نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و چهارم، شماره ۷۲، بهار ۱۴۰۳

استفاده از روش‌های مختلف جداسازی جریان پایه چشمه‌های کارستی بر مبنای محتوای ایزوتوپی (مطالعه موردی: چشمه کارستی کهمان)

دریافت مقاله: ۹۸/۶/۹ **پذیرش نهایی**: ۹۹/۷/۱۲

صفحات: ۲۸۶-۲۶۹

اباذر سلگی: دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران[1].
Email: Abazar_solgi@yahoo.com
حیدر زارعی: دانشیار گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.
Email: zareih@scu.ac.ir
صفر معروفی: استاد گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
Email: smarofi@yahoo.com

چکیده

روش‌های مختلفی برای جداسازی جریان پایه مورداستفاده قرار گرفته است، یکی از این روش‌ها، روش‌های فیلترینگ می‌باشد. در این مطالعه از روش‌های فیلترینگ با الگوریتم‌های مختلف تک پارامتری، دو پارامتری، سه پارامتری، لینه و هولیک، چاپمن، فیوری و گوپتا، اکهاردت و اوما برای جداسازی جریان پایه روزانه چشمه کارستی کهمان در شهرستان الشتر استفاده شده است. دوره آماری مورداستفاده یک دوره آماری ۲۷ ساله (سال آبی ۷۱-۱۳۷۰ تا ۹۷-۱۳۹۶) بوده است. از روش محتوای ایزوتوپی به‌عنوان شاخص برای جداسازی جریان پایه استفاده شده است. داده‌های نمونه‌برداری شده در سال آبی (۹۷-۱۳۹۶) در آزمایشگاه شرکت مصباح انرژی ایران آنالیز شد. با توجه به اینکه هر الگوریتم دارای پارامترهای مختلفی می‌باشند، ابتدا پارامترهای هر الگوریتم برمبنای محتوای ایزوتوپی در سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ بهینه شدند. سپس از پارامترهای بهینه‌شده برای دوره آماری ۲۷ ساله استفاده گردید. در پایان با استفاده از معیارهای مختلف ارزیابی، الگوریتم‌های مختلف با هم مقایسه شدند. نتایج نشان داد که عملکرد الگوریتم اکهارت بهتر از دیگر الگوریتم‌ها بوده است. این الگوریتم شاخص جریان پایه و آب سطحی را به ترتیب ۸۱ و ۱۹ درصد برآورد کرده است.

کلید واژگان: محتوای ایزوتوپی، جداسازی جریان پایه، چشمه کارستی کهمان، روش‌های فیلترینگ.

---

۱. **نویسنده مسئول:** اهواز، دانشگاه شهید چمران، دانشکده مهندسی علوم آب، گروه مهندسی منابع آب

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.88.1]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.269]

مقدمه

درک و داشتن دانش از فرآیندهای هیدرولوژیکی حوضه یکی از اصول مهم و اساسی در تضمین مدیریت کمی و کیفی مناسب منابع آب سطحی و زیرزمینی یک حوضه آبریز است؛ که این امر با داشتن آگاهی از رفتار جریان‌های آب و اندرکنش بین آب‌های سطحی و زیرزمینی به دست می‌آید. هرگاه سطح ایستابی آب زیرزمینی با سطح توپوگرافی برخورد نماید، در محل برخورد این دو سطح، چشمه به وجود می‌آید. چشمه کارستی، به جریان آبی گفته می‌شود که به‌طور طبیعی از کارست خارج می‌گردد. چشمه‌های کارستی معمولاً دارای دبی زیاد می‌باشند و آبدهی آن‌ها در طول سال دست‌خوش تغییرات زیاد می‌باشد و علت این امر مخزن تنظیم‌کننده‌ی عظیم کارستی می‌باشد، مگر آنکه تغییر رژیم هیدرولوژی در سال‌های متوالی موجب تغییر دبی این چشمه گردد. آبدهی چشمه‌های پهنه‌های کارستی و سازندهای سخت، بازتاب بارندگی منطقه و تغذیه است و بررسی آن‌ها، اطلاعات بسیار سودمندی درباره ویژگی‌های هیدرودینامیکی آبخوان در اختیار قرار می‌دهد. بر اساس آمار و اطلاعات گردآوری‌شده از این چشمه‌ها و تحلیل آن‌ها، شناخت ویژگی‌های محیط کارستی و سازندهای سخت امکان‌پذیر می‌شود. از مهم‌ترین عوامل موردسنجش در این چشمه‌های انتخابی، میزان آبدهی آن‌هاست. جریان پایه در چشمه‌های کارستی و رودخانه‌ها، از مواردی هستند که به‌شدت برنامه‌ریزی بخش منابع آب و مسائل زیست‌محیطی کشور را تحت تأثیر قرار می‌دهند چراکه، بیشتر طرح‌ها و مسائل زیست‌محیطی و منابع آب با توجه به جریان پایه‌ی چشمه‌ها و رودخانه‌ها، امکان ایجاد و بهره‌برداری دارند. لذا دقت در برآورد و سهم این بخش، می‌تواند کمک بسیار بزرگی به بخش آب کشور باشد. روش‌های جداسازی جریان پایه به‌طورکلی به دو دسته ردیاب و غیرردیاب تقسیم‌بندی می‌شوند. هر یک از این روش‌ها، شامل تکنیک‌های مختلفی می‌باشند. روش‌های غیرردیاب شامل: تکنیک‌های جداسازی گرافیکی و تکنیک‌های جداسازی فیلترینگ و ... می‌باشند. از روش‌های ردیابی می‌توان به روش‌های ایزوتوپی و شیمی نگار اشاره نمود. روش‌های ردیابی دقیق‌ترین روش‌ها می‌باشند. استفاده از روش‌های ایزوتوپی هزینه‌بر و زمان‌بر می‌باشند. روش‌های گرافیکی با وجود سریع بودن، اغلب نتایج قابل قبولی ارائه نمی‌دهند. روش‌های فیلترینگ معمولاً دارای دقت قابل قبولی بوده و سریع هم به نتیجه می‌رسند. تاکنون فیلترهای مختلفی برای جداسازی جریان پایه ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به روش‌های بسته HYSEP[1]، الگوریتم‌های چاپمن، لینه و هولیک، اکهاردت، فیوری وگوپتا، اوما، یک پارامتری، دو پارامتری و سه پارامتری اشاره نمود. در ادامه برخی از مطالعات صورت گرفته در این زمینه اشاره می‌گردد:

آکسوی و همکاران (۲۰۰۹) از روش جداسازی جریان پایه، روش موسسه هیدرولوژی انگلستان[2] (UKIH)، همراه با روش جداسازی فیلتر دیجیتال بازگشتی (RDF) استفاده نمودند و همچنین این دو روش را ادغام کردند و روشی تحت عنوان جداسازی جریان پایه حداقل هموار فیلتر شده (FUKIH) ارائه نمودند که در آن روش UKIH برای سری زمانی روزانه بکار گرفته شد. آن‌ها با به‌کارگیری این روش در تعدادی از حوضه‌های

1. Hydrograph Separation
2. United Kingdom Institute of Hydrology

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.88.1]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.269]

واقع در غرب دریای سیاه به این نتیجه رسیدند که روش RDF و FUKIH به دلیل عدم استفاده از درون‌یابی خطی ساختار واقعی‌تری از جریان پایه را ارائه می‌دهند. فلامرزی و همکاران (۲۰۱۴)، از روش‌های ADUKIH و RDF برای جداسازی جریان پایه رودخانه در حوضه ابوالعباس در ایران استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش RDF دارای عملکرد بهتری نسبت به روش ADUKIH می‌باشد. رادرا و همکاران (۲۰۱۵) استفاده از شاخص‌های جریان پایه را برای شناخت جریان پایه و جریان سریع در ۱۵۰ حوضه در آناتاریو (کانادا) موردبررسی قرار دادند. آن‌ها از ۶ روش PART، فیلتر دیجیتال بازگشتی (RDF)، UKIH، حداقل موضعی، فواصل ثابت و فواصل متحرک استفاده کردند. آن‌ها ابراز داشتند که مقدار BFI بالای ۸۰ درصد، در خاک‌های گروه A و B و کمتر از ۸۰ درصد در گروه‌های C و D اتفاق می‌افتد. مینا (۲۰۱۷) به بررسی جریان پایه برای سه حوضه در منطقه شمال شرقی رومانی پرداخت. ایشان از ۶ روش حداقل موضعی، فیلتر دیجیتال بازگشتی با الگوریتم‌های یک پارامتری، چاپمن، اکهاردت، Talaksen و مدل WHAT استفاده کردند. نتایج نشان داد که الگوریتم‌های اکهاردت و چاپمن مناسب‌تر بوده‌اند.

