دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال هجدهم، شماره‌ی ۶۳
پاییز ۱۳۹۷، صفحات ۲۰۶-۱۸۱

*علی دسترنج[۱]
جواد رفیع شریف‌آباد[۲]
مریم جعفری اقدم[۳]
احمد نوحه‌گر[٤]
آرش ملکیان[٥]
حمید غلامی[٦]

ارزیابی روش‌های هیدرودینامیکی در توسعه سیستم‌کارست‌درونی (مطالعه موردی: توده‌های آهکی بیستون و دالاهو)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٦/۰۲/۱۰

چکیده

به دلیل تفاوت در سازندهای کربناته، زمین‌ساخت، شرایط اقلیمی، لندفرم‌های سطحی، توپوگرافی، توسعه کارست در دو توده دالاهو و بیستون، یکسان نمی‌باشد. همین امر، سبب تفاوت در رفتار هیدرودینامیکی آبخوان‌های مورد بررسی گردیده است. بدین منظور، از روش‌های خودهمبستگی، چگالی طیفی و آنالیز منحنی‌فرودهیدروگراف برای ارزیابی میزان توسعه‌یافتگی و شناخت رفتار هیدرودینامیکی آبخوان‌های کارستی توده‌های آهکی مورد بررسی استفاده گردیده شده است. جمع‌بندی‌ها، حاکی از تطابق قابل‌قبول نتایج حاصل از روش‌های سری‌های زمانی و فرود هیدروگراف می‌باشد. در این سه روش، جریان‌های پایه و سریع موجود در آبخوان‌ها شناسایی شده و میزان آن‌ها برآورد گردیده است؛ اما نتایج روش فرودهیدروگراف برای چشمه‌های توسعه یافته، با واقعیت مناطق انطباق بیش‌تری را نشان می‌دهند. این روش، برای چشمه‌های با درجه توسعه‌کارستی بالا مناسب بوده و جریان سریع را با دقت بالاتری شناسایی می‌نماید، در حالی که نتایج حاصل از روش سری‌زمانی برای چشمه‌های با درجه توسعه کارست بالا قابل انطباق بالایی نمی‌باشد. در نهایت می‌توان گفت این روش‌ها، کاربرد مناسبی در

*۱- دانش‌آموخته دانشگاه هرمزگان. (نویسنده مسؤل). E-mail: Dastranj66@gmail.com
۲- دانش‌آموخته دانشگاه هرمزگان.
۳- دانش‌آموخته دانشگاه اصفهان.
٤- عضو هیأت علمی دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران، دانشگاه تهران، ایران.
٥- عضو هیأت علمی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، دانشگاه تهران، ایران.
٦- عضو هیأت علمی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان، دانشگاه هرمزگان، ایران.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ارزیابی میزان توسعه شبکه درونی کارست داشته و نتایج آن‌ها با ژئومورفولوژی کارست سطحی و نوع تغذیه از طریق آن تطابق دارد.

کلید واژه‌ها: منحنی فرود هیدروگراف، خودهمبستگی، چگالی طیفی، بیستون، دالاهو.

مقدمه

کارست عمدتا در سنگ‌های قابل انحلال، به‌ویژه سنگ آهک، مرمر و دولومیت (سنگ‌های کربناته) شکل می‌گیرد اما در سنگ‌های ژیپس و نمک (سنگ‌های تبخیری) هم دیده می‌شود (Khoshraftar, 2016: 40). مساحت سازندهای کربناته در ایران، ۱۸۵ هزار کیلومترمربع است که از این میزان، ۵۵/۲٪ آن در زاگرس واقع شده است (Raeisi, 2002: 340). به تعبیری، ۱۱٪ از سطح ایران و ۹۰٪ از مساحت زاگرس، از سازندهای کارستی پوشیده شده است (Afrasiaban, 1998: 127). مطالعه جریان آب در سیستم‌های کارستی به لحاظ ویژگی‌های هیدرودینامیکی (هیدورلوژیکی)، به علت عدم دسترسی مستقیم به شبکه کارست درونی صورت می‌پذیرد، زیرا این عدم دسترسی مانعی در راه مطالعه و بررسی شبکه کارست درونی و میزان توسعه آن می‌باشد. پاسخ هیدرودینامیکی مشاهده شده در سیستم‌های کارستی، بستگی به شرایط جریان در آن‌ها دارد. شرایط جریان در سیستم کارستی وابسته به سلسله‌مراتب جریان، تنظیم خروجی و سازمان‌دهی شبکه زهکشی در مناطق غیراشباع است که توسط ساختار سیستم کارستی تعیین می‌گردد (Lastennet and Mudry, 1997: 127)؛ به عبارت دیگر، کارست سطحی، میزان توسعه و ویژگی‌های هیدرودینامیکی آبخوان‌های کارستی را به واسطه تعیین نوع نفوذ (منتشر، متمرکز یا مخلوط) کنترل نموده و در مقابل نیز، میزان توسعه شبکه کارست درونی، با شناخت نوع جریان (مجرایی، افشان و یا مخلوط) و حجم ذخیره دینامیکی آبخوان، توسط روش‌های هیدرودینامیکی، مشخص می‌گردد. مشاهدات ژئومورفولوژیکی در مقیاس کوچک و بزرگ به همراه بررسی‌های هیدرولوژیکی و هیدروشیمیایی، کلیدی برای دستیابی به اطلاعاتی در مورد چگونگی شکل‌گیری یک سیستم کارست زیرسطحی می‌باشد (Ford & Williams, 2013). منابع آب کارستی مهم‌ترین منبع تأمین آب در استان کرمانشاه می‌باشند. جوامع روستا و شهری اطراف برای مقاصد شرب و کشاورزی از آب این آبخوان‌ها استفاده می‌نمایند. با توجه به افزایش تقاضای آب و نقش حیاتی آن در ابعاد مختلف زندگی مردم منطقه و وجود نوسانات بارشی در آن، شناخت ویژگی‌های هیدرودینامیکی و میزان توسعه‌یافتگی سیستم کارستی آبخوان‌ها یک نیاز اساسی جهت مدیریت علمی منابع آب و بررسی شبکه کارست درونی و میزان توسعه آن می‌باشد. هدف از این پژوهش، ارزیابی میزان توسعه‌یافتگی و شناخت رفتار هیدرودینامیکی آبخوان‌های کارستی توده‌های بیستون و دالاهو و عوامل موثر بر آن‌ها با استفاده از مقایسه و ارزیابی روش‌های سری زمانی و آنالیز منحنی فرودهیدروگراف می‌باشد تا بدین وسیله بتوان به روشی دقیق و جامع به‌منظور انجام مطالعات هیدرودینامیکی آبخوان‌های مورد بررسی دست یافت. آنالیز منحنی فرودهیدروگراف، روشی مهم در بررسی‌های هیدرولوژیکی به منظور ارائه تفسیر از خصوصیات و ویژگی آبخوان‌های

