هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۱۸، سال ۵، بهار ۱۳۹۸، صص ۱۵۹-۱۳۹
Hydrogeomorphology, Vol.5, No.18, Spring 2019, pp (139-159)

جانمایی پهنه‌های مستعد ذخیره‌ی سیلاب با تأکید بر ویژگی‌های فرمی زمین و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی در حوضه‌ی آبخیز قمرود

عزت‌الله قنواتی[۱]*، علی احمدآبادی[۲]، منصور صادقی[۳]

وصول مقاله: ۱۳۹۷/۰۶/۱۹ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۱۱

چکیده

انحراف و ذخیره‌سازی سیلاب روشی شناخته‌شده برای مقابله با مخاطرات و آسیب‌های سیل می‌باشد و از طرف دیگر سبب بهبود وضعیت کیفی و کمّی آب‌های زیرزمینی می‌شود و در واقع مهار سیلاب و تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها از نتایج مهّم آن به‌شمار می‌رود. هدف این پژوهش جانمایی پهنه‌های مناسب ذخیره‌ی سیلاب حوضه‌ی آبخیز قمرود با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد. در این پژوهش از متغیرهای شیب، خاک، کاربری اراضی، عمق آب‌های زیرزمینی، لندفرم، قابلیت نفوذپذیری سطحی، زبری، شاخص تجمعی جریان، لیتولوژی، ارتفاع و تراکم زهکشی به‌عنوان عوامل مؤثر در جانمایی جهت انحراف و ذخیره‌سازی سیلاب استفاده شده است. از مدل مجموع ادغامی مجموع - حاصل‌ضرب (WASPAS) که یکی از جدیدترین مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد برای تحلیل همپوشانی و رتبه‌بندی گزینه‌ها و تهیه‌ی نقشه‌ی نهایی استفاده گردید. نتایج حاصل از مدل واسپاس نشان می‌دهد به لحاظ پتانسیل ذخیره‌ی سیلاب، حوضه‌ی آبخیز مورد مطالعه به پنج کلاس خیلی زیاد با ۲۴ درصد، زیاد ۲۸/۲ درصد، متوسط ۲۴/۹ درصد، کم ۱۵/۲ درصد و خیلی‌کم ۷/۷ درصد تقسیم می‌شود. بدین ترتیب نه پهنه بسیار مناسب جهت انحراف و ذخیره‌سازی سیلاب در قسمت‌های مرکزی، جنوبی، شمال‌غربی و شرق حوضه شناسایی شد که این مناطق در بازدید میدانی نیز جهت اهداف مذکور مناسب تشخیص داده شدند.

کلمات کلیدی: حوضه‌ی آبخیز قمرود، مدل WASPAS، مدل رقومی ارتفاع، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی (MCDM).

۱- دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران (نویسنده‌ی مسئول). Email:Ezghanavati@yahoo.com
۲ - استادیار ژئومورفولوژی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
۳- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

مقدمه

سیل یک جریان شدید استثنایی است که ممکن است از بستر طبیعی رودخانه لبریز شده و خارج شود. معمولاً حداکثر دبی مشاهده‌شده در طول سال را سیل یا طغیان سالانه می‌نامند (زاهدی و بیاتی، ۱۳۸۷: ۱۳۸). سیل یکی از بلایایی طبیعی است و پس از زلزله بیشترین میزان خسارت را در جهان به خود اختصاص می‌دهد. از دست دادن زندگی، تأسیسات و اموال به دلیل جاری شدن سیل به‌ویژه در بستر سیلابی رودخانه یکی از شایع‌ترین مخاطرات محیط زندگی جوامع بشری می‌باشد. هیچگاه امکان مهار همه‌ی سیلاب‌ها وجود ندارد، بلکه تنها می‌توان خسارت آنها را کاهش داده و در نهایت به حداقل رساند. به همین دلیل در پاره‌ای از متون به‌ویژه در متون استرالیایی عموماً به جای مهار سیلاب از اصطلاح کاهش خسارات سیلاب[1] استفاده می‌شود (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۰: ۳). یکی از روش‌های کنترل سیلاب، انحراف و پخش سیلاب است. پخش سیلاب، از مقدار اوج آن در پایین دست کاسته و مخازن زیرزمینی را تغذیه می‌کند (گش[2]، ۱۳۷۷: ۲۷۶). در چنین شرایطی با شناسایی مناطق سیل‌خیز و پخش سیلاب در اراضی مستعد بالادست ضمن کمک به تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها موجب افزایش کیفیت حاصل‌خیزی خاک هم می‌شود (کوثر، ۱۳۷۴: ۱۲)، همچنین از بروز خسارت و تلفات جانی و مالی در قسمت پایین‌دست رودخانه جلوگیری بعمل می‌آید. جهت جانمایی پهنه‌های مناسب انحراف و ذخیره‌ی سیلاب، از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی (MCDM)[3] به همراه سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده می‌شود. در طی چند دهه‌ی اخیر سیلاب‌های متعددی در روستاهای حاشیه‌ی رودخانه‌های استان قم حادث شده است که خسارات زیادی به منازل مسکونی، زمین‌های زراعی، احشام، جاده‌ها و دیگر تأسیسات روستایی وارد نموده است. از جمله سیل‌های بزرگ به وقوع‌پیوسته در این استان، سیل سال‌های ۱۳۴۳، ۱۳۵۳، ۱۳۶۸، ۱۳۷۱، ۱۳۷۲،

1- Flood damage mitigation
2- Ghosh
3- Multiple Criteria Decision Making

۱۳۷۳،۱۳۸۶ و ۱۳۸۸ می‌باشند (اداره‌ی کل منابع طبیعی استان قم، ۱۳۸۸: ۱۲). پس از چند سیل ویرانگر همراه با آسیب‌های چشمگیر در سال‌های اخیر به‌خصوص بعد از سیل عظیم فروردین سال ۱۳۸۸، نیاز به مدیریت مطلوب سیل در حوضه‌ی آبخیز رودخانه‌ی قمرود، به‌شدت احساس می‌شود. دلیل این نگرانی عمیق، تهدید یکی از پرترافیک‌ترین و پرجمعیت‌ترین نقطه‌ای است که در ایام خاصی از سال هزاران نفر از مسیر سیلاب به عنوان پارکینگ خودرو و از جاده‌ی ساحلی واقع در بستر رودخانه، جهت رسیدن به زیارتگاه حضرت معصومه(س)، استفاده می‌نمایند. محدویت فضایی جهت احداث تأسیسات سازه‌ای مهار سیلاب و هزینه‌های تعمیر و نگهداری آنها موجب شد تا مشکل سیلاب رودخانه در بالادست حوضه حل گردد. بر همین اساس با انحراف و ذخیره‌سازی سیلاب در بالادست حوضه، از یک طرف معضل طغیان رودخانه‌ی قمرود حل می‌گردد و از طرف دیگر، منابع ارزشمند آب در منطقه حفظ شود.

