نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۲، شماره ۳، ۱۳۹۹، صفحات ۸۵۳-۸۶۳

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 12, Issue 3, 2020, Pages 853-863
DOI: 10.22092/ijwmse.2019.120353.1432

گزارش فنی

ارزیابی تأثیر چکدم بر روی خصوصیات هیدرودینامیکی سیل

احسان بذرافشان[۱]، الهام نقی‌پور[۲]، مینا دهقانی[۳]، امید نظری‌زاده سی‌سخت[۴]، مهدی سپهری[۵] و علی‌رضا ایلدرومی[۶*]

[۱ و ۵] دانشجوی دکتری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، [۲ و ۳] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، [۴] کارشناس ارشد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، [۶] دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۱۶ تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۳۰

چکیده

سیل به‌عنوان مهمترین و فراوان‌ترین مخاطرات محیطی است که می‌تواند موجبات خسارات شدید جانی و مالی را فراهم کند. در بسیاری از موارد تغییر کاربری اراضی موجب بروز سیل می‌شود. در این مطالعه، در حوضه گنبدچای برای بررسی تأثیر چکدم‌ها (عملیات مکانیکی آبخیزداری) بر روی سیل، ابتدا با استفاده از روش فازی‌سازی و AHP و ترکیب چهار نقشه شیب، ارتفاع، کاربری اراضی و نفوذپذیری نقشه پایه تهیه شد. در قدم بعدی با جانمائی چکدم‌ها و تفکیک این عملیات بر اساس ارتفاع و دامنه تأثیر هر کدام از این‌ها با استفاده از خطوط تراز ارتفاعی، نقشه مربوطه تهیه شد. در نهایت، با تلفیق نقشه مربوط به دامنه تأثیر چکدم‌ها با نقشه پایه به بررسی پهنه‌بندی سیل در منطقه مورد مطالعه پرداخته شد. نتایج گرچه در کل، تأثیر مثبت نه درصد و کمتر این چکدم‌ها را بر روی کاهش خطرات ناشی از سیل را در کاهش سیل نشان می‌دهد ولی این نتایج در کارهای اجرائی در مقایسه با کارهای پیشنهادی بسیار کم است که علت این امر را می‌توان در نامناسب بودن پراکندگی و تعداد کم عملیات اجرائی جست و جو کرد.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی سیل، عملیات مکانیکی، فازی‌سازی، گنبدچای، AHP

مقدمه

سیل به‌عنوان مهمترین بلایای طبیعی است که معمولا به خودی خود به‌وجود نمی‌آید. بلکه عمدتا تغییر نامناسب کاربری اراضی موجب بروز آن می‌شود و هر ساله خسارات جانی و مالی فراوانی را ایجاد می‌کند. محققین، سیل را از نظر خصوصیات استاتیکی و دینامیکی مورد بررسی قرار می‌دهند. هر یک از این خصوصیات، بسته به منطقه مورد بررسی از اهمیت خاص خود برخوردار است. به‌عنوان مثال، در حوضه‌های شهری بیشتر به خصوصیات هیدروستاتیکی سیل و در حوضه‌های طبیعی به خصوصیات هیدرودینامیکی سیل پرداخته می‌شود. پهنه‌بندی سیل به‌عنوان یکی از موارد و راه‌کارهای بررسی و کنترل در صورتی ثمربخش خواهد بود که همراه با اقدامات سازه‌ای باشد و با ارزیابی این اقدامات به بررسی کارا بودن این عملیات پرداخته می‌شود. اقدامات مهار سیلاب در آبخیزداری از طریق احداث سازه‌های کوچک و اجرای روش‌های بیولوژیکی مهار سیلاب در دور دست‌ترین نقاط حوزه آبخیز اجرا می‌شود که آگاهی از میزان تأثیرگذاری این اقدامات تنها با بهره‌گیری از مدل‌های توزیعی و منطقه‌ای مناسب، ممکن می‌باشد. در طی تحقیقات انجام‌شده تحت عنوان خطر سیل و مدیریت آن، پهنه‌بندی خطر

