

## برقراری سیستم هشدار سیل با استفاده از مدیریت یکپارچه مدل های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد گرمی چای)

وحید یزدانی<sup>۱\*</sup>، احسان بهجتی<sup>۲</sup>، عاطفه ارفع<sup>۳</sup>  
تاریخ دریافت: ۹۳/۳/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۱۷

### چکیده

بررسی هرچه بیشتر در مورد سیلاب از نقطه نظرهای مختلف هیدرومتئولوژی و سیستم حوزه‌های آبخیز و تحلیل مدل‌های بارش- رواناب و تعیین پهنه‌های سیل‌گیر با توجه به شرایط هیدرولوژیکی و هیدرولیکی حوضه، نه تنها از نظر مالی و حقوقی بلکه برای پیش‌بینی و کمک به سیستم‌های هشداردهنده سیل راه‌گشا می‌باشد. هدف از پژوهش حاضر، ارائه راهکاری مناسب به منظور برقراری سیستم هشدار سیل با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و مدل هیدرولیکی HEC-RAS در حوضه سد گرمی چای می‌باشد. در مطالعات هیدرولوژی پس از بازسازی داده‌ها، آنالیز فرکانس سیلاب‌های حداکثر یک‌روزه در محل ایستگاه‌ها صورت گرفته است که توزیع منتخب برای همه ایستگاه‌ها، توزیع نرمال سه پارامتری بود. با اعمال نسبت سیلاب حداکثر لحظه‌ای به سیلاب حداکثر یک‌روزه، مقادیر سیلاب حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های مختلف رودخانه گرمی چای در محل سد گرمی چای محاسبه گردید. طغیان‌های رودخانه گرمی چای در شرایط موجود بخصوص در دوره بازگشت‌های نسبتاً بالا باعث غرقابی شدن قسمت زیادی از کنار رودخانه با توجه به شیب کم اراضی منتهی به رودخانه می‌شود. محاسبات حاصل از اجرای مدل نشان داد که نحوه مشارکت زیرحوضه‌ها در سیل خروجی لزوماً متناسب با دبی اوج زیرحوضه‌ها نبوده و زیرحوضه‌های با دبی اوج بالا ضرورتاً تأثیر بیشتری در سیل خروجی حوضه ندارند. بر اساس نتایج بدست آمده زمان پیش‌هشدار در سد گرمی چای در گروه C (بیش از ۳ تا ۶ ساعت) طبقه‌بندی گردید.

**واژه‌های کلیدی:** ضریب سیل‌خیزی، مدل بارش- رواناب، هشدار سیل، سد گرمی چای

<sup>۱</sup>-دکتری مهندسی آب، معاون پژوهشی پژوهشکده آب و خاک کاوش پی مشهد، مشهد، ایران  
\* نویسنده مسئول: E-mail: v.yazdany@yahoo.com

<sup>۲</sup>-کارشناس ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فردوس، مشهد، ایران  
<sup>۳</sup>-دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

## مقدمه

هیدرولیکی و محدودیت‌ها و مبانی تئوریک، اطلاعات نقشه‌ای مناسب و عکس‌های هوایی یا ماهواره‌ای با مقیاس مناسب از رودخانه‌ها در زمان‌های قبل و بعد و در زمان وقوع سیل شناخت مناسبی از اراضی سیلاب‌گیر ارائه می‌دهد و می‌توان براساس آن مدل هیدرولیکی را کالیبره نمود (۵). در همین راستا سیستم‌های هشدار سیل برای جلوگیری از خسارات جانی و مالی می‌تواند راه‌گشا باشد. در ادامه به برخی تحقیقات مرتبط در زمینه‌ی برقراری و امکان‌سنجی سیستم‌های هشدار سیل اشاره می‌گردد.

Tsung *et al.* (2013) به بررسی بهبود پیش‌بینی سیلاب حاصل از یک رگبار در یک حوزه آبخیز کوهستانی در کشور تایوان پرداختند، نتایج نشان داد که استفاده از مدل اقلیم بارش رگبار<sup>۱</sup> (TRCM) بهترین پیش‌بینی را ارائه داده است.

Garambois *et al.* (2014) در تحقیقی با عنوان تجزیه و تحلیل سیلاب‌های سریع ناشی از بارندگی با یک مدل هیدرولوژیکی فرآیندگرا، نتایج پاسخ‌های هیدرولوژیکی حوضه آبودی<sup>۲</sup> در پیرنن<sup>۳</sup> را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که وابستگی بین توزیع مکانی و زمانی بارش در مقیاس حوضه آبریز، مورفولوژی حوضه آبریز و پاسخ رواناب وجود دارد.

Sholts (2009) به روندیابی پویای سیل با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS در بازه‌هایی از مناطق شهری- روستایی واقع در کارولینای

سیلاب به عنوان یکی از مهیب‌ترین بلاهای طبیعی در سطح جهان محسوب می‌گردد، شناخت هرچه بیشتر آن از نقطه نظرهای مختلف هیدرومئولوژی و سیستم حوضه‌های آبخیز و تحلیل مدل‌های بارش- رواناب و تعیین پهنه‌های سیل‌گیر با توجه به شرایط هیدرولوژیکی و هیدرولیکی حوزه، نه تنها از نظر مالی و حقوقی بلکه برای پیش‌بینی و کمک به سیستم‌های هشدار دهنده سیل راه‌گشا می‌باشد (۳). اندازه و تکرار رویداد سیل در هر نقطه بستگی به عوامل متعددی دارد که حجم و زمان رواناب سطحی حوضه بالادست و شرایط رودخانه یا سیل از اهم آنهاست (۶). ویژگی‌های فیزیکی حوضه نظیر سطح، ناهمواری و ریخت‌شناسی زمین توأم با خصوصیات هیدرولوژیکی مانند بارش، ذخیره، تلفات برگابی و چالابی، تبخیر و تعرق، نفوذ پذیری و اقداماتی ناشی از فعالیت‌های بشری در بروز و تشدید سیلاب و یا کاهش و افزایش میزان خسارات وارده دخالت دارند (۱۱). شناخت این عوامل و دسته‌بندی آنها در هر منطقه‌ای، از اصول اولیه مهار سیلاب و کاهش خطرات آن می‌باشد (۸). اطلاعات لازم برای دستیابی به نقشه پهنه‌بندی سیل مستلزم اجرای مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی می‌باشد. برای این امر نیاز به اطلاعات آب و هوا، در نظر گرفتن شرایط اولیه و مرزی مدل و اطلاعات مقاطع عرضی با مقیاس مناسب و همچنین نقشه‌ای که امکان ایجاد مدل رقومی ارتفاع را فراهم سازد، می‌باشد (۴). بنابراین همراه شناخت مدل‌های هیدرولوژیکی و

