تعیین مدل بیلان آبی مناسب ماهانه در حوزه‌های آبخیز کوچک کشور (مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی و شمال خراسان)[۱و۲]

محمد مهدوی[۳] مریم آذرخشی[۴]

چکیده

یکی از عواملی که در طراحی سازه‌ها و کارهای آبی اهمیت ویژه دارد، دبی متوسط ماهانه حوزه می‌باشد. با توجه به نبود وسایل و تجهیزات آب سنجی در بسیاری از حوزه‌ها، می‌توان با استفاده از مدل‌های بیلان آبی ماهانه حوزه‌های معرف، دبی متوسط ماهانه حوزه‌های مشابه و فاقد ایستگاه اندازه‌گیری را برآورد کرد. مدل‌های بیلان آبی ماهانه دو نوعند: مدل‌های نوع P که ورودی آنها فقط بارش متوسط ماهانه است و مدل‌های نوع PE که ورودی آنها بارش و تبخیر و تعرق متوسط ماهانه است (۸). در این تحقیق از مدل‌های نوع PE استفاده شده است. مطالعه در اقلیم نیمه خشک و در ۱۲ حوزه در منطقه آذربایجان و شمال خراسان صورت گرفته است. پس از تهیه داده‌های دما، بارش و دبی متوسط ماهانه حوزه‌ها، توان تبخیر تعرق متوسط ماهانه از رابطه تورنت وایت محاسبه شد. سایر بخش‌های معادله بیلان مانند تبخیر و تعرق واقعی، جریان ورودی به آب زیر زمینی، ذخیره رطوبتی خاک و ذخیره رطوبت خاک حوزه در ماه قبل از طریق مدل تورنت وایت برآورد شده است. سپس با توجه به روابط منطقی، معادلات رگرسیون بین پارامترهای مختلف بیلان آبی محاسبه شد. این مدل‌ها درسطح اعتماد ۵درصد مورد آزمون و تجزیه تحلیل قرار گرفتند. نتایج به‌دست آمده از آزمون t استیودنت بیانگر آن است که اختلاف بین دبی متوسط ماهانه برآورد شده از مدل، با دبی متوسط اندازه‌گیری شده در سطح اعتماد ۵ درصد از نظر آماری معنی دار نیست و با استفاده از مدل‌های بیلان آبی ماهانه می‌توان رواناب ماهانه حوزه‌های فاقد آمار را برآورد نمود.

واژه‌های کلیدی : *بیلان آبی، ماهانه، حوزه‌های آبخیز کوچک، مدل‌های نوع PE ،آذربایجان، خراسان.*

---

[۱] -تاریخ دریافت: ۸۱/۱۱/۱۴ ، تاریخ پذیرش: ۸۲/۴/۱۷

[۲] این تحقیق با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه تهران انجام گرفته است

[۳]- استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران (Email : mahdavi@nrf.ut.ac.ir)

[۴]- دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

مقدمه

در پیش بینی وضع هیدرولوژی، عوامل چرخه آب مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. از آنجا که دستیابی به آمار مستلزم وجود وسایل و دستگاه‌های اندازه‌گیری در مدت زمان طولانی می‌باشد و از طرفی این آمار خود شدیداً در معرض تغییراتی هستند که یا به‌طور طبیعی و یا توسط فعالیت‌های انسان در آنها به‌وجود می‌آید، روش‌های متعددی برای تخمین مقادیر این عوامل از طریق داده‌هایی که از مشاهدات و آمارگیری به‌دست می‌آیند، وجود دارد. یکی از این روش‌ها مدل‌سازی و یا شبیه سازی در هیدرولوژی است .

در بسیاری از حوزه‌های آبخیز کشور که در مناطق دور دست قرار گرفته‌اند ایستگاه‌های آب سنجی وجود ندارد و از طرفی برای برنامه‌ریزی و مدیریت در این حوزه‌ها نیاز است که از خروجی آب آنها اطلاعاتی به‌دست آید.

یکی از روش‌ها برای برآورد دبی در این حوزه‌ها، استفاده از مدل‌های بیلان آبی ماهانه است.

با توجه به بررسی منابع موجود در مقیاس جهانی و در دهه ۱۹۹۰، از مدل‌های بیلان آبی ماهانه در زمینه‌های مختلفی استفاده شده است(۸) .

وندیوایل و همکاران[۱] (۱۹۹۲) یک مدل بیلان آبی ماهانه را در ۷۹ حوزه آبخیز بلژیک، چین و برمه به‌کار بردند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که یک مدل جهانی مناسب برای تمام حوزه‌ها وجود ندارد.

آرنل[۲] (۱۹۹۹) از یک مدل بیلان آبی ماهانه برای بررسی عوامل کنترل کننده آثار تغییر اقلیم بر حوزه‌های آبخیز انگلستان استفاده کرد. به این منظور ایشان با تغییرات فرضی عوامل هواشناسی در مدل بیلان آبی ماهانه نشان داد که در مقیاس ماهانه، بیلان آب در تابستان و شرایط زمین‌شناسی حوزه، اثر مهمی بر عکس‌العمل حوزه نسبت به یک حالت مشخص تغییر اقلیم دارد.

میمیکو[۳] و همکاران، (۱۹۹۲) ابتدا مدل بیلان آبی ماهانه منطقه مورد نظر را مشخص کرده و سپس با تغییر فرضی عوامل مختلف بیلان از قبیل بارش، تبخیر، تعرق و ... به بررسی اثر تغییرات اقلیمی منطقه‌ای، روی مدیریت آب، ذخایر و تولید نیرو به‌وسیله آنالیز حساسیت آنها نسبت به گزینه‌های مختلف تغییر اقلیم پرداختند. نتایج به‌دست آمده نشان دهنده آن بود که اگر گرم شدن گلخانه‌ای با کاهش بارش سالانه همراه شود خطر ارتباط تامین مقدار آب سالانه از منابع آب و تولید انرژی افزایش می‌یابد.

