تعيين مدل بيلان آبی مناسب ماهانه در حوزه‌های آبخيز كوچک كشور (مطالعه موردی: استان آذربايجان شرقی و شمال خراسان)[۱و۲]

محمد مهدوی[۳] مريم آذرخشی[۴]

چكيده

يكي از عواملي كه در طراحي سازه‌ها و كارهاي آبي اهميت ويژه دارد، دبي متوسط ماهانه حوزه مي‌باشد. با توجه به نبود وسايل و تجهيزات آب سنجي در بسياري از حوزه‌ها, مي‌توان با استفاده از مدل‌هاي بيلان آبي ماهانه حوزه‌هاي معرف, دبي متوسط ماهانه حوزه‌هاي مشابه و فاقد ايستگاه اندازه‌گيري را برآورد كرد. مدل‌هاي بيلان آبي ماهانه دو نوعند: مدل‌هاي نوع **P** كه ورودي آنها فقط بارش متوسط ماهانه است و مدل‌هاي نوع **PE** كه ورودي آنها بارش و تبخير و تعرق متوسط ماهانه است (۸). در اين تحقيق از مدل‌هاي نوع **PE** استفاده شده است. مطالعه در اقليم نيمه خشك و در ۱۲ حوزه در منطقه آذربايجان و شمال خراسان صورت گرفته است. پس از تهيه داده‌هاي دما، بارش و دبي متوسط ماهانه حوزه‌ها، توان تبخير تعرق متوسط ماهانه از رابطه تورنت وايت محاسبه شد. ساير بخش‌هاي معادله بيلان مانند تبخير و تعرق واقعي, جريان ورودي به آب زير زميني، ذخيره رطوبتي خاك و ذخيره رطوبت خاك حوزه در ماه قبل از طريق مدل تورنت وايت برآورد شده است. سپس با توجه به روابط منطقي, معادلات رگرسيون بين پارامترهاي مختلف بيلان آبي محاسبه شد. اين مدل‌ها درسطح اعتماد ۵درصد مورد آزمون و تجزيه تحليل قرار گرفتند. نتايج به‌دست آمده از آزمون **t** استيودنت بيانگر آن است كه اختلاف بين دبي متوسط ماهانه برآورد شده از مدل، با دبي متوسط اندازه‌گيري شده در سطح اعتماد ۵ درصد از نظر آماري معني دار نيست و با استفاده از مدل‌هاي بيلان آبي ماهانه مي‌توان رواناب ماهانه حوزه‌هاي فاقد آمار را برآورد نمود.

واژه‌هاي كليدي : *بيلان آبي, ماهانه, حوزه‌هاي آبخيز كوچك, مدل‌هاي نوع **PE**, آذربايجان، خراسان.*

---

[۱] -تاريخ دريافت: ۸۱/۱۱/۱۴ ، تاريخ پذيرش: ۸۲/۴/۱۷

[۲] اين تحقيق با حمايت مالي معاونت پژوهشي دانشگاه تهران انجام گرفته است

[۳]- استاد دانشكده منابع طبيعي دانشگاه تهران **(Email : mahdavi@nrf.ut.ac.ir)**

[۴]- دانشجوي دكتري آبخيزداري، دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه تهران

مقدمه

در پيش بيني وضع هيدرولوژي، عوامل چرخه آب مورد بررسي و تجزيه و تحليل قرار مي‌گيرند. از آنجا كه دستيابي به آمار مستلزم وجود وسايل و دستگاه‌هاي اندازه‌گيري در مدت زمان طولاني مي‌باشد و از طرفي اين آمار خود شديدا"در معرض تغييراتي هستند كه يا به‌طور طبيعي و يا توسط فعاليت‌هاي انسان در آنها به‌وجود مي‌آيد, روش‌هاي متعددي براي تخمين مقادير اين عوامل از طريق داده‌هايي كه از مشاهدات و آمارگيري به‌دست مي‌آيند، وجود دارد. يكي از اين روش‌ها مدل‌سازي و يا شبيه سازي در هيدرولوژي است .

در بسياري از حوزه‌هاي آبخيز كشور كه در مناطق دور دست قرار گرفته‌اند ايستگاه‌هاي آب سنجي وجود ندارد و از طرفي براي برنامه‌ريزي و مديريت در اين حوزه‌ها نياز است كه از خروجي آب آنها اطلاعاتي به‌دست آيد.

يكي از روش‌ها براي برآورد دبي در اين حوزه‌ها, استفاده از مدل‌هاي بيلان آبي ماهانه است.

با توجه به بررسي منابع موجود در مقياس جهاني و در دهه ۱۹۹۰, از مدل‌هاي بيلان آبي ماهانه در زمينه‌هاي مختلفي استفاده شده است(۸) .