<sup>1</sup>-Tundra Regime Climate Model

<sup>2</sup>-Aude

<sup>3</sup>-Pirnean

Azari and *et al.*, (2009) در تحقیقی دیگر با عنوان شبیه‌سازی و هشدار سیل با تلفیق مدل‌های آبشناسی در GIS بر روی حوضه رودخانه مادرسو واقع در استان گلستان عوامل مؤثر در ایجاد سیلاب حوضه را شناسایی نمودند و با تلفیق داده‌های سنجش از دور در قالب تصاویر ماهواره‌ای و مدل بارش - رواناب و مدل هیدرولیکی، میزان گسترش سیلاب در منطقه را مشخص نمودند.

Qobadian (2008) در تحقیقی به روندیابی هیدرولیکی سیلاب در رودخانه قره‌سو با استفاده از حل معادلات جریان غیرماندگار پرداخت و دریافت که آب‌نگارهای بده و مقیاس محاسبه شده در مقاطع مختلف بازه‌ی مذکور با مقادیر محاسبه شده به وسیله‌ی شبیه‌ساز هیدرولیکی HEC-RAS تطابق بسیار خوبی از خود نشان می‌دهند.

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه:

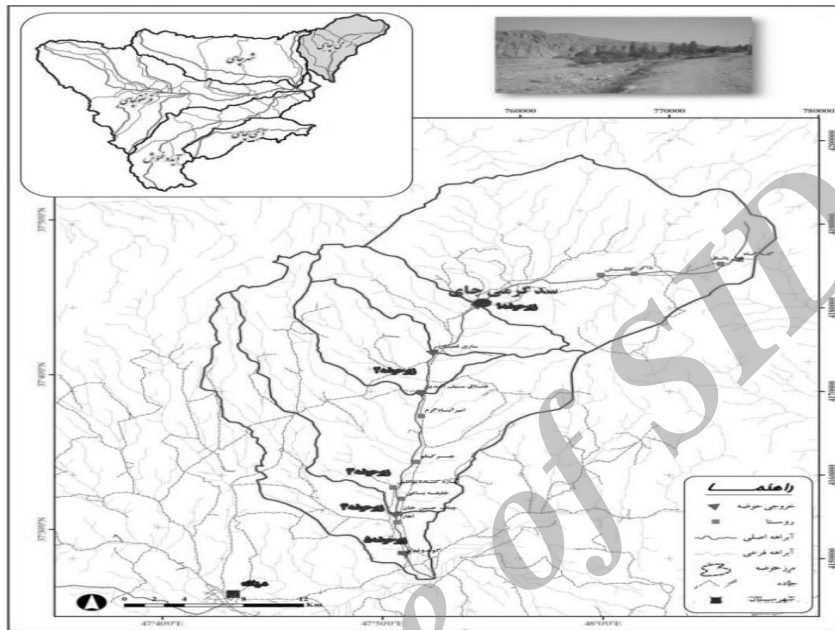
تحقیق حاضر در حوزه بالا دست سد گرمی چای که یکی از سرشاخه‌های رودخانه قزل‌وزن که در بخش مرکزی شهرستان میانه جریان دارد، انجام گرفت. رودخانه مورد نظر از شاخه‌های متعددی تشکیل شده که تماماً از دامنه‌های شرقی رشته کوه‌های بزقوش و از کوه چهل نور واقع در ۵۰ کیلومتری شمال شرقی شهر میانه سرچشمه می‌گیرند. در طول مسیر این رودخانه، شاخه‌های فراوانی از جمله طارم، داوند، برنلیق به این رودخانه پیوسته و در نهایت، در شمال روستایی به نام بیرون به رودخانه قزل‌اوزن می‌پیوندند. این رودخانه

شمالی پرداخت و نتیجه گرفت که کاهش شیب و افزایش زبری دشت سیلابی و نهر، تأثیر بیشتری بر افت قدرت امواج سیل دارد. Knebl *et al.*, (2001) با تلفیق مدل‌های HEC-HMS و HEC-RAS در حوزه‌ی سن‌آنتونیو واقع در ایالات تگزاس آمریکا شبیه منطقه‌ای را برای سیلاب ارائه نمودند، و کارایی شبیه را در پیش بینی وقوع سیلاب متذکر شدند. Stephen (2009) طی بررسی خصوصیات سیل در سالهای ۱۹۹۶ و ۱۹۹۷ در حوزه آبخیز سنگ زرد در ایالت مونتانا، آمریکا، بیان داشت که براساس مدل بارش-رواناب حوضه، اکثر سیلاب‌های تند مربوط به خصوصیات رگباری بارش‌ها می‌باشد.

