DOR: 20.1001.1.20085656.1401.15.56.2.6

صص ۳۸-۱۷

مدل‌سازی و پیش‌بینی خطر وقوع منطقه‌ای سیلاب حاصل از بارش تحت شرایط تغییر اقلیم (مطالعه موردی: حوضهٔ آبخیز گرگانرود)

عبدالحافظ پناهی
دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، نور، ایران
غلامرضا جانباز قبادی*
استادیار گروه جغرافیای طبیعی، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، نور، ایران
صدرالدین متولی
دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، نور، ایران
شهریار خالدی
استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۲۳ تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۲/۱۷

چکیده

بدون تردید سیل به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی شناخته‌شده است. تغییرات قابل‌ملاحظه بارش در زمان و مکان از یک‌سو و کمی ایستگاه‌های هواشناسی در ثبت بارش از سوی دیگر ضرورت نبین مدل‌های تخمین سیلاب را در زمان و مکان امری اجتناب‌ناپذیر می‌نماید. روش پژوهش حاضر، با توجه به ماهیت مسئله و موضوع موردبررسی، از نوع توصیفی - تحلیلی است و از نوع مطالعات کاربردی با تأکید بر روش‌های کمی است، در پژوهش حاضر تغییرات منطقه‌ای سیلاب در حوضه آبخیز گرگانرود با به‌کارگیری اطلاعات ایستگاه‌های سازمان هواشناسی (سینوپتیک) با دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۶۸ تا ۱۳۹۷)، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، شاخص رطوبت توپوگرافیک، شیب، ارتفاع، لیتولوژی زمین، فاصله از رودخانه، تراکم رودخانه، فرسایش، خاک‌شناسی، رواناب، داده‌های شبیه‌سازی شده میانگین بارندگی حاصل از مدل HadCM3 در LARS-WG تحت سناریو SRA1B بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۵ برآورد شده است. پس از محاسبه فاکتور بارندگی برای ایستگاه موردنظر از طریق نرم‌افزار Excel، به‌منظور بررسی نقشه تغییرات منطقه‌ای بارندگی در محیط نرم‌افزار ArcGis و کمترین میزان خطا از روش میانیابی کریجینگ بیزی با پراکنش (Expotntial) و جهت انتخاب بهترین روش درون‌یابی از شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا RMS قدر مطلق خطا MAE استفاده گردید. نتایج نشان داد روش کریجینگ بیزی زمین آمار به‌عنوان بهترین روش در میان روش‌های مورداستفاده می‌تواند برای برآورد تغییرات بارندگی پایه و شبیه‌سازی شده جهت مدل‌سازی روند سیلاب در کنار پارامترهای دیگر مورد ارزیابی قرار گیرد. روش کریجینگ عام با پایین‌ترین میزان میانگین خطای برآورد (۰/۰۰۴) و مربع میانگین ریشه خطا ۸۲/۲۳ بهترین روش برای درون‌یابی در این پژوهش است. همچنین در تلفیق روش‌های تحلیل فازی با سلسله مراتبی برای تعیین میزان برآورد مورد

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۲۰۷۱۰۸۰ Email: gghobadi@yahoo.com

انتظار هر دو روش دارای برآوردی بیشتر از حد انتظار بودند. یافته‌ها نشان داد که زیر حوضه نرماب در قسمت مرکزی به مقدار ۸۰۰ میلی‌متر زیر حوضه‌های مادرسو، یل چشمه و قرناوه در شمال شرقی حوضه آبخیز گرگانرود به مقدار ۵۰۰ الی ۷۰۰ میلی‌متر و بخش‌های شمالی حوضه محمدآباد و قورچای به مقدار ۳۰۰ میلی‌متر همچنین به‌طور کلی حوضه آبخیز گرگانرود با بیش‌ترین میانگین بارشی نسبت به حوضه قره‌سو را در طی دوره ۳۰ ساله دریافت کرده است که نشان از سیلابی بودن این منطقه از شمال کشور دارد.

کلید واژگان: پهنه‌بندی، تغییر اقلیم، سیلاب، بارندگی، زمین‌آمار، سیستم اطلاعات جغرافیایی.

مقدمه

درک مکانیسم‌های پهنه‌بندی سیل برای بهبود خطرات سیل در آینده تفسیر روند تغییرات متغیرهای اقلیمی مهم است (Yang, 2020: 585). در هنگام جاری شدن سیلاب تا حد زیادی مناطقی از زمین را که معمولاً تحت پوشش نیستند را از بین می‌برد و باعث تخریب زمین‌های کشاورزی و زیرساخت‌های مهم، جابجایی جمعیت انسانی، اخلال در فعالیت‌های اقتصادی (K. Smith, 2013: 362). علاوه بر تهدیدها، مدیریت خطر سیل به دلیل طیف وسیعی از منابع که به آن‌ها خطری نسبت داده می‌شود عمدتاً ترکیبی از فرایندهای فیزیکی، فعالیت‌های انسانی و ماهیت ژئومورفولوژی پیچیده زمین است (C. Sampson, 2015: 7358; C. Nkwunonwo, 2019: 272). اقلیم هر منطقه نتیجهٔ عملکرد عناصر و عواملی است که در محیط حاکم هستند (قاسمی فر و ناصر پور،۱۳۹۳: ۵۴). بارش یکی از عناصر و فرایندهای اصلی اقلیم هر منطقه است که در برنامه‌ریزی‌های شهری و روستایی، مکان‌یابی صنعتی، معماری، کشاورزی، صنایع و ... نقش تعیین‌کننده دارد (عساکره و قند علی،۱۳۹۸: ۳۳۵). زمین‌آمار یکی از مهم‌ترین روش‌های برآورد توزیع مکانی پدیده‌های جغرافیایی به‌ویژه بارش و دما است؛ چرا که برآورد دقیق آن‌ها در بسیاری از علوم مانند هیدرولوژی، جغرافیا، کشاورزی و آبیاری حائز اهمیت می‌باشد (خسروی و همکاران،۱۳۹۳: ۱۲۱). استفاده از تکنیک‌ها و فنون آماری امروزه به‌طور گسترده‌ای مورد توجه محققان علوم کاربردی، به‌ویژه علم هواشناسی برای پیش‌بینی و شناسایی رفتار جوّی مانند بارندگی، رطوبت، دما و غیره قرار گرفته است (صالح وند و همکاران،۱۳۹۹). در راستای برداشت دقیق داده‌های بارش به‌عنوان مهم‌ترین ورودی مدل‌سازی‌های هیدرولوژیکی، شبکهٔ باران‌سنجی نقش اساسی را ایفا می‌کند. با طراحی شبکهٔ باران‌سنجی بهینه می‌توان با حداقل هزینه و عدم اطمینان داده‌های بارش را برداشت نمود. به‌منظور بهینه یابی ایستگاه‌های باران‌سنجی روش‌های متفاوتی ارائه شده که در این میان روش‌های زمین‌آمار به گستردگی مورد استفاده قرار می گیرند (زند کریمی و همکاران،۱۳۹۷: ۱۱۵). یکی از مهم‌ترین متغیرهای ورودی برای محاسبه‌های بیلان آب و تهیه مدل‌های هیدرولوژیکی توزیع مکانی بارش است؛ بنابراین خطای ناشی از آن اثرهای مستقیمی در برنامه‌ریزی منابع آب خواهد داشت. نگهداری و مدیریت منابع آب هم تابعی از بارش دریافتی است و هم به تغییرپذیری بارش

بستگی دارد. هرچه تغییرات مکانی بارش کوچک‌تر باشد همگنی و یکدستی منابع آب بیشتر می‌شود. از سوی دیگر هرچه تغییرپذیری زمانی بارش کمتر باشد منابع آب نیز باثبات‌تر خواهد بود و عرضه دائمی آب امکان‌پذیر می‌شود. تفاوت‌های مکانی بارش در ایران بسیار زیاد است. این تفاوت‌ها از یک‌سو به طبیعت رفتار مکانی بارش بازمی‌گردد که اساساً متغیری سرکش است و تغییرات مکانی شدیدی از خود نشان می‌دهد. از سوی دیگر تنوع منشأ بارش در نقاط مختلف سبب شده است تا در هر منطقه مقدار بارش و زمان بارش متفاوت باشد. (شفیعی قهرمان و همکاران،۱۳۹۲: ۱۰). با توجه به تغییرهای قابل‌ملاحظه بارندگی در زمان و مکان از یک‌سو و کم بودن ایستگاه‌های باران‌سنجی برای ثبت میزان بارندگی روزانه از سوی دیگر ضرورت تبیین مدل‌های تخمین بارندگی اجتناب‌ناپذیر است. تعیین مناسب‌ترین روش میان‌یابی در سطح یک منطقه و تبیین چگونگی توزیع فضایی و مکانی آن برای برآورد توزیع مکانی بارش ضروری است. برای برآورد و تخمین متغیرهایی ازاین‌دست روش‌های مختلفی وجود دارد. به‌عنوان‌مثال می‌توان روش‌های کلاسیک همچون تیسن و میانگین حسابی را نام برد. همه این روش‌ها ازنظر محاسبه‌ها سریع و آسان می‌باشند. ولی به دلایلی ازجمله در نظر نگرفتن موقعیت، آرایش و همبستگی بین مشاهدات از دقت کافی برخوردار نیستند البته روش‌های دیگری نیز وجود دارند که به دلیل در نظر گرفتن همبستگی و ساختار مکانی داده‌ها اهمیت زیادی دارند. ازجمله این روش‌ها می‌توان روش زمین‌آمار را نام برد. (Arnaud,2012:398). بارش عنصری اقلیمی با وردایی زمانی- مکانی بسیار بالاست. از جلوه‌های وردایی بارش مقادیر فرین آن است که با پیامدهای محیطی– انسانی و به سبب تأثیرات گسترده در ساختارهای فیزیکی و انسانی در کانون مطالعات اقلیمی است؛ بنابراین، بررسی این نوع بارش‌ها در ناحیه‌ای که قطب کشاورزی است و از طرفی، این بارش‌ها یکی از مخاطرات طبیعی است اهمیت دارد (عساکره و حسینجانی،۱۳۹۸: ۱۳۵).

در بسیاری از مطالعات و بررسی‌های منابع طبیعی و کشاورزی، به دلیل عدم پوشش کامل ایستگاه‌های اندازه‌گیری نقطه‌ای باران، برآورد بارش منطقه‌ای یا تخمین بارش در مناطق خشک میان ایستگاه‌ها ضروری است (ذبیحی و همکاران،۱۳۹۰: ۱۰۲). متغیرهای اقلیمی موردنیاز برای کاربرد در مدیریت منابع آب و هیدرولوژی معمولاً توسط ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری می‌شوند و این داده‌ها فقط برای نقطه‌ای که اندازه‌گیری شده‌اند معتبر هستند. تکنیک‌های میان‌یابی این امکان را فراهم کرده که بتوان متغیرهای اقلیمی را برای دیگر مکان‌ها نیز برآورد کرد (Younger, 2009:1989). علیرغم وجود تعداد زیاد روش‌های میان‌یابی اما تعیین بهترین روش که بتواند شرایط واقعی را ایجاد کند مشکل است. هریک از روش‌های میان‌یابی با توجه به نوع متغیر اقلیمی موردبررسی محاسن و معایبی دارد بنابراین تصمیم‌گیری در ارتباط با انتخاب بهترین روش برای داده‌های نقطه‌ای بسیار حساس است. از طرفی قبل از انتخاب روش باید هدف از میان‌یابی نیز مشخص شود؛ چراکه اهداف مختلف نیاز به روش‌های میان‌یابی متفاوتی هستند (Zho, 2014:299). اهمیت توزیع فضایی متغیرهای اقلیمی مانند

اندازه‌گیری دقیق این متغیرها مهم است. انتخاب روش میان‌یابی مناسب بخصوص در مناطق کوهستانی و کویری که کمبود داده دارند و ممکن است متغیرهای اقلیمی با تغییرات کوچک‌مقیاس مکانی تغییر کنند بسیار مهم است.

