زمان برگزاری: آذرماه ۱۴۰۱
کنفرانس ملی روش‌های کاربردی حل مسائل فنی بیلان آب کشور
National Conference on Applied Solutions
for Technical Issues in Water Balance Estimation

تدقیق پارامترهای بیلان هیدروکلیماتولوژی با استفاده از سری ماهانه آمار دما و باران

صالح محمدی*، کارشناس دفتر مطالعات پایه منابع آب گلستان salehmohammady@yahoo.com
حسن نقوی، کارشناس دفتر مطالعات پایه منابع آب گیلان naghavi54@yahoo.com
حسین دهقان، مدیر دفتر مطالعات پایه منابع آب گلستان

چکیده

در مطالعات بیلان منابع آب محاسبه میزان تبخیر- تعرق واقعی و بارندگی مفید جزء پارامترهای مهم می باشد برای محاسبه آنها از روشهای همچون روش لایسیمتری استفاده می گردد، بطوریکه در سطح یک حوضه استفاده از این روشها با محدودیتهای مواجه است بهمین منظور استفاده از روشهای بیلان هیدروکلیماتولوژی مثل روش تورنت وایت در دنیا با استقبال بیشتری مواجه است، در سطح کشور نیز در مطالعات بیلان برای محاسبه این پارامترها از روش تورنت وایت با فرضیات ساده شده روابط آب و خاک استفاده می گردد بطوریکه مباحث مربوط به ذوب برف، و افزایش تنش رطوبتی با کاهش ذخیره رطوبتی خاک در نظر گرفته نمی شود و از متوسط آمار درازمدت داده ها استفاده می گردد. در این تحقیق با استفاده از روش تورنت وایت و مازر ۱۹۵۵ برای دادههای ماهانه ۱۹ ایستگاه تبخیرسنجی دشت و ارتفاعات استان گلستان با در نظر گرفتن ذوب برف و تنش رطوبتی خاک(محدودیت در جذب رطوبت خاک)، میزان تبخیر-تعرق واقعی و بارندگی مفید محاسبه گردید. نتایج نشان داد اگر هر دو پارامتر دما و باران به صورت متوسط درازمدت در محاسبات استفاده شود سهم تبخیر-تعرق واقعی از بارش بطور میانگین ۴ درصد بیشتر از حالتی است که این دو پارامتر به صورت سری ماهانه در محاسبات لحاظ می شود.

واژه‌های کلیدی: بیلان هیدروکلیماتولوژی، تبخیر-تعرق واقعی، تورنت وایت، ذوب برف

۱. مقدمه

تعیین اجزاء مختلف بیلان آب در بررسی فرآیندهای هیدرولوژیکی در سطح یک حوزه آبریز و یا محدوده مطالعاتی اهمیت فراوانی دارد زیرا مدیریت منابع آب براساس نتایج این گونه مطالعات صورت می گیرد بهمین سبب لازم است کلیه اجزاء و مولفه های بیلان با دقت مناسبی تعیین گردد(۱). در مطالعات بیلان منابع آب محاسبه میزان تبخیر-تعرق واقعی و بارندگی مفید(میزان رواناب و نفوذ از بارش) جزء پارامترهای مهم می باشد برای محاسبه این پارامترها از روشهای مختلفی استفاده می گردد، روش لایسیمتری در سطح مزرعه برای تعیین میزان تبخیر و تعرق واقعی و نفوذ مورد استفاده قرار می گیرد و امروزه کاربردی ترین روش برای اندازه گیری تبخیر-تعرق واقعی استفاده از روش های سنجش از دور و تصاویر ماهواره ای است. تصاویر برخی از ماهواره ها از دقت زمانی و برخی دیگر از دقت مکانی خوب برخوردارند. لذا با ترکیب و تلفیق این تصاویر و استفاده از روش های ریز مقیاس سازی و کاربرد مدل ها و الگوریتم های توازن انرژی در سطح زمین مانند الگوریتم سیبال این امکان وجود دارد که تبخیر-تعرق از سطح یک حوضه را بصورت واقعی اندازه گیری کرد. از انجایی که بدست آوردن تبخیر-تعرق واقعی کاری بسیار مشکل می باشد در هیدرولوژی معمولا تبخیر-تعرق پتانسیل بعنوان نمایه توان تبخیری محل بکار برده میشود(۲) در اکثر مطالعات از روشهای بیلان هیدروکلیماتولوژی در سطح حوزه های آبریز و محدوده های مطالعاتی استفاده می گردد که در این میان روش تورنت وایت جزء روشهای است که بطور وسیع در سطح دنیا مورد استفاده قرار دارد و مقبولیت خوبی نیز دارد. در سطح کشور نیز در مطالعات بیلان برای محاسبه این پارامترها از روش تورنت وایت با فرضیات ساده شده روابط آب و خاک استفاده می گردد بطوریکه مباحث مربوط به ذوب برف، و افزایش تنش رطوبتی با کاهش ذخیره رطوبتی خاک در نظر گرفته نمی شود و فرض می شود که رطوبت خاک بدون هیچ محدودیتی در اختیار گیاه و یا تبخیر-تعرق قرار گیرد، و از متوسط آمار درازمدت دادهها استفاده می گردد. در این مطالعه ابتدا روش تورنت وایت و مازر(۱۹۵۵) ارائه خواهد شد، در این روش، ذخیره و ذوب برف به صورت تابعی از دما در نظر گرفته شده است و رطوبت خاک به صورت تابعی از میزان بارش و تبخیر وتعرق پتانسیل لحاظ شده است. در این تحقیق تاثیر اعمال ذخیره و ذوب برف، اعمال محدودیت در جذب رطوبت خاک و تاثیر استفاده از داده های سری ماهانه درازمدت بجای دادههای متوسط ماهانه در برآورد تبخیر-تعرق واقعی ایستگاههای مختلف واقع در دشت و ارتفاعات بررسی خواهد شد، ابتدا با استفاده از روش تورنت وایت و مازر(۱۹۵۵) میزان تبخیر- تعرق حالتهای مختلف محاسبه و با روش معمول که فاقد ذوب برف است و تخلیه رطوبت خاک بدون هیچ محدودیتی در اختیار تبخیر و تعرق قرار داده می شود، مقایسه می گردد.

