نشریه

ترویج و توسعه آبخیزداری
Extension and Development of Watershed Management

سال سیزدهم- شماره ۴۹- تابستان ۱۴۰۴ Vol. 13, No. 49, Summer 2025

استفاده از روش شماره منحنی در برآورد آبدهی سالانه حوضه‌ها و مقایسه آن با روش‌های تجربی مطالعه موردی (زیرحوضه‌های دره رود- اردبیل- ایران)

یاسر حسینی[1]

تاریخ دریافت ۱۴۰۳/۱۱/۱۵ تاریخ پذیرش ۱۴۰۴/۰۱/۱۸
DOI: 10.22034/WMJI.2025.2052441.1099

چکیده

مدیریت منابع آب در حوضه‌ها بدون تعیین دقیق دبی سیلاب امکان‌پذیر نیست. در تحقیق حاضر روش‌های مختلف تجربی ارائه‌شده برای تخمین آبدهی سالانه در حوضه‌ها، ازجمله روش‌های کوتاین، تورک، IDOI، ICAR، لازی، JUSTIN، انگلی-دیسوزا و خوسلا در تعدادی از زیرحوضه‌های دره‌رود در استان اردبیل موردبررسی و ارزیابی قرار گرفت و با روش SCS مقایسه گردید، برای این کار، داده‌های بارندگی و دما ایستگاه‌های استان با دوره مشترک آماری ۱۵ ساله جمع‌آوری گردید. سپس با استفاده از GIS پهنه‌بندی دما و بارش، در سطح منطقه انجام شد و متوسط دما و بارش برای هر زیر حوضه برآورد گردید. هم‌چنین با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS و WMS مشخصات فیزیوگرافی زیرحوضه‌ها، استخراج گردید و هم‌چنین متوسط بارندگی و دما در سطح حوضه‌ها به دست آمد. نتایج نشان داد، که هیچ‌کدام از روش‌های تجربی، نتایج قابل‌اعتمادی را در تعیین رواناب سالانه حوضه‌ها ارائه نمی‌کنند، به‌طوری‌که میزان ضریب تبیین، روش‌های کوتاین، تورک، IDOI، ICAR، لازی، JUSTIN، انگلی-دیسوزا و خوسلا به ترتیب برابر ۵، ۵، ۷،۱۵، ۱۲، ۲، ۷، ۷ به دست آمد. لیکن، در روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) با فرض شرایط خشک رطوبتی و ضریب نگهداشت سطحی (λ) برابر ۰/۰۵، ضریب تبیین (R2) ۹۴ درصد را به دست آمد. نتایج نشان داد که در روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) تفاوت بین مقادیر برآورد شده و مقادیر اندازه‌گیری شده، با در نظر گرفتن شرایط رطوبتی خشک برای حوضه کاهش می‌یابد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که روش SCS از دقت مناسبی در برآورد رواناب سالانه در زیرحوضه‌های منطقه موردمطالعه برخوردار است.

واژگان کلیدی: ***آبدهی سالانه، روش‌های تجربی، روش SCS، خصوصیات فیزیوگرافی، حوضه.***

مقدمه

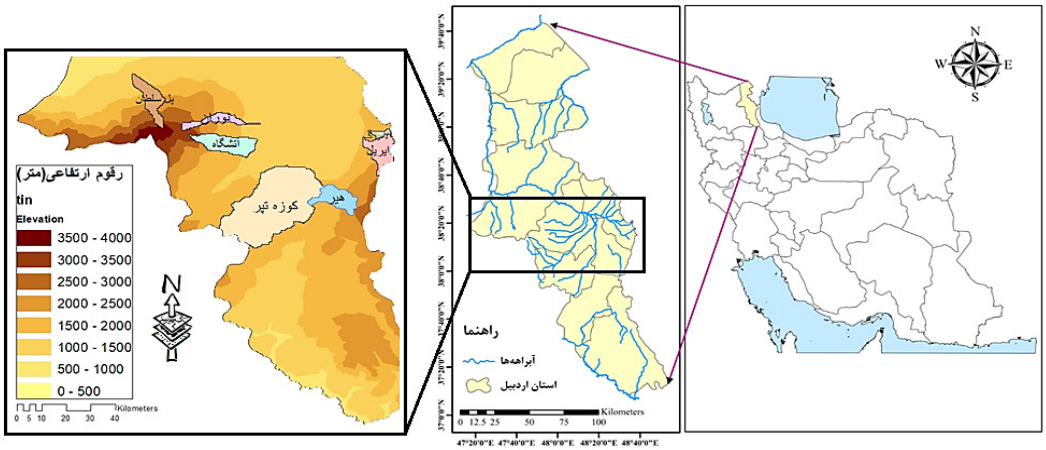
در مناطق خشک با توجه به کمبود آمار هیدرومتری و مطالعات بیلان آب، عموماً از روابط تجربی مختلف در برآورد آبدهی حوضه‌ها استفاده می‌شود. در مطالعات محیطی، آب به‌عنوان مهم‌ترین عامل در برنامه‌ریزی مدیریت صحیح بهره‌وری از اراضی مطرح می‌باشد. مطالعات هیدرولوژی به‌طور عمده متکی به داده‌های موجود در منطقه طرح و یا اطراف آن بوده و در موارد موردنیاز، استفاده از روابط تجربی این امکان را فراهم می‌سازد تا بر اساس بعضی داده‌های اقلیمی، برآوردی از میزان آب در حوضه‌های فاقد آمار به عمل آید از طرف دیگر صحت‌وسقم آمار و اطلاعات می‌تواند تأثیر بسزایی در برآورد نتایج داشته باشد. مطالعات زیادی در دهه‌های ۱۹۰۰ تا ۱۹۶۰ در برآورد ارتفاع رواناب سالانه و یا آبدهی صورت گرفته و بررسی‌ها چندی بین رابطه آبدهی و بارندگی صورت گرفته است. خسروی و همکاران [۱۷] روش‌های تجربی برآورد رواناب سالانه را به سه گروه مختلف تقسیم کرده‌اند؛ گروه نخست روش‌هایی که بین متغیر بارش و رواناب رابطه ریاضی برقرار می‌نمایند؛ مانند روش انگلی- دیسوزا [۱۴]، و روش دپارتمان آبیاری هندوستان (IDOI) [۸]. گروه دیگر، روش‌هایی که اساس آن‌ها بر میزان کمبود جریان سالانه و کمبود بارش استوار است، مانند روش‌های تورک [۳۳]، لانگبین [۱۸]، کوتاین و خوسلا. گروه سوم روش‌هایی هستند که از ویژگی‌های فیزیولوژیکی حوضه به‌منظور برآورد رواناب بهره می‌گیرند؛ مانند روش‌های سازمان تحقیقات آبیاری هندوستان (ICAR)، جاستین و روش لازی بارلوز برای کشور هند و برای حوضه‌های کوچک‌تر از ۱۳۰ کیلومترمربع، رابطه‌ای بین بارش و دبی ارائه کرده است. هم‌چنین خوسلا [۱۶] روابط بین بارش - دما را در چندین حوضه از هند و آمریکا، بررسی و رابطه بین بارش و رواناب را برای شرایط دمایی مختلف ارائه کرده است. فودی و همکاران [۷] برای تعیین نقاط سیلابی حوضه‌ای در کشور مصر از اطلاعات ماهواره لندست برای تعیین کاربری اراضی حوضه استفاده نمودند. سپس دبی سیلابی خروجی از حوضه مذکور و زیرحوضه‌های آن را برای یک بارش فرضی مدل‌سازی نمودند. نتایج نشان داد که دو

۱- استاد دانشگاه محقق اردبیلی- دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان.
Email: y_hoseini@uma.ac.ir

