۱۸, ۱۹, ۲۰, ۲۱, ۲۲, ۲۳, ۲۴, ۲۵, ۲۶, ۲۷, ۲۸, ۲۹, ۳۰, ۳۱, ۳۲, ۳۳, ۳۴, ۳۵, ۳۶, ۳۷, ۳۸, ۳۹, ۴۰, ۴۱, ۴۲, ۴۳, ۴۴, ۴۵, ۴۶, ۴۷, ۴۸, ۴۹, ۵۰, ۵۱, ۵۲, ۵۳, ۵۴, ۵۵, ۵۶, ۵۷, ۵۸, ۵۹, ۶۰, ۶۱, ۶۲, ۶۳, ۶۴, ۶۵, ۶۶, ۶۷, ۶۸, ۶۹, ۷۰, ۷۱, ۷۲, ۷۳, ۷۴, ۷۵, ۷۶, ۷۷, ۷۸, ۷۹, ۸۰, ۸۱, ۸۲, ۸۳, ۸۴, ۸۵, ۸۶, ۸۷, ۸۸, ۸۹, ۹۰, ۹۱, ۹۲, ۹۳, ۹۴, ۹۵, ۹۶, ۹۷, ۹۸, ۹۹, ۱۰۰ محاسبه و در جدول (۵) آورده شده است. احتمال $p(x=0)$ یا عدم رخداد بارش در ایستگاه ماشین‌خانه ۰/۱۸۸ درصد و $p(x=0)$ تا $p(x=7)$ به ترتیب ۰/۳۱۴ و ۰/۲۶۳ و ۰/۱۴۶ و ۰/۰۶ و ۰/۰۲ درصد می‌باشد.

جدول ۵: احتمال رخداد بارش سنگین ایستگاه‌های حوضه تالش - تالاب انزلی در فصل بهار

p= 7	p= 6	p= 5	p= 4	p= 3	p= 2	p= 1	p= x	نام ایستگاه
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۴	۰/۰۲۰	۰/۰۷۴	۰/۲۰	۰/۳۷	۰/۳۳	استارا
۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۱۵	۰/۰۵۰	۰/۱۳	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۲۲	پاش محله
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۱۴	۰/۰۵۸	۰/۱۸	۰/۳۷	۰/۳۸	حویق
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۱۴	۰/۰۵۸	۰/۱۸	۰/۳۷	۰/۳۸	اوستا قاسم محله
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۰۳۵	۰/۱۴	۰/۳۶	۰/۴۶	تالش
۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲۰	۰/۰۶۱	۰/۱۵	۰/۲۶	۰/۳۱	۰/۱۹	ماشین خانه
۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۱۵	۰/۰۶۱	۰/۱۸	۰/۳۷	۰/۳۷	خرجگیل
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۸	۰/۰۶۰	۰/۲۸	۰/۶۵	پوئل
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	۰/۲۵	۰/۱۱	۰/۳۳	۰/۵۳	انزلی
۰/۰۶۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۲۶	۰/۰۳	۰/۳۴	۰/۵۱	رشت
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۲۸	۰/۱۲	۰/۳۵	۰/۵۰	کسماء
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۵	۰/۲۵	۰/۶۹	ماسوله
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۱۲	۰/۱۴	۰/۸۵	قلعه رودخان
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۲۰	۰/۰۹۸	۰/۳۳	۰/۵۵	استانه اشرفیه
۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۱۹	۰/۰۷	۰/۲۰	۰/۳۷	۰/۳۴	لاهیجان
۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۱۸	۰/۰۷	۰/۲۰	۰/۳۷	۰/۳۴	شهریجار
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۶۳	۰/۹۴	منجیل
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۳۲	۰/۹۷	اردبیل
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۷	۰/۱۱	۰/۸۸	خلخال
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۶۳	۰/۹۴	گیلان

احتمال به دست آمده از $p(x=0)$ نشان می‌دهد احتمال عدم رخداد چنین بارشی در اکثر ایستگاه‌ها در بهار بسیار کم بوده و وقوع آن حتمی است. در چهار ایستگاه منجیل، گیلوان، خلخال، اردبیل و حتی قلعه رودخان احتمال عدم رخداد بارش ≥ 30 بیش از ۸۴٪ بوده و بیانگر آن است که فراوانی رخداد این بارش‌ها کمتر از ۱٪ فراوانی رخداد بارش‌های دوره است. درواقع فراوانی رخداد بارش ≥ 30 به ترتیب ۲، ۲، ۴، ۱ و کمتر از ۱ بار در سال است. در نتیجه عدم رخداد بارش‌های سنگین در این ایستگاه‌ها کاهش یافته و توزیع پواسون تخمین درستی از احتمال وقوع نخواهد داشت (به غیر از ایستگاه قلعه رودخان که دارای شرایط خاص بوده و فراوانی رخداد بارش ≥ 30 آن در فصل بهار ۵۵٪ است). همین‌طور احتمال $p(x=1)$ نسبت به احتمال‌های دیگر در چهار ایستگاه بسیار بالا است، به عبارت دیگر احتمال رخداد یکبار بارش نسبت به رخدادهای بالاتر بیشتر بوده و جمع احتمال عدم رخداد و یکبار بارش بیشتر یا مساوی ۳۰ میلی‌متر بیش از ۹۰٪ است. توزیع پواسون ارزیابی خوبی از احتمال رخداد بارش ایستگاه‌های ماشین‌خانه، خرجیل، لاهیجان، آستانه، شهر بیجار، کسماء، اوستا قاسم محله، باش محله، انزلی، آستارا، حویق و تالش داشته و عمدتاً برخی از آنها بیش از ۵۰٪ است.



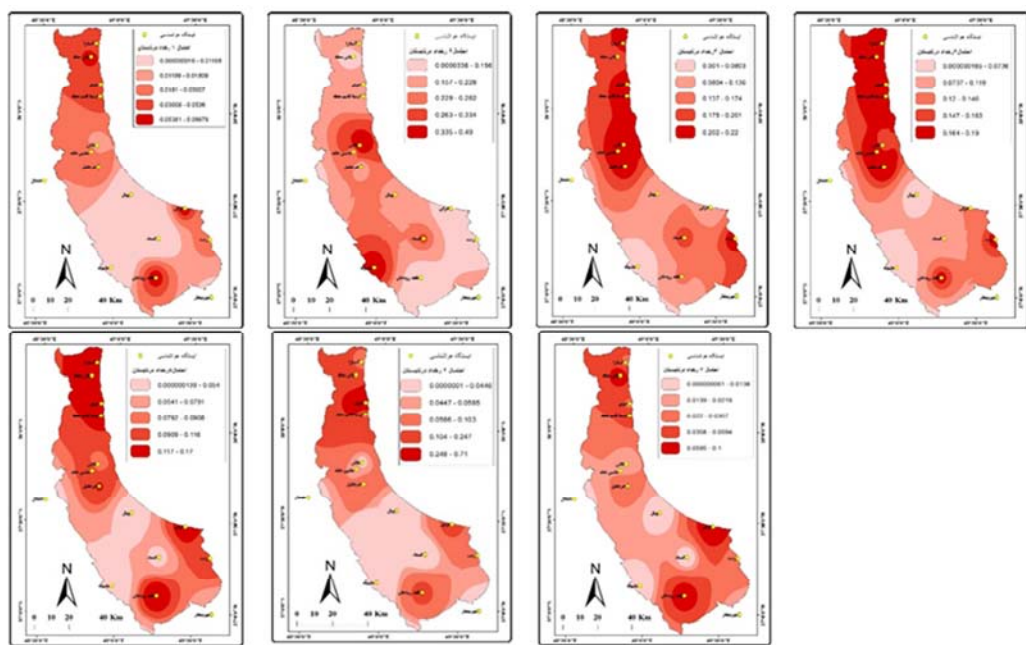
شکل ۵: احتمال رخداد بارش سنگین ایستگاه‌های حوزه تالش - تالاب انزلی در فصل بهار

در همین راستا تحلیل مکانی احتمال رخداد بارش‌های ≥ 30 در حوضه تالش-تالاب انزلی برای $p(x=0)$ تا $p(x=7)$ در فصل بهار نشان می‌دهد که احتمال عدم رخداد بارش در برخی ایستگاه‌های ساحلی و جلگه‌ای در سراسر محدوده مورد مطالعه کمتر از $0/1$ است و عدم وقوع بارش در ایستگاه قلعه‌رودخان و حوزه اطرافش مشاهده شده و بر احتمال وقوع افزوده می‌شود (تا $0/8$). همچنین احتمال ≥ 1 رخداد در فصل بهار نشان می‌دهد که وقوع بارش در ایستگاه‌های جلگه‌ای و ساحلی در شرق، شمال شرق و جنوب شرق بوده و وقوع بارش سنگین با احتمال بالا 30% بوده و کمترین وقوع بارش سنگین در ایستگاه قلعه‌رودخان کمتر از 10% است. احتمال $p(x=2)$ رخداد بارش در ایستگاه‌های، پونل، ماسوله، رشت و قلعه‌رودخان با احتمال وقوع کمتر از 10% و در سایر ایستگاه‌ها تا 30% و ایستگاه ماشین‌خانه، آستارا و باش‌محله با احتمال بالای 30% احتمال رخداد بارش مشاهده می‌شود و در احتمال $p(x=3)$ در ایستگاه‌های ماشین‌خانه و باش‌محله با احتمال وقوع کمتر از 20% و در ایستگاه انزلی با احتمال بالای 30% احتمال رخداد بارش مشاهده می‌شود. احتمال $p(x=4)$ و $p(x=7)$ در قسمت اعظم ناحیه مورد مطالعه از احتمال کمتر از 10% برخوردار است (شکل ۵).

نتایج حاصل از احتمال رخداد بارش ≥ 30 میلی‌متر در تابستان برای $x=0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ محاسبه و در جدول (۶) آورده شده است. احتمال $p(x=0)$ تا $p(x=7)$ یا عدم رخداد بارش در ایستگاه‌های منجیل 1% و ایستگاه‌های خلخال و گیلوان صفر است. همچنین احتمال $p(x=0)$ یا عدم رخداد بارش ایستگاه انزلی $0/03$ درصد و $p(x=0)$ تا $p(x=7)$ به ترتیب $0/17, 0/47, 0/88, 0/123, 0/138, 0/129$ و $0/103$ درصد می‌باشد. احتمال به‌دست‌آمده از $p(x=0)$ نشان می‌دهد، احتمال عدم رخداد چنین بارشی در اکثر ایستگاه‌ها در تابستان بسیار کم بوده و وقوع آن حتمی است. در سه ایستگاه اردبیل، ماسوله و قلعه‌رودخان احتمال عدم رخداد بارش ≥ 30 بیش از 75% بوده و بیانگر آن است که فراوانی رخداد این بارش‌ها کمتر از 1% فراوانی رخداد بارش‌های دوره است. درواقع فراوانی رخداد بارش ≥ 30 به ترتیب $1, 7, 142$ بار در سال است. به‌غیراز ایستگاه قلعه‌رودخان که دارای شرایط خاص بوده و فراوانی رخداد بارش ≥ 30 آن در فصل تابستان 142 بار است. درنتیجه عدم رخداد بارش‌های شدید در این ایستگاه‌ها کاهش یافته و توزیع پواسون تخمین درستی از احتمال وقوع نخواهد داشت. همین‌طور احتمال $p(x=1)$ نسبت به احتمال-های دیگر در سه ایستگاه یادشده بسیار بالا است، به‌عبارت‌دیگر احتمال رخداد یکبار بارش نسبت به رخداد‌های بالاتر بیشتر بوده و جمع احتمال عدم رخداد و یکبار بارش بیشتر یا مساوی 30 میلی‌متر بیش از 90% است. توزیع پواسون ارزیابی خوبی از احتمال رخداد بارش ایستگاه‌های ماشین‌خانه، خرگگیل، لاهیجان، آستانه، شهربیجار، کسما، اوستا-قاسم محله، آستارا، حویق و تالش داشته و عمدتاً برخی از آنها بیش از 50% است.

جدول ۶: احتمال رخداد بارش سنگین ایستگاه‌های حوضه تالش - تالاب انزلی در فصل تابستان

نام ایستگاه	p= x	p= 1	p= 2	p= 3	p= 4	p= 5	p= 6	p= 7
آستارا	۰/۰۳۷	۰/۱۲	۰/۲	۰/۲۲	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۰۳۱
باش محله	۰/۰۱۳	۰/۰۵۵	۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۰۷۷
حویق	۰/۰۳۳	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۷۱	۰/۰۳۴
اوستا قاسم محله	۰/۰۳۲	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۰۷۵	۰/۰۴
تالش	۰/۰۷	۰/۱۸	۰/۴۹	۰/۲۲	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۰۳۵	۰/۰۱۳
ماشین خانه	۰/۰۵۰	۰/۱۵	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۱۹	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۰۲۲
خرجگیل	۰/۰۳۷	۰/۱۲	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۰۳۱
پونل	۰/۲۹	۰/۳۶	۰/۲۲	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰
انزلی	۰/۰۰۳	۰/۰۱۷	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۰
رشت	۰/۰۴۵	۰/۱۴	۰/۰۰	۰/۲۲	۰/۱۷	۰/۱۱	۰/۰۶	۰/۰۲۵
کسماء	۰/۱۲	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۱۹	۰/۰۹۹	۰/۰۴۲	۰/۰۱۵	۰/۰۰۴
ماسوله	۰/۷۹	۰/۱۸	۰/۴۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
قلعه رودخان	۰/۸۵	۰/۰۳۸	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۰۸۴
آستانه اشرفیه	۰/۱۵	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۱۷	۰/۸۴	۰/۰۳۲	۰/۰۱	۰/۰۰۲
لاهیجان	۰/۰۴۵	۰/۱۴	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۱۷	۰/۱۱	۰/۰۵۶	۰/۰۲۴
شهربیجار	۰/۰۹۱	۰/۲۲	۰/۲۶	۰/۲۱	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۰۲۴	۰/۰۱
منجیل	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
اردبیل	۰/۹۷	۰/۰۳۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
خلخال	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
گیلوان	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰



شکل ۶: احتمال رخداد بارش سنگین ایستگاه‌های حوضه تالش - تالاب انزلی در فصل تابستان

همچنین تحلیل مکانی احتمال رخداد بارش‌های ≥ 30 در حوضه تالش-تالاب انزلی برای $p(x=0)$ تا $p(x=7)$ در تابستان نشان می‌دهد که احتمال عدم رخداد بارش در برخی ایستگاه‌های ساحلی و جلگه‌ای در سراسر محدوده مورد مطالعه کمتر از $0/1$ است و عدم وقوع بارش در ایستگاه ماسوله مشاهده شده و بر احتمال وقوع افزوده می‌شود (تا $0/8$). همچنین احتمال ≥ 1 رخداد در فصل تابستان نشان می‌دهد که وقوع بارش در تمام ایستگاه‌های جلگه‌ای و ساحلی وجود داشته و وقوع بارش شدید با احتمال بالای 30% در ایستگاه پونل و حوزه اطرافش بوده و کمترین وقوع بارش سنگین در ایستگاه قلعه‌رودخان، انزلی و باش‌محله کمتر از 10% است. احتمال $p(x=2)$ رخداد بارش در ایستگاه‌های انزلی، رشت و قلعه‌رودخان با احتمال وقوع کمتر از 10% و در سایر ایستگاه‌ها تا 30% و ایستگاه تالش با احتمال بالای 40% رخداد بارش مشاهده می‌شود. در احتمال $p(x=3)$ در ایستگاه‌های انزلی، ماسوله و پونل با احتمال وقوع کمتر از 10% و در اکثر ایستگاه‌ها تا 30% رخداد بارش مشاهده می‌شود. احتمال $p(x=4)$ رخداد بارش در ایستگاه‌های پونل، کسماء و ماسوله با احتمال وقوع کمتر از 10% و در سایر ایستگاه‌ها و در یک پهنه وسیع و با احتمال 30% احتمال رخداد بارش مشاهده می‌شود. احتمال $p(x=5)$ رخداد بارش در ایستگاه‌های پونل، تالش و ماشین‌خانه، کسماء و ماسوله با احتمال وقوع کمتر از 10% و در سایر ایستگاه‌ها با احتمال 20% رخداد بارش مشاهده می‌شود. احتمال $p(x=6)$ رخداد بارش در ایستگاه‌های پونل، تالش و ماشین‌خانه، کسماء و ماسوله با احتمال وقوع کمتر از 40% و تنها در ایستگاه حویق و حوضه اطرافش تا 80% رخداد بارش مشاهده می‌شود. احتمال $p(x=7)$ قسمت اعظم ناحیه مورد مطالعه کمتر از 10% برخوردار است و تنها در ایستگاه انزلی تا 20% احتمال رخداد بارش شدید مشاهده می‌شود (شکل ۶).

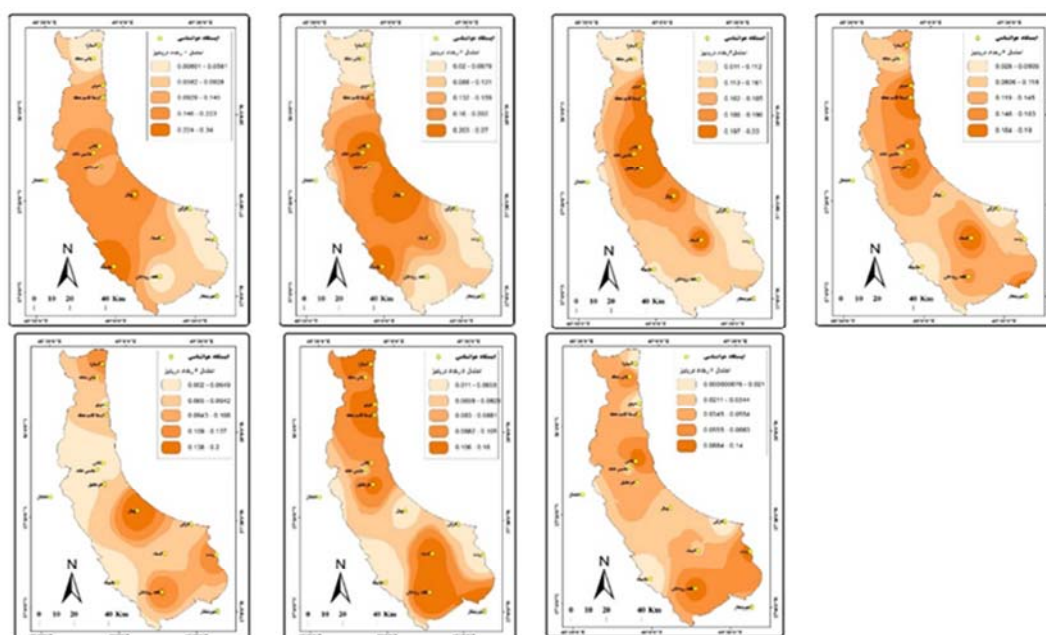
نتایج حاصل از احتمال رخداد بارش ≥ 30 میلی‌متر در فصل پاییز برای $x=0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ محاسبه و در جدول (۷) و شکل (۷) آورده شده است. احتمال $p(x=0)$ تا $p(x=7)$ یا عدم رخداد بارش در ایستگاه‌های قلعه‌رودخان، باش‌محله، آستانه‌اشرفیه و لاهیجان کمتر از 1% است. همچنین احتمال $p(x=0)$ یا عدم رخداد بارش ایستگاه انزلی $0/00008$ درصد و $p(x=0)$ تا $p(x=7)$ به ترتیب $0/00007, 0/03112, 0/01118, 0/02636, 0/04971, 0/07813$ و $0/1052$ درصد است. احتمال $p(x=0)$ نشان می‌دهد، عدم رخداد چنین بارشی در اکثر ایستگاه‌ها در فصل پاییز بسیار کم بوده و وقوع آن حتمی است. در سه ایستگاه خلخال، اردبیل و گیلوان احتمال عدم رخداد بارش ≥ 30 بیش از 80% بوده و فراوانی رخداد این بارش‌ها کمتر از 1% فراوانی رخداد بارش‌های دوره است. درواقع فراوانی رخداد بارش ≥ 30 به ترتیب $1, 7, 209$ بار در سال است. به‌استثنای ایستگاه لاهیجان که فراوانی رخداد بارش ≥ 30 آن در فصل تابستان 209 بار است، عدم رخداد بارش‌های شدید در این ایستگاه‌ها کاهش یافته و توزیع پواسون تخمین درستی از احتمال وقوع نخواهد داشت. همین‌طور احتمال $p(x=1)$ نسبت به احتمال‌های دیگر در ایستگاه آستانه و باش‌محله کمتر از دو ایستگاه یادشده است. توزیع پواسون ارزیابی خوبی از احتمال رخداد بارش ایستگاه‌های ماشین‌خانه، قلعه رودخان، خرگکیل، شهربیجار، کسماء، اوستاقاسم‌محله، ماسوله، حویق و تالش داشته و عمدتاً اکثر آنها بیش از 60% است.

جدول ۷: احتمال رخداد بارش سنگین ایستگاه‌های حوضه تالش - تالاب انزلی در فصل پاییز

نام ایستگاه	p= x	p= 1	p= 2	p= 3	p= 4	p= 5	p= 6	p= 7
آستارا	۰/۰۰۵	۰/۰۲۶	۰/۰۶۸	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱۰
باش محله	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۲	۰/۰۴۳	۰/۰۶۹	۰/۰۸۸	۰/۰۹۳	۰/۰۸۴
حویق	۰/۰۴۴	۰/۱۴	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۰۵۸	۰/۰۲۶
اوستا قاسم محله	۰/۰۳۱	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۰۷۵	۰/۰۳۷
تالش	۰/۰۴۸	۰/۱۵	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۱۷	۰/۱۰	۰/۰۵۲	۰/۰۲۲
ماشین خانه	۰/۰۷۲	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۲۲	۰/۱۴	۰/۰۷۶	۰/۰۳۳	۰/۰۱۲
خرجگیل	۰/۰۳۴	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۰۷۰	۰/۰۳۳
پونل	۰/۱۰	۰/۲۳	۰/۲۷	۰/۲۰	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۲۰	۰/۰۰۶
انزلی	۰/۰۰۰	۰/۰۰۷	۰/۰۳۱	۰/۰۱۱	۰/۰۲۶	۰/۰۵	۰/۰۷۸	۰/۱۱
رشت	۰/۰۰۲	۰/۰۱۲	۰/۰۳۶	۰/۰۷۱	۰/۱۱	۰/۰۲۱	۰/۱۳	۰/۱۱
ماسوله	۰/۲۵	۰/۳۴	۰/۲۴	۰/۱۱	۰/۰۳۹	۰/۰۱۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰
قلعه رودخان	۰/۰۰۴	۰/۰۲۲	۰/۰۵۹	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱۱
آستانه اشرفیه	۰/۰۰۴	۰/۰۲۲	۰/۰۶	۰/۰۱۱	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۲
لاهیجان	۰/۰۰۲	۰/۰۱۲	۰/۰۳۶	۰/۰۷۱	۰/۱۱	۰/۰۲۱	۰/۱۳	۰/۱۱
شهربیجار	۰/۰۲۰	۰/۰۷۹	۰/۱۵	۰/۲	۰/۲	۰/۱۵	۰/۰۹۹	۰/۰۵۵
اردبیل	۰/۸۸	۰/۱۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
خلخال	۰/۸۴	۰/۱۴	۰/۰۱۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
گیلوان	۰/۸۸	۰/۱۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

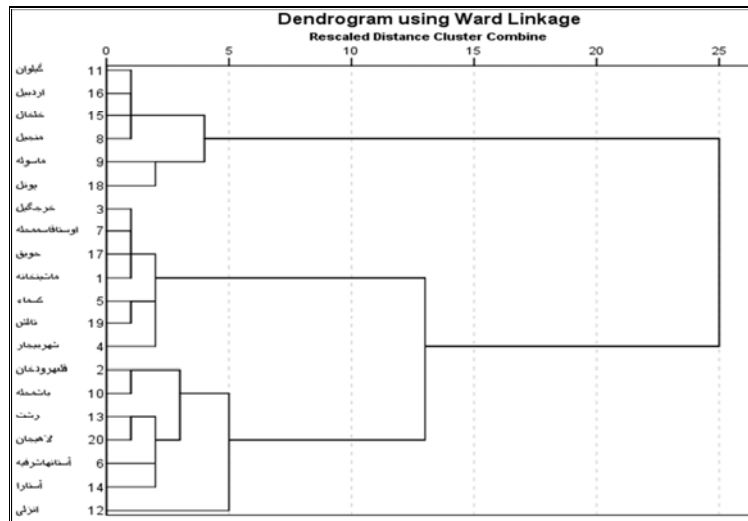
تحلیل مکانی احتمال رخداد بارش‌های ≥ 30 در حوضه تالش - تالاب انزلی برای $p(x=0)$ تا $p(x=7)$ در فصل پاییز نشان می‌دهد که احتمال عدم رخداد بارش در برخی ایستگاه‌های ساحلی و جلگه‌ای بیش از نیمی از محدوده مورد مطالعه کمتر از ۰/۱ است و عدم وقوع بارش در ایستگاه ماسوله در جنوب غربی آن مشاهده شده و بر احتمال وقوع افزوده می‌شود (تا ۰/۴). بنابراین ۸۰٪ ایستگاه‌های دارای رخداد بارش شدید هستند. احتمال ≥ 1 رخداد در فصل پاییز نشان می‌دهد که وقوع بارش در ایستگاه‌های جنوب شرقی و شمال شرقی کم بوده ولی در پهنه وسیعی از محدوده مورد مطالعه رخداد واقعی بارش زیاد است. وقوع بارش شدید با احتمال بالای ۳۰٪ در ایستگاه ماسوله در جنوب غربی حوضه و کمترین احتمال وقوع بارش شدید در ایستگاه قلعه‌رودخان، انزلی، باش‌محله و آستارا (کمتر از ۱٪) است. در روی نقشه $p(x=2)$ رخداد بارش در ایستگاه‌های جنوب شرقی (رشت، انزلی) و جنوب غربی (قلعه-رودخان)، شمال شرقی (باش محله و آستارا) احتمال وقوع بارش شدید کم بوده ولی در پهنه وسیعی از محدوده مورد مطالعه رخداد واقعی بارش زیاد است. ایستگاه ماسوله، پونل، تالش، ماشین‌خانه و حویق بیشترین احتمال را با بیش از ۳۰٪ در این فصل به همراه دارد. احتمال $p(x=3)$ در ایستگاه‌های جنوب شرقی (رشت و انزلی) و شمال شرقی (باش‌محله) تا ۱۰٪ بوده و در ایستگاه‌های (کسماء، پونل، خرجگیل، تالش، ماشین‌خانه، اوستا محله و حویق) بیشترین بارش شدید با احتمال بیش از ۳۰٪ مشاهده می‌شود. احتمال $p(x=4)$ رخداد بارش ایستگاه‌های جنوب شرقی (انزلی)، شمال شرقی (باش‌محله) و جنوب غربی (ماسوله) با احتمال وقوع کمتر از ۱۰٪ و در سایر ایستگاه‌ها و با احتمال بیش از ۲۰٪ احتمال رخداد بارش مشاهده می‌شود. احتمال $p(x=5)$ رخداد بارش در ایستگاه‌های جنوب شرقی (انزلی و رشت) و شمال و شمال شرقی (پونل، ماشین‌خانه و باش‌محله) و جنوب غربی (ماسوله) با احتمال

وقوع کمتر از ۱۰٪ و در سایر ایستگاه‌ها با احتمال بیش از ۲۰٪ احتمال رخداد بارش به دست آمده است. احتمال $p(x=6)$ رخداد بارش در ایستگاه‌های آستارا، پونل، رشت و قلعه رودخان دارای بارش شدید بیش از ۱۰٪ بوده و در ایستگاه حویق رخداد کمتر از ۱۰٪ حاصل شده است. احتمال $p(x=7)$ ایستگاه‌های آستارا، انزلی، رشت و کسما احتمال وقوع بارش شدید بالای ۱۰٪ برخوردار بوده و در سایر ایستگاه‌ها که پهنه وسیعی از محدوده مورد مطالعه را در بر گرفته و دارای بارش شدید با احتمال کمتر از ۱۰٪ مشاهده می‌شود (شکل ۷).



شکل ۷: احتمال رخداد بارش سنگین ایستگاه‌های حوزه تالش - تالاب انزلی در فصل پاییز

در همین راستا بررسی شباهت فراوانی رخداد بارش سنگین فصلی حوزه تالش - تالاب انزلی با استفاده از تحلیل خوشه‌ای نشان داد که سه گروه متفاوت در حوزه قابل شناسایی است (شکل ۸). گروه اول ایستگاه‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک را شامل می‌شود. تمامی ایستگاه‌های این گروه (به‌استثنای ماسوله و پونل) در دامنه جنوبی و غربی ارتفاعات تالش واقع هستند. گروه دوم شامل منطقه مرکزی و شمالی حوزه بوده و در شهرستان‌های صومعه-سرا، رضوانشهر، تالش و آستارا قرار دارند.



شکل ۸: نمودار تحلیل خوشه‌ای فراوانی رخداد بارش سنگین فصلی در حوضه تالش-تالاب انزلی

در نهایت گروه سوم، ایستگاه‌های واقع در جنوب، شرق و جنوب شرقی حوضه را در بر می‌گیرد. البته دو ایستگاه باش-محله و آستارا در بخش شمالی حوضه قرار دارند.

نتیجه‌گیری

یکی از عناصر آب و هوایی مهم که شناخت آن از الزام‌های بنیادی در شناخت آب و هوا است، بارش، حالت‌ها و شدت آن است. یکی از حالت‌های بارش، بارش فرین است. افزایش فراوانی رخداد پدیده‌های فرین از قبیل بارش‌های شدید، دوره‌های تر و خشک، یخبندان‌ها و غیره یکی از پیامدهای مهم تغییرهای اقلیم است. در این پژوهش، یکی از عناصر اصلی اقلیم یعنی فراوانی رخداد بارش ≥ 30 با استفاده از روش آزمون گرافیکی من-کندال و وجود روند یا عدم وجود روند و معنی‌داری یا عدم معنی‌داری آن مورد بررسی قرار گرفت، نتایج به‌دست‌آمده نشان داد: در تمام فصول سال تغییرهای نامنظم و تصادفی در فراوانی رخداد بعضی از ایستگاه‌ها مشاهده می‌شود که این بی‌نظمی در اثر عدم تداوم افزایش یا کاهش فراوانی رخداد بارش یا عدم وقوع بارش ≥ 30 در برخی از ایستگاه‌ها ایجاد می‌شود. روند تغییرهای بارش در ۱۳ ایستگاه داخل حوضه و چهار فصل سال، به این صورت به دست آمده است که در $53/8\%$ حالت‌ها فاقد روند، $40/4\%$ دارای روند افزایشی و $13/5\%$ دارای روند کاهشی بوده است. روند افزایشی شدید بیشتر در نیمه جنوبی حوضه تالش (۴ ایستگاه تالش، ماشین‌خانه، خرجگیل و پونل) به دست آمده است. در محدوده شمالی حوضه بزرگ تالش (۴ ایستگاه آستارا، باش‌محله، حویق و اوستاقاسم محله) در تابستان روند کاهشی و در سایر فصل‌ها روند تغییرها نامنظم و تا حدودی افزایشی است. در ۵ ایستگاه حوضه تالاب انزلی (انزلی، رشت، کسماء، ماسوله و قلعه‌رودخان) به غیر از ماسوله و انزلی سایر ایستگاه دارای روند کاهشی بوده و ایستگاه انزلی فقط در فصل بهار و ماسوله به غیر از فصل بهار دارای روند افزایشی هستند.

محمدی (۱۳۹۱) روند آستانه بارش‌های سنگین ایران را با استفاده از داده‌های ۱۳۴۷ ایستگاه همدید، اقلیمی و باران‌سنجی در دوره ۴۰ ساله بررسی کرد. ایشان پس از مشخص کردن آستانه بارش سنگین هرسال، از روش‌های ناپارامتری من-کندال برای تحلیل روند آستانه بارش‌های سنگین و از روش برآورد کننده شیب خط سنس، برای تخمین شیب خط روند، استفاده کرده است، نتایج نشان داد که روند افزایشی معنی‌داری در آستانه بارش‌های سنگین سالانه ایران به‌ویژه از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۸۲ مشاهده شده است که این مقدار افزایشی به‌طور متوسط ۰/۵ میلی‌متر در هرسال برآورد شده است.

این یافته‌ها با نتایج تحقیق محمدی (۱۳۹۲) هماهنگی دارد. ایشان نشان داد که روند افزایشی معنی‌داری در آستانه بارش‌های سنگین سالانه ایران به‌ویژه از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۸۲ مشاهده شده است. در این تحقیق نیز در بین حالت‌های ممکن تغییر روند بخش عمده‌ای از فصول و ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی بوده و این روند در قسمت‌های مرکزی حوزه تحقیق مشهودتر است. همچنین با تحقیق رضانی گورابی و ایزک‌مهری (۱۳۹۴) که به کلاسه‌بندی زمانی و مکانی بارش سنگین در گیلان با استفاده از (GIS) پرداخته و در تحلیل دهه‌ای مشخص نموده که تغییرهای چندانی به لحاظ فراوانی بارش سنگین در ایستگاه‌های مورد مطالعه رخ نداده است و میانگین بارش سنگین پرباران-ترین ایستگاه‌های استان در مرکز و بسیار نزدیک به خط ساحلی می‌باشند نیز تطابق دارد. عساکره و همکاران (۱۳۹۱) در تحلیل روند بارش‌های سنگین در شهر زنجان، به نتیجه تقریباً مشابه رسیده‌اند که مشاهده‌های مورد بررسی در طول دوره آماری و در دو مقیاس سالانه - ماهانه فاقد روند معنی‌دار هستند. اما بارش بیشینه با دو فاز پرفاوت‌وخیز در دوره ۱۹۷۳-۱۹۶۱ و کم‌افت‌وخیز در دوره ۲۰۰۶-۱۹۷۴ مشخص می‌شود.

* نتایج توزیع احتمال نشان داد که توزیع فضایی احتمال $p(x=0)$ تا $p(x=n)$ نشان از جابجایی هسته احتمال برای x ‌های مختلف است. در زمستان توزیع پواسون ارزیابی خوبی از احتمال رخداد بارش ایستگاه‌های انزلی، رشت داشته و در برخی ایستگاه‌ها مانند ماشین‌خانه، قلعه‌رودخان، خرگیل، کسماء، اوستا قاسم‌محله، ماسوله، تالش و باش‌محله بیش از ۵۰ است. در بهار توزیع پواسون ارزیابی خوبی از احتمال رخداد بارش ایستگاه‌های ماشین‌خانه، خرگیل، کسماء، اوستا قاسم‌محله، باش‌محله، انزلی، آستارا، حویق و تالش داشته و عمدتاً برخی از آنها بیش از ۵۰ است. در تابستان توزیع پواسون ارزیابی خوبی از احتمال رخداد بارش ایستگاه‌های ماشین‌خانه، خرگیل، لاهیجان، آستانه، شهر بیجار، کسماء، اوستا قاسم‌محله، آستارا، حویق و تالش داشته و عمدتاً برخی از آنها بیش از ۵۰٪ است. در پاییز توزیع پواسون ارزیابی خوبی از احتمال رخداد بارش ایستگاه‌های ماشین‌خانه، قلعه‌رودخان، خرگیل، شهر بیجار، کسماء، اوستا قاسم‌محله، ماسوله، حویق و تالش داشته و عمدتاً اکثر آنها بیش از ۶۰٪ است. همچنین احتمال رخداد فراوانی بارش ≥ 30 با توزیع پواسون نشان داد که احتمال عدم رخداد در ایستگاه‌های دارای اقلیم غیرمرطوب بسیار بالا و جمع عدم رخداد با یک رخداد، بیش از ۹۰ فراوانی رخداد بارش ≥ 30 را تشکیل می‌دهند. همچنین حداکثر احتمال برای رخداد‌های مختلف و در همه فصول سال در ایستگاه‌های شمالی اوستا قاسم‌محله و تالش، مرکزی (ماشین‌خانه، خرگیل) و جنوبی کسماء، اتفاق افتاده است و توزیع پواسون ارزیابی مناسبی از رخداد‌های بارش این ناحیه دارد. در نهایت تحلیل خوشه‌ای فراوانی رخداد بارش سنگین فصلی نشان داد ناحیه مورد مطالعه به سه بخش کاملاً متمایز قابل تقسیم است. ایستگاه‌های گروه اول دارای کمترین فراوانی، ایستگاه‌های گروه دوم دارای فراوانی متوسط و ایستگاه‌های گروه سوم از بیشترین فراوانی رخداد برخوردار هستند.

منابع

- اوجی روح‌اله و پروین غفاریان (۱۳۹۸). شناسایی و برآورد بارش‌های فرین سواحل جنوبی دریای خزر بر اساس نظریه مقدار فرین، فصلنامه اقیانوس‌شناسی، ۹ (۳۴)، ۳۹-۴۸.
- باهک بتول (۱۳۹۲). بررسی احتمال تغییر اقلیم در استان کرمان با روش من-کندال (مطالعه موردی ایستگاه کرمان)، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، ۱۰ (۳۹)، ۶۵-۷۲.
- جانبازقبادی غلامرضا، عباس مفیدی و آذر زرین (۱۳۹۰). شناسایی الگوهای هم‌دید بارش‌های شدید زمستانه در سواحل جنوبی دریای خزر، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۲ (۴۲)، ۲۳-۴۰.
- خوشرو عبدالله، امیر گندمکار، علیرضا حاجیان (۱۳۹۴). مطالعه روند تغییرات دمای شبانه در ایران مرکزی به روش ناپارامتری من-کندال، فصلنامه جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، ۵ (۴)، ۷-۲۴.
- رمضانی‌گورابی بهمن و سوده ایزک‌مهری (۱۳۹۴). کلاسه‌بندی زمانی و مکانی بارش سنگین در گیلان با استفاده از GIS، مجله علوم جغرافیایی، ۲۲ (۲۲)، ۲۸-۴۱.
- رضائی پرویز و محمود روشنی (۱۳۸۹). بررسی بارش‌های رگباری و روند تغییرات آن در استان گیلان، فضای جغرافیایی، ۱۰ (۳۰)، ۱-۲۰.
- رضائی پرویز، محمود روشنی و سمیه کشاورز (۱۳۹۷). تحلیل آماری-هم‌دید بارش‌های ماه مرداد در جنوب غربی ساحل دریای خزر، دومین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد- دانشکده علوم انسانی، ۱۹ اردیبهشت ماه ۱۳۹۷.
- عساکره حسین (۱۳۹۱). تغییر توزیع فراوانی بارش‌های فرین شهر زنجان، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی (مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان)، ۲۳ (۴۵)، ۵۱-۶۶.
- عساکره حسین (۱۳۹۱). تحلیل روند بارش‌های سنگین در شهر زنجان، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی دانشگاه تبریز، ۱۶ (۳۹)، ۷۳-۸۸.
- عساکره حسین (۱۳۹۰). مبانی اقلیم‌شناسی آماری، انتشارات دانشگاه زنجان، چاپ اول.
- فرسنادیا فرهاد، محسن رستمی‌کامرود و علیرضا مقدم‌نیا (۱۳۹۱). تحلیل روند بارندگی در استان مازندران با استفاده از روش من-کندال منطقه‌ای، مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۸ (۲۴)، ۶۰-۷۰.
- صفریور فرهاد، جواد خوشحال‌دستجردی و ابوالفضل مسعودیان (۱۳۹۸). پیش‌بینی بارش‌های سنگین غرب کشور بر اساس برآوردهای رادار هواشناسی با استفاده از روش Z-R، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۸ (۲۲)، ۵۹-۷۴.
- محمدی بختیار (۱۳۹۲). تحلیل روند سالانه آستانه بارش‌های سنگین ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۸ (۱۰۸)، ۱۶۳-۱۷۶.
- محمدی حسین، قاسم عزیزی، فرامرز خوش‌اخلاق و فیروز رنجبر (۱۳۹۶). تحلیل روند شاخص‌های حدی بارش روزانه در ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران، ۴۹ (۱)، ۲۱-۳۷.
- مربانجی زهره و عباسی حامد (۱۳۹۵). پهنه‌بندی احتمال رخداد بیشینه بارش روزانه در استان همدان، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی سپهر، ۲۵ (۱۰۰)، ۸۹-۹۶.
- مظفری غلامعلی، احمد مزیدی و شهاب فتحی (۱۳۹۶). بررسی و تعیین آستانه بارش‌های حدی غرب ایران با استفاده از روش توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌و‌خاک، ۲۴ (۲)، ۱۰۷-۱۲۵.
- معروف‌نژاد عباس و شهلا قاسمی (۱۳۹۶). روند تغییرات دما با استفاده از روش من-کندال (مطالعه موردی چهار شهرستان استان چهارمحال و بختیاری)، فصلنامه آمایش محیط، ۱۰ (۳۷)، ۱۴۹-۱۶۶.
- مفیدی عباس، آذر زرین و غلامرضا جانبازقبادی (۱۳۸۹). تعیین الگوی هم‌دید بارش‌های شدید و حدی پاییزه در سواحل جنوبی دریای خزر، مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۳ (۳)، ۱۳۱-۱۵۴.
- نادی مهدی و خلیلی علی (۱۳۹۲). طبقه‌بندی اقلیم بارش ایران با روش تحلیل عاملی-خوشه‌ای، مجله تحقیقات آب‌و‌خاک ایران، دانشگاه تهران، ۴۴ (۳)، ۲۳۵-۲۴۲.
- Amin, M. T., Rizwan, M., & Alazba, A., (2016). A best-fit probability distribution for the estimation of rainfall in northern regions of Pakistan, Open Life Sci, 11, 432-440.

- Anagnostopoulou, Ch., and Tolika, K. (2011). Extreme precipitation in Europe: statistical threshold selection based on climatological criteria, *J. Theor. Appl. Climatol.* 30 July, 489-479.
- Barkotulla, M. A. B., (2017). Probability analysis for estimation of annual extreme rainfall. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, (JBES). ISSN: 2220-6arho663, 10(2), 248-253.
- Jones, R., Hayley, J., Fowler, Ch., Kilsby, G., and Blenkinsop, S. (2012). An assessment of changes in seasonal and annual extreme rainfall in the UK between 1961 and 2009. *J. Climatol.* DOI: 10.1002/joc.3503.
- Kendall, M.G., (1970), *Rank Correlation Methods*, 2nd Ed., New York: Hafner.
- Roradeh, H., Safarrad, T., (2018). Analysis of Sea-air Temperature Difference on Regional Heavy Precipitation in the Southern Coasts of Caspian Sea during fall, *Physical Geography Research Quarterly*, 49(1), 71-83.
- Seo, Y., Hwang, J., & Kim, B., (2017). Extreme Precipitation Frequency Analysis Using a Minimum Density Power Divergence Estimator. <http://www.mdpi.com/journal/water>, 9(2), 81; 1-17.
- Soltani, S, Modarres, R, (2006). Classification of Spatio -Temporal Pattern of Rainfall in Iran Using A Hierarchical and Divisive Cluster Analysis, *Journal of Sp.*

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره نهم، شماره ۲۵، پاییز ۱۳۹۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۲۴

تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۰۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۲۱

صفحات: ۶۰ - ۴۱

مقاله (علمی پژوهشی)

شناسایی مناسب‌ترین راهبردهای بیابان‌زایی به روش بردار ویژه و مدل ویگور

محمدحسن صادقی روش^{۱*}، حسن خسروی^۲

۱. دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان

۲. دانشیار گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

چکیده

بیابان‌زایی عبارت است از تخریب اراضی در نواحی خشک، نیمه‌خشک و خشک نیمه مرطوب که در نتیجه‌ی عوامل گوناگون از جمله تنوع اقلیمی و فعالیت‌های انسانی حادث می‌شود. توسعه بیابان محدودیت‌های بسیاری از لحاظ کشاورزی، تأمین مواد غذایی، پرورش دام، توسعه صنعت و ارائه هزینه‌های خدماتی ایجاد می‌نماید. این پدیده فرایندی است که به تدریج توسعه و تشدید یافته و هزینه‌های اصلاح آن به شکل تصاعدی افزایش می‌یابد؛ بنابراین با توجه به محدودیت منابع و حساسیت مناطق بیابانی، ارائه راهبردهای بهینه مقابله با بیابانی شدن به صورت بومی از ضرورت‌های امر و شرط لازم دستیابی به موفقیت در کنترل و کاهش اثرهای این پدیده است. بنابراین این پژوهش باهدف ارائه راهبردهای بهینه به صورت نظام‌مند و در قالب یک مدل تصمیم‌گیری گروهی انجام گرفت. به این منظور در ابتدا در چارچوب روش تصمیم‌گیری چند شاخصه و با استفاده از تکنیک بردار ویژه، ارجحیت شاخص‌ها به دست آمد و سپس اولویت راهبردها با استفاده از مدل ویگور مورد ارزیابی قرار گرفت. با ارزیابی شروط انتخاب راهبردهای بهینه در چارچوب مدل یادشده ملاحظه شد که راهبردهای جلوگیری از تبدیل و تغییر نامناسب کاربری اراضی (A_{18}) با شاخص ویگور معادل صفر ($Q=0$)، توسعه و احیاء پوشش گیاهی (A_{23}) با شاخص ویگور $Q=0.3083$ و تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی (A_{31}) با شاخص ویگور $Q=0.6241$ به ترتیب به‌عنوان مهم‌ترین راهبردهای بیابان‌زدائی در منطقه می‌باشند. بنابراین پیشنهاد شد که در طرح‌های کنترل و کاهش اثرهای بیابان‌زایی و احیاء اراضی تخریب یافته، نتایج و رتبه‌بندی به‌دست‌آمده موردتوجه قرار گیرد.

واژگان کلیدی: تکنیک بردار ویژه، تصمیم‌گیری چند معیاره، کنترل مخاطرات بیابان‌زایی، مدل ویگور، مقایسه زوجی.

مقدمه

مسائل مربوط به مدیریت مناطق بیابانی و ازجمله ارزیابی راهبردهای مطرح و ارائه راهبردهای بهینه دارای ابعاد پیچیده و چندگانه می‌باشند. از طرفی راه‌حل‌های ارائه‌شده همیشه در محیط‌های عدم اطمینان و تحت تأثیر شدید قضاوت‌های مبهم و غیرصریح قرار می‌گیرند. بنابراین شیوه‌های تصمیم‌گیری چند معیاره^۱ که هدفشان انتخاب بهترین جواب از بین راه‌حل‌های مختلف می‌باشد، موردتوجه قرار گرفت. از این‌رو هدف از این پژوهش با توجه به محدودیت نهاده‌ها، ارزیابی راهبردهای بیابان‌زدایی به‌منظور دستیابی به راهبردهای بهینه در چارچوب مدیریت پایدار مناطق بیابانی می‌باشد. جهت دستیابی به این هدف، در چارچوب مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه، روش بهینه‌سازی چند معیاره و حل سازشی^۲ که بیان‌گر نتایج عالی نزدیک به واقعیت می‌باشد (چنگ^۳، ۲۰۰۴)، به‌منظور رتبه‌بندی راهکارهای بیابان‌زدائی مدنظر قرار گرفت.

بامطالعه منابع تحقیقاتی، پیشینه به‌کارگیری مدل‌های تصمیم‌گیری در ارائه راهبردهای بهینه در چارچوب مدیریت مناطق بیابانی به کارهای گرایو و همکاران، صادقی روش و همکاران و سپهر و پرویان محدود می‌شود. گرایو در پژوهش خود به‌منظور انتخاب راهبردهای بهینه به‌منظور ارائه طرحی یکپارچه جهت کنترل فرسایش و بیابان‌زایی از سه مدل تصمیم‌گیری، انتخاب حذفی در ترجمه به واقعیت^۴، فرایند تحلیلی سلسله مراتبی^۵ و روش ساختاریافته‌ی رتبه‌بندی ترجیحی برای غنی‌سازی ارزیابی‌ها^۶ استفاده کرد (گرایو^۷ و همکاران، ۲۰۱۰). نتایج حاصله نشان‌گر کارایی بالای این مدل‌ها در ارائه راهبردهای بهینه کنترل مخاطرات بیابان‌زایی بود و باوجود روش‌های پیچیده مورد استفاده در هر مدل، نتایج حاصله تا حدود زیادی یکسان بود. صادقی‌روش نیز با کاربرد مدل‌های فرایند تحلیل سلسله مراتبی (صادقی‌روش و همکاران، ۱۳۸۹)، فرایند تحلیلی سلسله مراتبی فازی^۸ (صادقی‌روش و همکاران، ۲۰۱۵)، تکنیک اولویت‌بندی ترجیحی بر اساس تشابه به پاسخ‌های ایده‌آل^۹ (صادقی‌روش و همکاران، ۲۰۱۲)، تکنیک اولویت‌بندی ترجیحی بر اساس تشابه به پاسخ‌های ایده‌آل فازی^{۱۰} (صادقی‌روش و طهمورث، ۱۳۹۳)، الکترا (صادقی‌روش و خسروی، ۲۰۱۴)، بردا^{۱۱} (صادقی‌روش، ۱۳۹۳؛ صادقی‌روش و خسروی، ۱۳۹۵)، مدل مجموع وزنی^{۱۲} (صادقی‌روش و زهتابیان، ۱۳۹۲)، مدل جای‌گشت^{۱۳} (صادقی‌روش، ۱۳۹۲)، روش ساختاریافته‌ی رتبه‌بندی ترجیحی برای غنی‌سازی ارزیابی‌ها^{۱۴} (صادقی‌روش و همکاران، ۲۰۱۶-a)، فرایند تحلیل شبکه^{۱۵} (صادقی‌روش و خسروی، ۱۳۹۴)، مدل تخصیص خطی^{۱۶} (صادقی‌روش و همکاران، ۲۰۱۶-b)، تحلیل عاملی^{۱۷} (صادقی‌روش و خسروی، ۱۳۹۷)،

¹ - Multi Attribute Decision Making(MADM)

² - Vlse Kriterijumsk Optimizacija Kompromisno Resenje(VIKOR)

³ - Cheng

⁴ - Elimination et Choice Translating Reality(ELECTRE)

⁵ - Analyzes Hierarchy Process(AHP)

⁶ - Preference Ranking Organization METHod For Enrichment Evaluation(PROMETHEE)

⁷ - Grau

⁸ - Fuzzy Analyzes Hierarchy Process(FAHP)

⁹ - Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution(TOPSIS)

¹⁰ - Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution(FTOPSIS)

¹¹ - BORDA

¹² - Weighted Sum Model(WSM)

¹³ - PERMUTATION

¹⁴ - Preference Ranking Organization METHod For Enrichment Evaluation(PROMETHEE)

¹⁵ - Analytical Network Process(ANP)

¹⁶ - Linear Assignment(LA)

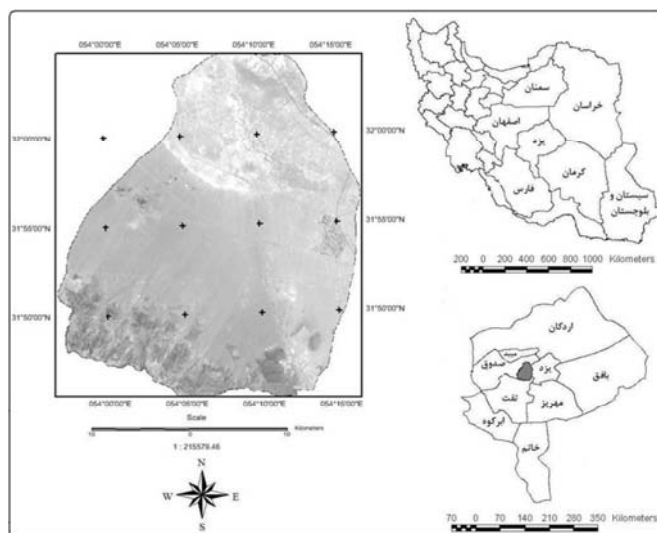
¹⁷ - Principal Factor Analysis(PFA)

تئوری مطلوبیت چند معیاره^۱ (صادقی روش و جبالبارزی، ۱۳۹۶) و مدل اورسته^۲ (صادقی روش، ۱۳۹۷) به اولویت-بندی راهبردهای کنترل مخاطرات بیابان زایی در منطقه خضرآباد پرداخت. نتایج حاصله از این مطالعه های یکسان و تا حدود زیادی مشابه نتایج حاصله از پژوهش انجام شده می باشد. سپهر و پرویان نیز با کاربرد مدل نارتبه ای پرومته ضمن پهنه بندی آسیب پذیری بیابان زایی در اکوسیستم های استان خراسان رضوی، اقدام به ارزیابی راهبردهای مقابله با بیابان زایی کردند (سپهر و پرویان، ۲۰۱۱). این در حالی است که هیچ سابقه ای از کاربرد مدل ویگور در حوزه مسائل مربوط به مدیریت مناطق بیابانی و از جمله انتخاب سیستماتیک راهبردهای بهینه در فرایند کنترل و کاهش شرایط بیابانی چه در داخل ایران و چه در خارج از ایران مشاهده نشد.

داده ها و روش ها

الف - منطقه مورد مطالعه

دشت یزد- خضرآباد با وسعتی معادل ۷۸۱۸۰ هکتار در ۱۰ کیلومتری غرب شهر یزد در موقعیت جغرافیایی ۵۳°۵۵' الی ۵۴°۲۰' طول شرقی و ۳۱°۴۵' الی ۳۲°۱۵' عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱) که از نظر اقلیمی در شرایط خشک و سرد بیابانی طبقه بندی می شود. ۱۲۹۳۰ هکتار (۱۶/۵٪) از اراضی منطقه را تپه ها و پهنه های ماسه ای شکل داده که ارگ^۳ بزرگ اشکذر با وسعتی معادل ۸۹۲۳ هکتار در شمال منطقه با انواع رخساره های تخریبی و فرسایشی به چشم می خورد. در عین حال از کل اراضی زراعی منطقه ۱۹۹۵ هکتار (۲۶/۵٪) را اراضی مخروبه حاصل از عملیات انسانی و فرایندهای طبیعی تشکیل داده است که نشان دهنده وضعیت کاملاً خاص از نظرگاه بیابان زایی در منطقه و بیان کننده لزوم پرداختن به راه حل های کنترل مخاطرات بیابان زایی در این حوزه است.



شکل ۱: موقعیت دشت یزد- خضر آباد

¹ - Multi-Attribute Utility Theory(MAUT)

² - Organisation Rangement Et Synthese de donnees Relationnelles(ORESTE)

³ - Erg

ب: روش تحقیق

به‌طور خلاصه مراحل به‌کارگیری این روش به ترتیب ذیل می‌باشد.

- تعیین اهمیت و اولویت معیارها و راهبردها و تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری

- انتخاب معیارها و راهبردهای مؤثر

انتخاب معیارها و راهبردها از طیف وسیعی از معیارها و راهبردها را می‌توان از طریق طوفان مغزها، روش دلفی یا روش گروه اسمی^۱ به دست آورد. در این پژوهش با استفاده از تکنیک دلفی و با تهیه پرسشنامه از متخصصان آشنا به منطقه مطالعاتی خواسته شد که معیارها و راهبردهای مؤثر را بیان و در دامنه ۰ تا ۹ امتیازدهی کنند. درنهایت با به دست آوردن میانگین امتیازهای داده‌شده به هر معیار یا راهبرد، مواردی که دارای امتیازهای کمتر از ۷ بودند ($\bar{X} < 7$) حذف و معیارها و راهبردهای باقی‌مانده ($\bar{X} \geq 7$) به‌عنوان معیارها و راهبردهای مؤثر مدنظر قرار می‌گیرد (آذر و رجب‌زاده، ۱۳۹۶؛ آذر و معماربانی، ۱۳۸۲؛ صادقی روش و همکاران، ۱۳۸۹).

- برآورد وزن نسبی معیارها و راهبردها و تشکیل ماتریس مقایسه‌های زوجی گروهی

در ادامه به‌منظور دستیابی به وزن نسبی^۲، پرسشنامه‌ای تهیه و از کارشناسان آشنا به منطقه مطالعاتی خواسته می‌شود که به ترتیب معیارها و راهبردهای مؤثر حاصل‌شده از مرحله قبل را از نظر اهمیت نسبت به هدف و اولویت نسبت به تک‌تک معیارها در مقیاس ۱ الی ۹ ساعتی (جدول ۱) مورد مقایسه‌های زوجی^۳ قرار دهند. پس از تشکیل ماتریس مقایسه‌های زوجی کارشناسان (جدول ۲)، از روش میانگین هندسی و با فرض اینکه نظرهای تمامی کارشناسان از درجه اهمیت یکسانی برخوردار است، از رابطه ۱ اقدام به تلفیق قضاوت‌ها کرده و ماتریس مقایسه‌های زوجی گروهی شکل داده می‌شود (آذر و رجب‌زاده، ۱۳۹۶؛ قدسی پور، ۱۳۹۵).

$$\bar{a}_{ij} = \left(\pi_{k=1}^N a_{ij}^k \right)^{\frac{1}{N}} \quad (1)$$

جدول ۱: درجه ارجحیت (مقیاس زوجی) ۹ گانه ساعتی (Saaty, 1977)

درجه اهمیت	تعریف
۱	اهمیت یکسان
۳	نسبتاً مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر
۵	اهمیت شدید یا مطلوبیت قوی
۹	اهمیت فوق‌العاده زیاد یا کاملاً مرجح یا کاملاً
۲، ۴، ۶، ۸	ترجیحات بین فواصل فوق
۱/۹، ۱/۸، ۱/۷، ۱/۶، ۱/۵، ۱/۴، ۱/۳	ارزش‌های متقابل ارزیابی‌های انجام‌شده

1 - Nominal Group Technique

2 - Local Priority

3 - Pair wise

جدول ۲: ماتریس مقایسه‌های زوجی

A=	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}	$A=[a_{ij}^+]$, $i = 1,2,...,m$ $j = 1,2,...,n$
	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}	
	:	:	:	:	
	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}	

- استخراج اوزان راهبردهای مؤثر بر مبنای جدول‌ها مقایسه‌های زوجی گروهی

در این مرحله اعداد جدول‌ها ماتریس مقایسه‌های زوجی گروهی اولویت راهبردها نسبت به هر معیار بعد از نرمال سازی با استفاده از رابطه ۲، بر مبنای روش میانگین موزون یا میانگین هر سطح از ماتریس نرمال شده برآورد شد.

$$\bar{r}_{ij} = \frac{\bar{a}_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad (2)$$

- تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری نرمالیزه^۱

در این مرحله مقادیر وزنی اولویت راهبردها (P_{ij}) بر مبنای هر معیار، در قالب ماتریس کلی تصمیم‌گیری (جدول ۳) لحاظ می‌شود.

جدول ۳: ماتریس تصمیم‌گیری نرمالیزه

Alt	Criterion				
	C_1	C_2	C_3	...	C_n
A_1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	...	P_{1n}
A_2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	...	P_{2n}
:	:	:	:	:	:
A_m	P_{m1}	P_{m2}	P_{m3}	...	P_{mn}

در این ماتریس m : تعداد گزینه‌ها یا راهبردها، n : تعداد معیارها C : عنوان معیار و P_{ij} : مقدار وزنی نرمال که هر گزینه با توجه به معیار مربوطه کسب می‌کند، می‌باشد.

- محاسبه اوزان معیارهای مؤثر با استفاده از تکنیک بردار ویژه

تکنیک‌هایی برای شناخت و دانستن اهمیت نسبی معیارهای مؤثر موجود وجود دارد؛ در این تکنیک‌ها، مجموع وزن هر مجموعه برابر با واحد (نرمالیزه) بوده و اهمیت نسبی درجه‌ی ارجحیت هر معیار را نسبت به بقیه معیارها برای تصمیم‌گیری در زمینه‌ی موردنظر می‌سنجند. در این زمینه چهار روش برای ارزیابی اوزان معیارها در تصمیم‌گیری وجود دارد که عبارتند از: روش آنتروپی شانون، روش لینمپ، روش کمترین مجذورهای وزین شده و تکنیک بردار ویژه (اصغرپور، ۱۳۹۴).

در این تحقیق از روش تکنیک بردار ویژه استفاده شده است. در این روش اگر ماتریس مقایسه‌های زوجی گروهی معیارها را A در نظر بگیریم (جدول ۲) و دترمینان ماتریس $(A-\lambda)$ (جدول ۴) را برابر صفر قرار دهیم (که در آن λ مجهول و I ماتریس یک $m \times n$ است) مقادیر ویژه ماتریس A به دست می‌آید. همچنین اگر بزرگ‌ترین مقدار ویژه A

¹ - Normalized Decision Matrix(NDM)

$(\lambda_{\max})$ را در ماتریس $((A - \lambda I)^*(W_1, W_2, \dots, W_n)^T)$ به جای λ قرار دهیم و حاصل را مساوی صفر فرض کنیم با حل معادله ایجادشده بردار ویژه ماتریس A که همان وزن‌های نسبی $(W_1, W_2, \dots, W_n)$ است به دست خواهد آمد. با استفاده از این روش، ناسازگاری ماتریس در وزن‌ها اعمال و نتایج به واقعیت نزدیک‌تر می‌شود (رمضانی مهربان و همکاران، ۱۳۹۰).

جدول ۴: دترمینان ماتریس $A - \lambda I$

$A - \lambda =$	$1 - \lambda$	a_{12}		a_{1n}
	a_{21}	$1 - \lambda$		a_{2n}
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	a_{m1}	a_{m2}		$1 - \lambda$

بردار ویژه، یکی از روش‌های مناسب در شرایط عدم ثبات کامل برای ماتریس مقایسه‌های زوجی است که اولین بار توسط ساعتی (ساعتی^۱، ۱۹۷۷) از تجزیه ماتریس مربع و عکس پذیر D به بردار ویژه^۲ به ازای عنصر ماکزیمم ویژه^۳ آن (λ) استفاده نمود (رابطه ۳).

$$D.W = \lambda_{\max} \times W \quad (۳)$$

یک طریقه محاسبه بردار ویژه W ، استفاده از توان‌افزایی (k) برای ماتریس D است و سپس نرمالیزه کردن نتایج حاصل از آن می‌باشد (رابطه ۴).

$$W_j = \frac{\lim_{k \rightarrow \infty} D^k \times e}{e^t \times D^k \times e} \quad (۴)$$

در این رابطه:

W_j = مقدار وزنی نرمال که هر معیار در ارتباط با هدف کسب می‌کند.

D = ماتریس مقایسه‌های زوجی گروهی ارجحیت معیارها نسبت به هدف است.

$$e = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{به‌طوری‌که}$$

برمبنای این روش معیار واجد بیشترین وزن، بیشترین نقش در تصمیم‌گیری را نیز دارد (اصغریور، ۱۳۹۴).

– ارزیابی اولویت راهبردها با کاربرد مدل ویگور

روش ویگور یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره برای حل یک مسئله‌ی تصمیم‌گیری گسسته با معیارهای نامتناسب (واحدهای اندازه‌گیری مختلف) و متعارض می‌باشد که اولین بار توسط اپروکویچ (اپروکویچ^۱، ۱۹۹۸) ارائه شد؛ سپس

^۱ - Saaty

^۲ - Eigenvector

^۳ - Eigenvalue

توسط اپروکویچ و تزینگ در سال ۲۰۰۴ توسعه یافت و به صورت کاربردی در حل مسائل مدل های تصمیم گیری چند شاخصه به کار رفت (اپروکویچ و تزینگ^۲، ۲۰۰۴). مفهوم اساسی روش ویگور بر تعاریف نقاط ایده آل مثبت و منفی متکی است. کارایی این روش، در مواقعی بیشتر نمود پیدا می کند که تصمیم گیرنده قادر به بیان ترجیحات خود در شروع طراحی سیستم نیست. این روش از راه حل های توافقی برای حل مسائل استفاده می کند. راه حل توافقی، یک قرارداد سازشی دوطرفه است که با توجه به شکل ۲ و طی روابط ۵ و ۶ به جواب ایده آل نزدیک است (اپروکویچ و تزینگ، ۲۰۰۴). راه حل توافقی به علت آنکه حداکثر مطلوبیت گروهی و حداقل تأسف فردی را در بردارد، مورد پذیرش تصمیم گیرندگان قرار می گیرد.

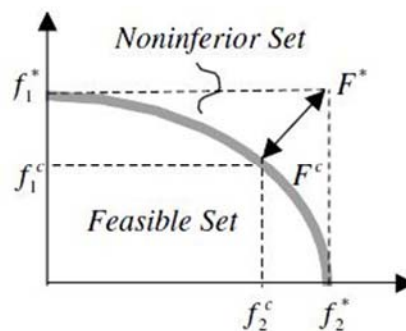
$$\Delta f_1 = f_1^* - f_1^c \quad (5)$$

$$\Delta f_2 = f_2^* - f_2^c \quad (6)$$

در این روابط:

F^c : یک جواب شدنی برای راه حل سازشی و

F^* : نزدیک ترین مقدار به ایده آل است.



شکل ۲: راه حل ایده آل و توافقی

الگوریتم رتبه بندی ویگور دارای مراحل ذیل است:

- تعیین بهترین و بدترین هر یک از معیارها در میان همه راهبردها

که به ترتیب به صورت f_j^* و f_j^- بیان می شود (رابطه ۷).

$$f_j^* = \max f_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$f_j^- = \min f_{ij}$$

¹ - Opricoviz

² - Tzeng

در این رابطه:

$$f_j^* = \text{بهترین مقدار برای معیار } j\text{ام}$$

$$f_j^- = \text{بدترین مقدار برای معیار } j\text{ام}$$

اگر تمامی f_j^* را به هم پیوند بزنیم یک ترکیب بهینه با بیشترین امتیاز خواهد داد (نقطه ایده‌آل مثبت) و در مورد f_j^- نیز بدترین امتیاز (نقطه ایده‌آل منفی) شکل خواهد گرفت.

- محاسبه مقدار سودمندی^۱ (S_i) و تأسف^۲ (R_i) معیارها از روابط ۸ و ۹

$$L_{1,i} = S_i = \sum_{j=1}^n w_j \times \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad (۸)$$

$$L_{\infty,i} = R_i = \text{Max} \left\{ w_j \times \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right\} \quad (۹)$$

در این روابط:

w_j : اوزان معیارها بیانگر اهمیت نسبی است.

S_i : بیانگر فاصله نسبی راهبرد i ام از راهحل ایده‌آل مثبت (بهترین ترکیب)

و R_i بیانگر حداکثر ناراحتی راهبرد i ام از دوری از راهحل ایده‌آل مثبت می‌باشد.

- محاسبه شاخص ویگور

برای هر گزینه شاخص ویگور (تابع ترکیب یا تابع مزیت) با رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود:

$$Q_i = v \left[\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} \right] + (1-v) \left[\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \right] \quad (۱۰)$$

$$S^- = \text{Max}_i S_i, \quad S^* = \text{Min}_i S_i$$

$$R^- = \text{Max}_i R_i, \quad R^* = \text{Min}_i R_i$$

در این رابطه $v \in [0,1]$ به‌عنوان وزنی است که بر اساس میزان حداکثر توافق گروه تعیین می‌گردد (وزنی برای استراتژی ماکسیمم مطلوبیت گروهی است).

-رتبه‌بندی راهبردها

راهبردها بر اساس مقادیر S ، R و Q و به‌صورت نزولی مرتب می‌شوند و نتایج به‌صورت سه لیست رتبه‌بندی به دست می‌آید.

^۱ - Utility measure

^۲ - Regret measure

اگر دو شرط زیر برقرار باشد می توان راه حل سازشی با راهبرد a' که با بهترین مقادیر Q رتبه بندی شده است، ارائه کرد.

شرط اول: وضعیت قابل قبول

زمانی که a'' دومین راهبرد در لیست رتبه بندی با مقادیر Q است، طبق رابطه ۱۱ شرط اول برآورد می شود.

$$Q(a'') - Q(a') \geq \frac{1}{i-1}, \quad i = \text{number of alternatives} \quad (11)$$

شرط دوم: ثبات قابل قبول در تصمیم گیری

راهبرد a' همچنین باید دارای بالاترین رتبه در لیست S یا R یا هر دو باشد. این راه حل سازشی ثبات درونی یک روند سازشی را نشان می دهد و عمدتاً اگر $V > 0.5$ باشد، قابل قبول است یا غیر قابل قبول است، اگر $V < 0.5$ یا $V \approx 0.5$ حالت توافقی ایجاد می کند. درواقع V یک وزن است که از استراتژی تصمیم گیری ها گرفته شده و اگر یکی از شروط راضی کننده نباشد، یک سری از راه حل های سازشی (توافقی) پیشنهاد می گردد:

۱- راهبردهای a' و a'' اگر فقط شرط دوم برقرار نباشد.

۲- راهبردهای $a', a'', a''', \dots, a^m$ اگر شرط اول برقرار نباشد و a^m به کمک رابطه ۱۲ برای بیشترین مقدار m تعیین می شود.

$$Q(a^m) - Q(a') < \frac{1}{i-1} \quad (12)$$

بهترین گزینه، رتبه بندی شده به وسیله Q ، گزینه ای است که مقدار حداقل Q را دارد (اپروکوویچ و تزینگ، ۲۰۰۴؛ اپروکوویچ و تزینگ، ۲۰۰۷؛ اپروکوویچ و تزینگ، ۲۰۰۸؛ چانگ، ۲۰۱۰)

یافته ها و نتایج تحقیق

انتخاب معیارها و راهبردهای مهم و اولویت دار

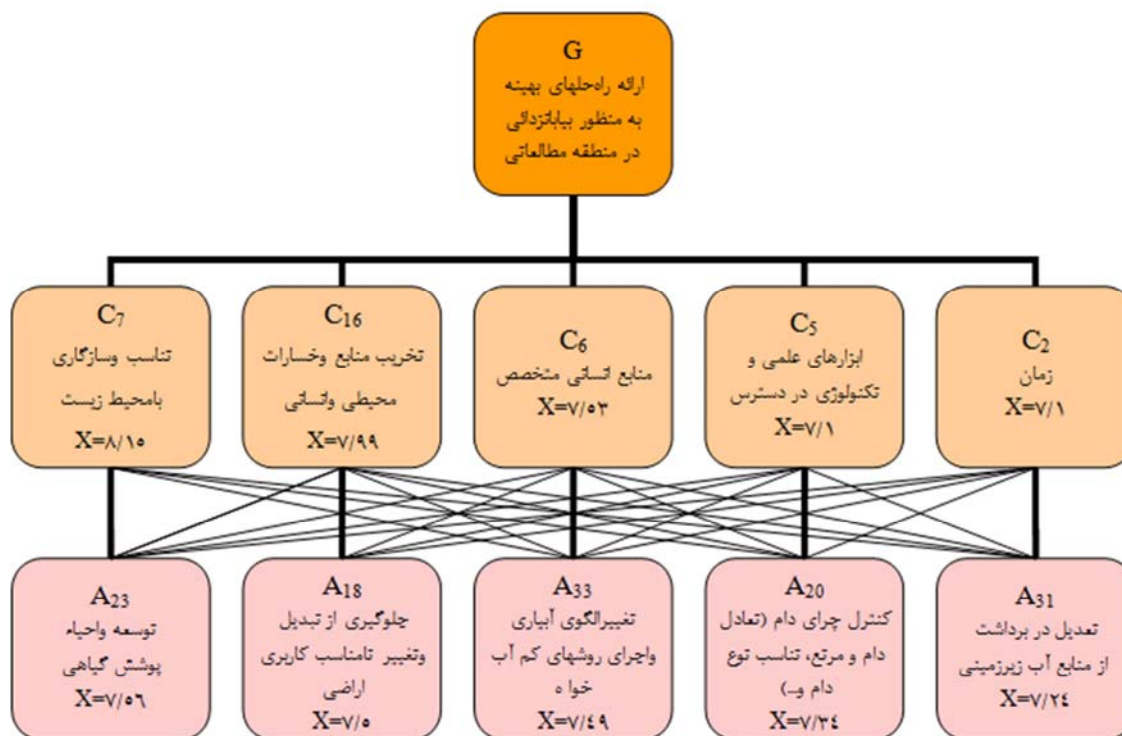
در فرایند ارزیابی راهبردهای بیابان زدایی در منطقه مطالعاتی، ابتدا به منظور دستیابی به معیارها و راهبردهای مهم و اولویت دار از نظر گروه، از روش دلفی استفاده شد (صادقی روش و همکاران، ۱۳۸۹؛ صادقی روش، ۱۳۸۷) و از میان ۱۶ معیار و ۴۰ راهبرد نهایی نظرخواهی شده، راهبردها و معیارهای مهم و اولویت دار انتخاب (جدول ۵ و ۶) و نمودار سلسله مراتب تصمیم گیری جهت ارائه راه حل های بهینه کنترل مخاطرات بیابان زایی ترسیم شد (شکل ۳).

جدول ۵: معیارهای پیشنهادی و میانگین اهمیت آنها از نظر گروه

نشانه	C _۱	C _۲	C _۳	C _۴	C _۵	C _۶
معیار (Criteria)	هزینه - سود	زمان	مشارکت مردمی	زیبائی چشم انداز	ابزارهای علمی و تکنولوژی در دسترس	منابع انسانی متخصص
میانگین امتیازها	۵/۳۸	۷/۱	۵/۷۸	۵/۱	۷/۱	۷/۵۳
نشانه	C _۷	C _۸	C _۹	C _{۱۰}	C _{۱۱}	C _{۱۲}
معیار (Criteria)	تناسب و سازگاری با محیط زیست (پایداری)	مدیریت سنتی و دانش بومی	دولت سالاری در بیابان زدایی	درآمدهای نفتی دولت	مدیریت های موقتی	مشکلات مربوط به نوآوری و تغییر روش ها
میانگین امتیازها	۸/۱۵	۵/۲۳	۵/۲۸	۵/۷۲	۲/۳۹	۲/۸۴
نشانه	C _{۱۳}	C _{۱۴}	C _{۱۵}	C _{۱۶}		
معیار (Criteria)	راحت طلبی سیستم های اداری دولتی	فشارهای سیاسی و اجتماعی	مسائل اورژانسی ناشی از بیابان زدایی	تخریب منابع و خسارت های محیطی و انسانی		
میانگین امتیازها	۲/۲۹	۵/۳۵	۶/۳۴	۷/۹۹		

جدول ۶: راهبردهای پیشنهادی و میانگین اولویت آنها از نظر گروه

میانگین اولویت	راهبردها	میانگین اولویت	راهبردها
	A _{۲۲} - جلوگیری از بوته کنی و قطع اشجار A _{۲۳} - توسعه و احیای پوشش گیاهی A _{۲۴} - حفاظت از تاغ زارها (جوان سازی و زادآوری تاغ‌ها) ۶/۴۶ ۷/۵۶ ۶/۷۶ A _{۲۵} - حفاظت از سطوح سنگریزه‌ای در منطقه (رگ) A _{۲۶} -جلوگیری و کاهش تردد ماشین‌آلات سنگین کشاورزی و صنعتی ۶/۴۵ ۵/۵۷ ۶/۸۶ A _{۲۷} - ایجاد بادشکن‌های زنده و غیرزنده دارای کاربری حفاظت خاک ۴/۶۶ A _{۲۸} - اصلاح بافت خاک - توسعه کشاورزی پایدار A _{۲۹} - اصلاح روش‌های تناوب زراعی و آیش ۵/۴۲ A _{۳۰} - اصلاح روش‌های شخم‌زنی، کود دهی، سم‌پاشی ۵/۱ - توسعه و مدیریت پایدار منابع آب (آبخوان‌داری) A _{۳۱} - تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی ۷/۲۴ A _{۳۲} - کاهش مصرف آب (مصرف بهینه آب در مزارع) ۶/۶ A _{۳۳} - تغییر در الگوی آبیاری و اجرای روش‌های کم آبخواه ۷/۴۹ A _{۳۴} - تبدیل سیستم‌های آبیاری از سنتی با بازده کم به مدرن و تحت‌فشار با بازده زیاد ۶/۵۳ A _{۳۵} - جمع‌آوری و استحصال بهینه منابع آب (شامل: ایزوله نمودن نهرها، مرمت و لایروبی قنات‌ها، استفاده از کانال‌ها و مجاری، تعبیه آب‌انبارها و استخرها، نمک‌زدایی از آب‌های لب‌شور و شور و غیره) ۶/۰۸ A _{۳۶} - تغذیه آب‌های زیرزمینی ۵/۳ A _{۳۷} - احداث شبکه‌های پخش سیلاب و استفاده از آبرفت آن ۳/۴۷ A _{۳۸} - ایجاد بارش‌های مصنوعی جهت تغذیه آبخوان‌ها ۶/۲ A _{۳۹} - ترویج و گسترش کشت گلخانه‌ای و تحت کنترل از نظر مصرف آب و تبخیر و تعرق ۶ A _{۴۰} - معرفی ارقام گیاهی جدید و مقاوم به خشکی و تنش‌های کم‌آبی از طریق مهندسی ژنتیک	۵ ۵/۶۸ ۵/۳۷ ۶/۷ ۶/۱ ۶/۵۶ ۶/۴۷ ۵/۷۳ ۵/۸۹ ۵/۶ ۴/۵ ۵/۲۳ ۶/۸۶ ۴/۸ ۵/۳۲ ۵/۲۷ ۳/۷۹ ۷/۵ ۶/۴۴ ۷/۳۴ ۶/۶	- اصلاح، ایجاد و تقویت زیرساخت‌های اقتصادی - اجتماعی مناطق حاشیه‌ای A _۱ - کاهش نرخ رشد جمعیت A _۲ - فقر زدایی A _۳ - ایجاد و تقویت سازمان‌های روستایی A _۴ - افزایش اشتغال A _۵ - افزایش مشارکت مردمی و حمایت از NGOها A _۶ - به‌کارگیری نیروهای بومی و تکنولوژی محلی در طرح‌ها (دانش بومی) A _۷ - آموزش مردم در به‌کارگیری روش‌های جدید و استفاده از دانش روز جهت کاربرد بهینه منابع A _۸ - تصویب، تقویت و اجرای قوانین متناسب جرم با مجازات A _۹ - تأمین نیازهای ساکنان بومی A _{۱۰} - تعدیل الگوهای مصرف ناپایدار و تغییر و اصلاح شیوه‌های معیشتی مردم A _{۱۱} - توجه به نقش زنان و جوانان در بیابان‌زدایی A _{۱۲} - سازمان‌دهی نواحی شهری و جلوگیری از مهاجرت A _{۱۳} - ایجاد هماهنگی بین ادارات و سازمان‌های مسئول در امر بیابان‌زدایی و حفاظت محیط‌زیست A _{۱۴} - بالا بردن نرخ باسوادی A _{۱۵} - توسعه طبیعت‌گردی بیابانی A _{۱۶} - استفاده چندمنظوره از بیابان به‌جای استفاده موردی A _{۱۷} - سپردن مسئله بیابان‌زدایی به بخش خصوصی A _{۱۸} - جلوگیری از تبدیل و تغییر نامناسب کاربری اراضی A _{۱۹} - تهیه نقشه آمایش سرزمین و تعیین محدوده‌های بیابانی و حواشی کویرها و بیابان‌ها - حفاظت از پوشش گیاهی A _{۲۰} - کنترل چرای دام (تعادل دام و مرتع، تناسب نوع دام، جلوگیری از چرای خارج از فصل و غیره) A _{۲۱} - تولید علوفه و افزایش پتانسیل اقتصاد پایدار دامدار



شکل ۳: سلسله‌مراتب تصمیم‌گیری به منظور ارائه راه‌حل‌های بهینه در زمینه بیابان‌زدایی منطقه مطالعاتی

برآورد ماتریس مقایسه‌های زوجی گروهی

پس از مشخص شدن معیارها و راهبردهای مهم و اولویت‌دار از نظر گروه، از روش مقایسه‌های زوجی، ماتریس مقایسه‌های زوجی هر متخصص شکل گرفت و در ادامه از طریق رابطه میانگین هندسی، ماتریس مقایسه‌های زوجی اهمیت معیارها نسبت به هدف (جدول ۷) و اولویت راهبردها نسبت به تک‌تک معیارها (جدول ۸) از نظر گروه با استفاده از نرم‌افزار^۱ EC به دست آمد. به منظور جلوگیری از اطاله کلام فقط ماتریس اولویت راهبردها نسبت به معیار تناسب و سازگاری با محیط‌زیست (C_۷) ارائه شده است (جدول ۸).

