

نگرشی جدید بر روش واکنش سیل واحد در اولویت‌بندی مکانی اقدامات کنترل سیل*

علی نادافی^(۱)سید محمود حسینی^(۲)

چکیده با توجه به خطر روزافزون سیل در تمام نقاط جهان از جمله ایران، تعیین مناطق سیل‌خیز و اولویت‌بندی این مناطق در جهت کنترل سیل امری ضروری است. در این تحقیق نگرشی جدید بر روش واکنش سیل واحد با عنوان روش کاهش سیل مطرح شد و از این نگرش به منظور اولویت‌بندی اقدامات کنترل سیل زیرحوضه‌های بالادست سد کارده در استان خراسان رضوی استفاده گردید. به این منظور، پس از تقسیم حوضه‌ی مورد مطالعه به ۲۴ زیرحوضه، خصوصیات فیزیکی حوضه و زیرحوضه‌ها از طریق نرم‌افزار جانبی HEC-GeoHMS، در محیط ArcGIS تهیه شد. پس از واسنجی مدل HEC-HMS از طریق داده‌های یک واقعه‌ی بارش-رواناب، رواناب حاصل از بارش طراحی با دوره‌ی بازگشت ۵۰ سال با استفاده از این مدل شبیه‌سازی گردید. سپس اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها به روش واکنش سیل واحد و اولویت‌بندی اقدامات کنترل سیل به روش کاهش سیل انجام شد. نتایج نشان داد در حوضه‌ی مورد مطالعه سیل‌خیزترین زیرحوضه لزوماً مناسب‌ترین زیرحوضه برای اقدامات کنترل سیلاب نمی‌باشد و به‌طور کلی نتایج اولویت‌بندی اقدامات کنترل سیل زیرحوضه‌ها تفاوت زیادی با اولویت‌بندی سیل‌خیزی آنها دارد. در ادامه تأثیر تداوم بارش بر روی اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها بررسی شد. نتایج نشان داد تداوم بارش تأثیر قابل‌توجهی بر اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها دارد.

واژه‌های کلیدی تداوم بارش، روش کاهش سیل، روش واکنش سیل واحد، کنترل سیل، مدل HEC-HMS

A New Approach on Unit Flood Response Method for Spatial Prioritization of Flood Control Activities

A. Naddafy

S.M. Hosseini

Abstract Due to increasing rate of flood risk throughout the world, including Iran, it is necessary to identify and prioritize flood-contributing areas for flood control activities. In this study, a new approach on Unit Flood Response method called "Flood Reduction method" was introduced which is applicable to prioritization of sub-basins for flood control activities. It was used to prioritize upstream sub-basins of Kardeh dam in Khorasan Razavi province. To conduct the study, the entire basin was divided into 24 sub-basins and physical characteristics of the basin and sub-basins were extracted using HEC-GeoHMS extension in ArcGIS. HEC-HMS model was calibrated using a rainfall-runoff event data and then, the 50-year design storm was simulated by this calibrated model. Prioritization of flood source areas was performed using the Unit Flood Response method and the Flood Reduction method was used to prioritize flood control activities. For the basin under study, the results showed that the sub-basin which has higher flood contribution is not necessarily the most appropriate sub-basins for flood control activities. In general, the prioritization results of the Flood Reduction method and those of the Unit Flood Response method were significantly different. The effect of rainfall duration on sub-basins prioritization was also studied. The results showed that rainfall duration has a significant effect on the sub-basins prioritization.

Keywords Flood Control, Flood Reduction Method, HEC-HMS Model, Rainfall Duration, Unit Flood Response Method.

★ تاریخ دریافت مقاله ۹۲/۸/۲۴ و تاریخ پذیرش آن ۹۳/۱۰/۲۰ می‌باشد.

(۱) دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد.

(۲) نویسنده مسئول: استاد، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد.

مقدمه و سابقه‌ی تحقیق

سیل هر ساله منجر به خسارات جانی و مالی فراوانی در سطح جهان می‌شود. با وجود تلاش‌های انجام شده برای مهار سیل، بشر نتوانسته به‌طور کامل از خسارات ناشی از آن در امان بماند. با افزایش جمعیت جهان نیاز بشر به زمین و منابع طبیعی افزایش پیدا کرده است. یکی از نتایج این مسأله تجاوز به مناطق مسکونی، صنعتی و راه‌های ارتباطی به مزارع، مراتع و جنگل‌ها و تخریب آنها می‌باشد. این امر باعث افزایش مناطق نفوذناپذیر و در نتیجه افزایش سرعت و حجم سیلاب می‌شود [1]. در نتیجه می‌توان گفت که با توجه به رشد روزافزون جمعیت و تخریب بی‌رویه‌ی منابع طبیعی، خطر بروز سیل رو به افزایش است و بنابراین اقدامات آبخیزداری و عملیات حفاظتی به‌منظور کنترل سیل در حوضه‌های سیل‌خیز امری ضروری است. در گذشته کنترل خسارات ناشی از سیل در یک نقطه، غالباً از طریق طراحی و ساخت سازه‌های کنترل سیل بر روی رودخانه در محل مورد نظر انجام می‌گرفت، در حالی که امروزه به جای تمرکز بر روی نواحی مورد تهدید سیل در پایین‌دست، تأکید بر شناسایی و کنترل سیل در سرمنشأ آن در نواحی بالادست حوضه می‌باشد [2]. با توجه به گسترده بودن سطح حوضه‌ها امکان اقدامات کنترل سیل در سرتاسر حوضه موجود نمی‌باشد. بنابراین باید از طریق مطالعات کنترل سیل، مناطقی که تأثیر بیشتری در ایجاد سیلاب دارند شناسایی و اولویت‌بندی شوند، تا بتوان با صرف کم‌ترین هزینه به بیشترین میزان مهار سیلاب دست پیدا کرد [3]. Juracek [4] در سال ۲۰۰۰ زیرحوضه‌های منطقه‌ی کانزاس (Kansas) را براساس قابلیت تولید رواناب آنها طبقه‌بندی نمود. وی به این منظور ترکیب‌های مختلفی از نفوذپذیری خاک، کاربری زمین و شاخص‌های رطوبتی را در نظر گرفت و براساس این معیارها، زیرحوضه‌ها را از قابلیت تولید رواناب خیلی زیاد تا خیلی کم طبقه‌بندی کرد. وی در مطالعه‌ی خود تأثیر روندیابی جریان زیرحوضه‌ها تا خروجی حوضه را در

نظر نگرفت. Islam و Sado [5] براساس داده‌های سنجش از دور مربوط به سیل سال ۱۹۸۸ در بنگلادش، نقشه‌های خطر سیل را برای بنگلادش تهیه نمودند. آنها در تهیه‌ی این نقشه‌ها از اطلاعات مربوط به ارتفاع، پوشش گیاهی، عوارض زمین‌شناسی، فیزیوگرافی و شبکه‌ی زهکشی استفاده نمودند. مقدار هر سلول (Pixel) در نقشه‌های خطر سیل، در واقع میزان شدت خسارت مربوط به آن سلول را نشان می‌داد. از طریق این نقشه‌ها امکان شناسایی نقاط بحرانی که بیش از سایر نقاط در معرض خطر سیل قرار داشتند، فراهم بود ولی این نقشه‌ها اطلاعات لازم را در مورد این که کنترل سیل در کدام مناطق می‌تواند تأثیر بیشتری بر کاهش خسارت در نقاط بحرانی داشته باشد، در اختیار قرار نمی‌داد. Foody و همکاران [6] در سال ۲۰۰۴ از مدل HEC-HMS برای تعیین مناطق اصلی تولید سیلاب استفاده نمودند. آنها داده‌های مورد نیاز مدل، شامل پوشش گیاهی و خصوصیات خاک را به ترتیب از طریق تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی تهیه نمودند. نتایج اجرای مدل نشان داد نقاطی که بیشترین دبی اوج سیلاب را دارند، منطبق بر نقاطی هستند که بیشترین خسارت را از سیلاب‌های رخ داده متحمل شده بودند. همان‌طور که اشاره شد به‌منظور کنترل سیل در یک نقطه، به‌جای اجرای اقدامات کنترل سیل در محل مورد نظر می‌باید بر کنترل سیل در سر منشأ آن تمرکز کرد و مناطقی که بیشترین تأثیر را در دبی اوج سیلاب آن محل دارند شناسایی نمود. به این منظور باید حوضه به‌گونه‌ای تعیین گردد که خروجی حوضه دقیقاً در محل مورد نظر برای حفاظت واقع شود [2]. سپس به‌منظور اولویت‌بندی سیل‌خیزی در سطح حوضه، می‌توان حوضه را به واحدهای مطالعاتی کوچک‌تری تقسیم نمود و با روندیابی جریان هر یک از این واحدها تا خروجی حوضه، سهم هر یک را در دبی اوج سیلاب در خروجی حوضه تعیین نمود. در این شرایط مناطقی که بیشترین مشارکت را در دبی اوج خروجی حوضه داشته باشند به‌عنوان مناطق سیل‌خیز و سرمنشأ سیل شناخته