هدف کلیدی پژوهش حاضر مدل‌سازی و پیش‌بینی خطر وقوع منطقه‌ای سیلاب حاصل از بارش تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از الگوریتم تحلیل فازی و تحلیل سلسله مراتبی حوضه‌های آبخیز استان گلستان است.

به دلیل بالا بودن ضریب تغییرپذیری زمانی و مکانی بارش در منطقه استان گلستان شناخت منابع آب و متغیرهای محیطی و بررسی آن‌ها که عمدتاً حاصل ریزش‌های جوی است از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بارش یکی از پدیده‌های اقلیمی است که به علت وابستگی زندگی موجودات زنده به آن از اهمیت زیادی برخوردار است. این اهمیت زمانی آشکارتر می‌شود که در یک منطقه با کمبود ریزش و یا با ریزش ناگهانی روبرو شویم. درواقع بارش پدیده‌ای اقلیمی است که به دلیل پیوند با اجزاء مختلف دستگاه اقلیم رفتاری پیچیده دارد. تدوین و تکوین این پژوهش می‌تواند راهگشای مطالعات بعدی باشد و نیز در برنامه‌ریزی‌های سازمان‌های آب منطقه‌ای، هواشناسی، منابع طبیعی، جهاد کشاورزی، محیط‌زیست، راه و ترابری و کلیهٔ کاربران اقلیم در جهت توسعه پایدار منطقه مؤثر واقع گردد؛ در واقع امکان برنامه دقیق‌تر مدیریت منابع آب منطقه و کمک به محاسبه دقیق‌تر بارش منطقه در کنار متغیرهای محیطی دیگر ازجمله مزایای این پژوهش است. تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه پدیده بارش صورت در منطقه استان گلستان و ایران صورت گرفته است ولی هیچ‌کدام این متغیر اقلیمی را با دیدگاه تغییرپذیری اقلیمی همراه با متغیرهای محیطی به‌صورت تلفیقی بررسی نکرده‌اند که شرح مختصری از این پژوهش‌ها در ذیل اشاره می‌شود.

صالحوند و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی تحت عنوان پیش آگاهی بلندمدت بارش با استفاده از سیستم شبکهٔ عصبی مطالعهٔ موردی: حوضهٔ کارون بزرگ به این نتیجه رسیده‌اند که برای پیش‌بینی بارش از داده‌هایی که بیشترین ارتباط را با بارش نشان دادند به‌صورت چهار الگو استفاده گردید که در ماه ژانویه الگوی چهارم با خطای آنتروپی ۰/۰۴۵، تعداد لایه‌های ورودی ۹۱ واحد، بهترین آرایش ۱۵-۱ و ضریب همبستگی ۹۴ درصد بود. در ماه فوریه، الگوی سوم با ضریب همبستگی ۹۷ درصد، خطای آنتروپی ۰۳۶/. درصد، تعداد واحدهای ورودی ۸ واحد و بهترین نوع آرایش لایهٔ پنهان ۱۰-۱ بود. بارش ماه مارس با تمام الگوها ضریب پیش آگاهی بالا بود که الگوی اول با خطای آنتروپی ۰۳۸/. تعداد واحدهای ورودی ۶۷، نوع آرایش لایهٔ پنهان، ۱۷-۱، ضریب همبستگی ۹۸ درصد بود.

سارلی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی تحت عنوان سنجش و شناسایی مناطق مستعد پخش سیلاب از منظر سازندهای زمین‌شناسی در حوزه آبخیز بیرجند با استفاده از RS/GIS به این نتیجه رسیده‌اند که پخش سیلاب

یکی از راهکارهای مدیریت منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. همچنین به این رهیافت دست یافته‌اند که تحلیل فازی و سلسله مراتبی متغیرهای مؤثر در ارزیابی سیلاب می‌تواند به مدل‌سازی دقیق سیلاب کمک شایانی دهد.

محمد پورزیدی و همکاران (۱۳۹۹) در مقاله‌ای تحت عنوان تحلیل فضایی بارش استان مازندران به این نتیجه دست‌یافته‌اند که بارش در استان مازندران دارای الگوی خوشه‌ای باارزش بالا می‌باشد. نتایج رگرسیون موزون جغرافیایی به‌خوبی نشان دهند این موضوع است که بارش استان و ارتفاع دارای رابطه معناداری است؛ که خود این موضوع رفتار بارش استان از غرب به شرق در خصوص رفتار بارش و ارتفاع را بازگو می‌کند.

رستمی و کاظمی (۱۳۹۸) در رهیافتی تحت عنوان پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر ایلام با استفاده از روش AHP و GIS به این نتیجه دست پیدا کرده‌اند که نرم‌افزار Expert Choice می‌تواند مؤثرترین عوامل در بروز خطر سیلاب را شناسایی و با اولویت‌بندی آن‌ها، راهکارهای مدیریتی را معطوف به برطرف کردن یا کاهش تأثیر این عوامل کرد.

فتوحی فیروزآباد و ملکی نژاد (۱۳۹۸) در پژوهشی تحت عنوان تحلیل و پهنه‌بندی مقدار بیشینه بارش روزانه ایران با استفاده از توزیع ویکبای و تکنیک زمین‌آمار به این نتیجه رسیده‌اند که ساختار مکانی بیشینه بارش روزانه برای دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۲۵ سال از مدل گوسی و دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ سال از مدل کروی پیروی می‌کند. روش کریجینگ ساده برای پهنه‌بندی بیشینه بارش روزانه روش مناسبی است. در همه نقشه‌ها، نواحی مرکزی ایران نسبت به دیگر نقاط، کمترین بارش روزانه را دارا هستند. علت تفاوت مکانی در نقشه‌ها در دوره بازگشت‌های مختلف، تفاوت در مقدارهای بارش روزانه در دوره بازگشت‌های مورد نظر است. بدین معنا مناطقی که در یک محدوده همگن قرار گرفته‌اند از نظر مقدار بارش در هر دوره بازگشت، به یکدیگر نزدیک‌تر هستند. عساکره ورزمی (۱۳۹۷) در پژوهشی تحت عنوان مدل‌سازی فضایی بارش تابستانه شمال غرب ایران به این نتیجه رسیده‌اند که بارش تابستانه دارای رفتاری خوشه‌ای است و بر اساس معیارهای ارزیابی مدل، مدل قدرت برازش و برآورد بهتری نسبت به مدل دارد. بر اساس رگرسیون کلی، عوامل مکانی ارتفاع و شیب مهم‌ترین نقش را در رفتار بارش تابستانه منطقه دارند.

مهدوی نژاد و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی تحت عنوان تأثیر تغییر متغیرهای اقلیمی بر تبخیر و تعرق پتانسیل در مناطق خشک با استفاده از زمین‌آمار (بررسی موردی: استان یزد) به این نتیجه رسیده‌اند که باوجود وقوع پدیده تغییر اقلیم و افزایش دما در ۱۳ ایستگاه از ۱۴ ایستگاه مورد مطالعه، مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل در چند دهه گذشته روند کاهشی داشته است. بررسی متغیرهای مؤثر بر تبخیر و تعرق پتانسیل نشان داد که سرعت باد در چند دهه گذشته روند کاهشی داشته است و این کاهش با وجود افزایش دما موجب کاهش تبخیر و تعرق

پتانسیل ۶۴/۲۸ درصد از ایستگاه‌ها شد است. روند کلی تبخیر و تعرق در این دوره ۰/۸۶- بوده که بیانگر روند کاهشی تبخیر و تعرق در سطح استان یزد می‌باشد.

حسین قلی زاده (۱۳۹۷) در پژوهشی تحت عنوان واکاوی وردایی مقدار و زمان بارش در ایستگاه همدید ایلام به این نتیجه رسیده‌اند که مقادیر بارش دریافتی طی ماه‌های مختلف سال در ایستگاه همدید ایلام ایستا نیست و نوع روند و نرخ تغییرات در ماه‌های مختلف سال یک اندازه و همسان نیست. روند زمان بارش‌های دریافتی دورهٔ خشک و گرم سال افزایشی است اما زمان بارش دریافتی اغلب ماه‌های دیگر سال کاهشی است. کاهش زمان بارش در اسفندماه بیش از دو ماه دیگر است. در اردیبهشت‌ماه زمان بارش ۲/۱۲ درصد کاهش داشته است؛ اما در شهریورماه ۰/۲ و مهرماه ۰/۲۸ درصد در هر دهه افزایش داشته است.

خوش‌روش و رضایی (۱۳۹۵) در پژوهش تحت عنوان اثر تغییر اقلیم بر فراوانی سیلاب حوضه کلاردشت با استفاده از تلفیق الگوریتم K-nn و مدل HadCM3 به این نتیجه رسیده‌اند که نتایج تحلیل فراوانی سیل نشان داد که دبی سیل در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ با دوره بازگشت ۲۵ ساله در کل حوضه، نسبت به دوره پایه، ۲۱ درصد کاهش دارد.

حلبیان و پورجزی (۱۳۹۴) در پژوهشی تحت عنوان تحلیل سینوپتیک مخاطرات اقلیمی در جنوب غرب ایران مورد مطالعه: بارش‌های سنگین سیل زا در آذر ۱۳۹۱ به این نتیجه رسیده‌اند که بارش‌های سیل زا در منطقه طی روزهای ۴ تا ۸ آذرماه فرود عمیقی بر شرق مدیترانه تشکیل گشته و منطقهٔ مطالعاتی در نیمه شرقی این فرود که محل ناپایداری جو است قرار داشت.

احمدی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی تحت عنوان بالاترین بارش محتمل ۲۴ ساعته و تأثیر آن در مخاطرات هیدرولوژیکی منطقه جنوب غرب خزر به این الگو دست یافته‌اند که مقادیر بیشترین بارش محتمل با تداوم ۲۴ ساعته برای منطقه مقدار آن برابر با ۲۷۶/۹۵ می‌باشد؛ و متوسط دبی حاصل از آن با در نظر گرفتن ضریب جریان، عدد ۲۱۷۹۷/۶۶ مترمکعب بر ثانیه است. این مقدار آب یک تهدید جدی برای مخاطرات سیلاب در منطقه می‌باشد.

راد مهر و عراقی نژاد (۱۳۹۳) در مقاله‌ای تحت عنوان کاربرد روش تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی فازی در تعیین مناطق آسیب‌پذیر از سیلاب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شهری تهران) به این رهیافت دست پیدا کرده‌اند که اولویت‌بندی زیر حوضه‌های واقع در یک حوضه آبخیز به‌منظور انجام مطالعات کنترل سیلاب می‌تواند در قالب یک مسئله چند معیاره مطرح شود. نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که زیر حوضه سه درون‌شهری در ۱۹ سناریو اولویت اول را از نظر مطالعات کنترل سیلاب کسب کرده است.

سیبایی و ثنایی نژاد (۱۳۹۲) در پژوهشی تحت عنوان بررسی روش‌های ترکیبی زمین‌آمار در افزایش دقت طبقه‌بندی اقلیمی و نیز پهنه‌بندی عناصر اقلیمی شمال شرق ایران به این نتیجه رسیده‌اند که مقادیر MSE از ماه مارس تا جولای افزایش می‌یابد، بدین معنی که استفاده از ارتفاع در این مدل برای تخمین دما در این ماه‌ها دقت کمتری دارد. همچنین مشاهده شد که توزیع زمانی و مکانی بارندگی نسبت به سایر متغیرهای مورد مطالعه، بیشترین تأثیرپذیری را از تغییرات ارتفاع دارد.

