

ارزیابی مخاطره سیل با کاربرد GIS و RS در جنوب استان کرمان (مطالعه موردی: حوضه آبریز هامون - جازموریان)

سیدمحمد حسینی^۱، صدیقه محمدی^{۲*}، رضا حسن زاده^۲، مهدی هنرمند^۳

۱. کارشناس ارشد سنجش از دور زمین شناختی، گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه

تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان

۲. استادیار گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری

پیشرفته، کرمان

۳. دانشیار گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری

پیشرفته، کرمان

(تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۱۰/۱۱؛ تاریخ بازنگری ۱۴۰۱/۱۱/۱۱ تاریخ تصویب ۱۴۰۱/۱۲/۱۲)

چکیده

تهیه نقشه خطر سیل، نخستین گام در برنامه‌های مدیریت سیلاب است. در پژوهش حاضر به منظور ارزیابی مخاطره سیلاب در حوضه آبریز هامون - جازموریان از ۱۳ لایه تأثیرگذار در بحران سیل شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای توپوگرافی، تراکم زهکشی، فاصله از آبراهه، زمین شناسی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، بارندگی، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص قدرت جریان و نوع خاک استفاده شد. برای اولویت بندی و تعیین وزن‌ها، روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) به صورت ماتریس مقایسات زوجی به کار گرفته شد. سپس هر لایه توسط مدل منطق فازی، بین ۰ تا ۱ فازی سازی شده و وزن‌های به دست آمده از روش AHP در آن‌ها ضرب شدند. در نهایت بر اساس روش ترکیب خطی - وزنی با تلفیق ۱۳ لایه اطلاعاتی، نقشه پهنه بندی سیل گیری به دست آمد. برای اعتبارسنجی نتایج و به عنوان یک واقعیت زمینی، روی هر یک از تصاویر ماهواره‌ای قبل و بعد از سیل به طور جداگانه شاخص آب AWEI اعمال شده و با استفاده از روش تکنیک تعیین تغییرات، مناطق تحت تأثیر سیل مشخص شدند. این مناطق شامل اطراف پهنه هامون - جازموریان و مناطق نزدیک به آبراهه‌های اصلی هستند. نتایج حاصل از صحت‌سنجی نقشه مناطق سیل گیر نشان داد روش صحت‌سنجی گاما در سال‌های ۱۳۷۱ و ۱۳۹۵ به ترتیب با ۹۷/۹۶ و ۹۸/۱۸ درصد بیشترین مطابقت را با نتایج تصاویر ماهواره‌ای دارد.

کلیدواژگان: نقشه مخاطره سیل، تصاویر ماهواره‌ای لندست، AWEI، AHP، مدل منطق فازی.

مقدمه

است. نتایج ارزیابی دقت، نرخ پیش‌بینی ۸۳/۳ درصد را برای مدل AHP نشان داد. علاوه بر این، ۷۶ درصد از داده‌های تاریخی در مناطق با حساسیت بالا و خیلی بالا ترسیم شده‌اند، ۱۹/۱ درصد در مناطق با حساسیت متوسط ظاهر شده‌اند و ۴/۷ درصد در مناطق با حساسیت پایین و خیلی پایین قرار گرفته‌اند [۵]. در مطالعه‌ای برای ارزیابی خطر سیل در منطقه شهر Yifeng، استان جیانگسی چین از مدل ارزیابی جامع فازی چندشاخصی (MFCE) استفاده شده است. این مدل شامل سه شاخص ورودی: عامل خطر، عامل در معرض قرار گرفتن و عامل آسیب‌پذیری است که همگی در GIS مورد تجزیه و تحلیل همپوشانی و محاسبه ماتریس فازی قرار گرفتند. نتایج نشان داد مناطق بسیار پرخطر ممکن است در جایی با جاری شدن سیل جدی، نفوذناپذیری زیاد و تراکم بالای ساختمان رخ دهند [۶]. در مطالعه‌ای برای تحلیل خطر سیل در شهر امبو و حوضه آبخیز آن از GIS و روش ترکیب خطی وزنی (WLC) استفاده شده است. کاربری زمین، پوشش زمین، ارتفاع، شیب، تراکم زهکشی، خاک و بارش به عنوان عوامل خطر مهم در نظر گرفته شدند. نتیجه خطر سیل‌خیزی در حوضه آبخیز نشان می‌دهد نسبت بیشتری از حوضه آبخیز دارای خطر سیل‌خیزی بالا و بسیار بالا (۶۰/۵۸ درصد) است. علاوه بر این، بخش بیشتری از شهر دارای خطر سیل زیاد و خیلی زیاد (۶۶/۸۷ درصد) است [۷]. به منظور ارزیابی ریسک مخاطرات سیل از مدل منطق فازی در حوضه آبریز اوجانچای استفاده شد. برای مقایسه نتایج حاصل از طبقه‌بندی خطر سیل از دو شاخص TWI و NDWI استفاده شد و لایه‌ها از طریق جمع جبری فازی تلفیق و طبقه‌بندی شدند. در نهایت نقشه خطر سیل حوضه به دست آمد [۸]. در پژوهش دیگری با استفاده از منطق فازی در محیط GIS، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌گیری در منطقه خیابوچای مشکین شهر انجام گرفت که نتیجه آن نشان داد دره‌ها و مناطق پایین‌دست مؤثرترین سطوح سیل‌گیری است [۹]. در تحقیقی با به‌کارگیری از روش نسبت فراوانی و استفاده از پارامترهای ارتفاع، درصد شیب، انحنای زمین، شاخص رطوبت توپوگرافی، توان آبراهه، میانگین بارندگی، فاصله از رودخانه، سنگ‌شناسی، نوع خاک و کاربری اراضی در حوضه آبخیز پل دوآب شازند،

پهنه‌بندی سیل و شناسایی و معرفی مناطق در معرض خطر وقوع سیل جزء اقدام‌های غیرسازه‌ای و پراهمیت در بحث پیش‌بینی و مدیریت سیلاب به شمار می‌رود. تا کنون محققان بسیاری به تهیه نقشه پهنه‌بندی سیل و ارزیابی خطر وقوع آن اقدام کرده‌اند [۱]. از آنجا که بیشتر حوضه‌های کشور آمارهای ثبت‌شده ندارند و هم‌زمان سیل‌های مخرب در آن‌ها اتفاق می‌افتد لازم است با استفاده از مدل‌ها و روش‌های تجربی و اطلاعات کسب‌شده با بهره‌گیری از تکنیک سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه‌های مخاطره سیل مانند: شناسایی مناطق سیل‌خیز، تعیین گستره سیل، پهنه‌بندی مناطق سیل‌گیر و برآورد خسارت‌های واردشده به انواع کاربری‌ها در سطح وسیع در مناطق مختلف تهیه شود [۲]. با تعیین محل‌های دارای پتانسیل زیاد مخاطره سیل به نوعی می‌توان یک ارزیابی کلی از وضعیت سیل‌گیری منطقه به دست آورد و در صورت لزوم راهکارهای مدیریتی بهینه و اثربخش برای مدیریت این مخاطره جدی اعمال کرد. مطالعات زیادی در زمینه سیل در ایران و جهان انجام گرفته است که به چند مورد اشاره می‌شود: در پژوهشی به منظور مدل‌سازی و تهیه نقشه مخاطره سیل در سه منطقه از غرب آفریقا از روش تلفیق لایه‌ها به صورت مدل منطقی استفاده شد. لایه‌های به‌کاررفته شامل کاربری اراضی، خاک، بارندگی و DEM بوده است و در نهایت، نقشه مخاطره سیل در پنج طبقه تهیه شد و با مقایسه برداشت‌های میدانی مشخص شد که این مدل حدود ۷۷ تا ۸۱ درصد به واقعیت نزدیک بوده است [۳]. مطالعه‌ای در زمینه مدل‌سازی سیلاب با استفاده از GIS، سنجش از دور و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) صورت گرفت. پس از تهیه لایه‌های شیب، حوضه زهکشی، بارش، خاک، پوشش/ کاربری اراضی و مدل ارتفاعی به این نتیجه رسیدند که کل منطقه بزرگ آکرا در معرض خطر سیل قرار دارد. با این‌حال، خطرناک‌ترین مناطق Accra Metropolitan، Ledzokuku، Krowor، Ga West و Ga South هستند [۴]. در مطالعه‌ای برای تهیه نقشه حساسیت سیل از تجزیه و تحلیل چندمعیاره با استفاده از روش فرایند سلسله‌مراتبی تحلیلی (AHP) و تکنیک‌های GIS از جمله یک تکنیک برش به منظور ارزیابی نقشه حساسیت سیل استفاده شده

