



مطالعه‌ی برآورد آبدهی با استفاده از روش جاستین و مقایسه آن با روش‌های تجربی (مطالعه موردی: زیرحوضه‌های البرز مرکزی)

صادق فرشید نیا^۱، بهادر فاتحی نویریان^{۲*}

^۱ دکترای مهندسی عمران، مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران

^{۲*} استادیار گروه مهندسی عمران، مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارس، جلفا، ایران
(b.fatehinobarian@iaut.ac.ir)

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۱۹، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۰۴)

چکیده

آبدهی و تعیین ارتفاع رواناب از اساسی‌ترین عناصر هیدرولوژیکی یک حوضه در ارتباط با سیل خیزی منطقه محسوب می‌گردد به طوری که هرگاه شدت بارندگی از ظرفیت نفوذ آب به درون خاک بیشتر باشد، رواناب سطحی بر روی حوضه جاری می‌شود و با توجه به این که خصوصیات فیزیوگرافی حوضه نسبتاً ثابت است، بین بارش و رواناب یک رابطه مستقیم می‌توان برآزش داد. لذا در این تحقیق با استفاده از داده‌های فیزیوگرافی و بارش به بررسی مقدار رواناب در زیرحوضه‌های البرز مرکزی با استفاده از روش‌های جاستین، ایکار، کتاین، England، ورموئل و خوزلا پرداخته می‌شود، نتایج نشان می‌دهد که می‌توان بین ارتفاع رواناب به روش جاستین و سایر روش‌های ذکر شده یک رابطه توانی و بین بارش و رواناب در روش‌های مختلف یک رابطه خطی برآزش داد. که برآورد رواناب با استفاده از روش ایکار دارای $RMSE=0.0506$ ، به روش جاستین بسیار نزدیک می‌باشد.

کلمات کلیدی

ارتفاع رواناب، آبدهی، روش جاستین، زیرحوضه‌های البرز مرکزی.



A Study of Discharge Estimation Using Justin's Method and Comparison with Experimental Methods (Case study: The Central Alborz Sub-Basins)

Sadegh Farshidnia¹, Bahador Fatehi-Nobarian^{2}*

¹ Department of Civil Engineering of Hydraulic Structures, Tehran Central Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

^{2} Assistant Prof. of Department of Civil Engineering of Hydraulic Structures, Aras Branch, Islamic Azad University, Jolfa, Iran*

(b.fatehinobarian@iaut.ac.ir)

(Date of received: 10/11/2022, Date of accepted: 25/06/2023)

ABSTRACT

Determining of discharge and the height of the run-off are considered to be the most basic hydrological elements of a basin in relation to the flooding of the basin, so that whenever the intensity of rainfall is greater than the capacity of water infiltration into the soil, the surface runoff flows over the basin and considering that The physiographic features of the basin are relatively stable, a direct relationship can be established between precipitation and runoff. Therefore, in this research, using physiographic and precipitation data, the amount of runoff in the central the Alborz sub-basins is investigated using the methods of Justin, Ikar, Ketain, England, Vermuel and Khozala. The results show that it is possible to determine the difference between Run-off by Justin's method and other mentioned methods gave a power relationship and a linear relationship between precipitation and runoff in different methods, that the estimation of runoff using Ikar's method has RMSE=0.0506, which is very close to Justin's method.

Keywords:

Run-off height – Justin's Method - The central Alborz sub-basins – Discharge.



