مدل‌سازی دبی جریان پایه در رودخانه‌های استان اردبیل براساس روش آماری

اباذر اسمعلی عوری[1*]، رئوف مصطفی‌زاده [2]، سونیا مهری[3]

[*]۱- استاد گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- دانشیار گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

[*]ایمیل نویسنده مسئول: esmaliouri@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۳

چکیده

جریان پایه یکی از شاخص‌های مهم، در ارزیابی، بهره‌برداری و مدیریت رودخانه خصوصاً در شرایط کم‌آبی است. عوامل متعددی در میزان جریان پایه و روند تغییرات آن نقش دارند. مدل‌سازی جریان پایه و برآورد آن می‌تواند در تعیین درجه سلامت رودخانه و برنامه‌ریزی استفاده از آب‌های سطحی مورد استفاده قرار گیرد. در این پژوهش از روش رگرسیون چندمتغیره جهت مدل‌سازی میزان جریان پایه و تعیین عوامل موثر بر آن استفاده شده است. بدین منظور، از داده‌های دبی و بارش در مقیاس روزانه و ویژگی‌های فیزیوگرافی ۲۲ زیرحوزه در استان اردبیل شامل: مساحت حوزه، طول آبراهه اصلی، تراکم زهکشی، ارتفاع متوسط، شیب متوسط، درصد کاربری موجود در هر زیرحوزه که دارای پراکندگی مناسبی در سطح استان هستند، به‌عنوان متغیر مستقل استفاده شد. ابتدا جریان پایه از هیدروگراف روزانه جریان با روش الگوریتم یک پارامتره و برنامه‌نویسی در نرم‌افزار اکسل محاسبه شد. پس از استخراج متغیرهای مذکور، متغیرهای طول آبراهه، ارتفاع و شیب به‌دلیل رعایت عدم هم‌خطی از معادلات رگرسیونی حذف شد، و در ادامه از طریق رگرسیون چندمتغیره با استفاده از روش گام به گام مدل‌سازی جریان پایه انجام شد و صحت آن در معنی‌دار (p-value<۰،۰۰۵) ارزیابی شد. براساس نتایج، عوامل موثر در برآورد میزان جریان پایه در آبخیزهای مورد مطالعه شامل، فاکتورهای مساحت حوزه، دبی روزانه، درصد کاربری مرتع متوسط تا خوب و درصد کاربری زراعت-منطقه‌مسکونی-باغ است. که در بین این دو متغیر، دبی روزانه و مساحت دارای بیش‌ترین تاثیر مثبت در مقدار جریان پایه هستند. نتایج مدل‌سازی جریان پایه را می‌توان در مناطق مشابه فاقد آمار در آبخیزهای اطراف منطقه مورد مطالعه در استان اردبیل مورد استفاده قرار داد.

کلمات کلیدی

" جریان پایه"، " رگرسیون چندمتغیره"، " فیلتر عددی برگشتی"، " مدل‌سازی"

۱- مقدمه

رودخانه‌ها از مهم‌ترین منابع آب قابل استفاده هستند که اطلاع از عوامل موثر بر میزان دبی رودخانه و جریان پایه می‌تواند اطلاعات با ارزشی در خصوص میزان و زمان بهره‌برداری از آن‌ها ارائه دهند (Mehri et al., ۲۰۱۹). هم‌چنین آب‌های زیرزمینی ارزشمندترین منابع آب به‌شمار می‌روند؛ بنابراین شناخت این منابع به‌منظور تدوین برنامه بهره‌برداری بهینه و صحیح با هدف توسعه پایدار یک منطقه به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک ضرورت دارد (Asri, ۲۰۰۵). جریان پایه[1] با نفوذ عمقی خود به سفره‌های آب زیرزمینی رسیده و با افزایش سطح سفره‌ها، چنانچه با شبکه زهکشی ارتباط داشته باشند، آب‌های اضافی خود را در طی مدت زمان طولانی، که گاهی چند ماه مورد نیاز است تخلیه می‌کنند (Mehri et al., ۲۰۱۷). همین آب‌ها هستند که مدت‌ها پس از قطع بارندگی باعث تغذیه رودخانه‌ها از جریان پایه می‌شوند (Mahdavi, ۲۰۰۷; Bayazidi and Saghafian, ۲۰۱۱). تغییرات کاربری اراضی فرآیندهای هیدرولوژیکی مانند میزان نفوذ، تغذیه آب‌های زیرزمینی، آب پایه و رواناب سطحی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Talebi Khiavi, and Mostafazadeh, ۲۰۲۱). هم‌چنین، تغییرات عوامل اقلیمی می‌تواند بر آبدهی رودخانه موثر باشد و از این رو بررسی تغییرات دبی رودخانه در طول زمان می‌تواند اثرات تغییر یا عدم تغییر در شرایط اقلیمی یک منطقه را مشخص نماید. مدل‌هایی که بر پایه اصول آماری-احتمالی بنا گذاشته شده‌اند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. دو روش معمول برای تعیین دبی طراحی در

