

شبیه سازی رواناب خروجی در حوضه های آبخیز فاقد آمار با استفاده از مدل بارش -  
رواناب SFB (مطالعه موردی: استان فارس)

جواد نام درست

کارشناس ارشد آبخیزداری، شرکت مهندسی مشاور سازه پردازی ایران

هدایت الله زرین

عضو هیئت علمی گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه زابل

چکیده

روش های متعددی جهت شبیه سازی هیدرولوژیکی پاسخ حوزه و نیز بررسی رواناب در حوزه های آبخیز وجود دارد. یکی از این روش ها استفاده از مدل های رایانه ای است. مدل های مذکور این امکان را می دهند تا با شبیه سازی مولفه های مختلف بیلان آبی و یا شناخت فرایند تبدیل بارش به رواناب، مولفه های مختلف بیلان آبی و رواناب در حوزه هایی که جریان رودخانه اندازه گیری نشده است و یا دارای آمار کوتاه مدت است با حداقل زمان ممکن و کمترین هزینه ارزیابی شود. در این تحقیق، الگوریتم مدل SFB بوتون استفاده شده است. مدل SFB رابطه ای ساده از بیلان آبی است که در واقع با اصلاحاتی روی مدل اولیه بوتون بدست آمده است. مدل سه پارامتر دارد که شامل ظرفیت ذخیره سطحی (S)، میزان نفوذپذیر آب (F) و فاکتور دبی پایه (BFI) می باشد. نتایج حاصل از این مدل در حوزه های استرالیا نشان داده است که مدل از قابلیت خوبی در پیش بینی رواناب برخوردار است. در این تحقیق جهت ارزیابی مدل SFB از اطلاعات موجود در تعدادی از زیرحوضه های، حوزه های آبریز مهارلو، زهره، کل و مند استفاده شده است. داده های روزانه بارش، رواناب و تبخیر و تعرق در مدت زمانی حدودا 20 ساله مد نظر قرار گرفت. سپس بارش های روزانه به کمک روش TPSS به صورت منطقه ای در آمده و دبی های روزانه هم به صورت دبی ویژه محاسبه شدند. در نهایت به کمک مدل و با بهینه سازی پارامتر های مدل میزان دقت و کارایی مدل در برآورد ضریب همبستگی بین رواناب مشاهده ای و برآوردی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج محاسبه شده توسط مدل در کلیه حوزه ها نشان داد که مدل می تواند شبیه سازی قابل قبولی در شرایط کشور ما داشته و با اطلاعات قابل دسترس، پاسخ حوزه های فاقد آمار (یا با آمار کوتاه مدت) را محاسبه کرده و از قابلیت خوبی در طراحی و تحقیق برخوردار باشد.

واژگان کلیدی: مدل SFB، حوضه آبخیز، شبیه سازی و رواناب

## مقدمه

یکی از شاخص های مهم در پیشرفت هر کشور دسترسی به آب با کیفیت در محل و زمان مورد نظر می باشد به طوری که عدم دسترسی به موقع می تواند یکی از مهمترین عوامل محدود کننده توسعه اقتصادی باشد، بخصوص در کشور ما که در یک منطقه خشک قرار گرفته این مشکل دوچندان است از یک طرف بروز خشکسالی ها و از طرف دیگر وقوع سیلاب های مهیب همه ساله خسارات زیادی به بار می آورد. بنابراین نیاز به برنامه ریزی های محیطی در زمینه منابع آب از اهمیت قابل ملاحظه ای برخوردار است. هرز آب ناشی از بارندگی و ذوب برف یکی از منابع عمده آبی است که جهت رفع کمبود مصارف کشاورزی-صنعتی و آشامیدنی حائز اهمیت است.

