

## واسنجی مدل آبدهی ماهانه برای حوزه‌های آبخیز کوچک

علی رضایی<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۰/۴

تاریخ پذیرش: ۸۹/۲/۱۹

### چکیده

برای انجام اقدامات آبخیزداری و برنامه‌ریزی مدیریت بهینه منابع آب بویژه در حوزه‌های آبخیز کوچک، شناخت روابط هیدرولوژیکی از جمله برآورد سری زمانی مقدار رواناب ماهانه ضروری است. برای بررسی توانائی مدل ریاضی انتخابی بمنظور شبیه‌سازی عمق رواناب ماهانه، تعداد ۷ زیرحوزه در داخل استان زنجان و مجاور آن انتخاب شدند. مساحت زیرحوزه‌های انتخابی کمتر از ۱۷۰ کیلومتر مربع و طول دوره آماری داده‌های آب‌سنجی قابل قبول آنها ۶ الی ۲۷ سال است. برای هریک از زیرحوزه‌های انتخابی عمق رواناب، عمق بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل به روش بلانی-کریدل برای ماه‌های هر سال آبی برآورد گردید. بعضاً بدلیل انتقال بخشی از عمق رواناب حاصل از ذوب برف زمستانه به فصل بهار، داده‌های آب سنجی ماهانه به دو دسته شامل کل سری داده‌ها و سری داده‌هایی که حتماً نسبت عمق رواناب به عمق بارندگی آنها کوچکتر از یک است، تقسیم شدند. سپس نسبت به تعیین اندازه دو ضریب واسنجی مدل ریاضی بیلان آب انتخابی بر مبنای بیشینه نمودن ضریب ناش-ساتکلیف بعنوان معیار عملکرد مدل برای هر دو دسته داده اقدام شد. نتیجه آنکه در حالت استفاده از بخشی از داده‌ها، بطور متوسط ۱۰ درصد ضریب ناش-ساتکلیف افزایش پیدا می‌کند. همچنین از نظر تشکیلات زمین‌شناسی و واحدهای سنگی نیز زیرحوزه‌ها به دو خوشه همگن با اختلاف مقدار ۰/۱۴ در اندازه ضریب واسنجی تبادل آبی حوزه با بیرون از خود<sup>۲</sup> تفکیک می‌شوند. دقت استفاده از مدل واسنجی شده (GR2M) برای حوزه‌های کوچک با شرایط اقلیمی نیمه خشک با معیار ارتفاع از سطح دریا و زمین شناسی مشابه بر مبنای دامنه تغییرات توصیه شده ضریب ناش-ساتکلیف، در حد خوب تا متوسط ارزیابی می‌شود.

واژه های کلیدی: استان زنجان، آبدهی ماهانه، مدل ریاضی، GR2M

### مقدمه

تحلیل‌های منطقه‌ای، استفاده از تشابه حوزه‌های دارای داده و فرمولهای تجربی وجود ندارد. نظر به پراکنش و وجود آمار دراز مدت بارندگی در نقاط مختلف کشور بنظر می‌رسد که استفاده از مدل‌های مفهومی فله‌ای<sup>۳</sup> و واسنجی نمودن آن برای مناطق مختلف یکی از راه‌حل‌های مفید باشد.

در بیشتر تحقیقات انجام یافته هدف مدل نمودن میانگین آبدهی سالانه و ماهانه می‌باشد. از جمله امین و غفوری (۱) برای شبیه‌سازی حجم سیلاب ماهانه و سالانه از مدل استانفورد-۴ استفاده کرده و نتیجه گرفتند که شبیه‌سازی حجم جریانهای ماهانه و سالانه، حجم آب زیرزمینی، جریان زیر سطحی، تبخیر و تعرق واقعی و ضریب رواناب حوزه آبخیز مورد بررسی با درستی بسیاری انجام شد. شریفی و همکاران (۷) برای شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی از مدل رایانه‌ای AWBM۲۰۰۰ استفاده کرده و نتایج بدست آمده را قابل قبول اعلام کرده‌اند. اساس کار این روش مبتنی بر استفاده از سه پارامتر ورودی به مدل شامل شاخص جریان پایه (برای حوزه‌هایی با

برای طراحی برنامه‌های حفاظت آب و خاک و انجام اقدامات آبخیزداری از قبیل پخش سیلاب و احداث مخازن کوچک جمع‌آوری آب سطحی نیازمند آگاهی داشتن از رژیم جریان ماهانه می‌باشد. در پروژه‌هایی مانند پخش سیلاب با هدف تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی، انتخاب سطح پخش سیلاب تابعی از مقدار آورد ماهانه در اختیار بویژه در ماه‌های اسفند و فروردین در حوزه‌هایی با رژیم جریان فصلی می‌باشد. با توجه به اینکه عموماً رودخانه‌های بزرگ دارای ایستگاه‌های اندازه‌گیری جریان بصورت دراز مدت می‌باشند و حوزه‌های آبخیز کوچک که عرصه عمل فعالیت‌های آبخیزداری است، غالباً فاقد ایستگاه اندازه‌گیری می‌باشند. در چنین شرایطی (برای حل مشکل نبود یا کمبود داده‌های آب‌سنجی) چاره‌ای جزء انجام

۱- دکتری آبخیزداری و استادیار پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی زنجان  
Email: rezaei\_ali@hotmail.com

۲- مدل شامل دو ضریب واسنجی به نام  $X_1$  بعنوان ظرفیت پذیرش رطوبت در لایه‌های خاک و ضریب  $X_2$  تبادل آبی حوزه با بیرون از خود می‌باشد.

برای شبیه‌سازی دبی سالانه (GR1A)<sup>۴</sup> و نسخه بدون ضریب واسنجی را برای شبیه‌سازی دبی چند سال پیشنهاد نمودند (اقتباس از ۱۸). موله‌ی و همکاران (۱۸) مدل GR2M را در شرایط آب و هوایی و هیدرولوژیکی مختلف آزمون نموده و بهتر بودن آنرا نسبت به سایر مدل‌های مشابه اعلام نمودند البته در یک بررسی دیگری نیز مشاهده کردند که تغییرات اقلیمی از نوع تغییر ایستگاهی مقادیر نزولات جوی فاقد رابطه با پایداری اندازه ضرایب واسنجی در مدل مذکور هستند (۲۰). همچنین لیرات و همکاران (۱۴) در سه حوزه آبخیز داخل هم با شرایط اقلیمی نیمه خشک و با مساحت‌های ۲۲۲، ۱۲۳ و جمعاً ۳۴۵ کیلومتر مربع نسبت به واسنجی و اعتبار سنجی مدل GR2M اقدام نمودند. در غرب آفریقا برای پیدا کردن تنها یک مدل-داده ترکیبی برای شبیه‌سازی رواناب، عملکرد مدل‌های GR2M و مدل بیلان آب را با استفاده از یک "پایگاه مدل سازی نیمه توزیعی"<sup>۵</sup> در ۴۹ زیرحوزه مورد آزمون قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که مدل GR2M از عملکرد بهتری برخوردار بوده ولی به تنهایی نمی‌تواند کل محدوده مورد مطالعه را با کارایی مناسب پوشش دهد (۱۳).

در بعضی از تحقیقات ابتدا قالب ریاضی یک مدلی انتخاب شده و ضرایب مورد استفاده در آنها مورد واسنجی (کالیبراسیون) قرار می‌گیرند (۱۰). نحوه بهینه کردن ضرایب مدلها بویژه در زمانی که تعداد آنها بیشتر باشد به روشهای متعددی انجام می‌شود. از جمله موله‌ی و همکاران (۱۷) برای بهینه کردن ضریب موجود در مدل شبیه‌سازی جریان سالانه GR1A<sup>۶</sup> از دستور solver صفحه گسترده Excel استفاده کردند. اما در بعضی از تحقیقات از روشهای هوش مصنوعی<sup>۷</sup> مانند ژنتیک الگوریتم<sup>۸</sup> برای بهینه کردن خودکار ضرایب استفاده شده است (۱۲).