* مسئول مکاتبات: a.ildoromi@yahoo.com

را به‌عنوان شیوه کاملا مشخصی برای سامان‌دهی و مدیریت خطرهای ناشی از عوامل طبیعی، زیست-محیطی یا انسانی که از بین آن‌ها سیل نیز بسیار بارزتر است، تعریف کرد (USDA، ۱۹۸۶). مطالعه‌ای در غرب ترکیه به ارزیابی اثرات چکدم‌ها در حوضه‌های زوجی پرداخته است. در یکی از این حوضه‌ها ۲۰۰۰ چکدم در سرتاسر حوضه احداث شده بود و حوضه دیگر فاقد چکدم بود. نتایج مطالعات نشان داد که ضمن تأثیر بالای چکدم‌ها در کاهش دبی اوج، حدود ۶۳۰ تن رسوبات در پشت چکدم‌ها در طول مدت سه سال از مطالعات ترسیب شده بود که ضمن حفاظت خاک تأثیر بالایی در کیفیت آب رودخانه‌ها داشته است که می‌تواند زمینه‌ساز ایجاد سایر مشاغل مانند ماهیگیری شود (Norman و Niraula، ۲۰۱۵). در مطالعه‌ای دیگر به ارزیابی اثرات سناریوهای احداث چکدم‌ها و تغییرات کاربری اراضی در طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۹ بر روی نرخ تولید رسوب در حوضه هوانگفوچان پراداخته شد. محققین در ابتدا نرخ تولید رسوب را فقط در شرایط تغییر کاربری اراضی بررسی کردند که با تغییر عمده کاربری اراضی از زمین‌های بایر به سمت گراس لند حدود ۳۱/۴ درصد نرخ کاهش تولید رسوب خواهد بود و با احداث ۵۰۲ چکدم با حجم ۵۷۱ میلیون متر مکعب کاهش حدودا ۵۱/۹ درصدی در کاهش تولید رسوب خواهد داشت و از سوی دیگر، ترکیب این دو روش کاهش حدودا ۸۰ درصدی تولید رسوب را خواهد داشت. در نهایت، به این نتیجه رسیدند که گرچه چکدم‌ها می‌تواند راهکاری مناسبی برای عملیات اصلاحی مد نظر قرار گیرد، ولی با توجه به هزینه‌های احداث، تعمیر و نگهداری بهتر است که از ترکیب این دو روش استفاده شود (Zhao و همکاران، ۲۰۱۶). همچنین، با استفاده از مدل SWAT بررسی کمی تغییرات اقلیم، عملیات بیولوژیکی و سازه‌های مهندسی بر روی کاهش نرخ تولید رسوب انجام شد. نتایج مطالعات نشان داد که با تغییر کاربری اراضی و ایجاد سازه‌های مهندسی به‌ترتیب ۴۷/۸ و ۲۶/۶ درصد نرخ کاهش تولید رسوب مشاهده شده است. در یک گزارش فنی، به بررسی تأثیرات چکدم‌های اصلاحی بر روی جریانات گلی پرداختند، به این نتیجه رسیدند که این سازه‌ها می‌توانند نقش موثری را در کاهش تخریب این جریانات (با کاهش میزان شیب منطقه مورد مطالعه) داشته باشند. کاهش میزان شیب منطقه مورد مطالعه که همراه با پرشدن چکدم‌ها است، می‌تواند زمینه را برای ایجاد سایر کاربری‌های اراضی مانند کشاورزی فراهم آورد که کارایی دو تا سه برابر سایر عملیات آبخیزداری مانند تراس‌ها داشته باشد (Tian و همکاران، ۲۰۱۳). در پژوهش دیگری، تأثیر عملیات آبخیزداری در حوضه گلابدره با استفاده از مدل هیدرولوژیک بارش رواناب مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی نتایج نشان می‌دهد که تأثیر عملیات آبخیزداری در دوره بازگشت‌های پایین قابل توجه بوده است (Shieh و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین، در ارتباط با تأثیر سازه‌های اصلاحی بر دبی اوج سیلاب، با استفاده از مدل HEC-HMS در حوزه آبخیز کن نتایج پژوهش نشان داد با افزایش زمان تمرکز حاصله از به‌کارگیری ۵۶۳ سازه کوتاه، دبی اوج سیلاب به میزان ۳۱ درصد کاهش می‌یابد (Roshani، ۲۰۰۳). همچنین در مطالعه‌ای دیگر، در زمینه تأثیر الگوی توزیع مکانی عملیات آبخیزداری بر کنترل سیلاب، عوامل موثر بر سیل‌خیزی حوضه پل منجنیق با استفاده از مدل RAFTS مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله از این پژوهش، نشان از تأثیر قابله توجه الگوی توزیع مکانی عملیات کنترلی در کاهش سیلاب مناطق مختلف است (Roughani و همکاران، ۲۰۱۲). در مطالعه دیگر، از پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه آبخیز سراب دره شهر برای پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی با استفاده از داده‌های مدل SCS که بیشتر در حوضه‌های فاقد داده‌های هیدرومتری کاربرد دارد، استفاده شد. با توجه به نتایج حاصله، پهنه‌های پتانسیل سیل‌خیزی، حوضه مورد مطالعه به چهار طبقه با پتانسیل سیل‌خیزی کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد طبقه‌بندی شده که بیشتر مساحت حوضه در طبقه با پتانسیل سیل‌خیزی متوسط قرار دارد که ۳۵/۵ درصد از کل حوضه را دربر می‌گیرد (Servati و همکاران، ۲۰۱۳). در ارزیابی تأثیر سدهای اصلاحی اجراشده بر سیل‌خیزی و سیل‌گیری در حوزه آبخیز منشاد واقع در استان یزد از مدل HEC-HMS برای مقایسه تغییرات دبی و رفتار داغاب قبل و بعد از

اقدامات استفاده شد. هیدروگراف سیل با دوره بازگشت‌های دو تا ۱۰۰ ساله در وضعیت قبل و بعد از احداث عملیات شبیه‌سازی شد. بر اساس نتایج شبیه‌سازی، تاثیر سازه‌ها بر کاهش دبی اوج به‌طور متوسط ۹/۸۲ درصد و بر حجم سیل ۷/۷۵ درصد بوده است. از طرفی، با افزایش دوره بازگشت سیلاب، تاثیر سازه‌ها بر کاهش دبی اوج و حجم سیلاب کاهش یافته است، به‌طوری که میزان تغییرات در دوره بازگشت‌های دو تا ۱۰۰ ساله از ۱۴/۱۴ تا ۶/۹۵ بوده است (Soltani و همکاران، ۲۰۱۱).

در حوزه آبخیز حیدری نیز واقع در استان چهارمحال و بختیاری، در پی ارزیابی تأثیر عملیات آبخیزداری بر تغییر رفتار حوضه روی میزان ذخیره رواناب، کاهش سیلاب و سیل‌خیزی، در ابتدا مشاهدات صحرایی و ثبت مشخصات مکانی و فیزیکی سازه‌های احداث‌شده و تحلیل داده‌ها انجام شد و در مرحله بعد، با استفاده از مدل SCS و شبیه‌سازی سیلاب حوضه، اقدام به بررسی تأثیر سازه‌ها شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که سازه‌های احداث‌شده، ضمن ذخیره رواناب و تأثیر بر نفوذ عمقی جریان رواناب، قادر به کنترل سیلابی با دوره بازگشت حدودا ۵۰ ساله می‌باشد، در ضمن مدلی برای برآورد نسبی تعداد سازه‌های مورد نیاز متناسب با اهداف طرح پیشنهاد شد (Roughani، ۲۰۰۷). با توجه به حجم قابل توجه فعالیت‌های آبخیزداری انجام‌شده در حوزه‌های آبخیز کشور و اهمیت بررسی اثربخشی این فعالیت‌ها که توام با هزینه و صرف زمان بالایی بوده است، ضرورت بررسی نتایج عملیات آبخیزداری بر رفتار حوضه‌ها در ابعاد مختلف امری اجتناب‌ناپذیر است. لذا، در این پژوهش سعی شد، ضمن ارزیابی تأثیر چکدم‌ها به‌عنوان یکی از عملیات مکانیکی آبخیزداری، با استفاده از مقادیر کمی و کیفی حاصل از بررسی‌های صحرایی، نتایج روشنی از میزان تغییرات ایجادشده در پهنه‌بندی سیل در اختیار مدیران اجرایی قرار گیرد تا نقشی در بهبود کیفیت اجرا و ارائه برنامه‌های منطبق با اهداف آبخیزداری ایفا کنند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: حوضه مورد مطالعه، از زیرحوزه‌های آبخیز وسیع قره‌چای با مساحتی بالغ بر ۳۰ کیلومتر مربع از روستاهای دهستان جیهون‌دشت، بخش شراء واقع در استان همدان با مختصات جغرافیایی "۸ '۴۶ °۴۸ تا "۱۹ '۵۶ °۴۸ طول شرقی و "۱۱ '۴۹ °۳۴ تا "۴۲ '۵۶ °۳۴ عرض شمالی است. رودخانه اصلی حوضه از بلندترین ارتفاعات واقع در غرب و جنوب منطقه سرچشمه گرفته، پس از پیوستن به سایر آبراهه‌های دیگر واحدها، از نقطه خروجی خارج می‌شود. با توجه به دوره آماری ۲۵ ساله اداره کل هواشناسی استان همدان، آب و هوای گنبدچای دارای نوسان و اوضاع اقلیمی آن از لحاظ کمینه و بیشینه برف و باران در فصول سال متغیر است و در کل، دارای آب و هوای سرد کوهستانی است. حد متوسط برف سالانه بین ۱۵۵ تا ۲۴۵ میلی‌متر است و سرما تا ۳۰ درجه زیر صفر می‌رسد. میانگین دمای سالانه گنبدچای °C ۱۱/۳ ثبت شده است. همچنین، گرم‌ترین دمای این حوضه °C ۴۰+ و سردترین دمای آن °C ۳۲/۸- ثبت شده است. میانگین بارش سالانه گنبدچای نیز ۳۱۷/۷ میلی‌متر است.