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

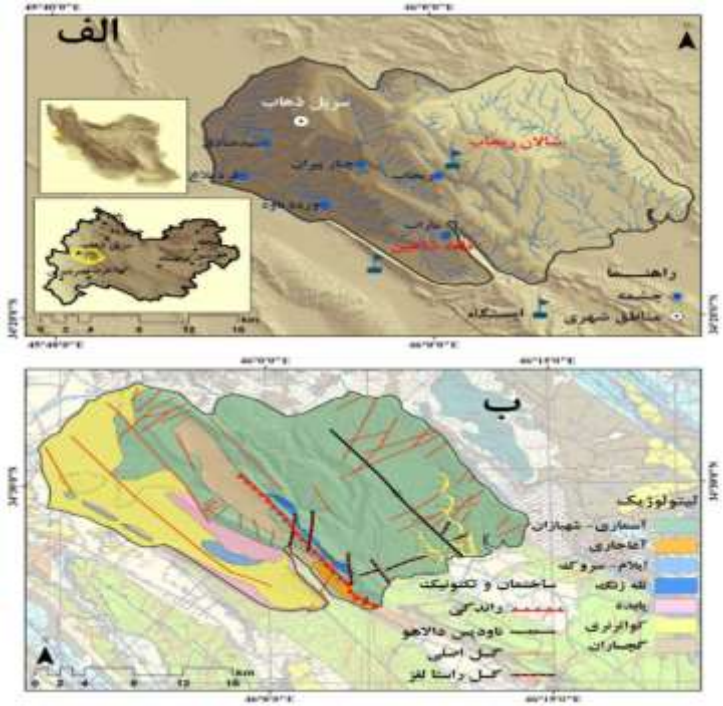
کارستی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Kresic and Bonacci, 2010: 130). منحنی فرود هیدروگراف، منعکس‌کننده ویژگی‌های جریان در آبخوان است. جریان آشفته (سریع) توسط سیستم مجرایی رخ داده و جریان خطی (پایه) توسط آب نفوذی از ماتریکس و حجم ذخیره دینامیکی تامین می‌شود (Padilla & Bosch, 1995: 27). محققان بسیاری از جمله Cooper (1963)؛ Drogue (1967)؛ Padilla (1994)؛ Griffiths (1997)؛Kresic and Bonacci (2010)، از این روش استفاده نموده‌اند. داده‌های سری زمانی اطلاعات مفیدی در مورد الگوی زمانی، تنوع فرآیندهای هیدرولوژیکی و ویژگی‌های پاسخ‌های فشاری در آبخوان کارستی ارائه می‌کنند (Duffy and Gelhar, 1986: 1117). برای اولین بار Mangin (1981) روش‌های مورد استفاده در تجزیه‌وتحلیل سری‌های زمانی را که توسط Watts (1968) ابداع گردیده بود را، به‌منظور تجزیه‌وتحلیل عملکرد آبخوان‌های کارستی مورد استفاده قرار داد. به منظور آنالیز سری‌های زمانی دو روش تک متغیره (خودهمبستگی، آنالیز طیفی) و دو متغیره (همبستگی متقابل، تجزیه‌وتحلیل متقابل و تحلیل طیفی) (Goldscheider and Drew, 2007: 207) وجود دارد که در این پژوهش به دلیل ماهانه بودن اطلاعات دبی چشمه‌ها از روش‌های تک متغیره استفاده گردیده شده است. در روش خودهمبستگی که تغییرات چرخه‌ای دبی و حافظه سیستم کارستی مورد ارزیابی و نمایش قرار می‌گیرد، مقایسه سری زمانی دبی با خود دبی است. به منظور نشان دادن دورهٔ تناوب در سری‌های زمانی نیز، از آنالیز چگالی طیفی بهره گرفته می‌شود (Box et al, 2015). چگالی طیفی به‌عنوان مکمل آنالیز همبستگی، تغییرات دبی را آنالیز می‌نماید (Padilla & Bosch, 1995: 518). با تفسیر تابع چگالی طیفی، قله‌های مختلف نشان دهنده رخدادهای دوره‌ای (دبی‌های متغیر) بوده که منجر به شناخت خصوصیات سیستم کارستی می‌شود (Larocque et al, 1998: 218).

محدوده منطقه مورد مطالعه

کوهستان دالاهو با مساحت ٦٨٠ کیلومتر مربع، به فاصله بسیار کم در شرق و جنوب‌شرق شهرستان سرپل ذهاب گسترده شده و دسترسی به آن، از روستاهای اطراف آن امکان‌پذیر است. این کوهستان با روند شمال‌غرب–جنوب‌شرق، بین عرض‌های جغرافیایی ′٢٣ °٣٤ تا′٣٧ °٣٤ شمالی و طول‌های جغرافیایی ′٤٨ °٤٥ تا ′١٥ °٤٦ شرقی، واقع شده است. ارتفاع حداکثر و حداقل آن، به‌ترتیب ٢٥٧٧ و ٤٩٩ متر از سطح دریا می‌باشد. چشمه‌های ریجاب، ماراب، چنارپیران، سیدصادق، قره‌بلاغ و ورده ناوه از این آبخوان، تغذیه می‌شوند (شکل ١، الف). توده آهکی دالاهو در واحد ساختمانی زاگرس چین‌خورده واقع گردیده و در آن رخنمون‌های از سنگ‌های کرتاسه فوقانی تا کواترنری: سازند ایلام (آهک رسی)، سازند پابده (مارن و شیل با بین لایه‌های سنگ آهک مارنی)، سازند تله زنگ (سنگ آهک متوسط تا ضخیم لایه خاکستری تا کرم رنگ)، سازند آسماری–شهبازان (سنگ آهک، سنگ آهک دولومیتی)، سازند گچساران (گچ و مارن) و آبرفت‌های کواترنری دیده می‌شود. به لحاظ زمین ساخت نیز، گسل‌های اصلی و رانده بسیاری در این توده شکل گرفته است (شکل ١، ب). به علت فراهم بودن شرایط کارست‌زائی، لندفرم‌های کارستی متنوعی در توده مورد مطالعه شکل گرفته، اما به دلیل تفاوت در متغیرهای کارست‌زائی از جمله توپوگرافی، تکتونیک، اقلیم، لیتولوژی و شرایط ژئومورفولوژیکی، میزان توسعه کارست در نواحی مختلف آن یکسان نمی‌باشد. لندفرم‌های