با توجه به سوابق تحقیقاتی مذکور و اعلام نیاز دستگاه متولی در استان زنجان، لزوم تعیین توانائی و ضرایب واسنجی مدل شبیه سازی جریان ماهانه را برای شرایط مختلف محیطی ایجاد نمود. به طوری که عدم وجود ایستگاه‌های آب‌سنجی و یا کوتاه بودن طول دوره آماری آنها در مقایسه با ایستگاه‌های هواشناسی و باران سنجی موجود در حوزه‌های آبخیز کوچک و با شرایط آب‌وهوایی نیمه خشک از مشکلات موجود در استان زنجان است. بدین خاطر بررسی میزان کارایی و اندازه ضرایب واسنجی مدل برآورد دبی ماهانه (GR2M)

جریان فصلی نیاز نیست)، ثابت خشکیدگی روزانه جریان<sup>۱</sup> و ظرفیتهای ذخیره سطحی و سطوح متناظر با این ظرفیتهاست. با توجه به آزمونهای انجام شده استفاده از این روش را در حوزه‌های فاقد داده برای شبیه سازی مجموع رواناب، آب پایه و رواناب سطحی توصیه نموده‌اند. مهدوی و آذرخشی (۸) برای تهیه مدل پیش‌بینی جریان ماهانه از روش بیلان آبی و بر اساس بارندگی و تبخیر و تعرق ماهانه نسبت به ایجاد معادلات رگرسیون اقدام کرده‌اند. ایشان در این تحقیق ۱۲ حوزه از منطقه آذربایجان و شمال خراسان انتخاب نموده و اجزاء معادله بیلان آب را محاسبه کردند. سپس دبی ماهانه بعنوان تابع و تبخیر و تعرق واقعی، رطوبت خاک در ابتدای ماه و بعضاً همراه با بارندگی و یا تغذیه آب زیرزمینی بعنوان متغیر انتخاب شده و با استفاده از روابط رگرسیونی چند متغیره خطی روابط ریاضی آنها ایجاد نمودند. نتایج حاصله بیانگر آن است که در بیش از ۷۰ درصد موارد این روش می‌تواند رواناب ماهانه را شبیه‌سازی نماید. همچنین در حوزه‌های مختلف متغیرهای مؤثر در معادلات رگرسیون متفاوت می‌باشند. بوانی و مرید (۲) برای مدل نمودن رژیم جریان ماهانه در رودخانه زاینده رود اصفهان از روش شبکه عصبی مصنوعی و با استفاده از متغیرهای پیشینه و کمینه دما و بارندگی ماهانه ماه مورد نظر و ماه قبل و میزان تشعشع همان ماه استفاده کرده‌اند. رضائی (۳) مدل ریاضی ساده‌ای را برای برآورد آبدی سالانه و بر مبنای مساحت حوزه و با دوره بازگشت‌های مختلف به روش تحلیل منطقه‌ای در حوزه سد سفیدرود ارائه داده است. برای بررسی اثر وجود خطا در داده‌های ورودی در واسنجی ضرایب مدل‌های بارش-رواناب از جمله مدل (GR2M)<sup>۲</sup> نتیجه گرفتند که حساسیت مدل به خطاهای منظم و تصادفی متغیر تبخیر و تعرق پتانسیل کمتر از نزولات جوی است. همچنین استفاده از الگوریتم‌های عددی برای واسنجی مناسب بوده و قادر به جذب خطای اولیه و برآورد مطلوب ضرایب هستند (۲۳). توسط بوبدالا (۱۱) دو نسخه از مدل محاسبه آورد سالانه بعنوان پیشینه مدل مورد بحث در این تحقیق ایجاد شد. بطوریکه یک نسخه آن بر مبنای اعمال یک ضریب واسنجی (GR1A) و دیگری بر مبنای دو ضریب واسنجی (GR2M) بود. سپس موله‌ی (۱۶) تلاش کرد تا روابطی بین ساختمان مدل و گام‌های زمانی بین سالانه<sup>۳</sup> (چند سال)، سالانه، ماهانه و روزانه و ارتباط ساختمان مدلها با همدیگر را پیدا نماید. در نهایت ایشان نسخه دو ضریب واسنجی را برای شبیه‌سازی دبی ماهانه (GR2M)، نسخه یک ضریب واسنجی را

4 - GR1A: annual one-parameter rainfall-runoff model (GR1A stands for modèle du Génie Rural à 1 paramètre au pas de temps Annuel).

5 - Semi-distributed modeling platform

۶- این مدل تنها با استفاده یک ضریب کالیبراسیون میزان آورد سالانه را بر مبنای معادله توازن آب شبیه سازی می‌کند.

7 - Artificial Intelligence

8 - Genetic Algorithm

1- Recession Constant

2 - GR2M: monthly two parameter rainfall-runoff model (GR2M stands modèle du Génie Rural à 2 paramètres au pas de temps Mensuel)

3 - Inter annual

هدف این تحقیق است.

## مواد و روش‌ها

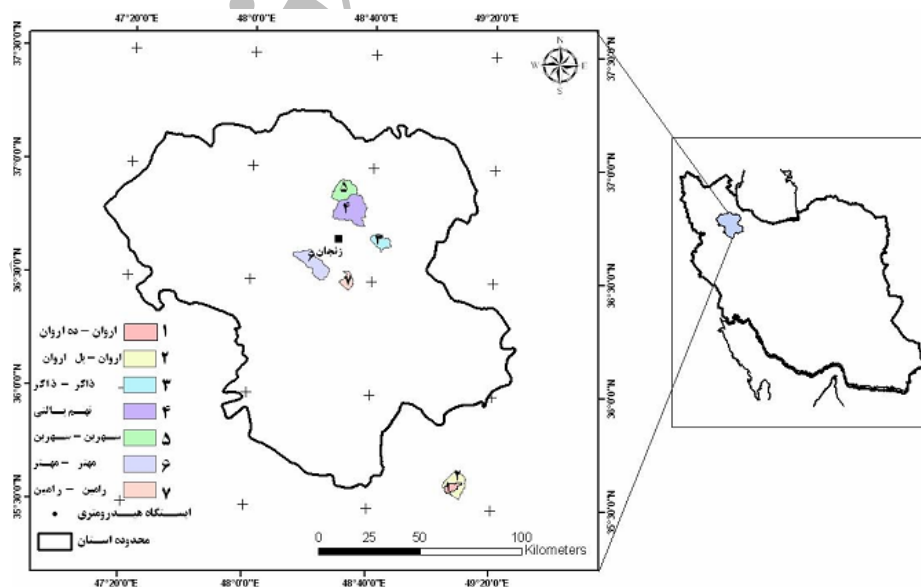
### جمع‌آوری آمار و اطلاعات هواشناسی، آبرسانی و کنترل و بازسازی داده‌ها

بمنظور آگاهی یافتن از وضعیت ایستگاه‌های هواشناسی و آب‌سنجی، با مراجعه به سازمان‌های آب و هواشناسی استان‌های زنجان، قزوین و دفتر مطالعات پایه منابع آب متعلق به شرکت مادر تخصصی مدیریت منابع آب ایران، داده‌های کلیه ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری موجود در سطح استان زنجان و همجوار آن (شهرستان تاکستان از استان قزوین) بصورت ماهانه و سالانه (سال آبی) جمع‌آوری گردید. سپس با انجام بررسی‌های چشمی، لحاظ کردن

گسستگی‌های آماری، اندازه مساحت حوزه‌ها و حذف داده‌های دبی که دارای ضریب رواناب سالانه نزدیک به یک و یا بیشتر از آن بودند<sup>۱</sup> در نهایت به تعداد ۷ زیرحوزه آبخیز کوچک با مساحت کمتر از ۱۷۱ کیلومترمربع انتخاب شدند (جدول ۱). این حوزه‌ها در یک محدوده جغرافیایی حدود ۱/۸ میلیون هکتار گسترش دارند. دو زیرحوزه اروان-ده اروان و اروان-پل اروان داخل هم بوده و به فاصله حدود ۱۰۰ کیلومتر در شرق ۵ زیرحوزه دیگر و داخل حوزه خرا رود قرار دارند. اما بقیه زیرحوزه‌ها در یک محدوده‌ای به شعاع ۳۰ کیلومتر و در اطراف شهر زنجان و داخل حوزه زنجان‌رود واقع شده‌اند. ضمناً سه زیرحوزه ذاکر، تهم در ایستگاه آب‌سنجی پالتو، سهرین باهم و دو زیرحوزه رامین و مهتر باهم، دارای مرز مشترک هستند (شکل ۱).