جدول ۷: ماتریس زوجی گروهی معیارها نسبت به هدف "ارائه راهبردهای بهینه بیابان‌زدایی"

C _۲	C _۵	C _۶	C _{۱۶}	C _۷	G
۳/۳۸۹۵	۲/۵۵۳۸	۲/۵۵۸۸	۱/۲۴۵۱	۱	C _۷
۳/۰۸۰۲	۳/۰۷۷۳	۲/۳۳۵۵	۱	۰/۸۰۳۱	C _{۱۶}
۲/۰۴۴۷	۱/۷۴۲۰	۱	۰/۴۲۸۲	۰/۳۹۰۸	C _۶
۱/۳۱۷۸	۱	۰/۴۱۵۷	۰/۳۲۵۰	۰/۳۹۱۶	C _۵
۱	۰/۷۵۸۸	۰/۴۸۹۱	۰/۳۲۴۷	۰/۲۹۵۰	C _۲

^۱ - Expert Choice

جدول ۸: ماتریس زوجی گروهی راهبردها نسبت به معیار " تناسب و سازگاری با محیط زیست "

A_{r1}	A_{r2}	A_{r3}	A_{r4}	A_{r5}	C_7
۰/۹۳۲۰	۱/۲۶۷۹	۱/۵۷۲۸	۱/۱۱	۱	A_{r3}
۱/۳۰۲۱	۱/۵۹۵۷	۲/۳۷۳۳	۱	۰/۹۰۰۹	A_{r4}
۱/۰۵۹۹	۱/۲۰۶۹	۱	۰/۴۲۱۳	۰/۶۳۵۸	A_{r5}
۰/۸۶۷۳	۱	۰/۸۲۸۶	۰/۶۲۶۷	۰/۷۸۸۷	A_{r2}
۱	۱/۱۵۳۰	۰/۹۴۳۴	۰/۷۶۸۰	۱/۰۷۳۰	A_{r1}

محاسبه وزن نسبی راهبردها و تشکیل ماتریس تصمیم گیری^۱ گروهی

با انجام عمل نرمال سازی و محاسبه میانگین موزون، اولویت راهبردهای بیابان زدائی برحسب هر معیار در منطقه مطالعاتی از نظر گروه به دست آمد. جدول ۹ به عنوان نمونه ماتریس نرمال شده اعداد جدول مقایسه های زوجی گروهی اولویت راهبردها نسبت به معیار " تناسب و سازگاری با محیط زیست " ارائه شده است.

جدول ۹: ماتریس نرمال شده اعداد جدول مقایسه های زوجی گروهی اولویت راهبردها نسبت به معیار " تناسب و سازگاری با محیط زیست "

اولویت راهبردها (P_i)	A_{r1}	A_{r2}	A_{r3}	A_{r4}	A_{r5}	C_7
۰/۲۲۵۷	۰/۱۸۰۶	۰/۲۰۳۷	۰/۲۳۴۱	۰/۲۸۲۷	۰/۲۲۷۴	A_{r3}
۰/۲۶۴۳	۰/۲۵۲۳	۰/۲۵۶۴	۰/۳۵۳۳	۰/۲۵۴۷	۰/۲۰۴۸	A_{r4}
۰/۱۵۹۹	۰/۲۰۵۴	۰/۱۹۳۹	۰/۱۴۸۸	۰/۱۰۷۳	۰/۱۴۴۵	A_{r5}
۰/۱۵۸۲	۰/۱۶۸۰	۰/۱۶۰۷	۰/۱۲۳۳	۰/۱۵۹۶	۰/۱۷۹۳	A_{r2}
۰/۱۹۱۸	۰/۱۹۳۷	۰/۱۸۵۳	۰/۱۴۰۴	۰/۱۹۵۶	۰/۲۴۳۹	A_{r1}

مطابق جدول ها اوزان نسبی راهبردها (جدول ۹) ملاحظه شد که برحسب هر معیار راهبردهای انتخابی متفاوت می باشند. بنابراین، به منظور انتخاب نهایی راهبردها و درجه بندی اولویت آنها، ماتریس تصمیم گیری راهبردهای بهینه بیابان زدائی از نظر گروه (جدول ۱۰) شکل گرفت. سپس، اهمیت معیارهای مطرح در ارائه راهبردهای کنترل مخاطرات بیابان زایی از روش بردار ویژه طی مراحل ذیل برآورد شد و در نهایت بر مبنای مدل ویگور، اولویت نهایی راهبردها از نتایج حاصل از اهمیت معیارها و اولویت راهبردهای حاصل شده، تعیین شد.

جدول ۱۰: ماتریس تصمیم گیری راهبردهای بهینه کنترل مخاطرات بیابان زایی از نظر گروه

C_2	C_5	C_6	C_{16}	C_7	معیارها (C)
					راهبردها (A)
۰/۲۵۰۹	۰/۲۳۸۷	۰/۲۴۸۸	۰/۱۸۰۵	۰/۲۲۵۷	A_{r3}
۰/۱۹۶۰	۰/۱۶۳۵	۰/۱۹۸۳	۰/۲۳۸۳	۰/۲۶۴۳	A_{r4}
۰/۱۶۲۰	۰/۲۵۶۵	۰/۲۰۹۳	۰/۱۵۱۰	۰/۱۵۹۹	A_{r5}
۰/۲۲۲۹	۰/۱۷۶۲	۰/۱۶۰۸	۰/۲۲۰۹	۰/۱۵۸۲	A_{r2}
۰/۱۶۸۲	۰/۱۶۳۳	۰/۱۸۲۶	۰/۲۰۹۲	۰/۱۹۱۸	A_{r1}

¹ - Decision Matrix-DM

تعیین اهمیت معیارهای مطرح در فرایند کنترل مخاطرات بیابان‌زایی از روش بردار ویژه پس از تشکیل ماتریس مقایسه‌های گروهی معیارها (جدول ۷)، وزن هر کدام از معیارها با استفاده از تکنیک بردار ویژه (رابطه ۴) در نرم‌افزار MATLAB محاسبه و نتایج در جدول ۱۱ ارائه شد.

جدول ۱۱: اوزان معیارها در انتقالات یکم تا پنجم

معیارها (C) ◀	C _۷	C _{۱۶}	C _۶	C _۵	C _۲
W _۱	۰/۳۲۶۰۰۱	۰/۳۱۲۳۱۸	۰/۱۷۰۰۴۱	۰/۱۰۴۶۵۴	۰/۰۸۶۹۸۴
W _۲	۰/۳۳۹۸۹۸	۰/۳۱۱۱۵۹	۰/۱۵۷۱۰۵	۰/۱۰۳۰۶۴	۰/۰۸۸۷۷۱
W _۳	۰/۳۳۸۶۷۵	۰/۳۱۱۲۷۳	۰/۱۵۷۰۷۲	۰/۱۰۳۹۳۳	۰/۰۸۹۰۴۵
W _۴	۰/۳۳۸۶۷۷	۰/۳۱۱۲۶۲	۰/۱۵۷۰۶۸	۰/۱۰۳۹۴۹	۰/۰۸۹۰۴۱
W _۵	۰/۳۳۸۶۷۷	۰/۳۱۱۲۶۲	۰/۱۵۷۰۶۸	۰/۱۰۳۹۴۹	۰/۰۸۹۰۴۱

همان‌طور که در جدول ۱۱ مشاهده می‌کنیم همگرایی فرایند انتقالات در انتقال پنجم رخ داده است، به‌طوری‌که W_۵ اوزانی برابر با W_۴ را نشان می‌دهند. بنابراین می‌توان W_۵ را مشخص‌کننده بردار ویژه نهایی و تعیین‌کننده اوزان معیارهای تأثیرگذار در ارائه راهبردهای کنترل مخاطرات بیابان‌زایی دانست (جدول ۱۲).

جدول ۱۲: برآورد اوزان معیارهای مطرح در ارائه راهبردهای کنترل مخاطرات بیابان‌زایی

معیارها (C) ◀	C _۷	C _{۱۶}	C _۶	C _۵	C _۲
W _j	۰/۳۳۸۶۷۷	۰/۳۱۱۲۶۲	۰/۱۵۷۰۶۸	۰/۱۰۳۹۴۹	۰/۰۸۹۰۴۱

رتبه‌بندی نهایی اولویت راهبردهای بیابان‌زدایی

در ابتدا مطابق ادبیات تحقیق بهترین و بدترین مقادیر هر معیار بر مبنای راهبردهای مختلف طی رابطه ۷ از روی ماتریس تصمیم‌گیری راهبردها (جدول ۱۰) تعیین شد (جدول ۱۳).

جدول ۱۳: تعیین بهترین و بدترین مقادیر معیارها بر مبنای راهبردها

معیارها (C) ◀	C _۷	C _{۱۶}	C _۶	C _۵	C _۲
راهبردها (A) ▼					
f_j^*	۰/۲۶۴۳	۰/۲۳۸۳	۰/۲۴۸۸	۰/۲۵۶۵	۰/۲۵۰۹
f_j^-	۰/۱۵۸۲	۰/۱۵۱۰	۰/۱۶۰۸	۰/۱۶۳۳	۰/۱۶۲۰

با توجه به مقادیر تعیین‌شده در گام قبل، از روابط ۸ و ۹ مقدار سودمندی (S_i) و تأسف (R_i) معیارها به تفکیک هر راهبرد محاسبه شد (جدول ۱۴).

جدول ۱۴: محاسبه مقدار سودمندی (S_i)، تأسّف (R_i) و شاخص ویگور (Q)

معیارها (C) ◀	C_7	C_{16}	C_6	C_5	C_7	S	R	Q(0.5)
راهبردها (A) ▼								
A_{23}	۰/۱۲۳۲	۰/۲۰۶۱	۰	۰/۰۱۹۸	۰	۰/۳۴۹۱	۰/۲۰۶۱	۰/۳۰۸۳
A_{18}	۰	۰	۰/۰۹۰۱	۰/۱۰۳۷	۰/۰۵۴۹	۰/۲۴۸۷	۰/۱۰۳۷	۰
A_{33}	۰/۳۳۳۲	۰/۳۱۱۳	۰/۰۷۰۵	۰	۰/۰۸۹۰	۰/۸۰۴	۰/۳۳۳۲	۰/۹۸۸۳
A_7	۰/۳۳۸۷	۰/۰۶۲۰	۰/۱۵۷۱	۰/۰۸۹۶	۰/۰۲۸۰	۰/۶۷۵۴	۰/۳۳۸۷	۰/۸۸۴۲
A_{31}	۰/۲۳۱۴	۰/۱۰۳۷	۰/۱۱۸۲	۰/۱۰۴۰	۰/۰۸۲۸	۰/۶۴۰۱	۰/۲۳۱۴	۰/۶۲۴۱
بهترین مقدار						$S^* = ۰/۲۴۸۷$	$R^* = ۰/۱۰۳۷$	
بدترین مقدار						$S^- = ۰/۸۰۴$	$R^- = ۰/۳۳۸۷$	

در ادامه شاخص ویگور با توجه به تابع ترکیبی Q (رابطه ۱۰)، مقدار سودمندی (S_i) و تأسّف (R_i) و میزان حداکثر توافق گروه (V) برآورد شد (جدول ۱۴).

شایان ذکر است که در جدول ۱۴ پارامتر Q بر اساس $V = 0.5$ ارائه شده است. ولی از آنجاکه شاخص ویگور برحسب درصد آرای اکثریت (V) مقادیر مختلفی را می پذیرد (وابستگی Q به مقادیر مختلف V)، در جدول ۱۵ شاخص ویگور برحسب مقادیر مختلف V در حفاصل صفر و یک ارائه شد.

جدول ۱۵: شاخص ویگور برحسب مقادیر مختلف V

راهبردها (A)	۰	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۹	۱
A_{23}	۰/۴۳۵۷	۰/۴۱۰۲	۰/۳۷۴۸	۰/۳۵۹۳	۰/۳۳۳۸	۰/۳۰۸۳	۰/۲۸۲۸	۰/۲۵۷۳	۰/۲۳۱۸	۰/۲۰۶۳	۰/۱۸۰۸
A_{18}	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
A_{33}	۰/۹۷۶۶	۰/۹۷۸۹	۰/۹۸۱۳	۰/۹۸۳۶	۰/۹۸۶۰	۰/۹۸۸۳	۰/۹۹۰۶	۰/۹۹۳۰	۰/۹۹۵۳	۰/۹۹۷۷	۱
A_7	۱	۰/۹۷۶۸	۰/۹۵۳۷	۰/۹۳۰۵	۰/۹۰۷۴	۰/۸۸۴۲	۰/۸۶۱۰	۰/۸۳۷۹	۰/۸۱۴۷	۰/۷۹۱۶	۰/۷۶۸۴
A_{31}	۰/۵۴۳۴	۰/۵۵۹۵	۰/۵۷۵۷	۰/۵۹۱۸	۰/۶۰۸۰	۰/۶۲۴۱	۰/۶۴۰۳	۰/۶۵۴۶	۰/۶۷۲۴	۰/۶۸۸۷	۰/۷۰۴۸

سپس پارامترهای S، R و Q به ترتیب نزولی مرتب شد (جدول ۱۶) و به منظور کنترل جدول و انتخاب راهبردهای بهینه، شروط انتخاب تست شد.

آزمون اول بر مبنای رابطه ۱۱، برای راهبرد A_{18} پوشش داده شده است (رابطه ۱۳)؛ بنابراین در این مرحله راهبرد A_{18} انتخاب می شود.

$$۰/۳۰۸۳ - ۰ \geq \frac{1}{5-1} \Rightarrow ۰/۳۰۸۳ \geq ۰/۲۵ \quad (۱۳)$$

در آزمون دوم که بر مبنای ثبات قابل قبول در تصمیم گیری می باشد، مطابق جدول ۱۴ مشاهده می شود که راهبرد A_{18} در پارامترهای S و R دارای کمترین مقدار یعنی بهترین رتبه بندی می باشند.

بنابراین با توجه به دو آزمون بالا، راهبرد "جلوگیری از تبدیل و تغییر نامناسب کاربری اراضی (A_{18})" به عنوان بهترین راهبرد انتخاب می‌گردد. همین نتیجه‌گیری به ترتیب برای راهبردهای "توسعه و احیاء پوشش گیاهی (A_{23})" و "تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی (A_{31})" صادق است؛ به‌طوری‌که راهبردهای یادشده در رتبه‌های بعدی از نظر اهمیت قرار می‌گیرند و راهبردهای "تغییر الگوی آبیاری و اجرای روش‌های کم آب خواه (A_{33})" و "کنترل چرای دام (A_{20})" که دو شرط یادشده در آنها برقرار نبود، به‌صورت توافقی در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.

جدول ۱۶: مقادیر نزولی پارامترهای S، R و Q بر اساس $V = 0.5$

Q		R		S	
.	A_{18}	۰/۱۰۳۷	A_{18}	۰/۲۴۸۷	A_{18}
۰/۳۰۸۳	A_{23}	۰/۲۰۶۱	A_{23}	۰/۳۴۹۱	A_{23}
۰/۶۲۴۱	A_{31}	۰/۲۳۱۴	A_{31}	۰/۶۴۰۱	A_{31}
۰/۸۸۴۲	A_{20}	۰/۳۳۳۲	A_{23}	۰/۶۷۵۴	A_{20}
۰/۹۸۸۳	A_{33}	۰/۳۳۸۷	A_{20}	۰/۸۰۴	A_{33}

در این رابطه می‌توان بیان کرد که در منطقه مطالعاتی تغییر کاربری اراضی در نتیجه افزایش جمعیت، بیکاری، رشد صنایع و روحیه شهرنشینی به‌شدت در حال گسترش است. تنها کاربری اراضی به‌صورت تبدیل اراضی مرتعی به اراضی زراعی و باغی در اثر توسعه چاه‌های عمیق و نیمه عمیق موتوردار، تبدیل اراضی باغی به زراعی در اثر وقوع خشکسالی‌های متوالی و تبدیل اراضی مرتعی به اراضی صنعتی و شهری در اثر رشد صنایع و شهرنشینی در سال‌های اخیر رخ داده است.

تراکم تیپ‌های مرتعی ۶ الی ۱۵ درصد است که به‌شدت تحت تأثیر عملکردهای انسانی در قالب بوته کنی و چرای مفرط دام می‌باشد، به‌طوری‌که ۴۰ تا ۵۰ درصد پوشش گیاهی بر اثر بوته کنی به‌منظور تعلیف دام، سوخت و مصالح ساختمانی از بین می‌رود.

آبیاری در اراضی کشاورزی اغلب به‌صورت سنتی غرقابی و کرتی با استخرها و جوی‌های روباز و بسترهای با خلل و فرج زیاد صورت می‌گیرد؛ به‌صورتی که بیش از ۵۰ درصد آب مصرفی هدر می‌رود و راندمان آبیاری در مزرعه و انتقال کمتر از ۴۰ درصد برآورد می‌شود.

بنابراین در چارچوب راهبردهای کلان مطرح‌شده، پیشنهادهای اجرایی ذیل توصیه می‌شود.

- اهتمام به آمایش سرزمین و برآورد توان اکولوژیک در سطوح ملی، منطقه‌ای و محلی و انطباق کاربری‌ها با توان زمین، جدی گرفته شود.

- از تبدیل نامناسب اراضی مرتعی ضعیف به اراضی زراعی با بازده کم و با توان بالقوه زیاد تخریب و فرسایش جلوگیری شود.

- از توسعه زیرساخت‌های صنعتی و کارگاهی در اراضی حساس و شکننده مناطق بیابانی و حاشیه‌ای خودداری شود.

- در بحث توسعه و احیاء پوشش گیاهی سعی شود از گونه‌های بومی و مقاوم مرتعی و زراعی، سیستم‌های آبیاری دور کوتاه و کم‌آب خواه و غیره استفاده شود.

- از روند تخریب تاغ زارها جلوگیری و نسبت به احیاء و بازسازی آنها اهتمام لازم به عمل آید.
- تعادل تعداد دام و ظرفیت مراتع رعایت شود.
- تناسب نوع دام با وضعیت مراتع در نظر گرفته شود و در مراتع ضعیف سعی شود از تعداد بزها کاسته شود؛ زیرا این حیوان خود به عنوان عوامل بالقوه تشدیدکننده تخریب مراتع به شمار می رود.
- از چرای خارج از فصل (چرای دیررس و زودرس) به دلیل توان بالقوه تخریب پوشش گیاهی ضعیف، مراتع بیابانی جلوگیری شود.
- به منظور حمایت از دامدار و حفاظت از مراتع به تولید و واردات علوفه اقدام و در جهت افزایش پتانسیل اقتصاد پایدار دامدار حرکت شود تا علاوه بر چرا، دامدار اقدام به بوته کنی جهت تعلیف شبانه و همچنین زمستانه و یا تعلیف پس چرا مزارع و باغات نکند که خود باعث تسریع در روند تخریب می شود.

نتیجه گیری

در این پژوهش، مدل ویگور را به منظور رتبه بندی اولویت راهبردهای مطرح در فرایند کنترل مخاطرات بیابان زایی بیان کردیم. از جمله مزایای مهم روش ویگور این است که علاوه بر اینکه همانند مدل های رتبه بندی تاپسیس و مدل مجموع وزنی بر اساس تابع یکی کننده است، نشان دهنده نزدیکی به مرجع ایده آل نیز می باشد و از روش ال پی متریک استفاده می کند (اسپیناس^۱ و همکاران، ۱۹۹۷؛ جابور و مارتل^۲، ۲۰۰۷). همانند روش تاپسیس قابلیت تعیین اولویت ها به وسیله وزن را دارد که انتخاب استراتژی های مناسب را آسان می کند (چو^۳ و همکاران، ۲۰۰۷)، همچنین از نرمالیزه کردن خطی استفاده می کند. در این صورت فرایند تبدیل برخلاف روش تاپسیس بر نرمالیزه کردن ویگور اثر ندارد (اسپیناس^۴ و همکاران، ۱۹۹۷؛ جابور و مارتل^۵، ۲۰۰۷)، در عین حال این روش قادر است تعادلی بین حداکثر مطلوبیت گروهی و حداقل تأسف فردی ایجاد کند؛ در حالی که در روش الکترا راه حل بهینه بر مبنای حداقل تأسف فردی پایه ریزی شده (اپروکوپیچ و تزینگ، ۲۰۰۷) و در روش تاپسیس راه حل بهینه بر مبنای کمترین فاصله از راه حل ایده آل مثبت و دورترین فاصله را از راه حل ایده آل منفی مشخص می شود. بنابراین یک راه حل با روش تاپسیس و الکترا همیشه نزدیک ترین به ایده آل نمی باشد (ژیائوزانگ^۶ و همکاران، ۲۰۰۴)، به طور کلی می توان گفت که تفاوت اصلی این مدل با مدل های تصمیم گیری سلسله مراتبی یا شبکه ای این است که برخلاف آن مدل ها، در این مدل مقایسه های زوجی بین معیارها و گزینه ها صورت نمی گیرد و هر گزینه به طور مستقل توسط یک معیار سنجیده و ارزیابی می گردد. مزیت دیگر مدل ویگور در این است که ناگزیر در این مدل جهت ارزیابی راهبردها بر اساس معیارها، فقط نیازی به استفاده از نظرهای کارشناسان نیست بلکه می توان از داده های خام استفاده کرد. برای مثال در معیار "ابزار

¹ - Espinasse

² - Jabeur and Martel

³ - Chu

⁴ - Espinasse

⁵ - Jabeur and Martel

⁶ - Xiaozhan

علمی و تکنولوژی در دسترس" برای اینکه فرایند ارزیابی به انجام رسد، به جای نمره دهی توسط کارشناسان، می‌توان فراوانی ابزار یا نوع تکنولوژی را سنجید و آن را در مدل وارد کرد بدون اینکه نیازی به ارزیابی کارشناسی داشته باشد. این تفاوت اصلی این مدل با سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد که تنها بر اساس مقایسه‌های زوجی معیارها و گزینه‌ها طراحی شده بودند. بنابراین این ارزیابی می‌تواند هم بر اساس داده‌های خام و هم بر اساس نظر کارشناس باشد. درعین حال روش ویگور نیز همانند روش‌های یادشده، واجد محدودیت نادیده انگاشتن قضاوت‌های فازی تصمیم‌گیران است. همچنین بعضی از معیارها ساختار کیفی یا ساختار نامشخصی دارند که نمی‌توانند به‌دقت اندازه‌گیری شوند. در چنین مواردی به‌منظور دستیابی به ماتریس ارزشیابی می‌توان همانند مدل‌های تحلیلی سلسله مراتبی فازی و تاپسیس فازی، از اعداد فازی استفاده کرد. بنابراین می‌توان روش‌های اولویت‌بندی ویگور را با کاربرد اعداد فازی توسعه داد.

به‌طور کلی با توجه به نتایج اولویت‌بندی نهایی راهبردها، می‌توان بیان داشت که در صورت اجرای راهبردهای جلوگیری از تبدیل و تغییر نامناسب کاربری اراضی (A_{۱۸})، توسعه و احیاء پوشش گیاهی (A_{۲۳}) و تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی (A_{۳۱})، می‌توان از بیابانی شدن اراضی منطقه جلوگیری و نسبت به احیاء اراضی تخریب یافته اقدام کرد.

نتایج این پژوهش به مدیران مناطق بیابانی این امکان را می‌دهد که امکانات و سرمایه‌های محدود اختصاص‌یافته به‌منظور کنترل روند بیابان‌زایی را به شیوه‌های صحیح و کارآمد به کار بندند تا ضمن دستیابی به نتایج بهتر، از هدر رفتن سرمایه‌های ملی جلوگیری کنند.

تقدیر و تشکر

در خاتمه لازم است از کارشناسان مرکز ملی بیابان‌زدایی استان یزد و به‌ویژه از آقای مهندس کاظمی نژاد سپاس-گزاری شود.

منابع

- آذر، عادل؛ رجب‌زاده، علی (۱۳۹۶)، تصمیم‌گیری کاربردی، رویکرد MADM. انتشارات نگاه دانش. چاپ ششم، ۱۸۶ صفحه.
- آذر، عادل؛ معماریانی، عزیز اله (۱۳۸۲)، AHP تکنیکی نوین برای تصمیم‌گیری گروهی، دانش مدیریت، شماره ۲۸، صص ۲۲-۲۲.
- اصغریور، محمدجواد (۱۳۹۴)، تصمیم‌گیری چند معیاره، انتشارات دانشگاه تهران. چاپ پانزدهم، ۳۹۸ صفحه.
- رمضانی مهریان، مجید؛ ملک محمدی، بهرام؛ جعفری، حمید رضا؛ رفیعی، یوسف (۱۳۹۰)، مکان‌یابی محل‌های انجام عملیات تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با به‌کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی، مطالعه موردی: استان هرمزگان دشت شمیل و آشکارا، علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران، شماره ۱۴، صص ۱۰-۱.
- صادقی روش، محمد حسن (۱۳۸۷)، بررسی عوامل تأثیرگذار بیابان‌زایی در تخریب محیط‌زیست، رساله دکتری، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ۳۹۵ صفحه.
- صادقی روش، محمد حسن (۱۳۹۲)، ارزیابی راهبردهای بیابان‌زدائی با کاربرد مدل پروموتاسیون مطالعه موردی: منطقه خضرآباد یزد، مجله مدیریت و برنامه‌ریزی محیط‌زیست، سال سوم، شماره ۴، صص ۱۴-۵.

- صادقی روش، محمد حسن (۱۳۹۳)، ارزیابی راهبردهای مقابله با بیابانی شدن با کاربرد مدل رتبه‌بندی بردار، مطالعه موردی: منطقه خضراآباد یزد، مجله مدیریت و برنامه‌ریزی محیط‌زیست، سال چهارم، شماره ۲، صص ۲۴-۱۳.
- صادقی روش، محمد حسن (۱۳۹۷)، رتبه‌بندی راهبردهای بیابان‌زدایی دشت اردکان - خضراآباد با استفاده از روش آنتروپی شانون و مدل ارسته، پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال چهارم، شماره ۸، صص ۴۰-۱۹.
- صادقی روش، محمد حسن؛ احمدی، حسن؛ زهتابیان، غلامرضا؛ طهمورث، محمد (۱۳۸۹)، کاربرد فرایند تحلیلی سلسله مراتبی (AHP) در ارزیابی راهبردهای بیابان‌زدائی، فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۷، شماره ۱، صص ۵۰-۳۵.
- صادقی روش، محمد حسن؛ جبالبارزی، بهاره (۱۳۹۶)، رتبه‌بندی راهبردهای بیابان‌زایی با استفاده از تئوری مطلوبیت چند معیاره (MAUT) مطالعه موردی، منطقه خضراآباد یزد، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست (در نوبت چاپ)
- صادقی روش، محمد حسن؛ خسروی، حسن (۱۳۹۴)، کاربرد فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در ارزیابی راهبردهای بیابان‌زدائی، مهندسی اکوسیستم‌های بیابانی، سال چهارم، شماره ۸، صص ۲۴-۱۱.
- صادقی روش، محمد حسن؛ خسروی، حسن (۱۳۹۵)، ارزیابی راهبردهای بیابان‌زدایی با کاربرد روش رتبه‌بندی بردای فردی، مهندسی اکوسیستم‌های بیابانی، دوره ۵، شماره ۱۲، صص ۱۲۱ تا ۱۰۹.
- صادقی روش، محمد حسن؛ خسروی، حسن (۱۳۹۷) ارزیابی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی با کاربرد رویکردهای تصمیم‌گیری چندگانه و تحلیل عاملی، کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، سال ۶، شماره ۱، صص ۲۵۵ تا ۲۲۹.
- صادقی روش، محمد حسن؛ زهتابیان، غلامرضا (۱۳۹۲)، رتبه‌بندی راهبردهای بیابان‌زدایی با استفاده از رویکرد MADM و مدل مجموع وزنی (WSM)، مطالعه موردی: منطقه خضراآباد یزد، مجله پژوهش‌های آبخیزداری، شماره ۱۰۰، صص ۱۱ تا ۲.
- صادقی روش، محمد حسن؛ طهمورث، محمد (۱۳۹۳)، ارزیابی راهبردهای بیابان‌زدایی با کاربرد مدل تاپسیس فازی (FTOPSIS)، علوم و مهندسی محیط‌زیست، سال ۱، شماره ۳، صص ۹۴ تا ۷۹.
- قدسی پور، سید حسن (۱۳۹۵)، فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، انتشارات دانشگاه امیرکبیر. چاپ دوازدهم، ۲۲۲ صفحه.
- Chang, C. L., (2010). A modified VIKOR method for multiple criteria analysis, *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 168, No.1-4, 339-344.
- Cheng, Ch. B., (2004). Group opinion aggregation based on a grading process: A method for constructing triangular Fuzzy numbers, *Computers, and Mathematics with Applications*, Vol. 48, No.10-11, 1619-1632.
- Chu, M. T., Shyu, J. Z., Tzeng, G. H., Khosla, R., (2007). Comparison among three analytical methods for knowledge communities group-decision analysis, *Expert Systems with Applications*, Vol. 33, No. 4, 1011-1024.
- Espinasse, B., Guy, P., Eugene C., (1997). Negotiation support systems: A multi-criteria and multi-agent approach, *European Journal of Operational Research*, Vol. 103, No.2, 389- 409.
- Grau, J. B., Anton, J. M., Tarquis, A. M., Colombo, F., Rios, L., Cisneros, J. M., (2010). Mathematical model to select the optimal alternative for an integral plan to desertification and erosion control for the Chaco Area in Salta Province (Argentina), *Journal of Biogeosciences Discussions*, Vol. 7, 2601-2630.
- Jabeur, K. h., Martel, J., (2007). A collective choice method based on individual preferences relational systems (p.r.s.), *European Journal of Operational Research*, Vol. 177, No. 3, 1549- 1565.
- Opricovic, S., (1998). Multi-criteria optimization of a civil engineering system, *Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, Belgrade*, 302 p.
- Opricovic, S., Tzeng, G. H., (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS". *European Journal of Operational Research*, Vol.156, No. 2, 445-455.
- Opricovic, S., Tzeng, G. H., (2007). Extended VIKOR method in comparison with outranking methods, *European Journal of Operational Research*, Vol. 178: No.2, 514-529.
- Opricovic, S., Tzeng, G. H., (2008). A Comparative analysis of the DEA-CCR model and the VIKOR method, *Yugoslav Journal of Operations Research*, Vol. 18, No. 2, 187-203.
- Saaty, T. L., (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures, *Journal of Mathematical Psychology*, Vol. 15, No. 3, 234-281.
- Sadeghi Ravesh, M. H., Khosravi, H., (2014). Application of AHP and ELECTRE models for assessment of de-desertification alternatives in central Iran, *DESERT*, Vol. 19-2, 141-153.
- Sadeghi Ravesh, M. H., Khosravi, H., Abolhasani, A., (2016). Evaluation of combating desertification alternatives using PROMETHEE model, *Journal of Geography and Geology*, Vol. 8, No. 2, 1-14.
- Sadeghi Ravesh, M. H., Khosravi, H., Ghasemian, S., (2015). Application of Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) for Assessment of combating-desertification alternatives in central Iran, *Journal of Natural Hazard*, Vol. 75, 653-667.

- Sadeghi Ravesh, M. H., Khosravi, H., Ghasemian, S., (2016). Assessment of combating strategies using the Liner Assignment (LA) method, *Journal of Solid Earth*, Vol.7, 773-683.
- Sadeghi Ravesh, M. H., Zehtabian, G. R., Ahmadi, H., Khosravi, H., (2012). Using analytic hierarchy process method and ordering technique to assess de-desertification alternatives, case study: Khezrabad, YAZD, IRAN, *Carpathian journal of earth and environmental sciences*, Vol.7, No.3, 51-60.
- Sepehr, A., Peroyan, N., (2011). Vulnerability mapping of desertification and combat desertification alternative ranking in Korasan-e-Razavi province ecosystems with application PROMETHEE model, *Journal of Earth science researches*, Vol. 8, 58-71.
- Xiaozhan, Xu., Martel, J. M., Lamond, B. F., (2004). A multiple criteria ranking procedure based on a distance between partial preorders, *European Journal of Operational Research*, Vol. 133, No.1, 69-80.

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره نهم، شماره ۲۵، پاییز ۱۳۹۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۰۱

تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۱۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۱۶

صفحات: ۸۰ - ۶۱

مقاله (علمی پژوهشی)

تهیه نقشه حساسیت سیلاب با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

علی چراغی قلعه‌سری^۱، محمود حبیب‌نژاد روشن^{۲*}، سید حسین روشن^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشگاه هراز آمل

۲. استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

چکیده

تهیه نقشه حساسیت سیلاب ضروری و اولین قدم در کاهش خسارت‌های ناشی از سیل می‌باشد. به علت کمبود اطلاعات در اکثر حوضه‌ها، بسیاری از تحقیقات از تکنیک‌های داده‌کاوی برای مطالعه‌های هیدرولوژی به‌ویژه سیلاب استفاده می‌کنند. هدف این پژوهش، شناسایی مناطق حساس به سیل‌گیری با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) در حوضه نکارود می‌باشد. بدین منظور از ۱۲ پارامتر ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی و فیزیوگرافیکی شامل مقدار شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، دما، کاربری اراضی، بارندگی، تراکم و فاصله از گسل، تراکم و فاصله از آبراهه، تراکم و فاصله از جاده می‌باشند که در محیط نرم‌افزارهای ArcGIS، SAGA GIS و ENVI تهیه شدند. به‌منظور برداشت نقاط سیل‌گیر نیز از دستگاه GPS استفاده گردید. درنهایت همه متغیرها و نقاط برداشت‌شده با اندازه پیکسل یکسان (۱۲/۵ متر) با فرمت ASCII وارد نرم‌افزار R شدند. به‌منظور ارزیابی صحت مدل یادشده از محاسبه ویژگی‌های عامل نسبی (ROC) در محیط نرم‌افزار R استفاده شد. نتایج ارزیابی نشان داد که مدل SVM دقت مناسبی در شناسایی پهنه‌های حساس سیلاب در منطقه مورد مطالعه دارد. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که مناطق حساس به سیل‌گیری بیشتر در بخش‌های شمالی و شمال غرب حوزه و در مناطقی قرار گرفته‌اند که تمرکز سکونتگاه‌های انسانی بیشتر است، درحالی‌که مناطق مرکزی حوضه که دارای پوشش گیاهی متراکم است، حساسیت کمی نسبت به سیل‌گیری دارند. نتایج این پژوهش می‌تواند به برنامه‌ریزان و محققان برای انجام اقدام‌های مناسب به‌منظور جلوگیری و کاهش خطر سیلاب در آینده کمک کند. همچنین می‌توان از آن به‌منظور شناسایی مناطق مناسب و امن برای توسعه‌های عمرانی استفاده کرد.

واژگان کلیدی: نقشه حساسیت سیل، ماشین بردار پشتیبان، داده کاوی، ROC، حوضه نکارود.

مقدمه

سیل، یکی از شایع‌ترین و گسترده‌ترین بلایای طبیعی است که به‌طور فراوان در سرتاسر جهان رخ می‌دهد (پاترا و همکاران، ۲۰۱۵) و در بین خطرهای طبیعی، یکی از خطرهایی است که بیشترین خسارت‌ها، بیشترین فراوانی و پهنه اثر بالایی دارد (سانیل و لو، ۲۰۰۴). مطابق آمار تهیه‌شده توسط سازمان ملل متحد در میان بلایای طبیعی، سیل و طوفان بیشترین تلفات و خسارت‌ها را به جوامع بشری وارد آورده‌اند، به‌گونه‌ای که تنها در یک دهه بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ میلادی، میزان خسارت‌های ناشی از سیل و طوفان بالغ بر ۲۱ میلیارد دلار در مقابل ۱۸ میلیارد دلار خسارت‌های ناشی از زلزله بوده است (امیر احمدی و همکاران، ۱۳۹۱). این امر در کشور ما نیز صادق است و در اغلب سال‌های گذشته حدود ۷۰ درصد اعتبارهای سالانه طرح کاهش اثرهای بلایای طبیعی و ستاد حوادث غیرمترقبه صرف جبران خسارت‌های ناشی از سیل شده است. ضمن اینکه باید توجه داشت به دلیل بهبود روش‌های ساخت‌وساز و رعایت ضوابط و مقررات ایمنی، سازه‌ها و تأسیسات در مقابل خطرهایی چون زلزله افزایش می‌یابد؛ ولی متأسفانه روند طبیعی توسعه در کشورهایی نظیر ایران باعث تخریب محیط‌زیست و منابع طبیعی شده و خسارت‌های سیل به‌طور مرتب افزایش می‌یابد (حسن‌زاده نفوقی و خواجه بافقی، ۱۳۹۵). سیل یکی از پدیده‌ها و بلایای طبیعی است که امکان وقوع آن در هر مکان و زمانی وجود دارد. به‌طور کلی سیل افزایش جریان آب رودخانه بیش‌ازحد متعارف آن است، به‌طوری‌که حجم آب از ظرفیت عبوری رودخانه بیشتر شده و آب از بستر اصلی خارج و روی دشت‌های کناری جریان یابد. در کشور ما وقوع سیل بیش از آنکه ناشی از بارش‌های تند باشد، در رابطه با برهم خوردن تعادل طبیعی و شرایط جغرافیایی و فیزیولوژیکی منطقه می‌باشد (امیدوار، ۱۳۸۹). اندازه و تکرار رویداد سیلاب در هر منطقه، بستگی به عوامل متعددی دارد. ویژگی‌های فیزیکی حوضه آبریز مانند: شکل، شیب، شبکه آبراهه‌ها و ناهمواری زمین همراه با ویژگی‌های هیدرولوژیکی مانند: بارش، ذخیره و تلفات برگابی و چالابی، تبخیر و تعرق و نفوذپذیری و اقدام‌های ناشی از فعالیت‌های بشری در بروز و تشدید سیلاب یا کاهش و افزایش میزان خسارت‌های ناشی از آن دخالت دارند. شناخت این عوامل و دسته‌بندی آنها در هر منطقه‌ای، از اصول اولیه مهار سیلاب و کاهش خطرهای آن است (رضوی، ۱۳۸۷). همچنین تخریب پوشش گیاهی، تجاوز به حریم رودخانه‌ها و شدت بارندگی از مهم‌ترین عوامل در وقوع سیل محسوب می‌شوند (ثروتی و همکاران، ۱۳۹۳). تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی و حساسیت سیل^۱ و توجه به اهمیت کاهش اثرهای آن یکی از اهداف اولیه مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز است. نقشه‌های پهنه‌بندی سیل، اطلاعات ارزشمندی را در رابطه با طبیعت سیلاب‌ها و آثار آن بر اراضی دشت سیلابی ارائه می‌دهند. در پهنه‌بندی سیل برای کنترل کاربردی و توسعه اراضی، نواحی سیلاب دشت به قسمت‌هایی با خطرپذیری متفاوت تقسیم‌بندی می‌شوند (ولی‌زاده، ۱۳۸۶). برای تهیه نقشه‌های سیل‌گیر روش‌های مختلف هیدرولیکی و هیدرولوژیکی وجود دارد. در سال‌های اخیر مدل‌های آماری و احتمالاتی و همچنین روش‌های ماشین یادگیرنده^۲ زیادی برای تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل در حوزه‌های آبخیز در سراسر دنیا بکار گرفته شده است (شفیع‌زاده مقدم و همکاران، ۲۰۱۸؛ هانگ و همکاران، ۲۰۱۸؛ ژائو و همکاران، ۲۰۱۷؛ شفاپور تهرانی و همکاران، ۲۰۱۵) و سیستم اطلاعات جغرافیایی^۳ نیز به‌عنوان ابزار آنالیز پایه برای مدیریت مکانی و دست‌کاری داده‌ها به دلیل

1- Flood Susceptibility Map

2- Machine Learning Technique

3- Geographic Information System

توانایی آن در هندلینگ مقادیر زیادی از داده‌های مکانی به کار رفته است (اوه و پرادهان، ۲۰۱۱). دلال‌اوغلی و همکاران (۱۳۹۶)، به ارزیابی و تهیه پهنه‌های سیل‌خیز در حوضه رودخانه آجرلوچای با استفاده از رویکرد نوین سیستم‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه و مدل فازی اقدام کردند. در این مطالعه ۸ پارامتر طبیعی و انسانی شامل: بارش، کاربری اراضی، خصوصیت‌های مورفولوژیک دامنه‌ها مثل شیب دامنه، ارتفاع، شاخص پوشش گیاهی، فاصله از رودخانه‌های اصلی، تراکم شبکه زهکشی و سنگ‌شناسی برای اجرای مدل استفاده شده است. پس از وزن دهی معیارها و زیر معیارها با استفاده از روش AHP، همپوشانی لایه‌ها در محیط نرم‌افزار GIS انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد که پهنه‌های با خطر بسیار زیاد در بالادست حوضه واقع گردیده‌اند. همچنین پهنه‌های با خطر سیل‌گیری بسیار زیاد در پایین‌دست حوضه قرار داشتند. قلی‌زاده و همکاران (۱۳۹۶)، به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیل در حوضه زنگمار در شهرستان ماکو با استفاده از مدل فازی پرداختند. آنها به این منظور از لایه‌های اطلاعاتی مربوط به شیب، ارتفاع، انحنا، پلانی‌متریک، انحنا، پروفیل، کاربری اراضی، خاک، سنگ‌شناسی، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی و شاخص NDVI استفاده کردند. نتایج نشان داد که در نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی، نواحی با خطر بسیار بالا در بالادست و شمال حوضه قرار دارند و اغلب نواحی با خطر سیل‌خیزی بسیار بالا در دامنه‌های محدب و ستیغ‌ها و در شیب‌های بین ۷-۰ درصد که اغلب مناطق کوهستانی است، قرار دارد. ژائو و همکاران (۲۰۱۷)، به‌منظور تهیه نقشه حساسیت سیل در مناطق کوهستانی کشور چین از داده‌های سیلاب‌های تاریخی دوره زمانی ۱۹۴۹ تا ۲۰۰۰ و مدل جنگل تصادفی^۱ استفاده کردند. آنها به این منظور ۱۲ فاکتور جغرافیایی، هواشناسی و هیدرولوژیکی را در نظر گرفتند. نتایج این پژوهش نشان داد که مدل جنگل تصادفی در شناسایی مناطق مستعد سیل عملکرد مؤثرتری نسبت به روش‌های شبکه عصبی مصنوعی^۲ و ماشین بردار پشتیبان (SVM) دارد. همچنین در میان ۱۲ فاکتور در نظر گرفته‌شده، عوامل جغرافیایی (ارتفاع، طول جغرافیایی و تراکم زهکشی) مهم‌ترین پیش‌بینی‌کننده‌ها در مناطق کوهستانی چین است؛ درحالی‌که عوامل هیدرولوژیک (ارتفاع نسبی و شماره منحنی) دارای کمترین اهمیت می‌باشند. هانگ و همکاران (۲۰۱۸)، با استفاده از روش فازی وزن شواهد^۳ و سایر تکنیک‌های داده کاوی^۴ اقدام به تهیه نقشه حساسیت سیل در شهرستان پویانگ در کشور چین کردند. به این منظور لایه‌های مربوط به سنگ‌شناسی، خاک، ارتفاع، درجه شیب، جهت، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص قدرت جریان، شاخص حمل رسوب، انحنا، زمین، انحنا، دامنه و فاصله از شبکه آبراهه در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. سپس با استفاده از روش فازی وزن شواهد و تکنیک‌های داده کاوی مثل رگرسیون لجستیک^۵، جنگل تصادفی^۶ و ماشین بردار پشتیبان^۷، نقشه حساسیت سیل به دست آمد. جهت ارزیابی روش‌های استفاده شده از AUC استفاده گردید. نتایج نشان داد که مدل فازی وزن شواهد-ماشین بردار پشتیبان^۸ با بالاترین AUC توانایی بالایی در تهیه نقشه حساسیت سیل داشته است. هدف اصلی این پژوهش تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل در حوزه آبخیز نکارود در استان

1- Random Forest

2- Artificial Neural Network

3- Fuzzy Weight of Evidence (Fuzzy-WofE)

4- Data Mining Technique

5- Logistic Regression (LR)

6- Random Forest (RF)

7- Support Vector Machines (SVM)

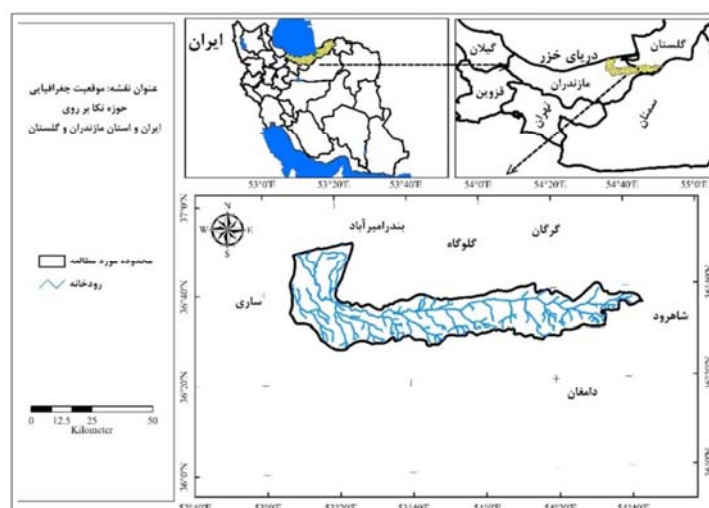
8- Fuzzy WofE-SVM Model

مازندران (به دلیل رخداد شدید و سالانه سیلاب) توسط روش ماشین بردار پشتیبان، ارزیابی کارایی این روش در تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیلاب و تعیین مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر در حوضه آبخیز نکارود می‌باشد. به این منظور عوامل مهم و تأثیرگذار در سیلاب در حوزه‌های آبخیز در نظر گرفته شد و در نهایت نقشه موردنظر تهیه گردید.

داده‌ها و روش‌ها

الف) منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز نکارود در استان‌های گلستان و مازندران و بین طول $53^{\circ} 17'$ تا $54^{\circ} 44'$ شرقی و عرض $36^{\circ} 28'$ تا $36^{\circ} 42'$ شمالی واقع شده است (شکل ۱). حوضه نکارود، حوضه‌ای کشیده با وسعت نزدیک به ۱۹۹۲ کیلومترمربع است. ارتفاع بلندترین نقطه حوضه ۳۸۰۲ متر و پست‌ترین محل حوضه در نقطه خروجی (ایستگاه آبلو) حدود ۴۳ متر و در محل اتصال به دریای خزر ۲۰- متر می‌باشد. حدود ۶۱ درصد حوضه در محدوده استان مازندران و ۳۹ درصد آن در محدوده استان گلستان واقع شده است. رودخانه نکا به‌عنوان مهم‌ترین زهکش این حوضه از ارتفاعات شاه‌کوه در جنوب گرگان سرچشمه گرفته که پس از دریافت شاخه‌های فرعی دیگری پس از گذر از مرکز شهر نکا در نهایت به دریای خزر می‌ریزد. طول رودخانه نکا تا ایستگاه آب‌سنجی آبلو حدود ۱۵۰ کیلومتر بوده و دارای رژیم جریان دائمی می‌باشد. رژیم این رودخانه در سراب برفی - بارانی و در میانه و پایاب بارانی - برفی تا بارانی است و به‌طور کلی سیلاب‌ها در رودخانه نکا در اثر وقوع بارندگی جریان می‌یابند. دبی سالانه نکارود ۱۵۴ میلیون مترمکعب و رسوب سالانه آن نیز ۰/۴۲۲ میلیون تن می‌باشد (عمادالدین، ۱۳۹۲).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه نکارود در استان‌های مازندران و گلستان و کشور

ب) لایه‌های مورد استفاده

برای اجرای مدل‌های پیش‌بینی و تهیه نقشه حساسیت سیلاب انتخاب فاکتورهای مؤثر بر وقوع سیلاب از مهم‌ترین مراحل پژوهش می‌باشد. در این پژوهش از ۱۲ پارامتر ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی و فیزیوگرافیکی به‌منظور تهیه نقشه حساسیت سیلاب با استفاده از مدل SVM استفاده گردید. این لایه‌های اطلاعاتی شامل موارد زیر می‌باشند:

(۱) مقدار و جهت شیب و طبقات ارتفاعی: به‌منظور تهیه این لایه‌ها از نقشه توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ منطقه استفاده گردید. این عوامل در گروه عوامل پایدار و تأثیرگذار در تولید رواناب و ایجاد سیلاب در حوزه آبخیز به شمار می‌روند.

(۲) دما و بارندگی: داده‌های مربوط به بارش و درجه حرارت سالانه ثبت‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی موجود در حوزه آبخیز از اداره کل هواشناسی استان مازندران اخذ گردید. بارش مهم‌ترین عامل در تولید سیلاب در حوزه آبخیز می‌باشد.

(۳) کاربری اراضی: نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز مورد مطالعه نیز از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI استخراج گردید. تغییرهای کاربری اراضی، قطع بی‌رویه درختان جنگلی و چرای بیش‌ازحد دام‌ها کاهش پوشش گیاهی اراضی را موجب شده که در نتیجه آن قدرت نفوذپذیری آب در خاک کاهش پیدا کرده و احتمال وقوع سیلاب را افزایش می‌دهد.

(۴) فاصله از گسل و تراکم گسل: تهیه این لایه‌ها با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه انجام گرفته است. فعالیت‌های تکتونیکی موجود در منطقه از جمله وجود گسل‌ها در حوزه آبخیز موجب تأثیر در شیب متوسط نیم‌رخ طولی آبراهه‌ها شده و بدین ترتیب روی سرعت جریان و کاهش زمان تمرکز و دبی اوج جریان می‌توانند تأثیرگذار باشند.

(۵) فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه: برای تهیه این لایه‌ها نیز از نقشه توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ منطقه استفاده گردید. تراکم بالای ساخت‌وساز در حریم رودخانه‌ها، برداشت غیراصولی و بی‌رویه مصالح از بستر رودخانه‌ها و به‌طور کلی دخل و تصرف انسان در آبراهه‌های حوزه آبخیز و رودخانه‌های آن احتمال وقوع سیل ناشی از عوامل انسانی را افزایش می‌دهد.

(۶) فاصله از جاده و تراکم جاده: برای تهیه این لایه‌ها نیز از نقشه توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ منطقه استفاده گردید. تراکم و گذر جاده‌ها در حاشیه رودخانه‌ها در هنگام وقوع سیلاب افزایش آسیب‌پذیری را به همراه دارد. بنابراین جاده‌هایی که در حریم رودخانه واقع‌اند و دارای تراکم بسیار بالایی نیز می‌باشند، دچار آسیب‌پذیری بالایی هستند.

ج) روش پژوهش

لایه‌های مؤثر در وقوع سیلاب در محیط نرم‌افزارهای ArcGIS 10.3، ENVI 5.3، Google Earth، Map Source، SAGA GIS تهیه شدند. سپس با ترکیب لایه‌های تولیدشده از مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) در نرم‌افزار R Studio استفاده گردید. در نهایت نقشه حساسیت به سیلاب در حوزه آبخیز نکارود به دست آمد.

د) الگوریتم‌های داده کاوی

فنون داده کاوی، گروه نامتجانسی از علوم مختلف را شکل می‌دهند. هر تکنیکی که بتواند بینش جدیدی از داده‌ها را استخراج کند، می‌تواند داده کاوی به حساب آید. به‌طور خلاصه، داده کاوی پل ارتباطی میان علم آمار، علم کامپیوتر، هوش مصنوعی، الگو شناسی، یادگیری ماشین و بازنمایی بصری داده می‌باشد. می‌توان گفت در داده کاوی، تئوری‌های پایگاه داده‌ها، هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و علم آمار را در هم می‌آمیزند تا زمینه کاربردی فراهم شود (اسماعیلی، ۱۳۹۱). در این پژوهش از بسته نرم کد نویسی SDMs یا (Spatial distributions models) که حاوی تعدادی مدل به‌عنوان گروه مدل‌های توزیع مکانی و جغرافیایی در نرم‌افزار R بعد از کد نویسی استفاده شد.

ه) مدل ماشین بردار پشتیبان^۱

ماشین بردار پشتیبانی یا به‌طور اختصار SVM، الگوریتم طبقه‌بندی بوده و به‌عنوان یکی از بهترین تکنیک‌های دسته‌بندی، پیش‌بینی و تشخیص عدم قطعیت‌ها شناخته می‌شود و برخلاف الگوریتم‌های خوشه‌بندی در دسته یادگیری با نظارت محسوب می‌شود و دو فاز آموزش و آزمون دارد (استانیکاف و همکاران ۲۰۱۱). این روش از جمله روش‌های کمابیش جدیدی است که در سال‌های اخیر کارایی خوبی نسبت به روش‌های قدیمی‌تر برای طبقه‌بندی از جمله شبکه‌های عصبی پرسپترون نشان داده است. مبنای کاری SVM دسته‌بندی خطی داده‌ها است و در تقسیم خطی داده‌ها سعی می‌شود خطی انتخاب شود که حاشیه اطمینان بیشتری داشته باشد (چن و همکاران ۲۰۱۷). حل معادله پیدا کردن خط بهینه برای داده‌ها به‌وسیله روش‌های QP که روش‌های شناخته‌شده‌ای در حل مسائل محدودیت‌دار هستند، صورت می‌گیرد. ماشین بردار پشتیبان نسبت به شبکه‌های عصبی تئوری قوی‌تری داشته و در مقایسه با شبکه‌های عصبی نسبت به بیش تخمینی مقاوم‌تر است. برای ذخیره مدل پیش‌بینی فضای کمتری نیاز دارد و به نتایج دقیق‌تر، قابل مفهوم و یک تفسیر هندسی دست پیدا می‌کند. الگوریتم SVM، جزو الگوریتم‌های تشخیص الگو دسته‌بندی می‌شود (استانیکاف و همکاران ۲۰۱۱).

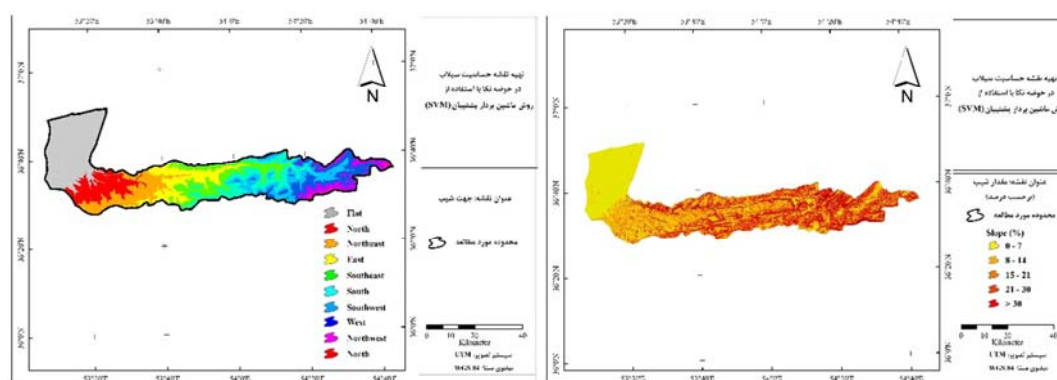
یافته‌های تحقیق

به‌طور کلی عوامل مؤثر در ایجاد سیلاب‌ها را می‌توان به دو گروه عوامل اقلیمی و عوامل مربوط به حوضه طبقه‌بندی کرد. عوامل اقلیمی شامل درجه حرارت، تبخیر و تعرق و بارش می‌باشند و از مهم‌ترین عوامل حوضه‌ای می‌توان به کاربری اراضی، وضعیت زمین‌شناسی، شیب و شبکه زهکشی و به‌طور کلی عوامل مورفومتریک اشاره نمود (ثقفیان و همکاران، ۱۳۸۵). نتایج مهم‌ترین عوامل مؤثر در تهیه نقشه حساسیت سیل حوضه نکارود به‌صورت زیر می‌باشند.

مقدار و جهت شیب

شیب زمین به دلیل تأثیر مستقیم بر رواناب سطحی، یکی از عوامل مهم در وقوع سیلاب در حوزه‌های آبخیز به شمار می‌رود. همچنین با افزایش شیب عمومی سطح حوزه آبخیز، فرصت لازم برای نفوذ کاهش یافته و می‌توان گفت که با افزایش شیب حوضه، زمان تمرکز کاهش می‌یابد. بنابراین شیب‌های زیاد باعث ایجاد اوج‌های بالا در هیدروگراف

می‌شوند. نقشه مقدار و جهت شیب با تکیه بر مدل رقومی ارتفاع^۱ در نرم‌افزار ArcMap 10.3 با استفاده از ابزار Spatial Analyst به دست آمد (شکل ۲). با توجه به شکل ۲ بیشترین سطح حوزه مربوط به اراضی با شیب بالا بوده که مقدار شیب آنها بین ۱۵ تا ۳۰ درجه متفاوت است. از آنجایی که اراضی شیب‌دار نقش بسیار مهمی در تولید رواناب و سرعت آن دارند، زمان تمرکز در دامنه‌ها را کاهش داده که عامل مهمی در دبی اوج سیلاب می‌باشد. همچنین مساحت جهت‌های شمالی، شمال غرب و شمال شرق بیشتر از سایر جهت‌ها بوده است. با توجه به اینکه رطوبت خاک در شیب‌های شمالی بیشتر می‌باشد، میزان نفوذ آب در خاک نیز کاهش یافته که شرایط را برای ایجاد سیلابی شدن فراهم می‌کند. بر اساس شکل ۲، اراضی مسطح در پایین‌دست حوزه آبخیز واقع شده‌اند که رودخانه نکارود نیز از این محدوده می‌گذرد. با شروع سیلاب و بالا آمدن سطح آب در مقطع رودخانه در این محدوده، با توجه به موقعیت مناطق جمعیتی و شهرها در این سطح از حوزه آبخیز، سیلاب می‌تواند خسارت‌های جانی و مالی بسیار زیادی همراه داشته باشد.

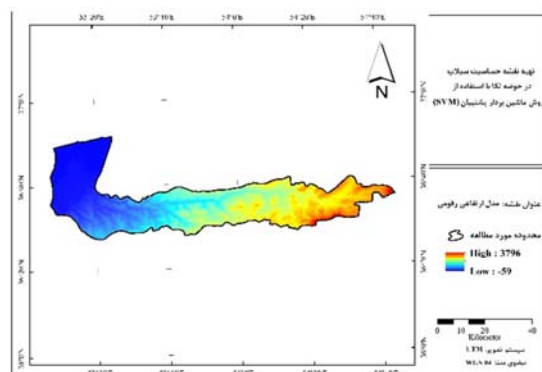


شکل ۲: نقشه مقدار و جهت شیب حوزه مورد مطالعه

الف) طبقات ارتفاعی

در سال‌های اخیر به دلیل تغییر اقلیم، بارندگی‌ها بیشتر به صورت رگباری تبدیل شده است که در مدت‌زمان بسیار کمی، مقدار زیادی باران نازل گشته و به علت کمبود پوشش گیاهی، سفت شدن خاک سطحی و شیب زیاد اجازه نفوذ باران وجود ندارد و باعث جاری شدن حجم زیادی از رواناب از دامنه کوه‌ها به صورت سیل به داخل رودخانه می‌شود که در ارتفاعات پایین‌تر، در جاهایی که شیب کمتر می‌گردد سیل‌های مهیبی رخ می‌دهد. جهت تهیه نقشه طبقات ارتفاعی از مدل رقومی ارتفاع و نقشه توپوگرافی منطقه به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ استفاده گردید. تهیه لایه طبقات ارتفاعی نیز با استفاده از ابزار Spatial Analyst در نرم‌افزار ArcMap 10.3 انجام گرفت (شکل ۳). بر اساس شکل ۳ بیش از نیمی از سطح حوزه آبخیز نکارود را طبقات ارتفاعی پایین در بر گرفته است. از آنجایی که سرشاخه‌های آبراهه‌ها در ارتفاعات بوده و سرعت رواناب، جریان در دامنه‌ها و مقاطع رودخانه در این مناطق زیاد می‌باشد، وقتی این جریان به مناطق پایین (با طبقات ارتفاعی پایین‌تر و شیب کمتر) می‌رسد به دلیل کاهش سرعت و پر شدن

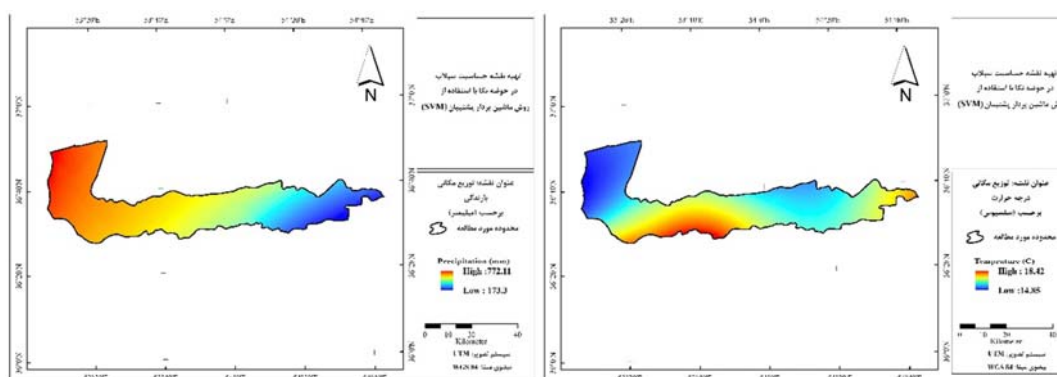
مقطع رودخانه موجب زیرآب رفتن دشت‌های سیلابی و مناطق جمعیتی در این مناطق شده و موجب ایجاد سیلاب می‌گردد.



شکل ۳: نقشه تغییرهای طبقات ارتفاعی حوزه مورد مطالعه

ب) دما و بارش

داده‌های مربوط به متوسط درجه حرارت و بارندگی سالانه از اداره کل هواشناسی استان مازندران اخذ گردید. سپس به منظور کنترل کیفی و آزمون همگنی آنها و رفع نواقص آماری از آزمون ران تست و کلموگروف – اسمیرونوف در محیط نرم‌افزار SPSS استفاده گردید. سپس لایه اطلاعاتی آنها در محیط نرم‌افزار ArcMap 10.3 شد (شکل ۴). مطابق شکل ۴ بیشترین مقدار بارندگی را در نواحی مرکزی حوزه و پایین‌دست آن داریم که موجب تولید حجم بالایی رواناب در مناطق پایین‌دست حوزه که شیب کمی دارند، می‌شود؛ در نتیجه شرایط برای ایجاد سیلاب در این محدوده را افزایش می‌دهد.

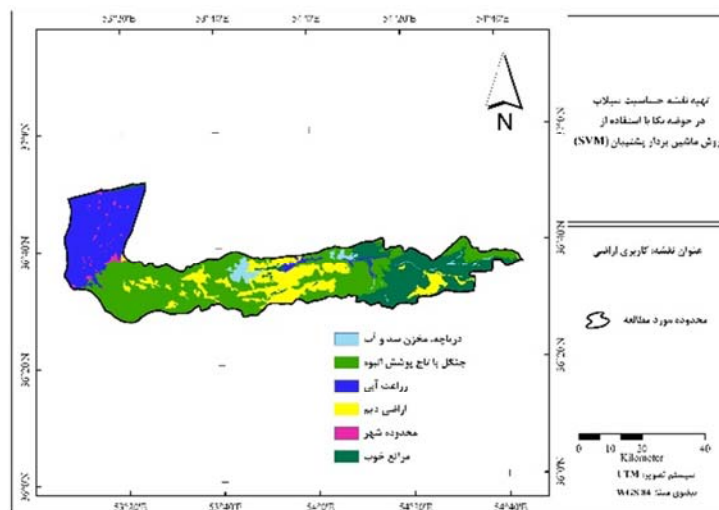


شکل ۴: توزیع مکانی درجه حرارت و بارندگی در حوزه مورد مطالعه

ج) تهیه نقشه کاربری اراضی

پوشش گیاهی نقش مهمی در جلوگیری از تبدیل بارش به رواناب دارد. از طرفی موجب کاهش سرعت جریان رواناب سطحی شده و رواناب تولیدشده با تأخیر بیشتری بر روی سطح زمین جریان دارد. بنابراین نقش پوشش گیاهی در

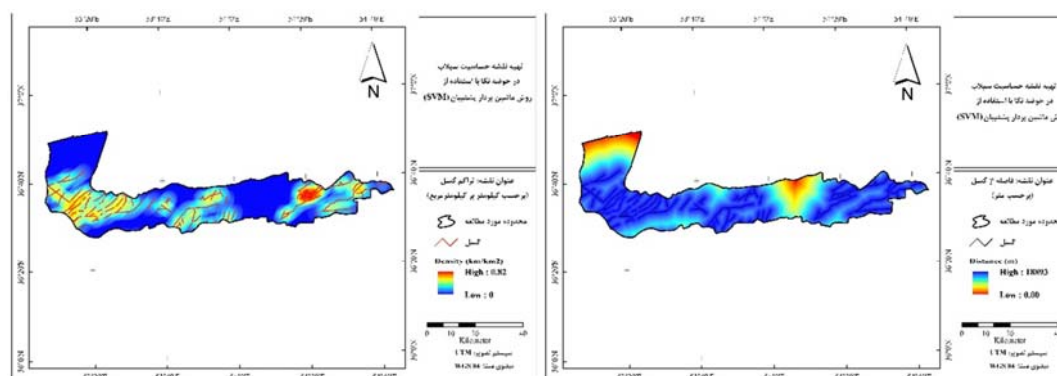
جلوگیری از ایجاد سیلاب‌ها در حوزه‌های آبخیز بسیار حائز اهمیت بوده و تأثیر بسزایی در کم کردن جریان سیلابی دارد. در این پژوهش، به‌منظور تهیه نقشه کاربری اراضی از تصاویر سنجنده OLI^۱ ماهواره لندست^۲ ۸ استفاده شده است. به این صورت که با انجام تصحیح اتمسفری و پیش‌پردازش‌های اولیه و برداشت نقاط تعلیمی، آماده‌سازی تصاویر انجام شد. در مرحله پیش‌پردازش‌های اولیه خطاهای موجود بر روی داده‌های خام شامل خطای رادیومتری، اتمسفری، هندسی و غیره تصحیح گردید. ماهواره لندست ۸ دارای قدرت تفکیک ۳۰ متر در باندهای چند طیفی و ۱۵ متر در باند پانکروماتیک است. باندهای حرارتی که شامل باندهای ۱۰ و ۱۱ بودند کنار گذاشته شدند و پس‌ازاینکه تک‌تک باندها با هم ترکیب شدند و یک تصویر چند طیفی را ساختند عمل فیوژن با باند پانکروماتیک (باند شماره ۸) انجام شد و قدرت مکانی تصویر به ۱۵ متر افزایش پیدا کرد. برای اطمینان از دقت هندسی تصویر مورد مطالعه چند نقطه در تقاطع جاده‌ها از نقشه توپوگرافی انتخاب شدند و با تصویر ماهواره‌ای مقایسه گردیدند که خطایی مشاهده نشد. پردازش تصاویر ماهواره‌ای در این پژوهش در نرم‌افزار ENVI 5.0 انجام شد و سپس برای تهیه نقشه نهایی از نرم‌افزار ArcMap 10.3 بهره گرفته شد (شکل ۵). مطابق شکل ۵ سطح بالایی از حوزه آبخیز نکارود از جنگل و مرتع پوشیده شده است. بر اساس نقشه کاربری اراضی، تبدیل اراضی جنگلی به مرتع و سپس به اراضی دیم به‌وضوح در منطقه دیده می‌شود که موجب کاهش پوشش گیاهی در حوزه آبخیز می‌گردد. کاهش پوشش در حوضه موجب کاهش نفوذ، افزایش رواناب و در نتیجه افزایش سیلاب می‌شود. سطح اراضی آبی و مناطق مسکونی بر طبق این نقشه در نواحی پایین‌دست حوضه دیده می‌شود که از جمله مناطقی هستند که در خطر سیلاب می‌باشند.



شکل ۵: نقشه کاربری اراضی حوضه مورد مطالعه

(د) فاصله از گسل و تراکم گسل

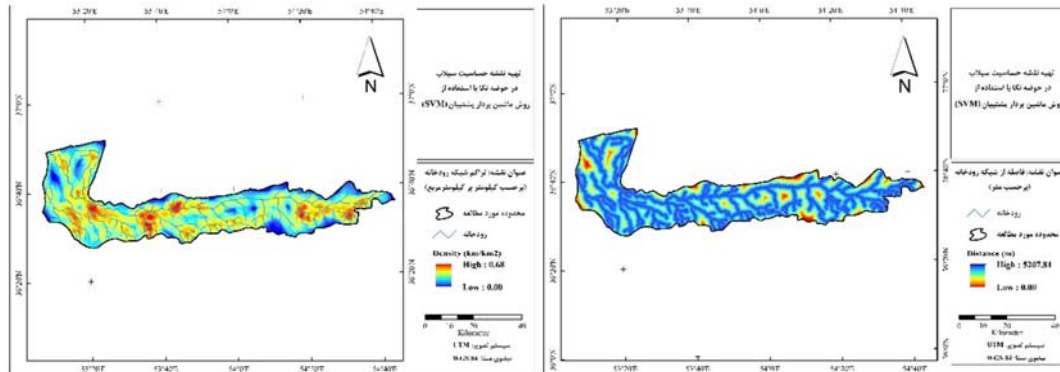
به‌طور کلی سازندهای زمین‌شناسی به دلیل تأثیر مستقیم بر میزان نفوذپذیری و رواناب سطحی، یکی از عوامل مهم در پدیده سیل در حوزه‌های آبخیز است. نقشه زمین‌شناسی حوضه نکارود از اداره کل منابع طبیعی استان مازندران اخذ گردید. به‌منظور تهیه لایه‌های اطلاعاتی فاصله از گسل و تراکم گسل از این نقشه استفاده شد. به این صورت که ابتدا نقشه موردنظر به محیط نرم‌افزار ArcMap 10.3 وارد و با رقومی سازی گسل‌های منطقه با ابزار Editor لایه خروجی به‌صورت شیپ‌فایل تهیه گردید (شکل ۶).



شکل ۶: نقشه فاصله از گسل و تراکم آن در حوضه مورد مطالعه

ه) فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه

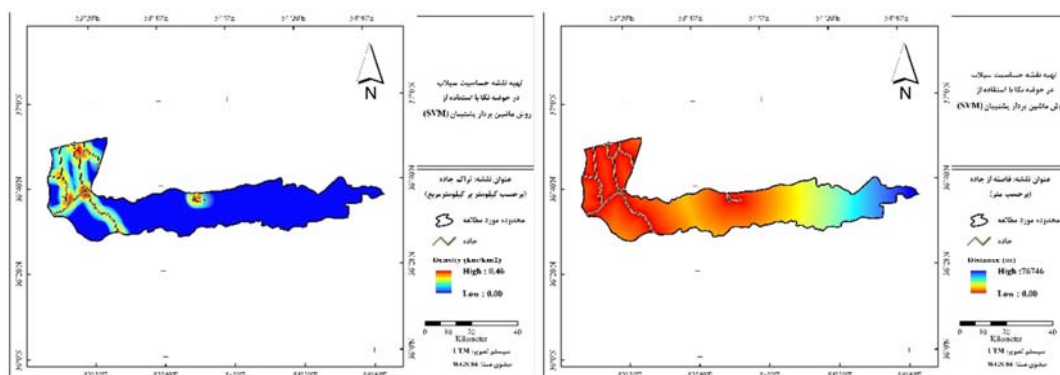
فاصله از آبراهه نقش اساسی را در پخش و بزرگی سیلاب در منطقه دارا می‌باشد. به‌طوری‌که هر چه از آبراهه‌ها و رودخانه‌ها فاصله بگیریم خطر سیلاب نیز کمتر خواهد شد. برای تهیه نقشه فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه از نقشه توپوگرافی و مدل رقومی ارتفاع منطقه استفاده گردید به این منظور نقشه توپوگرافی به محیط نرم‌افزار ArcMap 10.3 فراخوانده شد با استفاده از ابزار Editor لایه آبراهه تهیه و سپس با استفاده از ابزار Multiring Buffer فاصله از آنها و تراکم برحسب کیلومتر بر کیلومتر مربع به دست آمد (شکل ۷). مطابق شکل ۷ محدوده فاصله از رودخانه و تراکم آن در حوضه مشخص گردید. شبکه آبراهه‌های حوضه نشان‌دهنده چگونگی تخلیه رواناب از حوضه می‌باشد. نحوه استقرار این شبکه‌ها در سطح حوضه می‌تواند در ارتباط با لیتولوژی، نفوذپذیری و ... توجیه شود. مقدار تراکم زهکشی، یک شاخص مهم در تعیین شدت سیلاب‌ها، میزان بار رسوبی، بیلان آب در کل حوضه و به‌طور کلی در چگونگی فعالیت فرایندهای رواناب‌های سطحی است. با فاصله گرفتن از آبراهه‌ها و رودخانه میزان خطر سیل‌گیری کاهش می‌یابد.



شکل ۷: نقشه فاصله از آبراهه و تراکم آن در حوضه مورد مطالعه

(و) فاصله از جاده و تراکم جاده

جاده‌ها به عنوان سطوح با ضریب نفوذپذیری خیلی کم در حوزه‌های آبخیز نقش مهمی در ایجاد رواناب دارند. وجود مناطق با ضریب نفوذپذیری زیاد در سطح حوزه آبخیز تبدیل بارش به رواناب را تسهیل کرده و شرایط را برای تشکیل جریان‌های سیلابی مهیا می‌سازند. در این پژوهش به منظور تهیه لایه‌های فاصله از جاده و تراکم آن در سطح حوضه نکارود از نقشه توپوگرافی استفاده گردید. به این منظور نقشه موردنظر به محیط نرم‌افزار ArcMap 10.3 وارد و با استفاده از ابزار Editor لایه جاده ایجاد شد. سپس لایه فاصله از جاده و تراکم آن با استفاده از ابزار Multiring Buffer تولید شد (شکل ۸).



شکل ۸: نقشه فاصله از جاده و تراکم آن در حوضه مورد مطالعه

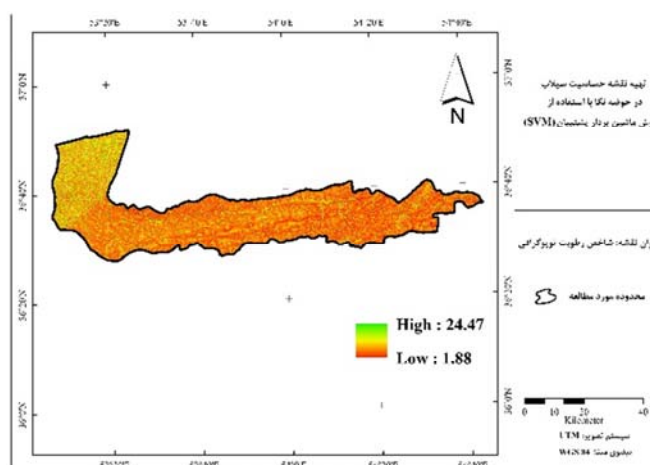
(ر) شاخص رطوبت توپوگرافی^۱ (TWI)

شاخص TWI به عنوان یکی از شاخص‌های تأثیرگذار بر وقوع پتانسیل سیل در حوزه‌های آبخیز به شمار می‌رود. این شاخص با توجه به رابطه زیر تعریف می‌شود (پورقاسمی و همکاران، ۲۰۱۲؛ شفاپورتهرانی و همکاران، ۲۰۱۳).

$$TWI = Ln\left(\frac{As}{\tan\beta}\right) \quad (۱)$$

^۱- Topographic Wetness Index

که در آن As سطح ویژه حوضه (به صورت مساحت اراضی بالادست عرض کنتور، تقسیم بر عرض کنتور تعریف می گردد) و β شیب زمین (بر حسب درجه) می باشند. این شاخص که به عنوان شاخص مرتبط با آب مشهور و شناخته شده است (Nampak و همکاران، ۲۰۱۴). برای استخراج نقشه این شاخص از نرم افزار SAGA GIS 2 استفاده گردید (شکل ۹). این شاخص به عنوان یک شاخص فیزیکی، مکان مناطق اشباع سطحی و توزیع مکانی رطوبت خاک را تقریب می زند و برای تعیین مناطق جمع آوری آب پتانسیل مورد استفاده قرار می گیرد. همان طور در شکل ۹ مشخص است، مناطق مرطوب می توانند از مساحت های زهکشی بزرگ در بالادست یا از سطوح خیلی هموار و بدون شیب به وجود آیند، در حالی که مناطق خشک تر با مقدار شاخص رطوبت توپوگرافی کمتر، یا از شیب های تندتر و یا از مناطق زهکشی کوچک در بالادست ناشی می شوند. همان طور که در نقشه پیداست مقدار شاخص رطوبت توپوگرافی در مسیر آبراهه ها دارای مقدار بالایی است و با آنچه در طبیعت و واقعیت رخ می دهد، همخوانی دارد. مناطق دارای مقدار TWI یکسان، به لحاظ شرایط رطوبتی کمابیش یکسان اند و بنابراین این مناطق در اشباع شدن آنها در طول وقایع بارندگی می تواند موجب ایجاد رواناب و سیلاب شود.



شکل ۹: نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی در حوضه مورد مطالعه

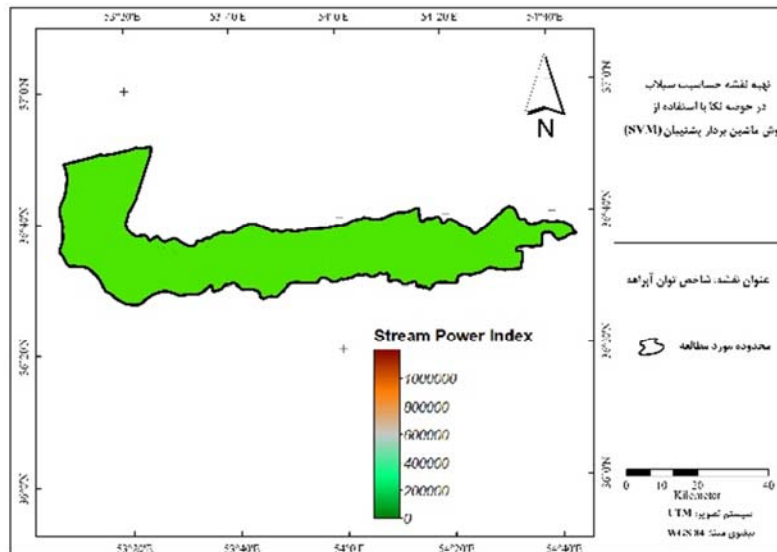
(ح) شاخص توان آبراهه^۱ (SPI)

شاخص مهم دیگری که در پتانسیل سیل خیزی حوزه آبخیز مؤثر می باشد، شاخص توان آبراهه است. این شاخص با استفاده رابطه زیر قابل محاسبه است (پورقاسمی و همکاران، ۲۰۱۲؛ شفاپورتهرانی و همکاران، ۲۰۱۳).

$$SPI = A_s \tan \beta \quad (2)$$

برای تهیه این شاخص SPI نیز از نرم افزار SAGA GIS 2 استفاده گردید (شکل ۱۰). شاخص توان آبراهه بیان کننده قدرت جریان آب به لحاظ فرسایش است و مناطق دارای تجمع رطوبت را نیز نشان می دهد. هر چه مقدار این شاخص بیشتر باشد رطوبت بیشتر بوده و با توجه به نقشه مناطق زیادی در تولید رواناب و سیلاب دخیل هستند.