وندیوایل و همکاران[۱] (۱۹۹۲) يك مدل بيلان آبي ماهانه را در ۷۹ حوزه آبخيز بلژيك، چين و برمه به‌كار بردند. نتايج به‌دست آمده نشان داد كه يك مدل جهاني مناسب براي تمام حوزه‌ها وجود ندارد.

آرنل[۲] (۱۹۹۹) از يك مدل بيلان آبي ماهانه براي بررسي عوامل كنترل كننده آثار تغيير اقليم بر حوزه‌هاي آبخيز انگلستان استفاده كرد. به اين منظور ايشان با تغييرات فرضي عوامل هواشناسي در مدل بيلان آبي ماهانه نشان داد كه در مقياس ماهانه، بيلان آب در تابستان و شرايط زمين‌شناسي حوزه, اثر مهمي بر عكس‌العمل حوزه نسبت به يك حالت مشخص تغيير اقليم دارد.

ميميكو[۳] و همكاران، (۱۹۹۲) ابتدا مدل بيلان آبي ماهانه منطقه مورد نظر را مشخص كرده و سپس با تغيير فرضي عوامل مختلف بيلان از قبيل بارش, تبخير، تعرق و ... به بررسي اثر تغييرات اقليمي منطقه‌اي, روي مديريت آب، ذخاير و توليد نيرو به‌وسيله آناليز حساسيت آنها نسبت به گزينه‌هاي مختلف تغيير اقليم پرداختند. نتايج به‌دست آمده نشان دهنده آن بود كه اگر گرم شدن گلخانه‌اي با كاهش بارش سالانه همراه شود خطر ارتباط تامين مقدار آب سالانه از منابع آب و توليد انرژي افزايش مي‌يابد.

كواجك[۴] (۱۹۹۵) به برآورد اثر تغيير اقليم روي جريان اوج محتمل رودخانه راين پرداخت. نتايج به‌دست آمده از مدل (RHIN FLOW) كه يك مدل GIS بيلان آب مي‌باشد بيانگر آن بود كه دبي هاي اوج محاسبه شده, به خوبي با مقادير مشابه مشاهده شده قابل تطبيق هستند.

لي لوا و شنگلين گيو[۵] (۱۹۹۹) از يك مدل دو پارامتره بيلان آبي ماهانه براي شبيه سازي روان آب در ۷۰ زير حوزه در جنوب چين استفاده كردند. آنها در اين مطالعه به اين نتيجه رسيدند كه مدل دو پارامتره بيلان آبي قادر به برآورد روان آب ماهانه مي‌باشد.

كانوني, خليلي و زند پارسا (۱۳۷۸) مدل بيلان آبي سالانه را در حوزه‌هاي فاقد آمار استان فارس مورد بررسي قرار دادند. نتايج اين بررسي نشان داد كه مدل به‌دست آمده مي‌تواند رواناب سالانه را به‌خوبي بازسازي كند.

در اين تحقيق با توجه به كمبودهاي آماري عوامل مختلف بيلان آبي از يك مدل چهار پارامتره (تبخير و

[۱]-Vandewiele *etal*

[۲]-Arnell

[۳]-Mimikou

[۴]-Kwadijk

[۵]-Lilua and Shenglianego

تعرق واقعي ETR, جريان ورودي به آب زير زميني GW, ذخيره رطوبت خاك در ماه قبل LSM و رواناب Q) براي برآورد دبي متوسط ماهانه استفاده شد. هدف اصلي از تحقيق فعلي تعيين مدلي ساده براي بازسازي آمار رواناب متوسط ماهانه در حوزه‌هاي آبخيز كوچك كشور با استفاده از مدل بيلان آبي ماهانه است كه در اين مورد از سه عامل بارش, دما و دبي متوسط ماهانه استفاده شد.

مواد و روش‌ها

موقعيت حوزه‌هاي مورد بررسي

در انتخاب حوزه‌هاي آبخيز براي به‌دست آوردن معادله بيلان آبي ماهانه بايد چند نكته را مد نظر قرار داد كه عبارتند از :

۱-حوزه‌هاي انتخابي بايد كوچك بوده, تا زمان تمركز حوزه كم باشد و تحت تاثير نفوذ آب‌هاي كشاورزي قرار نگيرند،

۲- حوزه‌ها در يك اقليم مشابه قرار گرفته باشند تا اثر اقليم بر محاسبات از بين برود،

۳- سازه‌هاي مخزني, درياچه هاي مصنوعي در حوزه نباشد،

٤- حوزه‌ها از نظر فيزيوگرافي و پوشش گياهي و زمين شناسي تقريبا" شرايط يكساني داشته باشند،

٥- حوزه‌ها داراي آمار كافي و مناسب با طول زماني مناسب باشند،

٦- تعداد حوزه‌ها براي انجام محاسبات آماري كافي باشد.