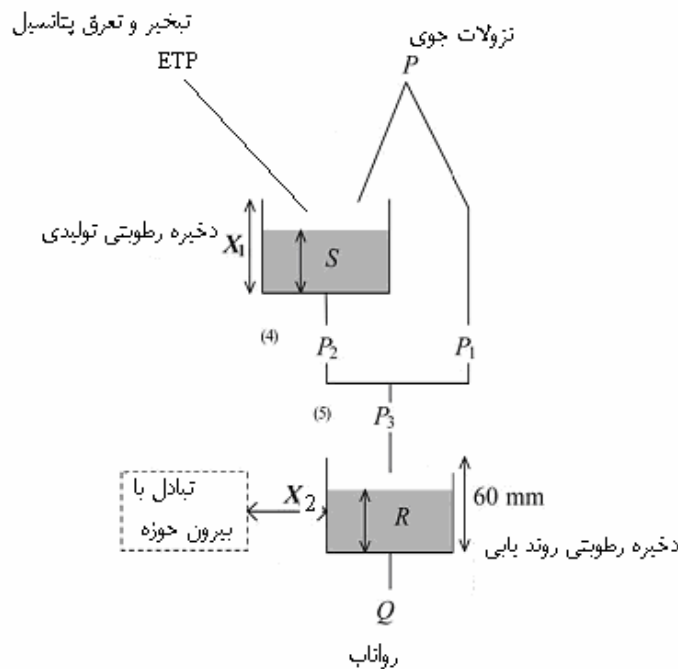
جدول ۱- ویژگی‌های فیزیوگرافی و طول دوره آماری زیرحوزه‌های آبخیز انتخابی

ردیف	نام حوزه	مساحت حوزه (km <sup>2</sup> )	ضریب گراویلیوس	شیب متوسط آبراهه (درصد)	ارتفاع متوسط وزنی حوزه (m)	طول آبراهه اصلی (km)	تعداد سال دارای داده
۱	تهم - پالتی	۱۷۰/۳۳	۱/۹۰	۳/۷۹	۲۲۱۰	۲۲/۱۸	۱۰
۲	مهتر	۱۱۶/۶۱	۱/۴۳	۳/۸۹	۲۰۱۸	۲۰/۰۵	۷
۳	اروان - پل اروان	۹۸/۰۲	۱/۲۲	۳/۹۰	۲۱۳۳	۲۷/۱۵	۳۷
۴	سهرین	۸۵/۷	۱/۳۶	۶/۹۱	۲۴۳۷	۱۴/۴۸	۶
۵	ذاکر	۴۸/۸۵	۱/۳۳	۷/۲۵	۲۱۹۳	۱۰/۷۶	۷
۶	رامین	۳۴/۱۷	۱/۴۱	۶/۱۷	۲۰۵۱	۹/۷۲	۶
۷	اروان - ده اروان	۲۵/۶	۱/۴۲	۸/۹۲	۲۲۳۲/۵	۱۱/۴۴	۱۹



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی زیرحوزه‌های مورد بررسی

۱- با توجه به کوچک بودن مساحت زیرحوزه‌های انتخابی و نداشتن سفره آب زیرزمینی لزوماً این نوع داده‌های ناشی از خطا در داده برداری بوده و حاصل تاخیر در تخلیه آب زیرزمینی در مقیاس زمانی سالانه نمی‌باشد.



شکل ۲- دیاگرام مدل GR2M

### توضیح مدل

در تحقیق حاضر جهت برآورد مقدار جریان ماهانه از مدل GR2M استفاده شد (۱۸). در این مدل فرض می‌شود که حوزه آبخیز دارای بیشینه ظرفیت پذیرش رطوبت (در لایه‌های خاک بدون محدودیت عمق) برابر با  $X_1$  میلی‌متر (دارای واحد عمق) می‌باشد. لذا در زمان شروع شبیه‌سازی جریان میزان ذخیره رطوبتی حوزه برابر با  $S$  است. وقتی نزولات جوی حادث می‌شود، بخشی از بارندگی با  $P$  ارتفاع ذخیره رطوبتی را به  $S_1$  افزایش می‌دهد (معادله ۱ و شکل ۲). شکل ریاضی معادله (۱) به‌نحوی انتخاب شده است که در بارندگیهای کم شدت افزایش مقدار  $S_1$  بیشتر (شیب تغییرات تند) و در بارندگیهای زیاد بر عکس بوده و در نهایت مقدار  $P$  مساوی با مقدار  $X_1$  شده و از آن تجاوز نکند.

$$\phi = \tanh\left(\frac{P}{X_1}\right) \quad (1)$$

$$S_1 = \frac{S + X_1\phi}{1 + \frac{S}{X_1}}$$

در ادامه بخشی از بارندگی که به زمین نفوذ نمی‌کند به جریان سطحی  $P_1$  تبدیل می‌شود (معادله ۲). با توجه به میزان تبخیر و تعرق پتانسیل  $ETP$ ، ارتفاع ذخیره رطوبتی حوزه از  $S_1$  به  $S_2$  کاهش پیدا می‌کند (معادله ۳). ضمناً برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل از روش بلانی و کریدل استفاده شد. علت انتخاب این روش

سادگی آن بوده و جزء پیش فرض مدل نمی‌باشد.

$$P_1 = P + S - S_1 \quad (2)$$

$$\psi = \tanh\left(\frac{ETP}{X_1}\right) \quad (3)$$

$$S_2 = \frac{S_1(1-\psi)}{1 + \psi\left(1 - \frac{S_1}{X_1}\right)}$$

از میزان ذخیره رطوبتی  $S_2$  عمقی برابر با  $P_2$  برای تبدیل شدن به جریان زیر قشری و افزودن به ذخیره آب زیرزمینی و در نهایت زهکش شدن به آبراهه و یا مصرف به لایه‌های زیرین نفوذ نموده و دوباره سطح ذخیره رطوبتی خاک به یک مقداری بمانند  $S$  برای شروع شبیه‌سازی جریان ماه بعدی تبدیل می‌شود (معادلات ۴ و ۵). شکل ریاضی معادله (۴) بصورت درجه سوم انتخاب شده است که رابطه  $S$  با  $S_2$  در مقادیر کمتر تقریباً مستقیم و خطی بوده ولی با افزایش مقدار  $S_2$  شدت تغییرات کمتر شده و از یک نقطه عطفی به بعد به حالت معکوس تبدیل شود. در نتیجه کل آبی  $P_3$  که بصورت جریان سطحی و جریان زیر قشری و زیرزمینی به بیرون (بستر آبراهه) نشت می‌کند بصورت معادله ۶ است. وقتی که مقدار  $P_3$  به طرف تمرکز یافتن در آبراهه جریان می‌یابد باعث می‌شود تا تراز مخزن روند یابی از وضع موجود  $R$  به  $R_1$  افزایش یابد (معادله ۷).

کریدل ( $E_k$ ) و بدون انجام اصلاحات مربوط به سرعت باد و رطوبت نسبی محیط استفاده شد (معادله ۱۱، (۲۱)). برای تعیین دمای متوسط ماه مورد نظر و در سطح حوزه آبخیز از دمای ایستگاه هواشناسی موجود در داخل حوزه و یا مجاور آن استفاده شده و طبق جدول ۲ نسبت به ارتفاع متوسط وزنی حوزه تصحیح شده است (۹). از ایستگاه سینوپتیک زنجان بعلت داشتن داده‌های دراز مدت دما برای زیرحوزه‌های ۳ الی ۷ و از ایستگاه کليماتولوژی قوزلو برای زیرحوزه‌های ۱ و ۲ استفاده شده است (شکل ۳).

$$ETP = p(0.46T + 8.13) \quad (11)$$

که در آن:

$ETP$  توان تبخیر و تعرق به میلی‌متر بر روز در ماه مورد نظر،  $T$  دمای متوسط ماهانه به سانتی‌گراد،  $p$  ضریب روشنایی یا درصد متوسط ساعات روشنایی روزانه در ماه مورد نظر است.

برای رسیدن به بارندگی متوسط هر ماه در سطح حوزه در ابتدا با بررسی ایستگاه‌های هواشناسی موجود نسبت به انتخاب یک یا چند ایستگاه دارای اندازه‌گیری باران اقدام شد. نحوه انتخاب ایستگاه یا ایستگاه‌های هواشناسی شامل توجه به مشابهت ارتفاعی نسبت به ارتفاع متوسط وزنی حوزه، داشتن فاصله نزدیک به مرکز ثقل حوزه (تقریباً کمتر از ۲۵ کیلومتر) و دارای همبستگی معنی‌دار بین چند ایستگاه انتخابی از نظر مقدار بارندگیهای ماهانه نظیر است. ضمناً برای تأثیر فاصله و ارتفاع ایستگاه‌ها از سطح دریا نسبت به میانگین ارتفاع وزنی حوزه از عکس فاصله تا مرکز ثقل حوزه و مقدار ۲ میلیمتر افزایش بارندگی ماهانه برای هر ۱۰۰ متر افزایش ارتفاع بجز ماه‌های تابستان استفاده شد.

