اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۲، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص ۲۸۷-۲۷۵

برآورد جریان پایهٔ رودخانهٔ تیرهٔ لرستان به‌منظور ارزیابی جریان زیست‌محیطی

رفعت زارع بیدکی[1*]، مریم مهدیان فرد[2]، افشین هنربخش[3]، حسین زینی‌وند[4]

۱. استادیار، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

۲. کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

۳. دانشیار، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

٤. استادیار، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۰۵/۱۷- تاریخ تصویب: ۱۳۹٤/۰۷/۰۵)

چکیده

روش‌های معمول ارزیابی جریان زیست‌محیطی از نظر پیچیدگی متنوع‌اند. برخی فقط به داده‌های جریان احتیاج دارند، ولی برخی نیازهای زیستگاهی هر گونهٔ خاص را در نظر می‌گیرند. روش‌های هیدرولوژیک ارزیابی جریان زیست‌محیطی، اولین گام لازم در برنامه‌ریزی برای تخصیص‌های زیست‌محیطی در کشورهای در حال توسعه‌اند. برای تعیین حقابهٔ زیست‌محیطی یک اکوسیستم آبی رودخانه نیاز به دانستن مقادیر جریان حداقل است که در هیدرولوژی به آن جریان پایه گفته می‌شود و برای تعیین مقادیر آن به تجزیهٔ هیدروگراف نیاز است. به همین منظور آمار سی‌سالهٔ دبی روزانهٔ جریان در ایستگاه تیرهٔ دورود بر رودخانهٔ تیرهٔ لرستان انتخاب شد. مقدار جریان پایه در دورهٔ ۱۳٦۱ تا ۱۳۹۰ با استفاده از روش‌های BFI، فیلتر دیجیتال برگشتی و Hysep محاسبه شد. نتایج نشان داد بین ۷٤ تا ۷۸ درصد جریان رودخانه را آب پایه تشکیل می‌دهد. نتایج حاصل از مقایسهٔ روش‌های یادشده با استفاده از معیارهای خطا نشان داد روش‌های محدودهٔ زمانی جابه‌جاشونده و فیلتر دیجیتال برگشتی لین و هولیک با ضریب فیلتر ۰/۹ روش‌های مناسبی برای جداسازی آب پایه از جریان روزانهٔ این رودخانه هستند.

کلیدواژگان: اکهارت، شاخص جریان پایه، فیلتر دیجیتال برگشتی، لین و هولیک، Hysep.

* نویسندهٔ مسئول

Email: zare.rafat@nres.sku.ac.ir

مقدمه

بنا به تعریف هال [۱۷]، آب پایه بخشی از جریان است که از ذخایر زیرزمینی یا دیگر منابع تأخیری جریان می‌یابد. این بخش از جریان را هیدرولوژیست‌های مختلف جریان آب زیرزمینی، جریان حداقل، جریان نفوذیافته، جریان نشتی و جریان پایدار نیز می‌خوانند. مقدار و زمان‌بندی خروج آب پایه از منابع ذخیره‌شده در موارد مختلف چون مدیریت منابع آب، مدل‌سازی‌های بارش- رواناب، مدل‌سازی کیفیت آب، بررسی تأثیر مدیریت‌های مختلف اراضی در جریان آب زیرزمینی اهمیت شناخته‌شده‌ای دارد و همچنین در سال‌های اخیر در تعیین حقابهٔ زیست‌محیطی رودخانه‌ها، به مطالعهٔ عملکرد اکوسیستم‌های آبی و نیز چرخهٔ مواد غذایی توجه شده است. از نظر اکوهیدرولوژیست‌ها آب پایه[1] نقش اساسی در پایداری جریان در طول دوره‌های خشک و تنظیم سطوح آب زیرزمینی ایفا می‌کند. همچنین در انتقال مواد غذایی و حفظ عملکرد اکوسیستم نقش اصلی را دارد [۲۱].

روش‌های معمول ارزیابی جریان زیست‌محیطی از نظر پیچیدگی متنوع‌اند. برخی فقط به داده‌های جریان احتیاج دارند، ولی برخی نیازهای زیستگاهی هر گونهٔ خاص را در نظر می‌گیرند [۱۵]. کینهیل [۱۹] سه دسته از فنون یا روش‌شناسی را که برای تعیین جریان زیست‌محیطی استفاده می‌شده است نام برده است: روش‌های تخمینی (قانون شصت)، عرضی یا انتقالی، و زیستگاه در دسترس. تارمه [۳۳] نیز روش‌های موجود را به سه گروه طبقه‌بندی کرده است. اولین گروه روش‌هایی را شامل می‌شوند که به استفاده از آمارهای ثبت‌شدهٔ دبی جریان به عنوان مبنایی برای تعیین نیازهای جریانی داخل رودخانه تأکید دارند. روش‌های هیدرولوژیک به عنوان روش‌های «قانون شصت»، «آستانه» یا «تنظیم استاندارد» نیز شناخته می‌شوند [۳۳]. تنانت [۳۲] عنوان کرد که جریان‌های مشخصی می‌توانند به بقای وضع خاصی از زیستگاه منجر شوند که آن‌ها را «زیستگاه بقای کوتاه‌مدت»، «زیستگاه حیاتی» و «زیستگاه عالی برای بقا» نامید. در ساده‌ترین شکل، این طبقه‌بندی کیفی را می‌توان با خصوصیات متوسط جریان سالانه تطبیق داد. زیستگاه حیاتی کوتاه‌مدت، با حفظ ۱۰ درصد جریان متوسط سالانه، باقی می‌ماند. زیستگاه حیاتی در ۳۰ درصد جریان متوسط سالانه و زیستگاه عالی برای حیات در جریان‌های بیش از ۶۰ درصد متوسط سالانه احراز می‌شوند. یک وجه اساسی برای تعیین حقابهٔ زیست‌محیطی یک اکوسیستم آبی رودخانه نیاز به دانستن مقادیر جریان حداقل است که در هیدرولوژی به آن جریان پایه یا آب پایه گفته می‌شود و برای تعیین مقادیر آن نیاز به تجزیهٔ هیدروگراف است. در این راستا اکوهیدرولوژیست‌ها مطالعاتی انجام داده‌اند و به مقایسه یا ترکیب روش‌های هیدرولوژیک و اکولوژیک پرداخته‌اند [۲۵]. اسماختین و همکارانش [۲۹] تأکید کردند که روش‌های هیدرولوژیک ارزیابی جریان زیست‌محیطی اولین گام لازم در برنامه‌ریزی برای تخصیص‌های زیست‌محیطی در کشورهای در حال توسعه‌اند.

برای رفع مشکلات متعدد تعیین آب پایه به صورت مستقیم، روش‌های متفاوتی در اقلیم‌های مختلف و شرایط توپوگرافی و زمین‌شناسی گوناگون توسعه داده شده است [۳]. روش‌های گرافیکی و شبیه‌سازی‌های عددی روش‌های مناسب برای بررسی سهم آب پایه از کل جریان هستند که تمام آن‌ها براساس تحلیل سری زمانی جریان رودخانه و تعیین مؤلفه‌های آن استوارند. انتخاب روشی برای مجزا کردن آب پایه از هیدروگراف بستگی به میزان داده‌های موجود و دقت مورد انتظار از تحلیل‌ها دارد [۸]. روش تجزیهٔ گرافیکی هیدروگراف بر اساس خطی که از برخورد ابتدای شاخهٔ صعودی[2] و انتهای شاخهٔ نزولی[3] به وجود می‌آید تعریف شده است که قسمت زیرین خط را آب پایه می‌نامند. در مقابل اساس روش‌های فیلترینگ، تجزیهٔ کل هیدروگراف جریان برای تعیین آب پایه است [۱۰، ۱۸]. درمجموع روش‌های گرافیکی ساده‌ترند و قادر به برآورد اولیه از آب پایه‌اند و روش‌های فیلترینگ علاوه بر سهولت قدرت تشخیص بسیار زیادی در تعیین آب پایه دارند؛ اگرچه از ضعف آن‌ها باید به فقدان مبنای هیدرلوژیکی قانع‌کننده و حساسیت زیاد پارامترهای آن‌ها نیز اشاره کرد [۱۴].

