Archive of SID

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال دهم. شماره سی و هفتم پاییز ۱۳۹۸

مقایسه روش‌های برآورد آب‌پایه در ارتباط با شبیه‌سازی جریان کل در حوزه آبخیز بهشت‌آباد

الهام کیانی سلمی[۱]، خدایار عبدالهی*[۲]، افشین هنر بخش [۳]

تاریخ ارسال:۱۳۹۶/۰۷/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۲۸

علمی- پژوهشی
مقاله برگرفته از پایان‌نامه

چکیده

تابع تلفات بخشی از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS می‌باشد که در ترکیب با تابع انتقال برای شبیه‌سازی پیوسته بارش- رواناب مورداستفاده قرار می‌گیرد. برای تولید جریان کل، مدل بخش آب زیرزمینی را به‌صورت آب‌پایه اضافه می‌کند. حوزه آبخیز بهشت‌آباد ازجمله حوضه‌هایی است که آب‌پایه به دلیل تأثیر قابل‌توجه بر خصوصیات هیدرودینامیکی نقشی اساسی در جریان کل ایفا می‌کند. از آنجائی که مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS مدلی مؤلفه‌ای است، به کاربر امکان انتخاب نوع توابع را می‌دهد، در این مدل برای برآورد جریان کل روش‌های مختلفی برای بیان مقدار آب‌پایه وجود دارد. که هرکدام از روش‌ها نیاز به داده‌های متفاوتی دارند. هدف از این مقاله بررسی روش‌های مختلف آب‌پایه در مدل تابع تلفات بارش و برآورد بهترین روش محاسبه آب‌پایه با استفاده از مدل مذکور در حوضه بهشت‌آباد می‌باشد. در این پژوهش از سری زمانی داده‌های دما، بارش، دبی و تبخیر - تعرق در دوره آماری ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۵ میلادی استفاده و پس از واسنجی مدل با روش‌های مختلف برآورد آب‌پایه مشخص شد که روش‌های ثابت ماهانه و روش افت محدود با مقدار ضریب کارایی نش- ساتکلیف به ترتیب،۰/۶۹ در مرحله واسنجی و ۰/۶۴ در مرحله صحت سنجی بهترین روش برآورد آب‌پایه در حوضه موردمطالعه شناخته شدند. بدین ترتیب پس از کنترل چشمی، با توجه به هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی در مرحله واسنجی مشخص شد که روش برآورد آب‌پایه افت محدود از برازش بهتری برخوردار است. همچنین حساسیت بالای کارایی مدل در شبیه‌سازی جریان کل به نوع روش آب‌پایه نشان‌دهنده نقش کلیدی آب‌پایه در میزان آب خروجی از حوضه موردمطالعه است.

واژه‌های کلیدی: آب‌پایه، برهم‌کنش آب سطحی و زیرزمینی، مدل احتساب کننده رطوبت خاک، مدل هیدرولوژیکی، هیدرو گراف

[۱] کارشناسی ارشد آبخیزداری، ۰۹۱۳۰۶۷۳۲۸۵ (elham_kianisalmi@yahoo.com)

[۲]* استادیار گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین- دانشگاه شهرکرد، کیلومتر چهار جاده سامان، دانشگاه شهرکرد، ۰۹۱۳۱۸۵۵۶۸۸ (نویسنده مسئول abdollahikh@yahoo.com)

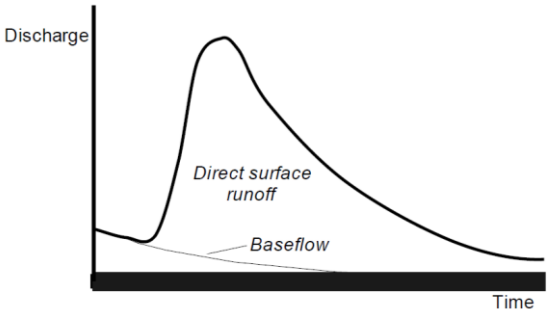
[۳] دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین- دانشگاه شهرکرد، ۰۹۱۲۷۱۶۳۰۰۵ afshin.honarbakhsh@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

آب‌پایه بخصوص در مناطقی که برهمکنش آب سطحی و زیرسطحی قابل‌توجه باشد، مؤلفه‌ای مهم و مؤثر در شکل هیدروگراف است و بیانگر اطلاعاتی در مورد منابع ذخیره‌ای و زیرزمینی حوزه آبخیز است. شاخص آب‌پایه به‌عنوان یکی از ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز برای تحلیل سیلاب و شبیه‌سازی جریان رودخانه‌ای مورد.استفاده قرار می‌گیرد. اولین گام برای برآورد این شاخص تفکیک هیدروگراف جریان و برآورد آب‌پایه می‌باشد. بررسی و شناخت مناسب‌ترین روش تفکیک هیدروگراف و برآورد آب‌پایه، امکان محاسبه شاخص آب‌پایه را فراهم می‌سازد(Smakhtin , 2001). شکل ۱ سهم آب‌پایه (Base flow) را در هیدروگراف جریان نشان می‌دهد.



شکل.۱ تصویر آب‌پایه (HEC-HMS 2000)

طی فرآیند بارش علاوه بر آب‌های سطحی، بحث آب‌های زیرزمینی و زیر قشری از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشند، برآورد میزان مشارکت آب زیرزمینی در دبی جریان یکی از مباحث مهم و موردتوجه در مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوزه آبخیز می‌باشد. آب‌پایه نقش مهمی در مباحث آب‌های زیرزمینی و حوزه‌های دارای منابع آب زیرزمینی دارد، در حوزه آبخیز بهشت‌آباد با توجه به منابع آب زیرزمینی آب‌پایه دارای اهمیت زیادی می‌باشد. بررسی میزان مشارکت آب‌پایه در برآورد رواناب می‌تواند کمک مؤثری به بررسی سفره‌های آب زیرزمینی، کنترل خشکسالی و مدیریت حوزه آبخیز نماید.