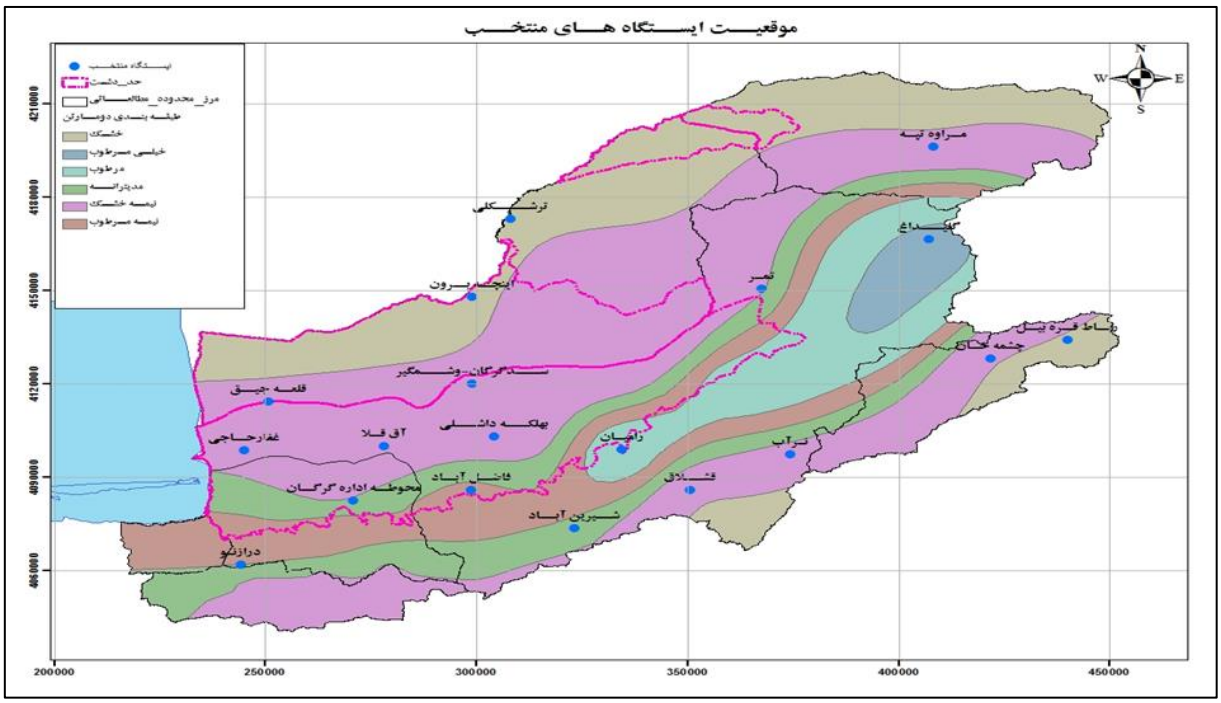
۲. مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق بر روی ۱۹ ایستگاههای تبخیرسنجی واقع در دشت و ارتفاعات استان گلستان انجام گردید ۱۴تا از ایستگاهها دارای آمار ۳۱ سال کامل می باشد و ۵ تا از ایستگاهها بین ۱۰ تا ۱۳ سال آمار کامل می باشد. ایستگاههای واقع در ارتفاعات بالای ۱۰۰۰ متر ۶ عدد می باشد متوسط بارش سالانه ایستگاهها بین ۲۰۴ تا ۹۲۸ میلی متر می باشد و متوسط دما سالانه ایستگاهها بین ۷ تا۱۹ درجه سانتیگراد متغیر می باشد. شکل ۱ نقشه موقعیت ایستگاهها را نشان میدهد.