رواناب سالانه زیرحوضه (آورد سالانه) از مهمترین پارامترهایی است که انتظار به دست آوردن آن از یک هیدرولوژیست می‌رود. کل آبدهی یک زیرحوضه عبارت است از مقدار کل آب خروجی از مقطع خروجی یک زیرحوضه در سال، که به آورد سالانه معروف است. با توجه به این که مقدار آبدهی حوضه‌های آبخیز ثابت نبوده و تغییراتی نسبت به زمان در آن حاصل می‌شود، بنابراین بررسی این تغییرات نیازمند آگاهی از وضعیت آبدهی حوضه است، اندازه‌گیری‌های آبدهی نیز مسلماً مستلزم صرف هزینه و وقت می‌باشد و این امکان نیز در همه‌ی زیرحوضه‌ها فراهم نیست. این موضوع در رودخانه‌هایی که دارای ایستگاه‌های اندازه‌گیری هیدرومتری هستند، میسر بوده و کار دشواری نیست. اما برآورد آن در حوضه‌هایی که فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری می‌باشند نسبتاً مشکل می‌باشد. [۱] برای حل این مساله امروزه مدل‌های عددی فراوانی به کار گرفته می‌شوند، اما در طرح‌های کوچکی که دسترسی به این مدل‌ها وجود ندارد می‌توان از روش‌های تجربی که ساده نیز هستند استفاده کرد. این روش‌ها با در نظر گرفتن برخی از ویژگی‌های حوضه‌ی مورد مطالعه مانند خصوصیات فیزیوگرافی، اقلیمی و غیره قابل اجرا است. با توجه به این که، روش‌ها در منطقه خاصی و با توجه به شرایط خاص آن منطقه ارائه شده‌اند، استفاده از آن‌ها در مناطق دیگر بایستی با تامل و مطالعه بیشتر انجام پذیرد، چرا که شاید روش مورد نظر مناسب برای منطقه مورد مطالعه نباشد. در میان روش‌های مختلف، هر روشی که از نظر پارامتری، سازگاری و تطابق بیشتری با منطقه موردنظر داشته باشد نتایج بهتر و نزدیک تری ارائه خواهد داد که نیاز به آزمون و صحت‌سنجی دارد. در مطالعه‌ای در حوضه رودخانه اعلا و رودزرد اقدام به برآورد آبدهی و ارتفاع رواناب با استفاده از روش‌های جاستین و ایکار کردند که نتایج تحقیق نشان داد، مقادیر بدست آمده از روش ایکار بیشتر از مقادیر مشاهداتی و در روش جاستین کمتر از مقادیر مشاهده‌ای می‌باشد. [۲]. در مطالعه‌ای به برآورد رواناب سطحی زیرحوضه‌های بدون آمار شمالشرق دریاچه ارومیه به دو روش جاستین و SCS با استفاده از GIS پرداخته شده است [۳]. در تحقیقی که در حوضه کوه بازو جهت برآورد ارتفاع رواناب با استفاده از روش‌های جاستین، ایکار و کتاین انجام شده است، نتایج مطالعات نشان داده است که روش جاستین با داشتن حداقل خطای برآورد نسبت به دو روش دیگر مناسب‌ترین رابطه برای برآورد ارتفاع رواناب در این منطقه می‌باشد [۴]. در مطالعه‌ای که به برآورد آبدهی متوسط سالانه حوضه‌های آبخیز با استفاده از مدل‌های تجربی در حوضه آبخیز در که پرداخته شده است روش خوزلا به عنوان بهترین روش تجربی برآورد رواناب در این حوضه معرفی گردید [۵]. در مطالعه‌ای در حوضه اهرچای به بررسی برآورد آبدهی و ارتفاع رواناب با استفاده از روش‌های جاستین، ایکار و کتاین پرداخته شده است که نتایج تحقیق نشان داد که مقادیر بدست آمده از روش جاستین مناسب است [۶]. در مطالعه‌ای که با هدف ارزیابی روش‌های تجربی و برآورد رواناب در حوضه آبریز بوشیگان شهرستان کازرون استان فارس انجام شده است، پس از بررسی روابط تجربی برآورد رواناب و مقایسه نتایج حاصله از مدل‌های تجربی با مقادیر اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه آب سنجی موجود در حوضه به این نتیجه رسیدند که روش دپارتمان آبیاری هند جهت برآورد رواناب سالانه مزبور مناسب تر است [۷]. در مطالعه‌ای که به برآورد میزان رواناب خروجی از واحدهای هیدرولوژیک با استفاده از داده‌های هواشناسی و کاربرد اراضی پرداخته شده است، نتایج نشان داد روش جاستین و SCS به عنوان حد بالای برآوردی و روش تورک و لانگبین اصلاح شده به عنوان حد پایینی برآورد آبدهی، نتایج نهایی را ارائه می‌دهند [۸]. در مطالعه‌ای که به ارزیابی روش‌های برآوردی آبدهی جریان و عوامل موثر بر آن در حوضه آبریز گرگانرود پرداخته شده است با استفاده از داده‌های مشاهداتی و کاربرد مدل‌های تجربی کتاین، ایکار، انجمن تحقیقات کشاورزی هندوستان، ENGLAND، DOI INDIA، تورک و خوزلا و استفاده از نتایج آزمون همبستگی پیرسون نتیجه گرفتند که بین دبی و زمان تمرکز، زمان تاخیر، طول اصلی رودخانه، طول حوضه آبریز و شیب متوسط حوضه، سطح اطمینان ۹۹ درصد معنادار وجود دارد [۹]. در مطالعه‌ای که به ارزیابی روش‌های تجربی در برآورد آبدهی سالانه حوضه آبریز کال شور پرداخته شده است نتایج نشان داد که روش جاستین از پارامترهای بیشتری برای محاسبه رواناب سالانه حوضه‌های آبریز مورد مطالعه بهره گرفته است [۱۰]. در مطالعه‌ای که به بررسی کارایی مدل تجربی خوزلا جهت برآورد رواناب در حوضه آبخیز رامیان (استان گلستان) پرداخته شده است مقادیر رواناب واقعی حوضه با استفاده از ایستگاه هیدرومتری رامیان تهیه شده و با استفاده از آزمون تی، داده‌های رواناب برآورده شده (روش خوزلا) با داده‌های واقعی مقایسه شد، نتایج نشان داد که در ماه‌های گرم سال بین دبی‌های برآورد شده