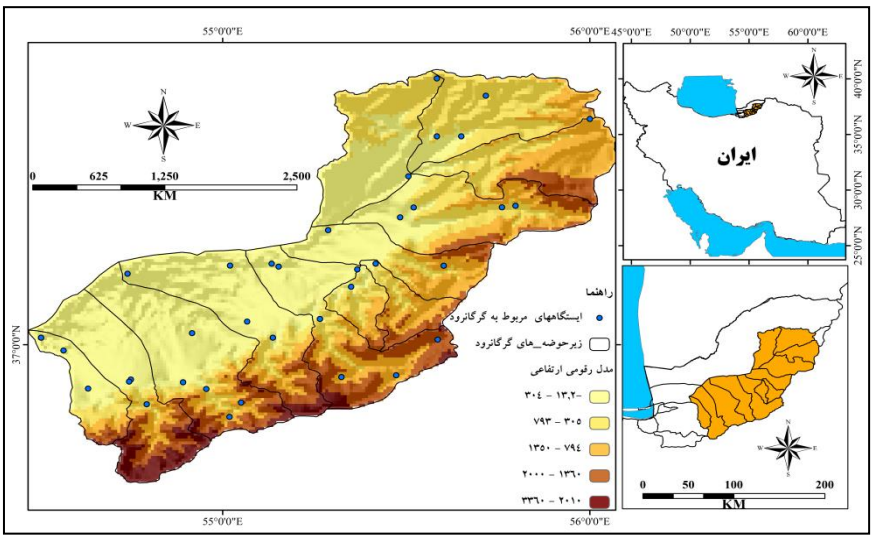
طغیان سیل خطر اصلی طبیعی است که سالانه باعث خسارات جانی و خسارت به اموال مادی می‌گردد استان گلستان در طی چند سال اخیر سیلاب‌های مخربی را تجربه کرده است من‌جمله در سال‌های ۱۳۸۰-۸۳-۸۴-۹۱-۹۳-۹۵-۹۸ که سیلاب خسارات زیادی را وارد کرده است. (نمونه بارز آن بارش ۳۰۰ میلی‌متری در طی ۴۸ ساعت در آخر اسفند ۹۷ و متعاقب آن وقوع سیل در استان گلستان گردید) ارزیابی و مدل‌سازی موضوعات پیچیده‌ای است که نیاز به یک رویکرد یکپارچه برای برنامه‌ریزی فضایی، ملاحظه زیست‌محیطی در توسعه، تصمیم‌گیری سیاسی و توسعه اقتصادی دارد. این امر باعث می‌شود تا ابزار سنجش‌ازدور، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مدل‌سازی هیدرولوژیکی و تکنیک‌های قدرتمند تجزیه‌وتحلیل چند معیاره برای درک سیلاب‌ها استفاده شود. ایجاد نقشه‌های خطر سیل برای تهیه اطلاعات اولیه، مزیت استفاده از سنجش‌ازدور و ARCGIS برای ارزیابی و مدل‌سازی ریسک سیل برای تجزیه‌وتحلیل بیشتر و درک بیشتر فرایندی است که در این رویداد به وجود می‌آید. روش‌های تحلیل چند معیاره (AHP) چهارچوبی را فراهم می‌کند که می‌تواند دیدگاه‌های مختلفی در مورد شناسایی عناصر یک مسئله تصمیم‌گیری پیچیده داشته باشد، عناصر را به یک ساختار سلسله مراتبی سازمان دهد و روابط بین مؤلفه‌های مسئله را مورد مطالعه قرار دهد.

در این پژوهش در دو بخش متفاوت که در روش اول از مدل LARS-WG برای ریز مقیاس نمائی جهت پیش‌بینی اقلیم آینده و در بخش دوم از مدل تصمیم‌گیری چند معیاره برای ارزیابی خطر سیل استفاده شد و با توجه به درصد خطرات احتمالی در حوزه آبریز گرگانرود در محیط نرم‌افزار ARCGIS پهنه‌بندی گردید.

داده‌ها و روش‌ها

حوضه آبریز گرگانرود با مساحت ۱۰۱۹۷ کیلومترمربع یکی از حوضه‌های شمال شرق کشور بوده که بخش وسیعی از آن در استان گلستان واقع است این حوضه از جنوب مشرف‌به سلسله جبال البرز شرقی، از شرق به کوه‌های آلا داغ و گلی داغ، از شمال به حوضه آبریز اترک و از غرب به دریای خزر و حوضه آبریز قره‌سو محدود می‌شود این حوضه در محدوده مختصات جغرافیایی طول شرقی ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقه و عرض شمالی ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه محصور گردیده است. (شکل ۱) موقعیت حوضه آبریز گرگانرود در ایران و

استان گلستان نشان می‌دهد. حوضه آبخیز گرگانرود ازلحاظ اقلیمی بسیار متنوع بوده و بر طبق طبقه‌بندی این حوزه دارای اقلیم‌های مرطوب، نیمه مرطوب، مدیترانه‌ای، نیمه‌خشک و خشک است همچنین عموماً در کلیه مناطق حوضه ماه‌های آذر، دی و خصوصاً بهمن و اسفند مرطوب‌ترین و خرداد لغایت شهریور خشک‌ترین ماه‌های سال است (مطالعات آمایش استان گلستان، ۱۳۹۵).



مآخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت محدوده موردمطالعه

پژوهش حاضر، با توجه به ماهیت مسئله و موضوع موردبررسی، از نوع توصیفی - تحلیلی است و از نوع مطالعات کاربردی با تأکید بر روش‌های کمی است، در پژوهش حاضر تغییرات منطقه‌ای سیلاب در حوضه آبخیز گرگانرود بر اساس به‌کارگیری اطلاعات ایستگاه‌های سازمان هواشناسی (سینوپتیک) جدول (۱) با دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۶۸ تا ۱۳۹۷)، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، شاخص رطوبت توپوگرافیک، شیب، ارتفاع، لیتولوژی زمین، فاصله از رودخانه، تراکم رودخانه، فرسایش، خاکشناسی، رواناب، داده‌های شبیه‌سازی شده میانگین بارندگی حاصل از مدل HadCM3 در LARS-WG تحت سناریو SRA1B بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۵ برآورد شده است بر اساس روند شکل (۲). با توجه به اینکه ارائه کلیه نتایج مدل در این پژوهش صورت نگرفت به دلیل حجم زیاد موارد بود. پس از محاسبه فاکتور بارش برای ایستگاه موردنظر از طریق نرم‌افزار Excel، با استفاده از روش‌های دور نیابی روش عکس فاصله و کریجینگ نقشه تغییرات منطقه‌ای بارندگی منطقه موردمطالعه در محیط نرم‌افزار ArcGis ترسیم گردید بدین منظور جهت بهترین نتیجه و کمترین میزان خطا از روش میان‌یابی کریجینگ بیزی با پراکنش (Expotntial) و جهت انتخاب بهترین روش درون‌یابی از شاخص‌های آماری از قبیل ME, RMSE, MSE استفاده گردید. یکی از مهم‌ترین راهبردهای موجود در زمینه وزن دهی تکنیک‌های کمی و ریاضی است در

پژوهش حاضر با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (روش تحلیل سلسله مراتبی AHP) در محیط نرم‌افزار Excel معیارهای متناسب و سازگار را مورد ارزیابی قرار دادیم و در ادامه برای اجرای فرآیند پهنه‌بندی سیلاب منطقه‌ای از روش تحلیل فازی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی بهره گرفته شد (شکل ۳).

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های منتخب جهت آنالیز پارامتر بارندگی

ردیف	نام ایستگاه	LAT	Lon	ردیف	نام ایستگاه	LAT	*Lon*
۱	علی‌آباد کتول	۵۴,۸۸	۳۶,۹۰	۷	هاشم‌آباد گرگان	۵۴,۲۷	۳۶,۸۵
۲	بندرگز	۵۳,۹۵	۳۶,۷۷	۸	اینچه برون	۵۴,۲۹	۳۷,۴۵
۳	بندر ترکمن	۵۴,۰۷	۳۶,۹۰	۹	کلاله	۵۵,۴۶	۳۷,۳۹
۴	گلوگاه	۵۳,۸۲	۳۶,۷۸	۱۰	مراوه تپه	۵۵,۹۵	۳۷,۹۰
۵	گنبدکاووس	۵۵,۱۷	۳۷,۲۵	۱۱	مینودشت	۵۵,۶۳	۳۷,۳۷
۶	*گرگان*	*۵۴,۴۱*	*۳۶,۹۱*				

مآخذ: اداره کل هواشناسی استان گلستان،۱۳۹۹.

در این پژوهش بعد از انتخاب مدل واریوگرام و درون‌یابی انجام‌شده توسط روش‌های موردبررسی صحت این درون‌یابی‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. روش‌های عمده‌ای که در بررسی صحت درون‌یابی استفاده می‌شود شامل صحت یابی (validation) و صحت یابی سرتاسری است؛ که درروش اول یک منطقه تعلیمی (Training) و یک منطقه آزمایش انتخاب می‌شود. در ابتدا برای منطقه تعلیمی رابطهٔ درون‌یابی به دست می‌آید. سپس برای منطقه آزمایش به کار می‌رود و میزان دقت برآورد محاسبه می‌گردد. معیارهای ارزیابی استفاده‌شده در این مطالعه بر اساس پارامترهایی از قبیل,ME ,RMSE,ASE MSE تعریف می‌شوند. مهم‌ترین معیار برای ارزیابی تخمین، مقدار مجذور میانگین مربع خطا (RMSE) می‌باشد. (ME) میانگین خطاها یا میانگین اختلاف بین مقدار تخمین زده‌شده و مقدار مشاهده‌شده در نقطه i ام می‌باشد و می‌تواند به‌وسیلهٔ معادله زیر محاسبه می‌گردد:

$$ME = E[Z^*_i - Z_i]$$

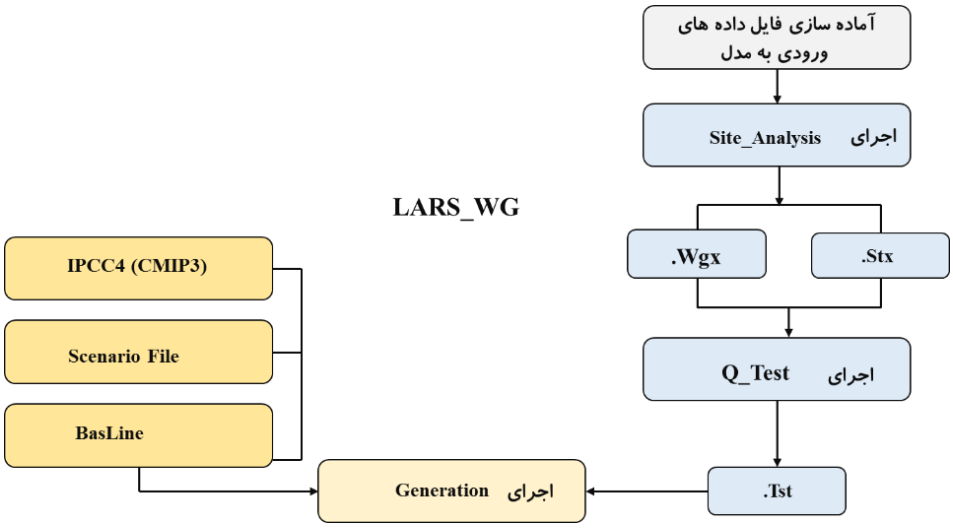
مجذور میانگین مربع خطا است و به‌صورت معادله زیر محاسبه شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(Z^*_i - Z_i)}{n}}$$