در ایران مالی و محمدی (۱۳۹۳) روش‌های برآورد جریان پایه در دو چشمه کارستی پیرغار و دیمه واقع در استان چهارمحال و بختیاری را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها تغییرات دبی جریان پایه را بر اساس شیمی نگار چشمه، به‌عنوان معیار ارزیابی و مبنای مقایسه جهت انتخاب مناسب‌ترین روش فیلتر دیجیتال بازگشتی و روش‌های مرسوم جدایش جریان پایه چشمه‌های کارستی در نظر گرفتند. با استفاده از روش فیلتر اکهاردت که مناسب‌ترین روش تفکیک جریان در بین روش‌های دیجیتال الگوریتم عددی بود، میانگین شاخص جریان پایه در چشمه‌های دیمه و پیرغار به ترتیب ۰/۹ و ۰/۶۱ محاسبه شده است. کاظمی و قرمز چشمه (۱۳۹۵) جریان پایه را بر اساس شاخص منحنی تداوم جریان برای رودخانه‌های ناحیه خزری ایران محاسبه کردند. آن‌ها از روش‌های حداقل موضعی، محدوده زمانی ثابت و محدوده زمانی متحرک و روش‌های فیلتر دیجیتال بازگشتی یک و دو پارامتری و چاپمن استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش فیلتر دیجیتال بازگشتی یک پارامتری روش مناسبی بوده است. مهری و همکاران (۱۳۹۶) مقایسه روش‌های جداسازی جریان پایه رودخانه و تغییرات فصلی آن در تعدادی از آبخیزهای استان اردبیل را موردبررسی قرار دادند. آن‌ها از روش حداقل محلی، فواصل ثابت، فواصل جابه‌جاشونده، روش‌های فیلتردیجیتال بازگشتی شامل الگوریتم یک، دو و سه پارامتری، لینه و هولیک، چاپمن، ایما استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش دو پارامتری عملکرد بهتری داشته است. حصاری و همکاران (۱۳۹۸) مقایسه اثر روش‌های مختلف فیلترکردن جریان‌های روزانه برای جداسازی جریان پایه در رودخانه‌های غرب دریاچه ارومیه را بررسی کردند. آن‌ها الگوریتم‌های لینه و هولیک و اکهاردت را با فیلتر ۰/۹ مناسب دانستند.

علی‌رغم حالت مرسوم که جداسازی جریان پایه، برای رودخانه‌ها موردبررسی قرار می‌گرفته است، در این مطالعه اقدام به بررسی جداسازی این جریان برای هیدروگراف چشمه کارستی کهمان شده است. با توجه به بررسی منابع مشخص شد که بیشتر مطالعات جداسازی جریان پایه، متمرکز بر روخانه‌ها بوده است و تنها مطالعه مالی و محمدی (۱۳۹۳) در ایران روی چشمه‌های کارستی صورت گرفته است.

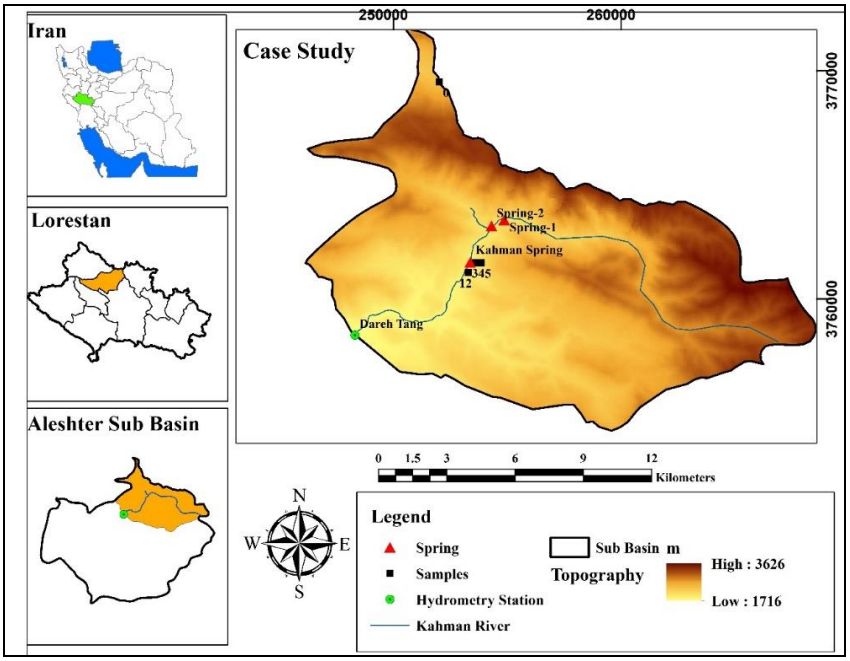
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.88.1]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.269]

در این مطاله از روش فیلتر دیجیتال بازگشتی با الگوریتم‌های مختلف بر مبنای روش محتوای ایزوتوپی برای جداسازی جریان پایه چشمه کارستی کهمان در شهرستان الشتر استفاده شده است. برای این منظور از نتایج آزمایشات ایزوتوپی که در سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ نمونه‌برداری شده‌اند، استفاده گردید.

روش تحقیق

معرفی محدوده مورد مطالعه

چشمه کهمان در شهرستان الشتر از توابع استان لرستان قرار دارد. این چشمه در قسمت شرقی دره‌کهمان قرار دارد. در شکل (۱) موقعیت چشمه کهمان در استان لرستان و کشور ایران ارائه شده است. برای به دست آوردن آبدهی چشمه کهمان از آمار ایستگاه هیدرومتری دره تنگ-کهمان با کد ۹۵۴-۲۱ استفاده شد. بررسی وضعیت آبدهی این ایستگاه در دوره آماری ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۷ صورت گرفت. مساحت حوضه آبریز ایستگاه دره تنگ حدود ۱۸۰ کیلومتر مربع می‌باشد. متوسط آبدهی روزانه چشمه کهمان ۲/۶۷ مترمکعب در ثانیه، حداقل آبدهی آن ۰/۲۲ و حداکثر آن ۳۴/۶ مترمکعب در ثانیه بوده است.



شکل (۱). موقعیت چشمه کهمان در استان لرستان و ایران.

داده و روش کار

اندازه‌گیری محتوای ایزوتوپی

ترکیب ایزوتوپی اکسیژن، از طریق طیف‌سنج جرمی اندازه‌گیری می‌شود. در این تحقیق محتوای ایزوتوپی آب توسط دستگاه طیف‌سنج FT-IR 100 در آزمایشگاه شرکت مصباح انرژی ایران تعیین شده است. این دستگاه ساخت جمهوری اسلامی ایران می‌باشد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.88.1]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.269]

فیلتر دیجیتال بازگشتی

در روش فیلتر دیجیتال بازگشتی جریان کل به دو جزء جریان سریع و جریان پایه تجزیه و تکنیک‌های پردازش سیگنال به‌منظور حذف سیگنال جریان سریع با فرکانس بالا و در نهایت سیگنال جریان پایه با فرکانس پایین روی سری زمانی جریان اعمال می‌شود. این‌فیلترها می‌توانند روی جریان‌های پیوسته دراز مدت بکار برده شوند. الگوریتم‌هایی که در این مطالعه موردبررسی قرار گرفته‌اند بدین شرح می‌باشند:

الگوریتم تک پارامتری RDF-One Parameter

این الگوریتم مطابق رابطه (۱) بیان می‌شود. همان‌طوری‌که از نام این الگوریتم مشخص است دارای یک پارامتر K می‌باشد، این پارامتر که مربوط به حوضه ابخیز است ثابت بازگشت نام دارد. در این رابطه $q_{b(i)}$ جریان پایه فیلتر شده در زمان i برحسب مترمکعب در ثانیه، جریان پایه فیلتر شده در زمان i-1 بر حسب مترمکعب در ثانیه، $q_{(i)}$ جریان کل در زمان i برحسب مترمکعب بر ثانیه است (Chapman and Maxwell, 1996).

