اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۴، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۶، ص ۳۴۳-۳۳۱

برآورد آبدهی در زیرحوضه‌های بدون آمار با استفاده از تحلیل منطقه‌ای رواناب (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبخیز حبله‌رود)

افشین اشرف‌زاده[1*]، محبوبه آقاجانی[2]

۱. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت

۲. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۱۰/۲۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۱۲/۲۵)

چکیده

برآورد آبدهی با استفاده از تحلیل منطقه‌ای، روشی مؤثر برای مدیریت منابع آب در حوضه‌های بدون آمار است. در مطالعهٔ حاضر، به‌منظور برآورد آبدهی سالانه در زیرحوضه‌های بدون آمار رودخانهٔ حبله‌رود، از رگرسیون خطی و سه متغیر مستقل شامل مساحت، بارش و شیب استفاده شد. حوضهٔ آبخیز مطالعه‌شده به پنج زیرحوضهٔ اصلی و ۴۴ زیرحوضهٔ فرعی تقسیم شد و با استفاده از داده‌های پنج ایستگاه هیدرومتری فعال در حوضه، معادلاتی رگرسیونی برای برآورد آبدهی سالانه و آبدهی ویژه (نسبت آبدهی به مساحت حوضه) استخراج شد. ارزیابی معادلات استخراج‌شده، هم در زیرحوضه‌های اصلی و هم در زیرحوضه‌های فرعی انجام شد. نتایج نشان داد برآورد آبدهی با استفاده از سه متغیر مساحت، بارش و شیب در پنج زیرحوضهٔ اصلی، به‌طور میانگین خطایی معادل ۱/۳ درصد دارد. با وجود این، در ۴۴ زیرحوضهٔ فرعی، میانگین خطا کاملاً غیرقابل قبول بود. نتایج همچنین نشان داد میانگین خطای برآورد آبدهی ویژه در پنج زیرحوضهٔ اصلی، برابر ۲/۶ درصد است. به‌رغم افزایش خطا در زیرحوضه‌های اصلی، در ۴۴ زیرحوضهٔ فرعی، میانگین خطای برآورد آبدهی ویژه به ۵/۳۳ درصد کاهش یافت. نتایج مطالعهٔ حاضر بیان‌کنندهٔ آن است که در صورت تقسیم‌بندی حوضهٔ مطالعه‌شده به زیرحوضه‌های کوچک، آبدهی ویژه را می‌توان به‌عنوان متغیری مناسب در تحلیل منطقه‌ای رواناب مورد توجه قرار داد.

کلیدواژگان: تحلیل منطقه‌ای، حوضهٔ بدون آمار، رگرسیون چندمتغیره، مشخصات فیزیوگرافیک.

* نویسندهٔ مسئول

Email: ashrafzadeh@guilan.ac.ir

مقدمه

در دسترس نبودن داده‌های اندازه‌گیری‌شده از رواناب در حوضه‌های آبخیز می‌تواند برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار منابع آب را با دشواری‌های زیادی مواجه کند. با وجود این، محدودیت‌ها و موانع اجرایی در احداث و بهره‌برداری از ایستگاه‌های هیدرومتری موجب شده است که بسیاری از حوضه‌های آبخیز، بدون داده‌های ثبت‌شدهٔ رواناب باشند. این موضوع نه‌تنها در ایران بلکه در سراسر جهان اهمیت دارد به‌گونه‌ای که انجمن بین‌المللی علوم هیدرولوژی[1]، سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۲ میلادی را دههٔ پیش‌بینی در حوضه‌های آبخیز بدون آمار نام‌گذاری کرده بود [۱]. در حوضه‌های بدون آمار، تحلیل منطقه‌ای از بهترین روش‌ها در برآورد یا پیش‌بینی رواناب محسوب می‌شود [۲]. در این روش سعی می‌شود بین رواناب مشاهده‌شده در حوضه‌های دارای آمار و ویژگی‌هایی از حوضه مانند مساحت، شیب، بارندگی، دمای هوا، ارتفاع حوضه، طول آبراهه‌ها، تراکم شبکهٔ آبراهه‌ها، شیب آبراههٔ اصلی، نوع خاک و کاربری اراضی، که نسبتاً به‌سادگی قابل اندازه‌گیری هستند، معادلاتی خطی یا غیرخطی برازش داده شود و از این معادلات به‌منظور برآورد رواناب در حوضه‌های فاقد آمار استفاده شود [۲]. این‌گونه معادلات را می‌توان بین پارامترهای یک مدل بارش- رواناب و ویژگی‌های یادشده از حوضه نیز برازش داد و سپس از مدل، به‌منظور پیش‌بینی رواناب در حوضه‌های بدون آمار استفاده کرد.

محققان در بسیاری از نقاط جهان از رگرسیون خطی یا غیرخطی به‌منظور تحلیل منطقه‌ای رواناب استفاده کرده‌اند. لل و اولدز [۳] با به‌کارگیری مساحت حوضه، بارندگی، دمای هوا، ارتفاع حوضه و طول آبراههٔ اصلی و سروات و دزتر [۴] براساس بارندگی سالانه و کاربری اراضی، رگرسیون خطی را برای برآورد رواناب در حوضه‌های بدون آمار استفاده کردند. رائو و هسیه [۵] توابعی غیرخطی برای برآورد بارندگی، دمای هوا و رواناب در مقیاس‌های ماهانه و روزانه در حوضه‌های بدون آمار ارائه کردند. در این توابع، لازم است ابتدا میانگین و انحراف معیار هر متغیر در حوضه، با استفاده از معادله‌ای خطی و بر مبنای مساحت یا میانگین عرض جغرافیایی حوضه برآورد شود. کیم و کالوآراچچی [۲] و ژو و دی [۶]، به‌ترتیب در یکی از زیرحوضه‌های رود نیل واقع در اتیوپی و حوضه‌ای در ایالت پنسیلوانیا، از رگرسیون چندمتغیره برای برآورد پارامترهای یک مدل بارش- رواناب و پیش‌بینی رواناب استفاده کردند. نتایج هر دو مطالعه بیان‌کنندهٔ دقت زیاد این روش در پیش‌بینی رواناب بود. فرناندز و همکارانش [۷] براساس اطلاعات ثبت‌شده در ۳۳ ایستگاه هیدرومتری در جنوب شرقی ایالات متحده و به کمک معادلات خطی رگرسیونی، آبدهی ماهانه در حوضه‌های بدون آمار را مدل‌سازی کردند. خدمتی و همکارانش [۸] با استفاده از رگرسیون چندمتغیره، دبی اوج با دورهٔ بازگشت‌های متفاوت را در حوضه‌های آبخیز بدون آمار در جنوب شرق ایران برآورد کردند. بوچیولا و همکارانش [۹] به‌منظور برآورد آبدهی روزانه در حوضه‌ای بدون آمار در شمال کشور ایتالیا، مدلی ساده توسعه دادند که از متغیرهای ورودی دمای هوا و میزان روزانهٔ ذوب برف و یخ استفاده می‌کند. ارزیابی مدل نشان داد این مدل در حوضه‌های بدون آماری که عامل اصلی ایجاد رواناب در آنها برف و یخ است، قابلیت زیادی در برآورد آبدهی روزانه دارد. جانسون و پدمنابهن [۱۰] به‌منظور برآورد دبی با دورهٔ بازگشت‌های متفاوت در زیرحوضه‌های یک رودخانه در ایالات متحده، ویژگی‌های فیزیوگرافیک حوضه و ویژگی‌های فیزیکی مقطع عرضی رودخانه در محل ایستگاه هیدرومتری را به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفتند و معادلاتی رگرسیونی به‌دست آوردند. نتایج نشان داد استفاده از ویژگی‌های فیزیکی مقطع عرضی رودخانه به‌عنوان متغیرهای مستقل، نتایج بهتری ارائه می‌کند. بائو و همکارانش [۱۱] به‌منظور مدل‌سازی رواناب در حوضه‌های بدون آمار، دو روش شامل استفاده از معادلات مبتنی بر رگرسیون و استفاده از میانگین وزنی شبیه‌ترین حوضه‌ها به حوضهٔ بدون آمار را با یکدیگر مقایسه کردند. مقایسه در ۵۵ حوضهٔ آبخیز با شرایط اقلیمی متفاوت در کشور چین انجام شد و نتایج آن، برتری روش استفاده از میانگین وزنی را نشان داد. با وجود این، این محققان بیان می‌کنند که تعمیم نتیجهٔ این تحقیق به سایر حوضه‌ها امکان‌پذیر نیست و ممکن است در مناطق دیگر، نتایج متفاوتی به‌دست آید. ساپریا و همکارانش [۱۲] با هدف برآورد بیشترین آبدهی روزانه در حوضه‌های بدون آمار، معادلاتی رگرسیونی بر مبنای مساحت حوضه و بیشترین بارش روزانه ارائه کردند. این مطالعه در جنوب هند و در