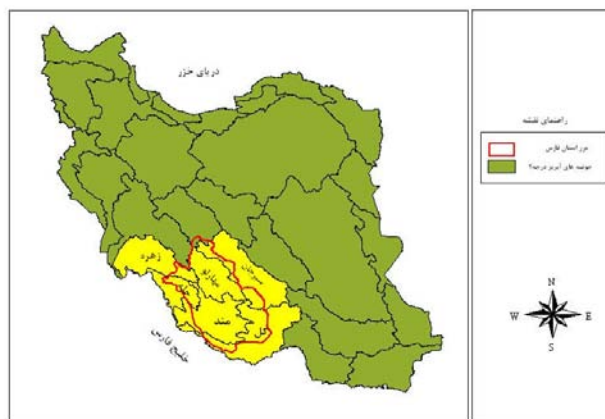
درصد زیادی از حجم بارندگی در مناطق مختلف کشور تحت تأثیر عواملی همچون، تشکیلات و ساختار زمین شناسی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، شیب زمین و شکل حوضه آبخیز به رواناب سطحی تبدیل می شود (افشار، 1364). لذا برآورد حجم رواناب حاصل از بارندگی- بکارگیری روشهای جمع آوری و مهار آب سطحی از نظر تأمین آب روزبه روز اهمیت بیشتری پیدا می کند. در بسیاری از حوضه های آبخیز که نیازمند برنامه ریزی منابع آب هستند، ایستگاه های هیدرومتری برای اندازه گیری وجود ندارد، یا اینکه آمار ایستگاه های اندازه گیری ناقص است و به نظر نمی رسد که در آینده نزدیک کلیه مناطق دارای ایستگاه های اندازه گیری شوند. بنابراین روش یا روش هایی که به کمک آنها بتوان میزان رواناب حاصل از بارندگی در حوضه های فاقد آمار یا دارای آمار ناقص را تخمین زد، از اهمیت قابل توجهی برخوردار می گردند. یکی از این روشها استفاده از مدل های هیدرولوژیکی می باشد که مدل ها این امکان را می دهند تا با شبیه سازی فرآیند رواناب- بارش، هرز آب حاصل از بارندگی در حوضه های فاقد آمار یا دارای آمار ناقص با کمترین هزینه و حداقل زمان ارزیابی شود. چون در حوضه های آبخیز امکان اندازه گیری تمام کمیت های مورد نیاز جهت تحلیل رواناب میسر نمی باشد، لذا انتخاب مدلی که بتواند در عین سادگی ساختار و با استفاده از حداقل عوامل، رواناب حاصل از بارندگی را به طور دقیق پیش بینی کند امری ضروری به نظر می رسد. در این زمینه تحقیقات زیادی در دنیا انجام شده است بطوریکه شریفی و بوید (Sharifi and Boyd, 1994) مدل های بارش- رواناب 3 پارامتره AWBM و SFB را در استرالیا مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که مدل AWBM بهتر از مدل SFB رواناب را شبیه سازی می کند. آرن برگ و هارموس (Arnbjerg and Harremoes, 1995) یک مدل 17 پارامتره پیشرفته رواناب را با یک مدل ساده رگرسیون خطی یک پارامتره بارش- رواناب مقایسه کرده و نتیجه گرفتند که وقتی داده های مناسب برای مدل های پیچیده در اختیار نباشد، همیشه یک مدل ساده تر ترجیح داده می شود. شریفی (Sharifi, 1997) با مقایسه سه مدل SDI، AWBM و SFB در 8 حوضه استرالیا نشان داد که اگر رواناب به رواناب سطحی و آب پایه تقسیم شود مدل AWBM بهتر از مدل های SDI و SFB جواب می دهد ولی در برآورد رواناب در طول دوره مطالعاتی مدل SDI بهتر از بقیه جواب می دهد. گوهری مدل رواناب- بارش SFB را در حوضه های آبخیز کارون شمالی برای برآورد رواناب بکار گرفت و بکمک کالیبراسیون مدل و بهینه کردن پارامترها، به این نتیجه رسید که مدل از دقت قابل قبولی در شبیه سازی رواناب برخوردار است (گوهری، 1377). لانگ و همکاران (Lang et al, 1999) یک مدل بارش- رواناب

کالیبره شده را برای حوضه های بزرگ خشک ارائه دادند. سنایی نیا مدل AWBM1993 را در ارزیابی بعضی از حوضه های کشور مورد استفاده قرار داد و نتیجه گرفت که این مدل برای برآورد رواناب نتایج خوبی می دهد (سنایی نیا، 1379). همچنین نام درست مدل SDI را در ارزیابی بعضی از حوضه های آبخیز ایران مورد بررسی قرار داد و نتایج رضایت بخشی بدست آورد (نام درست ، 1381).

## مواد و روش ها

### حوضه های مورد مطالعه

مطالعه حاضر در میان حوضه ها و محدوده های مطالعاتی موجود در استان فارس انجام گرفته است. بر این اساس استان فارس در تقسیم بندی ششگانه حوضه های آبریز درجه یک کشور در حوضه آبریز درجه یک خلیج فارس و دریای عمان قرار می گیرد. در تقسیم بندی حوضه های آبریز درجه دو کشور به سی حوضه آبریز، حوضه های آبریز درجه دو کل، مند، مهارلو و قسمتی از حوضه آبریز زهره در محدوده استان فارس قرار می گیرند. بنابراین مطالعه حاضر در چند زیر حوضه از میان محدوده های مطالعاتی موجود در میان حوضه های درجه دو موجود در استان فارس انجام گرفته است. در جداول شماره 1 محدوده های مطالعاتی موجود در میان حوضه های درجه دو موجود در استان فارس که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته اند به همراه اطلاعات فیزیو گرافی آنها ارائه شده اند. همچنین نقشه 1 موقعیت مناطق مورد مطالعه در کشور و استان فارس را نشان می دهد.



شکل 1: موقعیت محدوده مورد مطالعه در استان فارس و کشور

## ساختار مدل SFB<sup>1</sup>

مدل SFB رابطه ای ساده از بیلان آبی است که در واقع با اصلاحاتی روی مدل بوتون بدست آمده است. سه پارامتر در مدل مورد استفاده قرار گرفته که شامل ظرفیت ذخیره سطحی (S)، میزان نفوذپذیر آب F و فاکتور دبی پایه (Qb) می باشند. این مدل دو نوع ذخیره رطوبت (شامل ذخیره سطحی و زیرزمینی) را با یکدیگر ترکیب میکند. ذخیره سطحی نشان دهنده رطوبت روی اندامهای گیاهی (برگاب) و زهکشی لایه فوقانی خاک میباشد که از مدل بوتون اقتباس گردیده است. ذخیره زیرزمینی رطوبت (شامل آب ذخیره شده در سفره های زیرزمینی) نیز از مدل بوتون اقتباس شده است.

این مدل میتواند جهت برآورد مقدار دبی در حوضه های دارای آمار و یا فاقد اندازه گیری مورد استفاده قرار گرفته و داده های بارندگی روزانه و تبخیر و تعرق پتانسیل را تجزیه و تحلیل نماید. شکل (2) ساختار مدل SFB را نشان میدهد.