یکی از مدل‌های هیدرولوژیکی پرکاربرد در زمینه بارش- رواناب مدل HEC-HMS می‌باشد، در این مدل برای محاسبه تلفات بارش از الگوریتم محاسبه رطوبت خاک (SMA) به‌صورت پیوسته استفاده‌شده است و قابلیت شبیه‌سازی یک دوره زمانی طولانی‌مدت را دارا می‌باشد. اطلاعات ورودی به مدل شامل مقادیر تبخیر - تعرق، دما، بارش و برای برف اطلاعات شاخص دما می‌باشد. به عبارتی این مدل حرکت آب و ذخیره آن را در گیاهان، سطح خاک و عمق خاک و لایه‌های زیرزمینی شبیه‌سازی کرده و با داشتن مقدار بارش و تبخیر- تعرق پتانسیل (ETp)، مدل جریان سطحی و جریان آب زیرزمینی، تلفات ناشی از ET و نفوذ را روی کل حوضه آبریز محاسبه می‌کند. در مدل SMA بیش از ۲۰ پارامتر وجود دارد و به علت دخالت دادن پارامترهای بیش‌تر از مدل معمول HEC-HMS نتایج بهتری ارائه می‌دهد(Gyawali and Watkins, 2013). در مدل HEC-HMS برآورد مقدار آب‌پایه به‌عنوان عاملی در مشارکت آب‌های سطحی و زیرزمینی نقش بسزایی دارد(Arnold et al, 2000). مقدار آب‌پایه در مدیریت منابع آب بسیار اهمیت دارد، شاخص آب‌پایه توسط عوامل طبیعی مثل آب‌وهوا، زمین‌شناسی، خاک و پوشش گیاهی عوامل انسانی تغییر می‌کند(Eckhart, 2008).

Sampath و همکاران (۲۰۱۵) از مدل هیدرولوژیکی HMS-SMA به‌منظور مدیریت منابع آب و برآورد رواناب در حوزه‌ای در سریلانکا استفاده کردند. آن‌ها در بخش تلفات از SMA و برای برآورد آب‌پایه از روش منحنی افت استفاده کردند در بخش انتقال نیز از روش هیدروگراف واحد کلارک استفاده کردند، نتایج نشان از قابلیت زیاد مدل HEC-HMS با دقت بالا و متوسط ضریب راندمان ۰/۸ داشت و توانایی مدل را در برآورد جریان در حوزه‌های گرمسیری اثبات کرد(Sampath et al, 2015). در پژوهشی Garcia و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از روش SMA میزان

www.SID.ir

Archive of SID

منابع آب سطحی قابل‌دسترس و مدیریت آن در دوازده حوضه واقع در شمال اسپانیا را بررسی کردند. آنها برای شاخص آب‌پایه از روش مخزن خطی استفاده کردند و با توجه به اینکه برای مدل‌سازی هیدرولوژیک حوضه‌ها با کمبود داده و ایستگاه‌های هیدرومتری روبرو بودند، از تکنیک‌ها مختلفی برای کالیبراسیون مدل HMS-SMA استفاده کردند. مقایسه بین داده‌ای مشاهداتی و نتایج جریان بدست آمده از مدل حاکی از تطابق مناسب بین آنها بود(Garcia et al, 2008). کیانی و همکاران (۱۳۹۵) شبیه‌سازی پیوسته رواناب حوزه آبخیز باراریه نیشابور با استفاده از مدل احتساب کننده رطوبت خاک SMA انجام دادند،آنها از داده‌های بارش، تبخیر – تعرق و دبی به‌صورت روزانه استفاده کردند، نتایج شبیه‌سازی نزدیک هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی در مرحله واسنجی و صحت سنجی مدل نشان داد که روش SMA در حوزه موردمطالعه منجر به شبیه‌سازی بهتر رواناب به‌صورت پیوسته شده و مدل مذکور نتایج قابل قبولی را ارائه داده است.

رطوبت خاک در سیستم هیدرولوژیکی به شکل حافظه سیستم عمل می‌کند و به همین دلیل در شرایط استفاده از مدل تک رخدادی شرایط مرزی آغازین حساس است. Chu و Steinman (۲۰۰۹) باهدف برقراری ارتباطی بین مدل‌های تک رخداد و مدل‌های هیدرولوژیکی پیوسته با استفاده از مدل HEC-HMS به مدل‌سازی حوضه مونا لیک واقع در غرب میشیگان پرداختند. آنها از ۴ رخداد بارندگی برای واسنجی، صحت سنجی و درنهایت تعیین پارامترهای مدل‌سازی تک رخداد بهره جستند و سپس پارامترهای واسنجی شده را برای مدل‌سازی هیدرولوژیک پیوسته بکار بردند. مدل‌سازی تک رخداد و پیوسته آنها به ترتیب بر اساس شماره منحنی روش حفاظت خاک امریکا (SCS) و SMA صورت گرفت و بر این اساس رابطه بین دو نوع مدل شبیه‌سازی مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج آنها گویای این مطلب است که مدل‌سازی هیدرولوژیکی تک رخدادی (با گام‌های زمانی ۵ دقیقه‌ای) در ارائه دقیق‌تر و کالیبراسیون بهتر پارامترهای مدل‌سازی پیوسته حوضه می‌تواند مفید باشد(Chu and Steinman 2009). هرچند به دلیل عدم وجود آمار و اطلاعات نمی‌توان چنین روشی را برای همه مناطق عملی دانست. برتیت و همکاران هر دو نوع مدل‌سازی تک رخداد و پیوسته را روی ۱۷۸ حوضه فرانسه مطالعه کردند. هدف تحقیق آنها بررسی میزان تأثیر شرایط رطوبتی اولیه خاک روی عملکرد مدل‌های تخمین سیلاب و امکان‌پذیری تعدیل آن با استفاده از روش‌های نوین بود (Berthet et al, 2009). Koch و Bene با استفاده از داده‌های منطقه کارستی در مجارستان پارامترهای مدل را با استفاده از هشت سال آماری و پنج معیار اندازه‌گیری آماری کالیبره کردند که نتایج آنالیز حساسیت نشان‌دهنده تأثیر بالای عمق ناحیه کششی خاک و پارامترهای روش مخزن خطی جریان پایه بر روی دبی پیک بود. صحت سنجی مدل تطابق مناسب بین نتایج شبیه‌سازی و مقادیر مشاهداتی را نشان می‌داد (Koch and Bene, 2013). Silva و همکاران مدل‌سازی هیدرولوژیکی در رودخانه کلانی در سریلانکا را با استفاده از داده‌های بارندگی انجام دادند، آنها از روش منحنی افت برای شاخص آب‌پایه استفاده کردند و پس از واسنجی مدل نشان دادند که مدل HEC-HMS کاربرد بسیاری در کنترل سیل و مدیریت منابع آب دارد (Silva et al, 2014). Waikhom و Manoj (۲۰۱۵) به بررسی مدل تابع تلفات در رودخانه‌ای در هندوستان پرداختند، نتایج آن‌ها نشان داد که پارامتر ذخیره خاک به‌عنوان حساس‌ترین پارامتر در واسنجی مدل SMA معرفی شد (Waikhom and Manoj 2015) .

