



دانشگاه گواران

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و دوم، شماره پنجم، ۱۳۹۴

<http://jwsc.gau.ac.ir>

تفکیک مؤلفه‌های جریان سیل توسط مدل هیدرولوژیکی - توزیعی WetSpa در حوزه آبخیز زیارت - گرگان

*نرگس جاویدان^۱ و عبدالرضا بهره‌مند^۲

^۱ دانشجوی دکتری گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،

^۲ دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۲۵

چکیده

سابقه و هدف: به منظور تفکیک هیدروگراف جریان، روش‌های گوناگون وجود دارد. جریان پایه که شامل جریان زیرقشری و جریان آب زیرزمینی می‌باشد جزئی از جریان رودخانه بوده که نسبت به بارش واکنش نشان می‌دهد. مدل هیدرولوژیکی - توزیعی WetSpa علاوه بر محاسبه دبی و هیدروگراف جریان در هر نقطه از حوزه، تفکیک مؤلفه‌ها را به سه بخش رواناب مستقیم، جریان زیرقشری و جریان آب زیرزمینی نیز انجام می‌دهد در این پژوهش با استفاده از مدل WetSpa، شبیه‌سازی جریان و تفکیک مؤلفه‌های جریان در حوزه آبخیز زیارت صورت گرفت.

مواد و روش‌ها: جهت اجرای مدل از داده‌های هیدرومتئورولوژی ساعتی از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۰ شامل داده‌های بارش، تبخیر و تعرق و دما به‌عنوان داده ورودی مدل استفاده شد. همچنین سه نقشه اصلی مدل رقمی ارتفاعی، بافت خاک و کاربری اراضی در محیط GIS آماده شدند.

نتایج: نتایج شبیه‌سازی انطباق خوبی بین هیدروگراف شبیه‌سازی شده و هیدروگراف مشاهداتی نشان داد. در این مطالعه سهم مؤلفه‌های جریان در بیلان آبی برای کل دوره شبیه‌سازی به‌خوبی برآورد شد. تفکیک مؤلفه‌های جریان در این حوزه، که بیش‌تر آن را جنگل تشکیل می‌دهد نشان داد که در یک واقعه سیل، ۹۷ درصد سیل را آب پایه تشکیل داده است. تأثیر جنگل و پوشش گیاهی بر هر یک از این سه مؤلفه متفاوت است.

واژه‌های کلیدی: مدل هیدرولوژیکی - توزیعی WetSpa، تفکیک مؤلفه‌های جریان، جریان پایه، جریان زیرقشری، رواناب مستقیم

* مسئول مکاتبه: narges.javidan20@gmail.com

مقدمه

یکی از کاربردی‌ترین بحث‌های مربوط به هیدرولوژی مهندسی، بررسی هیدروگراف جریان است که امکان مطالعه دبی جریان پایه، حداکثر سیلاب، حجم سیلاب، و میزان ذخیره حوزه آبخیز پس از قطع بارندگی و نیز سهم آب‌های زیرزمینی در جریان پایه را فراهم می‌سازد. از طرف دیگر، جریان پایه بخش مهمی از جریان رودخانه‌ها را تشکیل می‌دهد که آن را می‌توان بخشی از جریان آب‌های زیرزمینی در نظر گرفت (4). افزایش شناخت انسان در سیستم‌های هیدرولوژیکی می‌تواند کمک زیادی در کاهش این بلاهای طبیعی نماید. از طرفی افزایش جمعیت و محدودیت منابع آب سطحی و زیرزمینی، مدیریت بهینه در بهره‌برداری از منابع آب را امری ضروری نموده است، بنابراین بررسی مؤلفه‌های جریان به‌خصوص آب پایه رودخانه‌ها به مدیریت منابع آب نیز کمک شایانی می‌نماید. مؤلفه‌های جریان شامل رواناب سطحی و جریان پایه می‌باشد. جداسازی اجزای جریان پایه از طریق تجزیه و تحلیل هیدروگراف جریان، اطلاعاتی راجع به ویژگی ذخایر طبیعی که رودخانه را تغذیه می‌کند، در اختیار قرار می‌دهد. در زمینه برآورد و جداسازی جریان پایه پژوهش‌های زیادی صورت گرفته است، که در ادامه برخی از این پژوهش‌ها آمده است. مول و همکاران (2008) در تفکیک هیدروگراف با استفاده از ردیاب‌های شیمیایی در حوزه آبخیز مکنایا¹ تانزانیا به این نتیجه دست یافت که ۹۵ درصد از دبی مربوط به رواناب زیرسطحی بوده، در حالی که باقی‌مانده معلول فرایند سریع‌تر، رواناب سطحی است (10).

گونزالس و همکاران (2009) به مقایسه روش‌های مختلف تفکیک جریان پایه در آبخیزهای دشتی در کشور هلند پرداخت و روش‌های غیرردیاب

را با روش دقیق اندازه‌گیری ماده ردیاب هیدروشیمیایی مقایسه کرد. نتایج این پژوهش نشان داد برای تفکیک جریان پایه روش‌های ردیاب هیدروشیمیایی نسبت به روش‌های غیرردیاب، دقیق‌ترین روش جداسازی است و می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در مورد سهم آب‌های زیرزمینی از یک جریان فراهم کند. با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی ردیاب تخمین زده شد که حدود ۹۰ درصد از دبی کل، مربوط به آب زیرزمینی است و فقط ۱۰ درصد باقی‌مانده شامل رواناب سطحی می‌باشد (5). مونیانزا و همکاران (2012) به کمک ایزوتوپ‌های دوتریم و اکسیژن ۱۸ و پارامترهای هیدروشیمیایی کلر و سیلیس محلول به تفکیک دو و سه مؤلفه‌های هیدروگراف در کشور رواندا پرداختند. نتایج حاصل از جداسازی دو مؤلفه‌های هیدروگراف با استفاده از سیلیس محلول و کلرید با نتایج جداسازی سه مؤلفه‌ای با استفاده از سیلیس محلول و دوتریم تأیید شد. نتایج این پژوهش نشان داد که در دو سیلاب بیش از ۸۰ درصد جریان مربوط به رواناب زیرسطحی است (11). قنبرپور و همکاران (2008) با مقایسه روش‌های برآورد جریان پایه براساس تفکیک هیدروگراف جریان در حوزه آبخیز کارون، ثابت نمودند که روش فیلتر عدد برگشتی با ضریب α برابر ۰/۹۲۵، به‌عنوان یکی از روش‌های دقیق به‌منظور استخراج مقادیر دبی جریان در آن منطقه بوده و شاخص جریان پایه محاسبه شده به روش انتخابی، بین ۰/۷۹ تا ۰/۸۸ متغیر است (4). تمسکنی (2012) روش‌های مختلف جداسازی هیدروگراف جریان در حوزه آبخیز گرگان‌رود را بررسی نمود و نتیجه گرفت روش فیلتر بازگشتی با ضریب فیلتر ۰/۹ به‌عنوان مناسب‌ترین روش تفکیک هیدروگراف جریان در این حوزه می‌باشد (12).