با توجه به مطالب فوق اين مطالعه در حوزه‌هاي آبخيز كوچك (كمتر از ده هزار هكتار) انجام گرفته است كه از دو منطقه آذربايجان شرقي و شمال استان خراسان انتخاب شده‌اند و براساس تقسيم بندي اقليمي آمبرژه, جز اقليم نيمه خشك قرار مي‌گيرند كه هفت حوزه آن در استان آذربايجان شرقي واقع شده و ٥ حوزه نيز در استان خراسان قرار دارند.

روش تحقيق

چنانچه حوزه آبخيز را به‌عنوان يك سيستم فرض نماييم. بيلان آبي براي شبكه جريان آب، بر اساس قانون بقاي جرم به صورت معادله (۱) بيان مي‌گردد.

$$P=I+ds+Q+E+dw+V \qquad (۱)$$

كه در اين معادله:

P، مقدار بارش، I، مقدار برگاب، ds, تغييرات ذخيره آب در سطح حوزه (ذخيره چالابي)، Q مقدار روان آب سطحي، E , مقدار تبخير تعرق، dw, تغييرات حجم آب ذخيره شده در خاك و V , مقدار نفوذ عمقي است. در عمل با حذف دو مقدار برگاب و ذخيره چالابي, معادله بيلان به صورت ساده‌تري درمي‌آيد زيرا اين دو مقدار مي‌توانند در برآورد تبخير و تعرق و مقدار رطوبت خاك در نظر گرفته شوند (۳).

در اين تحقيق براي رسيدن به اهداف مورد نظر, سه مرحله كاري انجام شد.

۱-تهيه وتنظيم داده‌ها

اين مرحله شامل جمع آوري داده‌ها, كنترل كيفيت آمار به روش آزمون توالي و بازسازي آمار به روش نسبت نرمال بوده و براي بازسازي داده‌هاي دما, از روش تفاضل و گراديان دما استفاده شده است. معادله گراديان دما در منطقه آذربايجان و خراسان به ترتيب در جداول (۱و۲) آمده است, كه در آن x ارتفاع به متر و y دماي متوسط ماهانه به درجه سانتيگراد است.

۲-محاسبه اجزاي مدل بيلان آبي

براي مدلسازي بيلان آب, بايد آمار اجزا بيلان را به‌دست آورد. آمار دما، دبي و بارش متوسط ماهانه از روي آمارهاي ثبت شده در ايستگاه‌هاي هيدرومتري و هواشناسي تهيه مي‌شود، اما از آنجا كه ساير اجزا بيلان مانند ذخيره آب در حوزه، تبخير و تعرق واقعي، جريان ورودي به آب

زیرزميني و پوشش برف در ايستگاه‌هاي هواشناسي و هيدرومتري كشور كمتر اندازه‌گيري مي‌شوند. بايد با استفاده از روش‌هاي تجربي برآورد گردند. در اين تحقيق جهت محاسبه اجزا بيلان آبي ماهانه از مدل بيلان آبي ماهانه تورنت وايت استفاده شده است (۱۱).

معادله بيلان آبي ماهانه كه تورنت وايت ارايه مي‌دهد به شرح زير است:

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

كه در اين معادله :

P، بارش ماهانه حوزه, Et، تبخير و تعرق واقعي ماهانه حوزه, Qd ، رواناب ماهانه، Bf، جريان پايه ماهانه, ΔS، تغييرات ماهانه پوشش برف, ΔSM، تغييرات ماهانه ظرفيت رطوبتي خاك و Δgw، تغييرات ماهانه مقدار آب زيرزميني هستند.

اين معادله نشان مي‌دهد كه بارش ورودي به سه جزء خروجي: تبخير و تعرق واقعي (ETR), روان آب سريع(Qd) و آب پايه (Bf)تقسيم مي شود.

تمام مقادير مدل بر حسب ميليمتر محاسبه شده و فقط دماي Tبر حسب درجه سانتيگراد 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
دي	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+۲۵/۴۳۶	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
دي	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

بارندگي : با توجه به اينكه در حوزه‌هاي مورد مطالعه ايستگاه‌هاي برف‌سنجي وجود ندارد و آمار ايستگاه‌هاي مجاور نيز يا ناقص بوده و يا مربوط به دوره زماني غير از زمان مورد نظر بوده و يا پيوستگي زماني در آماربرداري رعايت نشده است، در اين مطالعه از وارد كردن برف در مدل صرف نظر شده است و كل بارش منطقه به صورت برف يا باران به صورت بارش P (ورودي حوزه) در نظر گرفته شده است.

