جغرافیـــا و برنامـــه‌ریـــزی محیطـــی
ســال ۲۷، پیــاپی ٦١، شــماره ۱بهــار ۱۳۹۵

علمی - پژوهشی
مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی

پهنه بندی خطر سیل در مراکز انسانی و اقتصادی استان خراسان جنوبی با استفاده از منطق فازی

حسین مختاری هشی:- استادیار جغرافیای سیاسی، دانشگاه اصفهان
داریوش رحیمی:- دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه اصفهان
وصـول:۱۳۹٤/۱۱/۲۱ پـذیرش: ۱۳۹۵/۱/۱۸ ، صص: ۲۱٦-۱۹۹

چکیده

بلایای طبیعی همانند سیل همواره وجود داشته و در هر دوره‌ای با وقوع آن مشکلاتی برای بشریت بـه وجـود آمـده اسـت و تقریباً می‌توان گفت که بشر هیچگاه قادر به جلوگیری از وقوع این پدیده نبوده است. اگرچـه بـا گـذر زمـان و پیشـرفت علـم از میزان خسارات مادی و جانی آن تا حدود زیادی کاسته شده است. سیل یک پدیده طبیعی است که در هنگام بروز مانند هر بـلای طبیعی دیگری دارای آثار تخریبی غیرقابل اجتناب است. بر اساس جغرافیای طبیعی کشورمان و میزان حادثه‌خیـزی برخـی منـاطق آن، در بعضی موارد اثرات سوء ناشی از وقوع سیل موجب خسارات جانی و مالی جبران‌ناپذیری شده است. بخـش اعظـم مراکـز انسانی کشور به‌لحاظ برخورداری از موقعیت کوهپایه‌ای و آب و هوای خشک و نیمه خشک، اگرچه در مقایسه با دیگر کشـورها مقدار بارش در آن کم بوده و طی سال‌های نرمال، میزان بارشی حدود ۲۵۰ میلیمتر دارد، اما بارش‌هـا در برخـی نقـاط کشـور بـا شدت و دبی سریع صورت گرفته و با در نظر گرفتن خشکی طبیعت، پس از یک بارش بلافاصـله روان آب‌هـا ایجـاد شـده و در صورت شدت بارش باعث سیلاب شده و خسارات هنگفتی به منابع کشاورزی و مالی مردم وارد می‌آورد. استان خراسان جنـوبی به‌دلیل اقلیم نیمه بیابانی و خشک و بارشهای نامنظم و سیل‌آسا، از پتانسیل سیل‌خیزی قابل توجهی برخوردار اسـت کـه فعالیتهـای انسانی و به‌هم خوردن تعادل اکولوژیک نیز موجب افزایش میزان خسارات شده است. پژوهش حاضر به روش توصـیفی تحلیلـی و با استفاده از شیوه اسنادی به‌دنبال شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد سیل مبتنی بر منطـق فـازی و بـا اسـتفاده از GIS در ایـن استان است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که حدود ۳۷ درصد از جمعیت و مراکز مهم اقتصادی و زیرساختهای ایـن اسـتان در معرض خطر سیل قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: بلایای طبیعی، سیل، پهنه‌بندی، مراکز اقتصادی و انسانی، خراسان جنوبی.

۱-مقدمه

مطابق آمار سازمان ملل متحد، در میان بلایای طبیعـی، سیل و طوفان بیشترین تلفـات و خسـارات را بـه جوامـع بشری وارد آورده‌اند، در دهه‌های اخیر میزان وقوع بلایـای طبیعـی بـه‌طـور نگـران کننـده‌ای افـزایش یافتـه اسـت. سیلابهای مهم جهان در یک دوره یازده ساله از ۱۹۸٦ تـا ۱۹۹٦، حدود ۱۹ مورد و میزان مرگ و میر آنهـا ۱۹۷۱٤ نفـر و میـزان خسـارات نزدیـک بـه ۱۰۰ میلیـارد دلار و سالانه حدود ۹ میلیـارد دلار اسـت(وزارت نیـرو، ۱۳۸۵: ۱۰). در ایران در طـی ۵۰ سـال از ۱۳۲۰ تـا ۱۳۷۰ وقـوع ۳۷۰۰ مورد سـیل بـه ثبـت رسـیده اسـت (خسروشـاهی ۱۳۷٦) و در اغلب سـال‌هـای گذشـته حـدود ۷۰درصـد

*نویسنده مسؤول: Email: h.mokhtari@ui.ac.ir

اعتبارات سالانه طرح کاهش اثرات بلایای طبیعی و ستاد حوادث غیرمترقبه، صرف جبران خسارات ناشی از سیل شده است. متأسفانه روند توسعه در کشورهایی نظیر ایران باعث تخریب محیط زیست و منابع طبیعی شده و خسارات سیل را به مراتب افزایش داده است که رشد ۲۵۰ درصدی خسارات ناشی از سیل در کشور در پنج دهه گذشته مؤید این مدعاست(وطن فدا، ۱۳۸۱: ۳۰۲). با توجه به علل مختلف و مؤثر در بروز سیل، می‌توان با اعمال روشها، اقدامات و راهکارهای علمی و عملی، از روی دادن بسیاری از سیلابها پیشگیری کرده و در سیلهایی که توانایی پیشگیری از آنها نیست، با انجام تدابیر مختلف، از جمله پهنه‌بندی و تعیین کاربری مناسب برای مناطق سیل‌گیر، خسارات ناشی از آن را کاهش داد (وهابی، ١٣٧٦). در ارتباط با پهنه‌بندی سیل پژوهشهای زیادی صورت گرفته که به برخی از آنها اشاره می‌شود: افتخاری و همکاران(۱۳۸۸)، صادقی و همکاران(۱۳۸۲)، حاجی قلیزاده(۱۳۸۳)، امیراحمدی و همکاران(۱۳۹۰)، محمودزاده و همکاران(١٣٩٤)، خیری‌زاده و همکاران(۱۳۹۱)، شعبانلو و همکاران(۱۳۸۷) با در نظر گرفتن فاکتورهای مانند شدت و تداوم بارش، کاربری اراضی، ارتفاع، شیب آبراهه و سیلاب‌دشت‌ها، استقرار نقاط سکونتگاهی و مراکز اقتصادی، شرایط اقلیمی، نیمرخ عرضی رودخانه‌ها، نسبت انشعاب، حداکثر سیلاب لحظه‌ای و دوره برگشت‌های آن، خصوصیات ژئومورفولوژی و سنگ‌شناسی به پهنه‌بندی خطر سیلاب در مناطق مختلف مانند استان گلستان، شهر نیشابور، تبریز، حوضه‌های آبی گرگانرود، مراق چای پرداخته و نتیجه گرفته‌اند که با کمک فاکتورهای ذکر شده و تکنیک‌هایی مانند AHP، ANP با استفاده از نرم‌افزارهای GIS و HEC-RAS می‌توان به یک پهنه‌بندی مناسب دست یافت.