1. International Association of Hydrological Sciences (IAHS)

حوضه‌ای با پنج زیرحوضهٔ اصلی و با استفاده از داده‌های مربوط به ۲۳ ایستگاه هیدرومتری انجام شد. معادلات استخراج‌شده برای هر پنج زیرحوضهٔ اصلی، ضریب تبیین بیش از ۰/۹۰ داشتند که نشان از دقت زیاد این معادلات رگرسیونی برای برآورد بیشترین آبدهی روزانه داشت. در مطالعه‌ای در کانادا، چارن و اوآردا [۱۳] شش معادلهٔ رگرسیونی، مبتنی بر متغیرهایی مانند مساحت، شیب سطح، بارش، دما و عرض جغرافیایی خروجی حوضه را به‌منظور برآورد دبی‌های حداقل با دورهٔ بازگشت‌های مختلف مقایسه کردند و معادلات مناسب برای هر منطقه را مشخص کردند. نعیمی‌کلوزی و همکارانش [۱۴] سه روش شامل مدل درختی، نزدیک‌ترین همسایگی و رگرسیون خطی چندمتغیره را برای برآورد آبدهی در حوضه‌های بدون آمار استان گلستان بررسی کردند. چو و بونز [۱۵] نیز برای برآورد دبی اوج با دورهٔ بازگشت ۱۰۰ سال در حوضه‌های بدون آمار، یک معادلهٔ رگرسیونی مبتنی بر مساحت حوضه ارائه کردند. این محققان بیان می‌کنند که به‌منظور افزایش دقت این معادله می‌توان از آمار یک حوضهٔ مجاور نیز استفاده کرد به شرطی که مساحت حوضهٔ مجاور، بیش از ۵۰ درصد با مساحت حوضهٔ فاقد آمار متفاوت نباشد. روش کار بدین‌صورت است که با انجام آنالیز فراوانی روی داده‌های موجود در حوضهٔ مجاور، دبی اوج با دورهٔ بازگشت ۱۰۰ سال در این حوضه محاسبه شده و میانگین وزنی این مقدار و مقدار به‌دست‌آمده از معادلهٔ رگرسیونی، به‌عنوان دبی اوج با دورهٔ بازگشت ۱۰۰ سال در حوضهٔ بدون آمار در نظر گرفته می‌شود. در سالیان اخیر، مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی نیز در زمینهٔ برآورد آبدهی در حوضه‌های آبخیز استفاده شده‌اند که به‌طور مثال می‌توان به مطالعات فرزین و همکارانش [۱۶] و حقی‌زاده و همکارانش [۱۷] اشاره کرد.

هدف از پژوهش حاضر، استخراج روابطی کاربردی برای برآورد آبدهی سالانه و آبدهی ویژه، در زیرحوضه‌های بدون آمارِ حوضهٔ آبخیز حبله‌رود در استان تهران است. در چند سال اخیر، تخصیص بهینهٔ منابع آب در حوضهٔ آبخیز حبله‌رود توجه زیادی را به خود معطوف داشته است. طی دهه‌های گذشته و به دلایل مختلف از جمله تغییرات آب و هوایی، خشکسالی‌های پی‌درپی و افزایش برداشت از آب رودخانه در بالادست، این منطقه با بحران کمبود آب مواجه شده است. برنامه‌ریزی برای تأمین آب مورد نیاز بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت در نقاط مختلف حوضه و کاهش مشکلات مرتبط با تأمین آب در منطقه، مستلزم در اختیار داشتن اطلاعاتی در خصوص آبدهی هر یک از زیرحوضه‌های این حوضهٔ آبخیز است که در پژوهش حاضر تلاش شده است این موضوع بررسی شود.

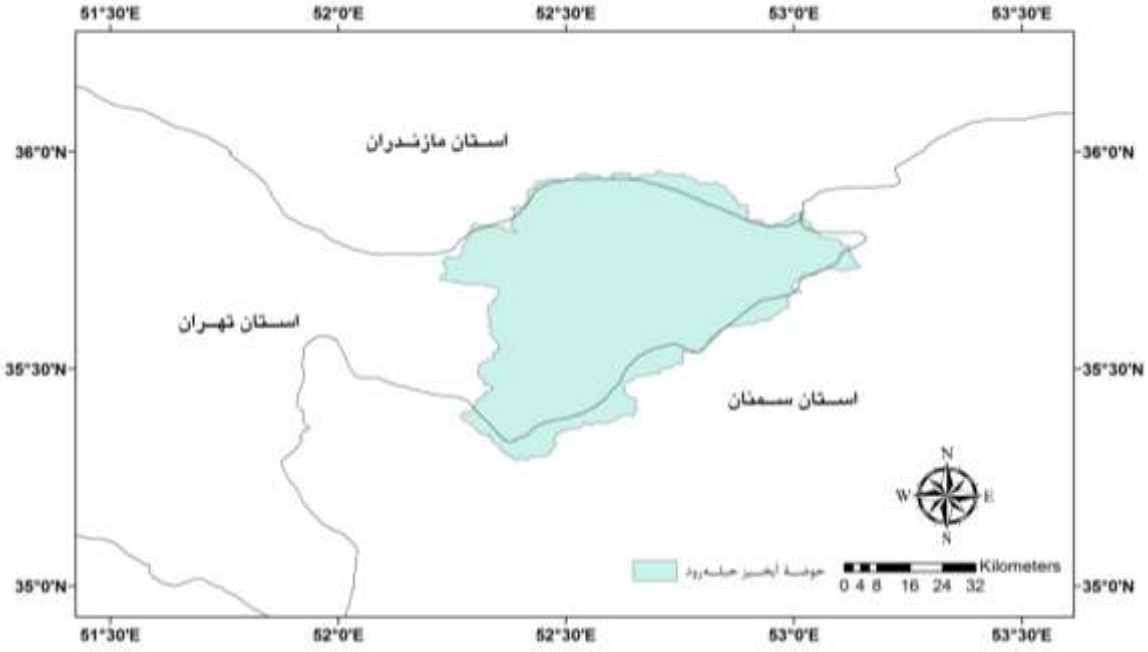
مواد و روش‌ها

منطقهٔ مطالعه‌شده

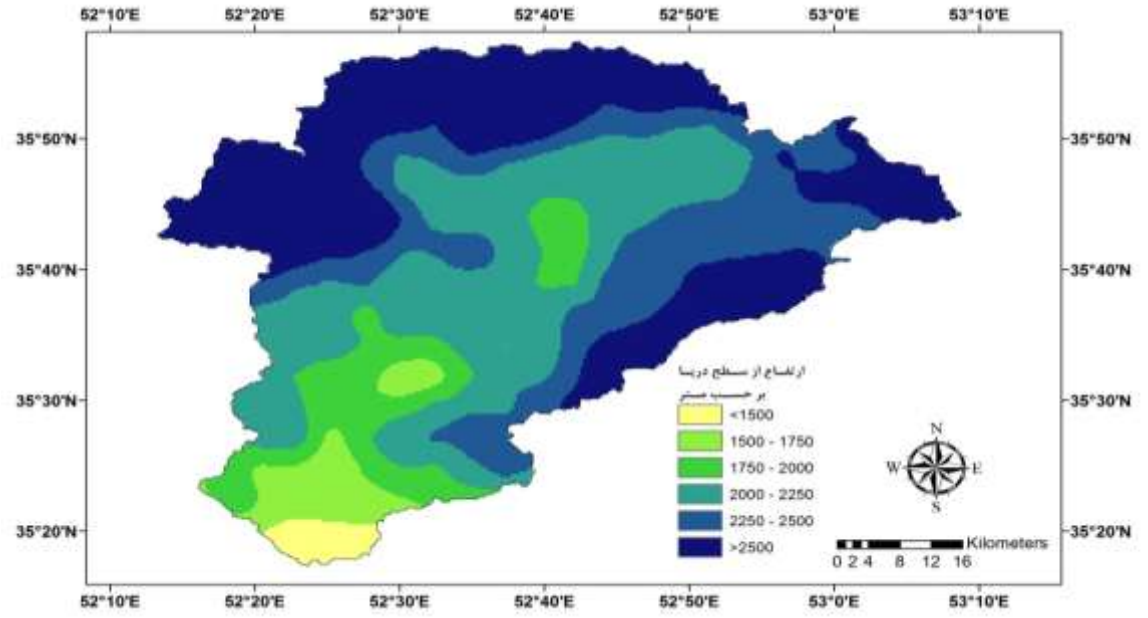
حوضهٔ آبخیز حبله‌رود به‌عنوان بخشی از حوضهٔ آبخیز کویر مرکزی ایران، با مساحت ۳۲۶۱/۲۳ کیلومترمربع در بخش شرقی استان تهران در محدودهٔ جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۱۰ دقیقهٔ طول شرقی و ۳۵ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۹ دقیقهٔ عرض شمالی واقع شده است. حبله‌رود رودخانهٔ اصلی این حوضهٔ آبخیز است که از ارتفاعات شمالی حوضه سرچشمه می‌گیرد و در جهت عمومی شمال شرق به جنوب غرب جریان دارد. این رودخانه از طریق به‌هم‌پیوستن دو شاخهٔ گورسفید و فیروزکوه در بالادست حوضه شکل گرفته و در نهایت، پس از دریافت شاخه‌های نمرود، دره‌ده و دلیچای وارد دشت گرمسار می‌شود. آب رودخانهٔ حبله‌رود در دشت گرمسار بیشتر به مصرف آبیاری اراضی کشاورزی می‌رسد. به‌منظور شناسایی مرز حوضهٔ آبخیز حبله‌رود، استخراج مسیر رودخانهٔ اصلی حوضه، شناسایی شبکهٔ رودخانه‌های فرعی و همچنین برای تقسیم‌بندی حوضه به زیرحوضه‌های تشکیل‌دهندهٔ آن، از مدل رقومی ارتفاعی[1] از نوع SRTM با دقت تفکیک مکانی ۹۰ متر که از آدرس https://dds.cr.usgs.gov/srtm/ قابل دسترس است و همچنین از امکانات موجود در نرم‌افزار ArcGIS 10.3 استفاده شد. در شکل‌های ۱ و ۲ به‌ترتیب موقعیت حوضهٔ آبخیز حبله‌رود و وضعیت توپوگرافی حوضه نمایش داده شده است. در حوضهٔ آبخیز حبله‌رود، پنج ایستگاه هیدرومتری فعال وجود دارد که سه ایستگاه شامل فیروزکوه، سیمین‌دشت و بنکوه (خروجی حوضه) روی رودخانهٔ اصلی و دو ایستگاه شامل نمرود و دلیچای روی شاخه‌های ورودی به رودخانهٔ اصلی قرار دارند. با توجه به تعداد و موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری فعال در حوضه،