در زمینه‌ی مهار و پخش سیلاب بررسی‌هایی در ایران و جهان انجام شده است، از جمله آنها می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: کریشنامورتی[1] و همکاران(۱۹۹۶)، تحقیقی با هدف تعیین مناطق مناسب برای تغذیه‌ی آب‌های زیرزمینی حوضه‌ی مروداییار[2]در جنوب هند با استفاده از فن‌آوری سنجش از دور و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی انجام دادند. در این مطالعه عوامل زمین‌شناسی، توپوگرافی، گسل‌ها و شکستگی‌ها، منابع آب‌های سطحی، شبکه‌ی زهکشی، تراکم آبراهه، شیب و خاک مورد بررسی قرار گرفت. صراف و چودهوری[3] (۱۹۹۸) با به‌کارگیری (GIS) و (RS) مکان‌های مناسبی برای تغذیه‌ی مصنوعی در مناطق صخره‌ای مادیاپرادش[4] هند معین کردند. آنها از پارامترهای کاربری اراضی، پوشش گیاهی، ژئومورفولوژی، شیب، زمین‌شناسی و توپوگرافی برای مکان‌یابی استفاده نمودند. فانگ[5] و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از مدل توزیعی

1- Krihshnamurthy
2- Marudaiyar basin
3- Saraf and Choudhury
4- Madhya Pradesh
5- Fang

هیدرولوژیک (vflo)[1] به ارزیابی تأثیر گسترش شهر و مخازن تأخیری در کنترل و ذخیره‌سازی سیلاب پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که حبس رواناب در بالادست، کاهش دبی سیلاب در پایین‌دست را به دنبال دارد. امیری و یعقوبی (۱۳۸۵) در پژوهشی به ارزیابی عرصه‌های پیشنهادی برای پخش سیلاب با استفاده از فاکتورهایی از جمله شیب، توپوگرافی، نفوذپذیری، قابلیت انتقال، هدایت الکتریکی آب، وضعیت لیتولوژیکی و پارامترهای هیدرودینامیک در علی‌آباد دمق شهرستان ملایر پرداختند. روغنی و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی تحت عنوان« ارزیابی عملیات آبخیزداری و معرفی روشی در تعیین سازه‌های کنترل سیل» با هدف ارزیابی تاثیر عملیات مکانیکی بر رفتار هیدرولوژیکی حوضه بر اساس شاخص سیلاب و سیل‌خیزی انجام دادند. احمدی شرف و تجریشی (۱۳۹۲)، در تحقیق خود جهت کنترل سیلاب حوضه‌ی آبخیز درکه تهران، از طریق حوضچه‌های ذخیره و با استفاده از مدل (SWMM)[2] اقدام نمودند. امیراحمدی و همکاران (۱۳۹۴)، با استفاده از مدل (HEC-HMS) به تحلیل حساسیت متغیرهای ژئومورفولوژی موثر بر سیلاب حوضه‌ی آبخیز زرچشمه‌ی هونجان استان اصفهان پرداختند.

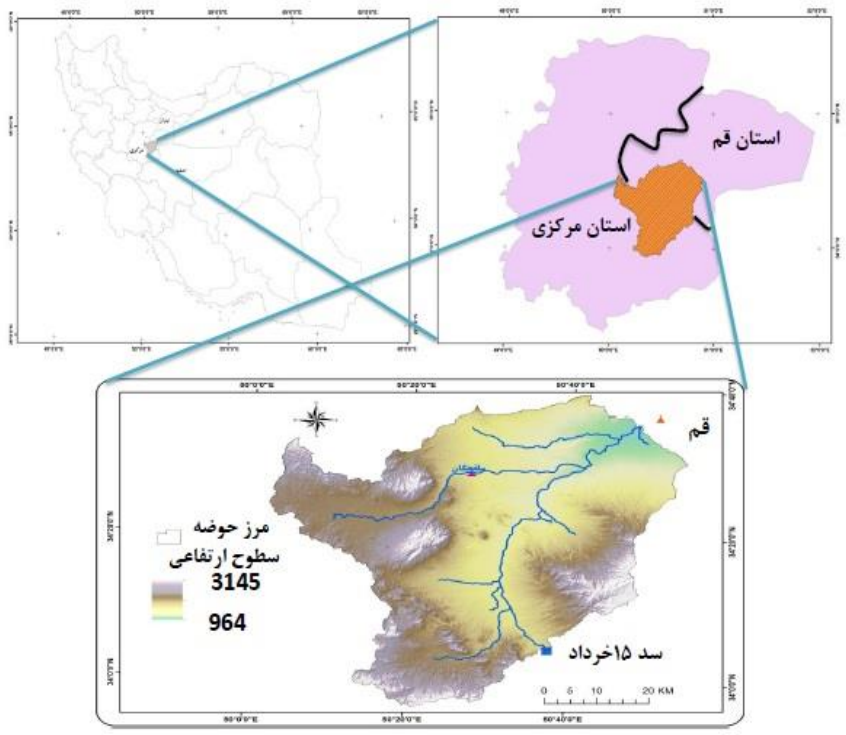
مواد و روش‌ها

ـ معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبخیز قمرود با وسعت ۳۵۶۳ کیلومترمربع (۳۵۶۳۰۰ هکتار)، و از نظر تقسیمات سیاسی در استان‌های مرکزی و قم و در موقعیت جغرافیـایی بین ″۳۳ ′۲ °۵۰ الی ″۲۹ ′۵۴ °۵۰ طول شرقی و ″۳۷ ′۵۷ °۳۳ الی ″۲۸ ′۳۹ °۳۴ عرض شمالی واقع شده است (شکل۱). حداقل ارتفاع حوضه ۹۶۴ متر، حداکثر ارتفاع آن ۳۱۴۵ متر است و شیب متوسط آن ۱۳/۶درصد می‌باشد. محیط حوضه ۴۵۲/۷ کیلومتر است و جزء حوضه‌ی آبریز اصلی فلات مرکزی ایران می‌باشد. محدوده‌ی مورد مطالعه، بخش انتهایی حوضه‌ی

1- distributed hydrologic model
2- Storm Water Management Model

آبخیز عظیم قمرود می‌باشد که از سد ۱۵ خرداد شروع و به ابتدای قسمت غربی شهر قم محدود می‌شود. پس از سد ۱۵ خرداد مسیر رودخانه از شمال‌غرب به شرق جریان می‌یابد و با عبور از محدوده‌ی روستای دودهک، به‌تدریج وارد استان قم شده و پس از دریافت رودخانه‌های سلمان و زواریان وارد شهر قم می‌شود و پس از خروج از شهر با پیوستن به قره‌چای به دریاچه‌ی نمک می‌ریزد. این حوضه در یک منطقه‌ی نیمه‌خشک با میانگین دمای ۱۶ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش ۱۷۴,۷ میلی‌متر واقع شده است. براساس نمودار اقلیم‌نمای آمبرژه، حوضه در منطقه معتدل واقع شده و براساس سیستم طبقه‌بندی کوپن نیز، در ناحیه‌ی استپ قرار دارد.