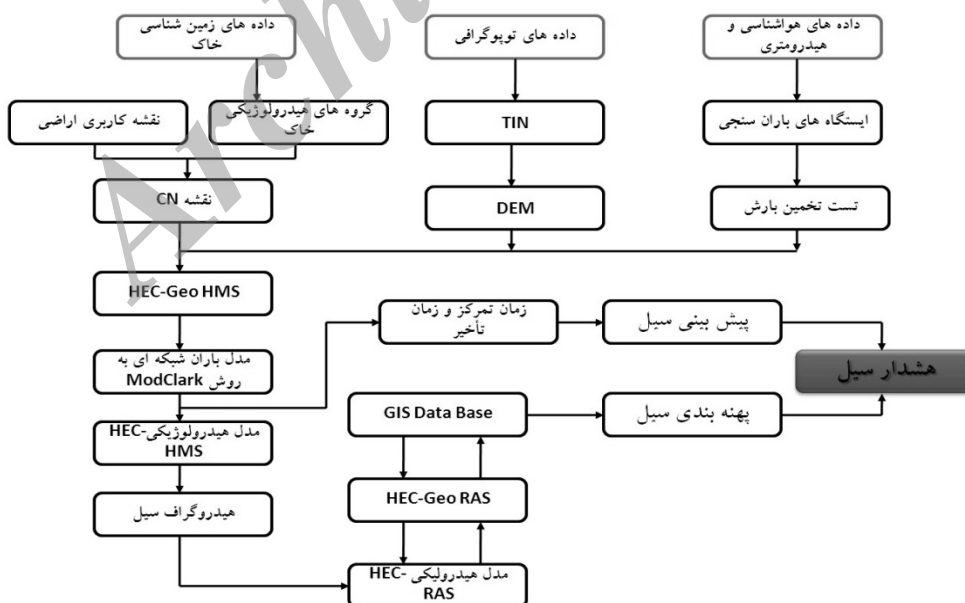
Amirahmadi *et al.*, (2011) محدوده‌های بحرانی بافت شهری سبزوار در برابر سیلاب و آب‌گرفتگی را مشخص و خسارات ناشی از سیل در قالب نقشه‌ی ارزیابی خسارت را ارائه نمود. با توجه به اینکه با استفاده از سیستم‌های هشدار سیل می‌توان خسارات ناشی از سیلاب را کاهش داد لذا هدف از انجام این تحقیق تعیین زمان مناسب جهت اعلام پیش هشدار سیل در حوضه سد گرمی چای با استفاده از مدل‌های HEC-HMS و HEC-RAS می‌باشد. Nuri *et al.*, (2012)، مدل HEC-HMS و WMS را در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی رودخانه در پیش‌بینی سیلاب حوزه آبخیز قروه مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که روش SCS در مدل HEC-HMS در شبیه‌سازی دبی اوج هیدروگراف با داده‌های مشاهداتی تطابق بهتری دارد.

است. همچنین روند انجام مطالعات برقراری سیستم هشدار سیل در حوضه رودخانه گرمی چای با استفاده از مدل های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در شکل (۲) نشان داده شده است.

دارای دبی پایه بوده و در تمامی مسیر خود در بستری کوهستانی با جریانی با سرعت بالا روانه می گردد. موقعیت رودخانه گرمی چای در استان آذربایجان شرقی در شکل (۱) نشان داده شده



شکل ۱- موقعیت حوضه رودخانه گرمی چای در استان آذربایجان شرقی



شکل ۲- مراحل انجام مطالعات ایجاد سیستم هشدار سیل با ترکیب مدل هیدرولوژیکی و هیدرولیکی

بررسی پتانسیل سیل:

میان دبی متوسط با یکی از عوامل فیزیوگرافی یا هیدرولوژیکی حوضه (مساحت حوضه) محاسبه گردید. در نهایت برای تعیین دبی سیل به ازاء دوره بازگشت‌های مختلف ابتدا با استفاده از رابطه دبی سیل - مساحت، دبی با دوره بازگشت ۲ سال حوضه‌ها محاسبه و سپس با استفاده از میانه نسبت بدون بعد دبی سیل با دوره بازگشت‌های مختلف به دبی سیل ۲ ساله، دبی سیل با دوره بازگشت‌های مختلف تمامی زیرحوضه‌ها محاسبه گردید. نتایج حاصله در جدول ۱ نشان داده شده است. در ادامه با استفاده از نتایج بدست آمده مقادیر دبی سیلابی برای دوره بازگشت‌های مختلف حوضه‌های مورد مطالعات محاسبه شد.

آگاهی از مقدار و شدت جریان سیلابی در مطالعات ایجاد سیستم هشدار سیل به دلیل نیاز به برآورد سیل حداکثر در دوره‌های برگشت مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. زیرا با تعیین مقدار سیل حداکثر با تناوب مشخص می‌توان تجهیزات موجود جهت اندازه‌گیری سطح آب برای ایجاد سیستم هشدار سیل را متناسب با این اطلاعات طراحی و اجرا نمود. ابتدا با انتقال دوره بازگشت دبی‌های یکنواخت شد و تعداد سال آماری هر ایستگاه با استفاده از نمودار آزمون همگنی، همگنی ایستگاه‌های مورد مطالعه بررسی گردید. سپس با بی‌بعد نمودن دبی‌ها (بر اساس دبی ۲ ساله) و استخراج میانگین آن‌ها، رابطه

جدول ۱- سری مرتب شده اعداد بدون بعد سیلاب در ایستگاه‌های مورد مطالعه

دوره بازگشت (سال)	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
ایستگاه						
موتورخانه	۱/۷	۲/۳	۳/۰	۳/۶	۴/۲	۴/۸
تونل هفتم	۱/۵	۱/۹	۲/۴	۲/۷	۳/۰	۳/۴
کوهسالار	۲/۱	۲/۸	۳/۷	۴/۲	۴/۷	۵/۲
شهرچای	۱/۶	۲/۱	۲/۷	۳/۳	۳/۸	۴/۴
آونلیق	۱/۶	۲/۱	۲/۶	۳/۰	۳/۴	۳/۸
چپینی	۲/۰	۲/۸	۳/۷	۴/۵	۵/۳	۶/۲
چتاب	۱/۹	۲/۶	۳/۴	۴/۶	۵/۶	۶/۷
میانگین	۱/۸	۲/۴	۳/۱	۳/۷	۴/۳	۴/۹

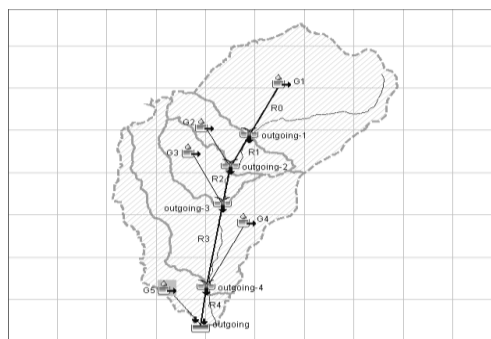
برای این روش بارش سلولی<sup>۱</sup> در HEC-HMS مورد نیاز است. فایل مورد نظر توسط تطبیق یک شبکه با زیرحوضه‌ها به دست آمد که در این