با رواناب واقعی اختلاف آماری وجود ندارد در حالی که در ماه‌های سرد سال اختلاف آماری مشاهده می‌شود [۱۱]. در مطالعه ای که به بررسی کارایی سیستم اطلاعات جغرافیایی در برآورد ارتفاع رواناب با روش SCS-CN حوضه باغان (جم و ریز) پرداخته شده است، نتایج نشان داده است که با توجه به کوهستانی و پایین بودن میزان نفوذپذیری، منطقه مستعد افزایش سیلاب‌های شدید است [۱۲]. در مطالعه ای که به بررسی برآورد رواناب سالانه حوضه دریاچه ارومیه استان کردستان با استفاده از مدل AWBM پرداخته شده است، نتایج نشان داده است که مدل می‌تواند شبیه‌سازی قابل قبولی در شرایط منطقه داشته باشد و با معلومات قابل دسترس پاسخ حوضه‌های عاری از آمار را محاسبه کند [۱۳]. در مطالعه ای که با هدف ارزیابی روش‌های تجربی برای برآورد رواناب با استفاده از آزمون‌های آماری در حوضه بنادک سادات یزد از روش‌های تجربی تورک، کتاین، خوزلا، سازمان هواشناسی جهانی (WMO)، سازمان تحقیقات کشاورزی هندوستان (ایکار)، LACEY، DOI، رواناب حوضه بنادک سادات را برآورد نمودند، نتایج نشان داده است که روش LACEY بهترین روش برای برآورد رواناب حوضه است [۱۴]. در تحقیق حاضر با استفاده از داده‌های آماری زیرحوضه‌های دارای ایستگاه هیدرومتری در اطراف منطقه مورد مطالعه و خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه‌ها، مقدار رواناب با استفاده از روش‌های جاستین، ایکار، کتاین، ENGLAND، ورموئل و خوزلا و مقایسه آن‌ها با هم به بررسی مقدار رواناب در زیرحوضه‌هایی از البرز مرکزی پرداخته می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در استان البرز در طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۰ دقیقه و ۳۰ ثانیه، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه و ۴۵ ثانیه شمالی قرار گرفته است. ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۹۰۷ متر و میزان بارش متوسط سالانه ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد. این محدوده براساس حوضه‌بندی هیدرولوژیکی و به تفکیک به ۱۰ زیرحوضه تقسیم‌بندی شده است. در شکل (۱) موقعیت حوضه‌های البرز مرکزی نمایش داده شده است.



شکل ۱: موقعیت حوضه‌های البرز مرکزی.



۲-۲-۲- روابط تجربی برآورد ارتفاع رواناب

۲-۲-۲-۱- روش جاستین

اساس روش تجربی جاستین در برآورد ارتفاع رواناب حوضه‌های فاقد آمار، بر عملکرد مشابه حوضه‌ها استوار است. در این روش علاوه بر خصوصیات اقلیمی، ویژگی‌های فیزیوگرافی نیز در نظر گرفته می‌شود؛ و از فرمول زیر محاسبه می‌گردد.

$$R = \frac{KS^{0.155}P^2}{1.8T + 32} \quad (1)$$

که در آن، R ارتفاع رواناب سالانه برحسب سانتی متر، S شیب حوضه برحسب درصد، P ارتفاع بارندگی متوسط سالانه حوضه برحسب سانتی متر، T درجه حرارت متوسط سالانه برحسب سانتی گراد و K ضریب منطقه‌ای جاستین می‌باشد. که شیب حوضه از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$S = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

که در آن، H_{\max} ارتفاع حداکثر حوضه به کیلومتر، H_{\min} ارتفاع حداقل حوضه به کیلومتر و A مساحت حوضه به کیلومتر مربع می‌باشد.

۲-۲-۲-۲- روش انجمن تحقیقات کشاورزی هندوستان (ICAR)

مدلی است که با بررسی ۱۷ حوضه آبخیز توسط انجمن تحقیقات کشاورزی هندوستان بدست آمده و از رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$R = \frac{KP^{1.44}}{T^{1.34}A^{0.0613}} \quad (3)$$

که در آن، R ارتفاع رواناب سالانه به سانتی متر، P ارتفاع بارندگی سالانه به سانتی متر، A مساحت حوضه به کیلومتر مربع، T درجه حرارت متوسط سالانه به سانتی گراد و K ضریب ایکار می‌باشد.