اقدام به تهیه نقشه حساسیت به سیل در این حوضه شد. وزن‌های به‌دست‌آمده در لایه‌های مربوطه اعمال شد و با استفاده از توابع روی‌هم‌گذاری، نقشه‌های حساسیت و احتمال سیل منطقه مورد مطالعه به دست آمد [۱۰]. در پژوهشی به ارزیابی مخاطره سیل حوضه آبخیز مرند در مقیاس زیرحوضه با استفاده از سنجش از دور و GIS پرداخته شد. با استفاده از لایه‌های پوشش، کاربری اراضی تهیه‌شده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel 2A، نقشه شیب و گروه‌های هیدرولوژیک خاک، رواناب اوج برای همه زیرحوضه‌ها محاسبه شد. سپس با استفاده از مدل منطق فازی، لایه‌ها بین صفر و یک فازی‌سازی شدند و در نهایت، از جمع نتایج آن‌ها، نقشه خطر سیل به دست آمد [۱۱]. حوضه آبریز هامون- جازموریان از توابع استان کرمان و سیستان و بلوچستان جزء مناطقی است که در سال‌های گذشته سیل‌های فراوانی در آن رخ داده است و به دلیل دگرگونی در وضعیت آب‌وهوایی، فقر پوشش گیاهی، بارش‌های رگباری به‌خصوص در فصل زمستان و بهار و فصلی و موقتی بودن بسیاری از رودخانه‌ها، امکان وقوع سیل در حوضه‌های آبریز این دو استان وجود دارد. خطر وقوع سیلاب در نواحی منتهی به تالاب هامون- جازموریان مانند رودبار، جیرفت، کهنوج، منوجان و قلعه گنج بیشتر از نواحی دیگر است [۱۲]. با وجود مشکلات و خسارت‌های جدی سیلاب در حوضه هامون- جازموریان تا کنون پژوهشی در زمینه سیلاب این حوضه صورت نگرفته است. بنابراین هدف از تحقیق حاضر، بررسی و تعیین مناطق بحرانی سیلاب در حوضه آبریز جازموریان با استفاده از فناوری سیستم اطلاعات جغرافیایی و تصاویر ماهواره‌ای در حوضه آبریز هامون- جازموریان است.

کیلومترمربع وسعت دارد که در استان کرمان واقع شده و نیمه شرقی آن با وسعت ۳۴ هزار کیلومتر مربع در استان سیستان و بلوچستان قرار دارد. رودهای اصلی آن بمپور و هلیل‌رود محسوب می‌شوند که هلیل‌رود از بلندی‌های بافت و رابر سرچشمه می‌گیرد و در زمان‌های پربارش از سد جیرفت سرریز می‌کند و پس از آبیاری مزرعه‌های جیرفت و رودبار به داخل حوضه می‌پیوندد. رود بمپور نیز از غرب بلوچستان به طرف شرق حوضه جریان می‌یابد. این رودها به علت کمبود ریزش باران و بالا بودن دما در زمان‌های گرم سال به شکل خشک‌رود و شنزار درمی‌آیند ولی در زمان‌های بارش، سیلابی و خروشان هستند [۱۳]. مطالعات نشان می‌دهد تغییر اقلیم از یک سو و کنش و واکنش انسان و بهره‌برداری‌های ناآگاهانه از طبیعت و محیط زیست مانند استفاده بی‌رویه از منابع جنگلی و درختان برای سوخت و نیز کشت بی‌رویه و استفاده بیش از حد از منابع آب زیرزمینی از سوی دیگر موجب شوره‌زار شدن و تخریب شرایط مناسب زیست‌محیطی این حوضه در گذر زمان شده است [۱۴]. به طوری که عمده‌ترین کاربری‌های اراضی این حوضه شامل مراتع ضعیف و اراضی بایر است [۱۵]. آمار سیل‌های این دو استان و خسارت‌های ناشی از آن‌ها از سال ۱۳۳۵ تا کنون از افزایش روند سیل‌خیزی در این استان حکایت می‌کند، به طوری که در سال‌های اخیر سیلاب‌های مهیب و مخرب خسارت‌های گسترده جانی و مالی بر پیکره استان‌های کرمان و سیستان و بلوچستان تحمیل کرده است.

روش تحقیق

ابتدا اقدام به تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز شد این لایه‌ها شامل:

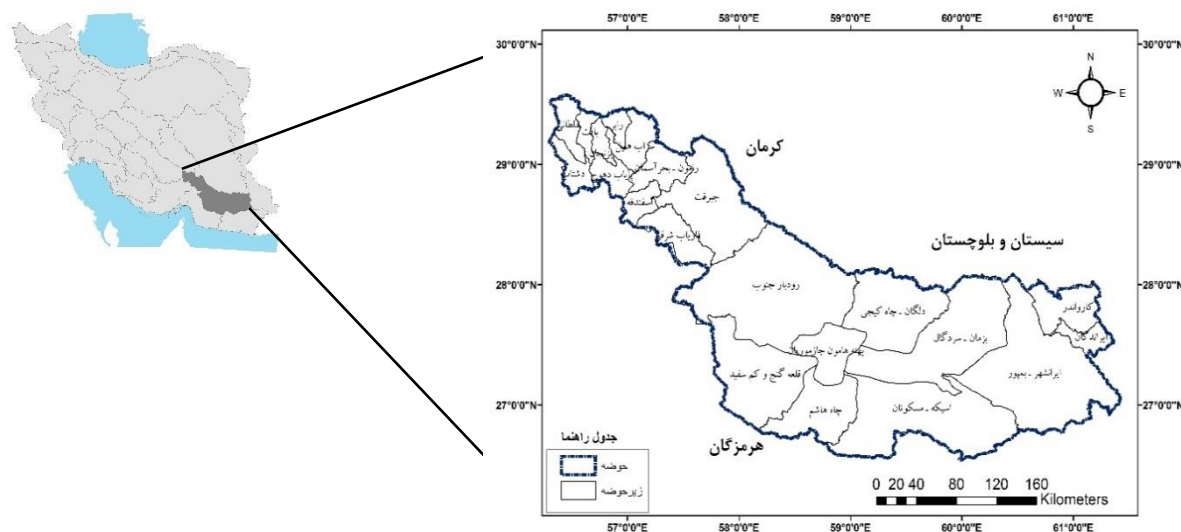
۱. ارتفاع

با استناد به نظر کارشناسان، ارتفاع عاملی مهم در سیل‌های یک منطقه به شمار می‌رود [۱۶]، زیرا جریان آب توسط نیروی جاذبه هدایت می‌شود و از ارتفاعات بالاتر به پایین حرکت می‌کند [۱۷]. همواره آب از ارتفاعات بالاتر به مناطق دشت پایین و مسطح سرازیر می‌شود [۱۸]. در این پژوهش، نقشه ارتفاع بر اساس ASTER DEM با وضوح مکانی ۳۰ متر تهیه و طبقه‌بندی بر اساس شکست طبیعی در ArcGIS انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز هامون- جازموریان با مختصات جغرافیایی $27^{\circ}11'$ تا $27^{\circ}41'$ عرض شمالی و $58^{\circ}4'$ تا $59^{\circ}00'$ طول شرقی و با مساحت حدود ۶۹ هزار و ۶۰۰ کیلومترمربع، یکی از حوضه‌های بسته ایران و زیرمجموعه حوضه آبریز فلات مرکزی ایران به شمار می‌رود. با توجه به شکل ۱، این حوضه در استان‌های سیستان و بلوچستان و کرمان واقع شده، نیمه غربی این حوضه ۳۵۶۰۰



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز هامون- جازموربان در بین حوضه‌های درجه ۲ کشور

۲. شیب

شیب یک منطقه نقش اساسی را در تنظیم تخلیه سطح و سرعت رواناب سطح بیان می‌کند [۱۹]. یک رابطه مثبت قوی بین شیب یک منطقه و سرعت جریان سطح وجود دارد. رواناب سطح با افزایش شیب به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. در نتیجه، نفوذ کاهش می‌یابد [۲۰]. در این حالت، مناطقی که با کاهش ناگهانی شیب همراه هستند، احتمال سیل در آن مناطق بیشتر است و به عنوان حجم عظیمی از آب باعث ایجاد سیل‌های شدید می‌شوند [۲۱]. در این پژوهش، نقشه شیب مستقیم از DEM و در محیط ArcGIS با استفاده از ابزارهای سطحی پس از فرو رفتن شکاف‌های داده مدل ارتفاع ایجاد شد.

