

مقایسه روشهای هیدرولوژیکی احتساب کننده رطوبت خاک و نروفازی در

شبیه‌سازی بارش - رواناب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز زولاچای)

ابراهیم یوسفی مبرهن^۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۱۵

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۱۸

صفحات: ۷-۲۵

چکیده

شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز، برای تخمین دبی اوج و حجم سیلاب حاصل از بارندگی‌ها، روند یابی سیلاب در رودخانه‌ها و تحلیل هیدروگراف سیلاب‌ها صورت می‌گیرد. هدف از این تحقیق، کاربرد مدل‌های احتساب کننده رطوبت خاک (HMS SMA) و نروفازی در برآورد دبی متوسط روزانه، حجم رواناب و تحلیل هیدروگراف ناشی از شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب در حوزه آبخیز زولاچای می‌باشد. در این تحقیق پس از مدل‌سازی حوزه آبخیز در الحاقیه HEC-GeoHMS، مدل به برنامه HEC-HMS وارد و با تخمین پارامترهای مدل احتساب کننده رطوبت خاک، شبیه‌سازی بارش-رواناب در سایر مقیاس‌ها انجام شد. با بررسی مقیاس‌های زمانی واسنجی و بهینه‌سازی پارامترهای مدل HMS SMA می‌توان گفت که مقیاس زمانی ماهانه در شبیه‌سازی بارش-رواناب دقیق‌تر از مقیاس‌های زمانی سالانه، نیم‌سالانه و فصلی عمل می‌کند، همچنین مقیاس زمانی فصلی می‌تواند بهتر از سایر مقیاس‌های زمانی دبی اوج را تخمین بزند. مقایسه واسنجی و بهینه‌سازی روش‌های احتساب کننده رطوبت خاک و نروفازی نشان داد روش فازی با بهترین ضرایب آماری (ضریب کارایی ناش-ساتکلیف ۰/۷۶ و مجموع مربعات خطای ۰/۱۸)، دقیق‌تر از روش SMA، شبیه‌سازی بارش-رواناب را انجام می‌دهد.

کلمات کلیدی: حوزه آبخیز زولاچای، فرآیند بارش-رواناب، مدل احتساب کننده رطوبت خاک، نروفازی، واسنجی

^۱ - استادیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان، سازمان تحقیقات، آموزش و

مقدمه

یکی از پایه‌های اصلی در مدیریت و کنترل سیل در حوزه‌های آبخیز، مدل‌سازی و پیش‌بینی وقوع سیل می‌باشد. امروزه استفاده از مدل‌ها هیدرولوژیکی در شبیه‌سازی بارش-رواناب برای دسترسی به خصوصیات سیلاب از قبیل زمان رسیدن به دبی اوج متداول شده است (Mirmahdi, 2008). از روشهای مهم در جهت کنترل و یا کاهش خسارت سیل برآورد وضعیت هیدروگراف جریان می‌باشد. برنامه ریزی برای مهار و مدیریت سیلاب‌ها مستلزم درک صحیح و دقیق از شبیه‌سازی فرآیند باران-رواناب می‌باشد. فرآیند بارش-رواناب یک پدیده فیزیکی است که بررسی آن به سبب تأثیرپذیری از پارامترهای مختلف، دشوار می‌باشد.

در شبیه‌سازی جریان پیوسته حوزه آبخیز little (که در بخش چروکی از ایالت جرجیا واقع شده) از مدل^۱ HMS SMA استفاده گردید. مقایسه جریان‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی و همچنین مقادیر دبی‌های اوج و حجم جریان تجمعی در طول زمان

نشان داد که الگوریتم SMA در ساختن مقادیر شبیه‌سازی شده، دقیق و از کارایی بالایی برخوردار است (Bennett and Peters, 2000). در شمال کارولینا با استفاده از SCS و ANN پیش‌بینی جریان در پایین دست رودخانه صورت گرفت که شبکه عصبی نتایج بهتری ارائه داد (Han, 2002). در تحقیقی دیگر، مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوزه رودخانه کامبرلند واقع در کنتاکی جنوبی با استفاده از مدل پیوسته HMS SMA انجام گرفت. در این مطالعه، پارامترها به صورت فصلی، سالیانه و نیم‌سال بکار گرفته شده بودند و مدل نیم‌سال بدلیل نتایج بهتر و همچنین بدون نیاز به واسنجی، پیشنهاد گردید (Fleming and Neary, 2004). در مصر با استفاده از مدل HEC-HMS میزان دبی سیلابی با موفقیت برای زیرحوزه‌های مختلف با روش SCS پیش‌بینی شد (Foody et al., 2004). شبکه عصبی مصنوعی و مدل HEC-HMS در شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب در حوزه کارده مورد بررسی قرار گرفت. با اینکه هر دو روش دارای نتایج صحیح بودند، شبکه عصبی برآورد دقیق تری داشت. (Jahangir, 2004). با استفاده از نروفازی، پیش

^۱ Hydrologic Modeling System Soil Moisture Accounting

رودخانه مورد ارزیابی قرار گرفت که نروفازی نتایج مناسبتری ارائه داد (Firat and Güngör, 2007). همچنین در ۱۲ زیر حوزه در شمال اسپانیا از مدل HMS SMA برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی به کار گرفته شد. این زیرحوزه‌ها، دارای سطح کوچک، کشیدگی نسبتاً کم، شیب تند و داده‌های اندازه‌گیری هیدرولوژی کمیاب بودند. نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که مقادیر شبیه‌سازی جریان با مقادیر مشاهداتی دارای تطابق خوبی می‌باشند (García et al., 2008). در حوزه آبخیز کارده، شبکه‌های عصبی مصنوعی و روش SCS در شبیه‌سازی فرآیند بارش - رواناب با یکدیگر مقایسه شد. نتایج نشان داد که شبکه عصبی با ورودی‌های کمتر، نتایج دقیق‌تری ارائه می‌دهد (Jahangir et al., 2008). شبکه عصبی مصنوعی، SCS و رگرسیون‌های چندمتغیره خطی و غیر خطی در پیش‌بینی سیل در حوزه آبخیز طالقان با یکدیگر مقایسه شد که نتایج عملکرد بهتر شبکه عصبی مصنوعی را نسبت به روش‌های رگرسیونی و SCS نشان داد (Khosravi, 2008).