۲- مفاهیم نظری

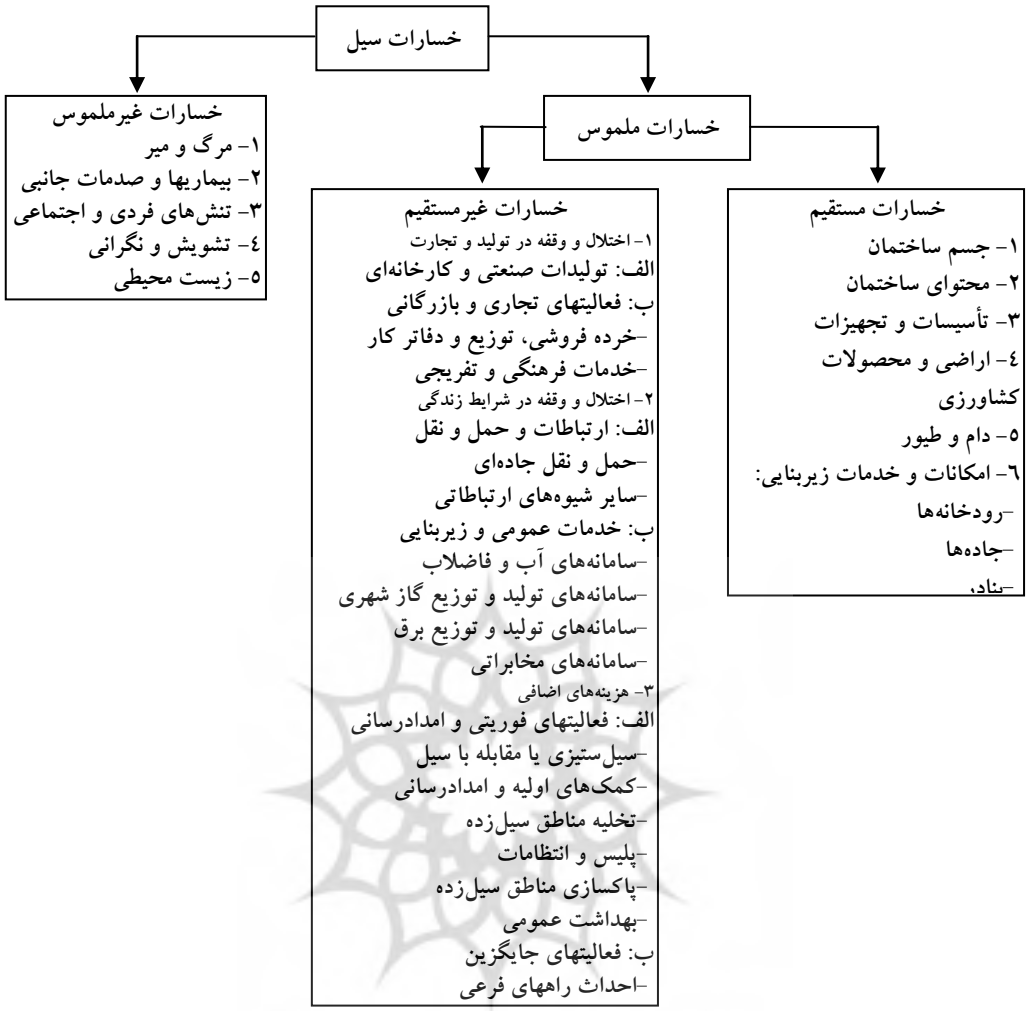
الف: سیل: سیل به جریانی گفته می‌شود که: ۱- جریان آب برای مقطع خاصی از رودخانه بیش از جریان عادی باشد، ۲- تداوم زمانی محدودی داشته باشد، ۳- جریان آب از بستر طبیعی خود خارج و اراضی پست حاشیه رودخانه را فرا گیرد، ٤- خسارات جانی یا مالی به همراه داشته باشد (مهدوی ١٣٧٦). سیل جریانی است که نسبت به میانگین حجم آب در طول رودخانه بالاتر باشد(Wohl, 2000: 4).

ب: عوامل اصلی وقوع سیل: عوامل مختلفی باعث وقوع سیلاب و آب گرفتگی می‌شوند که مهمترین آنها عبارتند از عوامل اقلیمی، عوامل هیدرولوژیکی و عوامل انسانی (WMO, 2008).

ج: پهنه‌بندی خطر سیل: پهنه‌بندی خطر سیل در واقع ابزاری اساسی برای مدیریت و کاهش خطرات سیل است و وسیله‌ای قانونی در دست دولت و مسئولان برای کنترل و مدیریت کاربری‌های ارضی و برنامه‌های توسعه، همزمان با کاهش خطرات سیل و حفاظت از محیط زیست (تلوری، ١٣٧٦: ١٠٣-٩٦).

د: خسارات سیلاب: به طور کلی خسارات سیل در دو گروه طبقه‌بندی می‌شود که در شکل ۱ آمده است:

شکل ۱: طبقه‌بندی خسارات ناشی از وقوع سیل (وزارت نیرو، ۱۳۸۵: ۳۰)



۳- داده‌ها و روش

داده‌ها: با توجه به هدف پژوهش حاضر، داده‌های مورد نیاز شامل داده‌های اقلیمی، هیدرولوژی، توپوگرافی، کاربری اراضی، مناطق در معرض خطر سیلاب شامل قنوات، چاه، چشمه، مراکز فعالیت اقتصادی و سکونتگاه‌های انسانی است. داده‌های اقلیمی مورد نیاز از پایگاه داده‌های سازمان هواشناسی کشور در دوره آماری ۱۹۷۵-۲۰۱۰ و استان خراسان جنوبی تهیه گردیده است. داده‌های هیدرولوژی از پایگاه داده‌های شرکت منابع آب ایران استفاده شده است. همچنین داده‌های مربوط به خسارات ناشی از سیلاب در سطح استان از سازمان جهاد کشاورزی و پایگاه داده‌های مخاطرات وزارت کشور استخراج شده است. از آنجایی که بخشی از داده‌های هواشناسی و هیدرولوژی ناقص می‌باشد، لذا جهت برطرف نمودن نقص داده‌ها و همگن‌سازی آنها به کمک روش زیر انجام شده است که نتایج آن در جدول ۱ ارائه گردیده است.

$$Ne = \frac{N}{1+\frac{N-n}{n-2}(1-r^2)} \qquad (۱)$$

Ne: تعداد سال مجاز برای تطویل آمار، n: تعداد سالهای آماری مربوط به آمارهای کوتاه مدت

N: ضریب همبستگی بین دو متغیر قبل از تطویل آمار و r: ضریب همبستگی

جدول ۱: معادله رگرسیون جهت بازسازی آمار دبی سالیانه ایستگاههای ناقص با استفاده از ایستگاه تیمنک

نام ایستگاه ناقص	R	معادله	تعداد سال بازسازی شده
جعفر مشهدی	۰/۳۸	$y = ۴۱/۷۳۶Ln(x) - ۶۱/۵۰۸$	۵
صنوبر	۰/۳۲	$y = -۱۶/۴۹۲Ln(x) + ۱۰۲/۵۱$	-
ایرج آباد	۰/۳۱	$y = 7/84Ln(x) - 6/381$	٤
نیازطبس	۰/٤۰	$y = ۱۳/۱۸Ln(x)۶/۶۶۴$	۱
منصورآباد	۰/٤۸	$y = 14/479Ln(x) - 18/893$	۱۳
افین	۰/۱۸	$y = ۹/۷۶۶Ln(x) - ۶/۱۹۶$	٦
خونیک علیا	۰/٤٤	$y = 8/839Ln(x) - 15/044$	۲
فرخی	۰/٤۹	$y = ۱۸/۵۲۴Ln(x) - ۱۸/۵۱۴$	٦
باغ عباس	۰/۲۷	$y = ۲۰/۲Ln(x) - ۲۰/۵۵۹$	-
کلاته رحمان	۰/٤۵	$y = ۱۰/۸۷۵Ln(x) - ۱۸/۶۲۴$	۲
غار شیشه	۰/۱۵	$y = ۱۱/۱۹۴Ln(x) - ۴/۴۲۲$	۱

مأخذ: محاسبات نگارندگان

جدول ۲: روابط وزن‌دهی فازی

شاخص	رابطه	اجزاء	رفرنس
Dunn Index	$DI_m = \frac{\min\limits_{1 \leqslant i < j \leqslant m} \delta(C_i, C_j)}{\max\limits_{1 \leqslant k \leqslant m} \Delta_k}$	Min: حداقل فاصله Max:حداکثر فاصله **C**: فاصله متغییر	*Dunn, J. C. (1973).*
Fuzzy-C-mean	$\arg\min_C \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{c} w_{ij}^m \|\mathbf{x}_i - \mathbf{c}_j\|^2$, where: $w_{ij}^m = \frac{1}{\sum_{k=1}^{c} \left(\frac{\|\mathbf{x}_i - \mathbf{c}_j\|}{\|\mathbf{x}_i - \mathbf{c}_k\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}}$.	$X = \{\mathbf{x}_1, ..., \mathbf{x}_n\}$ متغیر $C = \{\mathbf{c}_1, ..., \mathbf{c}_c\}$ طبقات‌فازی: w_{ij} : درجه عضویت	*Bezdek, James C. (1981)*

روش: تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیلاب به داده‌های متنوعی مانند داده‌های اقلیمی، هیدرولوژی، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، شیب، ارتفاع و فعالیت‌های انسانی نیاز دارد. بنابراین تکنیک‌های انتخابی جهت استخراج نتایج شامل روش‌های زمین آمار و تحلیل‌های فضایی و رتبه‌بندی فاکتورهای مؤثر در سیلاب فازی و با کمک نرم‌افزار GIS انجام شده است.