- N تعداد مشاهدات می‌باشد؛

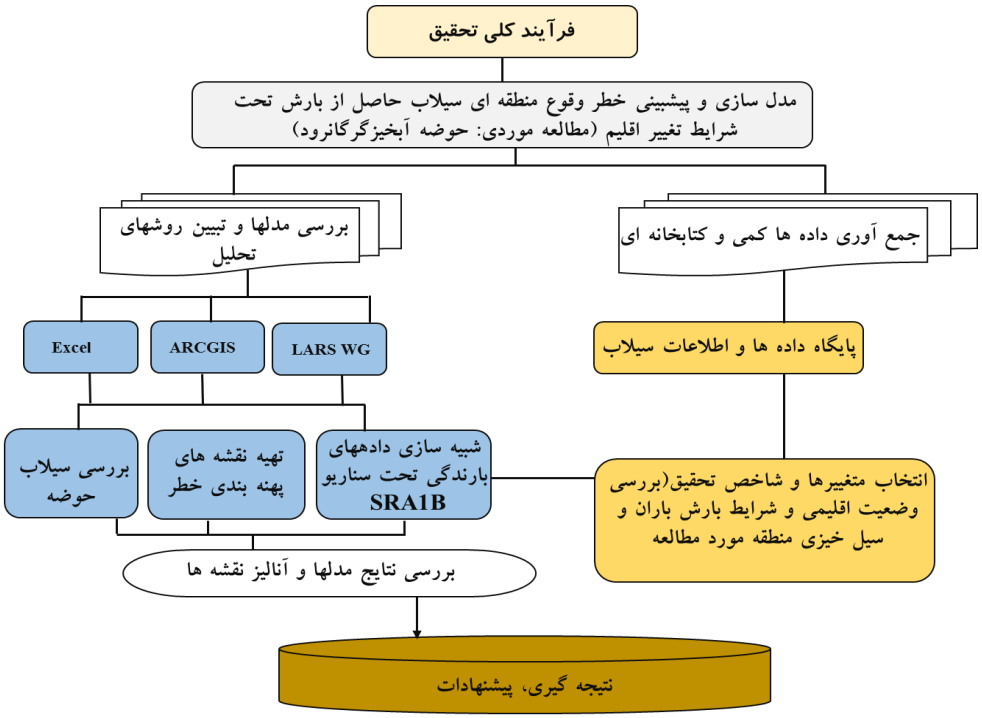
- MSE: میانگین استاندارد شده خطا است که به‌صورت معادله زیر تعیین می‌شود.

$$MSE = \frac{(\sum_{i=1}^{n-1} \frac{Z^*_i - Z_i}{Standard\ error}}{n-1}$$



مآخذ: نگارندگان

شکل ۲: فرایند پژوهش شبیه‌سازی بارش باران آینده با استفاده از روش LARS_WG.5



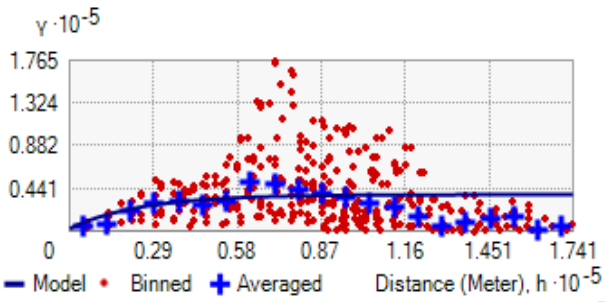
مآخذ: نگارندگان

شکل ۳. فرایند پژوهش پهنه‌بندی منطقه‌ای سیلاب با استفاده از روش سلسله مراتبی (AHP)

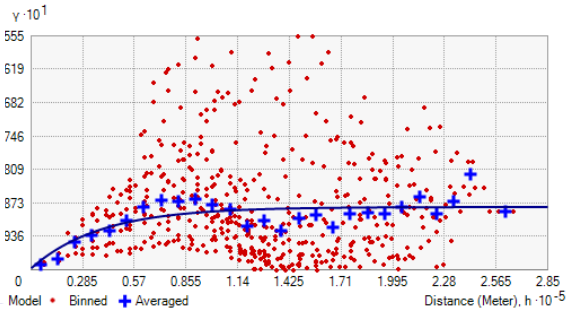
بحث و یافته‌ها

در این پژوهش برای نشان دادن همبستگی مکانی بین داده بارش از ترسیم واریوگرام استفاده شد که نتایج در جدول (۲) مشاهده می‌گردد. در ادامه واریوگرامی برای برازش بر داده‌ها استفاده شد که همبستگی مکانی بین داده‌ها را به‌صورت مطلوب‌تری از سایر واریوگرام‌ها نشان دهد. برای این امر از نسبت میان اثر قطعه‌ای و سقف

واریوگرام استفاده گردید (C_0+C). اگر نسبت اثر قطعه‌ای بر سقف واریوگرام کمتر از ۰/۲۵ باشد بین داده‌ها همبستگی مکانی قوی وجود دارد. اگر این نسبت بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۲ باشد میزان همبستگی مکانی متوسط بوده و اگر بیش از ۰/۷۲ درصد باشد همبستگی مکانی بین داده‌ها کم بوده یا همبستگی وجود ندارد به همین دلیل از این نسبت برای انتخاب بهترین واریوگرام استفاده گردید. با توجه به پارامترهای به‌دست‌آمده (جدول ۳) برای واریوگرام‌های برازش شده واریوگرام نمایی با میزان ۰/۳۴ بهترین همبستگی بین داده‌ها را مدل کرده و برای درون‌یابی استفاده گردید. بعد از واریوگرام نمایی واریوگرام‌های خطی، گوسین و کروی به ترتیب با میزان (۰/۴۵-۰/۴۸-۰/۷۲) قرار دارند. در (شکل ۴ و ۵) واریوگرام نمایی به کار رفته شده برای برازش داده‌ها آمده است.



شکل ۴. نمودار احتمال دادها قبل نرمال‌سازی



شکل ۵. نمودار احتمال دادها بعد نرمال‌سازی

مآخذ: نگارندگان

جدول ۲: پارامترهای تأثیر قطعه‌ای و سقف ورایوگرام به‌دست‌آمده برای واریوگرام های برازش شده

نوع مدل	C_0 اثر قطعه (mm2)	(C0+C) اثر آستانه (mm2)	(C_0+C0+C0)	AO عامل فاصله	RSS مجموع ترکیبات (mm2)
خطی	۰/۵۶	۱/۱۲	۰/۴۵	۱۱۰/۱۲	۰/۶۷
نمایی	۰/۵۴	۱/۶۷	۰/۳۴	۲۸۷/۲۰۰	۰/۹۳
گوسین	۰/۵۸	۱/۸۹	۰/۴۸	۹۸/۲۴۰	۰/۱۴
کروی	۰/۵۴	۱/۴۶	۰/۷۲	۱۸۹/۳۵۶	۰/۶۹

مآخذ: نگارندگان

جدول ۳: نتایج حاصل از صحت‌سنجی سرتاسری برای سه واریوگرام کرجینگ

نوع مدل	میانگین خطا برآورد (ME)	مربع میانگین ریشه خطا برآورد (RMS)	معدل خطای استاندارد، خطا برآورد (ASE)	میانگین استانداردشده خطا برآورد (MSE)	مربع میانگین ریشه خطا برآورد استاندارد (RMSE)
گریجینگ	۲/۱۰	۷۳/۲۳	۹۸/۳	۰/۰۰۶	۰/۷۵
عکس فاصله	۳/۴۰	۸۵/۹۳	۱۱۱/۰۵	۰/۰۱۱	۰/۸۴

مآخذ: نگارندگان

جدول ۴: دقت نیم تغییر نماهای مدل کریجینگ جهت درون‌یابی

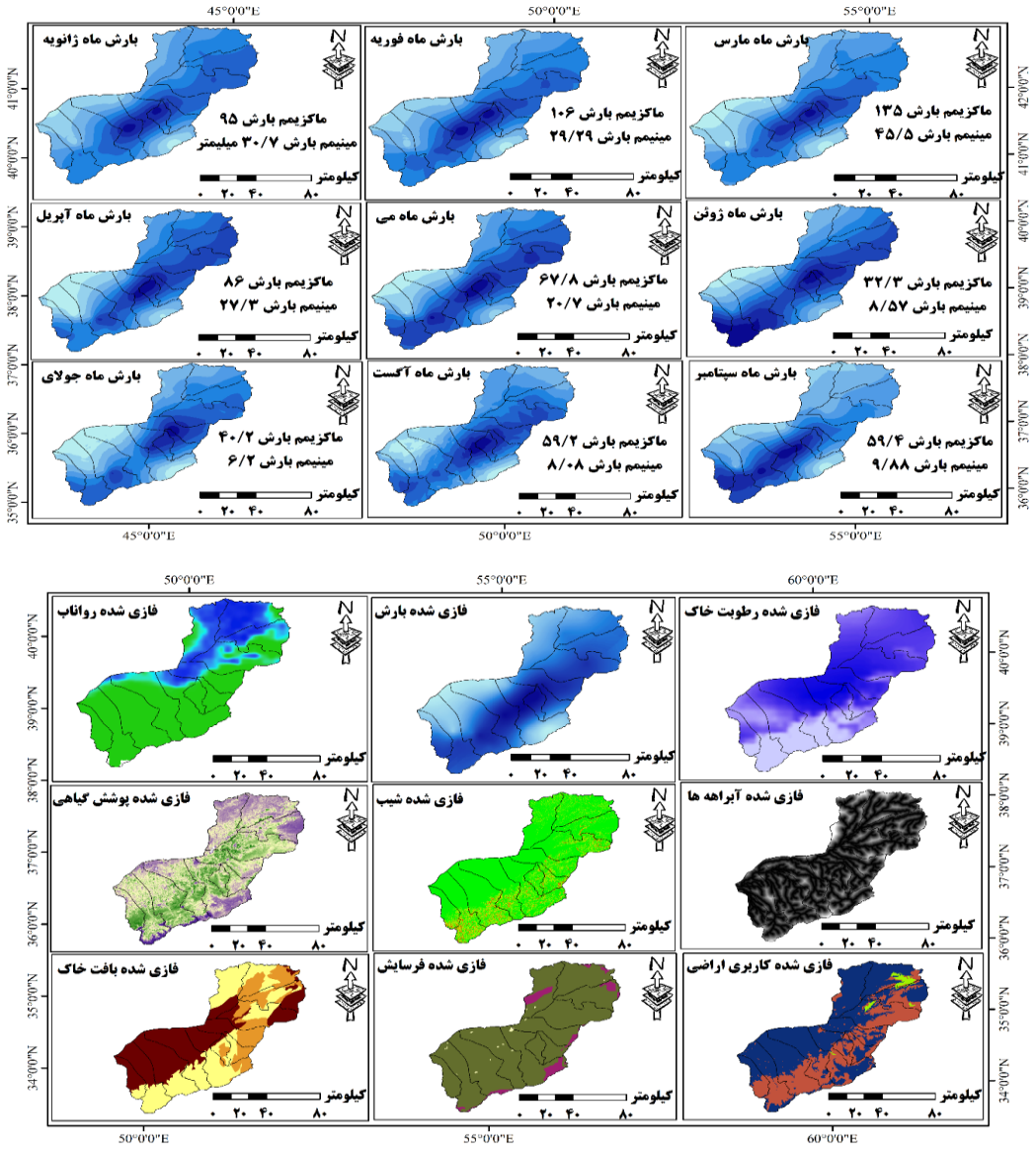
پارامتر کیفی	نیم تغییر نما	ضریب همبستگی داده‌ها (R2)	(Nugget%)
بارش سالیانه	خطی	۰/۲۴۳	۷۳/۱۲۸
	نمایی	۰/۰۵۴	۶۳/۲۳۵
	گوسین	۰/۱۸۳	۷۴/۴۱۵
	کروی	۰/۲۵۴	۴۶/۵۲۱

مآخذ: نگارندگان

به‌طورکلی اگر برآورد داده‌ها بدون انحراف باشد میانگین خطای برآورد به صفر نزدیک‌تر می‌شود و هر چه فاصله بیشتر شود میزان انحراف در درون‌یابی نیز بیشتر می‌شود. البته این وابسته به مقیاس داده‌های اندازه‌گیری شده همچنین این امر در مورد میانگین استاندارد خطای برآورد شده نیز صدق می‌کند. از طرف دیگر نیز پایین‌ترین مربع میانگین ریشه خطا بهترین برآورد را خواهد داشت. برای تشخیص برآورد بیش از انتظار و کمتر از انتظار در این پژوهش میزان مربع میانگین ریشه خطا با میانگین خطا مقایسه شد. این رابطه بدین‌صورت است که اگر مربع میانگین ریشه خطا بیشتر از میانگین خطای استاندارد باشد برآورد کم‌تر از حد انتظار و اگر مربع میانگین ریشه خطا کوچک‌تر از میانگین خطای استاندارد باشد برآورد بیش‌ازحد انتظار است با مقایسه مربع میانگین ریشه خطا با میانگین خطا در داده‌های بددست آمده از صحت یابی سرتاسری در کریجینگ معمولی، ساده و عام بیش‌ازحد انتظار است. با توجه به اینکه نتایج ارزیابی دقت روش‌های موردبررسی آمده است جدول (شماره ۴) روش کریجینگ عام با پایین‌ترین میزان میانگین استاندارد خطای برآورد (۰/۰۰۶) و مربع میانگین ریشه خطا (۷۳/۲۳) بهترین روش برای درون‌یابی در این پژوهش ارزیابی شد. درنهایت با استفاده از روش آماری کرجینگ عام و واریو گرام نمایی به‌کاررفته در این پژوهش نقشه توزیع بارش بر اساس میانگین بارندگی پیش‌بینی شده جدول (شماره ۵) به روش کریجینگ عام تهیه گردید (شکل ۶). با توجه به تعداد بالای ایستگاه‌های موجود در منطقه و نحوه توزیع مناسب آن‌ها شاهد نقشهٔ پهنه‌بندی کاملی از منطقه هستیم.