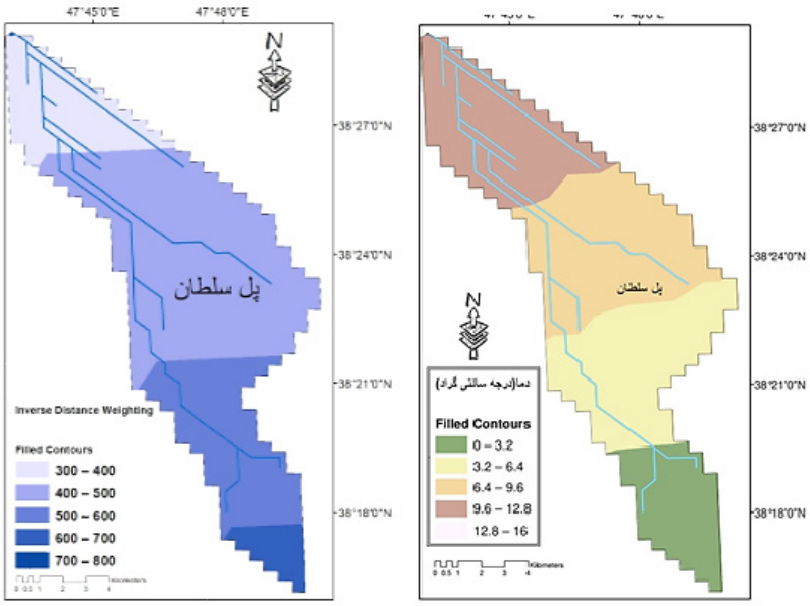
منطقه از بیش‌ترین درجه سیل‌خیزی برخوردار بود و این مناطق در نقاطی بودند که درواقع، از سیل‌های رخ‌داده آسیب فراوانی دیده بودند. بهرامی و ایمنی [٤] مدل‌های تجربی مختلف را در برآورد رواناب سالیانه در حوضه حصارک در شمال غرب تهـران بررسی کردند. در این پژوهش، روش‌های ICAR جاستین، انگلی- دیسوزا و روش شماره منحنی، موردبررسی قرار گرفتند. نتایج حاکی از مطابقت بیشتر روش شماره منحنی، با رواناب مشاهداتی در این حوضه بود. مرسا [٢٠]، روش شماره منحنی را با روش شبکه عصبی مصنوعی در نرم‌افزار HMS-Hec برای برآورد جریان سیلاب مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد روش CN-SCS در مقادیر جریان زیاد و روش ANN در مقادیر جریان کم عملکرد نسبی بهتری نشان دادند. روات و همکاران [٢٤] روش‌های تجربی مختلفی ازجمله رابطه انگلـی و دیسـوزا، تـورک، IDOI، کوتـاین، خوسلا، جاستین، لازی، ICAR و CN-SCS را در برآورد رواناب سالانه در یک حوضه آبریز در هندوستان با یکدیگر مقایسه کردند. بر اساس نتایج این پژوهش، روش انگلی- دیسوزا بهترین عملکرد را داشت. در تحقیق ایشان، روش SCS به‌عنوان مبنای محاسبات قرار گرفت. روشنی و همکاران [٢٧] روش‌های مختلف تجربی در برآورد رواناب سالانه را در حوضه گرگانرود موردبررسی قرار دادند و از میان این روش‌ها، روش ICAR و سپس IDOI تطابق مناسبی با داده‌های اندازه‌گیری شده داشت. عبدی [١] در تحقیقی اقدام به تعیین سیلاب با استفاده از روش ضرایب رواناب محتمل نمود؛ و با استفاده از نرم‌افزارTR آمار حداکثر دبی حداکثر لحظه‌ای ١٨ ایستگاه دارای باران‌نگار را در حوضه آبریز مازندران موردبررسی قرار دادند. بر این اساس، ضرایب رواناب با دوره برگشت‌های مختلف محاسبه شد و پس از آن، منحنی‌های هم ضریب رواناب رسم گردید، نتایج نشان داد که مدل TR با دقت بالایی مقادیر سیلاب را برآورد می‌نماید. در تحقیقی که توسط حسینی [١٠] در یک حوضه آبریز کوچک در استان اردبیل انجام شد، نتایج برآورد سیلاب به روش‌های Uniform و SCS در دوره موردمطالعه و نتایج تجزیه واریانس و آزمون مقایسه میانگین حاصل از دو روش نشان داد، بین سیلاب برآورد شده به روش Uniform در WMS و روش هیدروگراف مصنوعی SCS اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد مشاهده نگردید؛ که این امر نشان‌دهنده آن بود که هیدروگراف واحد برآورد شده حوضه و توزیع بارندگی در سطح حوضه، بسیار نزدیک به منحنی‌های ارائه‌شده در مدل SCS می‌باشد. نتایج نشان داد، سیلاب برآورد شده در روش SCS در دوره‌های بازگشت مختلف دارای میانگین کم‌تری نسبت به روش Uniform در مدلWMS است که با توجه به نتایج دقیق روش SCS، می‌توان این کاهش برآورد را به‌عنوان خطای روش Uniform قلمداد نمود. رسول‌زاده و همکاران [٢٥]، در تحقیقی در استان اردبیل برای مشخص نمودن مدل تحلیل منطقه‌ای سیلاب، چهار مدل مساحت، مساحت - شیب، مساحت -شیب -آبراهه و روش فولر را بررسی نمودند. نتایج نشان داد، مدل مساحت-شیب و طول آبراهه برای دوره‌های بازگشت کم‌تر از پنجاه سال دقت مناسبی را ارائه میدهد. دلاوی و همکاران [٥]، با بررسی روش‌های مختلف کوتاین، انجمن آبیاری هند، انگلی-دیسوزا و خوسلا در برآورد دبی سالانه حوضه‌ای در کشور هند، به این نتیجه رسیدند که روش کوتاین بهتر از سایر روش‌ها قادر به برآورد دبی سالانه حوضه می‌باشد. ناصری و همکاران [٢١] در تحقیقی روش‌های تجربی برآورد سیلاب را در حوضه سفیدرود بزرگ موردبررسی قرار دادند، نتایج ایشان نشان داد که در این منطقه می‌توان روش جاستین را برای مناطق با گرادیان ارتفاعی و دمایی و ضریب جریان زیاد توصیه کرد. هم‌چنین، روش سازمان آبیاری هندوستان نیز برای محدوده‌های دارای نسبت رواناب به بارش بالاتر از ٠/٢ عملکرد قابل قبولی داشت؛ هم‌چنین روش کوتاین در اکثر محدوده‌ها عملکردی متوسطی را از خود نشان داد. حسینی و همکاران [١١] روش‌های HEC-1، TR20 و TR55 در مدلWMS را برای تعیین حداکثر سیلاب حوضه کوهگل واقع در جنوب شرقی استان خوزستان موردبررسی قراردادند. نتایج نشان داد روش TR55 بیش‌ترین مطابقت را با مقادیر روش تجربی دیکن دارد. با توجه به آمار و اطلاعات در دسترسی، روش‌های مختلفی جهت برآورد آبدهی سالانه حوضه‌های مختلف ارائه‌شده است که در این روش‌ها، با استفاده از بعضی از خصوصیات فیزیوگرافی حوضه‌ها و هم‌چنین، میزان متوسط بارندگی و دمای متوسط حوضه‌ها، مقدار رواناب سالانه محاسبه می‌شود که بعضاً، به‌عنوان روش‌های مبنی در محاسبات رواناب سالانه زیرحوضه‌ها قرار می‌گیرد. ازجمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های SCS، کوتاین، تورک، IDOI، ICAR، لازی، JUSTIN، انگلی-دیسوزا و خوسلا اشاره نمود، ازآنجاکه استفاده از این روش‌ها در هر منطقه نیاز به بررسی و صحت سنجی آن‌ها دارد، لذا در این پژوهش، روش‌های مذکور موردبررسی قرار خواهند گرفت؛ و میزان دقت هر یک از این روش‌ها در تعدادی از زیرحوضه‌های دره‌رود در استان اردبیل بررسی‌شده و بهترین روش ازنظر آماری پیشنهاد خواهد شد.