در پژوهش‌های مختلفی که انجام‌شده برای مدل تابع تلفات بارش در بخش شاخص آب‌پایه از یک روش ثابت استفاده‌شده است، ولی تاکنون به بررسی

www.SID.ir

Archive of SID

روش‌های مختلف آن پرداخته نشده است، هدف از این پژوهش بررسی و تشریح روش‌های مختلف برآورد آب‌پایه با داده‌های واسنجی شده دارای بیشترین ضریب راندمان و شناسایی بهترین روش در حوضه موردمطالعه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه: حوضه آبخیز بهشت‌آباد بخشی از حوزه آبخیز کارون بزرگ واقع در استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد. مساحت این حوضه ۳۸۸۰ کیلومترمربع و بین عرض‌های جغرافیایی شمالی ۳۱درجه و ۲۸ دقیقه و ۳۲ درجه و ۵۶ دقیقه و طول‌های جغرافیایی شرقی ۵۰ درجه و ۳۶ دقیقه و ۵۱ درجه و ۴۵ دقیقه قرار دارد. ارتفاع متوسط حوضه از سطح دریای آزاد ۲۳۱۷ متر می‌باشد. شکل ۲ موقعیت این حوضه را مشخص می‌کند. این حوضه از مناطق کارستی می‌باشد و به دلیل پیچیدگی الگوی جریان آبهای زیرزمینی، آبهای زیرزمینی در آن نقش بسزایی در تأمین آب‌پایه حوضه دارد.

داده‌های مورداستفاده: داده‌های سری زمانی مورداستفاده در این تحقیق، شامل داده‌های بارش، دبی و تبخیر - تعرق در سالهای آماری ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۵ میلادی می‌باشند که اطلاعات از ایستگاه هواشناسی بهشت‌آباد بدست آمده است. در مطالعه حاضر داده‌های سالهای ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۱ برای واسنجی و از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ برای صحت سنجی استفاده گردید؛ با توجه به کارستی بودن منطقه و برف موجود در منطقه، در این مطالعه از اطلاعات دما نیز برای شبیه‌سازی ذوب برف به روش درجه-روز استفاده‌شده است.

ایستگاه هواشناسی بهشت‌آباد در ارتفاع ۱۶۸۰ متری از سطح دریا و در طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۷ دقیقه و ۳۶ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱ دقیقه و ۵۰ثانیه شرقی واقع‌شده است.

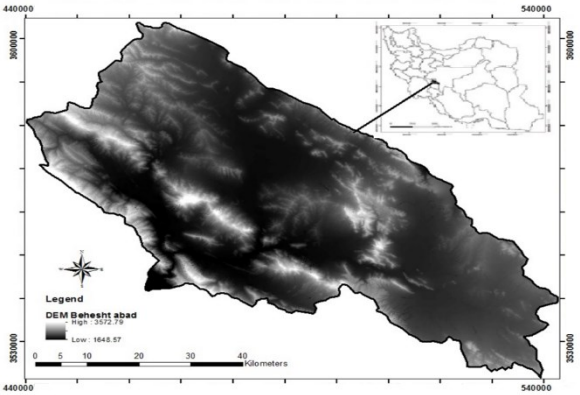
مدل حوضه: اجزای مدل HEC-HMS(SMA)در حوضه موردمطالعه به‌صورت شکل۳ می‌باشد. مؤلفه‌های مختلف مدل حوضه با استفاده از نسخه HEC-HMS4.2 بر اساس خصوصیات فیزیوگرافیکی حوزه بهشت‌آباد وارد مدل گردید.

روش بررسی

تابع تلفات بارش: پس از پایان بارندگی اگر شدت بارش از شدت نفوذ بیشتر باشد، بخشی از آب در حوضه باقی می‌ماند که این مقدار آب شامل ذخیره برگابی، لایه ذخیره‌ای، ذخیره چالابی، نفوذ سطحی، رواناب سطحی و همچنین ذخیره خاک می‌گردد. الگوریتم پیوسته احتساب رطوبت خاک (SMA) در مدل HEC-HMS4.2 به این موارد می‌پردازد (Bennett, 1998). در این مطالعه پس از آزمون کارایی روش‌های مختلف، برای تبدیل بارش مازاد به رواناب نقطه‌ای از هیدرو گراف واحد کلارک استفاده گردید، برای مدل‌سازی ذوب برف نیز از شاخص دما استفاده‌شده است. واسنجی مدل به‌صورت دستی و پارامترهای اولیه نیز با استفاده از قضاوت مهندسی و روش سعی و خطا و با استفاده از منابعی که قبلاً تحقیقات را انجام داده‌اند صورت گرفت(کیانی سلمی و همکاران، ۱۳۹۵. Fleming and Neary, 2004. (Silva et al, 2014