کواجک[۴] (۱۹۹۵) به برآورد اثر تغییر اقلیم روی جریان اوج محتمل رودخانه راین پرداخت. نتایج به‌دست آمده از مدل (RHIN FLOW) که یک مدل GIS بیلان آب می‌باشد بیانگر آن بود که دبی های اوج محاسبه شده، به خوبی با مقادیر مشابه مشاهده شده قابل تطبیق هستند.

لی لوا و شنگلین گیو[۵] (۱۹۹۹) از یک مدل دو پارامتره بیلان آبی ماهانه برای شبیه سازی روان آب در ۷۰ زیر حوزه در جنوب چین استفاده کردند. آنها در این مطالعه به این نتیجه رسیدند که مدل دو پارامتره بیلان آبی قادر به برآورد روان آب ماهانه می‌باشد.

کانونی، خلیلی و زند پارسا (۱۳۷۸) مدل بیلان آبی سالانه را در حوزه‌های فاقد آمار استان فارس مورد بررسی قرار دادند. نتایج این بررسی نشان داد که مدل به‌دست آمده می‌تواند رواناب سالانه را به‌خوبی بازسازی کند.

در این تحقیق با توجه به کمبودهای آماری عوامل مختلف بیلان آبی از یک مدل چهار پارامتره (تبخیر و

۱-Vandewiele *etal*

۲-Arnell

۳-Mimikou

۴-Kwadijk

۵-Lilua and Shenglianego

تعرق واقعی ETR، جریان ورودی به آب زیر زمینی GW، ذخیره رطوبت خاک در ماه قبل LSM و رواناب Q) برای برآورد دبی متوسط ماهانه استفاده شد. هدف اصلی از تحقیق فعلی تعیین مدلی ساده برای بازسازی آمار رواناب متوسط ماهانه در حوزه‌های آبخیز کوچک کشور با استفاده از مدل بیلان آبی ماهانه است که در این مورد از سه عامل بارش، دما و دبی متوسط ماهانه استفاده شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت حوزه‌های مورد بررسی

در انتخاب حوزه‌های آبخیز برای به‌دست آوردن معادله بیلان آبی ماهانه باید چند نکته را مد نظر قرار داد که عبارتند از :

۱-حوزه‌های انتخابی باید کوچک بوده، تا زمان تمرکز حوزه کم باشد و تحت تاثیر نفوذ آب‌های کشاورزی قرار نگیرند،

۲- حوزه‌ها در یک اقلیم مشابه قرار گرفته باشند تا اثر اقلیم بر محاسبات از بین برود،

۳- سازه‌های مخزنی، دریاچه های مصنوعی در حوزه نباشد،

۴- حوزه‌ها از نظر فیزیوگرافی و پوشش گیاهی و زمین شناسی تقریباً شرایط یکسانی داشته باشند،

۵- حوزه‌ها دارای آمار کافی و مناسب با طول زمانی مناسب باشند،

۶- تعداد حوزه‌ها برای انجام محاسبات آماری کافی باشد.

با توجه به مطالب فوق این مطالعه در حوزه‌های آبخیز کوچک (کمتر از ده هزار هکتار) انجام گرفته است که از دو منطقه آذربایجان شرقی و شمال استان خراسان انتخاب شده‌اند و براساس تقسیم بندی اقلیمی آمبرژه، جز اقلیم نیمه خشک قرار می‌گیرند که هفت حوزه آن در استان آذربایجان شرقی واقع شده و ۵ حوزه نیز در استان خراسان قرار دارند.

روش تحقیق

چنانچه حوزه آبخیز را به‌عنوان یک سیستم فرض نماییم. بیلان آبی برای شبکه جریان آب، بر اساس قانون بقای جرم به صورت معادله (۱) بیان می‌گردد.

$$P=I+ds+Q+E+dw+V \qquad (1)$$

که در این معادله:

P، مقدار بارش، I، مقدار برگاب، ds، تغییرات ذخیره آب در سطح حوزه (ذخیره چالابی)، Q مقدار روان آب سطحی، E ، مقدار تبخیر تعرق، dw، تغییرات حجم آب ذخیره شده در خاک و V ، مقدار نفوذ عمقی است. در عمل با حذف دو مقدار برگاب و ذخیره چالابی، معادله بیلان به صورت ساده‌تری درمی‌آید زیرا این دو مقدار می‌توانند در برآورد تبخیر و تعرق و مقدار رطوبت خاک در نظر گرفته شوند (۳).

در این تحقیق برای رسیدن به اهداف مورد نظر، سه مرحله کاری انجام شد.

۱-تهیه وتنظیم داده‌ها

این مرحله شامل جمع آوری داده‌ها، کنترل کیفیت آمار به روش آزمون توالی و بازسازی آمار به روش نسبت نرمال بوده و برای بازسازی داده‌های دما، از روش تفاضل و گرادیان دما استفاده شده است. معادله گرادیان دما در منطقه آذربایجان و خراسان به ترتیب در جداول (۱و۲) آمده است، که در آن x ارتفاع به متر و y دمای متوسط ماهانه به درجه سانتیگراد است.

۲-محاسبه اجزای مدل بیلان آبی

برای مدلسازی بیلان آب، باید آمار اجزا بیلان را به‌دست آورد. آمار دما، دبی و بارش متوسط ماهانه از روی آمارهای ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی تهیه می‌شود، اما از آنجا که سایر اجزا بیلان مانند ذخیره آب در حوزه، تبخیر و تعرق واقعی، جریان ورودی به آب

زیرزمینی و پوشش برف در ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری کشور کمتر اندازه‌گیری می‌شوند. باید با استفاده از روش‌های تجربی برآورد گردند. در این تحقیق جهت محاسبه اجزا بیلان آبی ماهانه از مدل بیلان آبی ماهانه تورنت وایت استفاده شده است (۱۱).