شکل (۱) موقعیت حوضه‌ی آبخیر قمرود در استان‌های قم و مرکزی کشور ایران

ـ روش تحقیق

روش‌ها و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فرایندی است خاص، شامل پیش‌بینی، ارزیابی و مقایسه‌ی نتایج راه‌حل‌های موجود و انتخاب قطعی یک راه‌حل برای رسیدن به اهداف مطلوب می‌باشد. برای تحلیل یک سیستم چندمعیاره باید عناصر آن را به خوبی شناخت و آنها را به طور دقیق تعریف کرد و سپس به مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل آن پرداخت. در تصمیم‌گیری چندشاخصه، تعدادی گزینه‌ی تصمیم‌گیری بر اساس تعدادی شاخص ارزیابی شده و بهترین گزینه انتخاب می‌شود (یون[1]، ۱۹۹۵: ۶۵). برای انجام این پژوهش، ابتدا داده‌ها و اطلاعات ورودی مدل (WASPAS) شامل داده‌های مدل رقومی ارتفاع (DEM)، زمین‌شناسی، توپوگرافی، خاک، کاربری اراضی، عمق آب‌های زیرزمینی و... تهیه شد. داده‌های آماری مربوط به دما و بارش و میزان تبخیر و تعرق از ایستگاه‌های هواشناسی منطقه جمع‌آوری و دسته‌بندی شد و مورد مطالعه قرار گرفت. با استفاده از داده‌های مذکور به تهیه‌ی نقشه‌های موضوعی مختلف منطقه در محیط نرم‌افزار (Arc Gis) اقدام گردید. فلسفه‌ی بهره‌وری هر چه بیشتر از سیلاب، همگام با کاستن زمان سیل به کمترین اندازه از مهم‌ترین عوامل تعییین محل پخش آب می‌باشد (کوثر، ۱۳۷۴: ۳۷). اطمینان از مناسب بودن موقعیت و شرایط توپوگرافی و فیزیکوشیمیایی اراضی محل ذخیره از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. بدیهی است که استفاده از تمام مشخصه‌های مؤثر در مدل‌های جانمایی میسّر نیست بنابراین با توجه به اهدفی که در این تحقیق دنبال می‌شود، بیشتر عواملی مدنظر است که از بروز طغیان‌ها در پایین‌دست رودخانه جلوگیری کنند و نیز نقش مؤثرتری در تغذیه‌ی سفره آب‌های زیرزمینی داشته باشند. بنابراین در این تحقیق از یازده معیار، مطابق (جدول ۱) برای این امر استفاده شده است.

مدل Weighted Aggregates Sum Product Assessment یا (WASPAS) یکی از تکنیک‌های نوین تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) است که در سال ۲۰۱۲ ارائه شده است و می‌تواند در مسائل پیچیده تصمیم‌گیری کارایی بالایی داشته باشد. مدل

1- Yoon

(WASPAS) از ترکیب مدل‌های، تصمیم‌گیری چندمعیاره WSM (مدل جمع وزنی) و WPS (مدل تولید وزنی) تشکیل شده است و از میزان دقت و توانایی رتبه‌بندی به مراتب بهتری نسبت به آن دو برخوردار می‌باشد و کاربرد آن دارای چهار مرحله است (زاوادسکاس[1] ،۲۰۱۲: ۳). در این مدل ترکیبی تلاش شده است که یک معیار ترکیبی برای تعیین اهمیت نهایی هر گزینه به کار برده شود که در این معیار ترکیبی سهم برابری از WSM و WPS برای ارزیابی نهایی گزینه‌ها داده شود (ساپراوکاس[2]،۲۰۱۱: ۱۹۳). در مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره با m گزینه و n معیار تصمیم‌گیری تعریف می‌شود. wj نشانه اهمیت نسبی معیار و xij ارزش عملکرد گزینه I بر حسب معیار j است؛ بنابراین اهمیت نسبی نهایی گزینه i، در تابع زیر به عنوان Qi نشان داده شده و در آن xij به عنوان مقدار نرمالیزه‌شده معیار j ام از گزینه i تعریف شده است (تریانتافیلو[3]،۲۰۰۰: ۲۸۰).

جدول(۱) معیارهای استفاده‌شده در جانمایی پهنه‌های مستعد ذخیره سیلاب و منابع آن

ردیف	نوع داده	منابع داده
۱	شیب	مستخرج از (palsar dem 12.5 m)
۲	خاک	نقشه‌ی ۲۵۰/۰۰۰ فائو، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور
۳	کاربری اراضی	نقشه‌ی ۲۵۰/۰۰۰، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری قم
۴	عمق آب زیرزمینی	براساس داده‌های ۷ چاه پیزومتری منطقه، شرکت آب منطقه‌ای قم
۵	لندفرم	تفسیر بصری از تصاویر ماهواری لندست و Earth Gooogle
۶	قابلیت نفوذپذیری	سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری قم
۷	زبری (Roughness)	مستخرج از (palsar dem 12.5 m)
۸	شاخص تجمعی جریان	مستخرج از (palsar dem 12.5 m)
۹	لیتولوژی	نقشه‌ی ۱۰۰/۰۰۰، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور
۱۰	ارتفاع	مستخرج از (palsar dem 12.5 m)
۱۱	تراکم زهکشی	مستخرج از (palsar dem 12.5 m)

1- Zavadskas
2- Saparauskas
3- Triantaphyllou

ـ گام‌های اجرایی مدل (WASPAS)

گام اول: تشکیل ماتریس وضع موجود براساس شاخص‌های طراحی‌شده؛

گام دوم: استاندارد کردن ماتریس وضع موجود بر اساس روش بی‌مقیاس‌سازی نورم؛

از آنجایی که شاخص‌های مورد بررسی در این تحقیق دارای جهت مثبت و منفی هستند از توابع (۱ریال۲) برای استاندارد کردن استفاده شده است.

رابطه‌ی (۱)
$$rij = \frac{xij}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x^2\mathrm{ij}}} \rightarrow (\forall j = 1,2,..,n)$$

رابطه‌ی (۲)
$$r_{ij} = \frac{\frac{1}{x_{ij}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} \frac{1}{x_{ij}^2}}} \rightarrow (\forall j = 1,2,..,n)$$

گام سوم: محاسبه وزن هریک از شاخص‌ها بر اساس روش وزن‌دهی آنتروپی شانون.

گام چهارم: برآورد واریانس مقادیر معیارهای استاندار شده اولیه از طریق تابع (۳).