ایران، کبیر و همکاران (2010)، با استفاده از مدل WetSpa به شبیه‌سازی دبی حوزه رودخانه گرگان‌رود در استان گلستان پرداختند. نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل با توجه به ضریب نش - ساتکلیف ۰/۷۱ بیانگر دقت خوب پیش‌بینی هیدروگراف‌های روزانه و همخوانی هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در خروجی حوزه می‌باشد (7).

با توجه به این‌که آب پایه نشان‌دهنده سهم آب زیرزمینی و جریان زیرقشری می‌باشد، تعیین آب پایه به‌منظور مدیریت بهینه آب در یک رخداد سیل، امری ضروری به‌نظر می‌رسد. با مرور پژوهش‌های صورت گرفته در حوزه‌های مختلف و توانایی مدل WetSpa، برای شبیه‌سازی جریان و جداسازی مؤلفه‌های جریان درحوزه‌هایی که از نظر کاربری اراضی و ویژگی‌های فیزیوگرافی به حوزه زیارت شباهت داشتند، در این پژوهش نیز شبیه‌سازی جریان و تفکیک مؤلفه‌های جریان در حوزه آبخیز زیارت، با استفاده از مدل WetSpa انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه حوزه زیارت می‌باشد که با مساحت ۹۵/۱۵ کیلومتر مربع و محیط ۴۰/۵۱ کیلومتر در استان گلستان، شهرستان گرگان و بین طول جغرافیایی ۵۴ درجه، ۲۳ دقیقه و ۵۳ ثانیه تا ۵۴ درجه، ۳۱ دقیقه و ۱۱ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۶ دقیقه و ۵۱ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه و ۵۹ ثانیه شمالی قرار گرفته است. حداکثر ارتفاع حوزه ۳۳۰۰ متر و شیب متوسط حوزه ۴۱/۴ درصد و بارندگی متوسط سالانه، ۷۵۰ میلی‌متر می‌باشد. این حوزه دارای اقلیم آب و هوایی معتدل تا کوهستانی است که بیش‌ترین میزان بارندگی در فصول سرد سال (پاییز و زمستان) رخ داده است و میانگین ضریب رواناب در حوزه ۰/۵۴ می‌باشد. در

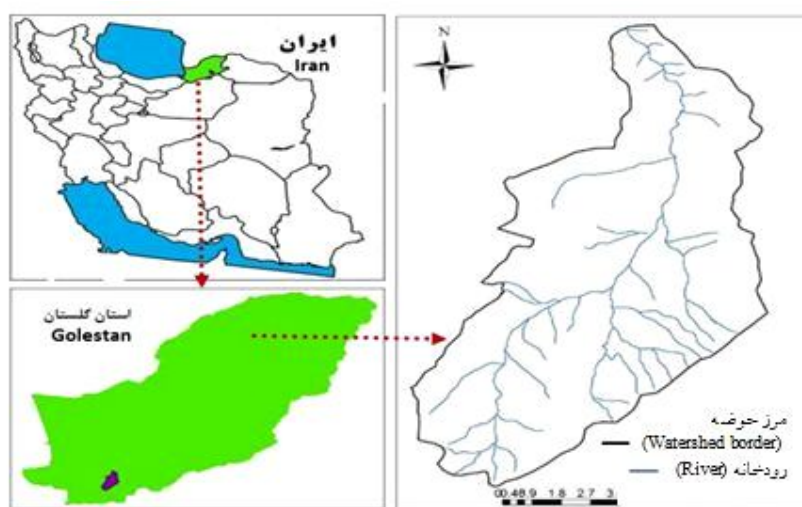
در این پژوهش مدل هیدرولوژیکی توزیعی WetSpa¹، برای جداسازی مؤلفه‌های جریان به‌کار برده شده است. این مدل اولین بار توسط ونگ و همکاران (1997) ابداع و سپس توسط دی اسمیت و همکاران (2000) توسعه پیدا کرده است (2, 13). همچنین این مدل در خارج از کشور در مناطق مختلف مورد اجرا درآمده است که از آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: لیو و همکاران (2005) در آبخیز استینسپیل لوگزامبورگ با ۵۲ ماه داده ساعتی، مدل WetSpa را به‌منظور پیش‌بینی رواناب ناشی از رگبارها در کاربری‌های مختلف تست کردند. مدل رواناب مستقیم را با دقت ۸۳ درصد بر اساس معیار ارزیابی نش - ساتکلیف برآورد کرد. رواناب مستقیم ناشی از رخدادهای سیلابی بزرگ در نواحی شهری در مقایسه با رواناب‌های ناشی از کاربری‌های مختلف از جمله مناطق جنگلی چشم‌گیرتر بوده و در مناطق جنگلی بیش‌تر حجم سیل مربوط به جریان زیرقشری بوده است. در هیدروگراف شبیه‌سازی شده برای یک واقعه سیل، سهم رواناب سطحی، جریان زیرقشری و آب زیرزمینی به‌ترتیب برابر ۳۸، ۲۷ و ۳۵ درصد برآورد شد (9). بهره‌مند (2006) به‌منظور بررسی اثرات تغییر کاربری بر میزان رواناب سطحی و هیدروگراف سیل، مدل WetSpa را در حوزه آبخیز کوهستانی و جنگلی مارگسانی - هورنارد در اسلوواکی به اجرا درآوردند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که مدل از توانایی بسیار خوبی در شبیه‌سازی هیدروگراف‌های ساعتی و روندیابی جریان رودخانه برخوردار می‌باشد. همچنین در این مطالعه، از ۳۱/۳ رواناب کل، سهم رواناب مستقیم، جریان زیرقشری و جریان زیرزمینی به‌ترتیب ۵/۷، ۳/۸ و ۲۱/۸ درصد برآورد شد (1). در زمینه شبیه‌سازی جریان در داخل