تبخیر و تعرق پتانسیل

محققان هیدرولوژی روشهای مختلفی برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل ارائه نموده اند تبخیر-تعرق پتانسیل حداکثر مقدار تبخیر-تعرقی است که در یک وضعیت آب و هوایی مشخص در صورتی که محدودیتی از نظر آب وجود نداشته باشد صورت می گیرد. در هیدرولوژی برای محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل بیشتر از روش تورنت وایت، پنمن و روش هامون(۱۹۶۱) استفاده می گردد. برای تعیین تبخیر –تعرق با استفاده از روش پنمن می بایستی پارامترهای نسبتا زیادی در دست باشد ولی در روش تورنت وایت با استفاده از پارامتر دما می تواند تبخیر-تعرق پتانسیل را محاسبه نمود. ویلموت و همکاران در سال ۱۹۸۵ روش تورنت وایت را به صورت ذیل ارائه نمودند(۳).



شکل ۱. نقشه موقعیت ایستگاههای منتخب

$$PE_i = \begin{cases} 0 & T < 0^{oc} \\ 16\left(\frac{10T_i}{I}\right)^a & 0 \le T < 26.5^{oc} \\ -415.85 + 32.24T_i - 0.43T_i^2 & T \ge 26.5^{oc} \end{cases} \quad (۱)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12}\left(\frac{T_i}{5}\right)^{1.514} \quad (۲)$$

$$a = 6.7 \times 10^{-7} \times I^3 - 7.71 \times 10^{-5} \times I^2 + 1.79 \times 10^{-2} \times I + 0.49 \quad (۳)$$

برای هر سال ابتدا با استفاده از رابطه ۲ مقدار شاخص I محاسبه می گردد سپس مقدار پارامتر a با استفاده از رابطه ۳ تعیین می گردد تبخیر-تعرق هر ماه نیز با استفاده از رابط ۱ برآورد می گردد. تبخیر -تعرق ماهانه محاسبه شده از

روابط فوق برای ماه های ۳۰ روزه با ۱۲ ساعت روشنایی است بنابراین برای هر ماه با تعداد روز و متوسط ساعات روشنایی مختلف با استفاده از رابط ذیل تبخیر-تعرق ماهانه اصلاح می شود(۳).

$$APE_i = PE_i \times [\left(\frac{d_i}{30}\right)\left(\frac{h_i}{12}\right)] \qquad (۴)$$

PE_i : تبخیر-تعرق پتانسیل محاسبه شده از رابطه تورنت وایت به میلی متر

APE_i : تبخیر-تعرق پتانسیل اصلاح شده به میلی متر

T_i : متوسط دمای ماهانه به سانتیگراد

d_i : تعداد روزهای ماه i

h_i : متوسط ساعات روشنایی روزانه ماه i برحسب ساعت

پارامتر متوسط ساعات روشنایی روزانه هر ماه در عرض های جغرافیایی مختلف را می تواند از جداولی که قبلا تهیه شده است بدست آورد و یا از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$P = Asin[0.39795 \times \cos(0.2163108 + 2 \times Atan\{0.9671396 \times \tan[0.00860 \times (J - 186)]\})] \qquad (۵)$$

$$D = 24 - \left(\frac{24}{Pi}\right) \times Acos\left(\frac{\sin\left(0.8333 \times \frac{Pi}{180}\right) + \sin\left(L \times \frac{Pi}{180}\right) \times \sin(P)}{\cos\left(L \times \frac{Pi}{180}\right) \times \cos(P)}\right) \qquad (۶)$$

D : ساعات روشنایی روز J برحسب ساعت

L :عرض جغرافیایی برحسب (Decimal Degree)

J : شماره روز مورد نظر در تقویم میلادی

Pi : عدد پی

برای محاسبه متوسط ساعات روشنایی روزانه ماه مورد نظر باید برای هر روز آن ماه ساعت روشنایی را با استفاده از رابطه بالا محاسبه نمود میانگین ساعات روشنایی محاسبه شده، متوسط ساعات روشنایی روزانه ماه مورد نظر می باشد.