1. Digital Elevation Model (DEM)

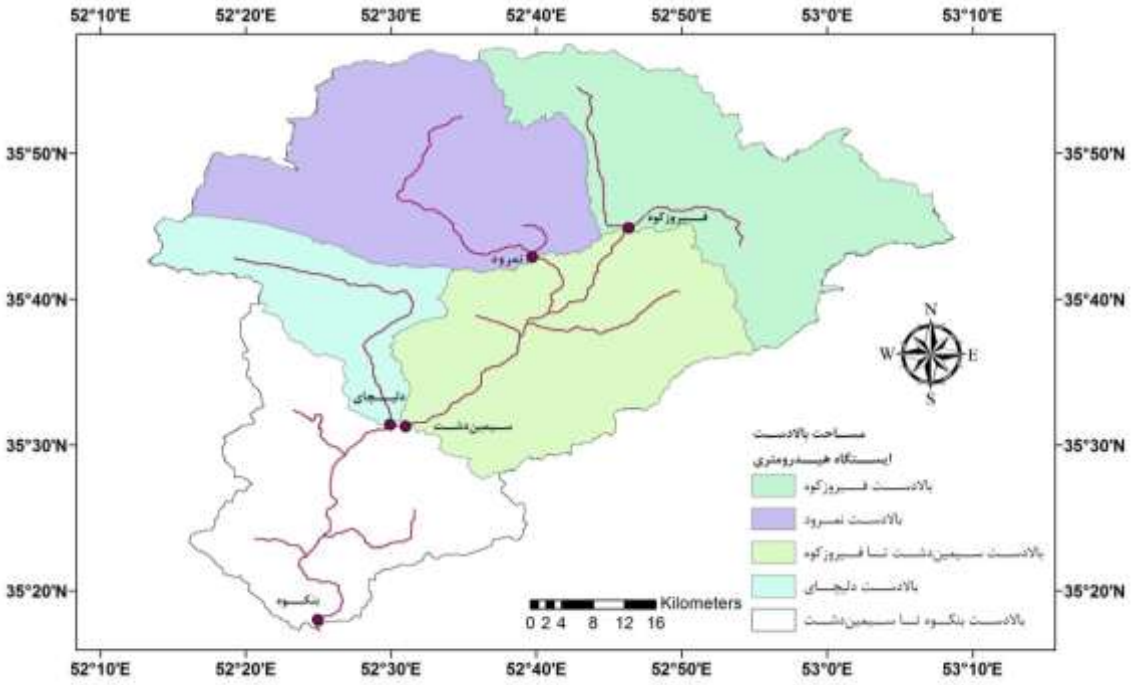
محدودهٔ مطالعاتی به پنج زیرحوضهٔ اصلی شامل فیروزکوه، نمرود، سیمین‌دشت، دلیچای و بنکوه تقسیم شد. در شکل ۳، موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری فعال در حوضه و چگونگی تقسیم‌بندی حوضه به پنج زیرحوضهٔ اصلی نمایش داده شده است. با توجه به ساختار آبراهه‌های فرعی در حوضه، هر زیرحوضهٔ اصلی به تعدادی زیرحوضهٔ فرعی تقسیم شد و در نهایت ۴۴ زیرحوضهٔ فرعی مشخص شد که در شکل ۴ موقعیت آنها نمایش داده شده است.



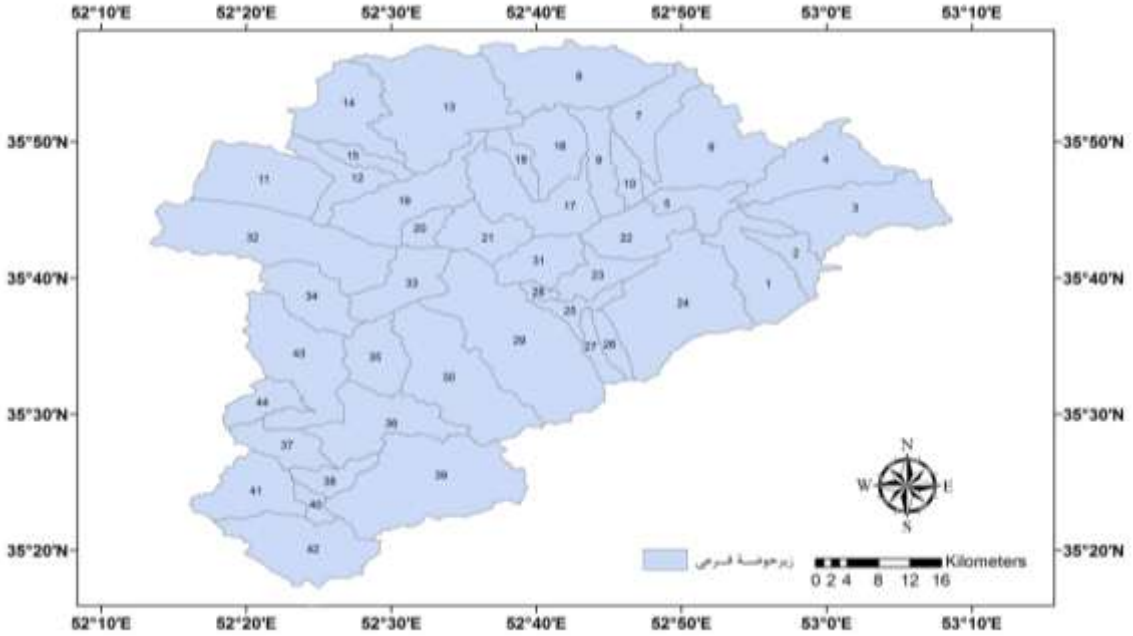
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضهٔ آبخیز حبله‌رود