معادله بیلان آبی ماهانه که تورنت وایت ارایه می‌دهد به شرح زیر است:

$$P=Et+Qd+b.f+\Delta S+\Delta SM+\Delta g.w \qquad (۲)$$

که در این معادله :

P، بارش ماهانه حوزه، Et، تبخیر و تعرق واقعی ماهانه حوزه، Qd ، رواناب ماهانه، Bf، جریان پایه ماهانه، ΔS، تغییرات ماهانه پوشش برف، ΔSM، تغییرات ماهانه ظرفیت رطوبتی خاک و Δgw، تغییرات ماهانه مقدار آب زیرزمینی هستند.

این معادله نشان می‌دهد که بارش ورودی به سه جزء خروجی: تبخیر و تعرق واقعی (ETR)، روان آب سریع(Qd) و آب پایه (Bf)تقسیم می شود.

تمام مقادیر مدل بر حسب میلیمتر محاسبه شده و فقط دمای Tبر حسب درجه سانتیگراد است.

جدول ۱- معادلات گرادیان دما در آذربایجان

ماه	معادله گرادیان دما	r	ماه	معادله گرادیان دما	r
مهر	y=-۰/۰۰۴۲X+۱۹/۷۵۳	۰/۶۷	فروردین	y=-۰/۰۰۳۲X+۱۳/۱۱۲	۰/۷۴
آبان	y=-۰/۰۰۳۹X+۱۳/۷۹۳	۰/۸۵	اردیبهشت	y=-۰/۰۰۳۵X+۱۸/۴۹۹	۰/۷
آذر	y=-۰/۰۰۴۲X+۸/۷۵۳۱	۰/۹۳	خرداد	y=-۰/۰۰۳۸X+۲۳/۴۳۲	۰/۶۲
دی	y=-۰/۰۰۴۹X+۵/۵۰۱۲	۰/۸۷	تیر	y=-۰/۰۰۳۷X+۲۷/۲۹۹	۰/۵۵
بهمن	y=-۰/۰۰۴۷X+۵/۲۵۹	۰/۸۸	مرداد	y=-۰/۰۰۳۶X+۲۷/۸۶۱	۰/۵۳
اسفند	y=-۰/۰۰۳۸X+۷/۷۹۵۷	۰/۸۵	شهریور	y=-۰/۰۰۳۶X+۲۵/۰۶۴	۰/۵۶۳

جدول ۲- معادلات گرادیان دما در خراسان

ماه	معادله گرادیان دما	r	ماه	معادله گرادیان دما	r
مهر	y=-۰/۰۱۱۵X+۳۰/۴۸۹	۰/۷۷	فروردین	y=-۰۱۰۷X+۲۰٬۴۳۶	۰/۷۷
آبان	y=-۰/۰۰۹۹X+۲۳/۲۵۸	۰/۷۵۸	اردیبهشت	y=-۰/۰۰۸۱X+۲۷/۵۶۱	۰/۷۱
آذر	y=-۰/۰۰۸۷X+۱۶/۵۹	۰/۷۷	خرداد	y=-۰/۰۰۶۹X+۳۱/۱۱۲	۰/۶۱
دی	y=-۰/۰۰۹X+۱۳/۵۹۳	۰/۸	تیر	y=-۰/۱۰۷X+۳۹/۰۳۴	۰/۷۴
بهمن	y=-۰/۰۰۹۵X+۱۴/۳۶۲	۰/۷۵	مرداد	y=-۰/۰۱۲۴X+۴۰/۶۶۶	۰/۷۸
اسفند	y=-۰/۰۱۰۱X+۱۸/۴۵۷	۰/۷۶	شهریور	y=-۰/۰۱۲X+۳۶/۸۸۵	۰/۷۷

بارندگی : با توجه به اینکه در حوزه‌های مورد مطالعه ایستگاه‌های برف‌سنجی وجود ندارد و آمار ایستگاه‌های مجاور نیز یا ناقص بوده و یا مربوط به دوره زمانی غیر از زمان مورد نظر بوده و یا پیوستگی زمانی در آماربرداری رعایت نشده است، در این مطالعه از وارد کردن برف در مدل صرف نظر شده است و کل بارش منطقه به صورت برف یا باران به صورت بارش P (ورودی حوزه) در نظر گرفته شده است.

محاسبه تبخیر تعرق پتانسیل حوزه : تبخیر تعرق پتانسیل ماهانه هر یک از حوزه‌ها با استفاده از روش تورنوایت به‌دست آمده است. در این روش تبخیر و تعرق از فرمول زیر به‌دست می‌آید(۳).

$$ETP=16/2\ [10Ti/I] \qquad (3)$$

که در آن ETP، تبخیر تعرق پتانسیل ماهانه به میلیمتر، Ti، دمای متوسط ماهانه به سانتیگراد و I، شاخص حرارتی سالانه که عبارتست از مجموع شاخص‌های حرارتی ماهانه.

$$I=\sum_{i=0}^{i=12}\left(\frac{Ti}{5}\right) \qquad (4)$$

مقدار α نیز از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\alpha=(0/016+0/5\ I) \qquad (5)$$

رواناب: رواناب اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری بر حسب مترمکعب بر ثانیه است. مقدار رواناب در زمان ضرب شده و سپس بر سطح حوزه تقسیم می شود تا ارتفاع رواناب به میلیمتر به‌دست آید. در مقیاس ماهانه تشخیص جریان پایه و رواناب مستقیم تقریباً غیر ممکن است بنابراین مجموع این دو به عنوان رواناب در نظر گرفته شده است(۱۲).

ذخیره رطوبت خاک (SM) : برای پیدا کردن ذخیره رطوبت خاک (SM) ابتدا باید مقادیر ظرفیت آب موجود در خاک(AWC) را به‌دست آورد. مقدار رطوبت خاک کمتر و یا معادل AWC است در صورتی‌که (P-ETP) مثبت باشد ذخیره رطوبت خاک معادل AWC است و در صورتی‌که (P- ETP) منفی باشد، مقدار (SM) از طریق جداول و نمودار به‌دست می‌آید(۱۰).