www.SID.ir

Archive of SID



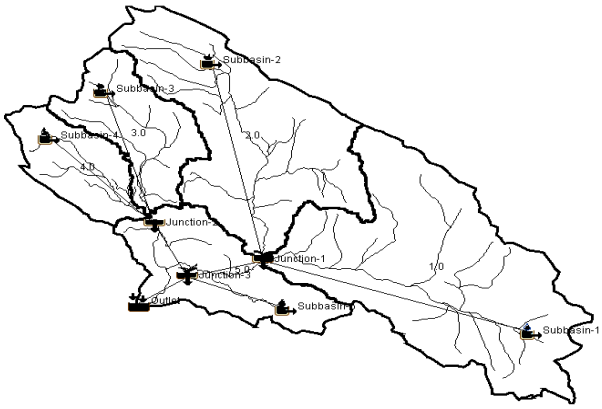
شکل ۲. موقعیت حوزه بهشت‌آباد در کشور

شاخص آب‌پایه: آب‌پایه یک نسبت بدون بعد می‌باشد و از تقسیم دبی پایه به‌کل رواناب برای سال یا دوره آماری به دست می‌آید. این شاخص بیانگر اطلاعات از نسبت رواناب و منابع ذخیره‌ای حوزه آبخیز می‌باشد. برآورد صحیح این شاخص در مدل SMA اهمیت بسیاری دارد. روش‌های مختلفی برای برآورد این شاخص در مدل SMA وجود دارد.

انواع روش‌های آب‌پایه : برای برآورد آب‌پایه در مدل HEC-HMS4.2 ، ۵ روش وجود دارد که به شرح زیر می‌باشند.

روش ثابت ماهانه: در این روش مقادیر ماهانه آب‌پایه وارد می‌شود. برای تفکیک آب‌پایه از هیدروگراف مشاهداتی و به این صورت عمل می‌شود که با استفاده از مقادیر دبی روزانه و سایت WHAT دبی پایه روزانه استخراج‌شده و سپس تبدیل به مقادیر متوسط ماهانه آب‌پایه شده است(کیانی سلمی و عبدالهی، ۱۳۹۶).

روش مخزن خطی: در این روش با استفاده از ذخیره‌سازی آبهای زیرزمینی مقادیر آب‌پایه برآورد می‌شود. این روش فقط برای مدل احتساب کننده رطوبت خاک به کار می‌رود، آب زیرزمینی قابل‌دسترس با استفاده از ضریب ذخیره‌سازی و مخازن خطی به آب‌پایه تبدیل می‌شوند.



شکل ۳. مدل حوضه موردمطالعه در HEC-HMS

روش منحنی افت: این روش بر پایه شاخص خشکیدگی هیدروگراف می‌باشد، بر اساس رابطه (۱) بیان می‌شود.

$$Q_0 = K^t \qquad (۱)$$

روش افت محدود: این روش شبیه به روش منحنی افت است، ولی شامل یک محدودیت می‌باشد و با استفاده از آب‌پایه ماهانه در طولانی‌مدت برآورد می‌شود در این تحقیق مقادیر آب‌پایه ماهانه نیز مانند روش ثابت ماهانه از آمار طولانی‌مدت دبی روزانه و سایت WHAT برآورد شده است.

روش غیرخطی بوسینسک: معادله بوسینسک جریان پایه رو به‌صورت یک سیستم غیرخطی فرض می‌کند که در آن از اثر جریان عمودی صرف‌نظر شده و آب‌پایه را به‌صورت یک معادله ساده نمایی برآورد می‌کند. این روش فرض می‌کند که جریان پایه از یک‌لایه خاک با آبخوان غیر محصور تأمین می‌شود. لایه خاک پس از بارندگی به حالت اشباع درمی‌آید و هیچ تغذیه‌ای در حدفاصل بین وقایع دریافت نمی‌کند. برای صحیح عمل کردن این روش لازم است فرضیات دوپوئی (Dupuit) دال بر یکی بودن شیب هیدرولیکی با شیب سطح آب، افقی بودن خطوط جریان و عمودی بودن خطوط هم‌پتانسیل پذیرفته شوند. معادله حاصل بصورت زیراست:

$$Q_t = Q_{t-1} - \alpha Q_{t-1}^{\beta} dt \qquad (۲)$$

www.SID.ir

Archive of SID

که در آن Q_{t-1} دبی در مرحله قبل، Q_t دبی همان مرحله، α و β پارامترهای مدل هستند که بر اساس خواص فیزیکی حوضه محاسبه می‌شوند.

ارزیابی کارایی مدل: برای ارزیابی مدل از شاخص‌های ضریب راندمان(NSE)و ریشه کمترین مربعات خطا (RMSE) استفاده‌شده است.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2} \quad (۳)$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\frac{(O_i - p_i)^2}{n}} \quad (۴)$$

در روابط ارائه‌شده Oi داده‌های مشاهده‌ای، $\bar{O}$ میانگین داده‌ها مشاهده‌ای، Pi داده‌های شبیه‌سازی‌شده، $\bar{P}$میانگین داده‌های شبیه‌سازی و n تعداد داده‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

واسنجی و صحت سنجی مدل: به‌منظور انجام مراحل مدل‌سازی برای واسنجی و صحت سنجی مدل سالهای آماری به دودسته تقسیم می‌شود، از داده‌های آماری سالهای ۱۹۹۸ تا۲۰۱۱ برای واسنجی و داده‌های سالهای ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ برای صحت سنجی استفاده شد. در جداول ۲و۳ مقادیر واسنجی شده پارامترهای مدل آورده شده است.