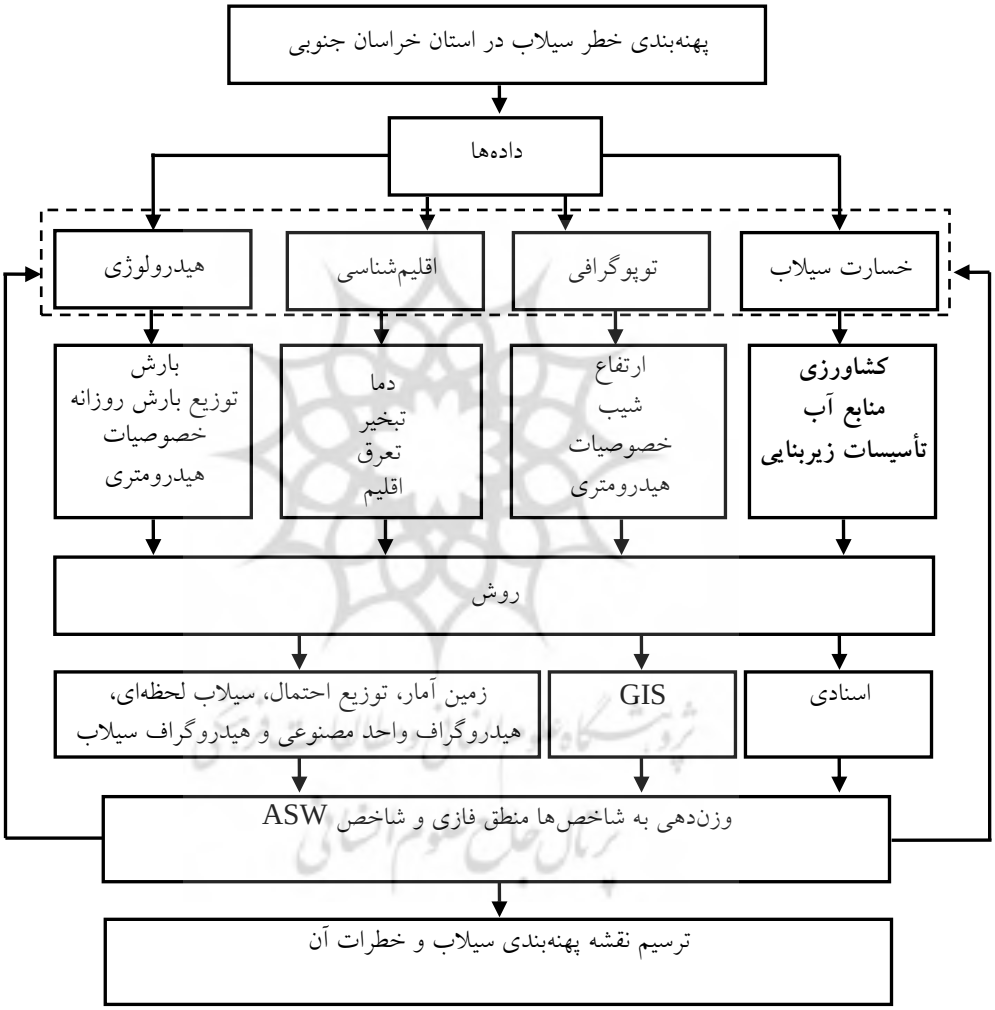
با توجه به مدل مفهومی ارائه شده بررسی احتمال رخداد داده‌های حداکثر دبی و بارش روزانه از دیگر اقداماتی بوده که با استفاده از نرم‌افزار Minitab انجام گرفته است. به‌منظور انتخاب مدل بهینه توزیع‌های آماری از شاخص p-value در سطح اطمینان ۹۵٪ استفاده شده است.

تعلق وزن مناسب به لایه‌ها و داده‌های مؤثر در پهنه‌بندی خطر سیلاب در استان خراسان جنوبی در

روش فازی از شاخص‌های Dunn Index، Fuzzy C-Means **(FCM)** ، استفاده شده است. این شاخص‌ها به کمک روابط ارائه شده در جدول ۲ در محیط نرم‌افزار **S-plus 2000** محاسبه گردیده است

لازم به ذکر است که نتایج محاسباتی این شاخص‌ها در بخش یافته‌های پژوهش ارائه شده است. در نهایت با توجه به مدل مفهومی ارائه شده نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب در استان خراسان جنوبی تهیه گردیده است.

شکل ۲: مدل مفهومی پژوهش (نگارندگان)



٤- یافته‌های تحقیق

١-٤- میزان خسارات سیل در استان خراسان جنوبی

خسارات سیل در استان خراسان جنوبی در گذر زمان و با افزایش فشار جمعیت و فعالیتهای انسانی به اکوسیستم و به‌هم خوردن تعادل اکولوژیکی تشدید شده است. جدول ۳ خسارات وارده به استان را در طی یک دوره ۱۸ ماهه نشان می‌دهد که اقارم آن بسیار قابل تأمل است.

جدول ۳: میزان خسارات وارده بر اثر سیل در استان خراسان جنوبی

شهرستان	مشخصات		خسارات وارده				خسارات زراعی		خسارت باغی		خسارات منابع آبی، قنات، چاه، استخر
	حادثه		دام	طیور	ساختمانهای کشاورزی	مساحت زمین(هکتار)	محصول(تن)	مساحت زمین (هکتار)	محصول (تن)	تعداد
	نوع	زمان	تعداد	تعداد	تعداد					
سربیشه	سیل	آبان ماه ۸٤	۲۰	۰	۲۱	۸۳۵	۵۰۰	۰	۰	۲۲
	سیل	۸٤/۱۱/۱۹	۰	۰	۱	۲۸۰	۱۰٤۰	۰	۰	۵
قاینات	سیل	۸۵/۲/۲۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۲
	سیل	۸۵/۱۱/۲۰	٤۰۰	۰	۵	۲۱۰	۱٦۸۰	۳۰	٦۰	۲
درمیان	سیل	۸۵/۸/۲٤	۳۰	۰	۰	۱۰	۸٤	٤	۲۸	۱
	سیل	۸۵/۱۱/۲٦	۰	۰	۱	۱	٤۰۰	۰	۰	۱
بیرجند	سیل	۸۵/۲/۱٦	۷۰	۰	۲	۷۵۷۰	۱۵۲۰	۵۰۰۰	۵۰۲	۰
جمع		۷	۵۲۰		۳۰	۱۸۹۰۵	۵۲۲٤	۵۰۳٤	۵۹۰	٤۳

ماخذ: جهاد کشاورزی استان خراسان جنوبی۱۳۸۸

۲-٤- تأثیر عوامل مختلف مؤثر در پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی استان خراسان جنوبی

بر اساس مدل فاصله اقلیدسی مهمترین شاخص‌ها در چهار گروه شامل:

۱- گروه اول مشخصات توپوگرافی و موفولوژیک حوضه های آبی و کاربری اراضی.

۲- گروه دوم شامل مشخصات اقتصادی و تأسیسات زیربنایی که بیشترین خسارات را در رخداد سیلاب‌ها متحمل می‌شوند.

۳- گروه سوم در برگیرنده متغییرهای دبی سالانه، دبی لحظه‌ای، بارش ۲٤ ساعته، میزان احتمال وقوع، مقدار دبی در دوره برگشت‌های مختلف.

٤- گروه چهارم متغییرهای میانگین دما، حداقل و حداکثر متوسط دما و نوع اقلیم می‌باشد.

۳-٤- مشخصات هیدرومورفی حوضه‌های آبی استان خراسان جنوبی

در مطالعات طبیعی مانند اقلیم شناسی، هیدرولوژی، سیل‌خیزی و ... حوضه‌های آبی به‌عنوان واحدهای مطالعاتی و اجرایی جهت برنامه‌ریزی انتخاب می‌گردند. در پژوهش حاضر نیز با توجه به هدف آن، حوضه‌های آبی به‌عنوان واحدهای مطالعاتی انتخاب گردیده‌اند. این حوضه‌های آبی که در واقع معبر انرژی و ماده محسوب می‌گردند، بخشی از رفتار هیدرواقلیمی خود را تابع مشخصات هیدرومورفی مانند مساحت، ارتفاع، نسبت‌های فیزیوگرافی و شیب می‌باشند. براساس محاسبات و تدوین دادههای DEM استان و واحدهای هیدرولوژیکی تعریف شده وزارت نیرو (درمورد حوضه‌های دارای ایستگاه آب‌سنجی و حوضه‌های آبخیز استان) دارای خصوصیاتی به شرح جداول ٤ و ۵ هستند.