با مطالعه در رودخانه کرج برای پیش‌بینی بار معلق، با استفاده از منطق فازی و شبکه عصبی مصنوعی،

بینی دبی رودخانه بایترانی در هند صورت گرفت که نتایج قابل قبولتر از سری‌های زمانی بود (Nayak et al., 2004). همچنین روش SCS در کالیفرنیا دبی‌های اوج را بیشتر از میزان واقعی برآورد کرد (Klausmeyer, 2005). روش SCS در میشیگان، دبی‌های اوج را بسیار بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرد که نادیده گرفتن تبخیر و تعرق و وضعیت رطوبت دلیل اصلی آن ذکر شد. (Trahan, 2005). روش ANFIS در پیش‌بینی سیل در تایوان نتایج قابل قبولی ارائه داد (Chen et al., 2006). در اندونزی، روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و نروفازی برای به دست آوردن رابطه مناسب بین بارش و رواناب مقایسه شد که نروفازی، مناسبتر بود (Aqil et al., 2007). مدل نروفازی در اندونزی، برای مطالعه دینامیک جریان، مناسب تشخیص داده شد (Aqil et al., 2007a). با استفاده از روش‌های MLP، نروفازی و سری‌های زمانی دبی‌های ماهانه در یک گام زمانی آینده در سه رودخانه کرج، جاجرود و طالقان پیش‌بینی شد که نروفازی در اغلب موارد عملکرد بهتری داشت (Fathabadi, 2007). در غرب ترکیه، با استفاده از نروفازی، شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چندمتغیره پیش‌بینی جریان

(*al.*, 2010). در شرق آسیا شبیه سازی بارش- رواناب مقیاس ۶ ماهه نتایج بهتری را نسبت به یک ساله ارائه داد (Liu and Han, 2010). روش نروفازی در سنگاپور، برای مدل سازی فرآیند بارش- رواناب مورد مطالعه قرار گرفت که در برآورد دبی اوج، بسیار مناسب تشخیص داده شد (Talei *et al.*, 2010). با مطالعه در رودخانه گرگان، نروفازی برای پیش بینی دبی، مخصوصاً در مواقع سیلابی مناسب تشخیص داده شد (Vafakhah, 2012). با مرور منابع می توان گفت که تاکنون مطالعات زیادی برای شبیه سازی بارش-رواناب با روش مدل تک رویدادی یا گسسته در کشور انجام شده است که این روش در طی زمان خاصی، سیستم هیدرولوژیکی را شبیه سازی کرده، و رواناب را محاسبه می کند که پس از پایان آن زمان، دیگر روانابی مشاهده نمی شود. لذا در این تحقیق از مدل پیوسته در شبیه سازی بارش- رواناب استفاده می نماییم که این مدل قادر است رفتار شرایط خشک و تر حوضه آبخیز را شبیه سازی کند. به منظور مطالعه رفتار هیدرولوژیکی حوضه آبخیز زولاچای و تعیین بهترین روش در شبیه سازی بارش- رواناب، از تنها مدل پیوسته HEC HMS به نام مدل احتساب کننده رطوبت خاک و روش نروفازی استفاده کردیم. هدف این تحقیق، بررسی کارایی مدل

منطق فازی عملکرد بهتری نسبت به روش منحنی سنجه رسوب داشت (Salajeghe and Fathabadi, 2009). در تحقیقی دیگر کاربرد مدل استانفورد چهار و مدل احتساب کننده رطوبت خاک (HMS SMA) را در برآورد دبی متوسط روزانه، دبی های اوج، حجم سیلاب ماهیانه و سالیانه در حوضه آبخیز خسرو شیرین از زیر حوضه های حوضه آبخیز سد ملاصدرا در استان فارس بررسی شد. نتایج نشان داد که مدل HMS SMA در شبیه سازی دبی های روزانه، دبی های اوج و حجم جریان ماهیانه، و مدل استانفورد در شبیه سازی حجم جریان سالیانه نتایج دقیق تری را می دهند (Rezaeian Zadeh, 2009). همچنین ارزیابی و واسنجی پارامترهای هیدرولوژیکی حوضه آبخیز سد طرق با استفاده از نرم افزار HEC-HMS انجام گرفت. آنها با استفاده از نرم افزار الحاقی (HEC-GeoHMS 2009) نقشه حوضه را تهیه نمودند. در این تحقیق شماره منحنی و میزان تلفات اولیه حوضه توسط نرم افزار مورد واسنجی قرار گرفت و بهینه سازی شد. با مقایسه میزان تلفات اولیه محاسبه شده بر مبنای فرض تلفات اولیه برابر با $0/2S$ ، با مقدار برآورد شده بعد از واسنجی، آنها دریافتند که فرض مذکور برای حوضه آبخیز سد طرق مناسب می باشد (Dastoorani *et*

کیلومتر مربع در محدوده $38^{\circ} 4'$ تا $37^{\circ} 55'$ عرض‌های شمالی و $44^{\circ} 35'$ تا $44^{\circ} 13'$ طول‌های شرقی واقع شده است.

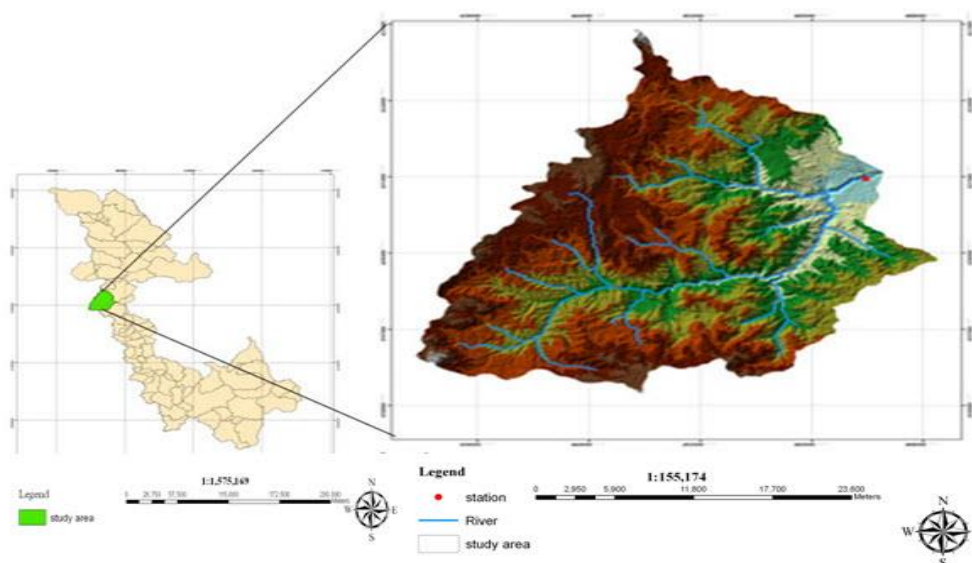
مرتفع‌ترین نقطه حوزه در امتداد مرز بین ایران و ترکیه در دامنه کوه هراول داغ و کوه قرا داش به ارتفاع ۳۰۰۰ متر و کم ارتفاع‌ترین نقطه حوزه دارای ارتفاع ۱۴۵۰ متر از سطح دریا در محل خروجی زولاچای می‌باشد. خصوصیات فیزیوگرافی و نقشه سیستم اطلاعات جغرافیایی حوزه آبخیز زولاچای به ترتیب در شکل ۱ و جدول ۱ نمایش داده شده است.

احتساب‌کننده رطوبت خاک (SMA) و روش نروفازی در برآورد رواناب در حوزه آبخیز زولاچای از زیرحوزه‌های مهم استان آذربایجان غربی (حوضه آبریز دریاچه ارومیه) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

– منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز زولاچای بعنوان بخشی از حوضه آبریز دریاچه ارومیه، در جنوب غربی شهرستان سلماس در استان آذربایجان غربی در منطقه‌ی مرزی ایران و ترکیه واقع شده است. این حوزه با مساحت ۸۲۳



شکل ۱: سیمای عمومی حوزه آبخیز زولاچای، رودخانه‌ها و ایستگاه آب سنجی چهاریق علیا

جدول ۱: برخی از خصوصیات حوزه آبخیز زولاچای

طول رودخانه اصلی (km)	شیب میانگین (%)	ارتفاع میانگین (m)	مساحت (km ²)	حوزه آبخیز
۵۲/۴۳	۳۲/۱	۲۲۲۵	۸۲۳	زولاچای

روش تحقیق

در این تحقیق از دو روش مدل احتساب کننده رطوبت خاک (SMA) و روش نروفازی به منظور مطالعه رفتار هیدرولوژیکی حوزه آبخیز در شبیه سازی فرآیند بارش - رواناب استفاده گردید.