ذخیره و ذوب برف

در مناطق سرد، کوهستانی و مرتفع بخش اعظم بارندگی به شکل برف نازل می شوند، منابع آبی موجود در این قبیل مناطق، متاثر از میزان بارش برف بوده و غالبا از طریق آبهای حاصل از ذوب برف تغذیه می شوند و وضعیت بیلان آبی و رژیم منابع آب موجود در این قبیل مناطق به میزان و سرعت ذوب برف و یا ماندگاری آن بر روی زمین و سطوح آبگیر و تغذیه آنها بستگی دارد. بارش در این مناطق با توجه به درجه حرارت هوا بصورت برف، باران و یا مخلوطی از برف و باران می باشد. با استفاده از فرمول زیر بارش ماهانه براساس درجه حرارت متوسط ماهانه به دو

بخش باران و برف تقسیم می گردد این فرمول براساس درجه-روز می باشد و بارش در درجه حرارت زیر صفر درجه سانتی گراد به صورت کامل به حالت برف می باشد و ذوب برف در دمایی بالای صفر درجه اتفاق می افتد(۴).

$$Rain_i = F_i \times P_i \quad (۷)$$

$$Snow_i = (1 - F_i) \times P_i \quad (۸)$$

$$F_i = \begin{cases} 0 & if \quad T_i \leq 0^{o^c} \\ 0.16 \times T_i & if \quad 0^{o^c} < T_i < 6^{o^c} \\ 1 & if \quad T_i \geq 6^{o^c} \end{cases} \quad (۹)$$

$Rain_i$: مقدار باران ماه i

$Snow_i$: مقدار برف ماه i

F_i : ضریب ذوب برف ماه i

براساس روابط فوق هر ماه میزان بارش براساس درجه حرارت به دو بخش برف و باران تقسیم می گردد. مقدار ذوب برف در هر ماه با توجه به میزان ذخیره برف از رابطه زیر بدست می آید.

$$Melt_i = F_i \times (Pack_{i-1} + Snow_i) \quad (۱۰)$$

پارامترهای رابطه ۱۰ به صورت زیر می باشد.

$Melt_i$: مقدار ذوب برف در ماه i

$Pack_{i-1}$: مقدار ذخیره برف در انتهای ماه i-1

مقدار ذخیره برف در انتهای هر ماه با استفاده از رابطه زیر بدست می آید.

$$Pack_i = (1 - F_i)^2 \times P_i + (1 - F_i) \times Pack_{i-1} \quad (۱۱)$$

در ماه های سرد سال بخشی از بارش به صورت باران می باشد و بخشی نیز به صورت برف ذخیره می گردد قسمتی از بارش که به صورت باران است می تواند در اختیار تبخیر-تعرق، ذخیره رطوبتی خاک، نفوذ و رواناب قرار گیرد بنابراین آب در دسترس هر ماه به صورت زیر محاسبه می گردد.

$$W_i = Rain_i + Melt_i \quad (۱۲)$$

W_i : آب در دسترس در ماه i

تبخیر-تعرق واقعی و رطوبت خاک در ناحیه ریشه

میزان تبخیر-تعرق واقعی ماهانه براساس مقدار تبخیر-تعرق پتانسیل و آب در دسترس هر ماه تعیین می گردد. اگر میزان آب در دسترس(W_i) بیشتر از تبخیر-تعرق پتانسیل(APE_i) باشد مقدار تبخیر-تعرق واقعی(ET_i) برابر با تبخیر-تعرق پتانسیل خواهد بود و میزان رطوبت خاک ناحیه ریشه($SoilM_i$) افزایش می یابد و در صورت وجود آب، به حداکثر میزان رطوبت خاک ناحیه ریشه($SoilM_{max}$) خواهد رسید.

$If \quad W_i \geq APE_i \quad then$

$$ET_i = APE_i \quad (۱۳)$$

$$SoilM_i = min\{[(W_i\text{-}APE_i) + SoilM_{i\text{-}1}], SoilM_{max}\}$$

اگر میزان آب در دسترس(W_i) کمتر از تبخیر-تعرق پتانسیل(APE_i) باشد در این صورت میزان تبخیر-تعرق واقعی به صورت زیر محاسبه می گردد.

$$\text{If} \quad W_i < APE_i \quad \text{then}$$

$$ET_i = W_i + SoilM_{i\text{-}1} - SoilM_i \quad (۱۴)$$

در این حالت که آب در دسترس کمتر از تبخیر-تعرق پتانسیل است میزان تخلیه رطوبت با کاهش میزان رطوبت خاک کاهش می یابد و جذب رطوبت مشکلتر می شود در این حالت میزان رطوبت خاک در هر ماه با استفاده رابطه زیر تعیین می گردد(۵).

$$SoilM_i = SoilM_{i-1} \times exp\left(-\frac{PET_i - W_i}{SoilM_{max}}\right) \quad (۱۵)$$

بارش مفید(رواناب و نفوذ)

در هر ماه پس از محاسبه میزان تبخیر-تعرق واقعی و رطوبت خاک، میزان بارش مفید(مجموع رواناب و نفوذ) به با استفاده از روابط زیر محاسبه می گردد.

$$\Delta SoilM_i = SoilM_i - SoilM_{i-1} \quad (۱۶)$$

$$WS_i = W_i - ET_i - \Delta SoilM_i \quad (۱۷)$$

$\Delta SoilM_i$: تغییر رطوبتی خاک در ماه i

WS_i : میزان بارش مفید در ماه i

واحدکلیه پارامترهای بارش، برف، تبخیر-تعرق، رطوبت خاک برحسب میلی متر می باشد. مقدار پارامتر حداکثر رطوبت خاک در ناحیه ریشه به جنس، بافت خاک و نوع پوشش گیاهی بستگی دارد و بطور متوسط در اکثر مطالعات در حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی متر در نظر گرفته می شود.