¹ - Stream Power Index

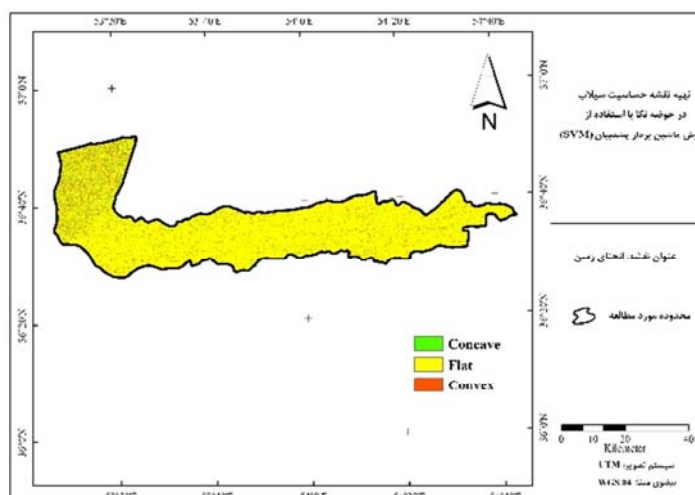


شکل ۱۰: نقشه شاخص توان آبراهه در حوضه مورد مطالعه

ط) لایه انحناى زمین^۱

انحنای زمین یکی از پارامترهای مکانی مورد استفاده در تهیه نقشه‌های پتانسیل سیل حوزه‌های آبخیز می‌باشد (شفاپورتهرانی و همکاران، ۲۰۱۵). در این پژوهش نقشه انحناى زمین بر اساس مدل رقومی ارتفاع و در نرم‌افزار ArcMap 10.3 تهیه شد. نقشه انحناى زمین در سه طبقه انحناى مقعر، انحناى محدب و بدون انحنا (تخت) تقسیم‌بندی می‌شود (شکل ۱۱). بر طبق نقشه انحناى زمین، بیشترین سطح مربوط به طبقه انحناى مسطح است و انحناى مقعر و محدب در پایین‌دست حوزه آبخیز تمرکز بیشتری دارند. به دلیل کوهستانی بودن در مناطق بالادست و همچنین شیب زیاد، رواناب به سرعت تشکیل شده و در طبقات ارتفاعی پایین‌تر که بیشتر محل تمرکز مناطق مسکونی و کشاورزی می‌باشد و از نظر انحنا نیز مسطح هستند، احتمال رخداد سیل بیشتری را موجب می‌گردد.

¹- Curvature



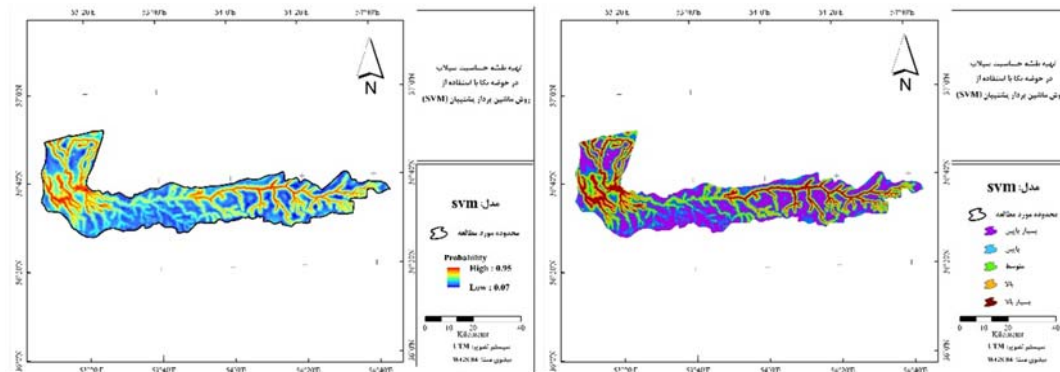
شکل ۱۱: نقشه انحنای زمین در حوضه مورد مطالعه

ی) برداشت نقاط سیل گیر با استفاده از GPS

به منظور پیش بینی و تهیه نقشه حساسیت سیلاب برداشت و تجزیه و تحلیل مناطق مناسب از نظر سیل گیر بودن با استفاده از دستگاه GPS ضروری بود. بنابراین تعداد ۱۹۰ نقطه (با توجه به وقت و هزینه) (۱۰۰ منطقه به عنوان نقاط سیل گیر و ۹۰ منطقه به عنوان نقاط که سیل گیر نبودند) در منطقه بر اساس بازدیدهای میدانی در طول فصول مختلف سال تهیه گردید. این مجموعه به صورت تصادفی به یک گروه متشکل از ۱۳۳ نقطه (۷۰٪) برای واسنجی و یک گروه متشکل از ۵۷ نقطه (۳۰٪) برای اعتبارسنجی تقسیم شدند. در این پژوهش دستگاه GPS مدل Garmin-76CSx برای تعیین مختصات نقاط و نرم افزار Arc GIS 10.3 به منظور تهیه خروجی های مورد نظر استفاده شدند. شایان ذکر است که بعد از تهیه تمامی متغیرهای یاد شده در بالا (اعم از متغیرهای اقلیمی، هیدرولوژیکی، فیزیوگرافی) و نقاط برداشت شده از منطقه مورد مطالعه و با اندازه پیکسل یکسان و برای تمامی آنها (۱۲/۵ متر) اقدام به آماده سازی آنها جهت ورود به نرم افزار R شد. بدین صورت که تمامی لایه مورد نظر با فرمت ASCII وارد نرم افزار R شدند تا بدین وسیله مقدمات تهیه نقشه های توزیع مکانی و جغرافیایی با استفاده از مدل های توزیع مکانی فراهم شود.

ط) نقشه نهایی حساسیت سیلاب در حوضه نکارود

پس از تهیه عوامل مؤثر در وقوع سیلاب در محیط نرم افزارهای نامبرده، با ترکیب این لایه ها در محیط نرم افزار R تحت دستور روش ماشین بردار پشتیبان نقشه نهایی مناطق حساسیت به سیل با مشخص کردن مناطق دارای خطر مختلف به دست آمد (شکل ۱۲). همان طور که مشاهده می شود فاصله از رودخانه دارای بیشترین خطر وقوع سیلاب در فواصل کمتر از ۲۰۰ متر می باشد که دلیل این امر تأثیر فواصل نزدیک به رودخانه بر گستره و اندازه سیلاب است.



شکل ۱۲: نقشه حساسیت به سیل در حوزه آبخیز نکارود با استفاده از مدل SVM

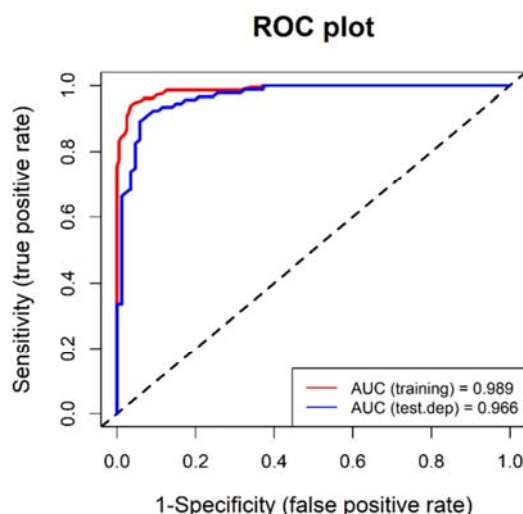
ی) صحت‌سنجی نقشه حساسیت سیل تهیه‌شده از مدل SVM

پس از آنکه نقشه توزیع مکانی حساسیت به سیلاب در حوزه آبخیز نکارود با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان تهیه گردید؛ به منظور ارزیابی صحت مدل موردنظر از روش محاسبه ویژگی‌های عامل نسبی (ROC) در محیط نرم-افزار R استفاده شد (اوه و همکاران، ۲۰۱۱؛ نفیسلو اوغلو و همکاران، ۲۰۰۸؛ رگمی و همکاران، ۲۰۱۰). این منحنی کارآمدترین روش در پیش‌بینی سیستم‌هاست که میزان دقت مدل را به صورت کمی برآورد می‌کند (سویتز، ۱۹۸۸). در روش ROC، مساحت زیر منحنی (AUC) مقادیر بین ۰/۵ تا ۱ دارد (ازدمیر، ۲۰۱۱). هر چقدر مقدار AUC به (۱) نزدیک‌تر شود، دقت مدل بیشتر است. همبستگی کیفی - کمی سطح زیر منحنی و ارزیابی تخمین در جدول ۱ ارائه شده است (غلامی و اجل‌لوئیان، ۱۳۹۶؛ Gee، ۱۹۹۲؛ Wang و Zhu، ۲۰۰۹).

جدول ۱: همبستگی کیفی - کمی سطح زیر منحنی (AUC) در روش ROC

کیفی	عالی	خیلی خوب	خوب	متوسط	ضعیف
کمی	۰/۹ تا ۱	۰/۸ تا ۰/۹	۰/۷ تا ۰/۸	۰/۶ تا ۰/۷	۰/۵ تا ۰/۶

جهت به‌کارگیری این روش در رابطه با مدل ماشین بردار پشتیبان از اطلاعات نقاط برداشت‌شده GPS در مورد مطالعه استفاده شده است. برای این منظور از ۳۰ درصد نقاط (۵۷ نقطه) در منطقه مورد مطالعه که از ابتدا جهت تست مدل انتخاب شده بود، استفاده شده است. نتایج ارزیابی مدل با استفاده از منحنی ROC و سطح زیر منحنی برای مدل مورد استفاده در مرحله آموزش و تست در شکل ۱۳ و جدول ۲ ارائه شده است.



شکل ۱۳: نتایج صحت سنجی مدل SVM با استفاده از منحنی ROC

جدول ۲: نتایج صحت سنجی مدل مورد استفاده

ROC-AUC		مدل
Testing	Training	نام مدل
۰/۹۶۶	۰/۹۸۹	SVM

نتیجه گیری

سیل، پر خسارت ترین عارضه مصیبت بار در جهان می باشد که تهدیدی جدی برای زندگی می باشد. مشخص کردن مناطق حساس به وقوع سیل ضروری و یکی از گام های اولیه در کاهش خسارت می باشد و به علاوه آنالیز حساسیت به وقوع سیل یکی از مهم ترین موضوع ها در ارتباط با کاهش خسارت سیل می باشد. با استفاده از نقشه های احتمال وقوع سیل، می توان به راحتی مناطقی را که دارای احتمال خطر بالا هستند شناسایی کرد تا از وقوع خسارت ها جلوگیری نمود. برای این کار تعداد ۱۹۰ نقطه (۱۰۰ منطقه به عنوان نقاط سیل گیر و ۹۰ منطقه به عنوان نقاطی که سیل گیر نبودند) در منطقه بر اساس بازدیدهای میدانی در طول فصول مختلف سال تهیه گردید. حوزه آبخیز نکارود به دلیل کوهستانی بودن و همچنین شیب زیاد، رواناب به سرعت تشکیل شده و در ارتفاعات پایین تر به داخل رودخانه نکارود ریخته و در جاهایی که توپوگرافی اجازه دهد سطح وسیعی را به صورت سیل در بر می گیرد. یافته های این پژوهش حاکی از آن است که دقت مدل SVM (ماشین بردار پشتیبان) در شناسایی مناطق دارای استعداد سیل گرفتگی حوزه آبخیز نکا در استان مازندران ۹۶/۶ درصد است. بیشتر مناطق مسکونی و کشاورزی داخل حوضه، در مناطقی احداث شده است که دارای شیب کم و از نظر انحناء، مسطح هستند. به همین خاطر در صورت وقوع سیل موجب خسارت های زیادی می شود. مهم ترین عوامل مؤثر در وقوع سیل طبق روش ماشین بردار پشتیبان عوامل فاصله از رودخانه، دما، بارندگی، تراکم رودخانه، شاخص توان آبراهه و کاربری اراضی به ترتیب ۰/۳۵۵، ۰/۱۰۸، ۰/۰۹، ۰/۰۸،

۰/۰۵ و ۰/۰۴ در منطقه مطالعاتی داشته‌اند. این نتایج با نتایج عرب عامری و همکاران (۱۳۹۶) با عنوان پهنه‌بندی سیل‌گیری با استفاده از روش ترکیبی نوین تئوری بیزین-فرایند تحلیل سلسله مراتبی برای حوزه آبخیز نکا مطابقت کامل داشته است. برای فاکتور فاصله، درکل، با افزایش فاصله از رودخانه احتمال رخداد وقوع سیل کمتر می‌گردد. انتخاب ارتفاع از سطح دریا به‌عنوان یکی از پارامترهای مؤثر در وقوع سیل آن است که سیل در ارتفاعات پایین‌تر از سطح دریا اتفاق می‌افتد و در ارتفاعات بالا احتمال رخداد سیل بسیار کم می‌باشد. با بررسی فاکتور بارندگی می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش ارتفاع، احتمال بارندگی بیشتر می‌گردد (که توسط روی هم انداختن لایه بارندگی با توپوگرافی نیز این نتیجه حاصل می‌شود) و از طرف دیگر احتمال وقوع سیل در ارتفاعات بالا کمتر رخ می‌دهد. فاکتور تراکم رودخانه، درکل، با افزایش این شاخص احتمال رخداد وقوع سیل بیشتر می‌گردد. کاربری اراضی از دیگر فاکتورهای مؤثر در وقوع سیل می‌باشد، زیرا نوع کاربری اراضی بر روی نفوذ رواناب و یا تشدید سرعت آن مؤثر می‌باشد. به دنبال تغییر پارامتر کاربری اراضی توسط فعالیت‌های انسانی، توان آبراهه نیز کم شده است و در نتیجه به-عنوان پارامتر مهمی در وقوع سیل دخالت دارد. این نتایج با نتایج تهرانی و همکاران (۲۰۱۳) و یوسف و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد. نتایج ارزیابی نشان داد که مدل SVM دقت مناسبی در شناسایی پهنه‌های حساس سیلاب در منطقه مورد مطالعه دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که مناطق حساس به سیل‌گیری، بیشتر در بخش‌های شمالی و شمال غرب حوزه و در مناطقی قرار گرفته است که تمرکز سکونتگاه‌های انسانی بیشتر است؛ درحالی‌که مناطق مرکزی حوزه که دارای پوشش گیاهی متراکم است، حساسیت کمی نسبت به سیل‌گیری دارد. نتایج این پژوهش می‌تواند به برنامه‌ریزان و محققان برای انجام اقدام‌های مناسب به‌منظور جلوگیری و کاهش خطر سیل‌گیری در آینده کمک کند. همچنین می‌توان از آن به‌منظور شناسایی مناطق مناسب و امن برای توسعه‌های عمرانی استفاده کرد.

منابع

- اسماعیلی مهدی (۱۳۹۱)، مفاهیم و تکنیک‌های داده کاوی، انتشارات دانشجو، چاپ اول، ۳۱۵ صفحه.
- امیدوار کمال، کیان‌فر آمنة، عسکری شمس الله (۱۳۸۹)، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه آبریز کنجانچم، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۲، شماره ۷۲، صص ۷۳-۹۰.
- امیراحمدی ابوالقاسم، بهنیافر ابوالفضل، ابراهیمی مجید (۱۳۹۱)، ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر سبزوار در راستای توسعه پایدار شهری، فصلنامه آمایش محیط، دوره ۵، شماره ۱۶، صص ۱۷-۳۲.
- ثروتی محمدرضا، رستمی اکبر، خدادادی فاطمه (۱۳۹۳)، امکان‌سنجی وقوع سیل در حوزه آبخیز لیلان‌چای (مراغه) به روش CN، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال هفتم، شماره ۲۵، صص ۱۳-۲۶.
- ثقفی بهرام، فرازجو حسن، سپهر عادل، نجفی‌نژاد علی (۱۳۸۵)، بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر سیل‌خیزی حوزه آبریز سد گلستان، تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۲، شماره ۱، صص ۱۸-۲۸.
- حسن‌زاده نفوتی محمد، خواجه‌بافقی حبیب‌الله (۱۳۹۵)، پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شیطان‌بافقی)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، دوره هفتم، شماره ۱۴، صص ۲۹-۳۷.
- دلال‌اوغلی علی، فتحی محمد، خوشدل کاظم (۱۳۹۶)، کاربرد روش‌های نوین تصمیم‌گیری چندشاخصه در برآورد پتانسیل سیل‌خیزی با تأکید بر عوامل ژئومورفیک (مطالعه موردی: حوزه رودخانه آجروچای)، فضای جغرافیایی، دوره ۱۷، شماره ۵۹، صص ۶۷-۸۲.

- رضوی احمد (۱۳۸۷)، اصول تعیین حریم منابع آب، انتشارات دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)، چاپ اول، ۳۳۶ صفحه.
- عرب عامری علیرضا، پورقاسمی حمیدرضا، شیرانی کورش (۱۳۹۶)، پهنه‌بندی حساسیت سیل‌گیری با استفاده از روش ترکیبی نوین تئوری بیزین - فرایند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز نکا- استان مازندران)، اکوهیدرولوژی، دوره ۴، شماره ۲، صص ۴۴۷-۴۶۲.
- عمادالدین سمیه (۱۳۹۲)، بررسی تغییر سطح اساس نکارود تحت تأثیر نوسانات سطح دریای خزر و زمین‌ساخت البرز، مجله آمایش جغرافیایی فضا، دوره ۳، شماره ۱۰، صص ۸۱-۶۶.
- غلامی محسن، اجل‌لوئیان رسول (۱۳۹۶)، مقایسه‌ی روش‌های انتخابی تجربی و روش‌های آماری و شبکه‌ی عصبی مصنوعی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی در مخزن سد بهشت‌آباد)، نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۴۹، شماره ۲، صص ۳۷۸-۳۶۳.
- قلی‌زاده ایلا، قنواتی عزت‌الله، افشارمنش حمیده، امان‌اله‌پور حجت (۱۳۹۶)، کارایی مدل فازی در پتانسیل سیل‌خیزی حوضه زنگمار، فضای جغرافیایی، دوره ۱۷، شماره ۶۰، صص ۲۴۵-۲۲۷.
- ولی‌زاده کیوان (۱۳۸۶)، کاربرد GIS در پهنه‌بندی خطر سیلاب (مطالعه موردی: حوضه رود ليقوان)، فضای جغرافیایی، سال ۷، شماره ۲۰، صص ۱۶۹-۱۵۳.
- Chen, W., Pourghasemi, H.R., Kornejady, A., Zhang, N., (2017). Landslide spatial modeling: Introducing new ensembles of ANN, MaxEnt, and SVM machine learning technique, *Geoderma*, 305(1), 314-327.
- Gee, M.D., (1992), Classification of Landslide Hazard Zonation Methods, and a Test of Predictive Capability, 6th International Symposium on Landslides: Christchurch, New Zealand, 947- 952.
- Hong, H., Tsangaratos, P., Ilia, I., Liu, J., Zhu, A., Chen, W., (2018). Application of fuzzy weight of evidence and data mining techniques in construction of flood susceptibility map of Poyang County, China, *Science of the Total Environment*, 625: 575-588.
- Nampak, H., Pradhan, B., Manap, M.A., (2014). Application of GIS-based data-driven evidential belief function model to predict groundwater potential zonation, *Journal of Hydrology*, 513: 283-300.
- Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., Durmaz, S., (2008). Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea Region of Turkey). *Geomorphology*, 94: 401-418.
- Oh, H.J., Pradhan, B., (2011). Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area, *Computer & Geosciences*, 37: 1264-1276.
- Patra, J.P., Kumar, R., Mani, P., (2015). Combined fluvial and pluvial flood inundation modeling for a project site, *Procedia Technology*, 24: 93-100.
- Pourghasemi, H.R., Moradi, H.R., Fatemi, S.M., Aghda, C., Pradhan, B., (2012). GIS-based landslide susceptibility mapping with probabilistic likelihood ratio and spatial multi-criteria evaluation models (North of Tehran, Iran), *Arabian Journal of Geosciences*, 7: 1857-1878.
- Regmi, N.R., Giardino, J.R., Vitek, J.D., (2010), Modeling Susceptibility to Landslides Using the Weight of Evidence Approach: Western Colorado, USA, *Geomorphology*, 115: 172-187.
- Sanyal, J., Lu, X.X., (2004). Application of Remote Sensing in Flood Management with Special Reference to Monsoon Asia: A Review, *Natural Hazards*, 33: 283-301.
- Shafapour Tehrany, M., Pradhan, B., Mansor, Sh., Noordin, A., (2015). Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types, *Catena*, 125: 91-101.
- Shafapour Tehrany, M.S., Pradhan, B., Jebur, M.N., (2013). Spatial prediction of flood susceptible areas using a rule-based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS, *Journal of Hydrology*, 504: 69-79.
- Shafapour Tehrany, M.S., Pradhan, B., Mansor, S., Ahmad, N., (2015). Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types, *Catena*, 125: 91-101.
- Shafizadeh-Moghadam, H., Valavi, R., Shahabi, H., Chapi, K., Shirzadi, A., (2018). Novel forecasting approaches using combination of machine learning and statistical models for flood susceptibility mapping, *Journal of Environmental Management*, 217(1): 1-11.
- Statnikov, A., Hardin, D., Guyon, I., Aliferis, C.F., (2011). A Gentle Introduction to Support Vector Machines in Biomedicine, Volume 1: Theory and Methods, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 179 pp.
- Swets, J.A., (1988), Measuring the accuracy of diagnostic systems, *Science*, 240: 1285-1293.
- Xiao, Y., Yi, Sh., Tang, Zh., (2017). Integrated flood hazard assessment based on spatial ordered weighted averaging method considering spatial heterogeneity of risk preference, *Science of the Total Environment*, 599-600: 1034-1046.
- Youssef, A.M., Pourghasemi, H.R., Pourtaghi, Z.S., Al- Katheeri, M.M., (2016). Landslide susceptibility mapping using random forest, boosted regression tree, classification and regression tree, and general linear models and comparison of their performance at Wadi Tayyah Basin, Asir Region, Saudi Arabia, *Landslides*, 13(5): 839-856.

Zhu, C., Wang. X., (2009). Landslide susceptibility mapping: A comparison of information and weights-of evidence methods in Three Gorges Area, International Conference on Environmental Science and Information Application Technology, 187: 342- 346.

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره نهم، شماره ۲۵، پاییز ۱۳۹۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۰۸

تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۱۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۲۴

صفحات: ۱۰۰ - ۸۱

مقاله (علمی پژوهشی)

ارائه یک مدل ساده برای تعیین مناطق در خطر سیل

حمید حساس^۱، ابوالفضل عزیزیان^{۲*}، محسن قاسمی^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه اردکان

۲. استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه اردکان

۳. دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی آب، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

تعیین محل‌های دارای پتانسیل بالای سیل‌گیری یکی از اقدام‌های اساسی برای کاهش خطرهای سیل می‌باشد. در این تحقیق اقدام به مدل‌سازی گسترش سیل با استفاده از طراحی نرم‌افزار آنالین تحت وب با قابلیت پهنه‌بندی مناطق با پتانسیل سیل‌گیری از طریق به‌کارگیری داده‌های DEM نقشه‌های گوگل شده است. برای این منظور، ابتدا بازه موردنظر در رودخانه روی نقشه گوگل انتخاب شده و سپس در هر مقطع انتخابی حداکثر سطح مقطع برای عبور جریان محاسبه می‌گردد. با توجه به میانگین مقاطع در کل بازه و ویژگی‌های فیزیکی بازه انتخابی حداکثر دبی عبوری از بازه محاسبه می‌گردد. با این دبی پهنه ایمن‌گذر سیلاب روی نقشه مشخص می‌شود. برای دبی‌های بیش از دبی ایمن، نرم‌افزار مقطع به مقطع به محاسبه پهنه‌های در معرض خطر سیل می‌پردازد و در نهایت نقشه اراضی متأثر از سیل در حاشیه بازه انتخابی ترسیم می‌گردد. برای نمونه، ابتدا مراحل آزمایش نرم‌افزار بر روی رودخانه خشک شیراز که به دریاچه مهارلو می‌ریزد مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج رضایت‌بخش بود. پس از آن اقدام به بررسی واقعه سیل اکتبر ۲۰۱۱ در رودخانه شهر آبوتایا در کشور تایلند گردید. بررسی تصویر ماهواره‌ای این سیل در کنار بررسی نقشه‌های توپوگرافی مسیر عبور رودخانه حاکی از وقوع سیلابی با دبی اوج ۴۱۱۳/۰۱ مترمکعب بر ثانیه بود که در مقایسه با دبی ۴۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه ثبت شده از آن واقعه سیل ۲/۱ درصد اختلاف داشت. در صورتی که این سیلاب با وضعیت فعلی منطقه رخ بدهد پهنه سیل گیر محاسبه شده در مقایسه با مساحت متأثر از سیل سال ۲۰۱۱ به میزان ۱۷/۶۳ کمتر است. همچنین سیل فروردین ۱۳۹۸ شیراز نیز شبیه‌سازی شد که باز گزارش هیئت ویژه بررسی سیلاب‌ها تطابق خوبی داشت.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی سیل، سیل دروازه قرآن شیراز، خطر سیل، نقشه‌های گوگل.

مقدمه

بلایای طبیعی مانند سیل بخشی از طبیعت و محیط‌زیست بشر است. اثرهای مخرب سیل در گذشته به مراتب کمتر بوده است. در سال‌های اخیر، رشد شهرهای واقع در حاشیه رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی که ناشی از افزایش جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی بوده، موجب شده تا ساکنین و دارایی‌های موجود در این مناطق، در معرض خطر سیل باشد و فراوانی وقوع سیل نیز افزایش یابد (Hudson et al., 2014).

پدیده سیل مخاطرات فراوانی را در سراسر جهان موجب شده است. پیامدهای این رخداد محیطی به شدت بر روی بخش‌های مختلف شیلات، مسکن، کشاورزی، منابع طبیعی، سازه‌های مهندسی و فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی تأثیرگذار است. مثلاً سیل شهر آیوتای تایلند در اکتبر ۲۰۱۱ که بخش اعظمی از شهرک‌های صنعتی و شهرهای اطراف را در بر گرفت، بالغ بر ۸۰۰ نفر تلفات جانی داشت و منجر به کاهش تولیدات کارخانه‌ها و افزایش تورم این کشور گردید (Gale and Sunders, 2013). همچنین سیل فروردین ۱۳۹۸ شیراز در منطقه دروازه قرآن و شهرک سعدی بالغ بر ۲۱ نفر تلفات جانی، خسارت به ۲۰۰ خودرو و ۲۵۳ واحد مسکونی را در پی داشت (هیئت ویژه گزارش ملی سیلاب‌ها، ۱۳۹۸). از این رو لازم است علل بروز آن بررسی و راهکارهایی برای کاهش خطرهای آن ارائه شود. روش‌های مختلفی برای کنترل خسارت‌های سیل وجود دارد. یکی از مهم‌ترین اقدام‌ها در این راستا، شناسایی مناطق با پتانسیل سیل‌گیری و اولویت‌بندی آن‌ها می‌باشد که اطلاعات ارزشمندی در رابطه با تعیین حریم رودخانه‌ها ارائه می‌دهد.

هر جریان سطحی آب، صرف‌نظر از عامل ایجادکننده‌ی آن در صورتی سیلاب تلقی می‌شود که جریان آب در مقطع رودخانه بیش از جریان عادی باشد، تداوم زمانی آن محدود باشد، جریان آب از بستر طبیعی تجاوز کند، اراضی پست و حاشیه رود را فراگیرد و خسارت‌های جانی و مالی به همراه داشته باشد (Perera et al., 2015). این فرآیند تغییرهای مکانی و زمانی زیادی داشته و کمیت بخشیدن به آن همواره مورد توجه محققین مختلف بوده است. عوامل مختلفی بر سیل اثر دارد. از مهم‌ترین عوامل حوضه‌ای مؤثر بر سیل می‌توان به شیب، طول و عرض رودخانه و مواردی از این قبیل اشاره نمود. مهم‌ترین عوامل غیر حوضه‌ای شامل نوع بارش، شدت و مدت بارش و دبی حداکثر لحظه‌ای می‌باشد. بدیهی است که برای کنترل و جلوگیری از خطرهای سیل، ایجاد تغییر در عوامل غیر حوضه‌ای امکان‌پذیر نیست. بنابراین برای پیدا کردن راه‌حل باید بر عوامل حوضه‌ای تمرکز نمود.

تاکنون روش‌هایی که برای تعیین مناطق در معرض خطر سیل استفاده شده بیشتر بر پایه روش‌های مشاهده‌ای (داغاب سیل)، نموداری، فرمول‌های تجربی، تحلیل آماری داده‌های سیل، تفکیک حوضه به تعدادی زیر حوضه، داده‌های دورسنجی، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)^۱ و مدل‌های ریاضی رایانه‌ای بارش و رواناب بوده و بیشتر از دیدگاه تولید سیل در سطح حوضه‌ای مطرح شده است (ولیزاده، ۱۳۸۶). به دنبال این مطالعات سازمان حفاظت خاک آمریکا در سال ۱۹۵۴، روش شماره منحنی (CN)^۲ را برای تعیین بارش مازاد ارائه نمود. از جمله روش‌هایی که می‌تواند در محاسبه سیل ناشی از یک بارش معین به کار رود، مدل‌های هیدرولوژیکی هستند که می‌توانند با داشتن توزیع مکانی خصوصیت‌های بارش در حوضه آبخیز برآوردهای قابل قبولی را به دست دهند. یکی دیگر از روش‌های

1. Geographic Information System

2. Curve Number

رایج برای روند یابی و پهنه‌بندی سیل روش ماسکینگام-کانژ بوده که بررسی‌های انجام‌شده حاکی از آن است که تغییرهای مکانی و زمانی ضرایب ماسکینگام-کانژ یک نقص مهم به حساب می‌آید و در شرایط شیب کم، این روش باعث خطا در تخمین داده‌ها می‌شود (لشکری وهمکاران، ۱۳۹۲).

شادمانی وهمکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی، کارایی روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و سامانه اطلاعات جغرافیایی در برآورد دبی سیل ۹۰ زیرحوضه استان همدان (با زمان‌های تمرکز کمتر از ۲۴ ساعت)، با توجه به آمار ۱۶ ساله مربوط به ۱۷ ایستگاه آب‌سنجی موجود در منطقه مورد ارزیابی قرار دادند. درنهایت با محاسبه مقادیر بیشینه بارش‌های یک و پنج‌روزه برای دوره بازگشت ۲۵ ساله و همچنین با به‌کارگیری مدل بهینه منتخب، توزیع مکانی دبی سیل در کلیه زیرحوضه‌ها را ارائه نمودند. بر این اساس مناطق سیل‌خیز استان به‌منظور انجام برنامه‌ریزی مناسب توسط مسئولین مربوطه مشخص شدند. یمانی وهمکاران (۱۳۹۱) در ارزیابی مدل منطق فازی در مقایسه با سایر مدل‌های مفهومی در پهنه‌بندی سیل‌خیزی به بررسی عوامل مؤثر در وقوع سیل از جمله، شیب، لیتولوژی، اشکال ناهمواری (تیپ‌های فیزیوگرافی)، نوع خاک، CN و وضعیت پوشش گیاهی و سپس تجزیه و تحلیل سیل‌خیزی حوضه داورزن پرداختند. برای دستیابی به این هدف از روش تلفیق عوامل مؤثر با استفاده از تکنیک پهنه‌بندی در مدل‌های مفهومی و قابل‌اجرا در محیط GIS در قالب لایه‌های اطلاعاتی استفاده نمودند. بر اساس نتایج آنها به‌کارگیری GIS از طریق وزن دهی به متغیرهای مؤثر بر سیل‌خیزی حوضه بر اساس شدت و ضعف تأثیرگذاری آنها توانست شکل‌گیری سیل را در حوضه در قالب پهنه‌های مشخص ارزیابی نماید. لاجوردی وهمکاران (۱۳۹۲)، در پژوهشی اقدام به برآورد ضریب رواناب و حداکثر دبی سیل، شناخت عوامل و عناصر مؤثر در سیل‌خیزی، پهنه‌بندی مناطق بر اساس شدت پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز مردق چای نمودند. آنها برای برآورد مقدار رواناب از روش CN استفاده نمودند. برای این منظور ابتدا داده‌ها و اطلاعات موردنیاز شامل آمار وضعیت اقلیم منطقه و تصاویر ماهواره‌ای را جمع‌آوری و وارد سیستم اطلاعاتی GIS شد. با تلفیق این داده‌ها و اطلاعات، بر اساس روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS)^۱ نقشه CN حوضه، میزان نفوذ و مقدار رواناب تهیه گردید. درنهایت با استفاده از مدل وزنی و با تلفیق نقشه‌های میزان بارندگی منطقه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، شیب و کاربری زمین، نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی سالانه حوضه با دوره بازگشت‌های مختلف تهیه گردید. نتایج حاکی از آن بود که با استفاده از این نقشه‌ها می‌توان راهکارهایی جهت مقابله با بحران‌های آبی و همچنین کنترل سیل در حوضه آبریز ارائه نمود. لشکری وهمکاران (۱۳۹۲)، به‌منظور پهنه‌بندی سیلاب رودخانه زرينه‌رود از مدل هیدرولوژیکی HEC-RAS در محیط GIS استفاده نمودند. در این تحقیق دبی‌های با دوره بازگشت‌های مختلف (۲-۵-۱۰-۲۰-۲۵-۵۰-۸۰-۱۰۰-۲۰۰-۵۰۰ ساله) با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های قزقرپی محاسبه شد. مقطع عرضی جریان با استفاده از HEC-RAS و نقشه‌های پهنه‌بندی سیل با استفاده از الحاقیه HEC-GeoRAS و در محیط GIS ترسیم شد. بر اساس پهنه‌های به‌دست‌آمده و انطباق آن با تصاویر هوایی بیان شد که مناطق مسکونی حاشیه رودخانه چندان در معرض خطر سیل نبوده ولی گسترش فعالیت‌های سازه‌ای و کشاورزی طی سالیان اخیر باعث محدود شدن حریم و بستر رودخانه شده و امکان نفوذ سیل در اراضی اطراف بیشتر شده است. ثروتی وهمکاران (۱۳۹۲)، در پهنه‌بندی سیل‌خیزی حوضه آبخیز سراب

¹. Soil Conservation Service

دره شهر عنوان کردند شناسایی مناطق با پتانسیل سیل‌خیزی از جمله اقدام‌های بسیار مهم در کاهش خسارت‌های سیل است. آنها برای برآورد رواناب از روش CN سازمان حفاظت خاک آمریکا استفاده نمودند. برای این منظور ابتدا داده‌ها و اطلاعات موردنیاز شامل نقشه کاربری اراضی و نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک حوضه گردآوری و وارد GIS گردید. با تلفیق این داده‌ها و اطلاعات و بر اساس روش SCS، نقشه CN و نفوذ (S) حوضه تهیه شد و سپس با استفاده از رابطه SCS و حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته حوضه، ارتفاع رواناب برای حوضه محاسبه شد. در نهایت بر اساس چارک‌های اول، میانه و سوم مقادیر ارتفاع رواناب، حوضه مورد مطالعه به چهار طبقه از لحاظ پتانسیل سیل‌خیزی تقسیم شد که بر اساس آن ۹/۱ کیلومترمربع دارای پتانسیل سیل‌خیزی بسیار بالا، ۷/۸ کیلومترمربع با پتانسیل بالا، ۱۳ کیلومترمربع با پتانسیل متوسط، ۶/۶ کیلومترمربع نیز دارای پتانسیل کم بود. راد و همکاران (۱۳۹۷)، با استفاده از مدل HEC-RAS به پهنه‌بندی خطر سیل با دوره‌های بازگشت مختلف در پایین‌دست حوضه آبخیز خرم‌آباد پرداختند. نتایج این پژوهش حاکی از این بود که سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله دارای دبی ۵۵۳/۷۸ مترمکعب بر ثانیه بوده و مساحتی برابر ۱۰ کیلومترمربع از اراضی منطقه را در بر می‌گیرد.

در پژوهشی با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-1 و سیستم اطلاعات جغرافیایی، اثرهای تغییر کاربری اراضی بالادست حوضه روی الگوی سیل در نواحی پایین‌دست در کشور پاراگوئه مورد ارزیابی قرار گرفت. هدف در این بررسی اصلاح مدل هیدروگراف سیل خروجی بود. نتایج حاکی از این بود که با کاهش مساحت جنگل، رواناب حوضه و زیر حوضه‌ها بیشتر می‌شود (Suwanwerakamtorn, 1994). در تحقیقی برای آنالیز سیل و مقایسه چهار سناریوی جنگل‌کاری، تراس‌بندی، سدهای اصلاحی و سناریوی ترکیبی از سه فعالیت یادشده، با تعیین و محاسبه دو شاخص دبی اوج و حجم سیلاب در منطقه پترا در کشور اردن با استفاده از مدل WMS^۱ مشخص شد که سناریوی ترکیبی (شامل کلیه فعالیت‌ها) سناریوی برتر بوده است (Al-Weshah and El-Khoury, 1999). این سناریو باعث کاهش دبی اوج به میزان ۵۰ تا ۸۰ درصد و کاهش حجم سیل به میزان ۴۰ تا ۷۰ درصد شده است. به‌منظور پیش‌بینی رواناب سیرانودا در کالیفرنیا ترکیبی از مدل‌های اتمسفری و HEC-HMS در پژوهشی به کار برده شد (Anderson et al., 2002). نتایج این پژوهش نشان داد که این روش برای پیش‌بینی سیل، ۴۸ ساعت قبل از جریان ورودی به مخازن مناسب است. در شرایط کمبود داده‌های اولیه و به‌منظور پهنه‌بندی خطر سیل شهری طی پژوهشی در ایالت توکومان کشور آرژانتین با استفاده از تجزیه و تحلیل سیستم اطلاعات جغرافیایی با چندین متغیر اقدام به ارزیابی خطر سیل شد (Fernandez and Lutz, 2010). مدل ارائه‌شده در این بررسی شامل پارامترهایی چون فاصله از کانال‌های زهکشی، توپوگرافی (ارتفاع و شیب)، عمق آب و نوع استفاده از زمین شهری بود. در نهایت نقشه تعیین پهنه‌های در معرض خطر برای هر دسته از پارامترها را با استفاده از یک الگوریتم که ترکیبی از عوامل خطی-وزنی بود، به دست آمد. نتایج این پژوهش نشان داد که قسمت جنوب شرقی سانتیاگو دو توکومان دارای بالاترین خطر سیل می‌باشد. تأثیر شهرنشینی بر جاری شدن سیل در حوضه شهری چنای در کشور هند در یک تحقیق بررسی شد (Suriya and Mudgal, 2012). نتایج پژوهش صورت گرفته نشان داد افزایش مناطق غیرقابل نفوذ، تعادل طبیعی آب را مختل می‌سازد. کاهش نفوذ، رواناب را افزایش می‌دهد و منجر به بالاتر رفتن دبی اوج سیل و حجم سیلاب حتی برای بارش‌های کوتاه‌مدت با شدت کم نیز می‌شود. تغییرهای کاربری اراضی به دلیل شهرنشینی در حوضه به نحو

¹. Watershed Modeling System

ثابتی در رژیم جریان رودخانه منعکس شده است. در یک بررسی دیگر اثرهای شهرسازی بر رواناب سالانه و رویدادهای سیل با استفاده از سیستم یکپارچه مدل سازی هیدرولوژیکی برای حوضه رودخانه‌ای در چین ارزیابی شد (Du et al., 2012). تصاویر ماهواره‌ای بین سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۰۹ نشان داد که حدود ۱۷ درصد از منطقه غیرشهری حوضه به مناطق شهری تبدیل شده است. نتایج شبیه سازی با مدل HEC-HMS در سناریوهای مختلف شهری نشان داد که رواناب سالیانه، حداکثر جریان روزانه و حجم سیل در درجه‌های مختلف با توجه به توسعه شهری در طول دوره مورد مطالعه افزایش یافته است. همچنین تغییرهای آب و هوا و توسعه شهری و تأثیر آن بر درک عمومی جامعه از سیل مورد بررسی قرار گرفت (Tripathi et al., 2014). نتایج این بررسی نشان داد که افزایش شهرنشینی و سطح غیر قابل نفوذ منجر به افزایش قابل توجه شدت سیل، تشدید خسارت‌های سیل، طولانی تر شدن زمان طغیان آب و دبی اوج بالاتر شده است. نتایج استفاده از مدل HEC_RAS و GIS در پهنه‌بندی سیل رودخانه سدروس برزیل (Silva et al., 2014) و رودخانه کابل در افغانستان (Khattak et al., 2016) حاکی از خطر بیشتر برای ساختمان‌ها و جاده‌های واقع در کنار پل‌ها بوده است.

بر اساس آمار منتشر شده از طرف سازمان صلیب سرخ جهانی بیش از ۹۰ درصد خسارت‌های ناشی از حوادث طبیعی به سیل اختصاص دارد که ۵۰ درصد از آن به قاره آسیا مربوط می‌شود. کشور ایران نیز با توجه به شرایط طبیعی خود یکی از کشورهای در معرض خطر سیل در جهان محسوب می‌شود (رفاهی، ۱۳۹۴). با تعیین محل‌های دارای پتانسیل بالای سیل گیری به نوعی می‌توان یک ارزیابی کلی از وضعیت مخاطرات سیل منطقه به دست آورد. در مدل‌های پهنه‌بندی سیلاب کمتر از نقشه‌های آنلاین تحت وب استفاده شده است. بنابراین در این تحقیق اقدام به مدل سازی گسترش سیل با استفاده از طراحی نرم افزار آنلاین تحت وب با قابلیت پهنه‌بندی مناطق با پتانسیل سیل گیری از طریق به کارگیری داده‌های DEM نقشه گوگل شده است. این نرم افزار اطلاعاتی در رابطه با حداکثر دبی قابل انتقال در رودخانه و پیش‌بینی مناطق در معرض خطر سیل، آثار سیلاب بر اراضی حاشیه رودخانه و اولویت بندی زیر حوضه‌ها برای اجرای پروژه‌های کنترل سیل و تعیین حریم رودخانه‌ها ارائه می‌دهد. در نتیجه امکان ارسال هشدارهای مناسب در مواقع وجود خطر سیل و تسهیل عملیات امداد و نجات را فراهم می‌سازد. از این رو کمک شایانی به پروژه‌های برنامه ریزی و مدیریت آب‌های سطحی خواهد داشت.

داده‌ها و روش‌ها

داده‌های مورد نیاز

در نرم افزار ارائه شده دو دسته اطلاعات شامل فیزیوگرافی حوضه و رودخانه آن (نقشه توپوگرافی، مقاطع طولی و عرضی در محدوده مورد نظر و شیب رودخانه) و نیز اطلاعات هیدرولوژی رودخانه (دبی عبوری، ارتفاع آب، سرعت جریان و ضریب زبری) برای پهنه‌بندی سیل لازم است. این اطلاعات از نقشه‌های آنلاین گوگل دریافت می‌شود و یا کاربر به صورت دستی وارد نرم افزار می‌کند. در واقع این نرم افزار پهنه‌بندی سیل مبتنی بر وب به صورت آنلاین بر اساس نقشه‌های توپوگرافی و DEM گوگل با زبان PHP, HTML, AJAX, CSS, JQuery, JavaScript طراحی و برنامه نویسی شده است. عملکرد نرم افزار به انتخاب کاربر به دو صورت دستی و خودکار می‌باشد.

عملکرد دستی

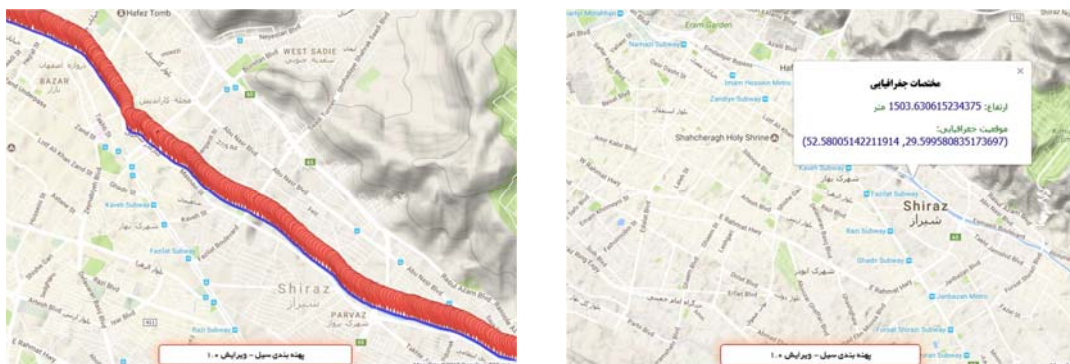
طراحی نرم افزار به گونه ای است که در صورتی که اطلاعات فیزیوگرافی و هیدرولوژی از یک منطقه خاص مورد مطالعه موجود باشد، می توان اقدام به انجام محاسبات و در نتیجه پهنه بندی سیل نمود. داده های ورودی شامل شیب، ارتفاع آب، دبی عبوری، ضریب زبری (n)، سرعت جریان و موقعیت جغرافیایی نقاط مدنظر از طول رودخانه می باشد.

عملکرد خودکار

در عملکرد خودکار مراحل انجام محاسبات و پهنه بندی به صورت هوشمندانه و بر اساس بانک اطلاعاتی موجود، شکل پروفیل طولی و عرضی در هر مقطع با توجه به شرایط توپوگرافی مسیر آبراهه یا کانال، شیب متوسط در طول آبراهه، حداکثر دبی قابل عبور در هر مقطع و ضریب زبری با توجه به نوع سازند زمین شناسی صورت می پذیرد. عملکرد خودکار با سرعتی بالا مراحل انجام محاسبات و ترسیم پهنه های به زیر آب رفته را انجام می دهد. کاربرد این عملکرد برای مواقعی است که نیاز به مدیریت بحران در شرایط اضطراری وجود دارد و اطلاعات پایه هیدرولوژی منطقه محل وقوع سیل در دسترس نیست.

نحوه کار

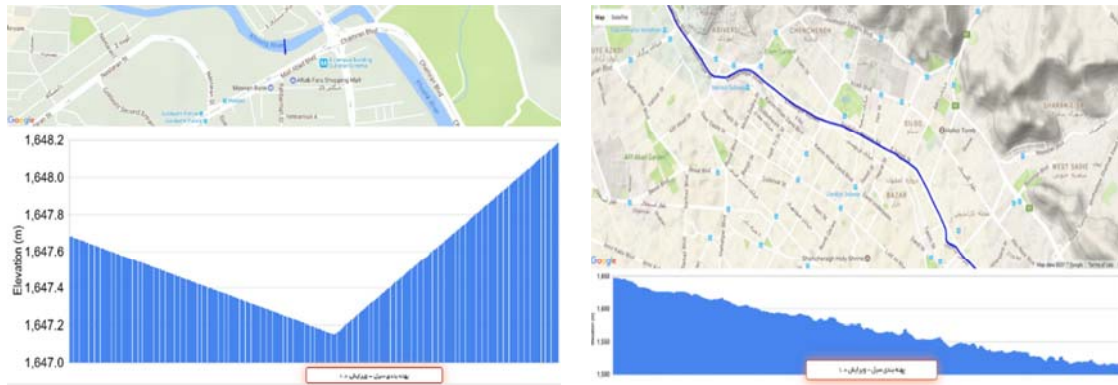
ابتدا به واسطه یک API Key^۱ که به صورت انحصاری توسط آن امکان دسترسی به نقشه های گوگل را فراهم می سازد اقدام به اتصال به پایگاه داده سرورهای گوگل نموده و سپس آبراهه انتخاب می شود. پس از آن که کاربر آبراهه مدنظر خود را موقعیت یابی کرد، نقاط دلخواهی (انتخاب مقاطع) در طول آبراهه تعیین می نماید. اولین نقطه به معنای آغاز مسیر جریان آب و آخرین نقطه به معنای انتهای مسیر است. هر چقدر تعداد نقاط بین اولین و آخرین نقطه بیشتر باشد دقت انجام محاسبات بیشتر است. پس از تعیین نقاط، نرم افزار به صورت خودکار موقعیت جغرافیایی هر نقطه را بر اساس سیستم مختصات UTM در بانک اطلاعاتی ذخیره و ارتفاع هر نقطه را از سطح آب های آزاد محاسبه کرده و هم زمان نمایش می دهد. ارتفاع هر نقطه از سطح آب های آزاد تا ۱۲ رقم اعشار در بانک اطلاعاتی ثبت و محاسبات تنها تا ۲ رقم اعشار صورت می گیرد (شکل ۱).



شکل ۱: نمایشی از محیط نرم افزار پهنه بندی سیل (راست: نمونه نقاط برداشت چپ: مسیر مشخص شده)

¹. Application Programming Interface Key

سپس بر اساس موقعیت جغرافیایی نقاط انتخابی و فاصله هر نقطه نسبت به یکدیگر، پروفیل عرضی (شکل ۲ چپ) هر مقطع و پروفیل طولی (شکل ۲ راست) در بین هر یک از نقاط انتخاب شده ترسیم می گردد.



شکل ۲: پروفیل طولی (شکل سمت راست) و پروفیل عرضی (شکل سمت چپ) رودخانه خشک شیراز-فارس

پس از آن نرم افزار بر اساس فاصله طولی بین نقاط تعیین شده و با استفاده از اختلاف ارتفاع دو نقطه به کمک رابطه ۱ اقدام به محاسبه شیب در هر دو نقطه نموده و سپس با استفاده از رابطه ۲ متوسط شیب در طول آبراهه یا کانال را برآورد می نماید.

$$S = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (1)$$

$$\bar{S} = \sqrt[n]{S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n} \quad (2)$$

که در روابط بالا:

S: شیب بین دو نقطه، a: فاصله طولی دو نقطه، b: اختلاف ارتفاع دو نقطه، $\bar{S}$: شیب متوسط آبراهه یا کانال است. بر اساس شکل پروفیل عرضی در هر نقطه انتخابی، مساحت کل مقطع عرضی (در شرایط لبریز شدن) محاسبه و با توجه به شیب متوسط آبراهه و ضریب زبری برآورده شده (از اطلاعات سازند زمین شناسی محل)، سرعت عبور آب محاسبه و حداکثر دبی قابل عبور برآورد می گردد (با رابطه مانینگ). نرم افزار بر اساس پروفیل طولی و عرضی از اولین نقطه تا آخرین نقطه انتخابی اقدام به شبیه سازی سه بعدی طولی مقطع آبراهه نموده و بر اساس موقعیت جغرافیایی و شکل توپوگرافی اقدام به برآورد حداکثر حجم کل آب قابل ذخیره در آبراهه می نماید. سپس بر اساس اختلاف ارتفاع در پروفیل عرضی و از عمیق ترین نقطه در مقطع تا بالاترین نقطه در پروفیل عرضی اقدام به محاسبه ارتفاع کانال به عنوان حداکثر ارتفاع آب مجاز درون آبراهه می نماید. هرگونه مقادیر عددی ورودی توسط کاربر به عنوان دبی یا ارتفاع آب در آبراهه بیش از حداکثر دبی و یا حداکثر عمق آب در کانال، پس از پردازش توسط نرم افزار به عنوان آب مازاد تلقی شده و پهنه آب خارج از آبراهه توسط نرم افزار شبیه سازی می شود. برای تعیین مرز پهنه های سیل گیر مراحل زیر طی می گردد:

الف- ابتدا تراز سطح آب در مقاطع مختلف برای سیل‌های با دوره بازگشت خاص و یا هر سیل مدنظر کاربر، مشخص می‌شود. این مهم را نرم‌افزار با اطلاعات سطح مقطع و زبری کف محاسبه می‌کند.

ب- تراز محاسبه‌شده با رقوم ارتفاعی کنار آبراهه مقایسه شده و در صورتی که از آن بزرگ‌تر باشد نقطه نهایی گسترش آب با امتداد مقطع عرضی در طرفین تا جایی که رقوم ارتفاعی زمین و آب مساوی شود مشخص می‌گردد.

ج- با اتصال نقاط مرزی در ساحل آبراهه پهنه سیلاب در طول آبراهه مشخص می‌شود. نقاط میانی (بین دو مقطع) با توجه به انحنای خطوط هم‌تراز میان‌یابی می‌شود.

هرگونه تغییر در مقادیری چون ارتفاع آب، دبی، ضریب زبری، نقشه DEM و توپوگرافی توسط کاربر باعث تغییر ناحیه‌های به زیر آب‌رفته می‌گردد. پهنه‌بندی به‌صورت ترسیم ناحیه‌های رنگی و یا خطوط مرزی بر روی نقشه انجام می‌گیرد. ناحیه‌های رنگی (شکل ۳) به سه دسته تقسیم می‌گردند که هر رنگ مفهومی خاص دارد:

ناحیه سبز: محدوده ایمن بدون وارد آمدن خسارت

ناحیه قرمز: محدوده با خطر بالا (کانال اصلی)

ناحیه زرد: محدوده ریسک که احتمال گسترش آب در این ناحیه (به دلیل واکنش‌های غیرقابل پیش‌بینی) وجود دارد. البته این امکان وجود دارد که رنگ نواحی آب‌گیری به‌صورت انتخاب توسط کاربر اعمال شود.



شکل ۳: پهنه‌بندی سیل با ارتفاع آب ۵ متر در رودخانه خشک شیراز توسط مدل

حریم رودخانه و هشدار سیل

با توجه به دستورالعمل‌های تعیین حریم رودخانه (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، ۱۳۸۴) در مدل این امکان فراهم شده تا در کنار تعیین پهنه سیل گیر، مرزهای حریم رودخانه نیز مشخص گردد. حریم رودخانه به‌موازات خط بستر رودخانه ترسیم می‌شود (شکل ۴).



شکل ۴: حریم رودخانه خشک شیراز پهنه (آبی کم رنگ)

در این مدل، هشدار سیل به عنوان یکی از روش های غیر سازه ای مدیریت سیل مورد توجه بوده است. انتخاب نوع سیستم هشدار بستگی به امکانات، نحوه بهره برداری و نگهداری، هزینه اولیه و نظر سازمان مسئول ذیربط دارد. سیستم های هشدار سیل شامل سه عنصر ۱- شناسایی و ارزیابی خطر سیل ۲- انتقال و انتشار هشدار سیل و ۳- واکنش نسبت به هشدار می باشد. سیستم های رایانه ای جهت اعلام هشدار و ارتباط با سخت افزارهای مورد نیاز از پردازش نرم افزاری خاص استفاده می کنند. نرم افزار پس از انجام محاسبات بر اساس میزان خطر تعیین شده در هسته اصلی آن اقدام به واکنش متناسب می کند. ابتدا هشدار به صورت پیغام و علائم بر روی نمایشگر ظاهر شده و سپس در صورت تأیید خطر توسط کاربر، نرم افزار با برقراری ارتباط با سخت افزار مربوطه اقدام به فعال سازی سخت افزار می نماید. در این نرم افزار بر اساس میزان دبی ایمن، سیستم هشدار سیل به صورت دستی و خودکار عمل می نماید. سیستم دستی به گونه ای طراحی گردیده است که کاربر می تواند یک مقدار عددی به عنوان دبی مازاد بر دبی ایمن را تعیین کند تا در صورتی که دبی سیل به آن مقدار رسید سیستم ابتدا به صورت یک پیغام بر روی صفحه نمایشگر هشدار داده و کاربر را مطلع سازد. سیستم خودکار به شکلی است که اگر کاربر تا سه مرتبه هشدارهای نمایش داده شده را تأیید نکند، نرم افزار به صورت خودکار وارد عمل شده و با توجه به نوع سخت افزار متصل شده به دستگاه، فعالیت پیش بینی شده را انجام می دهد. سخت افزارهای متصل شده به سیستم می تواند سیستم های هشدار صوتی یا نوری نصب شده در سطح شهر و یا سیستم کنترل دریچه های سد باشد.

ارزیابی مدل

برای ارزیابی مدل، وجود تصاویر هوایی یا ماهواره ای از یک سیل واقعی و یا اطلاعات جی پی اسی از محدوده گسترش آن سیلاب، دبی اندازه گیری شده سیل یا هر دو مورد ضروری است. نرم افزار دو عامل مساحت گسترش سیلاب و دبی منجر به آن شرایط را برای یک سیل محاسبه می کند. این دو عامل با مقادیر واقعی رخ داده مقایسه می شود تا درصد اختلاف یا خطای برآورد مشخص شود. برای ارزیابی مدل در این مقاله سه واقعه سیل رخ داده به شرح ذیل بررسی شد. دلیل انتخاب این سه سیل، در دسترس بودن اطلاعاتی از این سه سیلاب برای نویسندگان بود:

الف- حداکثر سیل ثبت شده در رودخانه خشک شیراز مربوط به سال ۸۰-۱۳۷۹، برای این سیل دبی بیشینه به مقدار ۳۷۰ مترمکعب بر ثانیه موجود بود (جمالی و همکاران، ۱۳۹۴).

ب- سیلاب بزرگ اکتبر ۲۰۱۱ تایلند، برای این سیل تصاویر هوایی از پهنه گسترش سیلاب از طریق اینترنت در دسترس بود (Gale and Sunders, 2013).

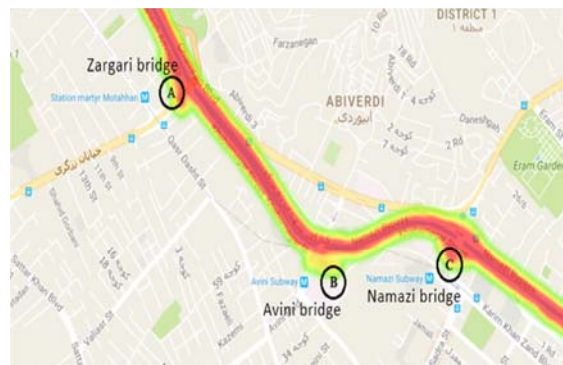
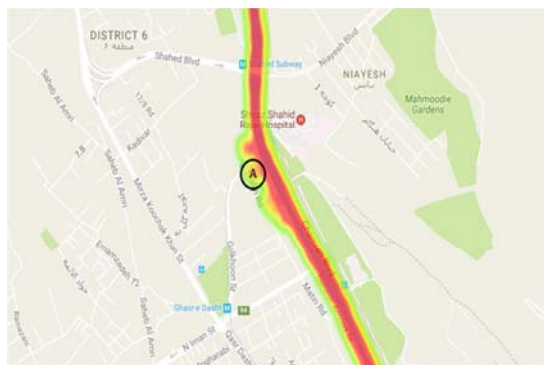
ج- واقعه سیل مهیب فروردین ۱۳۹۸ دروازه قرآن شیراز، از این سیل مشاهده‌های محلی در روز وقوع سیل با مختصات مکانی گسترش سیلاب از طریق جی‌پی‌اس در دسترس بود (مشاهده‌های شخصی نویسندگان). همچنین تحلیل این واقعه سیل از گزارش هیئت ویژه بررسی سیلاب‌ها (هیئت ویژه گزارش ملی سیلاب‌ها، ۱۳۹۸) در دسترس بود.

یافته‌های تحقیق

بررسی حداکثر سیل ثبت شده در رودخانه خشک شیراز در سال ۸۰-۱۳۷۹

رودخانه خشک شیراز یا هفت پیلی یک رودخانه فصلی است که از ملحق شدن آب دو قنات نهر اعظم و چنار سوخته تشکیل شده و پس از عبور از شهر شیراز به سمت جنوب شرقی حوضه خود متمایل شده و به دریاچه مهارلو می‌ریزد. حوضه آبریز رودخانه خشک در جهت شمال غرب به جنوب شرق گسترش یافته است و یکی از زیر حوضه‌های دریاچه مهارلو محسوب می‌شود. این رودخانه به صورت قطری از وسط شهر شیراز می‌گذرد و شهر را به دو قسمت تقسیم کرده است. برای عبور از روی این رودخانه در شیراز، پل‌های متعددی احداث شده است که معروف‌ترین آنها عبارتند از: پل باغ صفا، پل نمازی، پل زرگری، پل علی بن حمزه، پل معالی آباد، پل پیرنیا و پل پارکینگ. آن قسمت از رودخانه خشک که از درون شهر شیراز عبور می‌کند در طی دو سه دهه گذشته به شکل یک کانال با عرض متوسط ۶۰ متر و عمق متوسط ۴ متر تغییر شکل پیدا کرده است. با توجه به حداکثر دبی لحظه‌ای ثبت شده در ۲۵ سال گذشته که در سال آبی ۸۰-۱۳۷۹ به میزان ۳۷۰ مترمکعب در ثانیه در ایستگاه چنار سوخته بوده است، به کمک نرم‌افزار تأثیر این سیل در طول ۳۰ کیلومتر از بازه این رودخانه (محدوده شهری)، از پل معالی آباد و تا ورودی دریاچه مهارلو بررسی و پهنه‌بندی شد.

نتایج حاصل از پهنه‌بندی نشان داد که آب در این رودخانه خشک در پنج نقطه از کانال رودخانه خارج شده و باعث ایجاد آب‌گرفتگی در خیابان‌ها و معابر گردید. به ترتیب ابتدا سیل در قسمت‌های خیابان ساحلی ابتدای کوچه گلخون (شکل ۵ سمت چپ)، پل زرگری، پل خیابان آوینی، پل نمازی، پل باغ صفا (شکل ۵ سمت راست) از کانال رودخانه خارج شد که تنها باعث اخلاص در عبور و مرور می‌گردد.



شکل ۵: نقاط خروج سیل از رودخانه خشک شیراز در واقعه سیلاب سال ۸۰-۱۳۷۹: اولین نقطه خروج سیل در خیابان گلخون شیراز (چپ) و نقاط خروج بعدی (راست) شامل پل زرگری A، پل آوینی B و پل نمازی C

اما بیشترین حجم سیل تنها در قسمت پل علی ابن حمزه (شکل ۶) از کانال رودخانه خارج گردید که می‌تواند باعث ایجاد خسارت گردد. در این محل جریان سیل پس از خروج از رودخانه بخشی از خیابان دروازه اصفهان تا انتهای خیابان تیموری و تا میدان ولیعصر و پس از پل پیرنیا را در بر گرفت که بسته به شرایط و موقعیت منازل در کوچه‌های این منطقه میزان خسارت متفاوت می‌باشد. همان‌گونه که در شکل ۶ مشخص است محدوده‌های قرمز رنگ بیشترین میزان سطح آب‌گیری را خواهند داشت.



شکل ۶: پهنه‌بندی سیل سال ۸۰-۱۳۷۹ در محل دروازه اصفهان و پل پیرنیا از رودخانه خشک شیراز

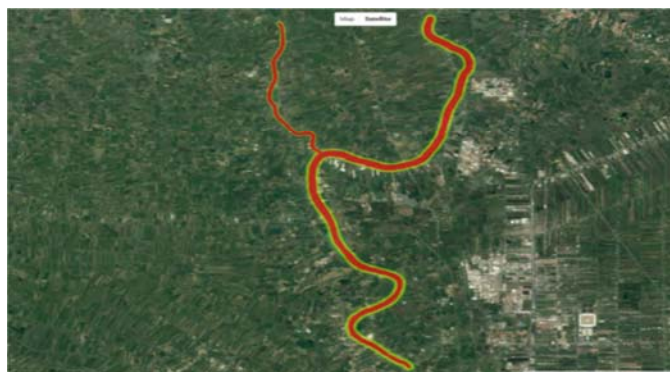
بررسی واقعه سیلاب عظیم تایلند

در ۲۳ اکتبر سال ۲۰۱۱ افزایش بارش‌ها و به دنبال آن سطح تراز آب در سدهای مخزنی و سرریز شدن آنها باعث جاری شدن سیل در شهر آیوتایای تایلند گردید (Gale and Sanders, 2013). ناسا در تاریخ ۲۳ اکتبر ۲۰۱۱ با استفاده از ماهواره EQ-1 اقدام به عکس‌برداری از شهر آیوتایا نمود. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌گردد بخش اعظمی از سطح منطقه به زیر آب رفته است.

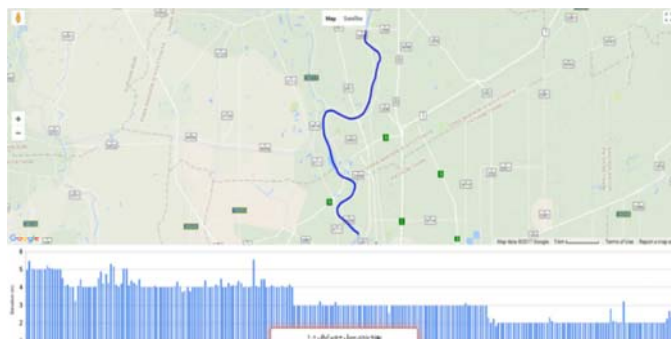


شکل ۷: شهر آیوتایا تایلند قبل (چپ) و بعد (راست) از وقوع سیل در ۲۳ اکتبر ۲۰۱۱ (Gale and Sanders, 2013)

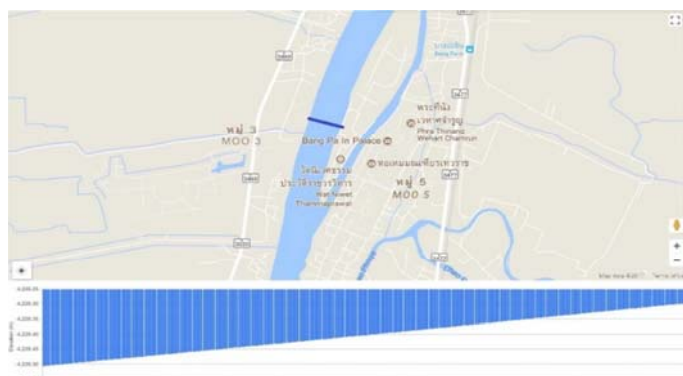
با استفاده از نرم افزار طراحی شده سعی گردید تا پهنه سیل گیری شده در شهر آیوتایا تحلیل شود. رودخانه اصلی درون شهر آیوتایا از دو شاخه متصل به هم یک رودخانه بزرگ را تشکیل می دهد. با استفاده از نرم افزار، ابتدا موقعیت رودخانه همانند شکل ۸ در یک بازه تقریباً ۶۰ کیلومتری تعیین و سپس اقدام به ترسیم پروفیل طولی (شکل ۹) و عرضی (شکل ۱۰) این رودخانه نموده و سپس محاسبه خودکار جهت پهنه بندی سیل انجام گرفت. شایان ذکر است ارتفاع بستر رودخانه در بازه مورد بررسی از حداکثر حدود ۵ متر تا حداقل حدود ۲/۵ متر نسبت به سطح آب های آزاد متغیر است. مطابق شکل ۹ نقاطی که بالاتر از بستر عمومی رودخانه مشخص شده، نقاط واقع شده روی جزیره های موجود در وسط رودخانه بوده است. پلکانی بودن شکل بستر در طول بازه انتخابی حاکی از مدیریت شهری بستر رودخانه می باشد.



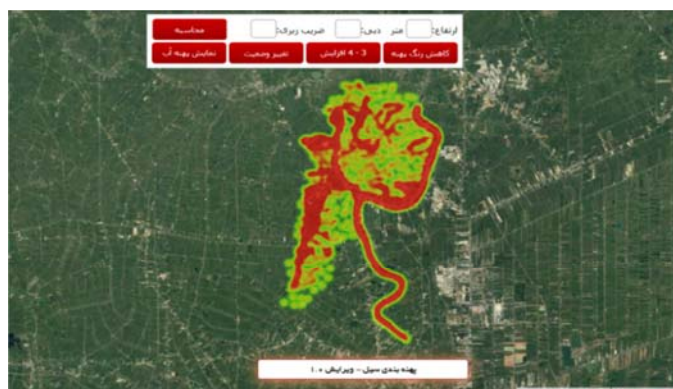
شکل ۸: تعیین موقعیت رودخانه شهر آیوتایا - تایلند



شکل ۹: پروفیل طولی رودخانه شهر آیوتایا - تایلند

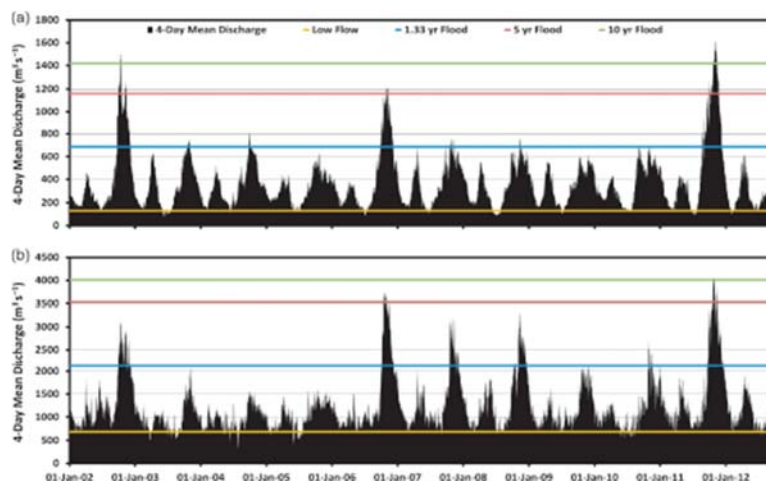


شکل ۱۰: پروفیل عرضی رودخانه شهر آیوتایا - تایلند در مقطع مشخص شده



شکل ۱۱: پهنه بندی سیل اکتبر ۲۰۱۱ تایلند توسط نرم افزار

نرم افزار با مقایسه پهنه سیل گیری شده (شکل ۱۱) و پهنه طبیعی رودخانه (پروفیل های عرضی) در یک روند معکوس اقدام به محاسبه تراز آب و عمق سیلاب در هر مقطع از رودخانه و در نهایت دبی منجر شده به مساحت آب-گیری کرده است. نتایج حاکی از وقوع سیلابی با دبی اوج $4113/01$ مترمکعب بر ثانیه می باشد. هیدرو گراف اندازه-گیری شده سیل اکتبر ۲۰۱۱ تایلند در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۲: هیدروگراف سیل ۲۳ اکتبر ۲۰۱۱ شهر آیوتایا-تایلند (شکل a و b هیدروگراف قبل و پس از اتصال دو شاخه رودخانه است).

(Gale and Sanders, 2013)

همان گونه که در شکل ۱۳ مشخص است پهنه سیل گیری شده در تصویر ماهواره‌ای با نقشه پهنه‌بندی شده سیل بسیار هم‌خوانی داشته که حاکی از توانایی نرم‌افزار در پیش‌بینی مناطق متأثر از سیل است.

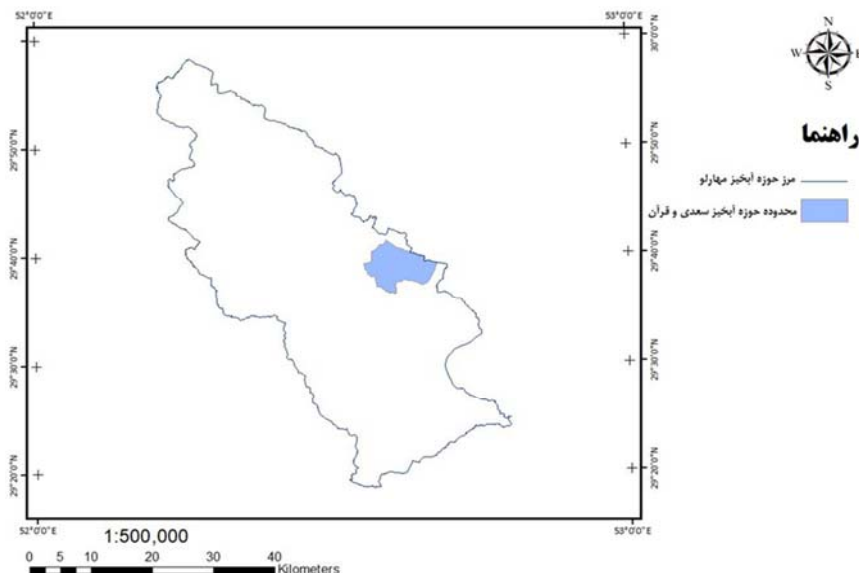


شکل ۱۳: مقایسه تصویر ماهواره‌ای سیل اکتبر ۲۰۱۱ تایلند (راست) با نقشه پهنه‌بندی سیل توسط نرم‌افزار (چپ)

سیل مهیب فروردین ۱۳۹۸ دروازه قرآن شیراز

محدوده مورد مطالعه

در تاریخ ۵ و ۶ فروردین ۱۳۹۸ به دلیل بارش‌های شدید در حوضه آبریز تنگ الله اکبر (دروازه قرآن) و محله سعدی شیراز که در ناحیه جنوبی کوه بمو قرار دارند (شکل ۱۴) سیلابی مهیب و کوتاه‌مدتی جاری شد. حوضه آبریز دریاچه‌های طشک-بختگان و مهارلو با نام اختصاری مهارلو-بختگان یکی از حوضه‌های بسته ایران است که در تقسیم‌بندی حوضه‌های آبریز ایران، حوضه فرعی به شمار می‌رود و با مساحت ۳۱۴۹۲ کیلومترمربع زیرمجموعه حوضه آبریز فلات مرکزی محسوب می‌شود (هیئت ویژه گزارش ملی سیلاب‌ها، ۱۳۹۸). محدوده حوضه آبریز منجر به وقوع سیل در فروردین ۱۳۹۸ در بخش شرقی حوضه آبخیز مهارلو قرار گرفته است. مساحت این حوضه ۵۹/۳ کیلومترمربع می‌باشد که شامل دو بخش سعدی و دروازه قرآن است (شکل ۱۴).



شکل ۱۴: موقعیت حوضه دروازه قرآن و سعدی در حوضه آبریز مهارلو

شبیه‌سازی سیل با مدل ارائه‌شده

با توجه به برداشت اطلاعات سیل در روزهای وقوع آن با بازدید میدانی و ثبت پهنه‌های غیرشهری و شهری متأثر از این سیلاب به کمک نرم‌افزار تهیه‌شده اقدام به شبیه‌سازی این واقعه شد. سیلاب دروازه قرآن که در مسیل آبرنگی جاری شده بود (مورخ ۱۳۹۸/۱/۵) پس از رسیدن به دروازه قرآن وارد لوله‌ای که برای انتقال و هدایت آب حاصل بارندگی به سمت رودخانه خشک کار گذاشته شده بود، می‌شود. این لوله که ظرفیت آن حدود ۱۲ مترمکعب در ثانیه است (مشاهده‌های شخصی) توان عبور تمام سیلاب را نداشته و به دلیل گرفتگی در محل توری آشغال‌گیر ظرفیت واقعی آن از ظرفیت اسمی بسیار کمتر بوده است؛ بنابراین سیلاب حوضچه متعادل‌کننده پشت لوله را پر کرده و وارد بلوار هفت‌تنان می‌شود. ارتفاع سیلاب در بلوار هفت‌تنان بالغ بر ۴۷ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. با آزمون دبی‌ها مختلف برای سیل و با توجه به نقشه‌های گوگل از منطقه دبی ۴۲/۸ مترمکعب بر ثانیه برای سیلاب دروازه قرآن محاسبه شد. این دبی با فرض کارکرد ۵۰ درصدی برای ظرفیت اسمی لوله انتقال آب دروازه قرآن به دست آمد. پس‌از آن با این دبی محدوده متأثر از سیل در محل دروازه قرآن و محدوده اطراف آن پهنه‌بندی شد (شکل ۱۵). در این شکل رنگ آبی نشانه مسیر اصلی عبور سیلاب و رنگ فیروزه‌ای محدوده آبرنگی‌شده اطراف آن می‌باشد. مقایسه مساحت پهنه‌بندی‌شده با محدوده‌ای که با بازدید میدانی با جی‌پی‌اس ثبت شده بود، حاکی از وجود خطای ۳۶ درصدی می‌باشد (نرم‌افزار مساحت بیشتری را محاسبه کرده است).



شکل ۱۵: پهنه‌بندی سیل فروردین ۱۳۹۸ در محدوده دروازه قرآن شیراز (رنگ آبی مسیر عبور سیل و رنگ فیروزه‌ای محدوده آب-گیری شده را نشان می‌دهد).

سیل دوم در شهرک سعدی شیراز رخ داد. این سیل (مورخ ۱۳۹۸/۱/۶) از حوضه بالادست وارد شهرک شده بود. در قسمت بالادست محله سعدی یک کانال زیرزمینی یا کالورت وجود دارد که مسیر بلوار وفایی به سمت خیابان نارنجستان و در نهایت رودخانه خشک متصل می‌کند. این کانال زیرزمینی گنجایش کافی برای عبور سیل را نداشت که موجب پس‌زدگی جریان و سرازیر شدن رواناب به محله سعدی گردید. مشاهده‌های میدانی حاکی از ارتفاع ۳۵ سانتی‌متری سیل بوده که نرم‌افزار ارائه‌شده در این پژوهش آن را با دبی ۴۸ متر مکعب در ثانیه شبیه‌سازی کرده است. مساحت پهنه‌بندی شده سیل با این دبی و مشاهده‌های ثبت‌شده میدانی (با جی‌پی‌اس) اختلاف ۱۷ درصدی را نشان می‌دهد. در این مورد نیز مدل حاضر پهنه سیل‌گیری را بیشتر برآورد کرده است (شکل ۱۶).



شکل ۱۶: پهنه‌بندی سیل فروردین ۱۳۹۸ در محدوده دروازه قرآن و شهرک سعدی شیراز (رنگ آبی مسیر عبور سیل و رنگ فیروزه‌ای محدوده آب‌گیری شده را نشان می‌دهد).

نتایج و بحث

حداکثر سیل رودخانه خشک شیراز (۸۰-۱۳۷۹)

نرم افزار تهیه شده در این پژوهش با دبی سیل سال ۸۰-۱۳۷۹ رودخانه خشک شیراز به صورت دستی اجرا شد. هرچند بخش هایی از طول رودخانه خشک نسبت به گذشته تغییرهایی داشته اما مطابق شکل های ۵ و ۶، خروج آب از محل های تعیین شده توسط مدل و مشکلات پیش بینی شده با اسناد و شواهد به جامانده از سیل رخ داده در سال ۸۰-۱۳۷۹ تطابق دارد؛ اما هیچ گونه عکس یا تصویر هوایی از این سیل وجود نداشت تا امکان مقایسه کمی نتایج نرم افزار با آن فراهم گردد. به نظر می رسد دبی ۳۷۰ مترمکعب بر ثانیه در رودخانه خشک شیراز برای شهر به طور کامل مخاطره آمیز است. این مسأله زمانی اهمیت دوچندان پیدا می کند که دست کاری های انسان در طول مسیر عبور از داخل شهر رفتار هیدرولیکی سیل را تغییر داده و غیر قابل پیش بینی می سازد. در تطابق با این نتایج جمالی و همکاران (۱۳۹۴) اشاره کردند که دبی های با دوره بازگشت ۵۰ سال (۲۳۲ مترمکعب بر ثانیه) و بیشتر در رودخانه خشک شیراز بسیار تهدید آمیز است.

واقعه سیل بزرگ اکتبر ۲۰۱۱ تايلند

شبیه سازی واقعه سیل اکتبر ۲۰۱۱ تايلند چنانچه بیان شد منجر به برآورد دبی اوج ۴۱۱۳/۰۱ مترمکعب بر ثانیه شد که در مقایسه با دبی ۴۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه ثبت شده (شکل ۱۲) از آن واقعه سیل ۲/۱ درصد اختلاف دارد. میزان خطا در برآورد دبی توسط نرم افزار بستگی به عواملی چون تاریخ نقشه های مورداستفاده، تغییرهای صورت گرفته در عرصه بعد از تهیه نقشه ها، میزان و اندازه اجسامی که سیل همراه خود در مسیر حمل می نماید، موقعیت جغرافیایی تعداد نقاط و فواصل نقاط ثبت شده توسط کاربر و حداکثر قابلیت پردازشگر رایانه ای دارد. در صورتی که این سیلاب با وضعیت فعلی منطقه رخ بدهد پهنه سیل گیری شده در مقایسه با مساحت متأثر از سیل سال ۲۰۱۱ به میزان ۱۷/۶۳ درصد اختلاف دارد (کمتر بوده است، شکل ۱۳). این اختلاف به خاطر فاصله زمانی بین تاریخ نقشه مورداستفاده (۲۰۱۶) با نقشه زمان روی دادن سیل (۲۰۱۱) و تغییر شرایط حاشیه رودخانه در این بازه در شهر آیوتایا بوده است. بخش دیگر اختلاف می تواند به دلیل عدم امکان محاسبه دقیق گسترش سیل به خاطر حمل اجسام و رسوب باشد.