محاسبه ظرفیت آب موجود در خاک (AWC) : مقدار AWC به بافت خاک بستگی دارد به علت تغییر در مقدار تخلخل و اندازه خلل و فرج خاک مقدار AWC بر حسب بافت خاک تغییر می‌کند. مقدار AWC برای خاک‌های مختلف از روی جدول ارایه شده توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا (۱۹۶۴) به‌دست می‌آید (۷). جدول (۳) ظرفیت نگهداری رطوبت قابل دسترس (ظرفیت آب موجود در خاک) در خاک‌های با بافت مختلف را نشان می‌دهد.

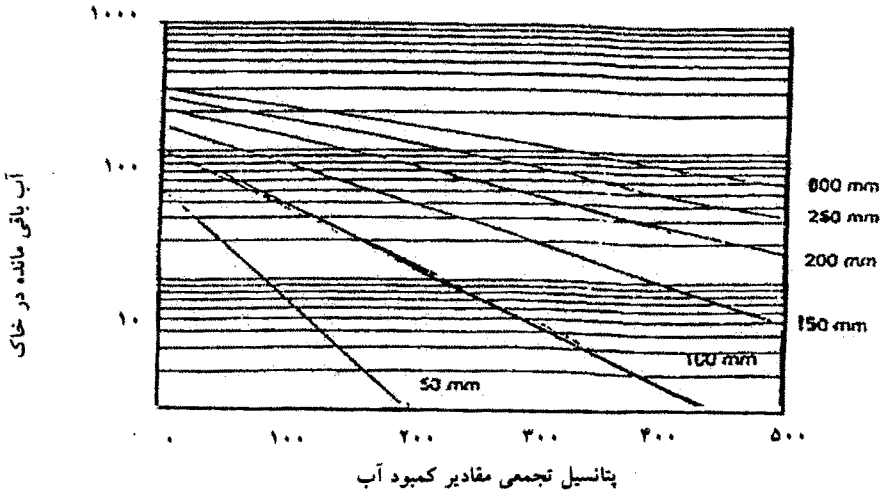
مقادیر AWC هر یک از حوزه‌ها با توجه به بافت خاک و عمق خاک که از روی نقشه‌های قابلیت اراضی منطقه به‌دست آمده بود محاسبه شد. خصوصیات خاکشناسی حوزه‌های مورد مطالعه و مقدار AWC محاسبه شده برای هر حوزه در جدول (۴) ارایه شده است. پس از به‌دست آوردن AWC پتانسیل تجمعی کمبود آب در هر ماه به‌دست می‌آید. این مقدار از جمع تجمعی مقادیر منفی(P–ETP) به‌دست می‌آید. در ماه‌هایی که (P–ETP) مثبت است، ذخیره خاک SM معادل AWC است و اگر(P–ETP) منفی باشد، مقادیر منفی با هم جمع شده و سپس مقدار ذخیره خاک SM از منحنی‌های شکل (۱) به‌دست می‌آید(۱۰).

جدول ۳- ظرفیت نگهداری رطوبت قابل دسترس در خاک‌های با بافت مختلف (S.C.S، ۱۹۶۴)

بافت خاک	اینچ آب در هرفوت خاک
بافت خیلی درشت — شنی درشت	۰/۷۵ — ۰/۴
بافت درشت — شنی درشت، شنی ریز و لومی شنی	۱/۲۵ — ۰/۷۵
بافت نسبتاً درشت — شنی لومی و شنی لومی ریز	۱/۷۵ — ۱/۲۵
بافت متوسط — شنی لومی خیلی ریز، لومی و سیلت لومی	۲/۳ — ۱/۵
بافت نسبتاً ریز — لومی رسی، سیلتی لومی رسی لوم شنی رسی	۲/۵ — ۱/۷۵
بافت ریز — رسی شنی، رس سیلتی و رس	۲/۵ — ۱/۶
پیت و ماک ها	۳ — ۲

جدول ۴- خصوصیات خاکشناسی حوزه‌های مورد مطالعه

نام حوزه	بافت خاک	AWC (IN/FT)	عمق خاک (Cm)	خصوصیات خاکشناسی	AWC (mm)
اسبقران	نسبتاً درشت	۲/۱۲۵	۶۵	کم عمق تا نیمه عمیق سنگریزه دار	۱۱۲/۵
سهزاب	نسبتاً درشت	۲/۱۲۵	۶۵	کم عمق تا نیمه عمیق سنگریزه دار	۱۱۲/۵
دریان	نسبتاً درشت	۲/۱۲۵	۶۵	کم عمق تا نیمه عمیق سنگریزه دار	۱۱۲/۵
لیقوان	ریز	۲/۰۵	۵۰	بسیار کم عمق تا نیمه عمیق بابافت سنگین	۸۵/۴
زینجناب	ریز	۲/۰۵	۵۰	بسیار کم عمق تا نیمه عمیق بابافت سنگین	۸۵/۴
لای	نسبتاً درشت	۲/۱۲۵	۶۵	کم عمق تا نیمه عمیق سنگریزه دار	۱۱۲/۵
خرمازرد	ریز	۲/۰۵	۵۰	خاکهای کم عمق تا نسبتا عمیق سنگریزه دار	۸۵/۴
دولت آباد	درشت	۱	۵۰	خاکهای کم عمق تا نسبتاً عمیق سنگریزه دار	۶۶/۶
زشک	درشت	۱	۳۰	خیلی کم عمق تا کم عمق سنگریزه دار	۲۵/۴
عراقی	درشت	۱	۴۰	خیلی کم عمق تا کم عمق سنگریزه دار	۳۳/۳
کمرسوراخ	خیلی درشت	۰/۵۷۵	۲۵	خیلی کم عمق سنگریزه دار	۱۱/۹
حطیطه	درشت	۱	۴۰	خیلی کم عمق تا کم عمق سنگریزه دار	۳۳/۳