هیدرولوژیست‌ها روش‌های مختلفی برای برآورد آب پایه یا تفکیک هیدروگراف در رژیم‌های مختلف ارائه کرده و برخی محققان از این روش‌ها در مناطق مطالعه‌شدهٔ زیادی استفاده کرده‌اند و قوت و ضعف هر یک را بیان داشته‌اند. از

1. Base Flow

2. Rising Limb
3. Falling Limb

جمله قنبرپور و همکارانش [۷] در حوضهٔ آبخیز کارون به برآورد دبی پایه با استفاده از روش‌های تفکیک هیدروگراف پرداختند. آن‌ها از بین روش‌های حداقل محلی و فیلتر عددی برگشتی با ضرایب فیلتر ۰/۹ تا ۰/۹۷۵ و روش تحلیل شاخه خشکیدگی جریان به صورت عددی و گرافیکی، روش اتوماتیک فیلتر عددی برگشتی با ضریب ۰/۹۲۵ را در حوضهٔ کارون دقیق‌تر دانسته‌اند. دولت‌آبادی و همکارانش [۵] نیز از روش فیلتر دیجیتال بازگشتی در حوضهٔ مهارلو- بختگان برای برآورد جریان پایه استفاده کرده و روش فیلتر اکهارت را مناسب‌تر دانسته‌اند. تمسکنی و همکارانش [۲] با استفاده از روش‌های Hysep1,Hysep2, Hysep3 و BFLOW با ضرایب ۰/۹ تا ۰/۹۹ دبی پایه را از هیدروگراف روزانه جریان در حوضهٔ بالادست سد بوستان در استان گلستان تفکیک کردند و دریافتند که روش BFLOW با ضریب ۰/۹ مناسب‌ترین روش برای برآورد دبی پایه در حوضهٔ مطالعه‌شده است. مقایسهٔ بین روش‌های متداول خودکار تجزیهٔ هیدروگراف جریان شامل روش تجربی حداقل محلی و روش فیلتر رقومی یک‌پارامتره با پارامترهای فیلترینگ مختلف و دوپارامتره توسط تیموری و همکارانش [۳] در برخی رودخانه‌های استان آذربایجان غربی انجام شد و نتایج نشان داد روش فیلتر رقومی یک‌پارامتره با ضریب ۰/۹۲۵ برآورد مناسبی از جریان پایه در این رودخانه‌ها داشته است. کروزو و سولوماتین [۱۲] از فیلتر اکهارت (2005) و دو مدل ANN استفاده کردند. بروسکوا [۱۱] از روش BFI برای محاسبهٔ آب پایه به‌منظور مطالعهٔ خشکسالی هیدرولوژیک استفاده کرده و این روش را بسیار مناسب دانسته است. آکسوی و همکارانش [۹] از روش جداسازی جریان پایه با هیدروگراف واحد (UKIH) همراه با روش جداسازی با فیلتر دیجیتال بازگشتی (RDF) استفاده کرده و روشی با عنوان جداسازی جریان پایهٔ حداقل هموار شده (FUKIH)[1] ارائه کردند که در آن برای اولین‌بار روش هیدروگراف واحد برای سری زمانی روزانه به‌کار گرفته شد. روش هیدروگراف واحد شامل اتصال حداقل‌های محلی هیدروگراف با خطوط مستقیم است. در روش FUKIH مکانیسم ایجاد هیدروگراف جریان پایه حذف قله‌های تیز و فرورفتگی‌های روش UKIH و ایجاد هیدروگرافی هموارتر است. آن‌ها با به‌کارگیری این روش در تعدادی از حوضه‌های واقع در غرب دریای سیاه به این نتیجه رسیدند که، روش RDF و FUKIH به‌دلیل استفاده‌نکردن از درون‌یابی خطی ساختار واقعی‌تری از جریان پایه را ارائه می‌دهند. سانتی و همکارانش [۲۸] مطالعه‌ای با استفاده از اطلاعات موجود از جریان پایه و با توجه به شرایط آب و هوایی، توپولوژی و ویژگی‌های زمین‌شناسی، انجام دادند و شاخص جریان پایه (BFI) را از جریان ثبت‌شدهٔ روزانه و با استفاده از روش فیلتر دیجیتال بازگشتی و درون‌یابی به دست آوردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که شاخص جریان پایه به‌شدت وابسته به درصد شن و ماسه است و میزان حجم جریان پایه می‌تواند به شیب و مقدار بارش مؤثر مرتبط باشد. اسماختین [۳۰] تکنیک جداسازی جریان پایه از آمارهای جریان رودخانه را در سه حوضهٔ آبخیز در جنوب آفریقا آزمودند. این تکنیک یک الگوریتم فیلتر عددی را برای آمار جریان ماهانه به کار برد. مقادیر جریان پایهٔ فیلترشده با استفاده از فیلتر عددی با نتایج اندازه‌گیری‌شده مقایسه شد که ضریب تبیین آن برابر با ۰/۸۳ بود. هدف مطالعهٔ ریمر و هارتمن [۲۷] به حداقل رساندن اثر نظر کارشناسی در انتخاب پارامتر فیلتر در جداسازی آب پایه با استفاده از فیلتر دیجیتال برگشتی بوده است. بنابراین، یک راهکار متکی بر اندازه‌گیری‌های هیدروژئوشیمی استفاده کردند و به نتیجه رسیدند که مقدار BFI_{max} بین ۰/۲۶ تا ۰/۹۴ به‌ترتیب برای سولفات و مواد جامد معلق متغیر است و نتیجهٔ نهایی اینکه ترکیب استفاده از روش‌های فرایند مبنا با روش‌های ریاضی نتایج بهتری خواهد داشت. اوبرین و همکارانش [۲۴] با هدف توسعهٔ یک راهکار جامع برای تجزیهٔ هیدروگراف تحقیق خود را برای کمی کردن مسیرهای هیدرولوژیک در حوضهٔ رودخانه‌های ایرلند انجام دادند. نتایج روش‌های مختلف در تجزیهٔ هیدروگراف متفاوت بود. اختلاف بین مقادیر BFI با حذف روش‌های فاصله ثابت و متحرک و حداقل محلی کمتر شد. الگوریتم‌های بوغتون و اکهارت با وجود سریع و ساده‌تر بودن پاسخ‌های مناسب‌تری هم دادند.

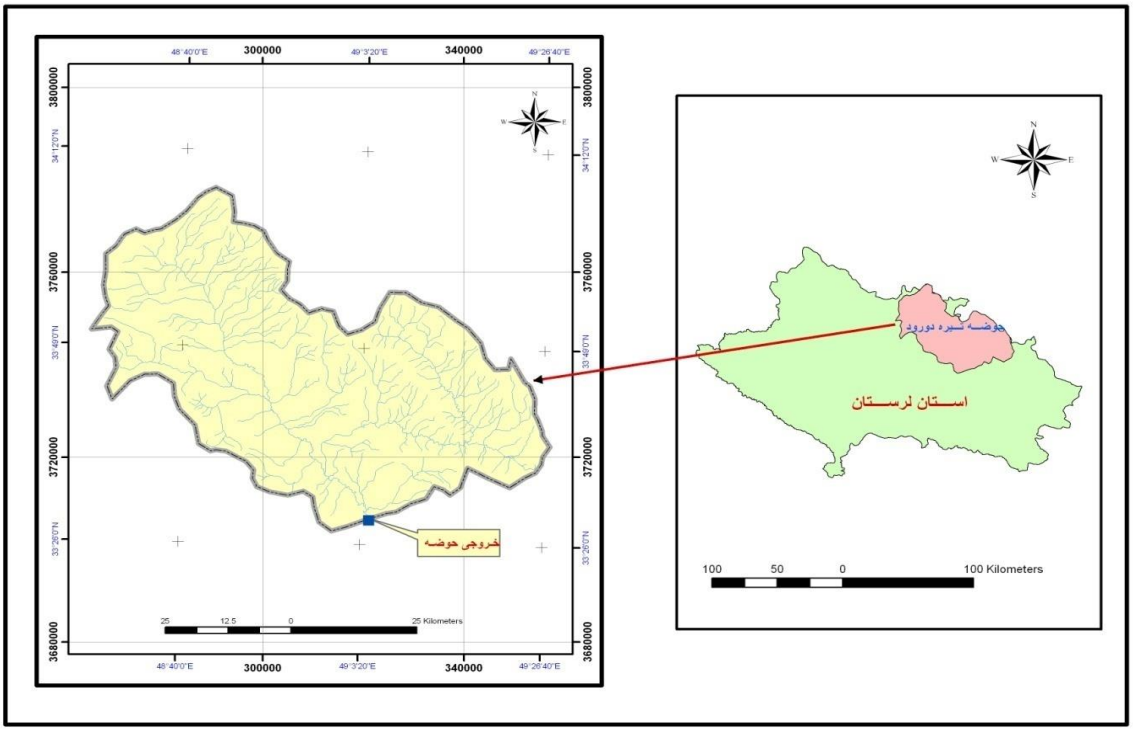
هدف از این مطالعه تفکیک آب پایه در ایستگاه هیدرومتری تیرهٔ دورود استان لرستان با روش‌های BFI، HYSEP1 و HYSEP2، و فیلتر دیجیتال برگشتی (لین، هولیک و اکهارت) و درنهایت مقایسهٔ نتایج حاصل از این روش‌هاست.