شکل ۲. توزیع ارتفاعات در حوضهٔ آبخیز حبله‌رود



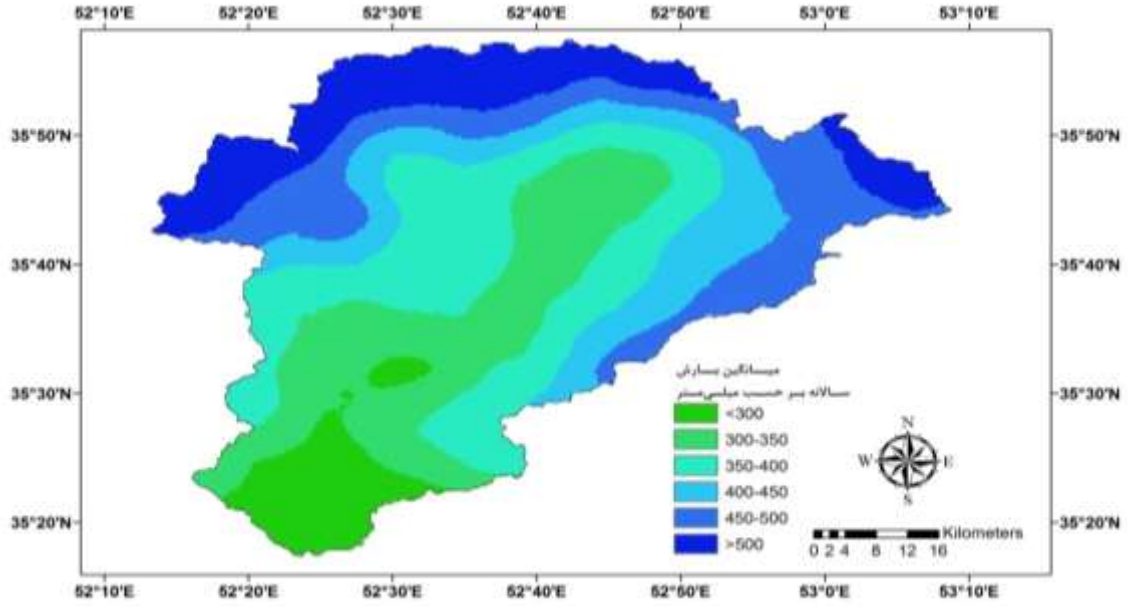
شکل ۳. موقعیت مکانی و مساحت تحت پوشش ایستگاه‌های هیدرومتری فعال در حوضه



شکل ۴. زیرحوضه‌های فرعی در حوضهٔ آبخیز حبله‌رود

مساحت هر یک از پنج زیرحوضهٔ اصلی و ۴۴ زیرحوضهٔ فرعی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.3 محاسبه شد. همچنین با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی در دسترس از حوضه و نرم‌افزار ArcGIS 10.3، میانگین شیب سطح در هر یک از پنج زیرحوضهٔ اصلی و ۴۴ زیرحوضهٔ فرعی به دست آمد. به‌منظور ترسیم خطوط هم‌بارش در حوضه، همهٔ ایستگاه‌های ثبت‌کنندهٔ بارش (مجموع برف و بارندگی در حوضه‌هایی که برف داشتند)

در محدودهٔ مطالعه‌شده از نظر کمیت و کیفیت آمار بررسی شدند. ایستگاه‌های بررسی‌شده شامل ۱۰ ایستگاه هم‌دیدی، ۱۵ ایستگاه اقلیم‌شناسی و ۲۸ ایستگاه باران‌سنجی، متعلق به سازمان هواشناسی و همچنین ۲۴ ایستگاه باران‌سنجی و ۱۱ ایستگاه تبخیرسنجی، متعلق به وزارت نیرو بودند که در نهایت با توجه به کمیت و کیفیت آمار موجود، مشخص شد که فقط آمار مربوط به ۲۶ ایستگاه شامل ۱۹ ایستگاه متعلق به وزارت نیرو (۱۴ ایستگاه باران‌سنجی و پنج ایستگاه تبخیرسنجی) و هفت ایستگاه متعلق به سازمان هواشناسی (چهار ایستگاه هم‌دیدی و سه ایستگاه اقلیم‌شناسی) کاربرد دارد. با استفاده از آمار این ۲۶ ایستگاه و با انجام محاسبات درون‌یابی مبتنی بر روش کریجینگ[1] در نرم‌افزار ArcGIS 10.3، نقشهٔ رستری میانگین بارش سالانه در کل حوضهٔ آبخیز تولید شد (شکل ۵). سپس با استفاده از این نقشه، میانگین بارش سالانه در همهٔ زیرحوضه‌های اصلی و فرعی برآورد شد. اطلاعات مربوط به زیرحوضه‌های اصلی در جدول ۱ و اطلاعات مربوط به زیرحوضه‌های فرعی در جدول ۲ نمایش داده شده است. از آنجا که این پنج زیرحوضه به‌عنوان زیرحوضه‌های دارای آمار در نظر گرفته شده‌اند، اطلاعات ارائه‌شده دربارهٔ زیرحوضه‌های سیمین‌دشت و بنکوه، مربوط به همهٔ مساحتی است که به ایستگاه‌های هیدرومتری این دو زیرحوضهٔ اصلی منتهی می‌شوند. اطلاعات داده‌شده دربارهٔ زیرحوضهٔ اصلی سیمین‌دشت، مربوط به سه زیرحوضهٔ اصلی (فیروزکوه، نمرود و سیمین‌دشت) و اطلاعات داده‌شده دربارهٔ زیرحوضهٔ اصلی بنکوه، مربوط به کل حوضه است.



شکل ۵. میانگین بارش سالانه در حوضهٔ آبخیز حبله‌رود

جدول ۱. ویژگی‌های زیرحوضه‌های اصلی

پارامتر	فیروزکوه	نمرود	سیمین‌دشت	دلیچای	بنکوه
مساحت (Km^2)	۷۴۶/۸	۷۵۶/۸	۲۲۳۸/۰	۳۳۹/۱	۳۲۶۱/۲
میانگین شیب (%)	۲۸/۹۳	۳۶/۱۷	۳۳/۶۰	۴۶/۲۰	۳۷/۰۲
میانگین بارش سالانه (mm)	۲۸۳/۵	۳۶۷/۸	۳۰۶/۲	۳۲۶/۷	۲۹۱/۹

1. Kriging

جدول ۲. ویژگی‌های زیرحوضه‌های فرعی

زیرحوضهٔ اصلی	شمارهٔ زیرحوضهٔ فرعی	مساحت (Km^2)	میانگین بارش سالانه (mm)	میانگین شیب (%)	زیرحوضهٔ اصلی	شمارهٔ زیرحوضهٔ فرعی	مساحت (Km^2)	میانگین بارش سالانه (mm)	میانگین شیب (%)
فیروزکوه	۱	۸۴/۵۹	۲۴۹/۳	۱۳/۱۱	سیمین‌دشت	۲۲	۵۵/۲۵	۲۶۵/۰	۲۶/۶۱
	۲	۳۰/۰۸	۲۵۰/۶	۱۳/۵		۲۳	۳۷/۵۴	۲۵۲/۴	۳۰/۶۵
	۳	۱۲۰/۸۴	۲۳۹/۵	۲۳/۷		۲۴	۱۷۱/۸۰	۲۲۹/۴	۱۹/۲۳
	۴	۸۸/۵۸	۲۶۵/۴	۲۵/۱۹		۲۵	۲۱/۱۶	۲۵۸/۰	۳۱/۳۷
	۵	۳۹/۶۹	۲۷۰/۰	۲۵/۰۴		۲۶	۱۷/۵۶	۲۴۵/۴	۳۰/۶۳
	۶	۱۲۴/۶۳	۲۸۸/۳	۱۹/۳۸		۲۷	۱۷/۸۲	۲۵۳/۹	۳۲/۳۵
	۷	۵۹/۶۶	۳۱۳/۱	۲۳/۲۳		۲۸	۶/۸۲	۲۸۶/۳	۳۶/۵۲
	۸	۱۳۰/۷۳	۳۴۱/۸	۳۵/۳۳		۲۹	۲۰۷/۴۰	۲۷۵/۷	۲۷/۷۵
	۹	۴۲/۶۸	۳۱۳/۶	۱۶/۳۲		۳۰	۱۴۶/۳۵	۲۷۸/۶	۲۶/۸
	۱۰	۲۵/۳۳	۲۹۵/۵	۹/۸۳		۳۱	۵۲/۷۲	۳۰۵/۲	۲۴/۴۴
نمرود	۱۱	۱۰۰/۴۷	۳۹۱/۹	۳۷/۳۱	دلیچای	۳۲	۱۶۳/۹۰	۳۲۹/۳	۳۹/۶۹
	۱۲	۴۴/۱۸	۳۵۵/۶	۳۱/۱		۳۳	۶۰/۰۷	۳۶۶/۳	۳۲/۷
	۱۳	۱۷۲/۵۴	۴۰۵/۱	۳۱/۴۲		۳۴	۶۱/۰۲	۳۱۹/۳	۲۵/۳۹
	۱۴	۸۶/۶۵	۳۷۶/۰	۳۰/۹		۳۵	۵۴/۰۸	۲۸۸/۴	۳۴/۶۳
	۱۵	۱۹/۹۰	۳۶۵/۱	۲۳/۹۵	بنکوه	۳۶	۹۰/۲۷	۲۵۹/۷	۲۸/۹۹
	۱۶	۶۰/۲۳	۳۲۹/۰	۲۲/۳		۳۷	۴۰/۰۸	۲۴۸/۶	۲۹/۶۱
	۱۷	۹۲/۶۰	۳۲۴/۴	۱۲/۹۵		۳۸	۲۵/۴۹	۲۱۶/۹	۳۱/۱۸
	۱۸	۲۲/۰۱	۳۴۵/۹	۲۴/۴۴		۳۹	۱۸۶/۷۷	۲۱۸/۴	۳۴/۵
	۱۹	۹۳/۵۹	۳۶۳/۰	۲۵/۱۴		۴۰	۱۲/۶۰	۱۸۰/۰	۳۶/۸۵
	۲۰	۱۸/۸۴	۳۶۷/۵	۲۴/۱۵		۴۱	۶۹/۰۳	۱۹۸/۰	۳۵/۳۵
	۲۱	۴۵/۸۰	۳۳۳/۳	۲۷/۲		۴۲	۱۰۵/۴۳	۱۵۳/۹	۳۴/۳۱
						۴۳	۱۲۲/۴۸	۳۰۰/۵	۱۹/۲۷
						۴۴	۳۱/۹۷	۲۷۹/۷	۱۳/۶۴