۲-۲-۲-۳- روش کتاین

اساس کار این روش بر مبنای میزان کمبود جریان در حوضه، استوار است و رابطه این روش به صورت زیر است:

$$D = P - \lambda P^2 \quad (4)$$

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T} \quad (5)$$

$$R = P - D = \lambda P^2 \quad (6)$$

که در آن، P میانگین بارندگی سالانه حوضه به متر، T دمای متوسط حوضه به سانتی گراد، D کمبود جریان سالانه به متر، λ ضریب کتاین و R ارتفاع رواناب سالانه حوضه به متر می‌باشد.

۲-۲-۲-۴- روش England

در این روش مقدار ارتفاع رواناب از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$R = 0.94P - 40.7 \quad (7)$$

که در آن p میانگین بارش سالانه حوضه به متر و R ارتفاع رواناب سالانه حوضه به متر می‌باشد.



۲-۲-۵- روش خوزلا

در این روش با استفاده از پارامترهای اقلیمی و رابطه زیر به برآورد ارتفاع رواناب می‌پردازیم.

$$R = P - \frac{T}{3.74} \quad (8)$$

که در آن P میزان بارش سالانه حوضه به متر، T دمای متوسط حوضه به سانتی‌گراد و R ارتفاع رواناب سالانه حوضه به متر می‌باشد.

۶- روش ورموتل:

با استفاده از فرمول زیر داریم:

$$R = 0.8P - 41.9 \quad (9)$$

که در آن P بارش سالانه حوضه به متر و R ارتفاع رواناب سالانه حوضه به متر می‌باشد.

۲-۳- آمار کتابخانه‌ای

در برآورد پارامترهای هیدرولوژیکی در هر حوضه آبریز چنانچه ایستگاه هیدرومتری وجود داشته باشد از داده‌های ثبت شده در آن استفاده می‌شود و در غیر اینصورت از ایستگاه مبنای دیگری استفاده می‌گردد. ایستگاه آبنجی که به عنوان مبنای محاسبات انتخاب می‌گردد بایستی علاوه بر نزدیکی و شباهت هیدرولوژیکی به منطقه طرح، مساحت آن نیز اندک باشد تا با توجه به مساحت کوچک زیرحوضه‌های مطالعاتی، قابل تعمیم و کاربرد در آن‌ها باشد. در این روش ابتدا ضریب K در ایستگاهی که دارای وسایل اندازه‌گیری دبی سالانه می‌باشد بدست می‌آید و سپس به محاسبه حجم آورد سالانه در حوضه بدون وسایل اندازه‌گیری پرداخته می‌شود. در هیچ یک از زیرحوضه‌های مورد مطالعه، ایستگاه هیدرومتری موجود نمی‌باشد، زیرا این حوضه‌ها فاقد جریان دائمی بوده و در آن‌ها پس از وقوع بارش، سیلاب جاری می‌شود. بنابراین آبدهی حوضه‌ها عبارت از مجموع جریان‌های سیلابی در طول یک سال خواهد بود. در روش کتاین، England، خوزلا و ورموتل، روابط بر اساس داده‌های اقلیمی است و به طور مستقیم قابل استفاده هستند، اما در روش جاستین و ایکار نیاز به کالیبراسیون دارد که برای محاسبه ضریب K از آمار و اطلاعات ایستگاه کردان در نزدیکی حوضه (جدول ۱) استفاده می‌شود. لذا در جدول (۲) اطلاعات فیزیوگرافی و اقلیمی زیرحوضه‌ها ارائه می‌گردد.

جدول ۱. اطلاعات ایستگاه آبنجی کردان.

ارتفاع حداقل (متر)	ارتفاع حداکثر (متر)	دما (سانتی‌گراد)	بارش سالانه (میلی‌متر)	مساحت (کیلومتر مربع)	ارتفاع رواناب (سالانه) (میلی‌متر)
۱۴۱۰	۴۱۰۸	۱۵/۲	۵۶۴	۳۶۸/۴	۳۱۳



جدول ۲. اطلاعات فیزیوگرافی و اقلیمی زیرحوضه‌ها.

زیرحوضه	ارتفاع حداقل (متر)	ارتفاع حداکثر (متر)	دما (سانتی‌گراد)	بارش سالانه (میلی‌متر)	مساحت (کیلومتر مربع)
B1	۱۲۷۹	۱۹۰۰	۱۵/۸۴	۳۴۷	۱۲/۷
B2	۱۳۳۶	۱۵۴۰	۱۵/۸۴	۳۳۳	۱/۴۸
B3	۱۳۶۱	۱۸۸۱	۱۵/۸۴	۳۷۷	۳/۸۰
B4	۱۵۱۶	۱۹۵۴	۱۵/۸۴	۴۴۸	۲/۰۸
B5	۱۴۷۲	۲۱۲۹	۱۵/۸۴	۴۶۹	۷/۲۶
B6	۱۵۱۹	۲۴۴۰	۱۵/۸۴	۵۵۹	۱۹/۷۰
B7	۱۵۲۰	۲۴۴۵	۱۵/۸۴	۵۲۲	۴/۶۴
B8	۱۴۳۶	۲۴۳۳	۱۵/۸۴	۴۸۵	۹/۲۹
B9	۱۵۶۶	۲۲۲۵	۱۵/۸۴	۵۳۳	۰/۹۸
B10	۱۵۱۰	۲۲۲۰	۱۵/۸۴	۴۹۴	۱/۲۲