۳. جهت شیب

جنبه شیب ممکن است به عنوان جهت افقی تعریف شود که شیب کوه در آن جهت گرا باشد. این امر به دلیل قرار گرفتن در معرض هوازدگی و در نتیجه میزان بارندگی ناشی از آن است [۲۲]. جهت شیب به دلیل تأثیر آن بر میزان بارش و میزان نور آفتاب در آنالیز سیل مفید است [۲۳]. در این پژوهش، نقشه جهت شیب از طریق DEM و در محیط نرم‌افزاری GIS تهیه شد.

۴. خمیدگی یا انحنا

انحنای شیب یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار در مطالعات سیل است که عموماً به صورت مسطح، محدب یا مقعر طبقه‌بندی می‌شوند و در رواناب و روند نفوذ یک منطقه از اهمیت اساسی برخوردار است [۲۴]. زیرا مناطق سیل‌زده مربوط به همگرایی توپوگرافی زیاد است. برای نمایش دقیق سرعت جریان، استفاده از انحنا مفید است، زیرا از پیش‌بینی عمق آب پشتیبانی می‌کند [۲۵]. در مطالعه حاضر، انحنا موجود در محیط ArcGIS با استفاده از ابزارهای سطحی و DEM محاسبه شد.

۵. فاصله از شبکه زهکشی

گسترش یک رویداد سیل بستگی به فاصله یک منطقه از شبکه زهکشی دارد [۲۶]. مناطقی که در نزدیکی شبکه زهکشی قرار دارند، معمولاً نسبت به مناطق دورتر بیشتر متحمل سیل‌های شدید می‌شوند، زیرا مناطق نزدیک به آن در مسیر جریان هستند [۲۷]. سامانتا^۱ و همکاران (۲۰۱۶) در نظر داشتند مناطقی که کمتر از ۱۰۰ متر مسافت دارند، از نظر سیل بسیار مستعد هستند، در حالی که مسافت بیش از ۲ هزار متر از پتانسیل سیل بسیار کم برخوردار است. بر همین اساس، مناطقی با فاصله ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ کیلومتر از شبکه زهکشی به ترتیب در معرض آسیب‌پذیری بسیار زیاد، زیاد، متوسط و کم سیل طبقه‌بندی شده‌اند [۲۸].

۶. تراکم زهکشی

اراضی می‌تواند در احتمال وقوع سیل تأثیرگذار باشد [۳۵]. در این مطالعه، نقشه کاربری اراضی با استفاده از داده‌های Landsat 8 با پردازش در نرم‌افزار ENVI تهیه شده است. طبقه‌بندی نظارت‌شده از نوع Maximum Likelihood و به روش پلی‌گونی برای تهیه تعداد کل یازده کلاس کاربری اراضی انجام شد: (۱) مناطق آبی؛ (۲) زمین کشاورزی؛ (۳) پوشش گیاهی طبیعی؛ (۴) جنگل کم‌تراکم؛ (۵) سرزمین بایر و صخره‌ای؛ (۶) زراعت دیم؛ (۷) زراعت آبی؛ (۸) مرتع متوسط؛ (۹) مرتع فقیر؛ (۱۰) باغ؛ (۱۱) شهر.

۱۰. شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)

TWI پیش‌بینی‌کننده انباشت آب در یک مکان خاص است و تمایل آب به سمت پایین به دلیل نیروی گرانشی را نشان می‌دهد. شاخص رطوبت توپوگرافی بازنمایی فیزیکی از مناطق سیلاب است که یک مؤلفه مهم آبریز رودخانه است [۳۶]. در TWI همان‌طور که مشاهده می‌شود: As منطقه بالادست (مساحت اراضی بالادست عرض کنتور تقسیم بر عرض کنتور) را نشان می‌دهد، β زاویه شیب در نقطه ریختن (برحسب درجه) را نشان می‌دهد [۳۷]. در این مطالعه، TWI به طور مستقیم در SAGA GIS با استفاده از مدل‌های ارتفاع دیجیتال محاسبه شد.

$$TWI = Ln \frac{As}{\tan \beta}$$

۱۱. شاخص قدرت جریان SPI

شاخص توان جریان را می‌توان عملکرد قابل توجهی از فرسایش کانال جریان و انتقال رسوب توصیف کرد [۳۸]. شاخص توان جریان نشان‌دهنده پتانسیل جریان رودخانه برای ایجاد فرسایش است و همچنین پارامتری است که هم بر شدت جریان و هم در تجمع آب تأثیر می‌گذارد. بنابراین، آن را در ارزیابی جایی که اقدامات حفاظت از خاک می‌تواند فرسایش ناشی از رواناب سطح را کاهش دهد، دارای ارزش است. و در معادله آن همان‌طور که مشاهده می‌شود: As منطقه آبریز خاص یا به بیان دیگر، سطح ویژه حوضه آبریز را نشان می‌دهد، و β زاویه شیب (برحسب درجه) را نشان می‌دهد. در مطالعه حاضر، محاسبه SPI به طور مستقیم در SAGA GIS با استفاده از مدل ارتفاعی دیجیتال و شیب منطقه مورد مطالعه به دست آمد.

چگالی جریان، که با تقسیم طول رودخانه (کیلومتر) بر سطح حوضه (کیلومترمربع) محاسبه می‌شود، عامل مهمی در بروز سیل‌های ناگهانی در یک منطقه است. مناطقی که تراکم جریان بیشتری دارند، بیشتر در معرض سیل‌زدگی هستند [۲۹]. به همین دلیل، احتمال بروز سیلاب به شدت با چگالی زهکشی بالاتر همراه است، زیرا نشان‌دهنده رواناب بیشتر سطح است. کومار^۱ و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند رواناب سطح بالاتر در مناطقی است که چگالی زهکشی بیشتری دارند [۳۰]. در این پژوهش، نقشه تراکم زهکشی حوضه هامون- جازموربان از نقشه شبکه زهکشی با استفاده از دستور چگالی خط در ArcGIS محاسبه شد.

۷. زمین‌شناسی

زمین‌شناسی یک منطقه می‌تواند اطلاعات قابل توجهی در مورد وقوع حوادث سیل ارائه دهد [۳۱]. بین نفوذپذیری یک سنگ و سرعت نفوذ، ارتباط قوی وجود دارد. در نتیجه، سنگ‌های نفوذناپذیر از رواناب سطح بالاتری برخوردارند، که می‌تواند باعث ایجاد سیل شود [۳۲]. این نقشه از سازمان زمین‌شناسی کشور در مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ حوضه آبریز تهیه شد.

۸. پوشش گیاهی (NDVI)

NDVI یک شاخص مهم و منعکس‌کننده پوشش گیاهی است و احتمالاً در مناطقی که پوشش گیاهی کم دارند، می‌تواند نشان‌دهنده سیل‌های ناگهانی باشد. NDVI برای برجسته کردن تفاوت پاسخ‌های طیفی از پوشش گیاهی در باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک را نشان می‌دهد که در آن NIR، باند مادون قرمز نزدیک و RED باند قرمز است. پوشش گیاهی در حالت نرمال، امواج باند مادون قرمز نزدیک را به خوبی منعکس می‌کند، که در این شاخص مقدار عددی هر پیکسل بین +۱ و -۱ تغییر می‌کند [۳۳].

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

۹. کاربری اراضی

فراوانی سیل یک منطقه به شدت می‌تواند تحت تأثیر الگوی کاربری اراضی و تکامل زمانی آن باشد [۳۴]؛ بکرز^۳ و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند تغییرات در کاربری

1. Kumar
2. Normalized Difference Vegetation Index
3. Beckers

پارامترهای مهم در محاسبات مقایسه زوجی ضریب ناسازگاری است که باید به آن توجه داشت. ضریب ناسازگاری کمتر از ۰/۱، نشان‌دهنده تجربه زیاد و مفید متخصصان و صحت انجام کار است. با توجه به محاسبات انجام‌گرفته در AHP، به هر لایه وزن مشخصی تعلق گرفت. در نهایت، وزن‌های به‌دست‌آمده در هر لایه به لایه‌های فازی‌سازی شده اضافه شدند.

فازی‌سازی لایه‌ها

لایه‌های عوامل به‌دست‌آمده با استفاده از توابع عضویت در محیط Arc GIS بین ۰ تا ۱ فازی‌سازی شدند. وزن‌هایی که با روش AHP برای هر لایه به دست آمده بودند، با لایه‌های فازی‌سازی شده ضرب شدند. در نهایت، لایه‌های فازی‌سازی شده وزن‌دار در هم ادغام و نقشه خطر سیل حوضه به دست آمد.