مدل حوزه (Basin Model)

مدل SMA شامل پارامترها و داده های مرتبط با عناصر هیدرولوژیکی شامل زیرحوضه ها، بازه های روندیابی، محل اتصال آبراهه ها، مخازن، چشمه، منبع و محل انحراف آب رواناب زیرحوضه ها می باشد که می تواند بصورت یکپارچه و یا توزیعی محاسبه شود. در این تحقیق، مدل فیزیکی حوزه آبخیز با بکارگیری الحاقیه HEC-Geo HMS (نسخه ۴،۲) به عنوان رابط بین GIS و HEC-HMS در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل ارتفاعی رقومی^۱ شبیه سازی شد (KhorramMargavy *et al.*, 2008).

این برنامه جانبی به دلیل داشتن قابلیت تولید فایل مدل حوزه، نیاز به ساختن این مدل به صورت دستی را برطرف می نماید که این امر، خود منجر به کاهش خطاهای احتمالی می گردد (Dastoorani *et al.*, 2010) سپس مدل فیزیکی حوزه به محیط نرم افزار

HEC HMS وارد گردید. در این تحقیق برای مدل سازی تلفات از مدل پیوسته احتساب کننده رطوبت خاک (SMA) و برای تبدیل بارش اضافی به رواناب از روش هیدروگراف واحد کلارک استفاده شد، همچنین برای جداسازی جریان پایه بدلیل استفاده از مدل احتساب کننده رطوبت خاک، باید از روش مخزن خطی برای جداسازی جریان پایه استفاده گردد (Rezaeian Zadeh *et al.*, 2010).

روش احتساب کننده رطوبت خاک (SMA)

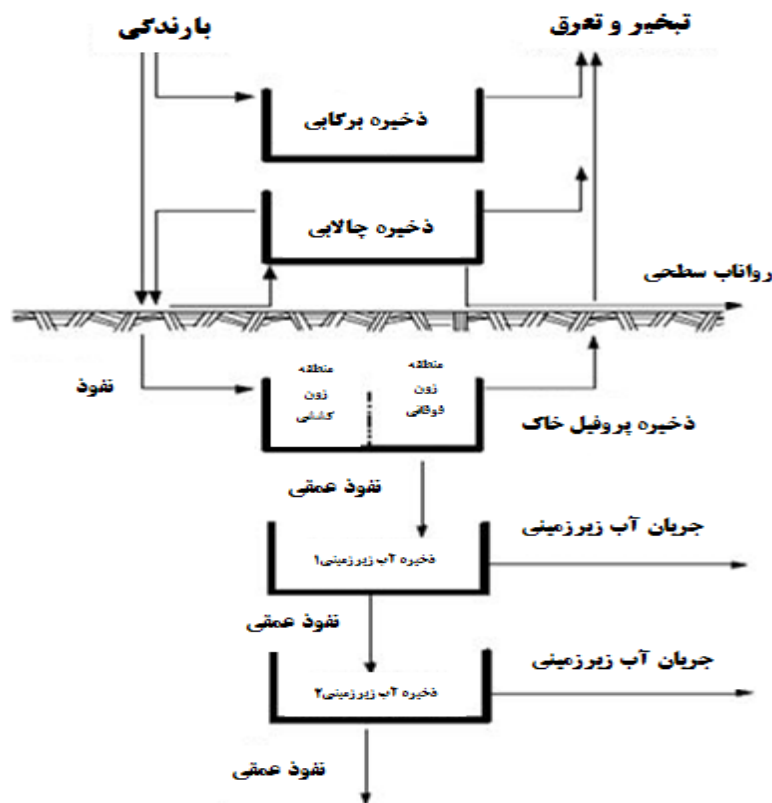
تنها مدل پیوسته در HEC HMS مدل SMA می باشد که قادر است تغییرات مقدار رطوبت خاک را بین رویدادهای بارندگی در زمان های مختلف شبیه سازی کند. مدل SMA در HEC HMS بر اساس مدل بارندگی - رواناب (Leavesley, 1983) که جزئیات آن توسط (Bennett, 1998) تشریح شد، طراحی گردیده است.

این مدل حرکت آب و ذخیره آن را در گیاهان، سطح خاک و عمق خاک و لایه های زیرزمینی شبیه سازی کرده و با داشتن مقدار بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل (ET)، مدل جریان سطحی و جریان آب زیرزمینی و تلفات ناشی از ET نفوذ را روی کل حوزه آبخیز محاسبه می کند. مدل SMA با استفاده از یک سری

^۱Digital Elevation Model

محاسبه می‌شود که به طور پیوسته بین دو رگبار (بارش) در حال تغییر است. لایه‌های ذخیره‌کننده در مدل SMA شامل گیرش بین‌راهی، باران گیرش یا برگاب، گیرش سطحی یا چالایی، گیرش پروفیل خاک و گیرش آب زیرزمینی می‌باشد.

لایه‌های ذخیره‌کننده مطابق شکل (۲)، حوزه آبخیز را تبیین می‌کند. میزان جریان ورودی به حوزه، مقدار جریان خروجی از حوزه و ظرفیت هر کدام از لایه‌ها، عامل کنترل‌کننده حجم آب تلف شده یا اضافه گردیده به هریک از این مؤلفه‌هاست. میزان ذخیره در زمان کنونی، در خلال شبیه‌سازی در پروفیل خاک



شکل ۲: الگوریتم مدل پیوسته احتساب کننده رطوبت خاک (Bennett, 1998)

نسبت به یک پارامتر حساس تر باشد، عمدتاً پارامتر سریع تر و دقیق تر بهینه می‌شود. پارامترهای غیرحساس در پاسخ به تغییرات، اغلب به کندی تغییر می‌کنند. از این رو، پارامترهایی که از حساسیت کافی

آنالیز حساسیت مدل احتساب کننده رطوبت خاک از حساسیت پارامتر می‌توان برای به دست آوردن پارامتر بهینه مدل استفاده کرد. هر چه پاسخ مدل

قانون دوم: اگر x مساوی A_2 و y مساوی B_2 باشد،

$$f_2 = p_2 x + q_2 y + r_2$$

که در آن A_1, A_2, B_1 و B_2 به ترتیب توابع عضویت

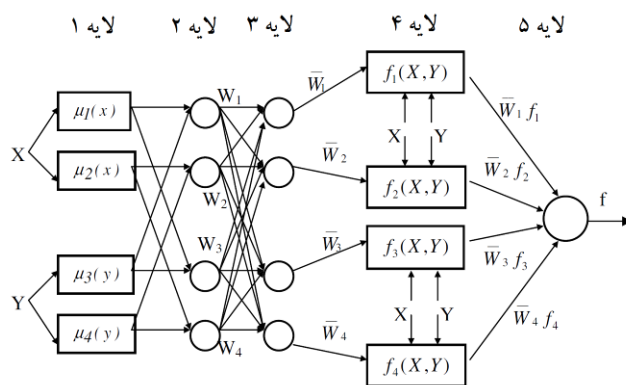
برای ورودی های x و y هستند. p_1, q_1, r_1 و p_2, q_2, r_2

پارامترهای تابع خروجی هستند (Vafakhah, ۲۰۰۸).