رابطه‌ی (۳)
$$\sigma^2\ (\overline{\mathrm{X_{ij}}})=(0.05\ \ \overline{\mathrm{X_{ij}}})2$$

رابطه‌ی (۴)
$$\sigma^2\left(Q_i^{(1)}\right)=\sum_{j=1}^{n} \overline{x_{ij}}\ w_j^2\ \sigma^2(\overline{\mathrm{X_{ij}}})$$

رابطه‌ی (۵)
$$\sigma^2\left(Q_i^{(2)}\right) = \sum_{j=1}^{n}\left[\frac{\prod_{j=1}^{n}\left(\overline{x_{ij}}\right)^{wj} \times w_{ij}}{\left(\overline{x_{ij}}\right)^{wj}\left(\overline{x_{ij}}\right)^{(1-w_j)}}\right] \sigma^2\left(x_{ij}\right)$$

گام پنجم: محاسبه واریانس‌های $Q^2\ (Q_i^{(1)})$ و $Q^2\ (Q_i^{(2)})$ از طریق توابع (۵،۴).

گام ششم: محاسبه مقدار (λ) و Q_i برای رتبه‌بندی گزینه‌ها به صورت توابع (۶،۷).

رابطه‌ی (۶)

$$\lambda = \frac{\sigma^2\left(Q_i^{(2)}\right)}{\sigma^2\left(Q_i^{(1)}\right) + \sigma^2\left(Q_i^{(2)}\right)}$$

رابطه‌ی (۷)

$$Q_i = \lambda \sum_{j=1}^{n} x_{ij}\overline{w_j} + (1-\lambda)\prod_{j=1}^{n}\left(\overline{x_{ij}}\right)^{wj} \quad \lambda = 0, \ldots, 1$$

بحث و نتایج

متغیرهای مختلف در جانمایی مکان مناسب جهت ذخیره‌ی سیلاب نقش‌های متفاوتی دارند. بالا بودن مقادیر کمّی برخی از آنها جهت ذخیره و نفوذ سیلاب مناسب بوده و برخی دیگر نقش منفی ایفا می‌کنند. علاوه بر این بعضی داده‌ها نقش کیفی دارند که وضعیت هریک آنها در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول (۲) نقش متغیرها در تعیین مکان مناسب برای ذخیره سیلاب

ردیف	متغیرها	نوع تاثیر	ردیف	متغیرها	نوع تأثیر
۱	ارتفاع	منفی	۷	شاخص تجمعی جریان	مثبت
۲	شیب	منفی	۸	خاک	کیفی
۳	زبری	منفی	۹	کاربری اراضی	کیفی
۴	تراکم زهکشی	مثبت	۱۰	لندفرم	کیفی
۵	عمق آب زیرزمینی	مثبت	۱۱	لیتولوژی	کیفی
۶	قابلیت نفوذپذیری سطحی	مثبت			

ـ معیار کاربری اراضی

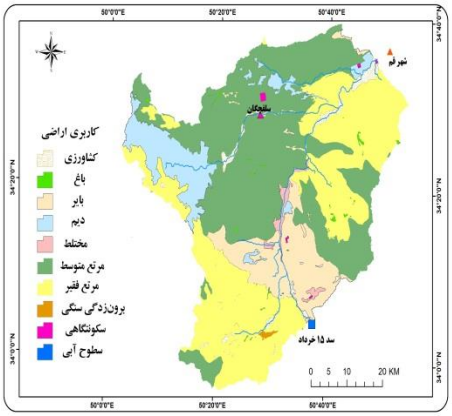
تغییرکاربری اراضی به عنوان یکی از چالش‌های عمده‌ی قرن بیست و یکم است و برخی حتی اعتقاد دارند تأثیرات آن نسبت به پدیده‌ی اقلیم شدیدتر خواهد بود. تأثیرات هیدرولوژیک کاربری اراضی و مدیریت گیاهی در قالب تغییر در عمق رواناب، دبی حداقل، دبی حداکثر، رطوبت خاک و تبخیر و تعرق آشکار می‌شود (سیکا[1] و همکاران،

1- Sikka

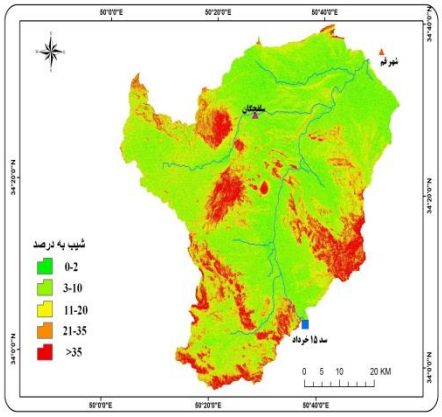
۲۰۰۳: ۱۹). نوع کاربری اراضی در جانمایی مکان‌های مناسب جهت پخش و ذخیره‌ی سیلاب از اهمیت بالایی برخوردار است. اراضی با کاربری‌های باغ و زمین‌های کشاورزی، مناطق مسکونی، جاده‌ها و مناطقی که دارای عوامل محدودکننده‌ی پخش سیلاب هستند به عنوان اراضی نامناسب برای این امر می‌باشند. در منطقه‌ی مورد مطالعه اراضی با کاربرهای مذکور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای شناسایی و حذف گردیدند. از بین کاربری‌های مختلف، مراتع از نظر تغذیه‌ی مصنوعی و پخش سیلاب مناسب‌تر از بقیه‌ی کاربری‌ها در نظر گرفته شد. با توجه به مطالعات انجام‌شده ۷۸ درصد از مساحت حوضه شامل مراتع فقیر تا متوسط می‌باشد، ۱۱ درصد منطقه‌ی بایر، ۸/۴ درصد آن به کشت دیم اختصاص یافته و مابقی سطوح حوضه را کشت آبی، باغات، مناطق مسکونی، برون‌زدگی‌های صخره‌ای و پهنه‌های آبی تشکل می‌دهند (شکل ۲).

ـ معیار شیب

یکی از عوامل مؤثر در مکان‌یابی عرصه‌های مستعد پخش سیلاب و تغذیه‌ی آب‌های زیرزمینی، شیب است که نقش بسیار مهمی در کنترل عواملی مانند سیل‌خیزی و نفوذپذیری دارد. هر گاه شیب و عمق آب کاهش یابد سرعت آب نیز کم شده و فرصت کافی برای نفوذ در خاک را خواهد داشت. با افزایش شیب، زمان تأخیر حوضه و میزان نفوذ آب در خاک کم شده و در نتیجه حجم سیلاب و رواناب سطحی افزایش می‌یابد. براساس تجربیات محققان مناسب‌ترین شیب برای پخش سیلاب در حد صفر تا سه درصد است. بر اساس محاسبات انجام شده از روی مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه، تقریباً ۵۸ درصد مساحت حوضه در بین شیب‌های صفر الی ۱۰ درصد واقع شده است (شکل ۳). شیب متوسط حوضه نیز ۱۳/۶ درصد می‌باشد. در جدول (۳) شیب به روش کلاس‌بندی، حوضه ارائه شده است.