$$S = \frac{S_2}{\left[1 + \left(\frac{S_2}{X_1}\right)^3\right]^{\frac{1}{3}}} \quad (4)$$

$$P_2 = S_2 - S \quad (5)$$

$$P_3 = P_1 + P_2 \quad (6)$$

$$R_1 = R + P_3 \quad (7)$$

مقدار  $R_1$  تحت تأثیر تبادلات آب زیرزمینی با بیرون سطح حوزه آبخیز قرار گرفته و به  $R_2$  تنزل می‌یابد. در نتیجه مقدار  $R_2$  با اعمال یک ضریب مثبت بدون بعد  $X_2$  مخالف صفر و کمتر یا بیشتر از یک بدست می‌آید (معادله ۸). مقدار این ضریب برای حوزه‌های تغذیه کننده منابع آب زیر زمینی در موقعیت ایستگاه آب‌سنجی دارای اندازه کمتر از یک و در صورت زهکش نمودن جریانات زیر قشری و آب زیرزمینی خارج از حوزه بیشتر از یک و در صورت نداشتن تبادل جریان برابر با یک است. بیشینه ظرفیت مخزن روندیابی برابر با ۶۰ میلی‌متر فرض شده و تخلیه آن موجب ایجاد عمق جریان خروجی از حوزه برابر با  $Q$  می‌شود (معادله ۹). همچنین میزان  $R$  ماه بعدی از رابطه زیر بدست می‌آید (معادله ۱۰).

$$R_2 = X_2 \cdot R_1 \quad (8)$$

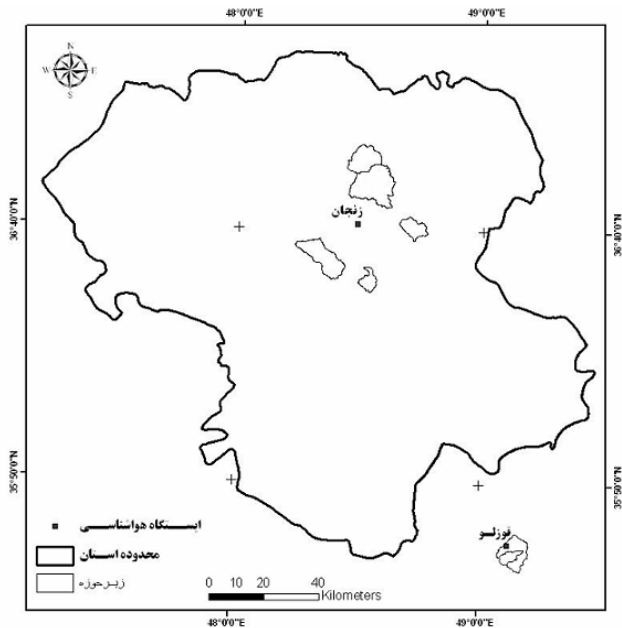
$$Q = \frac{R_2^2}{R_2 + 60} \quad (9)$$

$$R = R_2 - Q \quad (10)$$

با توجه به محدوده گسترش جغرافیایی حوزه‌های انتخابی و بمنظور سادگی از فرمول برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل بلانی و

جدول ۲- مدل‌های دما با ارتفاع در ایران (مسعودیان، بدون تاریخ)

ماه	مدل دما - ارتفاع	ضریب تعیین	تراز همدمای صفر	حساسیت ارتفاع به حرارت متر به درجه
دی	$h=14/3-0/0079T$	۰/۵۱۷۳	۱۸۰۰	۱۲۷
بهمن	$h=15/8-0/0076T$	۰/۴۷۶۸	۲۰۰۰	۱۳۲
اسفند	$h=19/4-0/0069T$	۰/۴۵۳۳	۲۸۰۰	۱۴۵
فروردین	$h=24/8-0/0064T$	۰/۴۶۹۱	۳۹۰۰	۱۵۶
اردیبهشت	$h=30/0-0/0065T$	۰/۴۳۹۴	۴۶۰۰	۱۵۴
خرداد	$h=33/4-0/0055T$	۰/۳۸۸۷	۶۰۰۰	۱۸۲
تیر	$h=34/5-0/0044T$	۰/۳۷۸۵	۷۸۰۰	۲۲۷
مرداد	$h=33/5-0/0047T$	۰/۴۳۳۰	۷۱۰۰	۲۱۳
شهریور	$h=30/7-0/0057T$	۰/۵۲۱۶	۵۴۰۰	۱۷۵
مهر	$h=26/2-0/0068T$	۰/۵۴۷۷	۳۹۰۰	۱۴۷
آبان	$h=20/8-0/0070T$	۰/۵۵۹۴	۳۰۰۰	۱۴۳
آذر	$h=15/9-0/0074T$	۰/۵۲۷۱	۲۱۰۰	۱۳۵



شکل ۳- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده برای محاسبه دمای ماهانه زیرحوزه‌ها

### نحوه واسنجی مدل

برای واسنجی ضرایب ( $X_1$  و  $X_2$ ) از دستور solver در نرم افزار صفحه گسترده EXCEL و با نوشتن اجزاء مدل بهره‌گیری شد. بدین منظور ضریب ناش- ساتکلیف (EC) بعنوان شاخص اصلی ارزیابی دقت مدل استفاده گردید (۱۹) و معادله (۱۲). برای رسیدن به ضرایب واسنجی مطلوب معیار (EC) می‌تواند بر مبنای متغیرهای مثل دبی ماهانه و یا لگاریتم نپر آن و حجم آورد ماهانه توسط solver محاسبه شده و مقدار ( $X_1$  و  $X_2$ ) آن اعدادی خواهد بود که بیشترین مقدار ضریب ناش- ساتکلیف را بر مبنای یکی از متغیرها ایجاد نماید. در این روش طبق الگوریتمی و با انجام سعی و خطا بر روی مقادیر ضرایب واسنجی تابع معادله ۱۲ بیشینه می‌گردد. ضریب ناش - ساتکلیف از منفی بی‌نهایت الی ۱ متغیر است. در صورتی که مقدار آن برابر با صفر یا کمتر از آن شود بیانگر این است که میانگین مشاهده‌ای بهتر از مقدار برآوردی توسط مدل است و اگر مقدار آن برابر با ۱ شود تطابق کامل بین دبیهای مشاهده‌ای و برآوردی برقرار می‌باشد (۱۵). همچنین میزان اریب مدل از حاصل تقسیم مجموع دبی‌های ماهانه برآوردی نسبت به مجموع دبی‌های ماهانه مشاهداتی محاسبه شده است (معادله ۱۳). لذا هر چه مقدار ضریب ناش- ساتکلیف و مقدار اریب به عدد ۱ نزدیکتر شوند مدل از عملکرد بهتری برخوردار است.

$$EC, \text{ or, } Nash(Q) = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - Q_m^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - \bar{Q}_o)^2} \quad (12)$$

$$Bias = \frac{\sum_{t=1}^T Q_m}{\sum_{t=1}^T Q_o} \quad (13)$$

که در آن:

EC ضریب ناش- ساتکلیف و بدون بعد،  $\bar{Q}_o$  میانگین دبی‌های مشاهده‌ای به مترمکعب بر ثانیه،  $Q_o^t$  دبی مشاهده‌ای به مترمکعب بر ثانیه در زمان t به ماه،  $Q_m^t$  دبی مدل شده (برآوردی) به مترمکعب بر ثانیه در زمان t به ماه و Bias بیانگر مقدار اریب می‌باشد.

### نحوه استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده

مرتفع بودن زیرحوزه‌ها، وقوع نزولات جوی از نوع برف در فصل زمستان و نوسان داشتن ذوب برف در ماه‌های مختلف، توازن بین بارندگی و رواناب حاصل از آن را در بعضی ماه‌ها بویژه اسفند و فروردین تحت تاثیر قرار می‌دهد. بدین خاطر سری داده‌های ماهانه برای بررسی ضرایب واسنجی مدل به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول عبارت از کل سری داده‌های اندازه‌گیری و برآورد شده بدون توجه به بیشتر بودن عمق رواناب از عمق بارندگی در بعضی ماه‌ها می‌باشند (دسته t). اما دسته دوم را تنها سری داده‌هایی شامل می‌شوند که حتماً عمق رواناب کمتر از عمق بارندگی در ماه نظیر است (دسته داده 0). بدین طریق در بیشتر موارد تاثیر پذیری مدل از داده‌هایی که رواناب تولیدی آنها متأثر از بارندگی ماه یا ماه‌های قبل است، کاهش می‌یابد.