جدول ۵: میانگین بارندگی پیش‌بینی شده با دوره زمانی ۳۵ ساله ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۵

STAION	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
علی‌آباد کتول	۵۴,۴	۱۱۳,۷	۷۲,۸	۵۶,۸	۳۱,۰	۳۷,۷	۵,۰	۵۵,۲	۸۷,۷	۶۲,۳	۶۹,۶	۴۰,۸
بندرگز	۴۲,۸	۳۶,۳	۷۴,۶	۵۱,۸	۲۰,۰	۴۵,۰	۲۵,۷	۱۵,۹	۷۰,۳	۵۳,۳	۵۹,۹	۴۹,۸
بندر ترکمن	۵۲,۲	۵۳,۴	۴۹,۵	۲۸,۳	۱۲,۹	۳۷,۴	۲۶,۲	۱۶,۲	۳۷,۱	۶۵,۵	۶۳,۰	۴۹,۹
گنبدکاووس	۵۰,۶	۵۲,۷	۶۸,۴	۶۶,۳	۲۷,۵	۱۵,۸	۲۳,۶	۲۷,۳	۲۳,۵	۳۳,۹	۴۴,۸	۳۸,۱
گرگان	۵۹,۴	۳۶,۵	۴۱,۷	۴۰,۸	۲۵,۵	۲۳,۷	۱۴,۷	۱۸,۸	۳۳,۴	۴۳,۸	۶۸,۹	۳۸,۶
هاشم‌آباد	۳۴,۲	۷۷,۶	۶۱,۷	۳۹,۱	۲۲,۶	۱۵,۳	۷,۸	۲۱,۵	۸۹,۵	۲۰,۳	۵۲,۶	۳۴,۸
اینچه برون	۳۴,۹	۴۶,۵	۲۹,۸	۱۷,۴	۸,۸	۱۲,۷	۱۱,۸	۷,۵	۱۹,۰	۲۶,۳	۲۵,۹	۲۵,۱
کلاله	۳۷,۴	۷۱,۶	۵۹,۸	۷۹,۹	۲۶,۴	۳۱,۹	۲۲,۳	۲۲,۶	۲۲,۹	۳۱,۲	۳۳,۶	۵۰,۸
مراوه تپه	۳۶,۸	۳۵,۰	۵۱,۶	۴۵,۰	۲۶,۲	۲۱,۵	۲۱,۳	۱۱,۵	۱۸,۸	۵۰,۳	۴۹,۷	۲۶,۸
مینودشت	۹۵,۵	۱۰۶,۸	۱۳۵,۴	۸۶,۰	۶۷,۷	۳۲,۰	۳۹,۹	۵۹,۲	۲۵,۴	۶۴,۱	۶۴,۳	۵۳,۴



مآخذ: نگارندگان

شکل ۶: توزیع بارش ماهیانه با استفاده از روش کریجینگ ساده بیزی با پراکنش (Expotntial) و برخی از مؤلفه‌های فازی شده جهت پهنه‌بندی سیلاب منطقه‌ای

پوشش‌های سطح زمین: یکی از مهم‌ترین معیارهای موجود در ایجاد پایداری محیطی است. شناخت خطرات محیط پوششی منطقه ضروری است. با توجه به کوهستانی و جلگه‌ای بودن منطقه موردنظر ما این معیار اهمیت فزاینده‌ای دارد. با توجه به اهمیت موضوع در پوشش اراضی، فرسایش، شیب، در این بخش سعی شده ابتدا نقشه‌ای محدوده پوششی را به نمایش کشیده سپس با توجه به وزن‌ها و معیارهای مشخص‌شده در جداول پایانی (جداول ۶-۷-۸) به ارائه نقشه‌ای (شکل ۱۵) در جهت نشان دادن مکان‌های با مطلوبیت بالا در این محدوده فراهم آورده‌ایم.

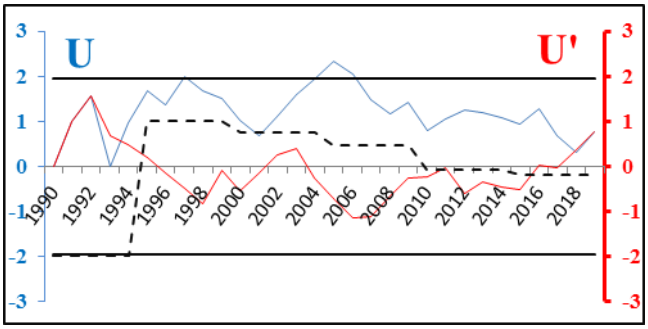
تمامی پوشش گیاهی منطقه در مقابل جلوگیری از سیل عمل یکنواختی ندارند به این معنی که پوشش‌های جنگلی و مرتعی زراعتی یکسان عمل نمی‌کنند حتی درجه تراکم آن نیز در این عمل مؤثر است. به‌طورکلی می‌توان گفت که معمولاً پوشش گیاهی جنگلی بهتر از مرتعی و مرتعی بهتر از زراعی است.

شیب در ایجاد سیلاب از عوامل مهم محسوب می‌شود هر چه شیب زمین بیشتر باشد قدرت تخریب آب بیشتر می‌شود زیرا موجب افزایش سرعت رواناب می‌گردد و از نفوذ آن به داخل سطح زمین جلوگیری می‌کند در بعضی مناطق شیب زیاد باعث بروز سیلاب می‌گردد اما در بعضی دیگر شیب کم باعث این رخداد می‌گردد و آن موقعی است که دشت در مجاورت با کوهستان قرار می‌گیرد.

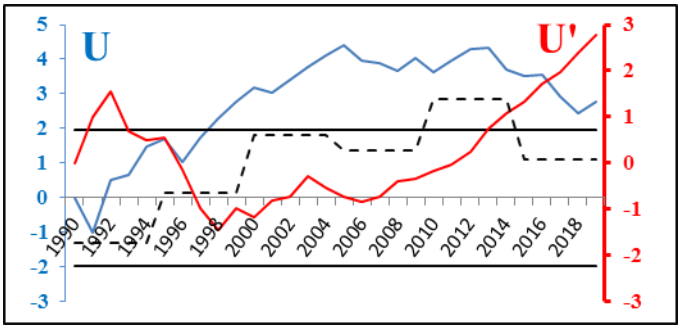
ضریب نفوذپذیری هدایت هیدرولیکی بیان‌کننده میزان نفوذ آب در خاک جهت رسیدن به آب زیرزمینی است؛ و به نوع، اندازه، شکل ذرات تشکیل‌دهنده مواد رسوبی و طرز قرار گرفتن آن‌ها نسبت به یکدیگر بستگی دارد. یکی از عوامل مهم در جریان سیلاب و تغذیه آب‌های زیرزمینی ضخامت آبرفت است. ازنظر تئوری هرچه ضخامت آبرفت بیشتر باشد، میزان ذخیره آب‌های زیرزمینی در آن بیشتر است.

یکی از معیارهای جهت سنجش منطقه از منظر طبیعی برای جذب آب ویژگی‌های سنگ‌شناسی و زمین‌شناسی حوضه آبخیز گرگانرود است که در اکثر معیارهای طبیعی به‌طور مستقیم تأثیرگذار است. با توجه به نوع سنگ‌های نگاشته شده و نوع خاک در منطقه معمولاً شدت جریانات و تخریب و نحوه جذب و پخش خاص خود را ایفا می‌کند. نفوذ آب در خاک، سفره‌های زیرزمینی را تقویت می‌کند و نرخ فرسایش خاک را کاهش می‌دهد. بیش از ۸۰ درصد از قدرت تخریب خاکدانه‌ها، زمانی است که قطره‌های باران با زمین برخورد می‌کنند. این قدرت تخریبی، با پوشش گیاهی گرفته و موجب حفظ خاکدانه‌ها می‌شود. هنگامی‌که پوشش گیاهی حذف شود، قدرت قطره‌های باران که با خاک برخورد می‌کنند. باعث پاشیدگی ساختار خاکدانه‌ها و حرکت آن‌ها می‌شود. علاوه بر اینکه خاک را از دست می‌دهیم، تمام خلل و فرجی که در سطح زمین وجود دارد نیز، پر می‌شود. در حقیقت اولین خسارت‌های حذف پوشش گیاهی، برخورد مستقیم باران با خاک و کاهش نرخ نفوذپذیری آب در خاک است. خاک‌های مناسب باقابلیت نگهداری پوشش گیاهی بالا به طبع باعث کاهش روان آب سطحی می‌شود و این خود در هنگام بارندگی شدید باعث کند شدن جریان‌های سیلابی می‌شود. در این پژوهش خاک‌های حوضه آبخیز به چهار گره تقسیم گردیدند خاک‌های با پتانسیل رواناب کم، خاک‌های با سرعت نفوذ متوسط، خاک‌هایی با سرعت نفوذ کند و خاک‌های با درجه رواناب زایی بالا خاک‌هایی با سرعت نفوذ خیلی کم طبقه‌بندی شدند. در این پژوهش پس از شناسایی معیارهای مؤثر در تعیین مناطق بحران‌خیز جهت توان سنجی و شناسایی عرصه‌های خطرپذیر از منظر سیلاب به کمک روش سلسله مراتبی وزن هر یک از معیارهای مؤثر به دست آمد. خطرپذیری ترکیبی از احتمال وقوع سیلاب و

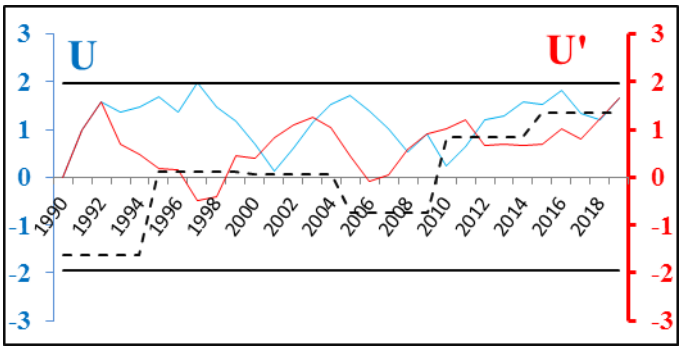
پتانسیل بروز خسارت می‌باشد. احتمال وقوع سیل در مفهومی به نام تعریف می‌شود. در حقیقت خطرپذیری آسیب‌پذیری و در معرض بودن و پتانسیل بروز خسارت در مفاهیم خطر: ترکیب سه مفهوم خطر، آسیب‌پذیری و در معرض خطر بودن می‌باشد. تغییر الگوهای بارش در حوضه آبخیز گرگانرود و عموماً به‌صورت کاهش تداوم و افزایش شدت شده است. افزایش شدت بارش، جریان‌های شدیدتری را به وجود آورده و عوامل هیدرولیکی، دبی، سرعت، ارتفاع و پهنه جریان را وسیع‌تر کرده است. تحلیل دمای میانگین سالیانه، حاکی از وجود تغییر در این پارامتر است تغییرات از نوع افزایشی می‌باشد و از گستردگی نسبتاً بیشتری برخوردار است. نتایج این مطالعه بیانگر این نکته است که تغییرات رطوبت و تبخیر و تعرق در این منطقه از مهم‌ترین ویژگی‌های اقلیمی محسوب می‌شود که در طی سال‌های گذشته رخداده است ولی توزیع مکانی و زمانی به‌عبارتی‌دیگر شدت و ضعف آن در سطح حوضه به‌طور یکسان اتفاق نیفتاده است بلکه با تغییرات مکانی نیز روبه‌رو بوده است در بررسی سری‌های زمانی متغیرهای اقلیمی معلوم گردید که تغییرات موجود از نوع روند و در دو جهت مثبت و منفی بوده است. با توجه به روند گرمایش جهانی رخداده در جهان می‌توان افزایش روندهای مثبت در پارامترهای اقلیمی را توجیه کرد.