1. First Separated By The UKIH Method

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مطالعه‌شده

ایستگاه تیرهٔ دورود در خروجی حوضهٔ آبخیز تیرهٔ لرستان با مساحتی حدود ۳۴۰۰ کیلومتر مربع با مختصات ۴۹ درجه و ۴ دقیقهٔ طول شرقی و ۳۳ درجه و ۲۹ دقیقهٔ عرض شمالی در شمال شرق استان لرستان و در ارتفاع ۱۴۵۰ متر از سطح دریا واقع شده است. به‌منظور تفکیک آب پایه در ایستگاه هیدرومتری تیرهٔ دورود، از آمار روزانهٔ دبی این ایستگاه هیدرومتری طی دورهٔ آماری ۳۰ ساله از سال آبی ۱۳۶۱ تا ۱۳۹۰ استفاده شده است.



شکل ۱. موقعیت حوضهٔ آبخیز مطالعه‌شده

روش پژوهش

شاخص جریان پایه (Base Flow Index)

نسبت جریان پایه به کل جریان، به‌عنوان شاخصی برای نشان دادن توانایی حوضه برای ذخیره و آزادسازی آب در طول دوره‌های خشک استفاده می‌شود. مقدار زیاد این شاخص به این معناست که حوضه رژیم جریان پایداری دارد و در طول دورهٔ خشکی قادر به حفظ جریان رودخانه است. شاخص جریان پایه به‌عنوان توصیفی رضایت‌بخش در مطالعهٔ جریان‌های کم انجام شده است؛ زیرا حتی یک برآورد کلی از خواص ذخیره‌سازی تا حد زیادی عملکرد را افزایش می‌دهد. این شاخص می‌تواند در مطالعات اکوهیدرولوژی و برآورد جریان زیست‌محیطی نیز استفاده شود. شاخص جریان پایه عموماً وابستگی زیادی به خصوصیات هیدرولوژیکی خاک، زمین‌شناسی و سایر ویژگی‌های مرتبط با ذخیره‌سازی دارد [۱۶]. برای محاسبهٔ شاخص جریان پایه، دبی روزانه به فواصل زمانی پنج‌روزه بدون همپوشانی تقسیم می‌شود. برای هر دورهٔ پنج‌روزه کمترین مقدار جریان انتخاب می‌شود. سپس ۹۰ درصد آن محاسبه می‌شود. اگر هر یک از حداقل‌های پنج‌روزه از مقادیر قبل و بعد آن کوچک‌تر باشد، به‌عنوان مقدار آب پایه در نظر گرفته می‌شود و سپس با میان‌یابی این مقادیر، دبی پایهٔ جریان به دست می‌آید. شاخص جریان پایه از تقسیم مجموع مقادیر جریان پایهٔ روزانه به مجموع مقادیر دبی روزانه در طول دورهٔ مد نظر به دست می‌آید.

$$BFI = \frac{\sum_{i=1}^{n} b_i}{\sum_{i=1}^{n} d_i} \qquad (۱)$$

bi مقدار جریان پایهٔ روز iام و di مقدار جریان روز iام است [۱۱].

روش‌های فیلتر عددی برگشتی

به عقیدهٔ لی و همکارانش [۲۰] روش‌های فیلتر دیجیتال برگشتی به‌دلیل کاربرد نسبتاً ساده و مؤثرش بیشتر از دیگر روش‌های جداسازی آب پایه به کار می‌رود.

روش فیلتر عددی برگشتی یک‌پارامتره

این روش اولین‌بار توسط لین و هولیک [۲۲] ارائه شد که فقط نیاز به تعیین پارامتر ثابت بازگشت ($\propto$) دارد. رابطهٔ این فیلتر در زیر ارائه شده است:

$$b_k = \propto b_{k-1} + \frac{(1-\propto)}{2}(y_k + y_{k-1}) \qquad (2)$$

که در آن:

b_k: جریان پایهٔ فیلترشده در مرحلهٔ زمانی k (مترمکعب بر ثانیه)

b_{k-1}: جریان پایهٔ فیلترشده در مرحلهٔ زمانی k-1 (مترمکعب بر ثانیه)

$\propto$:پارامتر فیلتر مرتبط با حوضهٔ آبخیز

y_k: جریان کل در مرحلهٔ زمانی k (مترمکعب بر ثانیه)

y_{k-1}: جریان کل در مرحلهٔ زمانی k-1 (مترمکعب بر ثانیه)

در این تحقیق از پارامتر فیلتر ($\propto$) ۰/۹، ۰/۹۲۵، ۰/۹۵، ۰/۹۷۵، ۰/۹۹ و ۰/۹۹۵ استفاده شد. ناتان و مک ماهان [۲۳] در تحقیقی به این نتیجه رسیدند که بیشترین نتایج قابل قبول در روش فیلتر عددی برگشتی هنگامی ایجاد می‌شود که پارامتر فیلتر ($\propto$)در دامنهٔ ۰/۹ تا ۰/۹۵ تغییر کند که مقدار متوسط آن ۰/۹۲۵ است. اسماختین و واتکینز [۳۱] دریافتند که مقادیر پارامتر فیلتر بهینه به‌طور نرمال بین ۰/۹۹۵ تا ۰/۹۸۵ در نوسان است و توصیه کردند که مقدار ۰/۹۹۵ برای جداسازی جریان پایهٔ روزانه مناسب است.

روش فیلتر عددی برگشتی دوپارامتره

اکهارت [۱۴] نشان داد:

$$b_k = \frac{(1-BFI_{max}).\propto b_{k-1} + (1-\propto)BFI_{max}.y_k}{1-\propto .BFI_{max}} \qquad (3)$$

با شرط: $b_k \le y_k$ ؛ که در آن BFI_{max}[1] بیشترین مقدار شاخص جریان پایه است که توسط الگوریتم می‌تواند مدل شود. اکهارت پیشنهاد کرد برای جریان‌های چندساله با آب‌خوان متخلخل (دارای تشکیلات زمین‌شناسی نفوذپذیر BFI_{max}) برابر با ۰/۸، برای جریان‌های زودگذر با آب‌خوان متخلخل ۰/۵ و برای جریان‌های چندساله با آب‌خوان سنگی سخت ۰/۲۵ در نظرگرفته شود. در مطالعهٔ اکهارت فرض بر آن است که اگر بی‌آبی کمتر از ۱۰ درصد زمان باشد؛ جریان چندساله است [۵]. بنابراین، در مطالعهٔ حاضر مقدار پارامتر BFI_{max} برای ایستگاه تیرهٔ دورود ۰/۸ و پارامتر فیلتر ($\propto$) نیز برابر ۰/۹، ۰/۹۲۵، ۰/۹۵، ۰/۹۷۵، ۰/۹۹ و ۰/۹۹۵ در نظر گرفته شد.

HYSEP[2]

این برنامهٔ رایانه‌ای توسط سلوتو و کروس [3] در سال ۱۹۹۶ آزمایش شد. اساس کار این برنامه بر پایهٔ روش‌های ترسیمی است که توسط پتیجان و هنینگ [۲۶] ارائه شده، که در آن از محدوده زمانی برابر $2N^*$ برای ترسیم منحنی جدایش هیدروگراف استفاده می‌شود. برای به دست آوردن این پارامتر با استفاده از فرمول تجربی $N = 0/827A^{0.2}$ زمان پایه (N) و سپس دو برابر زمان پایه ($2N^*$) در نظر گرفته می‌شود و در مرحلهٔ بعد نزدیک‌ترین عدد صحیح به‌عنوان مقدار $2N^*$ در نظرگرفته می‌شود. تا کنون از این مدل در حوضه‌های مختلف به‌صورت گسترده استفاده شده است. این روش خود شامل سه روش محدودهٔ زمانی ثابت[4]، روش محدودهٔ زمانی جابه‌جاشونده[5] و روش حداقل محلی[6] بوده [۴] که در این مطالعه از روش‌های محدودهٔ زمانی ثابت و محدودهٔ زمانی جابه‌جاشونده استفاده شده است.