در سطح کشور بطور معمول در مطالعات بیلان برای محاسبه میزان تبخیر-تعرق واقعی و بارش مفید از فرضیات ساده شده از روابط آب و خاک استفاده می گردد بطوریکه مباحث مربوط به برف در نظر گرفته نمی شود همچنین در ماههای که میزان آب در دسترس کمتر از تبخیر-تعرق پتانسیل است رطوبت خاک بدون هیچ محدودیتی در اختیار تبخیر-تعرق قرار می گیرد و این موضوع که با کاهش رطوبت خاک میزان تخلیه رطوبت کمتر می شود و جذب رطوبت مشکلتر می شود در نظر گرفته نمی شود. به طور خلاصه روش معمول بیلان هیدروکلیماتولوژی به صورت زیر می باشد.

ابتدا با استفاده از روابط ۱ تا ۶ مقدار تبخیر-تعرق پتانسیل در هر ماه محاسبه شده و با میزان بارش مقایسه می گردد با توجه به اینکه میزان بارش از تبخیر-تعرق کمتر یا بیشتر باشد میزان تبخیر-تعرق واقعی و رطوبت خاک محاسبه می گردد.

حالت۱) اگر میزان بارش بیشتر از تبخیر-تعرق پتانسیل باشد آنگاه تبخیر-تعرق واقعی برابر با تبخیر-تعرق پتانسیل خواهد بود و میزان رطوبت به صورت ذیل محاسبه می گردد.

$$if \quad P_i \geq APE_i \quad then$$
$$ET_i = APE_i \qquad (۱۸)$$
$$SoilM_i = min\{[(P_i - APE_i) + SoilM_{i-1}], SoilM_{max}\}$$

حالت۲) اگر میزان بارش کمتر از تبخیر-تعرق پتانسیل باشد آنگاه تبخیر-تعرق واقعی و میزان رطوبت به صورت ذیل محاسبه می گردد.

$$\text{if} \quad P_i < APE_i \quad \text{then}$$
$$ET_i = \min(P_i + SoilM_{i-1}, APE_i) \qquad (۱۹)$$
$$SoilM_i = \max(0, P_i + SoilM_{i-1} - ET_i)$$

پس از محاسبه میزان تبخیر-تعرق واقعی و رطوبت خاک میزان بارش مفید(رواناب و نفوذ) به صورت ذیل محاسبه می گردد.

$$\Delta SoilM_i = SoilM_i - SoilM_{i-1} \qquad (۲۰)$$
$$WS_i = P_i - ET_i - \Delta SoilM_i \qquad (۲۱)$$

به منظور بررسی تاثیر گنجاندن مدل ذوب برف و نحوه تخلیه رطوبت خاک در بیلان هیدروکلیماتولوژی، هر دو روش تشریح شده در بالا برای حالتهای مختلف آماری در ایستگاههای تبخیرسنجی مختلف واقع در دشت و ارتفاعات اجرا گردید. برای این منظور از کد نویسی در محیط $Excel$ استفاده شد. در ادامه به توضیح سناریوهای مختلف اجرای مدل پرداخته خواهد شد.

حالتهای مختلف اجرای مدل

در این مطالعه حالتهای زیر با توجه به داده های باران، دما، تخلیه رطوبت خاک با محدودیت(استفاده از تابع نمایی) و یا بدون محدودیت، یکبار با در نظر گرفتن اثر برف و یکبار بدون در نظر گرفتن اثر برف مورد بررسی قرار گرفت تا تاثیر هر یک از این موارد بر روی سهم تبخیر-تعرق واقعی از بارش تعیین گردد. برای هر ایستگاه ۱۲ حالت مورد بررسی قرار گرفت.