سیل فروردین ۱۳۹۸ دروازه قرآن شیراز

سیل رخ داده در فروردین ۱۳۹۸ در محل دروازه قرآن و شهرک سعدی شیراز با مدل ارائه شده با دقت قابل قبولی شبیه سازی شد. نتایج این شبیه سازی با مشاهده های واقعی همخوانی داشت. گزارش هیئت ویژه بررسی سیلاب ها (هیئت ویژه گزارش ملی سیلاب ها، ۱۳۹۸) در مورد سیل شیراز حاکی است که سیل دروازه قرآن دارای دبی ۴۴ تا ۵۸ مترمکعب بر ثانیه بوده است (دبی ها از منابع و برآوردهای مختلف گزارش شده است). دبی برآورد شده توسط نرم افزار (۴۲/۸ مترمکعب بر ثانیه) با آنچه در گزارش هیئت ویژه آمده است ۳ تا ۳۶ درصد اختلاف دارد. همچنین نرم افزار حاضر دبی سیل رخ داده در حوضه سعدی شیراز را ۴۸ مترمکعب بر ثانیه برآورد کرده که با آنچه در گزارش هیئت ویژه بررسی سیلاب ها آمده است (۴۶ تا ۷۰ مترمکعب بر ثانیه) ۴ تا ۴۶ درصد اختلاف دارد. شکل ۱۷ پهنه آب گیری شده در اثر وقوع سیل در شهرک سعدی شیراز را مطابق گزارش هیئت ویژه بررسی سیلاب ها نشان می دهد.

مقایسه این شکل با خروجی نرم افزار ارائه شده در این مقاله (شکل ۱۶، بخش شهرک سعدی) اختلافهایی را نشان می دهد. دلیل این اختلافها می تواند مدیریت شهری مقابله با سیلاب باشد. به این نحو که شهرداری و مردم برای جلوگیری از آب گیری برخی مناطق اقدامهایی نظیر احداث خاکریز و سیل بندهای موقت را انجام داده بودند. با این اقدامها سعی شده بود تا سیل در مسیرهای خاصی هدایت شود که با نتایج نرم افزار که بر اساس تراز آب و تراز ارتفاعی زمین پهنه بندی را انجام می دهد متفاوت بوده است. در مجموع نرم افزار ارائه شد در شبیه سازی سیل های ۵ و ۶ فروردین ۱۳۹۸ شیراز مناسب عمل کرده است.



شکل ۱۷: پهنه متأثر از سیل فروردین ۱۳۹۸ در محدوده شهرک سعدی شیراز (برگرفته از هیئت ویژه گزارش ملی سیلابها، ۱۳۹۸).

نتیجه گیری

مدل ساده مبتنی بر وب ارائه شده برای تعیین مناطق درخطر سیل با استفاده از نقشه های بروز گوگل توانست با دقت قابل قبول واقعه سیلاب ۲۰۱۱ تایلند شامل دبی اوج و پهنه سیل گیری شده را شبیه سازی کند. همچنین در شبیه سازی واقعه سیل فروردین ۱۳۹۸ دروازه قرآن شیراز مناسب عمل نمود. به علاوه نتایج شبیه سازی حداکثر سیلاب رودخانه خشک شیراز توسط نرم افزار به واقعیت نزدیک بود. این مدل ساده با هر داده ورودی از دبی و عمق آب که کاربر انتخاب نماید وضعیت پهنه سیل گیر در بازه انتخابی از رودخانه را تعیین می کند.

با توجه به نتایج این مطالعه و میزان خطای محاسبه های صورت گرفته می توان بیان کرد نرم افزار از دقت قابل قبولی برخوردار بوده اما به دلیل برخی از محدودیت های سطح دسترسی به تصاویر ماهواره ای و نقشه های توپوگرافی و DEM گوگل، نرم افزار به عنوان یک مدل کمکی در کنار سایر مدل های کنونی تحلیل سیلاب قرار می گیرد. از مزایای این نرم افزار می توان به دسترسی آسان در هر زمان و مکان بدون محدودیت برای عموم مردم به واسطه آنلاین بودن، عدم نیاز به نصب و یا مهارت خاص در اجرای نرم افزار، محیط سراسر گرافیکی و سادگی و قابل فهم محیط نرم افزار، امکان بروز رسانی نرم افزار و ایجاد تغییرها و افزایش امکانات و سازگاری بالا به واسطه متن باز بودن نرم افزار، دسترسی به بانک اطلاعاتی گسترده، بروز بودن و تنوع نقشه های مطالعاتی، دسترسی کامل به تمامی نقشه های توپوگرافی نقاط

کره زمین در هر کشور در هر زمان و مکان، عدم نیاز به شناخت منطقه و یا داشتن داده‌های هیدرولوژیکی آن، اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها جهت پروژه‌های کنترل سیل، مدل‌سازی سیلاب با دبی‌های متفاوت و پیش‌بینی محدوده‌های آگیری هنگام وقوع سیل، افزایش سرعت در محاسبه‌های مربوط به پهنه‌بندی، صرفه‌جویی در زمان، امکان تعبیه سیستم هشدار هوشمند سیل و اقدام و تخلیه به موقع منطقه جهت کاهش خسارت‌های جانی و مالی و کمک به تصمیم‌گیری و مدیریت هرچه بهتر بحران در زمان‌های اضطراری اشاره نمود.

منابع

- ثروتی، محمدرضا، احمدی، محمود، نصرتی، کاظم، مزبانی، مهدی، (۱۳۹۲)، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز سراب دره شهر (مطالعه موردی حوضه آبخیز سراب دره شهر)، جغرافیا، سال یازدهم، شماره ۳۶، صص ۵۵-۷۷.
- جمالی، میثم، مقیمی، ابراهیم، جعفرپور، زین العابدین، کردوانی، پرویز، (۱۳۹۴)، تحلیل فضایی مخاطرات ژئومورفولوژیکی توسعه‌ی شهر در حریم رودخانه‌ی خشک کلان‌شهر شیراز. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال دوم، شماره ۳، صص ۶۱-۵۱.
- راد، مژگان، وفاخواه، مهدی، غلامعلی فرد، مهدی، (۱۳۹۷)، پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-RAS در پایین‌دست حوضه آبخیز خرم آباد، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۷، شماره ۱۶، صص ۲۲۶-۲۱۱.
- رفاهی، حسینقلی، (۱۳۹۴)، فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران، ۶۴۷ ص.
- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۸۴)، راهنمای پهنه‌بندی سیل و تعیین حد بستر و حریم رودخانه. نشریه شماره ۳۰۷، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۰۶ ص.
- شادمانی، مجتبی، معروفی، صفر، محمدی، کورش، سبزی پور، علی اکبر، (۱۳۹۰)، مدل‌سازی منطقه‌ای دبی سیلابی در استان همدان با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی استان همدان)، مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌و خاک، جلد ۱۸، شماره ۴، صص ۴۲-۲۱.
- لاجوردی، محمود، خالدی، شهریار، ستاری، شاپور، (۱۳۹۲)، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز مردق چای (آذربایجان شرقی)، نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۷، شماره ۴۴، صص ۲۵۵-۲۳۷.
- لشکری، حسن، رشیدی، علی، رضایی، علی، (۱۳۹۲)، پهنه‌بندی سیلاب رودخانه زرينه‌رود با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-RAS در محیط GIS (مطالعه موردی رودخانه زرينه‌رود واقع در آذربایجان غربی)، پژوهش‌های دانش و زمین، سال سوم، شماره ۱۳، صص ۶۸-۵۱.
- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، (۱۳۹۶)، اطلاعات آماری دبی رودخانه خشک شیراز (مکاتبه شخصی).
- ولیزاده کامران، خلیل، (۱۳۸۶)، کاربرد GIS در پهنه‌بندی خطر سیلاب (مطالعه موردی: حوضه رود لیقوان). مجله فضای جغرافیایی، سال هفتم، شماره ۲۰، صص ۱۷۰-۱۵۳.
- هیئت ویژه گزارش ملی سیلاب‌ها، (۱۳۹۸)، روایت سیلاب‌های ۹۸-۱۳۹۷ ایران. ۱۰۵ ص.
- یمانی، مجتبی، داورزنی، زهرا، دادرسی، ابوالقاسم، (۱۳۹۱)، ارزیابی مدل منطق فازی در مقایسه با سایر مدل‌های مفهومی در پهنه‌بندی سیل‌خیزی با تأکید بر ویژگی‌های ژئومورفولوژیک، مورد شناسی حوضه داورزن (مطالعه موردی حوضه داورزن). جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای، دوره ۲، شماره ۵، صص ۱۳۴-۱۲۱.

Al-Weshah. R.A., El-Khoury, F., (1999). Flood analysis and mitigation for Petra area in Jordan, Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 3, pp.170-177.

Anderson, H.L., Chen, Z.Q., Kavvas, M.L., Feldman, A., (2002). Coupling HEC-HMS with atmospheric models for prediction of watershed runoff, ASCE Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 7, No. 4, pp. 321-318.

Du, J., Qiana, L., Rui, H., Zuo, T., Zhenga, D., Xu, Y., Xu, C.Y., (2012). Assessing the effects of urbanization on annual runoff and flood events using an integrated hydrological modeling system for Qinhuai River basin, China. Journal of Hydrology, Vol. 464-465, pp. 127-139.

Fernandez, D.S., Lutz, M.A., (2010). Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. Engineering Geology, Vol. 111, No. 1, pp. 90-98.

- Gale, E.L., Saunders, M., (2013), The 2011 Thailand flood: climate causes and return periods, *Weather*, Vol. 68, No. 9, pp. 233-237.
- Hudson, P. Botzen, W. J. W. Kreibich, H. Bubeck, P. Aerts, J. C. J. H. (2014). Evaluating the effectiveness of Flood Damage Mitigation Measures by the Application of Propensity Score Matching, *Natural Hazards, and Earth System Science*, 14, 7, pp. 1731-1747.
- Khattak, M. S. Anwar, F. Usman Saeed, T. Sharif, M. Sheraz, K. Ahmed, A. (2016). Floodplain Mapping Using HEC-RAS and ArcGIS: A Case Study of Kabul River, *Research Article – Civil engineering*, 40, pp. 1375-1390.
- Perera, E. D. P. Hiroe, A. Shrestha, D. Fukami, K. Basnyat, D. B. Gautam, S. Hasegawa, A. Uenoyama, T. Tanaka, S., (2015). Community-based Flood Damage Assessment Approach for Lower West Rapti River basin in Nepal under the Impact of Climate Change, *Natural Hazards*, 75, pp. 669-699.
- Rad, M., Vafakhah, M., Gholamalifard, M., (2018). Flood mapping using the HEC-RAS hydraulic model in part of Khorramabad watershed, *Journal of Natural Environmental Hazards*, Vol.07, Issue 16, pp. 211-226.
- Silva, F. V. Bonuma, N. B. Uda, P. K. (2014). Flood Mapping In Urban Area Using Hec-Ras Model Supported By GIS, 6th International Conference on Flood Management, Sau Paulo, Brazil, pp. 1-9.
- Suriya, S., Mudgal, B.V., (2012). Impact of urbanization on flooding: The Thirusoolam sub-watershed–A case study, *Journal of Hydrology*, Vol. 412-413, pp. 210-219.
- Suwanwerakamtorn, R., (1994). GIS and hydrologic modeling for management of small watersheds, *ITC Journal*, Vol. 4, pp. 343-349.
- Tripathi, R., Sengupta, S.K., Patra, A., Chang, H., Jung, I., (2014). Climate change, urban development, and community perception of an extreme flood: A case study of Vernonia, Oregon, USA. *Applied Geography*, Vol. 46, pp.137-146.

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره نهم، شماره ۲۵، پاییز ۱۳۹۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۱۲

تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۰۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۲۹

صفحات: ۱۲۴ - ۱۰۱

مقاله (علمی پژوهشی)

ارزیابی تغییر موقعیت رودباد جنب‌حاره‌ای مستقر بر روی ایران و آینده‌نگری آن بر اساس دو مدل اقلیمی CanESM2 و GFDL-CM3

عبدالعظیم قانقرمه^{۱*}

۱. استادیار گروه جغرافیای دانشگاه گلستان

چکیده

قرارگیری ایران در عرض‌های جغرافیایی بین ۲۵ تا ۴۰ درجه نیم‌کره شمالی سبب شده است که در طی سال رودباد جنب‌حاره‌ای، عاملی برای کنترل سامانه‌های رطوبتی در گستره ایران شود. به عبارتی زمانی که این رودباد در موقعیت جنوبی ایران قرار می‌گیرد، به دلیل قدرت زیاد آن بادهای غربی به‌راحتی سیستم‌های رطوبتی را وارد کشور می‌کنند؛ اما زمانی که به عرض‌های شمالی در طی فصول گرم جابجا می‌شود از قدرت آن کاسته می‌شود. در سال‌های گذشته گزارش شده است که موقعیت رودباد در نیم‌کره شمالی در حال جابجایی است. بنابراین هدف از این تحقیق، بررسی جابجایی موقعیت رودباد جنب‌حاره‌ای و تغییرپذیری آن بر روی ایران می‌باشد. در این تحقیق به‌منظور دستیابی به هدف پژوهش، در محدوده بین ۳۰ تا ۸۰ درجه طول شرقی در نیم‌کره شمالی داده سرعت باد مداری در سطوح بین ۱۰۰۰ تا ۱۰ هکتوپاسکال از مرکز ملی مطالعات جوی و اقیانوسی ایالات متحده (NOAA) و همچنین خروجی مدل‌های گردش شامل CanESM2 و GFDL-CM3 برای دوره تاریخی ۱۹۴۸ تا ۲۰۰۵ و دوره‌های آتی ۲۰۰۶ تا ۲۱۰۰ در دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 از مرکز هیئت بین دولتی تغییر اقلیم (IPCC) دریافت شدند. در این مطالعه مؤلفه‌های اصلی رودباد شامل: سرعت هسته مرکزی رودباد و موقعیت عرض جغرافیایی می‌باشد. بررسی موقعیت و سرعت رودباد نشان می‌دهد که تغییرهای موقعیت رودباد جنب حاره بر روی ایران و نواحی شرقی آن از روند تغییرهای افزایشی معنی‌دار پیروی می‌کند. درحالی‌که در غرب ایران تغییرهای سرعت رودباد از روند معنی‌داری کاهشی برخوردار است. آینده موقعیت رودباد مستقر بر روی ایران نیز بر اساس مدل اقلیمی CanESM2 و GFDL-CM3 در دو سناریوی rcp4.5 و rcp8.5 مشخص می‌کند که نسبت به دوره پایه در هر دو سناریو و همچنین آینده نزدیک و دور موقعیت آن به شمال جابجا خواهند شد.

واژگان کلیدی: رودباد جنب‌حاره‌ای، مدل‌های گردش، سیستم‌های رطوبتی، سناریوی rcp4.5 و rcp8.5.

مقدمه

رودبادها نوار باریکی از سریع‌ترین بادهای در داخل اتمسفر می‌باشند که پایدارترین آن در سطوح فوقانی لایه تروپوسفر در مجاورت لایه تروپوپاز در منطقه جنب حاره و کناره قطب سوی سلول هدلی با نام رودباد جنب حاره می‌باشد. دومین نوع رودباد در بالاتر از سطوح میانی جو به‌خصوص در منطقه معتدله و در بالای منطقه جبهه قطبی واقع شده است که به اصطلاح رودباد قطبی نامیده می‌شود و در نهایت رودبادهای سطوح پایین جو که در نواحی به خصوصی مانند سواحل بعضی از دریاها مانند دریای عرب شکل می‌گیرند که به آنها نیز رودبادهای سطح پایین اطلاق می‌شوند. رودباد جنب حاره تحت تأثیر نیروی کوریولیس ایجاد می‌شود و اقلیم مناطق زیرین را از طریق تقویت یا تضعیف سامانه‌های آب و هوایی مهاجر که در غالب بادهای غربی متأثر می‌کند. به‌طور کلی بر مبنای فرآیند و مکانیزم خاص سیستم‌ها در منطقه حاره‌ای، هوا گرم شده، صعود می‌کند و بر اثر شیب تغییرهای فشار، در ارتفاعات بالا به دو شاخه تقسیم می‌گردد که هر شاخه به سمت یکی از قطب‌ها حرکت می‌کند. اما در نیم‌کره شمالی در حوالی مدار رأس‌السرطان، بر اثر نیروی کوریولیس به سمت شرق منحرف می‌شود و به‌صورت بادهای غربی ظاهر می‌شود. در طی دهه‌های اخیر، موقعیت و قدرت رودباد جنب حاره به‌عنوان یکی از بخش‌های اصلی سلول هدلی تغییرهایی را نشان می‌دهد؛ به‌طوری‌که این عامل باعث گردیده پژوهشگران مختلفی از سرتاسر جهان، از دیدگاه‌های متفاوتی در ارزیابی ساختار آن، همچنین نقش و تغییرهای زمانی و مکانی رودباد جنب حاره‌ای بروی تغییرهای آب و هوایی توجه نمایند. قرارگیری ایران در عرض‌های جغرافیایی بین ۲۵ تا ۴۰ درجه نیم‌کره شمالی سبب شده است که در طی سال رودباد جنب حاره‌ای، عاملی برای کنترل سامانه‌های رطوبتی در گستره ایران شود. به عبارتی زمانی که این رودباد در موقعیت جنوبی ایران قرار می‌گیرد به دلیل قدرت زیاد آن بادهای غربی به‌راحتی سیستم‌های رطوبتی را وارد کشور می‌کنند؛ اما زمانی که به عرض‌های شمالی در طی فصول گرم جابجا می‌شود از قدرت آن کاسته می‌شود. در سال‌های گذشته گزارش شده است که موقعیت رودباد در نیم‌کره شمالی در حال جابجایی است. بنابراین ضرورت دارد به دلیل نقش عمده رودباد جنب حاره‌ای در کنترل اقلیم ایران، تغییرهای مکانی و زمانی آن برای دوره‌های آتی مورد ارزیابی قرار گیرد. البته شایان‌ذکر است تغییرهای مکانی و زمانی رودباد در نواحی مختلف انجام گرفته است. به‌عنوان مثال از کارهای آغازین در مورد رودباد جنب حاره‌ای می‌توان به کار کریشنامورتی^۱ (۱۹۶۱) اشاره نمود. این پژوهشگر در کاری به مطالعه نقش رودباد جنب حاره‌ای زمستانی در گردش عمومی جو پرداخت. او در کار خود سطح ۲۰۰ میلی باری را انتخاب و فقط بر روی تغییرهای رودباد در ماه‌های زمستان مطالعه نمود. در مقاله‌ای، ریتز^۲ و ویتنی^۳ (۱۹۶۹)، تعامل بین دو رودباد جنب حاره‌ای و جبهه قطبی را مورد مطالعه و واکاوی قرار دادند. فو^۴ و همکاران (۲۰۰۶)، تغییرهای روند دمای تروپوسفر و استراتوسفر را برای دوره مطالعاتی ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۵ مورد مطالعه قرار داده و در این بین به این نتیجه رسیدند که رودباد جنب حاره‌ای برای هر دو نیم‌کره و با توجه به فصول تابستان و زمستان، تا حدودی به‌اندازه یک درجه به سمت قطب جابجا شده است. استرنگ^۵ و دیویس^۶ (۲۰۰۷)، روندهای زمستانی جت

1 - Krishnamurti

2 - Reiter

3 - Whitney

4 - Fu

5 - Strong

6 - Davis

استریم را در سرتاسر نیم کره شمالی برای یک دوره آماری ۱۹۵۸ تا ۲۰۰۷ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج کار آنها نشان دهنده ثبات هسته رودباد جنب حاره ای بر روی غرب و مرکز اقیانوس آرام می باشد. اما در عین حال سرعت هسته های مرکزی به اندازه ۱،۷۵ متر در ثانیه در هر دهه در حال افزایش می باشد. همچنین رودباد جنب حاره ای در مناطقی نظیر شرق اقیانوس آرام و خاورمیانه در حال جابجایی به سوی قطب می باشند. فریسون^۱ و همکارانش (۲۰۰۷)، پهنای سلول هدلی را مورد مطالعه قرار دادند و نشان دادند که عرض سلول هدلی با معیار نظریه هلد^۲ و همکارش (۱۹۸۰) همخوانی دارد. مطابق نظر ایشان سلول هدلی حتی بدون وجود ادی های باروکلینیکی عرض های میانه نیز دارای پهنای محدودی می باشد. فو و هیو^۳ (۲۰۰۷)، با بررسی مشاهده های سلول هدلی از سال ۱۹۷۹ به این نتیجه رسیدند که در این سلول در حدود ۲ تا ۵ درجه جغرافیایی از اواخر دهه ۱۹۷۰ توسعه گردشی اتفاق افتاده است که این عامل تغییرپذیری بسیار زیادی در فصول تابستان و پاییز در هر دو نیم کره را سبب شده است، در حالی که تغییر عرض سلول هدلی کمترین معنی داری را با فصل زمستان و بهار دارند. بنابراین همزمان با توسعه و گسترش سلول هدلی به سوی قطب، کمربند حاره ای نیز پهن تر می شود. سایدل^۴ و همکارانش (۲۰۰۸)، پهن شدگی کمربند حاره را در ارتباط با تغییرهای اقلیمی مطالعه نمودند و آنها دریافتند که پهن شدگی کمربند حاره در مقیاس وسیع گردش اتمسفری با حرکت به سوی قطب سبب جابجایی رودبادها و مسیر حرکت سامانه ها می شود که نتیجه آن تغییر در الگوی بارش و پیامدهای آن در اکوسیستم های طبیعی، کشاورزی و منابع آب دیده می شود. لیو^۵ و همکارانش (۲۰۰۹)، علت پهن شدگی کمربند حاره ای را مطالعه نمودند. در این مطالعه علت اصلی دمای سطح دریاها به عنوان عامل تعیین کننده گردش عمومی اتمسفر و همچنین توزیع یخ دریایی به عنوان اثرهای تابش مستقیم از منابع طبیعی و فعالیت های انسانی می باشد. عامل مهم دیگری نیز با عنوان فراوانی ویژگی های تروپوپاز در منطقه حاره خودنمایی می کند. بیرنر^۶ (۲۰۱۰)، گسترش اخیر کمربند حاره ای را با استفاده از آمارهای جهانی مورد مطالعه قرار داد و مشخص نمود که روندهای گسترش به ویژه حساسیت تغییرها در آستانه ارتفاعی تروپوپوز را نشان می دهد. روش هایی برای تعیین آستانه های مناسب برای تعریف عرض های لبه های حاره ای بر اساس آماره تروپوپاز ارائه نمود. برآوردهای روند برای عرض کمربند گرمسیری از مجموعه داده های مختلف بازنگری، نشان می دهد با وجود تغییرهای فصلی و چندساله اغلب با یکدیگر متفاوت است. ژوزف^۷ و همکارش (۲۰۰۸)، در مطالعه های خود نشان دادند که افزایش انتقال حرارتی ناشی از گرمایش دمای سطح آب اقیانوس هند یکی از دلایل ضعیف شدن رودباد جنب حاره ای شرقی می باشد. آرچر^۸ و همکارانش (۲۰۰۸)، تغییرهای روند رودبادهای جنب حاره ای و قطبی را مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق آنها داده های آماری ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۱ را از دو پایگاه NCEP/NCAR و ERA-40 استخراج نمودند. نتایج این پژوهش نشان می دهد که هر دو رودباد از لحاظ موقعیت ارتفاعی به سطوح بالاتر انتقال یافته و در هر دو نیم کره به سمت قطب جابجا شده اند. همچنین در نیم کره جنوبی، هر جا رودباد جنب حاره ای ضعیف تر شده،

1 - Frierson

2 - Held

3 - Hu

4 - Seidel

5 - Lu

6 - Birner

7 - Joseph

8 - Archer

در مقابل رودباد جبهه قطبی تقویت گردیده است. هودسن^۱ (۲۰۱۲)، نیز برای شناسایی جابجایی رودبادهای عرض-های میانه در نیم کره شمالی و جنوبی از ازون جوی استفاده نمودند و برای دوره ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۰ نشان داد که حرکت قطب سوی در هر دو نیم کره تغییر معنی داری را نشان می دهد که این موضوع تغییر معنی داری را در الگوهای آب و هوایی و سیکل هیدرولوژیک سبب شده است. هیو و همکارانش (۲۰۱۳)، با مطالعه توسعه قطب سوی گردش هدلی با استفاده از گزارش پنجم IPCC در دو حالت تأثیر گازهای گلخانه ای و تمامی نیروهای درگیر اتمسفری برای دوره تاریخی به این نتیجه رسیدند که در حالت اول در هر ۱۰ سال سلول هدلی در حدود 0.15 ± 0.06 درجه و در حالت دوم 0.17 ± 0.06 گسترش پیدا کرده است. راجندران و همکارانش (۲۰۰۸، ۲۰۱۲)، نشان دادند که تثبیت یا تضعیف گردش تیپ هدلی موسمی تابستانی در واکنش به گرمایش جهانی سبب ضعیف شدن جریان موسمی بزرگ مقیاس (به خصوص رودباد سطح پایین) شده است. ژوزف و همکارش (۲۰۰۵)، نیز ضعیف شدن روند جت استریم های پایین را در شبه جزیره هندوستان ثابت کردند، به طوری که در دوره فعالیت (قوی شدن) موسمی، هسته رودباد پایین از روی شبه جزیره هند بین 12.5 تا 17.5 درجه شمالی جابجا می شود. در دوره ضعیف شدن موسمی، رودباد در موقعیت 2.5 تا 7.5 درجه شمالی واقع می شود. کریشنان و همکارانش (۲۰۱۳) نشان دادند که موسمی های آسیای جنوبی در واکنش به گرمایش جهانی در منطقه موسمی تابستانی گردش موسمی، سلول هدلی در حال واژگونی است و همچنین وزش موسمی جنوب غربی (رودبادهای سطوح پایین) در طی 50 سال گذشته ضعیف شده است. ضعیف شدن روند گردش موسمی ها با کاهش فراوانی ریزش بارش های روزانه متوسط تا سنگین همبستگی معنی داری را نشان می دهد. آبیش^۲ و همکارانش (۲۰۱۵) تغییرهای اقلیمی جت استریم جنب حاره را در طول ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۹ مطالعه نمودند و به این نتیجه نایل شدند که سردشدگی تروپوسفر در روی عرض های میانه در آسیا نقشه مهمی در تقویت رودباد مستقر بر روی آسیا دارد درحالی که در سایر نواحی دیگر کره زمین تروپوسفر بالایی روند گرم شدن به همراه ضعیف شدن رودباد را تجربه می کنند. مطالعه فوق نشان می دهد که سردشدگی اتمسفر بالایی در عرض های میانه آسیا ناشی از فعالیت های انسانی در تولید ریز گردها (ذرات سولفات) است. یانگ^۳ و همکارانش (۲۰۰۲)، مشخص کردند که جریان رودباد شرق آسیا با یک الگوی ارتباط از راه دور در سراسر منطقه آسیا-اقیانوس آرام-آمریکا و با قوی ترین سیگنال بر روی شرق آسیا و غرب اقیانوس آرام رابطه برقرار کرده است. استرانگ و همکارانش (۲۰۰۸)، الگوی تغییرپذیری قدرت و موقعیت هسته رودبادهای منطقه معتدله را در ارتباط با شاخص نوسان قطبی (AOI) مطالعه نمودند و به این نتیجه رسیدند که در مناطق غیر حاره ای الگوی عمده تغییرپذیری در فراوانی هسته رودبادهای شاخص نوسان قطبی همبستگی دارد و به عنوان یک شاخص در پیکربندی اصلی امواج رودبادهای زمستانی آشکار می شود. لیو و همکارانش (۲۰۰۹)، علت پهن شدگی کمربند حاره ای را مطالعه نمودند. در این مطالعه علاوه بر دمای سطح دریاها که نقش مهمی در گردش عمومی اتمسفر دارند و توزیع یخ های دریایی به عنوان عامل تعیین کننده در تابش مستقیم خورشید و فعالیت های انسانی، عامل مهم دیگری نیز با عنوان فراوانی ویژگی های تروپوپاز در منطقه حاره شناسایی نمودند. برانس^۴ و همکارانش (۲۰۱۳)، واکنش رودبادهای

1 - Hudson

2 - Abish

3 - Yang

4 - Barnes

عرض‌های میانه و تغییرپذیری آنها را نسبت به افزایش گازهای گلخانه‌ای در ارتباط با گزارش پنجم CMIP5 مورد مطالعه قرار داند و بیان کردند که تمامی رودبادها با تغییرهای اقلیمی به طرف قطب مهاجرت می‌کنند. به‌طوری‌که تغییر آنها در نیم‌کره جنوبی به‌سوی قطب بین دوره تاریخی و تا انتهای قرن بیست و یکم با نگاه سناریوی RCP8.5 معادل ۲ درجه خواهد بود؛ درحالی‌که در نیم‌کره شمالی تنها یک درجه به‌سوی قطب جابجا می‌شود. هاراد و همکارانش (۲۰۱۳)، تشدید بخش جنوبی رودباد آسیا را در طول فصل زمستان نیم‌کره شمالی با استفاده از مدل‌های CMIP5 مطالعه نمودند و به این نتیجه رسیدند که قدرت واگرایی تروپوسفر فوقانی با دامنه عملکرد جریان‌های آنتی سیکلونی به‌طور کامل مرتبط است. بنابراین تغییرهای آینده در سرعت رودباد سبب تضعیف پاسخ ماتسونو-گیل (Matsuno-Gill response) به گرمایش منطقه حاره خواهد شد. ویلیام^۱ و همکارانش (۲۰۱۵)، تغییرهای شدید گردش هدلی و افزایش خشکی جهانی را ناشی از گرمایش دی اکسید کربن مطالعه نمودند و سیگنال‌های قوی از مؤلفه‌های تقویت‌کننده و تضعیف‌کننده سلول هدلی را ناشی از گرمایش دی اکسید کربن پیدا کردند. این تغییرها به‌طور گسترده‌ای در کاهش رطوبت تروپوسفری و افزایش ماه‌های خشک به‌ویژه در مناطق جنب حاره و حاره را سبب می‌شود. ایم و همکارانش (۲۰۱۵)، تنوع درون مدلی در تغییرهای رودبادها و ارتباط آن را با اقلیم مناطق قطبی با استفاده از مدل گردشی CGCMs در CMIP5 را مطالعه نمودند و به‌طور معنی‌داری مشخص کردند که رودبادهای عرض‌های میانه همراه با گرمایش مناطق قطبی به‌سوی مناطق قطبی تغییر مکان می‌دهد و درحالی‌که با تضعیف شدن گرمایش به‌سوی استوا کشیده می‌شود. بلمچری^۲ و همکارانش (۲۰۱۷)، با استفاده از رودباد مستقر در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال در نیم‌کره شمالی شاخصی را به‌صورت فصلی ارائه داد که بر این اساس شاخص فوق با الگوهای گسترده‌ای در تغییرپذیری دما و بارش با تولیدات گیاهی و فنولوژی بهاری مرتبط باشند و می‌تواند به‌عنوان ابزار تشخیصی یا پیش‌آگاهی در اتصال پویایی اکوسیستم و موضوع‌های اقتصادی-اجتماعی با الگوهای سطوح فوقانی اتمسفر مفید واقع شوند. عالم زاده و همکارانش (۱۳۹۶)، با مطالعه ساختار هندسی رودباد آفریقا-آسیا و واکنش آن به گرمایش جهانی ثابت نمودند که کاهش شدت رودباد در قطاع آفریقا در فصل تابستان می‌تواند به معنای کاهش ناپایداری رودباد و در نتیجه ناپایداری مدیریت‌های مدیترانه‌ای و نیز تضعیف انتشار شرق سوی این سیستم‌ها به ایران شوند. همچنین جابجایی رودباد به‌سوی قطب، جابجایی مسیر توفان‌های مدیترانه را نیز به قطب سبب شوند. لیو و همکارانش (۲۰۱۲)، تغییرهای قدرت و پهنای گردش هدلی را از سال ۱۸۷۱ مورد مطالعه قرار دادند و نشان دادند که قدرت و عرض گردش هدلی از اواخر قرن نوزدهم تا اوایل قرن بیستم دارای تغییرهای طبیعی بوده است، درحالی‌که بیشترین تغییرپذیری در دهه‌های اخیر اتفاق افتاده است. از نظر نویسندگان این پژوهش، این یافته‌ها، این پرسش را مطرح می‌کند که آیا تغییرهای اخیر در گردش هدلی به‌طور عمده به گرم شدن گلخانه یا به نوسانی طولانی‌مدت گردش هدلی مربوط می‌شود که اغلب طولانی‌تر از مطالعه‌های قبلی است. چنولی و همکارانش (۲۰۱۷)، دوره تاریخی و آینده رودباد جنب حاره را در طول زمستان برای نیم‌کره جنوبی با استفاده از مدل‌های CMIP5 مطالعه نمودند و مشخص نمودند که قدرت و موقعیت آن افزایش خواهد یافت؛ به‌طوری‌که بر اساس سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب افزایش سرعت رودباد ۲٫۵ و ۵٫۵ متر در ثانیه و جابجایی موقعیت آن ۰٫۶ و ۰٫۴ درجه به‌سوی قطب تا پایان

1 - William

2 - Belmecheri

قرن اتفاق خواهد افتاد. تروت^۱ و همکارانش (۲۰۱۸)، تغییرهای رودباد تابستانی آتلانتیک شمالی در دوره اخیر را با سه قرن پیش مورد مقایسه قرار دادند؛ به طوری که افزایش اخیر رخدادهای حدی در عرض‌های میانه با آنومالی رودباد در نیم‌کره شمالی مرتبط است. آنها دریافتند که ناهنجاری‌های شمال سوی رودباد آتلانتیک شمالی موجب امواج گرمایی و خشکسالی‌ها در شمال غرب اروپا و جنوب سوی آن باعث افزایش آتش‌سوزی‌ها در جنوب شرق اروپا شده است. در نهایت به این نتیجه رسیدند که در قرن ۲۰ تغییرپذیری سالانه جت استریم‌های نصف‌النهاری افزایش یافته است و سبب نوسان جدی در الگوی رودباد و شبه پایداری دامنه نوسان آن به عنوان مسیر دینامیک بالقوه برای گرمایش قطبی با تأثیر به هوای عرض‌های میانه شده است. قانقرمه و همکارش (۱۳۹۴)، با مطالعه نقش رودباد در کنترل بارش‌ها بر روی ایران به این نتیجه رسیدند که رودباد جنب حاره مستقر در روی ایران در مقدار و تعداد روزهای بارش نقش دارند. عساکره و همکارانش (۱۳۹۶)، روند جابجایی رودباد و پرفشار جنب حاره بر فراز خاورمیانه و رابطه آن با اقلیم ایران را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که سرعت و چگونگی محور رخداد سرعت رودباد از نظر مداری، نصف‌النهاری و ارتفاع وقوع آن در تحلیل سایر سامانه‌های اقلیمی نقش بسزایی دارد. کوتاه بودن فصل سرد در جنوب کشور و محدود بودن نزولات جوی آن در مقایسه با شمال غرب کشور، نشان از تغییر در تأثیرگذاری این سامانه دارد. برخی از مطالعه‌ها بروی نقش مهم رودبادهای جنب‌حاره‌ای و جبهه قطبی در سیکلون‌زایی سرتاسر نواحی چون ایالات متحده، قسمت مرکزی دریای مدیترانه و شمال آفریقا تمرکز کرده‌اند (ویتنی^۲، ۱۹۷۷، آکسلنی^۳، ۱۹۸۷، حکیم^۴ و آکسلنی، ۱۹۹۲، پری زیرآکس، ۱۹۹۷، کاپلان و همکاران، ۱۹۹۸، پری زیرآکس و همکاران، ۲۰۰۶، کاپلان^۵ و همکاران، ۱۹۹۸، مبارک حسنی و همکاران، ۲۰۱۱، دیوید لورنز^۶، ۲۰۱۴). به هر حال بسیاری از مطالعه‌های دیگر نیز بر روی تغییرهای موقعیت و شدت رودباد جنب‌حاره‌ای و تأثیر آن بروی طوفان‌های عرض‌های میانه (ناکامورا^۷، ۱۹۹۲)، مبادله انرژی بین تروپوسفر و استراسفر (وی^۸، ۱۹۸۷) و رژیم گردش جوی (رتی^۸ و همکاران، ۲۰۰۶) تمرکز نموده‌اند. علی‌رغم این، مطالعه‌های دیگری نیز در داخل کشور بروی جت استریم‌ها انجام پذیرفته است. به عنوان نمونه در کاری فرج زاده و همکاران (۲۰۰۸)، ارتباط بین موقعیت رودبادها با سیکلون‌زایی بروی نواحی غربی ایران مورد واکاوی قرار دادند. با توجه به پیشینه تحقیق‌های انجام‌شده هدف از انجام این تحقیق، بررسی تغییرپذیری موقعیت و سرعت هسته رودباد جنب‌حاره‌ای بر روی ایران و آینده‌نگری آن به عنوان عامل مهم تعیین‌کننده اقلیمی ایران می‌باشد.

داده‌ها و روش‌ها

در این تحقیق به منظور دستیابی به هدف پژوهش، سرعت باد مداری در محدوده بین ۳۰ تا ۸۰ درجه طول شرقی در نیم‌کره شمالی و در ترازهای بین ۱۰۰۰ تا ۱۰ هکتوپاسکال انتخاب شدند. این داده شامل داده‌های دوباره‌سازی شده

1 - Trouet

2 - Whitney

3 - Uccellini

4 - Hakim

5 - Kaplan

6 - Nakamura

7 - Wei

8 - Ruti

مرکز ملی مطالعات جوی و اقیانوسی ایالات متحده (NOAA) از ۱۹۴۸ تا ۲۰۱۸ و همچنین خروجی مدل‌های گردشی شامل CanESM2 و GFDL-CM3 برای دوره تاریخی ۱۹۴۸ تا ۲۰۰۵ و دوره‌های آتی ۲۰۰۶ تا ۲۱۰۰ در دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 می‌باشد که از سایت IPCC دریافت شدند. مقیاس مکانی این داده تقریباً ۲,۵×۲,۵ و مقیاس زمانی آن به صورت ماهانه است. در فرایند انجام این پژوهش از نرم‌افزارهای STATISTICA و تعدادی از نرم‌افزارهای معمول دیگر استفاده گردید. داده‌ها از نظر مکانی به سه سری در امتداد طول جغرافیایی دسته‌بندی شدند که شامل غرب ایران (طول جغرافیایی بین ۳۰ تا ۴۴)، سرزمین ایران (طول جغرافیایی بین ۴۴ تا ۶۲,۵) و شرق ایران (طول جغرافیایی بین ۶۲,۵ تا ۸۰) می‌باشد. در این مطالعه مؤلفه‌های اصلی رودباد شامل سرعت هسته مرکزی رودباد و موقعیت عرض جغرافیایی می‌باشد. بنابراین، برای دوره مشاهداتی از داده‌های دوباره بازسازی‌شده مرکز ملی مطالعات جوی و اقیانوسی ایالات متحده و برای آینده نیز از خروجی دو مدل موردنظر در قالب دو سناریو خوش‌بینانه و بدبینانه استفاده شد. البته شایان ذکر است دوره تاریخی هر دو مدل با دوره مشاهداتی مورد ارزیابی و صحت سنجی قرار گرفتند.

الف- ارزیابی کارایی مدل‌های گردشی

به منظور ارزیابی رودباد شبیه‌سازی‌شده توسط دو مدل CanESM2 و GFDL-CM3 بر روی ایران و نواحی غربی و شرقی آن از معیارهای شامل ضریب کارایی نش-ساتکیف (NSE)، (قانونرمه و همکارانش، ۲۰۱۸)، ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تعیین (R2) و شاخص توافق ویلموت (d) استفاده شد. در معیار ضریب کارایی نش ساتکیف؛ OBS شامل داده دوباره بازسازی‌شده و MODEL داده‌های مدل شده می‌باشد.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{n=1}^{SUM} (OBS_n - MODEL_n)^2}{\sum_{n=1}^{SUM} (OBS_n - \overline{OBS})^2} \quad (۱)$$

اگر ضریب نش ساتکیف معادل ۱ باشد توافق کامل مدل را نشان می‌دهد، در مقابل اگر به صفر برسد این مدل‌ها کارایی مناسبی را ندارد. بنابراین هرچه میزان ضریب به یک نزدیک شود حاکی از کارایی مدل شبیه‌سازی‌شده می‌باشد.

ریشه دوم میانگین مربعات خطا درواقع معیاری جهت مقایسه مقادیر برآورد شده از مدل با مقادیر مشاهداتی می‌باشد. در این مقاله با توجه به دامنه تغییرپذیری زیاد سرعت باد با استفاده از دامنه حداکثر و حداقل ریشه دوم میانگین مربعات خطا به صورت معیار بدون بعد (NRMSE) تبدیل شد. در معادله MAX، MIN و N به ترتیب حداکثر، حداقل و تعداد یا دوره زمانی داده‌های دوباره بازسازی‌شده می‌باشد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (OBS - MODEL)^2}{N}} \quad (۲)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{MAX_{obs} - MIN_{obs}} \quad (۳)$$

ضریب تعیین، یکی از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی عملکرد و رابطه بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی می‌باشد. هرچه قدر به مقدار ۱ نزدیک شود، توافق بین داده‌ها و مقدار صفر آن نیز عدم توافق را نشان می‌دهد که با توجه به اینکه مقدار آن در این از ضریب پیرسون می‌باشد؛ بنابراین برای دوره واسنجی مدل که شامل دوره ۱۹۴۸ تا ۲۰۰۵ معادل ۶۹۶ ماه است، آستانه معنی داری آن در سطح معنی داری ۵ درصد معادل ۰,۰۰۴ و برای دوره صحت سنجی

(شامل دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸) معادل ۰,۰۱۸ می‌باشد. در این معادله x معادل داده دوباره بازسازی شده و y نیز داده-های مدل شده می‌باشند.

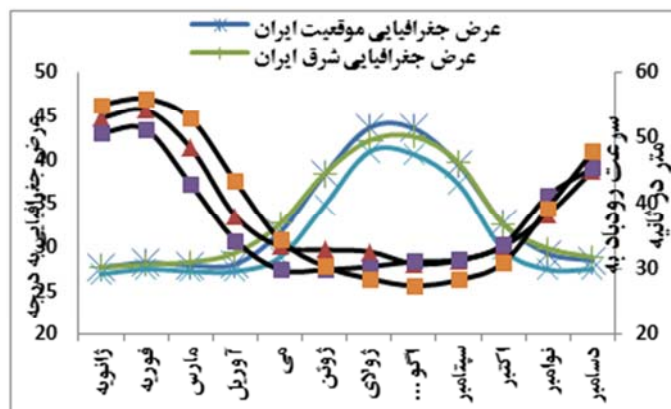
$$R_{(x,y)} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2]^{0.5} [n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]^{0.5}} \quad (۴)$$

شاخص توافق ویلموت (d) بین صفر تا یک متغیر است. یک، نماینده توافق کامل مشاهده‌ها و پیش‌بینی‌ها و صفر نماینده عدم توافق کامل است (ویلموت و همکارانش، ۲۰۱۲). این شاخص میزان صحت پیش‌بینی‌های مدل را نشان می‌دهد. برای رسیدن d به حد معنا داری نمی‌توان مقداری قائل شد.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (obs_i - model_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|model_i - obs| + |obs - obs|)^2} \quad (۵)$$

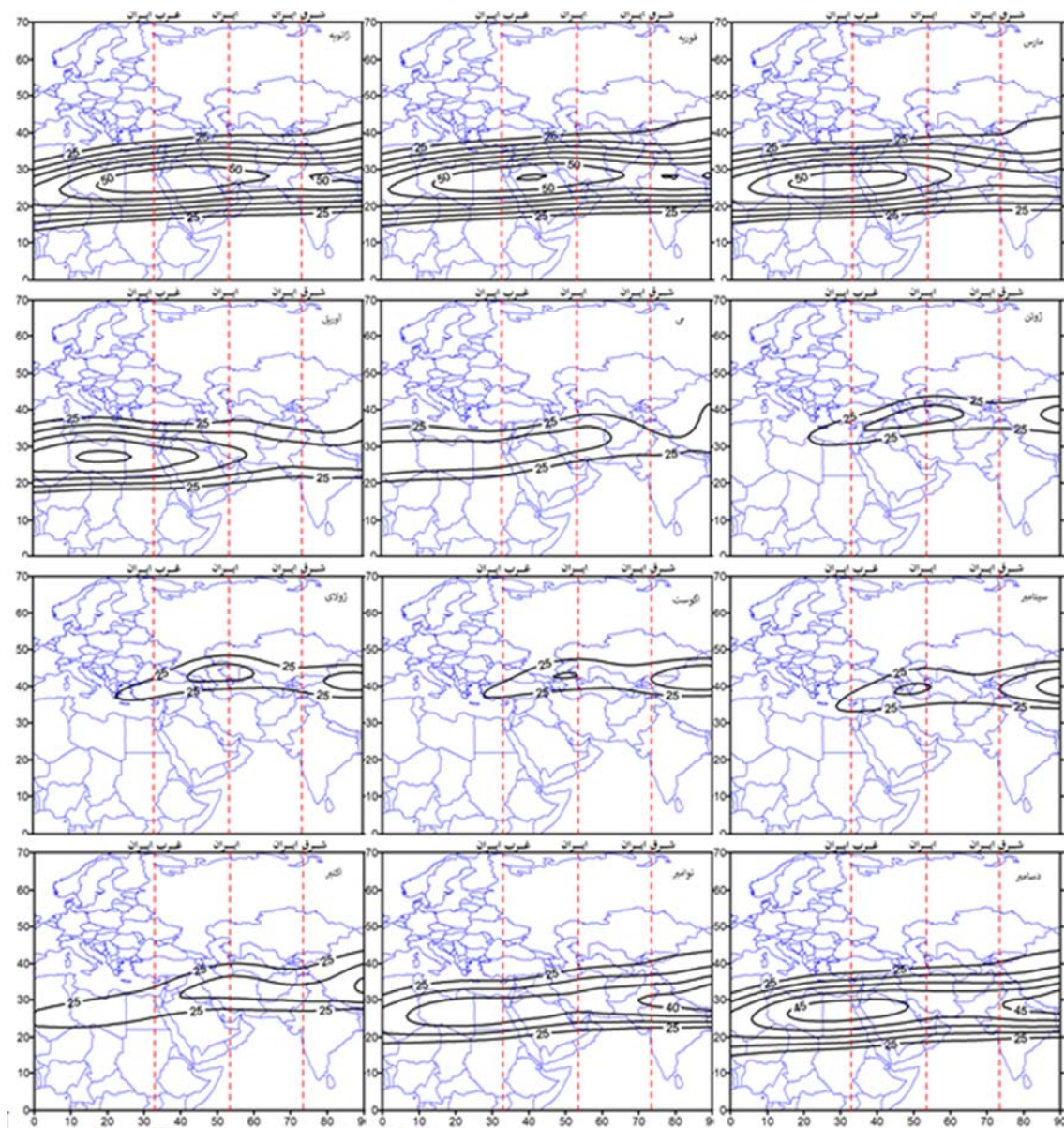
یافته‌های تحقیق

بررسی رودباد جنب‌حاره‌ای مستقر بر روی ایران و نواحی غربی و شرقی آن نشان می‌دهد که بیشترین سرعت رودباد جنب‌حاره‌ای در موقعیت جنوبی و کمترین آن در موقعیت شمالی اتفاق می‌افتد. یکی از ویژگی‌های قابل‌توجه این رودباد بر روی ایران و نواحی اطراف آن به این شکل می‌باشد که مطابق شکل ۱ در ماه‌های مختلف علاوه بر تغییرها در سرعت، در موقعیت‌های مختلفی نیز قرار می‌گیرند که حاکی از دو حالت پایداری و انتقالی می‌باشد. به عبارت دیگر ماه‌های دسامبر تا آوریل در روی ایران در جنوبی‌ترین موقعیت و میزان جابجایی در آن به حداقل می‌رسد. همچنین در ماه‌های جولای و آگوست نیز در شمالی‌ترین موقعیت به مدت دو ماه پایدار می‌شوند؛ درحالی‌که بین ماه‌های آوریل تا جولای که شامل دو ماه می و ژوئن قرار می‌گیرد جابجایی شدیدی در موقعیت رودباد به همراه کاهش شدید سرعت به‌سوی شمال دیده می‌شود. همچنین بین آگوست تا دسامبر نیز در طی سه ماه سپتامبر، اکتبر و نوامبر به‌طرف جنوب جابجایی به همراه افزایش سرعت صورت می‌گیرد. بنابراین جابجایی به‌سوی شمال بسیار زیاد است، درحالی‌که پاییز یا انتقال از موقعیت تابستانی تا به زمستانی آن سه ماه طول می‌کشد یا به عبارت دیگر برگشت به‌سوی جنوب با شدت کمتری اتفاق می‌افتد؛ بنابراین می‌توان گفت که دلیل کوتاه بودن فصل بهار در ایران را رفتار رودباد جنب حاره تعیین می‌کند. مطابق شکل ۲ که در آن نقشه‌های دوازده‌ماهه رودباد نمایش داده شده است، تراکم هسته‌های سرعت رودباد در ماه‌های ژانویه تا مارس زیاد است؛ اما در ماه‌های آوریل تا اکتبر تراکم منحنی‌های هم سرعت کاسته شده است. از طرف دیگر مشخص می‌گردد که در ماه‌های گرم سال یعنی ژوئن تا سپتامبر در غرب ایران سرعت رودباد بسیار ضعیف می‌شود، درحالی‌که بر روی ایران حتی در شمالی‌ترین موقعیت خود به‌صورت سلول بسته دیده می‌شود. در این دوره زمانی در شرق ایران سرعت رودباد نسبت به غرب آن قوی‌تر است.

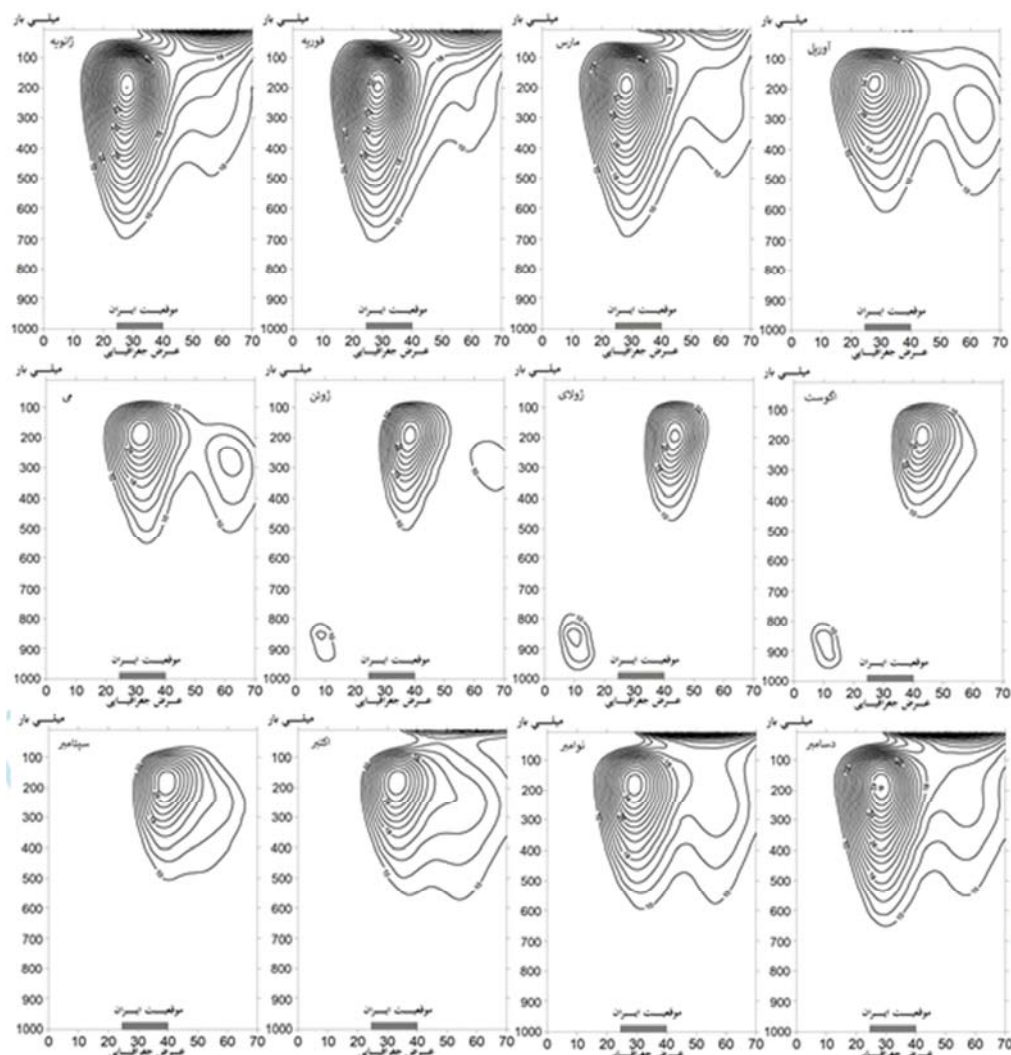


شکل ۱: نمودار میانگین ماهانه موقعیت عرض جغرافیایی و سرعت هسته رودباد جنب حاره بر روی ایران و نواحی غرب و شرق آن

مطابق شکل ۳ وضعیت مقاطع رودباد بر روی ایران در فصول مختلف نشان داده شده است که در فصل زمستان یعنی در ماه‌های دسامبر تا آوریل گسترش عمودی به سطح پایین مطابق با منحنی هم سرعت ۱۰ متر بر ثانیه تا حدود ۷۰۰ هکتوپاسکال کشیده می‌شود. در این دوره هسته رودبادهای موردنظر نیز منطبق بر هم می‌باشند؛ به‌طوری‌که میانگین تراز ارتفاعی آن ۱۹۵ هکتوپاسکال و در عرض جغرافیایی ۲۸٫۳۵ درجه شمالی قرار دارد. مطابق منحنی‌های هم سرعت گسترش عمودی رودباد از مرکز به‌سوی پایین دارای کمترین شیب است؛ درحالی‌که به‌سوی عرض‌های شمالی و جنوبی و همچنین به‌سوی بالا دارای شیب زیادی است. در فصل بهار شامل ماه‌های می و ژوئن یا به عبارتی در فاصله بین آوریل تا جولای، هسته رودباد جنب حاره شدیداً به‌سوی عرض‌های شمالی جابجا می‌شود؛ به‌طوری‌که در این دو ماه از گسترش عمودی کاسته و برعکس تا حدودی گسترش افقی آن افزوده شده است. در مقاطع عمودی به‌سوی شمال علاوه بر رودباد جنب حاره، هسته دیگری از رودباد در موقعیت ۶۲ درجه شمالی در تراز ۲۷۵ هکتوپاسکال دیده می‌شود که گویای فعال بودن رودباد قطبی است. در فصل تابستان شامل ماه‌های جولای و اگوست، موقعیت رودباد در شمالی‌ترین عرض جغرافیایی واقع می‌شود که متوسط ارتفاع هسته رودباد در تراز ۱۹۰ هکتوپاسکال و عرض جغرافیایی آن بین ۳۸/۲ تا ۴۴ درجه شمالی در تغییر است. گسترش عمودی آن با منحنی هم سرعت ۱۰ متر بر ثانیه در تراز بین ۵۰۰ تا ۴۵۰ هکتوپاسکال می‌باشد. درنهایت در فصل انتقالی پاییز شامل ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر با سرعت قابل‌توجهی به‌سوی عرض‌های جنوبی جابجا می‌شوند؛ البته نسبت به‌سرعت جابجایی بهاری از شدت کمتری برخوردار است. در این فصل گسترش شمالی-جنوبی رودباد افزایش یافته است و این موضوع حاکی از شکل‌گیری رودباد قطبی در نواحی شمالی آن می‌باشد؛ به‌طوری‌که در ماه نوامبر تا حدودی جدایی دو هسته دیده می‌شود.



شکل ۲: تغییرهای میانگین ماهانه رودباد جنب‌حاره‌ای مستقر بر روی ایران و محدوده پیرامون آن در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال (متر بر ثانیه)



شکل ۳: میانگین مقاطع عمودی میانگین ماهانه رودباد (متر بر ثانیه) جنب حاره بر روی ایران (۱۹۴۸-۲۰۱۸)

الف- تغییر پذیری موقعیت هسته مرکزی رودباد جنب حاره بر روی ایران و نواحی مجاور

مشخصه‌های عرض جغرافیایی هسته رودباد بر روی ایران حاکی از آن است که در فصل زمستان (دسامبر تا آوریل) موقعیت مرکزی آن در ۲۸,۰۸۵ ، بهار (می و ژوئن) ۳۵,۰۱۸، تابستان (ژولای و اگوست) ۴۳,۵۹۲ و پاییز (سپتامبر تا نوامبر) ۳۳,۷۹۷ درجه شمالی قرار می‌گیرد. تغییرپذیری (CV%) ۷۱ ساله موقعیت رودباد حاکی از آن است که بیشترین آن در ماه‌های آوریل و اکتبر به ترتیب معادل ۱۰,۷۷۴ و ۱۰,۰۴۴ درصد و کمترین آن نیز در ماه جولای معادل ۵,۵۴۶ درصد می‌باشد. همچنین تغییرپذیری فصلی آن نیز در بهار و پاییز نسبت به تابستان و زمستان بیشتر است که این موضوع به دلیل انتقالی بودن آن دو فصل می‌باشد.

جدول ۱: مشخصه‌های تغییرپذیری عرض جغرافیایی هسته رودباد مستقر بر روی ایران

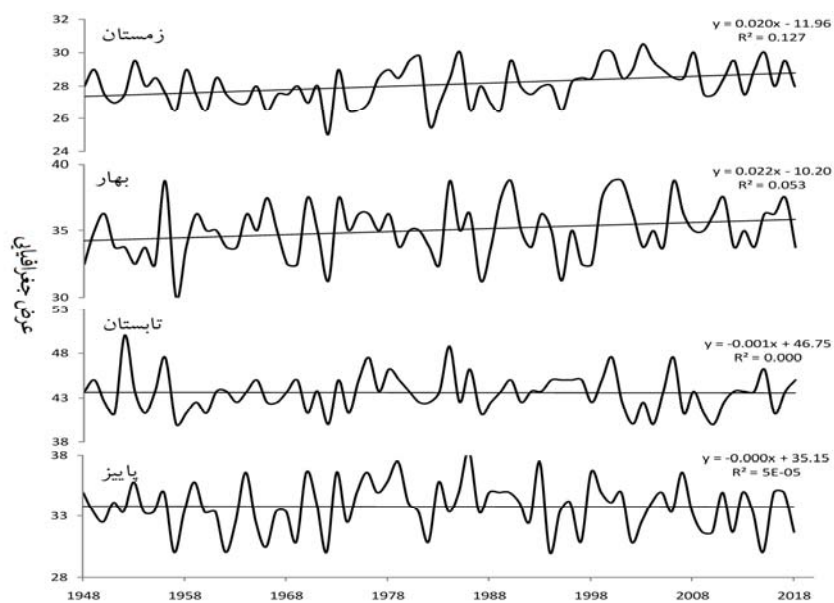
ماه	عرض جغرافیایی به درجه					سرعت به متر در ثانیه				
	میانگین	CV%	R2	تغییر ۷۱ ساله	DW	میانگین	CV%	R2	تغییر ۷۱ ساله	DW
ژانویه	27.694	6.548	0.132**	2.268	1.986	53.03	11.885	0.002	1.017	2.066
فوریه	28.239	6.921	0.004	0.435	1.807	54.238	13.052	0.000	-0.133	2.077
مارس	27.94	7.413	0.023	1.074	2.354	48.508	13.620	0.032	-4.075	2.440
آوریل	28.063	10.774	0.003	0.595	2.018	38.136	12.601	0.006	-1.314	2.230
می	31.69	8.823	0.046**	2.071	1.869	33.433	14.206	0.001	0.442	1.988
ژوئن	38.345	6.229	0.020	1.167	2.093	32.933	13.292	0.016	1.878	1.755
ژوئیه	43.627	5.546	0.002	-0.399	1.849	32.649	16.903	0.001	0.612	1.876
اگوست	43.556	6.906	0.000	0.173	2.093	30.845	18.981	0.002	0.912	1.601
سپتامبر	39.437	7.889	0.007	0.875	1.969	31.311	16.229	0.008	-1.578	2.289
اکتبر	32.676	10.044	0.054**	-2.619	1.962	33.467	13.502	0.003	0.815	2.043
نوامبر	29.278	8.917	0.032	1.598	1.834	38.399	12.979	0.000	-0.111	2.477
دسامبر	28.486	8.19	0.122**	2.798	1.681	45.021	13.905	0.008	1.918	2.354
زمستان	28.085	4.151	0.128**	1.434	1.944	47.787	5.971	0.003	-0.517	1.910
بهار	35.018	5.803	0.054**	1.619	2.073	33.183	9.475	0.011	1.160	1.905
تابستان	43.592	4.845	0.000	-0.113	2.117	31.747	13.988	0.002	0.762	1.698
پاییز	33.797	5.991	0.000	-0.049	2.259	34.392	9.247	0.001	-0.291	2.419
سالانه	33.253	3.253	0.050**	0.835	2.111	39.331	4.893	0.000	0.032	2.210

** معنی دار در سطح ۵ درصد

به‌منظور مشخص نمودن روند تغییرها، از روش پیرسون استفاده شد. به‌طوری‌که از جدول ۱ دیده می‌شود معنی دارترین روند تغییرها بر مبنای ۵ درصد خطا در ماه‌های ژانویه، می، اکتبر و دسامبر اتفاق افتاده است؛ با این تفاوت که در ماه اکتبر روند کاهشی است و در طی ۷۱ سال بر اساس شیب تغییرها ۲,۶۱۹ درجه به موقعیت جنوبی‌تر جابجا شده است. درحالی‌که در ماه ژانویه ۲,۲۶۸ و دسامبر ۲,۷۹۸ درجه به موقعیت شمالی‌تری جابجا گردیدند. اما از نظر فصلی، زمستان و بهار دارای روند افزایشی معنی داری است؛ به‌طوری‌که در فصل زمستان موقعیت هسته رودباد ۱,۴۳۴ و بهار ۱,۶۱۹ درجه به عرض‌های شمالی جابجا شدند. این موضوع از نظر سالانه نیز از جابجایی معنی دار پیروی می‌کند؛ به‌طوری‌که در طی ۷۱ سال ۸۳۵,۰ درجه به موقعیت شمالی‌تری جابجا گشته است. شکل شماره ۴ تغییرهای زمانی برای دوره ۱۹۴۸ تا ۲۰۱۸ را برای فصول چهارگانه نشان می‌دهد، به‌طوری‌که دیده می‌شود علاوه بر روند تغییرهای معنی دار برای زمستان و بهار که حالت افزایشی دارد، بلکه این افزایش در زمستان از سال ۱۹۶۱ از شدت بیشتری برخوردار است؛ به‌طوری‌که بر اساس شیب این دوره موقعیت هسته رودباد ۱,۸۰ درجه جابجا شده است. بر اساس آزمون دوربین واتسن (DW) ارزیابی تغییرها با استفاده از مدل رگرسیون نیز معنی دار می‌باشد؛ به‌طوری‌که برای دوره ۷۱ ساله دامنه موردپذیرش عدم خودهمبستگی با تأخیر یک گام زمانی دوربین بین ۱,۶۴۱ تا ۲,۳۵۹ می‌باشد؛ به‌طوری‌که دیده می‌شود در تمامی ماه‌ها، فصول و سال رقم محاسبه‌شده معنی دار است.

بررسی تغییرهای سرعت رودباد نیز نشان می‌دهد که در فصل زمستان بالاترین سرعت (میانگین معادل ۴۷,۷۹ متر بر ثانیه) و کمترین آن در فصل تابستان (معادل ۳۰,۸۴ متر بر ثانیه) است درحالی‌که بیشترین تغییرپذیری در زمستان معادل ۱۳,۹۹ درصد و بیشترین آن در زمستان معادل ۵,۹۷ درصد است. به‌عبارت‌دیگر در زمستان با توجه

به افزایش قدرت رودباد از شدت تغییرپذیری آن کاسته می‌شود درحالی‌که در دوره گرم سال با توجه به ضعیف شدن رودباد شدت تغییرپذیری آن افزایش پیدا می‌کند. در کل تغییرهای بلندمدت ۷۱ ساله سرعت هسته رودباد حاکی از آن است که بر روی ایران از روند معنی داری پیروی نمی‌کند.



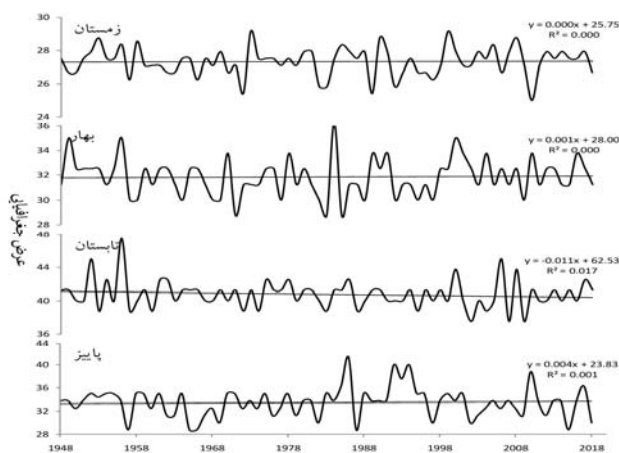
شکل ۴: نمودار تغییرهای فصلی رودباد جنب حاره بر روی ایران

مطابق جدول شماره ۲ مشخص می‌گردد که در غرب ایران میانگین موقعیت دوره زمستانی یک ماه بیشتر از ایران است. به‌طوری‌که این دوره بین ماه‌های نوامبر تا آوریل می‌باشد و میانگین موقعیت آن در این دوره معادل ۲۷,۳۲۱ درجه شمالی می‌باشد. بیشترین جابجایی رودباد جنب حاره در غرب ایران در ماه جولای به ۴۰,۹۱۵ درجه شمالی می‌رسد، درحالی‌که در روی ایران در این ماه به ۴۳,۶۲۷ درجه نیز می‌رسد. در این محدوده بیشترین تغییرپذیری موقعیت در ماه‌های پاییز یعنی سپتامبر و اکتبر دیده می‌شود (شکل ۵). در کل تغییرهای طولانی‌مدت موقعیت رودباد از روند تغییر معنی داری پیروی نمی‌کند؛ درحالی‌که تغییرهای سرعت رودباد نشان می‌دهد که ماه‌های مارس، آوریل و می از روند تغییر معنی داری پیروی می‌کند. این تغییرها حاکی از آن است که سرعت رودباد در حال کاهش است، به‌طوری‌که در این ماه‌ها در طی ۷۱ سال به ترتیب ۴,۹۳، ۶,۳۰ و ۶,۰۴ متر بر ثانیه کاسته شده است که حاکی از ضعیف شدن رودباد در دوره زمستان و بهار می‌باشد.

جدول ۲: مشخصه‌های تغییرپذیری عرض جغرافیایی هسته رودباد مستقر بر روی غرب ایران

ماه	عرض جغرافیایی به درجه					سرعت به متر در ثانیه				
	میانگین	CV%	R2	تغییر ۷۱ ساله	DW	میانگین	CV%	R2	تغییر ۷۱ ساله	DW
ژانویه	26.954	6.258	0.002	0.289	1.966	55.133	9.986	0.001	-0.603	1.927
فوریه	27.500	7.042	0.010	0.679	1.997	56.016	10.104	0.003	0.987	2.137
مارس	27.254	6.607	0.006	-0.482	2.161	52.967	11.109	0.059**	-4.928	2.198
آوریل	27.254	8.227	0.010	-0.762	1.919	43.447	12.381	0.116**	-6.302	1.912
می	28.838	8.003	0.000	-0.107	2.246	34.48	13.931	0.134**	-6.038	1.643
ژوئن	34.824	4.903	0.004	0.381	1.907	30.439	9.623	0.002	-0.463	1.924
جولای	40.915	4.646	0.015	-0.798	2.558	28.589	12.737	0.007	-1.022	1.855
اگوست	40.599	5.931	0.008	-0.762	2.641	27.529	15.602	0.002	-0.668	1.927
سپتامبر	37.218	10.804	0.015	1.685	1.654	28.405	14.255	0.000	-0.176	2.348
اکتبر	29.736	11.781	0.007	-0.994	2.128	30.973	13.907	0.017	-1.904	2.168
نوامبر	27.465	8.068	0.008	0.679	1.687	39.369	13.581	0.004	-1.153	2.269
دسامبر	27.500	6.336	0.000	-0.065	2.088	47.897	11.774	0.007	1.585	2.044
زمستان	27.321	3.105	0.000	0.056	2.196	49.138	5.417	0.036	-1.736	1.866
بهار	31.831	4.825	0.001	0.137	2.349	32.460	8.019	0.132**	-3.251	1.745
تابستان	40.757	4.227	0.017	-0.780	2.847	28.059	11.504	0.006	-0.845	1.807
پاییز	33.477	7.715	0.002	0.345	1.723	29.689	10.886	0.009	-1.040	2.362
سالانه	31.339	2.702	0.000	-0.021	2.258	39.604	4.27	0.088**	-1.723	2.371

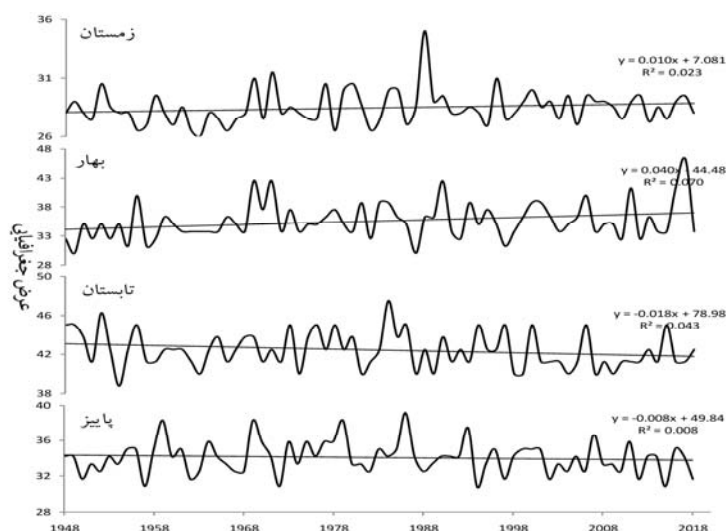
بررسی ویژگی‌های رودباد در شرق ایران مطابق جدول شماره ۳ حاکی از آن است که میانگین موقعیت زمستانی آن در ۲۷,۳۲۱ درجه شمالی مستقر می‌شود که دوره زمستانی آن شبیه موقعیت ایرانی بین ماه‌های دسامبر تا آوریل است، به‌طوری‌که در مقایسه با نواحی غربی خود در عرض شمالی‌تری قرار می‌گیرد. به‌عبارت‌دیگر از غرب به شرق ایران دارای یک روند افزایشی است درحالی‌که در تابستان موقعیت رودباد در ۴۰,۷۵۷ درجه شمالی است که نسبت به موقعیت ایرانی آن در بخش جنوبی‌تری قرار دارد؛ به‌بیان‌دیگر موقعیت تابستانی رودباد نسبت به غرب و شرق خود در موقعیت شمالی قرار دارد. در شرق ایران تغییرهای بلندمدت ۷۱ ساله حاکی از آن است که در ماه‌های ژانویه، می، اگوست، اکتبر، نوامبر و دسامبر دارای روند معنی‌داری می‌باشد، با این تفاوت که در ماه‌های اگوست و اکتبر روند کاهشی است (شکل ۶). درنهایت بالاترین جابجایی به‌سوی شمال در ماه می معادل ۴,۶۳۷ درجه شمالی می‌باشد. از نظر سرعت در این منطقه تغییرهای طولانی‌مدت در ماه‌های زمستان با روند افزایشی معنی‌داری می‌باشند.



شکل ۵: نمودار تغییرهای فصلی رودباد جنب حاره بر غرب ایران

جدول ۳: مشخصه‌های تغییرپذیری عرض جغرافیایی هسته رودباد مستقر بر روی شرق ایران

ماه	عرض جغرافیایی به درجه					سرعت به متر در ثانیه				
	میانگین	CV%	R2	تغییر ۷۱ ساله	DW	میانگین	CV%	R2	تغییر ۷۱ ساله	DW
ژانویه	27.746	6.837	0.148**	2.512	1.921	50.792	11.506	0.042**	4.103	2.129
فوریه	28.028	7.675	0.000	0.060	2.354	51.237	13.423	0.002	0.966	2.203
مارس	28.327	10.626	0.001	-0.345	1.919	43.000	12.554	0.008	1.668	1.922
آوریل	29.331	20.676	0.001	-0.643	1.990	34.399	13.167	0.021	-2.270	1.885
می	32.676	16.927	0.059**	4.637	2.166	29.923	14.675	0.000	-0.090	1.536
ژوئن	38.451	6.443	0.017	1.095	2.115	29.927	13.846	0.016	1.800	1.902
جولای	42.183	6.005	0.01	-0.851	1.967	30.367	15.294	0.016	2.036	1.726
اگوست	42.641	5.042	0.057**	-1.768	2.335	31.168	14.882	0.005	1.071	1.623
سپتامبر	39.648	7.926	0.001	-0.369	2.109	31.432	12.643	0.003	-0.808	1.826
اکتبر	32.641	12.137	0.044**	-2.851	1.963	33.712	9.982	0.013	1.344	2.146
نوامبر	29.859	6.151	0.058**	1.524	2.136	41.233	10.667	0.011	1.593	1.901
دسامبر	28.873	5.815	0.151**	2.244	2.238	45.429	11.488	0.073**	4.858	1.950
زمستان	28.461	5.078	0.024	0.765	2.138	44.971	5.911	0.042**	1.865	1.910
بهار	35.563	8.848	0.070**	2.866	2.131	29.925	10.075	0.007	0.855	1.870
تابستان	42.412	4.324	0.043**	-1.310	2.178	30.768	11.622	0.016	1.554	1.653
پاییز	34.049	5.383	0.008	-0.565	2.111	35.459	6.684	0.008	0.710	1.877
سالانه	33.367	3.600	0.011	0.436	2.156	37.719	4.126	0.064**	1.355	1.792



شکل ۶: نمودار تغییرهای فصلی رودباد جنب حاره بر شرق ایران

ب- واسنجی و صحت‌سنجی مدل‌های گردش

در ادامه به منظور آینده‌نگری وضعیت رودباد مستقر بر روی ایران، دوره پایه (داده‌های دوباره بازسازی‌شده و داده‌های مدل شده) به دو دوره ۱۹۴۸ تا ۲۰۰۵ به عنوان دوره واسنجی مدل‌ها و همچنین دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ به عنوان دوره صحت‌سنجی مدل‌ها تقسیم شدند. جداول شماره‌های ۴، ۵ و ۶ یافته‌های این ارزیابی می‌باشد. بر این اساس مطابق جدول ۴ بر روی ایران مشخص می‌گردد که بر مبنای ریشه دوم معیار خطای نرمال‌شده (NRMSE) در مدل GFDL-CM3 برای دوره واسنجی معادل ۰,۳۹۰ و در مدل CanESM2 معادل ۰,۴۰۲ است. این مقدار در دوره واسنجی برای دو سناریوی rcp45 و rcp85 در مدل اول به ترتیب معادل ۰,۲۱۵ و ۰,۲۱۷ و در مدل دوم نیز به ترتیب ۰,۲۳۳ و ۰,۲۱۹ می‌باشد. با توجه به این نتایج مشخص می‌گردد که مقدار NRMSE در مدل GFDL-CM3 و همچنین در سناریوی rcp85 از مقدار کمتری برخوردار است. از طرف دیگر این مقدار در دوره صحت‌سنجی از دوره واسنجی نیز کمتر می‌باشد، درحالی‌که انتظار می‌رود که مقدار آن بیشتر باشد؛ شاید این موضوع به این دلیل باشد که دوره آماری از دوره صحت‌سنجی کمتر است. همچنین بر مبنای ارزیابی شاخص نش ساتکلیف، توافق و یلموت و ضریب تعیین مشخص می‌گردد که در دوره واسنجی بر مبنای مدل GFDL-CM3 هر کدام به ترتیب معادل ۰,۸۲۰، ۱ و ۰,۳۷۷ و در مدل CanESM2 نیز معادل ۰,۸۰۵، ۱ و ۰,۴۲۵ می‌باشد؛ اما در دوره صحت‌سنجی در مدل اول بر مبنای سناریوی rcp8.5 معادل ۰,۸۱۸، ۱ و ۰,۳۴۵ و در سناریوی rcp4.5 نیز معادل ۰,۸۱۵، ۱ و ۰,۳۳۹ می‌باشد درحالی‌که در مدل دوم بر مبنای سناریوی rcp8.5 معادل ۰,۷۹۷، ۱ و ۰,۳۴۷ و در سناریوی rcp4.5 نیز معادل ۰,۸۲۵، ۱ و ۰,۳۵۴ می‌باشد. در نتیجه بر مبنای شاخص توافق و یلموت انطباق کامل بین داده‌های مشاهداتی و مدل شده وجود دارد؛ درحالی‌که بر اساس شاخص کارایی نش ساتکلیف مدل اول از کارایی بالاتری برخوردار است و همچنین در دوره صحت‌سنجی نیز تا حدودی مشابه دوره واسنجی است. در نتیجه از این ارزیابی مشخص می‌گردد که هر دو مدل در هر دو سناریو از کارایی قابل‌قبولی پیروی می‌کند.

همچنین برای غرب ایران مشخص می‌گردد که شاخص توافق ویلموت در تمامی حالت کامل است. اما ریشه دوم معیار خطای نرمال شده (NRMSE) نسبت به موقعیت ایران افزایش یافته است. همچنین ضریب کارایی نش ساتکلیف و ضریب تعیین کاهش یافته است؛ اما به این معنی نیست که این مدل‌ها در غرب ایران کارایی نداشته باشد. به‌طور کلی ضریب نش ساتکلیف در دوره واسنجی در هر دو مدل به‌طور متوسط معادل ۰,۶۶۴ است، درحالی‌که در هر دو مدل در سناریوی rcp8.5 به‌طور متوسط معادل ۰,۶۵۱ و در سناریوی rcp4.5 معادل ۰,۶۸۲ می‌باشد که حاکی از کارایی بالای مدل است. علاوه بر این در شرق ایران نیز مشخص می‌گردد که شاخص توافق ویلموت در تمامی حالت کامل است. اما ریشه دوم معیار خطای نرمال شده (NRMSE) نسبت به موقعیت ایران و غرب آن کاهش یافته است. همچنین ضریب کارایی نش ساتکلیف و ضریب تعیین نیز افزایش یافته است؛ بنابراین نسبت به نواحی غربی از کارایی بالاتری برخوردار است. در بخش شرق ایران ضریب کارایی نش ساتکلیف نشان می‌دهد در دوره واسنجی در مدل GFDL-CM3 معادل ۰,۸۶۰ و در دوره صحت‌سنجی در سناریوی rcp8.5 معادل ۰,۸۳۳ و در سناریوی rcp4.5 معادل ۰,۸۴۲ و همچنین در مدل CanESM2 معادل ۰,۸۳۹ و در دوره صحت‌سنجی در سناریوی rcp8.5 معادل ۰,۸۳۵ و در سناریوی rcp4.5 معادل ۰,۸۵۰ می‌باشد که در کل حاکی از کارایی بالای مدل است.