جدول ۲. پارامترهای واسنجی شده مدل SMA

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
ذخیره اولیه ٪	۵	نفوذناپذیری ٪	۵	روند یابی آب زیرزمینی ۱(hr)	۴۲۰
حداکثر ذخیره (mm)	۳	ذخیره خاک (mm)	۲۳۳	ذخیره آب زیرزمینی ۲ (mm)	۱۳۵
ذخیره خاک٪	۵۰	ذخیره کششی (mm)	۲۱۸	نفوذ آب زیرزمینی ۲ (mm/hr)	۰/۳
ذخیره آب زیرزمینی ۱٪	۳۰	نفوذ خاک (mm/hr)	۳/۵	روند یابی آب زیرزمینی ۱ (hr)	۴۰۰
ذخیره آب زیرزمینی ۲٪	۱۵	ذخیره آب زیرزمینی ۱ (mm)	۲۱۷		
ذخیره کششی (mm)	۲۱۸	نفوذ آب زیرزمینی ۱ (mm/hr)	۰/۱		

جدول ۳. پارامترهای واسنجی شده شاخص دما

پارامتر (واحد)	مقدار واسنجی شده پارامتر	توضیحات
PX Temperature (C)	۰	دمایی که کمتر از آن بارش به‌صورت برف رخ می‌دهد.
Base Temperature (C)	-۰/۰۱	دمایی که بالاتر از آن ذوب برف داریم.
Wet melt rate (MM/DEG C-DAY)	۴	نرخ شاخص ذوب برف
Rain Rate Limit (MM/DAY)	۲۳	شاخص تمایز ذوب خشک از ذوب بارانی
ATI-Melt rate coefficient	۰/۱	شاخص دمای پیشین ذوب برف
Cold Limit (mm/DAY)	۱۰	حد سرمایشی
ATI-Cold rate Coefficient	۰/۷	ضریب به‌روزرسانی ظرفیت سرمایشی
Water Capacity (%)	۶	حداکثر ظرفیت آب
Ground melt (mm/day)	۲	نرخ ذوب برف از گرمای زمین

www.SID.ir

Archive of SID

آب‌پایه: در مدل HEC-HMS4.2، برای برآورد آب‌پایه ۵ روش وجود دارد، در پژوهش پیش رو روش واسنجی با آب‌پایه و بدون آب‌پایه بررسی شد که نتایج به شرح زیر می‌باشند:

-روش بدون آب‌پایه: این روش در عمل انکار وجود جریان پایه است. در این روش نیازی به برآورد آب‌پایه وجود ندارد و با داده‌های واسنجی شده مدل می‌توان مدل را اجرا کرد. نتایج واسنجی و صحت سنجی این روش نشان از عدم انطباق هیدرو گراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده دارد و بیشترین مقدار ضریب راندمان در این روش برای واسنجی ۰/۳۲و برای صحت سنجی ۰/۱۱- می‌باشد که در حد قابل‌پذیرش نیستند، دشواری بهینه‌سازی پارامترها و کارایی پائین نشان از اهمیت برآورد آب‌پایه برای رسیدن به جواب بهینه دارد(شکل ۴ و ۵)

-روش مقادیر ثابت ماهانه: در این روش نیاز به برآورد آب‌پایه ماهانه در طول دوره آماری استفاده‌شده در تحقیق می‌باشد. نتایج مشاهده‌شده در هیدرو گراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده مقدار ضریب راندمان را برابر با ۰/۶۹و۰/۶۴ به ترتیب در مراحل واسنجی و صحت سنجی نشان می‌دهد که، مقدار ضریب راندمان در محدوده قابل‌قبول قرار می‌گیرد ولی هیدروگراف شبیه‌سازی‌شده در شاخه نزولی بین سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۳ و ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۷ برازش خوبی را نشان نمی‌دهد. بطوریکه فاصله هیدرو گراف شبیه‌سازی و مشاهده‌ای در این سال‌ها زیاد می‌باشد(شکل ۶ و ۷). ازنظر تحلیل چشمی خروجی این روش به دلیل ثابت فرض کردن آب‌پایه در یک ماه به‌صورت پله‌ای ظاهر می‌شود.

-روش افت محدود: در این روش علاوه بر برآورد آب‌پایه ماهانه نیاز به برآورد دبی اولیه (m3/s) و ثابت افت می‌باشد که با روش سعی و خطا مقادیر آنها در این پژوهش برآورد گردید. نتایج بدست آمده ضریب راندمان ۰/۶۹و ۰/۶۴ را به ترتیب در مراحل واسنجی و صحت سنجی به دنبال داشت. این روش نیز مانند روش برآورد ماهانه در محدوده قابل‌قبول قرار می‌گیرد، هرچند در بعضی از قسمت‌ها هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده بر هم منطبق نیستند(شکل ۸ و ۹).

- روش منحنی افت: در این روش نیاز به برآورد دبی اولیه (m3/s) و ثابت افت و نسبت پایه می‌باشد که مقادیر این پارامترها از طریق سعی و خطا بدست می‌آید. مقدار ضریب راندمان در واسنجی۰/۶۹و صحت سنجی ۰/۳۲ به‌دست‌آمده است و با توجه به اختلاف زیاد ضریب راندمان در این دو مرحله مشخص می‌شود که این روش، روش مناسبی برای برآورد آب‌پایه نمی‌باشد. در این روش هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده در مرحله واسنجی دارای برازش بهتری است ولی با انجام عملیات صحت سنجی مشخص می‌شود که این روش، روش مناسبی برای برآورد آب‌پایه نمی‌باشد (شکل ۱۰ و ۱۱).

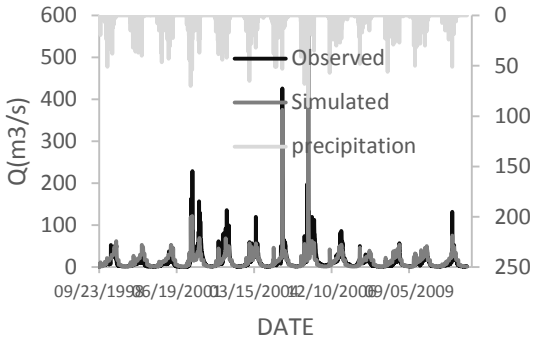
- روش غیرخطی بوسینسک: در این روش نیاز به برآورد دبی اولیه (m3/s)، نسبت پایه، تخلخل طول جریان (m) ، ضریب انتشار (mm/hr) می‌باشد. با توجه به نتایج، هیدروگراف شبیه‌سازی‌شده به‌خوبی نتوانسته شبیه‌سازی را انجام دهد و در سالهای ۱۹۹۸تا ۲۰۰۰ و ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ بیشتر به‌صورت خطی جریان دبی را برآورد کرده است که نشان از حساسیت پارامترهای دبی اولیه، نسبت پایه، تخلخل، طول جریان، ضریب انتشار در واسنجی مدل دارد. از طریق روش سعی و خطا می‌توان مقادیر را به دست آورد.ضریب راندمان در مرحله واسنجی ۰/۵۲و در مرحله صحت سنجی ۰/۱۱ برآورد شده است (شکل ۱۲و۱۳).