اقدامات کنترل سیل در زیرحوضه‌ها بر روی دبی اوج به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. از طرف دیگر با حرکت از قسمت‌های میانی به بخش‌های بالایی حوضه تأثیر زیرحوضه‌ها روی دبی اوج کاهش می‌یابد. Saghafian و همکاران [2]، برای اولین بار در حوضه رود زرد در ایران با تقسیم‌بندی حوضه به‌صورت شبکه‌ای از سلول‌ها، اولویت‌بندی سیل‌خیزی را برای تک‌تک این سلول‌ها انجام دادند. آنها با استفاده از روش واکنش سیل واحد، شاخص سیل را برای هر یک از سلول‌ها محاسبه کردند. بدین طریق نقشه رستری شاخص شدت سیل برای حوضه تهیه گردید. این نقشه نشان که داد مناطق اصلی منشأ سیل، در نواحی میانی بالادست حوضه قرار دارند. در ادامه با اجرای روش واکنش سیل واحد در سطح زیرحوضه‌ها، شاخص سیل برای زیرحوضه‌ها نیز محاسبه شد. مقایسه‌ی شاخص سیل زیرحوضه‌ها و میانگین وزنی شاخص سیل تمام سلول‌های موجود در هر زیرحوضه، نشان داد که این مقادیر به هم نزدیکند. بنابراین Saghafian و همکاران به این نتیجه رسیدند که به‌منظور اقدامات کنترل سیل نیاز نیست مطالعات به‌صورت توزیعی و در سطح سلول انجام شود، بلکه انجام مطالعات در سطح زیرحوضه‌ها نتایج لازم را در اختیار می‌گذارد. Sulaiman و همکاران [9] با استفاده از روش واکنش سیل واحد، به بررسی مناطق مولد سیل در حوضه رودخانه‌ی پاهانگ (Pahang) در شبه‌جزیره‌ی مالزی پرداختند. نتایج آنها نشان داد که پاسخ هیدرولوژیک زیرحوضه‌ها تابعی غیرخطی از بسیاری از عوامل است و زیرحوضه‌هایی که در کم‌ترین و بیشترین فاصله تا خروجی حوضه قرار دارند، ضرورتاً بیشترین و کمترین مشارکت را در دبی اوج خروجی ندارند. جوکار [۱۰] با استفاده از مقایسه‌ی مقادیر تغییرات در دبی اوج خروجی حوضه به‌زای تغییرات شیب متوسط زیرحوضه، شیب آبراهه، شماره‌ی منحنی (CurveNumber, CN)، مساحت و زمان تأخیر هر یک

می‌شوند. یکی از معروف‌ترین روش‌ها در زمینه‌ی تعیین میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در هیدروگراف خروجی حوضه، روش واکنش سیل واحد (Unit Flood Response) می‌باشد. Saghafian و Khosroshahi [7] این روش را برای تعیین مشارکت زیرحوضه‌ها در دبی اوج خروجی و اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها ارائه دادند. آنها در این روش ابتدا هیدروگراف سیل طراحی را در خروجی حوضه محاسبه نمودند. در ادامه در هر بار اجرای مدل، یکی از زیرحوضه‌ها را از شبیه‌سازی جریان حذف کردند و دبی اوج خروجی حوضه را بدون حضور آن زیرحوضه محاسبه نمودند. تفاوت دبی خروجی در حالتی که تمام زیرحوضه‌ها در دبی خروجی مشارکت داشتند با حالتی که یک زیرحوضه از شبیه‌سازی حذف می‌گردید، سهم آن زیرحوضه را در دبی اوج خروجی حوضه نشان می‌داد. Saghafian و Khosroshahi با استفاده از روش واکنش سیل واحد و به‌کمک مدل HEC-HMS به مطالعه‌ی سیل‌خیزی در حوضه‌ی دماوند در شمال ایران پرداختند. نتایج نشان داد که زیرحوضه‌ای که مساحت بیشتری داشته باشد لزوماً دبی اوج خروجی بیشتری ندارد، هم‌چنین زیرحوضه‌ای که دبی اوج خروجی بیشتری داشته باشد لزوماً شاخص سیل‌خیزی بیشتری ندارد. نتایج هم‌چنین نشان دادند که تداوم و دوره‌ی بازگشت بارش طراحی تأثیری بر روی اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها ندارد. Roushani و همکاران [8]، به‌منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها برای اقدامات کنترل سیل روش جدیدی ارائه دادند. در این روش ابتدا سطوح هم‌پیمایش جریان برای کل حوضه مشخص می‌شوند. سپس در هر بار اجرای مدل هیدرولوژیک، هیدروگراف زیرحوضه‌های یکی از این سطوح از روندیابی جریان حذف و از این طریق تأثیر آن سطح و زیرحوضه‌های آن، در هیدروگراف خروجی تعیین می‌گردد. مقایسه‌ی دبی‌های اوج نشان داد که با حرکت از خروجی به سمت قسمت‌های میانی حوضه، اثر

زیرحوضه‌ی اول دبی و احتمالاً شاخص سیل خیزی بیشتری نسبت به زیرحوضه‌ی دوم دارد ولی باید در نظر داشت که کنترل کامل سیل (به صورتی که دبی خروجی زیرحوضه به صفر برسد) در زیرحوضه‌ی اول به مراتب نیازمند صرف عملیات و هزینه‌های بیشتری می‌باشد. در نتیجه زمانی می‌توان گفت که مقایسه زیرحوضه‌ها از لحاظ اقتصادی در شرایط یکسان انجام می‌شود، که میزان عملیات در تمام زیرحوضه‌ها یکسان باشد. بنابراین در نگرش جدید مطرح شده در این تحقیق، فرض می‌شود با اجرای اقدامات کنترل سیل در یک زیرحوضه دبی آن زیرحوضه کاهش می‌یابد که میزان این کاهش با توجه به شرایط و قابلیت تولید رواناب زیرحوضه‌ی مورد نظر می‌باشد. از دیگر اهداف این تحقیق بررسی تأثیر تداوم بارش بر روی اولویت بندی زیرحوضه‌ها می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبخیز سد کارده واقع در استان خراسان رضوی، در شمال شهرستان مشهد و در بین عرض‌های جغرافیایی $36^{\circ} 40' 10''$ تا $36^{\circ} 56' 05''$ شمالی و طول‌های جغرافیایی $48^{\circ} 28' 48''$ تا $48^{\circ} 44' 59''$ شرقی قرار دارد. منطقه‌ی مورد مطالعه در این تحقیق قسمتی از حوضه‌ی سد کارده واقع در بالادست ایستگاه هیدرومتری کارده‌ی بالا می‌باشد. مساحت این منطقه حدود 448 کیلومتر مربع است و ایستگاه هیدرومتری کارده‌ی بالا در محل خروجی این منطقه واقع می‌باشد. جریان خروجی از ایستگاه هیدرومتری کارده‌ی بالا، در ادامه‌ی مسیر با جریان خروجی حوضه‌ی آبخیز کوشک آباد ترکیب شده است و به طرف سد کارده جاری می‌شود. در داخل منطقه‌ی مورد مطالعه چهار ایستگاه باران‌سنجی ثابت به نام‌های آل، بلغور، جنگ و مارشک موجود است (شکل ۱).