جدول ۳- وضعیت سری داده‌های ماهانه در حالت کلی و حذفی

ردیف	نام حوزه	تعداد کل سری داده‌ها	تعداد سری داده‌ها حذفی	درصد حذفی
۱	تهم - پالتی	۱۲۰	۳۰	۲۵
۲	مهتر	۸۴	۱۰	۱۱/۹
۳	اروان - پل اروان	۴۴۴	۸۶	۱۹/۴
۴	سهرین	۷۲	۲۰	۲۷/۸
۵	ذاکر	۸۴	۲۲	۲۶/۲
۶	رامین - رامین	۷۲	۲۱	۲۹/۱۶
۷	اروان - ده اروان	۲۲۸	۴۴	۱۹/۳
	متوسط			۲۲/۶۸

جدول ۴- اندازه‌های ضریب واسنجی ( $X_1$  و  $X_2$ ) و معیار ناش-ساتکلیف بر مبنای متغیرهای مختلف

نام حوزه	معیارها	برای کل داده	نام حوزه	معیارها	برای بخشی داده‌ها	برای کل داده	بخشی داده‌ها
تهم - پالتی	$(X_1)$	۴۲/۸۱	مهتر	$(X_1)$	۸۳/۲۳	۱۱۹/۷۰	۱۳۳/۲۵
	$(X_2)$	۱/۲۰		$(X_2)$	۱/۱۱	۱/۰۴	۱/۰۹
	%Nash(Q)	۴۴/۱		%Nash(Q)	۳۴/۸	۲۳/۷	۳۷/۲
	%Nash(VQ)	۲۵/۲		%Nash(VQ)	۲/۴	۲۸/۹	۳۵/۳
	%Nash(ln(Q)) *	-۴۰/۶		%Nash(ln(Q))	-۴/۹	-۷/۸	۲/۵
	%Bias	۱۲۲/۴		%Bias	۱۰۵/۹	۱۰۵/۶	۱۰۸/۲
اروان - پل اروان	$(X_1)$	۱۴۳/۵۵	سهرین	$(X_1)$	۸۳/۰۲	۸۸/۰۹	۱۰۸/۰۳
	$(X_2)$	۱/۳۲		$(X_2)$	۱/۱۰	۱/۱۱	۱/۵۴
	%Nash(Q)	۵۶/۶		%Nash(Q)	۶۳/۶	۵۶/۷	۳۳/۷
	%Nash(VQ)	۴۸/۱		%Nash(VQ)	۵۰/۱	۲۰/۳	۱۴/۳
	%Nash(ln(Q))	۱۳/۰		%Nash(ln(Q))	۱۲/۹	-۴۴/۹	-۴۵/۹
	%Bias	۱۱۰/۹		%Bias	۱۰۸/۷	۱۱۵/۷	۱۲۴/۱
اروان - ده اروان	$(X_1)$	۱۸/۸۶	رامین - رامین	$(X_1)$	۱۷/۹۶	۲۰/۹۸	۷۳/۳۵
	$(X_2)$	۱/۲۴		$(X_2)$	۱/۰۱	۰/۸۶	۱/۴۴
	%Nash(Q)	۲۵/۲		%Nash(Q)	۳۹/۳	۶۶/۸	۳۸/۸
	%Nash(VQ)	۱۱/۳		%Nash(VQ)	۱۳/۷	۳۸/۶	۲۲/۸
	%Nash(ln(Q))	-۳۲/۴		%Nash(ln(Q))	-۴۷/۱	-۲۲/۵	-۱۹/۵
	%Bias	۱۰۶/۳		%Bias	۱۲۴/۴	۱۰۶/۶	۱۲۱/۷
اروان - ده اروان	$(X_1)$	۱۲۵/۷۷	میانگین سری داده‌های مشاهداتی بهتر از مدل بدست آمده است.	$(X_1)$	۹۸/۹۱		
	$(X_2)$	۱/۳۹		$(X_2)$	۱/۱۱		
	%Nash(Q)	۴۹/۶		%Nash(Q)	۵۸/۸		
	%Nash(VQ)	۳۹/۶		%Nash(VQ)	۴۶/۲		
	%Nash(ln(Q))	-۴/۰		%Nash(ln(Q))	۱/۷		
	%Bias	۱۱۴/۷		%Bias	۱۰۹/۸		

## نتایج و بحث

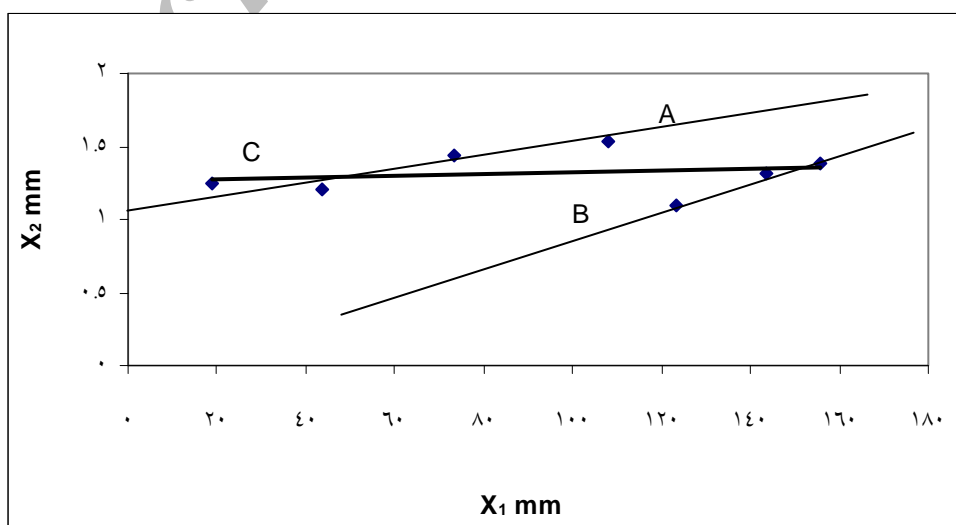
### نتایج

وضعیت سری داده‌های مورد استفاده در ۷ زیرحوزه انتخابی نشان می‌دهد که با رعایت عدم فزونی داشتن عمق رواناب ماهانه به عمق بارندگی ماهانه نظیر، متوسط ۱۹/۳، کمینه ۱۲ و بیشینه ۳۱/۳ درصد از تعداد سری داده‌ها کاسته می‌شود (جدول ۳).

ضریب عملکرد مدل یعنی Nash(Q) برای کل داده‌ها (t) از ۵۶/۶ درصد در اروان-پل اروان تا ۲۵/۲ درصد در ذاکر و برای بخشی از داده‌ها (o) از ۶۶/۸ در رامین تا ۳۴/۸ درصد در تهم-پالتی متغیر هستند (جدول ۴). لذا در شرایط عدم بکارگیری بخشی از داده‌های مشاهداتی (شامل بارندگی، تبخیر و تعرق پتانسیل و عمق رواناب) در روند محاسباتی مدل، متوسط ضریب عملکرد مدل برای کل زیرحوزه‌ها از ۴۰/۷۴ به ۵۰/۳۸ یعنی حدود ۱۰ درصد میزان دقت افزایش یافته است (۲۴).

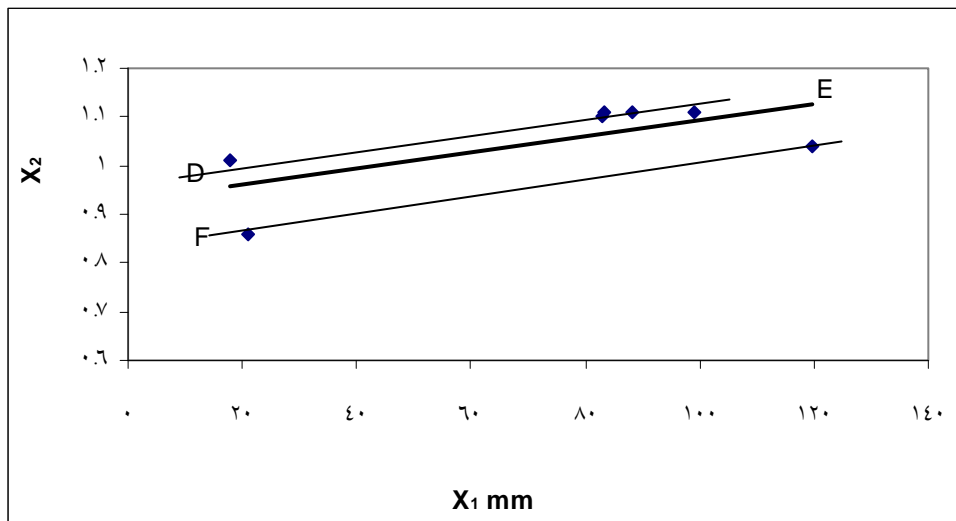
مقدار ضریب واسنجی ( $X_1$ ) بدست آمده در زیرحوزه‌های انتخابی برای کل داده‌ها (t) دارای مقدار متوسط ۹۵/۲۳ و دامنه تغییرات ۱۸/۸۶ در ذاکر تا ۱۵۵/۷۷ در اروان-ده اروان و ضریب واسنجی ( $X_2$ ) با مقدار متوسط ۱/۳۲ و دامنه تغییرات از ۱/۰۹ در مهتر تا ۱/۵۴ در سهرین هستند. اما برای بخشی از داده‌ها (o) مقدار متوسط ( $X_1$ ) برابر با ۷۳/۱۳ و دامنه تغییرات از ۱۷/۹۶ در ذاکر تا ۱۱۹/۷۰ در مهتر و ( $X_2$ ) با مقدار متوسط ۱/۰۵ و دامنه تغییرات از ۰/۸۶ در رامین تا ۱/۱۱ در سهرین، تهم-پالتی و اروان-ده اروان متغیر هستند (جدول ۴). ترسیم مقادیر ( $X_1$  و  $X_2$ ) در یک دستگاه مختصات (شکل ۴) نشان می‌دهد که در صورت استفاده از کل داده‌ها (t) تمام زیرحوزه مورد بررسی به دو خوشه مجزا از هم A و B تقسیم شده‌اند (تفسیر چشمی). بطوری که خط رگرسیون A