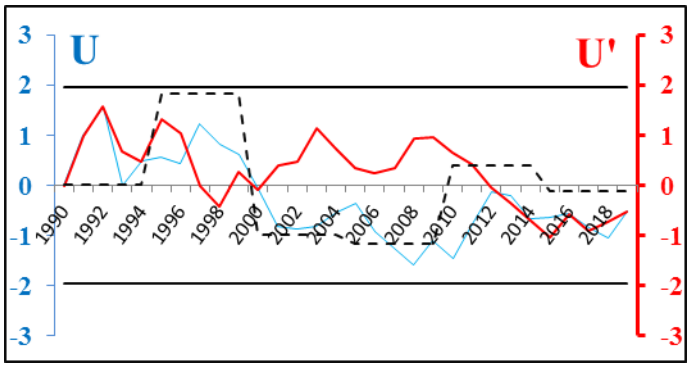
شکل ۸. بررسی روند و نقاط جهش سری زمانی ۳۰ ساله بندرگز



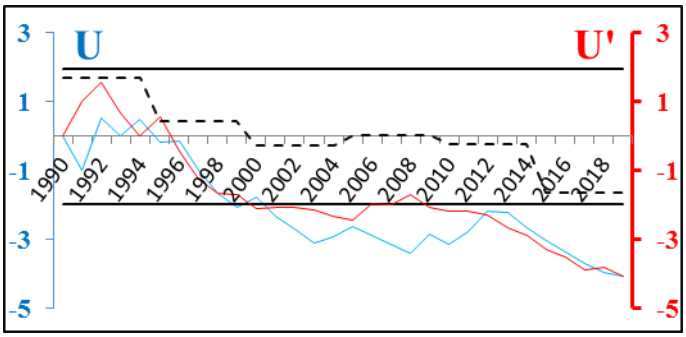
شکل ۷. بررسی روند و نقاط جهش سری زمانی ۳۰ ساله علی‌آباد کتول



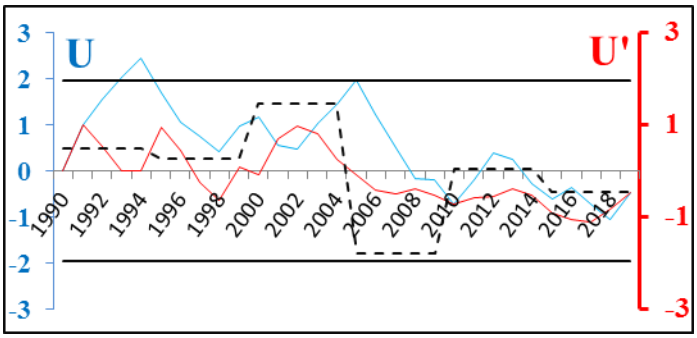
شکل ۱۰. بررسی روند و نقاط جهش سری زمانی ۳۰ ساله گلوگاه



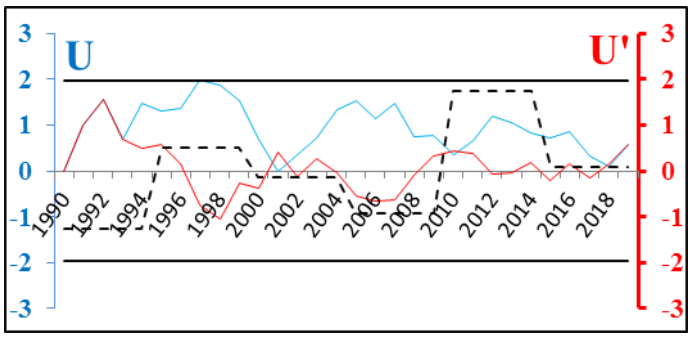
شکل ۹. بررسی روند و نقاط جهش سری زمانی ۳۰ ساله بندر ترکمن



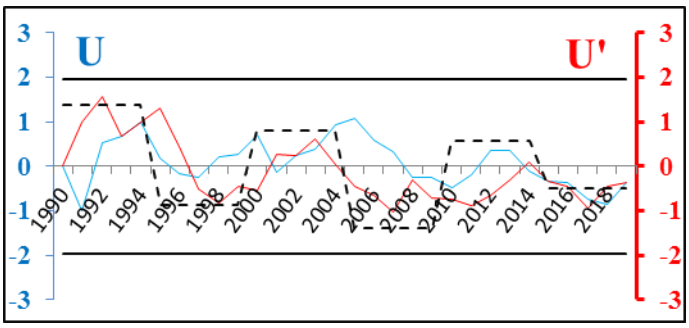
شکل ۱۲. بررسی روند و نقاط جهش سری زمانی ۳۰ ساله اینچه برون



شکل ۱۱. بررسی روند و نقاط جهش سری زمانی ۳۰ ساله گرگان



شکل ۱۴. بررسی روند و نقاط جهش سری زمانی ۳۰ ساله مراوه تپه

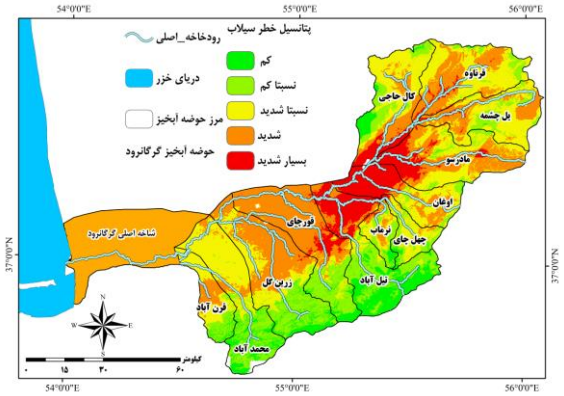


شکل ۱۳. بررسی روند و نقاط جهش سری زمانی ۳۰ ساله گنبدکاووس

$(U' = -\ U = -)$ $(a = +1.96)$ $(a = -1.96)$ (میانگین 5 ساله – – –)

این نمودارهای سری زمانی بارش (۱۳۶۸ تا ۱۳۹۷) اشکال شماره‌های ۷ الی ۱۴ می‌توانند سه نوع مختلف از تغییرات را نشان دهند: تغییرات ناگهانی: اگر محل برخورد دو منحنی U - U´ در داخل محدوده بحرانی ۱,۹۶(مثبت- منفی) باشد و منحنی U از محدود بحرانی خارج شود و دوباره به داخل محدوده برگردد، تغییرات از نوع ناگهانی خواهد بود. روند: اگر منحنی U پس از خروج از محدوده معنی‌داری دوباره به داخل محدوده برنگردد روند معنی‌دار خواهد بود. به‌طرف مقادیر مثبت روند مثبت و به‌طرف مقادیر منفی روند منفی خواهد بود. بدون تغییر: اگر دو منحنی ذکر شده در داخل محدوده بحرانی با هم برخورد کنند و از محدوده بحرانی خارج نشوند و یا هیچ تلاقی نباشد، هیچ‌گونه تغییر و روند معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. از بررسی‌های دو منحنی U - U´ می‌توان چنین نتیجه گرفت که تنها در علی‌آباد کتول دو منحنی خارج از محدوده مثبت و منفی ۱,۹۶ همدیگر را قطع کرده‌اند و در خلاف جهت یکدیگر حرکت کرده‌اند و دچار جهش شده‌اند. همچنین در دو ایستگاه گرگان و بندرگز ما شاهد یک سری روند تغییرات ناگهانی هستیم که در ایستگاه گرگان در بین سال‌های ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۴ و در ایستگاه بندرگز در بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۶ این پدیده رخداده است. در تمام ایستگاه‌ها می‌شود چنین نتیجه گرفت که یک جهش با حاکمیت روند منفی رخداده است به عبارتی روند کاهشی دارد؛ که این روندها با تغییرات شیب نسبتاً زیاد حاکی از کاهش میزان بارندگی در منطقه مورد نظر است می‌توان نوع تغییر اقلیم نسبی را مشاهده کرد. این تغییر اقلیم نسبی در منطقه را ما

با بارش نزولات جوی ناگهانی به‌صورت رگباری و ایجاد سیلاب در شهرستان‌های گمیشان، آق‌قلا و بندر ترکمن، گنبدکاووس به‌وضوح شاهد بوده‌ایم. در جمع‌بندی کلی آنالیز پارامتر بارش منطقه می‌توان اذعان نمود که اقلیم منطقه روند افزایش دما و گرم شدن نسبی را سپری می‌کند. با توجه به نتایج پارامتر مورد سنجش واقع شده می‌توان نتیجه گرفت که تغییر الگوی بارش رخداده بیشتر در ماه‌های شهریور، تیر، مرداد، اردیبهشت و مهرماه رخنمون کرده است. همچنین با توجه به همین موضوع می‌توان گفت که با افزایش دما از مقدار رطوبت نسبی هوا کاسته شده و بنابراین، مسلم است که با کاهش رطوبت نسبی از مقدار بارش‌ها نیز تا حدودی کاسته و منجر به وقوع بارش‌های رگباری می‌شود، این موضوع را به‌وضوح در ماه‌های سرد سال می‌توان دید. همچنین با توجه به کوهستانی بودن بخشی از منطقه و افزایش دما تا حدودی نوع بارش نیز تغییر خواهد کرد. به‌طورکلی در ایستگاه‌های موردمطالعه ۸۵ درصد روند مشاهده شد. ازآنجاکه تغییر اقلیم پدیده‌ای بسیار پیچیده است و نیاز به مطالعات جامعی دارد لذا تا حدودی می‌توان اثرات تغییر سیستم جوی را در منطقه مورد مطالعه پیدا کرد. نقشه خطرپذیری کمی در پنج سطح کم، نسبتاً کم، متوسط یا نسبتاً شدید، زیاد و خیلی زیاد به‌صورت زیر طبقه‌بندی شد شکل (۱۵): سطح خطرپذیری کم (زرد): مناطقی که در آن‌ها خسارت سالانه پیش‌بینی شده بین ۱۵ تا ۳۰ درصد دارایی‌های منطقه باشد. سطح خطرپذیری متوسط (قهوه‌ای): مناطقی که در آن‌ها خسارت سالانه پیش‌بینی شده بین ۳۰ تا ۵۰ درصد کل دارایی‌های منطقه باشد. سطح خطرپذیری زیاد (قرمز): مناطقی که در آن‌ها خسارت سالانه پیش‌بینی شده بین ۵۰ تا ۷۵ درصد کل دارایی‌های منطقه باشد. سطح خطرپذیری خیلی زیاد (مات متمایل به قرمز): مناطقی که در آن‌ها خسارت سالانه پیش‌بینی شده بین ۷۵ تا ۱۰۰ درصد کل دارایی‌های منطقه باشد (تخریب کامل).