استخراج دبی پیک سیلاب با مدل HEC-HMS

برای مدل‌سازی هیدرولوژیکی از روش مدل‌سازی توزیعی ModClark استفاده شد که

<sup>۱</sup>-Grid-based precipitation

مطالعه از شبکه هیدرولوژیک استاندارد<sup>۱</sup> استفاده شده است. فایل پارامتر سلول-شبکه‌ای شامل شماره منحنی شبکه‌ای<sup>۲</sup> نیز می‌باشد. در این مرحله، از داده خاک و کاربری اراضی به منظور تولید نقشه شماره منحنی شبکه‌ای منطقه مورد مطالعه در HEC-GeoHMS استفاده شد (شکل ۳). در فرآیند مدل‌سازی زیرحوزه‌های مورد مطالعه، روش شماره منحنی به عنوان روش تلفات، روش هیدروگراف واحد SCS به عنوان روش تبدیل بارش به رواناب انتخاب گردید که جزئیات آن با به کار بردن روش سازمان حفاظت خاک آمریکا محاسبه و در این مدل درج گردیده است. در مدل هواشناسی از هایتوگراف بارش منطقه مورد مطالعه استفاده شد. با توجه به اینکه در این بررسی نیاز به دقت بالایی می‌باشد؛ بنابراین گام‌های زمانی یک دقیقه برای این مدل در نظر گرفته شد. سپس با مدل کردن پارامترهای یاد شده، مقادیر سیلاب خروجی، در زیرحوزه‌ها و دیگر اجزاء هیدرولوژیکی حوضه‌های مطالعاتی در دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه گردید.



شکل ۳ - تصویر شماتیک حوزه آبریز گرمی‌چای در محیط مدل HEC-HMS

کالیبراسیون مدل HEC-HMS: برای واسنجی مدل، لازم است که بارش نقطه‌ای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌ها به صورت منطقه‌ای برای زیرحوزه‌ها توزیع شود. برای این منظور با استفاده از روابط رگرسیونی بارش متوسط سالیانه با ارتفاع، میزان بارش هر زیرحوزه محاسبه گردید. لازم به توضیح است که یک واقعه که در یک روز خاصی به وقوع پیوندد، صرفاً بارش آن بر اساس ارتفاع نیست و ممکن است که به ازاء یک واقعه خاص بارش در ارتفاع بیشتر بزرگ‌تر یا کم‌تر از بارش در ارتفاع کمتر باشد. در واقع ترکیب رگبارهای مختلف به شکل بارش متوسط سالیانه از ارتفاع تبعیت می‌کند. با این توضیحات به هنگام توزیع رگبارها در زیرحوزه‌ها تلاش گردید تا علاوه بر توزیع بارش با ارتفاع، مواردی دیگری همچون بارش ایستگاه‌های اطراف و قضاوت کارشناسی نیز مد نظر قرار گیرد.

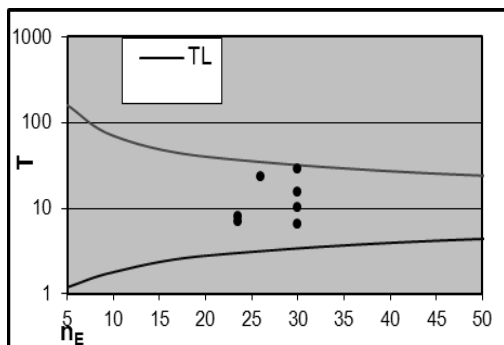
شناسایی مناطق سیل‌خیز و خطرناک: برای شناسایی مناطق سیل‌خیز، تحلیل حساسیت زیرحوزه‌ها برای سیل‌خیزی انجام شد. برای بررسی و شناخت روابط بین عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها، از روش آنالیز حساسیت<sup>۳</sup> استفاده شد. بدین منظور پس از تعیین هیدروگراف سیل خروجی حوضه با مشارکت کلیه زیرحوضه‌ها، عوامل مورد نظر، به ترتیب در هر یک از زیرحوضه‌ها تغییر داده می‌شود تا تأثیر آن عامل در دبی اوج خروجی مشخص شود. به این ترتیب پس از هر بار اجرای مدل HEC-HMS، تأثیر این تغییرات در

<sup>۱</sup>-SHG (Standard Hydrologic Grid)

<sup>۲</sup>- Grid Curve Number

<sup>۳</sup>Sensitivity Analysis

بالا با دوره بازگشت ۱۰ سال با سطح اطمینان ۹۵٪ مورد قبول می‌باشد.



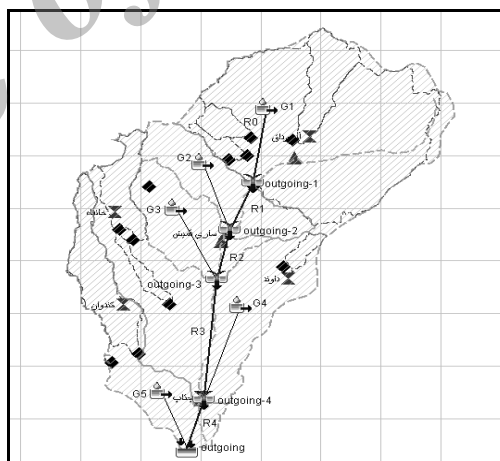
شکل ۵- آزمون یکنواختی ایستگاه‌های مورد مطالعه

نتایج کالیبراسیون مدل HEC-HMS بر اساس نتایج به‌دست آمده پس از بررسی هیدروگراف‌های مشاهداتی، برای حالت خشک ۶ رخداد سیل ۸۴/۲/۱۳، ۸۴/۱/۲۶، ۸۳/۲/۱، ۸۴/۲/۲۵، ۸۵/۲/۴ و ۸۸/۶/۲۶ در نظر گرفته شد که از این تعداد تنها ۲ رخداد ۸۳/۲/۱ و ۸۴/۲/۱۳ دارای الگوی بارش تعمیم داده شده از ایستگاه ثبات میانه می‌باشند و دیگر هیدروگراف‌های سیل فاقد الگوی بارش می‌باشند. لازم به ذکر است که تعمیم الگوی بارش بر اساس میزان بارش روزانه ایستگاه‌های میانه و ساری‌قمیش می‌باشد. برای تعیین آستانه تولید رواناب (جذب اولیه) دو رخداد سیل ۸۳/۲/۱ و ۸۴/۲/۱۳ را که شرایط حوضه از لحاظ رطوبتی خشک بوده و مقادیر دبی پیک سیلاب کم می‌باشد در نظر گرفته شد که با لحاظ کردن CN در شرایط خشک مدل، شبیه‌سازی گردید. در جدول (۲) مشخصات بارش رگبار ایستگاه میانه متناظر سیلاب ایستگاه هیدرومتری چتاب آمده است.