برنامه مدل SFB به شش شاخه تقسیم میگردد که هر شاخه تابعی مختلف از مدل را محاسبه میکند، بخشهای ششگانه برنامه عبارتند از:

- 1- تابع رطوبت: این تابع نشان دهنده افزایش مجدد رطوبت لایه فوقانی خاک بوسیله بارندگی روزانه میباشد.
- 2- تابع رواناب سطحی: این تابع سطحی روزانه را محاسبه میکند. اگر ذخیره آب لایه فوقانی خاک بیشتر از نصف ظرفیت باشد، جریان آب به سمت ذخیره زهکشی افزایش میابد (تا هنگامیکه این مقدار به نصف ظرفیت ذخیره سطحی تقلیل پیدا کند). وقتی حجم آب در قسمت ذخیره زهکشی میابد، مقدار رواناب سطحی با معادله زیر تعیین میگردد.

$$Q = P - F * \text{TANH}(P/F)$$

Q: رواناب سطحی

P: بارندگی روزانه

F: مقدار نفوذپذیری آب

- 3- تابع دبی پایه: این دبی پایه روزانه حوضه آبریز را محاسبه میکند. این مقدار 0/5 درصد ذخیره خاک تحت الارض بوده و با ضریب دبی پایه محاسبه میشود. دبی پایه فقط هنگامی اتفاق می افتد که بخش ذخیره خاک تحت الارض از یک مقدار ویژه بیشتر شود این مقدار 25/4 میلیمتر آب میباشد وقتی که بخش ذخیره تحت الارضی از مقدار ویژه فوق بیشتر باشد، مقداری از تخلیه روزانه، دبی پایه نامیده میشود که از صفر تا صد در صد متغیر است (بستگی به انتخاب ضریب دبی پایه دارد).

- 4- تابع رواناب کل: این شاخه، مجموع رواناب سطحی و بخش دبی پایه را بصورت مقدار رواناب روزانه کل نشان میدهد.

- 5- تابع خشکی: این شاخه، مقدار تلفات تبخیر و تعرق را محاسبه میکند، مقدار تلفات تبخیر و تعرق، حد بالایی بنام

تبخیر و تعرق پتانسیل دارد که قابل اندازه گیری است.

ذخیره رطوبت لایه فوقانی (US) به صورت روزانه از دسترس خارج میشود که مقدار آن با AET نمایش داده میشود هنگامی که ذخیره رطوبت لایه فوقانی از 50٪ ظرفیت ذخیره سطحی خاک (S) بیشتر باشد، مقدار AET معادل تبخیر و تعرق پتانسیل خواهد بود، اما شرایطی که 50٪ S US باشد، مقدار تبخیر و تعرق روزانه با فرمول زیر محاسبه میشود:

$$AET = 8.9 * US / (0.5 * S)$$

1- (Area Water Balance Model)

AET : تلفات تبخیر و تعرق (mm)

US : ظرفیت ذخیره لایه فوقانی خاک (mm)

S: ظرفیت ذخیره سطحی خاک (mm)

6- تابع زهکشی لایه زیرین خاک: این قسمت ذخیره لایه زیرین خاک و میزان ذخیره زهکشی را محاسبه میکند. روند کاربرد توابع مدل و معادلات مربوطه به شرح ذیل است: ابتدا لایه فوقانی خاک بوسیله بارندگی روزانه مرطوب شده و ذخیره فوقانی (US) را تشکیل میدهد. معادله (1-1) اگر مقدار این ذخیره از نصف ذخیره سطحی (S) تجاوز کند Pexees نامیده میشود، بنابراین اگر ذخیره زهکشی از مقدار  $0.50S$  بیشتر باشد، مقدار اضافی با معادله (1-2) محاسبه شده و در تعیین رواناب سطحی معادله (1-3) بکار میرود. اگر ذخیره خاک تحتانی (SS) از یک رانچ (25/4 میلیمتر) بیشتر باشد، تخلیه روزانه به میزان  $0/005$  رطوبت باقیمانده خاک میباشد.

$$US = USTP \quad 1-1$$

$$Pexees = DR - 0.5 * S \quad 1-2$$

$$QS = Pexees - F * \tanh(pexees/f) \quad 1-3$$

$$Qb = 0.005 * (55 - 25.4) * B \quad 1-4$$

جدول (1) مشخصات زیر حوضه های مورد مطالعه در استان فارس

| مساحت  | مختصات جغرافیایی |               | کد ایستگاه آب سنجی | نام ایستگاه آب سنجی | حوضه کل<br>نام وحدود زیر حوضه   | حوضه های درجه دو |
|--------|------------------|---------------|--------------------|---------------------|---|------------------|
|        | عرض جغرافیایی    | طول جغرافیایی |                    |                     |   |                  |
| 1365.9 | 28.3             | 54.5          | 45210              | خسویه- فارس         | رودخانه شورداراب از محل خروجی دشت خسویه تاخروجی دشت داراب                       | کل               |
| 143.2  | 28.8             | 54.5          | 45112              | گلوتنگ- فارس        | رودخانه رودبال ازورود به دشت داراب (ایستگاه هیدرومتری گوزون) تاخروجی دشت انجیرک |                  |