جدول ۴: ارزیابی توانمندی مدل‌های CanESM2 و GFDL-CM3 در دوره واسنجی و صحت‌سنجی باد مداری بر روی ایران، غرب و شرق آن

عملکرد	دوره زمانی	معیارها	GFDL-CM3						CanESM2					
			rcp8.5			rcp4.5			rcp8.5			rcp4.5		
			۱.۰	۲.۰	۳.۰	۱.۰	۲.۰	۳.۰	۱.۰	۲.۰	۳.۰	۱.۰	۲.۰	۳.۰
دوره واسنجی	1948-2005	NRMSE	0.412	0.390	0.379	0.411	0.390	0.379	0.412	0.402	0.409	0.412	0.402	0.409
		NSE	0.664	0.820	0.860	0.693	0.820	0.860	0.664	0.805	0.839	0.664	0.805	0.839
		d	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
		R2	0.361	0.377	0.388	0.316	0.377	0.388	0.361	0.425	0.431	0.361	0.425	0.431
دوره صحت‌سنجی	2006-2018	NRMSE	0.231	0.215	0.224	0.226	0.217	0.218	0.231	0.233	0.233	0.222	0.219	0.226
		NSE	0.651	0.818	0.833	0.684	0.815	0.842	0.651	0.797	0.835	0.680	0.825	0.850
		d	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	1.000	1.000	0.999	1.000	1.000
		R2	0.344	0.345	0.353	0.330	0.339	0.350	0.344	0.347	0.346	0.347	0.354	0.358

ج- پیش‌یابی رودبادها

در این پژوهش برای مقایسه آینده رودباد جنب‌حاره‌ای مستقر بر روی ایران، سری زمانی داده‌ها به دو دوره پایه شامل: ۱۹۶۱ لغایت ۱۹۹۰ و دوره آتی شامل: آینده نزدیک ۲۰۴۱ لغایت ۲۰۶۰ و آینده دور ۲۰۷۱ لغایت ۲۰۹۰ تقسیم گردید. جدول شماره ۵ وضعیت آینده موقعیت رودباد مستقر بر روی ایران را در ماه‌های مختلف نشان می‌دهد. بر اساس مدل اقلیمی CanESM2 در دو سناریوی rcp4.5 و rcp8.5 مشخص می‌گردد که در ماه‌های سپتامبر تا دسامبر و فوریه موقعیت رودباد هم برای آینده نزدیک و دور جابجایی به سمت شمال را نشان می‌دهد؛ به‌طوری‌که در سناریوی rcp4.5 در آینده نزدیک این جابجایی به ۱,۶۴۶ درجه خواهد رسید. علاوه بر این در ماه‌های دیگر مانند

ژوئن در سناریوی rcp4.5 و در آینده نزدیک و همچنین در ماه اگوست در آینده دور جابجایی قابل توجه موقعیت رودباد به شمال اتفاق خواهد افتاد. درحالی که در سایر ماه‌ها بیشترین جابجایی‌ها به سمت جنوب دیده می‌شود، به‌طوری که در ماه جولای در سناریوی rcp4.5 هم در آینده نزدیک و هم دور جابجایی بیش از ۱٫۵ درجه به جنوب اتفاق خواهد افتاد. اما در مدل اقلیمی GFDL-CM3 از ماه‌های ژوئن تا ژانویه در بیشترین حالات موقعیت عرض جغرافیایی رودباد در هر دو سناریو هم برای آینده نزدیک و هم دور جابجایی به سمت شمال را نشان می‌دهد؛ به‌طوری که در ماه سپتامبر در حالت سناریوی rcp8.5 برای آینده دور بیش از دو درجه را نشان می‌دهد. البته شایان ذکر است که در ماه‌های جولای، اگوست و سپتامبر این میزان قابل توجه است. برعکس در ماه‌های مارس تا می جابجایی به سمت جنوب را نشان می‌دهد؛ البته کم‌وبیش حالت ضعیف‌تری دارد.

مطابق شکل ۷ نیز بر اساس مدل اقلیمی CanESM2 مشخص می‌گردد که از نظر فصلی در زمستان کمترین جابجایی موقعیت رودباد در هر دو سناریو برای آینده نزدیک و دور اتفاق خواهد افتاد. اما در دو فصل انتقالی بهار و پاییز کمابیش در تمامی حالت‌ها جابجایی به سمت شمال دیده می‌شود که میانگین فصلی آن در بهار برای سناریوی rcp4.5 در آینده نزدیک به بیش از یک درجه خواهد رسید. همچنین در پاییز نیز در بیشتر حالات بیش از ۰٫۸ درجه می‌باشد. برعکس در فصل تابستان در تمامی حالات جابجایی به سمت جنوب می‌باشد و مقدار آن در سناریوی ۸٫۵ برای آینده دور به ۱٫۹۰ درجه می‌رسد. مقایسه فصلی مدل GFDL-CM برعکس مدل قبلی حاکی از آن است که در تابستان جابجایی به سمت شمال در هر دو سناریو هم برای آینده نزدیک و دور قابل توجه است؛ به‌طوری که در سناریوی rcp8.5 برای آینده نزدیک به ۱٫۸ درجه جابجا خواهد شد. در کل مطابق این مدل بیشترین جابجایی به سمت شمال در فصل تابستان و پاییز کمابیش در هر دو سناریو اتفاق خواهد افتاد. اما جابجایی‌های فصول زمستان و بهار ضعیف‌تر می‌باشند (شکل ۷).

همچنین مطابق جدول ۶ مشخص می‌گردد که با توجه به مدل CanESM2 در هر دو سناریو برای آینده نزدیک و دور به‌غیر از ماه‌های جولای و اگوست، در سایر ماه‌ها سرعت هسته مرکزی رودباد افزایش پیدا می‌کند. به‌طوری که بالاترین افزایش در ماه فوریه و در سناریوی rcp8.5 برای آینده نزدیک به ۶٫۵ متر در ثانیه خواهد رسید. درحالی که در جولای بر اساس سناریوی rcp8.5 برای آینده دور ۵٫۰۳ متر در ثانیه کاهش خواهد یافت. مطابق شکل ۸ نیز آشکار است که در تابستان کاهش سرعت و در سایر فصول به‌سرعت رودباد افزوده خواهد شد. این در حالی است که بر اساس مدل GFDL-CM3 در ماه‌های بین دسامبر تا ژوئن افزایش سرعت و ماه‌های اگوست تا نوامبر سرعت کاهش خواهد یافت. موضوع قابل توجه در این است که مطابق سناریوی rcp8.5 برای آینده دور از بالاترین درجه تغییر برخوردار است؛ به‌طوری که در ماه مارس مقدار آن به ۸٫۵ متر در ثانیه افزایش و در اکتبر و نوامبر ۴٫۴ متر در ثانیه کاهش خواهد یافت.

جدول ۵: آینده‌نگری موقعیت رودباد جنب‌حاره‌ای بر روی ایران بر اساس دو مدل اقلیم CanESM2 و GFDL-CM3 در دو سناریوی

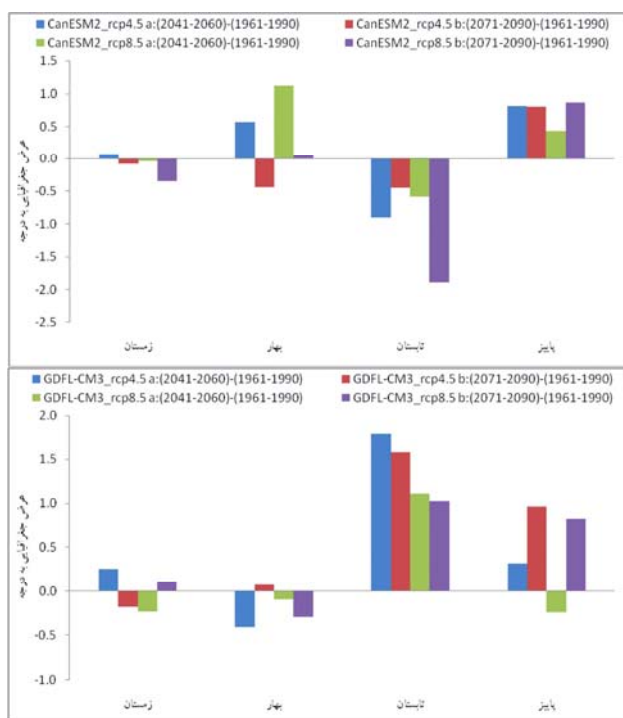
GDFL-CM3_rcp8.5		GDFL-CM3_rcp4.5		CanESM2_rcp8.5		CanESM2_rcp4.5		ماه
b	a	b	a	b	a	b	a	
0.726	0.083	0.012	0.458	-0.149	-0.396	-0.327	0.125	ژانویه
0.024	-0.042	-0.214	0.563	-0.759	0.604	0.491	0.479	فوریه
-0.235	0.083	-0.324	-0.188	-0.911	-0.083	-0.613	-0.083	مارس
-0.077	-1.083	-0.402	0.021	-0.545	-0.604	-0.455	-0.792	آوریل
-0.911	-0.583	-0.315	-0.917	-0.333	0.229	-0.979	0.083	می
0.324	0.396	0.473	0.104	-0.045	-0.688	0.107	1.042	ژوئن
0.738	1.250	1.452	1.833	-0.952	-0.396	-1.696	-1.625	جولای
1.315	0.958	1.702	1.750	-1.372	-0.583	0.792	-0.167	اگوست
2.095	-0.938	1.143	0.667	0.738	-0.167	0.491	0.271	سپتامبر
0.670	-0.229	0.729	-0.063	1.202	0.438	0.786	0.521	اکتبر
-0.304	0.500	1.006	0.333	0.667	1.042	1.134	1.646	نوامبر
0.101	-0.208	0.042	0.417	0.631	0.271	0.482	0.625	دسامبر
0.372	-0.108	0.442	0.415	-0.785	0.530	0.018	0.177	سالانه

a:(2041-2060)-(1961-1990) , b:(2071-2090)-(1961-1990)

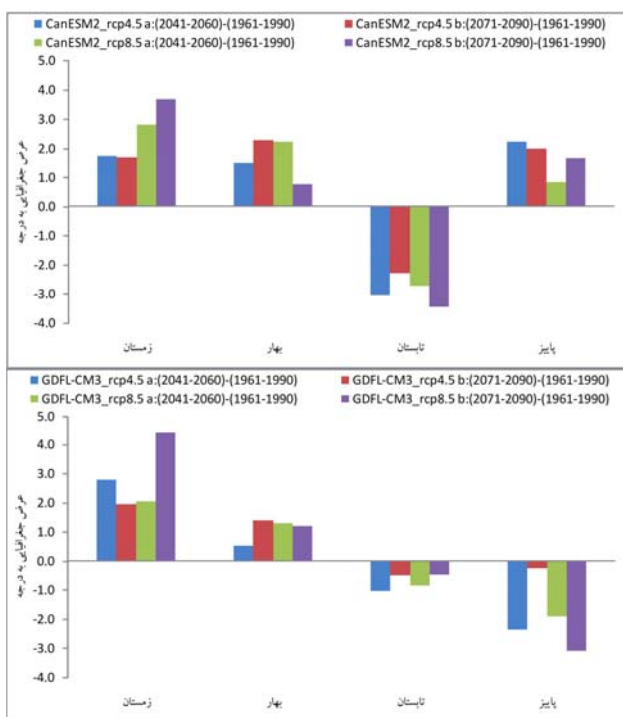
جدول ۶: آینده‌نگری سرعت هسته مرکزی رودپاد جنب‌حاره‌ای بر روی ایران بر اساس دو مدل اقلیم CanESM2 و GFDL-CM3 در دو سناریو (متر به ثانیه)

GDFL-CM3_rcp8.5		GDFL-CM3_rcp4.5		CanESM2_rcp8.5		CanESM2_rcp4.5		ماه
b	a	b	a	b	a	b	a	
4.804	1.448	2.781	3.372	4.267	0.221	0.136	0.992	ژانویه
4.129	0.909	1.670	3.341	5.498	6.510	4.690	4.365	فوریه
8.583	2.310	2.247	2.966	2.435	2.857	1.891	1.960	مارس
3.526	3.161	1.764	0.493	4.769	2.902	2.490	1.324	آوریل
1.125	1.966	1.883	0.387	2.138	2.317	2.775	2.031	می
1.261	0.616	0.914	0.664	-0.612	2.169	1.775	0.959	ژوئن
0.668	0.097	-0.168	-0.670	-5.034	-2.642	-2.822	-3.023	جولای
-1.612	-1.792	-0.794	-1.427	-1.861	-2.821	-1.773	-3.041	اگوست
-0.379	-2.763	0.338	-2.422	2.751	0.705	1.703	0.601	سپتامبر
-4.444	-0.473	-0.288	-2.345	1.510	-0.042	1.775	2.824	اکتبر
-4.438	-2.471	-0.810	-2.331	0.681	1.846	2.506	3.309	نوامبر
1.247	2.417	1.229	3.791	1.421	1.518	-0.772	0.008	دسامبر
1.206	0.452	0.897	0.485	1.497	1.295	1.198	1.026	سالانه

a:(2041-2060)-(1961-1990) , b:(2071-2090)-(1961-1990)



شکل ۷: مقایسه موقعیت آبی رودباد جنب‌حاره‌ای برای آینده دور و نزدیک بر روی ایران بر اساس مدل اقلیم CanESM2 و GFDL-CM3



شکل ۸: مقایسه سرعت هسته مرکزی رودباد جنب حاره‌ای برای آینده دور و نزدیک بر روی ایران بر اساس مدل اقلیم CanESM2 و GFDL-CM3

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه رودباد جنب حاره یکی از مؤلفه‌های اصلی اقلیم ایران می‌باشد، در دوره سرد سال با جابجایی به عرض‌های جنوبی سبب می‌شود که بادهای غربی به گستره ایران وارد شوند و همچنین به دلیل بالا بودن سرعت آن در این زمان چه به لحاظ افقی و عمودی نقش عمده‌ای در هدایت آنها بازی می‌کند. درحالی‌که در دوره گرم سال هم‌زمان با کشیده شدن به طرف عرض‌های شمالی ایران و ضعیف شدن رودباد ورود سامانه‌های رطوبتی شده کاهش پیدا می‌کند و بنابراین می‌توان گفت که در دوره گرم سال اقلیم جنب حاره بر روی ایران مسلط می‌شود. یکی از ویژگی‌های قابل‌توجه رودباد جنب‌حاره‌ای بر روی ایران و نواحی اطراف آن، به این شکل می‌باشد که در ماه‌های مختلف علاوه بر تغییرهایی در سرعت، در موقعیت‌های مختلفی نیز قرار می‌گیرند که حاکی از دو حالت پایداری و انتقالی از نظر موقعیت می‌باشد. نتایج بررسی تغییر موقعیت هسته مرکزی رودباد جنب حاره بر روی ایران و نواحی مجاور نشان می‌دهد که در دوره‌های بلندمدت از تغییرهای معنی داری پیروی می‌کند که از جمله آن در ماه‌های ژانویه، می و دسامبر به موقعیت شمالی و در اکتبر به موقعیت جنوبی‌تر جابجا شده است. از نظر فصلی نیز دو فصل زمستان و بهار در طی این دوره زمانی دارای روند جابجایی معنی داری را به ترتیب ۱،۴۳۴ و ۱،۶۱۹ درجه به عرض‌های شمالی نشان می‌دهد. این موضوع از نظر سالانه نیز مورد تأیید است. اما بررسی تغییرهای سرعت هسته مرکزی رودباد جنب حاره نشان می‌دهد که در طی سال‌های ۱۹۴۸ تا ۲۰۱۸ از روند معنی داری پیروی نمی‌کند. درحالی‌که در غرب ایران از روند کاهشی معنی دار پیروی می‌کند و برعکس آن در این منطقه موقعیت رودباد دارای تغییر معنی داری نیست. درحالی‌که در شرق روند تغییرها مشابه ایران است. وضعیت آینده موقعیت رودباد مستقر بر روی ایران، بر اساس مدل اقلیمی CanESM2 در دو سناریوی rcp4.5 و rcp8.5 مشخص می‌کند که در ماه‌های سپتامبر تا دسامبر و فوریه موقعیت رودباد در هر دو سناریو و همچنین هم برای آینده نزدیک و دور جابجایی به سمت شمال را نشان می‌دهد. درحالی‌که در سایر ماه‌ها بیشترین جابجایی‌ها به سمت جنوب دیده می‌شود. در دو فصل انتقالی بهار و پاییز کمابیش در تمامی حالت جابجایی به سمت شمال دیده می‌شود. اما در مدل اقلیمی GFDL-CM3 از ماه‌های ژوئن تا ژانویه در بیشترین حالات موقعیت عرض جغرافیایی رودباد در هر دو سناریو هم برای آینده نزدیک و هم دور، جابجایی به سمت شمال را نشان می‌دهد. مقایسه فصلی مدل GFDL-CM3 برعکس مدل قبلی حاکی از آن است که در تابستان جابجایی به سمت شمال در هر دو سناریو هم برای آینده نزدیک و دور قابل توجه است. در کل مطابق این مدل بیشترین جابجایی به سمت شمال در فصل تابستان و پاییز کمابیش در هر دو سناریو اتفاق خواهد افتاد. اما جابجایی‌های زمستان و بهار ضعیف‌تر می‌باشند. سرعت هسته مرکزی رودباد جنب‌حاره‌ای با توجه به مدل CanESM2 در هر دو سناریو برای آینده نزدیک و دور به‌غیراز ماه‌های جولای و اگوست، در سایر ماه‌ها افزایش پیدا می‌کند. از نظر فصلی نیز در تابستان کاهش سرعت و در سایر فصول به‌سرعت رودباد افزوده خواهد شد. این در حالی است که بر اساس مدل GFDL-CM3 در ماه‌های بین دسامبر تا ژوئن افزایش سرعت و ماه‌های اگوست تا نوامبر سرعت کاهش خواهد یافت. همچنین در فصول زمستان و بهار افزایش و در تابستان و پاییز سرعت رودباد کاهش خواهد یافت. نتایج این پژوهش در ارتباط با تغییرهای موقعیت عرض جغرافیایی رودباد جنب‌حاره‌ای و تأثیر تغییر اقلیم بر روی آن با یافته‌های محقق‌هایی مانند فو و همکاران (۲۰۰۶)، استرنگ و دیویس (۲۰۰۷)، آرچر و همکارانش

(۲۰۰۸)، هودسن (۲۰۱۲)، فو و هیو (۲۰۰۷)، سایدل و همکارانش (۲۰۰۸)، بیرنر (۲۰۱۰)، لیو و همکارانش (۲۰۰۹)، لیو و همکارانش (۲۰۰۹)، ژوزف و همکارش (۲۰۰۸)، کریشنان و همکارانش (۲۰۱۳)، هیو و همکارانش (۲۰۱۳)، راجندران و همکارانش (۲۰۰۸، ۲۰۱۲)، آبیش و همکارانش (۲۰۱۵)، برانس و همکارانش (۲۰۱۳)، ویلیام و همکارانش (۲۰۱۵)، عالمزاده و همکارانش (۱۳۹۶)، لیو و همکارانش (۲۰۱۲) همخوانی دارند. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق مشخص می‌گردد که تغییرهای موقعیت و سرعت رودباد جنب‌حاره‌ای یکی از پیامدهای گرمایش جهانی اقلیم است؛ به‌طوری‌که کل ساختار جو را در مناطق جنب حاره و به‌خصوص در ایران تحت تأثیر قرار داده است و این موضوع نشان می‌دهد اگر گرمایش جهانی ادامه پیدا کند کمربند سلول هدلی گسترش پیدا کرده و در نتیجه از سامانه‌های رطوبت‌زای گذری از روی ایران کاسته می‌شود و از طرف دیگر با توجه به کاسته شدن سرعت رودباد، ضعیف شدن سامانه‌ها را نیز در روی ایران به دنبال خواهد داشت.

تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از پروژه تحقیقاتی به شماره گزارش ۴۸۵۲-۳/۱۲ تحت عنوان: بررسی تغییرپذیری رودباد جنب‌حاره‌ای بر روی ایران، با حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه گلستان می‌باشد. بدین‌وسیله نویسنده بر خود لازم می‌داند که صمیمانه از حمایت‌های مالی و معنوی دانشگاه گلستان تقدیر و قدرانی کند.

منابع

- عالمزاده، شاهین. احمدی گیوی، فرهنگ. محب الحجه، علیرضا. یازجی، دانیال (۱۳۹۶). ساختار هندسی جت آفریقا- آسیا در وردسپهر زبرین و پاسخ آن به گرمایش زمین در مدل‌های CMIP5. مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۱۱، شماره ۳، صفحه ۱ تا ۲۶.
- عساکره، حسین. بیرانوند، آذر. فتاحیان، مختار. شادمان، حسن (۱۳۹۶). تحلیل روند جابجایی رودباد و پرفشار جنب حاره برفراز خاورمیانه و رابطه آن با اقلیم ایران، فضای جغرافیایی. تابستان، دوره ۱۷، شماره ۵۸، صفحه ۳۰۳ تا ۳۱۵.
- قانقرمه، عبدالعظیم. روشن، غلامرضا (۱۳۹۴). ارزیابی نقش رودباد جنب‌حاره‌ای در کنترل بارش‌های ایران. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. سال ۲۶، پیاپی ۵۹، شماره ۳، صفحه ۸۳ تا ۹۸.
- Abish B, Joseph P.V, Ola. Johannessen M. (2015). Climate Change in the Subtropical Jetstream during 1950–2009. *Advances in Atmospheric Sciences*, Vol. 32, January 2015, 140–148.
- Archer, C. L., and Caldeira, K. (2008). Historical trends in the jet streams, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L08803, , DOI:10.1029/2008GL033614.
- Barnes E.A. and L. Polvani. (2013). The response of the Midlatitude Jets and of Their Variability to Increased Greenhouse Gases in the CMIP5 Models. *Journal of Climate*, VOLUME 26, 7117–7135, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00536.1>.
- Belmecheri S., Babst F., Hudson A.R., Betancourt J., Trouet V. (2017). Northern Hemisphere Jet Stream Position Indices as Diagnostic Tools for Climate and Ecosystem Dynamics. *Journal of Earth Interactions*, Volume 21, 1-23.
- Birner, T. (2010). Recent widening of the tropical belt from global tropopause statistics: Sensitivities. *J. Geophys. Res.*, volume 115, D23109, DOI:10.1029/2010JD014664. , 1-13.
- Cristina L. Archer, Ken Caldeira. (2008). Historical trends in the jet streams, *Atmospheric Science*, DOI: 10.1029/2008GL033614. *Geophysical Research Letters*, Volume 35, L08803, Doi:10.1029/2008GL033614, 1-6.
- Chenoli, S.N., Ahmad Mazuki, M., Turner, J. et al. Historical and projected changes in the Southern Hemisphere Sub-tropical Jet during winter from the CMIP5 models. *Clim Dyn* 48, 661–681 (2017) DOI:10.1007/s00382-016-3102-y
- Dargan M. W. Frierson, Jian Lu, Gang Chen. (2007). Width of the Hadley cell in simple and comprehensive general circulation models. *Geophys. Res. Lett.*, Volume 34, Issue 18, L18804, DOI:10.1029/2007GL031115 , 1-5.
- David J. Lorenz. (2014). Understanding Mid-Latitude Jet Variability and Change using Rossby Wave Chromatography: Poleward Shifted Jets in Response to External Forcing. *Journal of the Atmospheric Sciences*, Volume 71, DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/JAS-D-13-0200.1>, 2370-2389.

- Farajzadeh, M., Khorany, A. and Lashkary, H., (2008). The Relation Between Jet Stream Location and Cyclones Over Western Iran. *American Journal of Applied Sciences*, Volume 5, Issue 10, DOI: 10.3844/ajassp.2008.1308.1312, 1308-1312.
- Fu, Q., Johanson, C. M., Wallace, J. M. and Reichler, T., (2006). Enhanced Mid-Latitude Tropospheric Warming in Satellite Measurements. *Journal of Science*, Volume 312, Issue 5777, DOI 10.1126/science.1125566, 1179-1201.
- Hakim, G.J. and Uccellini, L.W. (1992). Diagnosing Coupled Jet-Streak Circulations for a Northern Plains Snow band from the Operational Nested-Grid Model. *Journal of Weather Forecast*, 26-48.
- Held, I. M., A. Y. Hou. (1980). Nonlinear axially symmetric circulations in a nearly inviscid atmosphere. *Journal of the Atmospheric Sciences*, Volume 37, No. 3, 515 – 533.
- Hu Y., Fu Q., (2007). Observed poleward expansion of the Hadley circulation since 1979. *Journal of Atmospheric Chemistry and Physics*, Volume 7, issue 19, doi.org/10.5194/acp-7-5229-2007, 5229–5236.
- Hu Y., Tao L., Liu J., (2013). Poleward expansion of the Hadley circulation in CMIP5 simulations. *Journal of Advances in Atmospheric Sciences*, 2013, Volume 30, Number 3, DOI:10.1007/s00376-012-2187-4, 790-795.
- Hudson RD. (2012). Measurements of the movement of the jet stream at mid-latitudes, in the Northern and Southern Hemispheres, 1979 to 2010. *Journal of Atmospheric Chemistry and Physics*, Volume 12, issue 16, DOI:10.5194/acp-12-7797-2012, 7797–7808.
- Ghanghermeh, A., Roshan, G., Orosa, J.A., & Costa, A.M. (2018). Analysis and Comparison of Spatial-Temporal Entropy Variability of Tehran City Microclimate Based on Climate Change Scenarios. *Entropy*, 21, 13.
- Joseph P. V. and Simon A. (2005). Weakening trend of the southwest monsoon current through peninsular India from 1950 to the present. *Journal Of Current Science*, Volume. 89, No. 4, 687–694.
- Kaplan, M.L., Hamilton, D.W. and Rozumalski, R.A. (1998). The numerical simulation of unbalanced jet let and its role in the Palm Sunday 1994 tornado outbreak in Alabama and Georgia. *Journal of Monthly Weather Review*, Volume 126, 2133-2165.
- Krishnamurit, T. (1961). On the role of the subtropical jet stream of winter in the atmospheric general circulation. *Journal of meteorology*, Volume 18, 657-670.
- Krishnan R., Sabin T. P., Ayantika D. C., Kitoh A., Sugi M., Murakami H., Turner A. G., Slingo J. M., Rajendran K. (2013). Krishnan, R., and Coauthors, 2013: Will the South Asian monsoon overturning circulation stabilize any further? *Journal Of Climate Dynamics*, Volume 40, 187–211.
- Liu, J., M. Song, Y. Hu, and X. Ren. (2012). Changes in the strength and width of the Hadley Circulation since 1871. *Journal of Climate of the Past*, Volume 8, 1169–1175.
- Lu J., Deser C., Reichler T., (2009). Cause of the widening of the tropical belt since 1958. *Geophysical Research Letters*, Volume 36, Issue 3, L03803, DOI:10.1029/2008GL036076, 1-5.
- Mobarak Hassan, E., Azadi, M., Hussain Meshkatee, A. and Mazraee Farahani, M., (2011). The role of the subtropical jet stream in cyclogenesis over the Central Mediterranean Sea: A case study of February 1974. *International Journal of the Physical Sciences*, Volume 36, L03803, DOI:10.1029/2008GL036076, 2009, 2983-2988.
- Mubarak Hassan, E. and Varshosaz, K., (2011). The Divergence Field in Western Iran Heavy Rain Associated with Central Mediterranean Cyclone. *Advances in Environmental Biology*, Volume 10, 3425-3433.
- Nakamura H. (1992). Midwinter suppression of baroclinic wave activity in the Pacific. *Journal of the Atmospheric Sciences*, Volume 49, 1629-1642.
- Masashi Harada, Shoji Hirahara, Satoshi Hagiya, Hirokazu Murai, Yoshinori Oikawa, Shuhei Maeda. Intensification of the South Side of the Asian Jet Stream during the Northern Winter in CMIP5 models. *SOLA*, Volume 9 (2013), Pages 94-97, <https://doi.org/10.2151/sola.2013-021>.
- Porathur V Joseph and Sabin T.P. . (2008). Trends in SST and reanalysis 850 and 200 hPa wind data of Asian summer monsoon season during the recent six decades. In: *Proceedings of 3rd WCRP international conference on reanalysis*. Tokyo, http://wcrp.ipsl.jussieu.fr/Workshops/Reanalysis2008/Documents/G3-361_ea.pdf.
- Prezerakos, N.G., Flocas, H.A. and Brikas, D., (2006). The role of the interaction between polar and subtropical jet in a case of depression rejuvenation over the Eastern Mediterranean. *Journal of Meteorology and Atmospheric Physics*, Volume 92, 139-151.
- Prezerakos, N.G., Flocas, H.A. and Michaelides, S., (1997). Absolute Vorticity Advection and Potential Vorticity of the Free Troposphere as Synthetic Tools for the Diagnosis and Forecasting of Cyclogenesis. *Journal of Atmosphere-Ocean*, Volume 35, 65-91.
- Rajendran, K., and A. Kitoh. (2008). Indian summer monsoon in future climate projection by a super high-resolution global model. *Journal of Current Science*, Volume 95, 1560–1569.
- Reiter, E.R. and Whitney, L.F., (1997). Interaction between subtropical polar-front jet stream. *Monthly weather review*, Volume 97, 432-438.
- Ruti, P.M., Lucarini, V., Dell'Aquila, A., Calmanti, S. and Speranza, A., (2006). Does the subtropical jet catalyze the midlatitude atmospheric regimes? *Geophysical Research Letters*, Volume 33: L06814, DOI: 10.1029/2005GL024620, 1-4.
- Seidel, D. J., Fu, Q., Randel, W. J., and Reichler, T. J. (2008). Widening of the tropical belt in a changing climate. *Journal of Nature Geoscience*, Volume 1, 21– 24.

- Strong C., Davis R. E., (2007). 2007, Winter jet stream trends over the Northern Hemisphere Courtenay. Quarterly Journal of The Royal Meteorological Society Q. J. R. Meteorol. Soc, Volume 133, 2109–2115.
- Strong C., Davis R.E.. (2008). Variability in the Position and Strength of Winter Jet Stream Cores Related to Northern Hemisphere Teleconnections. Journal of Climate, Volume 21, <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1723.1>, 584–592.
- Trouet V, Babst F, Meko M. (2018). Recent enhanced high-summer North Atlantic Jet variability emerges from a three-century context. Nature Communications, Volume 9, doi.org/10.1038/s41467-017-02699-3, 1-9.
- Uccellini, L.W. and Kocin, P.J.. (1987). The Interaction of Jet Streak Circulation During Heavy Snow Events along the East Coast of the United States. Journal of Weather Forecast, Volume 2, 289-308.
- Wei, M.Y.. (1987). A new formulation of the exchange of mass and trace constituents between the stratosphere and troposphere. Journal of the Atmospheric Sciences, Volume 44, 3079–3086.
- Whitney, L.F.. (1977). Relationship of the Subtropical Jet Stream to Sever Local Storms. Journal of Monthly Weather Review, Volume 105, 398-412.
- William K. M. Lau, Kyu-Myong Kim. (2015). Robust Hadley Circulation changes and increasing global dryness due to CO2 warming from CMIP5 model projections. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA., Volume 112, 3630–3635.
- Yang, S., K. Lau, and K. Kim. (2002). Variations of the East Asian Jet Stream and Asian–Pacific–American Winter Climate Anomalies. Journal of Climate, Volume 15, 306–325.
- Yim, Bo & Min, Hong & Kug, J.-S. (2015). Inter-model diversity in jet stream changes and its relation to Arctic climate in CMIP5. Climate Dynamics. 47. [10.1007/s00382-015-2833-5](https://doi.org/10.1007/s00382-015-2833-5).

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره نهم، شماره ۲۵، پاییز ۱۳۹۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۳۰

تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۲۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۱۶

صفحات: ۱۴۲ - ۱۲۵

مقاله (علمی پژوهشی)

بررسی تأثیر روند تغییرهای کاربری اراضی روی افت تراز آب زیرزمینی (محدوده مطالعاتی: ماهیدشت کرمانشاه)

سمیه عمادالدین^{۱*}، نسرين شیدایی مجد^۲، صالح آرخی^۳

۱. * استادیار گروه جغرافیای دانشگاه گلستان، گرگان

۲. کارشناس ارشد مخاطرات محیطی دانشگاه گلستان، گرگان

۳. استادیار گروه جغرافیای دانشگاه گلستان، گرگان

چکیده

کمبود منابع آب سطحی سبب برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی در بسیاری از نقاط جهان و افت شدید سطح سفره‌های آب زیرزمینی شده است. با افزایش روز افزون جمعیت برداشت بی‌رویه از این منابع بیشتر شده و این ذخایر طبیعی با تهدید جدی مواجه شده‌اند. از طرفی تغییرهای کاربری اراضی بر روی منابع آب زیرزمینی مؤثر بوده و کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. دشت ماهیدشت در استان کرمانشاه و در نزدیکی شهر کرمانشاه واقع شده است که در چند دهه اخیر به دلیل رشد جمعیت کاربری اراضی دچار تغییرهایی شده است که این تغییرها بر روند بهره‌برداری از منابع آب تأثیر گذاشته و اثرهای مهمی را بر منابع آب زیرزمینی، برجای گذاشته است در این تحقیق با استفاده از تصاویر سنجنده لندست و سنتینل ۲، نقشه‌های کاربری اراضی برای منطقه مورد مطالعه در چهار سال ۱۹۸۷، ۲۰۰۰، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۷ اقدام و شناسایی تغییرهای کاربری اراضی در یک بازه زمانی ۳۰ ساله مشخص شد. سپس بر اساس اطلاعات ۴۴ عدد چاه‌های پی‌زومتری مربوط به دوره زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۵ میزان و روند تغییرهای سطح آب زیرزمینی مشخص گردید. نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای در مناطق فیروزآباد و ماهیدشت بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ نشان‌دهنده افزایش مساحت طبقه کاربری اراضی کشاورزی آبی و کاهش مساحت طبقه کاربری اراضی کشاورزی دیم می‌باشد. با توجه به بررسی‌های به‌عمل آمده، از دلایل عمده کاهش سطح آب آبخوان می‌توان به کاهش میزان بارندگی‌ها به‌خصوص بارش برف و کاهش تغذیه آبخوان و افزایش تعداد چاه‌های عمیق منطقه و استخراج بی‌رویه آب‌های زیرزمینی به‌خصوص طی سال‌های اخیر اشاره کرد.

واژگان کلیدی: کاربری اراضی، تراز آب زیرزمینی، ماهیدشت، فیروزآباد، کرمانشاه.

مقدمه

رمز بقا و توسعه پایدار اقتصادی در هر منطقه وجود آب می‌باشد. در ایران با توجه به شرایط خاص جغرافیایی و اقلیمی، آب زیرزمینی یکی از منابع عمده تأمین‌کننده نیاز آب مصرفی جهت مصارف کشاورزی، شرب و صنعت محسوب می‌شود. از این رو شناخت منابع آب به‌خصوص آب‌های زیرزمینی موجب مدیریت صحیح مصرف و حفظ این منابع پر ارزش می‌شود (جوهریان، ۱۳۸۸). از طرف دیگر، در حال حاضر تغییر کاربری اراضی به‌صورت غیراصولی از مهم‌ترین معضله‌های کشور می‌باشد، چراکه تغییر اکثر کاربری‌ها بیشتر بدون برنامه اصولی و بدون در نظر گرفتن محدودیت‌های زیست‌محیطی صورت می‌گیرد (مخدوم، ۱۳۹۱، حسینی، ۱۳۸۱). این تغییرها بر روی منابع آب زیرزمینی مؤثر بوده و کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از آنجاکه کاربری اراضی تبیین‌کننده تأثیرگذاری‌های بشر است، امروزه نگرانی‌های مرتبط با تغییرهای محیطی جهانی فزونی گرفته‌اند و هشدارها در مورد اهمیت موضوع‌هایی که با کاربری اراضی و تغییرهای زمانی آن سروکار می‌یابند، رو به افزایش نهاده‌اند. تشخیص درست و به موقع این تغییرها برای درک رابطه و تقابل بین انسان و پدیده‌های طبیعی به‌منظور تصمیم‌گیری مناسب، بسیار اهمیت دارد (لو^۱ و همکاران، ۲۰۰۴). مدیریت بهینه منابع طبیعی یک منطقه نیازمند درک تأثیرهای تغییرهای کاربری/پوشش زمین بر روی چرخه هیدرولوژیکی آب‌های آن منطقه است (بریج^۲ و همکاران، ۲۰۰۵). همچنین آگاهی از تغییرهای تراز آب به‌منظور شناخت وضعیت سفره‌های آب زیرزمینی و مدیریت بهینه آن ضروری است. با ارزیابی نوسان‌های سطح آب زیرزمینی می‌توان از آن در مدیریت منابع آب استفاده کرد (نادریان فر و همکاران، ۱۳۸۹).

اما مطالعه‌هایی که در رابطه با موضوع مورد مطالعه در سطح جهان انجام شده است می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: چن^۳ و همکاران (۲۰۰۸)، در پژوهشی با هدف بررسی تأثیر تغییرهای کاربری اراضی بر منابع آب زیرزمینی در منطقه بیابانی سانگ‌سونگ از عکس‌های هوایی سال ۱۹۷۸، تصاویر ماهواره‌ای TM و ETM سال‌های ۱۹۸۷ و ۱۹۹۸ و اطلاعات هیدرولوژیکی استفاده نمودند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که در طول دوره مورد بررسی سطح آب زیرزمینی کاهش داشته است که علت آن را به مناطق شهری و صنعتی نسبت داده‌اند. سینگ^۴ و همکاران (۲۰۱۰)، در تحقیقی به‌منظور تغییرهای کاربری اراضی بر منابع آب زیرزمینی از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS و اطلاعات کمی و کیفی آب زیرزمینی در طول ۱۷ سال استفاده نمودند. نتایج نشان داد که میزان آب زیرزمینی به علت تغییر در استفاده از زمین و الگوی پوشش زمین افزایش یافته است. برایمن^۵ و همکاران (۲۰۱۴)، در تحقیقی اثر تغییرهای کاربری اراضی بر جریان آب زیرزمینی ساحل کونا، هاوایی را مورد ارزیابی قرار دادند. این ارزیابی با اثر اندازه گیاهان بر روی شار هیدرولوژیک، مدل‌سازی اثر تغییر کاربری اراضی بر روی جریان آب و پمپاژ آب محلی صورت گرفت. یان‌جیانگ^۶ و همکاران (۲۰۱۵)، به بررسی کاربری‌های اراضی مختلف و تأثیر آن روی کیفیت آب سطحی حوزه آبخیز دونگ‌جیانگ، رودخانه‌هایی در جنوب شرقی چین، در فصول بارانی و خشک پرداختند و نتایج حاصل از این مطالعه

1-Lu
2-Bridget
3-Chen
3-sing
5-Brauman
6-Yang Jiang

نشان داد به‌طورکلی کاربری جنگلی و استفاده از زمین شهری اثرهای بسیار قوی‌تری روی کیفیت آب در فصول خشک نسبت به فصول بارانی داشته و همین‌طور استفاده از زمین‌های کشاورزی در این مطالعه تأثیر قابل‌توجهی در کیفیت آب نداشته و کاربری اراضی شهری عامل کلیدی مؤثر بر تغییر کیفیت آب بود. وانگ^۱ و همکاران (۲۰۱۶)، به بررسی تغییرهای کاربری اراضی بر روی سطح آب زیرزمینی در حوضه هایشه در منطقه چین در یک دوره ۲۵ ساله از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ پرداختند. بررسی آن‌ها نشان داد که کاربری اراضی منطقه دستخوش تغییرهای مکانی و زمانی قابل‌توجهی شده است. زمین‌های زراعی و اراضی ساخته‌شده توسط انسان به ترتیب ۵۳ و ۳۰ درصد گسترش یافتند. گسترش مزارع زراعی بین سال‌های ۱۹۹۶ و ۲۰۰۵ با افزایش فزاینده ۲۵ درصد به اوج خود رسید؛ درحالی‌که مناطقی از مرتع، جنگل و زمین‌های بلااستفاده کاهش یافته و میزان کاهش آن نیز به ترتیب ۹/۳۸ درصد، ۵۸/۳۵ درصد و ۱۹/۸ درصد بوده است. لیو^۲ و همکاران (۲۰۱۷)، به بررسی تأثیر تغییرهای اقلیمی و کاربری اراضی بر روی منابع آب در رودخانه تأثر پرداختند. آن‌ها تغییرهای کاربری اراضی (مزارع، جنگل‌ها) سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ را بررسی کردند. در این مطالعه از مدل (SWAT) برای تجزیه و تحلیل کمی ضرایب سهم این سه نوع کاربری بر روی رواناب استفاده کردند و نتایج نشان داد ضریب سهم مزارع کشاورزی در تولید رواناب منفی می‌باشد. اما مطالعه‌های که در ایران انجام شده است می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: فرهودی و همکاران (۱۳۹۱)، به بررسی تغییر کاربری اراضی و اهمیت آن بر منابع آب با استفاده از تکنیک‌های GIS و RS در حوضه آبخیز شهر سورک واقع در استان مازندران پرداختند. در این مطالعه از داده‌های ماهواره‌ای لندست سنجنده TM برای سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۱ برای تعیین تغییرهای کاربری اراضی استفاده شد که نتایج آن‌ها نشان داد که در طی این ۲۴ سال شهر توسعه‌یافته، جنگل‌ها تخریب‌شده و اراضی شالیزار که نیاز آبی زیادی دارند، افزایش پیدا کرده‌اند که این روند تأثیر بسزایی بر بیلان و کیفیت منابع آب می‌گذارد. نصرالهی و همکاران (۱۳۹۳)، به بررسی تأثیر روند تغییرهای کاربری اراضی و پوشش زمین بر وضعیت منابع آب زیرزمینی، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست در دشت گیلانغرب پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که کاربری مرتعی با وسعت بیشتر از ۵۰ درصد بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است. بررسی میزان افت آب زیرزمینی نشان داد که با جایگزینی طبقه کاربری مرتعی با طبقه‌های کشاورزی آبی و کشاورزی دیم و بایر بر میزان افت آب زیرزمینی افزوده شده است. فرامرزی و همکاران (۱۳۹۵)، به بررسی اثر تغییرهای کاربری اراضی بر روی افت تراز آب زیرزمینی دشت دهلران در سه مقطع زمانی ۱۹۹۰، ۲۰۰۱، ۲۰۱۳ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پرداختند که نتایج این پژوهش نشان داد که مقطع زمانی همبستگی مثبتی بین افزایش اراضی دیمی، اراضی آبی، جنگل دست کاشت با افت سطح ایستابی وجود دارد. این می‌تواند به علت برداشت بیش‌ازحد از سفره‌های آب زیرزمینی و تأثیر خشکسالی در این منطقه باشد.

حق‌ی زاده و همکاران (۱۳۹۷)، به بررسی اثر تغییرهای کاربری اراضی و خشکسالی بر افت تراز آب زیرزمینی منطقه چغلوندی در استان لرستان پرداختند. جهت بررسی رابطه بین تغییرهای کاربری اراضی و خشکسالی با افت تراز آب زیرزمینی از نقشه‌های کاربری اراضی سه دوره ۲۰۰۴، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۴ تصاویر لندست ETM استفاده گردید. به منظور بررسی رابطه بین تغییرهای کاربری اراضی و افت تراز آب زیرزمینی از ۱۸ حلقه چاه پیزومتری در سال‌های

1-Wang

2-Liu

۲۰۰۴، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۴ استفاده شد. نتایج نشان داد که در سال ۲۰۱۴ نسبت به سال ۲۰۰۴ حدود ۶ متر افت تراز آب زیرزمینی اتفاق افتاده است. نیکزاد و همکاران (۱۳۹۷) تغییرهای زمانی و مکانی سطح ایستابی آبخوان دشت بیستون استان کرمانشاه را با روش‌های زمین‌آماري برآورد کردند و به این نتیجه رسیدند که از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۴ حدود ۲۲ متر افت سطح آب زیرزمینی در قسمت جنوب غربی دشت و حداقل ۵ متر در قسمت مرکزی دشت برآورد شده است.

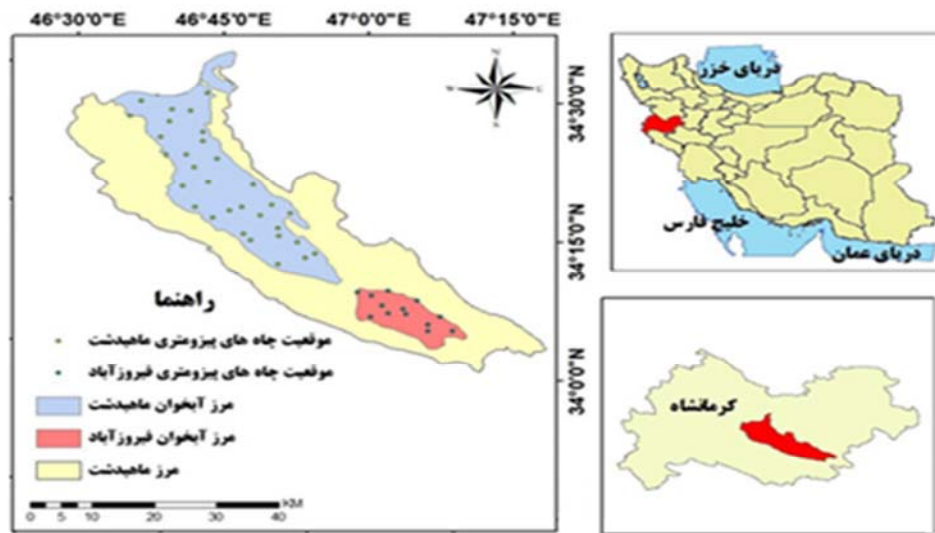
اسکندری دامنه و همکاران (۱۳۹۸)، به ارزیابی تأثیر تغییرهای کاربری اراضی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت زرنه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و زمین‌آمار پرداختند. به منظور بررسی روند تغییرهای کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده‌های TM ۲۰۰۰ و OLI ۲۰۱۵ استفاده کردند. همچنین به منظور مقایسه تناسب مدل‌های برازش داده‌شده بر داده‌ها نیز از دو معیار خطای ریشه میانگین مربعات (RMSE) و ضریب همبستگی (R) استفاده گردید. نتایج تحقیق نشان داد که طی سال‌های مطالعاتی در منطقه موردنظر، افزایش وسعت کاربری‌های شهری و کشاورزی و نیز افزایش ۱۳ درصدی تخریب آب زیرزمینی رخ داده است.

هدف از این مطالعه، بررسی نوع کشت زمین‌های کشاورزی در محدوده مطالعاتی ماهیدشت و تأثیر آن روی سطح آب زیرزمینی در بازه زمانی سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ می‌باشد. در این مطالعه سعی شده است که با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، سنسینل ۲ و تکنیک‌های سنجش‌ازدور و GIS تغییرهای نوع کشت محدوده ماهیدشت واقع در استان کرمانشاه در مدت ۳۰ سال استخراج شود، سپس ارتباط این تغییرها با افت تراز آب زیرزمینی از طریق ۴۴ حلقه چاه پیزومتر موجود در منطقه تعیین گردد.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در ۲۵ کیلومتری جنوب کرمانشاه و در محدوده‌ی سیاسی-اداری شهرستان کرمانشاه قرار گرفته و مختصات جغرافیایی حوضه بین ۲۶°، ۴۶' تا ۲۰°، ۴۷' درجه شرقی و ۱°، ۳۴' تا ۳۳°، ۳۴' عرض شمالی واقع شده است. منطقه‌ی ماهیدشت از شمال شرقی به شهرستان کرمانشاه و از جنوب به اسلام آباد غرب و از غرب به سنجایی و کوزران محدود می‌شود. شیب عمومی حوضه در حدود ۹/۶ درصد و بلندترین نقطه‌ی ارتفاعی آن در گوشه‌ی جنوب شرقی کوه سفید ۲۷۶۰ متر از سطح دریا ارتفاع داشته و پست‌ترین نقطه ارتفاعی در محل ایستگاه خرس آباد ۱۳۲۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. بنابراین اختلاف ارتفاع در این منطقه ۱۴۴۰ متر از سطح دریا و متوسط ارتفاع آن ۲۰۴۰ متر از سطح دریا می‌باشد.

از نظر زمین‌شناسی ارتفاعات جنوبی منطقه مورد مطالعه تنوع لیتولوژیکی بیشتری نسبت به ارتفاعات شمالی دارند. به دلیل سازندهای منطقه که بیشتر از رسوب‌های تبخیری کشکان با سن پالئوسن تا ائوسن و از نوع سیلستون و ماسه‌سنگ تشکیل یافته‌اند، تأثیر چندانی در ذخیره نزولات جوی و تغذیه سفره زیرزمینی نداشته و به‌طور کلی فقط در اثر درز و شکست ثانویه می‌تواند بر روی آبخوان منطقه مؤثر باشد (ثروتی و همکاران، ۱۳۸۹). بر اساس جدیدترین سرشماری سال ۱۳۹۵ تعداد ۸۱ روستا در این دشت ساکن می‌باشد. در شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است.



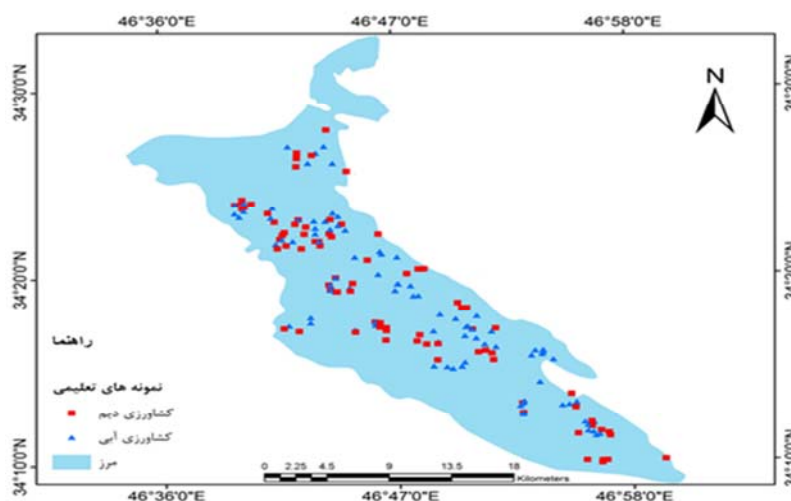
شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

داده‌ها و روش‌ها

این تحقیق به صورت دمرحله‌ای انجام شده است، در مرحله اول با انجام کار میدانی، بازدید منطقه و جمع‌آوری داده‌های صحرایی به وسیله GPS اطلاعات مورد نیاز اراضی جهت بهره‌مندی در تهیه نقاط تعلیمی و کنترل نتایج جمع‌آوری شد و در مرحله بعدی به پردازش اطلاعات در دو بخش سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به انجام رسید. با استفاده از تکنیک سنجش‌ازدور، ایجاد مناطق تعلیمی، تهیه نقشه کاربری اراضی و تعیین تغییرهای ۳۰ ساله مشخص شد و سپس به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی به تجزیه و تحلیل داده‌های چاه‌های پیزومتری پرداخته شد تا میزان افت تراز آب زیرزمینی به دست آید. در این پژوهش اطلاعات ۴۴ چاه پیزومتری مربوط به دوره زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۵ آبخوان ماهیدشت و فیروزآباد از شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمانشاه اخذ گردید. این داده‌ها شامل سطح آب ماهیانه و ارتفاع چاه پیزومتری و همچنین از داده‌های بارندگی ماهیانه ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۵ در ترسیم هیدروگراف استفاده شد. جهت بررسی کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه نیز از تصاویر سنجنده TM و ETM ماهواره لندست مربوط به سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۰، ۲۰۰۹ و تصاویر سنتیل ۲ مربوط به سال ۲۰۱۷ استفاده شد. همچنین جهت بررسی میانگین‌های متحرک منطقه از آمار بارندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه در منطقه استفاده شد. از نرم‌افزار ENVI۵ جهت پیش‌پردازش، پردازش تصاویر ماهواره‌ای و برای صحت کاربری‌ها از Google Earth و بازدید میدانی استفاده شد. همچنین از نرم‌افزار Excel جهت تعیین تغییرهای تراز آب زیرزمینی و به منظور محاسبه مساحت کاربری‌ها و تهیه نقشه خروجی از نرم‌افزار ۱۰.۴ ARCGIS استفاده گردید.

یافته‌های تحقیق

با بررسی‌های میدانی صورت گرفته و نیز مبنا قرار دادن سطح اول طبقه‌بندی (آندرسون و همکاران، ۱۹۷۶) و با راه‌اندازی روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال بر اساس نمونه‌های تعلیمی تعداد ۲ طبقه‌ی کاربری پوشش زمین شامل کاربری اراضی کشاورزی آبی و اراضی دیم شناسایی شد. شکل ۲، موقعیت اراضی دیم و آبی را نشان می‌دهد. ثبت نقاط از طریق بازدید میدانی و جی‌پی‌اس صورت گرفت. زمین‌هایی که دارای مجوز چاه بودند دارای کشت آبی و در غیر این صورت کشت دیم در منطقه صورت گرفت. در مرحله بعد نقشه‌های کاربری اراضی منطقه طی سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ در نرم‌افزار ENVI تهیه شد.



شکل ۲: نقشه پراکنش نمونه‌های تعلیمی در ماهیدشت بر اساس بازدیدهای میدانی

مساحت و میزان تغییرهای کاربری‌های مختلف طی دوره‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۰، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۷ موردبررسی و در جدول ۱ برای حوزه فیروزآباد و جدول ۲ برای حوزه ماهیدشت نشان داده شده است. نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای برای حوزه فیروزآباد در شکل ۳ و حوزه ماهیدشت در شکل ۴ آمده است. همان‌طورکه در جدول‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهد، از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ میزان کاربری دیم کاهش و کاربری آبی افزایش پیدا کرده است.

جدول ۱: مساحت طبقه‌های کاربری حوزه فیروزآباد طی چهار سال موردبررسی

سال	مساحت طبقه‌های کاربری / پوشش زمین به هکتار و درصد آن‌ها	
	کشاورزی آبی	کشاورزی دیم
۱۹۸۷	(۴/۷۴)۵۰۴/۰۱	(۹۳/۸)۹۹۶۱/۹۱
۲۰۰۰	(۵/۱)۵۴۱/۹۹	(۹۳/۴۴)۹۹۲۳/۹۲
۲۰۰۹	(۵/۱۸)۵۵۰/۵۱	(۹۳/۳۶)۹۹۱۵/۴۱
۲۰۱۷	(۵/۳۶)۵۶۹/۸۱	(۹۳/۱۸)۹۸۹۶/۱۱

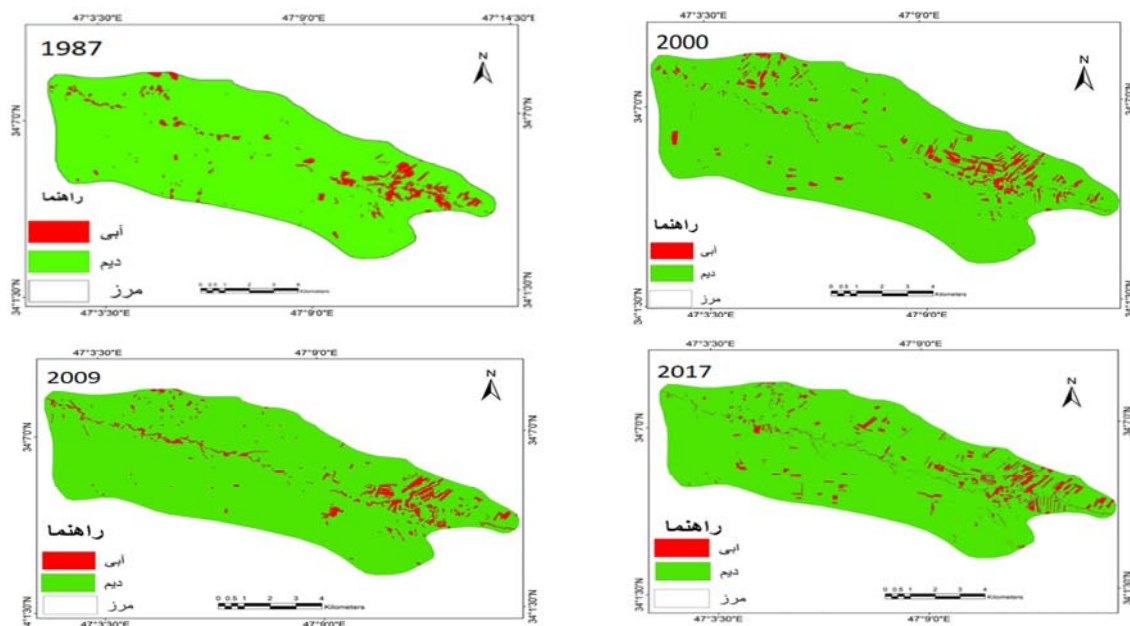
جدول ۲: مساحت طبقه‌های کاربری حوزه ماهیدشت طی چهار سال موردبررسی

سال	مساحت طبقه‌های کاربری / پوشش سرزمین به هکتار و درصد آن‌ها	
	کشاورزی آبی	کشاورزی دیم
۱۹۸۷	۴۰۶۵/۶۸ (۸/۳۷)	۴۳۷۹۸/۷۱ (۹۰/۲۴)
۲۰۰۰	۴۹۳۸/۲۸ (۱۰/۱۷)	۴۲۹۲۶/۱۱ (۸۸/۴۴)
۲۰۰۹	۵۲۲۲/۶۶ (۱۰/۷۶)	۴۲۶۴۱/۷۴ (۸۷/۸۶)
۲۰۱۷	۵۳۰۵/۸۳ (۱۰/۹۳)	۴۲۵۵۸/۵۶ (۸۷/۶۸)

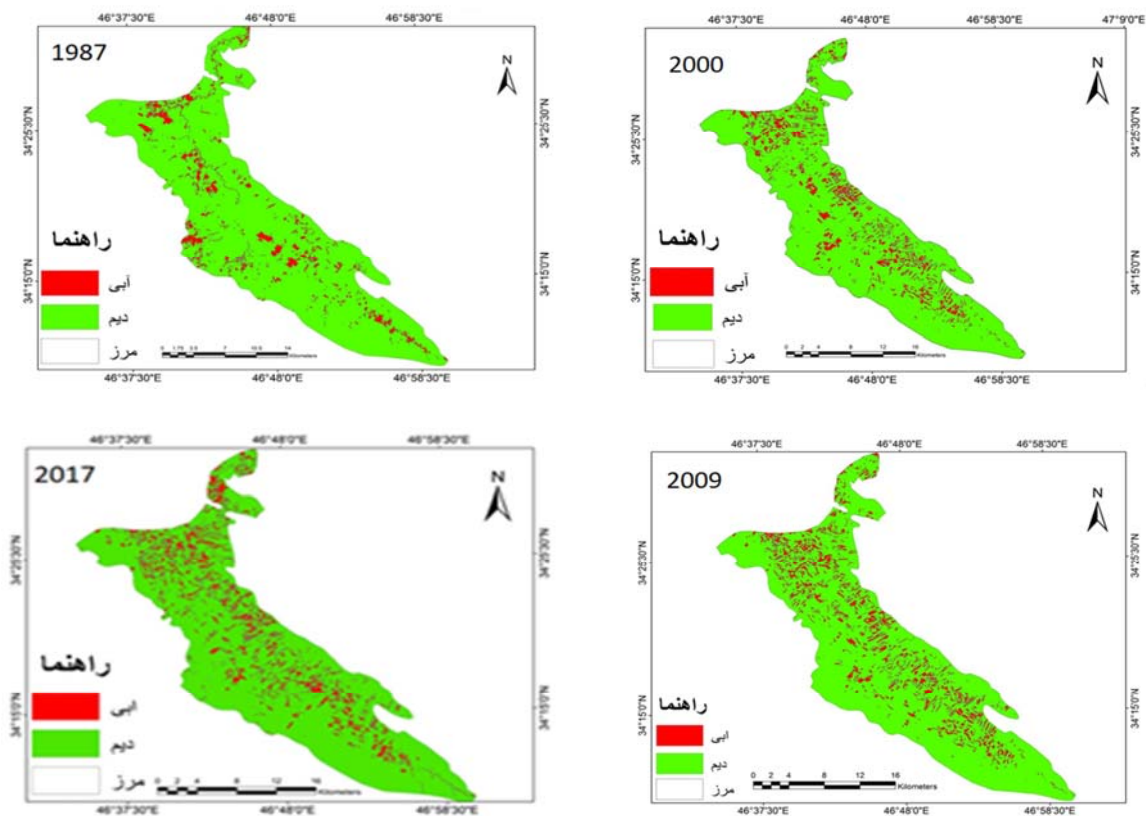
نتایج به‌دست‌آمده از جدول ۱ نشان می‌دهد که در فیروزآباد کاربری کشاورزی دیم کاربری غالب منطقه بوده است. روند تغییرهای کاربری کشاورزی آبی در طول زمان به‌صورت افزایشی بوده است، به‌طوری‌که کمترین مقدار آن در سال ۱۹۸۷ (۴/۷۴ درصد) و بیشترین آن نیز در سال ۲۰۱۷ (۵/۳۶ درصد) اتفاق افتاده است. بیشترین وسعت طبقه کاربری کشاورزی دیم در سال ۱۹۸۷ اتفاق افتاده است و برابر با ۹۹۶۱/۵ هکتار بوده که ۹۳/۸ درصد از فیروزآباد را پوشش داده است. با توجه به جدول ۲ که مساحت طبقه‌های کاربری ماهیدشت طی سال‌های موردبررسی را نشان می‌دهد، می‌توان نتیجه گرفت که در ماهیدشت کاربری اراضی کشاورزی دیم بیشترین وسعت از منطقه را پوشش داده است. روند تغییرهای کاربری کشاورزی دیم در طول زمان کاهشی و به‌صورت تبدیل به اراضی کشاورزی آبی بوده است؛ به‌طوری‌که در سال ۱۹۸۷ بیشترین مقدار، وسعتی برابر با ۴۳۷۹۱/۷ هکتار (۹۰/۲۴ درصد) از منطقه و در سال ۲۰۱۷ از کمترین مقدار وسعت در طول زمان برابر با ۴۲۵۵۸/۵۶ هکتار (۸۷/۶۸ درصد) برخوردار بوده است. با توجه به نتایج حاصل می‌توان اظهار نمود روند تغییرهای کاربری یادشده در طول زمان کاهشی بوده که ماحصل تبدیل کاربری کشاورزی دیم به کاربری کشاورزی آبی بوده است. پس از انجام طبقه‌بندی برای ارزیابی صحت و تعیین میزان طبقه‌بندی، از پارامترهای آماری ارزیابی دقت شامل ضریب کاپا و دقت طبقه‌بندی استفاده گردید. ضریب کاپا که دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی تصادفی مورد ارزیابی قرار می‌دهد، بین صفر و یک قرار دارد که صفر نشان‌گر طبقه‌بندی تصادفی و یک نشان‌گر طبقه‌بندی کاملاً صحیح است. چنانچه دقت کلی در نقشه‌های تولیدشده بیش از ۷۰ درصد باشد صحت نقشه‌های تولیدی قابل‌اعتماد است. نتایج مربوط به دقت طبقه‌بندی‌ها در جدول ۳ آمده است. ضریب کاپا و دقت کلی به‌دست‌آمده برای تصاویر ۲۰۱۷ بیشترین مقدار بوده که به ترتیب برابر با ۰/۹۵ و ۰/۹ برآورد گردیدند. همچنین کمترین ضریب کاپا و دقت کلی به‌دست‌آمده ۰/۸۰ بوده که مختص به تصاویر ۱۹۸۷ بود.

جدول ۳: ضریب کاپا و دقت کلی تصاویر منطقه مورد مطالعه

سال	ضریب کاپا	دقت کلی
۱۹۸۷	۰/۸۰	۰/۷۰
۲۰۰۰	۰/۸۲	۰/۷۵
۲۰۰۹	۰/۸۲	۰/۷۵
۲۰۱۷	۰/۹۵	۰/۹



شکل ۳: نقشه کاربری اراضی حوزه فیروزآباد

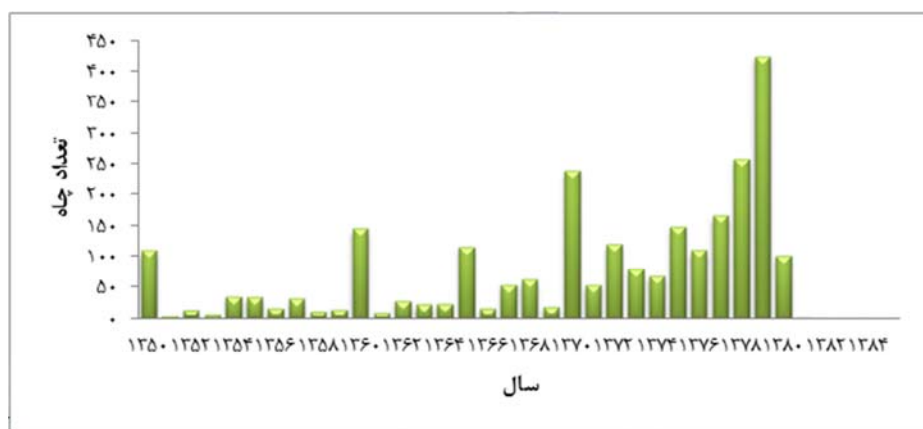


شکل ۴: نقشه کاربری اراضی حوزه ماهیدشت

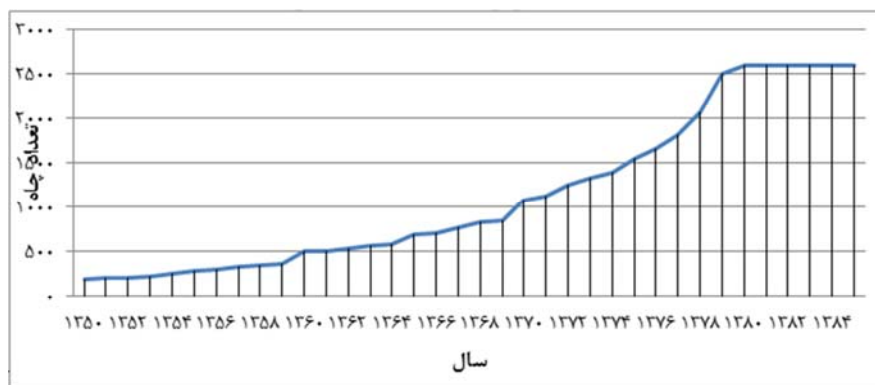
بررسی آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

الف - چاه‌های منطقه

اشکال ۵ و ۶ به ترتیب تعداد چاه‌های حفر شده در سال و تعداد تجمعی چاه‌های موجود در دشت ماهیدشت را به صورت نمودار نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۵ مشاهده می‌شود که در سال‌های ۱۳۶۰، ۱۳۷۰ و ۱۳۷۹ تعداد چاه زیادی در منطقه مورد مطالعه حفر گردیده است؛ به طوری که در سال ۱۳۷۹ بالغ بر ۴۲۰ حلقه چاه حفاری گردیده است. روند تعداد چاه‌های موجود در منطقه تا سال ۱۳۷۹ به صورت صعودی بوده است و از آن به بعد به دلیل ممنوعیت حفر چاه، تعداد چاه‌های حفر شده در سال به صفر رسیده و به طبع آن نیز روند ثابت مانده است.



شکل ۵: تعداد چاه‌های حفر شده در هر سال در دشت ماهیدشت

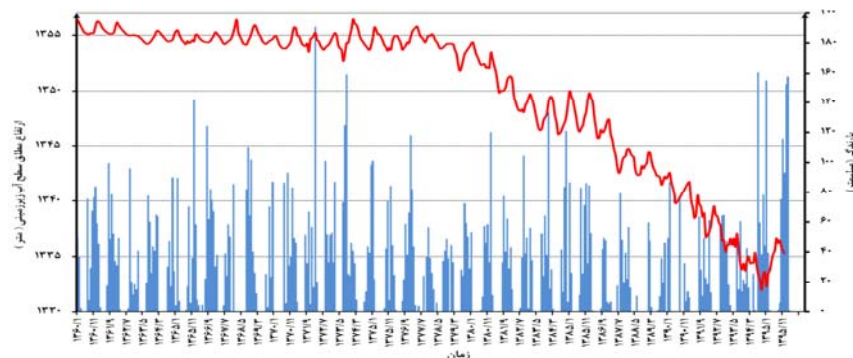


شکل ۶: تعداد چاه‌های موجود در دشت ماهیدشت

ب- تغییرهای تراز آب زیرزمینی

آب نمود ۳۵ ساله آبخوان ماهیدشت بر اساس داده‌های تراز آب پیزومترها از سال ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۵ ترسیم شده است (شکل ۷). همچنین مقادیر بارندگی ماهیانه در آب نمود دشت ارائه شده است. روند سطح آب زیرزمینی همواره به صورت نزولی بوده که از سال ۱۳۶۰ تا سال ۱۳۷۷ از روند نزولی ملایم و از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۵ از شیب تندی

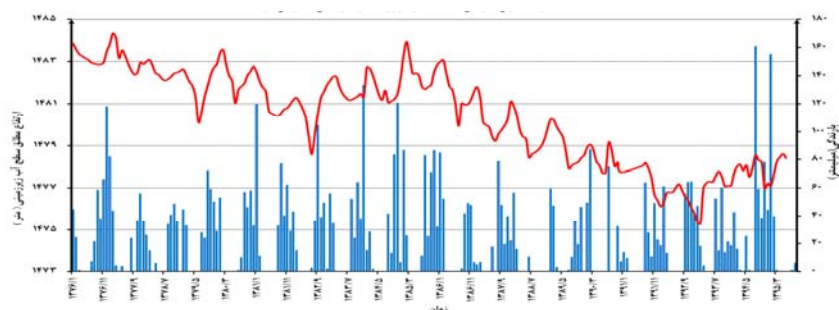
تبعیت می‌کند؛ به‌طوری‌که در سال ۱۳۹۵ تراز آب زیرزمینی در کمترین مقدار در طول دوره زمانی مورد مطالعه قرار دارد. بررسی آبنمود دشت ماهیدشت طی دوره یادشده حدود ۲۳ متر افت در سطح آب آبخوان را نشان می‌دهد. با توجه به بررسی‌های به‌عمل آمده، از دلایل عمده و اصلی کاهش سطح آب آبخوان می‌توان به کاهش میزان بارندگی‌ها به‌خصوص بارش برف و کاهش تغذیه آبخوان، افزایش تعداد چاه‌های عمیق منطقه و پایین رفتن تراز آب زیرزمینی و استخراج بی‌رویه آب‌های زیرزمینی به‌خصوص طی سال‌های اخیر و عدم اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی و هدر رفت آب باران اشاره کرد. در مقایسه نمودار تجمعی تعداد چاه‌های حفر شده طی سال‌های مختلف در دشت ماهیدشت، آبنمود واحد این آبخوان چند مرحله تغییرهای محسوس در افت سطح آب قابل مشاهده است؛ به‌طوری‌که قبل از سال ۷۵ سطح آب تغییرهای زیادی نشان نمی‌دهد. از سال ۷۵ تا ۸۰ با افزایش زیاد تعداد چاه‌های حفر شده در دشت، آبنمود آبخوان افت زیادی در سطح آب نشان می‌دهد. از سال ۸۰ تا ۸۵ که تعداد چاه‌های حفر شده افزایش نیافته است، آبنمود دشت نیز کمابیش ثابت است. هر عاملی تابع مقدار بارندگی منطقه است که شاید به دلیل بالا بودن سطح آب و بارندگی‌های زیاد، آب از مناطق دیگر به سمت آبخوان حرکت کرده و افت ناشی از استخراج آب توسط چاه‌ها را جبران کرده است. از سال ۱۳۷۷ میزان افت به‌شدت زیاد می‌شود به‌طوری‌که کمابیش کل افت یادشده از سال ۱۳۷۷ به بعد اتفاق افتاده است. از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۱ حدود ۸۰۰ چاه در دشت حفر شده است. میزان بارندگی نیز طی این سال‌ها نسبت به سال‌های قبل کاهش نشان می‌دهد. همه این عوامل باعث افت زیاد سطح آب زیرزمینی شده است. مطابق آبنمود طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۸۵ چاه‌های حفر شده در دشت کمابیش صفر است و میزان بارندگی نیز افزایش نشان می‌دهد که سبب ثابت شدن سطح آب آبخوان طی این سال‌ها شده است. سپس با کاهش بارندگی و افزایش استخراج از آب زیرزمینی سطح آب به‌شدت افت پیدا می‌کند. میزان بارندگی و تغییرهای آن یکی از عوامل مهم کنترل‌کننده سطح آب زیرزمینی می‌باشد. با افزایش میزان بارندگی، حجم آب بیشتری وارد آبخوان و در نتیجه میزان تغذیه افزایش و موجب بالا آمدن سطح آب زیرزمینی می‌گردد.



شکل ۷: آبنمود آبخوان آبرفتی دشت ماهیدشت و بارندگی همزمان در ایستگاه ماهیدشت

آبنمود واحد دشت فیروزآباد طی سال‌های ۱۳۷۶-۱۳۹۵ (شکل ۸)، کاهش ذخیره آبخوان را با یک روند منفی در سطح ایستابی نشان می‌دهد. در این دوره متوسط سطح آب زیرزمینی دشت، حدود ۹ متر افت داشته است. آبنمود آبخوان فیروزآباد نسبت به آبخوان ماهیدشت افت کمتری نشان می‌دهد. همچنین شدت افت سطح آب در آبخوان فیروزآباد کمتر است که به دلیل تعداد چاه‌های کمتر منطقه در منطقه فیروزآباد و برداشت کمتر از آبخوان می‌باشد. بیشترین ارتفاع سطح آب در فیروزآباد در سال ۱۳۷۷ و کمترین ارتفاع آب نیز در سال ۱۳۹۴ قرار داشته است. تا

سال ۱۳۸۶ میزان بارندگی تا حدودی در محدوده نرمال بوده است و سطح آب زیرزمینی نیز به طبع آن تغییر زیادی نشان نمی‌دهد. سپس تا سال ۹۲ با کاهش بارندگی تا ۳۳ میلی‌متر (شکل ۸) سطح آب نیز افت زیادی نشان می‌دهد؛ بعد از آن تا سال ۹۵ با افزایش بارندگی سطح آب نیز بالا آمدگی نشان می‌دهد.

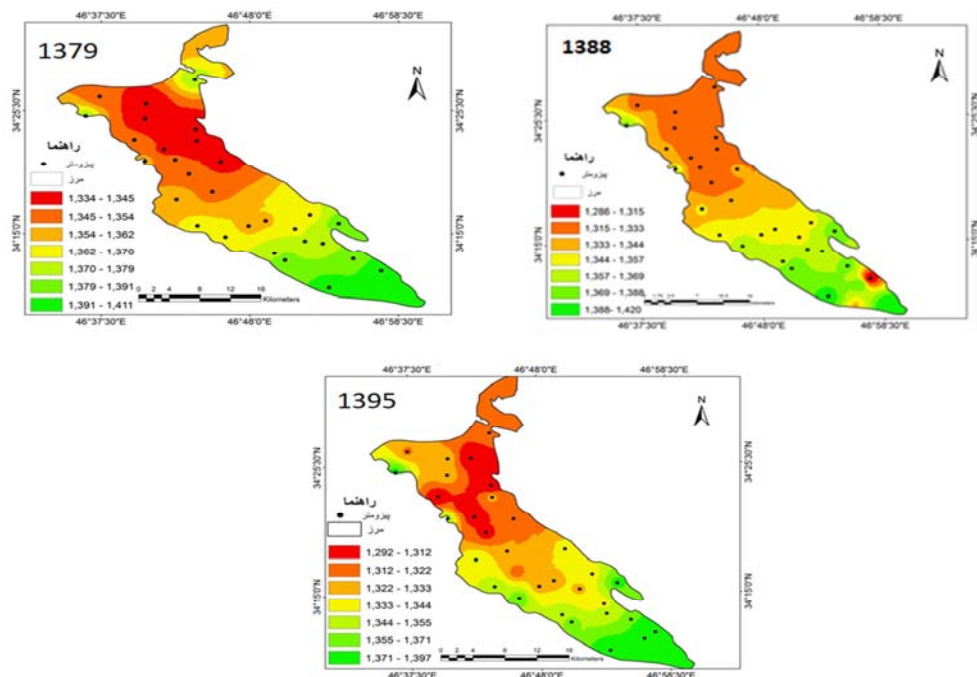


شکل ۸: آبنمود آبخوان آبرفتی دشت فیروزآباد و بارندگی همزمان در ایستگاه فیروزآباد

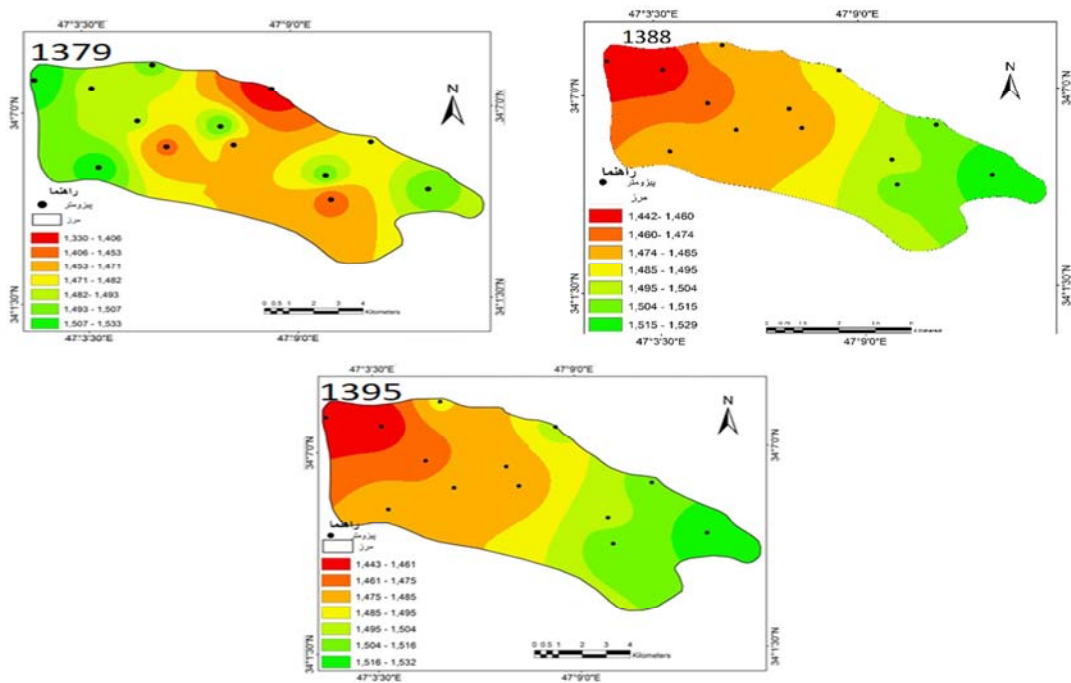
جدول ۴: مشخصات چاه‌های پیژومتری منطقه مورد مطالعه

موقعیت چاه‌ها	طول جغرافیایی (utm)	عرض جغرافیایی (utm)	تراز سال ۱۳۹۵	موقعیت چاه‌ها	طول جغرافیایی (utm)	عرض جغرافیایی (utm)	تراز سال ۱۳۹۵
نامیوند علیا	659589	3807779	1322.94	خالوان	649127	3812689	1359.45
میمز	663115	3790759	1292.04	حاجی آباد نصیرالسلطان	677063	3787499	1320.07
مربوانی گاکیه	647667	3809607	1367.1	حاجی آباد سفلی	674513	3782839	1368.67
گاؤل	654158	3811628	1376.98	چقاحسین	659725	3805956	1396.78
کنگران وسطی	662394	3802670	1320.25	چقاندعلی	657476	3802941	1308.48
کلیانی	667435	3793427	1326.33	چقانرگس	658980	3800567	1302.06
قمشه لرزنگنه	668818	3798151	1340.88	چقاکلیعلی	660060	3792505	1352.8
قمشه کارخانه خوراک دام	672215	3794432	1378.35	چالابه علیا	668480	3788213	1327.54
قلندرکی	674034	3788429	1348.29	جامه شوران	670644	3792192	1349.48
قمشه سیدقاسم	675362	3793122	1380.5	نجف آباد	703789	3772915	1509.6
قلعه نجفعلی خان	678760	3784613	1316.32	کچک	699860	3772360	1510.81
قزقبری	659368	3815555	1328.04	گلم کبود	701474	3775462	1478.53
علی آباد سفلی	661585	3797791	1353.51	سرتپه	695908	3775286	1532.4
شورآباد	654187	3802662	1303.23	باغ طبعون	699638	3773688	1501.46
سه چقا	652988	3806021	1288.47	دوبرجی	692007	3776555	1469.45
سه تپه	657073	3811745	1343.7	گزاف علیا	693192	3775196	1484.59
سنگ تراش	657711	3796511	1336.03	خلیلان	690442	3774104	1484.9
سامره علیا	673708	3789933	1330.19	دیلانچی	695379	3776266	1476.99
رحیم آباد بالا	654088	3809275	1330.36	سیدشکر	697441	3778274	1500.11
رباط ماهیدشت	665605	3792569	1323.38	گامیزج	690150	3778300	1442.41
دوکوشان	680112	3785594	1397.23	سرونو	692611	3779548	1487.23
خزل	669662	3787099	1300.34	خرگ آب علیا	687834	3778733	1445.96

بر اساس شکل ۹ که نقشه هم‌تراز آب زیرزمینی ماهیدشت در سال ۱۳۷۹ را نشان می‌دهد؛ می‌توان بیان نمود که بیشینه تراز آب آبخوان ماهیدشت در بخش جنوب شرق آبخوان و پایین‌ترین تراز آب مربوط به بخش مرکز به سمت غرب آبخوان است. در سال ۱۳۷۹ تراز آب زیرزمینی آبخوان ماهیدشت بین ۱۳۳۴ تا ۱۴۱۱ متر از سطح دریا در تغییر است. در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۵ نیز بیشترین تراز آب در قسمت‌های جنوب شرق ماهیدشت و کمترین مقدار تراز نیز در قسمت‌های مرکز به سمت شمال و شمال غرب قرار گرفته است. ارتفاع تراز آب زیرزمینی در سال ۱۳۸۸ بین ۱۲۸۶ تا ۱۴۲۰ و در سال ۱۳۹۵ بین ۱۲۹۲ تا ۱۳۹۷ متر از سطح دریا متغیر است. طی سال‌های یادشده بیشترین افت سطح آب در بخش شمال غربی اتفاق افتاده است که مقدار آن به ۴۲ متر می‌رسد که می‌تواند به دلیل افزایش تعداد چاه‌های عمیق و تخلیه از آبخوان نسبت به سایر قسمت‌های دشت باشد. در بخش جنوب غربی نیز ۱۵ متر سطح آب زیرزمینی افت نشان می‌دهد. به‌طورکلی از سمت شمال غرب به سمت جنوب شرق و در راستای طول منطقه تراز آب افزایش می‌یابد. به‌طورکلی می‌توان بیان نمود که مطابق نقشه‌های تهیه‌شده از تراز آب زیرزمینی در طی سه سال موردنظر، میزان افت در همه‌جا یکسان نبوده و بیشترین میزان افت مربوط به نواحی شمالی، شرقی، غربی و نواحی مرکزی دشت است. در این نواحی علاوه بر برداشت بیش‌ازحد از سفره‌های زیرزمینی، تراکم چاه‌های بهره‌برداری نیز بالاست. مطابق شکل ۱۰، بیشترین تراز آب آبخوان فیروزآباد در سال ۱۳۷۹ در بخش شرقی و غربی آبخوان و به مقدار ۱۵۳۳ متر از سطح دریا است و با حرکت به سمت بخش میانی دشت کاهش می‌یابد و کمترین مقدار آن در بخش شمالی به مقدار ۱۳۳۰ متر از سطح دریا می‌رسد. درحالی‌که سال ۱۳۸۸ و ۱۳۹۵ بیشترین تراز آب آبخوان در بخش شرقی آبخوان و حدود ۱۵۳۰ متر از سطح دریا است که با حرکت به سمت بخش غربی آبخوان تراز آب کاهش یافته و به مقدار ۱۴۴۰ متر می‌رسد. سطح آب زیرزمینی طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۵ تغییرهای زیادی نداشته است که می‌تواند به دلیل تغذیه مناسب این قسمت از آبخوان و یا تغییر نداشتن میزان تخلیه از آبخوان باشد. درحالی‌که در بخش میانی و به‌خصوص غرب آبخوان تغییرهای زیادی در سطح آب زیرزمینی قابل مشاهده است؛ به‌طوری‌که طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۸ در بخش غربی آبخوان حدود ۹۰ متر افت سطح آب زیرزمینی نشان می‌دهد که می‌تواند به دلیل افزایش چاه‌های بهره‌برداری و تخلیه از آبخوان باشد که باعث پایین رفتن سطح آب زیرزمینی در این قسمت از آبخوان شده است. طی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۵ تغییرهای زیادی در سطح آب زیرزمینی آبخوان فیروزآباد مشاهده نمی‌شود که می‌تواند حاکی از این موضوع باشد که تعداد چاه‌های بهره‌برداری افزایش زیادی نداشته‌اند و درنتیجه تخلیه از آبخوان تغییر زیادی نکرده است.