داده‌ها و روش‌ها

این تحقیق در استان اردبیل حوضه آبخیز دره‌رود بین عرض شمالی ′٤٥ °٣٧ تا ′٤٢ °٣٩ و طول شرقی ′٣٠ °٤٧ تا ′٥٥ °٤٨ در شمال غرب ایران انجام‌شده است. استان اردبیل دارای حوضه‌های آبریز درهرود، بالهارود، قزلاوزن و ارس میباشد. بزرگترین حوضه استان، درهرود می‌باشد. حوضه آبریز درهرود با مساحتی بالغ بر١٢٩٠٠٠٠ هکتار، ٧٦ رودخانه دائمی و فصلی به طول ٢٠٦٧ کیلومتر در آن جریان دارند. مهم‌ترین رودهای این حوضه عبارت‌اند از: ارس، درهرود، بالخلی‌چای، قوری‌چای و قره‌سو. زیرحوضه‌های موردمطالعه در این تحقیق شامل کوزه تپراقی، ایریل، آتشگاه، آلادیزگه، پل سلطانی، نوران و هیر می‌باشد. جهت انجام مطالعات فیزیوگرافی از نقشه ١:٢٥٠٠٠ حوضه استفاده شد. در این پژوهش، داده‌های متوسط سالانه بارش و دما با استفاده از داده‌های دوره مشترک آماری ١٥



شکل ۱: موقعیت زیرحوضه‌های موردمطالعه در نقشه رقومی استان



شکل ۲: متوسط دما و بارش سالیانه در حوضه کوزه تپراقی

ساله ایستگاه‌های کلیماتولوژی و باران‌سنجی استان اردبیل به دست آمد و برای تهیه نقشه هم‌میزان متوسط سالانه بارش و دما، با استفاده از GIS پهنه‌بندی دما و بارش، در سطح منطقه انجام شد و سپس نقشه هم‌میزان بارش و دما برای هر یک از زیر حوضه‌ها تهیه شد و با استفاده از مساحت در برگیرنده منحنی‌های هم میزان، متوسط بارش و دما در سطح حوضه برآورد گردید. سپس مشخصات فیزیوگرافی زیرحوضه‌ها، شامل مساحت، شیب، ضریب شکل و ارتفاع متوسط زیرحوضه‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS10.4 و WMS11.2 استخراج گردید. در شکل (۱) موقعیت زیر حوضه‌های موردمطالعه در حوضه دره رود نشان داده‌شده است و هم‌چنین در شکل (۲) متوسط سالانه دما و بارندگی در سطح حوضه کوزه تپراقی به‌عنوان نمونه نشان داده‌شده است. خصوصیات فیزیوگرافی این زیر حوضه‌ها نیز در جدول (۱) ارائه‌شده است.

روابط تجربی برآورد رواناب سالانه

۱- روش کتاین

اساس این روش بر مبنای کمبود جریان (D) در حوضه استوار می‌باشد. روابط زیر روش تعیین ارتفاع رواناب را نشان می‌دهند.

$$D = P - \lambda P^2 \qquad (۱)$$

$$\lambda = \frac{1}{O.8 + O.14T} \qquad (۲)$$

$$R = P - D = \lambda P^2 \qquad (۳)$$

P = بارندگی سالانه (متر)، T = دمای متوسط حوضه (درجه سانتی‌گراد)، D = کمبود جریان سالانه (متر)، R = ارتفاع رواناب (متر).

جدول ۱: خصوصیات فیزیوگرافی ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه درهرود [۱۱]

نام ایستگاه	مساحت (km^2)	ارتفاع متوسط (m)	زمان تمرکز (hr)	شیب آبراهه اصلی (٪)	میانگین دمای سالانه (C)	میانگین بارش (mm)	متوسط ارتفاع رواناب سالانه (mm)	شماره منحنی
کوزه تپراقی	۸۰٤/٤	۱۷٤۹	۱۱/۳	۱/۰۳	۹/۳	۳۸۰	۳۰	۷۳
ایریل	۸۲/۳	۱۵۵۸	٦/۰۸	۲/۰۸	۷/۲	٤۳۰	۱۱۰	۷۰
آتشگاه	۲٤/۹	۲٤۱٦	٦/۲	۷/۲	۸/۳	۵۳۰	۸۰	۷۵
آلادیزگه	۲۵/۸	۱٤۱۲	٤/٦	۲/۳	۹/۱	٤۹۰	۳۰۰	۷۳
پل سلطانی	۱٤۰/۰۲	۲٦۳٤	۱۵/۸	٦/۵	۷/۲۵	٤۷۵	۲٤۰	۷۷
نوران	۱۳۱/۸	۱۹۳۵	۲/۸	۵/۰۷	۸/۲	۵۹۰	۸۰	۷٦
هیر	۱۳۱/۲	۲۲۲۷	۲/٦	٤/٦	۸/۸	۳٦۰	۵۰	٦۸

۲- روش انجمن تحقیقات کشاورزی هند (ICAR)

در این روش با استفاده از فرمول تجربی زیر ارتفاع رواناب سالانه به دست می‌آید.

$$Q = \frac{1.115P^{1.44}}{T^{1.34}A^{0.0613}} \qquad (٤)$$

P = بارندگی سالانه حوضه (سانتی‌متر)،T = دمای متوسط سالانه حوضه (درجه سانتی‌گراد)،Q = ارتفاع رواناب سالانه حوضه (سانتی‌متر)، A = مساحت حوضه کیلومترمربع.

۳- روش جاستین

روش جاستین بر اساس عملکرد مشابه حوضه‌ها استوار است و در این روش از آمار حوضه‌ای که ایستگاه آب‌سنجی دارد جهت برآورد ارتفاع رواناب حوضه فاقد ایستگاه هیدرومتری استفاده میشود. ابتدا حوضه آبریزی که دارای آمار هیدرومتری (آب‌سنجی) بوده و مشخصات زیر در آن معلوم است در نظر گرفته می‌شود. با توجه به پارامترهای فوق، ضریب K که به ضریب جاستین معروف است، از روابط زیر به دست می‌آید [٦].

$$S = \frac{H\max - H\min}{\sqrt{A}} \qquad (۵)$$

$$R = \frac{W}{A} \qquad (٦)$$

$$K = \frac{R(1.8T + 32)}{S^{0.155}P^2} \qquad (۷)$$

A: مساحت حوضه (کیلومترمربع)، $H_{\max}$: حداکثر ارتفاع (متر)، $H_{\min}$: حداقل ارتفاع، W: حجم آبدهی سالانه (میلیون مترمکعب)، P: متوسط بارش سالانه (سانتی‌متر)، $\overline{H}$: متوسط ارتفاع حوضه (متر)، T: متوسط دمای سالانه حوضه (درجه سانتی‌گراد)، R: ارتفاع رواناب حوضه (سانتی‌متر)، S: شیب حوضه (درصد). پس از به دست آوردن ضریب K برای حوضه معلوم با انجام عمل عکس، آبدهی سالانه (W) حوضه موردنظر که در همان منطقه اقلیمی واقع‌شده محاسبه می‌شود.

٤- روش دپارتمان آبیاری هندوستان (IDOI)

این روش یکی از ساده‌ترین روش‌های موجود برآورد رواناب سالانه است که با داشتن مقادیر بارش، ارتفاع رواناب سالانه را با یک رابطه تجربی تخمین می‌زند. سازمان آبیاری هندوستان از رابطه زیر برای برآورد رواناب سالانه استفاده می‌کند [۱۷].

$$R = P - 1.17 \times P^{0.086} \qquad (۸)$$

در این رابطه R ارتفاع متوسط رواناب سطحی سالانه برحسب سانتی‌متر در نقطه تمرکز حوضه بوده و P بارندگی سالانه حوضه برحسب سانتی‌متر می‌باشد.