۳- نتایج و بحث

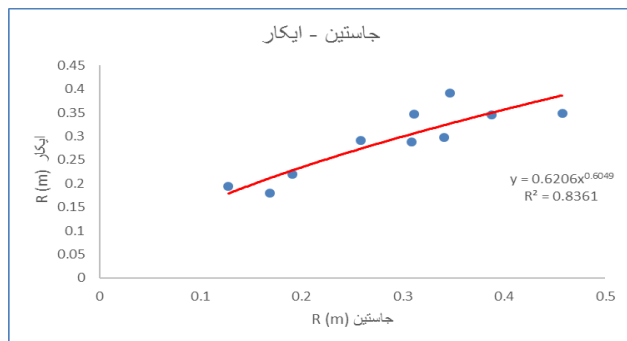
در روش جاستین ابتدا با استفاده از داده‌های ایستگاه کردان، با تقسیم حجم آبدی سالانه بر مساحت حوضه، ارتفاع رواناب سالانه بدست می‌آید و با استفاده از معکوس رابطه (۱) مقدار ضریب جاستین (k) برابر ۰/۷۹ تعیین می‌گردد و سپس با بکارگیری دوباره رابطه (۱)، مقدار ارتفاع رواناب زیرحوضه‌ها (R) محاسبه می‌شود. به صورت مشابه در روش ایکار نیز با استفاده از معکوس رابطه (۳)، مقدار ضریب ایکار برابر ۵/۱۷ برای حوضه کردان و بکارگیری دوباره همان رابطه مقدار ارتفاع رواناب زیرحوضه‌ها را می‌توان بدست آورد. در روش‌های England، کتاین، خوزلا و ورموتل با استفاده از داده‌های اقلیمی و فیزیوگرافی هر زیرحوضه و بکارگیری روابط هر روش، مقدار ارتفاع رواناب برای هر زیرحوضه بدست می‌آید. که مقادیر بدست آمده برای ارتفاع رواناب با روش‌های مختلف در هر زیرحوضه در جدول (۳) ارائه می‌گردد.

جدول ۳. ارتفاع رواناب R(cm) زیر حوضه‌ها با روش‌های مختلف (اعداد جدول به سانتی متر هستند).

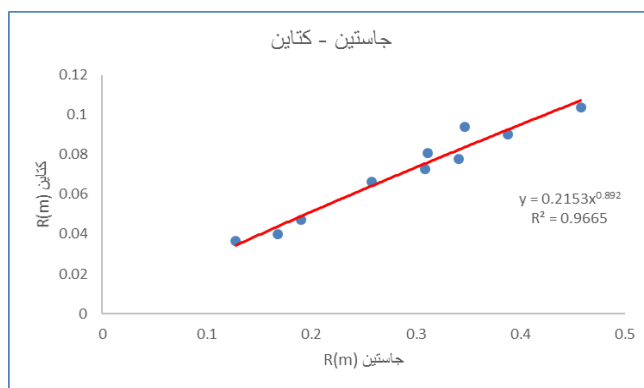
زیرحوضه	ورموتل	خوزلا	England	کتاین	ایکار	جاستین
B1	۲۳/۵۷	۳۴/۲۷	۲۸/۵۴	۳/۹۹	۱۸/۰۳	۱۶/۸۰
B2	۲۲/۴۵	۳۲/۸۷	۲۷/۲۳	۳/۶۷	۱۹/۳۹	۱۲/۷۵
B3	۲۵/۹۷	۳۷/۲۷	۳۱/۳۶	۴/۷۱	۲۱/۸۸	۱۹/۰۴
B4	۳۱/۶۵	۴۴/۳۷	۳۸/۰۴	۶/۶۵	۲۹/۱۱	۲۵/۷۹
B5	۳۳/۳۳	۴۶/۴۷	۴۰/۰۱	۷/۲۸	۲۸/۸۰	۳۰/۸۳
B6	۴۰/۵۳	۵۵/۴۷	۴۸/۴۷	۱۰/۳۵	۳۴/۸۹	۴۵/۷۵
B7	۳۷/۵۷	۵۱/۷۷	۴۴/۹۹	۹/۰۲	۳۴/۵۴	۳۸/۷۶
B8	۳۴/۶۱	۴۸/۰۷	۴۱/۵۲	۷/۷۹	۲۹/۷۸	۳۴/۰۹
B9	۳۸/۴۵	۵۲/۸۷	۴۶/۰۳	۹/۴۱	۳۹/۱۶	۳۴/۶۳
B10	۳۵/۳۳	۴۸/۹۷	۴۲/۳۶	۸/۰۸	۳۴/۶۳	۳۱/۰۸