محاسبه تبخير تعرق پتانسيل حوزه : تبخير تعرق پتانسيل ماهانه هر يك از حوزه‌ها با استفاده از روش تورنوايت به‌دست آمده است. در اين روش تبخير و تعرق از فرمول زير به‌دست مي‌آيد(۳).

$$ETP=16/2\ [10Ti/I] \qquad (۳)$$

كه در آن ETP، تبخير تعرق پتانسيل ماهانه به ميليمتر, Ti، دماي متوسط ماهانه به سانتيگراد و I، شاخص حرارتي سالانه كه عبارتست از مجموع شاخص‌هاي حرارتي ماهانه.

$$I=\sum_{i=0}^{i=12}\left(\frac{Ti}{5}\right) \qquad (٤)$$

مقدار α نيز از رابطه زير محاسبه مي‌شود.

$$\alpha =(0/016+0/5\ I) \qquad (۵)$$

رواناب: رواناب اندازه‌گيري شده در ايستگاه‌هاي هيدرومتري بر حسب مترمكعب بر ثانيه است. مقدار رواناب در زمان ضرب شده و سپس بر سطح حوزه تقسيم مي شود تا ارتفاع رواناب به ميليمتر به‌دست آيد. در مقياس ماهانه تشخيص جريان پايه و رواناب مستقيم تقريباً غير ممكن است بنابراين مجموع اين دو به عنوان رواناب در نظر گرفته شده است(۱۲).

ذخيره رطوبت خاك **(SM)** : براي پيدا كردن ذخيره رطوبت خاك (SM) ابتدا بايد مقادير ظرفيت آب موجود در خاك(AWC) را به‌دست آورد. مقدار رطوبت خاك كمتر و يا معادل AWC است در صورتي‌كه (P-ETP) مثبت باشد ذخيره رطوبت خاك معادل AWC است و در صورتي‌كه (P- ETP) منفي باشد، مقدار (SM) از طريق جداول و نمودار به‌دست مي‌آيد(۱۰).

محاسبه ظرفيت آب موجود در خاك (**AWC** : مقدار AWC به بافت خاك بستگي دارد به علت تغيير در مقدار تخلخل و اندازه خلل و فرج خاك مقدار AWC بر حسب بافت خاك تغيير مي‌كند. مقدار AWC براي خاك‌هاي مختلف از روي جدول ارايه شده توسط سازمان حفاظت خاك آمريكا (۱۹٦٤) به‌دست مي‌آيد (۷). جدول (۳) ظرفيت نگهداري رطوبت قابل دسترس (ظرفيت آب موجود در خاك) در خاك‌هاي با بافت مختلف را نشان مي‌دهد.

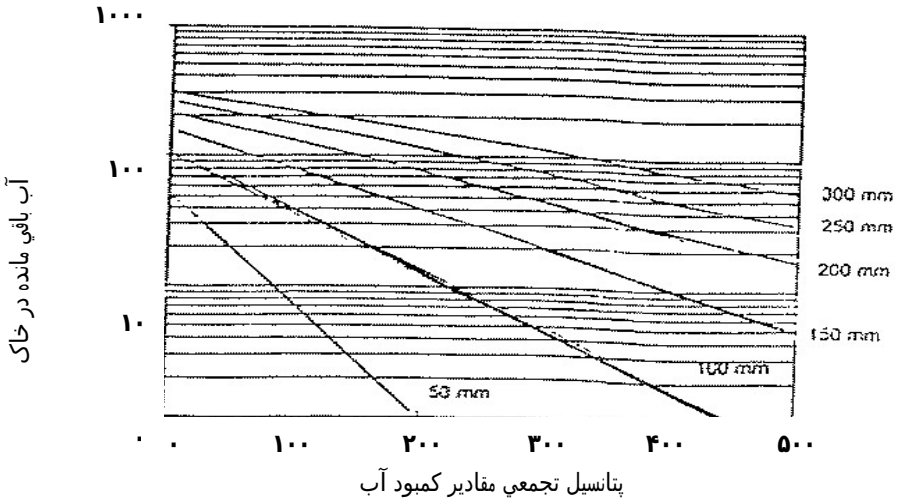
مقادير AWC هر يك از حوزه‌ها با توجه به بافت خاك و عمق خاك كه از روي نقشه‌هاي قابليت اراضي منطقه به‌دست آمده بود محاسبه شد. خصوصيات خاكشناسي حوزه‌هاي مورد مطالعه و مقدار AWC محاسبه شده براي هر حوزه در جدول (٤) ارايه شده است. پس از به‌دست آوردن AWC پتانسيل تجمعي كمبود آب در هر ماه به‌دست مي‌آيد. اين مقدار از جمع تجمعي مقادير منفي(P–ETP) به‌دست مي‌آيد. در ماه‌هايي كه (P–ETP) مثبت است، ذخيره خاك SM معادل AWC است و اگر(P–ETP) منفي باشد، مقادير منفي با هم جمع شده و سپس مقدار ذخيره خاك SM از منحني‌هاي شكل (۱) به‌دست مي‌آيد(۱۰).