شناسایی مناطق در معرض خطر سیلاب با استفاده از فناوری سنجش از دور

برای شناسایی مناطق در معرض خطر سیلاب، از سری تصاویر لندست شامل تصاویر سنجنده‌های TM و OLI استفاده شده است. تصاویری که برای بررسی و پایش سیلاب در منطقه مورد مطالعه استفاده شد، مربوط به سیلاب سال‌های ۱۳۷۱ و ۱۳۹۵ در بهمن‌ماه است.

محاسبه شاخص AWEI و تکنیک تعیین تغییرات

پس از انجام تصحیحات و موزاییک کردن تصاویر، به منظور بارزسازی و تشخیص آب از دیگر پدیده‌ها، شاخص AWEI^۲ روی تصاویر قبل و بعد از وقوع سیل مورد استفاده قرار گرفت. پس از اعمال شاخص، تکنیک تعیین تغییرات روی تصاویر صورت گرفت. این شاخص در سال ۲۰۱۴ برای بهبود صحت طبقه‌بندی آب در مناطقی که دارای سطوح سایه و تاریک هستند، ارائه شد [۴۴]. شاخص AWEI را می‌توان برای تشخیص آب از غیر آب تحت شرایط محیطی مختلف استفاده کرد و در برطرف کردن پیکسل‌های تیره و شناسایی سطوح آبی با دقت زیاد در مناطق شهری و کوهستانی کاربرد دارد [۴۵]. در مناطقی که مقدار $AWEI < 0$ باشد، پیکسل غیر آب است و در جایی که مقدار $AWEI > 0$ است، پهنه آبی است [۴۶]. معادله آن به شرح زیر است:

$$SPI = As \tan \beta$$

۱۲. بارندگی

دقیقاً نمی‌توان مشخص کرد که افزایش بارندگی تا چه میزان باعث ایجاد وضعیت سیل خواهد شد [۳۹]. می‌توان گفت که بارندگی عامل اصلی بروز سیل در هر شرایط محیطی است [۴۰]. برای نقشه‌برداری احتمالی سیل، باران یکی از مؤلفه‌های اصلی تأثیرگذار توسط محققان بی‌شماری در سراسر جهان انتخاب شد. تهیه نقشه بارندگی در این مطالعه بر اساس داده‌های بارندگی ماهانه ۴۰ ایستگاه باران‌سنجی با پراکنش مناسب در سطح کل حوضه به روش درون‌یابی IDW در دو دوره آماری ۱۳۷۱ و ۱۳۹۵ و با پیکسل سایز ۳۰*۳۰ متر در محیط نرم‌افزار Arc GIS انجام شد.

۱۳. نوع خاک

ویژگی‌های خاک از دیرباز به عنوان یک عامل مهم و تأثیرگذار بر مکانیسم‌های رواناب ناشی از باران شناخته شده است [۴۱]. نوع خاک به دلیل ویژگی‌های ذاتی خاک مانند بافت، درجه نفوذپذیری و ساختار مستقیم بر روند تخلیه تأثیر می‌گذارد [۴۲]. در مطالعه حاضر، نقشه نوع خاک در محیط نرم‌افزاری GIS تهیه شد.

تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و تهیه نقشه خطر

سیل

پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز مؤثر بر رخداد سیل، تجزیه و تحلیل این لایه‌ها و اطلاعات در محیط نرم‌افزاری Choice Expert و روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) انجام شد. Saaty در سال ۱۹۸۰ فرایند سلسله‌مراتبی تحلیلی^۱ (AHP) را معرفی کرد که یک روش تصمیم‌گیری نیمه کمی با استفاده از وزن‌ها از طریق مقایسه زوجی بین عامل‌های مختلف و بدون تناقض است [۴۳]. متداول‌ترین روش در AHP، روش ماتریس مقایسه زوجی است که در این روش، ردیف‌ها از معکوس هر یک از مؤلفه‌ها و اهمیت آن با فاکتور دیگر پیروی می‌کنند. در تحقیق حاضر، کلیه مؤلفه‌ها و وزن‌ها در محیط نرم‌افزاری Expert Choice توسط ۱۰ کارشناس متخصص در این زمینه، ادغام و به صورت خطی وزن‌دهی شدند. یکی از

در مطالعه حاضر، تصاویر ماهواره‌ای پردازش شده و دارای شاخص آب از نوع AWEI، به عنوان واقعیت زمینی در نظر گرفته شده است. لایه‌های فازی نهایی از نوع Gamma و VLC با تصاویر ماهواره‌ای مطابقت داده شدند. به این منظور، تصاویر ماهواره‌ای و لایه‌های فازی کلاس‌بندی مجدد شده و با توجه به قدرت تفکیک مکانی ماهواره لندست که ۳۰ متر است، نقاط آموزشی^۱ به نام Fishnet در سراسر حوضه آبریز اعمال شد. در نهایت، تصاویر ماهواره‌ای با لایه‌های فازی ادغام شده و در هر دو تصویر مناطق موافق (آب‌گرفته‌شده و آب‌نگرفته‌نشده مشترک) و مناطق مخالف محاسبه شدند. نحوه محاسبه آن به شرح ذیل است:

$$\frac{\text{تعداد مناطق آب گرفته نشده مشترک} + \text{تعداد مناطق آب گرفته شده مشترک}}{\text{تعداد کل نقاط}} \times 10$$

قلعه‌گنج، رودبار جنوب و در امتداد سد جیرفت هستند. همچنین این مناطق در سال ۱۳۹۵، بیشتر در قسمت‌های شرقی، غربی و شمال غربی پهنه هامون- جازموریان قرار گرفته است و حوضه‌های دلگان، بزمان، قلعه‌گنج، رودبار جنوب و قسمت‌هایی در امتداد سد جیرفت را دربرمی‌گیرد.

نتایج حاصل از محاسبه شاخص AWEI در شکل ۴ ارائه شده است.

در مطالعه حاضر، از داده‌های جمع‌آوری شده از سازمان آب منطقه‌ای کرمان استفاده شده است. پس از اعمال شاخص AWEI روی تصاویر قبل و بعد از وقوع سیلاب، با استفاده از تکنیک تعیین تغییرات، به صورت افزایشی که در شکل ۵ نشان داده شده است، مناطق تحت تأثیر سیل در حوضه تعیین شد.

$$AWEI_nsh = 4 \times (\text{Green} - \text{SWIR1}) - (0.25 \times \text{NIR} + 2.75 \times \text{SWIR2})$$

پس از اعمال شاخص AWEI روی تصاویر قبل و بعد از وقوع سیلاب، با استفاده از تکنیک تعیین تغییرات، مناطق تحت تأثیر سیل در حوضه تعیین شد.

صحت‌سنجی

دقت کلی یکی از پارامترهای متداول و در حال حاضر جزء پرستفاده‌ترین معیارهای ارزیابی دقت و صحت در تصاویر ماهواره‌ای محسوب می‌شود.