[1]- Base Flow

آبخیزهای فاقد آمار استفاده می‌شود: مدل‌های بارش-رواناب، که از خصوصیات حوزه آبریز و بارش به‌منظور تخمین جریان استفاده می‌کنند. این مدل‌ها ممکن است زمان‌بر و پرهزینه باشند. روش دیگر، استفاده از مدل‌های رگرسیونی است، که دبی طراحی در دوره‌های خاص را به خصوصیات حوزه از قبیل مساحت حوزه، ویژگی‌های توپوگرافی، خاک و خصوصیات آب و هوایی مرتبط می‌کنند (Benson, ١٩٦٨؛ Dukic, ٢٠٠٦). متداول‌ترین روش برای منطقه‌ای‌کردن در هیدرولوژی رگرسیون دو یا چندمتغیره است. تحلیل رگرسیون روشی مفید برای توسعهٔ عوامل مورد نظر در منطقه‌ای کردن حوزه‌های فاقد آمار است. محققانی مانند (Chen and wang, ٢٠١٥) از روش رگرسیون چندمتغیره برای برآورد تحلیل منطقه‌ای استفاده کردند. مدل‌سازی به‌عنوان یکی از مفیدترین روش‌ها برای درک مسائلی است، که با فرایندها ارتباط دارند (Nosrati et al., ٢٠٠٣). تحلیل رگرسیونی نیز یکی از رایج‌ترین روش‌های آماری در پیش‌بینی مقادیر یک یا چند پارامتره وابسته از مجموعه‌ای از مقادیر متغیرهای مستقل (پیش‌بینی‌کننده) است. این روش در محیط‌های غیرفازی با تعریف صریح روابط بین متغیرها، کاربرد فراوانی دارد (Kim et al, ١٩٩٨). در رگرسیون کلاسیک فرض می‌شود متغیرها و مشاهدات مربوط به آن‌ها دقیق هستند و خطای مدل نیز از دو منبع حذف فاکتورهای تاثیرگذار و خطاهای تصادفی در حین برداشت داده، ناشی می‌شود. علاوه بر این، خطاها و مقادیر پیش‌بینی شده از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. تحلیل رگرسیونی نیز یکی از رایج‌ترین روش‌های آماری در پیش‌بینی مقادیر یک یا چند پارامتره وابسته از مجموعه‌ای از مقادیر متغیرهای مستقل (پیش‌بینی‌کننده) است. بین تغییرات ایجاد شده در متغیرهای مستقل و واکنش، متغیرهای وابسته همواره تأخیر زمانی وجود دارد که با مقادیر و حدود تغییرات در متغیرهای مستقل و قابلیت تغییرپذیری متغیرهای وابسته کنترل می‌شود. رگرسیون آماری به ازای هر سری از متغیرهای ورودی تنها یک مقدار مشخص برای متغیر وابسته محاسبه می‌شود، رگرسیون چندمتغیره براساس ترکیبی از سایر متغیرهای موثر ساخته می‌شود. به‌واسطه تغییرپذیری عوامل موثر بر تغییرات جریان و نقش آن در بسیاری از مخاطرات طبیعی و مشکلات اقتصادی توجه پژوهشگران زیادی رو به خود معطوف کرده است. نصرتی و همکاران (٢٠٠٣) با در نظر گرفتن ١٧ متغیر اقلیمی، فیزیوگرافی، زمین‌شناسی و هیدرولوژیک تحلیل منطقه‌ای کم‌آبی در حوزه آبخیز رودخانه اترک را بررسی نمودند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که چهار عامل مساحت، بارش سالانه، درصد سازند نفوذپذیر و شیب متوسط حوزه مهم‌ترین عامل‌های تاثیرگذار هستند. جوکار سرهنگی و همکاران (٢٠٠٩) با استفاده از ویژگی‌های ژئومورفولوژی کمی، مورفومتری و با بکارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی به مدل‌سازی برآورد سیلاب در حوزه‌های آبی واقع در دامنه شمالی البرز پرداختند، نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که دبی حداکثر لحظه‌ای تابعی از مساحت حوزه، طول حداکثر و عرض مستطیل معادل حوزه‌ها است. صلواتی و همکاران (٢٠١٠) به مدل‌سازی تولید رواناب براساس متغیرهای فیزیوگرافی و اقلیمی در حوزه‌های آبخیز استان کردستان پرداختند و نتایج بدست آمده آن‌ها بیانگر تغییرپذیری متغیرها و اهمیت آن‌ها در تعیین دبی با دوره‌های بازگشت در ماه‌های مختلف بود. نگارش و همکاران (٢٠١٤) با استفاده از داده‌های دبی ماهانه و ویژگی‌های فیزیوگرافی پنج زیرحوزه رودخانه کشکان، از رگرسیون چندمتغیره برای مدل‌سازی رواناب استفاده کردند. نتایج رگرسیون چندمتغیره برای مدل‌سازی رواناب نشان داد که عوامل تعیین‌کننده بر میزان دبی در دوره‌های بازگشت مختلف در حوزه آبریز رودخانه کشکان، فاکتورهای حداکثر بارش ماهانه، مساحت، زمان تمرکز، ضریب فشردگی و حداکثر ارتفاع حوزه هستند، که در این بین دو متغیر، بیشینه بارش ماهانه و ضریب فشردگی دارای بیش‌ترین تاثیر مستقیم در افزایش تولید رواناب هستند. زارع‌بیدکی و همکاران (٢٠١٥) جهت ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه تیره لرستان در یک دور آماری ٣٠ ساله به تفکیک جریان پایه با استفاده از روش‌های BFI[١]، فیلتر دیجیتال برگشتی و Hysep[٢] پرداختند. سپس جهت انتخاب روش مناسب تفکیک جریان پایه روش‌های مذکور را با استفاده از معیار خطا با هم مقایسه نمودند. نتایج حاصل از مقایسه روش‌های مذکور نشان داد که روش‌های محدوده زمانی جابه‌جاشونده و فیلتر دیجیتال برگشتی لین هولیک با ضریب ٠/٩ روش‌های مناسبی برای جداسازی آب پایه از جریان روزانه منطقه مورد مطالعه هستند. هم‌چنین نتایج تحقیق ایشان نشان داد که ٧٤تا ٧٥ درصد جریان رودخانه تیره را جریان پایه تشکیل می‌دهد. Smakhtin (٢٠٠١) در آفریقای جنوبی به توصیف عملکرد الگوریتم تفکیک فیلتر عددی برگشتی ارائه شده توسط لین و هولیک[٣] در جداسازی جریان پایه با استفاده از داده‌های ماهانه جریان رودخانه پرداختند. (٢٠٠٣) Chalise et al., با تحلیل منطقه‌ای جریان کم آبی به روش معادله