شکل ۱- منحنی های آب باقیمانده در خاک[1]

محاسبه تغییرات ذخیره رطوبت خاک (Δ SM): تغییرات ذخیره رطوبت خاک (Δ SM) از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\Delta SM = SM\,i - SM\,(i-1) \qquad (۶)$$

که SMi، ذخیره رطوبت خاک در انتهای ماه است و SM(i–۱) ذخیره رطوبت در ابتدای ماه یا انتهای ماه قبل است. پس از به‌دست آوردن (ΔSM) تغییرات ذخیره رطوبت خاک مقادیر PMI (پتانسیل رطوبت اضافی)[2] محاسبه می‌شود.

$$PMI = P - Q - ETP \qquad (۷)$$

که PMI، پتانسیل رطوبت مازاد ماهانه بر حسب میلیمتر، P، بارش متوسط ماهانه بر حسب میلیمتر، Q، روان آب متوسط ماهانه بر حسب میلیمتر و ETP، تبخیر تعرق پتانسیل ماهانه بر حسب میلیمتر است (۱۰).

محاسبه تبخیر تعرق واقعی (ETR) : برای محاسبه تبخیر تعرق واقعی از PMI استفاده می کنیم.

اگر $PMI > 0 \longrightarrow ETR = ETP$ (۸)

اگر $PMI < 0 \longrightarrow ETR = P - Q - \Delta SM$ (۹)

تبخیر تعرق واقعی هیچگاه بیشتر از تبخیر تعرق پتانسیل نمی‌شود. در صورتی‌که آب در دسترس باشد منفی شود آن را ETR است. اگر مقدار ETR = ETP معادل صفر در نظر می‌گیریم(۱۰).

$$ETR < 0 \longrightarrow ETR = 0 \qquad (۱۰)$$

محاسبه جریان ورودی به آب زیر زمینی (WG): در ماه‌هایی که آب موجود در خاک در حد AWC است و مقدار Δ SM مثبت است، آب مازاد به آب زیرزمینی اضافه می‌شود. کل ذخایر آب زیر زمینی معادل آب زیرزمینی ماه مورد نظر به اضافه آب زیرزمینی وارد شده از ماه قبل است(۱۰).

۱-(منحنی‌ها بیانگر مقادیر آب باقیمانده در خاک یا AWC مشخص پس از تعیین پتانسیل تجمعی مقادیر کمبود آب می‌باشد)

۲- Potential Moisture Increment

اگر $\Delta SM < 0 \longrightarrow GW = 0$ (۱۱)

اگر $\Delta SM \geq 0 \longrightarrow GW = PMI - \Delta SM$ (۱۲)

اگر $GW < 0 \longrightarrow GW = 0$ (۱۳)

به این ترتیب اجزای مختلف بیلان آبی ماهانه محاسبه می‌شود.

محاسبات فوق در هر سال آماری (دوره ۱۳۵۷-۱۳۷۴) و برای هر یک از دوازده ماه سال انجام گرفته است.

۳-مدل سازی

برای تعیین مدل بیلان آبی ماهانه که از طریق آن بتوان روان آب ماهانه را به‌دست آورد ابتدا نیمی از آمار به‌دست آمده از مراحل فوق (بارش، دما، تبخیر تعرق پتانسیل، تبخیر تعرق واقعی، ذخیره رطوبت خاک، ذخیره رطوبت خاک در ماه قبل، آب زیرزمینی و دبی متوسط ماهانه) کنار گذاشته می‌شود. یعنی آمار موجود (برای از بین بردن اثر فصل) به صورت یک سال درمیان به دو قسمت مساوی تقسیم می‌شود سپس نیمی از داده‌ها برای مدل‌سازی استفاده شد و از نیمه دیگر داده‌ها برای کالیبره کردن مدل و آزمون دقت برآورد مدل استفاده شد.

برای به‌دست آوردن مدل رگرسیون چون داده‌های دما و بارش به صورت اندازه‌گیری شده موجود است و مقدار تبخیر تعرق پتانسیل از طریق فرمول‌های تجربی به‌دست می‌آید و مقدار ذخیره رطوبت خاک نیز از طریق جداول و نمودارها به‌دست می‌آید بقیه پارامترها که اندازه‌گیری نشده مانند تبخیر تعرق واقعی، آب زیرزمینی، ذخیره رطوبت خاک در ماه قبل و روان آب از طریق معادلات رگرسیون خطی چندگانه برآورد شده است. برای پیداکردن معادلات رگرسیونی روابط منطقی بین پارامترها در نظر گرفته شده است.

به این منظور از مدل‌های رگرسیون چند متغیره خطی و روش گام به گام استفاده شده است (۱). در مدل یک برای بازسازی آمار تبخیر تعرق واقعی از چهار پارامتر دما، ذخیره رطوبت خاک و تبخیر تعرق پتانسیل و بارش استفاده شده است. در مدل دو برای بازسازی آمار آب زیرزمینی از ذخیره رطوبت خاک استفاده شده است. در مدل سه برای تعیین ذخیره رطوبت خاک در ابتدای ماه (یا ذخیره رطوبت ماه قبل(LSM)) از دو پارامتر آب زیرزمینی و تبخیر تعرق واقعی استفاده شده است. در مدل چهار برای بازسازی آمار دبی از چهار پارامتر بارش، ذخیره رطوبت خاک در ماه قبل، تبخیر تعرق واقعی و آب زیرزمینی استفاده شده است.