شکل ۱۵: پهنه‌بندی نهایی خطر سیلاب در حوضه آبخیز گرگانرود

با توجه به نقشه نهایی (شکل ۱۵) ۱۵۴ روستا با جمعیتی معادل ۱۳۸۵۴۸ نفر در معرض خطر سیل‌خیزی با درجه بسیار بالا قرار دارند بیشترین مساحت مربوط به طبقه باسیل‌خیزی نسبتاً شدید معادل ۲۷۲۵/۸۸

کیلومترمربع، طبقه با پتانسیل بالا معادل ۲۶۰۷/۴۹ کیلومترمربع، پتانسیل نسبتاً کم معادل ۱۶۵۴/۳۶ کیلومترمربع، سیل‌خیزی با درجه بسیار بالا معادل ۹۰۱/۶۴ کیلومترمربع و در نهایت طبقه با پتانسیل سیل‌خیزی کم معادل ۷۰۵/۲۹ کیلومترمربع از سطح کل حوضه آبخیز گرگانرود را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین می‌توان چنین نتیجه گرفت که بیشتر سطح حوضه برابر ۸۵ درصد در معرض خطر سیلاب شدید واقع شده است

جدول ۶: ماتریس ارجعیت یک معیار به معیار دیگر بر طبق استاندارد روش سلسله مراتبی

	بارش	انجنای زمین	ارتفاع	تراکم رودخانه	فرسایش	کاربری اراضی	پوشش گیاهی	شیب	زمین‌شناسی	رواناب	رطوبت خاک	*خاکشناسی*
بارش	۱											
انجنای زمین	۴/۶	۱										
ارتفاع	۸/۶	۸/۶	۱									
تراکم رودخانه	۷/۵	۷/۵	۷/۶	۱								
فرسایش	۴/۶	۵/۶	۴/۶	۴/۷	۱							
کاربری اراضی	۲/۵	۳/۵	۳/۵	۲/۵	۲/۵	۱						
پوشش گیاهی	۵/۷	۵/۶	۵/۷	۵/۷	۶/۷	۶/۷	۱					
شیب	۶/۴	۶/۳	۶/۵	۶/۵	۶/۴	۶/۴	۶/۴	۱				
زمین‌شناسی	۴/۶	۳/۶	۴/۶	۴/۶	۵/۶	۵/۶	۴/۶	۴/۶	۱			
رواناب	۵/۷	۷/۵	۶/۵	۶/۷	۷/۴	۸/۴	۸/۵	۵/۷	۵/۳	۱		
رطوبت خاک	۳/۵	۴/۵	۴/۵	۳/۵	۳/۵	۳/۴	۳/۵	۴/۵	۳/۴	۳/۵	۱	
خاکشناسی	*۷/۵*	*۷/۴*	*۶/۷*	*۴/۵*	*۷/۶*	*۷/۶*	*۷/۵*	*۷/۵*	*۷/۵*	*۵/۶*	*۷/۵*	*۱*

جدول ۷: سوپر ماتریس وزنی ارجعیت یک معیار به معیار دیگر بر طبق استاندارد روش سلسله مراتبی

	بارش	انجنای زمین	ارتفاع	تراکم رودخانه	فرسایش	کاربری اراضی	پوشش گیاهی	شیب	زمین‌شناسی	رواناب	رطوبت خاک	*خاکشناسی*
بارش	۱	۱,۵۰	۰,۷۵	۰,۷۱	۱,۵۰	۲,۵۰	۱,۴۰	۰,۶۷	۱,۵۰	۱,۴۰	۱,۶۷	۰,۷۱
انجنای زمین	۰,۶۷	۱	۰,۷۵	۰,۷۱	۱,۲۰	۱,۶۷	۱,۲۰	۰,۵۰	۲,۰۰	۰,۷۱	۱,۲۵	۰,۵۷
ارتفاع	۱,۳۳	۱,۳۳	۱	۰,۸۶	۱,۵۰	۱,۶۷	۱,۴۰	۰,۸۳	۱,۵۰	۰,۸۳	۱,۲۵	۱,۱۷
تراکم رودخانه	۱,۴۰	۱,۴۰	۱,۱۷	۱	۱,۷۵	۲,۵۰	۱,۴۰	۰,۸۳	۱,۵۰	۱,۱۷	۱,۶۷	۱,۲۵
فرسایش	۰,۶۷	۰,۸۳	۰,۶۷	۰,۵۷	۱	۲,۵۰	۱,۱۷	۰,۶۷	۱,۲۰	۰,۵۷	۱,۶۷	۰,۸۶
کاربری اراضی	۰,۴۰	۰,۶۰	۰,۶۰	۰,۴۰	۰,۴۰	۱	۱,۱۷	۰,۶۷	۱,۲۰	۰,۵۰	۱,۳۳	۰,۸۶
پوشش گیاهی	۰,۷۱	۰,۸۳	۰,۷۱	۰,۷۱	۰,۸۶	۰,۸۶	۱	۰,۶۷	۱,۵۰	۰,۶۳	۱,۶۷	۰,۷۱
شیب	۱,۵۰	۲,۰۰	۱,۲۰	۱,۲۰	۱,۵۰	۱,۵۰	۱,۵۰	۱	۱,۵۰	۱,۴۰	۱,۲۵	۰,۷۱
زمین‌شناسی	۰,۶۷	۰,۵۰	۰,۶۷	۰,۶۷	۰,۸۳	۰,۸۳	۰,۶۷	۰,۶۷	۱	۰,۶۰	۱,۳۳	۰,۷۱
رواناب	۰,۷۱	۱,۴۰	۱,۲۰	۰,۸۶	۱,۷۵	۲,۰۰	۱,۶۰	۰,۷۱	۱,۶۷	۱	۱,۶۷	۱,۲۰
رطوبت خاک	۰,۶۰	۰,۸۰	۰,۸۰	۰,۶۰	۰,۶۰	۰,۷۵	۰,۶۰	۰,۸۰	۰,۷۵	۰,۶۰	۱	۰,۷۱
خاکشناسی	۱,۴۰	۱,۷۵	۰,۸۶	۰,۸۰	۱,۱۷	۱,۱۷	۱,۴۰	۱,۴۰	۱,۴۰	۰,۸۳	۱,۴۰	۱
مجموع	۱۱,۰۶	۱۳,۹۵	۱۰,۳۷	۹,۱۰	۱۴,۰۶	۱۸,۹۴	۱۴,۵۰	۹,۴۱	۱۶,۷۲	۱۰,۲۴	۱۷,۱۵	۱۰,۴۷

مآخذ: نگارندگان

جدول ۸: وزن نهایی ارجعیت یک معیار به معیار دیگر بر طبق استاندارد روش سلسله مراتبی

درصد	وزن معیار	خاکشناسی	رطوبت خاک	رواناب	زمین‌شناسی	شیب	پوشش گیاهی	کاربری اراضی	فرسایش	تراکم رودخانه	ارتفاع	انجنای زمین	بارش
٪۱۰	۰,۱۰	۰,۰۷	۰,۱۰	۰,۱۴	۰,۰۹	۰,۰۷	۰,۱۰	۰,۱۳	۰,۱۱	۰,۰۸	۰,۰۷	۰,۱۱	۰,۰۹
٪۸	۰,۰۸	۰,۰۵	۰,۰۷	۰,۰۷	۰,۱۲	۰,۰۵	۰,۰۸	۰,۰۹	۰,۰۹	۰,۰۸	۰,۰۷	۰,۰۷	۰,۰۶
٪۹	۰,۱۰	۰,۱۱	۰,۰۷	۰,۰۸	۰,۰۹	۰,۰۹	۰,۱۰	۰,۰۹	۰,۱۱	۰,۰۹	۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۱۲
٪۱۱	۰,۱۱	۰,۱۲	۰,۱۰	۰,۱۱	۰,۰۹	۰,۰۹	۰,۱۰	۰,۱۳	۰,۱۲	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۱۰	۰,۱۳
٪۸	۰,۰۸	۰,۰۸	۰,۱۰	۰,۰۶	۰,۰۷	۰,۰۷	۰,۰۸	۰,۱۳	۰,۰۷	۰,۰۶	۰,۰۶	۰,۰۶	۰,۰۶
٪۶	۰,۰۶	۰,۰۸	۰,۰۸	۰,۰۵	۰,۰۷	۰,۰۷	۰,۰۸	۰,۰۵	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۶	۰,۰۴	۰,۰۴
٪۷	۰,۰۷	۰,۰۷	۰,۱۰	۰,۰۶	۰,۰۹	۰,۰۷	۰,۰۷	۰,۰۵	۰,۰۶	۰,۰۸	۰,۰۷	۰,۰۶	۰,۰۶
٪۱۱	۰,۱۱	۰,۰۷	۰,۰۷	۰,۱۴	۰,۰۹	۰,۱۱	۰,۱۰	۰,۰۸	۰,۱۱	۰,۱۳	۰,۱۲	۰,۱۴	۰,۱۴
٪۶	۰,۰۶	۰,۰۷	۰,۰۸	۰,۰۶	۰,۰۶	۰,۰۷	۰,۰۵	۰,۰۴	۰,۰۶	۰,۰۷	۰,۰۶	۰,۰۴	۰,۰۶
٪۱۰	۰,۱۰	۰,۱۱	۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۰۸	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۱۲	۰,۰۹	۰,۱۲	۰,۱۰	۰,۰۶
٪۶	۰,۰۶	۰,۰۷	۰,۰۶	۰,۰۶	۰,۰۴	۰,۰۸	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۷	۰,۰۸	۰,۰۶	۰,۰۵
٪۹	۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۰۸	۰,۰۸	۰,۰۸	۰,۱۵	۰,۱۰	۰,۰۶	۰,۰۸	۰,۰۹	۰,۰۸	۰,۱۳	۰,۱۳

مآخذ: نگارندگان

نتیجه‌گیری

استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی می‌تواند به‌عنوان یکی از ابزارهای مطالعات اقلیمی کمک زیادی به افزایش دقت و سرعت عمل در تهیه نقشه‌های اقلیمی داشته باشد. این ابزارها امکان اعمال معادلات پیچیده ریاضی را بر روی نقشه‌ها فراهم می‌آورد. از طرف دیگر با استفاده از روش‌های میان یابی موجود در زمین‌آمار می‌توان تحلیل‌های آماری و پیش‌بینی را در مکان‌های مختلف بر اساس موقعیت مکانی و جغرافیایی پدیده‌ها تحلیل نمود مدل کریجینگ از دقیق‌ترین مدل‌هایی است که در تهیه نقشه‌های هم ارزش به کار می‌رود. به دلیل اینکه این مدل فاقد خطای سیستماتیک است و در تخمین‌ها دارای حداقل واریانس می‌باشد. جایگاه ویژه‌ای در درون‌یابی به دست آورده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که بارندگی سالانه به روش کریجینگ بهترین دقت را دارد و تغییرات بارندگی سالانه بیشتر از این مدل تبعیت می‌کند. با به‌کارگیری نسبت اثر قطعه‌ای بر سقف واریوگرام مشخص شدند واریوگرام نمایی با میزان ۰/۳۴ دارای همبستگی مکانی متوسطی بین داده‌ها می‌باشد. همچنین روش کریجینگ با پایین‌ترین میزان میانگین استاندارد خطای برآورد (۰/۰۰۶) و مربع میانگین ریشه خطا (۷۳/۲۳) بهترین مدل برای درون‌یابی داده‌ها در این پژوهش ارزیابی شد. با استفاده از داده‌های کل منطقه تغییر نمایی ارتفاع و بارش منطقه نشان می‌دهد که تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری بین ایستگاه‌ها ازنظر ارتفاع رابطهٔ معناداری وجود دارد و پس‌ازاین فاصله رابطهٔ آن‌ها به‌صورت تصادفی است. بررسی شکل توزیع بارندگی به روش Expotntial حکایت از این دارد که به ترتیب زیر حوضه نرماب در قسمت مرکزی به مقدار ۸۰۰ میلی‌متر زیر حوضه‌های مادر سو، یل چشمه و قرناوه در شمال شرقی حوضه آبخیز گرگانرود به مقدار ۵۰۰ الی ۷۰۰ میلی‌متر و

بخش‌های شمالی حوضه محمدآباد و قورچای به مقدار ۳۰۰ میلی‌متر، همچنین به‌طور کلی حوضه آبخیز گرگانرود با بیش‌ترین میانگین و حوضه قره‌سو کم‌ترین میانگین بارش را در طی دوره ۳۰ ساله دریافت کرده‌اند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش می‌توان گفت به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات صحیح و دقیق برای استفاده در تجزیه‌وتحلیل‌های آماری شایسته است نسبت به توسعهٔ شبکهٔ باران‌سنجی با استفاده از روش‌های زمین‌آماری در مناطق مختلف اقدام شود با توجه به مطالعه انجام شده در بخش حوضه آبخیز به این نتیجه می‌توان دست‌یافت که خطر سیلاب با احتمال خیلی زیاد در نواحی شمالی محدوده حوضه آبخیز رخ می‌دهد. داده‌های دریافتی نشان می‌دهد که در این مناطق تراکم رودخانه‌ها بیشتر از جاهای دیگر است. همچنین مشاهده می‌شود که نواحی مرکزی حوضه آبخیز دارای بیشترین حجم نزولات جوی هستند به‌طورکلی نقشه نهایی پهنه‌بندی مخاطرات در منطقه مطالعاتی حاکی از آن است که بخش‌های شمال و شمال غربی و شرقی تا حدودی در پهنه‌های بسیار خطرناک قرار دارد معمولاً در این نواحی حد آستانه پوشش‌های گیاهی کم و رطوبت خاک بیشتر و میزان نفوذپذیری کم است. نتایج این پژوهش در خصوص پیش آگاهی بلندمدت بارش با نتایج تحقیقات صالحوند و همکاران (۱۳۹۹)، خوش‌روش و همکاران (۱۳۹۵) مبنی بر سنجش اثر تغییر اقلیم بر فراوانی سیلاب، سیبایی (۱۳۹۲) مبنی بر استفاده از روش‌های ترکیبی زمین‌آمار همخوانی دارد. در همین راستا نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش سارلی و همکاران (۱۳۹۹) در خصوص به‌کارگیری شاخص‌های مورفولوژی و زمین‌شناسی در ارزیابی پهنه‌های خطر همخوانی دارد.