[١]- Recursive Digital Filter, BFI

[٢] -Hydrograph Separation

[٣]- Lynne & Hollick

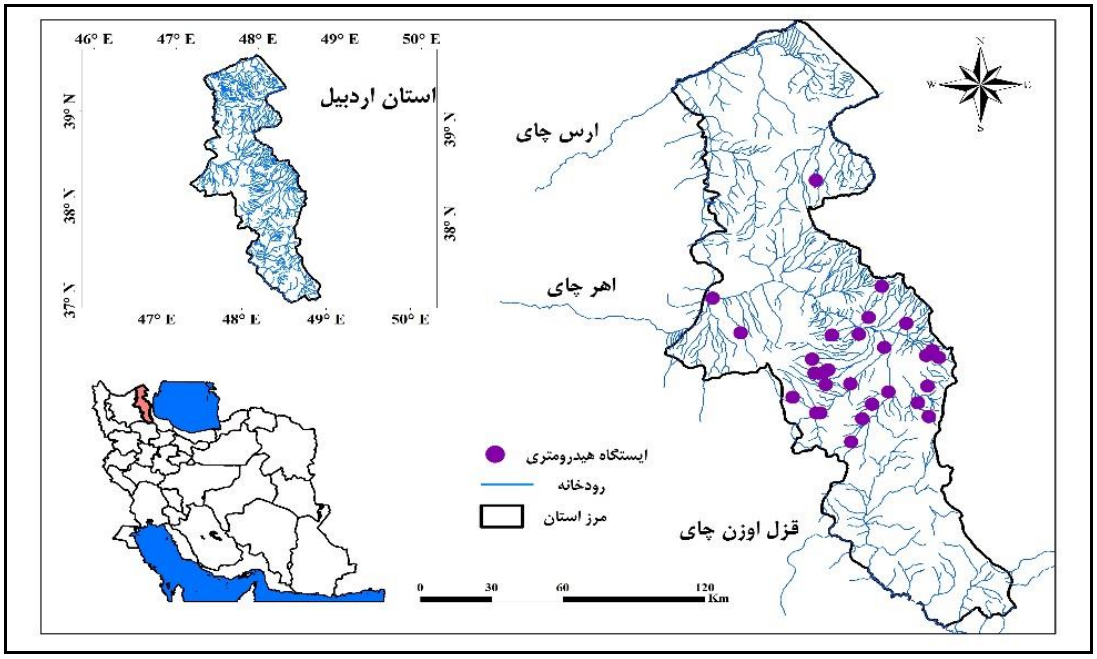
همبستگی چندمتغیره و استفاده از مشخصات حوزه و داده‌های هواشناسی و هیدرولوژیک در هیمالایا دریافتند که میانگین بارش سالانه از عامل‌های موثر بر جریان کم آبی است. Tularam and Ilahee (٢٠٠٨) در مطالعه روش‌های جداسازی جریان پایه و تاثیر آن‌ها در برآورد ضریب رواناب سطحی از هیدروگراف جریان، از دو آبریز برمر[1] و تنهیل[2] در استرالیا استفاده نمودند. به این نتیجه رسیدند که روش فیلتری با انتخاب مقدار مناسب ضریب α، بهترین روش برای برآورد جریان پایه است. Arancibia et al., (٢٠١٠) در پژوهشی، نقش متغیرهای اقلیمی و حوزه‌ای را در برآورد جریان پایه مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که مشخصه‌های حوزه شامل شکل، شیب، پوشش گیاهی و متغیرهای اقلیمی نظیر میانگین بارش سالیانه نقش موثری در جریان پایه دارند. Johnson and Padamanabhan (٢٠١٠) از داده‌های ٢٢ ایستگاه هیدرومتری رودخانه رد[3]، در شمال داکوتای آمریکا، به‌منظور تخمین دبی‌های طراحی استفاده کردند. آن‌ها پس از تجزیه و تحلیل معادلات همبستگی نشان دادند معادله‌هایی که در آن‌ها از خصوصیات هندسه هیدرولیکی مقطع پر رودخانه استفاده شده است، نتایج بهتری از روابط معمول در مناطق فاقد آمار ارائه می‌دهند. البته در تحقیق آن‌ها خصوصیات ذخیره، شیب رودخانه و نیز عرض مقطع پر به‌کار برده نشده است. Mehaiguene et al., (٢٠١٢) در شمال‌غربی الجزایر در حوزه‌ای به وسعت ١٣٠٠٠٠ کیلومتر مربع با هدف کمی‌سازی ویژگی‌های جریان با توجه به شاخص جریان پایه و استفاده از یک روش ساده برای پیش‌بینی مقدار شاخص جریان پایه در مناطق فاقد آمار از ٢٤ ایستگاه هیدرومتری استفاده کردند. هم‌چنین شناسایی مناطق همگن را از طریق مدل رگرسیون خطی با استفاده از تحلیل مولفه‌های اصلی PCA و خوشه‌بندی انجام دادند. نتایج تجزیه و تحلیل براساس داده‌های فیزیوگرافی و اقلیمی نشان داد که در منطقه مورد مطالعه فقط سه حوزه به‌طور قابل توجهی همگن هستند و مقایسه بین مدل‌های جهانی و محلی با رگرسیونی خطی نشان داد که رگرسیون خطی بهتر از سایر مدل‌ها تغییرات شاخص جریان پایه در منطقه مورد مطالعه نشان داده است. با توجه به وجود رودخانه‌های متعدد و پرآب که از ارتفاعات ییلاقی سرچشمه می‌گیرند، جریان پایه بخش عمده‌ای از جریان رودخانه‌ای را در استان اردبیل تشکیل می‌دهد. بنابراین تعیین عوامل موثر در تغییرات جریان پایه دارای اهمیت است. لذا هدف پژوهش حاضر، مدل‌سازی عوامل موثر در مقدار جریان پایه و برآورد آن در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل است.

مواد و روش انجام تحقیق

محدوده مورد مطالعه

استان اردبیل در شمال‌غربی فلات ایران بین مختصات ´٤٥ °٣٧ تا ´٤٢ °٣٩ عرض شمالی و ´٣ °٤٧ تا ´٥٥ °٤٨ طول شمالی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است که از شمال با جمهوری آذربایجان همسایه بوده از قسمت شرق با استان گیلان از جنوب با استان زنجان و از غرب با استان آذربایجان شرقی هم‌جوار است. استان اردبیل جزء نواحی سردسیر کوهستانی محسوب می‌شود و میزان نزولات جوی در استان اردبیل به‌طور متوسط بین ٢٥٠ تا ٦٠٠ میلی‌متر در سال در بخش‌های مختلف استان نوسان دارد. در این مطالعه از آمار دبی جریان روزانه ایستگاه‌های هیدرومتری با دوره آماری از سال آبی ١٣٦٩-١٣٦٨ تا ١٣٩٠-١٣٨٩ واقع در آبخیزهای استان اردبیل جهت استخراج پارامترهای جریان پایه استفاده شده است (Amini et al., ٢٠١٩). هم‌چنین از نقشه توپوگرافی ١:٥٠٠٠٠ و کاربری اراضی جهت استخراج پارامترهای شیب، مساحت، ارتفاع متوسط زیرحوزه، تراکم شبکه زهکشی، طول آبراهه اصلی، درصد مساحت کاربری‌های مختلف در هر زیرحوزه و آمار بارش ماهانه ایستگاه باران‌سنجی در دوره آماری مذکور برای تحلیل عوامل موثر بر میزان جریان پایه استفاده شد. در شکل (١) موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در استان اردبیل نشان شده است. هم‌چنین در جدول (١) مشخصات حوزه‌های انتخابی در استان اردبیل ارائه شده است.