|        |      |      |       |                    |  |        |
|--------|------|------|-------|--------------------|--|--------|
| 162.9  | 52.8 | 29.9 | 41214 | دشت بال-<br>فارس   | رودخانه سیوند از محل تلاقی باکر تا محل ورود به دشت مرودشت ( محل آبادی دشت بال )          | مهارلو |
| 307.0  | 52.0 | 30.6 | 41112 | تنگ براق-<br>فارس  | رودخانه کر از بالادست تلاقی رودخانه شور و شیرین تا پایین دست تلاقی رودخانه سفید          |        |
| 725.1  | 52.7 | 28.7 | 43311 | تنگ آب-<br>فارس    | رودخانه شور فیروزآباد از محل تنگ عرب تا ورودی دشت فیروزآباد (ایستگاه تنگاب)              | مند    |
| 2208.8 | 53.1 | 28.4 | 43121 | تنگ<br>کارزین-فارس | رودخانه مند از خروجی دشت کارزین تا پایین دست تلاقی شور جهرم باستثناء رودخانه مبارک آباد  |        |
| 743.3  | 51.3 | 30.3 | 36119 | باتون-فارس         | رودخانه فهلیان از تلاقی با رودخانه شیو تا بالادست تلاقی رودخانه دروغ زن (نور آباد ممسنی) | زهره   |
| 966.1  | 52.0 | 30.0 | 36110 | تنگ آب<br>سرد-فارس | رودخانه شش پیر   |        |

### پارامترهای مدل SFB

سه پارامتر مدل عبارتند از :

1- نفوذپذیری روزانه (F)

2- ظرفیت ذخیره سطحی (S)

3- بده پایه (BFI)

به طور خلاصه ضرایب ثابت استفاده شده در مدلها که به طریقی میتواند به پروژه های فیزیکی و ظرفیت ها در حرف مرتبط شود پارامترهای مدل را تشکیل میدهند. این پارامترها میتوانند برای هر حوضه یک مقدار عددی خاص آن حرفه را به خود بگیرند، دلیل این امر هم وجود خصوصیات مختلف فیزیکی در هر حوضه میباشد. چنانچه این پارامترها در حالت ایده آل بتوانند از خصوصیات فیزیکی حوضه اندازه گیری شوند در آن صورت بدون اندازه گیری دراز مدت پارامترهای هیدرولوژیکی ، رفتار حرفه قابل شبیه سازی خواهد بود به عنوان مثال پارامتر مربوط به نفوذ (F) میتواند از آزمایشات نفوذپذیری بدست آید (روش استوانه مضاعف) و مقدار آن در مدل مورد استفاده واقع شود. البته در عمل به دلیل ضعف ساختمان مدل ها و لمپ یا غیر خطی بودن ، اندازه گیری برخی پارامترها همین مسأله دشوار تلقی شده و نتایج خوبی ارائه نمیدهد. بنابراین پارامترهای مدل اجباراً از روی اندازه گیری انجام شده یا با استفاده از روشهای ارزیابی دستی (سعی و خطا) و یا به صورت کامپیوتری

(اتوماتیک) تخمین زده میشود. روش دستی بر آورد پارامترها، شامل محاسبات ساده ومبتنی بر سعی و خطا بوده و در مواردی که اعداد بزرگ باشند با مشکلاتی مواجه میشود. در روش اتوماتیک، به کمک روش های بهینه سازی پارامترها(روش نزولی، اتفاقی و جستجوی مستقیم) مقادیر بهینه پارامترها بدست می آید.

### مقادیر اولیه پارامترهای مدل SFB

هدف از کالیبراسیون مدل کم کردن اختلاف میان مشاهدات و خروجی های پیش بینی شده میباشد و این عمل به واسطه دقت در اندازه گیری و بهینه سازی حاصل میشود. برای آغاز کالیبراسیون لازم است که مقادیر اولیه پارامترها به صورت معقولی تخمین زده شود زیرا چنانچه تخمین پارامترها دور از مقدار واقعی باشند ، بدلیل متقابل آنها و نتایج مجازی پارامترهای کالیبره شده، اعداد حاصله به سمت پارامترهای واقعی سوق پیدا نمیکند. این مقادیر را میتوان بر مبنای توصیه بوتون 19841 و ناتان و مک من 1990 انتخاب نمود (جدول 2) .

مهمترین پارامتر مدل، ذخیره سطحی (S) میباشد که فاکتور تعیین کننده آن پوشش گیاهی حوضه آبخیز میباشد که طبق پیشنهاد بوتون بین 10 تا 140 در اراضی بایر تا جنگلی متراکم متغیر است.

ظرفیت نفوذپذیری روزانه (F) به وضعیت خاک بستگی دارد که در جدول 1-2 مقادیر اولیه این پارامتر از 0/5 تا 7 میلیمتر در روز در اراضی بایر تا جنگلی بسیار متراکم متغیر است.

خصوصیات جریان آب، عمدتاً با فاکتور دبی پایه (Qb) سنجیده میشود. برای رودخانه های دائمی که در بیش از 75 درصد اوقات جریان آب در رودخانه وجود دارد مقدار  $Qb=1$  در نظر گرفته شده و برای جریانهای موقتی آب در مسیلها، مقدار Qb نزدیک به صفر برآورد میشود. در اولین مورد ارای مدل، مقادیر SS,US برابر صفر اختیار میشوند(فرض بر این دست که حوضه آبخیز خشک است).