جدول ۳- ظرفيت نگهداري رطوبت قابل دسترس در خاك‌هاي با بافت مختلف (**S.C.S**, ۱۹٦٤)

بافت خاك	اينچ آب در هرفوت خاك
بافت خيلي درشت — شني درشت	۰/٤ — ۰/۷۵
بافت درشت — شني درشت، شني ريز و لومي شني	۰/۷۵ — ۱/۲۵
بافت نسبتاً درشت — شني لومي و شني لومي ريز	۱/۲۵ — ۱/۷۵
بافت متوسط — شني لومي خيلي ريز، لومي و سيلت لومي	۱/۵ — ۲/۳
بافت نسبتاً ريز — لومي رسي، سيلتي لومي رسي لوم شني رسي	۱/۷۵ — ۲/۵
بافت ريز — رسي شني، رس سيلتي و رس	۱/٦ — ۲/۵
پيت و ماك ها	۲ — ۳

جدول ٤- خصوصيات خاكشناسي حوزه‌هاي مورد مطالعه

نام حوزه	بافت خاك	**AWC (IN/FT)**	عمق خاك (**Cm**)	خصوصيات خاكشناسي	**AWC (mm)**
اسبقران	نسبتاً درشت	۲/۱۲۵	٦۵	كم عمق تا نيمه عميق سنگريزه دار	۱۱۲/۵
سهزاب	نسبتاً درشت	۲/۱۲۵	٦۵	كم عمق تا نيمه عميق سنگريزه دار	۱۱۲/۵
دريان	نسبتاً درشت	۲/۱۲۵	٦۵	كم عمق تا نيمه عميق سنگريزه دار	۱۱۲/۵
ليقوان	ريز	۲/۰۵	۵۰	بسيار كم عمق تا نيمه عميق بابافت سنگين	۸۵/٤
زينجناب	ريز	۲/۰۵	۵۰	بسيار كم عمق تا نيمه عميق بابافت سنگين	۸۵/٤
لاي	نسبتاً درشت	۲/۱۲۵	٦۵	كم عمق تا نيمه عميق سنگريزه دار	۱۱۲/۵
خرمازرد	ريز	۲/۰۵	۵۰	خاكهاي كم عمق تا نسبتا عميق سنگريزه دار	۸۵/٤
دولت آباد	درشت	۱	۵۰	خاكهاي كم عمق تا نسبتاً عميق سنگريزه دار	٦٦/٦
زشك	درشت	۱	۳۰	خيلي كم عمق تا كم عمق سنگريزه دار	۲۵/٤
عراقي	درشت	۱	٤۰	خيلي كم عمق تا كم عمق سنگريزه دار	۳۳/۳
كمرسوراخ	خيلي درشت	۰/۵۷۵	۲۵	خيلي كم عمق سنگريزه دار	۱۱/۹
حطيطه	درشت	۱	٤۰	خيلي كم عمق تا كم عمق سنگريزه دار	۳۳/۳



شکل ۱- منحني هاي آب باقيمانده در خاک[1]

محاسبه تغييرات ذخيره رطوبت خاك **(Δ SM)**: تغييرات ذخيره رطوبت خاك (Δ SM) از رابطه زير محاسبه مي‌شود.

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

که SMi، ذخيره رطوبت خاك در انتهاي ماه است و SM(i–۱) ذخيره رطوبت در ابتداي ماه يا انتهاي ماه قبل است. پس از به‌دست آوردن (ΔSM) تغييرات ذخيره رطوبت خاك مقادير PMI (پتانسيل رطوبت اضافي)[2] محاسبه مي‌شود.

$$PMI = P - Q - ETP \qquad (۷)$$

که PMI، پتانسيل رطوبت مازاد ماهانه بر حسب ميليمتر، P، بارش متوسط ماهانه بر حسب ميليمتر، Q، روان آب متوسط ماهانه بر حسب ميليمتر و ETP, تبخير تعرق پتانسيل ماهانه بر حسب ميليمتر است (۱۰).

محاسبه تبخير تعرق واقعي **(ETR)** : براي محاسبه تبخير تعرق واقعي از PMI استفاده مي کنيم.

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

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

تبخير تعرق واقعي هيچگاه بيشتر از تبخير تعرق پتانسيل نمي‌شود. در صورتي‌که آب در دسترس باشد منفي شود آن را ETR است. اگر مقدار ETR = ETP معادل صفر در نظر مي‌گيريم(۱۰).

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

محاسبه جريان ورودي به آب زير زميني **(WG)**: در ماه‌هايي که آب موجود در خاك در حد AWC است و مقدار Δ SM مثبت است، آب مازاد به آب زيرزميني اضافه مي‌شود. کل ذخاير آب زير زميني معادل آب زيرزميني ماه مورد نظر به اضافه آب زيرزميني وارد شده از ماه قبل است(۱۰).