جدول ٤: مشخصات و موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری استان خراسان جنوبی(واحدهای هیدرولوژیک وزارت نیرو)

نام ایستگاه	محیط(کیلومتر)	مساحت حوضه(کیلومتر)	متوسط بارندگی حوضه	ضریب گراویوس	شیب آبراهه اصلی(درصد)	شیب حوضه (درصد)	طول آبراهه اصلی (کیلومتر)	ارتفاع متوسط حوضه(متر)
جعفر مشهدی	٢٤٦/٥	٢١٧٣	١٧٩/٩٥	١/٣	٠/٧٣	٠/٥	٢٥	٩١٥/٤
صنوبر	٣٧/٥	٨٥	٣٦٥	١/١٤	٥/٢	١٠/٨٢	١٤/٥	٢١٠/٨
ایرج آباد	٣٥٣	٨٠٥	٢٢٠	١/٣٢	١/٥	١/٣	٥٧/٥	١٣٤٦
نیازطبس	١٢٤	١٨٧/٩	٢١١	١/٤٥	٣/٩	٣٣	٤٦	١٨٢٨
منصورآباد	٩٥	٣٤٦	٢٠٢	١/٤٣	١/٦	٣/١	٣٧	٢١٨٠
افین	١٣٧/٥	٦٦٥	٢٢٤	١/٥	٣	٢/٩	٣٢/٥	١٨٠٠
خونیک علیا	١٢٩	٢٤٠٨	١٥٠	١/٥	١/٩	٢/٤	٢٩	١٩١٠
فرخی	٣١٢	٣٦٦٩	١٩٤	١/٤٤	١	٢/٧٧	١٠٥	١٦٩١
باغ عباس	٨٢/٥	٢٨٥	٣٣٦	١/٤١	١/٥	١١/٥	٢٥	١٩٨٨
کلاته رحمان	٥١/٥	١٢١	٣٥٠	١/٣٢	٢/١	١٩/٦	٢٠	٢٠٨٥
تیمنک	١٠٢	٥٠٥	٢٥٨	١/٢٨	١/١	٤/٣	٣٣	١٤٢٨
غار شیشه	٣٨/٥	٧٥	٣٦٨	١/٢٥	٣/٠٣	٢٥/١	١٥	٢٢١١

ماخذ: محاسبات نگارندگان

جدول ٥: خصوصیات هیدرومورفی حوضه‌های آبخیز استان خراسان جنوبی

زیر حوضه	مساحت	اختلاف ارتفاع	طول آبراهه	زمان تمرکز (ساعت)	زمان تاخیر (ساعت)	زمان بارش موثر(ساعت)	زمان اوج (ساعت)	دبی حداکثر(متر مکعب به ازای رواناب)
خوسف	٩١٠٠	١٨٠٠	١٨٨/٧٥	٢٢/٥٢	١٤/٨٧	٣	١٦/٣٦	١١٥/٦٧
قلعه زری	١٣٠٠٠	١٩٠٠	١١٩	١٢/٩٥	٨/٥٥	١/٧٢	٩/٤١	٢٨٧/٤٥
ده سلم	١٢٠٠٠	١٩٠٠	١٤٤/٢	١٦/١٦	١٠/٦٧	٢/١٥	١١/٧٤	٢١٢/٥٥
نهبندان	٦٥٠٠	١٨٠٠	١١٠/٤	١٢/١٢	٨	١/٦١	٨/٨١	١٥٣/٥١
بندان	٢٣٠٠	١٨٠٠	١١٢/٤	١٢/٣٨	٨/١٧	١/٦٥	٨/٩٩	٥٣/٢
درح	٥٨٠٠	١٩٠٠	١٣٧/٣٨	١٥/٢٨	١٠/٠٩	٢/٠٣	١١/١٠	١٠٨/٦٤
مرزی	٧٩٠	٨٠٠	٢٠/٧	٢/٤	١/٥٨	٠/٣٢	١/٧٤	٩٤/٣٩
طبس سینا	٦٨٠٠	٢١٠٠	١٥٦/٧	١٧/١٢	١١/٣٠	٢/٢٨	١٢/٤٤	١١٣/٧٢
پترگان	٥٧٠٠	٢١٠٠	١٣١/٨٦	١٤/٠٣	٩/٢٦	١/٨٧	١٠/١٩	١١٦/٣٥
شاهرخت	١٣٠٠	٨٠٠	٤٠/٣٦	٥/١٨	٣/٤٢	٠/٦٩	٣/٧٦	٧١/٨٣
شاسکوه	٩٤٠	١٩٠٠	٣٤/٣	٣/٠٨	٢/٠٣	٠/٤١	٢/٢٤	٨٧/٤٥
قائن	٥٥٠٠	١٩٠٠	١٢٧/٦٦	١٤/٠٤	٩/٢٧	١/٨٧	١٠/٢	١١٢/١٤
موسویه	٥٢٠٠	١٢٠٠	٩٥/٥	١١/٩٩	٧/٩١	١/٥٩	٨/٧١	١٢٤/٢١
سرایان	٧٤٠٠	١٩٠٠	٨٥/٤٣	٨/٨٣	٥/٨٣	١/١٧	٦/٤١	٢٣٩/٩٤
فردوس	٧٤١٣/٦	١٤٠٠	١٨٨	٢٤/٦	١٦/٣	٣/٢٧	١٧/٩٣	٨٦

ماخذ: محاسبات نگارندگان براساس نقشه‌های توپوگرافی استان

٤-٤- تحلیل و برآورد مقادیر دبی حداکثر

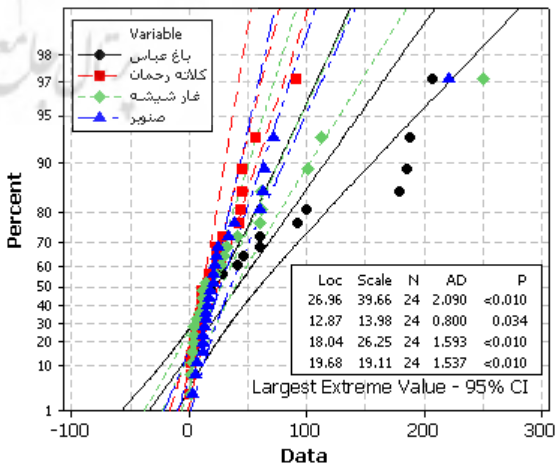
الف: حوضه‌های دارای آمار دبی

طبق بررسی‌های صورت گرفته، عوامل حدی بارش در مناطقی با اقلیم خشک مهمترین نقش را در ایجاد سیلاب‌های بزرگ دارند. البته علاوه بر آن تخریب سازه‌های آبی مانند سد، عدم رعایت حریم آبراهه و تغییرات شدید کاربری اراضی در آن از مهمترین عوامل ایجاد سیلاب می‌باشند. به‌منظور برآورد تقریبی و درست از سیلاب‌ها در استان خراسان جنوبی داده‌های حدی دبی در هر حوضه مورد بررسی قرار گرفته(جدول ٦) تا مقادیر آن در دوره برگشت‌های مؤثر در ایجاد خسارت مشخص گردد. بدین منظور مقادیر دبی حدکثر هر ایستگاه طی دوره آماری به کمک توابع انتقال توزیع آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ مورد آزمون قرار گرفتند. نمودارهای ۱ تا ۳ توزیع مناسب آماری هر ایستگاه را نشان می‌دهند. همچنین براساس فاکتورهایی مانند احتمال وقوع و دوره برگشت مقادیر دبی حداکثر برآوردگردیده است(جدول ۷).

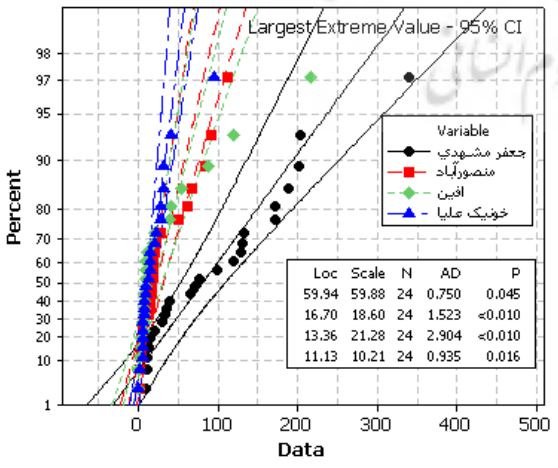
جدول ٦: دبی حداکثر ایستگاه‌های منطقه پس از بازسازی

	جعفر مشهدی	صنوبر	ایرج آباد	نیازطبس	منصورآباد	افین	خونیک علیا	فرخی	باغ عباس	کلاته رحمان	تیمنک	غار شیشه
حداقل	۹/۲	۳	۱/۵	۹/۲	۲/۲	۱/۱	۰/٤	۳/۱	۱/۷	۰/۳	۵/۷	۲
حداکثر	۳٤۰	۲۲۱/٤	۱۱۱/٤	۱۱٦/۹	۱۱۲/۱	۲۱۷/۸	۰/۹٦	۱۲۳/٦	۲۰۷/٦	۹۱/۱	۲۱۸/۳	۲٤۹/۸
میانگین	۹۷/۱	۳۳/۸	۲۲/۷	۵۳/۲	۲۹/۵	۲۹/۸	۱۸/۱	۵۰	۵٤/٦	۲۱/۹	٦۷/۳	۳۷/۱
واریانس	۷۱٦٦/۹	۱۹۹۱/۵	٤۷۷/۸	۸۷۳/٤	۹۸٤/۹	۲٤۵۲/۸	۳۹۰/۷	۱۲٦٤/۲	٤۵۸٤/۷	٤۹۵/۸	۳۲۰٤/۱	۳۰۱٦/۱
انحراف معیار	۸٤/۷	٤٤/٦	۲۱/۹	۲۹/٦	۳۱/٤	٤۹/۵	۱۹/۸	۳۵/٦	٦۷/۷	۲۲/۳	۵٦/٦	۵٤/۹
ضریب تغییرات	۸۷	۱۳۲	۹٦	۵٦	۱۰٦	۱٦٦	۱۰۹	۷۱	۱۲٤	۱۰۲	۸٤	۱٤۸