از زیرحوضه‌ها، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر سیل خیزی را بررسی نمود. نتایج مطالعه‌ی جوکار نشان داد که عامل شماره‌ی منحنی (CN)، که عامل تأثیر جنس خاک و پوشش گیاهی را در خود مستتر دارد، مؤثرترین عامل بر روی دبی اوج خروجی حوضه می‌باشد.

با دقت در مطالعات انجام شده می‌توان دریافت که روش واکنش سیل واحد یکی از روش‌های مناسب برای اولویت بندی سیل خیزی زیرحوضه‌ها می‌باشد ولی در استفاده از این روش به منظور اولویت بندی زیرحوضه‌ها برای اقدامات کنترل سیل با چالش‌هایی روبه‌رو هستیم. در این روش برای تعیین نقش یک زیرحوضه در دبی خروجی حوضه، هیدروگراف آن زیرحوضه به طور کامل از روندیابی حذف می‌شود. این امر معادل این فرض است که با اجرای اقدامات کنترل سیل در یک زیرحوضه، دبی خروجی آن زیرحوضه به صفر می‌رسد. این درحالی است که در بسیاری از طرح‌های کنترل سیل با اجرای اقدامات کنترل سیل در یک زیرحوضه عملاً دبی خروجی آن به صفر نمی‌رسد، بلکه حجم و دبی اوج سیلاب کاهش می‌یابد [11]. بنابراین هرچند که در روش واکنش سیل واحد با استفاده از شاخص‌های ارائه شده به خوبی می‌توان زیرحوضه‌ها را از نظر سیل خیزی اولویت بندی نمود، ولی برای اولویت بندی اقدامات کنترل سیل نیاز به ارائه‌ی شاخص جدیدی می‌باشد. در نتیجه، در این تحقیق نگرشی جدید برای اولویت بندی اقدامات کنترل سیل مطرح می‌شود که در آن تأثیر اقدامات کنترل سیل در یک زیرحوضه به صورت کاهش دبی آن زیرحوضه نمایان شود. از دیگر چالش‌هایی که در روش واکنش سیل واحد با آن روبه‌رو هستیم می‌توان به عدم توجه به شرایط اولیه‌ی زیرحوضه‌ها اشاره نمود. به عنوان مثال دو زیرحوضه با مساحت برابر را در نظر بگیرید که زیرحوضه‌ی اول دارای شیب تند و پوشش گیاهی ضعیف می‌باشد و زیرحوضه‌ی دوم شیب ملایم‌تر و پوشش گیاهی بیشتری دارد. با این شرایط و با فرض یکسان بودن سایر شرایط این دو زیرحوضه، قاعدتاً

می‌یابد. با توجه به این که عامل CN مؤثرترین عامل بر روی دبی اوج می‌باشد [۱۰]، در روش کاهش سیل، کاهش دبی اوج با کاهش CN معادل‌سازی می‌شود. به عبارت دیگر در رویکرد جدید، به جای حذف کامل یک زیرحوضه از شبیه‌سازی، CN آن زیرحوضه کاهش داده می‌شود.

در این روش ابتدا با استفاده از بارش طراحی، هیدروگراف خروجی حوضه به دست می‌آید. سپس CN یکی از زیرحوضه‌ها درصد معینی (مثلاً ۱۰ درصد) کاهش داده می‌شود. از آنجایی که تلفات اولیه (T_{lag} , Initial Abstraction, I_a) و زمان تأخیر حوضه (T_{lag}) تابعی از شماره‌ی منحنی حوضه (CN) می‌باشند، مقادیر T_{lag} و I_a زیرحوضه‌ی موردنظر نیز براساس CN جدید و با توجه به روابط SCS تغییر داده می‌شوند. مدل با این شرایط اجرا می‌گردد و هیدروگراف خروجی حوضه به دست می‌آید. تفاوت دبی اوج خروجی حوضه در حالت اولیه و حالتی که CN زیرحوضه کاهش پیدا کرده است، نشان دهنده‌ی تأثیر اقدامات کنترل سیل در زیرحوضه‌ی موردنظر بر روی دبی اوج هیدروگراف خروجی حوضه است. این فرآیند برای تک تک زیرحوضه‌ها انجام می‌شود و شاخص کاهش سیل هر زیرحوضه از رابطه‌ی (۳) محاسبه می‌گردد.

$$(MFI_R)_k = \left(\frac{Q_{o,all} - Q_{o,Rk}}{Q_{o,all}} \right) \times 100 \quad (3)$$

در این رابطه، $(MFI_R)_k$ شاخص کاهش سیل زیرحوضه‌ی k ام برحسب درصد، $Q_{o,all}$ دبی خروجی حوضه زمانی که تمام زیرحوضه‌ها مشارکت دارند برحسب مترمکعب بر ثانیه و $Q_{o,Rk}$ دبی خروجی حوضه در شرایطی است که CN زیرحوضه‌ی k ام، R در صد کاهش یافته با شد برحسب متر مکعب بر ثانیه می‌باشند. با توجه به این که کنترل سیل در زیرحوضه‌های بزرگ‌تر، طبیعتاً عملیات و هزینه‌ی بیشتری در پی خواهد داشت، پس لازم است شاخص

روش واکنش سیل واحد

Saghafian و Khosroshahi [7] در سال ۲۰۰۵، روش واکنش سیل واحد (Unit Flood Response) را برای تعیین مشارکت زیرحوضه‌ها در دبی اوج هیدروگراف خروجی حوضه و اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها ارائه دادند. در این روش شاخص‌های سیل‌خیزی FI و f_i برای هر زیرحوضه از روابط ۱ و ۲ تعیین می‌گردد که از طریق آنها اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها انجام می‌شود.

$$FI_k = \left(\frac{Q_{o,all} - Q_{o,all-k}}{Q_{o,all}} \right) \times 100 \quad (1)$$

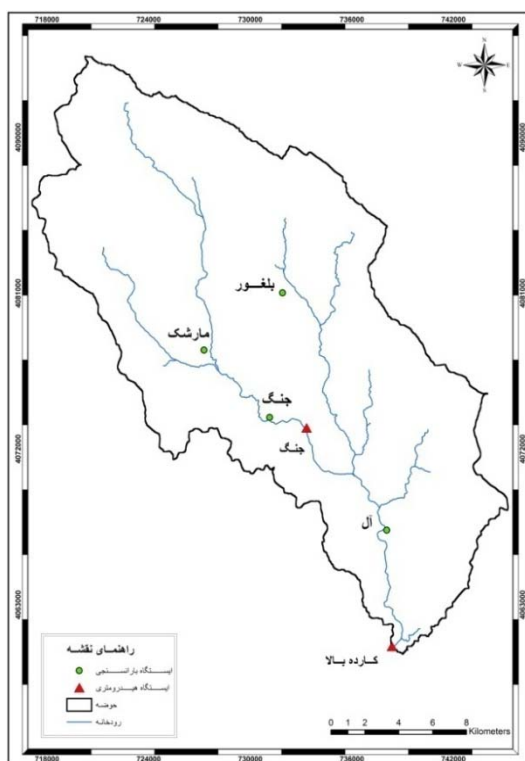
$$f_i_k = \frac{Q_{o,all} - Q_{o,all-k}}{A_k} \quad (2)$$

در این روابط، FI_k شاخص سیل‌خیزی زیرحوضه‌ی k ام برحسب درصد، $Q_{o,all}$ دبی خروجی حوضه‌ی زمانی که تمام زیرحوضه‌ها مشارکت دارند برحسب مترمکعب بر ثانیه، $Q_{o,all-k}$ دبی خروجی حوضه‌ی زمانی که زیرحوضه‌ی k ام حذف شده است برحسب مترمکعب بر ثانیه، f_i_k شاخص سیل‌خیزی در واحد سطح برای زیرحوضه‌ی k ام برحسب مترمکعب بر ثانیه بر کیلومتر مربع و A_k مساحت زیرحوضه‌ی k ام بر حسب کیلومتر مربع می‌باشند.