دبی اوج خروجی کل حوضه منعکس می‌گردد. با این روش ضمن شناسایی عوامل مؤثر، زیرحوضه‌ای که به این تغییرات حساسیت بیشتری نشان دهد نیز شناسایی می‌شود.

مدل ترکیبی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی حوضه برای سیستم هشدار سیل:

مدل هیدرولوژیکی تهیه شده حوضه‌های مورد مطالعه برای اجرای سیستم هشدار سیل با ریخت درختی (نموگراف) و در محیط نرم‌افزار HEC-HMS 3.5 در شکل (۴) آورده شده است. برای اجرای مدل موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی، سطح‌سنجی، سدها و بندهای احداث شده در زیرحوضه‌های مطالعاتی نیز در مدل وارد شد (شکل ۴).



شکل ۴- مدل هیدرولوژیکی سیستم هشدار سیل برای حوضه گرمی‌چای با ریخت درختی (نموگراف زیرحوضه‌ها)

## نتایج

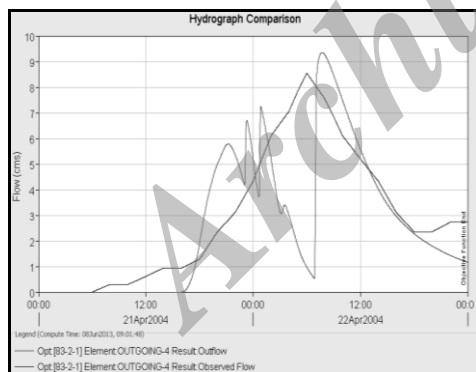
بررسی همگنی داده‌ها:

نتایج موجود در شکل ۵ حاکی از همگن بودن ایستگاه‌ها بوده که با توجه به حدهای پایین و

جدول ۲- مشخصات بارش رگبار ایستگاه میانه متناظر سیلاب ایستگاه هیدرومتری چتاب

تاریخ بارش	زمان شروع	زمان خاتمه	مدت بارش (دقیقه)	مقدار بارش رگبار (میلی متر)	بارش روزانه ساری قمیش	بارش روزانه میانه
۱۳۸۳/۲/۱	۰۰:۱۶	۳۰:۱۹	۲۱۰	۸/۶	۱۷/۵	۱۶/۵
۱۳۸۴/۲/۱۳	۰۶:۲۵	۱۲:۰۳	۳۳۸	۱۴/۸	۱۸	۱۶

خشک می توان گفت آستانه تولید رواناب که برای این حوضه به طور میانگین ۱۶/۵ میلی متر می باشد. در نهایت براساس بازدید صورت گرفته از منطقه، پوشش گیاهی و بافت خاک منطقه مورد مطالعه و با توجه به لزوم برآورد سیلاب در مقاطع مختلف، مورد نیاز بودن هیدروگراف سیل و زمان پیک آن و... در مطالعات هشدار سیل روش بارندگی- رواناب (SCS) به عنوان مقادیر نهایی سیلاب در نظر گرفته شد. جدول (۴) مقادیر نهایی سیلاب برآورد شده با دوره بازگشت های مختلف در حوضه مطالعاتی را نشان می دهد.



شکل ۶- مقایسه هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی - رخداد ۸۳/۲/۱

با توجه به تعمیم الگوی بارش ایستگاه میانه به حوضه گرمی چای، زمان شروع و خاتمه بارش برای هیدروگراف سیل متناظر ایستگاه چتاب تغییر پیدا کرد. اختلاف در زمان رسیدن به دبی پیک ناشی از تعمیم الگوی بارش از ایستگاه ثبات میانه می باشد که طبیعتاً در حالت واقعی یک اختلاف زمانی در زمان بارش وجود دارد و می توان با تغییر در زمان شروع الگوی بارش این مشکل را برطرف نمود.

کالیبراسیون مدل برای این ۲ رخداد صورت گرفت و مقادیر نهایی پارامترهای ورودی حوضه گرمی چای به مدل بدست آمد که نتایج آن در جدول (۳) نشان داده شده است. همچنین هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی پس از بهینه سازی براساس رخداد ۸۳/۲/۱ در شکل (۶) نشان داده شده است. همانطور که در قبل نیز اشاره شد اختلاف در زمان رسیدن به دبی پیک ناشی از این است که الگوی بارش تعمیم داده شده از ایستگاه ثبات میانه می باشد که طبیعتاً در حالت واقعی یک اختلاف زمانی در زمان بارش وجود دارد و می توان با تغییر در زمان شروع الگوی بارش این مشکل را برطرف نمود. بر اساس رخدادهای سیل در شرایط

جدول ۳- مقادیر CN و I<sub>a</sub> زیرحوضه های مطالعاتی گرمی چای

نام پارامتر	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	G <sub>4</sub>	G <sub>5</sub>
CN	۶۷/۷	۶۲/۳	۶۱/۸	۶۲/۳	۶۲/۸
I <sub>a</sub>	۶/۷	۸/۸	۹/۱	۸/۸	۸/۶



جدول ۴- مقادیر دبی (متر مکعب در ثانیه) حداکثر سیلاب در زیرحوضه‌های گرمی چای- خروجی مدل HEC-