روش محدودهٔ زمانی ثابت

در این روش کمترین دبی در هر محدودهٔ زمانی $2N^*$ برای تمامی روزهای آن محدوده در نظر گرفته می‌شود. با اتصال نقاطی که بدین‌ترتیب تعیین شده‌اند، منحنی جدایش هیدروگراف جریان کلی به دست خواهد آمد [۱].

روش محدودهٔ زمانی جابه‌جاشونده

در این روش برای تعیین دبی جریان پایهٔ یک روز معین، حداقل دبی در محدودهٔ زمانی $[0.50 \times (2N^* - 1)]$ روز

1. Base Flow Index Maximum

2. Hydrograph Separation
3. Sloto and Crouse
4. Fixed- Interval Method
5. Sliding- Interval Method
6. Local- Minimum Method

قبل و بعد از آن روز مشخص می‌شود. با اتصال نقاطی که بدین‌ترتیب تعیین شده‌اند، منحنی جدایش هیدروگراف به دست می‌آید [۱].

ارزیابی عملکرد مدل‌ها

با توجه به اینکه اندازه‌گیری مقادیر جریان پایه در طبیعت به‌راحتی امکان‌پذیر نیست، مقایسهٔ نتایج حاصل از مدل‌های HYSEP و فیلترینگ اکهارت، لین و هولیک با نتایج حاصل از روش BFI انجام گرفت.

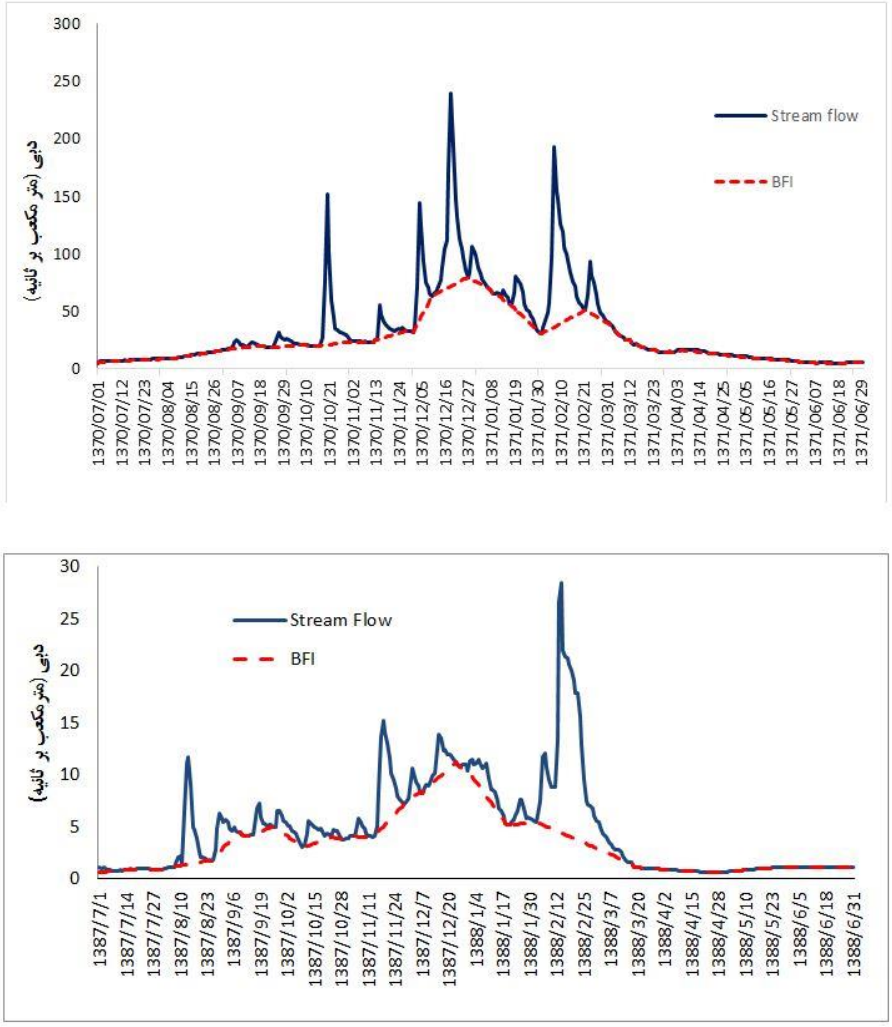
یافته‌ها

نتایج روش BFI

با ورود داده‌های دبی روزانهٔ ایستگاه مطالعه‌شده به برنامهٔ BFI (۱۳۶۱-۱۳۹۰)، مقدار آب پایهٔ روزانه حاصل شد. این نتایج را در جدول ۱ می‌توان مشاهده کرد. مقادیر جریان روزانه و آب پایهٔ به‌دست‌آمده از این روش در سال آبی ۱۳۷۰ـ ۱۳۷۱ و سال آبی ۱۳۸۷ـ ۱۳۸۸ در شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱. خصوصیات آب پایهٔ کل دوره با روش BFI در ایستگاه تیرهٔ دورود

	جریان کل (مترمکعب بر ثانیه)	آب پایهٔ حاصل از روش BFI (مترمکعب بر ثانیه)
میانگین	۱۳/۸۱۳	۱۰/۳۲۳
حداکثر	۳۹۱	۹۲/۱۳
حداقل	۰/۲۹	۰/۲۸۹



شکل ۲. جداسازی آب پایه با روش BFI در ایستگاه تیرهٔ دورود طی سال آبی ۱۳۷۰-۱۳۷۱ و ۱۳۸۷-۱۳۸۸

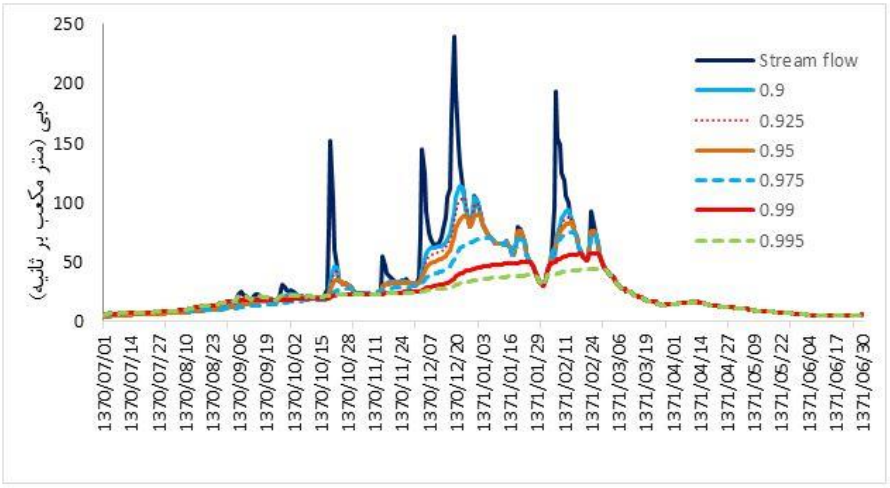
نتایج تفکیک آب پایه در ایستگاه تیرهٔ دورود با استفاده از روش BFI نشان داد که به‌طور متوسط مقدار آب پایه ۷۵ درصد (بین ۲۳/۵ تا ۹۹ درصد) از جریان کل رودخانه را تشکیل می‌دهد.

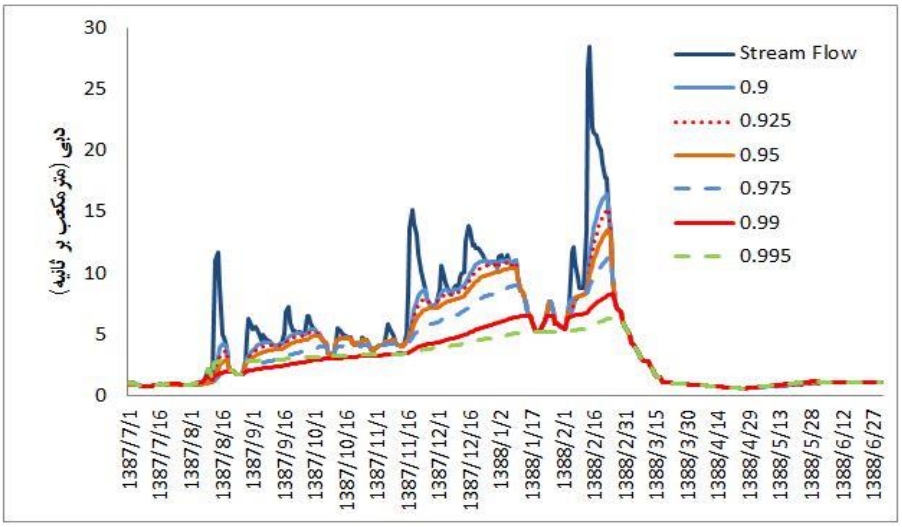
نتایج روش فیلترینگ لین و هولیک

با در نظر گرفتن پارامترهای فیلتر ۰/۹، ۰/۹۲۵، ۰/۹۵، ۰/۹۷۵، ۰/۹۹ و ۰/۹۹۵ در روش یک‌پارامترهٔ لین و هولیک، آب پایه در حوضهٔ آبخیز ایستگاه تیرهٔ دورود تفکیک شد. نتایج این روش در ادامه آورده شده است.