$$q_{b(i)} = \frac{k}{2-k} q_{b(i-1)} + \frac{1-k}{2-k} q_{(i)}$$ رابطه (۱)

الگوریتم دو پارامتری Two parameter Algorithm

این الگوریتم شامل پارامتر تغییرپذیری شکل جدایش (C) که معادل 1-K می‌باشد، K همان ثابت بازگشت می‌باشد. این الگورتم مطابق رابطه (۲) بیان می‌شود (Boughton, 1993).

$$q_{b(i)} = \frac{k}{1+C} q_{b(i-1)} + \frac{C}{1+C} q_{(i)}$$ رابطه (۲)

الگوریتم سه پارامتری Three parameter-IHACRES Algorithm

این الگوریتم شکل توسعه‌یافته الگوریتم دو پارامتری می‌باشد که به‌منظور جدایش جریان الگوریتمی که بارش موثر (u) را به اجزای سریع و آهسته تقسیم می‌کند، تعریف شده است. در این الگوریتم دو پارامتر q_b و q_f که به ترتیب معرف جریان رواناب مستقیم و جریان پایه است به‌صورت روابط (۳ و ۴) می‌باشند.

$$q_{b(i)} = \beta_s u_i - \alpha_s q_{b(i-1)}$$ رابطه (۳)

$$q_{f(i)} = \beta_q u_i - \alpha_q q_{f(i-1)}$$ رابطه (۴)

در روابط (۳ و ۴) α_s و β_s پارامتر فیلتر و پسوند q و s به ترتیب به جریان سریع و آهسته اشاره می‌کند. لازم به ذکر است که مقدار α_s منفی است. با حذف u از این معادلات، بیان رواناب مستقیم به‌صورت تفاضل بین جریان پایه و جریان کل است. در نتیجه جریان پایه از رابطه (۵) به دست می‌آید.

$$q_{b(i)} = \frac{\alpha_s\beta_q - \alpha_q\beta_s}{\beta_q + \beta_s} q_{b(i-1)} + \frac{\beta_s}{\beta_q + \beta_s}\left(q_{(i)} + \alpha_q q_{(i-1)}\right)$$ رابطه (۵)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.88.1]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.269]

$$q_{b(i)} = \frac{K}{1+C} q_{b(i-1)} + \frac{C}{1+C}(q_{(i)} + \alpha_q q_{(i-1)})$$ رابطه (۶)

با قرار دادن $C = \frac{\beta_s}{\beta_q}$ و $K = -\alpha_s - \alpha_q \frac{\beta_s}{\beta_q}$ در معادله (۵) الگوریتم سه پارامتری به‌صورت رابطه (۶) تبدیل می‌شود که در آن $q_{(i-1)}$ دبی کل برای لحظه پیش از نمونه‌برداری i می‌باشد (مالی و محمدی، ۱۳۹۳).

الگوریتم اکهاردت Eckhardt Algorithm

این الگوریتم دارای دو پارامتر می‌باشد. ۱) ثابت منحنی فرود α و ۲) مقدار ماکزیمم شاخص جریان پایه BFI_{max} که قابل‌اندازه‌گیری نیست، اما با انطباق نتایج روش‌های دیگر بهینه‌سازی شده است. در رابطه (۷) که برای جدایش جریان پایه استفاده می‌شود، شرط $q_{b(i)} \leq q_{(i)}$ باید برقرار باشد. در این فیلتر تا حدودی ویژگی‌های هیدرولوژیک جریان و حوضه در نظر گرفته می‌شود. جهت کالیبره کردن پارامتر BFI_{max} استفاده از داده‌های ردیابی جهت کالیبره کردن پیشنهاد شده است (Eckhardt, 2008).

$$q_{b(i)} = \frac{(1 - BFI_{max})\alpha q_{b(i-1)} + (1-\alpha)BFI_{max} q_{(i)}}{1 - \alpha BFI_{max}}$$ رابطه (۷)

در این روش زمانی که پارامتر ثابت بازگشت در دامنه ۰/۹ تا ۰/۹۵ باشد مقدار پارامتر BFI_{max} برای رودخانه دائمی با آبخوان متخلخل برابر ۰/۸، برای رودخانه غیردائمی با آبخوان متخلخل برابر ۰/۵ و برای رودخانه‌های دائمی با آبخوان سنگی برابر ۰/۲۵ در نظر گرفته می‌شود.

الگوریتم لینه و هولیک Lyne & Hollick Algorithm

این الگوریتم به‌صورت رابطه (۸) بیان می‌شود. در این رابطه $q_{f(i)}$ جریان سریع فیلترشده برای i امین لحظه نمونه‌برداری، $q_{f(i-1)}$ جریان سریع فیلترشده برای لحظه پیش از نمونه‌برداری i، α ثابت فیلتر است (Lyne and Hollick, 1979).

$$q_{f(i)} = \alpha q_{f(i-1)} + (q_{(i)} + q_{(i-1)})\frac{1+\alpha}{2}$$ رابطه (۸)

الگوریتم چاپمن Champman Algorithm

این الگوریتم که به‌صورت رابطه (۹) بیان می‌شود شکل توسعه‌یافته الگوریتم لینه و هولیک می‌باشد. در این رابطه $q_{f(i)}$ جریان سریع فیلترشده برای i امین لحظه نمونه‌برداری، $q_{f(i-1)}$ جریان سریع فیلترشده برای لحظه پیش از نمونه‌برداری i، α ثابت فیلتر است (Chapman, 1999).

$$q_{f(i)} = \frac{3\alpha - 1}{3-\alpha} q_{f(i-1)} + \frac{2}{3-\alpha}(q_{(i)} + \alpha q_{(i-1)})$$ رابطه (۹)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.88.1]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.269]

الگوریتم فیوری و گوپتا Furey & Gupta Algorithm

در این الگوریتم که به‌صورت رابطه (۱۰) بیان می‌شود، $q_{(i-d-1)}$ دبی کل برای لحظه پیش از نمونه‌برداری i با در نظر گرفتن زمان تأخیر برحسب مترمکعب در ثانیه، $q_{b(i-d-1)}$ جریان پایه فیلتر شده برای لحظه پیش از نمونه‌برداری i با در نظر گرفتن زمان تأخیر برحسب مترمکعب در ثانیه، c_1 پارامتر فیزیکی فیلتر مربوط به جریان سطحی و c_3 پارامتر فیزیکی فیلتر مربوط به جریان زیرزمینی، d زمان تأخیر و $1-\gamma$ ثابت فرود حوضه می‌باشد(Furey and Gupta, 2001).

$$q_{f(i)} = (1-\gamma)q_{b(i-1)} + \gamma\frac{c_3}{c_1}(q_{(i-d-1)} + q_{b(i-d-1)})$$ رابطه (۱۰)

الگوریتم ایما EWMA Algorithm

در این الگوریتم برای هر دوره زمانی t جریان پایه $q_{b(t)}$ از یک مجموعه سری زمانی با رابطه (۱۱) به دست می‌آید. در این رابطه α پارامتر ثابت فیلتر می‌باشد.

$$q_{b(t)} = \alpha q_{(t)} + (1-\alpha)q_{b(t-1)} \qquad 0 < \alpha < 1, \qquad t \geq 3$$ رابطه (۱۱)

برای آشنایی بیشتر با این الگوریتم‌ها می‌توان به منبع مالی و همکاران (۱۳۹۳) مراجعه نمود.

معیارهای ارزیابی

سه معیار، ضریب تعیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تعیین تعدیل‌شده[1] ($R^2_{adjusted}$) برای ارزیابی الگوریتم‌های مختلف در این مطالعه استفاده شده است. این معیارها به‌صورت روابط (۱۲ تا ۱۴) بیان می‌شوند.