[1]- Bremer
[2]- Tenhill
[3]- Red River



شکل ١- موقعیت ایستگاه‌های انتخابی بر روی نقشه ایران و استان اردبیل، مورد استفاده در مدل‌سازی جریان پایه

جدول ٢- مشخصات حوزه‌های منتخب و مورد استفاده در مدل‌سازی جریان پایه در استان اردبیل

ردیف	نام رودخانه	نام زیرحوزه	مساحت حوزه (کیلومترمربع)	ردیف	نام رودخانه	نام زیرحوزه	مساحت حوزه (کیلومترمربع)
١	سارقمیش	اکبرداود	٧١٠	١٢	بالخلوچای	پل الماس	١٠٧٠
٢	قره‌سو	آلادیزگه	٢٢	١٣	خیاوچای	پل سلطانی	٩٨
٣	یدی‌بولیک‌چای	عموقین	١١٠	١٤	قره‌سو	سامیان	٤٠٠٤
٤	سقزچی‌چای	ایریل	٨	١٥	آغ‌چای	شمس‌آباد	١٢٨
٥	شهریورچای	باروق	٩٦	١٦	ویلادرق‌چای	ویلادرق	٩٤
٦	قره‌سو	دوست‌بیگلو	٧٣١١	١٧	سولاچای	سولا	٤٤
٧	شاهرود	دورود	١٥٨	١٨	برزندچای	حاجی‌احمدکندی	١٥٧
٨	فیروزآبادچای	فیروزآباد	١٥١٥	١٩	بالخلوچای	گیلانده	١٦٣٨
٩	قوری‌چای	کوزه‌تپراقی	٨١٢/٥	٢٠	نمین‌چای	نمین	٤٤
١٠	نرگس‌چای	ننه‌کران	٤٠	٢١	قره‌سو	ارباب‌کندی	٤٨٠٠
١١	نیرچای	نیر	٢٥٦	٢٢	هیرچای	هیر	١٧٨

- **روش پژوهش**

جهت انجام پژوهش حاضر، از داده‌های دبی روزانه ثبت شده در ٢٢ ایستگاه هیدرومتری با طول دوره آماری ٢٢ ساله، استفاده شده است. ابتدا جریان پایه از هیدروگراف روزانه جریان با روش الگوریتم یک پارامتره[١] و برنامه‌نویسی در نرم‌افزار اکسل محاسبه شد. روش الگوریتم یک پارامتره جز روش‌های فیلتر عددی برگشتی محسوب می‌شوند که در تحلیل و پردازش سیگنال‌های دبی جریان استفاده می‌شوند، در جداسازی جریان پایه از جریان‌های سریع با فیلتر دیجیتال بازگشتی، سیگنال‌های جریان سریع دارای فرکانس بالا حذف و سیگنال‌های جریان پایه دارای فرکانس پایین، از هیدروگراف جریان استخراج می‌شود (IHACRES، ٢٠٠٨).

الگوریتم یک پارامتره: فیلتر یک پارامتره فقط نیاز به تعیین پارامتر ثابت فروکش (k) دارد که در این تحقیق با استفاده از تحلیل شاخه فروکش جریان محاسبه شده است، در رابطه‌ی زیر ارائه شده است:

$$q_{b(i)} = \frac{k}{2-k} q_{b(i-1)} + \frac{1-k}{2-k} \qquad (١)$$

پس از محاسبه مقادیر دبی پایه جریان، منطقه مورد مطالعه براساس موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری دارای آمار، به ٢٢ زیرحوزه تقسیم شد، سپس پارامترهای شیب، متوسط

[١]- One-Parameter Algorithm

ارتفاع حوزه، مساحت، درصد کاربری‌های مختلف موجود در هر زیرحوزه، تراکم شبکه زهکشی و طول آبراهه اصلی در محیط GIS بر مبنای مدل رقومی ارتفاع تهیه شدند. هم‌چنین در خصوص مقدار بارش از متوسط فراوانی مقادیر بارندگی ایستگاه‌های منتخب در مقیاس ماهانه استفاده شد. پارامترهای مذکور براساس مطالعات (Chalise et al., ۲۰۰۳؛ Benson, ۱۹٦۸؛ رحمتی و همکاران، ۱۳۹٤) به‌منظور مدل‌سازی انتخاب شدند. در ادامه، خصوصیات فیزیوگرافی این ۲۲ زیرحوزه شامل: مساحت حوزه، طول آبراهه اصلی، تراکم زهکشی، ارتفاع متوسط، شیب متوسط، درصد کاربری موجود در هر زیرحوزه و این خصوصیات فیزیوگرافی به همراه پارامتر اقلیمی متوسط بارش ماهانه ایستگاه‌ها و دبی روزانه به‌عنوان متغیر مستقل لحاظ شده‌اند تا اثرات آن‌ها و بیش‌ترین تأثیر بر روی متغیر وابسته (جریان پایه) این ۲۲ زیر حوزه در دوره مورد مطالعه مشخص گردند. ملاک انتخاب متغیرهای مستقل، موثر بودن در تولید دبی، سهولت دسترسی و اعتماد در اندازه‌گیری، همانطور که در مطالعات هیدرولوژیکی علاوه بر داشتن داده‌های طولانی مدت، داده‌های باید از توزیع نرمال تبعیت کنند و به همین دلیل غالباً داده‌های مورد استفاده را با یک توزیع آماری برازش می‌دهند سپس در همین راستا، و در نرم‌افزار SPSS آزمون‌های آماری همگنی و بازسازی داده‌های ناقص بر روی این داده‌ها براساس دو روش شاپیرویلک و کلموگروف انجام شد. آزمون همگنی داده‌ها برای داده‌های همگن شده انجام و مشخص شد داده‌های درصد مرتع‌ضعیف، درصد جنگل، جریان پایه، دبی روزانه، مساحت، تراکم زهکشی، طول آبراهه و متوسط بارش غیر نرمال بودند. سپس برای نرمال‌سازی داده‌ها از لگاریتم متغیرها و روش باکس کاکس استفاده شد. در ادامه، هم‌خطی[1] بین متغیرهای مستقل با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون درصد معنی‌دار کم‌تر از ۰/۰۱ و برآورد مقدار VIF در نرم‌افزار SPSS آزمون شد (Esfandyari et al., ۲۰۲۲). بر این اساس متغیرهای مستقل دارای همبستگی معنی‌دار (مقدار، Sig<۰/۰۱) و (VIF>۱۰) به‌دلیل رعایت عدم هم‌خطی از تحلیل رگرسیونی حذف شد. مدل رگرسیون چند متغیره نوع بسط یافته از مدل رگرسیون خطی دو متغیره است که در آن سعی می‌شود براساس چندین متغیر مستقل، متغیر وابسته برآورد، پس با از اطمینان از عدم وجود هم‌خطی بین متغیرهای مستقل و نبود داده‌های پرت، روش رگرسیون چند متغیره گام به گام جهت مدل‌سازی انتخاب شد. سپس با در نظر گرفتن جریان پایه به‌عنوان متغیرهای وابسته (تابع)، مساحت، ارتفاع متوسط، بارش متوسط، درصد کاربری اراضی موجود، طول آبراهه اصلی، تراکم زهکشی و به‌عنوان متغیر مستقل مورد آزمون قرار گرفتند. برای بدست آوردن رابطه‌های رگرسیونی، میزان همبستگی بین متغیرها بررسی شد و در نهایت رابطه‌ای که دارای بیش‌ترین ضریب تبیین،کم‌ترین خطای استاندارد و ضریب تشخیص بالاتر باشد، به‌عنوان رابطه مناسب انتخاب شد (زارع چاهوکی، ۲۰۱۰؛ حاجی بیگلو و همکاران، ۲۰۱۵؛ Chen and wang, ۲۰۱۵).