( $R^2 = 0.8536$ ) شامل زیرحوزه‌های تهم-پالتی، سهرین، رامین و ذاکر بوده و خط رگرسیون B ( $R^2 = 0.9758$ ) شامل اروان-پل اروان، اروان-ده اروان و مهتر است. ضمناً هر دو خط رگرسیون A و B دارای رابطه خطی و مثبت بین ضرایب ( $X_1$  و  $X_2$ ) در سطح معنی‌داری ۱ درصد خطا هستند. عبارت دیگر دو ضریب واسنجی مذکور در صورت خوشه‌بندی که رسیدن به مجموعه‌های همگن است، مستقل از هم نمی‌باشند. اما شیب خط رگرسیون B تندتر از خط رگرسیون A و با نسبت ضریب زاویه ۲/۴۱ هستند. ضمناً در صورت عدم لحاظ کردن خوشه‌ها (خط رگرسیون C) میزان ضریب تعیین ( $R^2 = 0.0469$ ) فاقد ارزش معنی‌دار آماری بوده و سه خط رگرسیون A، B و C با همدیگر متقاطع هستند. یعنی ضرایب ( $X_1$  و  $X_2$ ) مستقل از همدیگر هستند. اما در صورت استفاده از بخشی از داده‌ها (o) این خوشه‌بندی تغییر یافته و زیرحوزه‌های مهتر و رامین با همدیگر خوشه (F) را تشکیل داده و مابقی (۵ زیرحوزه دیگر) نیز خوشه دیگری (D) تشکیل می‌دهند. علاوه بر این بین ضرایب واسنجی کل زیرحوزه‌ها (E) یک رابطه خطی مثبت و تنها در سطح ۱۰٪ خطا ( $R^2 = 0.501$ ) برقرار شده و سه خط رگرسیون D ( $R^2 = 0.9688$ )، E و F ( $R^2 = 1.00$ ) با همدیگر تقریباً موازی هستند. همچنین تفاوت ضریب واسنجی تبادل حوزه با بیرون ( $X_2$ ) برابر با ۰/۱۴ می‌گردد (شکل ۵). همچنان‌که از جدول ۱ برمی‌آید تمام زیرحوزه‌ها از نظر ارتفاع از سطح دریا و بجز زیرحوزه تهم-پالتی از نظر ضریب گراولپوس تقریباً مشابه هم بوده و تنها تفاوت عمده از نظر میزان مساحت و طول آبراهه اصلی است. بطوری که نسبت مساحت و طول آبراهه بزرگترین به کوچکترین بترتیب برابر با ۶/۶۵ و ۲/۲۸ است.



شکل ۴- رابطه همبستگی ضرایب واسنجی بتفکیک خوشه‌های A، B و کل زیرحوزه‌ها (خط C) با استفاده از کل داده‌ها (t)





شکل ۵- رابطه همبستگی ضرایب واسنجی بتفکیک خوشه‌های D, F و کل زیرحوزه‌ها (خط E) با استفاده از بخشی از داده‌ها (o)

ضرایب همبستگی در ارتباط با ضرایب واسنجی متفاوت شده ولی همچنان فاقد ارتباط آماری معنی‌دار با سایر متغیرهای فیزیوگرافی برای کل زیرحوزه‌ها (خوشه F) می‌گردند. هر چند که مقایسه ضریب همبستگی خط (C) با (E) نشانگر کاهش مقدار ۳/۳ برابری ضریب همبستگی رگرسیون (C) نسبت به (E) است (جدول ۶).

محاسبه ماتریس ضرایب همبستگی (r) عامل‌های ضرایب واسنجی، عملکرد و ویژگی‌های فیزیوگرافی کل زیرحوزه انتخابی و کل داده‌ها (t)، تنها نشانگر وجود همبستگی معنی‌دار ما بین برخی از عوامل فیزیوگرافی در سطح معنی‌داری ۱٪ تا ۵٪ هستند (جدول ۵). در صورت استفاده بخشی از سری داده‌ها (دسته داده ۵، که شرط عمق رواناب کمتر از عمق بارندگی در ماه نظیر برقرار است) ماتریس

جدول ۵- ماتریس ضرایب همبستگی (r) ضرایب واسنجی، عملکرد و ویژگی‌های فیزیوگرافی برای کل داده‌ها (t)

متغیرها	(X <sub>1</sub> )	(X <sub>2</sub> )	مساحت	طول آبراهه اصلی	ارتفاع متوسط حوزه	شیب طولی آبراهه اصلی	NashQ%
(X <sub>1</sub> )	۱/۰۰۰۰						
(X <sub>2</sub> )	۰/۲۱۶۵	۱/۰۰۰۰					
مساحت	-۰/۱۶۳۰	-۰/۵۲۳۵	۱/۰۰۰۰				
طول آبراهه اصلی	۰/۲۷۹۷	-۰/۴۳۱۷	-۰/۷۷۲۳	۱/۰۰۰۰			
ارتفاع متوسط وزنی حوزه	-۰/۰۰۱۸	۰/۶۰۶۵	-۰/۰۰۰۷	-۰/۱۶۰۸	۱/۰۰۰۰		
شیب طولی آبراهه اصلی	۰/۰۶۷۸	۰/۵۷۶۲	-۰/۸۲۱۹	-۰/۸۳۲۴	۰/۴۵۱۴	۱/۰۰۰۰	
NashQ%	۰/۶۷۵۶	۰/۰۵۱۵	۰/۱۵۹۳	۰/۵۹۴۰	-۰/۱۵۹۶	-۰/۲۶۶۱	۱/۰۰۰۰

جدول ۶- ماتریس ضرایب همبستگی (r) ضرایب واسنجی، عملکرد و ویژگی‌های فیزیوگرافی برای بخشی از داده‌ها (o)

متغیرها	(X <sub>1</sub> )	(X <sub>2</sub> )	مساحت	طول آبراهه اصلی	ارتفاع متوسط حوزه	شیب طولی آبراهه اصلی	NashQ%
(X <sub>1</sub> )	۱/۰۰۰۰						
(X <sub>2</sub> )	۰/۷۰۷۸	۱/۰۰۰۰					
مساحت	۰/۴۶۷۵	۰/۴۵۷۶	۱/۰۰۰۰				
طول آبراهه اصلی	۰/۵۳۹۸	-۰/۵۲۳۱	-۰/۷۷۲۳	۱/۰۰۰۰			
ارتفاع متوسط وزنی حوزه	۰/۱۰۹۰	۰/۵۶۹۷	-۰/۰۰۰۷	-۰/۱۶۰۸	۱/۰۰۰۰		
شیب طولی آبراهه اصلی	-۰/۲۷۷۲	-۰/۰۶۳۲	-۰/۸۲۱۹	-۰/۸۳۲۴	۰/۴۵۱۴	۱/۰۰۰۰	
NashQ%	-۰/۲۳۴۹	-۰/۲۳۸۰	-۰/۵۹۸۷	-۰/۱۹۸۱	۰/۱۳۱۴	۰/۳۶۴۰	۱/۰۰۰۰

## بحث

می شود پائین بودن دما منجر به عدم ذوب کامل نزولات برفی و در نتیجه اضافه شدن به عمق رواناب ماه‌های بعدی خواهد شد. لذا می توان پذیرفت که بخشی از ضعف ساختمان ریاضی مدل در شبیه سازی جریان ماهانه ناشی از عدم لحاظ کردن دما و نوع نزولات از نظر انتقال بخشی از عمق رواناب از ماه‌های سرد به ماه‌های گرم باشد. بنظر می رسد ایجاد پیوستگی بین مدل‌های برآورد ذوب برف با ساختمان مدل ریاضی مورد بحث منجر به بهبود عملکرد مدل در حوزه‌های کوچک کوهستانی باشد.