پس از به‌دست آوردن چهار مدل فوق و آزمون آماری آنها و تعیین سطح معنی‌دار بودن مدل‌ها، معادلات به‌دست آمده در بخش دوم داده‌ها تست شده و کیفیت مدل[1] به‌دست آمد(۱۲). برای تعیین کیفیت مدل رواناب از رابطه زیر استفاده شده است:

$$Qual=O.CV/M.CV \quad (۱۴)$$

$$CV=S/q \quad (۱۵)$$

که در آن:

Qual، کیفیت مدل، O.CV ضریب تغییرات رواناب مشاهده شده ، M.CV ضریب تغییرات روان آب مدل می‌باشد.

ضریب تغییرات نسبت انحراف معیار S به میانگین داده‌های رواناب q می‌باشد. در جدول (۵) کیفیت مدل رواناب براساس عامل Qual ارایه شده است. پس از این مرحله از سری اول داده‌ها در هر یک از مناطق آذربایجان و خراسان برای به‌دست آوردن مدل منطقه‌ای استفاده شد. سپس این مدل‌های منطقه‌ای در تک تک حوزه‌های مربوط به هر منطقه و توسط بخش دوم داده‌ها که در رگرسیون استفاده نشده بود تست شده و کیفیت مدل در این حالت نیز به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده در

۱-Model Quality

جدول(۶ و ۷) آورده شده است. سطح اعتماد مورد نظر در این مدل‌ها ۵درصد می‌باشد.

جدول ۵ – کیفیت مدل رواناب (وندیوایل ،۱۹۹۲)

کیفیت	Qual
ضعیف	Qual <۲
رضایت بخش	۲< Qual <۳
خوب	۳< Qual <۴
عالی	Qual >۴

متوسط دبی ماهانه برآورد شده از مدل در هر حوزه با متوسط دبی اندازه‌گیری شده آن حوزه با استفاده از آزمون t استیودنت در سطح ۹۵درصد مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج به‌دست آمده نشان داد که بین دبی‌های متوسط مشاهده شده و دبی‌های برآورد شده از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

جدول ۶ – مدل‌های به‌دست آمده در حوزه‌های مورد مطالعه خراسان

نام حوزه	شماره مدل	مدل	R^2	کیفیت مدل هر حوزه آبخیز	کیفیت مدل منطقه‌ای
دولت آباد	۱	ETR = - ۵۵/۰۴۸ + ۰/۷۹۶ SM + ۲/۹۶۳ T +۰/۲۲۶P	٪۵۸		
	۲	GW = - ۹/۳۸۵ + ۰/۷۶۴ SM	٪۳۱		
	۳	LSM = ۳۱/۵۱۷ + ۰/۴۲۷ GW + ۰/۳۱۹ETR	٪۳۸		
	٤	Q = - ۰/۰۹۷۶۳ + ۰/۰۴۸۹ ETR + ۰/۰۰۹۸۹۳ LSM	٪٦۵	۱/۸	۲/۷
زشک	۱	ETR = - ۴۱/۸۹۴ + ۰/۱۲۴ P + ۲/۶۱۴ T +۱/۷۷۸SM	٪٦۱		
	۲	GW = - ۳/۷۸۹ + ۲/۲۰۲ SM	٪۳٤		
	۳	LSM = ۱۰/۴۴۱ + ۰/۱۶۵ GW + ۰/۱۲۶ ETR	٪٤۰		
	٤	Q = - ۰/۱۴۴+ ۰/۰۱۰۶۹ P+۰/۰۲۵۰۸ ETR+۰/۰۲۶۳۱LSM	٪٤۰	۲/۰۲	۲/۱۲
رونین	۱	ETR=-۵۹/۶۵۷+۰/۲۲۱ P +۲/۳۲T+۱/۶۰۶ SM	٪۵٦		
	۲	GW = - ۹/۸۰۷ + ۱/۹۹ SM	٪۲۷		
	۳	LSM = ۱۶/۲۹۵ + ۰/۲۱ GW + ۰/۲۰۵ ETR	٪۳۲		
	٤	Q=۰/۰۶۹۷۵+۰/۰۸۲۷۷P+۰/۰۰۷۸۴ ETR+۰/۰۰۷۵۲۷LSM	٪٤۹	۱/٦۳	۲/٤
کمر سوراخ	۱	ETR=- ۴۶/۲۳۴+۰/۱۸۴ P +۳/۷۱۲ T+۳/۳۹۷SM–۰/۳۴۶ ETP	٪۵۳		
	۲	GW = - ۲۶/۶۰۹ + ۶/۷۶۲ SM	٪۳۳		
	۳	LSM = ۶/۷۲۹ + ۰/۰۴۷۵۰ GW + ۰/۰۷۰۹۱ ETR	٪٤۱		
	٤	Q = - ۰/۲۱۷ + ۰/۰۳۵۲۵ ETR + ۰/۶۸۲۳ LSM	٪٤۹	۲/٤	۲/۱٤
کمیستان	۱	ETR = - ۵۲/۱۹۶+۱/۴۰۶SM +۲/۹۳ T+ ۰/۱۸۶P+ ۰/۱۶ ETP	٪۵۳		
	۲	GW = - ۶/۲۶۲ + ۰/۷۴۲ SM	٪۲٦		
	۳	LSM = ۱۶/۳۳۹ + ۰/۳۲۴ GW + ۰/۲۷۳ ETR	٪۳۱		
	٤	Q = ۰/۰۲۱۲۳ + ۰/۰۱۸۱ P + ۰/۰۱۱۲۶ETR	٪٤۸	۱/۵۳	۲/۹
استان خراسان	۱	ETR = -۱۷/۳۷+۰/۳۳۹P+۲/۰۷۱T+ ۰/۲۹۲ SM –۰/۱۴۷ETP	٪۳۹		
	۲	GW = ۱۲/۲۱۶ + ۰/۵۰۵SM	٪۸		
	۳	LSM = ۱۶/۴۴۳ +۰/۱۶۶ GW + ۰/۲۴ETR	٪۱۳		
	٤	Q=۰/۰۱۲۴۱+ ۰/۰۳۴۲۳ ETR+۰/۰۰۶۹۱۴GW+۰/۰۰۵۷۶۲LSM	٪٤۳		