۱-(منحني‌ها بيانگر مقادير آب باقيمانده در خاک يا AWC مشخص پس از تعيين پتانسيل تجمعي مقادير کمبود آب مي‌باشد)

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 اجزاي مختلف بیلان آبي ماهانه محاسبه مي‌شود.

محاسبات فوق در هر سال آماري (دوره ۱۳۵۷-۱۳۷٤) و براي هر يك از دوازده ماه سال انجام گرفته است.

۳-مدل سازي

براي تعيين مدل بيلان آبي ماهانه كه از طريق آن بتوان روان آب ماهانه را به‌دست آورد ابتدا نيمي از آمار به‌دست آمده از مراحل فوق (بارش، دما، تبخير تعرق پتانسيل، تبخير تعرق واقعي، ذخيره رطوبت خاك، ذخيره رطوبت خاك در ماه قبل، آب زيرزميني و دبي متوسط ماهانه) كنار گذاشته مي‌شود. يعني آمار موجود (براي از بين بردن اثر فصل) به صورت يك سال درميان به دو قسمت مساوي تقسيم مي‌شود سپس نيمي از داده‌ها براي مدل‌سازي استفاده شد و از نيمه ديگر داده‌ها براي كاليبره كردن مدل و آزمون دقت برآورد مدل استفاده شد.

براي به‌دست آوردن مدل رگرسيون چون داده‌هاي دما و بارش به صورت اندازه‌گيري شده موجود است و مقدار تبخير تعرق پتانسيل از طريق فرمول‌هاي تجربي به‌دست مي‌آيد و مقدار ذخيره رطوبت خاك نيز از طريق جداول و نمودارها به‌دست مي‌آيد بقيه پارامترها كه اندازه‌گيري نشده مانند تبخير تعرق واقعي, آب زيرزميني، ذخيره رطوبت خاك در ماه قبل و روان آب از طريق معادلات رگرسيون خطي چندگانه برآورد شده است. براي پيداكردن معادلات رگرسيوني روابط منطقي بين پارامترها در نظر گرفته شده است.

به اين منظور از مدل‌هاي رگرسيون چند متغيره خطي و روش گام به گام استفاده شده است (۱). در مدل يك براي بازسازي آمار تبخير تعرق واقعي از چهار پارامتر دما، ذخيره رطوبت خاك و تبخير تعرق پتانسيل و بارش استفاده شده است. در مدل دو براي بازسازي آمار آب زيرزميني از ذخيره رطوبت خاك استفاده شده است. در مدل سه براي تعيين ذخيره رطوبت خاك در ابتداي ماه (يا ذخيره رطوبت ماه قبل(LSM)) از دو پارامتر آب زيرزميني و تبخير تعرق واقعي استفاده شده است. در مدل چهار براي بازسازي آمار دبي از چهار پارامتر بارش، ذخيره رطوبت خاك در ماه قبل، تبخير تعرق واقعي و آب زيرزميني استفاده شده است.

پس از به‌دست آوردن چهار مدل فوق و آزمون آماري آنها و تعيين سطح معني‌دار بودن مدل‌ها، معادلات به‌دست آمده در بخش دوم داده‌ها تست شده و كيفيت مدل[1] به‌دست آمد(۱۲). براي تعيين كيفيت مدل رواناب از رابطه زير استفاده شده است:

$$Qual=O.CV/M.CV \quad (١٤)$$

$$CV=S/q \quad (١٥)$$

كه در آن:

Qual، كيفيت مدل, O.CV ضريب تغييرات رواناب مشاهده شده , M.CV ضريب تغييرات روان آب مدل مي‌باشد.

ضريب تغييرات نسبت انحراف معيار S به ميانگين داده‌هاي رواناب q مي‌باشد. در جدول (۵) كيفيت مدل رواناب براساس عامل Qual ارايه شده است. پس از اين مرحله از سري اول داده‌ها در هر يك از مناطق آذربايجان و خراسان براي به‌دست آوردن مدل منطقه‌اي استفاده شد. سپس اين مدل‌هاي منطقه‌اي در تك تك حوزه‌هاي مربوط به هر منطقه و توسط بخش دوم داده‌ها كه در رگرسيون استفاده نشده بود تست شده و كيفيت مدل در اين حالت نيز به‌دست آمد. نتايج به‌دست آمده در

۱–Model Quality

جدول(٦ و ٧) آورده شده است. سطح اعتماد مورد نظر در این مدل‌ها ٥درصد مي‌باشد.

جدول ٥ – کیفیت مدل رواناب (وندیوایل ,۱۹۹۲)

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

متوسط دبي ماهانه برآورد شده از مدل در هر حوزه با متوسط دبي اندازه‌گيري شده آن حوزه با استفاده از آزمون t استيودنت در سطح ۹۵درصد مورد مقايسه قرار گرفت و نتايج به‌دست آمده نشان داد که بين دبي‌هاي متوسط مشاهده شده و دبي‌هاي برآورد شده از نظر آماري تفاوت معني‌داري وجود ندارد.