معماری معمول ANFIS در شکل (۳) ارائه

شده است. که در آن گره های لایه مشابه، تابع مشابه

دارد.



شکل ۳: معماری مدل ANFIS (Kurtulus and Razack, ۲۰۱۰)

(۲۰۱۰)

کارکرد ANFIS بدین شرح می باشد:

لایه ۱: هر گره در این لایه درجات عضویت از یک

متغیر ورودی را تولید می کند:

$$OP_i^1 = \mu_{A_i}(x) \leftarrow i=1,2 \quad OP_i^1 = \mu_{B_{i-2}}(y) \leftarrow i=3,4$$

که در آن x (یا y) ورودی به گره مورد نظر، A_i (یا

B_{i-2}) مجموعه فازی مرتبط با این گره است که در

این تحقیق تابع گوسی دارای بهترین برآوردها بود و

برخوردارند، باید در بهینه سازی دخالت داده شوند

.مقادیر تابع هدف، برای پارامتر ۰/۹۹۵ و ۱/۰۰۵ برابر

مقدار بهینه محاسبه شده است. با استفاده از معادله

زیر با توجه به مقدار نهایی پارامتر در پایان بهینه

سازی (X)، میزان حساسیت (S) محاسبه می شود:

$$S = \frac{\text{obj}(0.995X) - \text{obj}(1.005)}{\text{obj}(X)}$$

مقدار حساسیت، درصد تغییر در مقدار تابع هدف می

باشد که از یک درصد افزایش در مقدار پارامتر نتیجه

می شود (Rezaeian Zadeh, 2009).

روش نروفازی

سیستم نروفازی اولین بار توسط جانگ معرفی شد

(Jang, 1993). نکته اصلی در هنگام طراحی یک

مدل نروفازی (ANFIS)، انتخاب سیستم استنتاج

فازی (FIS)، است. برای مدل فازی مرتبه

اول Sugeno، به عنوان یک نمونه مثال مجموعه

قوانین شامل ۲ قانون IF-Then فازی به شکل زیر

قابل ارائه است:

قانون اول: اگر x مساوی A_1 و y مساوی B_1 باشد،

$$f_1 = p_1 x + q_1 y + r_1$$

اجرای نروفازی با استفاده از کدنویسی در داخل نرم افزار MATLAB R2008a صورت گرفت. برای افزایش کارایی نروفازی در مدل سازی داده های ورودی و خروجی، داده ها معیارسازی (نرمال سازی) می شوند، یعنی بین دامنه عددی معمولا صفر تا یک قرار می گیرند. از الگوهای آموزش برای آموزش نروفازی استفاده می شود. از آنجا که نروفازی فاقد برون یابی بالاست و توانایی تعمیم دهی آن فقط در چارچوب درون یابی مطرح است، بنابراین داده های آموزشی باید طوری انتخاب شوند که نماینده کل داده ها در تمام حالات ممکن از قبیل حدی (حداقل و حداکثر) باشند (Vafakhah, 2008) با توجه به همگنی داده های مورد استفاده، سه سال ابتدا برای آموزش و سه سال انتهایی برای صحت سنجی مدل استفاده گردید. با مقایسه ساختارهای مختلف مورد استفاده در فازی سازی، ضرایب آماری مربوط به خروجی روش های مثلثی و گوسی بهترین برآوردها را داشت که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. تعداد ۲۱ گره، ۱۲ پارامتر خطی و غیر خطی و ۴ قانون فازی در مدل نروفازی نقش داشت.

مقایسه نتایج حاصل از مدل ها، با توجه به معیارهای میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مطلق

به عنوان تابع عضویت انتخاب شد که خروجی آن به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$OP_i^1 = \mu_{Ai}(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x - c_i}{a_i}\right)^{2b_i}}$$

که در آن: $\{a_1, b_1, c_1\}$ مجموعه پارامترها هستند و حداکثر ۱ و حداقل صفر هستند (Kisi et al., ۲۰۰۹).

لایه ۲: هر گره در این لایه در سیگنال ورودی ضرب می گردد و خروجی نشان دهنده قدرت تهیج یک قانون است:

$$OP_i^2 = w_i = \mu_{Ai}(x)\mu_{Bi}(y) \leftarrow i=1,2$$

لایه ۳: گره i ام این لایه که با N نام گذاری شده است قدرت تهیج نرمال شده را محاسبه می کند:

$$OP_i^3 = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \leftarrow i=1,2$$

لایه ۴: گره i در این لایه مشارکت قانون i ام را به سمت خروجی مدل با استفاده از تابع زیر محاسبه می کند.

$$OP_i^4 = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i)$$

که در آن: \bar{w} ، خروجی لایه ۳ و $\{p_i, q_i, r_i\}$ مجموعه پارامترها می باشد.

لایه ۵: تنها گره این لایه، خروجی کلی ANFIS را مطابق زیر محاسبه می کند:

$$OP_i^5 = overalloutput = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}$$

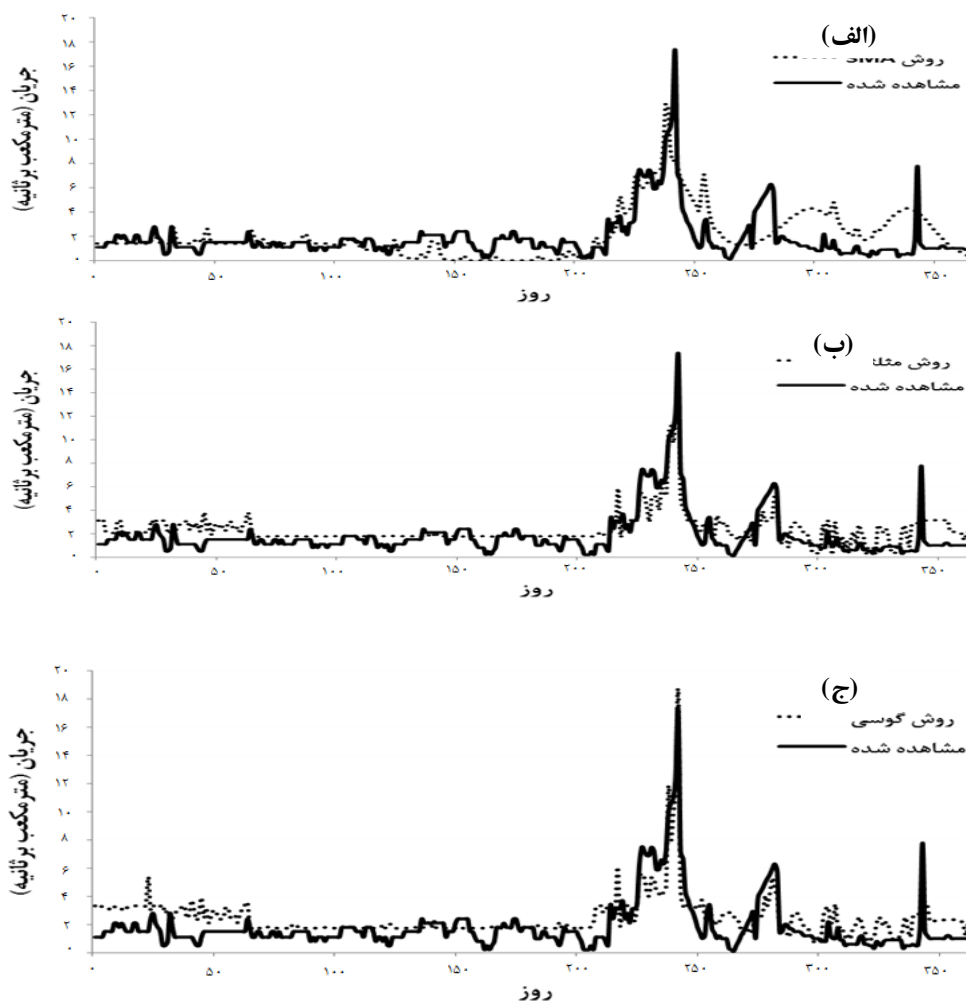
مقایسه هیدروگرافهای دبی متوسط روزانه مشاهداتی و شبیه سازی شده برای واسنجی با روش HMS و روش نروفازی در شکل (۴) برای سال آبی ۱۳۸۳-۸۴ نشان داده شده است. مقایسه سیلاب های مشاهداتی با مقادیر شبیه سازی شده نشان می دهد که روش فازی تطابق خوبی بین سیلاب ها نسبت به روش SMA داشته و روش فازی توانسته به خوبی دبی های روزانه و اوج را برآورد نماید.