روش پژوهش

تهیه نقشه پایه: شناخت پتانسیل نواحی از نظر سیل‌خیزی با تلفیق و ترکیب داده‌های هیدرولوژیکی، داده‌های هواشناسی، داده‌های سنجش از دور و با بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی رهیافت نوینی است که امروزه محققان برای پهنه‌بندی اراضی سیل‌خیز از آن استفاده می‌کنند (Mozafari، ۲۰۱۰). برای شناخت نواحی سیل‌خیز بسته به‌نوع منطقه مورد مطالعه از خصوصیات هدروستاتیکی و هیدرودینامیکی سیل استفاده می‌شود که برای مناطق غیرشهری بیشتر از خصوصیات هیدرودینامیکی سیل استفاده می‌کنند. به همین دلیل، در این مطالعه برای تهیه نقشه پایه از خصوصیات هیدرودینامیکی سیل استفاده شده است.

دامنه تأثیر عملیات مکانیکی آبخیزداری (چکدم‌ها): یکی از اقداماتی که در حوزه‌های آبخیز باعث افزایش زمان تمرکز یا ماندگاری آب‌های سطحی می‌شود، مربوط به احداث چکدم‌ها است. چکدم‌ها با توجه به میزان حجم مخزنی که دارند دارای اهمیت‌اند. در این پژوهش، پس از عملیات صحرایی و

جانمائی چکدم‌های اجرائی و پیشنهادی شکل ۱، با استفاده از خطوط تراز ارتفاعی و استفاده از روش تعمیم نقطه به سطح دامنه اثرات چکدم‌ها در کارهای پشنهادی و اجرائی مشخص شد. در منطقه مورد مطالعه، چون از حجم مخزن چکدم‌ها داده‌ای وجود نداشت، بنابراین، با توجه به این‌که ارتفاع چکدم‌ها رابطه نزدیکی با حجم مخازن دارند، نوع چکدم‌ها به چهار نوع بدون سد، سدهای کوتاه (۱/۵ متر)، متوسط (دو متر) و بلند (سه متر) تفکیک و در قدم بعدی با توجه به نوع ارتفاع سد، از روش AHP[1] به هر نوع سد امتیاز داده شد که در اینجا بیشترین امتیاز به چکدمی داده شد که کمترین تأثیر را در پهنه‌بندی خصوصیات هیدرودینامیکی سیل داشته باشد که در این خصوص مربوط به نوع بدون سد است. پس از امتیازدهی با AHP به فازی‌سازی با استفاده از تابع j شکل اقدام شد.

با توجه به این‌که جانمایی چکدم‌های پیشنهادی بر اساس پارامترهای شیب، ارتفاع، نفوذپذیری و کاربری اراضی صورت پذیرفته است، بیش از ۸۰ درصد آن‌ها در مقاطع U شکل و ۲۰ درصد در بسترهای V شکل قرار گرفت. در حالی‌که بیشتر چکدم‌های اجرایی در بسترهای V شکل و در بالادست‌ها واقع شده لیکن، چکدم‌های پیشنهادی در قسمت‌های میانی حوضه قرار گرفته است. به‌منظور ارزیابی دقیق و مقایسه چکدم‌های پیشنهادی و اجرایی به‌ویژه بر روی کاهش دبی و خارج شدن آن از درجه بحرانی چکدم، تیپ اجرایی برای هر دو زیرحوضه اجرایی و پیشنهادی در نظر گرفته شد و عملکرد آن‌ها با اعداد محاسباتی فرود و رینولدز بر روی کاهش مقدار دبی از حد بحرانی و سیلابی ارزیابی شد.

پارامترهای هیدرولیکی تاثیرگذار در میزان دبی‌های سیلابی خروجی از زیرحوضه‌ها به‌صورت شکل ۱ مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به مقدار دبی ۱۰ متر مکعب بر ثانیه برای حوضه تاثیر چکدم‌ها بر روی کاهش مقدار آن بررسی شد تا مشخص شود، چکدم‌های اجرایی و پیشنهادی هر کدام چه مقدار در کاهش سیل موثر بوده‌اند.

[1] Analytical Hierarchy Process

محاسبه پارامترهای هیدرولیکی موثر در دبی بیشینه لحظه‌ای به شکل زیر انجام شد.

محاسبه طول و عرض سرریز:

$$Q = 1.81 \times L \times H^{3/2} \quad (۱)$$

$$6.30 = 1.81 \times L \times (h_o)^{3/2} \quad (۲)$$

با استفاده از روش سعی و خطا و نقشه مقطع عرضی آبراهه در موقعیت سازه مقدار H و L به‌صورت ذیل محاسبه شد.

$$L = 3.5m \qquad h_o = 1.0m$$

$$H = h_o + f.b = 1 + 0.7 = 1.7m \quad (۳)$$

که در آن، $f.b$ ارتفاع آزاد معادل ۰/۷۰ متر و h_O هد آب روی سرریز است.

محاسبه طول حوضچه آرامش:

$$q_r = \frac{Q}{L} = \frac{6.3}{3.5} = 1.8m^3/\sec.m \quad (۴)$$

با برقراری رابطه برنولی بین دو نقطه ۱ و ۲ می‌توان y2 را محاسبه کرد.

$$1 + 0 + 3 = y_2 + \frac{v_2^2}{2g} + 0 \quad (۵)$$

$$4 = y_2 + \frac{v_2}{2 \times g} \quad (۶)$$

$$v_2 = \frac{q}{y_2} \quad (۷)$$

$$v_2 = \frac{1.8}{y^2} \quad (۸)$$

$$4.0 = y_2 + \frac{\left(\frac{1.8}{y_2}\right)^2}{2 \times g} \Rightarrow y_2 = 0.218m \quad (۹)$$

$$V_2 = \frac{1.8}{0.21} \Rightarrow V_2 = 8.57m/\sec \quad (۱۰)$$

محاسبه عدد فرود:

$$F_{r2} = \frac{v_2}{\sqrt{g \times y_2}} \frac{8.57}{\sqrt{9.81 \times 0.21}} = 5.97 \quad (۱۱)$$

محاسبه عمق ثانویه جهش آبی در مقطع:

$$\frac{y_3}{y_2} = \frac{1}{2}\left(-1 + \sqrt{1 + 8F_{r2}^2}\right) \quad (۱۲)$$