حالت اول: داده باران به صورت سری ماهانه، داده دما به صورت سری ماهانه،جذب رطوبت خاک با محدودیت

حالت دوم: داده باران به صورت سری ماهانه، داده دما به صورت سری ماهانه، جذب رطوبت خاک بدون محدودیت

حالت سوم: داده باران به صورت سری ماهانه، داده دما به صورت متوسط درازمدت ماهانه، جذب رطوبت خاک با محدودیت

حالت چهارم: داده باران به صورت سری ماهانه، داده دما به صورت متوسط درازمدت ماهانه، جذب رطوبت خاک بدون محدودیت

حالت پنجم: داده باران به صورت متوسط درازمدت ماهانه ، داده دما به صورت متوسط درازمدت ماهانه، جذب رطوبت خاک با محدودیت

حالت ششم: داده باران به صورت متوسط درازمدت ماهانه ، داده دما به صورت متوسط درازمدت ماهانه، جذب رطوبت خاک بدون محدودیت

۳. یافته‌ها

نتایج بررسی حالتهای مختلف در برآورد میزان سهم تبخیر-تعرق واقعی از بارش در جداول ۱و۲ ارائه شده است برای چندتا از ایستگاهها نمودار سهم تبخیر-تعرق واقعی از بارش در حالتهای مختلف با در نظر گرفتن اثر ذوب برف و بدون در نظر گرفتن اثر ذوب برف تهیه شده است نتایج بررسی حالتهای مختلف نشان داد:

الف: ایستگاههای مورد مطالعه(۱۲ ایستگاه) با ارتفاع کمتر از ۹۰۰ متر از سطح دریا (محدوده دشت):

- در این ایستگاهها اعمال محدودیت در جذب رطوبت خاک در کلیه حالتها تاثیر چندانی در برآورد سهم تبخیر-تعرق واقعی ندارد
- در این ایستگاهها در حالتهای که پارامتر باران به صورت سری ماهانه(حالت۱، ۲، ۳ و۴) است در نظر گرفتن پارامتر دما به صورت متوسط ماهانه درازمدت سبب می شود تا تبخیر-تعرق واقعی بطور میانگین ۰/۷ درصد بیشتر از حالتی است که داده های دما به صورت سری ماهانه است.
- اگر هر دو پارامتر باران و دما به صورت متوسط درازمدت (حالت۵ و ۶) در محاسبات استفاده شود در این صورت میزان سهم تبخیر-تعرق واقعی از بارش بطور میانگین ۵/۶ درصد بیشتر از حالتی است که این دو پارامتر به صورت سری ماهانه(حالت ۱ و ۲) در محاسبات لحاظ می شود.
- اگر هر دو پارامتر باران و دما به صورت متوسط درازمدت (حالت۵ و ۶) در محاسبات استفاده شود در این صورت میزان سهم تبخیر-تعرق واقعی از بارش بطور میانگین ۵ درصد بیشتر از حالتی است که پارامتر دما به صورت متوسط درازمدت و پارامتر باران به صورت سری ماهانه(حالت ۳ و ۴) در محاسبات لحاظ می شود.
- در ایستگاههای محدوده دشت اعمال اثر ذوب برف هیچ گونه تاثیر در برآورد تبخیر-تعرق واقعی نداشته است زیرا دما متوسط ماهانه بیشتر از صفر درجه بوده و بارش برف در محدوده دشت خیلی کم اتفاق می افتد.

ب: ایستگاههای مورد مطالعه(۷ ایستگاه) با ارتفاع بیشتر از ۹۰۰ متر از سطح دریا(محدوده ارتفاعات)

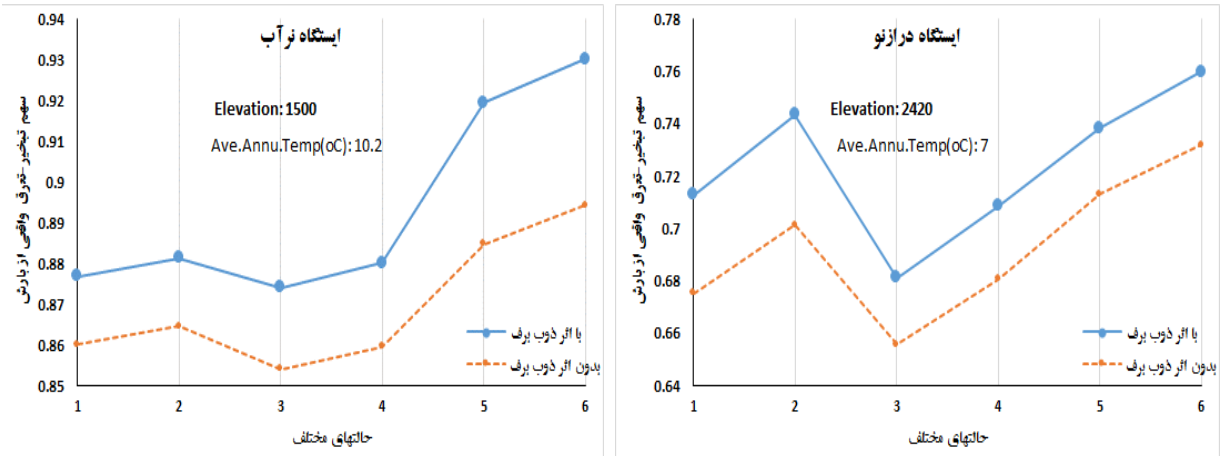
- مقایسه بین حالتهای اعمال محدودیت در جذب رطوبت خاک (حالت۱، ۳، ۵) با حالتهای که در آنها جذب رطوبت بدون محدودیت در اختیار تبخیر-تعرق قرار می گیرد(حالت ۲، ۴، ۶) نشان داد که

همواره اعمال محدودیت در جذب رطوبت سبب می شود تا تبخیر-تعرق واقعی ۰/۷ درصد کمتر برآورد گردد.