خطا (MAE) و ضریب کارایی ناش ساتکلیف (E) صورت گرفت:

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^o - Q_i^p)}{\sum_{i=1}^n (Q_i^o - \bar{Q})} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Q_i^o - Q_i^p| = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i^o - Q_i^p)^2}$$

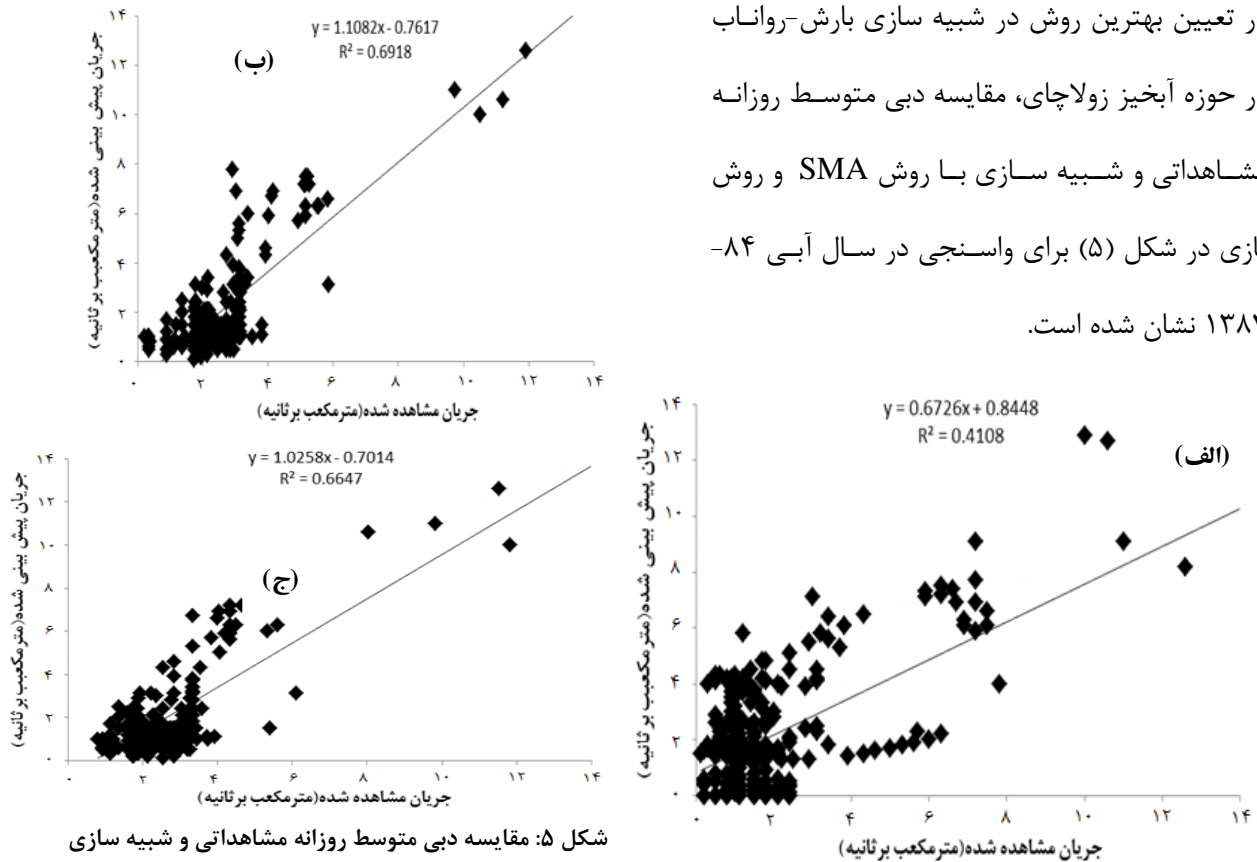
در اینجا n تعداد داده ها، Q_i^o دبی مشاهداتی و Q_i^p دبی برآورد شده و \bar{Q} میزان میانگین دبی های مشاهداتی می باشد.

نتایج



شکل ۴: مقایسه هیدروگراف مشاهداتی با شبیه سازی شده با روش SMA HMS (الف) و روش فازی-مثلثی (ب) و روش فازی-گوسی

(ج) برای واسنجی در سال آبی ۱۳۸۳-۸۴



شکل ۵: مقایسه دبی متوسط روزانه مشاهداتی و شبیه سازی با روش HMS SMA (الف) و روش فازی-مثلثی (ب) و روش فازی-گوسی (ج) برای واسنجی در سال آبی ۸۴-۱۳۸۳

بهترین ضرایب آماری نسبت به روش SMA، با دقت بیشتری می تواند شبیه سازی بارش- رواناب را در حوزه آبخیز زولاچای نشان می دهد.

در تعیین بهترین روش در شبیه سازی بارش-رواناب در حوزه آبخیز زولاچای، مقایسه دبی متوسط روزانه مشاهداتی و شبیه سازی با روش SMA و روش فازی در شکل (۵) برای واسنجی در سال آبی ۸۴-۱۳۸۳ نشان شده است.