۵- روش انگلی - دی سوزا

این رابطه برای مناطق کوهستانی و دشت‌ها به‌صورت جدا ارائه‌شده است؛ که بر اساس مطالعات صورت گرفته در منطقه ماهاراشترا در هندوستان گسترش داده‌شده است [۲۳].

(۹) برای مناطق کوهستانی $R = 0.85 \times P - 30.5$

(۱۰) برای دشت $R = \frac{(P - 17.8) \times P}{254}$

در روابط بالا، P: میانگین بارش سالانه در حوضه (سانتی‌متر)، R: ارتفاع متوسط رواناب سطحی سالانه در حوضه (سانتی‌متر).

٦- روش خوسلا

این روش، یکی از ساده‌ترین روش‌های برآورد رواناب سالانه در حوضه‌ها این روش می‌باشد. در این روش با داشتن مقادیر بارش و دما، می‌توان ارتفاع رواناب سالانه را تخمین زد. خوسلا به‌منظور تشخیص این سه متغیر در حوزه‌های آبریز کشورهای هندوستان و آمریکا رابطه زیر را ارائه داده است [۲۳].

$$R = P - \frac{T}{3.74} \qquad (۱۱)$$

در این رابطه، R: ارتفاع متوسط رواناب سطحی سالانه در حوضه

(سانتی‌متـر)، P: بارنـدگی سالانه منطقه (سانتی‌متر)، T: متوسط دمای سالانه منطقه برحسب درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

۷– روش لازی

این رابطه را یک پژوهشگر هندی در حوزه‌های آبریز متعددی ارزیابی کرده است؛ که برآورد آن از طریق رابطه زیر انجام می‌شود [۲۳].

$$R = \frac{P}{1+\frac{302.8}{P}\times F_z} \qquad (۱۲)$$

در این رابطه، P: میانگین بارش سالانه (سانتی‌متر)، R: ارتفاع متوسط رواناب سطحی سالانه (سانتی‌متر)، Fz: عبارتی است که به دوره بارش و ویژگی‌های فیزیولوژیکی حوضه مربوط است و از جدول (۲) تعیین می‌شود.

جدول۲: مقادیر Fz در روش لازی

خصوصیات حوضه	طول دوره بارش		
	بلند	متوسط	کوتاه
فلات، دشت‌های مسطح با خاک عمیق و پوشش گیاهی	٦	٤	۰/۲
مناطق به نسبت مسطح با خاک عمیق و پوشش گیاهی مرتع	۲/۵	۱/٦۷	۰/۸۳
تپه با خاک کم‌عمق و پوشش گیاهی ضعیف	۱/۵	۱	۰/۵
شن، ماسه‌سنگ، زمین‌های شیب‌دار با ارتفاع زیاد	۰/٤۳	۰/۵۸	۰/۲۳
صخره مرتفع و شیب‌دار بدون پوشش گیاهی	۰/٤۳	۰/۲۸	۰/۱٤

۸–روش تورک

مبنای این روش نیز همانند روش کوتاین بر اساس میزان کمبود جریان است [۱۳].

$$L = 300 + 25\,T + 0.05T^3 \qquad (۱۳)$$

$$D = \frac{P}{\sqrt{0.9+\frac{P^2}{L^2}}} \qquad (۱٤)$$

$$R = P - D \qquad (۱۵)$$

در این روابط، D: برابر کمبود جریان (میلی‌متر)، P: متوسط بارندگی سالانه حوضه (میلـی‌متـر)، R: ارتفـاع رواناب سطحی سالانه در حوضه (میلی‌متر)، T: میانگین دمای سالانه حوضه (درجه سـانتی‌گـراد)، L: ضریب تجربی معادله می‌باشد.

روش شماره منحنی (CN-SCS)

مدلSCS-CN1 یک مدل ساده و تجربی با مفروضات ساده و مشخص است. درنتیجه، استفاده گسترده‌ای در حوزه‌های آبخیز کوچک کشاورزی یا شهری برای پیش‌بینی رواناب برای رویدادهای بارندگی منفرد و مدیریت منابع است. بسیاری از مدل‌های هیدرولوژیکی و اکولوژیکی از این مدل برای محاسبه رواناب استفاده کرده‌اند. روش SCS-CN در سال ۱۹٥٤ توسط USDA-SCS ایجاد شد و بر اساس تکنیک محاسبه تعادل آب است [۲۸]. در این روش، شماره منحنی، نشان‌دهنده توانایی خاک برای نفوذ آب با توجه به کاربری زمین/پوشش زمین (LU/LC) و شرایط رطوبتی خاک قبلی (AMC) است [۱۹]. بر اساس میزان رواناب پیش‌بینی‌شده و نرخ نفوذ نهایی، خاک‌ها به چهار گروه هیدرولوژیکی، توسط سرویس حفاظت خاک ایالات‌متحده (SCS) شامل گروه‌هایA، B، C و D، تقسیم می‌شوند. مدل SCS-CN اخیراً برای برآورد رسوب و مدل‌سازی رطوبت خاک گسترش‌یافته است. دلیل اصلی موفقیت آن این است که بسیاری از عوامل مؤثر بر تولید رواناب، ازجمله نوع خاک، کاربری زمین، وضعیت سطح و شرایط رطوبت قبلی را در نظر می‌گیرد و آن‌ها را در یک پارامتر واحد CN ادغام می‌کند. علاوه بر این، این روش، تنها روشی است که به‌خوبی با داده‌های مشاهداتی مستند شده و تثبیت‌شده است که به‌طور گسترده برای استفاده در ایالات‌متحده و سایر کشورها پذیرفته‌شده است [۲۹]. بر اساس این روش، رواناب بارش حوضه به دو مؤلفه تقسیم می‌شود، بخشی از آن در سطح حوضه جاری می‌شود (رواناب سطحی) و بخش دیگر به‌صورت نفوذ یا تبخیر اصطلاحاً تلف می‌شود. آن قسمت از بارش که در سطح حوضه جاری می‌شود و سیل را به وجود می‌آورد، بارش مازاد گفته می‌شود و مقدار آن برای هر بارندگی بر اساس روش SCS توسط روابط زیر محاسبه می‌شود. این روش توسط سرویس حفاظت خاک آمریکا(SCS)، در سال ۱۹٥٤ ارائه‌شده و یکی از پرکاربردترین روش‌های تعیین رواناب سطحی می‌باشد و می‌تواند در حوضه‌های بدون ایستگاه هیدرومتری مورداستفاده قرار گیرد.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \qquad (۱٦)$$

$$R = \frac{(P-\lambda S)^2}{(P+I_a-S)} > I_a \times S \qquad (۱۷)$$

$$I_a = \lambda \times S \qquad (۱۸)$$

S: پارامتری است که معرف پتانسیل نگه داشت رطوبت در سطح حوضه (برحسب میلی‌متر).CN: شماره منحنی مربوط به سطح حوضه،R: ارتفاع بارش مازاد برحسب میلی‌متر، P: ارتفاع رگبار به میلی‌متر و λ ضریبی از مقدار نگهداشت سطحی برای تعیین جذب اولیه بوده و Ia، جذب اولیه می‌باشد.

برای تعیین مقدار رواناب حوضه، برای مقادیر λ می‌توان ۰/۲ و یا ۰/۰۵ را در نظر گرفت. در صورت فرض ۰/۰۵ برای این ضریب، روابط ذخیره سطحی و رواناب از روابط زیر محاسبه می‌شوند [۹].