- بغیر از ایستگاه شیرین آباد و گلیداغ در بقیه ایستگاههای واقع در ارتفاعات در حالتهای که پارامتر باران به صورت ماهانه است، همواره اعمال اثر ذوب برف سبب شده است تا تبخیر-تعرق واقعی بیشتر از حالتی باشد که اثر ذوب برف لحاظ نشده است. زیرا در حالت اول بارش در ماههای سرد زمستان به صورت برف ذخیره می شود، در ماههای اول بهار هوا گرمتر شده و تبخیر-تعرق بیشتر می شود ذخیره برف در این ماهها ذوب شده و در اختیار تبخیر-تعرق و رطوبت خاک قرار گیرد ولی در حالت دوم، بارش در ماههای سرد زمستان که تبخیر صفر است به صورت باران مفید(رواناب و نفوذ) لحاظ می شود. تبخیر-تعرق واقعی با در نظر گرفتن اثر ذوب برف بطور میانگین ۱/۳ درصد بیشتر از حالتی است که اثر ذوب برف لحاظ نمی شود بطوریکه در ایستگاه درازنو این اختلاف به ۳/۸ درصد می رسد.
- در ایستگاهها واقع در ارتفاعات، اگر هر دو پارامتر باران و دما به صورت متوسط درازمدت (حالت۵ و ۶) در محاسبات استفاده شود در این صورت میزان سهم تبخیر-تعرق واقعی از بارش بطور میانگین ۴ درصد بیشتر از حالتی است که این دو پارامتر به صورت سری ماهانه(حالت ۱ و ۲) در محاسبات لحاظ می شود.

جدول۱. سهم تبخیر-تعرق واقعی از بارش با اعمال اثر ذوب برف در حالتهای مختلف

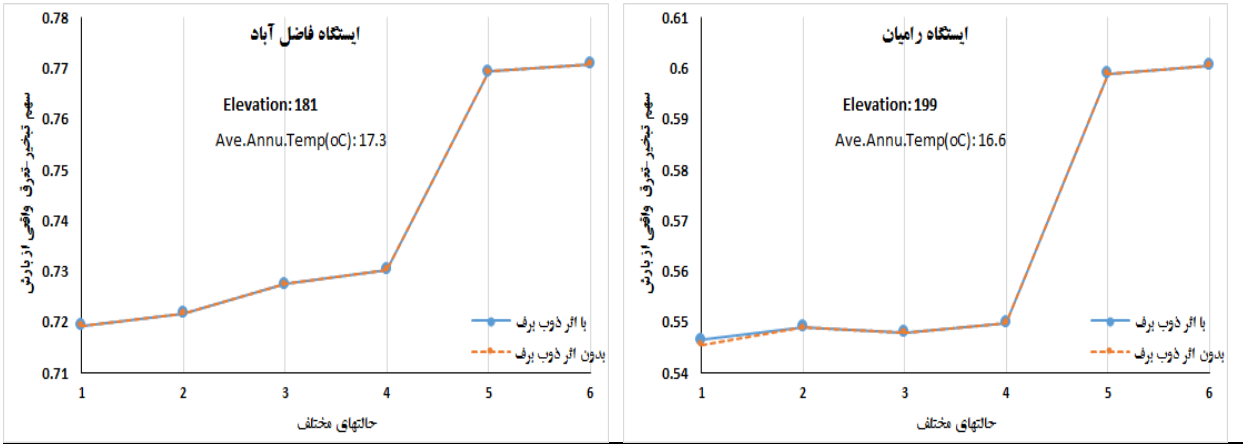
نام ایستگاهها	ارتفاع(متر)	حالت۱	حالت۲	حالت۳	حالت۴	حالت۵	حالت۶
غفارحاجی	-22	0.7996	0.8013	0.8064	0.8079	0.8672	0.8677
قلعه جیق	-20	0.8412	0.8436	0.8515	0.8526	0.9312	0.9314
آق قلا	-11	0.8517	0.8527	0.8548	0.8557	0.9182	0.9183
اینچه برون	10	0.9746	0.9748	0.9806	0.9806	0.9998	0.9999
سدگرگان-وشمگیر	12	0.8672	0.868	0.8781	0.8783	0.9428	0.943
ترشکلی	25	0.9716	0.9716	0.9833	0.9834	0.9998	1
بهلکه داشلی	25	0.8695	0.8702	0.8729	0.8731	0.9235	0.9239
محوطه اداره گرگان	75	0.7813	0.7827	0.7884	0.7897	0.8256	0.8262
تمر	173	0.7491	0.7505	0.7537	0.7545	0.7987	0.7992
فاضل آباد	181	0.7194	0.7218	0.7275	0.7303	0.7694	0.7708
مراوه تپه	190	0.8911	0.893	0.9042	0.9046	0.9667	0.967
رامیان	199	0.5465	0.5491	0.548	0.5499	0.5989	0.6005
شیرین آباد	940	0.7392	0.7441	0.7325	0.739	0.7682	0.7742
گلیداغ	1000	0.5265	0.536	0.5266	0.5356	0.5688	0.573
قشلاق	1040	0.9549	0.9565	0.9506	0.9531	0.996	1
چشمه خان	1250	0.9413	0.942	0.9444	0.9451	0.9975	1
رباط قره بیل	1450	0.9577	0.9582	0.964	0.9645	0.9959	1
نرآب	1500	0.8768	0.8814	0.8741	0.8801	0.9194	0.9301
درازنو	2420	0.7129	0.7435	0.6813	0.7086	0.7383	0.7599