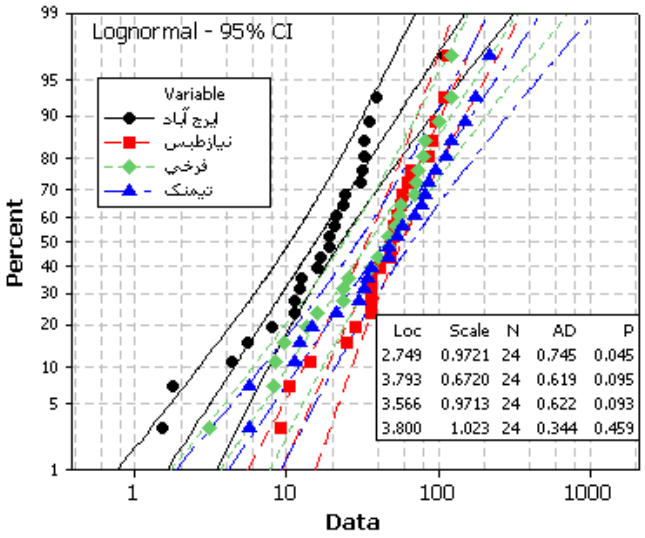
ماخذ: محاسبات نگارندگان



شکل ۳. نمودار توزیع داده‌های دبی حداکثر (LEV)



شکل ٤ نمودار توزیع داده‌های دبی حداکثر (LEV)



شکل ۵. نمودار توزیع داده‌های دبی حداکثر (Lognormal)

جدول ۷: حداکثر دبی لحظه‌ای در دوره بازگشتهای مختلف حوضه‌های مجاور منطقه مطالعاتی (مترمکعب برثانیه)

دوره بازگشت	احتمال وقوع	جعفر مشهدی	صنوبر	ایرج آباد	نیازطبس	منصورآباد	افین	خونیک علیا	فرخی	باغ عباس	کلاته رحمان	تیمنک	غار شیشه
		گامبل		لوگ نرمال	لوگ نرمال	گامبل		گامبل	لوگ نرمال	لوگ نرمال	گامبل	لوگ نرمال	گامبل
۱۰۰	۱	۴۰۹	۱۸۴	۸۶/۶	۱۵۲	۲۴۰	۲۶۹	۷۵/۱	۱۸۴	۶۴۳	۱۰۵	۲۶۶	۳۹۰
۵۰	۲	۳۵۱	۱۴۳	۷۵	۱۳۵	۱۷۶	۱۸۸	۶۴/۵	۱۶۰	۴۳۶	۸۸/۴	۲۳۰	۲۶۸
۲۳۵	۴	۲۹۲	۱۰۸	۶۳/۳	۱۱۸	۱۲۴	۱۲۵	۵۳/۹	۱۳۶	۲۸۳	۷۲/۴	۱۹۳	۱۷۶
۱۰	۱۰	۲۱۴	۶۹/۸	۴۷/۵	۹۴/۶	۷۲/۸	۶۷/۳	۳۹/۶	۱۰۳	۱۴۵	۵۱/۳	۱۴۴	۹۲/۵
۵	۲۰	۱۵۴	۴۶/۵	۳۵/۲	۷۶/۲	۴۴/۱	۳۷/۵	۲۸/۶	۷۶/۸	۷۷/۵	۳۵/۴	۱۰۵	۵۰/۴
۲	۵۰	۷۱/۸	۲۱/۳	۱۷/۸	۴۸/۳	۱۶/۹	۱۲/۳	۱۳/۶	۴۰	۲۳/۴	۱۴/۷	۵۱/۸	۱۵/۸

ماخذ: محاسبات نگارندگان

ب: حوضه‌های فاقد آمار دبی

روش هیدروگراف واحد مصنوعی یکی از روشهای ابداعی هیدرولوژیستها جهت برآورد دبی در حوضه‌های فاقد آمار بارش و دبی ثبت شده است که بر اساس خصوصیات فیزیکی حوضه‌ها قابل محاسبه است و دو روش معمول آن، روش اشنایدر و *SCS* است. در این پژوهش از روش *SCS* استفاده شده است، جدول ۸ مقادیر شاخص‌های مذکور در زیر حوضه‌های ۱۴ گانه استان را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که با بررسی هیدروگراف‌های واحد ترسیم شده در بین زیرحوضه‌های استان، زیرحوضه پترگان با دبی ۵۳/۲ متر مکعب در ثانیه کمترین و زیرحوضه درح با دبی ۲۸۷ مترمکعب در ثانیه بیشترین است.

جدول ۸: رتبه سیل‌خیزی زیرحوضه‌های استان خراسان جنوبی بر اساس شاخص SCS

زیر حوضه	مساحت	دبی حداکثر	دبی ویژه	ضریب گراولیوس
خوسف	۹٤۰	۸۷/٤٥	۰/۰۹	۱/۲۲
قلعه زری	۱۲۰۰۰	۲۱۲/٥٥	۰/۰۲	۱/۲۳
ده سلم	۱۳۰۰	۷۱/۸۳	۰/۰٦	۱/۳٦
نهبندان	٥۸۰۰	۱۰۸/٦٤	۰/۰۲	۱/٤۱
بندان	٥۲۰۰	۱۲٤/۲۱	۰/۰۲	۱/٤۲
درح	۱۳۰۰۰	۲۸۷/٤٥	۰/۰۲	۱/٤۳
مرزی	۷٤۱۳/٦	۸٦	/۰۱۱	۱/٤٥
طبس سینا	۹۱۰۰	۱۱٥/٦۷	۰/۰۱	۱/٤۹
پترگان	۲۳۰۰	٥۳/۲	۰/۰۲	۱/٤۹
شاهرخت	٥٥۰۰	۱۱۲/۱٤	۰/۰۲	۱/٥٥
شاسکوه	٦۸۰۰	۱۱۳/۷۲	۰/۰۲	۱/٥۸
قائن	٥۷۰۰	۱۱٦/۳٥	۰/۰۲	۱/٦
موسویه	۷٤۰۰	۲۳۹/۹٤	۰/۰۳	۱/۷٦
سرایان	٦٥۰۰	۱٥۳/٥۱	۰/۰۲	۱/۷۹
فردوس	۷٤۱۳	۸٦	۰/۰۱۱	۱/٦