شکل ۹: تغییرهای تراز آب زیرزمینی در آبخوان ماهیدشت

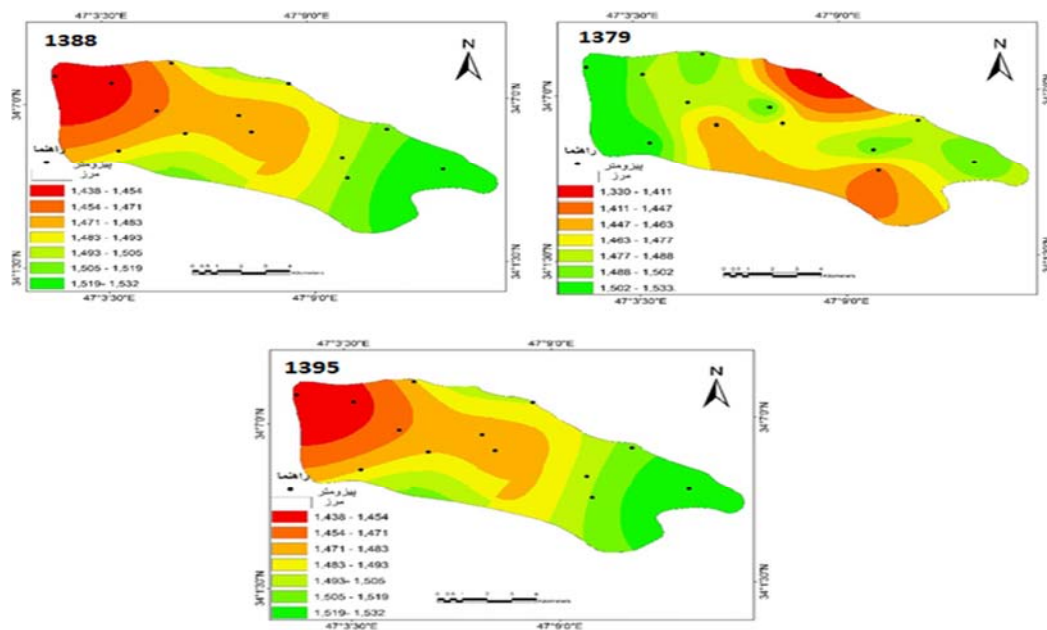


شکل ۱۰: تغییرهای تراز آب زیرزمینی در آبخوان ماهیدشت

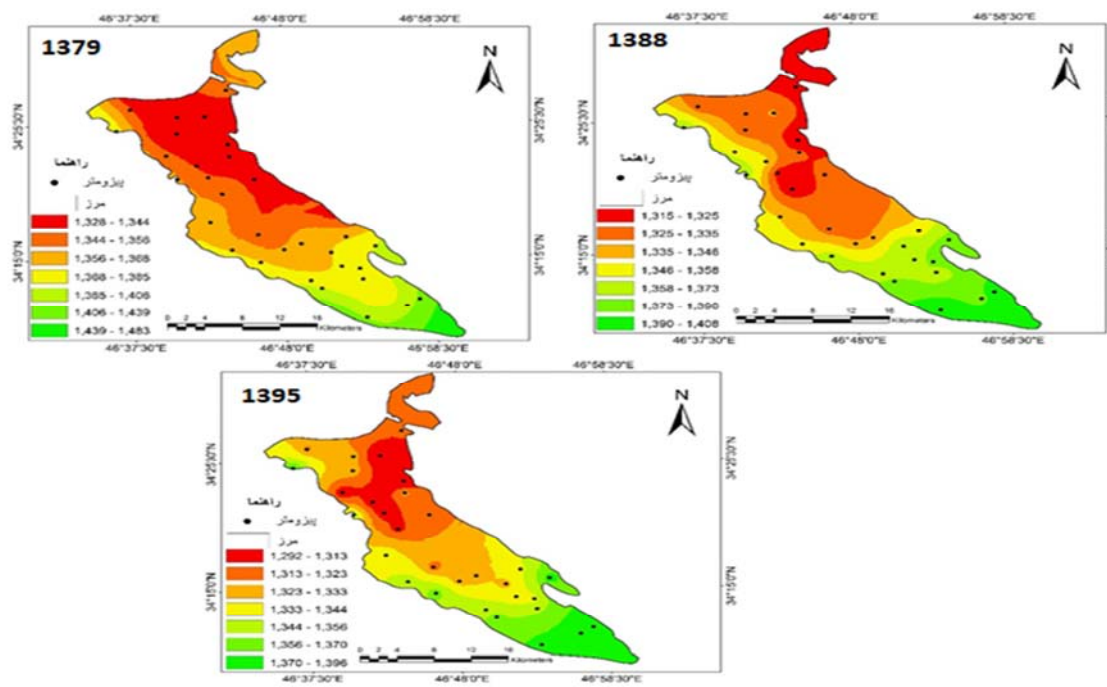
در این تحقیق به منظور بررسی روش‌های مختلف درون‌یابی، از سه روش RBF، IDW و Kriging استفاده شد که نتایج حاصل از پهنه‌بندی در جدول ۵ آورده شده است. نتایج نشان‌دهنده آن است که در سال ۱۳۷۹ بهترین روش درون‌یابی میزان افت آب زیرزمینی برای حوزه فیروزآباد روش Kriging با مقدار میانگین مربعات خطای $49/23$ و برای حوزه ماهیدشت روش RBF با مقدار میانگین مربعات خطای $10/85$ انتخاب گردید و شکل‌های درون‌یابی بر اساس دو روش یادشده ترسیم گردیدند. نتایج نشان‌دهنده آن است که در سال ۸۸ بهترین روش درون‌یابی میزان افت آب زیرزمینی برای حوزه فیروزآباد روش RBF با مقدار میانگین مربعات خطای $6/76$ و برای حوزه ماهیدشت روش کریجینگ با میانگین مربعات خطای $26/22$ انتخاب گردید و شکل‌های درون‌یابی بر اساس دو روش یادشده ترسیم گردیدند. در سال ۱۳۹۵ نیز از هر سه روش IDW، RBF و Kriging استفاده گردید که نتایج نشان داد برای حوزه فیروزآباد روش RBF با مقدار میانگین مربعات خطای $10/21$ و برای حوزه ماهیدشت نیز روش RBF با مقدار میانگین مربعات خطایی برابر با $21/04$ به عنوان بهترین روش‌های درون‌یابی انتخاب گردیدند.

جدول ۵: دقت روش‌های مختلف درون‌یابی در دو حوزه فیروزآباد و ماهیدشت

سال	حوزه	روش درون‌یابی	RMSE
۱۳۷۹	ماهیدشت	IDW	$19/66$
		RBF	$10/85$
		Kriging	$22/31$
	فیروزآباد	IDW	$54/86$
		RBF	$56/08$
		Kriging	$49/23$
۱۳۸۸	فیروزآباد	IDW	$14/07$
		RBF	$6/76$
		Kriging	$12/52$
	ماهیدشت	IDW	$28/31$
		RBF	$28/24$
		Kriging	$26/22$
۱۳۹۵	فیروزآباد	IDW	$15/48$
		RBF	$10/21$
		Kriging	$14/72$
	ماهیدشت	IDW	$21/73$
		RBF	$21/04$
		Kriging	$21/28$



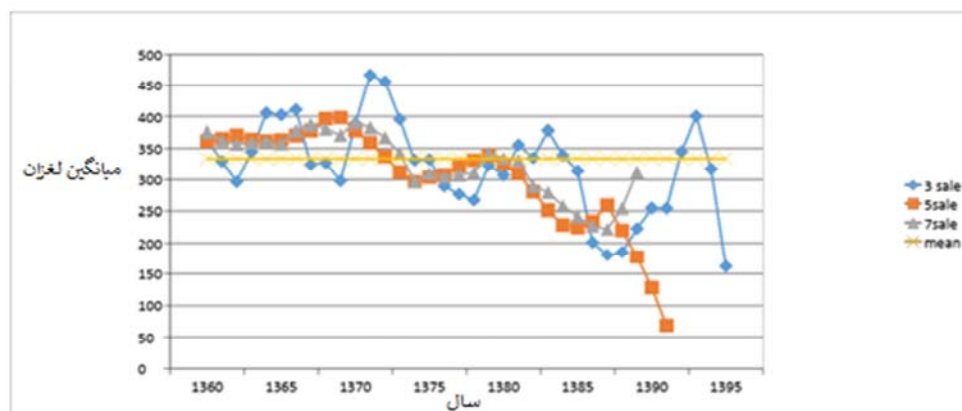
شکل ۱۱: بررسی سطح آب زیرزمینی حوزه فیروزآباد در سال ۱۳۷۹ (روش کریجینگ)، سال ۱۳۸۸ (روش RBF) و سال ۱۳۹۵ (روش RBF)



شکل ۱۲: بررسی سطح آب زیرزمینی حوزه ماهیدشت در سال ۱۳۷۹ (روش RBF)، سال ۱۳۸۸ (روش کریجینگ) و سال ۱۳۹۵ (روش RBF)

ج- میانگین لغزان

در بررسی میانگین لغزان، اگر عدد به دست آمده بزرگتر از میانگین تمامی داده‌ها باشد در یک دوره ترسالی قرار گرفته و اگر کوچکتر باشد دوره خشکسالی وجود دارد. بر اساس نمودار به دست آمده (شکل ۱۳) و با توجه به اینکه میانگین بارندگی منطقه مورد مطالعه ۳۳۵ میلی‌متر است، بر اساس میانگین‌های ۵ و ۷ ساله ارسال ۷۶ منطقه مورد مطالعه با کمبود بارش و ظهور پدیده خشکسالی مواجه بوده و روند یادشده تا اواخر دوره با شیب بیشتری در حال ادامه می‌باشد.



شکل ۱۳: میانگین لغزان منطقه مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای در مناطق فیروزآباد و ماهیدشت بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ نشان‌دهنده افزایش مساحت طبقه کاربری اراضی کشاورزی آبی و کاهش مساحت طبقه کاربری اراضی کشاورزی دیم می‌باشد. در منطقه فیروزآباد در کل دوره ۶۵/۸ هکتار از اراضی کشاورزی دیم به کشاورزی آبی تبدیل گردید؛ در حالی که مقدار تغییرهای تبدیل کاربری اراضی کشاورزی دیم به آبی در آبریز ماهیدشت در دوره مشابه در نهایت برابر با ۱۲۴۰/۱۴ هکتار بوده است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داده است که داده‌های رقومی سنجنده ETM ماهواره لندست و سنتینل ۱ توانایی بالایی در تفکیک کاربری اراضی منطقه مورد نظر دارد. ضریب کاپا بالای ۸۰ درصد نشان‌دهنده دقت طبقه‌بندی کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. همچنین نتایج به دست آمده روند افزایش حفر چاه‌ها را نشان می‌دهد؛ به طوری که در طول ۱۷ سال حدود ۱۲۰۰ چاه در دشت ماهیدشت حفر شده است و از طرف دیگر در دوره ۱۳۷۹-۱۳۶۶ که دوره پویایی تغییرهای کاربری اراضی به سمت آبی شدن بود و همچنین مقدار بارندگی که طی این سال‌ها کمابیش ثابت بوده است؛ اما آبنمود تغییر چندانی در سطح آب دشت نشان نمی‌دهد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که سطح آب دشت بیشتر از هر عاملی تابع مقدار بارندگی منطقه است که شاید به دلیل بالا بودن سطح آب و بارندگی‌های زیاد، آب از مناطق دیگر به سمت آبخوان حرکت کرده و افت ناشی از استخراج آب توسط چاه‌ها را جبران کرده است. از سال ۱۳۷۷ میزان افت به شدت زیاد می‌شود؛ به طوری که تا حدودی کل افت یادشده از سال ۱۳۷۷ به بعد اتفاق افتاده است. از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۱ حدود ۸۰۰ چاه در دشت حفر

شده است. میزان بارندگی نیز طی این سال‌ها نسبت به سال‌های قبل کاهش نشان می‌دهد. همه این عوامل باعث افت زیاد سطح آب زیرزمینی شده است. مطابق آبنمود طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۸۵ چاه‌های حفرشده در دشت تا حدودی صفر است و میزان بارندگی نیز افزایش نشان می‌دهد که سبب ثابت شدن سطح آب آبخوان طی این سال‌ها شده است. سپس با کاهش بارندگی و افزایش استخراج از آب زیرزمینی سطح آب به شدت افت پیدا می‌کند. میزان بارندگی و تغییرهای آن یکی از عوامل مهم کنترل‌کننده سطح آب زیرزمینی می‌باشد. با افزایش میزان بارندگی، حجم آب بیشتری وارد آبخوان و در نتیجه میزان تغذیه افزایش و موجب بالا آمدن سطح آب زیرزمینی می‌گردد. نتایج به دست آمده با نتایج (فرامرزی و همکاران، ۱۳۹۳) از منظر اینکه میزان بارندگی از عوامل مؤثر در تغییرهای سطح آب زیرزمینی آبخوان است، همخوانی دارد. به منظور بهبود وضعیت تراز آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه موارد زیر پیشنهاد می‌گردد: جلوگیری از تعمیق و تغییر محل چاه‌های موجود، مبارزه جدی با چاه‌های غیرمجاز، نظارت دقیق بر میزان تخلیه چاه‌های دارای پروانه، تلاش جهت استفاده کمتر از آب زیرزمینی توسط کشاورزان، پیشنهاد ارقام زراعی با نیاز آبی کم، پایش و مبارزه با تغییر کاربری اراضی و اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی برای تغذیه آبخوان‌ها می‌باشد.

منابع

- اسکندری دامنه حامد؛ خسروی حسن؛ ابوالحسنی اعظم (۱۳۹۸)، ارزیابی تاثیر تغییرات کاربری اراضی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت زرنده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و زمین‌آمار، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۸، شماره ۲۰، صص ۶۷ - ۸۲.
- جوهریان امیر (۱۳۸۸)، تخمین تغذیه آب زیرزمینی با استفاده از روش بیلان آب و زمین‌آمار (مطالعه موردی: آبخوان قائم‌شهر). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زابل.
- حسینی سید، زین‌العابدین (۱۳۸۱)، ارزیابی توانایی داده‌های ماهواره لندست ETM+ برای تهیه نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی: منطقه چمستان مازندران)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- حق‌ی زاده علی؛ نصراللهی علی حیدر؛ ارشیا آزاده (۱۳۹۷)، اثر تغییرات کاربری اراضی و خشکسالی بر افت تراز آب زیرزمینی منطقه چغلوندی، مجله ترویج و توسعه آبخیزداری، سال ششم، شماره ۲۳، صص ۱-۸.
- زبر دست رستمی (۱۳۸۷)، مطالعه وضعیت منابع آب زیرزمینی با استفاده از تکنیک‌های GIS و RS و بررسی تغییر کاربری اراضی (مطالعه موردی: دشت بهشهر-بندرگز)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه مازندران.
- فروودی محمد حسین (۱۳۹۱)، ارزیابی تاثیر تغییر کاربری اراضی بر بیلان آب زیرزمینی با استفاده از تکنیک‌های RS و GIS (مطالعه موردی: دشت نکا-بهشهر، استان مازندران)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه مازندران.
- فرامرزی مرزبان؛ یعقوبی ثریا؛ کریمی کامران (۱۳۹۳)، اثر تغییرات کاربری اراضی روی افت تراز آب زیرزمینی (مطالعه موردی، دشت دهلران، استان ایلام)، مجله مدیریت آب در مناطق خشک، دوره ۱، شماره ۲، صص ۵۵-۶۴.
- قائم‌ی هوشنگ (۱۳۷۵)، مبانی هواشناسی، انتشارات دانشگاه ملی ایران.
- مخدوم مجید (۱۳۹۱)، شالوده آمایش سرزمین، انتشارات دانشگاه تهران.
- نصراللهی محمد؛ ممینی مریم؛ ولی زاده سارا؛ خسروی حسن (۱۳۹۳)، بررسی تأثیر روند تغییرات کاربری اراضی/ پوشش زمین بر وضعیت منابع آب زیرزمینی، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: دشت گیلانغرب)، مجله اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، شماره ۹۱، صص ۸۹-۹۸.

- نادریان فر محمد؛ انصاری حسین؛ ضیایی علی نقی؛ داوری کامران (۱۳۹۰)، بررسی روند تغییرات نوسانات سطح آب زیرزمینی در حوضه آبریز نیشابور تحت شرایط اقلیمی مختلف، مجله مهندسی آبیاری و آب ایران، دوره ۱، شماره ۳، صص ۲۲-۳۷.
- نیکزاد مینا؛ جلیلی خلیل؛ مرادی حمیدرضا (۱۳۹۷)، برآورد تغییرات زمانی و مکانی سطح ایستابی آبخوان دشت بیستون استان کرمانشاه با روش‌های زمین‌آماري، مجله مهندسی آبیاری و آب، دوره ۸، شماره ۴، صص ۷۹-۹۹.
- Brauman, K., Freyberg, D., Daily, G. (2014). Impacts of Land-Use Change on Groundwater Supply: Ecosystem Services Assessment in Kona, Hawaii, *Journal of Water Resources Planning and Management*, pp.1-11.
- Bridget, R., Scanlon, B., Reedy, R., Tonestromw, D., Prudicz, D., Dennehy, K. (2005). Impact of land use and land cover change on groundwater recharge and quality in the southwestern US. *Global Change Biology*. 11, pp. 1577-1593.
- Carlson, T.N.(2000), The impact of land use land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: a satellite perspective. *Global and Planetary Change* 25, pp. 49-65.
- Chen, X. (2002), Using remote sensing and GIS to analyze land cover change and its impacts on regional sustainable development, *International Journal of Remote Sensing*, 23, pp. 107-124.
- Subtropical River Basin: A Case Study of the Dongjiang River Basin, Southeastern China, *Journal of Water*, 7, pp. 4427-4445.
- Jinno, K., Tsutsumi, A., Alkaeed, O., Saita, S., Berndtsson, R. (2009). Effects of land-use change on groundwater recharge model parameters. *Hydrological sciences journal*, 54(2), pp.300-315.
- Liu, J., Zhang, C., Kou, L., Zhou, Q. 2017, Effects of Climate and Land Use Changes on Water Resources in the Taoer River, *Advances in Meteorology*, Volume 2017, pp.1-13.
- Lu, D., Mausel, P., Brondi'zio, E., Moran, E. (2004). Change Detection Techniques, *International Journal of Remote Sensing*, Vol., 25, No (12), pp.2365-2407.
- Singh, S K., Singh, Ch., Mukherjee, S.(2010). Impact of land-use and land-cover change on groundwater quality in the Lower Shiwalik hills: remote sensing and GIS-based approach, *Central European Journal of Geosciences*, pp. 124-131.
- Wang, J., Gao, Y., Wang, SH., 2016, Land Use/Cover Change Impacts on Water Table Change over 25 Years in a Desert-Oasis Transition Zone of the Heihe River Basin, China, *Water*, 8(1), 11.
- Brauman, K., Freyberg, D., Daily, G., (2014). Impacts of Land-Use Change on Groundwater Supply: Ecosystem Services Assessment in Kona, Hawaii, *Journal of Water Resources Planning and Management*, pp.1-11.
- Bridget, R., Scanlon, B., Reedy, R., Tonestromw, D., Prudicz, D., Dennehy, K., (2005). Impact of land use and land cover change on groundwater recharge and quality in the southwestern US. *Global Change Biology*. 11, pp. 1577-1593.
- Carlson, T.N.,(2000). The impact of land use land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: a satellite perspective. *Global and Planetary Change* 25, pp. 49-65.
- Chen, X., (2002). Using remote sensing and GIS to analyze land cover change and its impacts on regional sustainable development, *International Journal of Remote Sensing*, 23, pp. 107-124.
- Subtropical River Basin: A Case Study of the Dongjiang River Basin, Southeastern China, *Journal of Water*, 7, pp. 4427-4445.
- Jinno, K., Tsutsumi, A., Alkaeed, O., Saita, S., Berndtsson, R., (2009). Effects of land-use change on groundwater recharge model parameters. *Hydrological sciences journal*, 54(2), pp.300-315.
- Liu, J., Zhang, C., Kou, L., Zhou, Q., 2017, Effects of Climate and Land Use Changes on Water Resources in the Taoer River, *Advances in Meteorology*, Volume (2017). pp.1-13.
- Lu, D., Mausel, P., Brondi'zio, E., Moran, E., (2004). Change Detection Techniques, *International Journal of Remote Sensing*, Vol., 25, No (12), pp.2365-2407.
- Singh, S K., Singh, Ch., Mukherjee, S.,(2010). Impact of land-use and land-cover change on groundwater quality in the Lower Shiwalik hills: remote sensing and GIS-based approach, *Central European Journal of Geosciences*, pp. 124-131.
- Wang, J., Gao, Y., Wang, SH., (2016). Land Use/Cover Change Impacts on Water Table Change over 25 Years in a Desert-Oasis Transition Zone of the Heihe River Basin, China, *Water*, 8(1), pp.1-11.

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره نهم، شماره ۲۵، پاییز ۱۳۹۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۰۳

تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۰۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۱۱

صفحات: ۱۵۸ - ۱۴۳

مقاله علمی پژوهشی

تجزیه و تحلیل رفتار فصلی رخدادهای سیل و تغییرهای زمانی آن در آبخیزهای هیرکانی (مطالعه نمونه: آبخیزهای حوضه رودخانه گرگانرود)

اکرم لالوزایی^۱، امیر سعدالدین^{۲*}، آرش زارع گاریزی^۳، واحد بردی شیخ^۴

۱. دانشجوی دکتری گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳. استادیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۴. دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده

شناسایی رفتار فصلی وقوع سیل و تغییرهای آن در طی زمان در حوزه‌های آبخیز، امکان ادارک بهتر فرآیندهای وقوع سیل، طرح‌ریزی بهتر پروژه‌های آبی و مدیریت بهتر ریسک سیل را فراهم می‌کند. "آمار جهتی" یک مبنای مفید برای تعیین معیارهای تشابه زمان وقوع سیل است و برای تحلیل فصلی بودن زمان وقوع سیل‌ها کاربرد دارد. روش یادشده در مجموعه‌ای از ۲۰ ایستگاه هیدرومتری در حوضه رودخانه گرگانرود واقع در شمال کشور دارای پایه زمانی مشترک ۴۸ ساله، برای تعیین فصلی بودن رویدادهای سیل و بررسی تغییرهای آن‌ها موردبررسی قرار گرفت. بدین منظور دو شاخص MDF و $\bar{F}$ که به ترتیب بیانگر میانگین زمان وقوع سیل و یکنواختی تاریخ وقوع آن‌ها (درجه‌ی فصلی بودن سیل) است، برای بررسی ویژگی‌ها محاسبه شد. همچنین، به منظور بررسی تغییرهای طولانی‌مدت از نظر روز وقوع سیل در طی زمان، کل دوره آماری مشترک داده‌های حداکثر لحظه‌ای به سه دوره‌ی ۱۶ ساله تقسیم شد که به صورت گذشته‌ی دور، گذشته‌ی نزدیک و حال موردبررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که میانگین زمان وقوع عمده سیل‌ها در حوضه رودخانه گرگانرود در دو فصل بهار و تابستان است و حدود ۷۵٪ ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه، دارای $0.3 \leq \bar{F} \leq 0.7$ می‌باشند که نشان‌دهنده‌ی شرایط بینابین است و در واقع نشان می‌دهد زمان وقوع رویدادها به طور متوسط در یک، دو یا سه فصل پراکنده شده‌اند. بررسی تغییرهای فصلی سیل در بلندمدت نشان می‌دهد که میانگین زمان رویداد سیل در حوضه رودخانه گرگانرود از گذشته تاکنون تغییر معنی‌داری نکرده و فقط درجه فصلی آن دچار تغییر شده است؛ به نحوی که درجه فصلی بودن سیل از گذشته تاکنون در حال کاهش است. وجود ترکیبی از فرایندهای مختلف تولید سیل از قبیل ذوب برف و بارندگی‌های تابستان یا پاییز، تأثیر توأم موقعیت جغرافیایی و اندازه حوزه‌های آبخیز می‌تواند دلیل کاهش درجه فصلی سیل در این حوضه باشد.

واژگان کلیدی: دبی حداکثر لحظه‌ای، رفتار فصلی سیل، آمار جهتی، فرایند ایجاد سیل، حوضه رودخانه گرگانرود.

مقدمه

بررسی تغییرهای فصلی فرآیندهای مختلف هیدرولوژیکی و ویژگی‌های آن‌ها در ارتباط با مدیریت منابع آب، منطقه-بندی، مدیریت سیل، کاربری اراضی و تغییرهای اقلیمی توجه محققان را به خود جلب کرده است. مطالعه‌های ارزیابی تعیین فصلی بودن سیل برای بسیاری از برنامه‌های کاربردی در هیدرولوژی و مدیریت منابع آب از قبیل پیش‌بینی جریان فصلی، مدیریت دشت‌های سیلابی، حفاظت از حوضه رودخانه در برابر وقوع سیل و عملیات زیرساختی منابع آب مورد نیاز است و به‌عنوان یک شاخص مهم برای تحقیق درباره فرایندهای تولید سیل بکار می‌رود (بلوچل^۱ و همکاران، ۱۹۹۹؛ دمیچل و روسو^۲، ۲۰۰۲). علاوه بر این موارد، بسیاری از مسائل از قبیل حضور موجودات زنده آبری و ساحلی در رودخانه، جوامع انسانی استفاده‌کننده از کانال‌های رودخانه‌ای و دشت‌های سیلابی نیاز به اطلاعات فصلی بودن سیل دارند (آریاس^۳ و همکاران، ۲۰۱۳؛ گاردینر^۴، ۱۹۹۴؛ اورد^۵ و همکاران، ۲۰۰۰؛ روبرتسون^۶ و همکاران، ۲۰۰۱). فصلی بودن سیلاب رودخانه نشان‌دهنده مکانیسم‌های مختلف تولید سیل در یک حوضه است (برقاجس^۷ و همکاران، ۲۰۱۶؛ کولینس^۸ و همکاران، ۲۰۱۴؛ هیرچبوک^۹، ۱۹۸۸) و تغییرها در فصلی بودن سیل ممکن است نشان‌دهنده تغییرهای مکانیسم‌های تولید سیل (کاندرلیک و اورد^{۱۰}، ۲۰۰۹؛ یی^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۷) و تعاملات آنها همراه با پیامدهای مهمی برای زیستگاه‌ها، زیرساخت‌های دشت‌های سیلابی و جوامع انسانی باشد. فصلی بودن سیل به‌عنوان یک متغیر برای طبقه‌بندی‌ها در تجزیه و تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیل و یا به‌طور کلی برای تعیین و دسته‌بندی حوضه‌های هیدرولوژیکی همگن در مناطق مورد مطالعه بکار می‌رود (بلک^{۱۲}، ۱۹۹۴؛ بلک و وریتی^{۱۳}، ۱۹۹۷؛ بلوچل و همکاران، ۱۹۹۹؛ برن^{۱۴}، ۱۹۹۷؛ دمیچل و روسو، ۲۰۰۲؛ لیسسی^{۱۵}، ۲۰۰۰). تعیین مناطق در تجزیه و تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیل بر اساس شباهت حوزه‌ها در فصلی بودن سیل تعیین می‌شوند (برن، ۱۹۹۷؛ کاندرلیک و برن، ۲۰۰۲؛ لیسسی، ۲۰۰۰؛ اورد و همکاران، ۲۰۰۰). علاوه بر این در مدل‌های فراوانی فصلی سیل، اطلاعات فصلی برای جداسازی توزیعات مختلط تولید سیل با مکانیسم‌های اتمسفری مختلف استفاده می‌شود (هیرچبوک، ۱۹۸۸؛ اورد و همکاران، ۱۹۹۳). فصلی بودن سیل‌ها اغلب در مشخصات شدت - مدت - فراوانی سیل‌ها نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند (جاو^{۱۶} و همکاران، ۲۰۰۳). بنابراین مطالعه فصلی سیل در مسائل مختلف مدیریت منابع آب ضروری می‌باشد، در این زمینه مطالعه‌های مختلفی انجام شده است.

¹ - Blöschl

² - De Michele and Rosso

³ - Arias

⁴ - Gardiner

⁵ - Ouarda

⁶ - Robertson

⁷ - Berghuijs

⁸ - Collins

⁹ - Hirschboeck

¹⁰ - Cunderlik and Ouarda

¹¹ - Ye

¹² - Black

¹³ - Black and Werritty

¹⁴ - Burn

¹⁵ - Lecce

¹⁶ - Javelle

لیسی (۲۰۰۰)، الگوهای فصلی وقایع سیل را در جنوب شرقی ایالات متحده آمریکا شناسایی کرده و با استفاده از روش‌های آماری مستقیم، فراوانی وقوع رویدادهای سیل ماهانه‌ی حاصل از سری حداکثر سالانه را با تجزیه و تحلیل خوشه‌ای، طبقه‌بندی کرد. ارزیابی کارتوگرافی از نتایج، منجر به تعیین پهنه سیل با رژیم‌های مختلف شد. آرچر^۱ (۲۰۰۳)، ویژگی‌های گسترده رژیم‌های هیدرولوژیکی را در حوضه اینداس با استفاده از داده‌های جریان ۱۹ ایستگاه دارای آمار طولانی‌مدت از نظر رواناب فصلی و سالانه مورد بررسی قرار داد. سیواپالان^۲ و همکاران (۲۰۰۵)، به تأثیر شدید فصلی بودن سیل در احتمالات سیل اشاره دارند. این ارتباط به تأثیر مستقیم شرایط جوی و تأثیر غیرمستقیم بارش و تبخیر- تعرق بر فصلی بودن سیل تأکید می‌کند. آنها نشان دادند، تعیین درجه فصلی بودن سیلاب بیشتر ابزاری برای منطقه‌بندی سیل فراهم می‌کند و شامل اطلاعاتی است که می‌تواند مربوط به احتمالات سیل باشد. برتون و تیکن^۳ (۲۰۰۹)، توزیع فصلی حداکثر سیل سالانه را در ۴۸۱ ایستگاه هیدرومتری در سراسر آلمان مورد تجزیه و تحلیل و آنالیز خوشه‌ای قرار دادند. نتایج منجر به تهیه‌ی یک نقشه جدید با سه منطقه که نشان‌دهنده رژیم‌های همگن سیلاب بود، شد: خوشه A در بخش غربی و مرکزی آلمان دارای سیل زمستانه؛ خوشه B با مرکزیت در شمال و شرق آلمان که درصد سیلاب تابستانی و بهاری در آن بالاتر از خوشه A است و یک خوشه کوچک C در جنوب آلمان که تحت سلطه سیل تابستانی است. وقوع حداکثر رویدادهای سیلاب مشاهده‌شده در سه خوشه، به خوبی با فصلی بودن عمومی سیل مطابقت دارد. کترولیس^۴ و همکاران (۲۰۱۰)، فصلی بودن سیل و ویژگی‌های هیدرومتئورولوژیکی آن را در جزیره کریت بررسی کردند. ویژگی‌های هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص‌های فصلی در مجموعه‌ای از ۵۳ ایستگاه دارای بارش روزانه و همچنین ۱۵ ایستگاه دارای جریان روزانه و ۷ ایستگاه دارای جریان ماهانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج کار این محققان نشان داد که فصلی بودن رویدادهای سیلاب با فصلی بودن بارش حداکثر روزانه در ماه‌های نوامبر و دسامبر با هم سازگار است و حداکثر جریان سالانه در کریت، کمابیش یک ماه از بارندگی روزانه حداکثر عقب‌تر است. کوپلین^۵ و همکاران (۲۰۱۴)، فصلی بودن و بزرگی سیل را در سوئیس تحت تأثیر تغییرهای اقلیمی آینده مورد تحقیق قرار دادند. اطلاعات در مورد این تغییرها برای سیاست‌های حفاظت در برابر سیل و یا تجزیه و تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیل مورد نیاز بود. تغییرها با استفاده از آمار میانگین سیلاب سالانه و در یک دوره ۲۲ ساله برای ۱۸۹ حوضه در سوئیس و تحت دو دوره سناریو اقلیمی تحلیل شد. نتایج نشان داد تغییر در شبیه‌سازی فصلی سیل تابعی از تغییر در نوع رژیم جریان است و اگر ذوب و انباشت برف در حوزه‌ای به‌عنوان مورد مهمی تلقی شود، در تعیین شدت فصلی بودن سیل نیز سهم بسزایی دارد؛ یا اگر بارندگی تابستانی در سناریوها کاهش یابد بر میزان فصلی بودن سیل (میانگین زمان وقوع سیل) تأثیر می‌گذارد و منجر به کاهش قدرت فصلی می‌شود. کولینس^۶ و همکاران (۲۰۱۴)، فصلی بودن سیلاب را برای ۲۲ ایستگاه در سراسر نیوانگلند و آتلانتیک کانادا، با محاسبه فراوانی نسبی حداکثر سیلاب سالانه در چهار گروه فصلی: دسامبر-فوریه (DJF: زمستان)، مارس-می (MAM: بهار)، ژانویه - آگوست (JJA: تابستان) و سپتامبر - نوامبر (SON: فوریه)

¹- Archer

²- Sivapalan

³- Beurton and Thielen

⁴- Koutroulis

⁵- Köplin

⁶- Collins

پاییز) بررسی کردند. آنها دریافتند که MAM نزدیک به ۶۰ درصد از کل سیل‌های سالانه را تشکیل می‌دهد و بیشترین نسبت فصلی مربوط به وقوع سیل در ۱۹ حوزه آبخیز می‌باشد. MAM به‌ویژه در سایت‌های شمالی و داخلی اهمیت داشت. DJF نیز مهم بود و ۲۲٪ از تمام سیل‌های سالانه به‌ویژه در مناطق ساحلی را به خود اختصاص داد. SON در برخی از قسمت‌های منطقه‌ی مورد مطالعه و حدود ۱۴٪ سیلاب سالانه را تشکیل می‌داد. سیل سالانه در تابستان (JJA) نیز ۵٪ رخ داده است. ویلارینی^۱ (۲۰۱۶)، اخیراً به بررسی حداکثر سیل سالانه فصلی در سراسر ایالات متحده پرداخته است. نتایج او برای مناطق نیوا انگلند و میانه آتلانتیک، دوگانه بود. پیش‌بینی‌ها فصول چند ساله سیل را در شمال شرقی و با استفاده از آمار دورانی^۲ نشان داد. باوجود اینکه پیشرفت در استفاده از آمار دایره‌ای برای تعیین فصلی بودن سیل با سوابق سیل سالانه از نظر آماری متفاوت بود؛ اما روش‌های او هنوز هم قادر به توصیف دقیق توزیع فصلی چندماهه در سراسر منطقه نبود. یی^۳ و همکاران (۲۰۱۷)، ماهیت فصول حداکثر سیل سالانه در ایالات متحده و تفاسیر مربوط به مکانیسم‌های تولید با تمرکز بر اندازه‌گیری آمار دایره‌ای از تنوع زمانی سالانه و مقایسه آن با تغییرهای زمانی حداکثر بارندگی سالانه را بهبود بخشیدند. باوجود اینکه توزیع سیل‌های شمال شرقی ایالات متحده به‌طور کامل در نظر گرفته نشده بود، اما بینش آنها در مورد اهمیت رطوبت خاک قبل از سیل در این منطقه ارزشمند بود. آنها همچنین روندهای زمانی را در تنوع زمانی سالانه از جمله جهت روند تحلیل کردند. کولینس^۴ (۲۰۱۹)، یک روش احتمالاتی برای شناسایی فصول سیل در حالت ماهانه برای ۹۰ حوضه در شمال شرقی ایالات متحده با جریان طبیعی از نظر شرایط مکانیسم‌های تولید سیل ارائه داد. نتایج نشان می‌دهد که زمان‌بندی سالانه سیل در سراسر منطقه دارای یک الگوی منحصربه‌فرد از نظر وقوع ماهانه سیل می‌باشد. در مطالعه‌های داخلی کمتر به بحث فصلی سیل و استفاده از آن در برنامه‌ریزی‌های حوزه‌های آبخیز پرداخته شده است، فقط در مواردی سیل‌خیزی حوضه‌ها بررسی شده است. در استان گلستان رحمتی و همکاران (۱۳۹۴)، به اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز این استان براساس روش نوین ترکیبی آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری پرداختند. در ابتدا هشت پارامتر مورفومتریک شامل نسبت انشعاب، تراکم زهکشی، ثابت نگهداشت آبراهه، فراوانی آبراهه، ضریب فرم، نرخ بافت زهکشی، نسبت ناهمواری و عدد ناهمواری به‌علت تأثیر زیاد در فرایندهای هیدرولوژیکی و فرسایش و رسوب حوضه-های آبخیز انتخاب شدند. ارتباط بین پارامترهای مورفومتریک و تعیین وزن تأثیر هر یک از آنها با استفاده از روش‌های همبستگی تاوی کندال و آنالیز مجموع وزنی تحلیل شد. نتایج اعتبارسنجی این تحقیق نشان داد که روش نوین اولویت‌بندی قادر به تعیین اولویت ترتیبی تمام زیرحوضه‌های آبخیز نبود، اما توانست زیرحوضه‌های با بیشترین اولویت را، اولویت‌دارترین زیرحوضه‌ها، برای اجرای اقدام‌های آبخیزداری شناسایی کند.

با توجه به اینکه فصلی بودن سیلاب رودخانه نشان‌دهنده مکانیسم‌های مختلف تولید سیل در یک حوضه است، بنابراین طبقه‌بندی فصلی سیل به‌عنوان یک شاخص مهم برای تحقیق درباره فرایندهای مهم هیدرولوژیکی می‌تواند بکار رود. طبق بررسی‌های انجام شده، تحلیل فصلی سیل تاکنون در هیچ یک از حوزه‌های آبخیز کشور انجام نشده است و وقوع رخداد‌های سیل در سال‌های اخیر در مواقع زمانی غیرمنتظره در طول سال باعث شده است که

¹- Villarini

²- Circular statistics

³-Ye

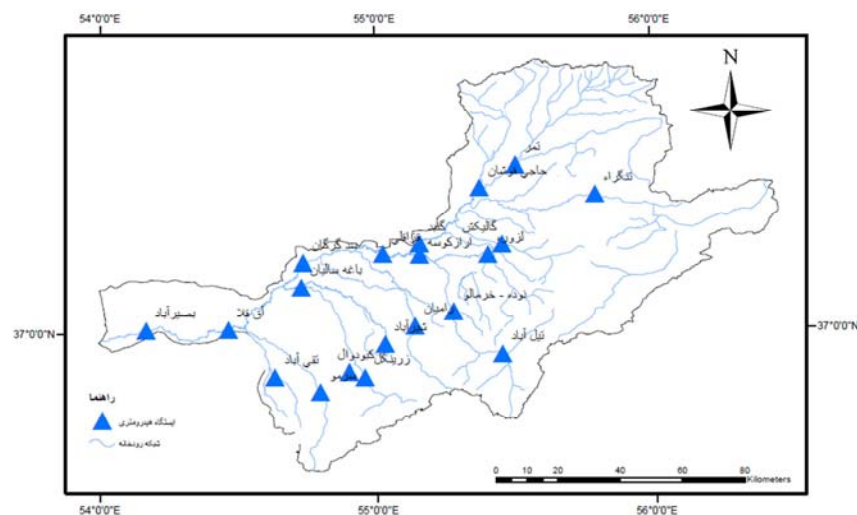
⁴-Collins

کارشناسان ذیربط موضوع تغییر زمان وقوع سیل‌ها را به خاطر تغییرهای اقلیمی مطرح نمایند. بنابراین هدف اصلی این تحقیق، شناسایی تغییرهای فصلی وقوع سیل در حوضه رودخانه گرگانرود به‌عنوان یکی از حوزه‌های آبخیز با رخدادهای شدید و فراوان سیل در شمال کشور می‌باشد. با تحلیل فصول وقوع سیل در حوزه آبخیز، امکان ادارک بهتر فرآیندهای وقوع سیل، مدیریت بهتر پروژه‌های هیدرولوژیکی/ هیدرولیکی و مدیریت ریسک سیل فراهم می‌گردد. همچنین یکی دیگر از موارد اصلی کاربرد نتایج این تحقیق، در زمینه‌ی تجزیه و تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب و تعیین و دسته‌بندی حوضه‌های هیدرولوژیکی همگن می‌باشد.

داده‌ها و روش‌ها

الف- معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه رودخانه گرگانرود با مساحت ۱۰۱۹۷ کیلومتر مربع در بخش جنوب شرقی دریای خزر و بین طول جغرافیایی ۵۴ درجه و دو دقیقه و ۵۶ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۴ دقیقه و ۳۷ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی واقع شده است. حوضه رودخانه گرگانرود از شمال و شرق به حوضه رودخانه اترک، از جنوب به حوضه‌های آبخیز شاهرود، دامغان و از جنوب غربی به حوضه رودخانه نکا محدود می‌شود. در این حوضه ۳۳ ایستگاه هیدرومتری وجود دارد که براساس آمار دبی حداکثر لحظه‌ای سالیانه موجود در شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان با در نظر گرفتن پایه زمانی مشترک از سال ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۶، ۲۰ ایستگاه انتخاب گردید. براساس روش دومارتن، اقلیم حوضه از نیمه خشک در شرق تا مرطوب در بخش‌های غربی متغیر است و میانگین بارندگی در این حوزه از ۲۸۷ میلی‌متر در تیل‌آباد تا ۹۵۳ میلی‌متر در پس پشته متغیر است. کاربری‌های کشاورزی، مرتع و جنگل کاربری اصلی حوضه می‌باشند. وقوع بارش‌های شدید به همراه تشکیلات زمین‌شناسی حساس و تغییر شدید کاربری اراضی از جنگل به اراضی دیم، سبب فراهم آمدن پتانسیل لازم برای ایجاد سیل می‌شود. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی حوضه رودخانه گرگانرود به همراه شبکه آبراهه و ایستگاه‌های هیدرومتری آن نشان داده شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه رودخانه گرگانرود به همراه شبکه آبراهه ای و ایستگاه‌های هیدرومتری

ب- شاخص فصلی سیل

در آغاز داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای سالیانه ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در حوضه گرگانرود از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان جمع‌آوری شد و ایستگاه‌های غیر قابل اطمینان حذف گردید. در مرحله‌ی بعد برای ۲۰ ایستگاه منتخب، یک دوره آماری مشترک از سال ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۶ در نظر گرفته شد و بازسازی نواقص آماری برای تکمیل آمار هر ایستگاه با استفاده از روش همبستگی انجام شد.

زمان وقوع سیل در هر سال و در هر ایستگاه برای استخراج شاخص‌های مختلف تحلیل فصلی مشخص گردید. زمان وقوع، یک شاخص مهم و ساده برای تعیین نوع سیل می‌باشد (مرز^۱ و همکاران، ۱۹۹۹). روش‌های مبتنی بر آمار جهتی^۲ یک مبنای مفید برای تحلیل زمان وقوع سیل می‌باشد (ماجیلیگان و گرابر^۳، ۱۹۹۶؛ ماردیا^۴، ۱۹۷۵). در این روش تاریخ وقوع دبی اوج سالانه به‌عنوان بردار جهت، برای هر رویداد سیل محاسبه می‌شود. برای تعیین زاویه این بردار از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود (برن، ۱۹۹۶؛ ریچاردس^۵، ۱۹۹۴).

$$\theta_i = (J \text{ Date})_i \left(\frac{2\pi}{365} \right) \quad 0 \leq \theta_i \leq 2\pi \quad (1)$$

در رابطه بالا: θ_i مقدار زاویه (بر حسب رادیان) برای تاریخ رویداد سیل i است. $J \text{ Date}$ روز وقوع سیل i در سال می‌باشد که مقدار آن بین ۱ (مربوط به روز ۱ فروردین) تا ۳۶۵ (مربوط به روز ۲۹ اسفند) متغیر است.

بدین ترتیب می‌توان تاریخ وقوع رخداد‌های سیل را به‌صورت گرافیکی نمایش داد و همچنین میانگین زمان وقوع سیل را با استفاده از روابط زیر محاسبه کرد (برن، ۱۹۹۶).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(\theta_i) \quad (2)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sin(\theta_i) \quad (3)$$

که $\bar{x}$ و $\bar{y}$ به ترتیب میانگین طول و عرض بردارهای مربوط به n سیل را روی یک محور مختصات نشان می‌دهد. حال می‌توان مقدار زاویه‌ای میانگین تاریخ وقوع سیل ($\bar{\theta}$) را به‌صورت زیر محاسبه کرد:

$$\bar{\theta} = \tan^{-1} \left(\frac{\bar{y}}{\bar{x}} \right) \quad \text{for } \bar{x} \geq 0 \quad (4)$$

$$\bar{\theta} = \tan^{-1} \left(\frac{\bar{y}}{\bar{x}} \right) + \pi \quad \text{for } \bar{x} < 0 \quad (5)$$

سپس $\bar{\theta}$ می‌تواند با استفاده از فرمول زیر دوباره به شماره روز سال (۱ تا ۳۶۵) تبدیل شود که بیانگر میانگین زمان وقوع سیل در سال برای یک حوضه می‌باشد.

$$\text{MDF} = \bar{\theta} \frac{356}{2\pi} \quad (6)$$

انتظار می‌رود حوضه‌های با مقدار MDF مشابه، دارای ویژگی‌های هیدرولوژیکی و فیزیوگرافی مشابهی باشند و این مقدار به‌اندازه حوضه و در مورد سیل‌های ناشی از ذوب برف به محل جغرافیایی حوضه بستگی دارد (برن، ۱۹۹۷).

¹- Merz

²- Directional statistic

³- Magilligan and Graber

⁴- Mardia

⁵- Richards

برای گروه‌بندی ایستگاه‌ها از نظر زمان وقوع سیل از روش شکست طبیعی استفاده گردید. روش بهینه‌سازی جنکس^۱، مشهور به روش نقاط شکست طبیعی است. این روش برای طبقه‌بندی داده‌ها طراحی شده است و برای مشخص کردن بهترین طرح فضایی از ارزش‌ها در طبقه‌بندی‌های مختلف کاربرد دارد. این مدل به دنبال به حداقل رساندن انحراف معیار در هر طبقه از میانگین همان طبقه است. به عبارت دیگر، این روش به دنبال کاهش واریانس در طبقه و به حداکثر رساندن واریانس بین طبقه‌ها و گروه‌ها می‌باشد و بر آن اساس طبقه‌بندی خود را ارائه می‌دهد (جنکس، ۱۹۶۷).

علاوه بر محاسبه میانگین زمان وقوع سیل، تغییرهای زمانی n رخداد سیل حول میانگین نیز می‌تواند از رابطه‌ی زیر محاسبه شود (برن، ۱۹۹۷).

$$\bar{r} = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \quad 0 \leq \bar{r} \leq 1 \quad (7)$$

این مقدار بین ۰ تا ۱ تغییر می‌کند که مقدار ۰ بیانگر عدم فصلی بودن (یعنی توزیع یکنواخت تاریخ وقوع سیل‌ها در تمام طول سال) است درحالی‌که مقدار ۱ نشان‌دهنده‌ی فصلی بودن شدید (یعنی تمرکز تمام سیل‌ها در یک روز مشخص در سال) می‌باشد.

در یک طبقه‌بندی جزئی‌تر مقدار $\bar{r}$ را می‌توان در سه دسته $\bar{r} < 0.3$ ، $0.3 \leq \bar{r} \leq 0.7$ و $\bar{r} > 0.7$ قرار داد که $\bar{r} < 0.3$ نشان‌دهنده تغییرهای زیاد و وجود فصول مختلف وقوع سیل در سال و در نتیجه مقدار فصلی ضعیف است؛ به عبارتی این دسته عدم تمرکز زیاد وقوع حداکثر سیل سالانه را در یک فصل خاص نشان می‌دهد. عکس این مورد نیز برقرار است به‌طوری‌که $\bar{r} > 0.7$ نشان می‌دهند که فصل خاصی وجود دارد که اکثر سیل‌های حداکثر سالانه در آن رخ می‌دهد. مقدار $0.3 \leq \bar{r} \leq 0.7$ نیز نشان‌دهنده‌ی یک شرایط بینابین می‌باشد.

در این تحقیق تمامی پارامترهای یادشده در بالا از قبیل $\bar{r}$ و MDF در هر کدام از ایستگاه‌ها محاسبه شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین به‌منظور بررسی تغییرهای فصلی سیل از گذشته تاکنون از نظر روز وقوع سیل در طی زمان، کل دوره آماری مشترک داده‌های حداکثر لحظه‌ای (۴۸ سال) به سه دوره‌ی ۱۶ ساله تقسیم شد و مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای فصلی بودن سیل برای هر دوره محاسبه گردید و تغییرهای آنها از هر دوره به دوره بعد مورد تجزیه تحلیل قرار گرفت.

یافته‌های تحقیق

فراوانی وقوع رخدادهای سیلابی در حوضه آبخیز گرگانرود نسبت به بقیه حوضه‌ها در استان گلستان بیشتر است. بررسی سیلاب‌های ثبت شده در حوضه گرگانرود نشان می‌دهند، فصل وقوع عمده سیلاب‌ها به ترتیب در تابستان، بهار و پاییز است؛ این در حالی است که رخداد سیلاب زمستانه (در پی وقوع بارش از نوع باران) تا قبل از سال ۱۳۹۷ در گرگانرود بسیار کم‌سابقه بوده است. به عبارت دیگر، زمان و فصل وقوع پدیده سیلاب در طول سال گسترده شده است. در این تحقیق، مقادیر پارامترهای محاسبه‌شده برای برآورد فصلی بودن سیل برای ایستگاه‌های موجود در

¹- Jenks

حوضه رودخانه گرگانرود در جدول ۱ ارائه شده است. کمترین مقادیر $\bar{T}$ مربوط به ایستگاه‌های تمر، گالیکش و تیل آباد می‌باشد و نشان می‌دهد که داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای در مواقع مختلف سال پراکنده بوده و در یک فصل خاص اتفاق نیفتاده و درجه فصلی بودن سیل بسیار ضعیف است. در مقابل آن ایستگاه‌های باغه سالیان، قزاقلی و آق قلا به ترتیب با مقدارهای ۰/۸۲، ۰/۷۴ و ۰/۵۸ بیشترین میزان $\bar{T}$ را دارا بودند که نشان از تراکم بالای تاریخ وقوع سیل حداکثر لحظه‌ای در فصلی خاص است و میزان فصلی بودن سیل در این ایستگاه‌ها قوی می‌باشد. چنین به نظر می‌رسد که در سرشاخه‌ها (بالادست) درجه فصلی بودن پایین و در آبراهه اصلی (پایین‌دست) درجه فصلی بودن بالا است. در حالت کلی ۱۵٪ از کل ایستگاه‌های حوضه رودخانه گرگانرود دارای $\bar{T} < 0.3$ هستند که نشان می‌دهد نظم خاصی در زمان وقوع برای رویدادهای سیل در این ایستگاه‌ها وجود ندارد و زمان وقوع سیل در تمام طول سال گسترده شده است و نمی‌توان فصلی را که عمده سیلاب‌ها در آن اتفاق افتاده باشد، تعیین کرد؛ اما فقط حدود ۱۰٪ ایستگاه‌ها دارای $\bar{T} > 0.7$ می‌باشد. این ایستگاه‌ها در پایین‌دست حوضه و نیز پایین‌دست سدهای احداث‌شده بر روی شاخه اصلی گرگانرود واقع شده‌اند. بنابراین، ممکن است که زمان وقوع دبی حداکثر لحظه‌ای در آنها تحت تأثیر نقش تنظیمی سدها قرار گرفته باشد. مابقی ایستگاه‌های حوضه که بیشترین درصد (حدود ۷۵٪) را به خود اختصاص می‌دهند، دارای $0.3 \leq \bar{T} \leq 0.7$ می‌باشند که نشان‌دهنده‌ی شرایط بینابین است؛ یعنی اینکه زمان وقوع رویدادهای سیل حداکثر لحظه‌ای در دوره‌ی موردبررسی (۴۸ سال) نه در تمام طول سال پخش‌شده و نه در یک فصل خاص اتفاق افتاده است. درواقع زمان وقوع رویدادها به‌طور متوسط در یک، دو یا سه فصل پراکنده شده‌اند که با فراوانی وقوع ثبت‌شده در حوضه هم‌خوانی دارد.

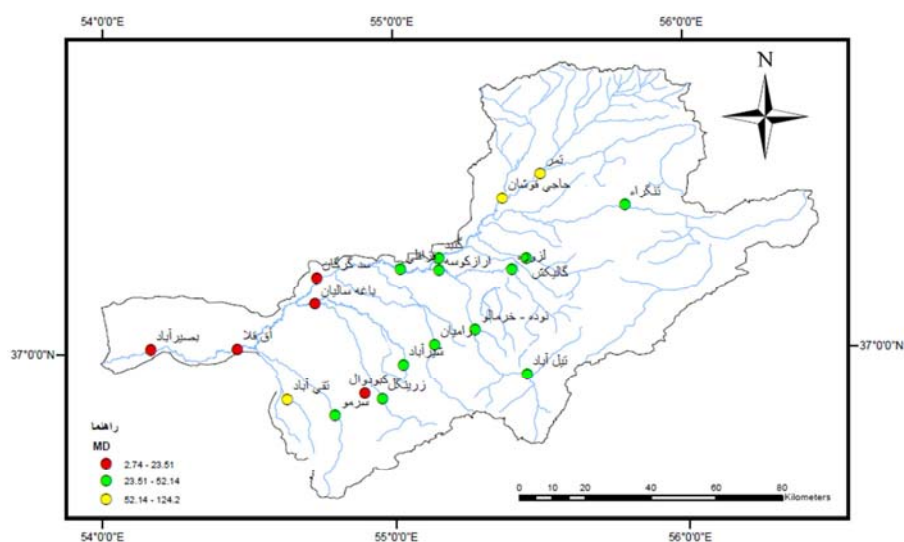
به‌طورکلی به نظر می‌رسد که درجه فصلی بودن سیل (میزان تمرکز زمان وقوع دبی حداکثر لحظه‌ای) در حوضه رودخانه گرگانرود تحت تأثیر توأم موقعیت جغرافیایی و اندازه حوزه‌های آبخیز باشد. کمترین میزان فصلی بودن در حوضه‌های با اندازه متوسط و کوچک و بیشتر واقع در نیمه شرقی حوضه مشاهده می‌شود. این حوضه‌ها تحت تأثیر رژیم بارشی منطقه و اندازه کوچک آنها، معمولاً واکنش هیدرولوژیکی ناگهانی و نامنظمی دارند. در مقابل، ایستگاه‌های با حوزه آبخیز کمابیش بزرگ و یا واقع در قسمت‌های غربی حوضه گرگانرود از نظر زمان وقوع سیل واکنش منظم‌تری داشته‌اند. البته نقش تنظیمی سدها که روی شاخه اصلی رودخانه احداث شده‌اند و در جهت جریان از شرق به غرب بر تعداد آنها افزوده می‌شود نیز شایان توجه است. حوزه‌های آبخیز میانی (از نظر اندازه و محل قرارگیری در حوضه رودخانه گرگانرود) واکنش بینابینی (کمابیش فصلی) دارند که بسته به اندازه و محل قرارگیری آنها، درجه فصلی بودن آنها متغیر است.

جدول ۱: پارامترهای فصلی بودن سیل برای ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه رودخانه گرگانرود در دوره ۴۸ ساله

	ایستگاه	$\bar{r}$	MDF	θ_i	y	x
۱	ارازکوسه	۰/۴۵	۴۳/۷۸	۰/۷۵	۰/۳۱	۰/۳۳
۲	آق قلا	۰/۵۸	۱۴/۱۸	۰/۲۴	۰/۲۱	۰/۵۴
۳	باغه سالیان	۰/۸۲	۱۹/۶۷	۰/۳۳	۰/۲۷	۰/۷۷
۴	بصیرآباد	۰/۵۶	۲/۷۴	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۵۶
۵	تقی آباد	۰/۳۰	۱۰۲/۷	۱/۷۶	۰/۳۰	-۰/۰۶
۶	تمر	۰/۲۹	۱۲۴/۲	۲/۱۴	۰/۲۴	-۰/۱۵
۷	تنگراه	۰/۵۷	۳۶/۸۸	۰/۶۳	۰/۳۳	۰/۴۵
۸	حاجی قوشان	۰/۳۹	۱۲۲/۸۴	۲/۱۱	۰/۳۴	-۰/۲۰
۹	رامیان	۰/۴۶	۴۲/۸۶	۰/۷۳	۰/۳۱	۰/۳۴
۱۰	زرینگل	۰/۵۳	۴۸/۷۰	۰/۸۳	۰/۳۹	۰/۳۵
۱۱	سد گرگان	۰/۳۸	۲۳/۵۱	۰/۴۰	۰/۱۵	۰/۳۵
۱۲	سرمو	۰/۴۹	۴۲/۰۳	۰/۷۲	۰/۳۲	۰/۳۷
۱۳	شیرآباد	۰/۳۳	۵۰/۶۹	۰/۸۷	۰/۲۵	۰/۲۱
۱۴	قزاقلی	۰/۷۴	۳۰/۸۵	۰/۵۳	۰/۳۷	۰/۶۴
۱۵	کبودوال	۰/۵۴	۱۴/۸۵	۰/۲۵	۰/۱۳	۰/۵۲
۱۶	گالیکش	۰/۲۸	۵۲/۱۴	۰/۸۹	۰/۲۱	۰/۱۷
۱۷	گنبد	۰/۵۷	۴۴/۸۱	۰/۷۷	۰/۴۰	۰/۴۱
۱۸	لزوره	۰/۳۸	۴۶/۳۱	۰/۷۹	۰/۲۷	۰/۲۶
۱۹	نوده - خرمالو	۰/۴۵	۴۳/۷۸	۰/۷۵	۰/۳۱	۰/۳۳
۲۰	تیل آباد	۰/۲۷	۱۸۰	۰/۸۹	۰/۲۱	۰/۱۷

مقدار MDF در جدول ۱ نیز نشان‌دهنده‌ی میانگین روز وقوع رویدادهای سیل در سال است که می‌تواند نشانگر تشابه هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز باشد. برای مثال، در منطقه مورد مطالعه حوزه‌های آبخیز بالادست ایستگاه‌های هیدرومتری ارازکوسه، رامیان، سرمو و نوده خرمالو با مقدار MDF حدود ۴۳ دارای شرایط هیدرولوژیکی و فیزیوگرافی نزدیک به هم هستند. با استفاده از این شاخص می‌توان زیرحوضه‌های رودخانه گرگانرود را به چند دسته از نظر خصوصیت‌های یادشده تقسیم‌بندی نمود تا در مطالعه‌های مشابه مورد استفاده قرار گیرند. شکل ۲، تقسیم‌بندی ایستگاه‌ها به ۳ گروه بر اساس میزان MDF (میانگین روز وقوع سیل در سال) با روش شکست طبیعی (Jenks) را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است دامنه‌ای کمابیش متوسط برای مقادیر میانگین تاریخ‌های وقوع سیل بین روز ۲ (فروردین) و روز ۱۲۴ (تیر) وجود دارد که نشان می‌دهد میانگین روز وقوع سیل در یک دوره ۴۸ ساله در دو فصل بهار و تابستان بوده است. بیشتر ایستگاه‌ها در دسته دوم که دارای میانگین روز وقوع سیل از

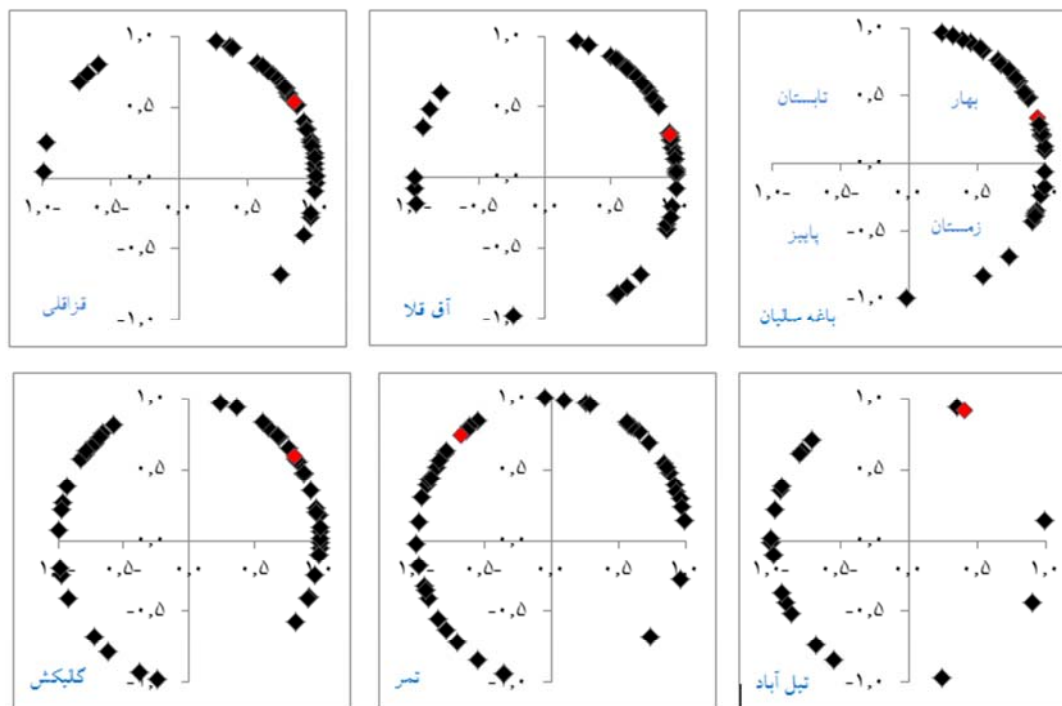
روز ۲۳ تا ۵۲ است، قرار گرفته‌اند که شامل اواخر فروردین تا اواخر اردیبهشت می‌باشد. البته همواره لازم است که هنگام بررسی و تفسیر MDF به شاخص $\bar{r}$ که پراکنش زمان وقوع سیل را نشان می‌دهد نیز توجه نمود. زیرا MDF به‌تنهایی فقط میانگین روزهای وقوع سیل را نشان می‌دهد درحالی‌که این روزها (که میانگین آنها محاسبه‌شده) ممکن است به هم نزدیک یا خیلی پراکنده بوده باشند. مثلاً در جدول ۱ می‌توان مشاهده کرد که ایستگاه‌های تقی آباد و تمر که میانگین زمان وقوع سیل در آنها بالاتر از ۱۰۰ به‌دست آمده (یعنی اختلاف حدود دو ماهه با میانگین بقیه ایستگاه‌ها)، کمترین مقدار $\bar{r}$ را نیز داشته‌اند؛ یعنی روزهای وقوع دبی حداکثر در آنها بسیار پراکنده و تقریباً در سرتاسر سال گسترده بوده است. بنابراین برای وقایع آبی سیل نمی‌توان با اطمینان انتظار داشت که حدوداً در این زمان رخ دهند. اما یافته قابل‌توجه دیگر این‌که، میانگین روز وقوع دبی حداکثر در ایستگاه‌های پایین‌دست حوضه (باغه‌سالیان، آق‌قلا، بصیرآباد) اوایل فروردین بوده و این ایستگاه‌ها شاخص $\bar{r}$ بالایی نیز داشته‌اند. بنابراین، بر اساس سری زمانی ۴۸ ساله داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای، با اطمینان نسبتاً بالایی انتظار می‌رود که دبی حداکثر لحظه‌ای در این ایستگاه‌ها در اوایل فروردین رخ دهد که سیل فروردین ۱۳۹۸ در این منطقه نیز نمونه‌ای از این رخدادها و تأییدی بر این یافته تحقیق است. بنابراین، داشتن اطلاعات در خصوص MDF برای بسیاری از مسائل از قبیل آمادگی در برابر سیل، مدیریت منابع آب و استفاده‌ی جوامع انسانی از کانال‌های رودخانه، مدیریت دشت‌های سیلابی، اکولوژی موجودات آبی و ساحلی بسیار مفید خواهد بود.



شکل ۲: طبقه‌بندی ایستگاه‌های هیدرومتری براساس میزان میانگین روز وقوع سیل (MDF)

نمودارهای دایره‌ای برای نشان دادن تغییرهای فصلی سیل کاربرد خوبی دارند. هر ربع از دایره نشانگر یک فصل از سال می‌باشد. در شکل ۳ نمودار دایره‌ای پراکنش نقطه‌ای رویدادهای سیل در فضای تعریف‌شده توسط $\bar{X}$ و $\bar{Y}$ نشان داده شده است، ردیف اول به ترتیب از راست مربوط به سه حوزه باغه سالیان، آق قلا و قزاقلی می‌باشد که در آنها $\bar{r}$ از مقدار بسیار بالایی برخوردار است و این موضوع بیانگر عدم تنوع زیاد در زمان وقوع سیل در سال‌های مختلف است. همان‌طور که در شکل مشخص است، تراکم رویدادهای سیل در دو فصل خاص بیشتر می‌باشد و نقطه قرمز رنگ نشانگر میانگین زمان وقوع سیل در دوره‌ی موردبررسی در زیر حوزه‌ی موردنظر می‌باشد. در مقابل آن ایستگاه‌های

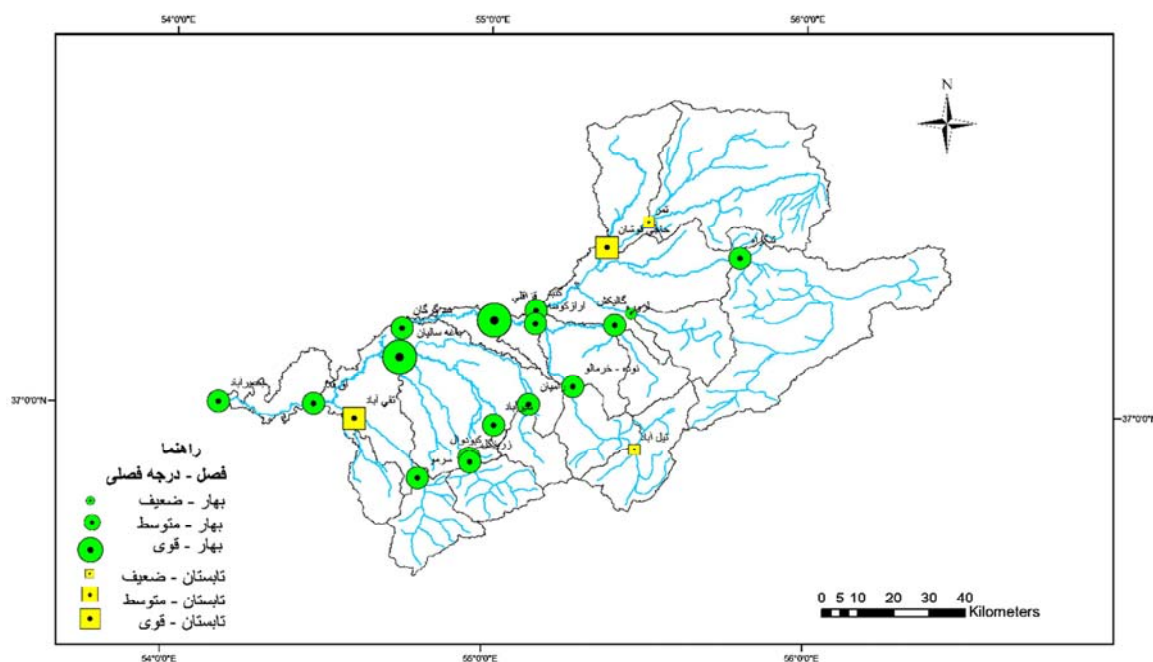
تیل آباد، تمر و گالیکش در ردیف دوم، از مقدار $\bar{r}$ کمتر و نظم کمتری را در زمان وقوع سیل در طول سال نشان می‌دهد. به‌طوری‌که رویدادهای سیل در تمام چهار فصل سال پراکنده شده‌اند و نمودار دایره‌ای به‌خوبی مؤید این نکته می‌باشد. وجود مخلوطی از مکانیسم‌های مختلف تولید سیل برای هر حوزه آبخیز می‌تواند دلیلی برای این پدیده باشد. حوضه‌ای که تنوعی از رویدادهای مختلف وقوع سیل ناشی از برف و بارندگی‌های تابستان یا پاییز را تجربه می‌کند، $\bar{r}$ کمتری خواهد داشت. درواقع وجود مکانیسم‌های مختلف تولید سیل باعث کاهش ضریب سازگاری در زمان-بندی سیل‌ها می‌شود که توسط $\bar{r}$ قابل اندازه‌گیری است. وضعیت هرکدام از ۲۰ حوضه قابل تفسیر و بررسی با سایر حوضه‌ها می‌باشد.



شکل ۳: نمودار دایره‌ای پراکنش نقطه‌ای رویدادهای سیل در فضای تعریف شده توسط $\bar{x}$ و $\bar{y}$ برای ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب حوضه رودخانه گرگانرود

در شکل ۴ نقشه‌ی میانگین فصلی دبی حداکثر لحظه‌ای برای دوره ۴۸ ساله (۱۳۹۶-۱۳۵۱) در حوضه‌ی رودخانه گرگانرود تهیه گردیده است. در این نقشه با توجه به توضیحات بخش‌های قبل، نشان داده می‌شود که میانگین رویدادهای سیل در این حوضه فقط در دو فصل بهار و تابستان به وقوع پیوسته است و ایستگاه‌هایی که سیل بهار در آن‌ها اتفاق افتاده به شکل دایره و ایستگاه‌هایی که شامل سیل تابستانه هستند به شکل مربع نشان داده شده‌اند. بنابراین فصل پاییز و زمستان در شکل یادشده وجود ندارد. اندازه بزرگی هرکدام از شکل‌ها، درجه فصلی بودن سیل چه از نوع بهار و چه از نوع تابستانه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است، قسمت اعظم حوزه تحت سلطه سیل‌های بهار است که قسمت بیشتری از این سیل‌های بهار از درجه فصلی متوسطی نیز برخوردار هستند.

حوزه‌های باغه سالیان و قزاقلی از درجه فصلی زیادی برخوردارند به این معنی که اغلب رویدادهای سیل به وقوع پیوسته در این حوزه‌ها در فصل بهار و با درجه فصلی بالا اتفاق افتاده است؛ ولی در حوزه‌های تیل آباد و لزوره درجه فصلی بسیار ضعیف است و سیل‌ها در تمام طول سال پراکنش دارند. سیل‌های تابستانه در حوزه‌های تمر، حاجی قوشان، تقی آباد و تیل آباد غلبه دارند. درجه فصلی سیل‌های تابستانه در دو حوزه تمر و تیل آباد ضعیف بوده و در دو حوزه‌ی دیگر از درجه متوسطی برخوردار است.



شکل ۴: نقشه‌ی میانگین فصلی دبی حداکثر لحظه‌ای در حوضه رودخانه گرگانرود (۱۳۹۶-۱۳۵۱)

برای بررسی تغییرهای رفتار فصلی سیل در سه دوره‌ی زمانی، مقدار پارامترهای فصلی در این سه دوره ۱۶ ساله از سال ۵۱ تا ۹۶ در ۲۰ ایستگاه‌ها هیدرومتری محاسبه شد. نتایج این محاسبه‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. مقدار $\bar{F}$ از دوره اول به دوره سوم در اکثر ایستگاه‌ها در حال نزول است؛ یعنی درجه فصلی بودن سیل‌ها کاهش یافته است. به عبارت دیگر، به طور کلی، زمان وقوع سیل در حوضه رودخانه گرگانرود به سوی بی‌نظمی پیش می‌رود. این پدیده ممکن است علل مختلفی داشته باشد که نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد. در این بررسی‌ها باید تغییرهای وسایل اندازه‌گیری، نحوه اندازه‌گیری و دقت اندازه‌گیری در طی زمان را نیز در نظر داشت و لحاظ نمود. در تعداد محدودی از ایستگاه‌ها نظیر نوده-خرمالو، قزاقلی و تمر درجه فصلی بودن سیل از دوره اول به دوره سوم افزایش یافته است. در مورد MDF در ایستگاه‌هایی که در محاسبه‌های قبلی رویدادهای سیل مربوط به فصل بهار بود در این تقسیم‌بندی نیز این نتایج تأیید می‌شود به طوری که در هر سه دوره مقدار عددی MDF در اکثر ایستگاه‌ها مربوط به فصل بهار و در روزهای مختلف آن می‌باشد. این نتایج برای حوزه‌هایی که تاریخ میانگین وقوع سیل در تابستان

داشتند نیز صدق می‌کند. بنابراین میانگین زمان رویداد سیل در حوضه رودخانه گرگانرود از گذشته تاکنون تغییر زیادی نکرده و فقط درجه فصلی آن دچار تغییر شده است.