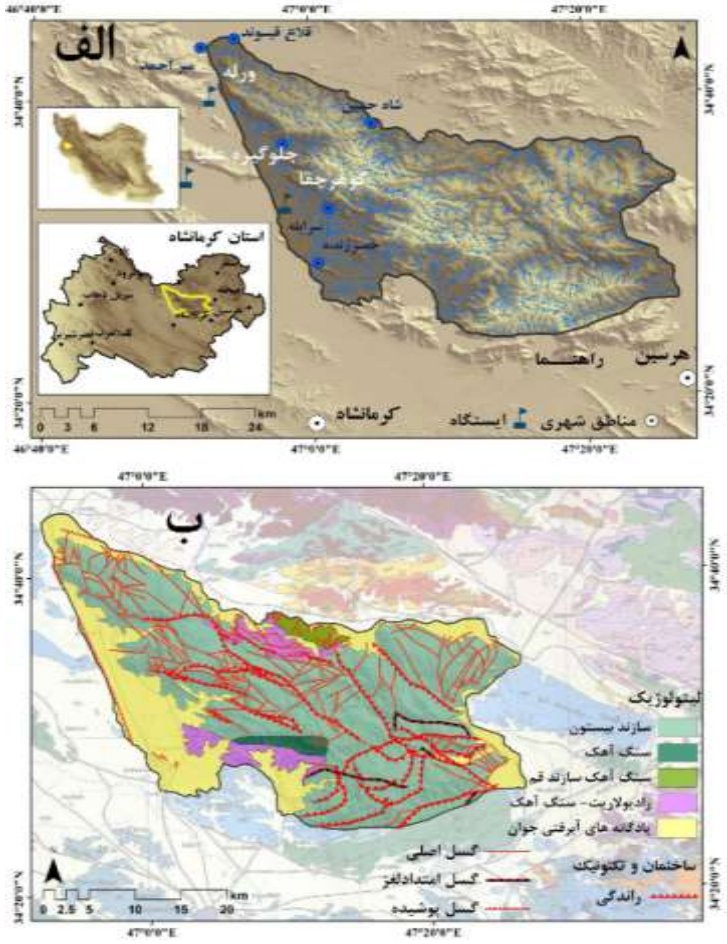
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

کارستی بسیاری در منطقه شکل‌گرفته‌است که فرو چاله‌ها (سینکهول‌ها)، چاه‌های مکنده (پونور)، کارن، کارن فیلد، غار، دشت‌های آهکی (پولیه) و ... از آن جمله می‌باشند. آبخوان بیستون، منطبق بر کوهستان بیستون، در فاصله بسیار کوتاهی در شمال و شمال‌شرقی شهر کرمانشاه واقع شده و شهرهای صحنه و هرسین نیز با فاصله بسیار کوتاهی در شرق و جنوب‌شرقی آن واقع شده‌اند. مساحت این آبخوان، ۱۰۱۵ کیلومترمربع می‌باشد. این کوهستان، با روند شمال‌غرب–جنوب‌شرق، بین عرض‌های جغرافیایی ′۲٤ °۳٤ تا ′٤٤ °۳٤ شمالی و طول‌های جغرافیایی ′۵۲ °٤٦ تا ′۲۷ °٤۷ شرقی واقع شده است. ارتفاع حداکثر و حداقل آن، به‌ترتیب ۳٤۰۰ و ۱۲۹٦ متر از سطح دریا می‌باشد که نشان از مرتفع بودن این کوهستان دارد (شکل ۲، الف). توده‌آهکی بیستون در واحد ساختمانی زاگرس مرتفع واقع گردیده و در آن رخنمون‌های از سنگ‌های کرتاسه‌فوقانی تا کواترنری دیده می‌شود که شامل سازند بیستون (آهک ضخیم لایه بیستون)، سازند قم (آهک‌های کرم رنگ متوسط تا ضخیم لایه سنگواره دار) و آبرفت‌های کواترنری می‌باشند. فعالیت گسل‌های معکوس و بزرگ به صورت صفحات رورانده، عامل مهم توجیه ناهمواری‌های بیستون می‌باشد (شکل ۲، ب). در زون زاگرس مرتفع، لایه‌های آهکی بر اثر راندگی بر روی هم قرار گرفته و سیستم‌های فلسی را به‌وجود آورده و این امر شکل دهنده تاقدیس‌های زون زاگرس مرتفع می‌باشد. سرچشمه چشمه‌های توده بیستون شامل میراحمد، ورمنجه، شاه‌حسین، سرابله، خضرزنده و قلاع قیسوند در سازند آهکی بیستون می‌باشد. در این توده آهکی نیز به دلیل وجود آهک ضخیم لایه بیستون، اشکال سطحی توسعه یافته‌ای همچون فرو چاله‌ها (سینکهول‌ها)، کارن، کارن فیلد، غار و دشت‌های آهکی (پولیه) شکل گرفته است. لازم به ذکر است که معیار مرزبندی آبخوان در این پژوهش، کوهستان (توده) بیستون و دالاهو بوده که دارای توده آهکی دوره کرتاسه و پالئوسن می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه موقعیت (الف) و زمین‌شناسی، (ب) توده‌های آهکی دالاهو

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ۲: نقشه موقعیت (الف) و زمین‌شناسی (ب) توده‌های آهکی بیستون

مواد و روش‌ها

این پژوهش یک تحقیق توسعه‌ای-کاربردی مبتنی بر روش‌های کتابخانه‌ای، میدانی و ارزیابی توسعه شبکه کارست درونی دو توده آهکی بیستون و دالاهو می‌باشد. در این دو توده، به علت تفاوت در سازندهای کربناته (ضخامت، خلوص)، زمین‌ساخت (گسل، درزه و شکاف)، شرایط اقلیمی (دما، بارش)، لندفرم‌های سطحی، توپوگرافی، توسعه کارست یکسان نمی‌باشد. همین امر، سبب تفاوت در رفتار هیدرودینامیکی آبخوان‌های مورد بررسی گردیده است. در طی بازدیدهای میدانی، ژئومورفولوژی کارست سطحی منطقه شناسایی گردید. فروچاله‌های کارستی (سینکهول ها) با استفاده از روش‌های مورد نظر شناسایی و نتایج با برداشت‌های میدانی دقت سنجی گردید. منشاء کارستی بودن آب چشمه‌های تغذیه شده از توده‌های آهکی بیستون و دالاهو با استفاده از بررسی‌های هیدروشیمیایی (شیمی آب) تائید گردید. از داده‌های کمی و کیفی ایستگاه‌های هیدرومتری شاه‌حسین، ورمنجه، میراحمد، خضرزنده، قلاع قیسوند و سرابله در توده آهکی بیستون و ورده ناوه، قره بلاغ، چنارپیران، ریجاب، سیدصادق و ماراب در توده آهکی دالاهو و داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی جلوگیره علیا، گوهرچقا، ورله، کلاوه در توده بیستون و ایستگاه‌های قلعه شاهین، ریجاب در توده دالاهو به منظور محاسبات هیدرولوژیکی و هیدروشیمیایی (شیمی‌آب) و همچنین بررسی اقلیمی

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

آبخوان‌های مورد مطالعه بهره گرفته شده است. در ادامه، به منظور بررسی رفتار هیدرودینامیکی آبخوان‌ها و تفاوت‌های موجود در آن‌ها، به بررسی و مقایسه سه روش: آنالیز منحنی فرود هیدروگراف و تحلیل سری‌های زمانی (خودهمبستگی، چگالی‌طیفی) برای دستیابی به روشی مناسب به منظور ارزیابی ویژگی‌های هیدرودینامیکی و شناخت سیستم کارست‌درونی توده‌های مورد بررسی و آبخوان‌های تشکیل‌دهنده آن‌ها پرداخته شد (شکل ۱، الف و ۲، ب).