HMS

سال ۲۰۰	سال ۱۰۰	سال ۵۰	سال ۲۵	سال ۱۰	سال ۵	سال ۲	
۳۰۷	۲۵۲/۶	۲۰۳/۱	۱۵۶	۱۲۰/۳	۸۷/۸	۴۱/۴	G1
۳۰۷	۲۵۲/۵	۲۰۳	۱۵۵/۹	۱۲۰/۳	۸۷/۸	۴۱/۴	outgoing-1
۵۴/۷	۴۲/۱	۲۹/۶	۱۸/۹	۱۴	۸/۵	۲/۲	G2
۳۰۷	۲۵۲/۵	۲۰۳	۱۵۵/۹	۱۲۰/۲	۸۷/۷	۴۱/۴	outgoing-2
۴۳/۶	۳۲/۷	۲۲/۱	۱۳/۲	۱۰	۵/۸	۱/۲	G3
۳۰۶/۹	۲۵۲/۴	۲۰۲/۹	۱۵۵/۸	۱۲۰/۲	۸۷/۷	۴۱/۴	outgoing-3
۱۵۲/۵	۱۳۴/۶	۱۰۴/۶	۹۹/۳	۷۱/۲	۴۶/۵	۱۶/۹	G4
۳۳۵/۶	۲۷۴/۴	۲۱۷/۲	۱۶۶/۶	۱۲۶/۳	۹۰/۵	۴۱/۷	outgoing-4
۸۹/۸	۶۷/۶	۵۲/۲	۴۷/۴	۳۴/۳	۲۲/۳	۷/۹	G5
۳۴۰/۲	۲۷۷	۲۱۸/۷	۱۶۷/۵	۱۲۶/۶	۹۰/۶	۴۱/۲	outgoing

اول شناخته شد. بدین ترتیب کلیه زیرحوضه‌ها با توجه به میزان مشارکت آن‌ها در دبی خروجی حوضه اولویت‌بندی شدند. همچنین برای خنثی کردن عامل مساحت زیرحوضه‌ها در مقدار دبی، می‌توان اولویت‌بندی به ازای میزان مشارکت هر واحد سطح زیرحوضه را نیز انجام داد. نحوه محاسبه میزان مشارکت به این صورت بوده است که میزان دبی خروجی با حذف زیرحوضه مورد نظر از میزان دبی خروجی حوضه مورد مطالعه کسر گردید.

شناسایی مناطق سیل خیز و خطرناک: در اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر سیل‌خیزی ابتدا هیدروگراف سیل خروجی با مشارکت کلیه زیرحوضه‌ها با کاربرد مدل HEC-HMS محاسبه شد؛ سپس با حذف متوالی و یک به یک زیرحوضه‌ها از فرآیند روندیابی داخل حوضه، میزان مشارکت هر یک از آن‌ها در دبی اوج خروجی حوضه به دست آمد. زیرحوضه‌ای که بیش‌ترین کاهش را در دبی خروجی کل حوضه از خود نشان داد بیش‌ترین سهم را در ایجاد سیل خروجی بعهدده داشته و به‌عنوان اولویت

جدول ۵- اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در تولید سیل خروجی حوضه گرمی چای

اولویت‌بندی واحدها	میزان مشارکت (مترمکعب بر ثانیه)		دبی خروجی با حذف زیرحوضه		دبی زیرحوضه (مترمکعب بر ثانیه)		زیرحوضه
	دوره بازگشت ۲۵ سال	دوره بازگشت ۱۰ سال	دوره بازگشت ۲۵ سال	دوره بازگشت ۱۰ سال	دوره بازگشت ۲۵ سال	دوره بازگشت ۱۰ سال	
۱	۳۷/۴	۳۴/۷	۱۳۰/۱	۹۱/۹	۱۵۶	۱۲۰/۳	G1
۴	۰/۱	۰	۱۶۷/۴	۱۲۶/۶	۱۸/۹	۱۴	G2
۵	۰	۰	۱۶۷/۵	۱۲۶/۶	۱۳/۲	۱۰	G3
۲	۱۱/۳	۶/۴	۱۵۶/۲	۱۲۰/۲	۹۹/۳	۷۱/۲	G4
۳	۱/۲	۰/۶	۱۶۶/۳	۱۲۶	۴۷/۴	۳۴/۳	G5

مقاطع پر شناسایی شده و تراز بحرانی نیز مشخص گردید.

از طرفی برای تعیین آستانه بارش-بارندگی با تداوم یک-ساعته با استفاده از مدل بارش - رواناب به گونه‌ای عمل شد که دبی در نقطه هدف به دبی آستانه برسد. در جدول ۶ نقاط خطرپذیر و هدف تعیین شده به همراه دبی بحرانی، سطح تراز آب و ارتفاع آب در حوضه‌های مورد مطالعه آمده است. در جدول (۶) سطح تراز بحرانی آب براساس مقاطع پر در رودخانه گرمی‌چای آورده شده است. بر اساس نتایج مندرج در جدول ۶ حوضه پل گوندوغدی دارای بیشترین مقدار دبی بحرانی، سطح تراز آب و ارتفاع آب می‌باشد. و در مقابل سطح سنج سد گرمی چای دارای کمترین مقدار دبی بحرانی، سطح تراز آب و ارتفاع آب است.

همانطور که در جدول ۵ نیز مشخص است در دوره بازگشت‌های ۱۰ و ۲۵ ساله به ترتیب زیرحوزه‌های  $G_1, G_4, G_2, G_3$  و  $G_5$  در اولویت‌های ۱ الی ۵ تولید سیلاب قرار دارند.

ظرفیت آبگذری و تراز بحرانی مقاطع در مدل هیدرولیکی HEC-RAS:

برای تعیین نقاط اعلام هشدار مناطقی که بیش از مناطق دیگر در معرض خطر بروز سیل می‌باشد (دارای بالاترین ارتفاع آب) شناسایی شده و دبی بحرانی و تراز آب در حالت بحرانی در نظر گرفته شد و به عنوان مناطق هدف جهت اعلام هشدار معرفی شدند. در همین راستا بعد از تهیه مدل هیدرولیکی و مقاطع عرضی رودخانه بر اساس شرایط منطقه و در محل ایستگاه‌های سطح‌سنجی پیشنهادی