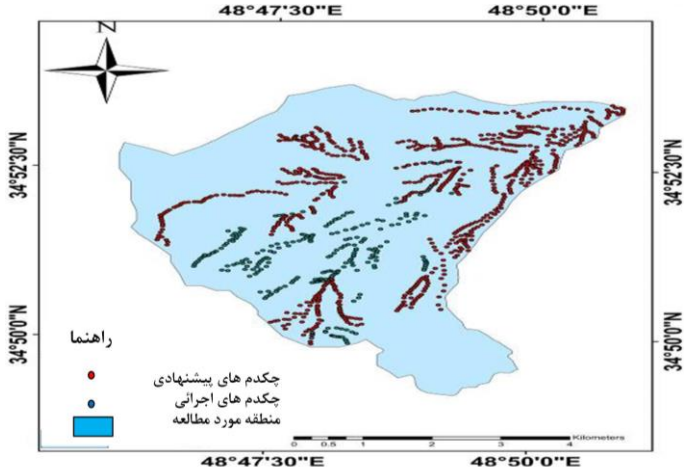
$$\frac{y_3}{0.21} = \frac{1}{2}\left(-1 + \sqrt{1 + 8 \times (5.97)^2}\right) \Rightarrow y_3 = 1.67m \quad (۱۳)$$

محاسبه طول جهش آبی (Lj): طبق توصیه USBR با توجه به رابطه زیر، مقدار طول جهش آبی برابر است با:

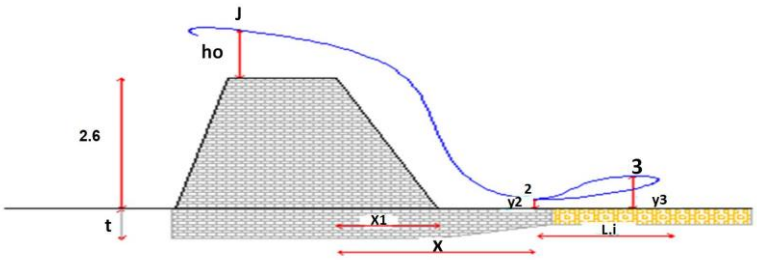
$$\frac{p_1}{\sigma}+\frac{V_1^2}{2g}+Z_1=\frac{p_2}{\sigma}+\frac{V_2^2}{2g}+Z_2 \quad (۱۴)$$

$$Lj=6(y_3-y_2)=6(1.67-0.21)\Rightarrow Lj=8.76m \quad (۱۵)$$

برای تمامی زیرحوضه‌ها این پارامترها محاسبه و با دبی خروجی از هر زیرحوضه مقایسه شد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، پارامترهای سازه‌ای و محاسبات آن‌ها در استخراج دبی سیل‌خیزی در حوضه که از مشخصات هیدرولوژیکی تقریبا یکسانی برخوردار است، نتایج بسیار دقیق‌تری را ارائه می‌دهد. به‌عبارت دیگر، می‌توان گفت که در حوضه‌هایی که از اهمیت خاصی برای برآورد دبی بیشینه لحظه‌ای برخوردار هستند، پارامتر CN و سایر پارامترهای کیفی متغیر نمی‌توانند به تنهایی پارامتر دقیق و معتبری برای انجام محاسبات دبی بیشینه لحظه‌ای در حوزه آبخیز است و باید نقش و میزان اهمیت پارامترهای سازه‌ای در برآورد دبی بیشینه لحظه‌ای نیز در نظر گرفته شود. بررسی انجام شده برای جانمایی چکدم‌ها در زیرحوضه‌ها نشان می‌دهد که هر چقدر میزان عدد فرود و طول جهش آبی در چکدم‌ها کوچک‌تر باشد، توانایی مهار سیلاب بیشتری را خواهند داشت.



شکل ۱- جانمائی چکدم‌ها اجرائی و پیشنهادی در منطقه مورد مطالعه



شکل ۲- نمایی از یک چکدم تیپ اجرایی در حوضه مورد مطالعه (ho هد آب روی سرریز، Lj طول جهش آبی، y3 عمق ثانویه)

جدول ۱- اعداد فرود و رینولدز در چکدم‌های پیشنهادی و اجرایی

مقادیر عدد فرود و رینولدز چکدم اجرایی	مقادیر عدد فرود و رینولدز برای چکدم پیشنهادی
جریان فوق بحرانی و آشفته	جریان زیر بحرانی و آرام
Fr>1 Re>2000	Fr<1 Re<500
Fr=5.97 Re>2000	Fr=0.7 Re<500

بنابراین، در مکان‌یابی چکدم‌ها در زیرحوضه‌هایی که رتبه‌بندی آبراهه بالاتری داشته باشند، از چکدم-هایی که میزان عدد فرود و طول جهش آبی کمتری را دارا هستند، بایستی استفاده شود تا دبی کاهش یافته و از حد بحرانی خارج شود. پس می‌توان گفت، در بسترهای u شکل که از عدد رینولدز و عدد فرود

کمتری برخودار هستند، احداث چکدم‌ها نقش بیشتری را در ترسیب رسوب خواهند داشت. به‌طوری که سرعت آب کاهش یافته و مقدار دبی از ۱۰ متر مکعب بر ثانیه به ۶/۳۰ متر مکعب در چکدم‌های پیشنهادی کاهش یافته است. به‌علاوه سرعت کاهش نیز در مقایسه با چکدم‌های اجرایی قابل ملاحظه است. در چکدم‌های اجرایی نه‌تنها کاهش سرعت جریان تدریجی بلکه کند اتفاق افتاده و همچنین، مقدار دبی از ۱۰ متر مکعب به ۸/۴۰ متر مکعب کاهش یافته و نزدیک به خارج شدن از حد بحرانی است. بنابراین در فاز مکان‌یابی، تراکم چکدم‌ها در قسمت پایین دست حوضه بیشتر خواهد بود تا عملکرد بیشتری در ترسیب رسوب داشته باشند که این مطلب به خوبی در شکل ۱ و در فاز جانمایی پیشنهادی به‌خوبی مشخص شده است.

پهنه‌بندی سیل: شناسایی مناطق با پتانسیل سیل‌خیزی از جمله اقدامات بسیار مهم در کاهش خسارات سیل به شمار می‌رود. پهنه‌بندی سیل در واقع ابزاری قدرتمند برای مدیریت خطرات سیل و کاهش اثرات جانبی آن است و همچنین، وسیله‌ای برای افزایش آگاهی مسؤلان برای کنترل و مدیریت کاربری اراضی و برنامه‌های توسعه همزمان با کاهش خطرهای سیل و حفاظت محیط زیست است. پهنه-بندی سیل در واقع می‌تواند بیانگر میزان خسارات حاصله از سیل باشد. برای بررسی تأثیر عملیات مکانیکی آبخیزداری بر روی پهنه‌بندی سیل در منطقه مورد مطالعه از معادله (۱۶) استفاده شد.