- روش مخزن خطی: در این روش نیاز به برآورد ضریب آبهای زیرزمینی مخزن ۱و ضریب آبهای زیرزمینی ۱ (m3/s) می‌باشد و با روش سعی و خطا می‌توان مقادیر را برآورد کرد. ضریب راندمان واسنجی۰/۶۲و صحت سنجی۰/۰۱ ۰برآورد شده است که نشان از نامناسب بودن این روش و حساسیت حوضه موردمطالعه به دو

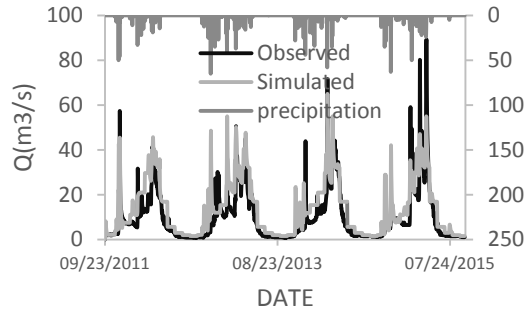
www.SID.ir

Archive of SID

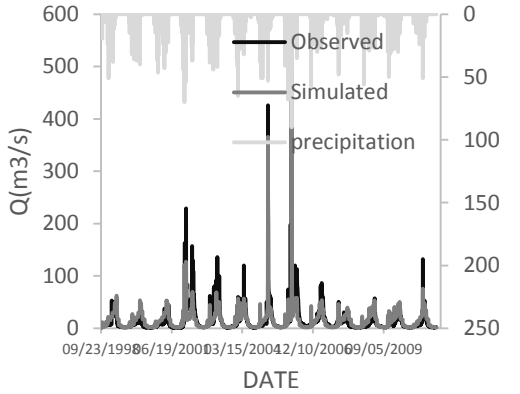
پارامتر ضریب آبهای زیرزمینی مخزن ۱ و ضریب آبهای زیرزمینی ۱ (m3/s) می‌باشد. در هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده طی دوره واسنجی نیز از سال ۲۰۰۰ به بعد مشاهده می‌شود که در مواقعی که هیدروگراف مشاهده‌ای صفر می‌باشد، مقادیر هیدروگراف شبیه‌سازی‌شده فاصله زیادی با مقادیر مشاهداتی دارد و برازش قابل‌قبول را ندارند (شکل ۱۴و۱۵)



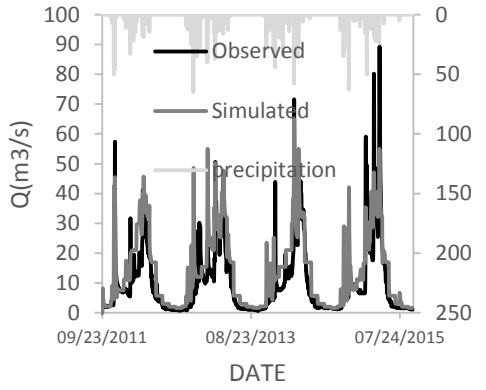
شکل ۶. هیدرو گراف روش مقادیر ثابت ماهانه (مرحله واسنجی)



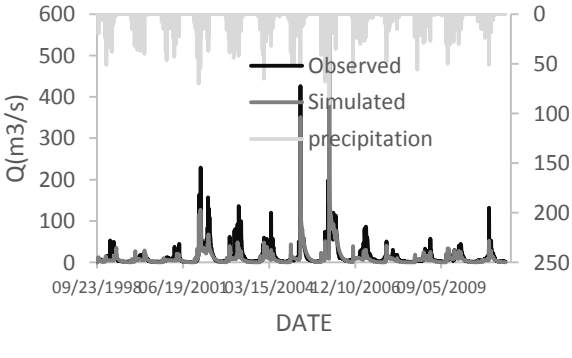
شکل ۷. هیدرو گراف روش مقادیر ثابت ماهانه (مرحله صحت سنجی)



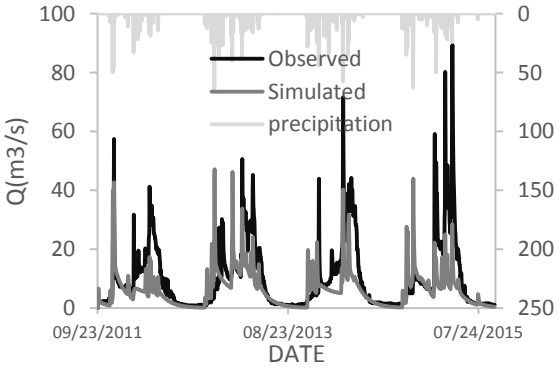
شکل ۸. هیدرو گراف روش افت محدود (مرحله واسنجی)



شکل ۹. هیدرو گراف روش افت محدود (مرحله صحت سنجی)



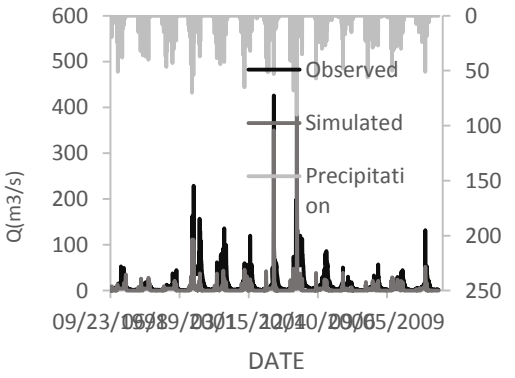
شکل ۱۰. هیدرو گراف روش منحنی افت (مرحله واسنجی)