### داده های مورد نیاز مدل SFB

برای بکارگیری این مدل باید از داده های بارش روزانه ، رواناب روزانه و تبخیر ماهانه در هر حوضه استفاده کرد. پس از انتخاب ایستگاه های مورد نظر سال های آماری بارش ، تبخیر و رواناب همزمان می شود . در این مرحله فایل های ورودی داده ها برای استفاده در مدل آماده و یک فایل که 4 داده بارش روزانه ، تبخیر ماهانه ، رواناب روزانه و رواناب ماهانه را داراست ، ساخته می شود

جدول 2: مقادیر اولیه پیشنهادی بوتون برای پارامترهای مدل SFB

| ظرفیت ذخیره سطحی | ظرفیت نفوذپذیری روزانه | بده پایه |
|------------------|------------------------|----------|
| S(mm)            | F (mm/day)             | BFI      |

| B    | خصوصیات دبی                   | F   | نوع خاک                         | S   | پوشش سطحی                               |
|------|-------------------------------|-----|---------------------------------|-----|---|
| 1    | جریان دائمی (بیش از 75٪ زمان) | 7   | خاک عمیق و مرطوب (بافت یکنواخت) | 140 | پوشش جنگلی بسیار متراکم                 |
| 0/75 | جریان آب در 55 تا 75٪ زمان    | 5   | خاک لوم شنی                     | 100 | پوشش عمدتاً جنگلی و مراتع و مزارع محدود |
| 0/5  | جریان آب در 40 تا 55٪ زمان    | 3   | خاک لوم رسی و رس سله بسته       | 70  | علفزار یا مزرعه آماده برداشت محصول      |
| 0/25 | جریان بین 20 تا 40٪ زمان      | 1   | خاک رسی متراکم و کم عمق         | 50  | مزرعه آیش                               |
| 0/0  | جریان موقتی                   | 0/5 | اراضی لحت                       | 10  | اراضی بایر با کمتر از 10٪ پوشش          |

#### داده های ورودی مدل

داده های خام برای ورود به مدل باید پردازش شده و مطابق فرمت های ذیل آماده شوند.

#### محاسبه بده ویژه

دبی ویژه میزان ارتفاع رواناب به میلیمتر می باشد که برای هر روز در تمامی ایستگاه های محدوده مورد مطالعه محاسبه گردید. برای محاسبه دبی ویژه از رابطه زیر استفاده گردید.

$$\text{دبی ویژه} = \frac{86/4Q}{A}$$

که در آن

Q: دبی روزانه به  $\text{m}^3/\text{sec}$

A: مساحت حوضه بالادست به  $\text{Km}^2$

#### منطقه ای نمودن آمار بارش برای هر واحد کاری با روش Tpss

TPSS، که نوعی تابع spline است، عبارت است از صفحه نازک قابل ارتجاعی که از نقاط داده، با جهش های عمودی عبور می کند. برای بدست آوردن تابع کلی TPSS و به جهت داشتن بهترین تطابق منحنی با نقاط، معادله زیر باید حداقل گردد:



$$\frac{\sum_{i=1}^n [y_i - F(x_i / y_j)]^2}{n\sigma^2} + \int_0^1 F''(x/y)^2 dx$$

که در آن :

$y_i$ : مقدار مشاهده شده متغیر مورد نظر در نقطه  $i$ ام،

$F(x_i / y_j)$ : مقدار تابع (معادله صفحه) در نقاط مشاهده شده ،

$n$ : تعداد داده ها ،

$\sigma^2$ : واریانس داده ها ،

$F''(x/y)$ : مشتق دوم تابع  $F(x_i, y_j)$ ،

$\emptyset$ : پارامتر Smoothing ، که عدد مثبتی است.

معمولاً  $n \cdot \sigma^2$  با  $\theta$  جایگزین شده و تابع حاصله را حداقل می کنند. در این معادله ، عبارت اول تفاوت بین نقاط مشاهده ای و مقدار تابع در همان نقاط می باشد، عبارت دوم بیانگر میزان smoothing بوده و تغییرات شیب صفحه را محاسبه میکند. منطقه ای کردن بارش در هر واحد کاری و بر اساس روش فوق که یک روش زمین آماری می باشد، انجام گرفت. و برای ایستگاه های واقع در هر واحد کاری به هر تعداد مورد استفاده قرار گرفت.

### 3-3- تهیه و تدوین آمار تبخیر روزانه

بدلیل نیاز به آمار تبخیر روزانه ، اقدام به جمع آوری آمار تبخیر روزانه ایستگاههای تبخیر سنجی وزارت نیرو ( تمام ) در محدوده مورد مطالعه گردید. مراحل طی شده برای تهیه آمار بارش در مورد آمار تبخیر نیز انجام گرفت تا این آمار آماده برای بهره برداری در فایل های ورودی مدل ها گردد.

### نتایج و بحث

با استفاده از فایل های ورودی مدل که با فرمت مورد نظر مدل آماده گردیده بود. عملیات کالیبراسیون مدل در کلیه ایستگاه ها و حوضه های مورد نظر انجام گرفت که نتایج آن بر حسب حوضه های آبریز درجه 2 به شرح زیر می باشد.

جدول 3: پارامترهای بهینه شده مدل SFB در حوضه آبریز کل

| مقادیر بهینه شده پارامترها |    |      |       |       | سال شروع<br>کالیبراسیون | تعداد سال<br>آماري | کد<br>ایستگاه | نام ایستگاه  | کد<br>زیر حوضه |
|----------------------------|----|------|-------|-------|-------------------------|--------------------|---------------|--------------|----------------|
| SS                         | US | B    | F     | S     |                         |                    |               |              |                |
| ۰                          | ۰  | ۰/۲  | ۲۴    | ۵۲    | ۱۳۴۸                    | ۳۰                 | ۴۵۲۱۰         | خسویه-فارس   | ۲۷۱۶۴          |
| ۰                          | ۰  | ۱    | ۶/۶۸  | ۵۱/۴  | ۱۳۴۸                    | ۱۳                 | ۴۵۱۱۲         | گلو تنگ-فارس | ۲۷۱۶۵۳         |
| ۰                          | ۰  | ۰/۸۴ | ۱۸/۵۱ | ۴۶/۳۸ | ۱۳۴۶                    | ۳۲                 | ۴۵۱۱۳         | گوزون-فارس   |                |
| ۰                          | ۰  | ۰/۴۳ | ۳۰/۸  | ۵۵/۹  | ۱۳۴۹                    | ۱۶                 | ۴۵۱۱۰         | پهناوه-فارس  | ۴۴۲۴۲۲         |