$$\text{Overall Accuracy} = \frac{(TP + TN)}{(P + N)}$$

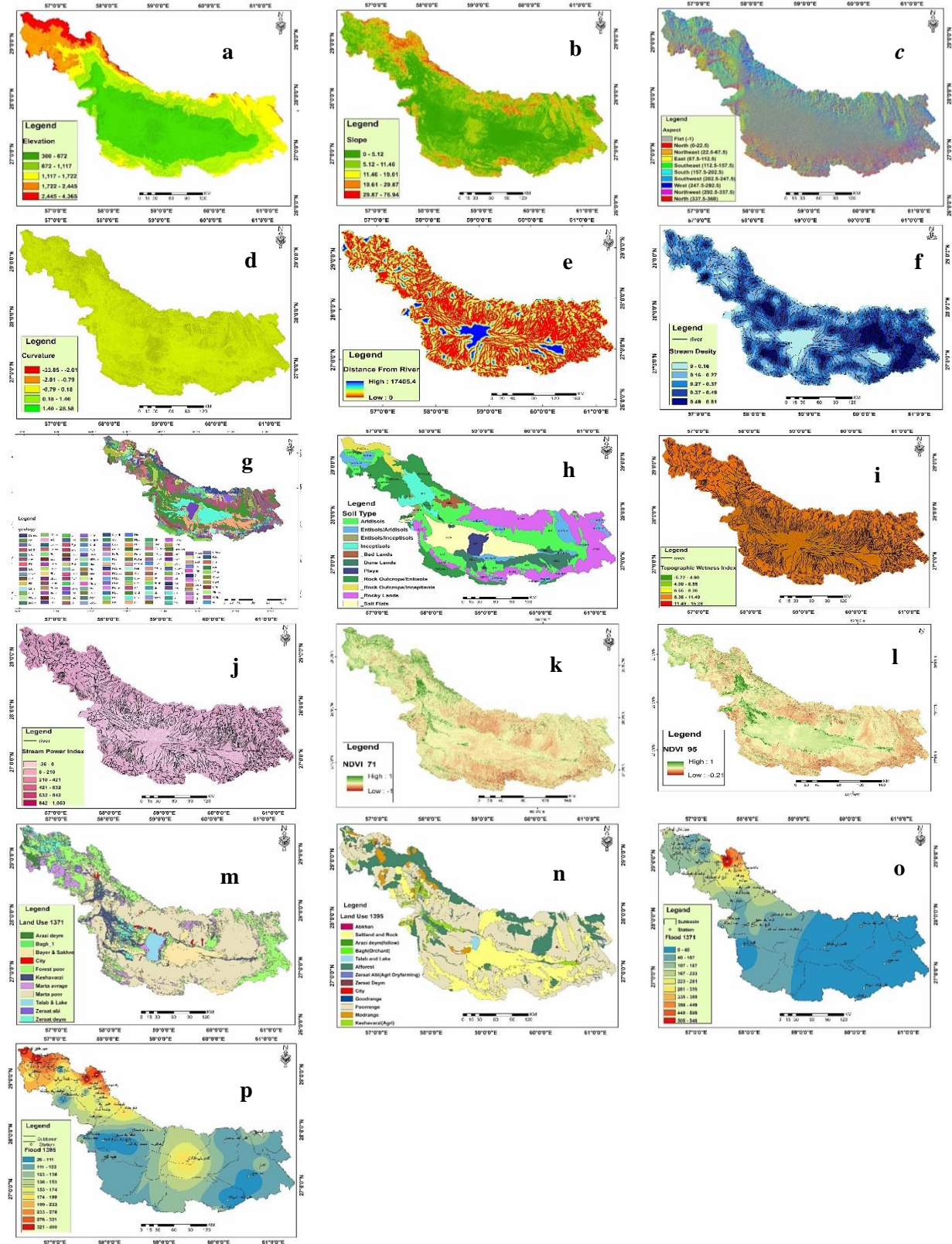
از آنجا که وقوع سیل یک رخداد ناگهانی محسوب می‌شود و هیچ‌گونه نقشه‌برداری یا گزارش‌های نمونه‌گیری از مناطق تحت تأثیر سیل در دسترس نیست،

یافته‌ها

نتایج به‌دست‌آمده از نقشه ارتفاع (شکل ۲- a) بیانگر اختلاف ارتفاع بالای حوضه است، به طوری که حداکثر ارتفاع حوضه ۴۳۶۵ متر و حداقل ارتفاع آن ۳۰۰ متر از سطح دریا است. به طوری که رواناب از ارتفاعات بالا به طرف ارتفاعات پایین جاری و سبب ایجاد سیلاب در مناطق با ارتفاع پایین‌تر و پست‌تر می‌شود. نتایج حاصل از نقشه‌های پوشش گیاهی (شکل ۲- k و l) در سال‌های ۱۳۷۱ و ۱۳۹۵ نشان‌دهنده کاهش میزان پوشش گیاهی در سطح حوضه طی این بازه زمانی است. همچنین نتایج حاصل از نقشه‌های کاربری اراضی (شکل ۲- m و n) در این سال‌ها نشان‌دهنده افزایش سطح مراتع فقیر و متوسط، اراضی بایر و صخره‌ای و نیز اراضی کشاورزی در این بازه زمانی است.

نتایج حاصل از آنالیز تحلیل سلسله‌مراتبی شامل مقایسه زوجی لایه‌ها و تعیین وزن‌های به‌دست‌آمده برای هر لایه، در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

براساس نقشه پهنه‌بندی به‌دست‌آمده فازی در سال ۱۳۷۱، مناطق سیل‌گیر و دارای پتانسیل بالای خطر سیلاب بیشتر در قسمت‌های شرقی و غربی پهنه هامون- جازموریان قرار گرفته و مربوط به حوضه‌های بزمان،



شکل ۲. (a) نقشه ارتفاع، (b) شیب، (c) جهت شیب، (d) انحنای، (e) فاصله از آبراهه، (f) تراکم زهکشی، (g) زمین‌شناسی، (h) نوع خاک، (i) شاخص پوشش گیاهی در سال ۱۳۷۱، (j) شاخص پوشش گیاهی در سال ۱۳۹۵، (k) کاربری اراضی در سال ۱۳۷۱، (l) کاربری اراضی در سال ۱۳۹۵، (m) شاخص رطوبت توپوگرافی، (n) شاخص توان جریان، (o) بارندگی در سال ۱۳۷۱، (p) بارندگی در سال ۱۳۹۵