جدول ۲. خصوصیات آب پایهٔ کل دوره (مترمکعب بر ثانیه) با روش لین و هولیک با فیلترهای مختلف در ایستگاه تیرهٔ دورود

	جریان کل (مترمکعب بر ثانیه)	لین و هولیک					
		فیلتر ۰/۹۹۵	فیلتر ۰/۹۹	فیلتر ۰/۹۷۵	فیلتر ۰/۹۵	فیلتر ۰/۹۲۵	فیلتر ۰/۹
میانگین	۱۳/۸۱۳	۸/۱۹۷	۸/۶۱۲	۹/۹۳۴	۱۱/۰۵۹	۱۱/۵۶۷	۱۱/۸۶۴
حداکثر	۳۹۱	۴۴/۶۶۸	۵۸/۸۳۶	۹۷/۰۵۸	۱۲۵/۹۱۶	۱۳۸/۳۳۷	۱۴۶/۰۱۹
حداقل	۰/۲۸۹	۰/۲۸۹	۰/۲۸۹	۰/۲۸۹	۰/۲۸۹	۰/۲۸۹	۰/۲۸۹





شکل ۳. جداسازی آب پایه با روش لین و هولیک با فیلترهای ۰/۹، ۰/۹۲۵، ۰/۹۵، ۰/۹۷۵، ۰/۹۹ و ۰/۹۹۵ در ایستگاه تیرهٔ دورود طی سال آبی ۱۳۷۰-۱۳۷۱ و ۱۳۸۷-۱۳۸۸

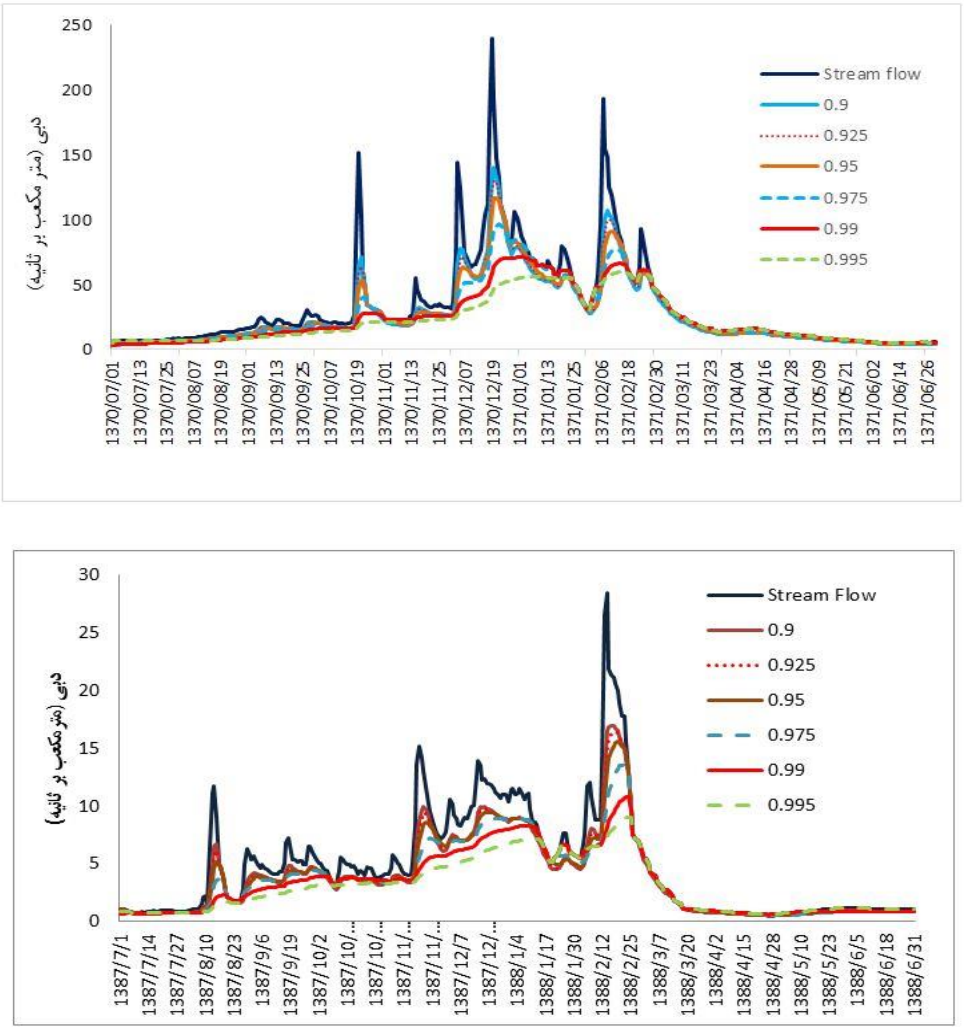
نتایج تفکیک آب پایه در ایستگاه تیرهٔ دورود با استفاده از روش لین و هولیک نشان داد که به‌طور متوسط مقدار آب پایه ۷۴ درصد (بین ۵۹ تا ۸۶ درصد) از جریان کل رودخانه را تشکیل می‌دهد.

نتایج روش اکهارت

با در نظر گرفتن پارامترهای فیلتر ۰/۹، ۰/۹۲۵، ۰/۹۵، ۰/۹۷۵، ۰/۹۹ و ۰/۹۹۵ در روش دوپارامترهٔ اکهارت، و مقدار ۰/۸ برای BFI_{max}، آب پایه در ایستگاه هیدرومتری تیرهٔ دورود تفکیک شد. نتایج این روش در جدول ۳ و شکل ۴ آمده است.

جدول ۳. خصوصیات آب پایهٔ کل دوره (مترمکعب بر ثانیه) با روش اکهارت با فیلترهای مختلف در ایستگاه تیرهٔ دورود

	جریان کل (مترمکعب بر ثانیه)	روش اکهارت					
		فیلتر ۰/ ۹۹۵	فیلتر ۰/ ۹۹	فیلتر ۰/ ۹۷۵	فیلتر ۰/ ۹۵	فیلتر ۰/ ۹۲۵	فیلتر ۰/ ۹
میانگین	۱۳/۸۱۳	۸/۵۹۹	۹/۶۳۵	۱۰/۵۱۶	۱۰/۸۵۳	۱۰/۹۵۴	۱۰/۹۹۴
حداکثر	۳۹۱	۷۷/۰۱۶	۹۹/۶۷۲	۱۲۰/۴۲۲	۱۶۱/۱۲۱	۱۹۰/۲۳۲	۲۰۹/۹۹۳
حداقل	۰/۲۸۹	۰/۲۸۹	۰/۲۸۹	۰/۲۸۹	۰/۲۷۶	۰/۲۴۸	۰/۲۳۸



شکل ۴. جداسازی آب پایه با روش اکهارت با فیلترهای ۰/۹، ۰/۹۲۵، ۰/۹۵، ۰/۹۷۵، ۰/۹۹ و ۰/۹۹۵ در ایستگاه تیرهٔ دورود طی سال آبی ۱۳۷۰-۱۳۷۱ و ۱۳۸۷-۱۳۸۸

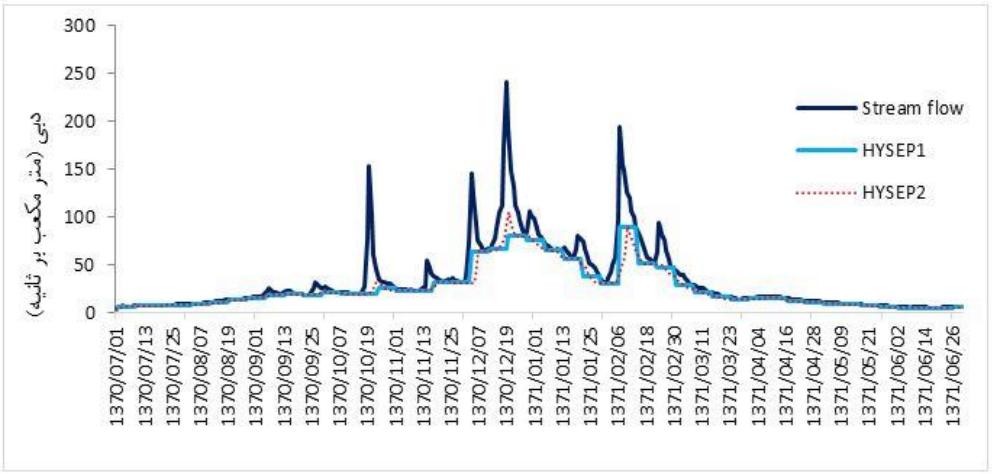
نتایج تفکیک آب پایه در ایستگاه تیرهٔ دورود با استفاده از روش اکهارت نشان داد که به‌طور متوسط مقدار آب پایه ۷۴ درصد (بین ۶۲ تا ۸۰ درصد) از جریان کل رودخانه را تشکیل می‌دهد.