آماده‌سازی داده‌های آبدهی و استخراج اطلاعات فیزیوگرافیک

در این تحقیق، یک دورهٔ آماری مشترک ۴۵ ساله طی سال‌های آبی ۱۳۴۸ـ ۱۳۴۹ تا ۱۳۹۲ـ ۱۳۹۳ برای ایستگاه‌های هیدرومتری حوضهٔ آبخیز در نظر گرفته شد. به‌منظور بازسازی داده‌های آماری، از همبستگی چندمتغیره بین آمار آبدهی ماهانهٔ ایستگاه‌ها استفاده شد. پس از تکمیل آمار ماهانهٔ ایستگاه‌ها در دورهٔ آماری مشترک، داده‌های یادشده به اطلاعات آبدهی سالانه تبدیل شدند. در پژوهش حاضر، از نرم‌افزار SPSS 22 و آزمون توالی‌ها[1] به‌منظور بررسی تصادفی‌بودن داده‌ها و یا وجود همبستگی میان داده‌های سالانه استفاده شد. نتایج آزمون همگنی برای هر پنج ایستگاه هیدرومتری نشان داد آمار مربوط به آبدهی سالانهٔ هر پنج ایستگاه وابستگی دارند که این امر در خصوص داده‌های دبی جریان دور از انتظار نیست. از نتایج آزمون توالی‌ها می‌توان به‌منظور اطمینان از همگن‌بودن داده‌ها نیز استفاده کرد. همگن‌بودن داده‌ها بدین‌معناست که پارامترهای آماری داده‌ها مانند میانگین و انحراف معیار، با گذشت زمان دچار تغییر

1. Runs test

نشده‌اند و ثابت باقی مانده‌اند. بررسی همگن‌بودن داده‌ها نشان داد داده‌های آبدهی سالانه در ایستگاه‌های فیروزکوه، سیمین‌دشت و دلیچای همگن هستند و داده‌های آبدهی سالانه در ایستگاه‌های نمرود و بنکوه ممکن است همگن نباشند. به‌منظور بررسی بیشتر همگن‌بودن داده‌ها در این دو ایستگاه از روش منحنی جرم مضاعف[1] [۱۸] استفاده شد. در روش منحنی جرم مضاعف، مقادیر تجمعی داده‌ها در ایستگاهِ بررسی‌شده و مقادیر تجمعی داده‌ها در یک ایستگاه همگن، محاسبه شده و این مقادیر نسبت به یکدیگر ترسیم می‌شوند. در صورتی که شیب نمودار ترسیم‌شده طی دورهٔ آماری ثابت بماند و دچار تغییر نشود، می‌توان نتیجه گرفت که داده‌های ایستگاه بررسی‌شده همگن هستند. به‌منظور بررسی همگنی داده‌ها با استفاده از روش منحنی جرم مضاعف در ایستگاه‌های نمرود و بنکوه، ایستگاه سیمین‌دشت به‌عنوان ایستگاه مبنا در نظر گرفته شد و داده‌های دو ایستگاه دیگر با این ایستگاه مقایسه شدند که با توجه به تغییرنکردن شیب در نمودارهای ترسیم‌شده، نتیجه‌گیری شد که داده‌های آبدهی سالانه در ایستگاه‌های نمرود و بنکوه نیز همگن هستند.

به‌منظور مشخص کردن داده‌های پرت، باکس‌پلات مربوط به سری‌های زمانی سالانه در هر پنج ایستگاه ترسیم شد تا داده‌های پرت شناسایی شده و در صورت لزوم بازسازی شوند. باکس‌پلات نموداری است که در آن مقادیر میانه، چارک بالا، چارک پایین، چندک پنج درصد و چندک ۹۵ درصد داده‌ها به‌صورت خطوطی افقی نمایش داده می‌شوند. علاوه بر این، داده‌های پرت نیز به‌صورت نقاط مستقل روی نمودار نمایش داده می‌شوند. بررسی باکس‌پلات‌های ترسیم‌شده توسط نرم‌افزار SPSS 22 نشان داد فقط دادهٔ پرت مربوط به سال آبی ۱۳۷۴ـ ۱۳۷۵ در ایستگاه هیدرومتری فیروزکوه است. بررسی آبدهی سایر ایستگاه‌ها در این سال آبی نشان داد آبدهی ثبت‌شده در سایر ایستگاه‌ها نیز مقادیری شایان توجه بوده و می‌توان نتیجه گرفت که این سال یکی از سال‌های پرآب در دورهٔ آماری بوده است. به‌بیانی، این مقدار در ایستگاه هیدرومتری فیروزکوه یکی از مقادیر حدی در دورهٔ آماری است و بنابراین نیازی به بازسازی آن نبوده است. در نهایت، پس از محاسبهٔ آبدهی درازمدت سالانه در هر ایستگاه، مقادیر آبدهی درازمدت ویژه که از تقسیم آبدهی درازمدت سالانه به مساحت بالادست هر ایستگاه هیدرومتری به‌دست آمده است، در هر پنج زیرحوضهٔ اصلی محاسبه شد که این مقادیر به همراه آبدهی درازمدت سالانهٔ هر زیرحوضهٔ اصلی در جدول ۳ ارائه شده است. هیرپا و همکارانش [۱۹] بیان می‌کنند که استفاده از آبدهی ویژه[2]، تکنیکی برای حذف اثر مساحت و مقایسهٔ سایر عوامل مؤثر بر تولید رواناب در حوضه‌های آبخیز است. آبدهی ویژه را که در واقع ارتفاع رواناب تولیدشده در حوضه در واحد زمان است، می‌توان برحسب واحدهایی مانند لیتر در ثانیه در کیلومترمربع یا میلی‌متر در روز بیان کرد.

نتایج و بحث

به‌منظور بررسی شرایط هیدرولوژیک حاکم بر حوضهٔ آبخیز حبله‌رود معادلاتی با هدف برآورد آبدهی درازمدت سالانه و آبدهی درازمدت ویژه، براساس سه متغیر مستقل شامل مساحت، میانگین شیب سطح و میانگین بارش سالانه توسعه داده شد. در این بخش ابتدا معادلات استخراج‌شده ارائه شده‌اند و سپس به ارزیابی و مقایسهٔ آنها پرداخته شده است. استخراج همهٔ معادلات رگرسیونی با استفاده از نرم‌افزار SPSS 22 و بر مبنای روش استاندارد Enter در رگرسیون خطی انجام شد. استفاده از این روش در صورتی که تعداد متغیرهای مستقل کم باشد توصیه می‌شود که در این مطالعه نیز با توجه به اینکه بیشترین تعداد متغیرهای مستقل برابر با سه متغیر بوده است، از این روش استفاده شد.