روش کاهش سیل

همان‌طور که در بخش‌های پیش اشاره گردید، در استفاده از روش واکنش سیل واحد به منظور اولویت‌بندی اقدامات کنترل سیل با چالش‌هایی مواجه می‌باشیم. بنابراین در این تحقیق با نگرشی جدید نسبت به روش واکنش سیل واحد، روشی جدید برای اولویت‌بندی مکانی اقدامات کنترل سیل به نام روش کاهش سیل ارائه شد. کلیات این روش براساس روش واکنش سیل واحد می‌باشد با این تفاوت که در روش کاهش سیل فرض می‌شود با اجرای اقدامات کنترل سیل در یک زیرحوضه، دبی اوج زیرحوضه کاهش

به منظور تهیه مدل حوضه در ابتدا با استفاده از نقشه‌ی رقومی خطوط تراز ارتفاعی منطقه با اختلاف ارتفاع ۲۰ متر، لایه‌ی مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه با اندازه‌ی سلول ۱۰ متر در محیط ArcGIS تولید شد. مرز حوضه و زیرحوضه‌ها، مسیر آبراهه‌ها و هم‌چنین خصوصیات فیزیکی مربوط به آنها نیز در محیط نرم افزار جانی HEC-GeoHMS تهیه شد و بدین ترتیب مدل حوضه تولید گردید و سپس به HEC-HMS منتقل گردید. محدوده زیرحوضه‌ها و مشخصات فیزیکی آنها به ترتیب در شکل (۲) و جدول (۱) قابل ملاحظه است. لازم به ذکر است برای محاسبه‌ی مقدار متوسط CN زیرحوضه‌ها نیاز به لایه‌ی CN حوضه بود. این لایه از طریق تلفیق لایه‌ی کاربری اراضی و لایه‌ی گروه هیدرولوژیک خاک به دست آمد.



شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی بالادست ایستگاه هیدرومتری کارده بالا

دیگری برای اقدامات کنترل سیلاب تعریف شود که در آن عامل مساحت نیز در نظر گرفته شود. به این منظور شاخص کاهش سیل در واحد سطح هر زیرحوضه به صورت رابطه‌ی (۴) ارائه شد.

$$(Mfi_R)_k = \frac{Q_{o,all} - Q_{o,Rk}}{A_k} \quad (4)$$

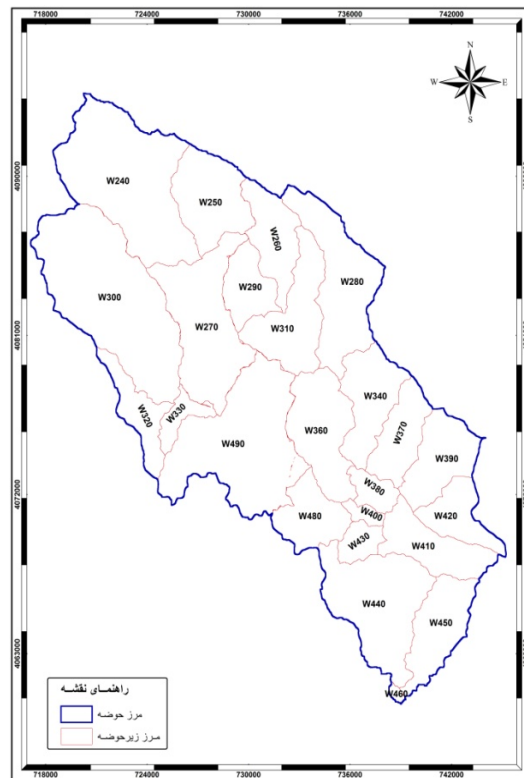
در این رابطه، $(Mfi_R)_k$ شاخص کاهش سیل در واحد سطح زیرحوضه‌ی k ام برحسب مترمکعب بر ثانیه بر کیلومتر مربع و A_k مساحت زیرحوضه‌ی k ام بر حسب کیلومتر مربع می‌باشند. پارامترهای $Q_{o,all}$ و $Q_{o,Rk}$ نیز همان تعاریف ارائه شده در رابطه‌ی (۳) را دارند. با مقایسه‌ی شاخص Mfi زیرحوضه‌ها، می‌توان دریافت سطح یکسانی از اقدامات کنترل سیل در کدام زیرحوضه بیشترین تأثیر در دبی اوج خروجی حوضه را دارد و از این طریق مناسب‌ترین زیرحوضه را برای اقدامات کنترل سیل انتخاب نمود. لازم به ذکر است که اندیس R در شاخص‌های Mfi و MFI در واقع نشان‌دهنده‌ی درصد کاهش CN زیرحوضه می‌باشد.

معرفی مدل HEC-HMS

از جمله مهم‌ترین روش‌های مطالعات کنترل سیل استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی است. مدل‌های هیدرولوژیکی ابزار مناسبی برای شبیه‌سازی تبدیل بارش به رواناب، محاسبه‌ی رواناب خروجی حوضه‌ها، روندیابی سیلاب در رودخانه‌ها و مخازن هستند [12]. در این تحقیق به منظور شبیه‌سازی بارش-رواناب از مدل HEC-HMS استفاده شده است. شبیه‌سازی حوضه‌های آبریز در HEC-HMS از طریق سه بخش اساسی به نام مدل حوضه، مدل هواشناسی و مشخصه‌های کنترل انجام می‌شود. پس از معرفی سه بخش فوق به HEC-HMS می‌توان مدل را اجرا نمود و نتایج را مشاهده کرد و در صورت لزوم، مقادیر معرفی شده به مدل را از طریق واسنجی تصحیح نمود [13].

واحد SCS، روندیابی جریان به روش ماسکینگام و توزیع مکانی بارش با توجه به موقعیت مکانی ایستگاه‌ها و اطلاعات موجود به روش وزن‌دهی برمبنای معکوس فاصله (روش IDW) انجام شد. همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، اختلاف در دبی اوج م‌شاهداتی و شبیه‌سازی شده در این مرحله (پیش از واسنجی مدل) بسیار کم است و هیدروگراف م‌شاهداتی و شبیه‌سازی شده تطابق خوبی با یکدیگر دارند. با این وجود به‌منظور افزایش دقت مدل نسبت به واسنجی مدل اقدام شد.

بعد از شبیه‌سازی بارش ۸۱/۴/۲۸ با مقادیر اولیه، واسنجی مدل با بهینه‌سازی پارامترهای شماره‌ی منحنی (CN) و تلفات اولیه (I_a) و هم‌چنین ضرایب K و X روش ماسکینگام انجام شد. ضرایب K و X روش ماسکینگام، از طریق تابع انحراف معیار وزنی دبی اوج و از روش شیب یک‌متغیره واسنجی شدند. مقادیر اولیه و بهینه‌ی ضرایب K و X برای آبراهه‌های موجود در حوضه، در جدول (۳) آورده شده‌اند. با توجه به تعداد زیاد زیرحوضه‌ها و وجود تنها یک واقعه‌ی بارش رواناب برای واسنجی، امکان بهینه‌سازی I_a و CN برای تک‌تک زیرحوضه‌ها وجود نداشت. HEC-HMS قادر است با اعمال یک ضریب یکسان برای تمام زیرحوضه‌ها، مقدار CN و یا I_a زیرحوضه‌ها را یک‌باره بهینه نماید. این روش اعمال شد و ضریب مورد استفاده برای بهینه نمودن CN و I_a به ترتیب معادل ۰/۹۵ و ۰/۸ به دست آمد. با واسنجی مدل، میزان خطا در شبیه‌سازی دبی اوج از ۳/۸ در صد به ۲/۵ در صد و خطا در محاسبه‌ی حجم سیلاب از ۲۲ درصد به ۱۴ درصد کاهش یافت. در شکل (۳) می‌توان هیدروگراف م‌شاهداتی، هیدروگراف شبیه‌سازی شده‌ی پیش از واسنجی مدل و هیدروگراف شبیه‌سازی شده‌ی پس از واسنجی مدل را با یکدیگر مقایسه نمود.