۳- نتایج

جهت معادله سازی جریان پایه با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون متغیرهای طول آبراهه، ارتفاع و شیب دارای هم‌خطی بسیار بالایی هستند و بدلیل رعایت عدم هم‌خطی و تاثیر مستقیم در مقدار تولید از تحلیل رگرسیونی حذف شد. نتایج تجزیه رگرسیونی برای مدل‌سازی جریان پایه در جدول‌های ۲، ۳ و ٤ ارائه شده است. ضریب تعیین یا R^2 معیاری برای تعیین کفایت مدل رگرسیونی است. چون نمی‌توان به مقدار مطلوب R برای مدل‌های زیر مجموعه رگرسیون دست یافت از مقدار قابل قبول R^2 استفاده می‌شود (زارع چاهوکی، ۲۰۱۰؛ حقی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۵؛ Mehaiguene et al., ۲۰۱۲).

جدول ۲- نتایج مدل رگرسیونی چند متغیره مدل‌سازی جریان پایه در استان اردبیل

Model Summary[b]			
معیار خطای تخمین	تعیین ضریب شده تعدیل	ضریب تعیین	ضریب همبستگی
۰/۱۷۲۲۷	۰/۹۸۵	۰/۹۹۲	.۹۹٦[a]
بارش متوسط، جنگل، درصد مرتع ضعیف، درصد : مستقل متغیر باغ، -مسکونی منطقه-درصد زراعت تراکم، مساحت، روزانه، دبی درصد مرتع متوسط تا خوب			
پایه وابسته: دبی متغیر			

مقدار R^2 به‌دست آمده نشان می‌دهد که ۰/۹۹ درصد از تغییرات جریان پایه مربوط به عوامل: درصد مرتع ضعیف، درصد جنگل، بارش، دبی روزانه، مساحت، تراکم، زراعت-منطقه مسکونی-باغ، درصد مرتع متوسط تا خوب است.

[1]- Collinearity

جدول ٣- نتایج تحلیل واریانس رگرسیونی متغیر وابسته، جریان پایه در استان اردبیل

ANOVA[a]					
	مربعات مجموع	درجه آزادی	مربعات میانگین	F آزمون	Sig.
رگرسیون	٣٨/٢٢	٩/٠٠	٤/٢٥	١٤٣/١١	.٠٠٠b
باقی‌مانده	٠/٣٣	١١/٠٠	٠/٠٣		
کل	٣٨/٥٥	٢٠/٠٠			
درصد باغ،-مسکونی منطقه-درصد زراعت تراکم، مساحت، روزانه، دبی بارش، جنگل، درصد مرتع ضعیف، درصد: مستقل متغیر مرتع متوسط تا خوب					

جدول آنالیز واریانس رگرسیون به‌منظور بررسی وجود رابطه خطی بین متغیرهاست. براساس جدول ٣ و مقدار ضریب معنی‌داری بدست آمده و کوچک‌تر از ٠/٠٥ است یعنی بین متغیرهای مستقل و وابسته (جریان پایه) ارتباط معنی‌داری وجود دارد.

جدول ٤- نتایج مدل رگرسیونی چند متغیره مدل‌سازی جریان پایه در استان اردبیل

مدل		ضریب استاندارد نشده		ضریب استاندار شده	t	معنی‌دار ی	آماره‌های هم‌خطی	
		B	انحراف خطای معیار	بتا			تولرانس	افزایش واریانس
١	ثابت مقدار	-١/٨٧	٠/٤٣		-٤/٣٤	٠/٠٠		
	ضعیف درصد مرتع	-٠/٠٣	٠/٠٤	-٠/٠٣	-٠/٧٨	٠/٤٥	٠/٤٢	٢/٣٩
	درصد جنگل	-٠/٠٦	٠/٠٤	-٠/٠٥	-١/٤٢	٠/١٨	٠/٧٠	١/٤٣
	روزانه دبی	١/٣١	٠/٠٥	٠/٩٤	٢٤/٢٨	٠/٠٠	٠/٥١	١/٩٥
	تراکم زهکشی	-٠/١٣	٠/١٠	-٠/٠٧	-١/٢٦	٠/٢٣	٠/٢٨	٣/٥٦
	ارتفاع	٠/٠٠	٠/٠٠	-٠/٠٤	-٠/٨٥	٠/٤١	٠/٣٨	٢/٦٦
	بارندگی	٠/٠٣	٠/٠٦	٠/٠٢	٠/٦٠	٠/٥٦	٠/٤٥	٢/٢١
	درصد مساحت	٠/١٠	٠/٠٥	٠/٠٧	٢/٠٢	٠/٠٤	٠/٦٢	١/٦١
	-مسکونی منطقه-درصدزراعت باغ	٠/٠١	٠/٠٠	٠/١٩	٢/٦٨	٠/٠٢	٠/١٦	٦/٣٦
	درصد مرتع متوسط تا خوب	٠/٠١	٠/٠٠	٠/١٧	٢/٧١	٠/٠٢	٠/٢١	٤/٨٥

در جدول ٤، مقدار بتا (β) ضریب حساسیت جریان پایه نسبت به متغیر درصد مرتع ضعیف ٠/٠٣- است. مقدار به‌دست آمده نشان‌دهنده اثر درصد کاربری مرتع بر میزان تولید جریان پایه است. میزان وجود رابطهٔ خطی بین متغیرهای مستقل توسط شاخص تولرانس اندازه‌گیری می‌شود. برای هر متغیر مستقل تولرانس، نسبتی از پراکندگی آن متغیر است که توسط روابط خطی آن متغیر با سایر متغیرهای مستقل موجود در مدل توجیه نمی‌شود (زارع چاهوکی، ٢٠١٠؛ نگارش، ٢٠١٢). با توجه به این که تولرانس یک نسبت است، مقدار آن بین صفر و یک است. مقدار نزدیک به یک به این معنی است که در یک متغیر مستقل بخش کوچکی از پراکنش آن با سایر متغیرهای مستقل توجیه می‌کند و مقدار نزدیک به صفر نشان می‌دهد که یک متغیر تقریبا یک ترکیب خطی از سایر متغیرهای مستقل است. β استاندارد شده نقش بسیار مهمی را در پیش‌گویی متغیر وابسته نشان می‌دهد، بنابراین متغیر دبی روزانه، به مراتب سهم بیش‌تری در مقایسه با سایر متغیرها در برآورد متغیر وابسته (جریان پایه) دارد.