کارایی واسنجی روش HMS SMA و روش فازی در سه سال اول در جدول ۲ ارائه شده است. بررسی این جدول حاکی از آن است که روش فازی- مثلثی با

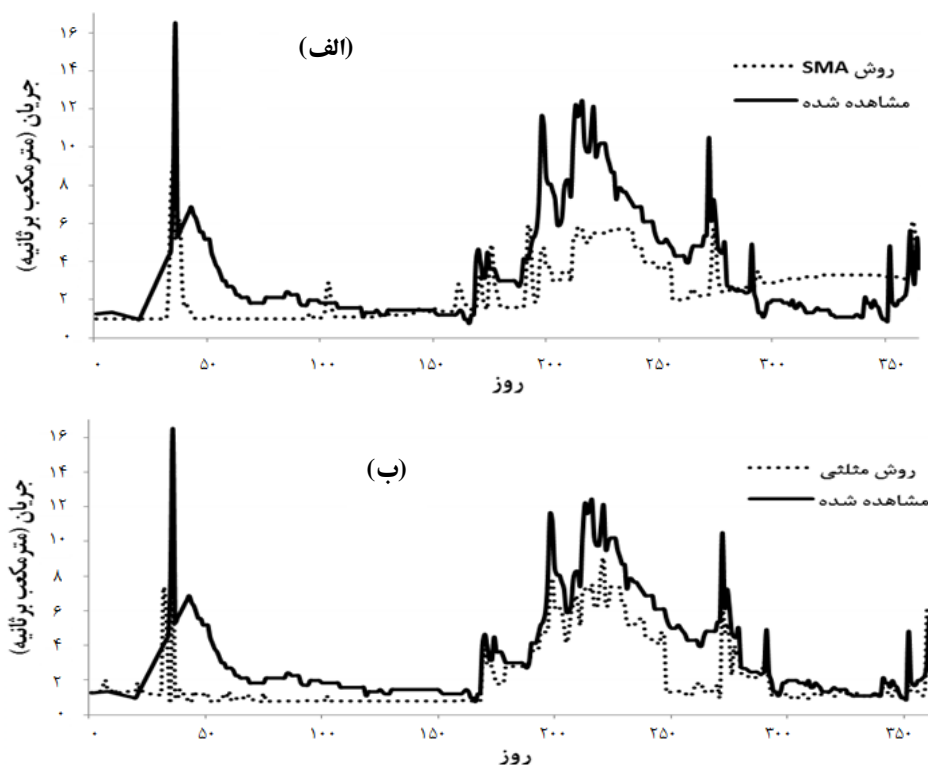
جدول ۲: کارایی واسنجی روش HMS SMA و روش فازی

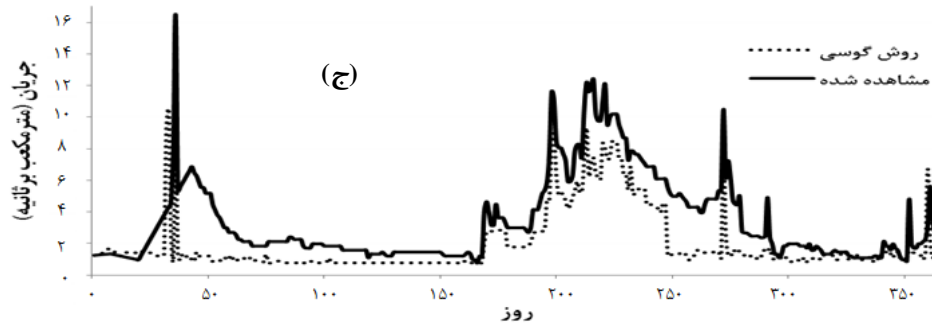
روش فازی/گوسی			روش فازی/مثلثی			روش SMA			مدت واسنجی
RMSE	MAE	E	RMSE	MAE	E	RMSE	MAE	E	
۲/۴۰	۱/۵۶	۰/۶۱	۲/۰۹	۱/۴۴	۰/۶۳	۵/۳۶	۲/۷۷	۰/۲۴	۱۳۸۲-۸۳
۱/۵۶	۱/۲۳	۰/۶۶	۰/۹۴	۰/۹۹	۰/۶۹	۳/۷۹	۲/۱۰	۰/۴۱	۸۳-۸۴
۳/۰۱	۱/۷۹	۰/۵۶	۲/۶۷	۱/۶۶	۰/۵۹	۵/۷۶	۲/۹۶	۰/۱۹	۸۴-۸۵

صحت یابی مدل

پس از واسنجی بارش-رواناب شبیه سازی شده در سه سال اول، برای اطمینان از نتایج حاصل از جدول (۳)، صحت سنجی در سه سال دوم انجام شد و لذا مقایسه هیدروگراف شبیه سازی شده با روش SMA HMS و روش فازی با هیدروگراف مشاهده‌ای در سه سال دوم انجام گرفت. مقایسه هیدروگراف دبی متوسط روزانه مشاهداتی با شبیه‌سازی شده مدل HMS SMA و روش فازی در سال آبی ۸۷-۸۸ در شکل ۶

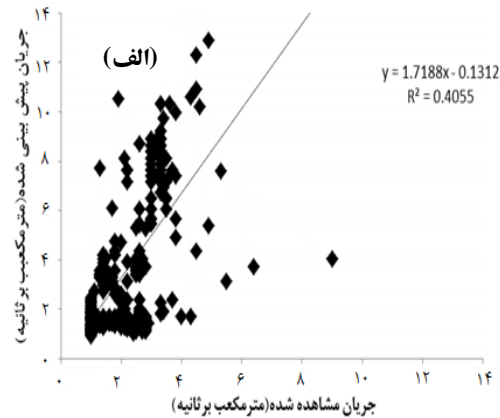
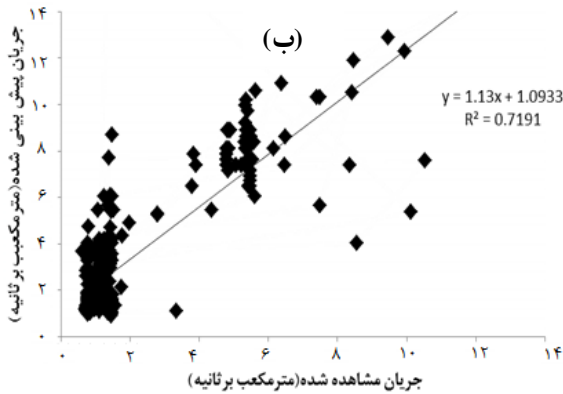
نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که سیلاب‌های روزانه به صورت همزمان اتفاق افتاده‌اند و این موضوع توانایی روش فازی-مثلی در پیش‌بینی زمان وقوع سیلاب‌ها را نسبت به روش احتساب کننده رطوبت خاک (SMA) نشان می‌دهد، از طرف دیگر می‌توان دریافت که روش فازی و پارامترهای آن به خوبی برای شبیه‌سازی بارش-رواناب، واسنجی شده‌اند.



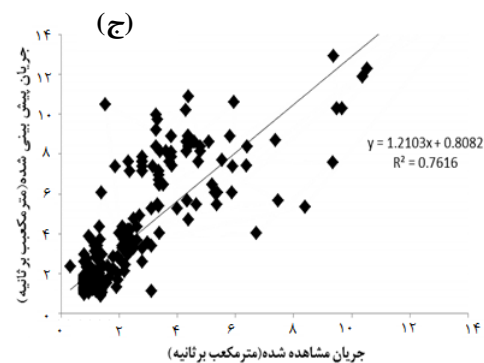


شکل ۶: مقایسه هیدروگراف مشاهداتی با شبیه‌سازی شده با روش HMS SMA (الف) و روش فازی-مثلثی (ب) و روش فازی-گوسی

(ج) برای صحت سنجی در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷



کارایی صحت سنجی روش HMS SMA و روش فازی در سه سال دوم در جدول ۳ ارایه شده است. بررسی این جدول حاکی از آن است که روش فازی- مثلثی با بهترین ضرایب آماری نسبت به روش SMA، با دقت بیشتری شبیه سازی بارش-رواناب را در حوزه آبخیز زولاچای نشان می دهد.