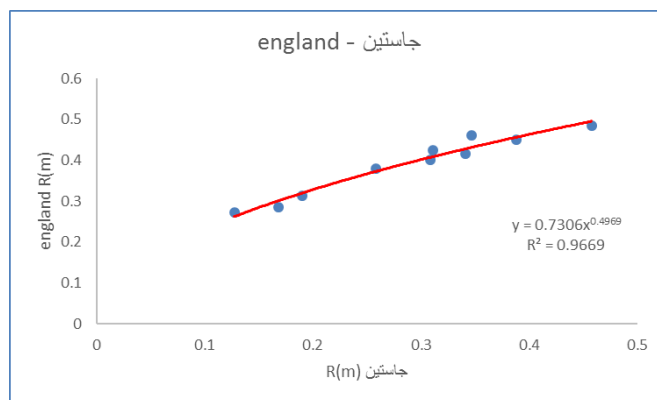
با توجه به مطالعات گذشته، روش جاستین در بیشتر حوضه‌ها برای برآورد ارتفاع رواناب استفاده گردیده است، لذا در این مطالعه روش جاستین را به عنوان روش مبنا در نظر می‌گیریم و رابطه بین ارتفاع رواناب با استفاده از روش جاستین با سایر روش‌ها را در قالب نمودار ارائه می‌دهیم.



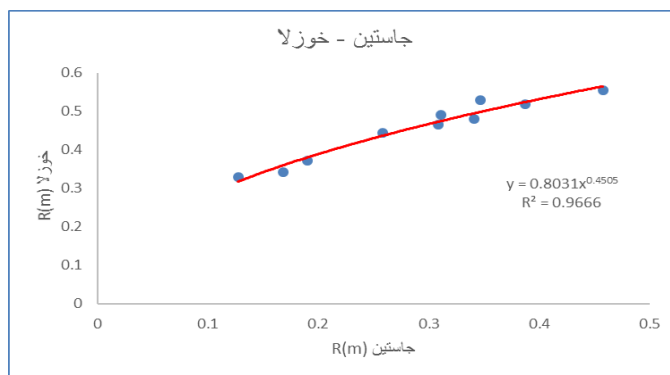
شکل ۲: رابطه بین ارتفاع رواناب در روش‌های جاستین و ایکار.



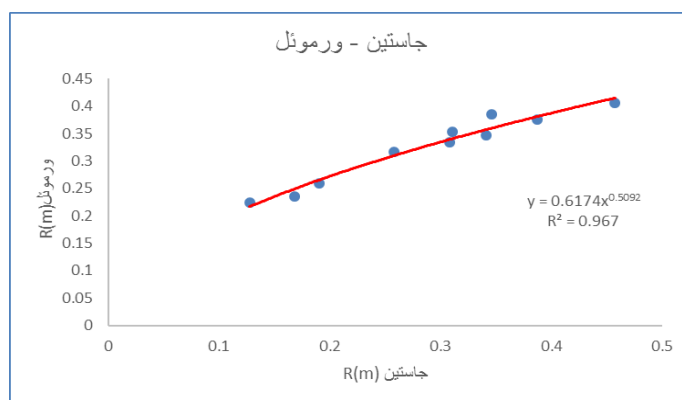
شکل ۳: رابطه بین ارتفاع رواناب در روش‌های جاستین و کتاین.



شکل ۴: رابطه بین ارتفاع رواناب در روش‌های جاستین و England



شکل ۵: رابطه بین ارتفاع رواناب در روش‌های جاستین و خوزلا.



شکل ۶: رابطه بین ارتفاع رواناب در روش‌های جاستین و ورموئل.

در شکل‌های فوق مشاهده می‌شود که رابطه جاستین با روش‌های تجربی، صعودی است و روابط توانی استخراج گردیده است. که طبق جدول (۴) کمترین مقدار RMSE برابر ۰/۰۵۰۶ برای روش ایکار و بیشترین مقدار RMSE برابر ۰/۳۳۱۶ مربوط به روش کتاین است. در روابط استخراج شده از شکل‌های فوق، اگر یک مقدار ثابت را برای روش جاستین در نظر گرفت (فرض) آنگاه برای روش‌های ایکار، کتاین، England، خوزلا و ورموئل به ترتیب مقادیر ۰/۳۰، ۰/۰۷، ۰/۴۰، ۰/۴۶ و ۰/۳۳ بدست می‌آید که نماینگر این است که روش کتاین مقدار بسیار کمی را نشان می‌دهد و نمی‌توان به آن اعتماد کردن و روش خوزلا مقدار بزرگتری را نشان می‌دهد که صحت آن قابل استناد نیست اما روش ایکار دقیقاً مقدار روش جاستین را برآورد می‌کند که می‌توان آن را مورد استفاده قرار داد. با استفاده از روابط زیر، مقدار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای نسبی (MRE) را برای هر یک از روش‌ها بدست می‌آوریم.