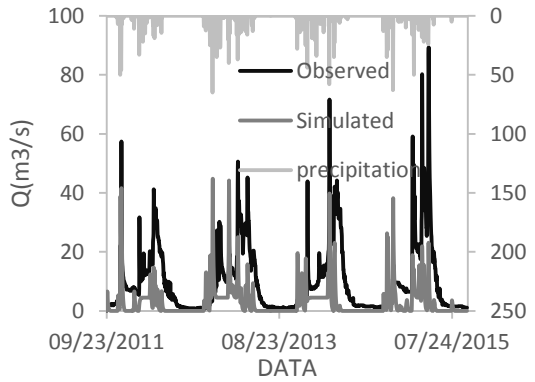
شکل ۱۱. هیدرو گراف روش منحنی افت (مرحله صحت سنجی)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴. هیدرو گراف روش بدون برآورد آب‌پایه (مرحله واسنجی)



شکل ۵. هیدرو گراف بدون برآورد آب‌پایه (مرحله صحت سنجی)

کارایی روش‌های محاسبه آب‌پایه

علاوه بر مقایسه چشمی هیدرو گراف‌های شبیه‌سازی‌شده، کنترل آماری بر روی ارزیابی اثر روش منتخب آب‌پایه برای روش‌های شبیه‌سازی‌شده انجام گردید که نتایج آن در جدول ۵ آورده شده است. ترتیب اولویت‌ها بر اساس میزان کارایی مدل است.

جدول ۵- نتایج روش‌های مختلف برآورد آب‌پایه در مرحله واسنجی و صحت سنجی

ردیف	روش	ضریب راندمان		ریشه کمترین مربعات خطا	
		واسنجی	صحت سنجی	واسنجی	صحت سنجی
۱	افت محدود	۰/۶۹۷	۰/۶۳۷	۱۳/۲	۷
۲	ثابت ماهانه	۰/۶۹۷	۰/۶۳۷	۱۳/۲	۷
۳	منحنی افت	۰/۶۹	۰/۳۱۹	۱۳/۴	۹/۶
۴	غیرخطی بوسینسک	۰/۵۱۶	۰/۱۳	۱۶/۵	۱۰/۸
۵	مخزن خطی	۰/۶۲۱	۰/۰۱۲	۱۴/۸	۱۱/۵۰
۶	بدون آب‌پایه	۰/۳۲	-۰/۱۱۸	۱۹/۵	۱۲/۲

بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر روش‌های مختلف تحلیل آب‌پایه با معیار قابلیت آن‌ها برای بهبود کارایی مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS مورد ارزیابی قرار گرفت. در نتایج پژوهش Garcia و همکاران(۲۰۰۸)، Koch و Bene (۲۰۱۳) و Silva و همکاران (۲۰۱۴) ، کیانی سلمی و همکاران (۱۳۹۶) روش برآورد آب‌پایه به روش مخزن خطی و منحنی افت بر اساس مطالعات پیشین صورت گرفته است و همگی نتایج قابل قبولی بدست آوردند، ولی در حوضه آبخیز بهشت‌آباد با توجه به کارستی بودن منطقه و اهمیت آب‌های زیرزمینی و آب‌پایه در شبیه‌سازی جریان، شاخص آب‌پایه با استفاده از روش‌های مذکور در برآورد آب‌پایه ازجمله مخزن خطی و منحنی افت هم‌خوانی نداشت و روش ثابت ماهانه و افت محدود به‌عنوان بهترین روش‌های برآورد آب‌پایه در حوضه موردمطالعه مشخص گردید.

خلاصه نتایج نشان می‌دهد بین روش برآورد تلفات بارش بدون در نظر گرفتن مقدار آب‌پایه و با در نظر

www.SID.ir

Archive of SID

گرفتن مقدار آب‌پایه تفاوت زیادی وجود دارد که نشان از اهمیت برآورد آب‌پایه در مدل SMA در حوضه بهشت‌آباد دارد. نتایج تحقیق نشان داد که روش‌های ثابت ماهانه و افت محدود با دارا بودن بیشترین ضریب راندمان (۰/۶۴) در مرحله صحت سنجی به‌عنوانبهترین روش‌ها برای برآورد آب‌پایه در حوضه موردمطالعه شناخته شدند. دو محدودیت روش ثابت ماهانه و افت محدود برای شبیه‌سازی حوضه‌های فاقد آمار در این است که این روش اولاً نیازمند داده‌های مشاهده‌ای است که در همه‌جا در دسترس نیست ثانیاً روش مذکور برای کل ماه مقدار آب‌پایه را ثابت فرض می‌کند که درنتیجه هیدروگراف حاصله شکلی پله‌ای به خود می‌گیرد که در واقعیت چنین اشکالی رخ نمی‌دهند. بنابراین کاربرد این دو روش محدود به مواردی می‌شود که اطلاعات ماهانه جریان وجود داشته باشند. با توجه به هایتوگراف بارش در دو روش ثابت ماهانه و افت محدود مشاهده می‌شود در مواقعی که بارش وجود ندارد، هیدروگراف شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی تطبیق بهتری دارند که نشانه عملکرد مناسب روش می‌باشد زیرا درواقع آب‌پایه در مقیاس روزانه همان دبی در زمان‌های بدون بارش است. در مواقع بارندگی هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده برازش مناسبی ندارند به‌خصوص در سالهای که تعداد روزهای بارندگی بیشتر بوده اختلاف دو هیدروگراف بیشتر می‌باشد(۲۰۰۸-۲۰۰۶و۲۰۰۴-۲۰۰۲). نتایج دو روش ثابت ماهانه و افت محدود در مرحله واسنجی و صحت سنجی تقریباً شبیه به هم می‌باشد ولی با تفسیر چشمی هیدروگراف و مقایسه دو هیدرو گراف مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در شاخه‌های نزولی می‌توان روش افت محدود را به‌عنوان روش برتر برآورد آب‌پایه در حوضه موردمطالعه معرفی کرد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده روش‌های ثابت ماهانه، افت محدود، شاخه نزولی پایه، مخزن خطی در مرحله واسنجی مقدار ضریب راندمان قابل قبولی ارائه دادند ولی در مرحله صحت سنجی مقدار ضریب راندمان روش‌های ثابت ماهانه و افت محدود ضریب راندمان قابل قبولی ارائه داده‌اند و این نشان از اهمیت پایداری روش منتخب آب‌پایه در مرحله صحت سنجی دارد. همچنین شکل هیدروگراف شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی نیز می‌تواند معیار چشمی مناسبی برای مقایسه روش‌های برآوردی باشد.