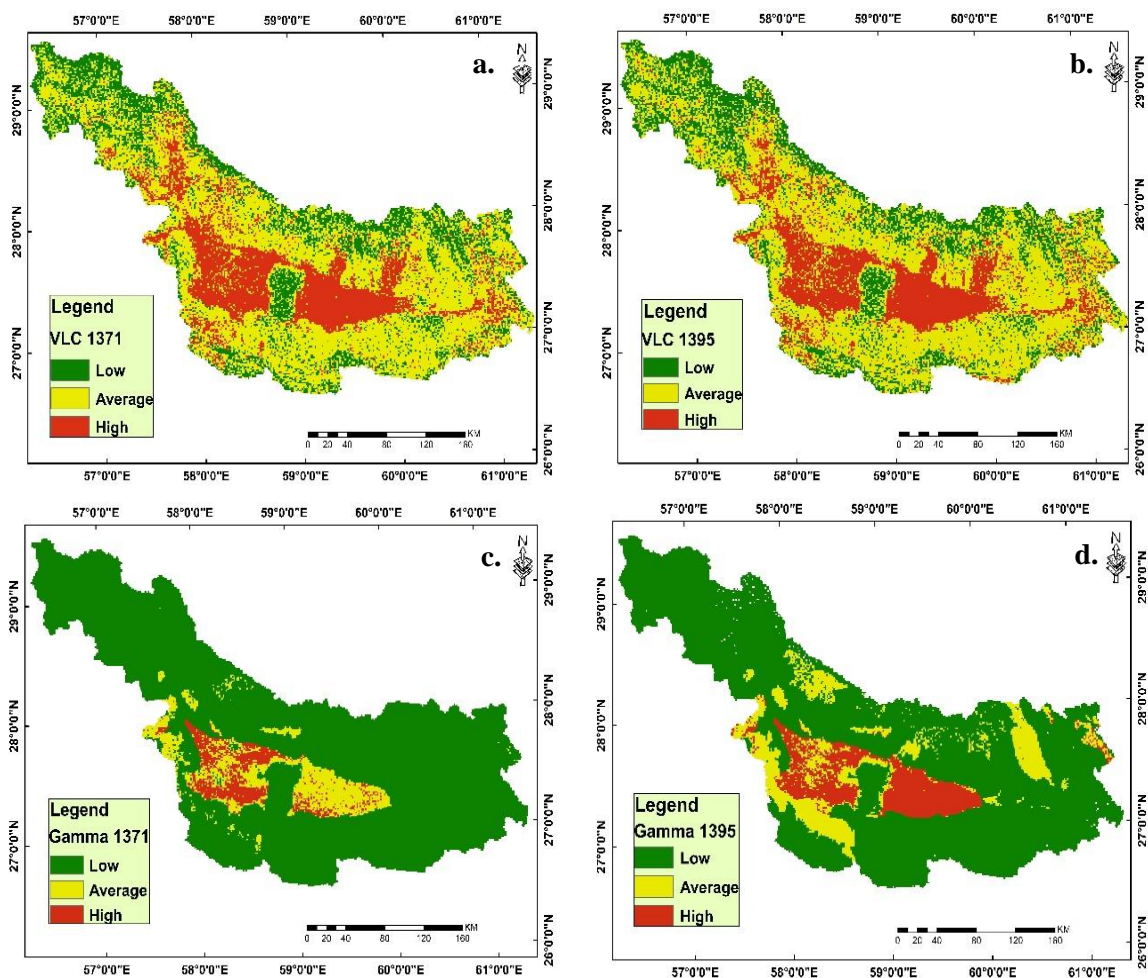
جدول ۱. مقایسه زوجی برای هر لایه

نوع خاک	SPI	TWI	بارندگی	زمین شناسی	NDVI	کاربری اراضی	تراکم	فاصله	انحنای	جهت شیب	شیب	ارتفاع
۲/۰	۲/۰	۲/۰	۱/۰	۲/۰	۳/۰	۲/۰	۲/۰	۵/۰	۲/۰	۲/۰	۳/۰	ارتفاع
۳/۰	۳/۰	۳/۰	۳/۰	۴/۰	۳/۰	۲/۰	۳/۰	۴/۰	۱/۰	۲/۰	شیب	شیب
۳/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰	۳/۰	۲/۰	۲/۰	۵/۰	۶/۰	۳/۰	جهت شیب	جهت شیب	جهت شیب
۲/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰	۳/۰	۱/۰	۲/۰	۵/۰	انحنای	انحنای	انحنای	انحنای
۳/۰	۵/۰	۴/۰	۳/۰	۲/۰	۳/۰	۲/۰	۵/۰	فاصله	فاصله	فاصله	فاصله	فاصله
۳/۰	۱/۰	۱/۰	۲/۰	۲/۰	۱/۰	۱/۰	تراکم	تراکم	تراکم	تراکم	تراکم	تراکم
۲/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰	۳/۰	۲/۰	کاربری	کاربری	کاربری	کاربری	کاربری	کاربری	کاربری
۲/۰	۱/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI
۲/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰	زمین شناسی	زمین شناسی	زمین شناسی	زمین شناسی	زمین شناسی	زمین شناسی	زمین شناسی	زمین شناسی	زمین شناسی
۲/۰	۲/۰	۲/۰	بارندگی	بارندگی	بارندگی	بارندگی	بارندگی	بارندگی	بارندگی	بارندگی	بارندگی	بارندگی
۲/۰	۲/۰	TWI	TWI	TWI	TWI	TWI	TWI	TWI	TWI	TWI	TWI	TWI
۱/۰	SPI	SPI	SPI	SPI	SPI	SPI	SPI	SPI	SPI	SPI	SPI	SPI
۱/۰	نوع خاک	نوع خاک	نوع خاک	نوع خاک	نوع خاک	نوع خاک	نوع خاک	نوع خاک	نوع خاک	نوع خاک	نوع خاک	نوع خاک

جدول ۲. وزن های به دست آمده برای هر لایه

شماره	لایه ها	وزن ها	وزن های نرمالیز شده
۱	ارتفاع	۰/۰۸۸	۰/۳۹۶
۲	شیب	۰/۱۳۲	۰/۵۹۶
۳	جهت شیب	۰/۰۲۷	۰/۱۲۰
۴	انحنای توپوگرافی	۰/۰۷۶	۰/۳۴۳
۵	فاصله از آبراهه	۰/۲۲۲	۱/۰۰۰
۶	تراکم زهکشی	۰/۰۶۷	۰/۳۰۱
۷	کاربری اراضی	۰/۰۷۵	۰/۳۴۱
۸	NDVI	۰/۰۴۸	۰/۲۱۷
۹	زمین شناسی	۰/۰۵۹	۰/۲۶۶
۱۰	بارندگی	۰/۰۵۸	۰/۲۶۲
۱۱	شاخص رطوبت توپوگرافی	۰/۰۵۳	۰/۲۴۱
۱۲	شاخص قدرت جریان	۰/۰۴۶	۰/۲۰۷
۱۳	نوع خاک	۰/۰۵۰	۰/۲۲۵

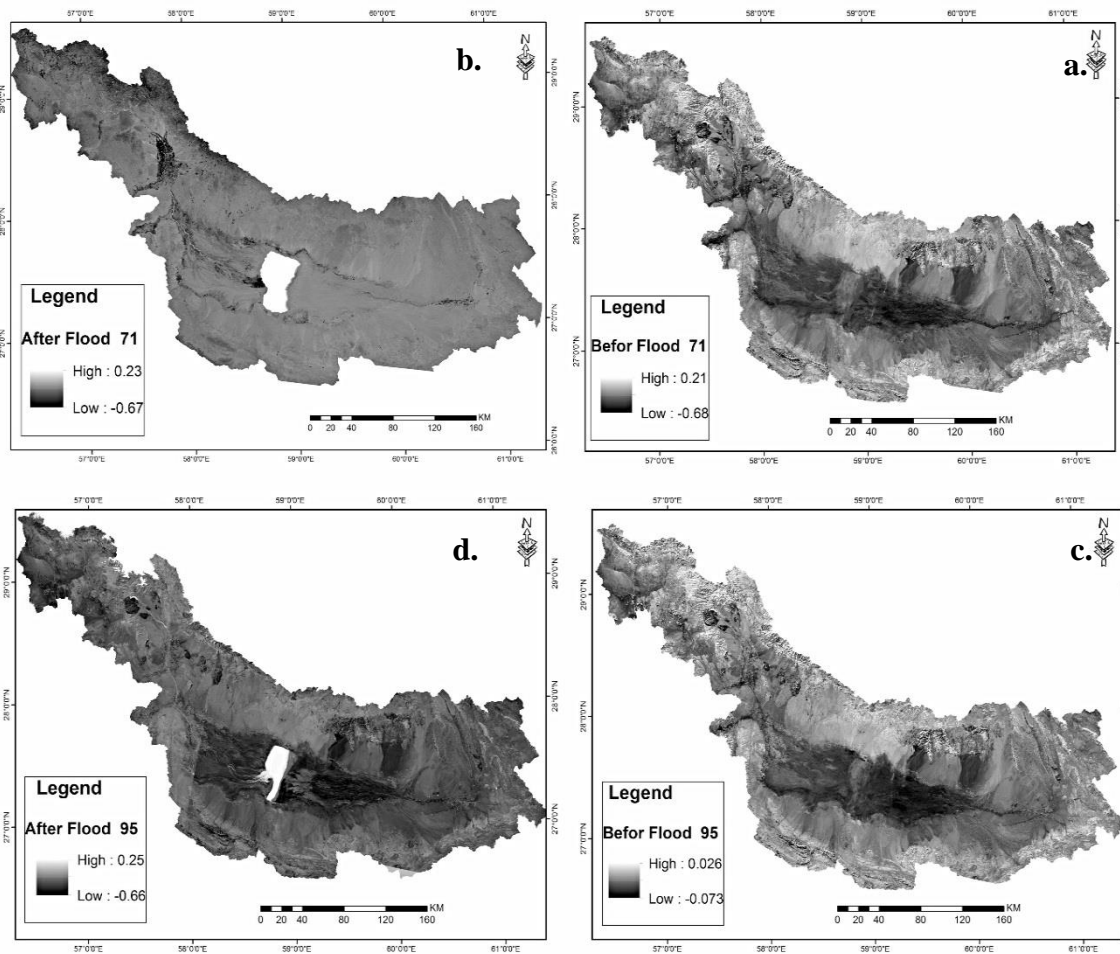
۰/۰۹ ضریب ناسازگاری



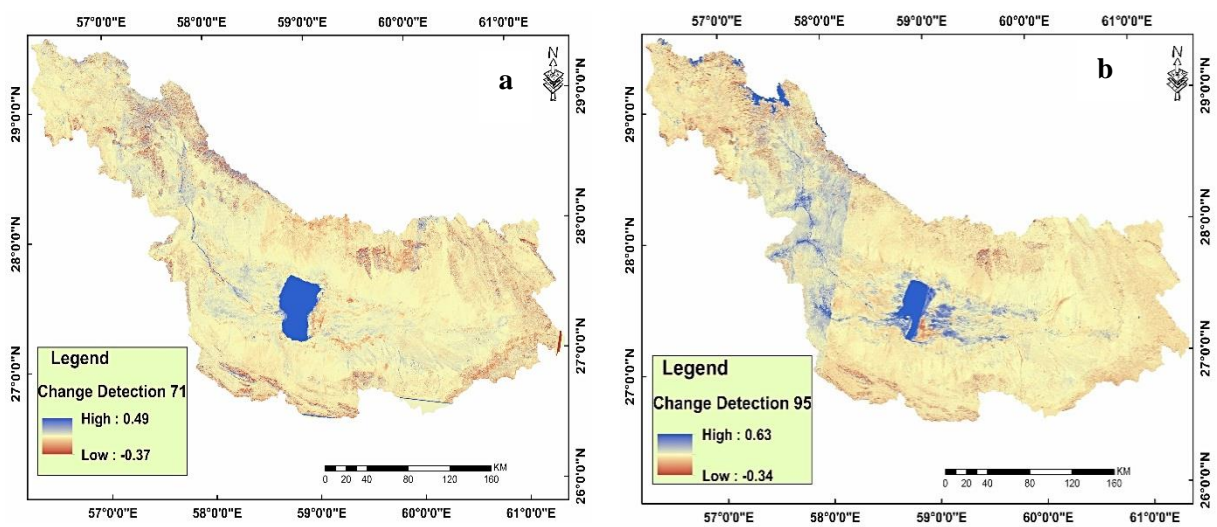
شکل ۳. (a) نقشه فازی به روش VLC در سال ۱۳۷۱؛ (b) نقشه فازی به روش VLC در سال ۱۳۹۵؛ (c) نقشه فازی به روش Gamma در سال ۱۳۷۱؛ (d) نقشه فازی به روش Gamma در سال ۱۳۹۵