1- Soil Conversations Service-Curve Number

$$S_{0.05} = 1.33 \times S_{0.2}{}^{1.15} \quad (۱۹)$$

$$R = \begin{cases} \dfrac{((\frac{P}{25.4}) - 0.05 \times S_{0.05})^2}{(P + I_a - S)} & \dfrac{P}{25.4} > 0.05 \times S_{0.05} \\ 0 & \dfrac{P}{25.4} \le 0.05 \times S_{0.05} \end{cases} \quad (۲۰)$$

$$CN_{0.05} = \frac{100}{1.879 \times (\frac{100}{CN_{0.2}} - 1)^{1.15} + 1} \quad (۲۱)$$

به‌منظور محاسبه شماره منحنی در شرایط مرطوب و خشک از روابط زیر استفاده شد [۳۱].

$$\begin{cases} CN(I) = \dfrac{CN(II)}{2.334 - 0.01334 \times CN(II)} \\ CN(III) = \dfrac{CN(II)}{0.4036 + 0.0059 \times CN(II)} \end{cases} \quad (۲۲)$$

برای ارزیابی مدل از آماره‌های ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE1)، درصد خطای نسبی (ε۲)، میانگین خطای مطلق (MAE3)، ضریب تبیین٤ (R2)، ضریب باقیمانده جرم (CRM5) و کارایی مدل (EF6) استفاده شد. بهترین پیش‌بینی‌ها زمانی رخ می‌دهد که آماره‌های RMSE،CRM، ε و MAE به صفر، همچنین EF و R2 به یک میل نمایند. بهترین پیش‌بینی‌ها زمانی رخ می‌دهد که RMSE, CRM, ε, MAE به صفر میل کند، همچنین EF و R2 به یک میل نمایند. روابط (۲۳) الی (۲۸) معادلات مذکور را نشان می‌دهند [۲٦].

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(Q_i - P_i)^2} \quad (۲۳)$$

$$\varepsilon = \frac{100\%}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|\frac{Q_i - P_i}{Q_i}\right| \quad (۲٤)$$

$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|Q_i - P_i| \quad (۲۵)$$

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^{N}(P_i - \bar{P})(Q_i - \bar{Q})\right]^2}{\sum_{i=1}^{N}(P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^{N}(Q_i - \bar{Q})^2} \quad (۲٦)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^{N}(Q_i - \bar{Q})^2 - \sum_{i=1}^{N}(P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(Q_i - \bar{Q})^2} \quad (۲۷)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{N}Q_i - \sum_{i=1}^{N}P_i}{\sum_{i=1}^{N}Q_i} \quad (۲۸)$$

در روابط فوق، N: تعداد نمونه، Pi: مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل، Qi: مقادیر واقعی، $\bar{P}$: میانگین مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل، $\bar{Q}$: میانگین مقادیر واقعی می‌باشد.

نتایج و بحث

مقدار رواناب سالانه با استفاده از روش‌های تجربی محاسبه گردید. در روش جاستین برای محاسبه ضریب K از میانگین آمار و اطلاعات زیرحوضه‌های کوزه تپراقی، ایریل، پل سلطانی، نوران، آتشگاه، آلادیزگه و هیر، استفاده گردید و مقدار ضریب K برابر ۰/۲ محاسبه شد. همان‌طور که روابط این روش‌ها نشان می‌دهد، برخلاف روش جاستین و همچنین کتاین و تورک، دیگر روش‌ها، محاسبات رواناب سالانه را بر اساس داده‌های اقلیمی انجام می‌دهند. نتایج برآورد رواناب سالانه با استفاده از روش‌های تجربی در جدول (۳) نشان داده‌شده است. همچنین با در نظر گرفتن دو مقدار ۰/۰۵ و ۰/۲ برای مقدار ضریب نگهداشت سطحی در روش سازمان حفاظت خاک آمریکا، مقدار رواناب سالانه برای سه حالت شرایط رطوبتی در جداول (٤) و (۵) نشان داده‌شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد روش خوسلا در میان روش‌های تجربی، دقت بسیار کم‌تری داشته است. همچنین روش انگلی- دیسوزا نیز که دو رابطه برای نواحی دشت و کوهستان دارد، برای محدوده‌های موردمطالعه که ترکیبی از دشت و کوهستان هستند، نتایج دقیقی ارائه نکرده است. به‌طورکلی می‌توان گفت، اکثر حوضه‌های مطالعاتی در ایران همواره ترکیبی از دشت و کوهستان هستند و محدوده‌های فقط شامل دشت یا فقط کوهستان کم‌تر در سطح کشور وجود دارد که با نتایج تحقیق ناصری و همکاران [۲۱]، مطابقت نشان می‌دهد. در تحقیق ایشان نیز روش انگلی- دی سوزا و خوسلا جزو روش‌های کم‌دقت طبقه‌بندی شدند. در رابطه با روش SCS نیز همان‌طور که در جداول (٤) و (۵) نشان داده‌شده است، با کاهش مقادیر ضریب نگهداشت سطحی (λ) و کاهش رطوبت اولیه خاک، مقادیر برآورد رواناب سالانه توسط این روش به مقادیر اندازه‌گیری شده نزدیک‌تر شده و دقت مناسبی به دست می‌آورد. به‌طوری‌که در حالت رطوبت اولیه خشک و λ=0.05 روش سازمان حفاظت خاک آمریکا، با ضریب تبیین ۰/۹٤ درصد، مقادیر رواناب سالانه را برآورد می‌نماید که با تحقیقات شی و همکاران [۳۲]، مطابقت دارد در تحقیق ایشان نشان داده شد که روش شماره منحنی به مقادیر ضریب نگهداشت حساسیت بالایی دارد و مقدار ۰/۰۵ =λ نتایج دقیق‌تری ارائه می‌دهد. البته باید در نظر داشت که به دلیل وجود روابط و معادلات تعیین شماره منحنی و نگهداشت سطحی برای λ=0.2 و λ=0.05، نتایج

1- Root mean square error
2- Relative percentage error
3- Mean Absolute Error
4- Goodness of Fit
5- Coefficient of Residual Mass
6- Model Efficiency

مربوط به این ضرایب با نتایج روش‌های تجربی مقایسه شـده اسـت.