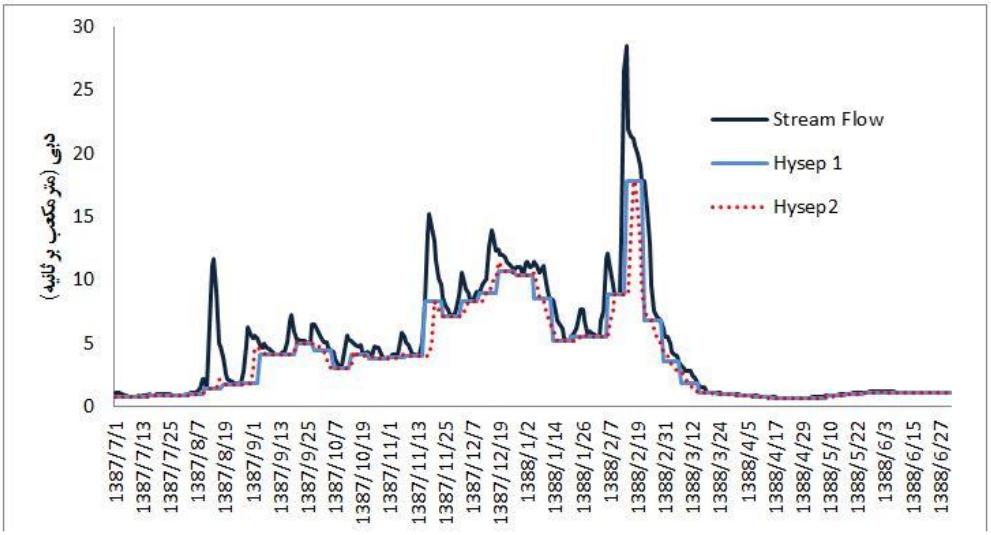
نتایج روش HYSEP

با استفاده از فرمول تجربی $\left(N = ۰/۸۲۷A^{-۰/۲}\right)$ مقدار N، و سپس $\left(۲N^{*}\right)$ برای ایستگاه تیرهٔ دورود محاسبه شد. سپس حداقل دبی در طول این محدودهٔ زمانی تعیین شد و به‌عنوان آب پایه در نظر گرفته شد. جدول ۴ خصوصیات آب پایهٔ تفکیک‌شده در این ایستگاه را با روش‌های HYSEP1 و HYSEP2 نشان می‌دهد. همچنین شکل ۵ مقادیر جریان روزانه به همراه آب پایهٔ محاسبه‌شده از دو روش HYSEP1 و HYSEP2 را برای سال آبی ۱۳۷۰ـ۱۳۷۱ و ۱۳۸۷ـ ۱۳۸۸ نمایش می‌دهد.

جدول ۴. خصوصیات آب پایهٔ کل دوره (مترمکعب بر ثانیه) با روش HYSEP1 و HYSEP2 در ایستگاه تیرهٔ دورود

	جریان کل (مترمکعب بر ثانیه)	HYSEP1	HYSEP2
میانگین	۱۳/۸۱۳	۱۰/۹۳۷	۱۰/۶۸۷
حداکثر	۳۹۱	۱۰۲	۱۱۴/۲۸
حداقل	۰/۲۹	۰/۲۸۹	۰/۲۸۹





شکل ۵. جداسازی آب پایه با روش‌های HYSEP1 و HYSEP2 در ایستگاه تیرهٔ دورود طی سال آبی ۱۳۷۰-۱۳۷۱ و ۱۳۸۷-۱۳۸۸

نتایج تفکیک آب پایه در ایستگاه تیرهٔ دورود با استفاده از روش HYSEP1 و HYSEP2 نشان داد که به‌طور متوسط، مقدار آب پایه ۷۸ درصد از جریان کل رودخانه را تشکیل می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف برآورد جریان پایه در ایستگاه تیرهٔ دورود که در خروجی حوضهٔ آبخیز تیرهٔ لرستان واقع است به‌منظور استفاده در مطالعات اکوهیدرولوژی این رودخانه انجام شده است. انتخاب بهترین روش جداسازی آب پایه از هیدروگراف جریان به‌دلیل موجودنبودن مقادیر مشاهده‌ای جریان پایه مشکل است [۱۳]. به همین دلیل از روش‌های مقایسه‌ای پیشنهادشده در تحقیقات پژوهشگران دیگر استفاده شده است. یکی از اقداماتی که می‌توان برای انتخاب روش مناسب انجام داد، انتخاب روش BFI به عنوان مبنای مقایسه‌هاست. بنابراین، برای مقایسهٔ روش‌ها از معیارهای خطا استفاده می‌کنیم. برای این منظور معیارهای نش- ساتکلیف، مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین مطلق خطا برای روش‌های یادشده در ایستگاه مطالعه‌شده محاسبه شد و نتایج در جدول ۵ آمده است [۲، ۵، ۷، ۱۴]. انتخاب مناسب‌ترین روش تفکیک آب پایه را می‌توان با مقایسهٔ مقادیر انحراف استاندارد داده‌های به‌دست‌آمده نیز انجام داد. برای این منظور، روشی که کمترین مقدار انحراف استاندارد (SD) را داشته باشد به‌عنوان روش مناسب تشخیص داده می‌شود [۴، ۵، ۶]. مشخصات آماری روش‌های یادشده برای مقادیر جریان پایه در دورهٔ ۱۳۶۱ تا ۱۳۹۰ در جدول ۵ خلاصه شده است.

جدول ۵. مشخصات آماری و معیارهای خطای روش‌های مختلف در ایستگاه تیرهٔ دورود طی دورهٔ ۳۰ ساله

	میانگین	انحراف معیار	چولگی	مجذور میانگین مربعات خطا	میانگین مطلق خطا	نش- ساتکلیف
روش لین و هولیک با فیلتر۰/۹	۰/۸۱	*۰/۰۷۹*	-۰/۵۴۴	۶/۳۷	۱/۹۵	۰/۷۳
روش لین و هولیک با فیلتر۰/۹۲۵	۰/۸۱۳	۰/۰۹۴	-۰/۵۷۷	۵/۷۳	۱/۸۷	۰/۷۸
روش لین و هولیک با فیلتر۰/۹۵	۰/۸۱۶	۰/۱۱۴	-۰/۶۶۲	۴/۹۴	۱/۸۱	۰/۸۳
روش لین و هولیک با فیلتر۰/۹۷۵	۰/۸۱۶	۰/۱۴۹	-۰/۷۶۳	۴/۴۷	۲/۰۷	۰/۸۶
روش لین و هولیک با فیلتر۰/۹۹	۰/۸۰۶	۰/۲۰۲	-۰/۷۵۵	۵/۹۶	۲/۶۴	۰/۷۶
روش لین و هولیک با فیلتر۰/۹۹۵	۰/۷۸۹	۰/۲۳۹	-۰/۶۸۹	۷/۱۶	۲/۹۱	۰/۶۶
روش اکهارت با فیلتر ۰/۹	۰/۹۲۷	۰/۱۳۱	-۲/۲۹۱	۸/۲۷	۲/۵۴	۰/۵۳
روش اکهارت با فیلتر ۰/۹۲۵	۰/۹۱۵	۰/۱۴۵	-۲/۰۴۱	۷/۷۰	۲/۴۴	۰/۵۹
روش اکهارت با فیلتر ۰/۹۵	۰/۸۹۵	۰/۱۶۶	-۱/۷۵۲	۶/۸۷	۲/۲۹	۰/۶۸
روش اکهارت با فیلتر ۰/۹۷۵	۰/۸۶	۰/۲۰۱	-۱/۳۳۲	۵/۵۱	۲/۱۱	۰/۷۹
روش اکهارت با فیلتر ۰/۹۹	۰/۸۴	۰/۲۲۷	-۱/۲۱۵	۴/۵۳	۲/۲۵	۰/۸۶
روش اکهارت با فیلتر ۰/۹۹۵	۰/۸۴۶	۰/۲۴۱	-۱/۳۶۳	۵/۲۶	۲/۷۹	۰/۸۱
روش HYSEP1	۰/۸۸	۰/۱۵۱	-۲/۰۳۳	۴/۶۷	۱/۴۰	۰/۸۵
روش HYSEP2	۰/۸۶۶	۰/۱۵۱	-۱/۹۷۶	*۳/۹۰*	*۱/۲۳*	*۰/۸۹*