شکل (۲) نقشه‌ی کاربری اراضی حوضه



شکل (۳) نقشه‌ی شیب حوضه

جدول (۳) شیب به روش کلاس‌بندی حوضه‌ی آبخیز قمرود

کلاس شیب (٪)	۰-۲	۳-۱۰	۱۱-۲۰	۲۱-۳۵	۳۵-۶۰
مساحت هر یک از کلاس‌ها(km^2)	۲۸۰/۹	۱۷۷۴/۴	۸۰۳/۲	۳۸۷/۶	۳۱۶/۹
مساحت هر یک از کلاس‌ها (٪)	۷/۹	۴۹/۸	۲۲/۶	۱۰/۸	۸/۹

ـ معیار ارتفاع

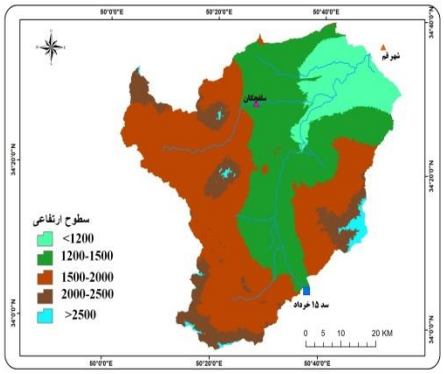
مدل رقومی ارتفاع (DEM)[1] در واقع شبکه‌بندی زمین و تخصیص ارتفاع به هر شبکه یا سلول است. در این صورت لازم است پهنه‌ی زمین شبکه‌بندی و ارتفاع متوسط هر سلول آن مشخص شود. بدیهی است هر چه اندازه‌ی سلول‌ها کوچک‌تر باشند دقّت مدل بالاتر است (الوانکار،۱۳۹۰: ۱۳۹). با تهیه مدل رقومی ارتفاع ۱۲/۵ متر منطقه و با تعیین مرز حوضه در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نقشه‌ی طبقات ارتفاعی منطقه‌ی مورد مطالعه مشخص گردید (شکل۴). حداقل ارتفاع حوضه‌ی قمرود در شرق آن با ۹۶۴ متر و حداکثر ارتفاع آن مربوط به بلندترین قله‌های غرب حوضه با ارتفاع ۳۱۴۵ متر و با اختلاف ارتفاع ۲۱۸۱متری، از سطح دریا واقع شده است. بیشترین

1- Digital Elevation Model

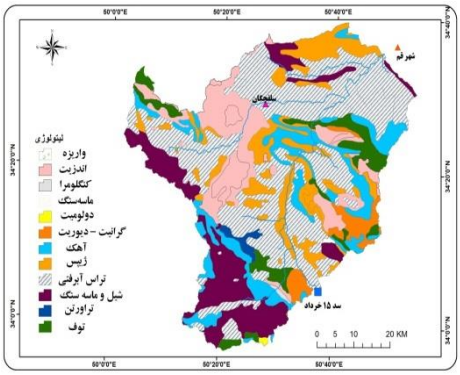
مساحت حوضه با ۳۲/۵ درصد در بین ارتفاع ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر قرار دارد و حداقل مساحت حوضه با ۱ درصد در ارتفاعی بالاتر از ۲۵۰۰ متر واقع شده است (جدول۴).

جدول (۴) توزیع طبقات ارتفاعی حوضه‌ی آبخیز قمرود

ارتفاع (متر)	<۱۲۰۰	۱۲۰۰-۱۵۰۰	۱۵۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۲۵۰۰	>۲۵۰۰
مساحت طبقات ارتفاعی (km^2)	۴۰۶/۹	۱۱۵۸/۱	۱۵۷۲/۴	۳۷۹/۶	۴۶
مساحت طبقات ارتفاعی (٪)	۱۱/۴۲	۳۲/۵	۴۴/۱	۱۰/۶	۱/۳



شکل (۴) نقشه‌ی سطوح ارتفاعی حوضه



شکل (۵) نقشه‌ی لیتولوژی حوضه

ـ معیار لیتولوژی

ویژگی‌های زمین‌شناسی به دلیل تأثیر مستقیم بر میزان نفوذپذیری و رواناب سطحی، یکی از عوامل مهم در پدیده سیل حوضه‌های آبخیز است. جهت مدیریت بهینه‌ی سیستم‌های حفاظت آب و خاک، به‌ویژه پخش سیلاب، نقش و اهمیت سازندهای زمین‌شناسی در تولید و عرضه رسوب به جریان‌های سطحی باید مشخص شود (کاسمر و بسر[1]، ۱۹۹۵). اصلی‌ترین سازند حوضه‌ی آبخیز قمرود، پادگانه‌های آبرفتی قدیم و جدید، مخروط‌افکنه‌های مرتفع و پست می‌باشند که تقریباً ۳۷/۵ درصد از مساحت حوضه را شامل می‌شوند. با توجه به جوان بودن آبرفت‌های مذکور مناسب برای پخش سیلاب

1- Kasimir & Besr

می‌باشند. پس از این سازندها، شیل، ماسه‌سنگ، مارن، سازند قرمز بالایی، کنگلومرا همراه با میان‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ و رس (سازند هزاردره)، توف، گرانیت و گرانودیوریت به ترتیب بیشترین مساحت حوضه را به خود اختصاص داده‌اند (شکل۵).

ـ معیار عمق آب زیرزمینی

عمق آب زیرزمینی نشان‌دهنده‌ی ضخامت لایه خشک است، هرچه این لایه دارای ضخامت کمتری باشد پتانسیل تغذیه کاهش می‌یابد. نقشه‌ی ضخامت آبرفت خشک، با استفاده از داده‌های عمق‌آب زیرزمینی هفت چاه پیزومتری موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه و انطباق آنها با نقشه‌های تراز و توپوگرافی تهیه گردید (شکل۶).

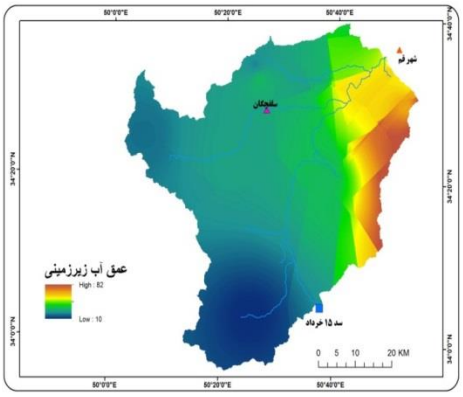
جدول (۵) ارتفاع سطح آب چاه‌های پیزومتری حوضه‌ی آبخیز قمرود

نام چاه	بهرام‌آباد	چال‌گنبد	راهجرد	فولادگستر	هموارتکیه	خوراک آباد	حسین‌آباد
ارتفاع سطح آب (متر)	۲۸/۲	۲۸/۷	۲۴/۱	۱۹/۸	۵۸	۱۷	۱۰