شاخص‌های عملکردی روش‌های تجربی در برآورد رواناب سالانه در جدول (٦) نشان داده‌شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، هیچ‌کدام از روش‌های تجربی میزان رواناب سالانه زیرحوضه را با دقت مناسب برآورد نکردند و از شاخص‌های عملکردی پایینی برخوردار بودند و بعضی از روش‌ها در برآورد میزان سیلاب سالانه نتایج تقریباً مشابهی ارائه دادند، به‌طور مثال روش تورک و کوتاین دارای نتایج نزدیک به هم بوده و روش‌های JUSTIN و ICAR نیز نتایج نزدیک به هم ارائه دادند. هم‌چنین روش‌های انگلی- دیسوزا و خوسلا و هم‌چنین روش‌های لازی و IDOI نتایج نزدیک به هم ارائه دادند. بیش‌ترین اختلاف میانگین نتایج روش‌های تجربی با مقادیر اندازه‌گیری شده در حوضه‌ها، از حوضه نوران، آتشگاه، کوزه تپراقی، هیر، آلادیزگه، ایریل و پل سلطانی به ترتیب با مقادیر ۱۹، ١٦، ۹/۷۵، ۸/۳۲، ۷/۳۳، ۷/۳۲، ۱/٤٦ (سانتی‌متر) کاهش می‌یابد. به‌طورکلی می‌توان گفت، اکثر روش‌های تجربی دارای بیش برآورد از رواناب سالانه در حوضه‌ها می‌باشند که این بیش برازش برای روش‌های انگلی- دیسوزا و خوسلا بیش از سایر روش‌ها می‌باشد. این نتیجه، با نتایج ناصری و همکاران [۲۱]، مطابقت دارد، در تحقیق ایشان نیز روش تجربی خوسلا، دارای بیش برازش بود. میزان بیش برآوردی روش‌های تجربی در تحقیقات جندقی و محمدی [۱۵] و باجلان و همکاران [۳]، نیز گزارش‌شده است. هم‌چنین از میان زیرحوضه‌های دره رود، زیرحوضه پل سلطانی با اختلاف ١/٤ (سانتی‌متری) بین میانگین روش‌های تجربی برآورد سیل و مقادیر اندازه‌گیری شده، دارای کم‌ترین اختلاف میانگین رواناب سالانه بود. در تحقیق عزیزنیا کشـتلی و بیـات ورکشـی [۲]، این مطلب بیا شده است که در حوضه‌های با شـیب زیـاد دقـت روش جاسـتین بیش از روش‌های دیگر است که با نتایج این تحقیق مطابقت نداشت، زیرا دقت روش مذکور در زیر حوضه‌های آتشگاه، پل سلطانی و نوران که دارای شیب زیاد هستند، کم است. در رابطه با تأثیر گرادیان ارتفاع بر انتخاب روش‌های تجربی برآورد رواناب سالانه که در تحقیق ناصری و همکاران [۲۱]، بیان‌شده است، نتایج این تحقیق، تأثیر متوسط ارتفاع در میزان دقت روش‌های تجربی را نشان نداد. همان‌طور که نتایج جدول (٦) نیز نشان می‌دهد، مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS)، در کلیه شاخص‌های آماری دقت مناسبی را نشان داده و با ضریب همبستگی ۹٤ درصد، دارای برآورد مناسبی از رواناب سالانه در سطح حوضه‌ها می‌باشد. بر اساس بررسی شاخص‌های آماری، ترتیب دقت روش‌ها، به ترتیب از روش SCS، کوتاین، تورک، IDOI، ICAR، لازی، JUSTIN، انگلی-دیسوزا و خوسلا کاهش می‌یابد که با نتایج بهرامی و ایمانی [٤] مطابقت دارد، ایشان نیز در تحقیق خود که تعدادی از روش‌های تجربی را با روش SCS مقایسه نمودند، دقت بهتر روش SCS را نسبت به روش‌های تجربی ICAR، جاستین، انگلی- دیسوزا در حوضه‌ای در استان تهران گزارش نمودند. البته باید به این نکته توجه داشت که هیچ‌کدام از روش‌های تجربی، نتایج قابل‌اعتمادی را ارائه نداده و همه آن‌ها از دقت پایینی در برآورد رواناب سالانه حوضه‌ها برخوردار بودند؛ بنابراین در حوضه‌های استان اردبیل استفاده از این روش‌ها دقیق نبوده و لازم است در هر منطقه، برای برآورد دقیق رواناب سالانه زیرحوضه‌های فاقد آمار، حتماً از روش‌های بررسی‌شده برای آن منطقه استفاده نمود. این موضوع می‌تواند به این سبب باشد که اکثر روش‌های تجربی ارائه‌شده، مربوط به اقلیم کشور هندوستان می‌باشند و ممکن است ازنظر شاخص‌های تولید رواناب و شرایط اقلیمی، در شرایط متفاوتی استخراج‌شده باشند. در شکل(۳)، مقایسه روش SCS با سایر روش‌های تجربی در تعیین مقدار رواناب سالانه در زیرحوضه‌ها نشان داده‌شده است. همان‌طور که در این تصویر مشخص است، فقط در ایستگاه‌های پل سلطانی و آلادیزگه، میانگین روش‌های تجربی، نسبت به مقادیر مشاهداتی کم‌تر است ولی در سایر زیرحوضه‌ها، میانگین روش‌های تجربی بیش از مقادیر ثبت‌شده رواناب سالانه زیرحوضه‌ها می‌باشد. وجود بیش برازشی روش‌های تجربی در تحقیقات شهیدی و همکاران [۳۰] و پرهمت و صدقی [۲۲]، نیز گزارش‌شده است.

جدول ۳: میزان رواناب برآورد شده توسط روش‌های تجربی برحسب سانتی‌متر در زیرحوضه‌های موردمطالعه

روش موردمطالعه	کوزه تپراقی	ایریل	آتشگاه	آلادیزگه	پل سلطانی	نوران	هیر
کتاین	٦/٨	۱۰/۲	١٤/۳	۱۱/٥	۱۲/٤	۱۷/٨	٦/۳
انجمن تحقیقات کشاورزی هند (ICAR)	٨/٦٦	١٦/۳	۱۸	١٦/۳	۱۸/٨	۲۲/٤	۹/۷
مدل جاستین	٨/٤٨	۱۳/۹	۲۱/۷	١٦	۱۸/۷	۲۹/۱	۹/۳۲
روش دپارتمان آبیاری هندوستان (IDOI)	۱۱/۲٨	۱۳/۲٨	۱۷/٤	۱٥/۷	۱٥/۱	۱۹/۹	۱۰/٤
روش انگلی - دی سوزا	۲۹/۲	۳۳/٥	٤۲	۳۸/٦	۳۷/۳	٤۷	۲۷/٥
روش خوسلا	۳٥/٥	٤۱	٥۰/۷	٤٦/٥	٤٥/٥	٥٦/٨	۳۳/٦
روش لازی	٦/۷	١٦/٤	۲۲/۹	۲۰/۲	۱۹/۲	۲۷	۱۲/۲
روش تورک	٥/۱۷	۹/٤٥	١٤/۳	۱۰/٨	۱۲/۱۸	۱۸/٥	٤/٦۹
اندازه‌گیری شده	۳	۱۱	٨	۳۰	۲٤	٨	٥

جدول٤: میزان رواناب محاسبه‌شده به روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (λ=۰/۲)

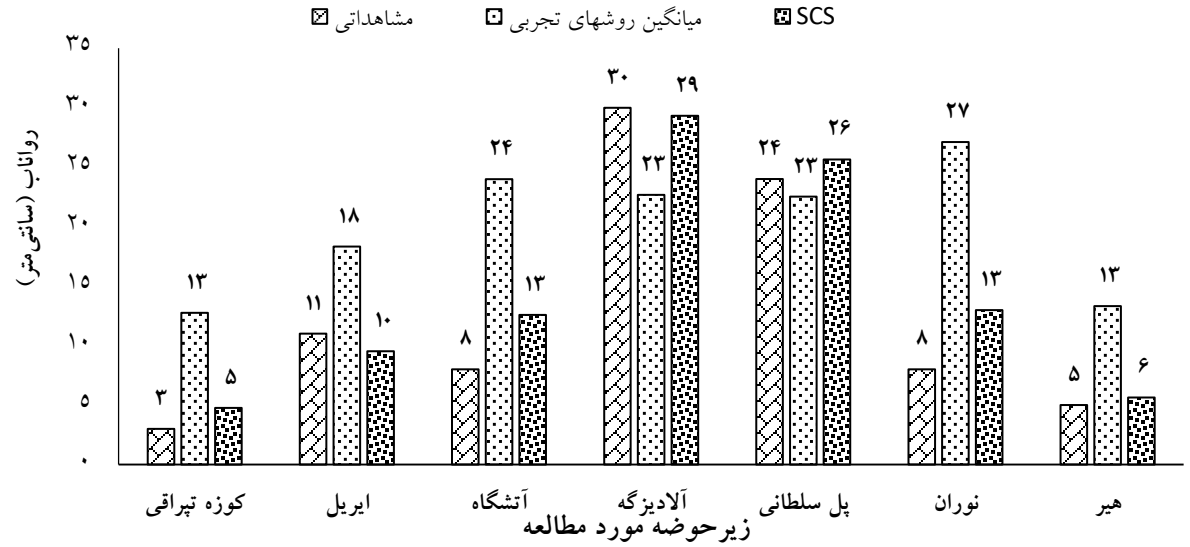
زیرحوضه	شماره منحنی در شرایط رطوبتی مختلف			نگهداشت سطحی (سانتی‌متر)			میزان رواناب سالانه (سانتی‌متر)		
	مرطوب	متوسط	خشک	مرطوب	متوسط	خشک	مرطوب	متوسط	خشک
کوزه تپراقی	۷٤	۷۳	۲٦	۱۲/٤	۳۱	۷۲/۵	۲٦/٤	۱٦/۱	۵/۸
ایریل	۷۲	۷۰	۳۳	۸/۹	۲۲/٦	۵۲/٦	۳۳/۹	۲٤/۳	۱۲/٤
آتشگاه	۷٦	۷۵	۳۰	۱۰/۱	۲۵/٤	۵۹/۳	٤۲/٦	۳۱/۳	۱٦/۹
آلادیزگه	۹۰	۷۳	٦۰	۲/۷	۷/۲	۱٦/۷	٤۵/۹	٤۱/۳	۳۳/٤
پل سلطانی	۸۹	۷۷	۵٦	۳/۳	۸/۵	۱۹/۸	٤۳/۸	۳۸/۷	۳۰
نوران	۷۷	۷٦	۲۷	۱۱/۹	۲۹/۸	٦۹/٦	٤٦/۸	۳۳/۹	۱۷/۷
هیر	۷۲	٦۸	۳۰	۱۰/۱	۲۵/٤	۵۹/۳	۲٦/۲	۱۷	۷