- منحنی فرود هیدروگراف

Malik (2007) معتقد است که ممکن است در یک آبخوان کارستی، چندین زیر رژیم خطی و آشفته وجود داشته باشد. نوع جریان و میزان توسعه سیستم کارستی یک آبخوان را می‌توان با ترسیم منحنی فرود چشمه به‌صورت نیمه لگاریتمی که در آن دبی بر حسب لیتر بر ثانیه بر روی محور عمودی در برابر زمان‌بر حسب روز بر روی محور افقی با مقیاس عددی، قرار می‌گیرد، مشخص نمود. این منحنی در واقع یال نزولی هیدروگراف چشمه‌ها است. از آنجا که خطوط مذکور در سیستم نیمه لگاریتمی به صورت خطی ترسیم می‌گردند و نیز از آنجا که این خطوط روند کاهنده دارند، لذا تابعی که به آن‌ها برازش داده می‌شود، از نوع نمایی معکوس خواهد بود. در واقع، روند داده‌ها به‌صورت یک خط مستقیم و یا یک خط شکسته، با شیب‌های مختلف ظاهر می‌شود. شیب خط و یا خطوط شکسته ایجاد شده، به عنوان ضریب یا ضرایب دبی در نظر گرفته می‌شوند. منحنی فرود شامل دوره زمانی بین دبی پیک حداکثر تا زمان افزایش مجدد دبی در پایان دوره منحنی فرود می‌باشد (Malík & Vojtková, 2012: 2247). منحنی فرود چشمه از دبی حداکثر پایان دوره تر آغاز شده و تا زمان افزایش مجدد دبی در شروع دوره تر بعدی، ادامه می‌یابد و در این مدت، دبی چشمه‌ها از آب‌های ذخیره شده در سفره آب‌زیرزمینی تأمین می‌گردد. رابطه کلی تابع مذکور، به صورت زیر است (رابطه ۱) (Milanovic, 1981).

رابطه (۱)
$$\alpha = \frac{\mathrm{LogQ_{0}} - \mathrm{LogQ_{t}}}{0.4343\ (t - t_{0})}$$

در این معادله، α ضریب آبدهی، Q_0 دبی چشمه بر حسب متر مکعب در ثانیه در زمان t_0، Q_t دبی چشمه بر حسب متر مکعب در ثانیه در زمان t است.

به منظور محاسبه زیر رژیم خطی از رابطه (۲) که تابع‌نمایی بوده و توسط Forkasiewicz & Paloc (1967) برای جریان خطی پیشنهاد شده است، استفاده می‌گردد.

رابطه (۲)
$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$$

در این معادله، Q_t آبدهی در زمان t (مترمکعب/ثانیه)، Q_0 آبدهی قبلی در زمان 0، e پایه لگاریتم طبیعی و α ضریب فروکش چشمه می‌باشد که بر اساس روش مایلت محاسبه می‌شود.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

برای محاسبه زیر رژیم آشفته نیز از رابطه (۳) که یک تابع خطی است و توسط Kullman (1980) برای جریان آشفته ارائه گردیده، استفاده می‌شود.

رابطه (۳) $$Q_t = Q_0(1-\beta t)$$

در رابطه (۳)، Q_t آبدهی در زمان t (مترمکعب/ثانیه)، Q_0آبدهی قبلی در زمان ۰ و β ضریب فروکش در جریان آشفته بوده که برابر با شیب منحنی فروکش می‌باشد و t مدت زمان افت منحنی فروکش است.

به منظور برآورد درجه توسعه کارست آبخوان‌های کارستی، با استفاده از روش ارائه شده توسط Malík & Vojtková (2012) منحنی تاریسمان هر چشمه ترسیم و معادله منحنی فرود آن نیز محاسبه گردید (جدول ۱). لازم به ذکر است از نرم‌افزار Excel 2010 به منظور محاسبات بهره گرفته شده است.

جدول ۱- درجه توسعه کارست آبخوان‌ها براساس محاسبه معادله منحنی‌فرود (Malík & Vojtková, 2012)

مشخصه‌های درجه کارستی فیکاسیون	مشخصه‌های پارامترهای منحنی فرود	مشخصه‌های معادله منحنی فرود	نوع زیر رژیم‌های جریان آب زیرزمینی	درجه توسعه کارست
مناطق خرد شده گسلی با و گردش عمقی آب	$\alpha_1<0.001$ $\alpha_1=0.001$ -0.0025	$Q_t = Q_1e^{-\alpha t}$	یک زیر رژیم با مقادیر کم α	۰/۵ ۱
مناطق تکتونیزه گسلی با نفوذپذیری بالا	$\alpha_1>0.007$ $\alpha_1=0.0025$ -0.007	$Q_t = Q_1e^{-\alpha t}$	یک زیر رژیم با مقادیر بالای α	۲ ۲/۳
آبخوان‌های با غلبه درزه و شکاف های کوچک	$\alpha_1<0.0024$ $\alpha_2<0.033$ $\alpha_1=0.0024$-0.0045 $\alpha_2=0.033$-0.067	$Q_t = Q_1e^{-\alpha 1t} + Q_2e^{-\alpha 2t}$	دارای دو یا چند زیر رژیم خطی با مقادیر کم α	۲/۵ ۲/۷ ۳
توسعه نامنظم آبخوان، غلبه شکاف‌های بزرگ و وجود مجراهای کوچک	$\alpha_1=0.0024$-0.0043 $\alpha_2=0.06$-0.16 $\alpha_1>0.0043$ $\alpha_2<0.06$ $\alpha_1=0.0041$-0.018 $\alpha_1=0.055$-0.016	$Q_t = Q_1e^{-\alpha 1t} + Q_2e^{-\alpha 2t}$	دارای دو یا چند زیر رژیم خطی با مقادیر بالا α	۳/۵ ۳/۷ ۴
آبخوان تکتونیزه (گسل) شبکه متراکم درزه ها و وجود مجراها	$\alpha_1>0.018$ $\alpha_1>0.16$ β و α با مقادیر کم	$Q_t = Q_1e^{-\alpha 1t} + Q_{04} +(1-\beta_1 t)$	دارای زیر رژیم‌های آشفته و خطی که غلبه با جریان خطی می‌باشد	۴/۳ ۴/۷ ۵
درزه و شکاف‌های بسیار متراکم با بازشدگی زیاد و وجود مجراهای	$\alpha_1>0$ $\alpha_2>0$ $\beta_1>0$	$Q_t = Q_1e^{-\alpha 1t} + Q_2e^{-\alpha 2t} + Q_{04} +(1-\beta_1 t)$	دارای یک زیر رژیم آشفته و دو زیر رژیم خطی	۵/۵
درزه و شکاف‌های بسیار متراکم با بازشدگی زیاد و وجود مجراهای بزرگ	β و α با مقادیر بالا	$Q_t = Q_1e^{-\alpha 1t} + Q_2e^{-\alpha 2t} + Q_{04} +(1-\beta_1 t)+Q_{05} +(1-\beta_2 t)$	دارای دو زیر رژیم آشفته و دو زیر رژیم خطی و غلبه زیر رژیم‌های خطی در تخلیه	۶