معادله رگرسیونی چند متغیره بین متغیر وابسته جریان پایه و متغیرهای مستقل:

با توجه به جدول ٤ تمام فاکتورهای مذکور با در نظر گرفتن مقدار VIF کم‌تر از ١٠ برای ارائه در معادله رگرسیونی مناسب هستند. براساس مقدار (β) یا سهم مشارکت اولویت‌بندی از متغیرهای مذکور انجام شد و سپس با توجه به مقدار Sig کم‌تر از ٥ درصد متغیرهای دبی روزانه، مساحت حوزه، درصد کاربری مرتع متوسط تا خوب و درصد زراعت-منطقه مسکونی-باغ جز عوامل موثر در میزان جریان پایه هستند، در معادله نویسی لحاظ شد. اولویت‌بندی متغیرهای موثر در مقدار جریان پایه: دبی روزانه، مساحت، تراکم، درصد زراعت-منطقه مسکونی-باغ، درصد مرتع متوسط تا خوب، بارندگی، درصد مرتع

ضعیف و جنگل. در نهایت معادله رگرسیونی چند متغیره برای جریان پایه به صورت معادله زیر است.

$$\text{Base Flow} = 1.31(D) + 0.1(A) + 0.01(Rg) + 0.01(Z) - 1.87 \quad (۲)$$

که در آن D دبی روزانه جریان، A مساحت حوزه، Rg درصد کاربری مرتع خوب تا متوسط و Z درصد کاربری زراعت- مسکونی-باغ است.

٤- نتیجه‌گیری

جهت انجام پژوهش حاضر، از داده‌های دبی روزانه ثبت شده در ٢٢ ایستگاه هیدرومتری با طول دوره آماری ٢٢ ساله، استفاده شده است. ابتدا جریان پایه از هیدروگراف روزانه جریان با روش الگوریتم یک پارامتره و برنامه‌نویسی در نرم‌افزار اکسل محاسبه شد. پس از محاسبه جریان پایه، مقادیر پارامترهای شیب، متوسط ارتفاع حوزه، مساحت، درصد کاربری‌های مختلف موجود در هر زیرحوزه، تراکم زهکشی و طول آبراهه اصلی بر مبنای مدل رقومی ارتفاعی GIS محاسبه شدند. هم‌چنین در خصوص مقدار بارش از متوسط فراوانی مقادیر بارندگی ایستگاه‌های منتخب در مقیاس ماهانه استفاده شد. بین متغیرهای مستقل و نبود داده‌های پرت با روش رگرسیون چند متغیره گام به گام با در نظر گرفتن جریان پایه به‌عنوان متغیرهای وابسته مورد آزمون قرار گرفت در این پژوهش مدل جریان پایه با ضریب همبستگی معنی‌دار در سطح اطمینان ٥ درصد و به‌ترتیب با درجه آزادی و ضریب تعیین ٩ و ٠/٩٩ متناسب با تعداد ٢٢ زیرحوزه مورد استفاده، به‌عنوان مدل نهایی انتخاب شد. بدین منظور موثرترین متغیرها از میان مجموع متغیرهای کاربری اراضی، زمین شناسی، اقلیم، هیدرولوژی و فیزیولوژیکی در تولید جریان پایه در مقیاس حوزه توسط رگرسیون کلاسیک چندمتغیره تعیین شد، که با نتایج Negaresh., et al., ٢٠٠٤؛ Kim et al, ١٩٩٨ در خصوص انتخاب روش رگرسیون چند متغیره و ارائه معادلات درجه یک مطابقت دارد. در ادامه باتوجه به ضریب همبستگی متغیرهای طول آبراهه، ارتفاع و شیب به دلیل رعایت عدم هم‌خطی از معادلات رگرسیونی حذف شد. در این پژوهش، طول آبراهه اصلی چون با مساحت و بارندگی دارای هم‌خطی بسیار بالایی است و مساحت حوزه می‌تواند اثر عامل طول آبراهه اصلی را نیز شامل شود، طول آبراهه به همراه دو متغیر شیب و ارتفاع از فاکتورهای مورد ارزیابی جهت استخراج رابطه رگرسیونی برای جریان پایه حذف شد. سپس از طریق مقدار (β) اولویت‌بندی از متغیرهای مستقل برای متغیرهای وابسته جریان پایه انجام شد. در نهایت نتایج رگرسیون چند متغیره برای مدل‌سازی جریان پایه نشان داد که عوامل تعیین‌کننده بر میزان جریان پایه در دوره مورد مطالعه شامل، فاکتورهای دبی روزانه، درصد مرتع متوسط تا خوب، درصد زراعت-منطقه‌مسکونی- باغ و مساحت است. که در بین این دو متغیر، دبی روزانه و مساحت حوزه دارای بیش‌ترین تاثیر مستقیم در افزایش تولید جریان پایه هستند که نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش Negaresh., et al., ؛Chen and wang, ٢٠١٥ ٢٠٠٤؛ مبنی بر تاثیر مثبت عامل، مساحت در تغییرات جریان پایه هم‌خوانی دارد. هم‌چنین با نتایج Arancibia et al., ٢٠١٠ در خصوص تاثیر مثبت و مستقیم پوشش گیاهی و کاربری اراضی در مقدار تولید جریان پایه مطابقت دارد. باید اشاره شود که واکنش هیدرولوژیک حوزه‌ها در مقیاس‌های ساعتی، روزانه، ماهانه و یا سالانه متفاوت خواهد بود. لذا، مدل‌سازی می‌تواند در مقیاس‌های مختلف زمانی نیز انجام شود که به تکمیل نتایج کمک خواهد نمود. همچنین باید توجه نمود که در نظر گرفتن تاثیر عواملی مانند برداشت و یا انحراف جریان رودخانه می تواند بر دقت نتایج تاثیر داشته باشد. علاوه بر این تاثیر اقدامات انسانی بر تغییر سهم جریان پایه رودخانه از مواردی است که معمولاً در مدل‌سازی ها در نظر گرفته نمیشود و منشاء بروز خطای قابل توجهی خواهد شد. هم‌چنین، تغییرات عوامل اقلیمی می‌تواند بر آبدهی رودخانه موثر باشد و از این رو بررسی تغییرات دبی رودخانه در طول زمان می‌تواند اثرات تغییر یا عدم تغییر در شرایط اقلیمی یک منطقه را مشخص نماید. نتایج مدل‌سازی جریان پایه در قالب رابطه ارائه شده می‌تواند در مناطق بدون آمار مجاور آبخیزهای مورد مطالعه در استان اردبیل مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

اسفندیاری درآباد، ف.، ر. مصطفی‌زاده.، ب. نظافت تکله.، ح. پاسبان. ١٤٠١. مدل‌سازی میزان رسوبات معلق در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و رگرسیون چندگانه. آبیاری و آب ایران، دوره ١٣، شماره ٢، ١٤٣-١٦٢.