جدول ۷ – مدل‌های به‌دست آمده در حوزه‌های مورد مطالعه آذربایجان

نام حوزه	شمار ه مدل	مدل	R^2	کیفیت مدل هر حوزه آبخیز	کیفیت مدل منطقه‌ای
اسبقران	۱	ETR = - ۵/۵۱۱ + ۱/۰۱۳ P + ۰/۷۵۷ T	٪۶۷		
	۲	GW = - ۲/۱۲۵ + ۰/۰۹۷۰۶ SM	٪۳۲		
	۳	LSM = ۴۸/۱۱۵ + ۳/۲۳۷ GW + ۰/۵۰۴ ETR	٪۳۰		
	٤	Q = - ۰/۹ + ۰/۱۳۸ ETR + ۰/۰۲۴۷۵ LSM	٪۵۲	۲/۶	۲/۷
سهزاب	۱	ETR = - ۶۷/۹۱۷ + ۰/۱۹۵ P + ۱/۹۹۲ T+۰/۲۹۵ETP+۰/۶۳۵SM	٪۵۳		
	۲	GW = - ۶/۱۸۹ + ۰/۳۲۶ SM	٪۳۶		
	۳	LSM=۴۲/۷۹۷+۱/۱۶۱GW+۰/۵۸۸ETR	٪٤۳		
	٤	Q = ۰/۲۶۶ + ۰/۰۱۷۷۳ ETR + ۰/۰۰۸۶۱۵ LSM	٪۵۱	۱/٤	٤/۳۷
دریان	۱	ETR =- ۶۵/۷۶۴+۰/۱۷۸P+۱/۷۰۴T+۰/۶۰۲SM+۰/۳۲ ETP	٪۵۵		
	۲	GW = - ۶/۸۰۳ + ۰/۴۵۶ SM	٪٤۸		
	۳	LSM = ۳۲/۰۵۲ + ۱/۰۰۲ GW + ۰/۷۲۵ ETR	٪٤۸		
	٤	Q = - ۰/۱۶۴ + ۰/۰۲۷۲۱ ETR + ۰/۰۰۶۲۸۹ LSM	٪٤۵	۲/۸۲	۱/۸
لیقوان	۱	ETR = - ۴۷/۵۶۶ + ۰/۳۲۴ P + ۰/۵۱۳ ETP + ۰/۵۰۲ SM	٪۶۹		
	۲	GW = - ۳/۷۹ + ۰/۳۴۳ SM	٪۳۳		
	۳	LSM = ۳۵/۰۳۷ + ۱/۰۷۳ Gw + ۰/۴۴۷ ETR	٪٤٤		
	٤	Q = ۰/۳۰۵ + ۰/۰۳۶۸ ETR – ۰/۰۱۳۱ P +۰/۰۰۶۸۶۶ LSM	٪۳۷	٤/۲۸	۵/۶۷
زینجناب	۱	ETR = - ۴۴/۹۷۸ + ۰/۳۹P + ۰/۲۰۶ ETP + ۰/۵۱۹ SM + ۱/۵۴۵ T	٪۶۸		
	۲	GW = - ۵/۷۴۵ + ۰/۳۳۴ SM	٪۳۷		
	۳	LSM = ۳۸/۶۱۳ + ۱/۱GW + ۰/۳۳۹ ETR	٪۳٤		
	٤	Q = - ۰/۰۹۵۹۵ + ۰/۰۱۴۳۲ ETR + ۰/۰۰۵۲۷۹ LSM	٪۶٤	۱/۶٤	۱/۶۱
لای	۱	ETR=-۷۰/۹۳۱+۱/۴۱ T+۰/۶۲۴ SM +۰/۵۱۵ ETP+۰/۲۳۲ P	٪۶۶		
	۲	GW = - ۷/۰۰۱ + ۰/۳۹۶ SM	٪۳۰		
	۳	LSM = ۴۴/۶۹۷ + ۰/۹۰۳ GW + ۰/۵۰۷ ETR	٪٤۰		
	٤	Q = ۰/۱۳۴ + ۰/۰۰۱۴۶۹ LSM + ۰/۰۰۱۵۳۴ GW	٪۳۵	٤/٤۵	۰/۷۲
خرما زرد	۱	ETR = -۲۸/۳۳۶ + ۰/۲۶۲ P + ۱/۷۶ T + ۰/۳۳۷ SM	٪۵۱		
	۲	GW = - ۴/۱۵۵ + ۰/۳۱۱ SM	٪۲۲		
	۳	SM= ۳۲/۹۵۴ + ۰/۷۳۵ GW + ۰/۸۴۵ETR	٪۳۱		
	٤	Q = ۰/۰۶۲۲۸ + ۰/۰۱۱۴۹P – ۰/۰۱۲۴۱GW+ ۰/۰۰۴۱۱۸ LSM	٪۲۵	۷	۲/۸
استان آذربایجان	۱	ETR =- ۴۲/۲۳۷+۰/۳۵۴P+۰/۳۰۵ETP+ ۰/۳۸۶ SM + ۰/۹۴۹ T	٪۵۵		
	۲	GW = - ۵/۲۲ + ۰/۳۲۴ SM	٪۳۲		
	۳	LSM = ۴۸/۸۰۶ + ۱/۰۲۲ GW + ۰/۴۷۲ ETR	٪۳۶		
	٤	Q = ۰/۰۷۰۳۹+۰/۲۳۳۲ ETR + ۰/۰۱۸۹ LSM –۰/۰۱۵GW	٪۱۶		

بحث و نتیجه گیری

براساس مطالعه انجام گرفته در دو منطقه از کشور نتایج زیر به‌دست می‌آید.