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۱- درجه توسعه کارست آبخوان‌ها براساس محاسبه معادله منحنی‌فرود (Malík & Vojtková, 2012)

مشخصه‌های درجه کارستی فیکاسیون	مشخصه‌های پارامترهای منحنی فرود	مشخصه‌های معادله منحنی فرود	نوع زیر رژیم‌های جریان آب زیرزمینی	درجه توسعه کارست
آبخوان توسعه یافته وجود درزه و شکاف‌های بسیار بزرگ ناشی از تکتونیزه شدن و مجرهای بزرگ	α و β با مقادیر بالا $\beta1 > \beta2$	$Q_t = Q_1e^{-\alpha 1t} + Q_{04} +(1\beta_1t)+Q_{05} +(1-\beta_2t)+Q_{06} +(1-\beta_3t)$	یک زیر رژیم خطی و دو یا سه زیر رژیم آشفته، رژیم خطی نقش اصلی را در تخلیه دارد	۷
آبخوان با توسعه بالای کارستی، وجود مجرهای بزرگ و کاهش نقش درزه و شکاف ها در تخلیه	α و β با مقادیر بالا	$Q_t = Q_1e^{-\alpha 1t} + Q_{04} +(1\beta_1t)+Q_{05} +(1-\beta_2t)+Q_{06} +(1-\beta_3t)$	یک زیر رژیم خطی و دو یا سه زیر رژیم آشفته، رژیم آشفته نقش اصلی را در تخلیه دارد	۸
آبخوان کارستی با سیستم مجرای به خوبی توسعه یافته	$\alpha_2,\alpha_1>0$ $\beta_1>0$	$Q_t=Q_{04}(1-\beta_1t)$	وجود یک جریان آشفته و تخلیه وابسته به منطقه وادوز می‌باشد	۸/۵
آبخوان کارستی با سیستم مجرای به خوبی توسعه یافته و ارتباط کم با منطقه فراتیک	β_1 و β_2 مقادیر کم	$Q_t = Q_{04} +(1-\beta_1t)+Q_{05} +(1-\beta_2t)$	دارای دو زیر رژیم آشتفه	۹
آبخوان کارستی با سیتم مجرای به خوبی توسعه یافته و تخلیه از منطقه وادوز	β_1 و β_2 و β_3 مقادیر بالا	$Q_t = Q_{04} +(1\beta_1t)+Q_{05} +(1-\beta_2t)+Q_{06} +(1-\beta_3t)$	دارای سه زیر رژیم آشفته متفاوت	۱۰

- آنالیز سری‌های زمانی

خودهمبستگی

در این روش، تغییرات چرخه‌ای دبی با ویژگی‌های شبکه کارست درونی آبخوان‌های کارستی ارتباط دارد. به منظور محاسبه خودهمبستگی از رابطه‌های (٤ و ٥) استفاده می‌شود.

رابطه (٤)
$$C_K = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N-K}(z_t - z)(z_{t+k} - z)$$

رابطه (٥)
$$r_k = \frac{c_k}{c_0}$$

C_K: اتوکوارینس؛ c_0: واریانس؛ r_k: ضریب خودهمبستگی؛ k: وابسته به دوره و N: تعداد دوره‌های مشاهداتی است. نمودار نمایش دهندهٔ خودهمبستگی، کورلوگرام نامیده می‌شود. ترسیم r_k در برابر k منجر به تهیهٔ کورلوگرام می‌شود. Manjin (1982) مدت زمان مورد نیاز برای افت کورلوگرام به زیر را، اثر حافظه نامید (r_k= ۰/۲). خود همبستگی،

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

حافظهٔ سیستم کارستی را نشان می‌دهد. به نظر مانجین، حافظهٔ بالای یک سیستم، نشان‌دهندهٔ عدم توسعهٔ شبکه‌ها و مجراهای کارستی در یک آبخوان (ذخیرهٔ بالا) است، اما میزان حافظهٔ کم، نشان دهنده‌ای پایین بودن حجم ذخیره دینامیکی آبخوان و میزان توسعهٔ زیاد کارست آن می‌باشد.

- چگالی طیفی

یک تابع طیفی ساده با تغییر فوریه[۷] از تابع خودهمبستگی به‌شرح رابطه (٦) ایجاد شود (Manjin, 1984).

رابطه (٦)
$$S(f) = 2[1 + 2\sum_{k=1}^{m} W_k r_k \cos(2\pi \times f \times k)]$$

که در این رابطه؛ K: تغییر نسبی بین دو سری زمانی؛ f: فرکانس؛ r_k: ضریب خودهمبستگی؛ m: تناوب حداکثر و W_k: تابع وزنی[۸] (Jenkins & Watts, 1968) است که از رابطه (۷) به‌دست می‌آید.

رابطه (۷)
$$W_k = \frac{1}{2}\left[1 + \cos(\frac{\pi k}{m})\right]$$

به منظور تحلیل سری‌های زمانی دبی، از نرم‌افزارهای Minitab 16 statistical و XLstat 2006 بهره گرفته شده است.