منحنی افت Recession
افت محدود Bounded Recession
غیرخطی بوسنیک No Linear Boussinesq
بدون آب‌پایه Non Base Flow
ضریب مخزن آب زیر زمینی GW1Coefficent
ثابت پایه Ratio
تخلخلPorosity
ضریب آبهای زیرزمینی GW1 Initial
شاخص دما Temperature Index بارندگی Precipitation
ثابت ماهانه Constant Monthly
سایت وات Web-based Hydrograph Analysis Tool
مخزن خطی Linear Reservoir
طول جریان Length
ضریب انتشار Conductivity
دبی اولیه Initial Discharge
ثابت افت Recession Constant
شبیه سازی Simulated

www.SID.ir

Archive of SID

مشاهداتی Observed

منابع

کیانی سلمی، ا. عبدالهی، خ. هنر بخش، ا. شبیه‌سازی پیوسته رواناب حوزه آبخیز بارارایه نیشابور با استفاده از مدل احتساب کننده رطوبت خاک. ۱۳۹۵. کنفرانس بین‌المللی کشاورزی، محیطزیست و منابع طبیعی در هزاره سوم. رشت.

کیانی سلمی، ا. عبدالهی، خ.. جداسازی آب‌پایه از جریان کل رودخانه بهشت‌آباد با استفاده از ابزار خودکار تجزیه هیدورگراف. ۱۳۹۶. چهارمین کنفرانس بین المللی برنامه‌ریزی و مدیریت محیطزیست. تهران.

Arnold, J. G., Muttiah, R. Srinivasan, S. R., Allen, P. M. (2000). Regional estimation of base flow and ground water recharge in the Upper Mississippi river basin. Journal of Hydrology. 227. 21-40.

Berthet, L., Andreessen,V., Perrin, C., Javelle, P. (2009). How crucial is it to account for the Antecedent Moisture Conditions in flood forecasting? Comparison of event-based and continuous approaches on 178 catchments. Hydrology and Earth System Sciences Discussions. 6(2). 1707–1736.

Bennett. (1998). Development and application of a continuous soil moisture accounting algorithm for the Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System, HEC-HMS: MSc Thesis Dept. of Civil and Environmental Engineering, Univ of California, Davis, Calif.

Eckhart, K. Comparison, A. (2008).Of base flow indices, which were calculated with seven different base flow separation methods. Journal of Hydrology 352. 168-173

Fleming, M., Neary, V. (2004). Continuous hydrologic modeling study with the hydrologic modeling system. Journal of Hydrology. 9(3). 175-183.

Garcia, A., et al. (2008). Surface water resources assessment in scarcely gauged basins in the north of Spain. Journal of Hydrology, 356. 312-326.

Gyawali, R., Watkins, D.W. (2013). Continuous Hydrologic Modeling of Snow-affected Watersheds in the Great Lakes Basin Using HEC-HMS. Journal of Hydrology. 29-39.

Koch, R., Bene, K. (2013). Continuous Hydrologic Modeling with HMS in the Aggtelek karst region. Science Publishing Group 1(1).1-7.

Sampath, D, S. Weerakoon, S. B. Srikantha Herath. 2015. HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment with intra-basin diversions – case study of the Deduru Oya river basin, Sri Lanka. Journal of the Institution of Engineers Vol. 48, No.01, pp. 1-9.

Silva, M., Weerakoon, S. Srikantha, H. (2014). Hearth Modeling of Event and Continuous Flow Hydrographs with HEC–HMS: Case Study in the Kelani River Basin, Sri Lanka. Journal of Hydrology. 19(4). 800-806.

Smakhtin, V U. (2001). Estimating continuous monthly base flow time series and their possible applications in the context of the ecological reserve. Water SA. 27(2). 213-217.

US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources (USACE) HEC-HMS Technical Reference Manual, Davis, C.A. (2000).

Waikhom R S, Manoj K (2015). Jain.Continuous Hydrological Modeling using SoilMoisture Accounting Algorithm in VamsadharaRiver Basin, India.Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering. 4: 398-408.

www.SID.ir

Archive of SID

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال دهم. شماره سی و هفتم پاییز ۱۳۹۸

Comparison of methods for estimating base-flow in relation to total river flows of Behesht-Abad basin

Elham Kianisalmi[*1], Khodayar Abdollahi[2], Afshin Honarbakhsh[3]

Abstract

Loss function is an internal module in HEC-HMS model. In combinations with transfer function it provides a continuous rainfall-runoff. Baseflow, as a repetitive for groundwater, also will be included to total flow. Behesht-Abad basin is among those areas where due to the hydrodynamic characteristics of groundwater, base-flow plays a significant responsibility in the shape of hydrograph. Since HEC-HMS is a component-based hydrological model, it allows user to select the type of internal functions. Each of which requires different input data. For instance for base-flow there exist a number of methods that could be selected optionally. The aim of this study was to evaluate different methods for base-flow methods for the case of Behesht-Abad Basin. In this study, time series of temperature, precipitation, discharge, and evaporation and transpiration for the period of 1998 to 2015 were used to calibrate the HEC-HMS model. Model was tested against a number of base-flow methods.Results showed the constant monthly and bounded recession methods were performed better with Nash Sutcliffe efficiency coefficient 0.64 at 0.69 in the calibration and validation, respectively. The visual and statistical interpretation of observed and simulated hydrographs indicated that bounded recession generally has exhibited better performance. The high sensitivity of the model to type of base-flow shows groundwater plays a key role in the study area.

Keywords: hydrological models, soil moisture accounting, groundwater and surface water interaction, base-flow, hydrograph

[1] Grad. M Sc , Sharekord University ,(elham_kianisalmi@yahoo.com)
[2] Professor, Sharekord University, (Corresponding author : abdollahikh@yahoo.com)
[3] Associate Professor, Sharekord University, afshin.honarbakhsh@gmail.com

www.SID.ir