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_{\text{exp}} - R_{\text{jus}})^2 \right]^{0.5} \quad (10)$$

$$MRE = \frac{1}{n} \left| \frac{R_{\text{exp}} - R_{\text{jus}}}{R_{\text{jus}}} \right| \quad (11)$$

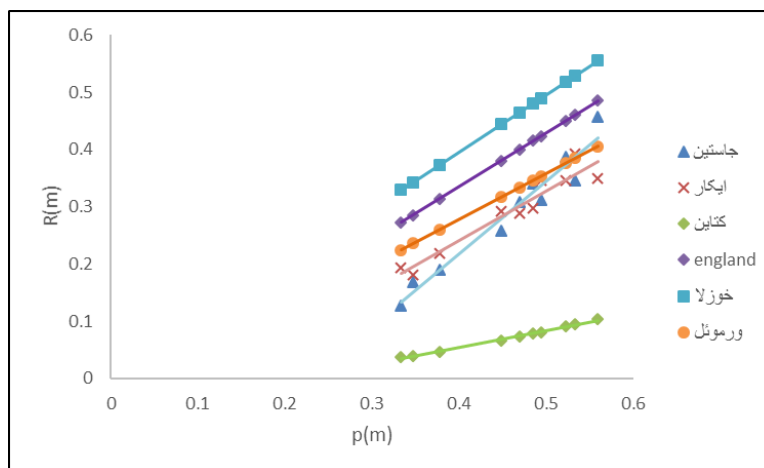


که در آن، R_{jus} ، ارتفاع رواناب به روش جاستین و R_{exp} ، ارتفاع رواناب با سایر روش‌ها و n تعداد زیرحوضه‌ها است. که مقادیر آن در جدول (۴) ارائه می‌شود.

جدول ۴. مقادیر RMSE، MRE و روابط استخراج شده برای روش‌های مختلف بر مبنای روش جاستین.

روش	رابطه	R^2	RMSE	MRE
ایکار	$R_{ICAR} = 0.62R_{jus}^{0.60}$	۰/۸۳	۰/۰۵۰۶	۰/۱۶۵۵
کتاین	$R_{cot} = 0.21R_{jus}^{0.89}$	۰/۹۶	۰/۲۳۱۶	۰/۷۵۱۳
England	$R_{Eng} = 0.73R_{jus}^{0.49}$	۰/۹۶	۰/۱۰۴۵	۰/۴۳۸۳
خوزلا	$R_{kho} = 0.8R_{jus}^{0.45}$	۰/۹۷	۰/۱۶۵۴	۰/۶۸۶۲
ورمونل	$R_{ver} = 0.61R_{jus}^{0.50}$	۰/۹۷	۰/۰۵۳۸	۰/۲۲۴۰

در نمودار (۷) به بررسی ارتباط میزان بارش با مقدار ارتفاع رواناب ایجاد شده سالانه می‌پردازیم.



شکل ۷. رابطه بین بارش و ارتفاع رواناب در زیرحوضه‌ها با روش‌های مختلف.

بین بارش و رواناب می‌توان روابطی را با استفاده از روش‌های مختلف استخراج نمود که در جدول (۵) ارائه می‌گردد.

جدول ۵. روابط بین بارش و رواناب در روش‌های مختلف.

روش	رابطه	R^2
جاستین	$R=۱/۲۶P-۰/۲۹$	۰/۹۴
ایکار	$R=۰/۸۶P-۰/۱۰$	۰/۹۲
کتاین	$R=۰/۲۹P-۰/۰۶$	۰/۹۹
England	$R=۰/۹۴P-۰/۰۴$	۱/۰۰
خوزلا	$R=۱/۰۰P-۰/۰۰۴$	۱/۰۰
ورمونل	$R=۰/۸۰P-۰/۰۴$	۱/۰۰



۴- جمع بندی و نتیجه گیری

با توجه به اینکه در روش جاستین از پارامترهای اقلیمی و فیزیوگرافی بیشتری استفاده می‌شود و در مطالعات گذشته نیز قابل اعتمادتر تشخیص داده شده است لذا آن را به عنوان مبنا در نظر گرفتیم و به مقایسه آن با سایر روش‌ها پرداختیم. نتایج نشان می‌دهد که روش ایکار دارای کمترین خطا و روش کتاین دارای بیشترین خطا است. همچنین مقایسه بین مقدار بارش سالانه با مقدار ارتفاع رواناب سالانه نشان می‌دهد که روش‌های جاستین و ایکار تقریباً بر هم منطبق می‌باشند و داده‌های نزدیکتری به هم دارند، اما شیب صعودی جاستین نسبت به ایکار بیشتر است. همچنین نتایج نشان می‌دهند که روش خوزلا، بیشترین مقدار رواناب و روش کتاین کمترین مقدار رواناب را نشان می‌دهند. و در روش خوزلا بین بارش و رواناب ایجاد شده سالانه یک رابطه یک به یک برقرار است.