جدول ۳. میزان تغییرات خطر سیلاب در دو بازه زمانی ۱۳۷۱ و ۱۳۹۵

کلاس خطر	VLC71	Gamma71	VLC95	Gamma95
۱	۲۴/۱۵	۸۵/۶۲	۲۳/۹۷	۷۶/۶۰
۲	۵۴/۱۴	۹/۴۸	۵۴/۹۱	۱۳/۳۶
۳	۲۱/۶۹	۴/۸۸	۲۱/۱۰	۱۰/۰۲



شکل ۴. a و b) نقشه شاخص AWEI روی تصاویر قبل و بعد از وقوع سیلاب در سال ۱۳۷۱؛ c و d) نقشه شاخص AWEI روی تصاویر قبل و بعد از وقوع سیلاب در سال ۱۳۹۵



شکل ۵. a) تکنیک تعیین تغییرات روی تصاویر سال ۱۳۷۱؛ b) تکنیک تعیین تغییرات روی تصاویر سال ۱۳۹۵

مناطق دارای پتانسیل بالا و بحرانی خطر سیلاب حوضه‌های بزمان، قلعه‌گنج، رودبار جنوب و در امتداد سد جیرفت هستند. همچنین این مناطق در سال ۱۳۹۵ محدوده حوضه‌های دلگان، بزمان، قلعه‌گنج، رودبار جنوب و در امتداد سد جیرفت را در بر می‌گیرد. نتایج تحقیقات محققانی همچون قویدل رحیمی و همکاران [۴۷]، سلیمانی ساردو و همکاران [۴۸] و قاضی‌زاده و همکاران [۴۹] نیز بیانگر آسیب‌پذیری و سیل‌گیری بالای این مناطق است. نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان می‌دهد تکنیک‌ها و ارزیابی‌های کاهش مخاطره سیل را می‌توان به طور مؤثر ایجاد و اجرا کرد و به یک استراتژی آگاهی از مناطق ناامن در مورد خطرات سیل ناگهانی رسید. بنابراین برنامه‌ریزان، توسعه‌دهندگان، مهندسان، تصمیم‌گیرندگان، بخش‌های خصوصی و مقامات محیط زیست می‌توانند از این تکنیک‌ها در کاهش خطرات ناشی از سیلاب ناگهانی استفاده کنند. همچنین در دسترس بودن طرح کاربری اراضی به توسعه‌دهندگان، برنامه‌ریزان و سایرین به منظور اینکه چه مناطقی را می‌توان برای کدام کاربری توسعه داد، راهنمایی‌های لازم را در جهت اطلاعات خطر سیل می‌کند.

تقدیر و تشکر

این مقاله بخشی از نتایج طرح پژوهشی به شماره قرارداد ۹۹/۶۰ مورخ ۱۳۹۹/۱۲/۱۸ است که با حمایت مالی شرکت سهامی آب منطقه ای کرمان انجام شده است. به این وسیله از همراهی آن شرکت تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- [1].Kazemi A, Rezaei Moghaddam MH, Nikjoo MR, Hejazi MA, Khezri S. Zoning and Management of the hazards of Floodwater in the Siminehrood River Using the HEC-RAS Hydraulic Model. Environmental Management Hazards. 2016 Dec 21;3(4):379-93. [Persian]
- [2].Matkan A, Shakiba A, Pournali H, Azari H. Flood early warning with integration of hydrologic and hydraulic models, RS and GIS (Case Study: Madarsoo Basin, Iran). World Applied Sciences Journal. 2009;6(12):1698-704. [Persian]
- [3].Asare-Kyei D, Forkuor G, Venus V. Modeling flood hazard zones at the sub-district level with the rational model integrated with GIS and remote sensing approaches. Water. 2015; 7(7): 3531-64.

نتایج به‌دست‌آمده از تکنیک تعیین تغییرات نشان داد پراکنش آب بیشتر در اطراف پهنه و امتداد رود اصلی به سمت سد جیرفت است. مقایسه نتایج حاصل در سال‌های ۱۳۷۱ و ۱۳۹۵ نشان داد در سال ۱۳۷۱، ۴/۸۸ درصد از حوضه در معرض کلاس خطر بالای سیلاب قرار دارد که این میزان در سال ۱۳۹۵، ۱۰/۰۲ درصد افزایش پیدا کرده است. با بهره‌گیری از این اطلاعات و نیز تعیین مناطق بحرانی سیلاب می‌توان برنامه‌ها و راهکارهای مناسبی را برای کنترل سیلاب و حتی استفاده از آن به منظور بهره‌برداری بهینه و کاربردی اعمال کرد.

$$OV_{Gamma71} = \frac{6144 + 35947}{42967} \times 100 = \% 97.96$$

$$OV_{VLC 71} = \frac{9698 + 23364}{42967} \times 100 = \% 76.94$$

$$OV_{Gamma95} = \frac{9890 + 32298}{42967} \times 100 = \% 98.18$$

$$OV_{VLC 95} = \frac{9567 + 21843}{42967} \times 100 = \% 73.10$$

با توجه به نتایج صحت‌سنجی، روش گاما در سال ۱۳۷۱ و ۱۳۹۵ به ترتیب با ۹۷/۹۶ درصد و ۹۸/۱۸ درصد بیشترین مطابقت را با تصاویر ماهواره‌ای دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج اولویت‌بندی متغیرها با استفاده از AHP بیان می‌کند که لایه‌های فاصله از آبراهه، شیب، ارتفاع، انحنای توپوگرافی، کاربری اراضی و تراکم زهکشی به ترتیب با وزن‌های ۰/۲۲۲، ۰/۱۳۲، ۰/۰۸۸، ۰/۰۷۶، ۰/۰۷۵ و ۰/۰۶۷ بیشترین تأثیر در وقوع سیلاب را در منطقه مورد مطالعه داشته‌اند. نقشه ارزیابی مخاطره سیل به روش فازی در منطقه مورد مطالعه به سه دسته تقسیم شد که نشان‌دهنده حساسیت احتمالی سیل ناگهانی شامل مناطق حساس کم، متوسط و زیاد است. بر این اساس مناطق سیل‌گیر حوضه آبریز جازموریان براساس نقشه پهنه‌بندی به‌دست‌آمده فازی در سال ۱۳۷۱ بیشتر در قسمت‌های مرکزی حوضه و بخش شرقی و غربی اطراف پهنه هامون- جازموریان و در سال ۱۳۹۵ در سطح وسیع‌تر در مرکز حوضه به سمت شمال غرب (در قسمت‌های شرقی، غربی و شمال غربی پهنه هامون- جازموریان) قرار گرفته است. براساس نقشه پهنه‌بندی حاصل از فازی‌سازی لایه‌ها در سال ۱۳۷۱،