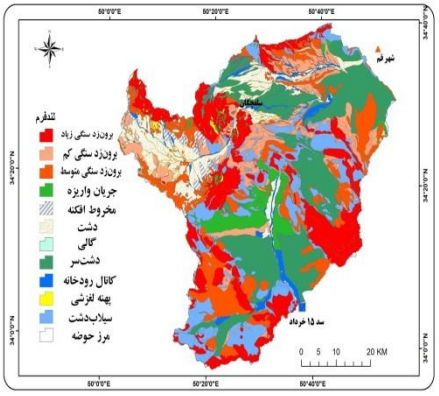
ـ معیار بافت خاک

در زمینه‌ی اجرای عملیات پخش سیلاب، خاک‌های سبک و نیمه‌سبک که دارای ظرفیت نگهداری خوب باشند مناسب‌ترند. برای پخش سیلاب، خاک‌ها باید از نظر نفوذپذیری و ظرفیت نگهداری از شرایط مطلوبی برخوردار و عمیق باشند. بهترین خاک‌ها را می‌توان لومی تا لومی شنی دانست (امیدوار، ۱۳۸۶: ۱۹۴). خاک منطقه مورد مطالعه از دو قسمت عمده لیمونی[1] با مساحت ۲۴۲۷/۳ کیلومترمربع و رسی لیمونی با مساحت ۱۱۳۵/۷ کیلومترمربع تشکیل شده است. خاک لیمون از ۴۳٪ ماسه، ۲۹٪ لیمون و ۲۸٪ رس تشکیل شده نسبتاً نرم و کمی چسبنده می‌باشند و خاک رسی لیمونی از ۳۶٪ ماسه، ۳۳ ٪ لیمون و ۳۲٪ رس تشکیل یافته، که این خاک‌ها نرم و چسبنده و کمی شکل‌پذیر می‌باشند.

1- silt



شکل (۶) نقشه‌ی عمق آب زیرزمینی حوضه



شکل (۷) نقشه‌ی لندفرهای حوضه

ـ معیار لندفرم

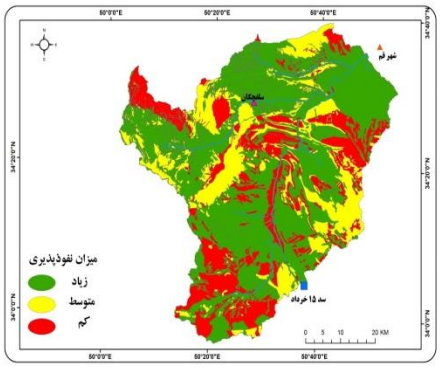
بیشترین میزان تغذیه در واحد سطح در ابتدای مخروط‌افکنه، در نتیجه بافت درشت رسوبات که از نفوذپذیری بسیاری برخوردار هستند، صورت می‌گیرد (کوثر، ۱۳۷۴: ۵۲۲). در حوضه‌ی مورد مطالعه‌ی پهنه دشت با ۵۱,۶ درصد، تپه ۲۶,۵درصد و کوهستان با ۱۹ درصد، واحدهای مختلف ژئومورفولوژیکی حوضه‌ی مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند (شکل۷).

جدول(۶) وزن هر یک از لندفرم‌های حوضه

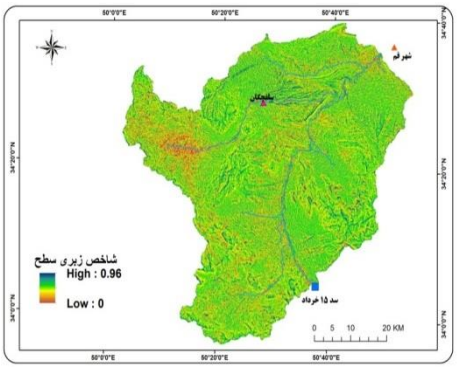
ردیف	نوع لندفرم	وزن	ردیف	نوع لندفرم	وزن
۱	برون‌زدگی سنگی ٪۲۵	۰/۲۵	۷	گالی	۰/۳۵
۲	برون‌زدگی سنگی ٪۵۰	۰/۱	۸	دشت سر	۰/۴۵
۳	برون‌زدگی سنگی ٪۷۵	۰	۹	کانال رودخانه‌ای	۰/۵۰
۴	جریان واریزه‌ای	۰/۳	۱۰	لغزش	۰/۱
۵	مخروط‌افکنه	۱	۱۱	سیلاب‌دشت	۰/۸
۶	دشت	۱			

ـ معیار قابلیت نفوذپذیری سطحی

هدایت هیدرولوژیکی بیان‌کننده‌ی میزان نفوذ آب در خاک جهت رسیدن به آب زیرزمینی است و به نوع، اندازه، شکل ذرات تشکیل‌دهنده‌ی مواد رسوبی و طرز قرارگرفتن آنها نسبت به یکدیگر بستگی دارد (امیری و یعقوبی، ۱۳۸۵: ۹۷). نفوذپذیری و عمق زیاد را از ویژگی‌های خاک‌های خوب برای پخش سیلاب می‌باشد (کوثر، ۱۳۷۴: ۳۷). جدول (۸) توزیع میزان نفوذپذیری سطوح حوضه‌ی آبخیز قمرود را نشان می‌دهد.



شکل (۸) نقشه‌ی میزان نفوذپذیری حوضه



شکل (۹) نقشه‌ی شاخص زبری سطح حوضه

جدول (۸) توزیع میزان نفوذپذیری سطوح حوضه‌ی آبخیز قمرود

سطح نفوذپذیری	زیاد	متوسط	کم
مساحت سطوح (کیلومتر مربع)	۲۰۳۹	۸۰۶	۷۱۸
درصد سطوح	۵۷/۳	۲۲/۶	۲۰/۱

ـ معیار شاخص زبری[1] یا موقعیت توپوگرافیکی[2] (TPI)

شاخص موقعیت توپوگرافیکی یا زبری توپوگرافیکی عبارت از تفاوت بین ارزش هر پیکسل در مدل ارتفاع رقومی با متوسط ارتفاع در فیلتر و همسایگی‌های مجاور آن

1- Roughness
2- Topographic Position Index

پیکسل (مک‌کین[1] و همکاران، ۲۰۰۴: ۳۴۰). با توجه به اعداد به‌دست آمده مناطق با TPI منفی نشان‌دهنده‌ی توپوگرافی کم‌ارتفاع (تقعر و گوال‌ها) است در حالی که TPI مثبت نشان‌دهنده‌ی توپوگرافی مرتفع (محدب و ستیغ‌ها) می‌باشد. شکل (۹) نقشه‌ی شاخص زبری منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

ـ معیار شاخص تجمعی جریان (fa)

برای محاسبه‌ی جریان تجمعی (fa)[2] ابتدا نقشه‌ی جهت جریان با استفاده از مدل رقومی ارتفاع حوضه در محیط (GIS) آورده شد و در مرحله‌ی بعد، نقشه‌ی جریان تجمعی[3] با استفاده از نقشه‌ی جهت جریان تهیه گردید و در نهایت، جریان تجمعی در اندازه‌ی شبکه‌های مدل رقومی ارتفاع بر حسب متر ضرب شد.