1- Water and Energy Transfer between soil, Plants and Atmosphere

خاک حوزه آبخیز زیارت که طبق گزارش‌های و نقشه‌های خاک‌شناسی تهیه شده است (شکل ۳)، ۳- نقشه مدل رقومی ارتفاعی (شکل ۴) و ۴- داده‌های اقلیمی: در بررسی هوا و اقلیم حوزه آبخیز از دو ایستگاه باران‌سنجی و یک ایستگاه دماسنجی و یک ایستگاه تبخیرسنجی استفاده شده است. در این پژوهش از آمار ۴ سال داده ساعتی (۹۰-۸۶) استفاده شده است.

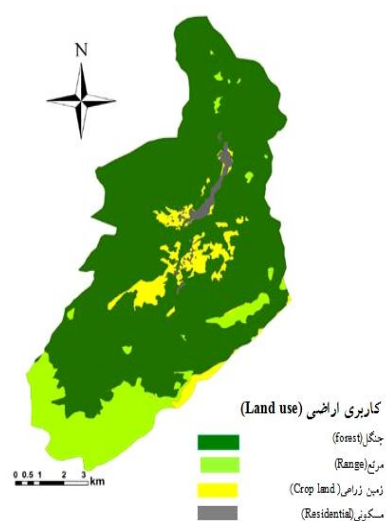
شکل ۱ موقعیت حوزه زیارت در استان گلستان و کشور نشان داده شده است.

جمع‌آوری اطلاعات پایه حوزه جهت اجرای مدل ۱- نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز زیارت برای تولید نقشه‌های توزیعی پوشش گیاهی. طبق گزارش‌های موجود این نقشه از تصاویر ماهواره‌ای لندست تهیه شده است (شکل ۲)، ۲- نقشه بافت



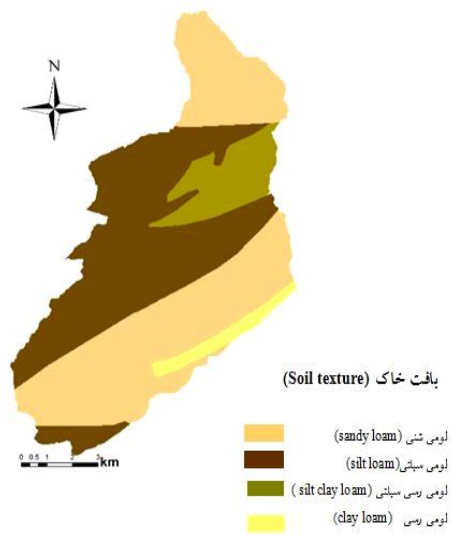
شکل ۱- موقعیت حوزه زیارت در کشور.

Figure 1. Location plan showing the study area, the Ziarat watershed.



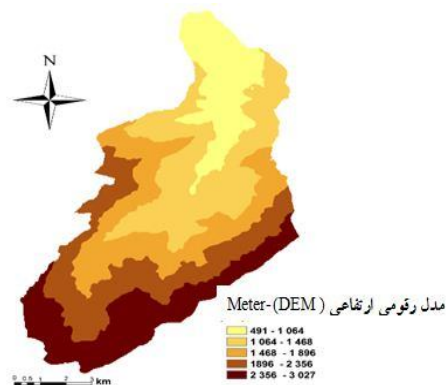
شکل ۲- نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز زیارت.

Figure 2. Land use map of Ziarat Watershed.



شکل ۳- نقشه بافت خاک حوزه آبخیز زیارت.

Figure 3. Soil type map of Ziarat Watershed.



شکل ۴- مدل رقمی ارتفاعی حوزه آبخیز زیارت (متر).

Figure 4. Digital Elevation Model of Ziarat Watershed (m).

تبخیر و تعرق، جریان زیرسطحی، جریان زیرزمینی و بیلان آب در ناحیه ریشه و ناحیه اشباع را شبیه‌سازی می‌کند. همچنین دبی‌های پیک و هیدروگراف جریان در هر مکان از شبکه آبراهه را پیش‌بینی و شبیه‌سازی می‌کند. در مدل WetSpa تعادل آب در ناحیه ریشه برای هر شبکه سلولی با توجه به رابطه ۱ محاسبه می‌گردد:

مدل WetSpa: مدل یک مدل هیدرولوژیکی توزیعی برای ارتباط آب و انرژی بین خاک گیاهان و اتمسفر است (13). مدل براساس شبکه سلولی طراحی شده است. مدل در هر شبکه سلولی با استفاده از مجموعه روابط عمدتاً فیزیکی و با توجه به میزان بارندگی، دما و تبخیر و تعرق، همه فرایندهای هیدرولوژیکی از جمله بارش، ذخیره برگابی گیاهان، ذخیره چالابی، نفوذ، رواناب سطحی،

N ، تعداد گام‌های زمانی در طول دوره شبیه‌سازی است.

شبیه‌سازی مؤلفه‌های جریان در مدل WetSpa: مدل هیدرولوژیکی - توزیعی WetSpa، تفکیک مؤلفه‌ها را به سه بخش رواناب مستقیم (جریان سطحی)، جریان زیرقشری و جریان آب زیرزمینی انجام می‌دهد.

مدل برای محاسبه رواناب از روش استدلالی اصلاح شده استفاده می‌کند. جریان زیرسطحی بر مبنای قانون دارسی و معادلات موج سینماتیکی محاسبه می‌گردد. در حالی که جریان آب زیرزمینی با استفاده از روش مخزن خطی و غیرخطی تعیین می‌گردد که روابط استفاده شده توسط مدل برای هر مؤلفه در ذیل آمده است:

جریان سطحی: بارش مازاد یا مؤثر، بخشی از یک رگبار مشخص است که در شدت‌های بارش بیش‌تر از ظرفیت نفوذ ایجاد شده و به شکل موقت سبب تشکیل ذخیره چالابی و یا رواناب مستقیم یا سطحی در خروجی حوزه پس از جریان در سطح حوزه می‌گردد. در این مدل بارش مازاد بر مبنای خصوصیات هر شبکه شامل شیب، کاربری، نوع خاک، میزان بارش و رطوبت پیشین خاک محاسبه می‌گردد (رابطه ۳):

$$V = C(P - I)(\theta/\theta_s)^\alpha \quad (3)$$

که در آن، V بارش مازاد، θ_s تخلخل خاک، θ رطوبت خاک در لحظه t ، I تلفات برگابی، C ضریب پتانسیل رواناب و α ضریبی است که نماینده تأثیر شدت بارندگی بر میزان بارش مازاد می‌باشد.