ماخذ: محاسبات نگارندگان

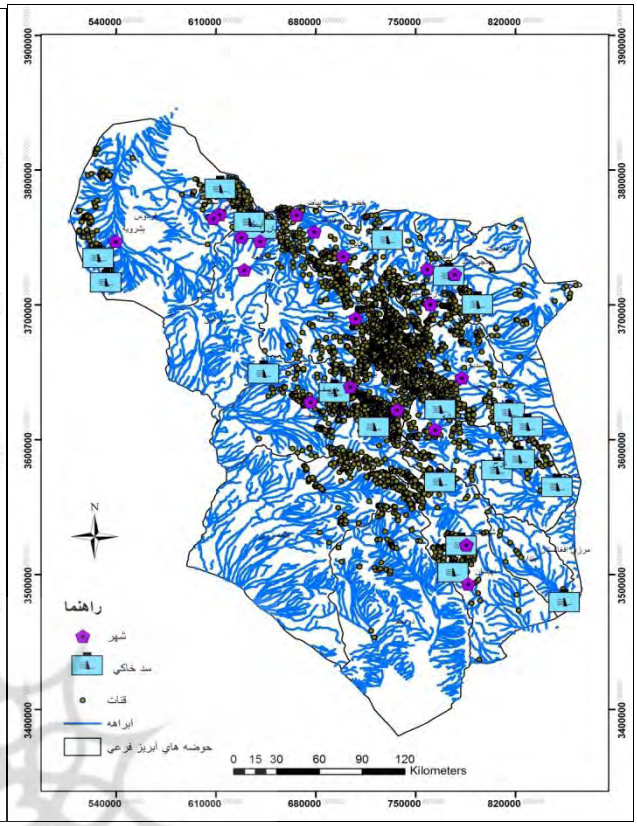
٥-٤- لایه‌های مؤثر در سیلاب

۱- شیب

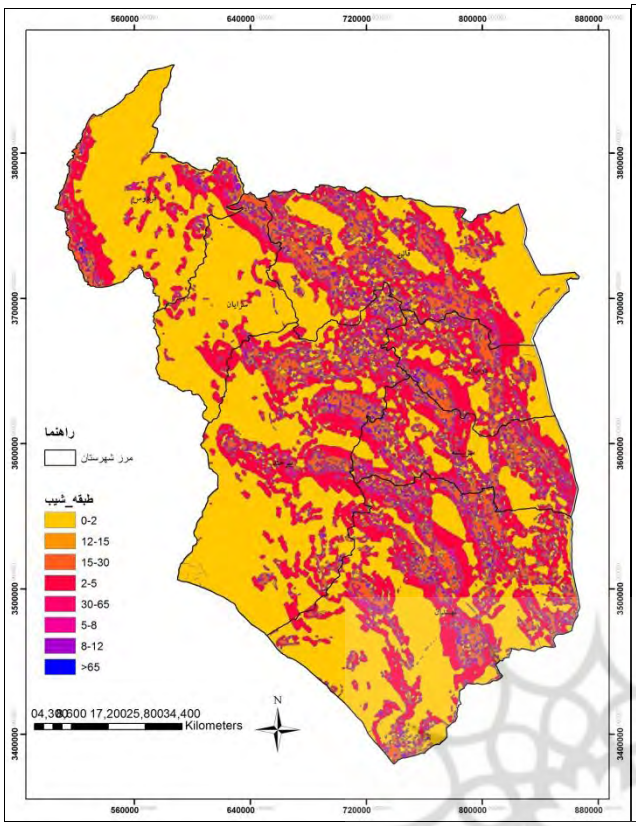
از نظر شیب طبقه شیب ۲-۰ درصد حدود ٥۰/۹۹ درصد و طبقه بیشتر از ٦٥ درصد با ۰/۰٤ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین سهم از وسعت استان را در بر دارند. بیش از ۹۱/۲۲ درصد استان در طبقات شیب کمتر از ۱٥ درصد قرار دارد که این امر نشان‌دهنده بالا بودن سطوح آبگیر یا سیلاب‌دشت‌ها در مناطق حاشیه رودخانه‌ها می‌باشد(نقشه ۱).

۲- شبکه زهکشی طبیعی

شبکه هیدروگرافی هر حوضه تحت تأثیر عواملی چون اقلیم، خاک و پوشش گیاهی، جنس سازنده و خصوصیات فیزیکی حوضه شکل گرفته و تکامل می‌یابد. با شناخت وضعیت آبراهه‌های یک حوضه می‌توان به چگونگی تغذیه و تخلیه رواناب و رسوب در حوضه و فرسایش‌پذیری آن پی برد. در استان خراسان جنوبی ضریب تراکم ۲٤۸ کیلومتر به ازای هر کیلومتر مربع و نسبت انشعاب برابر با ٥/٤٦ می‌باشد(نقشه ۲).



شکل ٦. نقشه شبکه آبراهه و زیرحوضه‌های خراسان جنوبی.



شکل۷. نقشه طبقات شیب استان خراسان جنوبی

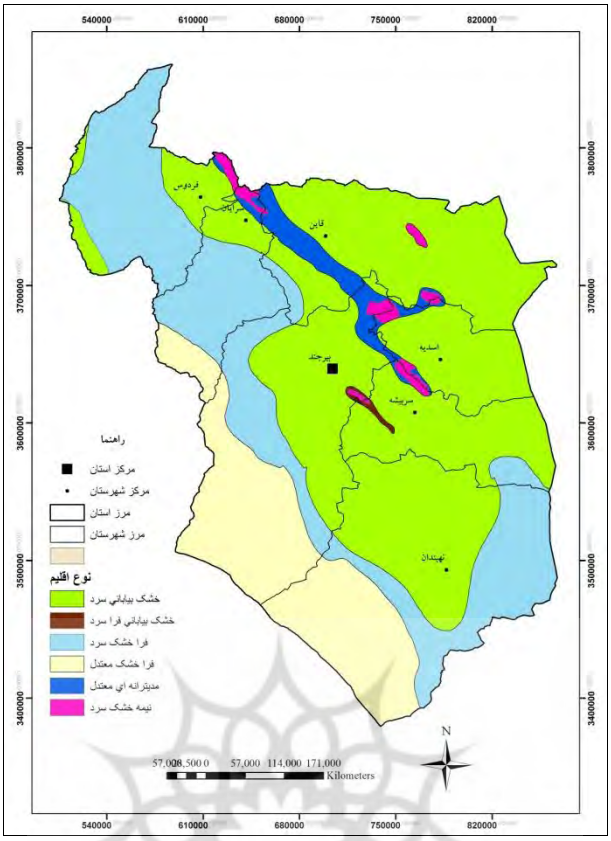
ترسیم: نگارندگان

۳- شرایط اقلیمی

دما: قاین با دمای ۱۱/۹ درجه سانتیگراد به عنوان سردترین نقطه استان در فصل سرد سال و خنک‌ترین نقطه در طول سال است. ایستگاه سربیشه با درجه حرارت متوسط سالیانه ۱۲/۹ درجه سانتیگراد، منصورآباد با دمای متوسط سالانه ۱۳/۵ درجه سانتگراد در رتبه بعدی قرار دارد، بعد از آن ایستگاه‌های بیرجند، خوسف و نهبندان قرار دارند. بالاترین درجه حرارت مربوط به‌ایستگاه‌های بشرویه با ۱۹/۱، نهبندان با ۱۷/۵ و فردوس با دمای ۱۷/۲درجه سانتیگراد است.

بارش: کمترین میزان بارندگی استان از ایستگاه‌های سهل‌آباد، حیدرآباد و ده‌سلم به میزان ۳۱/۵، ۳۵/۵ و ۳٦ میلیمتر (جنوب و جنوب غربی استان در حاشیه کویر لوت) و بالاترین مقدار آن به میزان بیش از ۲۰۰ میلیمتر در ایستگاه‌های فتح‌آباد، موسویه، منصورآباد و بیهود (عموماً در بخشهای شمالی استان و مناطق کوهستانی قرار گرفته‌اند) گزارش شده، که بیانگر نوزیع بسیار نامنظم بارش در گستره مکانی استان است.

تبخیر و تعرق: میزان تبخیر از سطح طشت (آبهای آزاد) از میلیمتر ۲٤۲۵ در ایستگاه قاین تا ۳۵٤۰ میلیمتر در ایستگاه خور بیرجند در نوسان بوده و علاوه بر آن بیشترین میزان تبخیر ماهانه مربوط به ماههای تیر و مرداد است (نقشه ۳ طبقه‌بندی اقلیمی استان خراسان جنوبی را نشان می‌دهد).



شکل ۸ .نقشه طبقه‌بندی اقلیمی استان خراسان جنوبی

ترسیم: نگارندگان

٦-٤- تحلیل فضایی مخاطرات سیل در مراکز جمعیتی و اقتصادی استان خراسان جنوبی

بر اساس جدول ۹، ۹ مرکز شهری استان و ۱۵۳ نقطه روستایی آن در معرض خطر سیل قرار دارند. جمعیت نقاط شهری در معرض خطر سیلاب برابر با ۲۱۳۱۹۹ نفر و جمعیت روستایی در معرض خطر سیل برابر با ۳۲٦۸٤ نفر است که شهرستانهای قاین و بیرجند بیشترین تعداد و سایر شهرستان‌ها در رتبه‌های بعدی قرار دارند. علاوه بر آن تعداد ۱۱۳ کارگاه اقتصادی استان با جمعیت ٤٥۹۸ نفر در معرض خطر سیل قرار گرفته که از این تعداد شهرستان بیرجند به‌دلیل جایگاه اقتصادی و تمرکز کارگاه‌ها در آن بیشتر در معرض خطر سیل قرار دارد. از دیگر موارد مراکز قابل توجه و مهم که در معرض سیلاب قرار دارد، تأسیسات مهمی مانند دانشگاه، بیمارستان، گمرک، نیروگاه، فرودگاه، پمپ بنزین و پستهای ٤۰۰ و ۱۳۲ کیلوولت است که با توجه به اهمیت این مناطق در امر مدیریت بحران و خدمات‌رسانی به سیل‌زدگان از اهمیت بالایی برخوردار هستند. تعداد این تأسیسات به ۲۱ واحد می‌رسد که بیشترین تعداد آن در شهرستان بیرجند، قاین و نهبندان قرار دارند.

تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده طی دوره آماری ۱۳٦۵ تا ۱۳۹۱ نشان می‌دهد که بیشتر بخش‌های شمالی استان شامل شهرستانهای قاینات، سربیشه و بیرجند در معرض خطر سیل قرار داشته‌اند که دراین میان تخریب ۳۹٦۵ هکتار اراضی کشاورزی،

۶۶۰ رشته قنات، ۳۴۰ دهنه پل، ۵۲۹۵ واحد مسکونی، مرگ ۷ انسان و ۳۷۵۳ راس دام ازجمله خسارات آن هستند. جدول ۹ نقاط جمعیتی (شهری و روستایی) کارگاه‌ها و تأسیسات در معرض خطر سیل استان را بازگو نموده و نقشه ٤ توزیع فضایی نقاط ذکر شده در جدول ۹ را نشان می‌دهد.