شکل ۲. نمودار سهم تبخیر-تعرق واقعی از بارش ایستگاه درازنو و نرآب (محدوده ارتفاعات)

جدول۲. سهم تبخیر-تعرق واقعی از بارش بدون اعمال اثر ذوب برف در حالتهای مختلف

نام ایستگاهها	ارتفاع(متر)	حالت۱	حالت۲	حالت۳	حالت۴	حالت۵	حالت۶
غفارحاجی	-22	0.7996	0.8013	0.8064	0.8079	0.8672	0.8677
قلعه جیق	-20	0.841	0.8434	0.8515	0.8526	0.9312	0.9314
آق قلا	-11	0.8517	0.8527	0.8548	0.8557	0.9182	0.9183
اینچه برون	10	0.9746	0.9748	0.9806	0.9806	0.9998	0.9999
سدگرگان-وشمگیر	12	0.8672	0.868	0.8781	0.8783	0.9428	0.943
ترشکلی	25	0.9716	0.9716	0.9833	0.9834	0.9998	1
بهلکه داشلی	25	0.8692	0.8701	0.8729	0.8731	0.9235	0.9239
محوطه اداره گرگان	75	0.7813	0.7827	0.7884	0.7897	0.8256	0.8262
تمر	173	0.7491	0.7505	0.7537	0.7545	0.7987	0.7992
فاضل آباد	181	0.7194	0.7218	0.7275	0.7303	0.7694	0.7708
مراوه تپه	190	0.8911	0.893	0.9042	0.9046	0.9667	0.967
رامیان	199	0.5456	0.549	0.548	0.5499	0.5989	0.6005
شیرین آباد	940	0.738	0.7429	0.7325	0.7389	0.7682	0.7742
گلیداغ	1000	0.5265	0.536	0.5266	0.5356	0.5688	0.573
قشلاق	1040	0.9399	0.9417	0.9486	0.9511	0.996	1
چشمه خان	1250	0.9339	0.9346	0.9341	0.935	0.9974	1
رباط قره بیل	1450	0.9386	0.9396	0.9467	0.9476	0.9956	1
نرآب	1500	0.8601	0.8646	0.8541	0.8596	0.8848	0.8942
درازنو	2420	0.6752	0.7014	0.6558	0.6807	0.7131	0.7318



شکل ۳. نمودار سهم تبخیر-تعرق واقعی از بارش ایستگاه رامیان و فاضل آباد (محدوده دشت)

۴. نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که اعمال محدودیت در جذب رطوبت خاک تاثیر قابل توجه ای در برآورد سهم تبخیر-تعرق واقعی ندارد، به منظور برآورد دقیقتر بارش مفید و تبخیر-تعرق واقعی لازم است استفاده از سری داده های ماهانه به جای متوسط ماهانه درازمدت مدنظر قرار گیرد.

مراجع

[۱] دفتر مطالعات پایه منابع آب گلستان. بیلان منابع آب محدوده های مطالعاتی حوزه آبریز قره سو-گرگانرود جلد اول هواشناسی. ۱۳۹۲

[۲] علیزاده امین. اصول هیدرولوژی کاربردی. مشهد: انتشارات دانشگاه مشهد؛ ۱۳۹۳.

[3] Willmott CJ, Rowe CM, Mintz Y. Climatology of the terrestrial seasonal water cycle. J. Climatol. 1985;5(1):589-606.

[4] Dingman S. Lawrence. Physical Hydrology. Third Edition. Illinois: Waveland Press; 2015. p.643.

[5] Stephen T, Gregory G, McCabe J. A combined water balance and tree ring approach to understanding the potential hydrologic effects of climate change in the central Rocky Mountain region. WATER RESOURCES RESEARCH. 2010;46(5).