نفوذ عمقی و جریان زیرسطحی: یکی از فرضیات مدل WetSpa این است که آب با نفوذ عمقی به خارج از ناحیه ریشه مستقیماً وارد مخزن آب

$$\frac{D\Delta\theta}{\Delta\theta} = P - I - R - E - V - F \quad (1)$$

که در آن، $D[L]$ عمق ریشه، $\Delta\theta [L^3L^{-3}]$ تغییرات رطوبتی خاک در گام زمانی t و $t-1$ ، $p[LT^{-1}]$ بارش، $I[LT^{-1}]$ تلفات اولیه شامل ذخیره برگابی و ذخیره چالابی در گام زمانی، $V[LT^{-1}]$ رواناب سطحی یا بارش مازاد، $E[LT^{-1}]$ تبخیر تعرق، $R [LT^{-1}]$ نرخ نفوذ عمقی از ناحیه ریشه و $F [LT^{-1}]$ نرخ جریان زیرسطحی در زمان می‌باشد.

اجرای مدل WetSpa: در این مطالعه، از مدل هیدرولوژیکی توزیعی مکانی WetSpa جهت شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی استفاده گردیده است. ورودی‌های مدل WetSpa کاربری اراضی، بافت خاک و مدل رقمی ارتفاع (DEM)، (شکل‌های ۲، ۳ و ۴)، سری‌های زمانی بارش (میلی‌متر)، تبخیر (میلی‌متر)، دما (درجه سانتی‌گراد)، دبی (مترمکعب بر ثانیه) است. با کمک جداول مرجع و اسکریپت‌های مختلف نوشته شده به زبان Arcview در محیط نرم‌افزار Arcview، مدل اجرا و پارامترهای مکانی مدل در هر شبکه سلولی تعیین می‌شود. در این پژوهش سری‌های زمانی مورد استفاده دارای گام زمانی ساعتی و مربوط به دو ایستگاه باران‌سنجی و یک ایستگاه هواشناسی می‌باشد. برای شبیه‌سازی دبی جریان دوره آماری سه‌ساله ۱۳۸۶-۱۳۸۹ برای واسنجی و دوره یک‌ساله ۱۳۸۹-۱۳۹۰ برای اعتبارسنجی مدل انتخاب شد. به‌منظور ارزیابی کارایی مدل WetSpa در شبیه‌سازی، معیارهای ارزیابی مانند نش - ساتکلیف (رابطه ۲)، انحراف مدل، ضریب همبستگی استفاده قرار می‌گیرد (۶).

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{si} - Q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2} \quad (2)$$

که در آن، Q_{oi} و Q_{si} جریان شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای در گام زمانی i (مترمکعب بر ثانیه) و

$m(-)$: توانی است که در مخزن خطی مساوی با ۱ و برای مخزن غیرخطی ۲ در نظر گرفته می‌شود و K_g : ضریب افت آب زیرزمینی^۴ در سطح زیرحوزه در این مدل، تبخیر و تعرق واقعی از خاک و گیاهان برای هر سلول تابعی است از تبخیر و تعرق پتانسیل، پوشش گیاهی و مرحله رشد آن و محتوای رطوبت خاک در سلول.

در مدل WetSpa، روندیابی جریان سطحی و جریان آبراهه با استفاده از روش معادله خطی موج پخش‌شی صورت می‌گیرد (3). در این روش از دو پارامتر تابع پاسخ، بر پایه متوسط زمان جریان و انحراف استاندارد زمان جریان استفاده شده است. این دو پارامتر توزیعی - مکانی با استفاده از انتگرال پیچشی در طول مسیرهای جریان توپوگرافی معین محاسبه می‌شود. طول جریان وزنی هر سلول تا نقطه خروجی همگرا در پایین دست محاسبه می‌شود. در نهایت پاسخ مسیر جریان واحد محاسبه می‌شود. جریان آب سطحی و زیرسطحی ابتدا در هر شبکه سلولی به سوی کانال اصلی روندیابی می‌شود و در خروجی هر زیرحوزه آب زیرزمینی هم به آن‌ها اضافه می‌شود، سپس کل جریان به سمت خروجی کل حوزه روندیابی می‌گردد. بنابراین دبی کل عبارت است از مجموع جریان سطحی، جریان زیرسطحی و جریان آب زیرزمینی و از تلفیق پاسخ جریان کل سلول‌های موجود در شبکه تعیین می‌گردد.

نتایج و بحث

نتایج اجرای مدل: با استفاده از نقشه‌های توزیعی - مکانی پارامترهای هیدرولوژیک و آمار هواشناسی سال‌های آبی ۱۳۹۰-۱۳۸۶، مدل اجرا شد. مدل پس از جمع‌آوری اطلاعات اولیه، آزمون شده و در مرحله بعد وارد مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل می‌شود.

زیرزمینی می‌گردد که مقدار آن را می‌توان با استفاده از قانون دارسی^۱ تعیین نمود، که در آن نفوذ عمقی تابعی از هدایت هیدرولیکی و گرادیان هدایت هیدرولیکی پتانسیل می‌باشد. میزان جریان زیرسطحی به خارج از سلول با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌گردد.

$$RI_i(t) = K_i D_i S_i K[\theta_i(t)] \Delta t / W_i \quad (4)$$

که در آن، $RI_i(t)$ (mm) میزان جریان زیرسطحی به خارج از سلول در گام زمانی D_i ، Δt (h) عمق ریشه (m) ، S_i : شیب سلول (m/m) ، $K[\theta_i(t)]$ (mm/h) هدایت هیدرولیکی مؤثر سلول مرتبط با محتوای رطوبتی $\left(\frac{m^3}{m^3}\right)$ ، $\theta_i(t)$ ، W_i عرض سلول (m) و $K_i(-)$: یکی از فاکتورهای قابل واسنجی در مدل می‌باشد که برای نشان دادن تأثیر تراکم آبراهه و همچنین اثر مواد آلی و سیستم ریشه بر هدایت هیدرولیکی افقی به کار می‌رود.