جدول 4: نتایج ران مدل SFB در حوضه آبریز کل

| ضریب<br>همبستگی (r) | مجموع مربعات<br>خطا (SSQ) | حجم بده<br>(مترمکعب) |               | سال شروع<br>کالیبراسیون | تعداد سال<br>آماري | کد<br>ایستگاه | نام ایستگاه  | کد<br>زیر حوضه |
|---------------------|---------------------------|----------------------|---------------|-------------------------|--------------------|---------------|--------------|----------------|
|                     |                           | بده برآوردی          | بده مشاهده ای |                         |                    |               |              |                |
| ۰/۶۴                | ۲۲۷۲                      | ۳۲۳                  | ۳۷۰           | ۱۳۴۸                    | ۳۰                 | ۴۵۲۱۰         | خسویه-فارس   | ۲۷۱۶۴          |
| ۰/۶۶                | ۱۲۷۵۲                     | ۷۵                   | ۸۷            | ۱۳۴۸                    | ۱۳                 | ۴۵۱۱۲         | گلو تنگ-فارس | ۲۷۱۶۵۳         |
| ۰/۴۵                | ۳۴۵/۷۴                    | ۱۱۶۴                 | ۱۴۰۴          | ۱۳۴۶                    | ۳۲                 | ۴۵۱۱۳         | گوزون-فارس   |                |
| ۰/۵۶                | ۲۶۸                       | ۸۶۵                  | ۹۸۸           | ۱۳۴۹                    | ۱۶                 | ۴۵۱۱۰         | پهناوه-فارس  | ۴۴۲۴۲۲         |

جدول 5: پارامترهای بهینه شده مدل SFB در حوضه آبریز مهارلو

| مقادیر بهینه شده پارامترها |    |      |      |       | سال شروع<br>کالیبراسیون | تعداد سال<br>آماري | کد<br>ایستگاه | نام ایستگاه   | کد<br>زیر حوضه |
|----------------------------|----|------|------|-------|-------------------------|--------------------|---------------|---------------|----------------|
| SS                         | US | B    | F    | S     |                         |                    |               |               |                |
| ۰                          | ۰  | ۰/۹۹ | ۹/۹۹ | ۶۵    | ۱۳۴۹                    | ۹                  | ۴۱۳۱۲         | پل خان-فارس   | ۴۳۱۳۱۱         |
| ۰                          | ۰  | ۵/۹۹ | ۳۴/۵ | ۸۰/۲  | ۱۳۴۹                    | ۱۳                 | ۴۱۳۱۴         | دشت بال-فارس  | ۴۳۱۳۲۱         |
| ۰                          | ۰  | ۰/۷۱ | ۲۸/۶ | ۵۷/۴۹ | ۱۳۴۶                    | ۳۵                 | ۴۱۱۱۸         | چمریز-فارس    | ۴۳۱۳۴۲         |
| ۰                          | ۰  | ۱    | ۶/۹۸ | ۸۱/۹۷ | ۱۳۵۳                    | ۸                  | ۴۱۱۱۶         | جمال بیگ-فارس | ۴۳۱۳۵۱         |
| ۰                          | ۰  | ۰/۵۵ | ۳۲/۸ | ۹۴/۸  | ۱۳۴۸                    | 10 ۱۶              | ۴۱۱۱۲         | تنگ براق-فارس | ۴۳۱۳۵۲         |

جدول 6: نتایج ران مدل SFB در حوضه آبریز مهارلو

| ضریب همبستگی (r) | مجموع مربعات خطا (SSQ) | حجم بده (مترمکعب) |               | سال شروع کالیبراسیون | تعداد سال آماری | کد ایستگاه | نام ایستگاه   | کد زیر حوضه |
|------------------|------------------------|-------------------|---------------|----------------------|-----------------|------------|---------------|-------------|
|                  |                        | بده برآوردی       | بده مشاهده ای |                      |                 |            |               |             |
| ۰/۹۰             | ۵۲۸۱                   | ۷۷۸               | ۸۸۲           | ۱۳۴۹                 | ۹               | ۴۱۳۱۲      | پل خان-فارس   | ۴۳۱۳۱۱      |
| ۰/۶۳             | ۵۰۳                    | ۱۴۷               | ۱۸۱           | ۱۳۴۹                 | ۱۳              | ۴۱۳۱۴      | دشت بال-فارس  | ۴۳۱۳۲۱      |
| ۰/۷۳             | ۸۹۹۲۸                  | ۴۶۳۳              | ۴۶۲۹          | ۱۳۴۶                 | ۳۵              | ۴۱۱۱۸      | چمریز-فارس    | ۴۳۱۳۴۲      |
| ۰/۷۷             | ۱۲۷۴۲۷                 | ۲۶۸۷              | ۲۶۲۲          | ۱۳۵۳                 | ۸               | ۴۱۱۱۶      | جمال بیگ-فارس | ۴۳۱۳۵۱      |
| ۰/۷۷             | ۲۱۶۰۳                  | ۲۴۳۰              | ۲۶۶۱          | ۱۳۴۸                 | ۱۶              | ۴۱۱۱۲      | تنگ براق-فارس | ۴۳۱۳۵۲      |