جدول ۲: پارامترهای فصلی سیل برای سه دوره زمانی در ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه رودخانه گرگانرود

ردیف	ایستگاه	دوره	$\bar{F}$	MDF	ردیف	ایستگاه	دوره	$\bar{F}$	MDF
۱	ارازکوسه	۵۱-۶۵	۰/۵۹	۱۵/۲۷	۱۱	سد گرگان	۵۱-۶۵	۰/۶۴	۲۲/۴۲
		۶۶-۸۰	۰/۴۷	۷۸/۴۷			۶۶-۸۰	۰/۳۱	۴۲/۱۸
		۸۱-۹۶	۰/۴۹	۲۳/۴۳			۸۱-۹۶	۰/۲۹	۱۴/۱۴
۲	آق قلا	۵۱-۶۵	۰/۶۹	۱۴/۸۲	۱۲	سرمو	۵۱-۶۵	۰/۶۴	۳۲
		۶۶-۸۰	۰/۷۱	۷/۸۲			۶۶-۸۰	۰/۵۲	۵۸/۲۴
		۸۱-۹۶	۰/۴۱	۲۴/۱۳			۸۱-۹۶	۰/۴۵	۴۲/۷۰
۳	باغه سالیان	۵۱-۶۵	۰/۷۸	۱۸/۹۱	۱۳	شیرآباد	۵۱-۶۵	۰/۲۵	۶۲/۶۰
		۶۶-۸۰	۰/۸۷	۲۴/۱۵			۶۶-۸۰	-	-
		۸۱-۹۶	۰/۸۲	۱۶/۳۷			۸۱-۹۶	۰/۴۲	۴۳/۵۵
۴	بصیر آباد	۵۱-۶۵	۰/۷۷	۶/۱۰	۱۴	قزاقلی	۵۱-۶۵	۰/۶۸	۳۲/۲۷
		۶۶-۸۰	۰/۶۴	۹/۳۳			۶۶-۸۰	۰/۶۶	۳۷/۸۱
		۸۱-۹۶	۰/۳۳	۳۵۲/۷			۸۱-۹۶	۰/۸۷	۲۵
۵	تقی آباد	۵۱-۶۵	۰/۴۴	۳۸/۴۰	۱۵	کبودوال	۵۱-۶۵	۰/۱۱	۱۱۳/۷۰
		۶۶-۸۰	۰/۴۹	۱۰۹/۴۴			۶۶-۸۰	۰/۲۱	۱۸/۳۵
		۸۱-۹۶	۰/۳۰	۱۶۳/۹۹			۸۱-۹۶	۰/۵۲	۱۹/۰۴
۶	تمر	۵۱-۶۵	۰/۳۲	۳۶/۷۶	۱۶	گالیکش	۵۱-۶۵	۰/۶۲	۴/۶۸
		۶۶-۸۰	۰/۳۶	۱۲۲/۲۲			۶۶-۸۰	۰/۵۰	۱۰۵/۲۲
		۸۱-۹۶	۰/۵۷	۱۵۸/۰۴			۸۱-۹۶	۰/۱۲	۷۹/۴۱
۷	تنگراه	۵۱-۶۵	۰/۶۳	۲۰/۵۰	۱۷	گنبد	۵۱-۶۵	۰/۶۷	۲۴/۴۷
		۶۶-۸۰	۰/۸۳	۳۲			۶۶-۸۰	۰/۵۷	۶۸/۸۷
		۸۱-۹۶	۰/۳۲	۸۲/۳۴			۸۱-۹۶	۰/۵۵	۴۸/۰۱
۸	حاجی قوشان	۵۱-۶۵	۰/۳۳	۷۹/۲۴	۱۸	لزوره	۵۱-۶۵	۰/۶۷	۲۴/۵۳
		۶۶-۸۰	۰/۵۶	۱۱۳/۵۱			۶۶-۸۰	۰/۴۳	۷۲
		۸۱-۹۶	۰/۶۲	۱۵۰/۷۲			۸۱-۹۶	۰/۱۷	۷۹/۲۶
۹	رامیان	۵۱-۶۵	۰/۷۰	۲۳/۵۴	۱۹	نوده - خرمالو	۵۱-۶۵	۰/۱۷	۳۵/۶۵
		۶۶-۸۰	۰/۳۷	۸۱			۶۶-۸۰	۰/۴۱	۵۴/۹۲
		۸۱-۹۶	۰/۴۳	۴۰/۹۳			۸۱-۹۶	۰/۵۹	۵۶
۱۰	زرینگل	۵۱-۶۵	۰/۷۱	۳۳/۸۲	۲۰	تیل آباد	۵۱-۶۵	۰/۱۶	۵۳/۲۵
		۶۶-۸۰	۰/۵۳	۶۳/۶۳			۶۶-۸۰	۰/۵۹	۱۵۲/۵
		۸۱-۹۶	۰/۴۰	۵۵/۳۱			۸۱-۹۶	۰/۲۷	۴۳/۹۱

نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف بررسی ویژگی‌ها و تغییرهای فصلی رویدادهای سیل در حوضه رودخانه گرگانرود انجام گرفت. به‌طور کلی، نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که فصل وقوع عمده سیلاب‌ها در گرگانرود به‌ترتیب در بهار و تابستان است و میانگین زمان وقوع عمده‌ی رویدادهای سیل از گذشته تاکنون تغییرهای زیادی نکرده و فقط درجه فصلی آن دچار تغییر شده است. به نظر می‌رسد که وجود مخلوطی از مکانیسم‌های مختلف تولید سیل و تأثیر توأم موقعیت جغرافیایی و اندازه حوزه‌های آبخیز می‌تواند دلیل کاهش درجه فصلی سیل (میزان تمرکز زمان وقوع دبی حداکثر لحظه‌ای) در این حوضه باشد. با استفاده از این نتایج، امکان مدیریت بهتر منابع آب و پروژه‌های هیدرولوژیکی/هیدرولیکی و مدیریت ریسک فراهم می‌گردد و با اطمینان بیشتری در این زمینه‌ها تصمیم‌گیری خواهد شد. تحلیل‌های فصلی معرفی‌شده در این تحقیق، در تعیین تشابه/عدم تشابه بین حوزه‌ها قابل‌استفاده خواهد بود. جهت تعیین مقدار عددی این تشابه/عدم تشابه از فاصله اقلیدسی بین حوزه‌ها بر اساس مختصات برداری x و y می‌تواند استفاده شود و هرچقدر مقدار این فاصله کم باشد نشان‌دهنده‌ی این است که حوزه‌های مربوطه از نظر تغییرهای فصلی سیل مشابه یکدیگر هستند. در این مطالعه فقط دبی‌های حداکثر لحظه‌ای مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. جهت افزایش کارایی و دقت در این تحقیق، پیشنهاد می‌شود با روشی مثل $peak\ over\ threshold$ همه سیل‌ها را استخراج و تحلیل فصلی را بر اساس همه سیل‌ها انجام داد. علاوه بر آن علل دقیق تغییرهای درجه فصلی سیل ریشه‌یابی نشد که لزوم انجام تحقیق‌های جزئی‌تر در این خصوص را می‌طلبد. علاوه بر این‌ها با توجه به اینکه تغییر در فصول سال، تغییرها در پوشش گیاهی و ذخیره رطوبتی خاک را به دنبال دارد، انجام تحقیق‌های تحلیل فراوانی وقوع سیلاب در فصول سال می‌تواند در این زمینه قابل توجه باشد.

منابع

- رحمتی امید، طهماسبی پور ناصر و پورقاسمی حمیدرضا (۱۳۹۴)، اولویت‌بندی سیلخیزی زیرحوضه‌های آبخیز استان گلستان براساس آنالیز مورفومتريک و همبستگی آماری، مجله اکوهیدرولوژی، دوره دوم، شماره ۲، ص ۱۶۱-۱۵۱.
- Archer, D. (2003). Contrasting hydrological regimes in the upper Indus Basin. *Journal of Hydrology*, 274(1-4), 198-210.
- Arias, M. E., Cochrane, T. A., Norton, D., Killeen, T. J., & Khon, P. (2013). The flood pulse as the underlying driver of vegetation in the largest wetland and fishery of the Mekong Basin. *Ambio*, 42(7), 864-876.
- Berghuijs, W. R., Woods, R. A., Hutton, C. J., & Sivapalan, M. (2016). Dominant flood generating mechanisms across the United States. *Geophysical Research Letters*, 43(9), 4382-4390.
- Beurton, S., & Thieken, A. H. (2009). Seasonality of floods in Germany. *Hydrological Sciences Journal*, 54(1), 62-76.
- Black, A. R. (1994). Seasonality of flooding in the white Laggan Burn, Kirkcudbrightshire. *Scottish Geographical Magazine*, 110 (3), 162-167.
- Black, A. R., & Werritty, A. (1997). Seasonality of flooding: a case study of North Britain. *Journal of Hydrology*, 195(1-4), 1-25.
- Blöschl, G., Piock-Ellena, U., Merz, R. & Gutknecht, D. (1999). Prozeßorientierte Regionalisierung von Hochwässern. *Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft Universität Kaiserslautern Berichte* 9, 267-285 (in German).
- Burn, D.H., (1996). The use of seasonality measures in hydrology. In: Brunelle, P.E., Editor. *Proceedings, Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering, Montreal, Quebec*. vol. I. pp. 264-273.
- Burn, D. H. (1997). Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures. *Journal of Hydrology*, 202(1-4), 212-230.
- Collins, M. J., Kirk, J. P., Pettit, J., DeGaetano, A. T., McCown, M. S., Peterson, T. C., ... & Zhang, X. (2014). Annual floods in New England (USA) and Atlantic Canada: synoptic climatology and generating mechanisms. *Physical Geography*, 35(3), 195-219.

- Collins, M. J. (2019). River flood seasonality in the Northeast United States: Characterization and trends. *Hydrological Processes*, 33(5), 687-698.
- Cunderlik, J. M., and D. H. Burn. (2002). The use of flood regime information in regional flood frequency analysis, *Hydrol. Sci. J.*, 47(1), 77– 92.
- Cunderlik, J. M., & Ouarda, T. B. (2009). Trends in the timing and magnitude of floods in Canada. *Journal of Hydrology*, 375(3-4), 471-480.
- De Michele, C., & Rosso, R. (2002). A multi-level approach to flood frequency regionalization. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 6(2), 185-194.
- Gardiner, J. (1994). Environmental impact of floods. In G. Rossi, N. B. Harmancioglu, & V. Yevjevich (Eds.), *Coping with floods* (pp. 529–548). Dordrecht: Springer.
- Hirschboeck, K. K. (1988). Flood hydroclimatology. In “Flood Geomorphology.” (VR Baker, RC Kochel, and PC Patton, Eds.), *Flood Geomorphology* (pp. 27–49).
- Javelle, P., Ouarda, T. B., & Bobée, B. (2003). Spring flood analysis using the flood-duration–frequency approach: application to the provinces of Quebec and Ontario, Canada. *Hydrological Processes*, 17(18), 3717-3736.
- Jenks, G. F. (1967). The data model concept in statistical mapping. *International Yearbook of Cartography*, 7, 186-190.
- Köplin, N., Schädler, B., Viviroli, D., & Weingartner, R. (2014). Seasonality and magnitude of floods in Switzerland under future climate change. *Hydrological Processes*, 28(4), 2567-2578.
- Koutroulis, A. G., Tsanis, I. K., & Daliakopoulos, I. N. (2010). Seasonality of floods and their hydrometeorological characteristics on the island of Crete. *Journal of Hydrology*, 394(1-2), 90-100.
- Lecce, S. A. (2000). Seasonality of flooding in North Carolina. *Southeastern Geographer*, 40(2), 168-175.
- Collins, M. J. (2019). River flood seasonality in the Northeast United States: Characterization and trends. *Hydrological Processes*, 33(5), 687-698.
- Magilligan, F. J., & Graber, B. E. (1996). Hydroclimatological and geomorphic controls on the timing and spatial variability of floods in New England, USA. *Journal of Hydrology*, 178(1-4), 159-180.
- Mardia, K. V. (1975). Statistics of directional data. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 37(3), 349-371.
- Merz, R., Piock-Ellena, U., Blöschl, G. & Gutknecht, D. (1999). Seasonality of flood processes in Austria. In: *Hydrological Extremes: Understanding, Predicting, Mitigating* (ed. by L. Gottschalk, J.-C. Olivry, D. Reed & D. Rosbjerg), 273–278. IAHS Publ. 255. IAHS Press, Wallingford, UK.
- Næsje, T., Jonssons, B., & Skurdal, J. (1995). Spring flood: a primary cue for hydrometeorological hatching of river spawning Coregoninae. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 52(10), 2190-2196.
- Ouarda, T. B., Haché, M., Bruneau, P., & Bobée, B. (2000). Regional flood peak and volume estimation in the northern Canadian basin. *Journal of Cold Regions Engineering*, 14(4), 176-191.
- Ouarda, T. B., Ashkar, F., & El-Jabi, N. (1993). Peaks over the threshold model for seasonal flood variations. In *Engineering Hydrology* (pp. 341-346). ASCE.
- Richards, K. (1994). Peaks-over-threshold flood database: Summary statistics and seasonality by Adrian C. Bayliss and Richard C. Jones, Institute of Hydrology Report No. 121, Natural Environment Research Council, 1993. No. of pages: 61. Price:£ 15. ISBN 0948-540-47-8. *Earth Surface Processes and Landforms*, 19, 675-675.
- Robertson, A. I., Bacon, P., & Heagney, G. (2001). The responses of floodplain primary production to flood frequency and timing. *Journal of Applied Ecology*, 38(1), 126-136.
- Sivapalan, M., Blöschl, G., Merz, R., & Gutknecht, D. (2005). Linking flood frequency to long-term water balance: Incorporating effects of seasonality. *Water Resources Research*, 41(6).
- Villarini, G. (2016). On the seasonality of flooding across the continental United States. *Advances in Water Resources*, 87, 80-91.
- Ye, S., Li, H. Y., Leung, L. R., Guo, J., Ran, Q., Demissie, Y., & Sivapalan, M. (2017). Understanding flood seasonality and its temporal shifts within the contiguous United States. *Journal of Hydrometeorology*, 18(7), 1997-2009.

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره نهم، شماره ۲۵، پاییز ۱۳۹۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۱۰

تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۲۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۰۵

صفحات: ۱۷۰ - ۱۵۹

مقاله (علمی پژوهشی)

ارزیابی اثرهای محیط زیستی واحد تولید سنگ آهن (مطالعه موردی: معدن سنگ آهن قینرجه تکاب)

میرمهرداد میرسنجری^{۱*}، نفیسه رضاپور اندبیلی^۲

۱. استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

۲. دانشجوی دکترای محیط زیست، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

چکیده

در حال حاضر به منظور دستیابی به توسعه پایدار در کشور و به منظور پیشگیری از آلودگی و تخریب محیط زیست کلیه فعالیت های عمرانی و توسعه ای در کشور با در نظر گرفتن ملاحظه های محیط زیستی صورت می گیرد. بر همین اساس پیش از اجرای بسیاری از پروژه های عمرانی و توسعه ای، پیامدها و اثرهای این گونه طرح ها بر محیط زیست منطقه شناسایی و پیش بینی گردیده و اقدام های لازم به منظور کنترل و کاهش آن ها به کار بسته می شود و این کار عموماً از طریق انجام ارزیابی اثرهای محیط زیستی طرح های توسعه بر اساس قوانین موجود در کشور انجام می شود. برای ارزیابی اثرهای محیط زیستی طرح واحد تولید سنگ آهن قینرجه تکاب و تحلیل دو گزینه اجرا و عدم اجرای پروژه در دو فاز ساختمانی و بهره برداری، از ماتریس ساراتوگا استفاده گردید. در این مطالعه اثرهای گزینه عدم اجرا توأم با گزینه اجرای طرح ارزیابی گردید و در گزینه اجرایی آثار تمام فعالیت های پروژه بر محیط زیست مورد بررسی قرار گرفت. محوریت توجه در ارزیابی محیط زیستی بر آثار قطعی می باشد؛ ولی اثرهای احتمالی شاخص نیز مهم تلقی شده و مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج برآیند اثرها در فاز ساختمانی (۱۰۸-) و در فاز بهره برداری (۱۲۷+) نشان می دهد که اجرا و بهره برداری از واحد تولید سنگ آهن قینرجه تکاب اثرهای مثبت به دنبال دارد و با توجه به غالب بودن اثرهای قطعی، ریز فعالیت های پروژه ی واحد تولید سنگ آهن قینرجه تکاب، قابل اجرا می باشند.

واژگان کلیدی: ماتریس ساراتوگا، محیط زیست، ارزیابی اثرها، توسعه پایدار.

مقدمه

ارزیابی اثرهای محیط زیستی^۱، روشی است که در آن اثرهای ناشی از انجام یک پروژه یا عملیات آن بر محیط زیست بررسی و پیش بینی می گردد تا در هنگام انجام پروژه، با توجه به شناخت وضعیت موجود و نوع اثرها، عملیات به صورتی انجام پذیرد تا کمترین اثر بر محیط زیست وارد گردد. فرآیند ارزیابی اثرهای محیط زیستی در وهله اول برای کمک به برنامه ریزی صحیح توسعه پایدار و سپس وسعت بخشیدن به پروژه های توسعه موجود پایه ریزی شده است (لجاس^۲ و همکاران، ۲۰۱۰). یکی از مراحل مهم در ارزیابی اثرهای محیط زیستی یک پروژه، پیش بینی تغییرات در محیط زیست منطقه می باشد. پس از شناسایی نوع، اهمیت و میزان اثرها، تغییراتی را که در صورت اجرای پروژه بر محیط زیست به وقوع خواهد پیوست، پیش بینی می گردد. مهم ترین روش های کاربردی در حال حاضر که در کشور ما نیز بیشتر از روش های دیگر استفاده می گردند، عبارتند از:

روش های کارشناسی، شبکه ها، روی هم گذاری صفحات، صورت ریزها، ماتریس ها با کمک یکی از روش های بالا، گزینه های انتخابی معیار گذاری و گزینه برتر انتخاب می گردد (گیلونا^۳ و همکاران، ۲۰۱۳). انتخاب روش با توجه به نوع و وسعت پروژه و نظرهای کارشناسان، می تواند متفاوت باشد. گاهی برای اطمینان از نتیجه حاصله می توان از بیش از یک روش برای ارزیابی و انتخاب گزینه برتر استفاده نمود. پس از ارزیابی اثرهای گزینه ها و انتخاب گزینه برتر، از آنجایی که هر یک از آن ها دارای اثرهای منفی بر محیط زیست می باشند، باید روش هایی جهت حذف، کاهش و یا کنترل اثرهای نامطلوب و سوء محیط زیستی، امکان تجدید پذیری، احیاء و یا جبران خسارت وارده بر محیط زیست ارائه گردد (نوابی و همکاران، ۱۳۹۵). انتخاب روش مناسب در ارزیابی محیط زیستی یک پروژه، اولین گام در زمینه پیش بینی و ارزیابی اثرهای محیط زیستی می باشد. ارزیابی محیط زیستی دارای اهداف متعددی می باشد که مهم ترین هدف انجام ارزیابی محیط زیستی، اطمینان یافتن از رعایت سیاست ها و اهداف تعیین شده در برنامه ها و فعالیت های یک طرح یا پروژه در راستای ضوابط و قوانین می باشد (ولی زاده و شگری، ۱۳۹۴). مدنی و همکاران ۱۳۹۶؛ به ارزیابی اثرهای محیط زیستی کارخانه فولاد و نورد تیارم بیستون با استفاده از روش ماتریس^۴ پرداختند که مشخص گردید در دوران ساخت و ساز، بیشترین اثرهای منفی در محیط فیزیکی- شیمیایی ناشی از فعالیت های احداث و برچیدن کارگاه، عملیات خاکی و احداث کمپ ها، بر پارامترهای کیفیت هوا، تراز صوتی، فرسایش خاک و منابع آب سطحی می باشد. ارزیابی اثرهای محیط زیستی منطقه نمونه گردشگری آذران نیز در استان اردبیل با استفاده از روش ماتریس ساراتوگا انجام شد. نتایج به دست آمده نشان داد در مرحله ساختمانی مجموع اثرهای مثبت برابر ۴۸۳+ و مجموع اثرهای منفی برابر ۴۷۳- بود و در مرحله بهره برداری به ترتیب ۷۹۹+ و ۱۹۸- به دست آمد. مقادیر کمی، نسبت بالای اثرهای مثبت طرح را نسبت به اثرهای منفی آن نشان داد (فتابی و شیخ جباری^۵، ۲۰۱۱). در ارزیابی آثار محیط زیستی، آثار طرح بر محیط زیست پیش بینی می شود تا از آسیب به محیط زیست جلوگیری شود. در ارزیابی محیط زیستی که در کشور هند توسط ساندیپ و همکاران در سال ۲۰۱۷؛ برای استخراج آهن انجام شد و یکی از اهداف آن کنترل سروصدای ناشی از انجام پروژه بود، مشخص گردید این

¹ - Environmental Impact Assessment

² - Ljäs et al

³ - Gilbuena et al

⁴ - RIAM

⁵ - Fataei & Sheikh Jbbari

پروژه دارای تأثیر منفی روی خاک منطقه و دارای تأثیر مثبت روی کاربری اراضی است. از طریق اعمال مدیریت مناسب امکان کاهش تأثیرهای منفی وجود خواهد داشت؛ اما تدوین یک راهنما از بهترین شیوه‌های استخراج آهن همراه با استانداردهای محیط زیستی ضروری است (ساندپ و همکاران^۱، ۲۰۱۷). حیدری و همکاران در سال ۲۰۱۷؛ به ارزیابی اثرهای محیط زیستی کارخانه سیمان زاوه در شهر تربت حیدریه با استفاده از روش ماتریس لئوپولد ایرانی پرداختند که مشخص گردید در صورت اجرای طرح‌های بهسازی، این پروژه قابل قبول است و آثار منفی محیطی به میزان زیادی کاهش خواهد یافت (حیدری و همکاران^۲، ۲۰۱۷). زینت زاده و همکاران در سال ۲۰۱۵؛ به ارزیابی اثرهای محیط زیستی کارخانه آهن و استیل کردستان با استفاده از دو روش چک‌لیست و ماتریس پرداختند که مشخص گردید بیشتر آلودگی گردوغبار منطقه ناشی از عملیات ریخته‌گری در کارخانه است که با نصب کیسه فیلتر تا حدود زیادی قابل کنترل است (زینت زاده و همکاران^۳، ۲۰۱۵). با توجه به اهمیت ارزیابی اثرهای محیط زیستی پروژه‌ها، مطالعات ارزیابی اثرهای محیط زیستی معدن سنگ آهن قینرجه تکاب، پس از جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل اطلاعات با هدف بررسی آثار مثبت و منفی حاصل از احداث کارخانه و ارائه راهکارهای مدیریتی کاهش اثرهای سوء محیط زیستی با بهره‌گیری از روش ماتریس ساراتوگا انجام شد. به‌طور کلی تولید آهن در ایران، به‌عنوان یک منبع داخلی تهیه آهن موردنیاز کشور موردتوجه قرار گرفته است. این عمل منجر به کاهش واردات این محصول، کاهش واردات کربنات سدیم، حذف واردات کربنات پتاسیم و برطرف ساختن نیاز داخلی کشور به سیمان می‌گردد. در زیر به برخی موارد ضرورت انجام این پژوهش اشاره شده است:

وجود ذخایر بزرگ سنگ آهن در شمال غرب کشور به‌عنوان ماده اولیه و استفاده بهینه از آن

عدم آلودگی مهم محیط زیستی

وجود تکنولوژی ساخت بیشتر ماشین‌آلات در داخل کشور

بنابراین، هدف از اجرای پروژه ایجاد زمینه لازم جهت تولید آهن می‌باشد تا بدین‌وسیله ضمن ایجاد اشتغال پایدار در منطقه و تأمین بخشی از نیازهای بازار مصرف داخلی، محصولات تولیدی به بازارهای مصرف خارج نیز صادر گردیده و تولیدات معادن پراکنده منطقه ساماندهی گردد.

داده‌ها و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

برای انجام ارزیابی و شناخت اثرات فعالیت‌های پروژه، محیط‌زیست محل پروژه بایستی مورد شناسایی و تشریح قرار گیرد. چنانچه شرح کاملی از محیط‌زیست منطقه به عمل نیاید، به‌روشنی تشریح اثرها صورت نخواهد گرفت. دراین‌بین تعریف محدوده تحت تأثیر پروژه از اهمیت بسزایی برخوردار است. محدوده مورد مطالعه شامل محل اجرای پروژه و سایر مناطقی است که به نحوی تحت تأثیر اثرهای مستقیم و غیرمستقیم اجرای پروژه قرار می‌گیرد. به این منظور در این

¹ - Sundeep et al

² - Heydari et al

³ - Zinatizadeh et al

محدوده بلا فصل

شکل ۱: محدوده بلا فصل واحد تولید سنگ آهن قینرجه تکاب

محدوده تحت تأثیر مستقیم

محدوده‌ای است که خارج از محدوده بلافصل بوده و اثرهای ناشی از فعالیت‌های پروژه به‌طور مستقیم بر این محدوده تأثیرگذار می‌باشند؛ مانند رودخانه اطراف سایت احداث پروژه (بلندرفتر و همکاران^۱، ۲۰۱۳). این محدوده شامل بخشی از حوزه آبریز تکاب می‌باشد که بر اساس مرز خرد حوزه‌های موجود در منطقه که تحت تأثیر مستقیم ناشی از پروژه بوده و دربرگیرنده روستاهایی است که به‌طور مستقیم تحت تأثیر اجرای پروژه قرار می‌گیرند، انتخاب شده است.

محدوده تأثیر غیرمستقیم

در فاصله‌ای دورتر از مکان احداث پروژه قرار گرفته و امکان دارد به علت گسترش دامنه اثرها، تحت تأثیر قرار گیرد (بانرومکاو و مورایاما^۲، ۲۰۱۱). این محدوده دارای وسعت کمابیش زیادی است و علاوه بر روستاهای موجود در منطقه، اثرهای آن به‌طور غیرمستقیم شهرستان تکاب را در بر خواهد گرفت.

خصوصیت‌های فنی این پروژه شامل: فعالیت‌های فاز ساختمانی (تجهیز کارگاه، عملیات خاک‌برداری و خاک‌ریزی، احداث فونداسیون و سازه بدنه و ایزولاسیون سد، احداث تأسیسات و نصب تجهیزات، نصب فنس سیمی پیرامون مخزن سد، احداث زهکش رواناب سطحی دو طرف مخزن سد، نصب سلول‌های فلوتاسیون در سالن تولید و آسیاب و سنگ‌شکن در فضای مسقف و نصب فیلتر کیسه‌ای، احداث فضای سبز و محوطه‌سازی، نصب ایستگاه سنجش لحظه‌ای آلاینده‌های هوا)، فاز بهره‌برداری (برداشت کانسنگ از معدن، جام عملیات خردایش و آسیاب کانسنگ، تهیه پالپ و انجام فرایند فلوتاسیون، جمع‌آوری، تیکنر و بسته‌بندی، انتقال و ذخیره باطله به مخزن سد باطله، در صورت لزوم تعمیر و نگهداری بدنه سد و پوشش ایزولاسیون مخزن) است (هرمن و همکاران^۳، ۲۰۱۵). برای ارزیابی اثرهای محیط زیستی واحد تولید سنگ آهن و تحلیل دو گزینه اجرا و عدم اجرای پروژه، از روش ماتریس ساراتوگا که اولین بار در بوستن آمریکا ارائه شد، استفاده شده است. این روش دارای ویژگی‌هایی مانند قابلیت کمی سازی کیفیت اثرها و فراهم آوردن زمینه‌ای مناسب جهت مقایسه آسان‌تر آن‌ها در ارتباط با یکدیگر می‌باشد. ماتریس ساراتوگا شامل یک ستون عمودی و یک ردیف افقی می‌باشد. در ستون عمودی ماتریس، فعالیت‌ها و در ردیف افقی فاکتورهای محیط زیستی قرار دارند. هر سلول این ماتریس به چهار بخش شامل: مدت، شدت، دامنه و اهمیت تقسیم شده که اثرگذاری‌های مختلف فعالیت‌ها را بدون اعمال ماهیت اثر (مثبت یا منفی) و نحوه وقوع اثر (قطعی یا احتمالی) نشان می‌دهند (رباطی و عتابی، ۱۳۸۹).

ارزش‌گذاری اثرها

نحوه تأثیر اثرهای پروژه بر فاکتورهای محیط‌زیست بر اساس ماهیت اثر، بیانگر مطلوبیت یا عدم مطلوبیت اثر می‌باشد و به‌صورت منفی (-) و مثبت (+) مشخص شده‌اند. مدت اثر، شاخصی جهت تعیین مدت‌زمان تأثیرگذاری فعالیت پروژه بر پارامترهای محیط زیستی است (چن و همکاران^۴، ۲۰۱۳). امتیازدهی به مدت اثر بر اساس مدت‌زمان تأثیر ریز فعالیت‌های مرتبط با پروژه (کوتاه‌مدت یا بلندمدت) صورت گرفته است. شدت اثر، معیاری جهت نشان دادن

1 - Bolandraftar et al

2 - Bunruamkaew and Murayama

3 - Herrmann et al

4 - Chen et al

شدت و ضعف تأثیرگذاری ریز فعالیتهای پروژه بر فاکتورهای محیط زیستی می‌باشد. بدین ترتیب که اثرها با شدت کم، متوسط و زیاد به ترتیب ارزشی معادل ۱، ۲ و ۳ را دریافت می‌کنند (فرتی و پوماریکو^۱، ۲۰۱۴). اهمیت اثر برحسب میزان تغییری که یک اثر خاص در یک عامل محیطی ایجاد کرده و آن را نسبت به آستانه تحمل محیطی سوق می‌دهد، می‌تواند اثر با اهمیت کم، اثر با اهمیت متوسط و یا اثر مهم باشد که به ترتیب امتیازی از ۱ تا ۳ بر آن‌ها تخصیص می‌یابد. دامنه اثر، شاخص توصیفی محدوده‌های تأثیرپذیر ریز فعالیتهای پروژه می‌باشد. ارزش این شاخص در محدوده‌های بلافصل، مستقیم و غیرمستقیم پروژه به ترتیب برابر ۱، ۳ و ۵ تعریف شده است. اثرهای قطعی، اثرهایی هستند که بروز آن‌ها به‌طور کامل قابل پیش‌بینی و حتی مشاهده است. اثرهای احتمالی، اثرهایی هستند که بروز آن‌ها به‌طور کامل و به‌طور قطعی قابل پیش‌بینی نمی‌باشد؛ اما احتمال بروز آن‌ها وجود دارد. گزینه عدم اجرای پروژه تحت عنوان "گزینه نه" بررسی می‌شود. این گزینه بدان معنا است که چنانچه پروژه پیشنهادی اجرا نگردد، وضعیت آبی محیط‌زیست در این شرایط چگونه خواهد بود. گزینه اجرای پروژه نیز تحت همین عنوان (گزینه اجرایی) مورد مطالعه قرار می‌گیرد و تغییرهای محیط‌زیست در صورت اجرای پروژه پیش‌بینی و با گزینه‌های دیگر مقایسه می‌گردد. تعداد گزینه‌ها در پروژه‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد. این امر می‌تواند با توجه به نوع پروژه، مکان‌های پیشنهادی و شرایط محیطی تعیین گردد. مرحله بعدی انتخاب گزینه برتر است. این امر با استفاده از روش‌های مختلف صورت می‌پذیرد.

نتایج و بحث

ارزیابی واحد تولید سنگ آهن قینرجه تکاب در مرحله ساختمانی

ساخت کارخانه و بخش‌هایی نظیر آسیاب‌ها، سیلوی ذخیره‌سازی، انبار مواد شیمیایی و محصولات نهایی می‌تواند در مقاطع زمانی سهمی در افزایش آلودگی‌های آب و رواناب‌ها داشته باشد (چن و همکاران^۲، ۲۰۱۰). فعالیت ساخت کارخانه و ملحقات آن پنج دوره مشخص تسطیح زمین، پی‌کنی، پی‌ریزی، بالا بردن اسکلت و نازک‌کاری و نصب دستگاه‌ها را به دنبال خواهد داشت. آلودگی آب در عملیات ساخت کارخانه بیشتر مربوط به تغییرهای زمین و مواقع بارندگی می‌باشد. اگر بارندگی هم‌زمان با دست‌کاری زمین و پخش سنگ و خاک در اطراف بوده باشد، رواناب‌ها مواد بیشتری نسبت به معمول منطقه با خود حمل می‌نماید و با ورود به آب‌های سطحی در صورت وجود مواد معلق، کدورت و املاح آب را افزایش می‌دهند. مصرف آب جهت عملیات ساختمانی کارخانه و میزان آب‌های سطحی در منطقه به‌اندازه‌ای نیست که کمیت و کیفیت آب‌های سطحی را تغییر دهد. فاضلاب مشخصی نیز در اثر عملیات ساختمانی کارخانه ایجاد نمی‌گردد. باین‌حال اثر احداث کارخانه تولید کنسانتره آهن بر آب‌های سطحی منطقه منفی پیش‌بینی می‌شود. اثر احداث کارخانه تولید کنسانتره آهن بر تولید مواد زاید در منطقه قابل گذشت برآورد می‌شود؛ زیرا خاک‌های برداشت شده از یک قسمت و یا اضافه مصالح در نقاط دیگر ریخته می‌شود تا تسطیح انجام گیرد. عملیات ساختمانی کارخانه حدود ۳ سال به طول خواهد انجامید. در این مدت خاک‌برداری‌های مختلف صورت خواهد گرفت و نقل و انتقالات ماشین‌آلات نیز بر میزان آلودگی هوا می‌افزاید. ماشین‌آلات در هنگام کار با مصرف

1 - Ferretti and Pomarico

2 - Chen et al

سوخت‌های کمابیش سنگین میزان زیادی SO₂، دود و هیدروکربن‌های مختلف تولید می‌کنند که این مواد آلودگی هوای منطقه را افزایش خواهند داد. افزایش SO₂، CO₂، ذرات و دود در منطقه در زمان اجرای عملیات ساختمانی غیر قابل اجتناب است. اثرهای فعالیت‌های ساختمانی هم‌زمان با فاز احداث کارخانه به دلیل فاصله تا مناطق مسکونی اطراف سایت پروژه منفی، ضعیف و موقتی برآورد می‌شود.

جدول ۱: جمع‌بندی امتیازهای اثرهای قطعی و احتمالی ریز فعالیت‌های طرح واحد تولید سنگ آهن قینرجه تکاب در مرحله آماده‌سازی و ساخت و ساز

اثرها	قطعی (C)						احتمالی (P)					
	اثرهای مثبت			اثرهای منفی			اثرهای مثبت			اثرهای منفی		
	جمع امتیازهای قطعی مثبت	تعداد اثرهای قطعی مثبت	میانگین اثرهای قطعی مثبت	جمع امتیازهای قطعی منفی	تعداد اثرهای قطعی منفی	میانگین اثرهای قطعی منفی	جمع امتیازهای احتمالی مثبت	تعداد اثرهای احتمالی مثبت	میانگین اثرهای احتمالی مثبت	جمع امتیازهای احتمالی منفی	تعداد اثرهای احتمالی منفی	میانگین اثرهای احتمالی منفی
محیط فیزیکی	۰	۰	۰	۱۵۷	۴۶	۳/۴	-۱۵۷	۰	۰	۰	۷	۴/۲
محیط طبیعی و بیولوژیکی	۰	۰	۰	۹۰	۲۷	۳/۳	-۹۰	۰	۰	۰	۱۴	۳/۱
محیط اقتصادی - اجتماعی و فرهنگی	۳۱۳	۶۵	۴/۸	۱۰۰	۲۰	۵	۲۱۳	۰	۰	۰	۰	۰
جمع محیط زیست	۳۱۳	۶۵	۴/۸	۳۴۷	۹۳	۳/۷	-۳۴	۰	۰	۰	۲۱	۳/۵

آلودگی صدا، ناشی از رفت‌وآمد وسایل نقلیه در جاده است. با توجه به اینکه منطقه احداث سایت کارخانه تولید کنسانتره آهن از مناطق مسکونی فاصله دارد، بنابراین عملیات احداث کارخانه تأثیر چندانی بر مردم منطقه نخواهد داشت؛ اما آلودگی صوتی ناشی از فعالیت‌های ساختمانی می‌تواند تا حدی بر گونه‌های جانوری منطقه تأثیرهایی داشته باشد. اثرهای فاز ساختمانی کارخانه بر تراز صوتی منطقه منفی پیش‌بینی شده است. سروصدا در فاصله دو کیلومتری از محل احداث کارخانه به کمتر از ۷۰ دسی‌بل خواهد رسید که مرز استاندارد است؛ اما از آنجاکه هم‌زمان با فاز ساختمانی عملیات استخراج، فرآوری و انتقال مواد معدنی از کارخانه موجود صورت می‌گیرد، بنابراین اثرهای فاز ساختمانی بر تراز صوتی منطقه در محدوده‌های حدود ۵ کیلومتر (شامل روستاهای محدوده طرح) منفی پیش‌بینی می‌شود. فاکتورهای محیط زیستی در نظر گرفته‌شده در ماتریس عبارتند از: آلودگی صوتی، غلظت گاز SO₂، CO₂، ذرات معلق در هوا، خاک، آب‌های زیرزمینی، شکل زمین، بخش بهبود چشم‌انداز، کاهش ترافیک، افزایش اشتغال، بهبود تسهیلات رفاهی برای ساکنان، کاشت فضای سبز، فرسایش خاک، گونه‌های جانوران که فعالیت‌هایی مانند خاک‌ریزی، جمع‌آوری تجهیزات، کاشت فضای سبز، تسطیح، حفاری، از بین رفتن فضای سبز و

تنوع زیستی، حمل و نقل و آسفالت معابر برای فاکتورهای یادشده در نظر گرفته شده است. بخش‌های مختلف گزینه اجرایی طرح در فاز ساختمانی، اثر کمابیش مشابهی بر سایر طرح‌های توسعه در منطقه دارد. جهت شروع طرح، بایستی جاده‌ها بین بخش‌های مختلف سایت، کارخانه و معادن احداث گردد؛ امکانات زندگی در منطقه فراهم شود و تخصص‌های گوناگون در منطقه مشغول به کار شوند. توسعه‌های جنبی بی‌گمان در منطقه انجام خواهد شد و به تناسب زمان و ظهور نیازهای جدید، فعالیت‌های جدید نیز به راه خواهند افتاد. به عنوان نمونه، اثر اجرای طرح بر توسعه منطقه را می‌توان ایجاد رستوران‌ها، فروشگاه‌های مواد غذایی و پوشاک، تعمیرگاه‌ها و غیره نام برد. توسعه‌های بعدی شامل صنایع فلزی و کانی‌های غیر فلزی و خدماتی و امثال آن‌ها خواهد بود. به این ترتیب فعالیت‌های مربوط به استخراج معادن، ساخت کارخانه، امور زیربنایی، محوطه‌سازی و غیره بر سایر طرح‌های توسعه، اثر مثبت خواهد گذاشت. در فاز ساختمانی که فقط عملیات تخریب زمین و ساخت سایر بخش‌های مختلف در آن انجام می‌گیرد، انتظار سرمایه‌گذاری برای طرح‌های توسعه جانبی را نمی‌توان داشت؛ ولی مقدمه‌ای برای طرح‌ریزی و برنامه‌ریزی برای آینده خواهد بود. اثر مفید و مضر گزینه اجرایی بر سایر طرح‌های توسعه در فاز ساختمانی مساوی تشخیص داده شده است.

نتیجه‌گیری گزینه‌های ارزیابی فاز ساختمانی

نتایج به دست آمده از ارزیابی اثرهای محیط زیستی مرحله ساختمانی در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در صورت اجرای پروژه در مرحله ساختمانی، جمع برآیند اثرهای محیط زیستی طرح برابر با (108-) می‌باشد و با توجه به اینکه اجرای پروژه با اجرای گزینه‌های اصلاحی در صورتی امکان‌پذیر است که در ردیف‌ها میانگین کمتر از $3/1$ - وجود نداشته باشد و تعداد ستون‌های با میانگین کوچک‌تر از $3/1$ - کمتر از ۵۰٪ باشد (عباسی و همکاران^۱، ۲۰۱۴). اختلاف معنی‌دار اثرهای منفی پروژه در گزینه‌های مورد بررسی نشان از این دارد که علی‌رغم اثرهای منفی، گزینه اجرای پروژه اثرهایی کوتاه‌مدت و با شدت و اهمیت کم دارد.

جدول ۲: جمع‌بندی نتایج مرحله ساختمانی اجرای طرح واحد تولید معدن سنگ آهن قینرجه تکاب

گزینه اجرای پروژه در فاز ساختمانی		اثرها
اثرات مثبت	اثرات منفی	
0	۱۸۷	محیط فیزیکی
0	۱۳۴	محیط طبیعی و بیولوژیکی
۳۱۳	۱۰۰	محیط اقتصادی - اجتماعی و فرهنگی
۳۱۳	۴۲۱	جمع
-۱۰۸		تفاضل آثار منفی و مثبت

ارزیابی واحد تولید معدن سنگ آهن قینرجه تکاب در مرحله بهره‌برداری

کارخانه تولید معدن سنگ آهن قینرجه تکاب با ظرفیت تولید ۱۱۰،۰۰۰ تن کنسانتره آهن در سال طراحی شده است. بهره‌برداری از کارخانه و بخش‌های وابسته به آن نظیر نوار فیدرها، آسیاب‌ها، ترانسفورماتور برق و پمپاژ آب و پمپ‌های هوادهی و ... بر توپوگرافی منطقه اثر منفی مختصری خواهد گذاشت. با توجه به وجود جریان آب‌های سطحی در منطقه، فعالیت‌های کارخانه بر کمیت آب‌های سطحی دارای اثری دوگانه است. در بخشی از کارخانه آب موردنیاز از آب‌های سطحی منطقه تأمین می‌شود. پس از مصرف و تصفیه، بخشی از پساب‌های بهداشتی ممکن است به آب‌های سطحی وارد گردد. بهره‌برداری از کارخانه تولید کنسانتره آهن بر پوشش گیاهی و جانوری منطقه اثر مهمی نخواهد گذاشت؛ زیرا گونه‌های گیاهی و جانوری خاصی در منطقه به چشم نمی‌خورد. در فاز بهره‌برداری از کارخانه ۶۰ نفر با تخصص‌های ویژه از نقاط مختلف شهرستان و کشور به منطقه وارد خواهند شد. راه‌اندازی کارخانه منشأ فعالیت و استخدام افراد بومی می‌گردد. وضعیت اجتماعی منطقه محروم تکاب را تغییر خواهد داد و به آن اعتبار ملی خواهد بخشید. ارزیابی اثرهای فاز بهره‌برداری کارخانه بر محیط اجتماعی (شامل اثر بر دانسیته جمعیت فعال، سواد و تخصص، رفتار اجتماعی و مهاجرت) مثبت قوی، قطعی و درازمدت برآورد می‌شود. افراد متخصص در سطح منطقه استخدام و دستمزدهای کمابیش بالا پرداخت خواهد شد، در نتیجه گردش پول انجام گرفته و ارزش خدمات بالا رفته و قیمت واقعی خود را پیدا خواهند کرد. فاکتورهای محیط زیستی در نظر گرفته‌شده در ماتریس عبارتند از: آلودگی صوتی، غلظت گاز SO_2 ، CO_2 ، ذرات معلق در هوا، خاک، آب‌های سطحی، پساب بهداشتی، شکل زمین، بخش بهبود چشم‌انداز، کاهش ترافیک، افزایش اشتغال، بهبود تسهیلات رفاهی برای ساکنان، فضای سبز، فرسایش خاک، گونه‌های جانوران که فعالیت‌هایی مانند خاکریزی، جمع‌آوری تجهیزات، کاشت فضای سبز، تسطیح، حفاری، از بین رفتن فضای سبز و تنوع زیستی، حمل‌ونقل و آسفالت معابر، دفع بهداشتی پساب برای فاکتورهای یادشده در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه ساخت کارخانه‌ها بیش از یک‌سوم گاز دی‌اکسید کربن ناشی از فعالیت‌های بشر را به خود اختصاص داده است، نتایج نشان‌دهنده این مطلب است که فقط استراتژی کمتر درست کردن چیزهای بد برای فائق آمدن به مشکلات محیط زیستی کافی نیست و همراه آن باید استراتژی‌های سازگار با طبیعت نیز در نظر گرفته شود که منجر به تناسب بیشتر اقتصاد و اکولوژی گردد (کایا و کاهرامان^۱، ۲۰۱۱). در مطالعه‌ای برای ارزیابی اثرهای محیط زیستی شهرک صنعتی شهرکرد از روش ماتریس ساراتوگا استفاده گردید. نتایج حاصله نشان می‌دهد که رعایت ملاحظه‌های محیط زیستی بر ممانعت از ادامه فعالیت شهرک، برتری دارد و ممانعت از ادامه فعالیت پروژه، به معنی هدر دادن زمین، امکانات و نیروی انسانی متخصص منطقه می‌باشد (نوری و درخشان، ۱۳۸۹).

جدول ۳: جمع‌بندی اثرهای قطعی و احتمالی فعالیت‌های واحد تولید سنگ آهن قینرجه تکاب در مرحله بهره‌برداری

اثرها	قطعی (C)						احتمالی (P)					
	اثرهای مثبت			اثرهای منفی			اثرهای مثبت			اثرهای منفی		
	جمع اثرهای قطعی مثبت	تعداد اثرهای قطعی مثبت	میانگین اثرهای قطعی مثبت	جمع اثرهای قطعی منفی	تعداد اثرهای قطعی منفی	میانگین اثرهای قطعی منفی	جمع اثرهای احتمالی مثبت	تعداد اثرهای احتمالی مثبت	میانگین اثرهای احتمالی مثبت	جمع اثرهای احتمالی منفی	تعداد اثرهای احتمالی منفی	میانگین اثرهای احتمالی منفی
محیط فیزیکی	۰	۰	۰	۱۴۳	۳۹	۳/۶	-۱۴۳	۰	۰	۰	۱۳	۴/۶
محیط طبیعی و بیولوژیکی	۰	۰	۰	۱۲۰	۳۰	۴	-۱۲۰	۰	۰	۰	۱۱	۳/۱
محیط اقتصادی - اجتماعی و فرهنگی	۵۸۰	۷۰	۸/۲	۸۵	۲۰	۴/۲۵	۴۹۵	۰	۰	۰	۳	۳/۳
جمع محیط زیست	۵۸۰	۷۰	۸/۲	۳۴۸	۸۹	۳/۹	۲۳۲	۰	۰	۰	۲۷	۳/۸

نتیجه‌گیری گزینه‌های ارزیابی فاز بهره‌برداری

بررسی نتایج کمی (جدول ۴) حاصل از فرآیند ارزیابی اثرهای زیست‌محیطی پروژه در فاز بهره‌برداری بیانگر این واقعیت است که بهره‌برداری از پروژه دارای (+۱۲۷) امتیاز مثبت می‌باشد. این بدین معنی است که فعالیت‌های حاصل از بهره‌برداری کارخانه فرآوری دارای اثرهای مثبتی برای منطقه می‌باشد که نتایج آن به‌صورت بلندمدت در منطقه خواهد بود.

جدول ۴: جمع‌بندی نتایج مرحله بهره‌برداری در اجرای طرح واحد تولید سنگ آهن قینرجه تکاب

گزینه اجرای پروژه در فاز بهره‌برداری		اثرها
اثرهای مثبت	اثرهای منفی	
۰	۲۰۳	محیط فیزیکی
۰	۱۵۵	محیط طبیعی و بیولوژیکی
۵۸۰	۹۵	محیط اقتصادی - اجتماعی و فرهنگی
۵۸۰	۴۵۳	جمع
۱۲۷+		تفاضل آثار منفی و مثبت

نتیجه‌گیری

داده‌های جداول ارائه‌شده نشان می‌دهد که اثرهای قطعی پروژه در فاز ساختمانی معادل (۳۱۳+) و (۳۴۳-)، در فاز بهره‌برداری برابر (۵۸۰+) و (۳۴۸-) و بازده اثرها در دو فاز (۲۳۲+) و (۳۰-) و جمع جبری این امتیازها معادل (۲۰۲+) می‌باشد که حکایت از نسبت بالای اثرهای مثبت به منفی و به‌طور کلی مثبت بودن اجرای پروژه دارد. با در نظر گرفتن قطعیت وقوع صد در صد اثرهای احتمالی در فاز ساختمانی و بهره‌برداری اثرهای منفی به ترتیب برابر با (۴۲۱-) و (۴۵۳-) بوده و اثرهای مثبت در فاز بهره‌برداری برابر با (۵۸۰+) و در فاز ساختمانی برابر با (۳۱۳+) برآورد گردیده است. مقایسه جمع‌بندی برآیند اثرها در فاز ساختمانی (۱۰۸-) و در فاز بهره‌برداری (۱۲۷+) نشان می‌دهد که اجرا و بهره‌برداری از واحد تولید معدن سنگ آهن قینرجه تکاب اثرهای مثبت به دنبال دارد. شایان‌ذکر است که اختلاف کم بین اثرهای مثبت و منفی به دلیل در نظر گرفتن احتمال وقوع صد در صد اثرهای منفی احتمالی می‌باشد که در بدبینانه‌ترین شرایط نیز وقوع صد در صد اثرهای احتمالی غیرممکن می‌باشد و از سوی دیگر با رعایت و اعمال دستورهای محیط زیستی می‌توان وقوع اثرهای احتمالی را در حد قابل‌توجهی کاهش داد و قابل‌اغماض فرض نمود. درنهایت با توجه به غالب بودن جمع جبری اثرهای قطعی، ریز فعالیت‌های پروژه‌ای واحد تولید سنگ آهن قینرجه تکاب، قابل‌اجرا تشخیص داده می‌شود. جهت کاهش اثرهای محیط زیستی پروژه پیشنهادهایی ارائه می‌گردد:

تأمین هزینه برای حفاظت از اکوسیستم بومی

نصب و راه‌اندازی سیستم پایش مداوم خروجی دودکش (آنلاین)

استفاده از ماده اولیه آهن اسفنجی جهت کاهش آلودگی‌های ناشی از قراضه

نصب و راه‌اندازی دستگاه شریدر قراضه جهت کاهش آلودگی‌های ناشی از قراضه

انجام مطالعه‌های جامع بر روی پسماندهای تولیدی و برنامه‌ریزی جهت مدیریت آن

منابع

- تقوایی، مسعود، آکوچکیان، مهدی، ۱۳۹۳، تجزیه و تحلیل سیستم شهری استان آذربایجان غربی طی سال‌های ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۵، دو فصلنامه علمی-پژوهشی پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری، دوره ۵، ۴۵-۶۶.
- رباطی، مریم، عتابی، فریده، ۱۳۸۹، آثار محیط زیستی احداث تونل مشترک تأسیسات شهری مطالعه موردی: منطق .. تهران، محیط‌شناسی، جلد ۳۶، شماره ۵۴، ۵۹-۶۸.
- مدنی، ساجده، ملماسی، سعید، نزاکتی، رویا، ۱۳۹۶، ارزیابی اثرات محیط زیستی میلز فولاد با استفاده از RIAM اصلاح‌شده، مطالعه موردی: فولاد تیام در استان گیلان، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره ۱۹، ۴۰۹-۴۲۱.
- نوری، جعفر، درخشان، شاهین، ۱۳۸۶، بررسی اثرات محیط زیستی شهرک صنعتی شهرکرد و ارائه راهکار مدیریتی بهینه، اولین کنفرانس مهندسی برنامه‌ریزی و مدیریت سیستم‌های محیط‌زیست، تهران، ایران.
- نوائی فیض‌آبادی، علی‌اصغر؛ علیدادی، حسین؛ نجف‌پور، علی‌اصغر؛ دنکوب، محمود؛ یزدانی، محسن؛ ساقی، معصومه؛ شفیعی، محمدناصر، ۱۳۹۵، ارزیابی اثرات محیط زیستی کارخانه‌ها کمپوست سازی در ایران- مروری، فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط، دوره دوم، شماره ۱، ۵۱-۳۸.

ولی‌زاده، سهیل؛ شکری، زینب، ۱۳۹۴. بررسی کاربرد ماتریس لئوپولد ایرانی در ارزیابی اثرات محیط زیستی (EIA) گزینه‌های مدیریت پسماند جامد در شهر بیرجند، مجله سلامت و محیط، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، دوره هشتم، شماره ۲، ۲۴۹-۲۶۲.

Abasi M, Boleydei H, (2014). An environmental impact assessment by using the Iranian Matrix(case study: the cement plant of Sarooj). First national conference on the environmental, 22-24 May; Isfahan.

Bagheri, M, Sulaiman, W, Vaghefi, N., (2013). Application of geographic information system technique and analytical hierarchy process model for land-use suitability analysis on coastal area, J Coast Conserv, Vol. 17, 1-10.

Bolandraftar, SH, Hasanzad, I, Eslami, A, Maskani, H, (2013), Comparison of AHP, network and systemic analysis methods in the assessment of ecological capability in Gisum Forest Park, International Journal of Biosciences, Vol. 6. 157-164.

Bunruamkaew, K, Murayama, Y, (2011). Site Suitability Evaluation for Ecotourism Using GIS & AHP: A Case Study of Surat Thani Province, Thailand, Procedia Social and Behavioral Sciences, Vol. 21, 269-278.

Chen, Y, Yu, J, Khan, S, (2013), The spatial framework for weight sensitivity analysis in AHP-based multi-criteria decision making, Environmental Modelling & Software, Vol. 48, 129-140.

Chen, Y, Yu, J, Khan, S, (2010). Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation, Environmental Modelling & Software, Vol. 25, 1582-1591.

Fataei, E., Sheikh Jbbari, E., (2011). Environmental Impact Assessment of Azaran Nir Spa Tourist Village. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci, Vol. 11,01-06.

Ferretti, V, Pomarico, S, (2013). Ecological land suitability analysis through spatial indicators: An application of the Analytic Network Process technique and Ordered Weighted Average approach, Ecological Indicators, Vol. 34, pp. 507-519.

Gilbuena, Jr. R., Kawamura, A., Medina, R., Amaguchi, H., Nakagawa, N., Du Bui, D., (2013), "Environmental impact assessment of structural flood mitigation measures by a rapid impact assessment matrix (RIAM) technique: A case study in Metro Manila, Philippines", Science of the Total Environment, 46 (7): 137-147.

Heydari, E., Alidadi, H, Sarkhosh, M, Sadeghian, S. (2017). Zaveh cement plant environmental impact assessment using Iranian Leopold Matrix. Journal of Research in Environmental Health. Volume 3, Issue 1, 84-93.

Herrmann, C, Blume, S, Kurle, D, Schmidt, C, Thiede, S, (2015). The Positive Impact Factory – Transition from Eco-Efficiency to Eco-Effectiveness Strategies in Manufacturing. Procedia CIRP, Vol. 29, pp. 19-27.

Kaya, T., Kahraman, C., (2011), An integrated fuzzy AHP-ELECTRE methodology for environmental impact assessment, Expert Systems with Applications, 38 (7): 8553-8562.

Ljäs, A., Kuitunen, M.T., Jalava, K., (2010), Developing the RIAM method (rapid impact assessment matrix) in the context of impact significance assessment, Environmental Impact Assessment Review, 30: 82-89.

Sundeeep, G, Choudhary, R, Vardhan, H, Aruna, M, Akolkar, A, (2017). Iron Ore Pelletization Technology and its Environmental Impact Assessment in the Eastern Region of India - A Case Study. Procedia Earth and Planetary Science, Vol. 11, 582-597.

Zinatizadeh, S, Zinatizadeh, A, Yavari, F, Morovati, K, Kamooshi, S.M, (2015). Environmental Impact Assessment of an Iron and Steel Factory in Kurdistan, Iran, International Journal of Health and Life Sciences, 1(1), 46-49.

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره نهم، شماره ۲۵، پاییز ۱۳۹۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۱۱

تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۱۶

صفحات: ۱۹۰ - ۱۷۱

مقاله (علمی پژوهشی)

بررسی شبیه‌سازی آتش با استفاده از مدل فارسایت (مطالعه موردی: ییلاق قصر داغ، شهرستان مشگین‌شهر)

رقیه جهدی^{۱*}، اردوان قربانی^۲، کیومرث سفیدی^۳

۱. * استادیار، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشگاه محقق اردبیلی

۲. دانشیار، گروه مرتع، دانشگاه محقق اردبیلی

۳. دانشیار، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشگاه محقق اردبیلی

چکیده

آتش‌سوزی به‌عنوان یکی از مخاطرات طبیعی، مشکلی جدی در بسیاری از اکوسیستم‌های جنگلی و مرتعی جهان است. در مراتع نیمه استپی استان اردبیل نیز آتش‌سوزی‌ها با شدت زیاد منجر به آثار گسترده بر این اکوسیستم‌ها می‌شود. این آتش‌سوزی‌ها نتیجه ترکیب شرایط آب و هوایی، مواد سوختنی خشک و توپوگرافی است. آتش‌سوزی ییلاق قصر داغ شهرستان مشگین‌شهر در مرداد ۱۳۹۴ نمونه‌ای از آتش‌سوزی رخ داده است. در این مطالعه شرایط آب و هوایی، مواد سوختنی و توپوگرافی که اثر زیادی بر آتش دارد، به‌دقت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. داده رفتار و گسترش آتش شامل محیط نهایی آتش مشاهده شده و زمان رسیدن جبهه آتش به مرز شمالی محیط آتش (نقطه اطفای حریق) جمع‌آوری شده در طول این حادثه با نتایج شبیه‌سازی آتش با مدل فارسایت مقایسه شد. میانگین مقادیر صحت شبیه‌سازی برای منطقه سوخته شده، با استفاده از ضریب سورنسون و نیز کاپا ۰,۸۴ می‌باشد. بیش برآورد شبیه‌سازی به-ویژه در مناطق جناحی گسترش آتش مورد انتظار و مشاهده شد؛ زیرا فعالیت‌های اطفای حریق که از گسترش آتش در این مناطق جلوگیری کرده، به دلیل نبود اطلاعات دقیق در این زمینه، در این مدل بررسی نشده است. هدف اصلی این پژوهش بررسی دقیق رفتار آتش‌سوزی اخیر به‌منظور یادگیری از آن و کاستن امکان بروز اشتباهات احتمالی یا جلوگیری از عملیات خطرناک اطفای حریق در شرایط مشابه است. علاوه بر این، نکته مهم آموختن و آمادگی تیم‌های اطفای حریق است که با رفتار ناگهانی و شدت زیاد آتش تحت شرایط سخت آتش تهدید نشوند.

واژگان کلیدی: مراتع، نیمه استپی، آتش، رفتار، تجزیه و تحلیل.

مقدمه

آتش یکی از تهدیدهای جدی برای اکوسیستم‌های طبیعی و محیط‌زیست در سراسر جهان است. آثار این پدیده معمولاً در مقیاس‌های بزرگ، با توجه به وسعت تخریب، تعداد وقوع، هزینه‌های مرتبط با اطفای آتش و از بین رفتن حیات انسان‌ها، گیاهان و جانوران و نیز سایر سرمایه‌های موجود تعیین می‌شود. از این نظر، آتش‌سوزی‌ها با شدت زیاد و فاجعه‌بار در سال ۲۰۰۷ در یونان (۷۸ کشته طی یک هفته)، سال ۲۰۱۷ در پرتغال (۶۴ کشته و ۲۰۴ زخمی طی ۵ روز) و سال ۲۰۱۸ در ایالت کالیفرنیا آمریکا (۸۳ کشته طی ده روز) نمونه‌هایی از این وقایع هستند (ویگاس^۱، ۲۰۰۹؛ واکیانو^۲ و همکاران، ۲۰۱۸). معمولاً تلفات زیاد در جریان آتش‌سوزی‌ها به دلیل شرایط آب و هوایی (ازجمله درجه حرارت زیاد یا گرمای محیط، رطوبت نسبی اندک و وزش شدید باد)، تجمع زیاد مواد سوختنی خشک و توپوگرافی (مانند شیب تند) است (ویگاس و همکاران، ۲۰۰۹). این ترکیب شرایط سخت محیط آتش را که به‌طور کلی شامل مثلث آب‌وهوا، ماده سوختنی و توپوگرافی است، تشکیل می‌دهد و منجر به آتش‌سوزی‌های شدید می‌شود. به‌منظور کاهش مخاطرات آتش، به‌روزرسانی و افزایش آگاهی مردم، تیم اطفای حریق و تصمیم‌گیران درباره خطرهای آتش‌سوزی ضروری است (ویگاس، ۲۰۰۹؛ الکساندر^۳ و همکاران، ۲۰۰۳). آتش‌سوزی‌های زیادی در ایالات متحده آمریکا، کانادا و استرالیا مورد تجزیه و تحلیل و به‌صورت عمیق بررسی شده است (ایگر^۴ و همکاران، ۲۰۱۸؛ دودی^۵ و همکاران، ۲۰۱۹). آموخته‌های به‌دست‌آمده در این کشورها در آموزش نیروها و دستورالعمل‌های کاهش خطرهای عملیات اطفای حریق بسیار مفید بودند و به افزایش ایمنی تیم آتش کمک نمودند (مک‌کافری^۶، ۲۰۰۴).

در مطالعه‌های زیادی به بررسی اهمیت شرایط آب و هوایی در رفتار و توسعه آتش پرداخته شده است (فلنینگن و ووتون^۷، ۲۰۰۱؛ فلنینگن، ۲۰۱۱؛ کوئن و شرودر^۸، ۲۰۱۳؛ تریگو^۹ و همکاران، ۲۰۱۳؛ لوزانو^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۶؛ ایگر و همکاران، ۲۰۱۸). تغییرپذیری مکانی-زمانی رفتار و گسترش آتش بیشتر مرتبط با شرایط آب و هوایی کوتاه‌مدت (از جمله سرعت و جهت باد، رطوبت نسبی، درجه حرارت) است که متغیرترین مؤلفه محیط آتش می‌باشد (پاین^{۱۱} و همکاران، ۱۹۹۶). از سوی دیگر، احتراق آتش اساساً تابعی از عوامل درازمدت ازجمله خشکی، مقدار و دوره بارش، بار ماده سوختنی و نسبت ماده سوختنی زنده به مرده می‌باشد (مویلوت^{۱۲} و همکاران، ۲۰۰۲). مطالعه‌های متعددی نشان داده که تغییرهای اقلیمی در مناطق مختلف جهان ازجمله نواحی مدیترانه‌ای منجر به تغییرپذیری یا نوسان‌های بیشتر آب‌وهوا و افزایش در رخدادهای شدید آب و هوایی، همراه با بارندگی جمعی بیشتر در زمستان، تابستان‌های گرم‌تر و طولانی‌تر و موج‌های گرما در دفعه‌های مکرر، خواهد شد (آلکامو^{۱۳} و همکاران، ۲۰۰۷). موضوع مهم دیگر شامل رها شدن بیشتر اراضی کشاورزی و فعالیتهای زراعی (بحث مهاجرت) که به‌صورت تدریجی منجر به

1 Viegas

2 Vacchiano

3 Alexander

4 Ager

5 Dowdy

6 McCaffrey

7 Flannigan & Wotton

8 Coen & Schroeder

9 Trigo

10 Lozano

11 Pyne

12 Mouillot

13 Alcamo

تجمع و افزایش ماده سوختنی، احیای طبیعی علفزارها، درختچه‌زارها و جنگل‌ها و مشکلات مدیریت ماده سوختنی به‌ویژه در اکوسیستم‌های مرتعی است (کاستلنو^۱ و همکاران، ۲۰۱۰). نتایج بالقوه این تغییرها موجب افزایش تعداد فقره‌ها و شدت آتش‌سوزی‌ها، به‌ویژه در شرایط وزش بادهای شدید و امواج گرما خواهد شد (براون^۲ و همکاران، ۲۰۰۴؛ آلکامو و همکاران، ۲۰۰۷). مطالعه‌های متعددی نشان داده که فعالیت آتش‌سوزی در طول دهه‌های گذشته در بسیاری از مناطق جهان افزایش یافته است (پاوساس^۳، ۲۰۰۴؛ ویگاس و همکاران، ۲۰۰۶؛ ریانو^۴ و همکاران، ۲۰۰۷). در حقیقت آتش‌سوزی‌های فاجعه‌بار که در مناطق مختلف جهان رخ داده، اغلب در زمانی رخ داده‌اند که شرایط آب و هوایی مناسب برای شروع و گسترش آتش وجود داشته است (سالیس و همکاران^۵، ۲۰۱۲). این شرایط می‌تواند هشدار جدی برای مدیران اراضی و آتش، با توجه به سناریوهای آتی تغییرهای اقلیمی و شرایط اقتصادی-اجتماعی باشد. بدین منظور، آموزش و تعلیم تیم‌های اطفای حریق (شامل آتش‌نشان‌های حرفه‌ای یا داوطلب در مناطق جنگلی و مرتعی) در مورد درک و پیش‌بینی رفتار و گسترش آتش و نیز تعریف بهترین روش‌های پیشگیری، کاهش و اطفای حریق، برای ارتقای سطح توانمندی و اثربخشی این تیم‌ها ضروری است. از این نظر، مطالعه و درک رفتار و گسترش آتش‌سوزی‌های گذشته و ارزیابی روش‌ها، عملیات و اشتباه‌های بالقوه در طول آتش‌سوزی می‌تواند با استفاده از سیستم‌های شبیه‌سازی آتش به دست آید که بر اساس مدل نیمه تجربی پیش‌بینی رفتار آتش روترمل (۱۹۷۲) و تکنیک پخش موج بیضی‌شکل (ریچاردز^۶، ۱۹۹۰؛ فینی^۷، ۲۰۰۴) برای رشد فضایی آتش است. بر اساس این مدل‌ها، شبیه‌ساز سطح آتش فارسایت^۸ در ایالات متحده توسعه یافته که در مطالعه‌های متعددی در مناطق مختلف جهان اعتبارسنجی شده است (آرکا^۹ و همکاران، ۲۰۰۷؛ دوگوی^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۷؛ جهدی^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۵؛ سا^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۷؛ محمدپور و دشتی، ۲۰۱۹). از آنجایی که فارسایت یک مدل مشخص زمانی و مکانی است، می‌تواند تجزیه و تحلیل‌های دقیقی از رفتار آتش و آثار آن ارائه کند.

اطلاعات دقیق و توصیف جامع مشخصات و شرایط ماده سوختنی، موضوعی مهم در توصیف خطر آتش (دیمینگ^{۱۳} و همکاران، ۱۹۷۷)، و پیش‌بینی آثار آن (رین‌هارت^{۱۴} و همکاران، ۱۹۹۷) است. اطلاعات در زمینه بار طبیعی ماده سوختنی (نوع و اندازه) و ترکیب گونه‌ها برای بهبود برنامه‌های مدل‌سازی رفتار آتش و جلوگیری از آتش نیز ضروری است (تیان^{۱۵} و همکاران، ۲۰۰۵). در طول دهه گذشته، تلاش‌های گسترده‌ای برای تشخیص مقدار و نوع مواد سوختنی انجام شده است (دیمیتراکوپولوس^{۱۶}، ۲۰۰۲؛ کین^{۱۷} و همکاران، ۲۰۰۱؛ سندبرگ^۱ و همکاران، ۲۰۰۱؛

1 Castelnou

2 Brown

3 Pausas

4 Riano

5 Salis

6 Richards

7 Finney

8 FARSITE

9 Arca

10 Duguay

11 Jahdi

12 Sá

13 Deeming

14 Reinhardt

15 Tian

16 Dimitrakopoulos

17 Keane

فرناندز^۲ و همکاران، ۲۰۰۶). همچنین طبقه‌بندی‌های مختلف تیپ ماده سوختنی توسعه یافته و توسط بخش‌های مختلف مدیریت جنگل در سراسر جهان استفاده شده است (اوتمار^۳ و همکاران، ۲۰۰۷). درحالی‌که در کشور ما تجزیه و تحلیل مشخصات پوشش گیاهی در ارتباط با رفتار و ریسک آتش جزء موضوع‌هایی است که کمتر در مطالعه‌ها به‌ویژه در جنگل‌های شمال کشور موردتوجه قرار گرفته است (جهدی و همکاران، ۲۰۱۵). اگرچه فراوانی آتش، سطح سوخته‌شده و شدت و آسیب‌پذیری نسبت به آتش‌سوزی‌ها در استان اردبیل کمتر از جنگل‌های هیرکانی در شمال کشور است. ارزیابی ریسک و نیز تجزیه و تحلیل رفتار آتش به دلیل آنچه در مناطق نزدیک (به‌عنوان مثال جنگل‌های غرب گیلان) رخ می‌دهد و به دلیل آثار تغییرهای اقلیم که می‌تواند منجر به افزایش فعالیت آتش در استان اردبیل شود، ضروری است. همچنین مقدار زیاد تغییرهای کاربری اراضی، گردشگری گسترده در فصل تابستان و نیز تمرکز فعالیت‌های کشاورزی در این منطقه روی حوادث آتش‌سوزی اثرگذار است.

دوره‌های بحرانی آتش‌سوزی معمولاً با وقوع تعدادی از روزهای با شرایط سخت محیط آتش شناخته می‌شود (سالیس و همکاران، ۲۰۱۲). در چنین روزهایی، حرارت شعله‌های آتش می‌تواند داغ‌تر باشد و به‌سرعت از کنترل خارج شود و منجر به آتش‌سوزی‌هایی با شدت زیاد و بزرگ شود. در این وضعیت کنترل و اطفای حریق برای مدیران اراضی بسیار مهم است، ضمن اینکه این مدیران به امداد و نجات و حفظ ایمنی تیم‌های آتش، مردم و حیات‌وحش نیز توجه دارند. با توجه به آمار تعداد فقره‌های حریق و سطح سوخته در طی سال‌های گذشته، دوره بحرانی آتش‌سوزی در استان اردبیل چهار ماه (خرداد تا شهریور) است. در این مطالعه یک آتش‌سوزی با شدت زیاد که در مرداد ۱۳۹۴ در شهرستان مشگین‌شهر رخ داد و در حدود ۹۰ هکتار از مراتع منطقه را سوزاند، به‌دقت موردبررسی قرار گرفت. اهداف اصلی این مطالعه شامل (۱) بررسی گسترش و رفتار آتش و تجزیه و تحلیل آثار مواد سوختنی، شرایط آب و هوایی و توپوگرافی بر آتش و (۲) تولید اطلاعات کاربردی برای تجزیه و تحلیل پس از آتش‌سوزی به‌منظور ارزیابی روش‌های مقابله با آتش است. قابلیت پیش‌بینی پارامترهای رفتار آتش برای مدیریت آن به‌منظور تعیین فنون اطفای حریق، منابع مالی و تجهیزات مناسب برای آتش‌سوزی‌های بالقوه و حتی آتش‌سوزی‌های فعال، بسیار مهم است. علاوه بر این، استفاده از مدل‌های آتش برای تجزیه و تحلیل فعالیت‌های مکانی مدیریت ماده سوختنی و بررسی گزینه‌های اطفای حریق‌ها در موقعیت‌ها و تحت سناریوهای آب و هوایی مختلف، ضروری است. همچنین این مورد به تعیین پیامدهای اقتصادی آتش‌سوزی‌های بالقوه با فعالیت‌های مدیریت ماده سوختنی و بدون این فعالیت‌ها، کمک می‌کند.

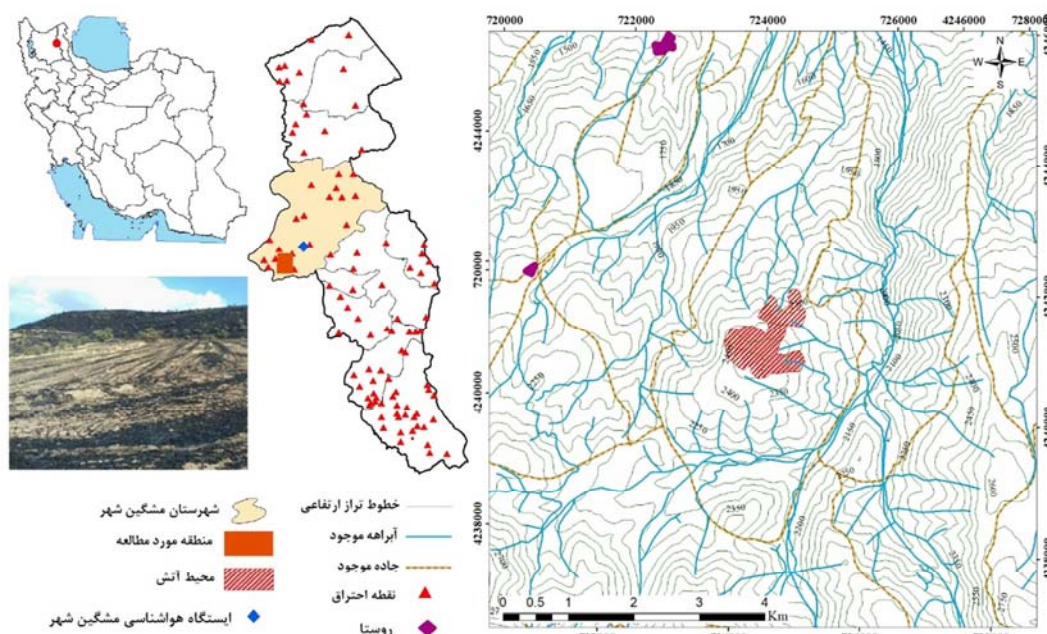
داده‌ها و روش‌ها

الف - منطقه مطالعه

استان اردبیل واقع در شمال غرب ایران، در مجاورت استان‌های آذربایجان شرقی، زنجان و گیلان با مساحت تقریباً ۱۸،۰۰۰ کیلومترمربع، در حدود ۱،۱ درصد کل کشور است (شکل ۱). این مطالعه در شهرستان مشگین‌شهر در استان اردبیل (۴۸،۲۹° شرقی و ۳۸،۲۵° شمالی)، با ارتفاع تقریباً ۱۳۴۱ متر بالاتر از سطح دریا، انجام شده است.

1 Sandberg
2 Fernandes
3 Ottmar

(شکل ۱). اقلیم منطقه نیمه مرطوب سرد با زمستان‌های سرد و مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک مشخص شده است (مددی و همکاران، ۱۳۹۷). متوسط درجه حرارت کمینه و بیشینه -4.6°C و 30°C درجه سانتی‌گراد به ترتیب در ماه‌های بهمن و مرداد است. رطوبت نسبی در منطقه در حدود ۷۳ و ۴۸ درصد به ترتیب در ماه‌های دی و تیر است. متوسط بارش سالانه در حدود ۴۰۰ میلی‌متر و بیشتر در پاییز و زمستان توزیع شده است (شریفی و همکاران، ۱۳۹۸). سال ۱۳۹۴ در استان اردبیل سالی نسبتاً خشک بود، با مقادیر کم بارندگی در دوره فروردین-تیر و در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد تقریباً هیچ بارشی ثبت نشده است. بیشینه دما 35°C در منطقه مطالعه و نیز در کل استان مشاهده شد. آب‌وهوا در مردادماه سال ۱۳۹۴ با وضعیت بدون بارش، فشار اتمسفری زیاد و مقادیر حرارت زیاد بیش از متوسط ماهانه به‌صورت پیوسته بود (طاووسی و دل‌آرا^۱، ۱۳۸۹).



شکل ۱: موقعیت و نمای کلی از منطقه مطالعه

آتش‌سوزی مراتع و جنگل‌ها در این شهرستان با توجه به خشکی هوا و کمبود بارش‌ها، مجاورت با اراضی کشاورزی و باغات و بی‌احتیاطی‌های صورت گرفته در حال گسترش است. با توجه به منحنی‌های آمبروترمیک ترسیم‌شده برای شهرستان مشگین‌شهر، از اواسط خرداد لغایت اواسط شهریور، دما بر بارندگی فزونی داشته و این دوره به‌عنوان «دوره‌ی خشک» (فصل بحرانی آتش‌سوزی) و بقیه سال نیز به‌عنوان «دوره‌ی مرطوب» محسوب می‌شود. جهت باد غالب سالانه در منطقه نیز جنوبی بوده و میانگین سرعت آن حدود 4.2 متر بر ثانیه است.

در شکل ۱ پراکنش نقاط احتراق آتش‌سوزی‌های گذشته در سال ۱۳۹۴ از خرداد تا شهریور در استان اردبیل ارائه شده است (بر اساس آمار اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان اردبیل). بر اساس این شکل بخش جنوبی استان

¹Tavosi & Delara

اردبیل شامل شهرستان‌های خلخال و کوثر به همراه شهرستان مشگین‌شهر در بخش مرکزی این استان، از مناطق آسیب‌پذیر در برابر آتش‌سوزی بوده و هرسال شاهد وقوع آتش‌سوزی زیاد و سوختن مقداری از عرصه‌های طبیعی در این مناطق هستیم. در شکل ۱ منطقه مطالعه واقع در دهستان مشگین غربی در بخش مرکزی شهرستان مشگین-شهر، با انتخاب نقطه احتراق آتش ییلاق قصرداغ در تاریخ ۲۵ مرداد ۱۳۹۴، در منطقه‌ای با توپوگرافی پیچیده در ارتفاع ۲۵۰۰ متری، نشان داده شده است. این منطقه شامل محیط نهایی عرصه سوخته شده (۸۵،۳۶ هکتار) و محدوده اطراف آن با وسعت کلی ۱۲۸۳۵ هکتار، با پوشش مرتعی به‌عنوان کاربری اصلی اراضی منطقه و در نزدیکی دو روستای بالوقیه و نصیرکندی واقع شده است.

بر اساس فرم گزارش حریق و نیز اطلاعات اخذشده از نیروهای اطفای حریق حاضر در زمان وقوع حادثه، نقطه شروع آتش‌سوزی مورد مطالعه از نوع آتش سطحی (در ساعت ۹:۰۰ صبح در ۲۵ مرداد ۱۳۹۴) در بخش غربی منطقه کوهستانی ییلاق قصرداغ بود. در ارتباط با فعالیت‌های اطفای حریق انجام‌شده در این آتش‌سوزی، تیم‌های اطفای حریق موجود در منطقه در جهت پایین شیب به طرف آتش حرکت کردند، در سمتی که شدت آتش زیاد به نظر نمی‌آمد و با طول‌های شعله کم مشاهده شد، آب‌وهوا گرم و خشک اما شدت باد زیاد نبود. با توجه به شیب، رفتار آتش، نرخ گسترش و شدت آن تغییر کرد و آتش‌پاره‌های زیادی مشاهده شد. سرعت باد به‌صورت ناگهانی افزایش یافت که ممکن است آتش آن را تقویت کرده باشد. در این نقطه، شدت آتش زیاد بود که با آثار هم‌برداری (انتقال گرما) تشدید شد. در ابتدا که آتش در مناطق با پوشش علفی با تراکم کم و چراگاه‌های پراکنده پخش شد، نرخ گسترش آن کم بود. زمانی که جبهه آتش در بعدازظهر به منطقه علفزار متراکم رسید، نرخ گسترش آن افزایش یافت و داغ‌تر سوخت. توسعه روبه‌جلوی آتش با عوامل زمینی اطفای حریق همراه با تعدیل جزئی شرایط آب و هوایی (افزایش رطوبت نسبی، کاهش سرعت باد و درجه حرارت) متوقف شد. آتش به‌صورت کامل در ساعت ۱۹:۰۰ همان روز اطفاء شد، درحالی‌که تپه به‌طور کامل در چند ساعت نخست بعد از احتراق سوخت. محیط نهایی آتش نیز با استفاده از جی‌پی‌اس^۱ نقشه‌برداری شد.

الف- داده ورودی

پارامترهای ورودی مدل فارسایت به دو دسته داده رستری و اطلاعات تکمیلی گروه‌بندی می‌شود. داده رستری شامل نقشه‌های ارتفاع، شیب، جهت، تیپ ماده سوختنی و تاج پوشش گروه‌بندی شده به‌عنوان فایل سیمای سرزمین هستند. درجه حرارت، رطوبت نسبی، سرعت باد، جهت باد و مشخصات تاج می‌تواند به‌عنوان اطلاعات تکمیلی دسته-بندی شود. به‌منظور تولید نقشه ارتفاع، مدل رقومی ارتفاع^۲ زمین از نقشه‌های توپوگرافی رقومی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ به دست آمد. نقشه‌های شیب و جهت منطقه نیز از این مدل رقومی تهیه شد. نقشه خطوط تراز محدوده مورد مطالعه از منطقه سوخته شده به همراه جاده‌ها و آبراهه‌های موجود در شکل ۱ ارائه شده است. منطقه مطالعه در دامنه ارتفاعی ۱۴۰۰ تا ۳۰۵۰ متری از سطح دریا واقع شده است. از داده‌های هواشناسی نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به منطقه مطالعه (ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مشگین‌شهر در ارتفاع ۱۵۶۱ متر از سطح دریا و در فاصله ۸

^۱ GPS

^۲ DEM

کیلومتری از منطقه مطالعه (شکل ۱) به‌عنوان داده ورودی برای مدل استفاده شد. در این مطالعه، داده آب و هوا شامل بارندگی، درجه حرارت بیشینه و کمینه، سرعت باد (متر بر ثانیه)، جهت باد (درجه)، رطوبت نسبی (درصد) و میزان ابرناکی (درصد)، هشت بار ثبت‌شده در یک روز (در ساعت‌های ۰۰:۰۰، ۰۳:۰۰، ۰۶:۰۰، ۰۹:۰۰، ۱۲:۰۰، ۱۵:۰۰، ۱۸:۰۰ و ۲۱:۰۰) از تاریخ ۱۳۹۴/۰۴/۲۵ تا ۱۳۹۴/۰۵/۳۱ از این ایستگاه اخذ شد. علاوه بر این، همه اطلاعات مرتبط با آتش‌سوزی واقع‌شده در تاریخ ۱۳۹۴/۰۵/۲۵ از اداره کل منابع طبیعی استان اردبیل جمع‌آوری شد.