ـ معیار تراکم زهکشی

میزان تراکم زهکشی، یک شاخص مهم در تعیین شدّت سیلاب‌ها، میزان بار رسوبی، بیلان آب در کل حوضه و به طور کلی در چگونگی فعالیت فرایندهای رواناب سطحی است(زاهدی و بیاتی، ۱۳۸۷: ۴۵). هرچه قدر تراکم زهکشی زیادتر باشد سرعت تجمع رواناب سریع‌تر شده و منحنی صعود هیدروگراف دارای شیب تندتری می‌گردد (امیدوار، ۱۳۹۰ :۱۹۱). در مناطقی از حوضه به‌خصوص در ارتفاعات که دارای مصالح سخت شامل رسوبات آهکی، سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی و همچنین مصالح کنگلومرایی و ماسه‌سنگی با سیمان سخت همراه با دامنه‌های واریزه‌ای و قطعات سنگی به همراه توسعه‌ی سیستم‌های درز و شکاف، دارای نفوذپذیری بالا و تراکم زهکشی پایین می‌باشند و در مناطقی که از سازندهای نرم شامل لایه‌های مارنی، ژیپسی و رسی تشکیل شده‌اند از نفوذپذیری پایین و تراکم زهکشی بالایی برخوردارند.

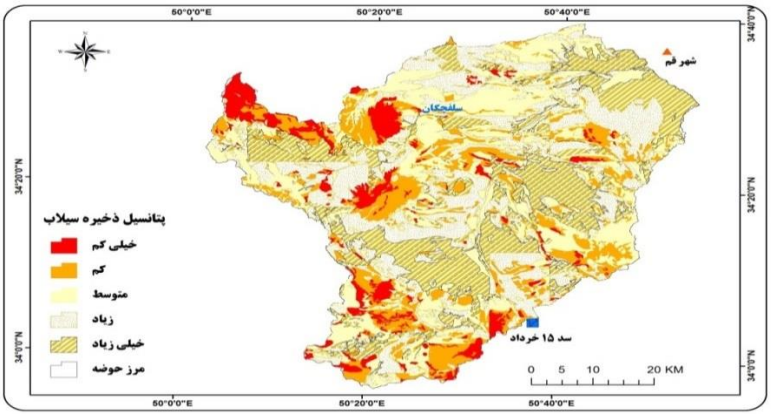
1- McKean
2- Flow Accumulation
3- Flow Direction

ـ وزن‌دهی به معیارها

وزن‌دهی برای هر یک از معیارها بر اساس اهمیت نسبی آنها انجام شده و نتـایج آن نیـز در جدول (۹) درج شده است، وزن‌دهی به معیارهای یازده‌گانه نیز معادل عدد ۱ در نظر گرفته شده است.پس از تعیین وزن هر معیار، ارزیابی چنـد معیـاری سیسـتم اطلاعـات جغرافیایی با استفاده از عملیات همپوشانی و با اسـتفاده از مـدل (WASPAS)، نقشـه‌ی نهایی (سنتز) پتانسیل اراضی نسبت به ذخیره سیلاب به دست آمده است (نقشـه‌ی۱۰). با توجه به جدول (۹) از بین معیارهای مختلف عوامل شیب، خاک و کاربری اراضـی بـه ترتیب با بیشترین نقش و از طرف دیگر تـراکم زهکشـی و ارتفـاع بـا کمتـرین اهمیـت، جهت جانمایی پهنه‌های مستعد ذخیره‌ی سیلاب، در نظر گرفته شدند. بر اساس نقشه‌ی نهایی، مناطقی با شیب ۰ تا ۱۰ درصد و مراتع فقیر تا متوسط با اشکال ژئومورفولوژیکی دشت‌سر، مـخروط‌افکنه و دشـت بـا سازنـدی اغلـب متشـکّل از تـراس‌هـای آبرفتـی مناسب‌ترین پهنه‌های ذخیره‌ی سیلاب شناخته شدند.

جدول(۹) اهمیت نسبی معیارها و وزن‌های تعلق گرفته به هر یک از معیارها

شماره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
معیار	شیب	خاک	کاربری اراضی	عمق آب زیرزمینی	لندفرم	قابلیت نفوذپذیری سطحی	زبری(Roughness)	شاخص تجمعی جریان	لیتولوژی	ارتفاع	تراکم زهکشی
نمره	۰/۱۳۶	۰/۱۲	۰/۱۰۶	۰/۱۰۵	۰/۰۹۹	۰/۰۹۱	۰/۰۸۹	۰/۰۷۸	۰/۰۷۶	۰/۰۶	۰/۰۴



شکل (۱۰) نقشه‌ی پتانسیل ذخیره‌ی سیلاب حوضه‌ی آبخیز قمرود

نتیجه‌گیری

پراکندگی ناموزون مکانی و زمانی بارش در مناطق خشک و نیمه‌خشک، علاوه بر ایجاد سیلاب‌های مخرّب موجب هدر رفتن رواناب سطحی می‌شود. از این رو مهار رواناب سطحی، ذخیره و بهره‌برداری مناسب از آن می‌تواند راهکار قابل توجهی برای جلوگیری از هدر رفت آب باشد. از طرف دیگر با توجه به خشکسالی‌ها و کمبود آب در کشور، سیلاب ظرفیتی است که می‌توان آن را مدیریت، مهار و بهره‌برداری کرد. جانمایی پهنه‌های مناسب برای استفاده‌ی بهینه از سیلاب یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده‌ی موفقیت طرح‌های کنترل سیلاب در بالادست مناطق شهری می‌باشد. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) قابلیت بالایی در حل مسائل تصمیم‌گیری از جمله جانمایی پهنه‌های ذخیره سیلاب دارند. در این تحقیق از روشی نوین با هدف تعیین اولویت و اهمیت شاخص‌های مؤثر در تصمیم‌گیری و تحلیل همپوشانی شاخص‌ها در راستای تعیین ارجحیت مطلوب گزینه‌های مکانی استفاده شده است. با بهره‌گیری از مدل (WASPAS) تلاش شده است که یک معیار ترکیبی برای تعیین اهمیت نهایی هرگزینه به کار برده شود که در این معیار ترکیبی، سهم برابری از مدل جمع وزنی و مدل تولید وزنی برای ارزیابی نهایی گزینه‌ها داده شود. از نقاط قوت مدل (WASPAS)، می‌توان به