ذخیره آب زیرزمینی^۲ و آب پایه^۳: ذخیره آب زیرزمینی عبارت است از میزان آب در ناحیه اشباع و شامل سطح تراز آب در زمانی است که آب در حال ورود و خروج در مخزن می‌باشد. جریان خروجی آب زیرزمینی و رواناب‌های تولید شده در هر زیرحوزه با همدیگر جمع شده و جریان کل در خروجی زیرحوزه را تشکیل می‌دهند. معادله کلی جریان آب زیرزمینی به صورت رابطه ۵ بیان می‌شود:

$$QG_s(t) = K_g [SG_s(t)/1000]^m \quad (5)$$

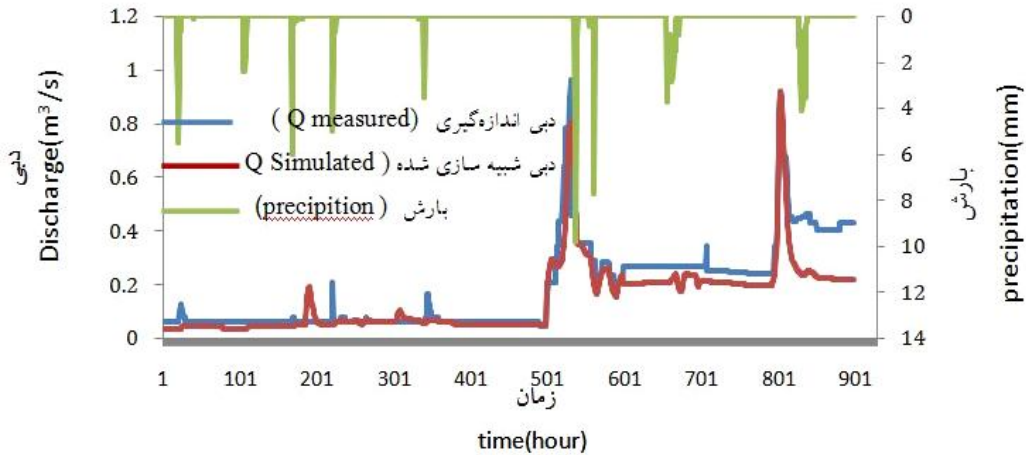
که در آن، $QG_s(t)$: متوسط میزان جریان آب زیرزمینی در خروجی زیرحوزه (m^3/s) ، $SG_s(t)$: ذخیره آب زیرزمینی زیرحوزه در زمان t (mm)،

1- Darcy's law
2- Ground water storage
3- Base flow

4- Groundwater recession coefficient

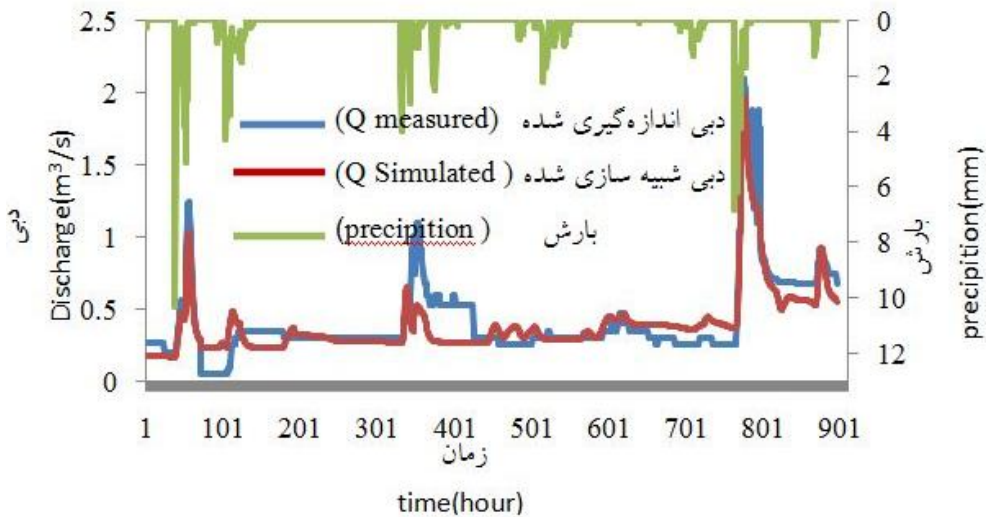
گرافیکی هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در حوزه زیارت ارائه شده است. نتایج آماری ارزیابی مدل در شبیه‌سازی مدل در جدول ۱ آورده شده است.

نتایج حاصل از مقایسه هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده برای دوره واسنجی: به‌منظور ارزیابی کارایی مدل WetSpa نتایج شبیه‌سازی با هیدروگراف‌های مشاهده‌ای، به‌صورت گرافیکی مقایسه شده است. در شکل‌های ۵ و ۶ مقایسه



شکل ۵- مقایسه بین جریان اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده ساعتی برای دوره‌ای از سال ۸۶

Figure 5. Graphical comparison between observed and calculated hourly flow for the year 2007 from the calibration period.



شکل ۶- مقایسه بین جریان اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده ساعتی برای دوره‌ای از سال ۸۸

Figure 6. Graphical comparison between observed and calculated hourly flow for the year 2009 from the calibration period.