جدول ۳. آبدهی در زیرحوضه‌های اصلی

پارامتر	فیروزکوه	نمرود	سیمین‌دشت	دلیچای	بنکوه
آبدهی درازمدت سالانه (m^3/s)	۱/۱۱	۴/۳۰	۵/۸۹	۱/۴۰	۷/۷۳
آبدهی درازمدت ویژه ($L/s/Km^2$)	۱/۴۹	۵/۶۸	۲/۶۳	۴/۱۳	۲/۳۷

1. Double mass curve
2. Specific discharge

معادلات برآورد آبدهی سالانه

با استفاده از داده‌های مربوط به پنج زیرحوضهٔ اصلی و استفاده از مساحت به‌عنوان تنها متغیر مستقل، معادلهٔ زیر برای برآورد آبدهی سالانه به‌دست آمد:

$$Q = ۰/۰۰۲۱A + ۰/۹۷۳۲ \quad r^۲ = ۰/۸۴۰۴ \qquad (۱)$$

در این معادله، Q آبدهی سالانه بر حسب مترمکعب در ثانیه و A مساحت زیرحوضه بر حسب کیلومترمربع است. انجام آزمون t-student در نرم‌افزار SPSS 22 نشان داد ضریب همبستگی این معادله در سطح پنج درصد معنادار است. نقشهٔ رستری بارش سالانه (شکل ۵) در حوضهٔ آبخیز حبله‌رود بیان‌کنندهٔ تغییرات شدید بارش در نقاط مختلف حوضه است. با توجه به تفاوت شرایط هیدرولوژیک حاکم بر تبدیل بارش به رواناب در نقاط مختلف حوضهٔ آبخیز حبله‌رود، درنظرگرفتن مساحت به‌عنوان تنها متغیر مستقل، نمی‌تواند روش مطمئنی برای برآورد آبدهی سالانه در زیرحوضه‌های بدون آمار باشد. بنابراین، به‌منظور برآورد آبدهی سالانه، از سایر متغیرهای فیزیوگرافیک و اقلیمی نیز در استخراج معادلات رگرسیونی استفاده شد. به‌دلیل سهولت برآورد و اهمیت متغیر بارش در تولید رواناب، میانگین بارش سالانه به‌عنوان دومین عامل تأثیرگذار بر آبدهی سالانه در نظر گرفته شد. همچنین در معادلهٔ سوم، شیب سطح حوضه نیز به‌عنوان متغیر مستقل سوم در نظر گرفته شد. رابطهٔ میان مساحت، بارش سالانه و آبدهی سالانه و همچنین رابطهٔ میان مساحت، بارش سالانه، شیب و آبدهی سالانه، با استفاده از رگرسیون چندمتغیره و داده‌های مربوط به پنج زیرحوضهٔ اصلی به‌صورت زیر به دست آمدند:

$$Q = ۰/۰۰۲۶A + ۰/۰۳۷۸P - ۱۱/۶۴ \quad r^۲ = ۰/۹۹۷۳ \qquad (۲)$$

$$Q = ۰/۰۰۲۶A + ۰/۰۳۹۵P - ۰/۰۲۳۳S - ۱۱/۳۳ \quad r^۲ = ۰/۹۹۹۵ \qquad (۳)$$

در این دو معادله، P میانگین بارش سالانه بر حسب میلی‌متر و S میانگین شیب سطح زیرحوضه بر حسب درصد است. ضریب تبیین این دو معادله نشان می‌دهد به‌کارگیری متغیرهای میانگین بارش سالانه و میانگین شیب، سبب افزایش دقت در تخمین مقادیر آبدهی سالانه در مقایسه با معادلهٔ ۱ می‌شود.

معادلات برآورد آبدهی ویژه

آبدهی ویژه حاصل تقسیم آبدهی بر مساحت حوضه است. رابطهٔ بارش سالانه و آبدهی ویژه در حوضهٔ آبخیز حبله‌رود با استفاده از رگرسیون خطی و براساس داده‌های مربوط به پنج زیرحوضهٔ اصلی به‌صورت زیر به‌دست آمد:

$$q = ۰/۰۴۸۶P - ۱۲/۰۶ \quad r^۲ = ۰/۹۷۵۹ \qquad (۴)$$

در این معادله، q آبدهی ویژه بر حسب لیتر در ثانیه در کیلومترمربع و P میانگین بارش سالانه بر حسب میلی‌متر است. انجام آزمون آماری t-student در نرم‌افزار SPSS 22 نشان داد ضریب همبستگی این معادله در سطح یک درصد معنادار است. با درنظرگرفتن شیب به‌عنوان دومین عامل تأثیرگذار بر آبدهی ویژه، رابطهٔ میان بارش سالانه، شیب و آبدهی ویژه در حوضهٔ آبخیز حبله‌رود با استفاده از رگرسیون چندمتغیره و آمار پنج زیرحوضهٔ اصلی به‌صورت زیر استخراج شد:

$$q = ۰/۰۴۵۴P + ۰/۰۴۱۳S - ۱۲/۵۷ \quad r^۲ = ۰/۹۹۶۷ \qquad (۵)$$

در این معادله، S میانگین شیب سطح زیرحوضه بر حسب درصد است. معادلهٔ ۴ نشان می‌دهد برآورد آبدهی ویژه با استفاده از دو متغیر مستقل بارش سالانه و شیب سطح موجب افزایش دقت برآورد نسبت به معادلهٔ رگرسیونی تک‌متغیره بر پایهٔ بارش سالانه می‌شود.

ارزیابی معادلات رگرسیونی

ارزیابی معادلات استخراج‌شده در دو مرحله انجام شد. ابتدا با توجه به اطلاعات مربوط به متغیرهای مستقل در پنج زیرحوضهٔ اصلی (جدول ۱) و معادلات ارائه‌شده، آبدهی سالانه در این پنج زیرحوضهٔ دارای آمار برآورد شد و میانگین اختلاف میان آبدهی سالانهٔ برآوردشده و مشاهده‌شده به‌دست آمد. در مرحلهٔ دوم، با استفاده از اطلاعات ارائه‌شده برای ۴۴ زیرحوضهٔ فرعی (جدول ۲) و معادلات ارائه‌شده، آبدهی سالانه در هر زیرحوضهٔ فرعی بدون آمار به‌دست آمد. به‌منظور ارزیابی این مقادیر، آبدهی زیرحوضه‌های اصلی به‌صورت مجموع آبدهی زیرحوضه‌های فرعی محاسبه شد و بر مبنای میانگین خطای محاسبه‌شده، معادلات دوباره ارزیابی و مقایسه شدند. جدول‌های ۴ و ۵ نتایج ارزیابی معادلات را در مرحلهٔ اول ارزیابی نشان می‌دهد. در جدول‌های ۶ و ۷ نیز نتایج ارزیابی معادلات در مرحلهٔ دوم ارائه شده است.

جدول ۴. مقایسهٔ عملکرد روش‌های برآورد آبدهی سالانه در حوضهٔ آبخیز حبله‌رود در مرحلهٔ اول

زیرحوضهٔ اصلی	مشاهده‌شده	مساحت		مساحت، بارندگی سالانه		مساحت، بارندگی سالانه، شیب	
	Q (m^3/s)	Q (m^3/s)	error (%)	Q (m^3/s)	error (%)	Q (m^3/s)	error (%)
فیروزکوه	۱/۱۱	۲/۵۴	۱۲۹/۰	۱/۰۲	۸/۱	۱/۱۴	۲/۵
نمرود	۴/۳۰	۲/۵۶	۴۰/۴	۴/۲۳	۱/۶	۴/۳۳	۰/۶
سیمین‌دشت	۵/۸۹	۵/۶۷	۳/۷	۵/۷۵	۲/۴	۵/۷۹	۱/۸
دلیچای	۱/۴۰	۱/۶۹	۲۰/۴	۱/۵۹	۱۳/۶	۱/۳۹	۰/۸
بنکوه	۷/۷۳	۷/۸۲	۱/۲	۷/۸۷	۱/۸	۷/۷۹	۰/۸
		میانگین خطا (%)	۳۸/۹		۵/۵		۱/۳

جدول ۵. مقایسهٔ عملکرد روش‌های برآورد آبدهی ویژه در حوضهٔ آبخیز حبله‌رود در مرحلهٔ اول

زیرحوضهٔ اصلی	مشاهده‌شده	بارندگی سالانه		بارندگی سالانه، شیب		
	Q (m^3/s)	q ($L/s/Km^2$)	Q (m^3/s)	error (%)	q ($L/s/Km^2$)	Q (cms)	error (%)
فیروزکوه	۱/۱۱	۱/۷۲	۱/۲۸	۱۵/۳	۱/۵۰	۱/۱۲	۰/۹
نمرود	۴/۳۰	۵/۸۱	۴/۴۰	۲/۳	۵/۶۲	۴/۲۵	۱/۲
سیمین‌دشت	۵/۸۹	۲/۸۲	۱۶/۳	۷/۱	۲/۷۲	۶/۰۹	۳/۴
دلیچای	۱/۴۰	۳/۸۲	۱/۲۹	۷/۸	۴/۱۷	۱/۴۱	۰/۷
بنکوه	۷/۷۳	۲/۱۳	۵۶/۹	۱۰/۱	۲/۲۱	۷/۲۱	۶/۷
			میانگین خطا (%)	۸/۵			۲/۶