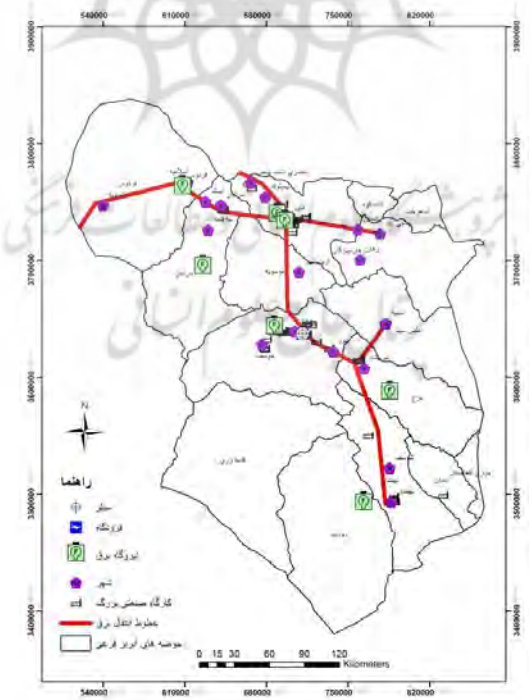
.جدول ۹: نقاط جمعیتی و تأسیسات مهم قرار گرفته در محدوده خطر سیل

عنوان شهرستان	شهر		روستا		کارگاه		تاسیسات مهم*	قنات
	تعداد	جمعیت(نفر)	تعداد	جمعیت(نفر)	تعداد	جمعیت(نفر)		
بیرجند	۲	۱۷۰۲۰۶	۱۵	۲۰۱۸	۷۵	۲۹۵۸	۹	۳۳
درمیان	۱	٤۸۳۹	۲۱	۸٤۵۱	۱	۳۰۰	۱	٤۲
سرایان	۱	۵۰٦۷	۱۰	۳۱٤۵	۳	٦۱	۱	–
سربیشه	۱	٦۷۸۰	۲۲	۳۲۲۵	٦	۱۰۰	۱	۲۳
قاینات	۳	۹۰٤۳	٤۲	۹۱٤۹	۲۱	۷٤۵	٦	۲۹
نهبندان	۱	۱۷۲٦٤	٤۳	٦٦۹٦	۷	٤۳٤	۳	۱۲
جمع کل	۹	۲۱۳۱۹۹	۱۵۳	۳۲٦۸٤	۱۱۳	٤۵۹۸	۲۱	۱۳۹

مأخذ: معاونت برنامه‌ریزی استان خراسان جنوبی سال ۱۳۸۵

* تأسیسات مهم شامل: دانشگاه، بیمارستان، گمرک، نیروگاه، فرودگاه، پمپ بنزین شهر سده و پستهای ٤۰۰ و ۱۳۲ کیلوولت است.

از دیگر مواد مهم در این زمینه قناتها به عنوان مهمترین منبع تأمین آب در استان است که به‌دلیل پیروی نمودن قنوات از شکل مخروطه افکنه و همچنین سیل‌گیر بودن این عارضه (مخروطه افکنه) میزان خطرپذیری آن را افزایش داده است.



شکل ۹. نقشه توزیع فضایی شهرها و مراکز اقتصادی و زیربنایی در معرض خطر سیل در استان خراسان جنوبی

ترسیم: نگارندگان

۷-٤- وزن‌دهی به لایه‌های مؤثر در سیلاب

همان‌گونه که در روش تحقیق اشاره گردید، وزن‌دهی لایه‌های موثر در سیلاب در چارچوب منطق فازی صورت گرفته است. شاخص‌های استفاده شده در این مورد شامل شاخص Dunn Index، FCM و ASW می‌باشد.

شاخص Dunn: این شاخص بیانگر عضویت در گروه توأم با کمترین واریانس می‌باشد. مقدار این شاخص برای گروه‌بندی‌ها و تعیین شاخص‌ها و وزن لایه مؤثر در سیلاب برابر با ۰/۷۱۳ می‌باشد.

شاخص FCM: این شاخص درمورد لایه‌های مختلف به شرح جدول ۱۰ می‌باشد.

جدول ۱۰: شاخص FCM در لایه‌های مختلف

اعضا	خوشه اصلی	همسایه	میانگین همپوشانی
۱	۱	۳	۰,۸٦
۳	۱	۳	۰,۸۵
۱٤	۱	۳	۰,۸۵
۸	۱	۳	۰,٦۰
٦	۲	٤	۰,۸۲
۲	۲	٤	۰,۷۸
۹	۳	٤	۰,۸٦
۱۱	۳	٤	۰,۸٤
٤	۳	٤	۰,۸۰
۵	۳	٤	۰,۷۹
۱۲	٤	۳	۰,٤۲
۷	٤	۲	۰,۳۵
۱۰	٤	۳	۰,۱٤
۱۳	٤	۳	-۰,۲۵

براساس شاخص مذکور بیشترین وزن متعلق به متغیرهای به گروه اول شامل عوامل بارش سالانه، حداکثر بارش روزانه، شیب و شبکه آبراهه می‌باشد و کمترین تعلق مربوط به نوع اقلیم می‌باشد. همچنین گروه اول شامل متغیرهای هیدروکلیماتولوژی در همپوشانی با عوامل جمعیتی و اقتصادی بیشترین تأثیر را در ایجاد خطرپذیری سیلاب ایفا می‌کنند.

شاخص ASW: این شاخص به عنوان شاخص میزان همپوشانی گروه‌ها و همپوشانی عوامل مؤثر بر سیلاب است. در واقع بیانگر میزان هم‌افزایی در مقادیر مثبت بالاتر از ٦۰٪ یا کاهشی در مقادیر کمتر از ٦۰٪ می‌باشد. مقدار این شاخص برای گروه‌های چهارگانه مؤثر بر خطر سیلاب استان خراسان جنوبی به شرح جدول ۱۱ است.

جدول ۱۱: شاخص ASW در بین گروه‌های موثر بر خطر سیلاب

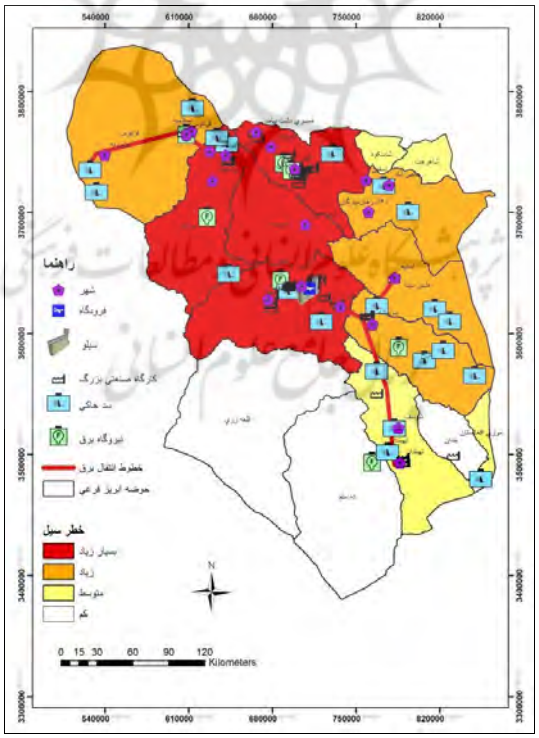
گروه	گروه۱	گروه۲	گروه۳	گروه٤
ASW	٪۷۹	٪۷۹/۸	٪۸۳	٪۱۷

براساس جدول ۱۱ فاکتورهایی ماند دبی سالانه، دبی لحظه‌ای، حداکثر بارش روزانه، احتمال وقوع و میزان دبی در دوره برگشت‌های مختلف با شاخص همپوشانی ۸۳٪ بیشترین سهم را در ایجاد سیلاب‌ها و خطرات آن دارند.

فاکتورهای توپوگرافی مانند ارتفاع، شیب، کاربری اراضی، تراکم آبراهه و رتبه آبراهه با ۷۹/۸٪ در رتبه دوم و استقرار نقاط سکونتگاهی، تأسیسات زیربنایی، منابع تأمین آب با ۷۹٪ در رده سوم قرار دارند و فاکتورهای اقلیمی مانند دما، تبخیر و نوع اقلیم با ۱۷٪ در رده آخر اهمیت قرار دارند. بر اساس توزیع فضایی و جغرافیایی کانونهای سیل‌خیزی در استان و انطباق آن با نقشه ارتفاعی، همبارش و هم‌اقلیم می‌توان گفت که بخش کوهستانی استان به دلایلی مانند شیب بیشتر، بارش بالاتر، بهتر بودن شرایط همرفت (مکانیسم بارش‌های ناگهانی) تعداد بیشتر شبکه زهکشی و استقرار نقاط جمعیتی و اقتصادی در این ناحیه، نسبت به ناحیه بیابانی استان (جنوبی، غربی و جنوب شرقی) به‌دلیل شیب پایین، کمبودن میزان بارندگی، بالا بودن تبخیر (در حین بارش) از خطر سیل‌خیزی بیشتر و میزان خسارت بالاتری برخوردار است. براساس نتایج حاصله از لایه‌بندی مختلف ارائه شده در بالا و وزن‌های اختصاص‌یافته به لایه‌های مختلف، حوضه‌های آبخیز استان از نظر خطر سیل‌خیزی و خسارات ناشی از آن به شرح جدول ۱۲ و نقشه ۵ است.