امینی، ح.، ا. اسمعلی.، ر. مصطفی‌زاده.، م. شرری.، م. ذبیحی. ۱۳۹۸. واکنش خشکسالی هیدرولوژیک در جریان تنظیمی رودخانه تحت تاثیر احداث سد در استان اردبیل. فیزیک زمین و فضا، دوره ٤٥، شماره ٢، ٤٨٦-٤٧٣.

بایزیدی، م. و ب. ثقفیان.۱۳۹۰. تجزیه و تحلیل منطقه‌ای خشکسالی جریان رودخانه در مناطق جنوب غرب کشور، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال پنجم، شماره ١٤، ص ٣٧-٥٢.

جوکار سرهنگی، ع.، ا. امیراحمدی. و ا. نیکزاد. ۱۳۸۸. مدل‌سازی برآورد سیلاب حوضه‌های آبی دامنه‌های شمالی البرز مرکزی با استفاده از ویژگی‌های ژئومورفولوژی کمی و مورفومتری و بکارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال چهاردهم، شماره ۲۹، ص۱٦۲-۱٤۱.

حاجی‌بیگلو، م.، ع. قزل‌سوفلو. م.ت. دستورانی، ب. قهرمان. و م.ر. اختصاصی. ۱۳۹٤. تحلیل آماری رابطه‌های هندسی-هیدرولیکی رودخانه‌ها (مطالعه موردی: رودخانه فیروز-شاهجوب بجنورد)، پژوهش آب ایران، جلد نهم، شماره ۱، ص ۱۹۳-۱۸۹.

حقی‌زاده، ع.، م. محمدلو. و ف. نوری. ۱۳۹٤. شبیه‌سازی فرایند بارش-رواناب با استفاده از شبکه عصبی-مصنوعی و سیستم فازی عصبی تطبیقی و رگرسیون چندمتغیره (مطالعه موردی: حوضه آبخیز خرم‌آباد)، دوره ۲، شماره ۲، ص ۲٤۳-۲۳۳.

رحمتی، ا.، ن. طهماسبی‌پور. و ح.ر. پورقاسمی. ۱۳۹٤. اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز استان گلستان براساس آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری، اکوهیدرولوژی، دوره دوم، شماره ۲، ص ١٦١-١٥١.

زارع‌بیدکی، ر.، م. مهدیان فرد. ا. هنربخش. و ح. زینی‌وند. ۱۳۹٤. برآورد جریان پایه رودخانه تیره لرستان به‌منظور ارزیابی جریان زیست‌محیطی، اکوهیدرولوژی، دوره دوم، شماره ۳، ص ۲۸۷-۲۷۵.

زارع‌چاهوکی، م.ع. ۱۳۸۹. تجریه و تحلیل داده‌ها در پژوهش‌های منابع‌طبیعی با نرم‌افزار SPSS، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تهران، چاپ اول، ۳۱۰ ص.

صلواتی، ب.، س. ح. ر. صادقی. و ع. ر. تلوری. ۱۳۸۹. مدل‌سازی تولید روان‌آب حوزه‌های آبخیز استان کردستان با استفاده از متغیرهای فیزیوگرافی و اقلیمی، نشریه آب و خاک، جلد بیست و چهارم، شماره ۱، ص ۹٦-۸٤.

عصری، ا.، ا. فاخری‌فرد. ع. زینالی. و ا. اسدی. ۱۳۹٤. بررسی تاثیر متغیرهای اقلیمی-هیدرولوژیکی بر تراز سطح ایستابی دشت عجب‌شیر، اکوهیدرولوژی، دوره ۲، شماره ۲، ص ۲۰۰-۱۹۱.

کرابی، ا.، م. ر. مجدزاده طباطبایی. و س. ح. قریشی نجف‌آبادی. ۱۳۹٤. بررسی خصوصیات هندسی رودخانه‌ها بر دبی طراحی در رودخانه‌های مناطق خشک و نیمه خشک، علوم و مهندسی آبیاری، جلد سی و نهم، شماره۱، ص ۱۱۰-۱۱۹.

مهدوی، م. ۱۳۸٦. هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران، جلد دوم، چاپ ٥، ٤٣٧ ص.

مهری، س.، ر. مصطفی‌زاده.، ا. اسمعلی‌عوری، ا.، ا. قربانی. ، ا. ۱۳۹٦. تغییرات زمانی و مکانی شاخص جریان پایه در رودخانه‌های استان اردبیل. فیزیک زمین و فضا، دوره ٤٣، شماره ٣، ٦٣٤-٦٢٣.

مهری، س.، ر. مصطفی‌زاده، ا. اسمعلی‌عوری.، ا. قربانی. ۱۳۹۸. مقایسه روش‌های ترسیمی و فیلترهای عددی برگشتی در تفکیک جریان پایه در تعدادی از رودخانه‌های استان اردبیل. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲٦، شماره ٤، ۱۱۳-۹٥.

نصرتی، ک.، م. ساروی. س. اسلامیان. ف. شریفی. و م. مهدوی. ۱۳۸۲. شناخت مناطق همگن در بررسی خشکسالی آب‌شناسی با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره در مناطق خشک و نیمه خشک، سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس تغییر اقلیم، دانشگاه اصفهان، ص ۱۲۸-۱۱۸.

نگارش، ح.، ت. طاوسی. و م. مهدی‌نسب. ۱۳۹۳. مدل‌سازی تولید رواناب حوزه آبریز رودخانه کشکان براساس روش‌های آماری، پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری، سال ۳، شماره ٦، ص ۹۲-۸۱.

Arancibia, J.L.P., Van Dijk, A.I.J.M., Mulligan, M. and Bruijnzeel, A.L. ۲۰۱۰. The role of climatic and terrain attributes in estimating base flow recess ion in tropical catchments. Hydrology and Earth System Sciences, ١٤: ٢١٩٣-٢٢٠٥.

Benson, M. A. ١٩٦٨. Uniform flood frequency estimating methods for Federal Agencies. Water Resources Research, ٤ (٥): ٨٩١-٩٠٨.

Chalise, S.R., Kansakar, S.R., Rees, G., Croker, K., and Zaidman, M. ٢٠٠٣. Management of water resources and low flow estimation for the Himalayan basins of Nepal. Journal of Hydrology, ٢٨٢: ٢٥-٣٥.

Chen, X., Wang, D. ٢٠١٥. Modeling seasonal surface runoff and base flow based on the generalized proportionality hypothesis. Journal of Hydrology, ٥٢٧: ٣٦٧-٣٧٩.

Dukic, Vesna. ٢٠٠٦. Modelling of base flow of the basin of Kolubara river in Serbia. Journal of Hydrology ٣٢٧: ١-١٢.