یافته‌ها و بحث

- آنالیز منحنی فرود هیدروگراف

نتایج آنالیز منحنی‌فرود هیدروگراف چشمه‌های شاخص توده دالاهو، نشان می‌دهد (جدول ۲ و شکل ۳) که چشمه‌های ماراب و ریجاب دارای دو زیر رژیم خطی و یک زیر رژیم آشفته بوده و میزان درجه توسعه کارست آن‌ها ۵/۵ می‌باشد. در این چشمه‌ها، جریان پایه غلبه داشته و جریان سریع نیز وجود داشته و توسط مجراها تخلیه می‌گردد. چشمه‌های چنار پیران و قره‌بلاغ دارای دو زیر رژیم خطی و درجه توسعه کارستی ۳/۷ می‌باشند. در این چشمه‌ها جریان پایه غلبه داشته و جریان سریع محدود می‌باشد. تغذیه و تخلیه چشمه توسط شبکه درزه و شکاف‌های متراکم با بازشدگی زیاد صورت می‌گیرد. چشمه ورده ناوه دارای دو زیر رژیم خطی متفاوت و درجه توسعه کارست ۲/۷ می‌باشد و جریان پایه در آن غلبه دارد. تغذیه و تخلیه آبخوان ورده ناوه بر اساس روش مالیک، توسط درزه و شکاف‌های متراکم با توسعه‌یافتگی کم صورت می‌گیرد. چشمه سیدصادق دارای یک زیررژیم خطی با درجه توسعه کارستی ۲/۳ بوده و در آن جریان پایه غلبه دارد. ارزیابی نتایج روش منحنی فرود هیدروگراف با نتایج توسعه کارست‌سطحی نشان می‌دهد که چشمه‌های ماراب و ریجاب که دارای شبکه کارست‌درونی توسعه یافته می‌باشند، در حوضه آبگیر خود دارای

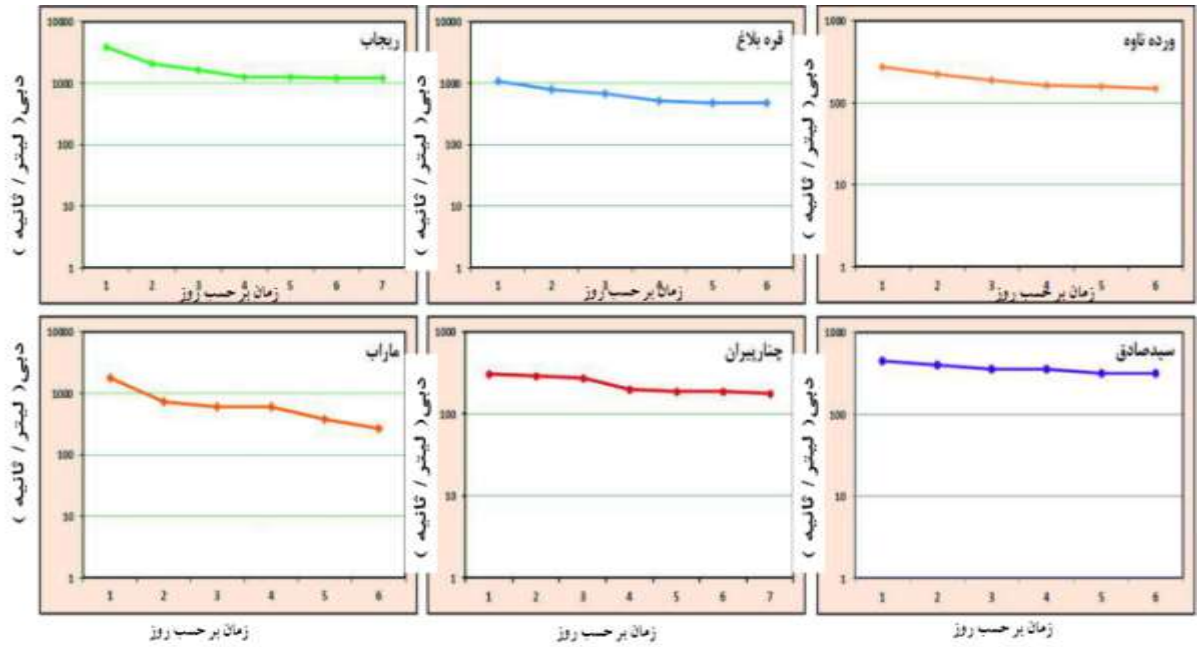
7- Fourier
8- Tukey-Hanning

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ژئومورفولوژی کارست توسعه یافته می‌باشند. نتایج منحنی فرود هیدروگراف چشمه‌های ورده ناوه و سیدصادق با ژئومورفولوژی کارست‌سطحی همخوانی دارد، به‌طوری که به علت عدم توسعه لندفرم‌های توسعه یافته سطحی، شبکه‌کارست‌درونی نیز توسعه نیافته است. چشمه‌های قره بلاغ و چنارپیران نیز، به دلیل قرارگیری حوضه آبگیر خود در نواحی مرتفع تاقدیس دالاهو، دارای ژئومورفولوژی کارست نسبتاً توسعه یافته می‌باشند که نتایج منحنی فرود هیدروگراف این امر را تائید می‌نماید.

جدول ۲- نتایج آنالیز منحنی فرود هیدروگراف چشمه‌های شاخص توده دالاهو

درجه توسعه کارست	ویژگی سیستم‌های کارستی	زیر رژیم غالب	نوع زیر رژیم‌ها	معادله فرود	چشمه
۵/۵	درزه و شکاف‌ها متراکم با توسعه و بازشدگی زیاد و وجود مجراها	خطی (پایه)	دو زیر رژیم خطی و یک زیر رژیم آشفته	$Q_t= 2.1e^{-0.008t} + 1.25e^{-0.001t} + 510(1-0.29t)$	ریجاب
۵/۵	درزه و شکاف‌ها متراکم با توسعه و بازشدگی زیاد و وجود مجراها	خطی (پایه)	دو زیر رژیم خطی و یک زیر رژیم آشفته	$Qt = 1.787e^{-0.02t} + 0.595e^{-0.02t} + 725(1-0.89t)$	ماراب
۳/۷	شبکه درزه و شکاف‌ها متراکم با توسعه نامنظم و دارای بازشدگی	خطی (پایه)	دو زیر رژیم خطی	$Qt = 1.060e^{-0.01t} + 0.512e^{-0.002t}$	قره‌بلاغ
۳/۷	شبکه درزه و شکاف‌ها متراکم با توسعه نامنظم و دارای بازشدگی	خطی (پایه)	دو زیر رژیم خطی	$Qt = 0.312e^{-0.004t} + 0.274e^{-0.004t}$	چنار پیران
۲/۷	شبکه درزه و شکاف‌ها متراکم و منظم با بازشدگی کم	خطی (پایه)	دو زیر رژیم خطی	$Qt0.278e^{-0.009t} + 0.161e^{-0.002t}$	ورده ناوه
۲/۳	مناطق تکتونیزه گسلی با نفوذپذیری بالا	خطی (پایه)	یک زیر رژیم خطی	$Qt = 0.445e^{-0.003t}$	سید صادق