جدول 7: پارامترهای بهینه شده مدل SFB در حوضه آبریز مند

| مقادیر بهینه شده پارامترها |    |      |       |       | سال شروع کالیبراسیون | تعداد سال آماری | کد ایستگاه | نام ایستگاه       | کد زیر حوضه |
|----------------------------|----|------|-------|-------|----------------------|-----------------|------------|-------------------|-------------|
| SS                         | US | B    | F     | S     |                      |                 |            |                   |             |
| ۰                          | ۰  | ۰/۴۱ | ۱۳/۶۸ | ۵۲/۷  | ۱۳۴۸                 | ۲۱              | ۴۳۳۱۱      | تنگ آب-فارس       | ۲۶۱۳۴       |
| ۰                          | ۰  | ۰/۲۹ | ۱۱/۴  | ۶۱    | ۱۳۴۹                 | ۲۱              | ۴۳۱۲۱      | تنگ کارزین-فارس   | ۲۶۱۵۳       |
| ۰                          | ۰  | ۰/۰۳ | ۱۷/۳۷ | ۵۸/۲  | ۱۳۵۳                 | ۱۳              | ۴۳۱۱۷      | پل قطب آباد-فارس  | ۲۶۱۶۳       |
| ۰                          | ۰  | ۰    | ۱۶/۳۶ | ۷۰/۳۶ | ۱۳۵۳                 | ۱۰              | ۴۳۱۱۶      | تمثیر-فارس        | ۲۶۱۶۴       |
| ۰                          | ۰  | ۰/۴  | ۳۱/۹۲ | ۸۳/۹۱ | ۱۳۴۶                 | ۲۳              | ۴۳۱۱۲      | علی آباد خفر-فارس | ۲۶۱۷۳       |
| ۰                          | ۰  | ۰/۸۲ | ۹     | ۶۳/۵  | ۱۳۴۸                 | ۲۴              | ۴۳۱۱۱      | بند بهن-فارس      | ۲۶۱۷۴       |
| ۰                          | ۰  | ۰/۲۹ | ۳۱/۶۶ | ۵۰    | ۱۳۵۳                 | ۱۵              | ۴۳۱۱۳      | براک-فارس         | ۲۶۱۷۱۱      |

اولین کنفرانس بین المللی بحران آب 20-22 اسفندماه 1387 - دانشگاه زابل

جدول 8: نتایج ران مدل SFB در حوضه آبریز مند

| ضریب همبستگی (r) | مجموع مربعات خطا (SSQ) | حجم بده (مترمکعب) |               | سال شروع کالیبراسیون | تعداد سال آماری | کد ایستگاه | نام ایستگاه       | کد زیر حوضه |
|------------------|------------------------|-------------------|---------------|----------------------|-----------------|------------|-------------------|-------------|
|                  |                        | بده برآوردی       | بده مشاهده ای |                      |                 |            |                   |             |
| ۰/۶۸             | ۲۱۹۰۸                  | ۱۱۶۷              | ۱۳۲۱          | ۱۳۴۸                 | ۲۱              | ۴۳۳۱۱      | تنگ آب-فارس       | ۲۶۱۳۴       |
| ۰/۶۲             | ۶۵۸۵                   | ۷۷۱               | ۷۹۴           | ۱۳۴۹                 | ۲۱              | ۴۳۱۲۱      | تنگ کارزین-فارس   | ۲۶۱۵۳       |
| ۰/۹۴             | ۳۹/۱۱                  | ۴۶                | ۴۷            | ۱۳۵۳                 | ۱۳              | ۴۳۱۱۷      | پل قطب آباد-فارس  | ۲۶۱۶۳       |
| ۰/۶۳             | ۳۹                     | ۱۵                | ۱۷            | ۱۳۵۳                 | ۱۰              | ۴۳۱۱۶      | تمثیر-فارس        | ۲۶۱۶۴       |
| ۰/۵۸             | ۵۶۸                    | ۱۶۷۸              | ۱۶۸۷          | ۱۳۴۶                 | ۲۳              | ۴۳۱۱۲      | علی آباد خفر-فارس | ۲۶۱۷۳       |
| ۰/۶۸             | ۹۶۴۳۱                  | ۳۰۵۳              | ۲۹۵۰          | ۱۳۴۸                 | ۲۴              | ۴۳۱۱۱      | بند بهن-فارس      | ۲۶۱۷۴       |
| ۰/۶۸             | ۲۵۸۹                   | ۰/۸۱۳             | ۸۹۴           | ۱۳۵۳                 | ۱۵              | ۴۳۱۱۳      | براک-فارس         | ۲۶۱۷۱۱      |