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\Sigma(Q_{obs} - Q_{pre})^2}{n}}$$ رابطه (۱۲)

$$R^2 = 1 - \frac{\Sigma_{i=1}^{N}(Q_{obs} - Q_{pre})^2}{\Sigma_{i=1}^{N}(Q_{obs} - \bar{Q})^2}$$ رابطه (۱۳)

$$R^2_{adjusted} = 1 - \left((1 - R^2) \times \frac{N-1}{N-m-1}\right)$$ رابطه (۱۴)

[1]. Adjusted R Square

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.88.1]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.269]

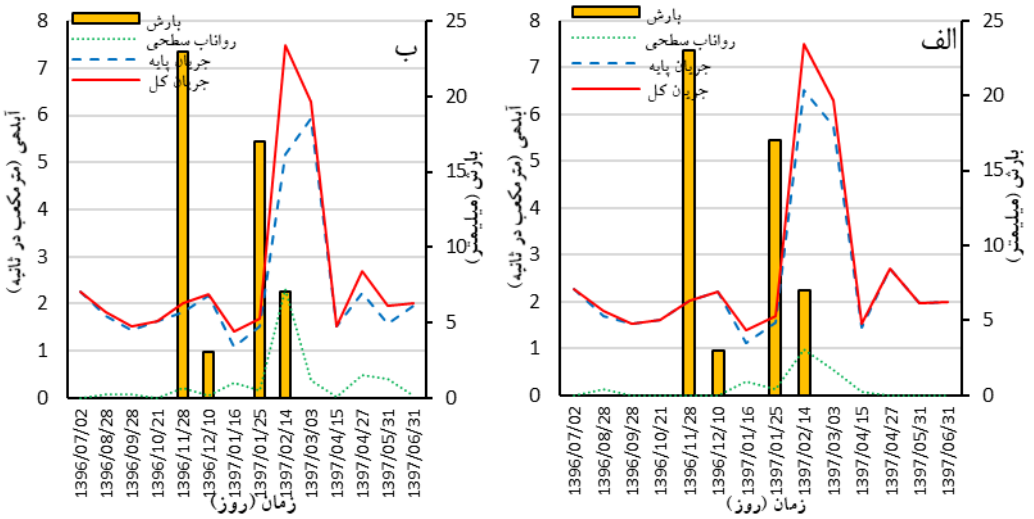
در روابط (۱۲ تا ۱۴)، n : تعداد داده‌ها، Q_{obs}: داده‌های مشاهداتی، $\bar{Q}$: میانگین داده‌های مشاهداتی، Q_{pre} : داده‌های محاسباتی، Q_{max}: حداکثر داده‌ها، Q_{min}: حداقل داده‌ها می‌باشد. معیار آماری Adjusted R Square یا $R^2_{adjusted}$، علاوه بر ضریب R^2 تابع تعداد نمونه و تعداد پارامترهای استفاده شده نیز می‌باشد، لذا دارای دقت بیشتری بوده و Overfitting در آن کمتر اتفاق می‌افتند. هر چه معیار $R^2_{adjusted}$ به عدد یک نزدیک باشد نتیجه حاصل بهتر خواهد بود.

نتایج

به‌منظور بررسی داده‌های پرت، از روش باکس پلات استفاده شد. به دلیل اینکه روش اصلی و مبنا در این مطالعه برای جداسازی جریان پایه چشمه کهمان روش ایزوتوپی می‌باشد، ابتدا نتایج جداسازی با این روش ارائه شده سپس نتایج روش RDF با الگوریتم‌های مختلف در مقایسه با روش ایزوتوپی ارائه می‌شوند.

نتایج روش محتوای ایزوتوپی

نتایج حاصل از جداسازی جریان پایه چشمه کهمان بر اساس نتایج مقادیر ایزوتوپی $\delta^{18}O$ و $\delta^{2}H$ در شکل (۲) و جدول (۱) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهند که سهم جریان پایه بر اساس مقدار ایزوتوپی $\delta^{18}O$ و $\delta^{2}H$ به ترتیب به ۹۵/۶ و ۹۰/۶ درصد می‌رسد و سهم جریان سطحی بر اساس مقدار ایزوتوپی $\delta^{18}O$ و $\delta^{2}H$ به ترتیب ۴/۴ و ۹/۴ درصد می‌باشد.



شکل (۲). جداسازی جریان پایه چشمه کهمان با مقادیر ایزوتوپی-الف) δ 18O، ب) δ 2H.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.88.1]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.269]

جدول (۱). نتایج حاصل از جداسازی جریان پایه چشمه کهمان با مقادیر ایزوتوپ.

تاریخ	جریان کل (مترمکعب در ثانیه)	جریان پایه (٪)		رواناب سطحی (٪)	
		$\delta\ ^{18}O$ (‰)	$\delta\ ^{2}H$ (‰)	$\delta\ ^{18}O$ (‰)	$\delta\ ^{2}H$ (‰)
۱۳۹۶/۰۷/۰۲	۲/۲۶	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۰/۰	۰/۰
۱۳۹۶/۰۸/۲۸	۱/۸۰	۹۳/۴	۹۵/۸	۶/۶	۴/۲
۱۳۹۶/۰۹/۲۸	۱/۵۲	۱۰۰/۰	۹۴/۵	۰/۰	۵/۵
۱۳۹۶/۱۰/۲۱	۱/۶۲	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۰/۰	۰/۰
۱۳۹۶/۱۱/۲۸	۲/۰۲	۱۰۰/۰	۸۹/۷	۰/۰	۱۰/۳
۱۳۹۶/۱۲/۱۰	۲/۲۱	۱۰۰/۰	۹۸/۴	۰/۰	۱/۶
۱۳۹۷/۰۱/۱۶	۱/۴۰	۷۹/۵	۷۶/۹	۲۰/۵	۲۳/۱
۱۳۹۷/۰۱/۲۵	۱/۶۸	۹۲/۶	۹۰/۴	۷/۴	۹/۶
۱۳۹۷/۰۲/۱۴	۷/۴۹	۸۶/۹	۶۹/۱	۱۳/۱	۳۰/۹
۱۳۹۷/۰۳/۰۳	۶/۲۹	۹۱/۲	۹۴/۲	۸/۸	۵/۸
۱۳۹۷/۰۴/۱۵	۱/۵۲	۹۴/۸	۹۹/۱	۰/۰	۰/۹
۱۳۹۷/۰۴/۲۷	۲/۷۰	۱۰۰/۰	۸۲/۴	۰/۰	۱۷/۶
۱۳۹۷/۰۵/۳۱	۱/۹۶	۱۰۰/۰	۸۰/۳	۰/۰	۱۹/۷
۱۳۹۷/۰۶/۳۱	۱/۹۹	۱۰۰/۰	۹۷/۹	۰/۰	۲/۱
میانگین	۲/۶۰	۹۵/۶	۹۰/۶	۴/۴	۹/۴
حداکثر	۷/۴۹	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۲۰/۵	۳۰/۹

نتایج روش‌های فیلتر دیجیتال بازگشتی

هر یک از الگوریتم‌های روش فیلتر دیجیتال بازگشتی، دارای حداقل یک پارامتر فیلتر هستند. به‌منظور بهینه‌سازی پارامترهای فیلتر در این الگوریتم‌ها، از مقادیر ایزوتوپی و جریان پایه جداسازی شده در روزهای سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ استفاده شد و با استفاده از تابع RMSE مقدار بهینه پارامتر فیلتر در هر یک از الگوریتم‌ها مشخص گردید. سپس از پارامتر فیلتر برای کل دوره آماری استفاده گردید. برای محاسبه این الگوریتم‌ها از نرم افزار BFI+3.0 و برنامه‌نویسی در اکسل استفاده شده است.

نتایج روش فیلتر دیجیتال بازگشتی- تک پارامتری

نتایج حاصل از به کار بردن این الگوریتم برای جداسازی جریان پایه چشمه کهمان به ازای مقادیر بهینه پارامتر فیلتر در جدول (۲) ارائه شده است. این الگوریتم دارای مقدار بهینه فیلتر ۰/۸۴ بوده است. با استفاده از این الگوریتم شاخص جریان پایه و آب سطحی به ترتیب ۵۱ و ۴۹ درصد محاسبه شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.88.1]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.269]

جدول (۲). نتایج روش فیلتر دیجیتال بازگشتی- تک پارامتری با مقادیر بهینه پارامتر فیلتر-چشمه کهمان.