جدول ۶. مقایسهٔ عملکرد روش‌های برآورد آبدهی سالانه در حوضهٔ آبخیز حبله‌رود در مرحلهٔ دوم

زیرحوضهٔ اصلی	مشاهده‌شده	مساحت		مساحت، بارندگی سالانه		مساحت، بارندگی سالانه، شیب	
	Q (m^3/s)	Q (m^3/s)	error (%)	Q (m^3/s)	error (%)	Q (m^3/s)	error (%)
فیروزکوه	۱/۱۱	۱۱/۳۱	۹۱۸/۹۲	۲/۳۰	۱۰۷/۲۱	۳/۳۵	۲۰۱/۸
نمرود	۴/۳۰	۱۲/۳۰	۱۸۶/۰۵	۲۳/۴۹	۴۴۶/۲۸	۲۶/۹۹	۵۲۷/۷
سیمین‌دشت	۵/۸۹	۳۴/۸۸	۴۹۲/۱۹	۲۵/۸۲	۳۳۸/۳۷	۰/۳۰	۴۹/۹
دلیچای	۱/۴۰	۴/۶۱	۲۲۹/۲۹	۴/۱۸	۱۹۸/۵۷	۴/۵۹	۲۲۷/۹
بنکوه	۷/۷۳	۴۹/۶۹	۵۴۲/۸۲	۳۰/۰۴	۲۸۸/۶۲	۰/۴۲	۹۴/۶
		میانگین خطا (%)	۴۷۳/۸۵		۲۷۵/۸۱		۲۲۹/۴

جدول ۷. مقایسهٔ عملکرد روش‌های برآورد آبدهی ویژه در حوضهٔ آبخیز حبله‌رود در مرحلهٔ دوم

زیرحوضهٔ اصلی	مشاهده‌شده	بارندگی سالانه		بارندگی سالانه، شیب	
	Q (m^3/s)	Q (m^3/s)	error (%)	Q (m^3/s)	error (%)
فیروزکوه	۱/۱۱	۱/۳۴	۲۰/۷۲	۱/۲۳	۱۰/۸۱
نمرود	۴/۳۰	۴/۴۰	۲/۳۳	۴/۲۷	۰/۷۰
سیمین‌دشت	۵/۸۹	۶/۴۷	۹/۸۵	۶/۳۴	۷/۶۴
دلیچای	۱/۴۰	۱/۳۱	۶/۴۳	۱/۴۲	۱/۴۳
بنکوه	۷/۷۳	۸/۱۹	۵/۹۵	۸/۲۰	۶/۰۸
		میانگین خطا (%)	۹/۰۵		۵/۳۳

همان‌گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود استفاده از معادلهٔ ۱ که فقط از مساحت به‌عنوان متغیر مستقل استفاده می‌کند، در زیرحوضه‌های اصلی با مساحت زیاد (بنکوه و سیمین‌دشت به‌ترتیب با مساحت‌های ۲۲۳۸/۰ و ۳۲۶۱/۲ کیلومترمربع) با خطای کمی همراه است. همچنین مشاهده می‌شود به‌کارگیری متغیرهای بارش سالانه و شیب، موجب کاهش خطا در برآورد آبدهی سالانه می‌شود به‌گونه‌ای که میانگین خطا با استفاده از معادلهٔ ۱ که فقط از متغیر مساحت استفاده می‌کند ۳۸/۹ درصد است، حال آنکه افزودن متغیر میانگین بارش سالانه (معادلهٔ ۲)، موجب کاهش میانگین خطا به ۵/۵ درصد و افزودن متغیر شیب (معادلهٔ ۳)، موجب کاهش میانگین خطا به ۱/۳ درصد می‌شود. ساپریا و همکارانش [۱۲] در مطالعهٔ خود، مساحت حوضه و بیشترین بارش روزانه را مهم‌ترین عوامل در برآورد بیشترین آبدهی روزانه معرفی کردند. خلیلی و یوسفی [۲۰] نشان دادند در حوضهٔ آبخیز اترک، مساحت حوضه مهم‌ترین عامل در تعیین بیشترین دبی روزانه است و شیب آبراههٔ اصلی و ارتفاع حوضه در مقام‌های بعدی تأثیرگذاری قرار دارند. همچنین ملکی‌نژاد و پورمحمدی [۲۱] در تحقیق خود متغیرهای مستقل مساحت، طول آبراههٔ اصلی، میانگین بارش سالانه و بیشترین بارش ۲۴ ساعته را به‌عنوان عوامل اصلی تأثیرگذار بر دبی اوج حوضه معرفی کردند. نتایج ارائه‌شده در جدول ۵ نشان می‌دهد در حالت میانگین، برآورد آبدهی ویژه و سپس تبدیل آن به آبدهی سالانه، راه‌کار مناسب‌تری نسبت به برآورد مستقیم آبدهی سالانه است (استفاده از معادلات ۴ و ۵ به‌جای استفاده از معادلات ۱ـ ۳). شایان یادآوری است در دو زیرحوضهٔ اصلی سیمین‌دشت و بنکوه که بیشترین مساحت را دارند، استفاده از معادلات ۴ و ۵ موجب خطای بیشتری شده است. جدول ۴ همچنین نشان می‌دهد نتایج برآورد آبدهی سالانه براساس مساحت، با نتایج حاصل از استفاده از متغیرهای مستقل مساحت، بارندگی سالانه و شیب بسیار متفاوت است (۳۸/۹ درصد نسبت به ۵/۵ و ۱/۳ درصد). این در حالی است که در برآورد آبدهی ویژه، طبق نتایج جدول ۵، تفاوت میان معادلات رگرسیونی یک و دومتغیره (معادلات ۴ و ۵) کمتر است (۸/۵ درصد نسبت به ۲/۶ درصد). با بررسی نتایج جدول‌های ۴ و ۵ مشخص می‌شود در شرایطی که امکان کاربرد فقط یک متغیر مستقل در زیرحوضه میسر باشد، برآورد آبدهی ویژه براساس متغیر بارندگی سالانه و تبدیل آن به آبدهی سالانه، می‌تواند نتایج مطلوب‌تری را ارائه کند.

جدول‌های ۶ و ۷ نتایج ارزیابی معادلات رگرسیونی را در مرحلهٔ دوم نمایش می‌دهند. نتایج جدول ۶ بیانگر آن است در شرایطی که محاسبات براساس مجموع رواناب خروجی از زیرحوضه‌های فرعی صورت پذیرد، استفاده از معادلات رگرسیونی ۱، ۲ و ۳ با میانگین خطای بسیار زیادی همراه خواهد بود (۴۷۳/۸۵، ۲۷۵/۸۱ و ۲۲۹/۴ درصد). از آنجا که هدف، برآورد آبدهی سالانه در زیرحوضه‌های فرعی بدون آمار است، نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد استفاده از معادلات ۱، ۲ و ۳ به‌هیچ‌وجه توصیه نمی‌شود، هر چند این معادلات در زیرحوضه‌های اصلیِ با مساحت زیاد نتایج مطلوبی ارائه کرده باشند. نتایج ارائه‌شده در جدول ۷ نشان می‌دهد برآورد آبدهی ویژه و سپس تبدیل آن به آبدهی سالانه، نتایج بسیار قابل قبول‌تری در برآورد آبدهی سالانه در زیرحوضه‌های فرعی ارائه کرده است (میانگین خطای ۹/۰۵ و ۵/۳۳ درصد). به‌بیان دیگر، تقسیم زیرحوضه‌های اصلی به زیرحوضه‌های فرعی و جمع‌کردن رواناب خروجی از مساحت‌های کوچک‌تر، خطای شایان توجهی به معادلات ۴ و ۵ وارد نکرده است (۹/۰۵ نسبت به ۸/۵ درصد در معادلهٔ ۴ و ۵/۳۳ نسبت به ۲/۶ درصد در معادلهٔ ۵). بنابراین، توصیه می‌شود در زیرحوضه‌های فرعی بدون آمار، ابتدا آبدهی ویژه بر اساس معادلات ۴ یا ۵ برآورد شده و سپس این مقادیر، به آبدهی سالانه تبدیل شوند. بدین‌منظور استفاده از معادلهٔ رگرسیونی دومتغیره مبتنی بر میانگین بارش سالانه و شیب (معادلهٔ ۵)، دقت مطلوبی در پی خواهد داشت (میانگین خطای ۵/۳۳ درصد). هرچند استفاده از رگرسیون تک‌متغیره براساس میانگین بارش سالانه (معادلهٔ ۴) نیز توصیه می‌شود (میانگین خطای ۹/۰۵). به‌طور کلی، نتایج جدول‌های ۴ تا ۷ بیان‌کنندهٔ آن است که محاسبهٔ آبدهی ویژه با حذف اثر مساحت قادر است با دقتی مناسب، آبدهی سالانه را در زیرحوضه‌های فرعی فاقد آمار تقریب بزند. همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، هیرپا و همکارانش [۱۶] استفاده از آبدهی ویژه را تکنیکی برای حذف اثر مساحت و درنظرگرفتن سایر متغیرهای مهم تأثیرگذار بر آبدهی حوضه معرفی می‌کنند. نتایج مطالعهٔ حاضر نشان می‌دهد در صورت تقسیم حوضه به زیرحوضه‌های بسیار

کوچک، خطای معادلاتی افزایش می‌یابد که مساحت در آنها عامل اصلی است. در این شرایط، می‌توان بدون درنظرگرفتن مساحت حوضه که در مطالعاتی مانند لل و اولدز [۳]، رائو و هسیه [۵]، خلیلی و یوسفی [۱۷] و چارن و اوآردا [۱۳] عاملی مهم در برآورد آبدهی معرفی شده است، آبدهی ویژه را با استفاده از متغیرهایی مانند میانگین بارش سالانه و شیب سطح برآورد کرد و سپس آن را به آبدهی تبدیل کرد. هر چند شایان یادآوری است دقت این روش، با افزایش مساحت حوضه کاهش می‌یابد که این موضوع امری قابل انتظار است.