همچنانکه در بخش نتایج آمده است زیرحوزه‌های مورد بررسی بر اساس وجود رابطه همبستگی بین ضرایب واسنجی ( $X_1$  و  $X_2$ ) در هر دو حالت به دو خوشه تفکیک شده‌اند. البته با این تفاوت که در صورت استفاده از کل سری داده‌ها، خط رگرسیون با خطوط برازش یافته به خوشه‌ها، متقاطع بوده (شکل ۴) ولی در حالت حذف سری داده‌های ناجور، هر سه خط تقریباً با همدیگر موازی هستند (شکل ۵). این یافته نشان‌دهنده آن است که ساختمان مدل ریاضی دارای سازگاری با آن سری از داده‌های بارندگی و رواناب است که آنها مستقل یا بدون تاثیر پذیری از نزولات جوی و عمق رواناب ماه ما قبل خود هستند. در واقع بیشتر سازگاری این مدل با حوزه‌های آبخیزی خواهد بود که جریانات زیرقشری موجود در آن برای هر دوره زمانی ماهانه متأثر از نزولات جوی همان ماه باشد. در صورت عدم برقراری چنین وضعیتی این جریانات بر افزایش مقدار ضریب واسنجی تبادل حوزه با بیرون حوزه ( $X_2$ ) اثر گذاشته و اندازه آن را افزایش خواهد داد (جدول ۴). در نتیجه ضریب مذکور بیانگر جریانات زیرقشری تاخیری (بیشتر از یک ماه) و تغذیه و یا تخلیه حوزه از آب زیرزمینی بوده و در زیرحوزه‌های مورد بررسی بجز رامین تنها بیانگر جریانات زیرقشری تخلیه شده به آبراهه اصلی است. به عبارت دیگر هر دو ضریب واسنجی در تعامل با همدیگر سعی در لحاظ کردن اثر اقلیم و زمین‌شناسی در سازگاری مدل با حوزه برای شبه‌سازی رژیم جریان ماهانه می‌باشند. در نتیجه انجام خوشه‌بندی زیرحوزه‌ها از نظر ارتفاع از سطح دریا به عنوان عامل اقلیمی (در مناطق خشک و نیمه خشک) و تشکیلات زمین‌شناسی و واحدهای سنگی منجر به محدود نمودن دامنه تغییرات ضرایب واسنجی خواهد شد. یعنی تفکیک زیرحوزه‌ها به خوشه‌های همگن بر مبنای همبستگی بین ضرایب واسنجی بیانگر نوعی تاثیر پذیری رژیم جریان ماهانه از اقلیم و زمین‌شناسی زیرحوزه از نظر نوع تشکیلات رسوبی، واحدهای سنگی و خورد شدگی (تکتونیزاسیون) است (۴).

با مقایسه شکل‌های ۴ و ۵ معلوم است که تعداد خوشه‌ها یکسان ولی اعضاء خوشه‌های متفاوت بوده و بویژه یک هم‌روندی هماهنگ خطوط برازش یافته به ضرایب واسنجی در شکل ۵ نسبت به شکل ۴

نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که ضریب عملکرد مدل یعنی  $Nash(Q)\%$  در زیرحوزه‌های کوچک مورد بررسی عموماً در حد خوب تا ضعیف هستند. پائین بودن عملکرد می‌تواند ناشی از ضعف ساختمان مدل ریاضی و یا ضعف در صحت داده‌های اندازه‌گیری شامل دبی جریان ماهانه و بارندگی نظیر در سطح حوزه، طول دوره آماری اندک و نبود ایستگاه‌های هواشناسی با تراکم مناسب در داخل و جوار زیرحوزه‌های مورد بررسی باشد (۱۰).

آنچه که تحقیقات صورت گرفته توسط دیگران نشان می‌دهد میزان عملکرد مدل GR2M در حد خوب تا خیلی خوب است (۱۴). یافته‌های آنها بیانگر این است که ضرایب ( $X_1$ ) به عنوان اندازه ذخیره رطوبتی خاک به میلیمتر و  $X_2$  به عنوان ضریب بدون بعد تبادل با آب زیر زمینی و در دو دوره واسنجی و اعتبار سنجی بترتیب دارای دامنه ۳۰۳ الی ۱۴۵ و ۰/۶۸ الی ۰/۹۵ هستند. همچنین معیار ناش-ساتکلیف بین ۷۴ تا ۹۷ درصد متغیر است. هر چند که تحقیق حاضر از دید کلی از کمبود داده‌ها چه از نظر تعداد زیرحوزه‌ها و چه از نظر طول دوره آماری دچار کمبود است. اما با حذف بخشی از سری داده‌های عمق رواناب ماهانه ناجور (دارای عمق بیشتر نسبت بارندگی ماه نظیر) بطور متوسط ۱۰ درصد افزایش در عملکرد مدل حاصل می‌شود (۲۲). پس تاثیر سری داده‌های ناجور در ضعف عملکرد مدل قابل پذیرش است. لذا مشکل پائین بودن عملکرد مدل در تحقیق حاضر علاوه بر مورد مذکور، بایستی بیشتر ناشی از عدم دقت داده‌های نزولات جوی به دلیل عدم تراکم قابل قبول ایستگاه‌های هواشناسی در شرایط کوهستانی زیرحوزه‌های انتخابی و همچنین عدم دقت داده‌های آب‌سنجی باشد. بطور مثال همچنان که ذکر شد (جدول ۳) زیرحوزه ذاکر در صورت استفاده از کل سری داده‌ها دارای کمترین عملکرد مدل است. با بررسی سری داده‌های مورد استفاده مشخص شد که در حدود ۲۶ درصد عمق رواناب ماهانه مورد استفاده برای واسنجی مدل بیش از عمق بارندگی ماهانه نظیر بود. بطوری که با حذف آنها و محاسبه مجدد عملکرد مدل  $Nash(Q)\%$  مقدار آن از ۲۵/۲ به ۳۹/۳ افزایش یافت (جدول ۴). بدست آوردن چنین نتیجه‌ای ناشی از کاهش دامنه نوسان دسته داده‌ها و افزایش همگنی است. همچنین علاوه بر ایرادات بیان شده، بخشی از پائین بودن عملکرد مدل در زیرحوزه مورد بررسی ناشی از ضعف ساختمان ریاضی مدل در عدم امکان دخالت دادن انتقال قسمتی از رواناب ماه‌های سرد به ماه‌های بعدی بدلیل نوع بارش (برف) و پائین بودن دما در ماه‌های مزبور است. بطوریکه در زیرحوزه ذاکر متوسط دمای ماهانه ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند در طول دوره آماری بترتیب منفی ۲/۰۸، ۶/۳، ۶/۵ و ۰/۷ درجه سلسیوس بوده است. همچنانکه ملاحظه

### نتیجه‌گیری و توصیه

نتیجه آنکه ساختمان مدل ریاضی مورد استفاده دارای سازگاری بیشتر با حوزه‌های آبخیزی است که در آن حوزه‌ها در مقیاس زمانی ماهانه تمام ورودیها (نزولات جوی و جریانات زیر قشری) از حوزه تخلیه شوند. در صورت وجود چنین شرایطی، خوشه‌بندی حوزه‌های آبخیز بر مبنای تشکیلات زمین شناسی منجر به تعمیم ضرایب واسنجی شناخته شده از یک حوزه آبخیز به حوزه‌های مشابه دیگر (از نظر ارتفاعی و زمین‌شناسی) خواهد شد. توصیه می‌شود تحقیقات بیشتری با لحاظ کردن زیرحوزه‌های کوچک و دارای تنوع آب و هوایی و زمین‌شناسی انجام پذیرد.

### تشکر و قدردانی

بدینوسیله از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان زنجان بخاطر تامین منابع مالی، خانم مهندس سکینه نعمتی و آقایان مهندسین پرویز عبدی‌نژاد، سید جمال موسوی، جعفر خلفی، حسین طاهری و علیرضا زینعلی بخاطر همکاری در تهیه و تجزیه و تحلیل بخشی از داده‌های زمین‌شناسی، هواشناسی، تهیه نقشه‌ها رقومی و محاسبات فیزیوگرافی و انجام کارهای محاسباتی رایانه‌ای کمال تشکر و قدردانی را دارد.