شکل ۲ موقعیت زیرحوضه‌های بالادست ایستگاه هیدرومتری کارده‌ی بالا و نام‌گذاری آنها

واسنجی مدل HEC-HMS

به‌منظور واسنجی مدل، نیاز به بارش‌هایی می‌باشد که هیدروگراف‌های مربوط به آنها در ایستگاه هیدرومتری پایین‌دست ثبت شده باشند. با توجه به نقص اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی موجود در منطقه، تنها یک واقعه‌ی مناسب در تاریخ ۸۱/۴/۲۸ الی ۸۱/۴/۲۹ برای واسنجی مدل یافت شد که اطلاعات مربوط به آن در جدول (۲) آورده شده است. اطلاعات بارش در هر ایستگاه مطابق آمار باران‌سنج‌های ثابت آن ایستگاه در تاریخ ۸۱/۴/۲۸ الی ۸۱/۴/۲۹ به مدل معرفی شد و با توجه به این اطلاعات، بارندگی شبیه‌سازی محاسبه‌ی تلفات از روش شماره‌ی منحنی SCS، تبدیل بارش به رواناب به روش هیدروگراف

جدول ۱ مشخصات فیزیکی زیرحوضه‌های بالادست ایستگاه هیدرومتری کاردهی بالا

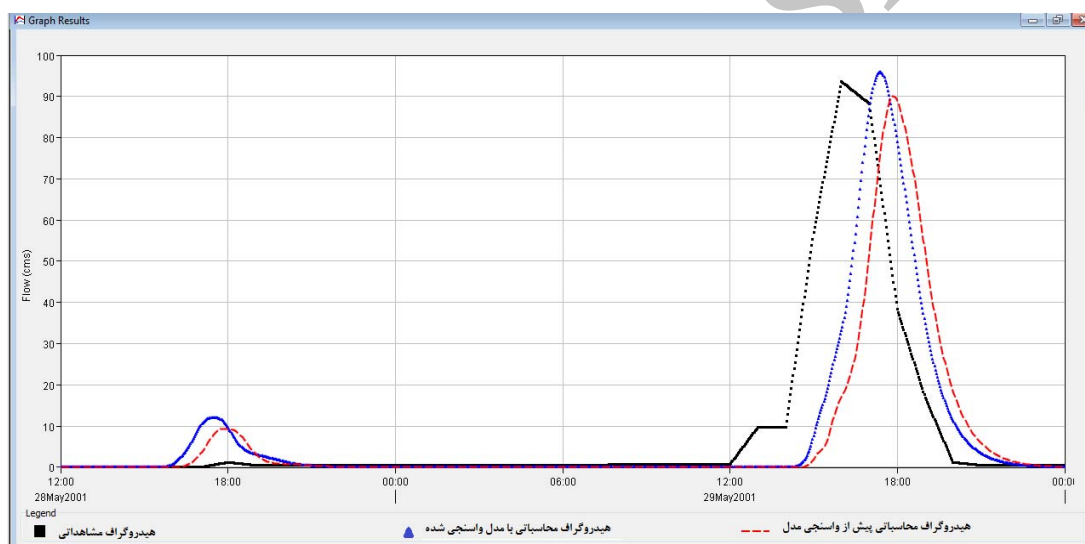
نام زیرحوضه	مساحت (km ²)	CN اولیه	متوسط شیب زیرحوضه (%)	زمان تاخیر (hr)SCS	ارتفاع متوسط (m)
W250	۱۹/۲#	۸۲/۹#	۵۰#	۰/۶۱#	۲۳۸۹#
W260	۱۳/۹#	۸۸/۷#	۵۴#	۰/۶۰#	۲۴۱۵#
W270	۳۱/۴#	۸۰/۸#	۴۷#	۰/۹۹#	۲۱۱۳#
W280	۲۷/۵#	۸۵/۶#	۵۲#	۰/۸۷#	۲۲۷۷#
W290	۱۰/۴#	۸۵/۳#	۴۲#	۰/۵۶#	۲۲۴۴#
W300	۵۴/۰#	۷۳/۱#	۴۶#	۱/۵۵#	۲۳۱۸#
W310	۲۰/۲#	۸۳/۸#	۴۶#	۰/۷۹#	۲۱۲۰#
W320	۱۰/۴#	۷۶/۰#	۲۹#	۰/۹۸#	۲۰۳۶#
W330	۷/۴#	۷۲/۸#	۳۵#	۰/۶۹#	۱۸۹۳#
W340	۱۶/۵#	۸۶/۴#	۵۶#	۰/۵۷#	۲۰۴۹#
W480	۱۲/۷#	۸۱/۷#	۵۳#	۰/۵۵#	۱۷۶۲#
W360	۲۱/۰#	۸۲/۰#	۴۷#	۰/۸۲#	۱۸۷۳#
W370	۱۲/۶#	۸۷/۰#	۵۱#	۰/۵۰#	۲۰۲۹#
W380	۴/۹#	۸۲/۰#	۴۷#	۰/۳۸#	۱۷۸۱#
W390	۱۵/۵#	۸۵/۲#	۵۱#	۰/۵۷#	۲۱۲۵#
W400	۲/۱#	۸۰/۸#	۵۲#	۰/۲۵#	۱۶۶۴#
W410	۱۵/۲#	۸۸/۶#	۵۷#	۰/۵۷#	۱۸۸۵#
W420	۱۰/۷#	۸۳/۰#	۵۸#	۰/۴۵#	۲۰۹۱#
W430	۴/۷#	۸۳/۳#	۵۵#	۰/۲۹#	۱۶۷۰#
W440	۳۱/۱#	۸۱/۸#	۴۸#	۰/۸۹#	۱۶۶۵#
W450	۱۶/۱#	۸۵/۰#	۴۲#	۰/۸۵#	۱۷۹۱#
W460	۰/۷#	۷۶/۳#	۳۹#	۰/۱۶#	۱۳۸۷#
W490	۴۵/۲#	۷۵/۹#	۴۰#	۱/۱۷#	۱۹۰۷#

جدول ۲ مشخصات واقعه بارش - رواناب ۸۱/۴/۲۸ الی ۸۱/۴/۲۹

دبی حداکثر ایستگاه کارده بالا (مترمکعب بر ثانیه)	بارندگی (میلی‌متر)			
	ایستگاه مارشک	ایستگاه جنگ	ایستگاه بلغور	ایستگاه آل
۹۳/۶#	۳۲/۵#	۲۰#	۱۶/۲#	۱۶/۸#

جدول ۳ مقادیر اولیه و بهینه‌ی ضرایب K و x در روش ماسکینگام

x		K(hr)		آبراهه
مقدار بهینه	مقدار اولیه	مقدار بهینه	مقدار اولیه	
۰/۲۸#	۰/۳#	۱/۰۲#	۱/۱۸#	R100
۰/۳۹#	۰/۳#	۰/۹۰#	۰/۹۸#	R130
۰/۲۸#	۰/۳#	۰/۳۹#	۰/۴۶#	R140
۰/۲۸#	۰/۳#	۰/۵۷#	۰/۶۶#	R170
۰/۲۸#	۰/۳#	۰/۲۶#	۰/۳#	R180
۰/۲۸#	۰/۳#	۰/۳۰#	۰/۳۵#	R190
۰/۲۸#	۰/۳#	۰/۵۹#	۰/۶۹#	R200
۰/۲۸#	۰/۳#	۰/۸۷#	۱/۰۷#	R210
۰/۲۸#	۰/۳#	۰/۱۵#	۰/۱۹#	R230
۰/۳۹#	۰/۳#	۰/۸۸#	۰/۹۵#	R50
۰/۲۸#	۰/۳#	۱/۱۹#	۱/۴#	R510
۰/۲۸#	۰/۳#	۰/۸۳#	۰/۸۳#	R90



شکل ۳ مقایسه هیدروگراف خروجی شبیه‌سازی شده (پیش و پس از واسنجی مدل) و هیدروگراف مشاهداتی حوضه‌ی کارده مربوط به بارش ۸۱/۴/۲۸

بارش طراحی

به‌منظور این که نقش زیرحوضه‌هایی که دورترین فاصله‌ی هیدرولوژیکی تا خروجی حوضه را دارند هم به‌درستی در دبی اوج خروجی حوضه نمایان شود، تداوم بارش طراحی معادل زمان تمرکز حوضه در نظر گرفته شد. برای محاسبه‌ی زمان تمرکز ابتدا از روابط کریپچ [14] و کالیفرنیا [15] استفاده گردید. زمان تمرکز