روش-دوره آماری	پارامتر فیلتر آلفا	پارامتر	حداقل	متوسط	حداکثر
تک پارامتری ۱۳۹۷-۱۳۷۰	۰/۸۴	آبدهی (m^3/s)	۰/۲۱۸	۲/۶۷	۳۴/۶۲
		جریان سطحی (m^3/s)	۰/۰۰۰	۱/۳۴	۲۵/۰۰
		جریان پایه (m^3/s)	۰/۱۴۸	۱/۳۳	۱۲/۳۱
		شاخص جریان سطحی (٪)	۰/۰۰	۴۸/۸۹	۸۵/۹۶
		شاخص جریان پایه (٪)	۱۴/۰۴	۵۱/۱۱	۱۰۰/۰۰
تک پارامتری ۱۳۹۷-۱۳۹۶	۰/۸۴	آبدهی (m^3/s)	۱/۰۴۶	۲/۵۸	۱۱/۱۰
		جریان سطحی (m^3/s)	۰/۰۶۳	۱/۲۹	۸/۳۳
		جریان پایه (m^3/s)	۰/۶۸۳	۱/۲۹	۴/۱۹
		شاخص جریان سطحی (٪)	۵/۶۴	۴۹/۰۴	۷۶/۴۹
		شاخص جریان پایه (٪)	۲۳/۵۱	۵۰/۹۶	۹۴/۳۶

نتایج فیلتر دیجیتال بازگشتی-الگوریتم دو پارامتری

نتایج این الگوریتم برای جداسازی جریان پایه چشمه کهمان به ازای مقادیر بهینه پارامترهای فیلتر K و C در جدول (۳) ارائه شده است. پارامتر دیگر یعنی C برابر 1-K می‌باشد. این الگوریتم دارای مقدار بهینه فیلترهای ۰/۸۴ و ۰/۱۶ بوده است. با استفاده از این الگوریتم شاخص جریان پایه و آب سطحی به ترتیب ۵۱ و ۴۹ درصد محاسبه شده است.

جدول (۳). نتایج روش فیلتر دیجیتال بازگشتی- دو پارامتری با مقادیر بهینه پارامتر فیلتر-چشمه کهمان.

روش-دوره آماری	پارامترهای فیلتر K	پارامترهای فیلتر C	پارامتر	حداقل	متوسط	حداکثر
دو پارامتری ۱۳۹۷-۱۳۷۰	۰/۸۴	۰/۱۶	آبدهی (m^3/s)	۰/۲۱۸	۲/۶۷	۳۴/۶۲
			جریان سطحی (m^3/s)	۰/۰۰۰	۱/۳۴	۲۵/۰۰
			جریان پایه (m^3/s)	۰/۱۴۸	۱/۳۳	۱۲/۳۱
			شاخص جریان سطحی (٪)	۰/۰۰	۴۸/۸۹	۸۵/۹۶
			شاخص جریان پایه (٪)	۱۴/۰۴	۵۱/۱۱	۱۰۰/۰۰
دو پارامتری ۱۳۹۷-۱۳۹۶	۰/۸۴	۰/۱۶	آبدهی (m^3/s)	۱/۰۴۶	۲/۵۸	۱۱/۱۰
			جریان سطحی (m^3/s)	۰/۰۶۳	۱/۲۹	۸/۳۳
			جریان پایه (m^3/s)	۰/۶۸۳	۱/۲۹	۴/۱۹
			شاخص جریان سطحی (٪)	۵/۶۴	۴۹/۰۴	۷۶/۴۹
			شاخص جریان پایه (٪)	۲۳/۵۱	۵۰/۹۶	۹۴/۳۶

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.88.1]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.269]

نتایج روش فیلتر دیجیتال بازگشتی- الگوریتم سه پارامتری

نتایج این روش برای جداسازی جریان پایه چشمه کهمان به ازای مقادیر بهینه پارامتر فیلتر آلفا، K و C در جدول (۴) ارائه شده است. این الگوریتم دارای مقادیر بهینه فیلترهای ۰/۸۴، ۰/۴۰۸ و ۰/۶۶۷ بوده است. با استفاده از این الگوریتم شاخص جریان پایه و آب سطحی به ترتیب ۹۵ و ۵ درصد محاسبه شده است.

جدول (۴). نتایج روش فیلتر دیجیتال بازگشتی- سه پارامتری با مقادیر بهینه پارامترهای فیلتر-چشمه کهمان

روش- دوره آماری	پارامترهای فیلتر			پارامتر	حداقل	متوسط	حداکثر
	آلفا	K	C				
سه پارامتری ۱۳۹۷-۱۳۷۰	۰/۸۴	۰/۴۰۸	۰/۶۶۷	آبدهی (m^3/s)	۰/۲۱۸	۲/۶۷	۳۴/۶۲
				جریان سطحی (m^3/s)	۰/۰۰۰	۰/۱۵۳	۱۲/۶۹
				جریان پایه (m^3/s)	۰/۲۱۸	۲/۵۲	۲۸/۸۲
				شاخص جریان سطحی (٪)	۰/۰۰	۵/۱۲	۶۰/۰۰
				شاخص جریان پایه (٪)	۴۰/۰۰	۹۴/۸۸	۱۰۰/۰۰
سه پارامتری ۱۳۹۷-۱۳۹۶	۰/۸۴	۰/۴۰۸	۰/۶۶۷	آبدهی (m^3/s)	۱/۰۴۶	۲/۵۸	۱۱/۱۰
				جریان سطحی (m^3/s)	۰/۰۰	۰/۱۳	۳/۳۲
				جریان پایه (m^3/s)	۱/۰۳۶	۲/۴۵	۹/۵۳
				شاخص جریان سطحی (٪)	۰/۰۰	۴/۷۷	۴۳/۷۴
				شاخص جریان پایه (٪)	۵۶/۲۶	۹۵/۲۳	۱۰۰/۰۰

نتایج فیلتر دیجیتال بازگشتی- الگوریتم لینه و هولیک

نتایج این الگوریتم برای جداسازی جریان پایه چشمه کهمان به ازای مقادیر بهینه پارامتر فیلتر آلفا در جدول (۵) ارائه شده است. این الگوریتم دارای مقدار بهینه فیلتر ۰/۶ بوده است. با استفاده از این الگوریتم شاخص جریان پایه و آب سطحی به ترتیب ۹۷ و ۳ درصد محاسبه شده است.

جدول (۵). نتایج روش RDF- الگوریتم لینه و هولیک با مقادیر بهینه پارامتر فیلتر-چشمه کهمان

روش-دوره آماری	پارامترهای فیلتر	پارامتر	حداقل	متوسط	حداکثر
	آلفا				
لینه و هولیک ۱۳۹۷-۱۳۷۰	۰/۶	آبدهی (m^3/s)	۰/۲۱۸	۲/۶۷	۳۴/۶۲
		جریان سطحی (m^3/s)	۰/۰۰۰	۰/۱۱	۱۷/۸۰
		جریان پایه (m^3/s)	۰/۲۱۸	۲/۵۶	۲۶/۴۳
		شاخص جریان سطحی (٪)	۰/۰۰	۲/۸۳	۸۰/۱۷
		شاخص جریان پایه (٪)	۱۹/۸۳	۹۷/۱۷	۱۰۰/۰۰
لینه و هولیک ۱۳۹۷-۱۳۹۶	۰/۶	آبدهی (m^3/s)	۱/۰۴۶	۲/۵۸	۱۱/۱۰
		جریان سطحی (m^3/s)	۰/۰۰	۰/۰۸	۵/۵۶
		جریان پایه (m^3/s)	۱/۰۴۶	۲/۵۰	۸/۶۵
		شاخص جریان سطحی (٪)	۰/۰۰	۲/۲۵	۵۷/۷۵
		شاخص جریان پایه (٪)	۴۲/۲۵	۹۷/۷۵	۱۰۰/۰۰

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.88.1]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.269]

نتایج روش فیلتر دیجیتال بازگشتی- الگوریتم چاپمن

نتایج این الگوریتم برای جداسازی جریان پایه چشمه کهمان به ازای مقادیر بهینه پارامتر فیلتر آلفا در جدول (۶) ارائه شده است. این الگوریتم دارای مقدار بهینه فیلتر ۰/۸۲۹ بوده است. با استفاده از این الگوریتم شاخص جریان پایه و آب سطحی به ترتیب ۵۱ و ۴۹ درصد محاسبه شده است.