نتیجه‌گیری

تحلیل منطقه‌ای آبدهی سالانه بر پایهٔ اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری در یک منطقهٔ خاص امکان‌پذیر است. مدل‌های توسعه داده‌شده در این روش قادرند همبستگی بین ویژگی‌های هندسی و هیدرولوژیک حوضه را با دقت مناسبی برقرار کنند. در چنین شرایطی امکان بروز خطای محاسباتی به‌دلیل تفاوت‌های اقلیمی در کل حوضهٔ آبخیز وجود دارد. بنابراین، برای حداقل‌سازی خطای محاسباتی، باید مدل‌های مختلفی براساس متغیرهای گوناگون ارزیابی شوند تا از میان آنها بهترین مدل برای برآورد خصوصیات هیدرولوژیک زیرحوضه‌های بدون آمار انتخاب شود. باید توجه داشت معادلات تولیدشده، فقط برای مناطق بحث‌شده قابل استفاده است و کاربرد آنها برای مناطقی با اقلیم متفاوت توصیه نمی‌شود. بنابراین، این معادلات صرفاً برای حوضه‌های بدون آمار در همان منطقه پیشنهاد می‌شوند.

در مطالعهٔ حاضر، هنگام تخمین آبدهی سالانه در زیرحوضه‌های بدون آمار، معادلات پیشنهادی ۱، ۲ و ۳ در شرایط مجموع زیرحوضه‌های فرعی با خطای بسیار زیادی مواجه شدند. بنابراین، به‌منظور افزایش دقت محاسبات در برآورد آبدهی سالانه، برآورد آبدهی ویژه پیشنهاد شده است. متغیر وابستهٔ آبدهی ویژه با حذف اثر مساحت، شرایط هیدرولوژیک حوضه را با دقت مناسب‌تری شبیه‌سازی می‌کند. به‌منظور برآورد آبدهی ویژه در زیرحوضه‌های بدون آمار، استفاده از مدل رگرسیونی دومتغیره شامل متغیرهای مستقل بارش سالانه و میانگین شیب حوضه توصیه می‌شود. هرچند برای سهولت کاربرد، پیشنهاد می‌شود با پذیرش درصدی خطای بیشتر، مدل رگرسیونی تک‌متغیره بر پایهٔ بارش سالانه به‌کار گرفته شود. بنابراین، به‌منظور برآورد آبدهی ویژه، متغیر مستقل بارش اهمیت زیادی دارد. کاربرد متغیرهای مستقلی نظیر محیط و طول حوضه، طول آبراههٔ اصلی، ارتفاع متوسط از سطح دریا، شیب آبراههٔ اصلی، نوع خاک، مساحت زهکشی و کاربری اراضی نیز می‌تواند برای بهبود برآورد هیدرولوژیک در حوضه‌های بدون آمار استفاده شود.

منابع

[1].Sivapalan M, Takeuchi K, Franks SW, Gupta VK, Karambiri H, Lakshmi V, et al. IAHS decade on predictions in ungauged basins (PUB), 2003-2012: Shaping an exciting future for the hydrological sciences. Hydrolog Sci J. 2003; 48(6): 857-880.

[2].Kim U, Kaluarachchi JJ. Application of parameter estimation and regionalization methodologies to ungauged basins of the Upper Blue Nile River Basin, Ethiopia. J Hydrol. 2008; 362: 39-56.

[3].Lall U, Olds J. A parameter estimation model for ungaged streamflows. J Hydrol. 1987; 92: 245-262.

[4].Servat E, Dezetter A. Rainfall-runoff modeling and water resources assessment in northwestern Ivory Coast. Tentative extension to ungauged catchments. J Hydrol. 1993; 148: 231-248.

[5].Rao AR, Hsieh CH. Estimation of variables at ungaged locations by empirical orthogonal functions. J Hydrol. 1991; 123: 51-67.

[6].Zhu Y, Day RL. Regression modeling of streamflow, baseflow, and runoff using geographic information systems. J Environ Manage. 2009; 90: 946-953.

[7].Fernandez W, Vogel RM, Sankarasubramanian A. Regional calibration of a watershed model. Hydrolog Sci J. 2000; 45(5): 689-707.

[8].Khedmati1 H, Manshouri M, Heydarizadeh M, Sedghi H. Zonation and estimation of flood discharge in unguaged sites located in south-east basins of iran using a combination of flood index and multi-variable regression methods (Sistan and Baluchistan, Kerman, Yazd and Hormozgan Provinces). Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology). 2010; 24(3): 593-609. [Persian].

[9].Bocchiola D, Mihalcea C, Diolaiuti G, Mosconi B, Smiraglia C, Rosso R. Flow prediction in high altitude ungauged catchments: A case study in the Italian Alps (Pantano Basin, Adamello Group). Adv Water Resour. 2010; 33: 1224-1234.

[10].Johnson BH, Padmanabhan G. Regression estimates of design flows for ungaged sites using bankfull geometry and flashiness. Catena. 2010; 81: 117-125.

[11].Bao Z, Zhang J, Liu J, Fu G, Wang G, He R, et al. Comparison of regionalization approaches based on regression and similarity for predictions in ungauged catchments under multiple hydro-climatic conditions. J Hydrol. 2012; 466-467: 37-46.

[12].Supriya P, Krishnaveni M, Subbulakshmi M. Regression analysis of annual maximum daily rainfall and stream flow for flood forecasting in Vellar River Basin. Aquatic Procedia. 2015; 4: 957-963.

[13].Charron C, Ouarda TBMJ. Regional low-flow frequency analysis with a recession parameter from a non-linear reservoir model. J Hydrol. 2015; 524: 468-475.

[14].Naeimi Kalourazi Z, Ghorbani Kh, Salarijazi M, Dehghani A. A. Investigation of effect of basin's physiographic and climatic parameters in seasonal river flow simulation. Iranian Journal of Ecohydrology. 2017; 3(4): 545-555. [Persian].

[15].Cho H, Bones E. Quantification of uncertainties in the 100-year flow at an ungaged site near a gaged station and its application in Georgia. J Hydrol. 2016; 539: 640-647.

[16].Farzin S, Karimi H, Doostmohammadi M, Ghanbari A, Zamiri E. The performance of Artificial Neural Network in prediction and analysis of hydrological processes (Case study: Water shortage in Nazloo-chai watershed, West Azerbaijan province). Iranian Journal of Eco Hydrology. 2017; 3(4): 631-644. [Persian].

[17].Haghizadeh A, Mohammadlou M, Noori F. Simulation of rainfall-runoff process using multilayer perceptron and adaptive neuro-fuzzy interface system and multiple regressions (Case study: Khorramabd watershed). Iranian Journal of Ecohydrology. 2015; 2(2): 233-243. [Persian].

[18].Raghunath HM. Hydrology, Principles, Analysis, Design. 2nd ed. New Delhi: New Age International; 2006.

[19].Hirpa FA, Gebremichael M, Over TM. River flow fluctuation analysis: Effect of watershed area. Water Resour Res. 2010; 46: 1-10.

[20].Khalili D, Yousefi A. Developing a model for the estimation of mean and maximum daily discharges using physiographic parameters for Atrak Watershed. J Sci Technol Agr Nat Resour (JWSS). 1998; 2(3): 1-11. [Persian].

[21].Malekinejad H, Pourmohammadi S. Investigating the peak flood estimation methods in a regional analysis approach for low-data catchments. Water Soil Sci. 2011; 21(1): 115-125. [Persian].