محاسبه شده به هر دو روش، معادل ۵/۹ ساعت به‌دست آمد. Sharifi و Hosseini با مطالعه‌ی ۷۲ زیرحوضه در خراسان رضوی، ضریب اصلاحی برای روابط کریپچ و کالیفرنیا را به‌ترتیب معادل ۱/۷۲۱ و ۱/۷۱۵ تعیین کردند [16]. با اعمال این ضرایب، زمان تمرکز حوضه معادل ۱۰ ساعت به‌دست آمد. با توجه به این که در بسیاری از طرح‌های کنترل سیل دوره‌ی

این که مساحت زیرحوضه‌های W400, W380, W330 و W450 کم می‌باشد (کمتر از ۱۰ کیلومتر مربع)، شاخص سیل برای این زیرحوضه‌ها محاسبه نگردید و آنها در اولویت بندی شرکت داده نشدند. ابتدا اولویت بندی سیل خیزی زیرحوضه‌ها به روش واکنش سیل واحد و براساس بارش طراحی ۱۰ ساعته ۵۰ ساله انجام شد. مطابق جدول (۵) زیرحوضه‌ی W410 براساس شاخص \bar{f}_i بیشترین پتانسیل سیل خیزی (بیشترین میزان مشارکت در دبی اوج سیلاب خروجی حوضه) را دارد. با توجه به این جدول اولویت بندی زیرحوضه‌ها براساس دو شاخص \bar{f}_i و FI با یکدیگر بسیار متفاوت است. هم چنین هیچ ارتباطی بین اولویت بندی زیرحوضه‌ها براساس مساحت، دبی خروجی و حجم سیلاب خروجی زیرحوضه‌ها با شاخص‌های \bar{f}_i و FI مشاهده نمی‌شود. این نتایج با یافته‌های Khosroshahi و Saghafian [7] و همچنین Sulaiman و همکاران [9] مطابقت دارد.

اولویت بندی اقدامات کنترل سیل زیرحوضه‌ها به روش کاهش سیل انجام شد. برای کاهش CN زیرحوضه‌ها، ابتدا مقدار ۱۰ درصد کاهش در نظر گرفته شد. روش کاهش سیل برای تک تک زیرحوضه‌ها اجرا گردید و شاخص‌های کاهش سیل $M\bar{f}_{i10}$ و MFI_{10} مطابق روابط (۳) و (۴) برای زیرحوضه‌ها به دست آمد و اولویت بندی براساس این دو شاخص انجام شد. همان‌طور که در جدول (۶) ملاحظه می‌شود، اولویت بندی براساس شاخص‌های $M\bar{f}_{i10}$ و MFI_{10} کاملاً با یکدیگر متفاوت است. با توجه به این که از نظر اقتصادی شاخص سیل در واحد سطح معیار مناسب‌تری برای اولویت بندی اجرای اقدامات کنترل سیل می‌باشد، بنابراین در یک دیدگاه اقتصادی استفاده از شاخص $M\bar{f}_{i10}$ در اولویت بندی زیرحوضه‌ها نسبت به شاخص MFI_{10} مناسب‌تر است.

براساس شاخص $M\bar{f}_{i10}$ ، زیرحوضه‌ی W340 مناسب‌ترین زیرحوضه برای اقدامات کنترل سیل است، این در حالی است که براساس شاخص \bar{f}_i ، زیرحوضه‌ی W340 در رتبه‌ی سوم سیل خیزی قرار دارد و

بازگشت‌های ۵۰ سال به کار رفته است [17]، در این تحقیق هم دوره‌ی بازگشت بارش طراحی معادل ۵۰ سال در نظر گرفته شد. برای محاسبه‌ی میزان بارندگی با دوره‌ی بازگشت ۵۰ سال و تداومی معادل زمان تمرکز حوضه، از روش ارائه شده توسط قهرمان و آبخضر [۱۸] استفاده گردید. آنها برای محاسبه‌ی میزان بارندگی t ساعته و با دوره بازگشت T سال در ایران رابطه‌ی کلی (۵) را ارائه دادند.

$$P_t^T = A_T t^B [\alpha_1 + \alpha_2 \ln(\alpha_3 - T)] P_{60}^{10} \quad (5)$$

که در آن، t مدت بارش برحسب دقیقه، T دوره‌ی بازگشت برحسب سال، P_t^T میزان بارش برحسب میلی‌متر (برای دوره‌ی بازگشت T سال و تداوم t دقیقه) و P_{60}^{10} میزان بارندگی ۶۰ دقیقه‌ای ۱۰ ساله برحسب میلی‌متر می‌باشند. هم چنین A_T ، B ، α_1 ، α_2 و α_3 ضرایب ثابتی هستند که مقادیر آنها برای تداوم بارش بیشتر از دو ساعت در جدول (۴) آورده شده است. قهرمان و آبخضر مناسب‌ترین رابطه برای محاسبه‌ی P_{60}^{10} برای ایران را به صورت رابطه‌ی (۶) معرفی کردند:

$$P_{60}^{10} = e^{0.291} (P_{1440}^2)^{0.694} \quad (6)$$

که در آن P_{1440}^2 میانگین حداکثر بارش روزانه (حداکثر بارش ۲۴ ساعته) برحسب میلی‌متر می‌باشد. الگوی زمانی بارش طراحی، معادل الگوی بارش‌های ۹ تا ۱۱ ساعته ایستگاه آل در نظر گرفته شد. توزیع مکانی بارش طراحی نیز به روش وزن‌دهی بر مبنای معکوس فاصله (روش IDW) انجام گردید.

جدول ۴ مقادیر ضرایب A_T ، B ، α_1 ، α_2 و α_3

در رابطه‌ی (۵) برای تداوم بیشتر از ۲ ساعت

α_3	α_2	α_1	B	A_T
۰/۸#	۰/۱۹۴۸#	۰/۵۵۶۵#	۰/۳۹۳۷#	۰/۲۰۰۹#

نتایج اولویت بندی زیرحوضه‌ها

اولویت بندی سیل خیزی زیرحوضه‌ها به روش واکنش سیل واحد و اولویت بندی اقدامات کنترل سیل زیرحوضه‌ها به روش کاهش سیل انجام شد. با توجه به

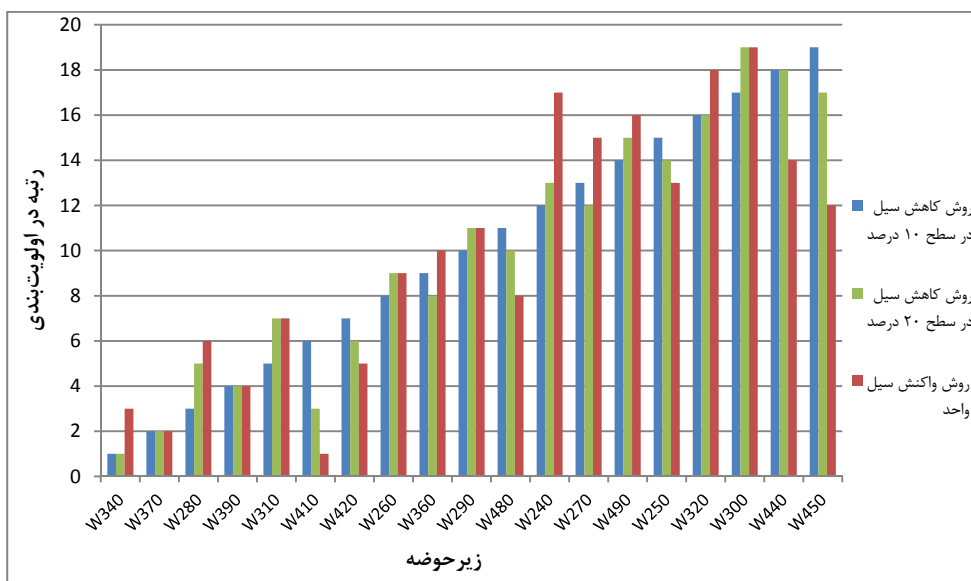
اساس این شاخص هم زیرحوضه‌ی W340 در اولویت اول اقدامات کنترل سیل قرار دارد، ولی مطابق شکل (۴) در بسیاری از زیرحوضه‌ها اولویت‌بندی براساس شاخص‌های Mfi_{10} و Mfi_{20} با یکدیگر متفاوت است. بنابراین باید گفت که سطح کاهش CN در اولویت‌بندی اقدامات کنترل سیل مؤثر است. مقایسه‌ی نتایج اولویت‌بندی براساس شاخص‌های Mfi_{20} و fi نیز نشان داد اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها براساس روش واکنش سیل واحد با روش کاهش سیل متفاوت است. بنابراین نمی‌توان از نتایج اولویت‌بندی سیل خیزی زیرحوضه‌ها به‌منظور اولویت‌بندی اقدامات کنترل سیل استفاده نمود.