Eckhardt, K. ٢٠٠٨. A comparison of base flow indices which were calculated with seven different base flow separation methods. Journal of Hydrology, ٣٥٢: ١٦٨–١٧٣.

Johnson, B. H. and Padmanabhan, G. ٢٠١٠. Regression estimates of design flows for ungagged sites using bankfull geometry and flashiness. Journal of CATENA, ٨١ (٢): ١١٧-١٢٥.

Kim, B. R. and Bishu, R. ١٩٩٨. Evaluation of fuzzy linear regression models by comparing membership functions. Fuzzy Sets and Systems, ١٠٠: ٣٤٣-٣٥٢.

Mehaiguene, M., Meddi, M., Longobardi, A. and Toumi, S. ٢٠١٢. Low flows quantification and regionalization in North West Algeria. Journal of Arid Environments, ٨٧: ٦٧-٧٦.

Smakhtin, V.U. ٢٠٠١. Estimating continuous monthly base flow time series and their possible application in the context of the ecological reserve. Water S A, ٢٧ (٢): ٢١٣-٢١٧.

Talebi Khiavi, H. Mostafazadeh, R. ٢٠٢١. Land use change dynamics assessment in the Khiavchai region, the hillside of Sabalan mountainous area. Arabian Journal of Geosciences, ١٤(٢٢٥٧).

Tularam, G.A. and Ilahee, M. ٢٠٠٨. Exponential smoothing method of base Flow separation and its impact on continuous loss estimates. American Journal of Environmental Sciences, ٤ (٢): ١٣٦-١٤٤.

Modeling the base flow discharge in Ardabil Province Rivers based on the statistical method

Abazar EsmaliOuri[١*], Raoof Mostafazadeh[٢], Sonia Mehri[٣]

[١*] Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, and Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

[٢] Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, and Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

[٣] Ph.D student in Watershed Management Science and Engineering, Tarbiat Modaresh University, Noor, Iran

[*] Corresponding Author: esmaliouri@uma.ac.ir

Abstract

Introduction

Base flow is one of the most important criteria which is used for assessment, utilization and management of river flow in drought periods. The base flow amount and its variations depends on several factors. Base flow modeling and estimation can be used in assessment of river health as well as planning of surface water utilization. Base flow refers to the flow of the river in times without rainfall. The base flow of the river is the infiltration of groundwater to the river banks or the river bed. The base flow may be significant and flow continuously throughout the year in the permanent rivers. The base flow has reached the underground water table with its deep penetration, and with the increase in the level of the aquifers, it can be connected with the drainage network, they create their own excess water during a long period of time, which sometimes takes several months. Determining the amount of river flow in dry periods, and the proportion of total runoff is one of the important topics in river hydrology. The base flow plays an important role in the river ecosystem, and is critical to human communities and ecosystems. This is especially important for watersheds that are not fed by snowmelt. Different ecological processes occur in different parts of the river's hydrograph. During base flow and during low water seasons, river ecosystems and habitats are dependent on river flow. Land change affect hydrologica; processes such as infiltration rates, groundwater recharge, groundwater and runoff levels. Also, climatic factors can affect the water yield of river basins. The most common method for regionalization in hydrology is bivariate or multivariate regression. Regression analysis is a useful approach to develop the desired factors in the regionalization of ungauged basins. Regression analysis is also one of the most common statistical methods in predicting values based on most important influencing factors. In this study, the multiple regression was used to model the base flow amount and determining the effective factors on base flow discharge. Ardabil province is considered one of the cold mountainous areas and the amount of precipitation in Ardabil province fluctuates on average between ٢٥٠ and ٦٠٠ mm/year in different parts of the province. Therefore, the aim of the current research is to model the effective factors in the amount of base flow and its estimation in the watersheds of Ardabil province.

Methodology

The topographic maps were used to extract parameters of slope, area, average height of sub-basin, drainage density, length of main river, area percentage of different land uses in each sub-basin, precipitation, daily discharge (as independent variables) was used to analyze the factors affecting the amount of base flow. The daily discharge data recorded in ٢٢ hydrometric stations were used. The base flow was calculated from the daily flow hydrograph by one-parameter algorithm method and programming in Excel software. The one-parameter algorithm method is one of the reverse numerical filter methods that are used in the flow rate signal processing, and separating the base flow from the fast flows using a recursive digital filter. In the following, the physiographic characteristics of the basins have been considered as independent variables, and base flow amount has been modelled using regression analysis. The necessary statistical tests were performed in the screening stage, and the logarithm of the variables and the Box-Cox method were used to normalize the data. Then, collinearity between independent variables was tested using Pearson's correlation coefficient at ٩٩٪

confidence level and the VIF values has been examined in SPSS software. Therefoe, independent variables with significant correlation (Sig<۰,۰۱) and (VIF>۱۰) were excluded from the regression analysis due to collinearity. The multivariable regression model is an extended type of the bivariate linear regression model, in which it is tried to estimate the dependent variable based on several independent variables, Then, the stepwise regression approach has been considered for the modelling purpose. Then, considering base flow as dependent variables, and other physiographic parameters as independent variables, the most suitable methods has been chosen according to the efficiency assessment criteria.

Result and Discussion

The ANOVA table of the modelling showed that there is a significant relationship between independent and dependent variables. The obtained value showed that the rangeland percentage amount had a significant effect on the base flow amount. The degree of linear relationship between independent variables is measured by the tolerance index. Standardized β shows a very important role in predicting the dependent variable, so the daily discharge variable had a much greater contribution compared to other variables in the estimation of the dependent variable (base flow). According to the results, all the mentioned factors were considered in proposed regression model considering the VIF value less than ۱۰. Based on the value (β), the contribution of independent was interpretated. The results revealed that the discharge, area, the percentage of medium to good rangelands, and the percentage of agriculture-residential area-garden are among the effective factors. The main river length, average height, and average slope were removed from the modelling procedure due to collinearity effect, and then the stepwise multiple regression was performed and the produced model accuracy were proved as significant (p-value <۰,۰۰۵). Also, the results indicate the positive and direct impact of vegetation and land use on the amount of base flow amount. The results of base flow modeling nased on presented model can be used in the ungauged areas adjacent to the studied watersheds in Ardabil province.

Conclusion

It should be noted that the hydrological response of the basins will be different on hourly, daily, monthly or yearly scales. Therefore, modeling can be done in different time scales, which will help to better understanding of base flow contribution in river flow regime. It should also be noted that considering the influence of factors such as extraction or river flow diversion can affect the accuracy of the results. In addition, the effect of human modifications on the change of the contribution of the river's base flow is important that is usually not considered in modeling and will be the source of a significant error. Also, the changes of climatic factors can affect the water flow of the river, and therefore, the study of the changes in the river flow over time can determine the effects of changes in climatic factors.

Keywords

“Base flow”, “Multiple regression”, “Recursive digital filter”, “Modelling”