(۱۶) نقشه پایه × دامنه تأثیرات چکدم‌ها اجرایی و پیشنهادی = پهنه‌بندی سیل

نتایج و بحث

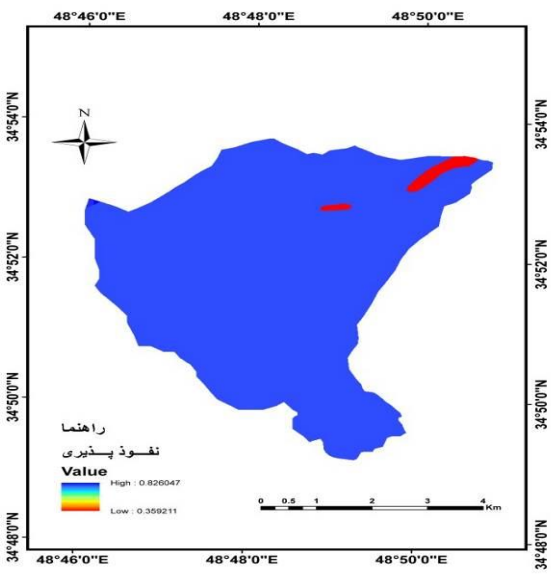
نقشه پایه: یک نقشه پایه با مقیاس مناسب برای شناخت نواحی سیل‌خیز، اولین قدم برای بررسی تأثیر سازه‌های اصلاحی است تا در مرحله بعد با تلفیق نقشه لایه‌های حضور و عدم حضور عملیات مکانیکی آبخیزداری منطقه مورد مطالعه را از نظر تأثیر این عملیات مورد بررسی قرار داد. برای تهیه نقشه پایه در حوضه مورد مطالعه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ از معیارهای زیر استفاده شد.

نقشه شیب: شیب به‌عنوان مشخصه اساسی یکی از پارامترهای مهم در مبحث هیدرولوژی آب‌های سطحی است، به‌طوری که این پارامتر نقش اساسی در پاسخ هیدرولوژیک حوزه‌های آبخیز دارد. بنابراین، مناطقی که دارای شیب کمی هستند، در واقع به مانند یک منبع ذخیره عمل می‌کنند و در نتیجه مقدار قابل توجهی از آب‌های سطحی ممکن است به‌طور موقت در آن ذخیره شود (Zhao، ۲۰۱۶). تابع استفاده‌شده برای این پارامتر از نوع تابع فازی j شکل به‌صورت افزایشی است (شکل ۳- ب).

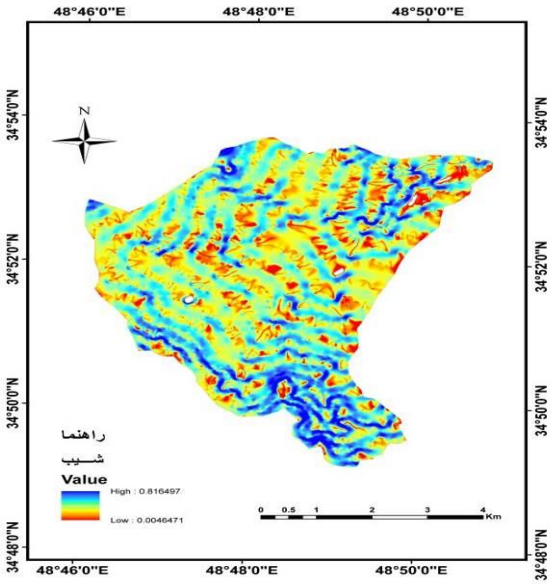
نقشه جریان تجمعی: یکی دیگر از مواردی که می‌تواند در خصوص مطالعات سیل‌خیزی نقش داشته باشد، مربوط به نقشه تجمعی جریان است. جهت جریان تجمعی سلول‌ها بر اساس وزن سلول‌ها در لایه جهت جریان (تعداد سلول‌هایی که جهت آن‌ها به سمت سلول مقصد است) تعیین می‌شود (شکل ۳- ج). بر اساس قانون ونتورث در خصوص رابطه مستقیم سرعت آب با عمق آب، تابع استفاده‌شده برای این پارامتر مانند شیب تابع فازی به‌صورت افزایشی و از نوع j است.

نقشه سرعت نفوذ: از موارد مهمی که در پاسخ‌گویی هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز موثر بوده، نقشی اساسی ایفا می‌کند، نرخ سرعت نفوذ در سطح حوضه است. این پارامتر که تابعی از خصوصیات مربوط به خاک بوده، مشخصه‌ای مهم تلقی می‌شود، با تأثیر معکوس بر روی عمق آب و با در نظر گرفتن رابطه ونتورث، می‌توان تابع j شکل در مورد این پارامتر را به‌صورت کاهشی در نظر گرفت (شکل ۳- الف).

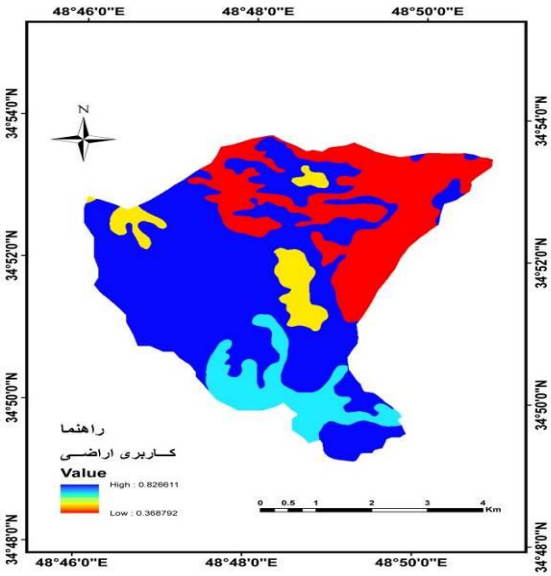
کاربری اراضی: کاربری اراضی با تأثیر مستقیم بر روی سرعت و عمق آب یکی دیگر از مولفه‌های تأثیرگذار در مبحث سیل است. در خصوص کمی‌کردن امتیاز کاربری اراضی که می‌تواند از لحاظ تراکم پوشش و نوع پوشش باشد، در این بررسی از روش AHP استفاده شد (جدول ۲). پس از امتیازدهی نوع کاربری اراضی بر اساس نوع تأثیرگذاری بر روی سرعت آب، در نهایت از تابع j شکل افزایشی برای امتیاز نهایی این پارامتر استفاده شد (شکل ۳- د).



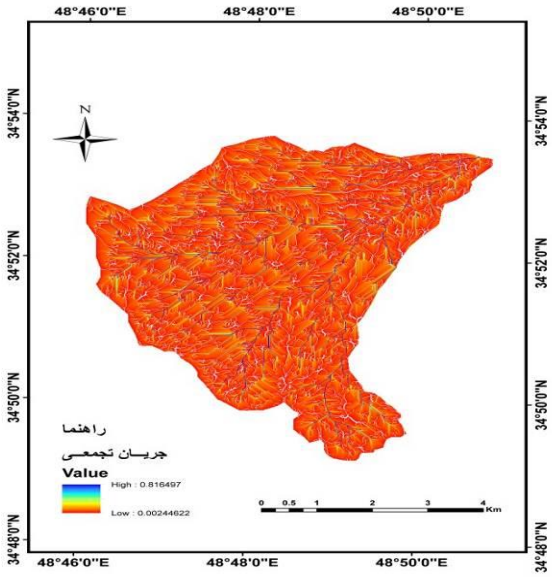
شکل۳- ب) نقشه فازی شیب



شکل۳- الف) نقشه فازی نفوذپذیری



شکل۳- د) نقشه کاربری اراضی



شکل۳- ج) نقشه جریان تجمعی

شکل ۳- پارامترهای مورد محاسبه برای تهیه نقشه پایه

جدول ۲- مقادیر وزن و رتبه تعیین‌شده برای معیار/ زیرمعیارها کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه

رده	معیار
۰/۶۹	اراضی دیم
۰/۲۵	مرتع تراکم کم
۰/۰۱	مرتع تراکم متوسط
۰/۰۴۴	مرتع تراکم زیاد
۰/۰۲۳	ضریب سازگاری

در نهایت، پس از امتیازدهی به تمامی پارامترهای فوق، از روش میان‌گیری حسابی اقدام به تهیه نقشه پایه برای منطقه مورد مطالعه شد (شکل ۴).

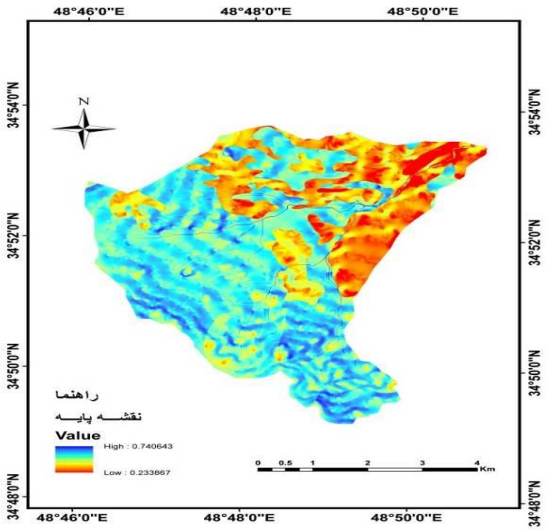
دامنه تأثیر عملیات آبخیزداری: برای بررسی تأثیر

عملیات مکانیکی آبخیزداری (اجرایی و پیشنهاد شده) بر روی پهنه‌بندی سیل نیاز به اضافه کردن دامنه تأثیر عملیات مکانیکی با نقشه مربوط به خصوصیات هیدرودینامیکی سیل یا نقشه پایه است (شکل ۵). لازم به ذکر است که این امر مربوط به زمان بعد از انجام عملیات آبخیزداری است. در واقع برای پهنه‌بندی سیل در زمان قبل از اجرای این عملیات نیاز به اضافه کردن نقشه‌ای است که در آن نقشه هیچ‌گونه عملیات آبخیزداری صورت نگرفته باشد. در خصوص امتیازدهی به این نقشه از امتیاز مربوط به معیار بدون سد برای کل منطقه استفاده شده است (جدول ۳).

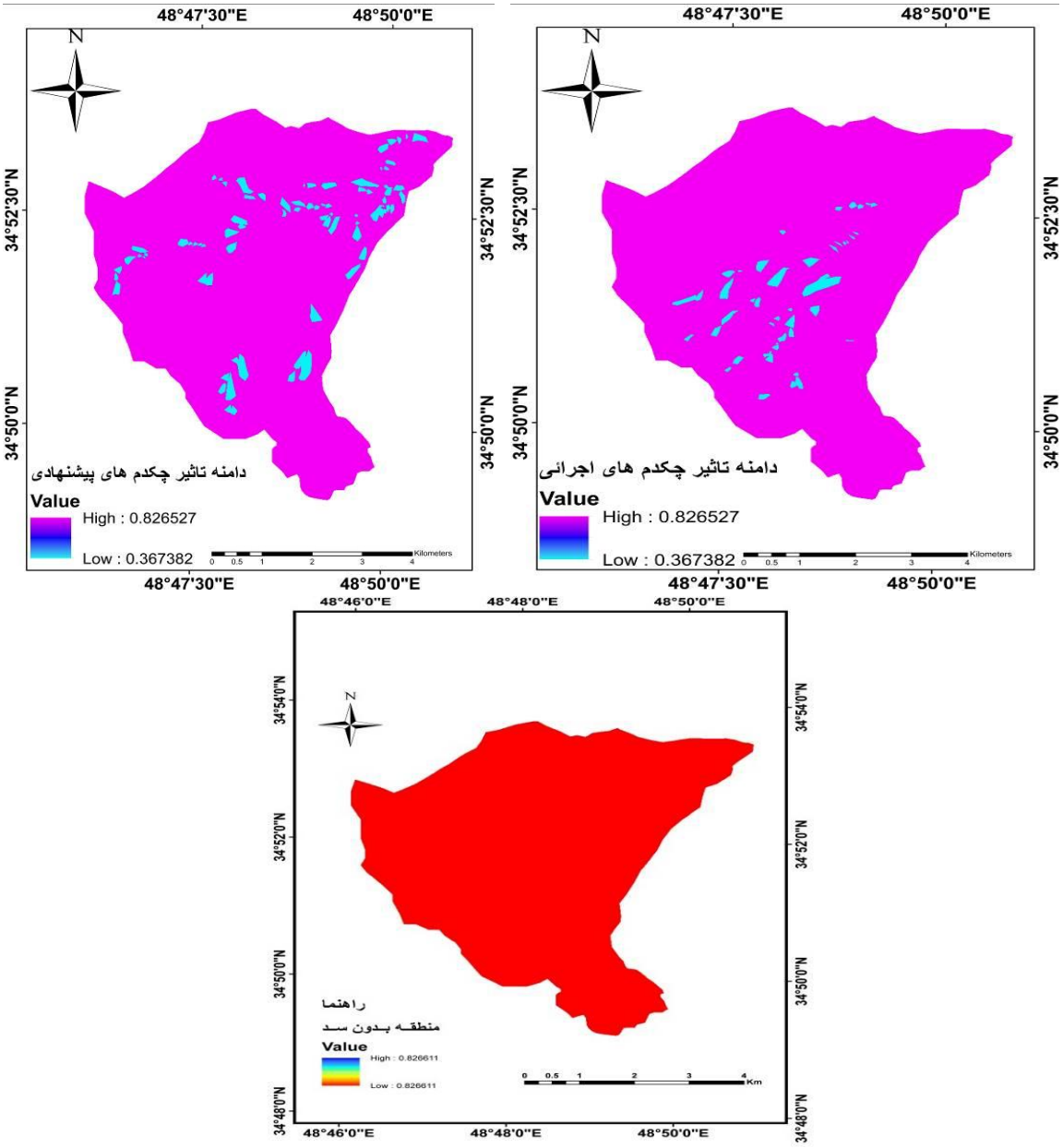
پهنه‌بندی سیل: در نهایت پس از تهیه نقشه مربوط به نقشه پایه و نقشه مربوط به دامنه تأثیر عملیات مکانیکی آبخیزداری، با استفاده از معادله ۱۵، نقشه مربوط به پهنه‌بندی سیل تهیه شد (شکل ۶).

نتیجه‌گیری

انجام اقدامات آبخیزداری با تأثیرگذاری بر پاسخ حوزه آبخیز با تغییر در رفتار هیدرولوژیکی آن منجر به آرام‌کردن عکس‌العمل حوزه آبخیز در قبال بارش ورودی دارد و در پایین‌دست با مدیریت وضعیت هیدرولیکی رودخانه و سیلاب دشت برای تسهیل عبور سیلاب تلاش می‌کند. از طرفی، آگاهی از میزان تأثیر و ارزیابی عملکرد اجرای عملیات آبخیزداری در نواحی آسیب‌پذیر واقع در پایین‌دست و دشت‌های سیلابی می‌تواند کمک شایانی در اتخاذ تدابیر و تصمیم‌گیری صحیح به مدیران ارائه کند (Soltani، ۲۰۱۱). در این پژوهش سعی شده است تا با استفاده از روش AHP و فازی‌سازی داده‌ها به بررسی تأثیر عملیات مکانیکی آبخیزداری اجرائی و پیشنهادی در منطقه مورد مطالعه پرداخت. به همین منظور، ابتدا با استفاده از چهار پارامتر شیب، کاربری اراضی، نفوذپذیری و جریان تجمعی به تهیه نقشه پایه که معرف خصوصیات پتانسیل ذاتی هیدرودینامیکی سیل است، اقدام کرده، در قدم بعدی نوبت به تهیه نقشه دامنه تأثیرات عملیات مکانیکی است تا با تلفیق آن با نقشه پایه، نقشه نهایی (شکل ۶) که مربوط به نقشه پهنه‌بندی سیل در صورت حضور و عدم حضور عملیات مکانیکی در سطح منطقه مورد مطالعه است، تهیه شود. با توجه به شکل ۷ که از طبقه‌بندی شکل ۶ تحت عناوین مناطق با خطر خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم از نظر خطر سیل‌خیزی به‌دست می‌آید، می‌توان گفت که تأثیر مثبت عملیات مکانیکی آبخیزداری در کاهش میزان درجه سیل‌خیزی که ناشی از کاهش درجه شیب و رساندن آن به شیب حد، بهبود شرایط نفوذپذیری و کاربری اراضی با تغییر در بافت خاک می‌باشد، باعث افزایش سطوح مناطق دارای درجه سیل‌خیزی کم و از طرف دیگر، باعث کاهش سطوح مناطق با درجه سیل‌خیزی بالا نسبت به منطقه‌ای که در آن هیچ‌گونه عملیات سازه‌ای احداث نشده است، می‌شود.



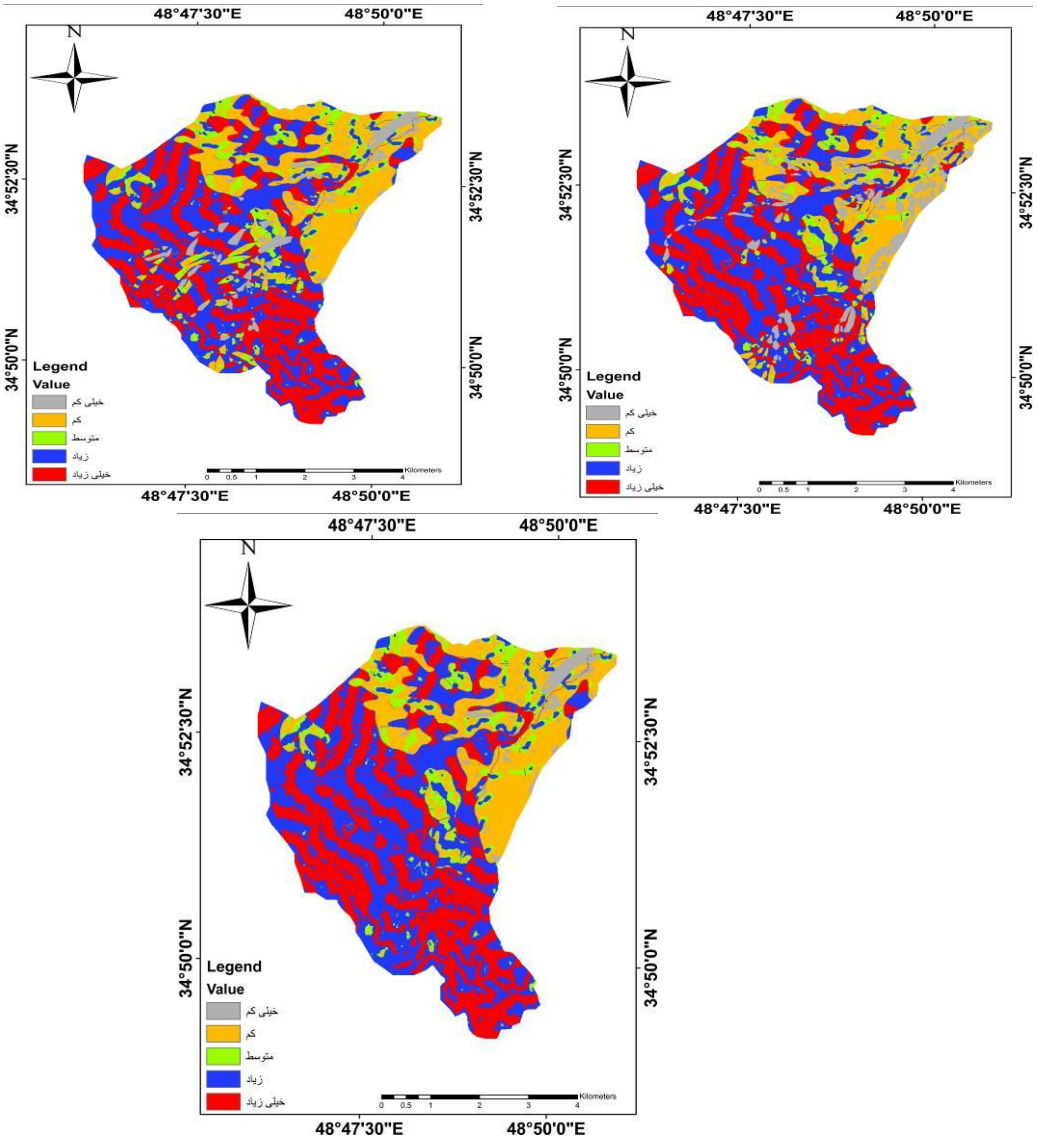
شکل ۴- نقشه پایه منطقه مورد مطالعه



شکل ۵- نقشه مربوط به دامنه تأثیر عملیات مکانیکی آبخیزداری

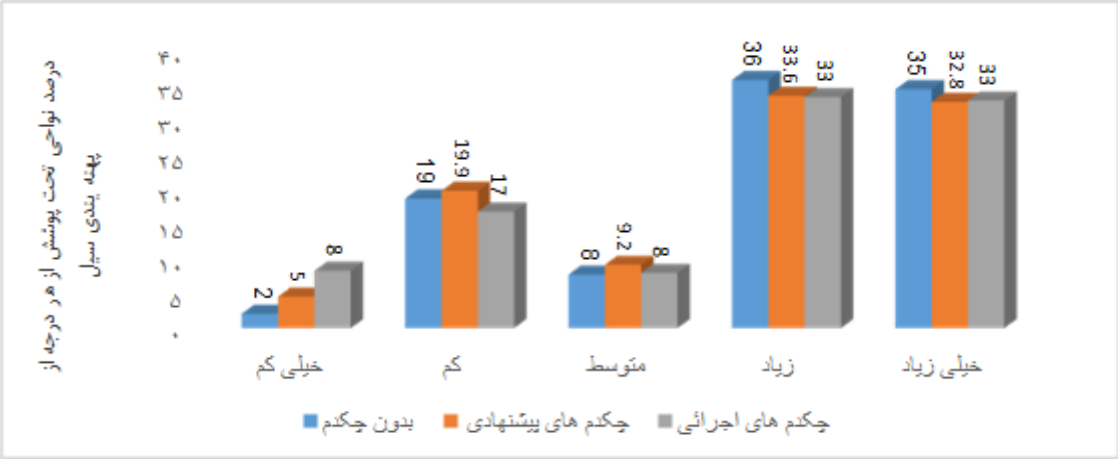
جدول ۳- مقادیر وزن و رتبه تعیین‌شده برای معیار/ زیرمعیارها تأثیر سازه‌ها در منطقه مورد مطالعه

رده	معیار
۰/۶۹	بدون سد
۰/۲۵	سد کم ارتفاع
۰/۰۱	سد ارتفاع متوسط
۰/۰۴۴	سد ارتفاع زیاد
۰/۰۲۳	ضریب سازگاری



شکل ۶- طبقه‌بندی پهنه سیل در صورت وجود چکدم‌های پیشنهادی (شکل ۶- الف)، چکدم‌های اجرائی (شکل ۶- ب) و بدون عملیات مکانیکی آبخیزداری (شکل ۶- ج)

البته لازم به ذکر است که تأثیر کم این عملیات را می‌توان در نحوه پراکنش، مطابق با مطالعات Roughani (۲۰۱۲) و کم‌بودن این سازه‌ها به‌خصوص در مورد سازه‌های اجرائی در منطقه مورد مطالعه جستجو کرد. در نهایت، در این مطالعه به‌دلیل بررسی نکردن سایر عملیات اصلاحی، نمی‌توان به برتری اقدامات سازه‌ای پا فشاری کرد. با این وجود، این نتایج با نتایج حاصله از بررسی و تحقیقات و اظهارات Roshani (۲۰۰۳)، Roughani (۲۰۰۷)، Shieh و همکاران (۲۰۰۷) و Soltani و Roughani (۲۰۱۱) هم‌خوانی دارد. در مجموع تلفیق آبخیزداری و ترکیبی از عملیات کاهش سیل و رسوب به همراه عملیات ذخیره‌سازی رواناب‌ها در چهارچوب اصول مدیریت یکپارچه حوزه‌های آبخیز می‌تواند مسیر روشنی را در نیل به اهداف حفاظت از حوضه، پیش‌روی مدیران و تصمیم‌سازان قرار دهد (Amini و Roghani، ۲۰۱۳).



شکل ۷- درصد مناطق تحت تأثیر پهنه‌بندی سیل در صورت اجرا چکدم‌های اجرائی و پیشنهادی و عدم احداث چکدم‌ها

منابع مورد استفاده

1. Ma, X., X. Lu, M. Van Noordwijk, J. Li, J. Xu and J. Xu. 2014. Attribution of climate change vegetation restoration and engineering measures to the reduction of suspended sediment in the Kejie Catchment southwest China. Hydrology and Earth System Sciences, 18: 1979–1994.
2. Mozafari, Gh. 2010. Urban hydrology. Yazd University Publications, 214 pages.
3. Norman, L.M. and R. Niraula. 2016. Model analysis of check dam impacts on long-term sediment and water budgets in Southeast Arizona, USA. Journal of Ecohydrology and Hydrobiology, 16: 125-137.
4. Plate, E.J. 2002. Flood risk and flood management. Journal of Hydrology, 267: 2-11.
5. Roshani, R. 2003. Evaluating the effect of check dams on flood peaks to optimize the flood control measures, Kan case study in Iran. International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation, Enschede, 54 pages.
6. Roughani, M. 2012. The study of the role of watershed mechanical operation in runoff control of Zayandehrod River, case study in Heydari Watershed. Journal of Irrigation and Water Engineering, 7: 23-11.
7. Roughani, M., M. Ghafouri and M. Tabatabaei. 2007. An innovative methodology for the prioritization of sub-catchments for flood control. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 9: 79-87.
8. Saaty, T. 1980. The analytic hierarchy process, what it is and how it is used. Mathematical Modelling, 9(3-5): 161-176.
9. Sadeghi, S., E. Forootan and F. Sharafi. 2006. Evaluation of the performance of watershed management measures using qualitative method, case study: part of Kan Watershed, Iran. Journal of Geographical Research, 20: 37-47.
10. Servati, M., M. Ahmadi, K. Nosrati and M. Mazbani. 2013. Zonation of flooding potential of Sarab Dareshahre's Watershed. Geography Quarterly Journal of Scientific and Research, Iran Geographic Community, 36: 55-77.
11. Shieh, C.L., Y.R. Guh and S.Q. Wang. 2007. The application of range of variability approach to the assessment of a check dam on riverine habitat alteration. Journal of Environmental Geology, 52: 427-435.
12. Soltani, M. 2011. The assessment of watershed operations on flooding using HEC HMS model, case study: Manshad Watershed domain. MS Thesis, Yazd University of Natural Resources and Eremology, 135 pages.
13. Tian, P., G. Zhao, X. Mu, F. Wang, P. Gao and Z. Mi. 2013. Check dam identification using multisource data and their effects on streamflow and sediment load in a Chinese Loess Plateau catchment. Journal of Applied Remote Sensing, 7: 342-357.
14. USDA. 1986. Urban hydrology for small watersheds. Conservation Engineering Division, Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture, Technical Release, 55: 2-6.
15. Zhao, G., G.M. Kondolf, X. Mu, M. Han, Z. He, Z. Rubin, F. Wang, P. Gao and W. Sun. 2017. Sediment yield reduction associated with land use changes and check dams in a catchment of the Loess Plateau China. Journal of Catena, 148: 126-137.