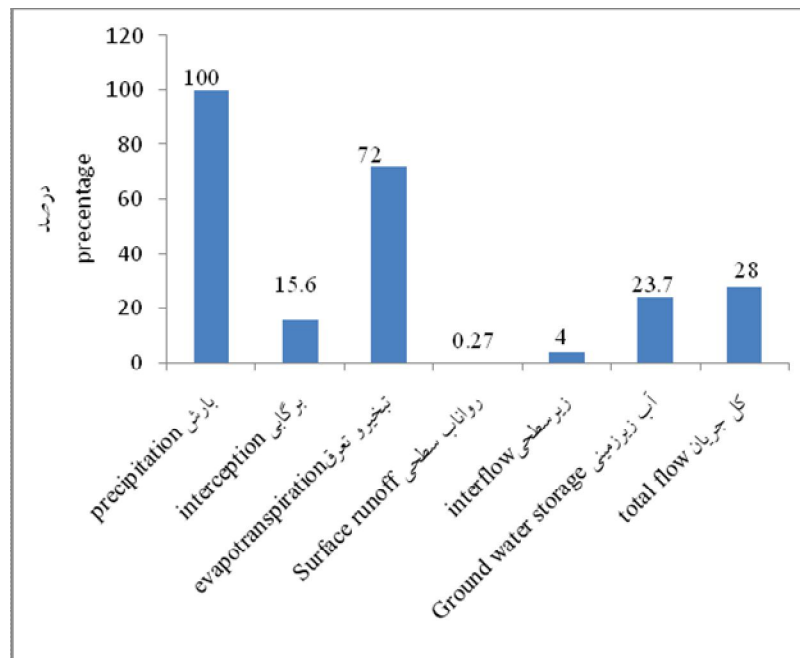
جدول ۱- معیار ارزیابی مدل در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی.

Table 1. Evaluation criteria for the assessment of model performance in the calibration and validation.

اعتبارسنجی validation	واسنجی Calibration	معیار (%) Criteria
-8.72	-2.80	انحراف مدل (Model bias for water balance)
0.748	0.689	معیار نش- ساتکلیف (Nash-Sutcliffe efficiency)
0.724	0.635	معیار نش- ساتکلیف جریان‌های کم (Nash-Sutcliffe efficiency for low flow)
0.752	0.705	معیار نش- ساتکلیف جریان‌های زیاد (Nash-Sutcliffe efficiency for high flow)
73.85	66.74	ضریب همبستگی اصلاح‌شده (Modified Correlation Coefficient)

در بیلان آبی به این صورت است که در هنگام بارندگی، ۲۸ درصد به رواناب تبدیل می‌شود که ۴ درصد رواناب زیرسطحی، ۲۳ درصد جریان آب زیرزمینی و ۰/۲۷ سهم رواناب سطحی است.

نتایج حاصل از بیلان آبی محاسبه شده توسط مدل: نمودار ستونی شکل ۷ نتایج حاصل از بیلان آبی محاسبه شده توسط مدل WetSpa در دوره واسنجی را نمایش می‌دهد. در این دوره سهم مؤلفه‌های جریان

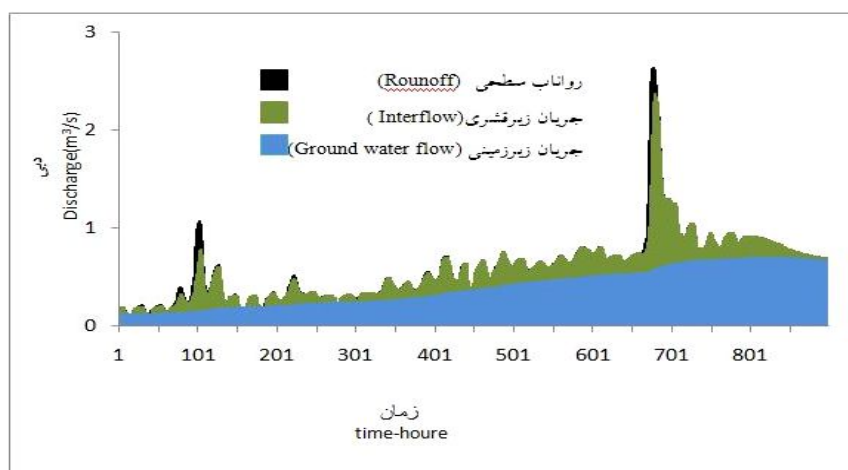


شکل ۷- مؤلفه‌های بیلان آبی جریان شبیه‌سازی شده.

Figure 7. Water balance components of simulated flow.

اسفند) می‌باشد، نشان می‌دهد. که نشان‌دهنده اهمیت آب پایه در یک رخداد سیل است. حجم و درصد مؤلفه‌ها برای این رخداد سیل در جدول ۲ ارائه شده است که بیش‌ترین حجم سیل مربوط به آب زیرزمینی می‌باشد که جزء آب پایه است.

نتایج حاصل از تفکیک مؤلفه‌های جریان توسط مدل **WetSpa**: بعد از محاسبه مؤلفه‌های جریان و اجرای مدل و شبیه‌سازی جریان، تفکیک مؤلفه‌های جریان که شامل جریان سطحی، زیرقشری و زیرزمینی است انجام شد. شکل ۸ هیدروگراف‌های یک رخداد سیل را که مربوط به دوره‌ای از سال ۸۶ (بهمن و



شکل ۸- مؤلفه‌های جریان سیل برای دوره‌ای از سال ۸۶.

Figure 8. Components of flood for the year 2007 from the calibration period.

جدول ۲- درصد و حجم مؤلفه‌های جریان سیل برای دوره‌ای از سال ۸۶ (بهمن و اسفند).

Table 2. Components volume and percentage of the flood flow for the year 2007.

جریان زیرزمینی (Ground water flow)	جریان زیرقشری (Interflow)	رواناب سطحی (Rounoff)	مؤلفه‌های جریان (components of the flow)
			درصد (%)
65.60	31.41	2.99	(Percentage)
			حجم (m ³)
1,278,407	610,117	50,137	(Volume)

۰/۶۸۹ برآورد گردید. شکل‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهد، تطابق خوبی بین نتایج شبیه‌سازی و مشاهداتی در آبخیز زیارت وجود دارد. معیار نش- ساتکلیف کارایی بالای مدل را در شبیه‌سازی نشان می‌دهد. که با نتایج بهره‌مند (2006) و کبیر و همکاران (2010) که به شبیه‌سازی جریان با استفاده از مدل **WetSpa**

مدل **WetSpa** یک مدل فیزیکی و پیوسته است که فرایندهای بارش، رواناب و تبخیر و تعرق را برای عوارض زمینی ساده و پیچیده توصیف می‌کند. مدل در حوزه زیارت با داده‌های چهار ساله بارش ساعتی، دما و تبخیر و تعرق مشاهده شده تست شد. نتایج واسنجی مدل بر اساس معیار نش- ساتکلیف حدود