جدول ٦ – مدل‌هاي به‌دست آمده در حوزه‌هاي مورد مطالعه خراسان

نام حوزه	شماره مدل	مدل	R^2	کیفیت مدل هر حوزه آبخیز	کیفیت مدل منطقه‌اي
دولت آباد	۱	ETR = - ٥٥/٠۴٨ + ٠/٧٩۶ SM + ٢/٩۶٣ T +٠/٢٢۶P	%٥٨		
	٢	GW = - ٩/٣٨٥ + ٠/٧۶۴ SM	%٣١		
	٣	LSM = ٣١/٥١٧ + ٠/۴٢٧ GW + ٠/٣١٩ETR	%٣٨		
	٤	Q = - ٠/٠٩٧۶٣ + ٠/٠۴٨٩ ETR + ٠/٠٠٩٨٩٣ LSM	%٦٥	١/٨	٢/٧
زشك	۱	ETR = - ۴١/٨٩۴ + ٠/١٢۴ P + ٢/۶١۴ T +١/٧٧٨SM	%٦١		
	٢	GW = - ٣/٧٨٩ + ٢/٢٠٢ SM	%٣٤		
	٣	LSM = ١٠/۴۴١ + ٠/١۶٥ GW + ٠/١٢۶ ETR	%٤٠		
	٤	Q = - ٠/١۴۴+ ٠/٠١٠۶٩ P+٠/٠٢٥٠٨ ETR+٠/٠٢۶٣١LSM	%٤٠	٢/٠٢	٢/١٢
روئين	۱	ETR=-٥٩/۶٥٧+٠/٢٢١ P +٢/٣٢T+١/۶٠۶ SM	%٥٦		
	٢	GW = - ٩/٨٠٧ + ١/٩٩ SM	%٢٧		
	٣	LSM = ١۶/٢٩٥ + ٠/٢١ GW + ٠/٢٠٥ ETR	%٣٢		
	٤	Q=٠/٠۶٩٧٥+٠/٠٨٢٧٧P+٠/٠٠٧٨۴ ETR+٠/٠٠٧٥٢٧LSM	%٤٩	١/٦٣	٢/٤
كمر سوراخ	۱	ETR=- ۴۶/٢٣۴+٠/١٨۴ P +٣/٧١٢ T+٣/٣٩٧SM–٠/٣۴۶ ETP	%٥٣		
	٢	GW = - ٢۶/۶٠٩ + ۶/٧۶٢ SM	%٣٣		
	٣	LSM = ۶/٧٢٩ + ٠/٠۴٧٥٠ GW + ٠/٠٧٠٩١ ETR	%٤١		
	٤	Q = - ٠/٢١٧ + ٠/٠٣٥٢٥ ETR + ٠/۶٨٢٣ LSM	%٤٩	٢/٤	٢/١٤
كميستان	۱	ETR = - ٥٢/١٩۶+١/۴٠۶SM +٢/٩٣ T+ ٠/١٨۶P+ ٠/١۶ ETP	%٥٣		
	٢	GW = - ۶/٢۶٢ + ٠/٧۴٢ SM	%٢٦		
	٣	LSM = ١۶/٣٣٩ + ٠/٣٢۴ GW + ٠/٢٧٣ ETR	%٣١		
	٤	Q = ٠/٠٢١٢٣ + ٠/٠١٨١ P + ٠/٠١١٢۶ETR	%٤٨	١/٥٣	٢/٩
استان خراسان	۱	ETR = -١٧/٣٧+٠/٣٣٩P+٢/٠٧١T+ ٠/٢٩٢ SM –٠/١۴٧ETP	%٣٩		
	٢	GW = ١٢/٢١۶ + ٠/٥٠٥SM	%٨		
	٣	LSM = ١۶/۴۴٣ +٠/١۶۶ GW + ٠/٢۴ETR	%١٣		
	٤	Q=٠/٠١٢۴١+ ٠/٠٣۴٢٣ ETR+٠/٠٠۶٩١۴GW+٠/٠٠٥٧۶٢LSM	%٤٣		