جدول۵: میزان رواناب محاسبه‌شده به روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (λ=۰/۰۵)

زیرحوضه	شماره منحنی در شرایط رطوبتی مختلف			نگهداشت سطحی (سانتی‌متر)			میزان رواناب سالانه (سانتی‌متر)		
	مرطوب	متوسط	خشک	مرطوب	متوسط	خشک	مرطوب	متوسط	خشک
کوزه تپراقی	۵۱	۳۰	۱۵	۲۰	٦۰	۱۵۹	۲۳/٦	۱۲/۹	٤/۸
ایریل	٦۰	۳۸	۲۱	۱٤/۳	٤۱/٦	۱۱۰	۳۱/٦	۲۰/۳	۹/۵
آتشگاه	۵۷	۳۵	۱۹	۱٦/۵	٤۷/۷	۱۲٦	۳۹/٦	۲٦/۱	۱۲/٦
آلادیزگه	۸۵	۷۰	٤۹	۳/۷	۱۱/۱	۲۹/۵	٤۵/٤	۳۹/٤	۲۹/۳
پل سلطانی	۸۳	٦۵	٤۵	٤/۵	۱۳/۵	۳۵/۸	٤۳/۲	۳٦/٤	۲۵/۷
نوران	۵۲	۳۱	۱٦	۱۹/۹	۵۷/٤	۱۵۲	٤۳/۲	۲۷/۸	۱۳
هیر	۵۷	۳۵	۱۹	۱٦/۵	٤۷/۷	۱۲٦	۲۳/۹	۱۳/۹	۵/٦

جدول ٦: شاخص‌های عملکردی روش‌ها

روش برآورد رواناب سالانه	EF	CRM	RMSE (٪)	MAE (٪)	(٪)	R2
JUSTIN	۰/۳۱	-۰/۲٤	۱۱/٤	۹/۵	۱۱٤/٤	۰/۰۲
ICAR	۰/٦۵	-۰/۱۹	۹/۳	۸/٤	۱۰۱	۰/۰۷
IDOI	۰/۸٤	-۰/۱۳۹	۹/٤	۸/٦	۱۰۸	۰/۱۵
انگلی- دیسوزا	-۵/۷۵	-۰/٦۵	۲۵/۷	۲۳/۷	۳٦۱	۰/۰۷
خوسلا	-۱۰/۷۷	-۰/۷۱	۳۳/۲	۳۱/۵	٤٦۰	۰/۰۷
لازی	۰/۲٦	-۰/۲۸	۱۰/٦	۹/۲	۱۱۳	۰/۱۲
کوتاین	۰/۸۲	۰/۱۱۷	۹/٤	۷/٤۵	٦۷/۹	۰/۰۵
تورک	۰/۷۲	۰/۱۸	۹/۷	۷/٤	۵۹/٦	۰/۰۵
SCS	۰/۰۹٦	-۰/۱۱٤	۲/۷۹	۲/۲۵	۳۰	۰/۹٤



شکل۳: مقایسه روش حفاظت خاک آمریکا با سایر روش‌های تجربی در تعیین مقدار رواناب سالانه

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS)، با روش‌های مختلف تجربی برآورد رواناب سالانه در استان اردبیل موردبررسی و مقایسه قرار گرفت، در این راستا، از داده‌های اندازهگیری شدهٔ دبی جریان در ایستگاه هیدرومتری واقع در زیر حوضه‌های موردمطالعه درهرود طی دوره مشترک ۱۵ ساله استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد، با توجه به شرایط اقلیمی متفاوت مناطق کشور، هیچ‌یک از روش‌های تجربی، برآورد نزدیک به آمار ثبت‌شده در این ایستگاه‌ها را نشان نداد و این موضوعی است که در استفاده از این روش‌ها در حوضه‌های مختلف سطح کشور، می‌بایست مدنظر قرار گیرد. در این پژوهش علاوه بر روش‌های تجربی، رواناب سالانه، با استفاده از روش SCS نیز، محاسبه شد. نتایج ارزیابی آماری روش SCS در زیرحوضه‌های دره‌رود، نشان داد. با استفاده از این روش، میزان رواناب سالانه با دقت بسیار خوبی برآورد می‌گردد. نتایج شاخص‌های عملکردی روش SCS، شامل ضریب تبیین که برابر ۰/۹٤ و EF که برابر ۰/۰۹٦ محاسبه شد، نشان‌دهنده دقت مناسب روش مذکور بود. به‌طورکلی می‌توان گفت، استفاده از روش‌های تجربی که در تعیین میزان رواناب سالانه که از ترکیب پارامترهای فیزیوگرافی و اقلیمی در تعیین میزان رواناب سالانه حوضه‌ها استفاده می‌کنند و نتایج آن‌ها تحت تأثیر پارامترهای اقلیمی می‌باشد و ازآنجاکه، اقلیم هر منطقه متفاوت از نقاط دیگر است، لذا بهتر است قبل از استفاده جهت برآورد رواناب زیرحوضه‌ها، موردبررسی قرارگرفته و درصورتی‌که نتایج قابل قبولی ارائه ندادند، از روش‌های جایگزین، مانند روش SCS، استفاده نمود.

تقدیر و تشکر

این مقاله با حمایت معاونت محترم پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی طبق قرارداد طرح پژوهشی شماره ۱٦۲۰۳ تهیه‌شده است و بدین‌وسیله از ایشان قدردانی می‌شود.

منابع

1- Abdi, P. 2006. Investigating the flood potential of Zanjanrood basin using SCS method and using GIS. Technical workshop on coexistence with floods, 4 pages. (In Persian)

2- Aziznia Keshtali, A.A., and Bayat Varkshi, M. 2018. Evaluation of empirical equations for estimating runoff in Babolrood basin, Seventh National Conference on Water Resources Management of Iran, Yazd. (In Persian)

3- Bajlan, A., Mahmoudian Shoshtari, M., and Olipour, M. 2005. Forecasting the mahanhe river runoff from an artificial weir and comparing it with the results of experimental methods in the Kasilian basin. Fifth Iranian Hydraulic Conference, Kerman: Shahid Bahonar University of Kerman. (In Persian)

4- Bahrami, Sh., and Imani, S. 2019. Evaluation of several empirical models in annual runoff estimation; case study: Hesarak Basin in Northwest Tehran. Geography and Environmental Planning, 30(2), 18-2. (In Persian)

5- Dalavi, P., Bhakar, S.R., Bhange, H.N., and Gavit, B.K. 2018. Assessment of Empirical Methods for Runoff Estimation in Chaskaman Catchment of Western Maharashtra, India. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 7 (5), 1511-1515.

6- Eard, L, R. 1975. Hydrologic frequency anulys. S, In: Hydro engineering method for water resourccs development logic, us.