زیرحوضه‌ی W410 سیل‌خیزترین زیرحوضه می‌باشد. در نتیجه می‌توان گفت زیرحوضه‌ای که بیشترین پتانسیل سیل‌خیزی را دارد لزوماً مناسب‌ترین زیرحوضه برای اقدامات کنترل سیلاب نیست. مقایسه‌ی اولویت‌بندی سایر زیرحوضه‌ها (براساس شاخص‌های fi و Mfi_{10}) نیز نشان می‌دهد که اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها براساس روش واکنش سیل واحد و روش کاهش سیل (در سطح ۱۰ درصد) کاملاً متفاوت است.

در ادامه برای کاهش CN زیرحوضه‌ها مقدار ۲۰ درصد در نظر گرفته شد و اولویت‌بندی اقدامات کنترل سیل زیرحوضه‌ها در این حالت (براساس شاخص Mfi_{20}) نیز بررسی گردید. نتایج نشان داد هر چند بر

جدول ۵ اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها به روش واکنش سیل واحد

رتبه بر اساس شاخص FI	رتبه براساس شاخص fi	FI (درصد)	Fi ($m^3/s/km^2$)	میزان کاهش دبی اوج خروجی (m^3/s)	مساحت زیرحوضه (km^2)	نام زیرحوضه
۲#	۱۷#	۷/۱#	۰/۳۰۴#	۱۴/۳#	۴۷/۱#	W240
۱۵#	۱۳#	۳/۵#	۰/۳۶۹#	۷/۱#	۱۹/۲#	W250
۱۲#	۹#	۴/۰#	۰/۵۷۷#	۸#	۱۳/۹#	W260
۱۰#	۱۵#	۵/۳#	۰/۳۴۴#	۱۰/۸#	۳۱/۴#	W270
۱#	۶#	۸/۴#	۰/۶۱۹#	۱۷#	۲۷/۵#	W280
۱۸#	۱۱#	۲/۶#	۰/۴۹۸#	۵/۲#	۱۰/۴#	W290
۱۷#	۱۹#	۲/۹#	۰/۱۰۷#	۵/۸#	۵۴/۰#	W300
۷#	۷#	۵/۹#	۰/۵۹۰#	۱۱/۹#	۲۰/۲#	W310
۱۹#	۱۸#	۰/۹#	۰/۱۷۳#	۱/۸#	۱۰/۴#	W320
۵#	۳#	۶/۰#	۰/۷۳۴#	۱۲/۱#	۱۶/۵#	W340
۶#	۱۰#	۵/۹#	۰/۵۷۲#	۱۲#	۲۱/۰#	W360
۱۱#	۲#	۴/۶#	۰/۷۳۹#	۹/۳#	۱۲/۶#	W370
۸#	۴#	۵/۶#	۰/۷۲۸#	۱۱/۳#	۱۵/۵#	W390
۴#	۱#	۶/۳#	۰/۸۴۴#	۱۲/۸#	۱۵/۲#	W410
۱۳#	۵#	۳/۷#	۰/۶۹۱#	۷/۴#	۱۰/۷#	W420
۹#	۱۴#	۵/۵#	۰/۳۶۰#	۱۱/۲#	۳۱/۱#	W440
۱۶#	۱۲#	۳/۴#	۰/۴۲۳#	۶/۸#	۱۶/۱#	W450
۱۴#	۸#	۳/۷#	۰/۵۸۵#	۷/۴#	۱۲/۷#	W480
۳#	۱۶#	۷/۰#	۰/۳۱۴#	۱۴/۲#	۴۵/۲#	W490



شکل ۴ مقایسه‌ی رتبه‌ی زیرحوضه‌ها در اولویت بندی براساس شاخص‌های Mfi10 و Mfi20

جدول ۶ نتایج اولویت بندی زیرحوضه‌ها براساس روش کاهش سیل (حالت کاهش ۱۰ درصدی CN)

نام زیرحوضه	دبی اوج خروجی حوضه در شرایط کاهش CN (m ³ /s)	میزان کاهش دبی اوج خروجی حوضه (m ³ /s)	MFI (%)	Mfi (m ³ /s/km ²)	رتبه براساس شاخص MFI	رتبه براساس شاخص Mfi
W240	۱۹۴/۵#	۷/۸#	۳/۸۶#	۰/۱۶۶#	۱#	۱۲#
W250	۱۹۹/۴#	۲/۹#	۳/۳۶#	۰/۲۴۸#	۱۳#	۱۵#
W260	۱۹۹/۲#	۳/۱#	۰/۷۴#	۰/۰۴۸#	۱۲#	۸#
W270	۱۹۷/۳#	۵#	۳/۵۱#	۰/۱۵۷#	۴#	۱۳#
W280	۱۹۵/۵#	۶/۸#	۲/۴۷#	۰/۱۵۹#	۳#	۳#
W290	۲۰۰/۲#	۲/۱#	۲/۳۷#	۰/۰۸۹#	۱۶#	۱۰#
W300	۱۹۷/۵#	۴/۸#	۲/۳۲#	۰/۲۳۳#	۵#	۱۷#
W310	۱۹۷/۶#	۴/۷#	۱/۷۳#	۰/۲۳۱#	۶#	۵#
W320	۲۰۱/۲#	۱/۱#	۱/۵۳#	۰/۲۲۳#	۱۸#	۱۶#
W340	۱۹۸/۱#	۴/۲#	۲/۰۸#	۰/۲۵۵#	۸#	۱#
W360	۱۹۷/۸#	۴/۵#	۲/۲۲#	۰/۲۱۴#	۷#	۹#
W370	۱۹۹/۱#	۳/۲#	۱/۴۳#	۰/۱۵۱#	۱۱#	۲#
W390	۱۹۸/۶#	۳/۷#	۰/۳۰#	۰/۰۳۷#	۹#	۴#
W410	۱۹۸/۸#	۳/۵#	۱/۸۳#	۰/۲۳۸#	۱۰#	۶#
W420	۱۹۹/۹#	۲/۴#	۱/۵۸#	۰/۲۵۴#	۱۴#	۷#
W440	۲۰۰/۸#	۱/۵#	۱/۰۴#	۰/۲۰۱#	۱۷#	۱۸#
W450	۲۰۱/۷#	۰/۶#	۱/۱۹#	۰/۱۹۰#	۱۹#	۱۹#
W480	۱۹۹/۹#	۲/۴#	۱/۱۹#	۱/۲۲۴#	۱۵#	۱۱#
W490	۱۹۵/۲#	۷/۱#	۰/۵۴#	۰/۱۰۶#	۲#	۱۵#

جدول ۷ مقایسه‌ی نتایج اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها به‌روش کاهش سیل
براساس شاخص Mfi10 در تداوم‌های مختلف بارش

رتبه در اولویت‌بندی	بارش طراحی ۶ ساعته	بارش طراحی ۱۰ ساعته	بارش طراحی ۱۸ ساعته
۱	W260	W340	W260
۲#	W280	W370	W280
۳#	W290	W280	W310
۴#	W310	W390	W290
۵#	W340	W310	W370
۶#	W370	W410	W340
۷#	W390	W420	W250
۸#	W360	W260	W240
۹#	W250	W360	W270
۱۰#	W420	W290	W390
۱۱#	W270	W480	W360
۱۲#	W480	W240	W420
۱۳#	W490	W270	W410
۱۴#	W410	W490	W490
۱۵#	W240	W250	W480
۱۶#	W320	W320	W450
۱۷#	W440	W300	W320
۱۸#	W300	W440	W440
۱۹#	W450	W450	W300