جدول (۶). نتایج روش RDF- الگوریتم چاپمن با مقادیر بهینه پارامتر فیلتر-چشمه کهمان

روش- دوره آماری	پارامترهای فیلتر	پارامتر	حداقل	متوسط	حداکثر
	آلفا				
چاپمن ۱۳۹۷-۱۳۷۰	۰/۸۲۹	آبدهی (m^3/s)	۰/۲۱۸	۲/۶۷	۳۴/۶۲
		جریان سطحی (m^3/s)	۰/۰۰۰	۱/۳۳	۲۶/۲۷
		جریان پایه (m^3/s)	۰/۱۰۰	۱/۳۴	۱۲/۶۴
		شاخص جریان سطحی (٪)	۰/۰۰	۴۸/۷۳	۹۱/۷۴
		شاخص جریان پایه (٪)	۸/۲۶	۵۱/۲۷	۱۰۰/۰۰
چاپمن ۱۳۹۷-۱۳۹۶	۰/۸۲۹	آبدهی (m^3/s)	۱/۰۴۶	۲/۵۸	۱۱/۱۰
		جریان سطحی (m^3/s)	۰/۰۳۰	۱/۲۹	۸/۶۸
		جریان پایه (m^3/s)	۰/۶۷۰	۱/۲۹	۴/۲۵
		شاخص جریان سطحی (٪)	۲/۷۰	۴۹/۰۲	۸۰/۶۶
		شاخص جریان پایه (٪)	۱۹/۳۴	۵۰/۹۸	۹۷/۳۰

نتایج فیلتر دیجیتال بازگشتی-الگوریتم اکهاردت

نتایج این الگوریتم برای جداسازی جریان پایه چشمه کهمان به ازای مقادیر بهینه پارامتر فیلتر آلفا در جدول (۷) ارائه شده است. مقدار پارامتر BFI_{max} در این روش ۰/۸۰ در نظر گرفته شد. این الگوریتم دارای مقدار بهینه فیلتر ۰/۹۳۰ می‌باشد. با استفاده از این الگوریتم شاخص جریان پایه و آب سطحی به ترتیب ۸۱ و ۱۹ درصد محاسبه شده است.

جدول (۷). نتایج روش RDF- الگوریتم اکهاردت با مقادیر بهینه پارامتر فیلتر-چشمه کهمان

روش- دوره آماری	پارامترهای فیلتر	پارامتر	حداقل	متوسط	حداکثر
	آلفا				
اکهاردت ۱۳۹۷-۱۳۷۰	۰/۹۳۰	آبدهی (m^3/s)	۰/۲۱۸	۲/۶۷	۳۴/۶۲
		جریان سطحی (m^3/s)	۰/۰۰۰	۰/۵۵	۱۹/۹۸
		جریان پایه (m^3/s)	۰/۲۱۸	۲/۱۲	۱۹/۶۶
		شاخص جریان سطحی (٪)	۰/۰۰	۱۸/۹۵	۷۸/۱۰
		شاخص جریان پایه (٪)	۲۱/۹۰	۸۱/۰۵	۱۰۰/۰۰
اکهاردت ۱۳۹۷-۱۳۹۶	۰/۹۳۰	آبدهی (m^3/s)	۱/۰۴۶	۲/۵۸	۱۱/۱۰
		جریان سطحی (m^3/s)	۰/۰۰۰	۰/۵۲	۶/۶۸

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.88.1]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.269]

		جریان پایه (m^3/s)	۱/۰۴۶	۲/۰۶	۶/۷۰
		شاخص جریان سطحی (٪)	۰/۰۰	۱۹/۰۸	۶۲/۵۱
		شاخص جریان پایه (٪)	۳۷/۴۹	۸۰/۹۲	۱۰۰/۰۰

نتایج فیلتر دیجیتال بازگشتی-الگوریتم ایما

نتایج این الگوریتم برای جداسازی جریان پایه چشمه کهمان به ازای مقادیر بهینه پارامتر فیلتر آلفا در جدول (۸) ارائه شده است. این الگوریتم دارای مقدار بهینه فیلتر ۰/۶ می‌باشد. با استفاده از این الگوریتم شاخص جریان پایه و آب سطحی به ترتیب ۹۹ و ۱ درصد محاسبه شده است.

جدول (۸). نتایج روش RDF- الگوریتم ایما با مقادیر بهینه پارامتر فیلتر-چشمه کهمان

روش-دوره آماری	پارامترهای فیلتر	پارامتر	حداقل	متوسط	حداکثر
	آلفا				
ایما ۱۳۹۷-۱۳۷۰	۰/۶۰	آبدهی (m^3/s)	۰/۲۱۸	۲/۶۷	۳۴/۶۲
		جریان سطحی (m^3/s)	۰/۰۰۰	۰/۰۵	۸/۴۳
		جریان پایه (m^3/s)	۰/۲۱۸	۲/۶۲	۲۹/۵۷
		شاخص جریان سطحی (٪)	۰/۰۰	۱/۲۶	۴۰/۰۰
		شاخص جریان پایه (٪)	۶۰/۰۰	۹۸/۷۴	۱۰۰/۰۰
ایما ۱۳۹۷-۱۳۹۶	۰/۶۰	آبدهی (m^3/s)	۱/۰۴۶	۲/۵۸	۱۱/۱۰
		جریان سطحی (m^3/s)	۰/۰۰۰	۰/۰۳	۲/۳۵
		جریان پایه (m^3/s)	۱/۰۴۶	۲/۵۵	۹/۶۱
		شاخص جریان سطحی (٪)	۰/۰۰	۰/۹۶	۲۸/۴۶
		شاخص جریان پایه (٪)	۷۱/۵۴	۹۹/۰۴	۱۰۰/۰۰

نتایج الگوریتم فیوری و گوپتا

نتایج این الگوریتم برای جداسازی جریان پایه چشمه کهمان به ازای مقادیر بهینه پارامتر فیلتر آلفا در جدول (۹) ارائه شده است. با توجه به مساحت حدود ۱۸۰ کیلومترمربع حوضه آبگیر کهمان، پارامتر d برابر ۵ ساعت، پارامتر C برابر ۰/۶۷ و مقدار بهینه پارامتر α برابر ۰/۷ و مقدار پارامتر گاما هم برابر $1-\alpha$ یعنی ۰/۳ می‌باشد. با استفاده از این الگوریتم شاخص جریان پایه و آب سطحی به ترتیب ۹۹/۵ و ۰/۵ درصد محاسبه شده است.

جدول (۹). نتایج روش RDF- الگوریتم فیوری و گوپتا با مقادیر بهینه پارامتر فیلتر-چشمه کهمان

روش-دوره آماری	پارامترهای فیلتر	پارامتر	حداقل	متوسط	حداکثر
	آلفا				
فیوری و گوپتا ۱۳۹۷-۱۳۷۰	۰/۷۰	آبدهی (m^3/s)	۰/۲۱۸	۲/۶۷	۳۴/۶۲
		جریان سطحی (m^3/s)	۰/۰۰۰	۰/۰۳	۱۱/۷۹
		جریان پایه (m^3/s)	۰/۲۱۸	۲/۶۴	۳۴/۶۲

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.88.1]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.269]

		شاخص جریان سطحی (٪)	۰/۰۰	۰/۴۸	۸۴/۱۳
		شاخص جریان پایه (٪)	۱۵/۸۷	۹۹/۵۲	۱۰۰/۰۰
فیوری و گوپتا ۱۳۹۶-۱۳۹۷	۰/۷۰	آبدهی (m^3/s)	۱/۰۴۶	۲/۵۸	۱۱/۱۰
		جریان سطحی (m^3/s)	۰/۰۰۰	۰/۰۲	۳/۷۸
		جریان پایه (m^3/s)	۱/۰۴۶	۲/۵۶	۱۰/۲۰
		شاخص جریان سطحی (٪)	۰/۰۰	۰/۲۸	۵۱/۸۶
		شاخص جریان پایه (٪)	۴۸/۱۴	۹۹/۷۲	۱۰۰/۰۰

مقایسه نتایج الگوریتم‌های مختلف روش RDF

در جدول (۱۰) مقایسه عملکرد الگوریتم‌های مختلف روش RDF برمبنای روش محتوای ایزوتوپی-اکسیژن پایدار ۱۸ برای چشمه کهمان ارائه شده است. همچنین در شکل (۳) عملکرد الگوریتم‌های مختلف برای جداسازی جریان پایه ارائه شده است.