شکل ۷: مقایسه دبی متوسط روزانه مشاهداتی و شبیه سازی

با روش HMS SMA (الف) و روش فازی-مثلثی (ب) و روش

فازی-گوسی (ج) برای صحت سنجی در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷

جدول ۳: کارایی صحت سنجی روش SMA و روش فازی

روش فازی/گوسی			روش فازی/مثلثی			روش SMA			مدت صحت سنجی
RMSE	MAE	E	RMSE	MAE	E	RMSE	MAE	E	
۰/۴۹	۰/۸۲	۰/۷۲	۰/۱۸	۰/۷۰	۰/۷۶	۳/۸۷	۲/۱۴	۰/۴۰	۱۳۸۵-۸۶
۰/۶۲	۰/۹۱	۰/۷۰	۰/۳۲	۰/۷۵	۰/۷۴	۳/۵۱	۱/۹۸	۰/۴۴	۸۶-۸۷
۰/۵۶	۰/۸۵	۰/۷۱	۰/۴۱	۰/۷۹	۰/۷۳	۳/۸۷	۲/۱۴	۰/۴۰	۸۷-۸۸

ماهانه بهتر توانسته بود شبیه سازی بارش - رواناب را انجام دهد که این نتیجه در تمامی زیر حوزه ها صدق نمی کرد، در حالی که در برخی از زیرحوزه ها مقیاس ماهانه به دلیل داشتن ضریب تبیین بیشتر، بهتر از مقیاس فصلی و در برخی دیگر از زیرحوزه ها ضریب تبیین دو مقیاس ماهانه و فصلی با هم برابر و یا اختلاف معنی داری با هم نداشتند. همچنین در نتایج تحقیق (Fleming and Neary, 2004) شبیه سازی بارش-رواناب در مقیاس نیم سالانه بهتر از مقیاس سالانه و فصلی بود در حالی که آنها از مقیاس ماهانه برای شبیه سازی بارش-رواناب استفاده نکرده بودند. لذا در شبیه سازی بارش-رواناب به کمک مدل HMS SMA، استفاده از مقیاس زمانی ماهانه می تواند در شبیه سازی فرایند بارش-رواناب و پیش بینی دبی اوج بسیار موثر باشد. در نتایج تحقیق (Liu and Han, 2010) در شبیه سازی بارش-رواناب که با سه روش منحنی تداوم جریان، تبدیل فوریر^۱ و آنالیز موجکی^۲

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق تاثیر واسنجی مدل احتساب کننده رطوبت خاک (HMS SMA) و روش فازی در شبیه سازی بارش-رواناب در حوزه آبخیز زولاچای مورد ارزیابی قرار گرفت. با وجود تنها ایستگاه در خروجی حوزه و کمبود داده ها، نتایج این تحقیق بر استفاده از روش فازی در جاهایی که با کمبود داده مواجه هستیم، صحت گذاشت. بررسی مقیاس های زمانی واسنجی و بهینه سازی پارامترهای روش SMA و روش فازی نشان داد روش فازی دارای بیشترین ضریب تبیین بوده و در نتیجه دقیق تر از روش SMA شبیه سازی بارش-رواناب را انجام می دهد. نتایج این تحقیق با نتایج کار (Garcia et al, 2008) که از سه مقیاس فصلی، ماهانه و روزانه برای شبیه سازی بارش-رواناب استفاده نمودند تاحدودی همخوانی داشت زیرا که در نتایج (Garcia et al, 2008) در اغلب زیرحوزه ها مقیاس فصلی نسبت به مقیاس روزانه و

^۱Flow duration curve

خروجی مورد نظر ارتباط برقرار می کند، خروجی های مناسبی را ارائه می دهد و با توجه به اینکه در این تحقیق تعداد زیادی عوامل فیزیوگرافی و هیدرولوژیکی و اقلیمی به عنوان ورودی مورد تحلیل عاملی قرار گرفت و بهترین عوامل مستقل به نروفازی وارد گردید، بهترین برآوردها مربوط به این روش می باشد (Chen *et al.*, 2006; Fathabadi, 2007).

مدل های زیادی قابلیت شبیه سازی بارش- رواناب را دارند، ولی تعیین بهترین مدل بارش- رواناب نقش بسیار موثری در شبیه سازی بارش- رواناب ایفا می کند چون با دقت بیشتری می تواند وقوع سیل را پیش بینی و دبی اوج را تخمین بزند، لذا روش فازی بهتر از روش SMA می تواند در شبیه سازی بارش- رواناب عمل نماید.

انجام گرفت گویای این مطلب بود که در هر سه روش، مقیاس ۶ ماهه بهتر از مقیاس ۱۲ ماهه و ۲۴ ماهه می تواند شبیه سازی را انجام دهد در حالی که آن ها از روش SMA و از مقیاس ماهانه در شبیه سازی بارش- رواناب استفاده نکرده اند.

با توجه به نتایج مشخص می شود توانایی روش فازی- مثلثی در پیش بینی زمان وقوع سیلابها نسبت به روش احتساب کننده رطوبت خاک (SMA) بیشتر بوده است، از طرف دیگر می توان دریافت که روش فازی و پارامترهای آن به خوبی برای شبیه سازی بارش- رواناب، واسنجی شده اند. توانایی روش نروفازی در پیش بینی سیلاب در مطالعات قبلی نیز تایید شده است (Firat and Güngör, 2007; Talei *et al.*, 2010). با توجه به ضرایب تبیین مشخص است که روش فازی - مثلثی دارای بهترین برآوردها بوده است. برتری نروفازی نسبت به روش های دیگر در برآورد سیلاب خروجی زیرحوزه ها در تحقیقات قبلی نیز مورد تأیید بوده است (Nayak *et al.*, 2004; Aqil *et al.*, 2007a; Aqil *et al.*, 2007b). با توجه به اینکه نروفازی بین چندین عامل ورودی و