- [4]. Kwang C, Osei EM. Accra flood modelling through application of geographic information systems (gis). *Remote Sensing Techniques and Analytical Hierarchy Process. J Remote Sensing & GIS.* 2017; 6(191): 2.
- [5]. Youssef AM, Hegab MA. Flood-hazard assessment modeling using multicriteria analysis and GIS: a case study—Ras Gharib area, Egypt. *In Spatial modeling in GIS and R for earth and environmental sciences.* 2019; (229-257 pp.)
- [6]. Cai T, Li X, Ding X, Wang J, Zhan J. Flood risk assessment based on hydrodynamic model and fuzzy comprehensive evaluation with GIS technique. *International Journal of Disaster Risk Reduction.* 2019; 35:101077.
- [7]. Ogato GS, Bantider A, Abebe K, Geneletti D. Geographic information system (GIS)-Based multicriteria analysis of flooding hazard and risk in Ambo Town and its watershed, West shoa zone, oromia regional State, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies.* 2020; 27:100659.
- [8]. Saghafi M, REZAEI MM. Evaluation of geomorphology method application for flood hazards risk classification using fuzzy logic (case study: Ojan Chay drainage basin). [Persian]
- [9]. Ghanavati A, Babaei Aghdam F, Hemmati T, Rahimi M. Flood Potential Zoning Using Fuzzy Logic Model in GIS Environment (Case Study of Khayavchi Meshkinshahr River Basin). *Hydrogeomorphology Journal.* 2015; 3:121-35. [Persian]
- [10]. Darabi H, Shahedi K, Mardian M. Mapping possibility hazard and sensivity flood using frequency ratio in the watershed poul doab shazand. *Journal of Watershed Engineering and Management.* 2016;8(1): 68-79. [Persian]
- [11]. Mousavi S, Roostaei S, Rostamzadeh H. Regional Flood Hazard assessment at the Sub-basin Scale Using Remote Sensing & Fuzzy logic. *Iranian journal of Ecohydrology.* 2018; 5(3): 829-41. [Persian]
- [12]. Omidvar K, Mahmoodabadi M, Safarpour F. A synoptic analysis of heavy rains February 2011 in southern and central regions of Iran (with emphasis on Kerman Province). *Geography and Planning.* 2015;19(51): 21-39. [Persian]
- [13]. Choobak H., Kiyani MY. Geographical-cultural domain of Jazmorian in the archeological investigations of Iran. *Sciences MODARES Human.* 2005; 8(4): 31-67.
- [14]. Mostofi A, Climatic atlas of Iran, Tehran university Press. 117 pp.
- [15]. Ahmadi H., Esmailpour Y., Moradi A., Gholami H. Assessment of land Sensitivity to Desertification Hazard Using System Dynamics Approach in the Jazmourian basin. *Journal of Water and Soil Conservation.* 2019; 26(2), 211-224.
- [16]. Pradhan B. Flood susceptible mapping and risk area delineation using logistic regression, GIS and remote sensing. *Journal of Spatial Hydrology.* 2010; 27: 9(2).
- [17]. Botzen WJ, Aerts JC, Van den Bergh JC. Individual preferences for reducing flood risk to near zero through elevation. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change.* 2013; 18:229-44.
- [18]. Fernández DS, Lutz MA. Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. *Engineering Geology.* 2010;111(1-4):90-8.
- [19]. Tehrany MS, Pradhan B, Jebur MN. Spatial prediction of flood susceptible areas using rule based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS. *Journal of hydrology.* 2013; 504:69-79.
- [20]. Das S, Pardeshi SD. Integration of different influencing factors in GIS to delineate groundwater potential areas using IF and FR techniques: a study of Pravara basin, Maharashtra, India. *Applied Water Science.* 2018;8:1-6.
- [21]. Lee MJ, Kang JE, Jeon S. Application of frequency ratio model and validation for predictive flooded area susceptibility mapping using GIS. *In 2012 IEEE international geoscience and remote sensing symposium.* 2012; 895-898 pp.
- [22]. Donati L, Turrini MC. An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology: application to an area of the Apennines (Valnerina; Perugia, Italy). *Engineering Geology.* 2002; 63(3-4):277-89.
- [23]. Abubakar T, Azra EA, Mohammed C. Selecting suitable drainage pattern to minimize flooding in sangere village using GIS and remote Sensing. *Global Journal of Geological Sciences.* 2012; 10(2):129-40.
- [24]. Cao C, Xu P, Wang Y, Chen J, Zheng L, Niu C. Flash flood hazard susceptibility mapping using frequency ratio and statistical index methods in coalmine subsidence areas. *Sustainability.* 2016; 8(9):948.
- [25]. Horritt MS. Calibration of a two-

- dimensional finite element flood flow model using satellite radar imagery. *Water Resources Research*. 2000; 36(11):3279-91.
- [26]. Predick KI, Turner MG. Landscape configuration and flood frequency influence invasive shrubs in floodplain forests of the Wisconsin River (USA). *Journal of Ecology*. 2008; 96(1):91-102.
- [27]. Mahmoud SH, Gan TY. Multi-criteria approach to develop flood susceptibility maps in arid regions of Middle East. *Journal of Cleaner Production*. 2018; 196: 216-29.
- [28]. Samanta S, Koloa C, Kumar Pal D, Palsamanta B. Flood risk analysis in lower part of Markham river based on multi-criteria decision approach (MCDA). *Hydrology*. 2016; 3(3):29.
- [29]. Brody SD, Zahran S, Maghelal P, Grover H, Highfield WE. The rising costs of floods: Examining the impact of planning and development decisions on property damage in Florida. *Journal of the American Planning Association*. 2007; 73(3):330-45.
- [30]. Dinesh Kumar PK, Gopinath G, Seralathan P. Application of remote sensing and GIS for the demarcation of groundwater potential zones of a river basin in Kerala, southwest coast of India. *International Journal of Remote Sensing*. 2007; 28(24):5583-601.
- [31]. Reneau SL. Stream incision and terrace development in Frijoles Canyon, Bandelier National Monument, New Mexico, and the influence of lithology and climate. *Geomorphology*. 2000; 32(1-2):171-93.
- [32]. Kazakis N, Kougiass I, Patsialis T. Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope–Evros region, Greece. *Science of the Total Environment*. 2015; 538:555-63.
- [33]. Firouzi F, Tavosi T, Mahmoudi P. Investigating the sensitivity of NDVI and EVI vegetation indices to dry and wet years in arid and semi-arid regions (Case study: Sistan plain, Iran). *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*. 2019; (110):163-79. [Persian]
- [34]. Benito G, Rico M, Sánchez-Moya Y, Sopena A, Thorndycraft VR, Barriendos M. The impact of late Holocene climatic variability and land use change on the flood hydrology of the Guadalentín River, southeast Spain. *Global and Planetary Change*. 2010; 70(1-4):53-63.
- [35]. Beckers A, Dewals B, Erpicum S, Dujardin S, Detrembleur S, Teller J, Piroton M, Archambeau P. Contribution of land use changes to future flood damage along the river Meuse in the Walloon region. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2013; 13(9):2301-18.
- [36]. Soulsby C, Tetzlaff D, Hrachowitz M. Spatial distribution of transit times in montane catchments: conceptualization tools for management. *Hydrological Processes*. 2010; 24(22):3283-8.
- [37]. Moore ID, Grayson RB, Ladson AR. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological processes*. 1991; 5(1):3-0.
- [38]. Knighton AD. Downstream variation in stream power. *Geomorphology*. 1999; 29(3-4):293-306.
- [39]. Kay AL, Jones RG, Reynard NS. RCM rainfall for UK flood frequency estimation. II. Climate change results. *Journal of hydrology*. 2006 Mar 1;318(1-4):163-72.
- [40]. Segond ML, Wheeler HS, Onof C. The significance of spatial rainfall representation for flood runoff estimation: A numerical evaluation based on the Lee catchment, UK. *Journal of Hydrology*. 2007 Dec 15;347(1-2):116-31.
- [41]. Geris J, Tetzlaff D, McDonnell J, Soulsby C. The relative role of soil type and tree cover on water storage and transmission in northern headwater catchments. *Hydrological Processes*. 2015; 29(7):1844-60.
- [42]. Pizzuto JE. Downstream fining in a network of gravel-bedded rivers. *Water Resources Research*. 1995; 31(3):753-9.
- [43]. Chaudhary P, Chhetri SK, Joshi KM, Shrestha BM, Kayastha P. Application of an Analytic Hierarchy Process (AHP) in the GIS interface for suitable fire site selection: A case study from Kathmandu Metropolitan City, Nepal. *Socio-economic planning sciences*. 2016; 53 (1):60-71.
- [44]. Feyisa GL, Meilby H, Fensholt R, Proud SR. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote sensing of environment*. 2014; 1;140:23-35.
- [45]. Jawak SD, Kulkarni K, Luis AJ. A review on extraction of lakes from remotely sensed optical satellite data with a special focus on cryospheric lakes. *Advances in Remote Sensing*. 2015;4(03):196.

- [46]. Yahaya S, Ahmad N, Abdalla RF. Multicriteria analysis for flood vulnerable areas in Hadejia-Jama'are River basin, Nigeria. *European Journal of Scientific Research*. 2010;42(1):71-83.
- [47]. Ghavidel Y., Ahmadi M., Hatami Zarneh D., Rezaei M. Identification of synoptic patterns of heavy rainfall manufacturers destructive floods in Jiroft city. *Geography (Sheffield, England)*. 2014; 41(12): 161-178.
- [48]. Soleimani Sardoo F., Rafiei Sardooi E., Mesbahzadeh T., Azareh A. Utilizing Sentinel 1 Images for Monitoring Damage of Flood Event in March 2020, the South of Kerman Province Based on Random Forest Algorithm, *Iran-Watershed Management Science & Engineering*. 2021; 15(53): 23-32 [Persian]
- [49]. Ghazizadeh E., Ganji Z., Azhdari K., Determining the vulnerability of flood areas using HEC-RAS and GIS model (case study: agricultural lands of Halil Road river, Jiroft city), 2nd Iranian National Congress of Irrigation and Drainage. 2016. Isfahan University of Technology