جدول ۷ – مدل‌هاي به‌دست آمده در حوزه‌هاي مورد مطالعه آذربايجان

نام حوزه	شماره مدل	مدل	R^2	کیفیت مدل هر حوزه آبخیز	کیفیت مدل منطقه‌اي
اسبقران	۱	ETR = - ۵/۵۱۱ + ۱/۰۱۳ P + ۰/۷۵۷ T	%٦٧		
	۲	GW = - ۲/۱۴۵ + 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	۲/٦	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	%۳٦		
	۳	LSM=۴۲/۷۹۷+۱/۱۶۱GW+۰/۵۸۸ETR	%٤۳		
	٤	Q = ۰/۲۶۶ + ۰/۰۱۷۷۳ ETR + ۰/۰۰۸۶۱۵ LSM	%۵۱	۱/٤	٤/۳۷
دربان	۱	ETR =- ۶۵/۷۶۴+۰/۱۷۸P+۱/۷۰۴T+۰/۶۰۴SM+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	%٦۹		
	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	۵/٦۷
زینجناب	۱	ETR = - ۴۴/۹۷۸ + ۰/۳۹P + ۰/۲۰۶ ETP + ۰/۵۱۹ SM + ۱/۵۴۵ T	%٦۸		
	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	%٦٤	۱/٦٤	۱/٦۱
لاي	۱	ETR=-۷۰/۹۳۱+۱/۴۱ T+۰/۶۲۴ SM +۰/۵۱۵ ETP+۰/۲۳۲ P	%٦٦		
	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 أذربایجان	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	%۳٦		
	٤	Q = ۰/۰۷۰۳۹+۰/۲۳۳۲ ETR + ۰/۰۱۸۹ LSM –۰/۰۱۵GW	%۱٦		

بحث و نتيجه گيري

براساس مطالعه انجام گرفته در دو منطقه از کشور نتايج زير به‌دست مي‌آيد.

مدل بيلان آبي ماهانه در بيش از ۷۰درصد موارد به خوبي مي‌تواند رواناب ماهانه را شبيه‌سازي کند. اين نتيجه با نتايج به‌دست آمده در ساير نقاط جهان قابل مقايسه است(۱۲) و تاييد مي‌کند که يکي از روش‌هاي مناسب براي بازسازي آمار رواناب مدل‌هاي بيلان آبي ماهانه

هستند. در ضمن با توجه به جداول (٦ و ٧) به رغم يكسان بودن پارامترهاي ورودي در مدل، مدل نهايي ممكن است با همه پارامترها و يا چند تا از پارامترها نوشته شود و بقيه پارامترها كه ضريب همبستگي را كاهش داده و يا از نظر آماري همبستگي آنها معني‌دار نيست از مدل حذف مي‌شوند, از اين‌رو مدل بيلان آبي ماهانه در هر حوزه آبخيز با حوزه ديگر تفاوت دارد و اين با نتايج به‌دست آمده توسط وندیوایل (۱۹۹۲) و لي لوا (۱۹۹۹) منطبق است. مدل‌هاي به‌دست آمده دبي‌هاي سيلابي را بخوبي نمي توانند بازسازي كنند.چون مدل براساس بارش و دبي متوسط ماهانه است و در مواقع سيلابي در يك زمان محدود حجم زيادي آب از حوزه خارج مي‌شود كه با شرايط متوسط تفاوت زيادي دارد, لذا مدل اين شرايط را نمي‌تواند بازسازي كند. كليه مدل‌ها در سطح ۹۵درصد معني‌دار هستند و در سطح اعتماد ۵درصد متوسط رواناب برآورد شده از مدل با متوسط رواناب اندازه‌گيري شده تفاوت معني‌داري ندارد. لذا مي‌توان از مدل بيلان آبي ماهانه براي برآورد رواناب متوسط ماهانه حوزه استفاده كرد. در صورت وجود آمار برف در ايستگاه‌هاي برف سنجي و هچنين آمار ايستگاه‌هاي هواشناسي كه بتوان تبخير و تعرق پتانسيل را با دقت بالاتري برآورد. مدل‌هاي بيلان آبي مي‌توانند با دقت بالاتري رواناب را برآورد نمايند.

تقدير و تشكر

به اين‌وسيله از آقاي دكتر منوچهر نميرانيان كه در تجزيه و تحليل آماري اين تحقيق همكاري نموده و همچنين معاونت پژوهشي دانشكده منابع طبيعي دانشگاه تهران كه هزينه‌هاي اجراي اين تحقيق را تامين نموده اند تشكر و قدرداني مي‌گردد.

منابع

۱- فتوحي، اكبر، فريبا اصغري، ۱۳۸۰. آموزش آناليز آماري داده‌ها با spss8 انتشارات ناقوس.
۲- كانوني, امين، داورخليلي وشاهرخ زند پارسا, ۱۳۷۸. معادله هاي پيش بيني رواناب سالانه در حوزه‌هاي فاقد آمار استان فارس با توجه به بيلان آبي حوزه‌ها, اولين همايش منطقه‌اي بيلان آب, اهواز.
۳- مهدوي، محمد، ۱۳۷٤. هيدرولوژي كاربردي, 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: mahdavi@nrf.ut.ac.ir)
2-Ph.D.,Studen, Faculty of Natural Resources, University of Tehran