پیشنهادات

- در طراحی شبکه‌های پخش سیلاب حتماً به پارامتر دفعات وقوع سیل در هرسال توجه شود و صرفاً حجم سیلاب و رواناب حوضه در طراحی معیار قرار نگیرد؛
- تعیین نقاط آسیب‌پذیر تأسیسات زیربنایی و ارائه راهکارهای مناسب حفاظت از آن‌ها؛
- ارزیابی طرح‌های مهار سیلاب؛
- تهیه نقشه‌های با مقیاس مناسب از وضعیت خطرپذیری سیلاب به‌منظور اطلاع‌رسانی به مردم؛
- برنامه‌ریزی و مدیریت کاربری اراضی در سیلاب‌دشت‌ها؛
- برنامه‌ریزی برای استقرار کاربری اراضی در یک سیلاب‌دشت با در نظر گرفتن میزان خطرپذیری موجود، یکی از ارکان توسعه پایدار می‌باشد؛
- سنجش پارامترهای ژئومورفولوژی و هیدرولوژی این امکان را فراهم می‌کند تا در حوضه‌هایی که از نظر ژئومورفولوژی تشابه وجود دارد، با ایجاد روابط بین این دو، اقدام به پیش‌بینی سیلاب در حوضه‌ها کرد؛
- پیشنهاد می‌گردد، تغییر رژیم بارش با روش‌های مختلف بررسی و نتایج تحقیقات با یکدیگر مقایسه گردد تا میزان نوسانات و تغییرات مشخص شود؛

- روش‌های مورداستفاده در این پژوهش را می‌توان برای داده‌های پیش‌بینی شده مدل‌های گردش عمومی جو استفاده نمود و تغییرات مشخصه‌های بارش و عوامل مؤثر بر ایجاد سیل را بر اساس روش به کار گرفته پیش‌بینی کرد؛
- استفاده از مدل‌های تکمیلی تحلیل فضایی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند بسیار سودمند باشد.

منابع

۱- احمدی محمود، لشکری حسن، عظیمی پرستو (۱۳۹۴): بالاترین بارش محتمل ۲۴ ساعته و تأثیر آن در مخاطرات هیدرولوژیکی منطقه جنوب غرب خزر. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۲ (۲): ۶۹-,۸۳

۲- حلبیان امیرحسین، حسینعلی پور جزی فرشته (۱۳۹۴): تحلیل سینوپتیک مخاطرات اقلیمی در جنوب غرب ایران مورد مطالعه: بارش‌های سنگین سیل زا در آذر ۱۳۹۱. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۲ (۴): ۳۱-۴۶.

۳- خسروی، محمود، دوست کامیان، مهدی، میر موسوی، سید حسین، بیات، علی، بیگ رضایی، احسان. (۱۳۹۳): طبقه‌بندی دما و بارش در ایران‌زمین با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و تحلیل خوشه‌ای. فصل‌نامه علمی - پژوهشی برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۴(شماره ۱۳)،۱۲۱-۱۳۲.

۴- خوش‌روش، مجتبی، بائوج رضایی، زهرا (۱۳۹۵): اثر تغییر اقلیم بر فراوانی سیلاب حوضه کلاردشت با استفاده از تلفیق الگوریتم K-nn و مدل HadCM3. دانش آب‌وخاک، ۲۶(شماره ۳ بخش ۱)، ۲۱۱-۲۲۱.

۵- ذبیحی، علیرضا، سلیمانی، کریم، شعبانی، مرتضی، آبروش، صادق. (۱۳۹۰): بررسی توزیع مکانی بارش سالانه با استفاده از روش‌های زمین‌آماری (مطالعهٔ موردی: استان قم)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۳(۷۸)، ۱۰۲-۱۱۲.

۶- رستمی نورالدین، کاظمی یونس (۱۳۹۸): پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر ایلام با استفاده از روش AHP و GIS. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۶ (۱): ۱۷۹-۱۹۲.

۷- رادمهر، احمد، عراقی نژاد، شهاب. (۱۳۹۳): کاربرد روش تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی فازی در تعیین مناطق آسیب‌پذیر از سیلاب، (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شهری تهران) دانش آب‌وخاک ۲۴-۴: ۱۱۵-۱۲۸.

۸- زند کریمی، آرش، مختاری، داود، زند کریمی، شیدا. (۱۳۹۷): تحلیل فضایی و بهینه‌سازی شبکهٔ ایستگاه‌های باران‌سنجی استان کردستان با استفاده از واریانس خطای کریجینگ. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر، ۲۷(۱۰۵), ۱۱۵-۱۲۶.

۹- سیابی، نگار، ثنایی نژاد، سید حسین. (۱۳۹۲): بررسی روش‌های ترکیبی زمین‌آمار در افزایش دقت طبقه‌بندی اقلیمی و نیز پهنه‌بندی عناصر اقلیمی شمال شرق ایران. پژوهش‌های اقلیم‌شناسی. (۱۵)، ۸۱-۳۲.

۱۰- سارلی، رضا، ضیائیان فیروزآبادی، پرویز، بدراق نژاد، ایوب، بابایی، محبوب (۱۳۹۹): سنجش و شناسایی مناطق مستعد پخش سیلاب از منظر سازندهای زمین‌شناسی در حوزه آبخیز بیرجند با استفاده از .RS/GIS نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۰ (۵۷): ۱-۲۴.

۱۱- سازمان هواشناسی کشور، اداره کل هواشناسی گلستان، (۱۳۹۹): مرکز آمار و اطلاعات.

۱۲- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی گلستان، (۱۳۹۵): مطالعات آمایش استان گلستان.

۱۳- شفیعی، قهرمان، ثقفیان مجتبی، بیژن، بهرام (۱۳۹۲): ارزیابی و بهینه یابی شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی بر مبنای روش کریجینگ احتمالی (مطالعه موردی: حوضه گرگان‌رود). تحقیقات منابع آب ایران. سال ۹(۲)، ۹- ۱۸.

۱۴- صالحوند ایران، گندم‌کار امیر، فتاحی ابراهیم (۱۳۹۹): پیش آگاهی بلندمدت بارش با استفاده از سیستم شبکهٔ عصبی مطالعهٔ موردی: حوضهٔ کارون بزرگ. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۰ (۵۹): ۸۱-۹۷.

۱۵- عساکره، حسین، ورناصری قند علی، نسرین. (۱۳۹۸): واکاوی تغییرات مقدار، فراوانی و شدت بارش سالانهٔ ناحیهٔ خزری طی دورهٔ آماری ۱۹۶۶-۲۰۱۶. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۱(۲)، ۳۳۵-۳۵۲.

۱۶- عساکره، حسین، حسینجانی، لیلا. (۱۳۹۸): واکاوی فضایی مجموع فراوانی سالانهٔ بارش‌های شدید و خیلی شدید ناحیهٔ خزری، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۱(۱)، ۱۳۵-۱۴۸.

۱۷- عساکره حسین، رزمی رباب (۱۳۹۷): مدل‌سازی فضایی بارش تابستانه شمال غرب ایران. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۸ (۵۰): ۱۵۵-۱۷۸.

۱۸- فتوحی فیروزآباد، فرزانه، ملکی نژاد، حسین. (۱۳۹۸): تحلیل و پهنه‌بندی مقدار بیشینه بارش روزانه ایران با استفاده از توزیع ویکبای و تکنیک زمین‌آمار. مدیریت بیابان، ۷(۱۴)، ۷۵-۹۲.

۱۹- قلی زاده، محمدحسین. (۱۳۹۷): واکاوی وردایی مقدار و زمان بارش در ایستگاه همدید ایلام، پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، (۳۳)، ۶۳-۷۶.

۲۰- قاسمی فر، الهام، ناصر پور، سمیه. (۱۳۹۳): پهنه‌بندی اقلیمی ناحیه زاگرس، فصل‌نامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر، ۲۳(۸۹)، ۵۴-۶۰.

۲۱- محمد پورزیدی علی، علیجانی بهلول، سلیقه محمد، گرامی محمد صالح (۱۳۹۹): تحلیل فضایی بارش استان مازندران. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹ (۵۲): ۱-۲۰.

۲۲- مهدوی نژاد، الهام، حسینی، سید زین‌العابدین، ملکی نژاد، حسین، اسدی، محمدامین. (۱۳۹۷): تأثیر تغییر متغیرهای اقلیمی بر تبخیر و تعرق پتانسیل در مناطق خشک با استفاده از زمین‌آمار (بررسی موردی: استان یزد). مدیریت بیابان، ۶(۱۲)، ۱-۱۸.

23- Arnaud, P. J, Lavabre. C, Fouchier, S. Diss, And P. Javelle (2011):"Sensitivity Of Hydrological Models To Uncertainty In Rainfall Input". Hydrolog. Sci. Vol. 56, Pp: 397-410.

24- C.C. Sampson, A.M. Smith, P.D. Bates, J.C. Neal, L. Alfieri, J. E. (2015):Freer A High-Resolution Global Flood Hazard Model Water Resour. Res. 51 (9), Pp. 7358-7381.

25- K. Smith (2013): Environmental Hazards: Assessing Risk And Reducing Disaster Sixth Edition, Routledge, London, Edition6th, 504.Https://Doi.Org/10.4324/9780203805305.

26- U.C. Nkwunonwo, M. Whitworth, B. Baily Urban Flood Modelling Combining Cellular Automata Framework With Semi-Implicit Finite Difference Numerical Formulation J. Afr. Earth Sci. 150 (2019), Pp. 272-281.

27- Yang, W. Yang, H. & Yang, D. (2020): Classifying Floods By Quantifying Driver Contributions In The Eastern Monsoon Region Of China. Journal Of Hydrology, 585, 124767.Doi:10.1016/J.Jhydrol.2020.124767

28- Younger, P. M. J. E. Freer, And K. J. Beven (2009): "Detecting The Effects Of Spatial Variability Of Rainfall On Hydrological Modelling Within An Uncertainty Analysis Framework". Hydrol Process. Vol. 23, Pp: 1988-2003.

29- Zho. P, L.W. Zhang, K.M. Liew (2014): "Geometrically Nonlinear Thermomechanical Analysis Of Moderately Thick Functionally Graded Plates Using A Local Petrov-Galerkin Approach With Moving Kriging Interpolation". Composite Structures, Vol. 107, Pp. 298–314.