ردیاب نسبت به روش‌های غیرردیاب دقیق‌ترین روش جداسازی است و می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در مورد سهم آب‌های زیرزمینی از یک جریان فراهم کند. در این مطالعه مشخص شد که حتی در روش فیلترینگ هم بیش‌ترین سهم جریان مربوط به آب پایه است و هرچه سیل بزرگ‌تر باشد درصد حجم بیش‌تری از آن مربوط به آب پایه می‌باشد. بنابراین در دهه گذشته با استفاده از روش‌های ردیاب هیدروشمیایی مشخص شد در مناطق مختلف دنیا به‌خصوص در مناطق مرطوب و جنگلی آب‌های زیرزمینی نسبت به آب‌های سطحی سهم بیش‌تری در تولید رواناب دارند که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. همچنین لیو و همکاران (2005)، در آبخیز استینسیل لوگزامبورگ با ۵۲ ماه داده ساعتی، مدل WetSpa را به‌منظور پیش‌بینی رواناب ناشی از رگبارها در کاربری‌های مختلف تست کردند. رواناب مستقیم ناشی از رخدادهای سیلابی بزرگ در نواحی شهری در مقایسه با رواناب‌های ناشی از کاربری‌های مختلف از جمله مناطق جنگلی چشم‌گیرتر بوده و در مناطق جنگلی بیش‌تر حجم سیل مربوط به جریان زیرقشری بوده است. در هیدروگراف شبیه‌سازی‌شده برای یک واقعه سیل، سهم رواناب سطحی، جریان زیرقشری و آب زیرزمینی به ترتیب ۳۸٪، ۲۷٪ و ۳۵٪ برآورد شد. یعنی ملاحظه می‌شود که در یک واقعه سیل سهم آب پایه که شامل مجموع جریان زیرقشری و آب زیرزمینی است حدود ۶۲٪ می‌باشد که در مقایسه با رواناب سطحی خیلی بیش‌تر است. در این پژوهش، با استفاده از مدل WetSpa در یک واقعه سیل، سهم هر کدام از کاربری‌ها در تولید رواناب سطحی و جریان زیرقشری تفکیک شد و مشخص شد کاربری جنگل، بیش‌تر در تولید جریان زیرقشری نقش دارد و سهم رواناب سطحی کم‌تر است، که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. همچنین بهره‌مند

پرداختند، همخوانی دارد. با تفکیک مؤلفه‌های جریان که شامل جریان سطحی، آب پایه (زیرقشری و زیرزمینی) است مشخص شد در یک واقعه سیل آب پایه، ۹۷ درصد سیل را تشکیل می‌دهد. تأثیر جنگل و پوشش گیاهی بر هر یک از این سه مؤلفه متفاوت است و انتظار بر این است که این تأثیر بر دو مؤلفه جریان سطحی و زیرقشری بیش‌تر از مؤلفه جریان زیرزمینی باشد. البته نقش شیب و عمق ریشه (عمق خاک) در نحوه تأثیر پوشش گیاهی محرز است. مطابق با فرمول استفاده شده جهت محاسبه جریان زیرقشری عمق خاک و شیب بر حجم، دبی و سرعت این جریان تأثیر به‌سزایی دارند. اصولاً در دامنه‌های جنگلی با شیب متوسط و عمق ریشه زیاد جریان زیرقشری حداکثر است (8). با کاهش شیب بر سهم جریان زیرزمینی در مناطق جنگلی افزوده می‌شود (5). در حوزه‌هایی مانند حوزه زیارت که حدود ۷۷ کیلومترمربع (حدود ۸۰ درصد) از مساحت آن را جنگل تشکیل می‌دهد، در یک واقعه سیل رواناب سطحی توسط پوشش جنگلی کاهش می‌یابد در صورتی که آب پایه بخش بزرگی از جریان کل را شامل می‌شود. که با نتایج مطالعه مول و همکاران (2008)، که با استفاده از ردیاب‌های شیمیایی در حوزه آبخیز مکنایا تانزانیا به این نتیجه دست یافت که ۹۵ درصد از دبی مربوط به رواناب زیرسطحی بوده، در حالی که باقی‌مانده معلول فرایند سریع‌تر، رواناب سطحی است همخوانی دارد. همچنین گونزالس و همکاران (2009)، روش‌های غیرردیاب را با روش دقیق اندازه‌گیری ماده ردیاب هیدروشمیایی مقایسه کردند و با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی ردیاب تخمین زده شد که حدود ۹۰ درصد از دبی کل، مربوط به آب زیرزمینی است و فقط ۱۰ درصد باقی‌مانده رواناب سطحی را تشکیل می‌دهد. نتایج این پژوهش نشان داد برای تفکیک جریان پایه روش‌های

همکاران، ۲۰۰۵؛ بهره‌مند، ۲۰۰۶؛ مول و همکاران، ۲۰۰۸؛ گونزانس و همکاران، ۲۰۰۹) همگی نشان از سهم زیاد جریان در حوزه‌های جنگلی و رودخانه‌های دائمی دارد و این سهم هم در جریان طبیعی رودخانه و هم در جریان طبیعی رودخانه و هم در جریان‌های طغیانی زیاد بوده و بر خلاف رودخانه‌های موقت مناطق خشک سهم رواناب سطحی کم می‌باشد.

با توجه به این‌که برآورد جریان پایه در برنامه‌ریزی توسعه شهری، آبیاری، کشاورزی، مدیریت خشکسالی، کاهش تلفات آب و غیره مهم و ضروری است، بنابراین نتایج این پژوهش می‌تواند مورد استفاده برنامه‌ریزان و مدیران و بهره‌برداران از منابع آب قرار بگیرد. چون در مدل WetSpa محاسبه دبی آب زیرزمینی بر اساس روش مخزن (مخزن خطی و غیرخطی) می‌تواند همراه با خطا باشد بنابراین بهتر است این روش با روش‌های دقیق ماده ردیاب مقایسه شود تا صحت نتایج مورد ارزیابی قرار بگیرد. همچنین با توجه به وجود نواقص و همچنین عدم پیوستگی داده‌های هواشناسی و هیدرومتری، پیشنهاد می‌شود توجه بیشتری به ایستگاه‌های حوزه‌ها داشته و در ایستگاه‌ها از دستگاه‌های اندازه‌گیری ثابت استفاده شود.