جدول (۱۰). مقایسه عملکرد الگوریتم‌های مختلف روش RDF

نام الگوریتم	ضریب تعیین R^2	جذر میانگین مربعات خطا RMSE	ضریب تعیین تعدیل‌شده $R^2_{adjusted}$
تک پارامتری	۰/۹۶۲	۱/۲۷۷	۰/۹۵۸
دو پارامتری	۰/۹۶۲	۱/۲۷۷	۰/۹۵۸
سه پارامتری	۰/۹۹۰	۰/۲۴۸	۰/۹۹۰
لینه و هولیک	۰/۹۹۳	۰/۳۱۴	۰/۹۹۳
چاپمن	۰/۹۵۶	۱/۲۶۹	۰/۹۵۲
اکهاردت	۰/۹۸۰	۰/۳۷۴	۰/۹۸۰
ایما	۰/۹۹۴	۰/۳۱۳	۰/۹۹۳
فیوری و گوپتا	۰/۹۹۴	۰/۳۱۵	۰/۹۹۳
متوسط الگوریتم‌ها	۰/۹۷۹	۰/۶۷۳	۰/۹۷۷

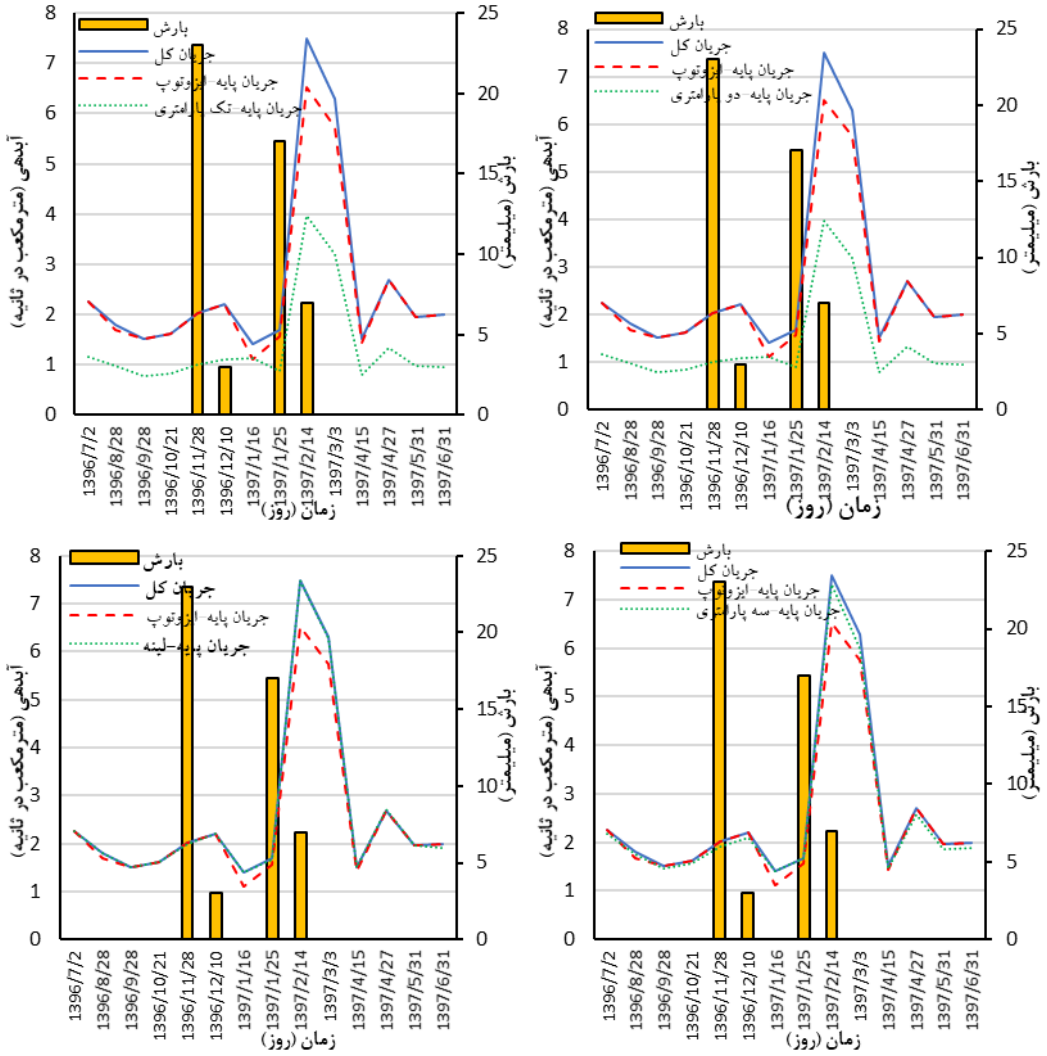
با توجه به جدول (۱۰) مشاهده می‌شود که عملکرد الگوریتم‌های سه پارامتری، لینه و هولیک، اکهاردت، ایما و فیوری و گوپتا از نظر شاخص‌های آماری بسیار خوب بوده است ولی باید این مطلب را در نظر گرفت که برخی از این الگوریتم‌ها همه جریان را به‌عنوان جریان پایه در نظر گرفته‌اند که نیاز به بررسی بیشتر دارد. این مطلب در شکل (۳) بیشتر موردبررسی قرارگرفته است.

با توجه به شکل (۳) مشاهده می‌شود که الگوریتم‌های تک پارامتری و دو پارامتری برآورد کمتری از روش ایزوتوپی برای جریان پایه در چشمه کهمان داشته است. الگوریتم چاپمن هم جریان پایه را کمتر از روش محتوای ایزوتوپی برآورد کرده است. با توجه به شکل (۳) مشاهده می‌شود که در الگوریتم سه پارامتری، برآورد نقطه حداکثری جریان پایه بیشتر از روش ایزوتوپی در چشمه کهمان بوده است. با توجه به شکل (۳) مشاهده می‌شود که الگوریتم اکهاردت عملکرد خوبی در برآورد جریان پایه نسبت به روش محتوای ایزوتوپی داشته

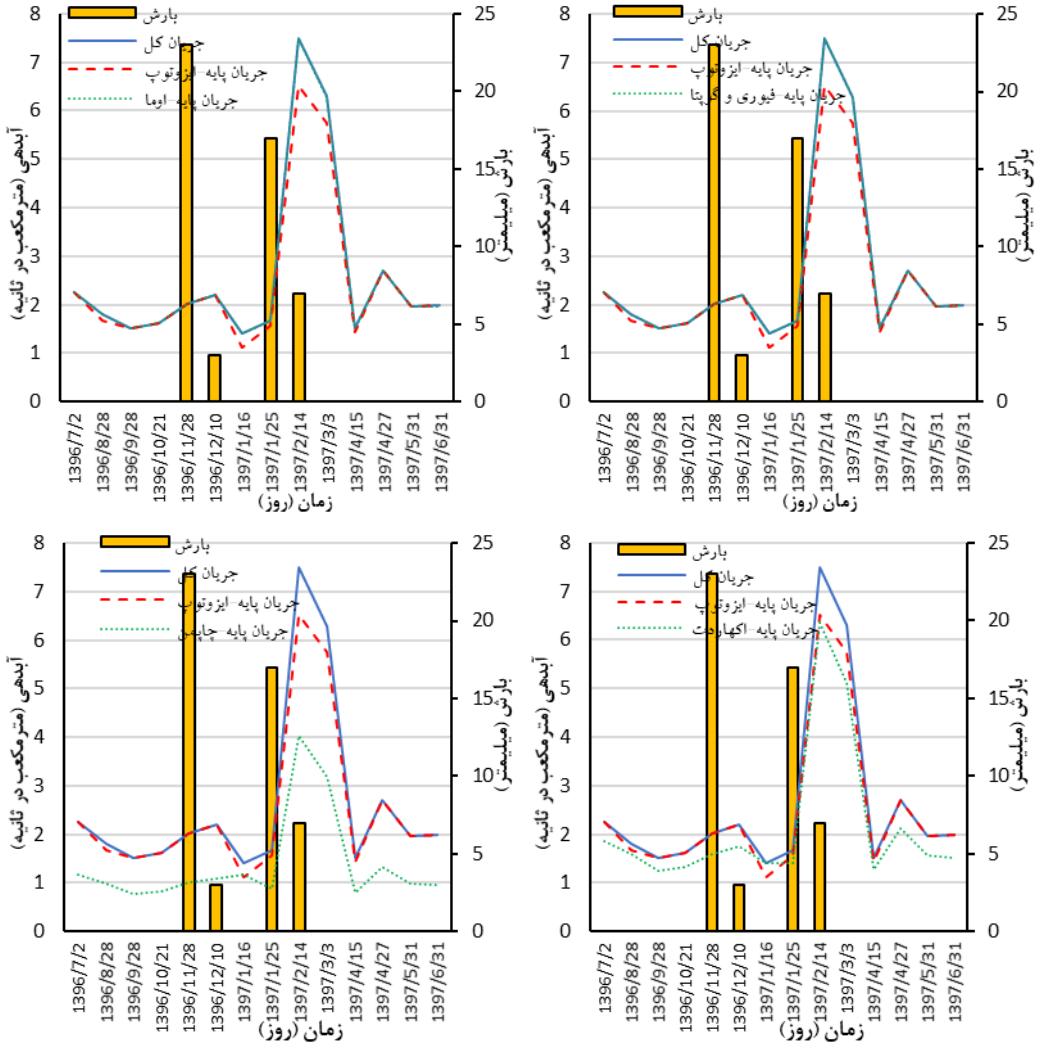
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.88.1]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.269]

است. با توجه به شکل (۳) مشاهده می‌شود که الگوریتم‌های لینه و هولیک، ایما و فیوری و گوپتا همه جریان را به‌عنوان جریان پایه در نظر گرفته‌اند.