^۱Fourier transform

^۲Wavelet analysis

- منابع
۷. Fathabadi, A. (2007). River flow prediction by Neurofuzzy and time series analysis. M.Sc. thesis. Tehran University. 153 pp.
 ۸. Firat, M. and Güngör, M. (2007). River flow estimation using adaptive neuro fuzzy inference system. *Mathematics and Computers in Simulation* 75, 87-96.
 ۹. Fleming, M. and Neary, M. (2004). Continuous Hydrologic Modeling Study with the Hydrologic Modeling System. *ASCE Journal of Hydrologic Engineering*, (9)3, 175-183.
 ۱۰. Foody, G., Ghoneim, E. and Arnell, W. (2004). Predicting Location Sensitive to Flash Flooding in Arid Environment. *Journal of Hydrology* 292, 48-58.
 ۱۱. García, A., Sainz, A., Revillaa, J.A., Álvarez, C., Juanesa, J. A. and Puentea, A. (2008). Surface water resources assessment in scarcely gauged basins in the north of Spain. *Journal of Hydrology*, 356(3-4), 312-326.
 ۱۲. Han, J. (2002). Application of artificial neural networks for flood warning systems. Ph.D. thesis. North Carolina University. 164 pp.
 ۱۳. Jahangir, A. (2004). Rainfall - runoff simulation with artificial neural network and HEC-HMS model in Kardeh watershed. M.Sc. thesis. Sari University. 165 pp.
 ۱۴. Jahangir, A., Raeini, M. and Ahmadi, M.Z. (2008). Rainfall - runoff simulation with artificial neural network and HEC-HMS model in Kardeh watershed. *Water and Soil Journal* 22, 72-84.
 ۱۵. Jang, J.S. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE Transactions on Systems, Management and Cybernetics* 23, 665-685.
 ۱۶. KhorramMrgavy, F., Fazli, O.R. and Raeeni Sarjaz, M. (2008). In Use of
 ۱. Aqil, M., Kita, I., Yano, A. and Nishiyama, S. (2007a). Analysis and prediction of flow from local source in a river basin using a Neuro-fuzzy modeling tool. *Journal of Environmental Management* 85, 215-223.
 ۲. Aqil, M., Kita, I., Yano, A. and Nishiyama, S. (2007b). A comparative study of artificial neural networks and neuro-fuzzy in continuous modeling of the daily and hourly behaviour of runoff. *Journal of Hydrology* 337, 22-34.
 ۳. Bennett, T. (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, University of California, Davis, California.
 ۴. Bennett, T. and Peters, J.C. (2000). Continuous Soil Moisture Accounting in the Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System (HEC-HMS). *Proceedings of the 2000 Joint Conference on Water Resources Engineering and the Water Resources Planning and Management*, Hyatt Regency Minneapolis, ASCE.
 ۵. Chen, S., Lin, Y., Chang, L. and Chang, F. (2006). The strategy of building a flood forecast model by neuro fuzzy network. *Hydrological processes* 20, 1525-1540.
 ۶. Dastoorani, M., khodaparast, R., Talebi, E., Vafakhah, M. and Dashti, j. (2010). Assessment and calibrated Watershed hydrologic parameters using HEC-HMS in watershed Mashhad Toroge Dam. *6th National Conference on Science and Watershed Engineering*, Tarbiat Modarres, Noor, Iran. (In Persian).

- Shirin Watershed One of Mollasadra Dam Sub basins Using Stanford Watershed Model- IV (SWM-IV). MSc thesis, Dept. of Water Structures Engineering, University of Shiraz.
۲۶. Rezaeian Zadeh, M., Singh, V P. and Abghari, H. (2010). Capability of HMS SMA Model and Artificial Neural Networks for Continuous Hydrologic Modeling for Data Scarce Watersheds. *ASCE International Conference*, Chennai, India.
۲۷. Salajeghe, A. and Fathabadi, A. (2009). Suspended sediment evaluation by fuzzy logic and artificial network. *Iranian Journal of Natural Resources (Range and Watershed Management)* 62, 271-282. (In Persian).
۲۸. Talei, A., Chua, L.H. and Quek, C. (2010). A novel application of a neuro-fuzzy computational technique in event-based rainfall-runoff modeling. *Expert Systems with Applications* 37, 7456-7468.
۲۹. Trahan, M. (2005). Hydrology model of the silver river watershed Baraga country. M.Sc. thesis. Michigan Technological University. 158 pp.
۳۰. Vafakhah, M. (2008). Simulating snow discharge by artificial neural network, fuzzy logic and measurement data of snow in Taleghan watershed. Ph.D. thesis. Tehran University.
۳۱. Vafakhah, M. (2012). Application of artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system models to short-term streamflow forecasting. *Canadian Journal of Civil Engineering* 39, 402-414.
- Geographical Information Systems in the extraction of watershed physiographic characteristics (case study: watershed areas within the city Glogahe). *3rd National Conference on Water Resource Management*, Tabriz, Iran. (In Persian).
۱۷. Khosravi, M. (2008). Flood forecasting by artificial neural networks and empirical equations (Case study: Taleghan watershed). M.Sc. thesis. Tehran University. 111 pp.
۱۸. Kisi, O., Haktanir, T., Ardiclioglu, M., Ozturk, O., Yalcin, E. and Uludag, S. (2009). Adaptive neuro-fuzzy computing technique for suspended sediment estimation. *Advances in Engineering Software* 40, 438-444.
۱۹. Klausmeyer, K. (2005). Effects of climate change on the hydrology of upper Alameda Creek. M.Sc. thesis. University of California. 146 pp.
۲۰. Kurtulus, B. and Razack, M. (2010). Modeling daily discharge responses of a large karstic aquifer using soft computing methods: Artificial neural network and neuro-fuzzy. *Journal of Hydrology* 381, 101-111.
۲۱. Leavesley, G. H., Lichty, R., Troutman, B. and Saindon, L. (1983). *Precipitation-runoff modeling system: User's manual*. US Geological Survey.
۲۲. Liu, j. and Han, D. (2010). Indices for Calibration Data Selection of the Rainfall-Runoff Model. *Water Resource Research* 46, 45-62.
۲۳. MirMehdi, M. (2008). Forecast Flood Maroon Watershed Based on Rainfall Data Upstream Using Mathematical Models. MSc thesis, Dept. of Water Engineering, University of Urmia.
۲۴. Nayak, P.C., Sudheer, K.P., Rangan, D.M. and Ramasastri, K.S. (2004). A neuro-fuzzy computing technique for modeling hydrological time series. *Journal of Hydrology* 291, 52-66.
۲۵. Rezaeian Zadeh, M. (2009). Hydrologic Simulation of Khosrow

Comparison of Soil Moisture Accounting model and Neuro-fuzzy for Rainfall-Runoff Modeling (Case study: Zola Chay watershed)

Ebrahim Yousefi Mobarhan^۱

Abstract

Hydrological simulation of watersheds applies for estimating peak discharge and runoff volume from rainfall, flood routing in rivers and flood hydrograph analysis. The purpose of this study is application of soil moisture accounting (HMS SMA) and Neuro-fuzzy models in daily flow, runoff volume and hydrograph analysis of the simulated rainfall - runoff in the Zola Chay watershed. In this study after of Zola Chay watershed modeling with HEC-GeoHMS Extension, the model entered to HEC-HMS program and by parameters estimating of soil moisture accounting model, the rainfall- runoff simulation in other scales has been done. By analysis of time scales for calibration and optimization of HMS SMA model parameters we can claim that the monthly time scale rainfall - runoff simulation accurate than annual, seasonal, semiannual and annual time scales can be better than the other time scales of flow to estimate peak. Comparing the calibration and optimization soil moisture and Neuro-fuzzy methods revealed that fuzzy method can simulate rainfall- runoff relationship better than SMA model by best statistical coefficients ($E= 0.76$ and $RMSE= 0.18$).

Keywords: Zola Chay watershed, Rainfall-runoff process, Soil Moisture Accounting model, Neuro-fuzzy, calibration.

^۱ - Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Semnan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Semnan, Iran