برقرار است. استنباط این است که در شکل ۵ تفاوت تشکیلات زمین شناسی و واحدهای سنگی بین خوشه‌ها و هماهنگی موارد مذکور بین اعضاء خوشه‌ها بنحو مطلوبی برقرار شده است. بدین خاطر با مراجعه به نقشه‌های زمین شناسی مشخص گردید که دو زیر حوزه ده اروان و پل‌اروان بیشتر واحدهای سنگی و سازندهای غالب در بالادست شامل کنگلومرا و توف به رنگ قرمز آجری به سن پلیوسن و در بخشی نیز توده‌های نفوذی با جنس گرانیت و توف پومیسی تا خاکستر آتشفشانی با ترکیب اسیدی و در منطقه پائین دست تناوب گنایس، مرمر، آمفیبولیت و کنگلومرای آتشفشانی هستند. سه زیرحوزه ذاکر، سهرین و تهم در مجاورت هم قرار داشته و دارای تشکیلات زمین شناسی کرج با لیتولوژی توف و توفیت همراه با میان لایه‌های ماسه سنگ توفی و گدازه‌های آندزیتی هستند (۵ و ۶). اما دو زیر حوزه رامین و مهتر ضمن نزدیک هم بودن دارای مشابهت زمین‌شناسی هستند. بطوریکه بخش اعظمی از زیرحوزه رامین سنگ آهک، گل سنگ گچ‌دار و ماسه سنگ است. همچنین حدود ۹۵ درصد وسعت زیرحوزه مهتر متشکل از تشکیلات رسوبی با محوریت سنگ آهک، دولومیت و شیل با میان لایه‌های توفی و آبرفتهای سیلابی است. هر دو زیرحوزه از نظر زمین‌شناسی ساختمانی جزء کوه‌های سلطانیه بوده و در یک امتداد می‌باشند و بطور مشخص گسلی از داخل زیر حوزه رامین عبور می‌نماید (۵).

### منابع

- ۱- امین س. و غفوری روزبهانی ع. ۱۳۸۱. شبیه سازی رواناب سطحی و تبخیر و تعرق حوزه آبخیز معرف رود زرد با مدل استانفورد-۴. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۶(۳): ۱-۱۲.
- ۲- بوانی م. و مرید س. ۱۳۸۴. اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده رود اصفهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴: ۱۷-۲۷.
- ۳- رضائی ع. ۱۳۸۷. بررسی روابط آبدهی سالانه در زیرحوزه‌های سد سفیدرود. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران. دانشگاه تبریز.
- ۴- رضائی ع. مهدوی م. فیض‌نیا س. لوکس ک. و مهدیان م. ح. ۱۳۸۵. امکان سنجی گروه‌بندی هیدرولوژیکی سازندهای زمین‌شناسی در حوزه آبخیز سفیدرود. پژوهش و سازندگی ۱۹(۱): ۱۰-۲۲.
- ۵- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۱۳۸۰. نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ چهار گوش ماه‌نشان، سلطانیه-خداآبند.
- ۶- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۱۳۸۳. نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ چهار گوش زنجان، طارم و تخت سلیمان.
- ۷- شریفی ف. و صفاپور ش. و ایوب زاده ع. ۱۳۸۳. ارزیابی مدل رایانه ای AWBM۲۰۰۰ در شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی تعدادی از حوزه‌های آبخیز ایران. پژوهش و سازندگی ۱۷(۲): ۳۵-۴۲.
- ۸- مهدوی م. و آذرخشی م. ۱۳۸۳. تعیین مدل بیلان آبی مناسب ماهانه در حوزه‌های آبخیز کوچک کشور (مطالعه موردی: استان - آذربایجان شرقی و شمال خراسان). مجله منابع طبیعی ایران ۵۷(۳): ۴۱۵-۴۲۶.
- ۹- مسعودیان ا. تحلیل ساختار دمای ماهانه ایران، گزارش علمی، دانشگاه اصفهان.
- ۱۰- (سایت: schoolnet.ir/.../geography/resources/rs203\_GISinClimatology.doc)

11- Bárdossy A., and Singh S. K. 2008. Robust estimation of hydrological model parameters, Hydrology and earth system sciences, 12: 1273-1283.

12- Bouabdallah F. 1997. Mise au point d'un modèle de transformation pluie-débit au pas de temps annuel. Rapport de

- DEA, DEA Hydrogéologie-Hydrologie filière Géochimie isotopique. Paris Sud Orsay, Cemagref Antony,: 45.
- 13- Cheng C.T., Zhao M.Y., Chau K.W., and Wu X.Y. 2006. Using genetic algorithm and TOPSIS for Xinanjiang model calibration with a single procedure. *J. of Hydrol.*,316(1-4):129-140.
  - 14- Dezettera A., Girardb S., Paturela J.E., Mahéc G., Ardoin-Bardinc S., and Servatc E. 2008. Simulation of runoff in West Africa: Is there a single data-model combination that produces the best simulation results?. *J. of Hydrol.*,354(1-4):203-212.
  - 15- Lerat J., Rasmussen P., Henriksen H.J., Andreassian V., Perrin C., Payan J.L., and Barlebo H. 2006. Modelling the diversity of buffering capacity on semi-arid catchments, CATCHMENT DOMAIN MODEL, Part B. Focus on the Guadiana basin, NW D153 Guadiana V5.doc, www.Newater.Info.
  - 16- Moriasi D.N., Arnold J.G., Van Liew M.W., Bingner R.L., Harmel R.D., Veith T.L. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*,50(3):885-900.
  - 17- Mouelhi S. 2003. Vers une chaîne cohérente de modèles pluie-débit conceptuels globaux aux pas de temps pluriannuel, annuel, mensuel et journalier. Thèse de Doctorat, ENGREF, Cemagref Antony, France:323.
  - 18- Mouelhi S., Michel C., Perrin C., and Andreassian V. 2006a. Linking stream flow to rainfall at the annual time step: the Manabe bucket model revisited. *J. of Hydrol.*,328:283-296.
  - 19- Mouelhi S., Michel C., Perrin C., and Andréassian V. 2006b. Stepwise development of a two-parameter monthly water balance model. *J. of Hydrol.*,318(1-4):200-214.
  - 20- Nash J.E., and Sutcliffe J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models part I- A discussion of principles. *J. of Hydrol.*,10(3):282-290.
  - 21- Niel H., Paturel J.E., and Servat E. 2003. Study of parameter stability of a lumped hydrologic model in a context of climatic variability. *J. of Hydrol.*,278(1-4):213-230.
  - 22- Oudin L., Hervieu F., Michel C., Perrin C., Andréassian V., Anctilb F., and Loumagne C. 2005. Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model?: Part 2—Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-runoff modeling. *J. of Hydrol.*,303(1-4):290-306.
  - 23- Oudin L., Perrin C., Mathevet T., Andréassian V., and Michel C. 2006. Impact of biased and randomly corrupted inputs on the efficiency and the parameters of watershed models. *J. of Hydrol.*,320(1-2):62-83.
  - 24- Paturel J.E., Servat E., and Vassiliadis A. 1995. Sensitivity of conceptual rainfall-runoff algorithms to errors in input data — case of the GR2M model. *J. of Hydrol.*,168(1-4):111-125.
  - 25- Zhang G.P., and Savenije H.H.G. 2005. Rainfall-runoff modeling in a catchment with a complex groundwater flow system: application of the representative elementary watershed (REW) approach. *Hydrology and earth system sciences*,9(3):243-261.

Archive

## Calibration of Monthly Water Yield Model for Small Catchments

A. Rezaei<sup>1</sup>

### Abstract

For watershed management and water resources planning need to know hydrological relationships among the time series of monthly runoff depth especially at small watersheds. To investigate the ability of selected mathematical model for simulation of monthly runoff depth, 7 catchments were selected in and around of Zanjan province. Areas of all selected catchments are less than 170km<sup>2</sup> and acceptable hydrometric data time series long equal 6 to 27 years. At every selected catchments depth of precipitation, runoff and potential evapotranspiration by method of Blaney-Criddle estimated for months of every water year. Sometimes because of shifting partial of winter snow melt runoff to spring season, the monthly hydrometer data was divided to total and sectional data series so that proportion of runoff depth to precipitation depth was less than one certainly. After calibrated the coefficients of mathematical model named (GR2M) by application of all or partial of data series based on maximizing Nash-Sutcliffe coefficient as model performance criterion. Result is that by application of only the partial of data series, Nash-Sutcliffe coefficient is increased 10%. So from viewpoint of geological formations and rock units the sub watersheds divided into two clusters with difference measure of 0.14 about the quantity of outside basin calibration coefficient. Precise of calibrated model of (GR2M) for small and similar climatology condition based on height from sea level and geology conditions evaluated average to good.

**Key words:** Monthly discharge, Mathematical model, GR2M, Zanjan province

---

1- PhD of watershed management and Research assistant professor of Agriculture Natural resources Research Center of Zanjan Email: rezaei\_ali@hotmail.com)