جدول 9: پارامترهای بهینه شده مدل SFB در حوضه آبریز زهره

| مقادیر بهینه شده پارامترها |    |     |      |      | سال شروع کالیبراسیون | تعداد سال آماری | کد ایستگاه | نام ایستگاه     | کد زیر حوضه |
|----------------------------|----|-----|------|------|----------------------|-----------------|------------|-----------------|-------------|
| SS                         | US | B   | F    | S    |                      |                 |            |                 |             |
| ۰                          | ۰  | ۱   | ۶    | ۲۹   | ۱۳۴۶                 | ۳۵              | ۳۶۱۱۷      | تنگ بریم-فارس   | ۲۴۲۲۴       |
| ۰                          | ۰  | ۱   | ۵/۹۹ | ۲۹   | ۱۳۴۶                 | ۳۵              | ۳۶۱۱۷      | تنگ بریم-فارس   | ۲۴۲۵۲       |
| ۰                          | ۰  | ۰   | ۱۲   | ۹۲   | ۱۳۵۱                 | ۲۰              | ۳۶۱۱۵      | پل فهلیان-فارس  | ۲۴۲۶۲       |
| ۰                          | ۰  | ۰/۷ | ۲۰/۱ | ۴۳/۳ | ۱۳۴۸                 | ۳۰              | ۳۶۱۱۳      | کوسنگان-فارس    | ۲۴۲۶۴       |
| ۰                          | ۰  | ۱   | ۵/۹  | ۱۹۹  | ۱۳۵۶                 | ۹               | ۳۶۱۱۰      | تنگ اب سرد-فارس | ۲۴۲۶۶       |

جدول (10) نتایج ران مدل SFB در حوضه آبریز زهره

| ضریب همبستگی (r) | مجموع مربعات خطا (SSQ) | حجم بده (مترمکعب) |               | سال شروع کالیبراسیون | تعداد سال آماری | کد ایستگاه | نام ایستگاه     | کد زیر حوضه |
|------------------|------------------------|-------------------|---------------|----------------------|-----------------|------------|-----------------|-------------|
|                  |                        | بده برآوردی       | بده مشاهده ای |                      |                 |            |                 |             |
| ۰/۷۵             | ۱۴۴۶۰۵۶                | ۱۵۰۸۳             | ۱۵۳۶۸         | ۱۳۴۶                 | ۳۵              | ۳۶۱۱۷      | تنگ بریم-فارس   | ۲۴۲۲۴       |
| ۰/۷۵             | ۱۴۴۰۶۵                 | ۱۵۰۸۳             | ۱۵۳۶۸         | ۱۳۴۶                 | ۳۵              | ۳۶۱۱۷      | تنگ بریم-فارس   | ۲۴۲۵۲       |
| ۰/۷۹             | ۱۴۳۴۵۴                 | ۳۳۸۵              | ۳۳۸۷          | ۱۳۵۱                 | ۲۰              | ۳۶۱۱۵      | پل فهلیان-فارس  | ۲۴۲۶۲       |
| ۰/۷۹             | ۱۱۴۶۲۵                 | ۵۸۸۷              | ۵۸۴۷          | ۱۳۴۸                 | ۳۰              | ۳۶۱۱۳      | کوسنگان-فارس    | ۲۴۲۶۴       |
| ۰/۷۹             | ۱۹۴۹۴۹                 | ۳۶۷۲              | ۳۹۶۳          | 12۳۵۶                | ۹               | ۳۶۱۱۰      | تنگ اب سرد-فارس | ۲۴۲۶۶       |

در مجموع با مقایسه عملکرد مدل در محدوده های مورد مطالعه، می توان نتیجه گرفت که مدل مذکور عملکرد قابل قبولی در شرایط خشک و نیمه خشک محدوده مورد مطالعه که در مقیاس وسیع نشان دهنده اقلیم قسمت وسیعی از کشور ما می باشد، دارد. بنابراین می توان بدلیل سادگی مدل، تعدا دکم پارامترهای مورد نیاز و در دسترس بودن داده های ورودی مدل در اکثر نقاط کشور، مدل مذکور را توصیه نمود. لازم به ذکر است که در اقلیم مرطوب و نیمه مرطوب عملکرد مدل مذکور نیاز به بررسی و مطالعه دارد و به استناد نتایج بدست آمده از مطالعه توصیه نمی گردد.

#### منابع

- 1) افشار، ع، 1364. هیدرولوژی مهندسی، چاپ مرکز نشر دانشگاهی، 459 ص.
- 2) سنائی نیا، غ، 1379، ارزیابی مدل شبیه سازی AWBM (بارش- رواناب)، پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری زهکشی، دانشگاه آزاد اسلامی (واحد علوم تحقیقات)، 145 ص.
- 3) گوهری، ا، 1377، ارزیابی مدل SFB در حوضه های آبخیز غرب ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، مرکز آموزش امام خمینی، 123 ص.
- 4) نام درست، ج، 1380. شبیه سازی اثر پارامترهای هیدرولوژیکی بر روی رواناب خروجی در برخی حوضه های آبخیز ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، 146 ص.
- 5) Arnbjerg - Nielsen, K., and Harremoes, 1995: "Prediction of Hydrological Reduction Factor and Initial Loss in Urban Surface Runoff from Small Ungaged Catchments", Atmospheric Research, 42: 137-147.
- 6) Lang , J, A. P., Schick and ,C.Leibundgut, 1999: "A Noncalibrated Rainfall-Runoff Model for Large, Arid Catchments", Water Resource Research , 35(7) : 2126-2177.
- 7) Sharifi, F., 1997 : "Evaluation of Three Continuous Rainfall-Runoff Models, A New Approach", Proceeding of the 8<sup>th</sup>International Conference on Rainwater Catchments Systems, 416-432.
- 8) Sharifi , F., and M. J Boyd.,1994:"A Comparision of the SFB and AWBM Rainfall-Runoff Models", 25<sup>th</sup> Congress of The International Assosiation of Hydrologeologists/ International Hydrology & Water Resources Symposium of The Insitution of Engineers, Australia . ADELAIDE . 21-25 November, pp:491- 495 .