جدول ۶- دبی بحرانی نقاط خطرپذیر و هدف تعیین شده- حوضه قرانقوچای

محل تعیین دبی مقطع پر	شماره مقطع	مختصات جغرافیایی	دبی بحرانی (مترمکعب بر ثانیه)	سطح تراز آب (متر)	ارتفاع آب (متر)
سطح‌سنج سد گرمی‌چای	۴۰۴۸۶/۷۷	X=761235 Y=4183450	۵۵	۱۵۱۳/۹	۰/۵۳
خروجی حوضه سد گرمی‌چای	۳۵۰۰۶/۷	X=757325 Y=4180188	۹۵	۱۳۹۵/۶	۰/۶۳
سطح‌سنج ساری‌قمیش	۲۷۹۷۶/۴۳	X=753978 Y=4174000	۱۱۰	۱۲۹۶/۵	۰/۷۳
قشلاق سیف‌الدین	۲۱۸۰۹/۷۷	X=753518 Y=4169831	۱۱۵	۱۲۳۸/۲	۰/۸۳
چرکینلو	۱۴۶۳۲/۳۸	X=752757 Y=4161622	۱۳۰	۱۱۴۶/۱	۰/۹۴
سطح‌سنج چتاب	۸۴۰۱/۵۴	X=751871.5 Y=4156000	۱۴۵	۱۰۹۴/۶	۱/۰۱
حوضه پل گوندوغدی	۳۷۵۴/۳۲	X=752440 Y=4150624	۱۵۰	۱۰۵۶/۴	۱/۲

سیلاب فرضی بحرانی استفاده شد. برای وارد نمودن مقدار بارش به مدل، برای تمامی زیرحوضه‌ها از تیپ کلی بارش در منطقه استفاده گردید. سپس برای هر یک از رگبارها، مقادیر بارش متوسط هر زیرحوضه نسبت به بارش متوسط حوضه کلی بدون بعد شده و با استفاده از نرم‌افزارهای آماری برای احتمال ۵۰٪، مقدار نسبت بارش هر زیرحوضه به بارش حوضه کلی تعیین گردیده است. از این نسبت (ضریب) برای تبدیل هایتوگراف بارش حوضه کلی منطقه به هر یک از زیرحوضه‌ها استفاده شده است. بدین ترتیب برای هر زیرحوضه یک هایتوگراف مستقل وارد مدل شد. با استفاده از اطلاعات فوق، مدل HEC-HMS زیرحوضه‌های مورد مطالعه اجرا گردید. فاصله زمانی بین پیک بارش فرضی و دبی پیک سیلاب در هر نقطه هدف، معیار تعیین زمان پیش‌هشدار در آن نقطه بود.

معیارهای مربوط به زمان پیش‌هشدار در نقاط هدف در جدول ۷ نشان داده شده است. براین اساس، زمان پیش‌هشدار در هر یک از نقاط هدف بدست آمد که با معیار جدول (۷) دسته‌بندی گردید. بر اساس نتایج بدست آمده نقاط هدف هشدار در رودخانه گرمی چای شامل سد گرمی چای، روستای ساری قمیش و چتاب می باشد که بر اساس معیارهای مدنظر در کلاس C طبقه بندی می گردد.

محاسبه زمان پیش‌هشدار<sup>۱</sup> در نقاط هدف: نقاط هدف در پروژه‌های هشدار سیل، عموماً به نقاطی اطلاق می‌شود که هشدار سیل در آن‌ها ضروری است. دو پارامتر مهم در تعیین نقاط هدف مورد نظر قرار گرفت که یکی بررسی سوابق سیلاب‌ها و خسارات آن‌ها در نقاط مختلف و دیگری نقاطی که در حاشیه رودخانه‌های اصلی قرار داشته و رخداد سیل در مراکز جمعیتی پایین‌دست را هشدار می‌دهد. تعیین سطح آب رودخانه‌ها در این مناطق، چه به وسیله نصب سیستم‌های پایش و چه با معرفی این نقطه به مدل برای تخمین پارامترهای سیل در زمان رخداد، کمک قابل توجهی به تصمیم‌گیران جهت اعلام هشدار خواهد نمود.

مهم‌ترین عواملی که بر زمان پیش‌هشدار و کارایی آن تأثیر گذار می‌باشند و در این تحقیق مد نظر قرار گرفتند، عبارتند از:

- توانایی و سرعت مدل‌های پیش‌بینی
- وجود رابطه‌های قبلی (تاریخی) یا شبیه‌سازی شده در طول یک آبراهه (اینکه رابطه همبستگی بین زمان رسیدن دبی بحرانی بین دو منطقه در راستای رودخانه چه میزان است؟)
- شرایط حوضه (شامل پوشش، شیب آبراهه و ..) و زمان تمرکز
- زمان لازم برای مقابله به طور مثال زمان لازم برای تخلیه مناطق جمعیتی و یا ایجاد دیواره‌های موقت

برای تعیین زمان پیش‌هشدار از مدل کالیبره شده بارش- رواناب حوضه مطالعاتی با یک

1-Lead Time

جدول ۷- معیار دسته‌بندی زمان پیش‌هشدار در

نقاط هدف هشدار

تعریف کلاس‌های زمان پیش‌هشدار	کلاس
کمتر یا مساوی یک ساعت	A
بیش از یک تا سه ساعت	B
بیش از سه تا شش ساعت	C
بیش از شش تا نه ساعت	D
بیش از نه ساعت	E

همانطور که از نتایج بدست آمده مشخص است در دوره بازگشت‌های ۱۰ و ۲۵ ساله به ترتیب زیرحوضه‌های  $G_1, G_4, G_2, G_3$  و  $G_5$  در اولویت‌های ۱ الی ۵ تولید سیلاب قرار دارند.

بر اساس نتایج بدست آمده حوضه پل گوندوغدی دارای بیشترین مقدار دبی بحرانی، سطح تراز آب و ارتفاع آب می‌باشد. و در مقابل سطح سنج سد گرمی چای دارای کمترین مقدار دبی بحرانی، سطح تراز آب و ارتفاع آب است. همچنین نتایج نشان داد که نقاط هدف هشدار در رودخانه گرمی چای شامل سد گرمی چای، روستای ساری قمیش و چتاب می باشد، در همین راستا نتایج نشان داد که زمان وقوع سیل با فرض شروع بارش برآورد شده است و زمان پیش هشدار قبل از وقوع اولین سیل از بالادست سد گرمی چای ۳ تا ۶ ساعت می-باشد.

تجاوزات انسان‌ها در محدوده پهنه‌های خطر رودخانه مورد مطالعه به صورت‌های گوناگون اتفاق افتاده است که شدت و ضعف آن در نقاط مختلف متفاوت می‌باشد. لذا این امر سبب ایجاد خسارات زیادی به جان و مال مردم در اثر وقوع سیل‌های متمادی شده است همانگونه که مطالعات سیل‌خیزی حوضه نیز مؤید این امر می‌باشد. جهت اصلاح این روند باید موارد ذیل مد نظر قرار گیرد:

- مناطق مسکونی، موجود در منطقه مورد مطالعه و مجاور با رودخانه بایستی با رعایت حریم رودخانه در فاصله مناسب از آن قرار گیرند.