مدل بیلان آبی ماهانه در بیش از ۷۰درصد موارد به خوبی می‌تواند رواناب ماهانه را شبیه‌سازی کند. این نتیجه با نتایج به‌دست آمده در سایر نقاط جهان قابل مقایسه است(۱۲) و تایید می‌کند که یکی از روش‌های مناسب برای بازسازی آمار رواناب مدل‌های بیلان آبی ماهانه

هستند. در ضمن با توجه به جداول (۶ و ۷) به رغم یکسان بودن پارامترهای ورودی در مدل، مدل نهایی ممکن است با همه پارامترها و یا چند تا از پارامترها نوشته شود و بقیه پارامترها که ضریب همبستگی را کاهش داده و یا از نظر آماری همبستگی آنها معنی‌دار نیست از مدل حذف می‌شوند، از این‌رو مدل بیلان آبی ماهانه در هر حوزه آبخیز با حوزه دیگر تفاوت دارد و این با نتایج به‌دست آمده توسط وندیوایل (۱۹۹۲) و لی لوا (۱۹۹۹) منطبق است. مدل‌های به‌دست آمده دبی‌های سیلابی را بخوبی نمی توانند بازسازی کنند.چون مدل براساس بارش و دبی متوسط ماهانه است و در مواقع سیلابی در یک زمان محدود حجم زیادی آب از حوزه خارج می‌شود که با شرایط متوسط تفاوت زیادی دارد، لذا مدل این شرایط را نمی‌تواند بازسازی کند. کلیه مدل‌ها در سطح ۹۵درصد معنی‌دار هستند و در سطح اعتماد ۵درصد متوسط رواناب برآورد شده از مدل با متوسط رواناب اندازه‌گیری شده تفاوت معنی‌داری ندارد. لذا می‌توان از مدل بیلان آبی ماهانه برای برآورد رواناب متوسط ماهانه حوزه استفاده کرد. در صورت وجود آمار برف در ایستگاه‌های برف سنجی و همچنین آمار ایستگاه‌های هواشناسی که بتوان تبخیر و تعرق پتانسیل را با دقت بالاتری برآورد. مدل‌های بیلان آبی می‌توانند با دقت بالاتری رواناب را برآورد نمایند.

تقدیر و تشکر

به این‌وسیله از آقای دکتر منوچهر نمیرانیان که در تجزیه و تحلیل آماری این تحقیق همکاری نموده و همچنین معاونت پژوهشی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران که هزینه‌های اجرای این تحقیق را تامین نموده اند تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

۱- فتوحی، اکبر، فریبا اصغری، ۱۳۸۰. آموزش آنالیز آماری داده‌ها با spss8 انتشارات ناقوس.

۲- کانونی، امین، داورخلیلی وشاهرخ زند پارسا، ۱۳۷۸. معادله های پیش بینی رواناب سالانه در حوزه‌های فاقد آمار استان فارس با توجه به بیلان آبی حوزه‌ها، اولین همایش منطقه‌ای بیلان آب، اهواز.

۳- مهدوی، محمد، ۱۳۷۴. هیدرولوژی کاربردی، جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران.

4-Arnell,W.Nigol, 1992. Factors Controlling the Effects of Climate Change on River Flow Regimes in Humid Temperate Environment, Journal of Hydrology , 132:320-342

5-Bruce.k.Ferguson, 1998. Introduction to Storm Water Managements, MCGrawhill Inc. Newyork.

6-Kwadijk. J, Middle Koop.h, 1995. Estimation of Impact of Climate Change on the Peak Discharge Probability of the River Rhine ,Water Resour.res,165-183

7- Kyngh, Yoo, 1993. Hydrology and Water Supply for Pond Aquaculture, Mc Grawhill Inc. Newyork.

8-Lilua. xiong, Shenglianego, 1999. A two – Parameter Monthly Water Balance Model and Its Application, Journal of Hydrology,216:111-123

9-Mimikou.MA, Hadjisiavva. PS, Kouvopoulos.YS, Afrataos.H, 1992. Regional Climate Change Impacts .II. Impacts on Water Management Works, Hydrological Sciences Journal ,95-108.

10-Stephen, A. Thompson, 1999. Hydrology for Water Management, Balkema, Netherland.

11-Singh,1973.Hydrolagic System, Rainfall-Runoff Modelling, Prentice.Hall.Englewood Cliffs, Newjersey

12-Vandewiele,G.L ,Chong xu. Xu, Ni- lar – Win, 1992. Methodology and Comparative Study of Monthly Water Balance Models in Belgium, China and Burma, Journal of Hydrology, 43:317-347.

A Determination of An Appropriate Monthly Water Balance In Small Watersheds of Iran (Case Study: Eastern Azarbayejan And North of Khorasan)

M.Mahdavi[1] M.Azarakhshi[2]

Abstract

Monthly discharge is one of the most important factors to be considered in designs and hydrological works. Some basins are not equipped with needed hydrometric equipment. In such a case average monthly discharge could be estimated from regional monthly water balance models of representative basins. These models are of two types: P and PE. In P type the only input is precipitation and whereas PE type the input series are precipitation as well as potential evapotranspiration. In this study, PE type models were used in 12 basins in the semi-arid climate of Azarbayejan as well as North of Khorasan province in Iran. Following collection of data in temperature, precipitation and average monthly discharge in these basins, the potential evapotranspiration was calculated using Thornthwait formula.

Remaining parts of water balance equation including: Actual evapotranspiration, soil moisture supply of basin in each month and later months are estimated from Thornthwait model .Then, by regarding the logical relationship between parameters, the regression relationships between various parameters in water balance are established. The models are analysed at 5% confidence level. The results of the tstudent-test showed that diffrence between observed and estimated runoff, from models, was not significant and thus by using the monthly water balance models, the series for mean monthly discharge could be generated.

Keywodrs: Monthly water balance , Small basin, PE type models, Azarbayejan, Khorasan.

1-Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran (E-mail: mahduvi@nrf.ut.ac.ir)
2-Ph.D.,Studen, Faculty of Natural Resources, University of Tehran