شکل ۳: منحنی فرود چشمه‌های شاخص توده دالاهو

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

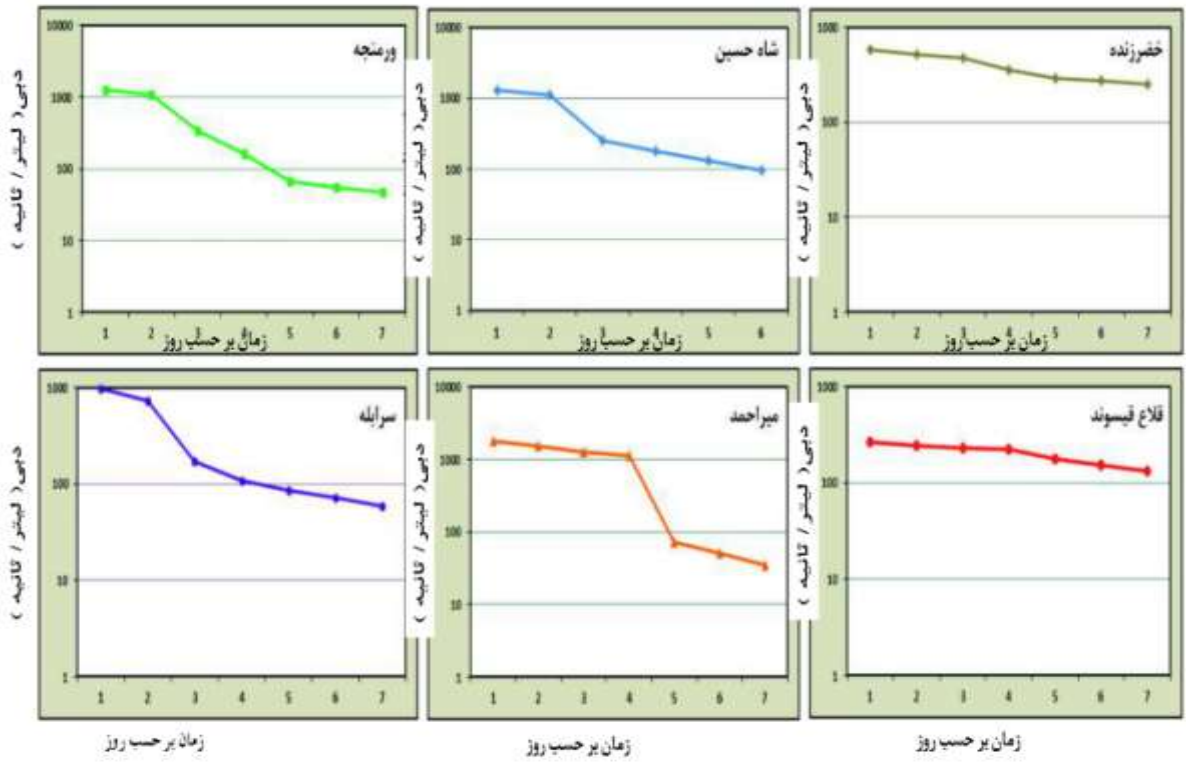
نتایج آنالیز منحنی فرود هیدروگراف چشمه‌های شاخص توده بیستون (شکل ٤ و جدول ۳) نیز نشان می‌دهد که چشمه‌های ورمنجه، میراحمد، شاه‌حسین و سرابله دارای دو زیر رژیم خطی و یک زیر رژیم آشفته بوده و میزان درجه توسعه کارست آن‌ها ۵/۵ می‌باشد. در این چشمه‌ها جریان پایه غلبه داشته و جریان سریع نیز وجود داشته و توسط مجراها تخلیه می‌گردد. چشمه‌های خضرزنده و قلاع قیسوند دارای دو زیر رژیم خطی و درجه توسعه کارستی ۳/۷ می‌باشد. در این چشمه‌ها جریان پایه غلبه داشته و جریان سریع محدود می‌باشد. تغذیه و تخلیه چشمه‌ها توسط شبکه درزه و شکاف‌های متراکم با بازشدگی زیاد صورت می‌گیرد.

ارزیابی نتایج روش منحنی‌فرودهیدروگراف با نتایج توسعه کارست سطحی نشان می‌دهد که چشمه‌های ورمنجه، میراحمد، شاه‌حسین و سرابله که دارای شبکه کارست‌درونی توسعه یافته می‌باشند، در حوضه آبگیر خود دارای ژئومورفولوژی کارست توسعه‌یافته می‌باشند. نتایج منحنی فرود هیدروگراف چشمه‌های خضرزنده و قلاع قیسوند با ژئومورفولوژی کارست سطحی همخوانی دارد؛ زیرا این چشمه‌ها دارای دو زیر رژیم خطی بوده و ژئومورفولوژی کارست سطحی حوضه آبگیر آن‌ها کم‌تر توسعه یافته بوده و جریان پایه در آن‌ها حاکمیت دارد؛ بنابراین، نتایج منحنی فرود هیدروگراف چشمه‌های توده بیستون با ژئومورفولوژی کارست‌سطحی آن همخوانی کاملی را نشان می‌دهد.

جدول ۳ - نتایج آنالیز منحنی فرود هیدروگراف چشمه‌های شاخص توده دالاهو

چشمه	معادله فرود	نوع زیر رژیم‌ها	زیر رژیم غالب	ویژگی سیستم‌های کارستی	درجه توسعه کارست
ورمنجه	$Qt = 0.968e^{-0.009t} + 0.174e^{-0.01t} + 729(1-0.76t)$	دو زیر رژیم خطی و یک زیر رژیم آشفته	خطی (پایه)	درزه و شکاف‌ها متراکم با توسعه و بازشدگی زیاد و وجود مجراها	۵/۵
شاه حسین	$Qt = 1.310e^{-0.005t} + 0.251e^{-0.01t} + 1110(1-0.77t)$	دو زیر رژیم خطی و یک زیر رژیم آشفته	خطی (پایه)	درزه و شکاف‌ها متراکم با توسعه و بازشدگی زیاد و وجود مجراها	۵/۵
میراحمد	$Qt = 1.759e-0.007t + 0.073e-0.02t + 1105(1-0.93t)$	دو زیر رژیم خطی و یک زیر رژیم آشفته	خطی (پایه)	درزه و شکاف‌های بسیار متراکم با بازشدگی زیاد و وجود مجراهای بزرگ	۵/۵
سرابله	$Qt = 1.255e^{-0.005t} + 0.067e^{-0.01t} + 1080(1-0.29t)$	دو زیر رژیم خطی و یک زیر رژیم آشفته	خطی (پایه)	درزه و شکاف‌ها متراکم با توسعه و بازشدگی زیاد و وجود مجراها	۵/۵
خضر زنده	$Qt = 0.590e^{-0.007t} + 0.472e^{-0.007t}$	دو زیر رژیم خطی	خطی (پایه)	شبکه درزه و شکاف‌ها متراکم با توسعه نامنظم و دارای بازشدگی	۳/۷
قلاع قیسوند	$Qt = 0.270e^{-0.003t} + 0.222e^{-0.008t}$	دو زیر رژیم خطی	خطی (پایه)	شبکه درزه و شکاف‌ها متراکم با توسعه نامنظم و دارای بازشدگی	۳/۷