امکان تجزیه و تحلیل حجم زیادی از داده‌ها اشاره نمود که ناهمخوانی‌های ناشی از تنوع ماهیت معیارها را برطرف می‌کند و همچنین امکان مدل‌سازی مکانی این مدل در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی است که تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی را میسر نموده تا گزینه‌های مکانی بسیاری ارزیابی و تحلیل گردد. جانمایی نهایی پهنه‌های مستعد ذخیره سیلاب در حوضه آبخیز قمرود بر اساس دخالت وزن‌ها یا ارزش‌های نهایی هر یک از متغیرهای یازده‌گانه شیب، خاک، کاربری اراضی، عمق آب‌های زیرزمینی، لندفرم، قابلیت نفوذپذیری سطحی، زبری، شاخص تجمعی جریان، لیتولوژی، ارتفاع و تراکم زهکشی می‌باشد. عوامل شیب و کاربری اراضی به ترتیب با وزن‌های نسبی ۰/۱۳۶، ۰/۱۲ بیشترین اهمیت و تاثیر و تراکم زهکشی با کمترین اهمیت به مقدار ۰/۰۴، جهت جانمایی پهنه‌های مستعد ذخیره‌ی سیلاب، در نظرگرفته شدند. با تلفیق نتایج آنها از طریق مدل (WASPAS) موجب شناسایی پهنه‌های مستعد ذخیره سیلاب شد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که حوضه‌ی آبخیز قمرود، به لحاظ پتانسیل ذخیره‌ی سیلاب به پنج کلاس خیلی زیاد با ۲۴ درصد، زیاد ۲۸/۲ درصد، متوسط ۲۴/۹ درصد، کم ۱۵/۲ درصد و خیلی کم ۷/۷ درصد تقسیم می‌شود. بدین ترتیب نه منطقه‌ی بسیار مناسب در قسمت‌های مرکزی، جنوبی، شمالغربی و شرق حوضه جهت انحراف و ذخیره‌سازی سیلاب مشخص گردید. مناطق مذکور در بازدیدهای میدانی نیز جهت اهداف مورد نظر مناسب تشخیص داده شدند. از اهداف اصلی در جانمایی پهنه مناسب ذخیره سیلاب در بالادست رودخانه‌ی شهری قمرود، استفاده از این پهنه‌ها به‌عنوان مخازن تأخیری است که موجب کاهش پیک سیلاب و افزایش زمان اوج سیلاب می‌شود. این رویکرد عموماً در نواحی بالادست مناطق توسعه‌یافته‌ی شهری اعمال می‌گردد که امکان تعریض و تعمیق رودخانه در منطقه شهری برای عبور سیلاب فراهم نیست. با توجه به اینکه شناخت پهنه‌های ذخیره‌ی سیلاب واجد شرایط مورفولوژیکی و فرمی است بکارگیری شاخص‌های فرمی ضروری است و با توجه به رویه مدل‌سازی‌های مکانی، معیارهای فرمی باید ماهیت کمّی داشته باشند. در این پژوهش معیارهای شاخص زبری و تجمعی جریان به نوعی این وظیفه را داشتند که در بهبود نتایج تحقیق در مقایسه با تحقیقات مشابه مؤثر باشند.

منابع

ـ امیراحمدی، ابوالقاسم؛ محمدنیا، ملیحه و نگار گلشنی (۱۳۹۴)، **تحلیل حساسیت متغیرهای ژئومورفولوژی مؤثر بر سیلاب با استفاده از مدل HEC-HMS (زرچشمه - استان اصفهان)**، هیدروژئومورفولوژی، دوره‌ی۱، شماره‌ی ۳، صص ۴۲-۲۱.

ـ احمدی شرف، ابراهیم و مسعود تجریشی (۱۳۹۳)، **جانمایی حوضچه‌های ذخیره با استفاده از مدل شبیه‌ساز SWMM و تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی**، آب و فاضلاب، شماره‌ی ۶، صص ۶۶- ۵۷.

ـ امیری، منوچهر و بهروز یعقوبی (۱۳۸۵)، **ارزیابی عرصه‌های پیشنهادی برای پخش سیلاب در علی‌آباد دمق – ملایر**، فصلنامه‌ی زمین‌شناسی ایران، ۱۳۸۵، دوره‌ی ۲، شماره‌ی ۴، صص ۹۹-۸۹.

ـ روغنی، محمد؛ طباطبایی، سیدمحمودرضا و صمد شادفر (۱۳۸۹)، **ارزیابی عملیات آبخیزداری و معرفی روشی در تعیین سازه‌های کنترل سیل، انجمن آبخیزداری ایران**، زمستان ۱۳۸۹، سال ۴، شماره‌ی ۱۳، صص ۶۰-۵۱.

ـ زاهدی، مجید و مریم بیاتی خطیبی (۱۳۸۷)، **هیدرولوژی**؛ انتشارات سمت.

ـ شایان، سیاوش و محمد شریفی (۱۳۸۵)، **مدل به عنوان تکنیکی در ژئومورفولوژی**، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره‌ی ۸۰، صص۱۲۰-۱۰۲.

-Fang, Z.,Andrea,Z.,and Philip,B., (2010), **Using a Distributed Hydrologic Model to Evaluate the Location of Urban Development and Flood Control Storage**, J. Water Resources Planning and Management, Vol.136,No.5, PP.597-601.

-Kasimir M., Besr, I. and Sowa, A., (1995), **Influence of geology, control of erosion and sediment yield, Human activities of the environment in selected areas in Southern Nigeria**, 6th International Symposium on River Sediment, New Dehli, India.

-Mahmoud, Shereif H., A.A. Alazba and Amin, M., (2014), **Identification of potential sites for groundwater recharge using a GIS-based**

decision support system in Jazan Region-Saudi Arabia, J. Water Resources Planning and Management,Vol. 28, No.10, PP. 3319-3340.

-McKean.J and Roering. J., (2004), **Objective landslide detection and surface morphology mapping using high-resolution airborne laser altimetry**, Geomorphology, Vol. 57, No.3-4, PP. 331–351.

-Saparauskas, J., E.K. Zavadskas & Z. Turskis., (2001), **Selection of Facade's Alternatives of Commercial and Public Buildings Based on Multiple Criteria**, International Journal of Strategic Property Management, Vol. 15, No.2, PP. 189-203.

-Saraf, A.K. and Choudhury, P.R., (1998), **Integreted Remote Sensing and GIS Groundwater Exploration and Identification of Artificial Recharge Sites**, Int.J. Remote Sensing, Vol. 19, No.10, PP. 1825-1841.

-Sikka, A.K., Sarma, J.S., Sharda, V.N., Samraj, P. and Lakshmanam, V., (2003), **Low Flow and High Flow Responses to Converting Natural Grassland into Bluegum (Eucalyptus globules) in Nilgiris Watersheds of South India**, Journal of Hydrology, Vol. 270, No.1-2, PP.12-26.

-Triantaphyllou, E., (2000), **Multi-Criteria Decision Making: A Comparative Study**. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. ISBN 0-7923-6607-7.

-Yoon, K, Hwang, C.L., (1995), **Multiple Attribute Decision Making: An Introduction**, Sage Publications Inc.

-Zavadskas E.K, Turskis Z, Antucheviciene. J., (2012), **Optimization of weighted aggregated sum product assessment**, Elektronika ir Elektrotechnika, Vol. 122, No.6, PP. 3-6.