۵- مراجع

- 1- Subramanya, K., 2006, **Engineering Hydrology**, McGraw-Hill, Newdelli, Second Edition, 392 p.
- ۲- محمدپور، م.، آخوند علی، ع.، نساجی زواره، م.، ۱۳۸۶، برآورد آبدهی در حوضه‌های فاقد آمار به روش ایکار و جاستین (مطالعه موردی حوضه آبخیز رودخانه‌های اعلا و رودزرد)، نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان.
- ۳- خدادادی، س.، ۱۳۸۹، برآورد رواناب سطحی زیرحوضه‌های بدون آمار شمالشرق دریاچه ارومیه به دو روش جاستین و SCS با استفاده از GIS، اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
- ۴- عبدالله وند، ا.، ۱۳۹۰، ارزیابی روش‌های جاستین، ایکار و کوتاین در برآورد آبدهی حوزه آبخیز کوه بازو، پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران (مدیریت پایدار بلایای طبیعی)، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- ۵- همتی، م.، طالبی، ر.، ۱۳۹۲، برآورد آبدهی متوسط سالانه حوضه‌های آبخیز با استفاده از مدل‌های تجربی (مطالعه موردی حوضه آبخیز درکه)، اولین کنفرانس هیدرولوژی مناطق نیمه خشک، سنندج.
- ۶- عطفی، غ. و همکاران، ۱۳۹۳، ارزیابی روش‌های تجربی جاستین، ایکار و کتاین در برآورد آبدهی حوضه اهرچای، اولین کنفرانس ملی مهندسی عمران و توسعه پایدار ایران.
- ۷- تیموریان، م.، فرزادیان، ع.، بهشتی راد، م.، ۱۳۹۳، ارزیابی روش‌های تجربی برآورد رواناب در حوضه آبخیز بوشیگان، اولین همایش ملی بهداشت محیط، سلامت و محیط زیست پایدار، همدان.
- ۸- حاجی علی گل، س.، امیدواری نیا، م.، ۱۳۹۴، برآورد میزان رواناب خروجی از واحدهای هیدرولوژیک با استفاده از داده‌های هواشناسی و کاربرد اراضی و انتخاب مناسب‌ترین روش جهت آبدهی واحدها (مطالعه موردی حوزه چلو اندیکا)، دهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز.
- ۹- روشنی، ح.، داده، ف.، علیزاده، ر.، مصطفی زاده، ر.، ۱۳۹۴، ارزیابی روش‌های برآورد آبدهی جریان و عوامل موثر بر آن در حوضه آبریز گرگان رود، دومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه محقق اردبیلی.
- ۱۰- خاشعی سیوکی، ع.، ناظری تهرودی، م.، ۱۳۹۸، ارزیابی روش‌های تجربی در برآورد آبدهی سالانه حوضه آبریز کال شور، سمپوزیوم ملی قنات بلده فردوس.
- ۱۱- جندقی، ن.، سلیمی، م.، ۱۳۹۸، بررسی کارایی مدل تجربی خوزلا جهت برآورد رواناب در حوزه آبخیز رامیان استان گلستان، دومین همایش ملی مدیریت منابع طبیعی با محوریت آب سیل و محیط زیست، گنبد، گلستان.



۱۲- عبادی، ز، حسینی، ز، ملکی نژاد، ح، طالبی، ع، رونما، ر، ۱۴۰۰، بررسی کارایی سیستم اطلاعات جغرافیایی در برآورد ارتفاع رواناب با روش SCS-CN مطالعه موردی: حوضه باغان (جم و ریز)، نشریه تخریب و احیا اراضی طبیعی، شماره ۳، دوره ۲

۱۳- پرواز، م، شاهویی، س.و، ۱۴۰۱، برآورد رواناب سالانه حوضه دریاچه ارومیه استان کردستان با استفاده از مدل AWBM، دومین کنفرانس بین المللی مهندسی معدن و زمین شناسی، تهران.

14- Khosravi, Kh., Mirzai, H., Saleh, I., 2013, **Assessment of Empirical Methods of Runoff Estimation by Statistical Test (Case study: Banadaksadat Watershed, Yazd Province)**, International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 1, 3, 285-301.