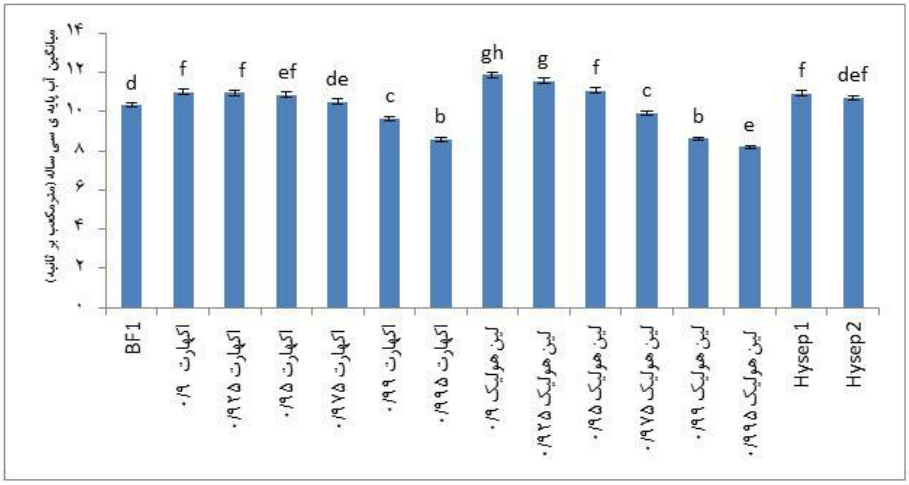
با توجه به جدول بالا روش HYSEP2 از بین دیگر روش‌ها کمترین مقدار مجذور میانگین مربعات خطا و کمترین مقدار مطلق خطا را دارد. همچنین نزدیک‌ترین مقدار شاخص نش- ساتکلیف به عدد یک را دارد. بنابراین، این روش، مناسب‌ترین روش برای تفکیک آب پایه در ایستگاه تیرهٔ دورود است. از طرفی با مقایسهٔ مقادیر انحراف استاندارد مدل‌های موجود، روش لین و هولیک با فیلتر ۰/۹ به‌دلیل انحراف استاندارد کمتر (SD=۰/۰۸) روش مناسب برای تفکیک آب پایه است.

مشابه نتایج به‌دست‌آمده در ایستگاه دورود، تمسکنی و همکارانش [۲] نیز با استفاده از معیارهای خطا روش لین و هولیک با ضریب ۰/۹ را مناسب‌ترین روش در حوضهٔ سد بوستان شناختند. قنبرپور و همکارانش [۷] به این نتیجه رسیدند که فیلتر دیجیتال برگشتی با ضریب ۰/۹۲۵ نسبت به روش حداقل محلی دقت بیشتری دارد و نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد. دولت‌آبادی و همکارانش [۵] نیز روش فیلتر اکهارت را در مقایسه با روش لینهولیک و چامپمن به‌دلیل اینکه این روش تا حدودی خصوصیات هیدرولوژیک و

زمین‌شناسی حوضه را در نظر می‌گیرد، مناسب‌تر دانسته‌اند که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی ندارد. تیموری و همکارانش [۳] نیز در حوضهٔ مطالعه‌شدهٔ خود روش یک‌پارامترهٔ فیلتر خودکار برگشتی با ضریب ۰/۹۲۵ را دارای کارایی مناسب دانسته‌اند. حسنی و همکارانش [۴] در ایستگاه‌های مطالعه‌شده خود به نتایج مختلفی دست پیدا کردند. آن‌ها در بیشتر ایستگاه‌ها به این نتیجه رسیدند که روش کمینهٔ موضعی روش مناسب برآورد دبی پایه است در حالی که در یک ایستگاه روش فیلتر عددی یک‌پارامتره با ضریب ۰/۹۷۵ روش مناسب شناخته شد در حالی که در ایستگاه دورود روش محدودهٔ زمانی جابه‌جاشونده روش مناسب‌تر شناخته شده است. اسماختین و واتکینز [۳۱] نیز روش فیلتر عددی برگشتی با ضریب بیش از ۰/۹ را مناسب دانسته‌اند که نتیجهٔ پژوهش فعلی را تأیید می‌کند. آکسوی و همکارانش [۹] نتایج مشابهی از روش ابداعی خودشان (فیلترینگ یک‌مرحله‌ای) و فیلتر دیجیتال برگشتی گرفتند اما ذکر کردند که روش ابداعی خودشان از روش فیلتر دیجیتال برگشتی ساده‌تر است. بروسکوا [۱۱] روش BFI را برای برآورد مقدار دبی پایه مناسب دانسته و تأکید کرده است که می‌توان از این روش در مناطقی که داده‌های دبی جریان در دسترس هستند، استفاده کرد و نتایج قابل قبول و اعتمادی برای مطالعات مختلف به دست آورد. اوبرین و همکارانش [۲۴] نیز روش اکهارت را برای تجزیهٔ هیدروگراف در ایرلند سریع و مناسب دانسته‌اند.

به‌طورکلی، می‌توان گفت به‌دلیل اینکه جریان پایه یک هیدرولوژیک حوضهٔ آبخیز است که تحت تأثیر عوامل مختلف موجود در حوضه قرار می‌گیرد، مناطق مختلف با شرایط اقلیمی، زمین‌شناسی، توپوگرافی و مدیریت اراضی متفاوت پاسخ غیرمشابهی به ارزیابی روش‌های موجود می‌دهند. اما طبق نظر بیشتر پژوهشگران روش‌های فیلتر عددی برگشتی با ضریب فیلتر بیش از ۰/۹ برای بیشتر حوضه‌ها مناسب شناخته شده است. نتایج تحقیقات لی و همکارانش [۲۰] نیز که به بررسی آب پایه در شرایط مختلف هیدرولیکی از جمله ۴۵ نمونه بافت خاک پرداختند نیز نشان داد که مقدار بهینهٔ فیلتر به هدایت هیدرولیکی اشباع خاک حساس است و بنابراین، باید به‌درستی انتخاب شود تا بهترین بازتاب را از فرایندهای واقعی تولید آب پایه داشته باشد.

مقایسهٔ آماری میانگین آب پایهٔ سی‌ساله در ایستگاه دورود (شکل ۶) نشان می‌دهد روش‌های منتخب با استفاده از معیارهای خطا و انحراف استاندارد، اختلاف معنادار ندارند. محققان در مقایسهٔ روش‌های برآورد آب پایه در رودخانهٔ دایمی دهکدهٔ سفید اختلاف معناداری مشاهده نکردند [۶]. حسنی و همکارانش [۴] نیز بیان کردند که در بیشتر ایستگاه‌های مطالعه‌شده، نتایج حاصل از روش‌های مختلف در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنادار ندارند. بنابراین، می‌توان روش Hysep2 را به‌عنوان روش مناسب برای برآورد جریان پایه به‌منظور استفاده در مدل‌های برآورد حقابهٔ زیست‌محیطی در ایستگاه دورود پیشنهاد کرد. نتایج این روش نشان می‌دهد حدود ۷۸ درصد از جریان رودخانهٔ تیرهٔ دورود را جریان پایه تشکیل می‌دهد.



شکل ۶. مقایسهٔ میانگین آب پایه در ایستگاه دورود بین سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۹۰

به‌هرحال اولین و ساده‌ترین راه ارزیابی جریان زیست‌محیطی، استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی است و در موارد متعددی که داده‌های دیگری از وضعیت اکوهیدرولوژی رودخانه‌ها در دسترس نیست می‌تواند قابل اعتماد و استفاده باشد، همچنان که اسماخین و همکارانش [۲۹] نیز در مطالعهٔ خود تصریح کردند تکنیک‌های هیدرولوژیک موجود را می‌توان برای ساده‌کردن فرایند ارزیابی جریان زیست‌محیطی در نبود دانش و متخصصان بومی اکوهیدرولوژی استفاده کرد.