تأثیر تداوم بارش بر روی اولویت‌بندی

به‌منظور بررسی تأثیر تداوم بارش بر روی اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها، یک بارش با تداومی کمتر از زمان تمرکز حوضه و بارشی دیگر با تداوم بیشتر از زمان تمرکز حوضه انتخاب شد. با توجه به این که زمان تمرکز حوضه معادل ۱۰ ساعت می‌باشد، بارش‌های ۶ و ۱۸ ساعته با دوره بازگشت ۵۰ سال انتخاب گردیدند. بارش‌های ۶ و ۱۸ ساعته شبیه‌سازی شدند و سپس اولویت‌بندی به‌روش کاهش سیل و براساس شاخص Mfi10 برای هر دو تداوم انجام شد. همان‌طور که در جدول (۷) ملاحظه می‌شود، تداوم بارش به‌طور قابل

ملاحظه‌ای بر روی اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها مؤثر است که این مطلب با نتایج Saghafian و Khosroshahi [7] که بیان می‌کنند تداوم بارش تأثیری بر روی اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها ندارد، متناقض است. با توجه به این که Saghafian و Khosroshahi از روش واکنش سیل واحد در مطالعه‌ی خود استفاده نموده‌اند، این امکان مطرح شد که ممکن است تفاوت نتایج آنها و نتایج این تحقیق به‌علت تفاوت روش اولویت‌بندی باشد. بنابراین اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در تداوم‌های ۱۰ و ۶ ساعته به‌روش واکنش سیل واحد نیز انجام شد.

صورتی که هدف اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها برای اقدامات کنترل سیل باشد استفاده از روش کاهش سیل توصیه می‌گردد. از سوی دیگر نتایج نشان داد اولویت‌بندی در روش کاهش سیل، به میزان در نظر گرفته شده برای کاهش CN وابسته می‌باشد. بنابراین توصیه می‌شود که در مطالعات کنترل سیل ابتدا با توجه به اهداف پروژه و نوع اقدامات کنترل سیل مورد نظر، میزان کاهش CN در اثر اقدامات کنترل سیل تخمین زده شود و سپس اولویت‌بندی براساس آن میزان کاهش CN صورت گیرد. در این تحقیق تأثیر تداوم بارش نیز بر اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها بررسی گردید. مقایسه‌ی نتایج در تداوم‌های مختلف نشان داد اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها وابسته به تداوم بارش طراحی می‌باشد. بنابراین تعیین تداوم مناسب بارش طراحی برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها امری ضروری است. به این منظور در صورت وجود داده‌های کافی بارش-رواناب در منطقه‌ی مورد مطالعه، می‌توان تعیین نمود که اکثر سیلاب‌های مخرب مربوط به چه بارش‌هایی و با چه تداومی بوده‌اند. سپس، اولویت‌بندی را براساس بارش‌هایی با آن تداوم انجام داد. در صورتی که این داده‌ها موجود نباشد، توصیه می‌شود که از میانگین مقادیر شاخص سیل در تداوم‌های مختلف به‌منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها استفاده شود.

این بار نیز نتایج نشان داد تداوم بارش طراحی بر روی اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها مؤثر است.

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق به‌منظور اولویت‌بندی مکانی اقدامات کنترل سیل، نگرشی جدید نسبت به روش واکنش سیل واحد مطرح، و بر پایه‌ی آن روشی تحت عنوان روش کاهش سیل ارائه شد. از روش کاهش سیل در اولویت‌بندی اقدامات کنترل سیل در زیرحوضه‌های بالادست سد کارده و از روش واکنش سیل واحد در اولویت‌بندی سیل‌خیزی این زیرحوضه‌ها استفاده گردید. مقایسه‌ی نتایج اولویت‌بندی سیل‌خیزی و اولویت‌بندی اقدامات کاهش سیل در این حوضه نشان داد که سیل‌خیزترین زیرحوضه (از منظر مشارکت در دبی اوج سیلاب خروجی حوضه) لزوماً مناسب‌ترین زیرحوضه برای اقدامات کنترل سیل نمی‌باشد و به‌طور کلی تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین نتایج اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها براساس روش کاهش سیل و روش واکنش سیل واحد وجود دارد. بنابراین با توجه به تفاوت مفاهیم به‌کار رفته در تعریف شاخص سیل در دو روش، چنانچه هدف از مطالعه تنها اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از لحاظ پتانسیل تولید سیلاب باشد، روش واکنش سیل واحد پیشنهاد می‌شود ولی در

مراجع

1. Beighley, R. E., Melack, M. J. and Dunne, T., "Impacts of California's climate regimes and coastal land use change on streamflow characteristics", *Journal of American Water Resources Association*, Vol. 39, pp.1419-1433, (2003).
2. Saghafian, B., Ghermezcheshmeh, B. and Kheirkhah, M. M., "Iso-flood severity mapping: a new tool for distributed flood source identification", *Nat Hazards*, Vol. 55, pp. 557-570, (2010).
3. Lastra, J., Fernandez, E., Diez-Herrero, A. and Marquinez, J., "Flood hazard delineation combining geomorphological and hydrological methods: an example in the Northern Iberian Peninsula", *Nat Hazards*, Vol. 45, pp. 277-293, (2008).

4. Juracek, K. E., "Estimation and comparison of potential runoff-contributing area in Kansas using topographic, soil and land-use information", Water Resources Investigation, Report NO. 00-4177, Kansas, (2000).
5. Islam, M. M. and Sado, K., "Development of flood hazard maps of Bangladesh using NOAA-AVHRR images with GIS", *Hydraulic Science Journal*, Vol. 45, pp. 337-355, (2000).
6. Foody, G. M., Ghoneim, E. M. and Arnell, N. W., "Predicting locations sensitive to flash flooding in an arid environment", *Journal of Hydrology*, ASCE, Vol. 292, pp. 48-58, (2004).
7. Saghafian, B. and Khosroshahi, M., "Unit Response Approach for priority determination of flood source areas", *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE, Vol. 10, pp. 270-277, (2005).
8. Roughani, M., Ghafouri, M. and Tabatabaei, M. R., "An innovative methodology for the prioritization of sub-catchments for flood control", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 9, pp. 79-87, (2007).
9. Sulaiman, W. N. A., Heshmatpoor, A. and Rosli, M. H., "Identification of flood source areas in Pahang river basin, Peninsular Malaysia", *Environment Asia*, Vol. 3, pp. 73-78, (2010).
۱۰. جوکار، ج.، "بررسی سیل خیزی در زیرحوضه‌های رودخانه‌ی شاپور با استفاده از شبیه‌سازی جریان‌های سیلابی"، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۸۱).
11. Al-Weshah, R. and El-Khoury, F., "Flood analysis and mitigation for Petra area in Jordan", *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 125, pp. 170-177, (1999).
12. Olivera, F. and Maidment, D., "Geographic information systems GIS-based spatially distributed model for runoff routing", *Water Resources Research*, Vol. 35, pp. 1155-1164, (1999).
13. Scharffenberg, W. A. and Fleming, M. J., "Hydrologic modeling system HEC-HMS user's manual 3.5 ed", US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Washington, D.C., (2010).
14. Kirpich, Z. P., "Time of concentration of small agricultural watersheds", *Civil Engineering*, Vol. 10, pp. 362-368, (1940).
15. Rowe, R. R. and Thomas R. L., "Comparative Hydrology Pertinent to California Culvert Practice", *California Highways and Public Works*, Vol 20, pp. 6-11, (1942).
16. Sharifi, S. and Hosseini, S. M., "Methodology for identifying the best equations for estimating the time of concentration of watersheds in a particular region", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, Vol. 137, pp. 712-719, (2011).
17. Anquetin, S., Braud, I., Vannier, O., Viallet, P., Boudevillain, B., Creutin, J. D. and Manus, C., "Sensitivity of the hydrological response to the variability of rainfall fields and soils for the Gard 2002 flash-flood event", *Advances in Water Resources*, Vol. 28, pp. 567-581, (2005).

۱۸. قهرمان، ب. و آبخضر، ح.ر، "ا صلاح روابط شدت-مدت-فراوانی در ایران"، مجله‌ی علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال هشتم، شماره‌ی دوم، صفحات ۲۶-۱۲، (۱۳۸۳).

Archive of SID