### بحث و نتیجه‌گیری

در اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها به منظور میزان مشارکت در سیلاب تولیدی مشخص گردید که زیرحوضه‌های  $G_1, G_4$  و  $G_5$  دارای اولویت ۱ تا ۳ در امر تولید رواناب می‌باشد لذا بایستی اقدامات سازه‌ای و یا غیرسازه‌ای کنترل سیلاب در این زیر حوضه‌ها متمرکز گردد تا از اثرات مخرب سیلاب در پایین‌دست کاسته شود.

استفاده از بارش سطحی یا بارش سلولی در محاسبات معایب اندازه‌گیری نقطه ای را به حداقل می رساند، به همین دلیل از مدل بارش سلولی برای ورود مقدار بارش تخمینی استفاده شده و به منظور انجام محاسبات هیدرولوژیکی، روش نیمه توزیعی ModClark به کار گرفته شده است. با بکارگیری این روش، شکل حوضه بخوبی در مدل و در نتیجه هیدروگراف خروجی انعکاس داده می‌شود. مجموعه ای از برنامه‌های HEC (HEC-Geo HMS, HEC-HMS, HEC-Geo RAS و HEC-RAS) برای شبیه سازی رواناب، سطح آب و تولید نقشه پهنه سیل استفاده گردیده است.

بر اساس رخدادهای سیل در شرایط خشک می‌توان گفت آستانه تولید رواناب که برای این حوضه به طور میانگین ۱۶/۵ میلی‌متر می‌باشد.

- جاده‌های مواصلاتی و عبورکننده از بستر رودخانه و حاشیه آن اصلاح شده و با حفظ حریم در فاصله مناسب قرار گیرند.
- سازه‌های تأسیس شده موجود در مسیر رودخانه از جمله پل‌ها، دستک‌های موجود در مسیر مورد مطالعه متناسب با عبور جریان سیلابی اصلاح شده و در فاصله مناسب از آن قرار گیرد.
- فعالیتهای زراعی انجام شده در بستر رودخانه و یا در حال انجام، ممنوع و متوقف شده و در حریم نیز با ضوابط خاص آن انجام شود.
- افزایش تعداد ایستگاه‌های هیدرومتری در سطح حوضه به منظور تکمیل و افزایش آمار و اطلاعات
- برگزاری دوره‌های آموزشی عمومی به منظور آشنایی مردم محلی با سیستم هشدار سیل

## References

- 1-Amir Ahmadi, A.B., A.B. Behnamfar, M. Ebrahimi, 1390. Micro-zoning of flood risk in the range of Sabzavar in the development of sustainable cities. *Journal of Environmental logistics*. 7th year, Issue 16, pp. 17-32
- 2-Azari, H., A.A. Matkan, A.R. Shakiba, H. Purali, 1388. Simulation and flood warning with synthesis pilot models in GIS and rainfall estimates through remote sensing. *Iranian Journal of Geology*. 3rd years, Issue 9, pp. 39-51.
- 3-Hoseynzade, M.M., S. Biranvand, A. Hoseyni Asl, H. Saduq, 1392. Simulation Kashkan flood river. *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, Issue 17, pp. 71-84.
- 4-Roshan, H., Q.Vahabzade, K. Soleymani, R. Farhadi, 1392. Simulate the hydraulic behavior of the river using HEC-RAS model in GIS (Case study: Bashar River, Kohgiluyeh and Boyer Ahmad State). *Journal of Watershed Management*, Issue 7, pp. 70-84.
- 5-Farahmand Kenari, Sh., M. Rayyni, K. Soleymani, 1390. Analysis of the Babol River with hydraulic model HEC-RAS using GIS and provide patterns in flood management, *Watershed management Journal*, 2nd year, Issue 3, pp. 19-33.
- 6-Qobadian, R., 1387. Simulate hydraulic flood routing in Gharehsou river using numerical unsteady flow equations. 7th Conference of hydraulic, 21 to 23 November, the utilities industry University of martyr Abbaspoor.
- 7-Nuri, F., H. Behmanesh, B.M. Mohamadnezhad, H. Rezayi, 1391. Evaluation WMS/HEC-HMS Model in forecast of Qorveh basin flood, *Journal of soil and water conservation*, Vol. 19, Issue 4, pp. 201-210.
- 8-Vahabi, J., 1385. Flood risk mapping using hydrological and hydraulic models (case study Taleqan), the research and construction *Journal*, Issue 71, pp. 33-41.
- 9-Garambois, P.A., H.K. Larnier, D. Roux, D. Labat, 2014. Analysis of flash flood-triggering rainfall for a process-oriented hydrological model, *Atmospheric Research*, Vol. 137, Issue 14, pp. 14-24.
- 10-Knebl, M.R., Z.L. Yang, K. Hutchison, D.R. Maidment, 2005. Regional scale flood modeling using NEXRAD, rainfall, GIS, and HEC-HMS\RAS: A Case Study for the San Antonio River Basin, summer 2002 storm event. *J. Environ. Manage.* 75: 325-336
- 11- Kafle, T.P., M.K. Hazarica, K.G. Shresth, K. Prathumchai, L. Samarakon, 2006. Integration of remote sensing and GIS with flood simulation model for flood hazard mapping in the Bagmati river, Nepal. *J. Environment management*. 13:8. 45-57.

12-Sholtes, J., 2009. Hydraulic analysis of stream restoration on flood wave propagation. A thesis submitted to the faculty of the University of North Carolina at Chapel Hill.

13-Stephen, R., 2002. Hydrologic investigation by the USGS following the 1996 and 1997 flood in the upper Yellow stone river, Montana, American Water Resources Association, Annual Montana Section Meeting, Vol. 14, Issue8, pp: 1-18.

14-Tsung, Y., Yi-Ting, Y., and Hung-Chi, K., 19 August 2013, Improvement of watershed flood forecasting by typhoon rainfall climate model with an ANN-based southwest monsoon rainfall enhancement, Journal of Hydrology, In Press, Corrected Proof.

Archive of SID