پ- تهیه نقشه تیپ‌های ماده سوختنی

به‌منظور شبیه‌سازی گسترش آتش، توزیع و مشخصات پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای قبل از آتش و نقشه‌های پوشش اراضی موجود در محیط آتش و اطراف آن تهیه شد. پوشش گیاهی منطقه بیشتر علفی است که مراتع نیمه استپی شهرستان مشگین‌شهر را تشکیل می‌دهد. تیپ‌های علفی غالب در منطقه *Poa bulbosa*، *Artemisia fragrans*، *Artemisia austriaca*، و *Stipa hohenackeriana* است. بر اساس نقشه‌های موجود در مورد پراکنش پوشش گیاهی این منطقه کوهستانی، در ارتفاعات پایین، مراتع نیمه استپی معتدل تا سرد درجایی که فصل رویش در اواسط بهار و بارندگی‌ها بیشتر در فصول زمستان و اوایل بهار بوده و دامنه بارندگی نیز بین ۲۵۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر متغیر است، قرار دارد. در ارتفاعات میانی، جنگل‌های خشک درجایی که زمستان سرد و طولانی، بهار معتدل، تابستان خشک و خاک جوان می‌باشد و بارندگی سالیانه نیز بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر متغیر است. بخش‌های فوقانی نیز شامل کوه‌های به نسبت مرتفع است درجایی که دامنه بارندگی نیز بیش از ۵۰۰ و حتی ۶۰۰ میلی‌متر است.

تیپ‌های ماده سوختنی رفتار آتش (اسکات و بورگن^۱، ۲۰۰۵) منطقه مطالعه بر اساس نقشه پوشش گیاهی استان اردبیل، تهیه‌شده توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور (۱۳۹۷) و نیز با استفاده از تصویر ماهواره لندست ۸^۲ قبل از آتش‌سوزی در تاریخ ۲۰۱۴/۰۸/۰۷، طبقه‌بندی شد. تصحیح هندسی این تصویر با استفاده از ۳۰ نقطه واقعیت زمینی (حاصل کار میدانی به روش نمونه‌برداری تصادفی) و فن نمونه‌گیری مجدد نزدیک‌ترین همسایه به سامانه مختصات جغرافیایی (جی سی اس^۳) انجام شد. خطای باقیمانده در حدود ± 0.3 پیکسل بود. در ابتدا با استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌نشده تفکیک منطقه مطالعه (شامل محیط سوخته شده و اطراف آن با وسعت ۱۲۸۳۵ هکتار) به مناطق با ماده سوختنی و بدون ماده سوختنی انجام شد. الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال در طبقه‌بندی نظارت‌شده برای تفکیک مناطق با ماده سوختنی به ۴ تیپ ماده سوختنی علفی، علفی-درختچه‌ای، درختچه‌ای و درختی استفاده شد. صحت این طبقه‌بندی (صحت کلی ۹۱،۲) با استفاده از نقشه پوشش گیاهی موجود کنترل شد (شکل ۲). امکان تعیین بار ماده سوختنی در تیپ‌های مختلف ماده سوختنی با استفاده از طبقه‌بندی تصویر لندست وجود نداشت. مطابق با توصیف مدل‌های ماده سوختنی رفتار آتش (اسکات و بورگن، ۲۰۰۵)، با کمک

1 Scott & Burgan

2 Landsat

3 GCS (Geographic Coordinate System)

عکس‌هایی از مدل‌های ماده سوختنی، نقشه پوشش گیاهی و تجربیات و دانش کارشناسان جنگل و آتش و نیز تفسیر بصری تصویر ماهواره‌ای قبل از آتش‌سوزی، طبقه‌بندی تیپ‌های پوشش گیاهی موجود به مدل‌های ماده سوختنی رفتار آتش انجام شد. ارزش‌های ماده سوختنی که برای برآورد رفتار آتش استفاده شد، شامل بار ماده سوختنی کل، بار ماده سوختنی خشک، بار ماده سوختنی زنده و عمق بستر ماده سوختنی بر اساس روش روترمل (۱۹۹۳) به‌صورت تخمینی تعیین شد (جهدی و همکاران، ۲۰۱۴).

نقشه تاج پوشش که برای محاسبه فاکتورهای سایه‌اندازی و تعدیل باد برای همه مدل‌های ماده سوختنی ضروری است، شامل درصد افقی از سطح زمین است که با تاج گیاهان پوشیده شده است. واحدهای پوشش می‌تواند به طبقه‌های (۱-۴) یا ارزش‌های درصد (۰-۱۰۰) ارائه شود. این طبقه‌ها به‌عنوان طبقه ۱ (۰-۲۰٪)، ۲ (۲۱-۵۰٪)، ۳ (۵۱-۸۰٪) و ۴ (۸۱-۱۰۰٪) است. پوشش صفر به‌عنوان طبقه ۰ یا ۹۹ مشخص می‌شود (فینی، ۲۰۰۳). بر اساس پیمایش زمینی با حرکت روی نوارهایی و توقف در فواصل تقریباً برابر (۱ کیلومتر)، درصد تاج پوشش برآورد و ثبت شد و حاصل آن در محیط آرک جی‌آی‌اس^۱ به نقشه موضوعی تاج پوشش تبدیل شد (جهدی و همکاران، ۱۳۹۴).

ت-کالیبراسیون مدل

مدل نیمه تجربی گسترش آتش فارسایت (فینی، ۲۰۰۴) تلفیقی از مدل‌های مختلف و بر مبنای سامانه بی‌هیو^۲ است. فارسایت علاوه بر مدل‌های توسعه‌یافته برای آتش سطحی (روترمل، ۱۹۷۲) و آتش تاجی (ون واگنر^۳، ۱۹۹۳)، از مدل آتش نقطه‌ای (آلبینی^۴، ۱۹۷۶) و رطوبت ماده سوختنی (نلسون^۵، ۲۰۰۲) نیز در شبیه‌سازی‌های رفتار آتش استفاده می‌کند. این سامانه بر پایه استفاده از مدل‌های ماده سوختنی استاندارد (اندرسون^۶، ۱۹۸۲؛ اسکات و بورگن، ۲۰۵) برای توصیف مشخصات مواد سوختنی (از جمله بار ماده سوختنی، عمق بستر ماده سوختنی و ...) و رفتار آتش آنها است.

در این مطالعه، مدل فارسایت برای شبیه‌سازی پخش و رفتار آتش ییلاق قصرداغ استفاده شد. لایه‌های ورودی موردنیاز شبیه‌سازی در این مدل شامل توپوگرافی، شرایط آب و هوایی و ماده سوختنی تهیه‌شده به‌صورت فایل‌های اسکی^۷ است. از سامانه اطلاعات جغرافیایی^۸ برای مدیریت اطلاعات مکانی منطقه مطالعه و دستیابی به لایه‌های ورودی موردنیاز برای اجرای مدل استفاده شد. اندازه تفکیک مکانی همه لایه‌ها ۱۰ متر تعیین شد.

با استفاده از گزارش آتش‌سوزی تهیه‌شده توسط اداره منابع طبیعی شهرستان مشگین‌شهر و نیز بررسی میدانی، اطلاعات درباره سطوح سوخته شده، نقاط احتراق و موقعیت گسترش در زمان مشخص استخراج شد. با استفاده از این اطلاعات، موقعیت نقطه احتراق در بخش جنوب غربی منطقه سوخته شده در نزدیکی روستای بالوقیه تخمین زده شد.

1 ArcGIS

2 BEHAVE

3 van Wagner

4 Albini

5 Nelson

6 Anderson

7 ASCII

8 GIS, ArcGIS 10.4.1, ESRI Inc.

با انجام شبیه‌سازی، فایل وکتوری محیط آتش و فایل‌های رستری رفتار آتش شامل نقشه‌های زمان رسیدن آتش، شدت خط آتش، طول شعله و نرخ گسترش تولید شد. از آنجایی که تنها محیط آتش مشاهده شده و زمان رسیدن جبهه آتش به مرز شمالی محیط آتش (نقطه اطفای حریق در ساعت ۱۹) گزارش شده بود، خروجی‌های شبیه‌سازی آتش در گام زمانی ۳۰ دقیقه‌ای (خطوط کنتور آتش) و زمان رسیدن با موارد مشاهده شده مقایسه شد.

فینی (۲۰۰۳) کالیبراسیون را به صورت "فرآیند تشخیص مشکلات و ایجاد بهبودها برای شبیه‌سازی، به طور معمول در مقایسه با مشاهده‌های رفتار آتش واقعی" تعریف کرده است. در این مطالعه، کالیبراسیون مدل آتش از طریق تغییر فاکتورهای تعدیل^۱ برای مدل‌های ماده سوختنی انجام شد. شایان ذکر است که این فاکتورها گسترش هر مدل ماده سوختنی را تغییر می‌دهد و روی رفتار آتش اثر نمی‌گذارد (اکبروک و تاسل^۲، ۲۰۰۵). همچنین این فاکتورها به کاربر امکان استفاده از قضاوت کارشناسی یا داده محلی برای اعمال تنظیمات شبیه‌سازی نسبت به طرح‌های گسترش آتش مشاهده شده را می‌دهد. این پارامترها مختص مدل ماده سوختنی است و برای به دست آوردن تعدیل معین در نرخ گسترش ضرب می‌شود. برای مثال، نرخ گسترش برای تیپ‌های ماده سوختنی با پارامتر تعدیل ۰٫۵ و ۰٫۲۵، به ترتیب تا نصف و یک‌چهارم کاهش می‌یابد و با استفاده از پارامتر تعدیل ۲، دو برابر می‌شود. درحالی که با پارامتر تعدیل ۱، نرخ گسترش اصلی حفظ خواهد شد. از آنجاکه تعیین این پارامتر برای مدل‌های ماده سوختنی نیازمند اندازه‌گیری‌ها و مطالعه‌های گسترده‌ای است که هنوز در شرایط پوشش گیاهی ایران انجام نشده است؛ بنابراین مدل‌های ماده سوختنی استاندارد انتخاب شده در منطقه مطالعه بدون تغییر این عامل و معادل نرخ گسترش اصلی ۱، به کار برده شد. تنها در مورد مدل‌های ماده سوختنی تیپ علفی، به دلیل بیش برآورد زیاد مشاهده شده در شبیه‌سازی، فاکتور تعدیل به نصف کاهش داده شد.

یافته‌های تحقیق

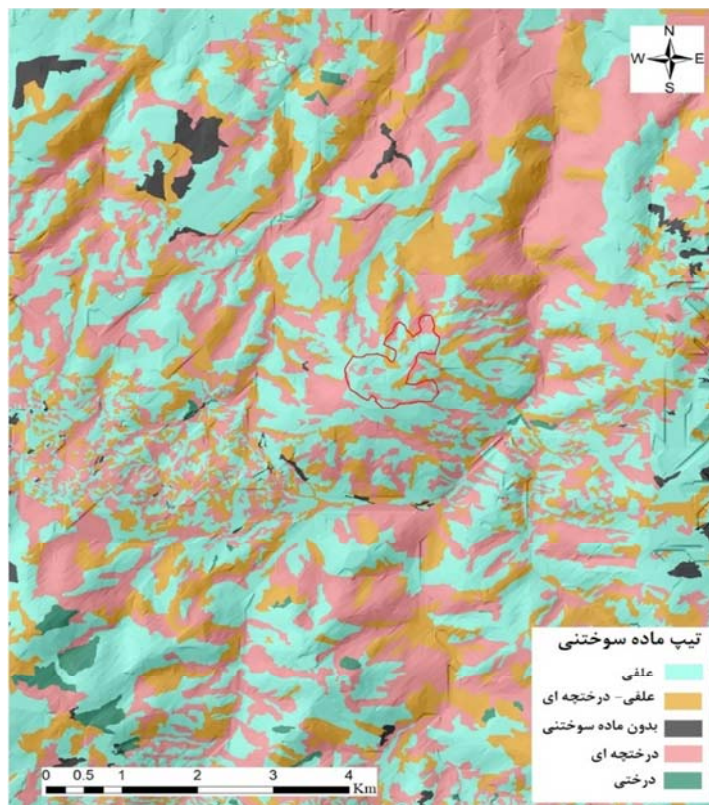
اساس کار در این پژوهش تهیه نقشه‌های مدل‌های ماده سوختنی متناسب با منطقه مطالعه و استفاده از آنها برای شبیه‌سازی گسترش آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع است. با توجه به گزارش آتش و بازدید میدانی از ناحیه سوخته- شده و اطراف آن، پوشش گیاهی در محیط آتش، موزائیکی از پوشش علفی در مراتع با درختچه‌زار پراکنده فندق و تک درختان بلوط را ارائه می‌دهد (شکل ۲). بخش نخست گسترش آتش در چراگاه‌های علفی بود، درحالی که در ساعات پایانی پخش آن در مناطق درختچه‌ای ادامه یافت. مشخصات پوشش گیاهی منطقه مطالعه در ۱۴ مدل ماده سوختنی با استفاده از مدل‌های ماده سوختنی رفتار آتش استاندارد (اسکات و بورگن، ۲۰۰۵) مدل‌سازی شد (جدول ۱؛ شکل ۳). در این مدل‌ها نام‌گذاری مدل‌های ماده سوختنی بر اساس تیپ ماده سوختنی حامل آتش مانند تیپ علفی است. نمای کلی از مدل‌های ماده سوختنی و تاج پوشش منطقه در شکل ۳ ارائه شده است.

1 Adjustment factors
2 Akyürek & Tasel

جدول ۱: توزیع مدل‌های ماده سوختنی رفتار آتش اسکات و بورگن (۲۰۰۵)، با جمع کلی برای تیپ‌های ماده سوختنی موجود در منطقه

مطالعه

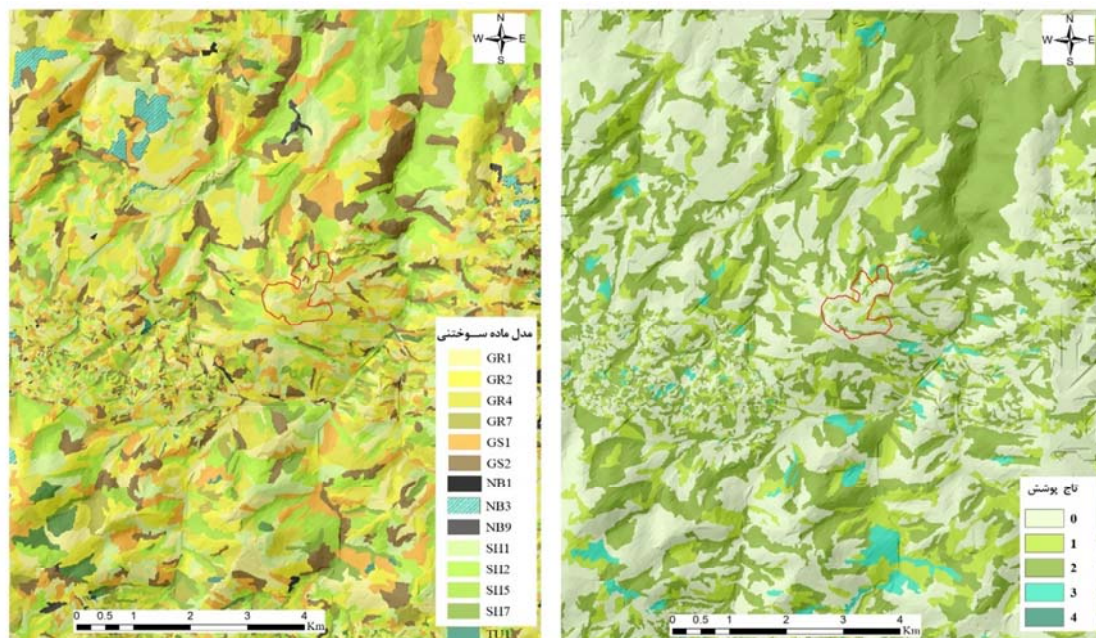
تیپ ماده سوختنی	نام ماده سوختنی رفتار آتش	مدل ماده سوختنی	سطح (هکتار)	درصد
بدون ماده سوختنی	اراضی شهری/توسعه‌یافته	NB1	۳,۹۲	۰,۰۳
	اراضی کشاورزی	NB3	۲۲۲,۰۲	۱,۷۳
	اراضی بایر/لخت	NB9	۹۱,۰۱	۰,۷۱
علفی	علف کوتاه و پراکنده اقلیم خشک	GR1	۱۸۱۹,۶۸	۱۴,۱۸
	علف با بار کم اقلیم خشک	GR2	۲۱۱۲,۲۳	۱۶,۴۶
	علف با بار متوسط اقلیم خشک	GR4	۱۳۵۲,۰۵	۱۰,۵۳
	علف با بار زیاد اقلیم خشک	GR7	۵۰۰,۵۶	۳,۸۹
	علف - درختچه با بار کم اقلیم خشک	GS1	۱۳۶۹,۰۲	۱۰,۶۷
درختچه‌ای	علف - درختچه با بار متوسط اقلیم خشک	GS2	۱۱۱۱,۹۷	۸,۶۶
	درختچه با بار کم اقلیم خشک	SH1	۱۳۹۵,۲۹	۱۰,۸۷
	درختچه با بار متوسط اقلیم خشک	SH2	۱۴۱۷,۰۷	۱۱,۰۴
	درختچه با بار زیاد اقلیم خشک	SH5	۸۹۹,۶۴	۷,۰۱
	درختچه با بار بسیار زیاد اقلیم خشک	SH7	۴۰۹,۹	۳,۱۹
درختی	درختی همراه با پوشش علفی - درختچه‌ای با بار کم اقلیم خشک	TU1	۱۳۱,۲۵	۱,۰۳
جمع			۱۲۸۳۵	۱۰۰
جمع طبقات				
علفی			۵۷۸۴,۵۲	۴۵,۰۷
علفی-درختچه‌ای			۲۴۸۰,۹۹	۱۹,۳۳
درختچه‌ای			۴۱۲۱,۲۹	۳۲,۱۱
درختی			۱۳۱,۲۵	۱,۰۳
بدون ماده سوختنی			۳۱۶,۹۵	۲,۴۷



شکل ۲: نقشه تیپ‌های ماده سوختنی حامل آتش در منطقه مطالعه

چهار تیپ ماده سوختنی کلاسه‌بندی شده (شکل ۲)، مطابق با مدل‌های ماده سوختنی انتخاب شده و وضعیت مشاهده‌شده مواد سوختنی دوباره در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی طبقه‌بندی و به‌صورت نقشه نهایی مدل‌های ماده سوختنی تهیه شد (جدول ۱؛ شکل ۳). بر اساس این جدول مدل‌های ماده سوختنی با تیپ ماده سوختنی حامل آتش مانند علفی (جی آر^۱)، علفی-درختچه‌ای (جی اس^۲)، درختچه‌ای (اس اچ^۳) و درختی (تی یو^۴) توصیف می‌شوند. مشخصات مشاهده‌شده مواد سوختنی در مناطق مورد مطالعه با مشخصات برخی از مدل‌های ماده سوختنی استاندارد انتخاب‌شده تشابه بسیار زیادی داشته است. این نکته سهولت زیادی در انتخاب مدل‌های ماده سوختنی ایجاد کرده است.

1 GR (Grass)
2 GS (Grass-Shrub)
3 SH (Shrub)
4 TU (Timber-Understory)



شکل ۳: نقشه‌های مدل ماده سوختنی و تاج پوشش منطقه مطالعه

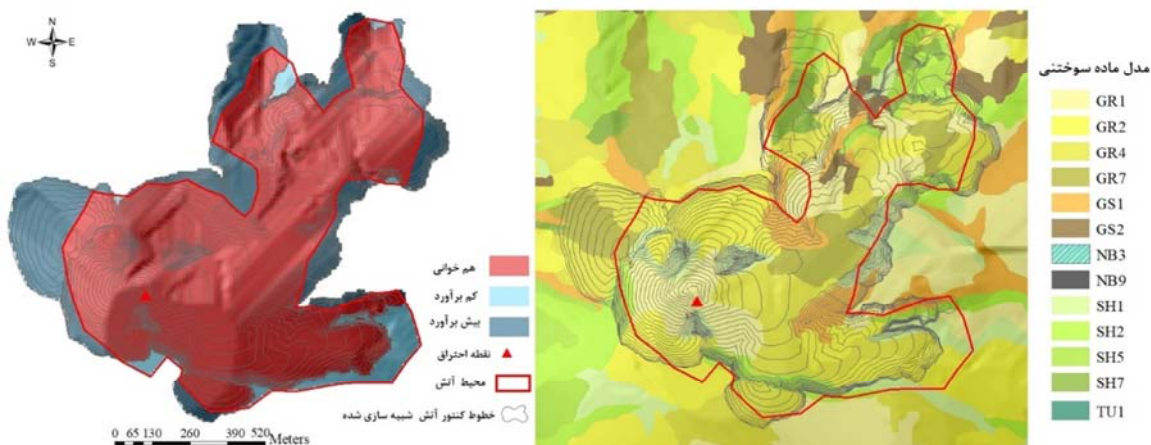
نتایج و بحث

مخاطرات طبیعی در جنگل‌ها و مراتع از جمله آتش‌سوزی‌ها، یکی از مهم‌ترین مسائل مدیریت منابع طبیعی است. از عوامل کلیدی مؤثر بر کاهش خطر آتش‌سوزی‌ها و مدیریت مؤثر اطفای حریق، تهیه نقشه‌های رفتار و گسترش آتش است که این پژوهش نیز به این منظور انجام شده است.

در این تحقیق بعد از تهیه داده ورودی برای مدل فارسایت، شبیه‌سازی آتش سطحی برای مقایسه با آتش واقعی اجرا شد. تیپ‌های اصلی ماده سوختنی در منطقه مطالعه علفی، علفی-درختچه‌ای، درختچه‌ای و درختی بود. به‌منظور رسیدن آتش به موقعیت مورد انتظار در زمان مشخص، مدل‌های ماده سوختنی علفی (با توجه به پوشش غالب آن در محیط آتش) با تغییر فاکتور تعدیل کالیبره شد. به‌طور کلی کالیبراسیون می‌تواند به سه دسته طبقه‌بندی شود: (۱) داده ورودی، پارامترها و تنظیمات، (۲) مدل‌های رفتار آتش و (۳) ماده سوختنی. هرچند که همواره باید مدل مناسب انتخاب شود اما حتی ممکن است این مدل‌های مناسب نیز واقعیت آتش را به‌خوبی ارائه نکند. نرخ و جهت گسترش آتش وابسته به مدل ماده سوختنی، سرعت باد و جهت باد است. امکان تغییر سرعت و جهت باد وجود ندارد، زیرا این پارامترها در ایستگاه هواشناسی اندازه‌گیری شده است. تنها پارامتری که می‌تواند تغییر داده شود مشخصات مدل ماده سوختنی است. این تغییر مطابق با نتایج شبیه‌سازی و مدل‌های ماده سوختنی محلی منطقه مطالعه انجام شد.

خروجی‌های رفتار آتش، زمان رسیدن، نرخ گسترش، طول شعله، شدت خط آتش و خطوط زمانی گسترش آتش حاصل از شبیه‌سازی آتش گذشته با استفاده از مدل فارسایت به دست آمد (شکل‌های ۴ و ۵). با مقایسه نتایج اولیه شبیه‌سازی با اطلاعات به‌دست‌آمده آتش مشاهده شد که لازم است شبیه‌سازی رشد آتش ییلاق قصرداغ بهبود یابد.

این بهبود از طریق تغییر فاکتورهای تعدیل نرخ گسترش برای مدل ماده سوختنی علفی (به دلیل بیش‌برآورد زیاد) انجام شد و نقشه محیط نهایی آتش شبیه‌سازی‌شده به دست آمد (شکل ۴).



شکل ۴: موقعیت نقطه احتراق، سطوح سوخته‌شده مشاهده شده و شبیه‌سازی‌شده، خطوط کن تور زمانی گسترش آتش شبیه‌سازی‌شده (فاصله ۳۰ دقیقه‌ای) و مدل‌های ماده سوختنی.

صحت شبیه‌سازی برای منطقه سوخته‌شده با استفاده از ضریب سورنسون^۱ و نیز کاپا^۲ اندازه‌گیری شد که برای هر دو ۰/۸۴ به دست آمد. کل سطح سوخته‌شده شبیه‌سازی‌شده ۱۱۲/۳۴ هکتار به دست آمد. ۹۴٪ سطح سوخته‌شده واقعی به درستی در شبیه‌سازی هم به‌عنوان سطح سوخته‌شده برآورد شد (همخوانی؛ شکل ۴). اما تقریباً ۲۶/۹۱ هکتار از سطح سوخته‌شده شبیه‌سازی‌شده بیش‌برآورد شده است. ۵/۶۱ هکتار نیز کم‌برآورد به دست آمده است. با این‌وجود در انتهای شبیه‌سازی، جبهه آتش تقریباً به مرز شمالی و شرقی منطقه مطالعه رسیده است. در این پژوهش گسترش آتش تقریباً مشابه با آتش واقعی شبیه‌سازی شد. بنابراین می‌توان گفت که مطابقت مدل آتش استفاده‌شده در منطقه مطالعه قابل‌قبول و در مقایسه با نتایج به‌دست‌آمده از سایر مطالعه‌های انجام‌شده در شرایط جنگل‌ها و مراتع کشور بیشتر بوده است (جهدی و همکاران، ۱۳۹۲؛ بازاری جامخانه و همکاران، ۱۳۹۲؛ امین املشی و همکاران، ۱۳۹۵). توجه به این نکته ضروری است که مدل‌های شبیه‌سازی آتش تنها می‌توانند تقریبی از واقعیت را ارائه کنند. خروجی شبیه‌سازی آتش نمی‌تواند جایگزین دانش و تجربه واقعی افراد درگیر در مدیریت و اطفای حریق در عرصه‌های طبیعی شود. اگرچه دستیابی به اطلاعات درباره گسترش و جهت آتش قبل از رشد آتش می‌تواند به مدیران و تیم‌های میدانی در توسعه فنون اطفای حریق کمک کند.

بر اساس نتایج، بخش‌هایی از سطح سوخته‌شده بیش‌برآورد و بخش‌های کوچکی هم کم‌برآورد شده است. بیش‌برآورد شبیه‌سازی در مناطق جناحی گسترش آتش مورد انتظار بود و مشاهده شد؛ زیرا فعالیت‌های اطفای حریق که از گسترش آتش در این مناطق جلوگیری کرده، در این مدل بررسی نشده است. این نتیجه با مطالعه‌های آلسانا^۳ و

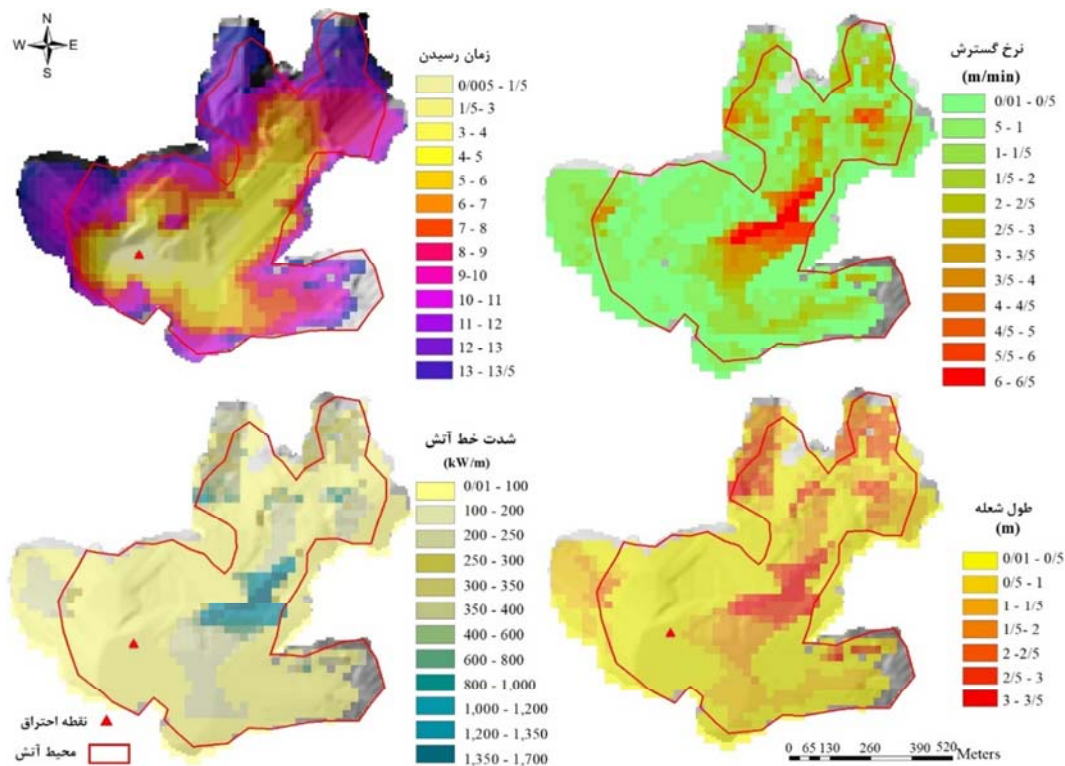
¹ Sorensen

² Kappa

³ Alcasena

همکاران (۲۰۱۵) و نیز سالیس و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد. بیش برآورد و کم برآورد آتش شبیه سازی شده در مقایسه با آتش واقعی می تواند به دلیل امکان دقیق نبودن اطلاعات در مورد رطوبت ماده سوختنی و مدل های ماده سوختنی منطقه، داده آب و هوا (به دلیل فاصله لکه آتش از ایستگاه هواشناسی) و اطلاعات ناکافی درباره اطفای حریق نیز باشد. فاکتورهای تعدیل/کاهش باد به خصوص در مناطق با پوشش گیاهی علفی و تغییرهای شدید توپوگرافی، روی نرخ گسترش آتش در بخش هایی از سیمای سرزمین اثر می گذارد. مدل های ماده سوختنی علفی نسبت به سایر مدل ها سریع تر می سوزد. این خروجی به خصوص برای مدیران آتش برای تعیین راه های مناسب برای مدیریت آتش-سوزی ها، مانند استفاده از پوشش گیاهی مناسب که ظرفیت کمتری برای سوختن دارند در بین مناطق جنگلی و مرتعی برای کاهش نرخ گسترش آتش، مهم است. علاوه بر این بر حساسیت پارامتر مدل ماده سوختنی در مدل سازی آتش تأکید می کند.

نقشه های طول شعله و نرخ گسترش (شکل ۵) به دست آمده با فارسایت بر شرایط خطرناکی که تیم اطفای حریق با آن مواجه بود، به خصوص سه ساعت بعد از شروع آتش، در ساعت ۱۲ ظهر که گسترش آتش با شدت زیاد شد، تأکید دارد. زمانی که خطوط کنتور زمانی گسترش آتش شبیه سازی شده بررسی شد نتایج نشان داد که در ۶۰ دقیقه نخست گسترش آتش، آتش احتمالاً با شدت زیاد نبوده است و نرخ گسترش آن ملایم بود. این مورد می تواند به دلیل تیپ های ماده سوختنی و یکنواختی داده آب و هوایی موجود باشد. نقشه طول شعله نیز نشان می دهد که چگونه آتش در ابتدا با شدت کم مشخص شد، سپس به تدریج رشد کرده تا اینکه در ساعات بعد از ظهر با تشدید گرما و کاهش رطوبت نسبی طول شعله ها بیشتر شد. ارزش های بیشتر طول شعله در مناطقی ثبت شد که پوشش گیاهی با علف ها و درختچه های انبوه مشخص شده که با متوسط ارتفاع بین ۳ تا ۳/۵ متر برآورد شده است. بیشترین ارزش های طول شعله در مناطقی رخ داده که جهت باد و شیب در یک ردیف قرار گرفته اند (همتراز بودند).



شکل ۵: نقشه‌های زمان رسیدن، نرخ گسترش، طول شعله و شدت خط آتش شبیه‌سازی‌شده آتش بیلاق قصرداغ

از آنجایی که شرایط باد خیلی قوی نبود، نرخ گسترش زیاد نبود و بنابراین آتش در ابتدا به آهستگی رشد کرده است. نرخ گسترش به ارزش‌های $6/5 \text{ m min}^{-1}$ در مناطق پرشیب افزایش یافته است. به دلیل محدودیت‌های فارسایت در مدل‌سازی پخش آتش در شرایط توپوگرافی پرشیب، ارزش‌های نرخ گسترش می‌تواند کم‌برآورد شده باشد.

در کل این آتش با یک تغییر ناگهانی در رفتار آتش مشخص شده است. دلیل اصلی این تغییر رفتار به نظر توپوگرافی و کوهستانی بودن منطقه می‌باشد؛ اثر باد که با خود آتش تقویت شد، اثر شیب را تشدید کرد. اگرچه سرعت کلی باد نسبتاً ملایم بود، شدت باد محلی به‌مرور افزایش یافت. علاوه بر این، توجه به تفاوت‌های زیاد رفتار آتش بین اراضی مسطح و شیب‌دار مهم است. آتش مورد مطالعه دارای جهت‌های گسترش مختلفی مطابق با سطح سوخته‌شده واقعی بود. موقعیت، زمان واکنش‌ها به آتش و اطلاعات درباره تعداد تیم‌ها و وسایل نقلیه در گزارش آتش‌سوزی اشاره نشده بود؛ بنابراین شبیه‌سازی واکنش‌ها در عملیات اطفای حریق انجام نشد. فعالیت‌های اطفای روی نرخ گسترش آتش، شکل و رفتار آتش اثر می‌گذارد. به دلیل اینکه این پارامترها به‌عنوان ورودی برای شبیه‌سازی وارد نشد، بیش‌برآورد سطح سوخته‌شده به‌ویژه در محدوده غربی به‌دست آمد. بادهای با مقیاس زمانی و مکانی متوسط (ساعتی) و مواد سوختنی نسبتاً همگن در فایل‌های رستری برای انعکاس تغییرپذیری در مقیاس ریز در محیط آتش (زمانی یا مکانی)، بسیار درشت بود که عملاً از گسترش آتش در نرخ‌های متغیر جلوگیری می‌کند. این مورد موجب می‌شود که

نرخ متوسط گسترش آتش در مناطق وسیع و در مدت‌های زمانی طولانی، بیش‌برآورد شود. ارتباط غیرخطی بین سرعت باد، سرعت آتش و نرخ گسترش آتش، بیانگر این است که امکان پیش‌بینی نرخ گسترش متوسط از روی سرعت متوسط باد وجود ندارد. علاوه بر این، نوسان جهت‌های باد نیز موجب پیش‌بینی بیش‌ازحد گسترش در جهت مخالف شود، زیرا این مورد گریز از مرکز شکل آتش در مقایسه با شکل بیضی آتش را کاهش می‌دهد (اکیروک و تاسل، ۲۰۰۵). توصیف پویایی و رفتار آتش رخ داده در منطقه مطالعه با مقداری خطای باقیمانده انجام شد. این مورد به این دلیل است که بازسازی کامل و یکنواخت حادثه آتش گذشته امکان‌پذیر نبود. با وجود عدم قطعیت برخی داده ورودی و درجه تخمین آتش، این مطالعه منجر به یک بازسازی قریب به واقع حادثه آتش ییلاق قصرداغ شد. بر اساس نتایج این مطالعه و سایر مطالعه‌ها (اس‌چون ناگل^۱ و همکاران، ۲۰۰۴؛ کراوچوک و همکاران، ۲۰۰۶؛ سالیس و همکاران، ۲۰۱۲؛ لوزانو و همکاران، ۲۰۱۶، واکیانو و همکاران، ۲۰۱۸) مدل ماده سوختنی و پارامترهای آب و هوا مانند سرعت و جهت از پارامترهای بسیار حساس مدل‌های رفتار آتش هستند. با توجه به کمبود اطلاعات در زمینه تیپ‌های ماده سوختنی در جنگل‌ها و مراتع کشور، تعیین مدل‌های ماده سوختنی از تصاویر ماهواره‌ای در دسترس امکان‌پذیر است. همچنین استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با اندازه تفکیک مکانی مناسب برای تهیه نقشه‌های پوشش گیاهی، موجب تهیه داده دقیق‌تر ماده سوختنی می‌شود. از مدل‌های شبیه‌سازی آتش می‌توان در مدل‌سازی آتش-سوزی گذشته یا مطالعه آتش‌سوزی‌های تجویزی برای تعیین مدل‌های ماده سوختنی محلی برای جنگل‌ها و مراتع کشور استفاده کرد. در این مطالعه به اهمیت اطلاعات درباره آتش با توجه به گزارش‌های آتش‌سوزی ثبت شده، در طول شبیه‌سازی اشاره شد. در طول آتش‌سوزی‌های واقعی، اطلاعات درباره وضعیت خط آتش، نیروهای اطفای حریق و موقعیت‌های آن‌ها در یک زمان مشخص و نیز شرایط آب و هوایی در منطقه در طول آتش باید مشاهده، اندازه‌گیری و یادداشت شود. با استفاده از اطلاعات دقیق‌تر، مدل‌های رفتار آتش مطابق با وضعیت‌های واقعی می‌تواند کالیبره شود.

نتیجه‌گیری

مراتع نیمه استپی استان اردبیل با آب‌وهوای گرم و خشک در تابستان و در نتیجه وجود مواد سوختنی خشک، همراه با توپوگرافی پیچیده در این مناطق، به‌ویژه در مناطق همجوار علفزارها با درختچه‌زارها و جنگل‌ها، شرایط مطلوبی برای رشد آتش در این سیمای سرزمین است. مؤلفه‌های مثلث سوختن (ماده سوختنی، گرما و اکسیژن) در این شرایط به‌صورت بهینه درآمده که بستر ماده سوختنی پیوسته‌ای با بار سبک، مواد سوختنی نرم و ریز فراهم می‌کنند که در طول گسترش آتش به‌سرعت خشک شده و می‌سوزند. رطوبت‌های کمتر ماده سوختنی به دلیل وضعیت توپوگرافی منطقه و مسیرهای باد که خطوط تراز توپوگرافی را دنبال می‌کنند، از دیگر مشخصات آسیب‌پذیری این شرایط نسبت به آتش‌سوزی است.

تجزیه و تحلیل آتش‌سوزی‌های گذشته ممکن است مقدار خطای زیادی را به دلیل عدم قطعیت داده ورودی نشان دهد. بنابراین خروجی مدل‌ها باید با توجه به چنین محدودیت‌هایی تفسیر شود. کاربرد این مطالعه بر تجزیه و تحلیل

¹ Schoennagel

رفتار آتش و درک مکانیسم‌های پیچیده‌ای که مرتبط با آتش‌سوزی‌ها با شدت زیاد است، اشاره دارد. هدف این کار بررسی یک حادثه آتش‌سوزی گذشته بسیار مهم به‌منظور ارزیابی نقاط بحرانی و سخت آتش، برای تولید اطلاعات برای نیروهای اطفای حریق و بهبود درک آنها از پویایی‌های پخش آتش است.

راهبرد پیشنهادی مهم برای جلوگیری یا کاهش آسیب‌های ناشی از آتش‌سوزی به‌خصوص در مناطق با بار زیاد ماده سوختنی آماده اشتعال (مانند تیپ‌های علفی متراکم) در فصل خشک و بحرانی حریق می‌تواند شامل کاهش بار ماده سوختنی (از طریق آتش‌سوزی تجویزی و کنترل‌شده پیش از شروع حریق‌های احتمالی) با توجه به اصول حفاظت و حمایت از اکوسیستم‌های جنگل‌ها و مراتع باشد. این رویکرد نیاز به شناسایی مناطق مهم برای اولویت‌بندی مداخلات مدیریت آتش دارد. با توجه به این مسئله، خروجی‌های حاصل از مدل‌های رفتار و گسترش آتش می‌تواند برای حمایت از فرآیند تصمیم‌سازی، کمک به برنامه‌ریزی مدیریت آتش و فعالیت‌های کاهش ریسک استفاده شود. علاوه بر این، این خروجی‌ها می‌تواند برای اولویت‌بندی مناطق خاص با در نظر گرفتن ارزش‌های تحت تأثیر آتش در این اکوسیستم‌ها، رفتار بالقوه آتش یا احتمال سوختن، یا محدودیت‌های فیزیکی سیمای سرزمین مفید باشد. این کار با ترکیبی از تجزیه و تحلیل‌ها در سامانه اطلاعات جغرافیایی و نقشه‌های رفتار و گسترش آتش به‌عنوان اطلاعات کلیدی برای برنامه‌ریزی و ارزیابی فعالیت‌های مدیریت آتش و ماده سوختنی انجام می‌شود. افزایش آگاهی تیم‌های تصمیم‌گیر و به‌خصوص تیم‌های میدانی برای کنترل و مدیریت آتش از طریق مدل‌سازی آتش در شرایط محیط-زیستی مختلف، هم از دیگر نتایج اثربخش این مطالعه است. تهیه داده‌های ورودی دقیق به‌ویژه مربوط به پوشش گیاهی و آب‌وهوای منطقه، به همراه ثبت دقیق حوادث آتش‌سوزی و انواع فعالیت‌های اطفای حریق در دستیابی به نتایج بهتر مدل‌سازی آتش مؤثر خواهد بود. همچنین به‌کارگیری این نتایج به‌منظور کاهش رخداد آتش و نیز خسارت‌های آن به‌ویژه از طریق ارزیابی اثر فعالیت‌های کاهش بار ماده سوختنی آماده اشتعال قبل از فصل بحرانی حریق و نیز ارزیابی آثار تغییر شرایط آب و هوایی روی آتش پیشنهاد می‌شود.

تقدیر و تشکر

این طرح از محل اعتبارات طرح پژوهشی مصوب معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه محقق اردبیلی با شماره ۲۲۵۵۸ با عنوان "تدوین برنامه مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع در استان اردبیل" تأمین شده است که بدین‌وسیله تشکر می‌شود.

منابع

- امین املشی، مسعود، قدس خواه، مهرداد، اسلام بنیاد، امیر، پوربابایی، حسن، جعفری، مصطفی، وحید غلامی. ۱۳۹۵. شبیه‌سازی رفتار آتش با استفاده از مدل آتش FlamMap در برنامه Arcfuels (مطالعه موردی جنگل‌کاری‌های تخسم در استان گیلان). تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران، ۱۴ (۱)، ۱-۱۱.
- بازاری جامخانه، محمد، میرباقری، بابک، شکیب، علیرضا، علی اکبر متکان. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی گسترش آتش‌سوزی در عرصه‌های طبیعی با استفاده از مدل FARSITE (مطالعه موردی: جنگل‌های شهرستان نکا). همایش ملی پژوهش‌های محیط‌زیست ایران، همدان، ایران.

- جهدی، رقیه، درویش صفت، علی اصغر، وحید اعتماد. ۱۳۹۲. پیش‌بینی گسترش آتش جنگل با استفاده از مدل رفتار آتش (مطالعه موردی: جنگل ملکرد- سیاهکل). مجله جنگل ایران، ۵ (۴)، ۴۳۰-۴۱۹.
- جهدی، رقیه، درویش صفت، علی اصغر، وحید اعتماد. ۱۳۹۴. تهیه نقشه تیپ ماده سوختنی در مقیاس محلی و پیش‌بینی رفتار آتش سطحی با استفاده از FARSITE (مطالعه موردی: جنگل توشی- سیاهکل). فصلنامه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۲، ۲۲۵-۲۰۳.
- سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور. ۱۳۹۷. نقشه پوشش گیاهی ایران. دفتر مهندسی، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور. شریفی، جابر، فیاض، محمد، رستمی‌کیا، یونس، عظیمی، فرزانه، پروانه عشوری. ۱۳۹۷. تیپ‌های گیاهی عرصه‌های منابع طبیعی استان اردبیل. طبیعت ایران، ۴ (۱)، ۲۶-۲۱.
- طاووسی، تقی و قدیر دل‌آرا. ۱۳۸۹. پهنه‌بندی آب و هوایی استان اردبیل. نیوار، مجله علمی-ترویجی سازمان هواشناسی کشور، ۳۴، ۷۱-۷۰.
- محمدپور، مطهره و سولماز دشتی. ۱۳۹۸. پیش‌بینی شبیه‌سازی گسترش آتش‌سوزی در اکوسیستم جنگلی به کمک مدل FARSITE (مطالعه موردی: جنگل‌های استان ایلام). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۹ (۳۳)، <https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.74556>.
- مددی، المیرا، محسن ملکی. ۱۳۹۷. ارزیابی اثرات اجتماعی - اقتصادی پروژه‌های منابع طبیعی اجراشده از دید دینفان (مطالعه موردی: حوزه آبخیز اندبیل - شهرستان خلخال)، نشریه علمی پژوهشی مرتع، ۱۲ (۳)، ۲۸۰-۲۶۷.
- Ager, A.A., Barros, A.M.G., Day, M.A., Preisler, H.K., Spies, T.A., Bolte, J. (2018). Analyzing fine-scale spatiotemporal drivers of wildfire in a forest landscape model. *Ecological Modelling*, 384: 87-102
- Albini, F.A. (1976). Estimating wildfire behavior and effects. Gen. Tech. Rep. INT-30. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 92 p.
- Alcamo, J., Moreno, J.M., Novaky, B., Bindi, M., Corobov, R., Devoy, R.J.N., Giannakopoulos, C., Martin, E., Olesen, J.E., Shvidenko, A. (2007). Europe. In: *Climate Change, 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by: Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE, Cambridge University Press, Cambridge, 541-580.
- Alcasena, F.J., Salis, M., Ager, A.A., Arca, B., Molina, D., Spano, D. (2015). Assessing landscape scale wildfire exposure for highly valued resources in a Mediterranean area. *Environmental Management*. 55: 1200-1216.
- Akyürek, Z., Tasel, E. (2005). Wildfire simulation modeling using remote sensing and GIS integration for Marmaris-Çetibeli wildfire, Turkey. *New Strategies for European Remote Sensing*, Olui (ed.) © 2005 Millpress, Rotterdam, ISBN 90 5966 003 X.
- Alexander, M.E., Thomas, D.A. (2003). Wildland fire behavior case studies and analyses: other examples, methods, reporting standards, and some practical advice, *Fire Management Today*, 63, 4, 4-12.
- Arca, B., Duce, P., Laconi, M., Pellizzaro, G., Salis, M., Spano, D. (2007). Evaluation of FARSITE simulator in Mediterranean maquis. *International Journal of Wildland Fire*, 16: 563-572.
- Brown, J.T., Hall, L.B., Westerling, L.A. (2004). The impact of twenty-first century climate change on wildland fire danger in the Western United States: An application perspective. *Climate Change*, 62: 365-388.
- Butler, B.W., Bartlette, R.A., Bradshaw, L.S., Cohen, J.D., Andrews, P.L., Putnam, T., Mangan, R.J. (1998). Fire Behavior Associated with the 1994 South Canyon Fire on Storm King Mountain, Colorado, USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Research Paper RMRS-RP-9, 82 p.
- Castellnou, M., Kraus, D., Miralles, M. (2010). Prescribed Burning and Suppression Fire Techniques: from Fuel to Landscape Management. In Montiel C and Kraus D (ed.), *Best Practices of Fire Use-Prescribed Burning and Suppression Fire Programs in Selected Case-Study Regions in Europe*.
- Coen, J.L., Schroeder, W. (2013). Use of spatially refined satellite remote sensing fire detection data to initialize and evaluate coupled weather-wildfire growth model simulations. *Geophysical Research Letters*, 40: 5536-5541.
- Deeming, J.E., Burgan, R.E., Cohen, J.D. (1977). The National Fire Danger Rating System. General Technical Report INT-39. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Forest and Range Experiment Station. 63 pp.
- Dimitrakopoulos, A.P. (2002). Mediterranean fuel models and potential fire behavior in Greece. *International Journal of Wildland Fire*, 11: 127-130.
- Dowdy, A.J., Ye, H., Pepler, A., Thatcher, M., Osbrough, S.L., Evans, J.P., Virgilio, G.D., McCarthy N. (2019). Future changes in extreme weather and pyroconvection risk factors for Australian wildfires. *Scientific Reports*, 9: 10073.

- Duguy, B., Alloza, J.A., Roder, A., Vallejo, R., Pastor, F. (2007). Modelling the effects of landscape fuel treatments on fire growth and behaviour in a Mediterranean landscape (eastern Spain). *International Journal of Wildland Fire*, 16: 619–632.
- Fernandes, P., Luz, A., Loureiro, C., Godinho-Ferreira, P., Botelho, H. (2006). Fuel modelling and fire hazard assessment based on data from the Portuguese National Forest Inventory. V International Conference on Forest Fire Research D. X. Viegas (Ed.).
- Finney, M.A. (2003). Calculation of fire spread rates across random landscapes. *International Journal of Wildland Fire*, 12: 167–174.
- Finney, M.A. (2004). FARSITE: Fire Area Simulator—model development and evaluation. Research Paper RMRS-RP-4 Revised. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 47 pp
- Flannigan, M.D. (2011). Weather, climate and wildland fires. International Conference on Fire Behaviour and Risk, Alghero, Italy, 4-6 October 2011
- Flannigan, M.D., Wotton, B.M. (2001). Climate, weather and area burned. In: Johnson EA, Miyanishi K (ed) *Forest Fires - Behaviour and Ecological Effects*. Academic Press, San Diego, CA, pp 335–357
- Jahdi, R., Salis, M., Darvishsefat, A.A., Alcasena, F., Etemad, V., Mostafavi, M.A., Munoz Lozano, O., Spano, D. (2015a). Calibration of FARSITE simulator in northern Iranian forests. *Natural Hazards and Earth System Science*, 15: 443–459.
- Keane, R.E., Burgan, R., van Wagendonk, J. (2001). Mapping wildland fuels for fire management across multiple scales: integrating remote sensing, GIS, and biophysical modeling. *International Journal of Wildland Fire*, 10: 301–319.
- Krawchuk, M.A., Cumming, S.G., Flannigan, M.D., Wein, R.W. (2006). Biotic and abiotic regulation of lightning fire initiation in the mixedwood boreal forest, *Ecology*, 87: 458–468.
- Legendre, P., Legendre, L. (1998). *Numerical Ecology*. 2nd edn. (Elsevier: Amsterdam),
- Lozano, O.M., Salis, M., Ager, A.A., Arca, B., Alcasena, F.J., Monteiro, A.T., Finney, M.A., Giudice, L.D., Scoccimarro, E. Spano, D. (2016). Assessing Climate Change Impacts on Wildfire Exposure in Mediterranean Areas. *Risk analysis* 37 (10): 1898–1916.
- Mccaffrey, S.M. (2004). Thinking of Wildfire as a Natural Hazard. *Society and Natural Resources*, 17(6): 509–516.
- Mouillot, F., Rambal, S., Joffre, R. (2002). Simulating climate change impacts on fire frequency and vegetation dynamics in a Mediterranean-type ecosystem. *Global Change Biology*, 8: 423–437.
- Nelson, R.M. (2000). Prediction of diurnal change in 10-h fuel sticks moisture content. *Canadian Journal of Forest Research*, 30, 1071–1087.
- Ottmar, R.D., Sandberg, D.V., Riccardi, C.L., Prichard, S.J. (2007). An overview of the fuel characteristic classification system—quantifying, classifying, and creating fuel beds for resource planning. *Canadian Journal of Forest Research*, 37: 2383–2393.
- Pausas, J.G. (2004). Changes in fire and climate in the Eastern Iberian Peninsula (Mediterranean Basin). *Climate Change*, 63: 337–350.
- Pyne, S.J., Andrews, P.L., Laven, R.D. (1996). *Introduction to Wildland Fire*. 2nd Ed. John Wiley and Sons, New York.
- Riano, D., Moreno-Ruiz, J.A., Isidoro, D., Ustin, S.L. (2007). Global spatial patterns and temporal trends of the burned area between 1981 and 2000 using NOAA-NASA Pathfinder. *Global Change Biology*, 13: 40–50.
- Richards, G.D. (1990). An elliptical growth model of forest fire fronts and its numerical solution. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 30: 1163–1179.
- Rothermel, R.C. (1972). A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA For. Serv. Res. Paper INT-115.40 pp
- Rothermel, R.C. (1993). Mann Gulch fire: a race that couldn't be won, Gen. Tech. Rep. INT-142. Ogden, UT: USDA Forest Service, Intermountain Forest, and Range Experiment Station.
- Salis, M., Ager, A.A., Alcasena, F., Arca, B., Finney, M., Pellizzaro, G., Spano, D. (2015). Analyzing seasonal patterns of wildfire exposure factors in Sardinia, Italy. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187:4175.
- Salis, M., Arca, B., Ager, A.A., Fois, C., Bacciu, V., Duce, P., Spano, D. (2012). Extreme wildfire spread and behavior: case studies from North Sardinia, Italy. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 14, 10052 p. ISSN 1607–7962.
- Sandberg, D.V., Ottmar, R.D., Cushon, G.H. (2001). Characterizing fuels in the 21st Century. *International Journal of Wildland Fire*, 10: 381–387.
- Sá, A.C.L., Benali, A., Fernandes, P.M., Pinto, R.M.S., Trigo, R.M. Salis, M., Russo, R., Jerez, S., Soares, P.M.M., Schroeder, W., Pereira, J.M.C. (2017). Evaluating fire growth simulations using satellite active fire data. *Remote Sensing of Environment*, 190: 302–317.

- Schoennagel, T., Veblen, T.T., Romme, W.H. (2004). The interaction of fire, fuels, and climate across Rocky mountain forests, *Bioscience*, 54: 661–676.
- Tavosi, T., Delara, G. (2010). Climate Classification of Ardabil Province. *Nivar, Journal of Meteorological Organization*, 12, 34, 47-52.
- Tian, H., Liu, M., Zhang, C., Ren, W., Chen, G., Xu, X., Lu, C. (2005). DLEM-The Dynamic Land Ecosystem Model, User Manual. The EDGE Laboratory, Auburn University, Auburn, AL.
- Trigo, R.M., Sousa, P.M., Pereira, M.G., Rasilla, D., Gouveia, C.M. (2013). Modeling wildfire activity in Iberia with different atmospheric circulation weather types. *International Journal of Climatology*, 36 (7): 2761-2778.
- Vacchiano, V., Foderi, C., Berretti, R., Marchi, E., Motta, E. (2018). Modeling anthropogenic and natural fire ignitions in an inner-alpine valley. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 18: 935–948.
- van Wagner, C.E. (1993). Prediction of crown fire behavior in two stands of jack pine. *Canadian Journal of Forest Research*, 23, 442-449.
- Viegas, D.X. (2009). Recent forest fire-related accidents in Europe, JRC-IES European Commission Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability.
- Viegas, D.X., Abrantes, T., Palheiro, P., Santo, F.E., Viegas, M.T., Silva, J., Pessanha, L. (2006). Fire weather during the 2003, 2004, and 2005 fire seasons in Portugal. V International Conference on Forest Fire Research, Coimbra, Portugal, November 2006.
- Viegas, D.X., Ribeiro, L.M., Viegas, M.T., Pita, L.P., Rossa, C. (2009). Impacts of fire on society: Extreme fire propagation issues, Pages 97-110 in *Earth observation of wildland fires in the Mediterranean ecosystem*, Chuvieco E. (Ed.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, German.

Research Article

Assessment of Streamflow Drought Based on Truncation Level (TL) Using Permanent Streamflow Data in one of the Sub-Basin of Lut Desert, Iran

Hamid Nazaripour¹, Mehdi Sedaghat^{*2}, Mohammad Poodineh³, Amir Hossein Halabian⁴

1. Assistant Professor, Department of Environment, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran. & Assistant Professor, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Iran.

2*. Assistant Professor, Department of Geography, Payam Noor University, Tehran, Iran.

3. Assistant Professor, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

4. Associate Professor, Department of Geography, Payam Noor University, Iran.

Received: 29-12-2018

Final Revised: 10-10-2019

Accepted: 03-11-2019

Abstract

Drought is known as one of the main natural hazards especially in arid and semi-arid regions where there are considerable issues in regard to water resources management. The focus of the present study is mainly on hydrological aspects of drought. For hydrological drought analysis, streamflow data is used as the key variable to identify drought events with reference to a demand specific threshold level, termed as truncation level. Thus, the objective of the present study is to (a) investigate the hydrological drought characteristics in Nesa River using streamflow data; (b) determine independent drought events, their duration, and severity using the variable truncation level approach; and (c) derive streamflow drought severity index. Based on expedience probabilities, the monthly flow duration curves for Nesa River were derived. These were utilized to estimate different dependable flows, and the values of variable truncation levels were obtained for a 75% probability level for each month. These values were used to distinguish the deficit and surplus flow periods independent drought events identified using the pooling procedure. Since 10 daily flow data were utilized, the minimum deficit flow duration was 10 days. In the following, have been identified some short duration (one or two 10-daily time step) surplus and deficit events. To decide on independent drought despite the short duration inter-event surplus has been used for a pooling procedure known as inter-event time and volume criterion (IC). Eventually, identified independent drought events and also describe their duration, severity, intensity, and DSI. Analysis of independent drought Characteristics in Nesa River indicated that are prolonged dry period in the hydrological regime of this river. In addition, based on DSI, Nesa droughts mostly are in sever category. Hence, it is suggested more realistic reload occurs in management programs of this river including storage, distribution and assign to various resources.

Keywords: Hydrological drought, Truncation level, Low flow, Deficit flow, Drought severity index.

* Corresponding Author Email: sedaghat.me@pnu.ac.ir

Research Article

Seasonal Analysis of Days Along With Heavy Rainfall Event in Talesh-Anzali Wetland Basin

Fereydon Azad Gholami Kasmakh¹, Parviz Rezaei^{2*}, Amir Gandomkar³

1. Ph.D of Climatology, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

2*. Associate Professor of Climatology, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

3. Associate Professor of Climatology, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

Received: 23-06-2019

Final Revised: 29-02-2020

Accepted: 13-06-2020

Abstract

Heavy Rainfall is one of the natural dangers. Heavy rainfalls, directly or indirectly, affect human lives and their activities. In this study, the Talesh-Anzali wetland basin in the west of Guilan province has been investigated. To determine the probability of heavy rainfall events (seasonal) and the trend existence, non-parametric Men-Kendall test, to determine the probability of rainfall event ≥ 30 mm Poison's method and to identify local patterns of precipitation event IDW method has been applied. The data in this study include daily precipitation of ≥ 30 mm in 20 synoptic stations in a period of 30 years (1987-2016). The results showed the trend is mainly increasing, so that the stations located in the center towards the north of the study district in every four seasons and the stations in Anzali in spring and Masoleh in three seasons of summer, autumn and winter have increasing trend, but in some cases, some stations mainly toward the southern half of the area such as kasma in summer, Bashmahalleh and Rasht in winter and Ghalehroud Khan in autumn and winter have extreme decrease trend. Also, in all seasons of the year, in some stations, irregular and accidental changes are observed in the event frequency. This irregularity results from a lack of continuity increase or decrease of the event frequency and rainfall or lack of rainfall of ≥ 30 mm in some stations. Poison's distribution showed that the probability of lack of event in stations with non-humid climate is so high and the addition of lack of event with an event is more than 90% frequency of rainfall event ≥ 30 mm. Furthermore, in the north and central stations of the region, the most possibility for different events in all seasons of the year has been recorded. In the end, the results showed Poison's distribution has a proper evaluation of precipitation events in this region.

Keywords: Heavy Rainfall, Man-Kendall, Poison, Talesh-Anzali wetland Basin.

* Corresponding Author Email: Rezaei@iaurasht.ac.ir

Research Article

Identifying the most appropriate of combat desertification alternatives by using the Eigenvector Method and the Vikor Model

Mohammad Hassan Sadeghi Ravesh^{1*}, Hassan Khosravi²

1*. Associate Professor, Department of Environment, College of Agriculture, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran

2. Associate Professor, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 15-07-2019

Final Revised: 23-02-2020

Accepted: 11-03-2020

Abstract

Desertification is defined as land degradation in arid, semi-arid and dry sub-humid that caused as a result of various factors including climatic variations and human activities. Desertification causes many restrictions in terms of agriculture, food security, livestock rising, industry and providing service costs. This phenomenon is a process that gradually developed and accelerated and adjustment costs are increasing exponentially, so according to resource constraints and the desert area sensitivity, providing optimal Combat desertification alternatives natively is necessary to achieve success in controlling and reducing the effects of this phenomenon among different regions. Therefore, this study was performed to provide a systematic and optimal alternative in a group decision-making model. To this aim, at the first in the framework of Multiple Attribute Decision-making (MADM), indices priority was determined using the Eigenvector model. Then, alternatives priority was evaluated by the VIKOR model. Assessing selecting conditions of optimal alternatives in the context of the mentioned model showed that Prevention of unsuitable land use changes (A18), vegetation cover development and reclamation (A23) and modification of groundwater harvesting (A31) with VIKOR index of $Q = 0, 0.3083$ and 0.6241 were selected as the main desertification hazards control alternative in the study area, respectively. Therefore, it is suggested that the obtained results and ranking should be considered in projects of controlling and reducing the effects of desertification and rehabilitation of degraded land plans.

Keywords: Desertification Hazards control, Eigenvector Technique, Multi-Attribute Decision Making (MADM), Vikor Model, Pairwise comparison.

* Corresponding Author Email: m.sadeghiravesh@tiau.ac.ir

Research Article

Flood Susceptibility Mapping Using a Support Vector Machine Models (SVM) and Geographic Information System (GIS)

Ali Cheraghi Ghalehsari¹, Mahmoud Habibnejad Roshan^{2*}, Sayed Hussein Roshun³

1. M.Sc. Graduate in Water Engineering, Aban Haraz Institute of Higher Education, Amol, Iran

2*. Professor of Watershed Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

3. Ph.D. candidate in Watershed Engineering and Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Received: 23-07-2019

Final Revised: 07-06-2020

Accepted: 06-07-2020

Abstract

Preparing a flood susceptibility map is necessary and the first step in reducing the damage caused by floods. Due to a lack of information in most of the basins, many researches use data mining techniques for hydrological studies, especially floods. The aim of this study is to identify areas with flood susceptibility using a support vector machine (SVM) in the Nekaroud basin. For this purpose, 12 geomorphologic, hydrological and physiographic parameters including slope, aspect, elevation classes, temperature, land use, rainfall, density and distance from the fault, density and distance from the drainages, density and distance from the road, which are provided in the ArcGIS, SAGA GIS and ENVI software's environments. The GPS device was also used to acquire flood points. Finally, all variables and flood points were entered into the R software in ASCII format with the same pixel size (12.5 m). To evaluate model accuracy, ROC was used in the R software environment. The results of the evaluation showed that the SVM model has good accuracy in identifying flood susceptibility areas in the study area. In addition, the results of this study showed that flood susceptibility areas are more in the northern and northwest regions of the basin and in portions where the concentration of human settlements is higher, while the central regions of the basin with dense vegetation have a low sensitivity to flooding. The results of this study can help planners and researchers to do appropriate actions to prevent and reduce future flood risks. It can also be used to identify suitable and safe areas for construction development.

Keywords: Flood Susceptibility Map, Support Vector Machine, Data Mining, ROC, Nekaroud basin.

* Corresponding Author Email: m.habibnejad@sanru.ac.ir

Research Article

A Simple Model for determining flood hazard areas

Hamid Hassas¹, Abolfazl Azizian^{2*}, Mohsen Ghasemi³

1. MSc. Graduate of Watershed Management, Ardakan University, Ardakan, Iran.

2*. Assistant Professor, Department of water Science and Engineering, Ardakan University, Ardakan, Iran.

3. Ph.D. Graduate of Water Science and Engineering, Isfahan University of technology, Isfahan, Iran.

Received: 30-07-2019

Final Revised: 04-12-2019

Accepted: 13-05-2020

Abstract

Determination of the submergible area by flood provides a fundamental tool for reducing flood risks. Therefore, in this research, flood spreading modeling was designed using web-based software with the capability of zoning submerged areas by Google Maps DEM Data. For this purpose, at the first, a specified interval of a river is selected on the map. Then, at each selected section, the maximum cross-sectional area for passing flow is calculated. Then, based on the average of the cross-section area for the total interval and the physical properties of the selected river interval, the maximum flow rate is calculated. For this flow rate, the safe area of the flood is marked on the map. For a greater flow rate, the software determined the areas at risk of flooding, and ultimately the flood risk map is specified. For example, the software was applied for a seasonal river in Shiraz, which sinks to the Maharlu Lake with satisfactory results. Afterward, the October 2011 flood event of Ayutthaya River in Thailand was investigated, where satellite images of the flood-affected areas were available. Investigation of the satellite image of this flood along with the survey of topographic maps of the river route indicated peak discharge of the flood was 4113.01 m³/s, which differed as 2.1 percent as compared to a record of 4200 m³/s (real measured peak flow). If the flood occurs with the current situation in the area, the flooded area decreased by 17.63% compared with the submerged area in 2011. Furthermore, simulation of the March 2019 Shiraz Flood by the model was in good agreement with the report of the Special Committee of 2019 Iran Floods.

Keywords: Flood Zoning; Shiraz Quran-Gate Flood; Flood Risk; Google Maps.

* Corresponding Author Email: aazizian@ardakan.ac.ir

Research Article

Evaluation of Subtropical Jet Position Displacement on Iran and its Predictability Based on Two Climate Models including CanESM2 and GFDL-CM3

Abdolazim Ghanghermeh^{1*}

^{1*}. Assistant Prof, Department of Geography, Golestan University, Gorgan, Iran

Received: 03-09-2019

Final Revised: 05-02-2020

Accepted: 18-02-2020

Abstract

Iran's location in the latitude of 25 to 40°N in the northern hemisphere has made the subtropical jet stream a factor in regulating humidity systems in Iran, making it easy for humidity systems to enter the country when this jet stream is in Southern Iran. But as it moves northward, its strength decreases. In recent years, it has been reported that the positioning of subtropical jet streams in the Northern Hemisphere is shifting. Therefore, the purpose of this study is to evaluate the position of subtropical jet stream location and its variability over Iran. In this study, data on zoning wind velocity ranged between 30 and 80°E in the Northern Hemisphere, at levels between 1000 and 10 hPa from NOAA, as well as outputs of circulation models including CanESM2 and GFDL-CM3 for the historical period 1948 to 2005 and periods Future from 2006 to 2100 were received from IPCC in two scenarios RCP4.5 and RCP8.5. In this study, the main components of the jet stream include the central core velocity of the jet stream and its latitude position. Investigation of the position and velocity of the jet stream indicates that the subtropical jet position changes in Iran and its eastern regions are followed by significant incremental changes. Whereas in west Iran, there is a significant decline in jet stream velocity changes. The future of Jet Stream positioning in Iran based on the CanESM2 and GFDL-CM3 climate models in both rcp4.5 and rcp8.5 scenarios indicates that relative to the base period in both scenarios as well as the near and far future of its position to the north Moves.

Keywords: Subtropical Jet Stream, Circulation Models, Humidity Systems, RCP4.5, and RCP8.5 Scenarios.

* Corresponding Author Email: a.ghangherme@gu.ac.ir

Research Article

Analysis of the impact of land use change on groundwater level drop) Case study: Mahidasht, Kermanshah province)

Somayeh Emadodin^{1*}, Nasrin Shadie Majd², Saleh Arekhi³

1*. Assistant Professor Department of Geography, Golestan University, Gorgan. Iran

2. MA in Environmental hazards, Department of Geography, Golestan University, Gorgan. Iran

3. Assistant Professor Department of Geography, Golestan University, Gorgan. Iran

Received: 21-09-2019

Final Revised: 17-03-2020

Accepted: 05-05-2020

Abstract

The shortage of surface water resources has led to harvesting groundwater in many parts of the world and a sharp drop in groundwater aquifers. With an ever-increasing population, more and more harvesting has come from these resources, and these natural resources are facing a serious threat. On the other hand, land use changes affect groundwater resources and affect the quantity and quality of groundwater. The Mahidasht Plain is located in Kermanshah Province, which has been affected in recent decades due to the growing population of land use, has affected the process of exploitation of water resources, and has made important contributions to the groundwater resources. In the present study, by using the images of the Landsat and Sentinel 2, land use maps for the study area were identified in the four years of 1987, 2000, 2009, and 2017, and land use changes were also identified in 30 years. Then, according to 44 piezometric wells for the period 2000 to 2016, the amount and trend of groundwater level changes were determined and the number of changes was also estimated in existing uses in the area. The results of Satellite Images analysis in the areas of Firoozabad and Mahidasht during the years 1987 to 2017 indicate an increase in the area of agricultural land utilization, reducing the area of land use, agriculture, and forestry. However, decreased precipitation and increased extraction of underground water in the following years led to a severe drop in the water level. The precipitation rate and its change play a significant role in controlling the underground water level. As the rainfall increases, more water flows into the aquifer which leads to increased water feeding and rises in the underground water level.

Keywords: Land use, Groundwater leveling, Mahidasht, Firoozabad, Kermanshah.

* Corresponding Author Email: s.emadodin@gu.ac.ir

Research Article

Analysis of seasonal behavior of flood events and their temporal changes for the Hyrcanian watersheds (Pilot study: watersheds of the Gorganrud River Basin, Iran)

Akram Lalouzai¹, Amir Sadoddin^{2*}, Arash Zare Garizi³, Vahedberdi Sheikh⁴

1. PhD Student of Watershed Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

2*. Associate Professor, Watershed Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

3. Assistant Professor, Watershed Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

4. Associate Professor, Watershed Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

Received: 25-09-2019

Final Revised: 04-02-2020

Accepted: 01-03-2020

Abstract

Identifying the seasonal behavior of flood events and their changes over time in watersheds provide useful insights for a better understanding of flood processes, planning water projects, and managing flood risks. Directional statistics provide a good basis for determining the similarity between flood occurrence times and is useful for flood seasonality analysis. This method was applied to a set of 20 river gauge stations in the Gorganrud River Basin, located in the North of Iran, with a 48-year recording period, to identify the seasonality of flood occurrences as well as their variations. Two indices namely MDF and r which indicate the average time of flood occurrence and the uniformity of their occurrence date during the year (degree of seasonality), were calculated for the maximum instantaneous flow data, respectively. Also, in order to examine long-term changes in flood seasonality, the recording period of the maximum flow data was divided into three 16-year intervals representing the distant past, near past, and the present time and then the indices were calculated for each interval. The results show that the average time of flood occurrence in the Gorganrud River Basin is in springs and summers. Also, the majority of the stations (about 75%) have r values between 0.3 and 0.7, which indicates an intermediate degree of seasonality meaning that the time of occurrence of the events spreads over one, two or three seasons. Analysis of long-term changes in flood seasonality shows that the average time of flood events in the Gorganrud River Basin has not changed significantly from the past. The degree of seasonality, however, has decreased compared to the past period. A mixture of different flood generation processes such as snowmelt and summer or fall rainfalls and the combined influence of geographical location and the size of watersheds can be the possible reasons for the reduction in flood seasonality in this basin.

Keywords: Maximum instantaneous discharge, Flood seasonality, Directional statistics, Flood generation process, the Gorganrud River Basin.

* Corresponding Author Email: amir.sadoddin@gau.ac.ir

Research Article

Evaluating the Environmental Effects of Iron Ore Production Unit (Case Study: Qinarjeh Takab Iron Ore Mining)

MirMehrdad Mirsanjari^{1*}, Nafiseh Rezapoor Andabili²

1*. Assistant Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Iran.

2. PhD Student, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Iran.

Received: 02-10-2019

Final Revised: 04-01-2020

Accepted: 25-01-2020

Abstract

Now, in order to achieve sustainable development in the country and to prevent pollution and environmental degradation, all development and development activities in the country are taking into account environmental considerations. On the basis of this, before the implementation of many development and development projects, the impacts and consequences of such plans are identified and predicted on the environment of the region, and the necessary measures are taken to control and reduce them, and this is generally done through an assessment. The environmental impacts of development projects are based on existing laws in the country. Saratoga Matrix was used to assess the environmental impacts of Qinarjeh Takab iron ore production unit design, and to analyze the two options for implementation and non-implementation of the project in two phases of construction and operation. In this study, the effects of the non-implementation option were evaluated with the option of implementation of the project, and in the executive option, the effects of all project activities on the environment were studied. The focus of attention in the environmental assessment is on the definitive effects, but the potential effects of the index are also considered important and studied. The results of the effects in the construction phase (-120) and in the exploitation phase (+142) indicate that the implementation and operation of the Qinarjeh Takab iron ore production unit have positive effects and, given the predominance of definite effects, the micro products of the unit production project Iron cane iron Takab is applicable.

Keywords: Saratoga Matrix, Environment, Impact Assessment, Sustainable Development.

* Corresponding Author Email: mmmirsanjari@malayeru.ac.ir

Research Article

Survey of wildfire simulation using FARSITE model (case study: Yeylagh Gasre Dagh, Meshgin Shahr Municipality)

Roghayeh Jahdi^{1*}, Ardavan Ghorbani², Kiomars Sefidi³

1*. Assistant Professor of Forest Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2. Associate Professor of Rangeland Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

3. Associate Professor of Forest Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Received: 03-10-2019

Final Revised: 10-03-2020

Accepted: 05-05-2020

Abstract

Wildfire as a natural hazard is a major problem for forest and rangeland ecosystems of the world. In the Semi-Steppe Rangelands of Ardabil Province, severe wildfires can account for the adverse impacts on the ecosystems. These fires are the result of the combination of weather conditions, dry fuels, and topography effects. The Ghasre Dagh Yeylagh fire is an example of a severe wildfire that occurred with extreme environmental conditions, which was ignited on August 16, 2015, in the Meshgin Shahr municipality. In this study, weather conditions, fuels, and topography factors that strongly affected the fire will be accurately analyzed. The fire spread and behavior data including the observed final fire perimeter and fire arrival to the northern border of the fire perimeter (firefighting point) collected during the event will be also compared with the results of fire simulation obtained by FARSITE model. The average simulation accuracy for the burned area, as measured by the Sorensen coefficient and Cohen Kappa Coefficient was 0.84. Simulation overestimation of flanking fire spread areas was expected and observed, since suppression activities that contained the fire spread were not considered in the model, due to the lack of this information. The main goal of this paper is to thoroughly study the behavior of a recent fire, to learn from it, and lessen the potential mistakes or hazardous fire-fighting operations in similar environmental conditions. Furthermore, a crucial point is to teach the fire crews not to be threatened by severe or abrupt fire behavior under extreme environmental conditions.

Keywords: Rangelands, Semi-Steppe, Wildfire, Behavior, Analysis.

* Corresponding Author Email: roghayeh.jahdi@uma.ac.ir

English Abstracts

Table of Contents

ASSESSMENT OF STREAMFLOW DROUGHT BASED ON TRUNCATION LEVEL (TL) USING PERMANENT STREAMFLOW DATA IN ONE OF THE SUB-BASIN OF LUT DESERT, IRAN HAMID NAZARIPOUR ¹ , MEHDI SEDAGHAT ² , MOHAMMAD POODINEH ³ , AMIR HOSSEIN HALABIAN ⁴	1
SEASONAL ANALYSIS OF DAYS ALONG WITH HEAVY RAINFALL EVENT IN TALES-ANZALI WETLAND BASIN FEREYDON AZAD GHOLAMI KASMAKH ¹ , PARVIZ REZAEI ² , AMIR GANDOMKAR ³	3
IDENTIFYING THE MOST APPROPRIATE OF COMBAT DESERTIFICATION ALTERNATIVES BY USING THE EIGENVECTOR METHOD AND THE VIKOR MODEL MOHAMMAD HASSAN SADEGHI RAVESH ¹ , HASSAN KHOSRAVI ²	5
FLOOD SUSCEPTIBILITY MAPPING USING A SUPPORT VECTOR MACHINE MODELS (SVM) AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS) ALI CHERAGHI GHALEHSARI ¹ , MAHMOUD HABIBNEJAD ROSHAN ² , SAYED HUSSEIN ROSHUN ³	7
A SIMPLE MODEL FOR DETERMINING FLOOD HAZARD AREAS HAMID HASSAS ¹ , ABOLFAZL AZIZIAN ² , MOHSEN GHASEMI ³	9
EVALUATION OF SUBTROPICAL JET POSITION DISPLACEMENT ON IRAN AND ITS PREDICTABILITY BASED ON TWO CLIMATE MODELS INCLUDING CANESM2 AND GFDL-CM3 ABDOLAZIM GHANGHERMEH ¹	11
ANALYSIS OF THE IMPACT OF LAND USE CHANGE ON GROUNDWATER LEVEL DROP) CASE STUDY: MAHIDASHT, KERMANSHAH PROVINCE) SOMAYEH EMADODIN ¹ , NASRIN SHADIEE MAJD ² , SALEH AREKHI ³	13
ANALYSIS OF SEASONAL BEHAVIOR OF FLOOD EVENTS AND THEIR TEMPORAL CHANGES FOR THE HYRCANIAN WATERSHEDS (PILOT STUDY: WATERSHEDS OF THE GORGANRUD RIVER BASIN, IRAN) AKRAM LALOUZAI ¹ , AMIR SADODDIN ² , ARASH ZARE GARIZI ³ , VAHEDBERDI SHEIKH ⁴	15
EVALUATING THE ENVIRONMENTAL EFFECTS OF IRON ORE PRODUCTION UNIT (CASE STUDY: QINARJEH TAKAB IRON ORE MINING) MIRMEHRDAD MIRSANJARI ¹ , NAFISEH REZAPOOR ANDABILI ²	17
SURVEY OF WILDFIRE SIMULATION USING FARSITE MODEL (CASE STUDY: YEYLAGH GASRE DAGH, MESHGIN SHAHR MUNICIPALITY) ROGHAYEH JAHDI ¹ , ARDAVAN GHORBANI ² , KIOMARS SEFIDI ³	19

Vol.: 09, Issue: 25, Autumn 2020

Concessionaire: Faculty of Geography and Environmental planning,
University of Sistan and Baluchestan

Director: Negaresh, Hossein
Editor in Chief: Khosravi, Mahmoud
Manager: Fotoohi, Samad

Editorial Board:

- | | | |
|-----|------------------|---|
| 1. | Akbari, A. | Prof. in Agricultural Economics- University of Sistan and Baluchestan |
| 2. | Alijani, B. | Prof. in Climatology-University of Kharazmi(Teheran) |
| 3. | Asgary, A. | Associate prof. in Urban planning-York University (Canada) |
| 4. | Ebrahimzadeh, I. | Prof. in Urban planning-University of Sistan and Baluchestan |
| 5. | Fotoohi, S. | Associate prof. in Geomorphology-University of Sistan and Baluchestan |
| 6. | Ghayoor, H.A. | Prof. in Physical Geography-University of Isfahan |
| 7. | Jahanbakhsh, S. | Prof. in Climatology-University of Tabriz |
| 8. | Khosravi, M. | Prof. in Climatology-University of Sistan and Baluchestan |
| 9. | Masoodian, S.A. | Prof. in Climatology-University of Isfahan |
| 10. | Negaresh, H. | Prof. in Geomorphology-University of Sistan and Baluchestan |
| 11. | Ramesht, M.H. | Prof. in Geomorphology-University of Isfahan |
| 12. | Shahriyari, A. | Associate prof. in Natural Resources-University of Zabol |

English Editor: Dr. Zadmehr Torabi and Marzie Daraei

Executive Manager: Masoud Saeedi

Executive Director: Marzie Daraei

Edit and Page Layout: Marzie Daraei

University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, P.O. Box 98135-987,
Tel: +98-54-31136799, Fax: +98-54-33416141, Email: ehazards@usb.ac.ir
Print ISSN: 2676-4377 Online ISSN: 2676-4385

In the Name of God

Journal of
Natural Environmental
Hazards

(ISC Journal)

Vol.: 09, Issue: 25
Autumn 2020

University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, P.O. Box 98135-987,
Tel: +98-54-31136799, Fax: +98-54-33416141, Email: ehazards@usb.ac.ir
Print ISSN: 2676-4377 Online ISSN: 2676-4385