با بررسی جدول (۱۰) و شکل (۳) مشخص شد که الگوریتم اکهاردت عملکرد منطقی‌تر و بهتری از جریان پایه بر مبنای روش محتوای ایزوتوپی برای چشمه کهمان داشته است. لذا در شکل (۴) جداسازی جریان پایه با این الگوریتم برای کل دوره آماری ارائه شده است.

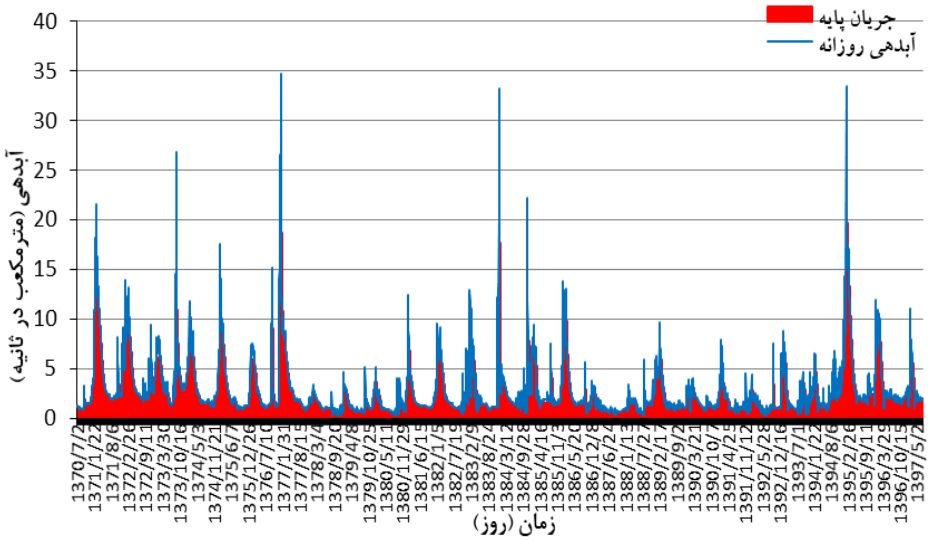


[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.88.1]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.269]



شکل (۳). مقایسه الگوریتم‌های مختلف روش RDF با مقادیر ایزوتوپی اکسیژن ۱۸- چشمه کهمان.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.88.1]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.269]



شکل (۴). هیدروگراف جدایش جریان پایه چشمه کهمان- روش RDF- الگوریتم اکهاردت-دوره آماری ۹۷-۱۳۷۰.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به‌منظور جداسازی جریان پایه چشمه کارستی کهمان در شهرستان الشتر، از روش فیلتر دیجیتال بازگشتی استفاده شد. آبدهی روزانه یک دوره ۲۷ ساله (سال آبی ۷۱-۱۳۷۰ تا ۹۷-۱۳۹۶) برای چشمه کهمان مورداستفاده قرار گرفت. نمونه‌برداری در سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ صورت گرفته است و با آنالیز نمونه‌ها در آزمایشگاه شرکت مصباح انرژی ایران، از نتایج آن در این مطالعه استفاده گردید. نتایج نشان داد که الگوریتم اکهارت از بین دیگر الگوریتم‌های روش فیلتر دیجیتال بازگشتی برمبنای روش محتوای ایزوتوپی دارای عملکرد بهتری بوده است. متوسط جریان پایه جداسازی شده در چشمه کهمان با این الگوریتم در کل دوره آماری برابر ۲/۱۲ مترمکعب در ثانیه و در سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ برابر ۲/۰۶ مترمکعب در ثانیه می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر شاخص جریان پایه و آب سطحی در کل دوره آماری و سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ به ترتیب برابر ۸۱ و ۱۹ درصد به‌دست‌آمده است.

منابع

حصاری، ب.، یوسفی، پ.، علی نیا، م. (۱۳۹۸). **مقایسه اثر روش‌های مختلف فیلترکردن جریان‌های روزانه برای جداسازی جریان پایه (مطالعه موردی: رودخانه‌های غرب دریاچه ارومیه)**. اکوهیدرولوژی. (۲) ۶: ۳۲۱-۳۰۵.

زارعی، ح. (۱۳۹۱). **تفکیک جریان پایه از رواناب سطحی با استفاده از تکنیک‌های ایزوتوپی و ردیاب‌های هیدروشیمیایی-حوضه کارستی مناطق نیمه‌خشک**. پایان‌نامه دکتری، هیدرولوژی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.88.1]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.269]

کاظمی، ر.، قرمز چشمه، ب. (۱۳۹۵). **بررسی روش‌های مختلف استخراج جریان پایه با استفاده از شاخص منحنی تداوم جریان (مطالعه موردی: ناحیه خزری)**. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک، (۲)۲۳: ۱۳۱-۱۳۱.

مالی، س.، ض، محمدی. (۱۳۹۳). **ارزیابی روش‌های برآورد جریان پایه در چشمه‌های کارستی، مطالعه‌ی موردی چشمه‌های پیرغار و دیمه.** فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته. شماره ۱۴: ۲۲-۳۷.

مهری، س.، مصطفی‌زاده، ر.، اسمعلی عوری، ا.، قربانی، ا. (۱۳۹۶). **مقایسه روش‌های جداسازی جریان پایه رودخانه و تغییرات فصلی آن در تعدادی از آبخیزهای استان اردبیل**. نشریه حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی. (۲) ۶: ۱۳۷-۱۲۳.

Aksoy, H., I. Kurt and E. Eris., (2009), **Filtered smoothed minima baseflow separation method**. Journal of Hydrology, 372(1–4): 94-101.

Boughton, W.C., (1993), **A hydrograph-based model for estimating water National Conference**. Pub, 93/14: 317-324.

Chapman, T., (1999), **A comparison of algorithms for streamflow recession and baseflow separation**. Hydrological Processes, 3: 701–714.

Chapman, T.G. and A.I. Maxwell., (1996), **Baseflow separation-comparison of numerical methods with tracer experiments**. Hydrology and Water Resources Symposium, Institution of Engineers, Australia, Hobart: 539-545.

Eckhardt. K., (2008), **A comparison of baseflow indices, which were calculated with seven different baseflowseparation methods**. Journal of Hydrology, 352: 168– 173.

Falamarzi, B., H. Zarei, F. Radmanesh and M. Bagherian Marzouni., (2014), **Study on Baseflow Separation of "Abolabas River" Using ADUKIH and RDF Methods**. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 2(9): 2616-2626.

Furey, P.R. and V.K. Gupta., (2001), **A physically based filter for separating base flow from streamflow time series**. Water Resources Research, 37(11): 2709-2722.

Lyne, V. and M. Hollick., (1979), **Stochastic time-variable rainfall–runoff modelling. In: Hydrology and Water Resources Symposium**. Institution of Engineers, Australia, Perth: 89–92.

Minea, I., (2017), **Streamflow-Base Flow Ratio in a Lowland Area of North-Eastern Romania**. Water Resources and the Regime of Water Bodies, 44 (4):579-585.

Rudra, R., I. Ahmed, A.A. Khan and K.G. Singh., (2015), **Use of Baseflow Indices to Delineate Baseflow Dominated and Rapid Response Flow Dominated Watersheds**. Canadian Biosystems Engineering / Le Genie des biosystems au Canada, 57: 1.1-1.11.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.88.1]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.269]