جدول ۱۲: طبقه‌بندی حوضه‌های آبریز استان خراسان جنوبی از نظر خطر سیل‌خیزی و خسارات ناشی از آن

شدت خطر	نام حوضه‌ها
شدید	قائن- موسویه- خوسف-سرایان
نسبتاً شدید	فردوس- درح-زهان-طبس سینا
متوسط	مرزی-شاهرخت- نهبندان-شاسکوه
کم	قلعه زری-دهسلم- بندان



شکل ۱۰. نقشه طبقه‌بندی خطر سیل‌خیزی در حوضه‌های آبریز استان خراسان جوبی

ترسیم: نگارندگان

۵- نتیجه‌گیری

بلایای طبیعی همواره زندگی بشر را تحت تأثیر قرار داده است و گریزی از آنها وجود ندارد و بناچار باید با آنها همزیستی کرد و سنگ بنای این امر نیز شناخت درست و مواجهه اصولی با بلایای طبیعی است. از میان انواع گوناگون بلایای طبیعی، برپایه آمار و اطلاعات موجود، سیل بیش از سایرین موجب تلفات و خسارات به جوامع انسانی و زیرساختهای اقتصادی شده است. ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی خود با انواع مختلف بلایای طبیعی مواجه است که از این میان همواره در طول سال اخباری از سیل‌گرفتگی شهرها، روستاها و زیرساختهای کشور با خسارات و تلفات قابل توجه به گوش می‌رسد. استان خراسان جنوبی با توجه به طبقه‌بندی اقلیمی از نوع خشک و بیابانی و وقوع بارش‌های سیل‌آسا و رگباری در آن به‌طور طبیعی از پتانسیل سیل‌خیزی بالایی برخوردار است که علاوه بر آن روند توسعه‌ناپایدار و به‌هم خوردن تعادل اکولوژیک موجب تشدید این وضعیت شده است. نتایج پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی در این استان نشان می‌دهد که بخش زیادی از جوامع انسانی ساکن در آن شامل ۹ شهر و ۱۵۳ روستا با مجموع بیش از ۲۵۰ هزار نفر جمعیت که بیش از ۳۷ درصد جمعیت استان را تشکیل می‌دهد، در معرض خطر سیل قرار دارند و علاوه بر آن شمار زیادی از مراکز مهم و حیاتی این استان از جمله فرودگاه، دانشگاه، نیروگاه برق و بیمارستان نیز در خطر قرار گرفته‌اند. این امر نشان می‌دهد که در گذشته فعالیتهای توسعه‌ای و مکان‌یابی و تخصیص کاربری‌های اراضی با اصول و ضوابط علمی و آمایشی انجام نشده است. عدم اصلاح این رویه‌ها و چاره‌جویی برای وضع موجود، همواره یک بحران خفته و اتلاف منابع انسانی و اقتصادی را نوید می‌دهد. بنابراین لازم است در این خصوص مطالعه و اطلاع‌رسانی شایسته صورت گرفته و نسبت به تبعات ادامه وضع موجود به مسئولین، مردم و فعالان اقتصادی هشدار داده شود. چرا که علاوه بر تلفات و خسارات جانی و مالی فراوان، ممکن است مراکز فعالیت اقتصادی نیز برای همیشه نابود شود که این امر موجب تشدید چرخه فقر و عقب‌ماندگی در این استان محروم می‌شود.

منابع

افتخاری، عبدالرضا رکن‌الدین، سجاسی قیداری، حمدالله و صادقلو، طاهره (۱۳۸۸)، ارزیابی پهنه‌بندی روستاهای در معرض خطر سیلاب با استفاده از مدل HEC-Geo RAS در محیط GIS مطالعه موردی: روستاهای حوزه گرگانرود. مجله توسعه روستایی؛ پاییز و زمستان ۱۳۸۸ - ۱ - پیاپی ۳٦.

امیراحمدی، ابوالقاسم؛ کرامتی، صغری و احمدی، طیبه (۱۳۹۰)، ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر نیشابور در راستای توسعه شهری، مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال دوم، هفتم.

تلوری، عبدالرسول (۱۳۷٦)، مدیریت و مهار سیلاب، کارگاه آموزشی و تخصصی مهار سیلاب رودخانه‌ها، انجمن هیدرولیک ایران.

جهاد کشاورزی استان خراسان جنوبی (۱۳۸۸)، سالنامه آماری استان.

حاجی‌قلیزاده، م. (۱۳۸۳)، «بررسی نقش دخالت‌های انسانی بر رفتار سیل در بخشی از رودخانه کن تهران»، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع-طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس.

خسروشاهی، م. (۱۳۷٦)، «بهسازی و اصلاح مسیر رودخانه‌ها»، کارگاه آموزشی تخصصی مهار سیلاب رودخانه‌ها، انجمن هیدرولیک ایران.

خیری‌زاده، منصور؛ ملکی، جبرائیل و عمونیا، حمید (۱۳۹۱)، پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز مردق‌چای با استفاده از مدل ANP، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، ۳، زمستان ۱۳۹۱.

زمانی، مجید؛ جمشیدی، ارنواز و نبوتی، احسان (۱۳۸۵)،روشهای پیشگیری و کاهش خسارات سیل و بررسی وضعیت سیل کشور، سیزدهمین کنفرانس دانشجویان مهندسی عمران سراسر کشور، کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

شعبانلو، سعید؛ صدقی، حسین؛ ثقفیان، بهرام و موسوی جهرمی، حبیب (۱۳۸۷)، پهنه‌بندی سیلاب در شبکه رودخانه‌های استان گلستان با استفاده GIS، مجله پژوهش آب ایران، سال دوم/ سوم/ پائیز و زمستان ۱۳۸۷.

صادقی، س.ح.ر؛ جلالی‌راد، ر. و علی‌محمدی سراب، ع، (۱۳۸۲)، «پهنه‌بندی سیل با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS و سامانه اطلاعات جغرافیایی (منطقه مورد مطالعه: حوضه آبخیز شهری دارآباد تهران)»، پژوهشنامه علوم‌کشاورزی و منابع‌طبیعی خزر، ش ۲: ۳٤-٤۷.

صدقی، حسین (۱۳۷۳)، هیدرولوژی سیلاب، مجله عمران، ۲۱ ص ۲۱-۱٤.

محمود زاده، حسن؛ امامی‌کیا، وحید و رسولی، علی اکبر (۱۳۹٤)، ریزپهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر تبریز با استفاده از روشAHP ، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰ ، ۱، بهار ۱۳۹٤، پیاپی ۱۱٦.

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان خراسان جنوبی (۱۳۸۵).

مهدوی، محمد (۱۳۷٦)، «بررسی آثار اقتصادی ـ اجتماعی و زیست محیطی خسارات سیل»، کارگاه آموزشی تخصصی مهار سیلاب رودخانه‌ها، انجمن هیدرولیک ایران.

نقشه‌های توپوگرافی استان خراسان جنوبی، سازمان نقشه‌برداری کشور، نقشه‌های ۵۰۰۰۰ : ۱.

وزارت نیرو (۱۳۸۵)، راهنمای ارزیابی خسارت سیلاب، شرکت مدیریت منابع آب ایران، نشریه ۲۹٦ الف.

وطن فدا، جبار (۱۳۸۱)، بررسی وضعیت سیل کشور: مشکلات و راهکارها، مینار کاهش اثرات و پیشگیری از سیل، گرگان.

وهابی، جلیل (۱۳۷٦) پهنه‌بندی خطر سیل با بکارگیری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضه آبخیز طالقان. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس.

Bezdek, James C (1981), Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms, Kluwer Academic Publishers Norwell, MA, USA.

Carpenter, G. A; Grossberg, S; Markuzon, N; Reynolds, J..H&&Rosen, D.B (1992) Fuzzy ARTMAP::A neural network architecture for incremental supervised learning of analog multidimensional maps. IEEE Transactions on Neural Networks.713-698-731(53).

Dunn, J. C. (1973), A Fuzzy Relative of the ISODATA Process and Its Use in Detecting Compact Well-Separated Clusters, Journal of Cybernetics, Volume 3, Issue 3.

WMO (World Meteorological Organization), (2008), "Urban Flood Risk Management A Tool for Integrated Flood Management Technical Document No.11, Flood Management Tools Series.

Wohl, E. E (2000), Inland Flood Hazards (Human, Riparian, and Aquatic Communities). Cambridge University Press, Cambridge.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی