

اولویت‌بندی مکانی عملیات کاهش سیل و کنترل فرسایش با استفاده از روش منطق فازی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز فورگ)

♦ مرتضی دهقانی؛ کارشناس ارشد آبخیزداری، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان جنوبی

♦ حسین قاسمی؛ دانشجوی دکتری، دانشگاه مدیترانه شرقی، قبرس

♦ آرش ملکیان*؛ استادیار دانشگاه تهران

چکیده:

امروزه، اجرای عملیات آبخیزداری، عموماً، بر پایه معیارهایی مانند موقعیت استراتژیک حوزه، اشتیاق مردم، فقر، سیل‌خیزی، فرسایش خاک، و نظایر آن صورت می‌گیرد؛ این موضوع باعث شده در برخی موارد نتایجی معکوس و برخلاف اهداف اولیه حاصل شود. از طرفی، منطق فازی قادر به مدیریت محدوده وسیعی از گزینه‌های تصمیم‌گیری است. تعیین حوزه‌هایی با تولید رسوب و سیل‌خیزی بالا و اولویت‌بندی اجرای عملیات آبخیزداری، با استفاده از نظریه‌ها و مهارت‌های منطق فازی، از اهداف اصلی این تحقیق است. برای این هدف حوزه آبخیز فورگ، واقع در استان خراسان جنوبی و شهرستان درمیان، به مساحت ۱۱۱۳۷ هکتار، انتخاب شد. با توجه به اینکه حوزه انتخابی، مانند اکثر حوزه‌های کشور، فاقد ایستگاه باران‌سنجی، هیدرومتری، و رسوب‌سنجی است، رفتار هیدرولوژی و فرسایشی حوزه با استفاده از نقشه‌های پایه، عکس‌های هوایی، تکنیک‌های GIS، بازدیدهای میدانی، و همچنین تحلیل‌های آماری بررسی شد. برای کاهش محاسبات با حفظ دقت تحقیق با تحلیل عاملی فاکتورهایی که اهمیت بسیار زیادی در سیل‌خیزی و فرسایش خاک حوزه دارند انتخاب شدند. سپس، امتیاز این عوامل فازی و، در نهایت، اهمیت نسبی عوامل محاسبه شد و اولویت مکانی اجرای عملیات آبخیزداری، بر اساس فاکتورهای سیل‌خیزی و فرسایش خاک، مشخص گردید. نتایج نشان داد تلفیق ابزارهای GIS و روش‌های منطق فازی با مدل‌های سنتی دقت محاسبات را به نحو چشمگیری افزایش می‌دهد. توصیه می‌شود، به منظور کاهش آثار مخرب ناشی از سیل، خشک‌سالی، فرسایش و تبعات مرتبط، با توجه به تحقیق حاضر، اولویت زمانی و مکانی عملیات آبخیزداری مشخص شود تا متناسب با محدودیت‌های مختلف مالی، اجرایی، و زمانی عملیات آبخیزداری در مناسب‌ترین موقعیت انجام گیرد.

واژگان کلیدی: اولویت‌بندی مکانی، عملیات آبخیزداری، کاهش سیل، کنترل فرسایش، منطق فازی.

مقدمه

رشد روزافزون جمعیت، عدم تعادل دام و مرتع، بوته‌کشی مراتع، تغییر کاربری مراتع و جنگل‌ها، روش‌های غیراصولی بهره‌برداری از اراضی جنگلی، مرتعی، و کشاورزی، و... موضوعاتی است که، امروزه، در بسیاری از کشورهای جهان سوم پیامدهای زیست‌محیطی، اقتصادی، و اجتماعی منفی و جبران‌ناپذیری را سبب شده است. آمار و ارقام نشان‌دهنده آن است که حوزه‌های آبخیز ایران، از این نظر، در شرایط بحرانی قرار دارد، به طوری که تعداد و بزرگی سیل و فرسایش خاک در ایران از سال ۱۳۳۱ تا به امروز افزایش چشمگیری داشته است (Ghodoosi, 2002; Arekhi & Nazari, 2008). این عوامل و خسارات محسوس و نامحسوس ناشی از تخریب منابع طبیعی باعث شده مسئولان امر به اجرای عملیات آبخیزداری توجه بیشتری بکنند. از طرفی، اجرای عملیات مختلف آبخیزداری، با اهداف گوناگون، در یک حوزه آبخیز، به دلیل شرایط طبیعی حاکم بر آن و همچنین مسائل اقتصادی-اجتماعی و محدودیت‌های فنی و مالی، نیازمند نوعی اولویت‌بندی است، زیرا وسیع‌بودن عرصه‌های آبخیز کشور و همچنین محدودیت مالی باعث می‌شود در بیشتر موارد فقط بخشی از حوزه آبخیز، با بودجه موجود، تحت پوشش عملیات اجرایی قرار گیرد. بنابراین، تعیین اولویت اجرای عملیات آبخیزداری در یک حوزه باعث می‌شود، متناسب با بودجه و زمان، نتیجه مطمئن‌تری از عملیات کاهش سیل و کنترل فرسایش به دست آورد (Davari et al., 2005; Khedri Tajan, 2003). در این تحقیق حوزه آبخیز فورگ، که مانند اکثر حوزه‌های آبخیز کشور فاقد آمار بارش، هیدرومتری، و رسوب‌سنجی است، انتخاب شد. نخست، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی، بازدیدهای میدانی، تحلیل‌های آماری، و ابزار و تکنیک‌های GIS، میزان سیل‌خیزی و فرسایش حوزه محاسبه گردید. سپس، با روش منطق فازی اولویت

مکانی اجرای عملیات آبخیزداری تعیین شد. از جمله تحقیقاتی که تاکنون در این زمینه صورت گرفته می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

Tangestani (2006) نتایج نقشه‌های تولیدی از روش‌های EPM و MPSIAC را مقایسه کرد و نتیجه گرفت مدل MPSIAC دقیق‌تر است. Murat & Candan (2006) اعلام کردند، به دلیل پیچیدگی ماهیت پدیده‌های طبیعی، از جمله زمین‌لغزش، استفاده از روش‌های فازی در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی دقت نتایج را به میزان زیادی افزایش می‌دهد. Tran et al. (2002) و Mitra et al. (1998) نشان دادند در صورت تلفیق معادله جهانی فرسایش^۱ با روش منطق فازی دقت مدل تا ۹۰ درصد افزایش می‌یابد، در صورتی که تخمین فرسایش با معادله جهانی فرسایش به‌تنهایی حداکثر ۷۲ درصد دقت دارد. Kivinen & Usitalo (2002) روش منطق فازی را در قیمت‌گذاری و کنترل برداشت و حمل و نقل درختان بررسی و اظهار کردند که این سیستم کنترل و قیمت‌گذاری بسیار مؤثر و کاراست. Chang & Chang (2001)، در تایوان، نگرش مدل‌سازی شبکه فازی-عصبی را برای پیش‌بینی زمان واقعی سیلاب‌ها بررسی و آن را برای پیش‌بینی سیلاب مناسب ارزیابی کردند. Ertunga & Duckstein (2000) مفهوم فازی را در مدل‌های بارش-رواناب ارزیابی کردند و نشان دادند که چارچوب روش منطق فازی تصمیم‌گیرنده را، برای رسیدن به بینشی بالا درباره حساسیت مدل، توانمند می‌کند. See & Openshaw (2000) برای بالا بردن اطمینان پیش‌بینی سیلاب در انگلستان و Roger (2000) et al برای تهیه نقشه مشخصات هیدرولوژیکی خاک در فرانسه از روش خوشه‌بندی به روش فازی استفاده کردند. نتایج هر دو نشان داد روش‌های متکی بر منطق فازی، به دلیل اجرای خوب، هزینه پایین‌تر، و عملکرد بهتر، روش مناسب‌تری است. Ahmadi et al. (2008) برای کمی‌نمودن ژئومورفولوژیک فرسایش تعداد ۸۱ شاخص در قالب ۹ معیار مؤثر در فرسایش خاک و

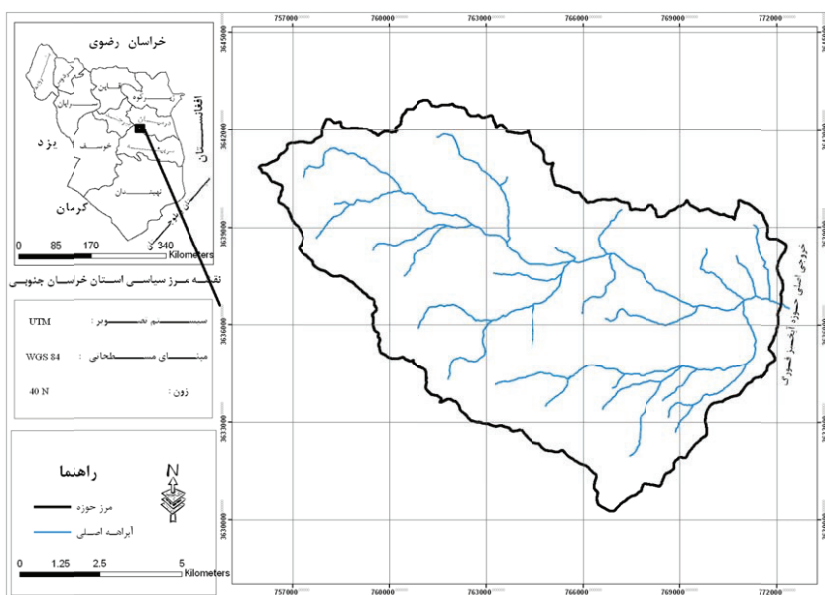
Rostami et al. (2002) پیش‌بینی رسوب معلق حوزه‌های آبخیز فاقد آمار را با استفاده از روش منطق فازی و روش تجزیه و تحلیل خوشه‌ای انجام دادند و نشان دادند نتایج هر دو روش برای هدف تحقیق مناسب است.

در مجموع، نتایج تحقیقات و پژوهش‌های مرتبط داخل و خارج از کشور نشان می‌دهد تلفیق مدل‌های سنتی با ابزارهای امروزی، از جمله GIS و روش‌های منطق فازی، می‌تواند، با توجه به فقر آمار و اطلاعات در بیشتر حوزه‌های آبخیز کشور، نیاز ما را در مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز برآورده سازد. در این تحقیق، به منظور افزایش دقت و انتخاب درست مکانی و زمانی عملیات آبخیزداری، علاوه بر روش‌های سنتی بررسی رفتار هیدرولوژی و فرسایشی حوزه، از ابزار GIS و روش منطق فازی استفاده شد.

ویژگی‌های عمومی منطقه تحقیق

تحقیق حاضر در حوزه آبخیز فورگ به مساحت ۱۱۱۳۷ هکتار با اقلیم نیمه‌خشک سرد، بارندگی متوسط سالانه ۲۱۶/۴ میلی‌متر، و دمای متوسط سالانه ۹/۵ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. شکل ۱ موقعیت حوزه را در شهرستان درمیان و استان خراسان جنوبی نشان می‌دهد.

تولید رسوب، شامل رخساره‌های ژئومورفولوژی، سنگ‌شناسی، توپوگرافی، اقلیم، هیدرولوژی، خاک، چگونگی بهره‌برداری از زمین، پوشش گیاهی، و اقتصادی-اجتماعی سد لتیان، را بررسی کردند. ایشان برای کمی‌کردن مدل مفهومی، از نظریه مجموعه‌های فازی بهره‌گیری و، با به‌کارگیری هفت عملگر فازی، نقشه‌های شدت فرسایش را تهیه کردند و نشان دادند که بیشترین دقت مربوط به نقشه تهیه‌شده با بهره‌گیری از عملگر گامای فازی ۰/۸ با ضریب دقت کلی ۹۱ درصد است. (Roghani et al (2008) نشان دادند اولویت‌بندی عملیات کنترل سیلاب و مهندسی رودخانه هزینه‌های اجرایی را به‌شدت کاهش می‌دهد. Keshavarz Bakhshayesh (1998) اولویت‌بندی زیرحوزه‌های حوزه آبخیز اوجان‌چای را با استفاده از روش منطق فازی انجام داد و نتیجه گرفت استفاده از این روش برای اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها، از نظر تولید فرسایش و سیل‌خیزی، مناسب است. Shadfar (2007) et al. و Ghayoumian et al. (2002) با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند مشخصه فازی پهنه‌بندی زمین‌لغزش را انجام دادند و نتیجه گرفتند به‌کارگیری ریاضیات و منطق فازی ابزار سودمندی به شمار می‌آید.



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز فورگ در شهرستان درمیان و استان خراسان جنوبی (طراحی و ترسیم: نویسندگان)

روش‌شناسی

در این تحقیق از مواد و روش‌های زیر استفاده شد:

۱. مواد

در تحقیق حاضر از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ به شماره‌های (I NW)، ۷۹۵۵ (IV NE)، ۷۹۵۵ (I SE)، ۷۹۵۵ (IV SE)، ۷۹۵۵ (I SW)، ۷۹۵۵ (IV SE) عکس‌های هوایی بلوک ۲۵۳ حوزه با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ مربوط به سازمان نقشه‌برداری، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه زمین‌شناسی سازمان زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، آمار و اطلاعات هواشناسی تهیه‌شده از اداره کل هواشناسی و شرکت آب منطقه‌ای استان‌های خراسان جنوبی و رضوی، نرم‌افزارهای HYFA، Excel، SPSS، ArcGIS ۹.۲ برای محاسبه رفتار هیدرولوژیک و فرسایش حوزه و همچنین رقوم‌سازی و تولید نقشه‌های مورد نیاز استفاده شده است.

۲. روش تحقیق

کاهش سیل، آثار خشکی و خشک‌سالی، کنترل فرسایش و حفاظت خاک از مهم‌ترین اهداف مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز است. امروزه، عوامل متعدد و متنوعی، از جمله چرای مفرط و زودرس، تغییر کاربری، بوته‌کشی، و ... باعث شده است که ضریب سیل‌خیزی و فرسایش خاک به شدت افزایش یابد، به طوری که قطره بارانی که می‌توانست با نفوذ در زمین (آب نفوذی)، ضمن کاهش حجم سیلاب، به افزایش تنوع و تاج پوشش گیاهی و تغذیه منابع آب سطحی و زیرزمینی منجر می‌شود) به صورت نعمت در اختیار بهره‌برداران قرار گیرد، با ایجاد سیل‌های ویرانگر، خسارات جانی و مالی محسوس و نامحسوس زیادی به جوامع تحمیل کرده است (Mahdavi, 2009).

وسعت حوزه‌های آبخیز کشور به همراه محدودیت‌های اجرایی، زمانی، و مالی باعث شده است که اقدامات آبخیزداری در بخش کوچکی از حوزه‌ها عملیاتی شود. بنابراین، تعیین اولویت زمانی و مکانی

عملیات آبخیزداری اهمیت ویژه‌ای دارد. در این تحقیق، به منظور تعیین شدت سیل‌خیزی و فرسایش و رسوب حوزه و اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها، از نظر این عوامل، با توجه به اینکه حوزه انتخابی، مانند اکثر حوزه‌های کشور، فاقد ایستگاه‌های باران‌سنجی، هیدرومتری، و رسوب‌سنجی است، نخست کلیه فاکتورهای مؤثر بر سیل و فرسایش از جمله فیزیوگرافی (شامل مساحت، محیط، طول آبراهه، ضرایب شکل، نسبت انشعاب، شیب حوزه، تراکم آبراهه، ارتفاع متوسط، و زمان تمرکز)، هواشناسی (شامل بارندگی سالیانه و شدت بارندگی در زمان تمرکز هر حوزه در دوره بازگشت‌های مختلف ۲ تا ۱۰۰ سال)، خاک‌شناسی (شامل بافت خاک، وزن مخصوص رسوب، و مواد آلی)، ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی (شامل جنس سازند و تیپ فرسایشی)، پوشش گیاهی (شامل تیپ گیاهی، درصد تاج پوشش، و خاک لخت)، هیدرولوژی (شامل دبی سیلابی با دوره بازگشت‌های مختلف ۲ تا ۱۰۰ سال)، و امتیاز عوامل نه‌گانه مدل MPSIAC با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی و تصاویر نرم‌افزار Google Earth، تکنیک‌های GIS، تحلیل‌های آماری، و بازدیدهای صحرائی محاسبه شد.

به دلیل زیاده‌بودن تعداد پارامترها و حجم بالای عملیات، نخست، با توجه به تحلیل عاملی، فاکتورهایی که اهمیت بسیار زیادی داشت و یا منعکس‌کننده چند فاکتور دیگر بود، انتخاب شد. سپس، با استفاده از روش منطق فازی و تابع عضویت روابط ۲ اعداد مربوط به هر پارامتر فازی شد. اهمیت نسبی کلیه پارامترهای مؤثر در سیل‌خیزی و تولید فرسایش بر اساس نظریه (1992) Juang et al. محاسبه شد و، سرانجام، با توجه به اهمیت نسبی عوامل، اولویت اجرای عملیات آبخیزداری در حوزه مشخص شد که در زیر به ترتیب ارائه شده است:

۱.۲. ارزیابی رفتار هیدرولوژی و فرسایشی حوزه

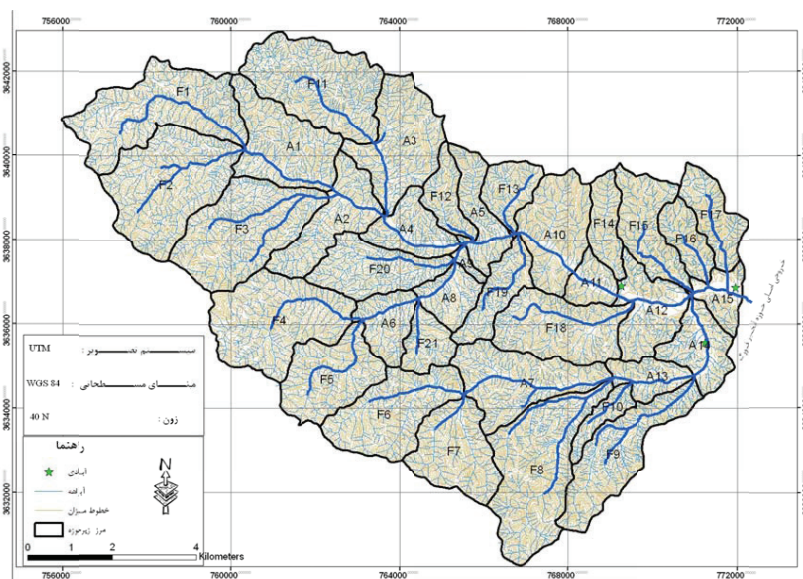
رفتار هیدرولوژی و فرسایشی هر حوزه انعکاسی از

و بیولوژیک آبخیزداری، حوزه به ۲۱ زیرحوزه مستقل با حرف F و ۱۵ زیرحوزه غیرمستقل (زیرحوزه‌هایی که علاوه بر رواناب ایجادشده در داخل خود از حوزه‌های بالادست رواناب دریافت می‌کنند) با حرف A تقسیم گردید. سرانجام، مساحت، محیط، زمان تمرکز (مقادیر زمان تمرکز با استفاده از روابط تجربی کریچ، چاو، کالیفرنیا، و جیاندوتی محاسبه شد. سپس، با بازدهای میدانی ابعاد آبراهه‌ها تعیین و با برآورد تقریبی سرعت آب، در نهایت، مدل کریچ به عنوان مدل مناسب انتخاب گردید)، شیب متوسط، طول و عرض مستطیل معادل، قطر دایره همسطح، ضریب شکل، طول کل آبراهه، تراکم آبراهه، شیب آبراهه اصلی (برای محاسبه شیب آبراهه اصلی نخست پروفیل آبراهه روی نقشه DEM ترسیم شد. سپس، با استفاده از نرم‌افزار Excel، با توجه به اختلاف ارتفاع بین دو نقطه از مسیر رودخانه و فاصله بین آن، شیب هر قطعه تعیین و، در نهایت، شیب وزنی نسبت به طول آبراهه محاسبه گردید)، نسبت انشعاب، و ارتفاع متوسط وزنی و میانه محاسبه گردید. بخش الف جدول ۲ پارامترهای فیزیوگرافی و شکل ۲ مرز زیرحوزه‌ها را نشان می‌دهد.

پارامترهای مورفولوژی، کلیماتولوژی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، و... است. بنابراین، لازم است این پارامترها در جهت مدیریت هر حوزه شناسایی و استفاده شود. در این تحقیق برای شناخت این عوامل به صورت زیر عمل شد:

۱.۱.۲. محاسبه پارامترهای فیزیوگرافی

برای تعیین پارامترهای فیزیوگرافی مورد نیاز، نخست با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی به شرح قبل و نرم‌افزار ArcGIS ۹.۲، مرز حوزه، خطوط توپوگرافی تا یک سانتی‌متر خارج از مرز حوزه، قله و آبراهه‌ها رقومی و با توجه به تکنیک‌های نرم‌افزار ArcGIS ۹.۲ نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع، شیب و جهت شیب تولید شد و تصحیحات لازم از قبیل حذف چاله‌های هیدرولوژیکی در نقشه DEM و همگن‌سازی پلی‌گون‌های کوچک (کمتر از ۶/۲۵ هکتار) در نقشه‌های شیب و جهت شیب انجام گرفت. تغییرات احتمالی آبراهه‌ها نسبت به زمان تولید نقشه‌های توپوگرافی مورد استفاده با تصاویر نرم‌افزار گوگل ارث و بازدیدهای میدانی بررسی و اصلاح شد. سپس، با در نظر گرفتن موقعیت مناسب برای سازه‌های مکانیکی و همچنین عملیات بیومکانیک



شکل ۲. مرز زیرحوزه، آبراهه، و خطوط توپوگرافی (طراحی و ترسیم: نویسندگان)

۲.۱.۲. محاسبه پارامترهای اقلیمی

در این تحقیق، با توجه به فقدان ایستگاه باران‌سنجی در حوزه، با استفاده از اطلاعات ایستگاه‌های مجاور حوزه (۱۵ ایستگاه) نخست آمار هر ایستگاه - از نظر دقت، صحت، و همگنی - به صورت چشمی (مقایسه داده‌های همزمان ایستگاه‌ها) و آزمون‌های مناسب (آزمون مشاهدات استثنائی گرویز- بک و آزمون جرم مضاعف) بررسی شد. سپس، با توجه به متفاوت بودن طول دوره آماری هر ایستگاه و با توجه به میانگین متحرک ایستگاه‌ها و در نظر گرفتن این موضوع که دوره آماری حداقل یک دوره ترسالی و یک دوره خشک‌سالی را شامل می‌شود، دوره آماری ۱۳۵۶ تا ۱۳۸۸ به عنوان پایه زمانی مناسب انتخاب گردید. ماتریس همبستگی بین ایستگاه‌ها با نرم‌افزار SPSS تعیین شد. سپس، نواقص آماری هر ایستگاه با توجه به ایستگاه با بیشترین همبستگی بازسازی شد. با نرم‌افزار HYFA مقادیر بارندگی سالانه با توزیع‌های مختلف آماری برازش و، با توجه به توزیع دارای کمترین مجموع مربعات خطا، مقادیر بارندگی سالانه هر ایستگاه در دوره بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، و ۱۰۰ محاسبه شد. در قدم بعدی، با نرم‌افزار SPSS، ارتفاع، موقعیت جغرافیایی، و مقادیر بارندگی هر ایستگاه در دوره بازگشت مختلف محاسبه شد (رابطه ۱).

$$P_t = \bar{a}H + bLa + cL + d \quad \text{رابطه ۱}$$

که P_t بارندگی در دوره بازگشت، T سال، H ارتفاع بر حسب متر، L عرض جغرافیایی بر حسب رادیان، L

طول جغرافیایی بر حسب رادیان، و a, b, c, d ضرایب ثابت معادله (جدول ۱) می‌باشند. بر این اساس، مقدار بارندگی سالیانه هر زیرحوزه در دوره بازگشت مختلف محاسبه شد (بخش الف جدول ۲). بررسی وضعیت پوشش گیاهی از نظر نوع گونه، درصد تاج پوشش، میزان تولید، و دانش بومی^۱ نشان می‌دهد مقادیر برآوردی بارندگی با استفاده از رابطه ۱ دقت لازم را داراست.

منحنی شدت- مدت- فراوانی^۲ (IDF) حوزه با استفاده از رابطه دکنر قهرمان و اطلاعات ایستگاه سربیشه (ایستگاه کلیماتولوژی سربیشه به ارتفاع ۱۸۳۰ متر در فاصله ۲۳/۶ کیلومتری حوزه آبخیز فورگ قرار دارد و از نظر اقلیمی به حوزه شبیه است) تعیین شد و با توجه به زمان تمرکز هر زیرحوزه شدت بارندگی مرتبط محاسبه گردید.

۳.۱.۲. دبی سیلابی

از آنجا که حوزه آبخیز فورگ، مانند اکثر حوزه‌های کشور، فاقد ایستگاه هیدرومتری است و ایستگاه‌های مجاور حوزه نیز از نظر کفایت آمار و همچنین عدم تشابه هیدرولوژیکی و زمین‌شناسی برای تحلیل ریاضی سیلاب غیر قابل استفاده‌اند، به‌ناچار، در این تحقیق، برای تعیین دبی‌های سیلابی از روابط تجربی فولر، کریگر، منحنی پوش و استدلالی پس از کالیبراسیون ضرایب استفاده شده است. برای کالیبراسیون این روابط، نخست ایستگاه هیدرومتری منصورآباد در فاصله ۲۱/۵ کیلومتری حوزه، با توجه به دارا بودن

جدول ۱. ضرایب مربوط به رابطه ۱

دوره بازگشت	a	B	c	D	R	دوره بازگشت	a	B	c	d	R
۰/۹۷	-۲۸۸۲	۱۹۰۴	۱۸۰۶	۰/۱۱۹	۲۵	۰/۹۴	-۱۰۹۳	۵۴۶	۹۷۴	۰/۰۸۲	۲
۰/۹۴	-۲۹۸۶	۱۷۳۷	۲۲۹۰	۰/۱۵۳	۵۰	۰/۹۲	-۲۳۵۹	۱۵۵۹	۱۴۴۹	۰/۰۸۵	۵
۰/۹۴	-۳۵۵۹	۲۳۰۹	۲۳۰۳	۰/۱۵۹	۱۰۰	۰/۹۵	-۲۳۳۷	۱۴۵۵	۱۵۹۰	۰/۱۱۵	۱۰

جدول ۲. مقادیر محاسباتی (الف) و عدد فازی (ب) مربوط به آن برای فاکتورهای مؤثر در سیل‌خیزی

زیرحوزه	مساحت (کیلومتر مربع)	محیط (کیلومتر)	بزرگ‌ترین طول حوزه	ضریب شکل	نسبت انشعاب (درصد)	شیب حوزه کل آبراهه‌ها (کیلومتر)	مجموع طول	تراکم آبراهه‌ها (کیلومتر بر کیلومتر مربع)
الف	ب	الف	ب	الف	ب	الف	ب	الف
F1	۶	۰/۷۶	۱۳/۶	۰/۹۴	۴/۴	۰/۶۶	۰/۳	۰/۲۴
F2	۶/۴	۰/۸۱	۱۱/۲	۰/۷۶	۳/۶	۰/۵۲	۰/۵	۰/۲۷
F3	۶/۳	۰/۸	۱۰/۵	۰/۷۱	۴/۱	۰/۶	۰/۴	۰/۲۵
F4	۵/۸	۰/۷۳	۱۰/۸	۰/۷۲	۳/۴	۰/۴۹	۰/۵	۰/۲۷
F5	۳/۸	۰/۴۵	۸/۷	۰/۵۷	۲/۹	۰/۴۳	۰/۴	۰/۲۶
F6	۴/۴	۰/۵۲	۹/۸	۰/۶۴	۳/۵	۰/۵	۰/۴	۰/۲۵
F7	۳/۷	۰/۴۴	۸/۲	۰/۵۳	۲/۷	۰/۴	۰/۵	۰/۲۷
F8	۶/۱	۰/۷۸	۱۳	۰/۹	۴/۹	۰/۷۵	۰/۳	۰/۲۳
F9	۴/۵	۰/۵۳	۱۱/۷	۰/۸	۴/۸	۰/۷۲	۰/۲	۰/۲۲
F10	۰/۹	۰/۲۴	۵/۷	۰/۳۸	۲/۴	۰/۳۷	۰/۲	۰/۲۲
F11	۵/۶	۰/۷	۱۰/۵	۰/۷	۳/۷	۰/۵۳	۰/۴	۰/۲۶
F12	۱/۴	۰/۲۷	۶/۲	۰/۴۱	۲/۵	۰/۳۷	۰/۲	۰/۲۳
F13	۱/۶	۰/۲۷	۵/۳	۰/۳۶	۱/۷	۰/۳۱	۰/۵	۰/۲۸
F14	۱/۵	۰/۲۷	۶/۳	۰/۴۱	۲/۷	۰/۴	۰/۲	۰/۲۳
F15	۲/۹	۰/۳۷	۹/۲	۰/۶	۳/۵	۰/۵۱	۰/۲	۰/۲۳
F16	۱/۵	۰/۲۷	۵/۶	۰/۳۸	۲/۲	۰/۳۵	۰/۳	۰/۲۴
F17	۲	۰/۳	۷	۰/۴۵	۲/۸	۰/۴۱	۰/۳	۰/۲۳
F18	۴/۲	۰/۵	۹/۴	۰/۶۲	۳/۵	۰/۵	۰/۳	۰/۲۵
F19	۱/۹	۰/۳	۷/۸	۰/۵	۳	۰/۴۴	۰/۲	۰/۲۳
F20	۳/۲	۰/۳۹	۸/۷	۰/۵۷	۳/۶	۰/۵۲	۰/۲	۰/۲۳
F21	۱/۵	۰/۲۷	۵/۴	۰/۳۷	۱/۸	۰/۳۱	۰/۵	۰/۲۷
A1	۴/۲	۰/۵۱	۱۰/۱	۰/۶۷	۳/۶	۰/۵۲	۰/۳	۰/۲۵
A2	۳/۲	۰/۳۹	۹/۸	۰/۶۵	۳	۰/۴۴	۰/۳	۰/۲۵
A3	۴/۴	۰/۵۲	۱۰/۴	۰/۶۹	۳/۴	۰/۵	۰/۴	۰/۲۵
A4	۲/۲	۰/۳۱	۷	۰/۴۵	۲/۴	۰/۳۷	۰/۴	۰/۲۵
A5	۲/۱	۰/۳۱	۹	۰/۵۹	۲/۶	۰/۳۹	۰/۳	۰/۲۴
A6	۱/۸	۰/۲۹	۶/۱	۰/۴	۱/۸	۰/۳۱	۰/۶	۰/۲۹
A7	۴/۲	۰/۵۱	۱۰/۵	۰/۷	۳/۸	۰/۵۵	۰/۳	۰/۲۴
A8	۱/۵	۰/۲۷	۵/۳	۰/۳۷	۱/۶	۰/۳	۰/۶	۰/۲۹
A9	۰/۳	۰/۲۱	۲/۸	۰/۲۷	۱	۰/۲۶	۰/۳	۰/۲۳
A10	۳/۷	۰/۴۵	۸/۹	۰/۵۸	۲/۵	۰/۳۸	۰/۶	۰/۲۳
A11	۱/۲	۰/۲۵	۴/۵	۰/۳۳	۱/۴	۰/۲۸	۰/۶	۰/۲۳
A12	۲/۹	۰/۳۶	۹	۰/۵۹	۲/۳	۰/۳۶	۰/۶	۰/۲۹
A13	۱/۴	۰/۲۷	۵/۸	۰/۳۹	۲/۲	۰/۴۴	۰/۳	۰/۲۴
A14	۲/۳	۰/۳۲	۷	۰/۴۵	۲/۴	۰/۳۷	۰/۴	۰/۲۵
A15	۱/۲	۰/۲۶	۵/۹	۰/۴	۱/۴	۰/۲۸	۰/۷	۰/۳۱

ادامه جدول ۲

زیرحوزه	طول	شدت بارندگی در زمان تمرکز										بارندگی سالانه		
	آبراهه اصلی	دوره بازگشت										(میلی‌متر)		
	(کیلومتر)	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۲	۵	
	الف	ب	الف	ب	الف	ب	الف	ب	الف	ب	الف	ب	الف	ب
F۱	۳/۶	۰/۲۸	۱۵/۸	۰/۳	۲۴/۲	۰/۳۵	۲۹/۸	۰/۳۶	۳۶/۷	۰/۳۹	۴۱/۸	۰/۳۷	۲۱۵	۰/۹۴
F۲	۲/۹	۰/۲۶	۲۰/۱	۰/۴	۳۰/۷	۰/۴۱	۳۷/۶	۰/۴۳	۴۶/۴	۰/۴۷	۵۲/۹	۰/۴۴	۲۲۱	۰/۹۶
F۳	۲/۹	۰/۲۶	۱۸/۷	۰/۴	۲۸/۶	۰/۳۹	۳۵	۰/۴	۴۳/۱	۰/۴۴	۴۹/۱	۰/۴۱	۲۲۳	۰/۹۷
F۴	۲/۳	۰/۲۵	۲۱/۳	۰/۴	۳۲/۶	۰/۴۳	۳۹/۹	۰/۴۵	۴۹/۳	۰/۴۹	۵۶/۱	۰/۴۶	۲۲۰	۰/۹۶
F۵	۲/۳	۰/۲۵	۲۳/۳	۰/۴	۳۵/۵	۰/۴۷	۴۳/۶	۰/۴۹	۵۴	۰/۵۴	۶۱/۱	۰/۵	۲۲۰	۰/۹۶
F۶	۲/۲	۰/۲۴	۲۰/۱	۰/۴	۳۰/۷	۰/۴۱	۳۷/۶	۰/۴۳	۴۶/۴	۰/۴۷	۵۲/۹	۰/۴۴	۲۲۱	۰/۹۶
F۷	۰/۹	۰/۲۲	۲۶/۶	۰/۵	۴۰/۶	۰/۵۳	۴۹/۸	۰/۵۶	۶۱/۴	۰/۶۳	۶۹/۵	۰/۵۸	۲۲۳	۰/۹۷
F۸	۲/۹	۰/۲۶	۱۷	۰/۳	۲۵/۹	۰/۳۶	۳۱/۸	۰/۳۸	۳۹/۲	۰/۴	۴۴/۵	۰/۳۸	۲۱۹	۰/۹۶
F۹	۲/۷	۰/۲۶	۱۷/۲	۰/۳	۲۶/۳	۰/۳۷	۳۲/۳	۰/۳۸	۳۹/۸	۰/۴۱	۴۵/۲	۰/۳۹	۲۱۷	۰/۹۵
F۱۰	۱/۱	۰/۲۲	۲۶/۶	۰/۵	۴۰/۶	۰/۵۳	۴۹/۸	۰/۵۶	۶۱/۴	۰/۶۳	۶۹/۵	۰/۵۸	۲۱۴	۰/۹۴
F۱۱	۲/۲	۰/۲۴	۱۹/۱	۰/۴	۲۹/۱	۰/۳۹	۳۵/۶	۰/۴۱	۴۳/۹	۰/۴۴	۵۰/۱	۰/۴۲	۲۱۷	۰/۹۵
F۱۲	۰/۵	۰/۲۱	۳۰/۲	۰/۵	۴۵/۷	۰/۶۱	۵۵/۶	۰/۶۴	۶۸/۱	۰/۷۱	۷۷/۴	۰/۶۶	۲۲۲	۰/۹۶
F۱۳	۱/۶	۰/۲۳	۳۵/۸	۰/۶	۵۴/۲	۰/۷۵	۶۶/۷	۰/۸	۷۷/۵	۰/۸۴	۹۹/۲	۰/۸۸	۲۲۱	۰/۹۶
F۱۴	۲/۵	۰/۲۵	۲۶/۶	۰/۵	۴۰/۶	۰/۵۳	۴۹/۸	۰/۵۶	۶۱/۴	۰/۶۳	۶۹/۵	۰/۵۸	۲۱۷	۰/۹۵
F۱۵	۱/۹	۰/۲۴	۲۱/۳	۰/۴	۳۲/۶	۰/۴۳	۳۹/۹	۰/۴۵	۴۹/۳	۰/۴۹	۵۶/۱	۰/۴۶	۲۱۱	۰/۹۲
F۱۶	۱/۲	۰/۲۲	۳۰/۲	۰/۵	۴۵/۷	۰/۶۱	۵۵/۶	۰/۶۴	۶۸/۱	۰/۷۱	۷۷/۴	۰/۶۶	۲۰۴	۰/۸۹
F۱۷	۱/۷	۰/۲۳	۲۴/۵	۰/۴	۳۷/۴	۰/۴۹	۴۵/۹	۰/۵۲	۵۶/۸	۰/۵۸	۶۴/۱	۰/۵۳	۲۰۷	۰/۹۱
F۱۸	۳/۲	۰/۲۷	۲۰/۵	۰/۴	۳۱/۳	۰/۴۲	۳۸/۳	۰/۴۴	۴۷/۳	۰/۴۸	۵۴	۰/۴۵	۲۱۲	۰/۹۳
F۱۹	۲	۰/۲۴	۲۲/۸	۰/۴	۳۴/۷	۰/۴۶	۴۲/۶	۰/۴۸	۵۲/۸	۰/۵۳	۵۹/۸	۰/۴۹	۲۲۰	۰/۹۶
F۲۰	۱/۵	۰/۲۳	۱۹/۸	۰/۴	۳۰/۱	۰/۴۱	۳۶/۹	۰/۴۲	۴۵/۵	۰/۴۶	۵۲	۰/۴۳	۲۲۴	۰/۹۷
F۲۱	۱	۰/۲۲	۳۲/۳	۰/۶	۴۷/۷	۰/۶۴	۵۷/۶	۰/۶۷	۷۰/۱	۰/۷۴	۷۹/۴	۰/۶۸	۲۲۶	۰/۹۷
A۱	۵/۹	۰/۳۵	۱۹/۴	۰/۴	۲۹/۶	۰/۴	۳۶/۲	۰/۴۲	۴۴/۶	۰/۴۵	۵۱	۰/۴۳	۲۲۴	۰/۹۷
A۲	۷/۲	۰/۴	۲۲/۳	۰/۴	۳۴	۰/۴۵	۴۱/۷	۰/۴۷	۵۱/۵	۰/۵۲	۵۸/۵	۰/۴۸	۲۲۶	۰/۹۷
A۳	۳/۷	۰/۲۸	۲۲/۸	۰/۴	۳۷/۷	۰/۴۶	۴۲/۶	۰/۴۸	۵۲/۸	۰/۵۳	۵۹/۸	۰/۴۹	۲۲۴	۰/۹۷
A۴	۴/۸	۰/۳۲	۲۵/۹	۰/۵	۳۹/۵	۰/۵۲	۴۸/۳	۰/۵۵	۵۹/۸	۰/۶۱	۶۷/۶	۰/۵۶	۲۱۸	۰/۹۵
A۵	۵/۳	۰/۳۳	۲۸/۲	۰/۵	۴۳	۰/۵۷	۵۲/۷	۰/۶	۶۴/۸	۰/۶۷	۷۳/۶	۰/۶۲	۲۱۹	۰/۹۵
A۶	۵/۶	۰/۳۴	۳۹/۹	۰/۷	۵۵/۴	۰/۷۷	۶۵/۳	۰/۷۸	۷۷/۸	۰/۸۴	۸۷/۱	۰/۷۶	۲۲۱	۰/۹۶
A۷	۷/۶	۰/۴۲	۱۸/۷	۰/۴	۲۸/۶	۰/۳۹	۳۵	۰/۴	۴۳/۱	۰/۴۴	۴۹/۱	۰/۴۱	۲۲۲	۰/۹۶
A۸	۹/۴	۰/۵۲	۳۵/۸	۰/۶	۵۴/۲	۰/۷۵	۶۶/۷	۰/۸	۷۷/۵	۰/۸۴	۹۹/۲	۰/۸۸	۲۱۸	۰/۹۵
A۹	۴/۱	۰/۲۹	۵۵/۹	۱	۷۴/۳	۱	۸۶/۹	۱	۹۷/۶	۱	۱۱۹/۳	۱	۲۱۵	۰/۹۴
A۱۰	۹/۱	۰/۵	۲۹	۰/۵	۴۴/۱	۰/۵۸	۵۴/۲	۰/۶۲	۶۶/۵	۰/۶۹	۷۵/۷	۰/۶۴	۲۱۳	۰/۹۳
A۱۱	۱۰/۵	۰/۵۸	۴۵/۴	۰/۸	۶۳/۸	۰/۹	۷۶/۳	۰/۹۳	۸۷/۱	۰/۹۴	۱۰۸/۸	۰/۹۶	۲۱۳	۰/۹۳
A۱۲	۱۲/۵	۰/۷۱	۲۷/۴	۰/۵	۴۱/۸	۰/۵۵	۵۱/۲	۰/۵۸	۶۳/۱	۰/۶۵	۷۱/۵	۰/۶	۲۱۳	۰/۹۳
A۱۳	۱۳/۷	۰/۸	۲۶/۶	۰/۵	۴۰/۶	۰/۵۳	۴۹/۸	۰/۵۶	۶۱/۴	۰/۶۳	۶۹/۵	۰/۵۸	۲۰۲	۰/۸۹
A۱۴	۱۵	۰/۸۹	۲۴/۵	۰/۴	۳۷/۴	۰/۴۹	۴۵/۹	۰/۵۲	۵۶/۸	۰/۵۸	۶۴/۱	۰/۵۳	۱۹۳	۰/۸۴
A۱۵	۱۶/۳	۰/۹۵	۳۳/۵	۰/۶	۵۱/۹	۰/۷۱	۶۵/۵	۰/۷۷	۷۵/۳	۰/۸۱	۹۷	۰/۸۶	۱۹۴	۰/۸۵

ادامه جدول ۲

زیرحوزه														بارندگی سالانه (میلی متر)												دبی سیلابی (متر مکعب بر ثانیه)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
دوره بازگشت														دوره بازگشت												دوره بازگشت																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
۱۰۰		۵۰		۲۵		۱۰		۲		۲۵		۱۰		۱۰۰		۵۰		۲۵		۱۰		۲		۲۵		۱۰		۱۰۰																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
الف	ب	الف	ب	الف	ب	الف	ب	الف	ب	الف	ب	الف	ب	الف	ب	الف	ب	الف	ب	الف	ب	الف	ب	الف	ب	الف	ب	الف	ب	الف	ب																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
F۱	۳۴۴	۰/۹۷	۴۰۰	۰/۹۷	۰/۳۲	۰/۲۵	۲/۵	۰/۵۵	۵/۳	۰/۷۴	۸/۶	۰/۸۴	۱۳/۲	۰/۹۱	F۲	۳۵۳	۰/۹۸	۴۰۹	۰/۹۸	۰/۳۳	۰/۲۵	۲/۷	۰/۵۸	۵/۶	۰/۷۸	۸/۹	۰/۸۸	۱۳/۷	۰/۹۴	F۳	۳۵۶	۰/۹۸	۴۱۳	۰/۹۹	۰/۳۳	۰/۲۵	۲/۶	۰/۵۷	۵/۵	۰/۷۷	۸/۸	۰/۸۷	۱۳/۶	۰/۹۳	F۴	۳۵۱	۰/۹۸	۴۰۸	۰/۹۸	۰/۳۱	۰/۲۵	۲/۵	۰/۵۳	۵/۲	۰/۷۲	۸/۴	۰/۸۲	۱۲/۹	۰/۸۹	F۵	۳۵۲	۰/۹۸	۴۰۸	۰/۹۸	۰/۲۱	۰/۲۳	۱/۸	۰/۳۹	۳/۸	۰/۵	۶/۲	۰/۵۷	۹/۶	۰/۶۲	F۶	۳۵۳	۰/۹۸	۴۰۹	۰/۹۸	۰/۲۴	۰/۲۴	۲	۰/۴۳	۴/۲	۰/۵۶	۶/۹	۰/۶۴	۱۰/۷	۰/۷۱	F۷	۳۵۷	۰/۹۸	۴۱۳	۰/۹۹	۰/۲	۰/۲۳	۱/۷	۰/۳۹	۳/۷	۰/۴۹	۶/۱	۰/۵۶	۹/۴	۰/۶۱	F۸	۳۵۱	۰/۹۸	۴۰۸	۰/۹۸	۰/۳۲	۰/۲۵	۲/۶	۰/۵۶	۵/۴	۰/۷۶	۸/۷	۰/۸۶	۱۳/۴	۰/۹۲	F۹	۳۴۸	۰/۹۷	۴۰۴	۰/۹۸	۰/۲۴	۰/۲۴	۲	۰/۴۴	۴/۳	۰/۵۷	۷	۰/۶۵	۱۰/۸	۰/۷۲	F۱۰	۳۴۴	۰/۹۷	۴۰۰	۰/۹۷	۰/۰۶	۰/۲۱	۰/۶	۰/۲۵	۱/۴	۰/۲۷	۲/۳	۰/۲۹	۳/۸	۰/۳	F۱۱	۳۴۸	۰/۹۷	۴۰۴	۰/۹۸	۰/۳	۰/۲۵	۲/۴	۰/۵۲	۵/۱	۰/۷	۸/۲	۰/۸	۱۲/۶	۰/۸۶	F۱۲	۳۵۶	۰/۹۸	۴۱۲	۰/۹۹	۰/۰۹	۰/۲۱	۰/۸	۰/۲۷	۱/۹	۰/۳۱	۳/۱	۰/۳۳	۵	۰/۳۵	F۱۳	۳۵۴	۰/۹۸	۴۱۱	۰/۹۹	۰/۰۹	۰/۲۱	۰/۹	۰/۲۸	۲	۰/۳۲	۳/۳	۰/۳۴	۵/۳	۰/۳۶	F۱۴	۳۴۹	۰/۹۷	۴۰۶	۰/۹۸	۰/۰۹	۰/۲۱	۰/۹	۰/۲۸	۲	۰/۳۱	۳/۳	۰/۳۴	۵/۳	۰/۳۶	F۱۵	۳۴۰	۰/۹۶	۳۹۶	۰/۹۷	۰/۱۶	۰/۲۲	۱/۴	۰/۲۴	۳/۱	۰/۴۲	۵/۱	۰/۴۷	۸/۱	۰/۵۱	F۱۶	۳۳۰	۰/۹۳	۳۸۶	۰/۹۵	۰/۰۹	۰/۲۱	۰/۹	۰/۲۷	۱/۹	۰/۳۱	۳/۲	۰/۳۳	۵/۱	۰/۳۵	F۱۷	۳۳۵	۰/۹۵	۳۹۱	۰/۹۶	۰/۱۲	۰/۲۲	۱/۱	۰/۳	۲/۴	۰/۳۵	۴	۰/۳۸	۶/۳	۰/۴۱	F۱۸	۳۴۱	۰/۹۶	۳۹۸	۰/۹۷	۰/۲۳	۰/۲۳	۱/۹	۰/۴۲	۴/۱	۰/۵۴	۶/۷	۰/۶۲	۱۰/۴	۰/۶۸	F۱۹	۳۵۲	۰/۹۸	۴۰۸	۰/۹۸	۰/۱۱	۰/۲۲	۱/۱	۰/۲۹	۲/۳	۰/۳۴	۳/۹	۰/۳۷	۶/۱	۰/۴	F۲۰	۳۵۷	۰/۹۹	۴۱۴	۰/۹۹	۰/۱۸	۰/۲۳	۱/۵	۰/۳۶	۳/۳	۰/۴۴	۵/۵	۰/۵	۸/۵	۰/۵۵	F۲۱	۳۶۰	۰/۹۹	۴۱۷	۰/۹۹	۰/۰۹	۰/۲۱	۰/۹	۰/۲۷	۱/۹	۰/۳۱	۳/۲	۰/۳۳	۵/۱	۰/۳۵	A۱	۳۵۷	۰/۹۹	۴۱۳	۰/۹۹	۰/۲۳	۰/۲۴	۱/۹	۰/۴۲	۴/۱	۰/۵۵	۶/۷	۰/۶۳	۱۰/۴	۰/۶۹	A۲	۳۶۰	۰/۹۹	۴۱۷	۰/۹۹	۰/۱۸	۰/۲۳	۱/۵	۰/۳۶	۳/۳	۰/۴۴	۵/۵	۰/۵	۸/۵	۰/۵۵	A۳	۳۵۸	۰/۹۹	۴۱۵	۰/۹۹	۰/۲۴	۰/۲۴	۲	۰/۴۳	۴/۲	۰/۵۶	۶/۹	۰/۶۴	۱۰/۶	۰/۷۱	A۴	۳۴۹	۰/۹۷	۴۰۵	۰/۹۸	۰/۱۳	۰/۲۲	۱/۲	۰/۳۱	۲/۵	۰/۳۶	۴/۲	۰/۴	۶/۶	۰/۴۳	A۵	۳۵۰	۰/۹۸	۴۰۷	۰/۹۸	۰/۱۲	۰/۲۲	۱/۱	۰/۳	۲/۴	۰/۳۵	۳/۴	۰/۳۹	۶/۴	۰/۴۲	A۶	۳۵۳	۰/۹۸	۴۰۹	۰/۹۸	۰/۱۱	۰/۲۲	۱	۰/۲۹	۲/۲	۰/۳۳	۳/۷	۰/۳۶	۵/۸	۰/۳۹	A۷	۳۵۵	۰/۹۸	۴۱۱	۰/۹۹	۰/۲۳	۰/۲۴	۱/۹	۰/۴۲	۴/۱	۰/۵۵	۶/۷	۰/۶۳	۱۰/۴	۰/۶۹	A۸	۳۵۰	۰/۹۷	۴۰۶	۰/۹۸	۰/۰۹	۰/۲۱	۰/۹	۰/۲۷	۱/۹	۰/۳۱	۳/۳	۰/۳۴	۵/۲	۰/۳۶	A۹	۳۴۶	۰/۹۷	۴۰۲	۰/۹۷	۰/۰۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲۲	۰/۶	۰/۲۳	۱	۰/۲۳	۱/۶	۰/۲۴	A۱۰	۳۴۲	۰/۹۶	۳۹۸	۰/۹۶	۰/۲	۰/۲۳	۱/۸	۰/۳۹	۳/۸	۰/۵	۶/۱	۰/۵۶	۹/۵	۰/۶۲	A۱۱	۳۴۳	۰/۹۶	۴۰۰	۰/۹۷	۰/۰۷	۰/۲۱	۰/۷	۰/۲۶	۱/۶	۰/۲۹	۲/۷	۰/۳۱	۳/۴	۰/۳۲	A۱۲	۳۴۳	۰/۹۶	۳۹۹	۰/۹۶	۰/۱۶	۰/۲۲	۱/۴	۰/۳۴	۳/۱	۰/۴۲	۵/۱	۰/۴۷	۸	۰/۵۱	A۱۳	۳۲۷	۰/۹۳	۳۸۳	۰/۹۴	۰/۰۹	۰/۲۱	۰/۸	۰/۲۷	۱/۹	۰/۳۱	۳/۱	۰/۳۳	۵	۰/۳۵	A۱۴	۳۱۵	۰/۸۹	۳۷۰	۰/۹۱	۰/۱۳	۰/۲۲	۱/۲	۰/۳۱	۲/۶	۰/۳۷	۴/۳	۰/۴	۶/۸	۰/۴۴	A۱۵	۳۱۶	۰/۹	۳۷۲	۰/۹۲	۰/۰۸	۰/۲۱	۰/۷	۰/۲۶	۱/۷	۰/۲۹	۲/۸	۰/۳۱	۴/۵	۰/۳۳

رسوب با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی، تصاویر گوگل ارث، و تحلیل‌های آماری محاسبه و با بازدیدهای صحرایی نهایی و امتیاز عوامل مدل MPSIAC بر این اساس تعیین شده است (بخش الف جدول ۳).

نتایج

با محاسبه پارامترهای مؤثر بر رفتار هیدرولوژی و فرسایشی حوزه آبخیز فورگ به شرح قبلی، به منظور تعیین اولویت زمانی و مکانی عملیات کاهش سیل و کنترل فرسایش با روش منطق فازی، مراحل زیر انجام شده است:

۱. نرمال کردن داده‌ها

با استفاده از آزمون کلوموگروف-اسمیرنوف وضعیت نرمال بودن داده‌ها بررسی و داده‌های غیرنرمال نرمال شده است.

۲. تحلیل عاملی

با توجه به زیادبودن تعداد فاکتورها، برای کم کردن محاسبات، بدون اینکه در نتایج تحقیق لطمه‌ای ایجاد شود، با استفاده از تحلیل عاملی، فاکتورهایی که می‌تواند نماینده دیگر فاکتورها باشد با دقت ۹۲ درصد انتخاب شد. همچنین، برای بالابردن دقت کار تحلیل عاملی، از دو حالت استفاده شده است: غیر چرخشی؛ چرخش با روش واریماکس. نتایج این آزمون نشان داد برای سیل‌خیزی فاکتورهای طول کل آبراهه‌ها، محیط، مساحت، ضریب شکل، شیب متوسط حوزه، نسبت انشعاب، تراکم آبراهه، طول آبراهه اصلی، طول حوزه در جهت آبراهه اصلی، شدت بارندگی در زمان تمرکز در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله بارندگی سالانه در دوره بازگشت ۲، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله با دبی در دوره بازگشت ۲، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله با ۹۲ درصد می‌تواند نماینده سایر فاکتورها باشد و برای فرسایش خاک علاوه بر نه عامل مدل MPSIAC مساحت حوزه نیز انتخاب شده است (بخش الف جداول ۲ و ۳).

شرایط مناسب‌تر نسبت به سایر ایستگاه‌ها، ایستگاه مرجع انتخاب شد. سپس، دقت، صحت، و همگنی آمار این ایستگاه و همچنین آزمون‌های مناسب (آزمون مشاهدات استثنائی گروپز-بک و آزمون یکنواختی) بررسی شد. دوره آماری نیز مشابه دوره آماری بارندگی انتخاب شد و نواقص آماری به شرح ارائه شده در مورد بارندگی بازسازی گردید. با استفاده از نرم‌افزار HYFA مقادیر دبی سیلابی این ایستگاه با توزیع‌های مختلف آماری برازش و با توجه به مجموع مربعات خطا، توزیع مناسب انتخاب شد و دبی سیل در دوره بازگشت مختلف محاسبه گردید. ضرایب منطقه‌ای روابط تجربی مورد استفاده با توجه به دبی سیلابی ایستگاه مرجع در دوره بازگشت مختلف و سایر پارامترهای مورد نیاز هر رابطه محاسبه شد. دبی سیلابی هر زیرحوزه با مدل‌های کالیبره شده محاسبه گردید و، در نهایت، با توجه به بازدیدهای میدانی، بررسی داغاب، و دانش بومی مدل مناسب برآورد سیل انتخاب شد (بخش الف جدول ۲).

۴.۱.۲. محاسبه امتیاز مدل MPSIAC

تنگناهای موجود در زمینه حفاظت خاک و مبارزه با فرسایش، فقدان تجهیزات اندازه‌گیری رسوب در اکثر حوزه‌های کشور، و اقتصای بودن روش‌های مورد استفاده در ایران باعث شده که تاکنون پاسخ مناسب، منطقی، و مورد انتظاری از فرسایش خاک و خسارات ناشی از آن ارائه نشود. مدل‌های MPSIAC و EPM از جمله مدل‌های تجربی برآورد فرسایش و رسوب‌اند که بیشتر مورد توجه محققان ایرانی قرار گرفته‌اند. با وجود این، درباره دقت این دو مدل نتایج قطعی ارائه نشده و گاه حتی نتایج متناقضی هم در تحقیقات دیده می‌شود (۶). در این تحقیق، به دلیل بیشتربودن تعداد پارامترها و تأیید مدل MPSIAC بر اساس تحقیقات مختلف، از این مدل برای محاسبه فرسایش و رسوب حوزه استفاده شده است. نقشه‌ها و لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز شامل زمین‌شناسی، توپوگرافی، آب و هوا، خاک‌شناسی، رواناب، پوشش زمین، کاربری اراضی، وضعیت فعلی فرسایش، فرسایش رودخانه‌ای، و حمل

جدول ۳. مقادیر محاسباتی (الف) و عدد فازی (ب) مربوط به آن برای فاکتورهای مؤثر در تولید فرسایش

زیرحوزه	زمین‌شناسی	خاک	رواناب	توپوگرافی	پوشش زمین	کاربری اراضی	وضعیت فعلی	فرسایش	فرسایش رودخانه‌ای

۳. فازی‌سازی اعداد

مقدار عضویت فاکتورهای مؤثر در سیل‌خیزی و تولید فرسایش خاک برای تمام زیرحوزه‌ها بر اساس

روش منطق فازی و تابع عضویت روابط ۲ تعیین شد (۱۵).
روابط ۲

$$\left[M_f = \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{Z_x - b_1 - d_1}{d_1} \right)^2} \right] \right], \left[M_f = \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{Z_x - b_2 + d_2}{d_2} \right)^2} \right] \right] \text{ and } \left[\begin{matrix} b_1 + d \leq Z_x \leq b_2 - d_2 \\ M_f = 1 \end{matrix} \right]$$

۴. تعیین اهمیت نسبی پارامترها

اهمیت نسبی کلیه پارامترهای مؤثر در سیل‌خیزی و تولید فرسایش بر اساس جدول ۴ محاسبه شده است (Juang et al., 1992). و به‌ترتیب میانگین و انحراف از معیار اعداد فازی شده است.

که M_f تابع عضویت متغیر، Z_x ، b_1 و b_2 به‌ترتیب حدود آستانه پایین و بالا، d_1 و d_2 عرض منطقه انتقالی تابع عضویت است. امتیاز عامل اقلیم مدل MPSIAC برای همه زیرحوزه‌ها عدد ۳/۶ و عدد فازی مربوط به آن ۰/۴۳ محاسبه شده است که نتایج در بخش ب جداول ۲ و ۳ ارائه شده است.

جدول ۴. اهمیت نسبی پارامترهای مورد استفاده

ردیف	شدت فاکتور مورد استفاده	اهمیت نسبی
۱	سیل‌خیزی یا فرسایش خیلی کم	$f (M_f \leq \delta)$
۲	سیل‌خیزی یا فرسایش کم	$f (\delta < M_f \leq \bar{X} - \delta)$
۳	سیل‌خیزی یا فرسایش متوسط	$f (\bar{X} - \delta < M_f \leq \bar{X})$
۴	سیل‌خیزی یا فرسایش زیاد	$f (\bar{X} < M_f \leq \bar{X} + \delta)$

بحث و نتیجه‌گیری

برای کاهش سیل و کنترل فرسایش نمی‌توان در عوامل و عناصر زمین‌شناسی، مورفولوژی، و اقلیمی تغییری ایجاد کرد. بنابراین، راه حل اصولی و چاره‌ساز را باید در روی زمین و، اختصاصاً، در مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز جست‌وجو کرد. از طرفی، وسعت زیاد حوزه‌های آبخیز کشور و تخریب آن، محدودیت‌های اقتصادی، زمانی،

۵. اولویت‌بندی

پس از تعیین اهمیت نسبی هر عامل، اولویت اجرای عملیات آبخیزداری بر اساس معیار سیل‌خیزی، تولید فرسایش، و تأثیر همزمان این دو فاکتور مشخص گردید که در جداول ۵، ۶، و ۷ ارائه شده است. در شکل ۳ نقشه اولویت اجرای عملیات آبخیزداری، بر اساس اهداف مشترک کاهش سیل و کنترل فرسایش، نشان داده شده است.

جدول ۵. اولویت اجرای عملیات آبخیزداری با هدف کاهش سیل

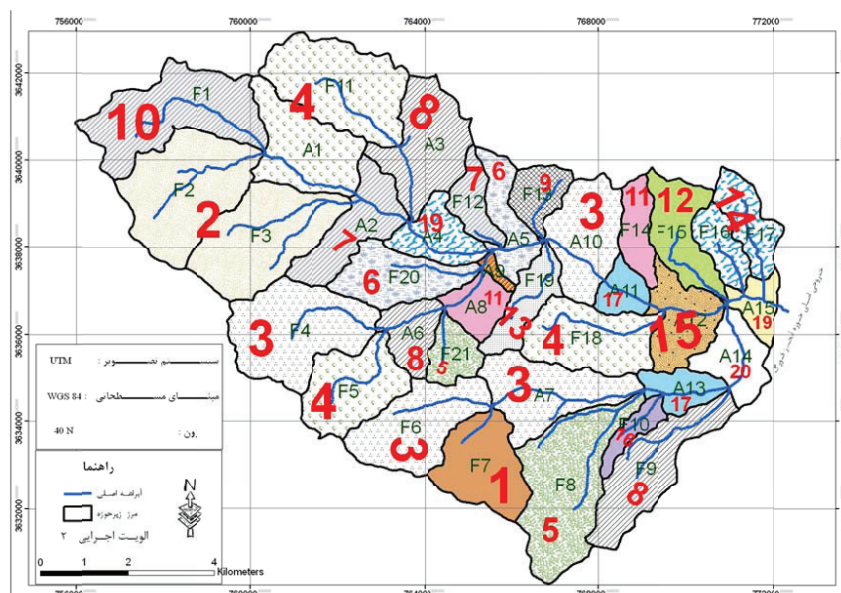
اولویت اجرایی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
نام زیرحوزه	F7-F2	A10-F11	F4-A7	F6-F5-F3-A3-A1	F18-F12-F8-A5	F21-A8-A6	F20-F9-A12	F13-A2
اولویت اجرایی	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	
نام زیرحوزه	F14-F1	A4	F19	F16-F15-A13	F17-A11	A15-A14	F10-A9	

جدول ۶. اولویت اجرای عملیات آبخیزداری با هدف کنترل فرسایش

اولویت اجرایی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
نام زیرحوزه	F3	-F17-F15-A2	F8-F7-F6	-A7-A5-A1	-A10-A6	F11	A4	A8-A3	A11-A9	A13-A12	A15-A14
		F21-F20-F18		F5-F4-F2-F1	F14-F12-F10						
				F1-F16-F13-F9							

جدول ۷. اولویت بر اساس اهداف مشترک کاهش سیل و کنترل فرسایش

اولویت اجرایی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
نام زیرحوزه	F7	F3-F2	A10-A7	-F5-A1	F21-F8	F20-A5	F12-A2	F9-A6-A3	F13	F1
			F6-F4-	F18-F11						
اولویت اجرایی	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	
نام زیرحوزه	F14-A8	F15	F19	F17-F16-A4	A12	F10	A13-A11	A9	A15-A14	



شکل ۳. نقشه اولویت عملیات اجرایی
حوزه آبخیز فورگ بر اساس فاکتور
سیل خیزی و فرسایش

این تحقیق، برای اجرای عملیات آبخیزداری، با واقعیت منطقه مطابقت خوبی دارد و از این نظر با نتایج (2008) Ahmadi et al.، Khedri Tajan (2003) Rostami et al.، Mitra et al. و (2001) Mohammadi & Givi (2002) (1998) مطابقت دارد.

با توجه به اینکه مدل‌های جدید برآورد فرسایش و سیل‌خیزی حوزه‌ها، عموماً، ورودی متعدد و متنوعی برای اجرا لازم دارند و اغلب حوزه‌های کشور از نظر آمار مربوط به سیل و تولید رسوب بسیار ضعیف بوده و همان آمار موجود نیز به دلیل بی‌ثباتی اکثر ایستگاه‌ها چندان قابل اطمینان نیست، توصیه می‌شود، با توجه به نتایج این تحقیق، برای برآورد شدت سیل، فرسایش خاک، و اولویت‌بندی زمانی و مکانی اجرای عملیات، از مدل‌های سنتی، تکنیک‌های GIS، و روش‌های فازی، به شکل تلفیقی، استفاده شود. استفاده از روش‌های منطق فازی، به دلیل در نظر گرفتن محدوده‌ای از احتمالات به جای اعداد، محدودیت روش‌های کمی را برطرف می‌سازد و نسبت به سایر روش‌های کمی، تجزیه و تحلیل دقیق‌تری از نقش عوامل طبیعی ارائه می‌کند. همچنین، مدل‌سازی بر پایه روش‌های منطق فازی و مدل‌های سنتی به علت سادگی، سرعت محاسبه، انعطاف‌پذیری، کاهش خطا، و شفافیت کارایی بیشتری دارد.

و اجرایی، فقدان ایستگاه‌های باران‌سنجی، هیدرومتری، و رسوب‌سنجی و آمار مناسب احیای آبخیزها و اجرای عملیات آبخیزداری و مهندسی رودخانه را با مشکلات متعدد و پیچیده‌ای همراه ساخته است. عدم اجرای به موقع زمانی و مکانی عملیات آبخیزداری و حتی گاهی سلیقه‌ای شدن محل اجرای این عملیات، صرف‌نظر از نتایج بعضاً معکوس و متفاوت با اهداف اولیه، باعث می‌شود خسارات محسوس و نامحسوس ناشی از عدم اجرای به موقع عملیات آبخیزداری، به صورت تصاعدی، افزایش یابد. در این تحقیق به منظور تعیین و اولویت‌بندی علمی، منطقی، و عملی زیرحوزه‌ها برای اجرای عملیات آبخیزداری و مهندسی رودخانه، با در نظر گرفتن شرایط عمومی حوزه‌های کشور (کمبود آمار و اطلاعات)، از تلفیق روش فازی، ابزار GIS، و روش‌های سنتی استفاده شده است.

بررسی‌های میدانی نشان داد اولویت تعیین شده در این پژوهش دارای دقت کافی است. علاوه بر این نتایج، این تحقیق نشان می‌دهد یک عامل به‌تنهایی نمی‌تواند اولویت اجرایی عملیات کاهش سیل و کنترل فرسایش و رسوب را تعیین نماید، بلکه مجموعه عوامل و آثار آن‌ها رفتارهای هیدرولوژی و فرسایش حوزه را تعیین می‌کند، به طوری که زیرحوزه FV، که اولین اولویت اجرایی است، دبی اوج کمتری نسبت به سایر حوزه‌ها دارد. بازدیدهای میدانی نشان داد اولویت به‌دست‌آمده

References

- [1] Ahmadi, H., Malaki, M., Jafari, H., Ghodosi, J., Azarnivand, H. and Mosibi, M. (2008). Quantification of qualitative geomorphology method for water erosion estimation (Case Study: Three sub-watersheds of Latian Dam basin). *Iranian Journal of Natural Resources*, 61 (5), 775.
- [2] Arekhi, S. and Nazari, R. (2008). Zoning erosion intensity and sediment yield using MPSIAC in GIS (Case study: Ilam catchment). *Journal of Iranian Water Research*, 2 (3), 77-81.
- [3] Chang, F. J. and Chang, C. Y. (2001). A counterpropagation fuzzy-neural network modeling approach to real time streamflow prediction. *Journal of hydrology*, 245, 153-164.
- [4] Davari, M., Bahrami, H. and Ghodosi, J. (2005). Assessing the amount of sediment yield in watershed level using MPSIAC model (A case study: Nojjan Watershed). *Journal of Pajouhesh-Va-Sazandegi*, 67, 88-102.
- [5] Ertunga, C. O. and Duckstein, L. (2000). Fuzzy conceptual of rainfall-runoff models. *Journal of Hydrology*, 253, 41-68.
- [6] Ghayoumian, J., Fatemi Aghda, S.M., Ashghali Farahani, A. and Teshna Lab, M. (2002). Evaluation of geomorphological and geological parameters in landslide hazard mapping using fuzzy logic and AHP method (Case Study: a part of Haraz Watershed). *Journal of Pajouhesh-Va-Sazandegi*, 3 (56), 67-80.
- [7] Ghodoosi, J. (2002). Global patterns in watershed management. National Conference of Field Management - Soil Erosion and Stable Development. Arak: Central Province Agricultural Research and Natural Resources Center. Iran.
- [8] Juang, C.H., Lee, D.H. and Sheu, H. (1992). mapping slope failure potential using fuzzy sets. *Journal of geotechnical engineering*, 118 (3), 475-497.
- [9] Keshavarz Bakhshayesh, M. (1998). Erosion vulnerability of Ojan Chay watershed using fuzzy logic. MSc thesis, University of Tarbait Modarres., 140p.
- [10] Khedri Tajan, B. (2003). Application of fuzzy logic in priority setting of watershed management practices in Shahrestanak watershed. MSc thesis, University of Tarbait Modarres., 83p.
- [11] Kivinen, V. P. and Usitalo, J. (2002). Applying fuzzy logic to tree bucking control. *Forest science*, 48 (4), 673-984.
- [12] Mahdavi, M. (2009). *Applied Hydrology*, University of Tehran Press, 312 pp.
- [13] Mitra, B., Scott, H.D., Dixon, J.H. and McKimmey, M.J. (1998). Application of fuzzy logic to the [1] prediction of soil erosion in a large watershed. *Geoderma*, 86, 183-209.
- [14] Mohammadi, J. and Givi, J. (2001). Land Suitability Evaluation for Irrigated Wheat in Falavarjan Region (Isfahan) Using Fuzzy Set Theory. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science*, 1 (5), 103-116.
- [15] Murat, E. and Candan, G. (2003). Use of fuzzy relation to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (west black sea region, turkey). *Journal of Engineering Geology*, 75, 24.

- [16] Roger, M. C., Durk, R. and Cazemier, P. (2000). Representing and processing uncertain soil information for mapping soil hydrological properties. *Journal of Computers and Electronics in Agriculture*, 29 (1-2), 41-57.
- [17] Roghani, M., Tabatabai, S.M.R., Ghafoori, A.M. and Namaki, S.M. (2008). Prioritization flood control operations through the application of spatial indicators of flooding. *Journal of Iran-Watershed Management*, 3, 43-52.
- [18] Rostami M., Ardeshtir, A., Abrishamchi, A., Moradi, M.H. and Arabkhedri, M. (2002). Estimation of suspended load of ungauged watersheds based on clustering and fuzzy logic. 6th International Seminar on River Engineering, 1, pp. 9-17.
- [19] See, I. and Openshaw, S. (2000). A hybrid multi- model approach to river level forecasting. *Journal of Hydrological Science*, 45 (4), 523-536.
- [20] Shadfar, S., Yamani, M., Ghoddusi, J. and Ghayoumiand, J. (2007). Landslide hazard zonation using analytical hierarchy method a case study: Chalkrood catchment. *Journal of Pajouhesh-Va-Sazandegi*, 75, 117-126.
- [21] Tangestani, M. (2006). Comparison of EPM and PSIAC models in GIS for erosion and sediment yield in a semi-arid environment. *Journal of Asian Earth Science*, 27, 585-597.
- [22] Tran, L.T., Ridgley, M.A., Duckstein, L. and Sutherland, R. (2002). Application of fuzzy logic-based modeling to improve the performance of the Revised Universal Soil Loss Equation. *CATENA*, 47 (3), 203-226.