Army corps of engineers.

7- Foody, G.M., Ghoneim, E.M., and Arnell, N.W. 2004. Predicting locations sensitiveto flash flooding in an arid environment. Journal of Hydrology, 292 (4), 48-58.

8- Gupta, B.L., and Gupta, A. 1992. Engineering hydrology, Standard Publishers, New Delhi.

9- Hawkins, R.H., Ward, T.J., Woodward, D.E., and Van Mullem, J.A. 2009. Curve Number Hydrology: State of the Practice, American Society of Civil Engineers.

10- Hoseini, Y., Azari, A., and Pilpayeh, A. 2017. Flood modeling using WMS model for determining peak flood discharge in southwest Iran case study: Simili basin in Khuzestan Province. Applied Water Science, 7, 33-55.

11- Hoseini, Y. 2021. Determination of maximum flood yield using the response surface method in the Darreh Rood sub-basins of Ardabil province. Watershed Research. 35(1), 88-104.(In Persian)

12- Hoseini, Y. 2022. Evaluation of WMS model in basins without statistical data in southwestern Iran using Dicken's experimental method (case study: Kuhgel Basin of Khuzestan Province). Applied Water Science, 12, 162-169.

13- Horvat, B., and Rubinic, J. 2006. Annual runoff estimation - an example of karstic aquifers in the transboundary region of Croatia and Slovenia, Hydrological sciences journal, 51 (2), 314-324.

14- Inglis, C.C., and De'Souza, A.J. 1930. A critical study of runoff and floods of catchments of Bombay Presidency with a short note on losses from lake by evaporation, Technical Paper, No 30

15- Jandaghi, N., and Mohammadi, M. 2009. Comparison of runoff values from the Khosla empirical method with actual data in the watersheds of western Golestan province, Fifth National Conference of Iranian Watershed Science and Engineering (Sustainable Management of Natural Disasters), Gorgan: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.(In Persian)

16- Khosla, A.N. 1949. Appraisal of water resources analysis and utilization of data, Proceedings of United Nations Scientific Conference on Conservation and Utilization of Resources.

17- Khosravi, K., Mirzai, H., and Saleh, I. 2013. Assessment of empiricial methods of runoff estimation by statistical test (Case study: BandakSadat Watershed, Yazd Province), International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 1 (3), 285-301.

18- Langbein, W.B. 1949. Annual runoff in the United States, US Geol. Survey Circular 52, Washington DC, USA.

19- Li, C., Liu, M., Hu, Y., Shi, T., Zong, M., and Walter, M. T. 2018. Assessing the impact of urbanization on direct runoff using improved composite CN method in a large urban area. International Journal of Environmental Research and Public Health, 15(4), 152-168.

20- Meresa, H. 2019. Modelling of river flow in ungauged catchment using remote sensing data: application of the empirical (SCS-CN), Artificial Neural Network (ANN) and Hydrological Model (HEC-HMS). Modeling Earth Systems and Environment, 5 (1), 257-273.

21- Naseri M., Zahraei B., Poursapahi Samian., H., Khodadadi, M., and Dowlatabadi, N. 2017. Evaluation of empirical methods for estimating flow in basins without stations. Research sample: Large Sefidrood basin. Geography and environmental planning. (In Persian)

22- Porhemat, J., and Sedghi, J. 2000. Calibration and Evaluation of HEC-1 Model in the Bazfat Sub-basin in Karun, First Regional Water Balance Conference, Iran, Ahvaz, pp. 1473-133.

23- Raghunath, H.M. 2006. Hydrology, principles, analysis, design, New Delhi: New Age International Pub.

24- Rawat, K.S., Singh, S.K., and Szilard, S. 2020. Comparative evaluation of models to estimate direct runoff volume from an agricultural watershed, Geology, Ecology, and Landscapes, 1-15.

25- Rasoulzadeh, A., Azartaj, A., and Farzi, P. 2015. Creation and investigation of different models for regional analysis of flood frequency as a function of return period (Case study: Ardabil province, Journal of Water and Soil Conservation Research, 22(4), 268-261.(In Persian)

26- Ramizas, J. 2014. Principles of Hydrological Engineering. Shahid Chamran University, Ahvaz. .(In Persian)

27- Roshni, H., Daddeh, F., Alizadeh, R., and Mostafizadeh, R. 2015. Evaluation of methods for estimating stream discharge and factors affecting it in the Gorganrood watershed, Second National Conference on Protection of Natural Resources and Environment, Ardabil: University of Mohaghegh Ardabili.(In Persian)

28- Sharma, K. D., and Singh, S. 1992. Runoff estimation using landsat thematic mapper data and the SCS model. Hydrological Sciences Journal, 37(1): 39–52.

29- Santhoshi, P., and Kumar, S. 2021. Assessment of Sedimentation in Maithon Reservoir using Remote Sensing and GIS. 48(4), 1001-1004.

30- Shahidi, A., and Shamhmadi-Heidari Z. 2006. Calibration of empirical relationships for maximum flood yield in the sub-basins of Haroon and Zohreh (in Khuzestan province) First regional

conference on optimal utilization of water resources in the Darreh and Zayandeh Rood basins - Shahrekord University.(In Persian)

31- Sobhani, G. 1976. A review of selected small watershed design methods for possible adoption to Iranian conditions, Master of Science degree, Utah State University.

32- Shi, Z.H., Chen, L.D., Fang, N.F., Qin, D.F. and Cai, C.F. 2009. Research on the SCS-CN initial abstraction ratio using rainfall-runoff event analysis in the Three Gorges Area, China. Catena, 77 (1), 1-7.

33- Turc, L. 1955. Le bilan d'eau des sols: relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement, Journées de l'hydraulique, 3 (1), 36-44.

نشریه

ترویج و توسعه آبخیزداری
Extension and Development of
Watershed Management

Vol. 13, No. 49, Summer 2025

سال سیزدهم- شماره ۴۹- تابستان ۱۴۰۴

Abstract

SiUsing the SCS Method and Comparing with Empirical Methods in Estimating Annual Water Discharge Depth of Basins Case Study (Darreh Rud Sub-basins- Ardabil- Iran)

Y. Hoseini[1]

Received: 2025/02/03 Accepted: 2025/04/07

Abstract

Water resources management in basins is not possible without accurately determining flood discharge. In the present study, various empirical methods presented for estimating annual water discharge in basins, including the Coutagine, Turk, IDOI, ICAR, Lacey, Justin, Inglis and De'Souza and Khosla methods, were investigated and evaluated in a number of Darreh Rud sub-basins in Ardabil province and compared with the SCS method. For this purpose, Precipitation and temperature data from stations in the province were collected with a common statistical period of 15 years. Then, using GIS, temperature and precipitation zoning was carried out at the regional level, and the average and median temperatures were estimated for each sub-basin. Also, using ArcGIS and WMS software, the physiographic characteristics of the sub-basins were extracted, and the average rainfall and temperature at the basin level were also obtained. The results showed that none of the Empirical methods provide reliable results in determining the annual runoff of the basins, so that the coefficient of determination of the methods of Coutagine, Turk, IDOI, ICAR, Lazy, JUSTIN, Inglis and De'Souza and Khosla were obtained as 5, 5, 7, 15, 12, 2, 7, 7, respectively. However, in the United State Soil Conservation Service (SCS) method, assuming dry moisture conditions and a surface retention coefficient (λ) of 0.05, the coefficient of determination (R2) was obtained as 94%. The results showed that in the US Soil Conservation Service (SCS) method, the difference between the estimated values and the measured values is reduced by considering dry moisture conditions for the basin. The results of this study show that the SCS method has a suitable accuracy for estimating the annual runoff in the sub-basins of the study area.

Keywords: Annual runoff, Basin, Experimental methods, Physiographic characteristics, SCS method.

1. Professor of Moghan College of Agriculture & Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran,
Email: y_hoseini@uma.ac.ir