منابع

[۱]. ارفع‌نیا، رامین؛ سامانی، نوذر؛ ۱۳۸۴، «ترسیم منحنی جدایش هیدروگراف رودخانه در حوضهٔ آبریز کارستی زاینده‌رود»، نشریهٔ *علوم دانشگاه تربیت معلم*، ۵(۳): ۵۸۵-۶۰۰.

[۲]. تمسکنی، احمد؛ ذاکری‌نیا، مهدی؛ هزارجریبی، ابوطالب؛ دهقانی، امیراحمد؛ ۱۳۹۲، «مقایسهٔ روش‌های جداسازی دبی پایه از هیدروگراف روزانهٔ جریان (مطالعهٔ موردی حوضهٔ بالادست سد بوستان در استان گلستان)»، نشریه *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۰(۶): ۱۴۵-۱۲۷.

[۳]. تیموری، مهدی؛ قنبرپور، محمدرضا؛ گنبد، محمدبشیر؛ ذوالفقاری، مریم؛ کاظمی‌کیا، سمیه؛ ۱۳۹۰، «مقایسهٔ شاخص جریان پایه در روش‌های مختلف تجزیهٔ هیدروگراف جریان در تعدادی از رودخانه‌های استان آذربایجان غربی»، مجله *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۵(۵۷): ۲۱۹-۲۲۸.

[۴]. حسنی، مهدی؛ ملکیان، آرش؛ رحیمی، محمد؛ سمیعی، مسعود؛ خاموشی، محمدرضا؛ ۱۳۹۱، «بررسی کارایی برخی از روش‌های جداسازی جریان پایه در رودخانه‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک (مطالعهٔ موردی حوضهٔ آبخیز حبله‌رود)»، دوفصلنامهٔ علمی- پژوهشی *خشک‌بوم*، ۲(۲): ۲۲-۱۰.

[۵]. دولت‌آبادی، نرگس‌خاتون؛ حسینی، علی‌رضا؛ داوری، کامران؛ مساعدی، ابوالفضل؛ ۱۳۹۱،«برآورد جریان پایه با استفاده از روش‌های فیلتر دیجیتال بازگشتی و نرم‌افزار BFI_3.0 (مطالعهٔ موردی بخشی از حوضهٔ مهارلو-بختگان)»، سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، ساری

[۶]. سمیعی، مسعود؛ ملکیان، آرش؛ ۱۳۸۹، «مقایسهٔ روش‌های جداسازی جریان پایه با استفاده از فیلتر عدد برگشتی و مدل PART»، مجموعه مقالات ششمین همایش ملّی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملّی فرسایش و رسوب، دانشگاه تربیت مدرس.

[۷]. قنبرپور، محمدرضا؛ تیموری، مهدی؛ غلامی، شعبان‌علی؛ ۱۳۸۷، «مقایسهٔ روش‌های برآورد دبی پایه بر اساس تفکیک هیدروگراف جریان (مطالعهٔ موردی حوضهٔ آبخیز کارون)»، مجلهٔ *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۲(۴۴): ۱-۱۰.

[۸]. کارآموز، محمد؛ عراقی‌نژاد، شهاب؛ ۱۳۸۴، چاپ اول، *هیدرولوژی پیشرفته*، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۹۰ص.

[9].Aksoy, Hafzullah. Kurt, Ilker. Eris, Ebru., 2009. Filtered Smoothed Minima base flow separation method. Journal of Hydrology 372: 94–101.

[10]. Arnold J.G. & P. M. Allen. 1999. Automated methods for estimating base flow and ground water recharge from stream flow records. Journal of American Water Resources Association, 35(2): 411-424.

[11]. Bruskova, Valeria. (2008). Assessment of the Base Flow in the Upper Part of Torysa River Catchment, Slovak Journal of Civil Engineering, 2: 8-14.

[12]. Corzo, Gerald. & Solomatine, Dimitri. (2007). Base flow separation techniques for modular artificial neural network modeling in flow forecasting, Hydrological Sciences Journal, 52:3, 491-507, DOI: 10.1623/hysj.52.3.491

[13]. Echhardt, K. (2008). A comparison of baseflow indices, which were calculated with seven different baseflow separation methods. J. Hydrol. 352: 168-173.

[14]. Eckhardt, K. (2005). How to construct recursive digital filters for base flow separation. Hydrology Process, 19(2): 507-515.

[15]. Gippel, Christopher. & Stewardson, Michael (1998). Use of Wetted Perimeter in Defining Minimum Environmental Flows, Regulated Rivers: Research & Management, 14: 53–67.

[16]. Gregor M. (2010). User Manual " BFI+ 3.0".

[17]. Hall Francis (1968). Base flow recessions – a review. Water Resources Research 4(5): 973-983.

[18]. Hughes, D. A., H. Pauline & Watkins, D. (2003). Continuous base flow separation from time series of daily and monthly stream flow data. Water SA, 29(1): 43-48.

[19]. Kinhill Engineers Pty. Ltd. (1988). Techniques for Determining Environmental Water Requirements – A Review. Technical Report Series Report No. 40. 82 pp. (Department of Water Resources: Victoria.)

[20]. Li, L., Maier, H.R., Lambert, M.F., Simmons, C.T. and Partington, D. (2013). Framework for assessing and improving the performance of recursive digital filters for baseflow estimation with application to the Lyne and Hollic filter, Environmental Modeling and Software, 41:163-175.

[21]. Li Q. Xing Z. Danielescu S. Li S. Jiang Y. Meng F. (2014). Data requirements for using combined conductivity mass balance and recursive digital filter method to estimate groundwater recharge in a small watershed, New Brunswick, Canada. Journal of Hydrology, 511: 658–664.

[22]. Lyne, V.D. & M. Hollick. (1979). Stochastic time-variable rainfall runoff modeling. Hydrology and Water Resources Symposium, Institution of Engineering, Australia, Perth, pp: 89–92.

[23]. Nathan, R.J. and McMahon, T.A. (1990). Evaluation of Automated Techniques for Base Flow and Recession Analysis. Water Resources Research, 26(7):1465-1473.

[24]. O Brien, R.J., Misstear, B.D., Gill, L.W., Deakin, J.L. and Flynn, R. (2013). Developing an integrated hydrograph separation and lumped modeling approach to quantifying hydrological pathways in Irish river catchments,Journal of Hydrology, 486: 259-270.

[25]. Penas, Francisco Jesus, Juanes, Jose Antonio, Alvarez-Cabria, Mario., Alvarez, Cesar, Garcia, Andres, Puente, Araceli, & Barquin, Jose (2013). Integration of hydrological and habitat simulation methods to define minimum environmental flows at the basin scale, Water and Environment Journal,28(2):252-260. doi:10.1111/wej.12030

[26]. Pettyjohn, W. A., & Henning, R. (1979). Preliminary estimate of ground-water recharge rate, related stream flow and water quality in Ohio: Ohio state University water resources center project completion report number 552, 323.

[27]. Rimmer, A. and A. Hartmann, (2014). Optimal hydrograph separation filter to evaluate transport routines of hydrological models, Journal of Hydrology, 514:249-257.

[28]. Santhi, C. Allen, M, P. Muttian, R, S. Arnold, J, G. Tuppad, P. (2008). Regional estimation of base flow for the conterminous United States by hydrologic landscape regions. Journal of Hydrology ,351: 139– 153.

[29]. Smakhtin , V. U. Shilpakar, R. L. & Hugheds D. A. (2006) Hydrology-based assessment of environmental flows: an example from Nepal, Hydrological Sciences Journal, 51(2) 207-222, DOI: 10.1623/hysj.51.2.207

[30]. Smakhtin V.U., 2001. Estimating continuous monthly base flow time series and their Possible applications in the context of the ecological reserve, ISSN 0378-4738., Water SA Vol. 27 No. 2 April 2001

[31]. Smakhtin, V.U. and D.A. Watkins 1997. Low flow estimation in South Africa. WRC Report no 494/1/97.

[32]. Tennant, D.L. (1976). Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. Fisheries 1: 6–10.

[33]. Tharme, R. (1996). Review of the International Methodologies for the Quantification of the Instream Flow Requirements of Rivers. 116 pp. Water Law Review Final Report for Policy Development for the Department of Water Affairs and Forestry, Pretoria. (Freshwater Research Unit, University of Cape Town: Cape Town.)