(۲۰۰۶)، به‌منظور بررسی اثرات تغییر کاربری بر میزان رواناب سطحی و هیدروگراف سیل، مدل WetSpa را در حوزه آبخیز مارگسانی - هورنارد در اسلواکی به اجرا درآوردند. در این مطالعه، از ۳۱ درصد رواناب کل، تقریباً ۲۶ درصد مجموع جریان زیرقشری و جریان زیرزمینی برآورد شد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد نتایج آن‌ها با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. لازم به ذکر است حوزه هورنارد و مارگسانی از نظر شیب، مناطق کوهستانی و مناطق جنگلی بسیار شبیه حوزه زیارت می‌باشد به‌طوری‌که حدود ۵۰٪ از مساحت این حوزه (مارگسانی و هورنارد) را جنگل تشکیل می‌دهد. بنابراین در مناطق مرطوب و جنگلی مؤلفه اصلی جریان در مواقع سیلاب آب پایه است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، در چهار سال داده ساعتی موجود، سیل خارق‌العاده‌ای با دوره بازگشت به‌طور مثال ده سال به بالا اتفاق نیفتاده است و می‌توان سیل تفکیک شده در پژوهش حاضر را سیل کوچکی قلمداد کرد و قاعدتاً این ترکیب و سهم مؤلفه‌ها در این حوزه، برای سیل‌های بزرگ‌تر بدین صورت نخواهد بود. نتایج این پژوهش و پژوهش‌های متعدد دیگر از جمله (لیو و

منابع

1. Bahremand, A. 2006. Simulation the effects of reforestation on floods using spatially distributed hydrologic modelling and GIS. Ph.D. Thesis. Brussel Belgium: Vrij Universiteit, 150p.
2. De Smedt, F., Liu, Y.B., and Gebermeskel, S. 2000. Hydrological modelling a catchment scale using GIS and remote sensed land use information, P 295-304. In: Brebbia, C.A. (Ed.), Risk Analysis II, WTI. Press, Boston.
3. Fortin, J.P., Turcotte, R., Massicotte, S., Moussa, R., Fitzback, J., and Villeneuve, J.P. 2001. A distributed watershed model compatible with remote sensing and GIS data, I: Description of model. J. Hydrol. Engin. 6: 2. 91-99.
4. Ghanbarpour, M., Teimouri, M., and Gholami, S. 2008. Comparison of base flow estimation methods based on hydrograph separation (Case study: Karun Basin). JWSS - Isfahan University of Technology. 12: 44. 1-13. (In Persian)

5. Gonzales, A.L., Nonner, J., Heijkers, J., and Uhlenbrook, S. 2009. Comparison of different base flow separation methods in a lowland catchment. *Hydrology and Earth System Sciences*. 13: 2055-2068.
6. Hoffmann, L., Elidrissi, A., Pfister, L., Hingray, B., Guex, F., Musy, A., Humbert, J., Drogue, G., and Leviandier, T. 2004. Development of regionalized hydrological models in an area with short hydrological observation series. *River Research and Applications*. 20: 3. 243-254.
7. Kabir, A., Mahdavi, M., Bahremand, A., and Noora, N. 2010. Application of the distributed hydrological WetSpa model for runoff simulation in Gorganrood river basin, Iran. Sixth National Conference on Watershed Management Science and Engineering, Department of Watershed Management Engineering, College of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modarres University, 8p.
8. Liu, Y.B., and De Smedt, F. 2004. WetSpa extension, documentation and user manual, Department of Hydrology and Hydraulic Engineering, Vrije Universiteit Brussel, Belgium.
9. Liu, Y.B., Gebremeskel, S., De Smedt, F., Hoffmann, L., and Pfister, L. 2005. Predicting storm runoff from different land-use classes using Geographical Information System-based distributed model. *J. Hydrol. Proc.* 20: 533-548. DOI: 10.1002/hyp.5920.
10. Mul, M.L., Mutiibwa, R.K., Uhlenbrook, S., and Savenije, H.H.G. 2008. Hydrograph separation using hydrochemical tracers in the Makanya catchment. Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth*. 33: 151-156.
11. Munyaneza, O., Wenninger, J., and Uhlenbrook, S. 2012. Identification of runoff generation processes using hydrometric and tracer methods in a meso-scale catchment in Rwanda. *Hydrol. Hydrology Earth System Science Discuss.* 9: 671-705.
12. Tamaskani, A. 2012. Compare of hydrograph separation methods in Gorganrood catchment. M.Sc Thesis. Gorgan University of agricultural science and natural resources. Faculty of water and soil engineering. 80p.
13. Wang, Z., Batelaan, O., and De Smedt, F. 1997. A distributed model for water and energy transfer between soil, plants and atmosphere (WetSpa). *Physics and chemistry of the earth*. 21: 189-193.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(5), 2016
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Separate components of the flood flow using the distributed hydrological WetSpa model in Ziarat-Gorgan watershed

***N. Javidan¹ and A.R. Bahremand²**

¹Ph.D. Student, Dept. of Watershed Management, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Associate Prof., Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 10/26/2014; Accepted: 06/15/2015

Abstract

Background and Objectives: There are many ways for flow hydrograph separation. Base flow as a component of river flow, which reacts to precipitation, includes interflow and ground water flow. The spatially distributed hydrological WetSpa model calculates discharges and hydrograph at any point of the basin and gives 3 components of flow groundwater. In this study, the WetSpa model has been applied for flow simulation and hydrograph separation in the Ziarat river basin.

Materials and Methods: In order to apply the model, hourly hydrometeorological data for a period of four years (2007-2010) including rainfall, evapotranspiration, temperature and discharge were used as inputs. Additionally, three main maps of the digital elevation model, soil map (texture) and landuse were also applied and converted to digital formats.

Results: The result of the simulation shows a good agreement between the simulated hydrograph and the observed one. The water balance components for the entire simulation period is given as well as for a flood event. In this mountainous forested watershed, the basflow forms the major part of the flow. As for the studied flood, it has formed 97% of the flood volume. Forest and vegetation affect each of these components differently.

Keywords: Distributed hydrological WetSpa model, Separation of flow components, Base flow, Interflow, Surface runoff

* Corresponding Author; Email: narges.javidan20@gmail.com