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ٤: منحنی فرود چشمه‌های شاخص توده بیستون

- آنالیز سری‌های زمانی

خودهمبستگی

(شکل ۵) کرولوگرام چشمه‌های شاخص توده دالاهو و (جدول ٤) نیز تفسیر این کرولوگرام‌ها را نشان می‌دهد. کرولوگرام چشمه‌های چنارپیران و قره‌بلاغ حاکی از اینرسی و حجم ذخیرهٔ بالا و غلبهٔ جریان پایه و وابستگی کم دبی به بارش و وجود جریان سریع محدود در این آبخوان‌ها می‌باشد. بخش اول کرولوگرام که معمولا در طی ۱۵ روز کاهش می‌یابد، معرف جریان سریع است. بخش دو نیز معرف وجود و غلبه جریان پایه است.

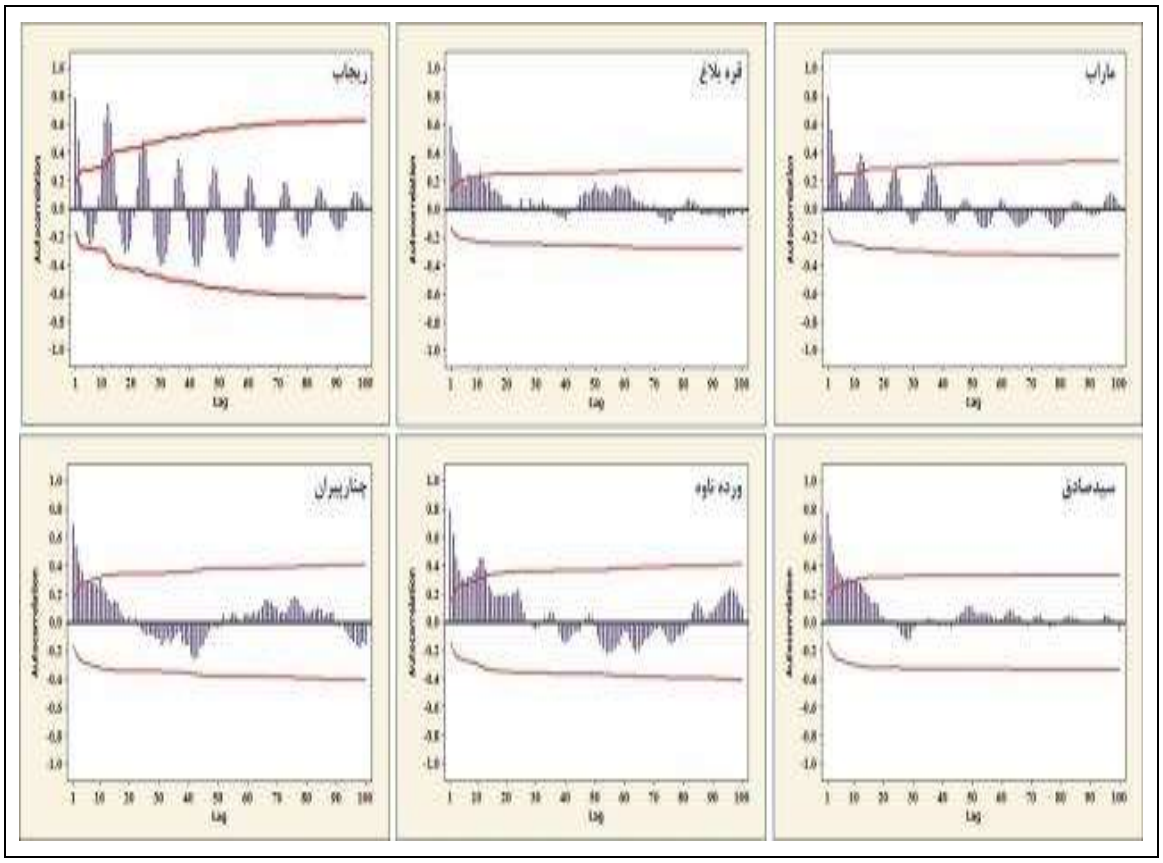
کرولوگرام چشمه‌های ورده ناوه و سیدصادق حاکی از اینرسی و حجم ذخیرهٔ بالا و غلبهٔ جریان پایه، وجود جریان نیمه‌سریع (شکافی) در شکستگی‌های بزرگ و وابستگی کم دبی به بارش است. کرولوگرام این چشمه‌ها دارای دو بخش مجزا می‌باشد. بخش اول معرف جریان نیمه‌سریع محدود، بخش دوم معرف جریان پایه و غلبه‌ای آن می‌باشد. کرولوگرام چشمه‌های ماراب و ریجاب حاکی از اینرسی و حجم ذخیرهٔ کم دینامیکی، وجود جریان پایه و جریان سریع و نیمه‌سریع (شکافی) و وابستگی دبی به بارش است. کرولوگرام چشمه ریجاب دارای دو بخش مجزا می‌باشد. بخش اول معرف جریان سریع و بخش دوم معرف جریان نیمه‌سریع و جریان پایه می‌باشد. کرولوگرام چشمه ماراب دارای سه بخش مجزا بوده، بخش اول معرف جریان سریع، بخش دوم معرف جریان نیمه سریع و بخش معرف جریان پایه می‌باشد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۴- نتایج آنالیز خود همبستگی چشمه‌های شاخص توده دالاهو

تفسیر بخش سوم	-	-	-	-	-	-
بخش سوم	-	-	-	-	-	-
تفسیر بخش دوم	شکل یکنواخت و وجود جریان پایه	شکل بسیار یکنواخت و وجود جریان پایه	شکل یکنواخت و وجود جریان پایه	شکل یکنواخت و وجود جریان پایه	-	معرف جریان نیمه سریع در شکستگی های بزرگ و جریان پایه
بخش دوم	نوسان بسیار کم در محدوده‌ی بین ۰/۲ و ۰/۲-	نوسان بسیار کم در محدوده‌ی بین ۰/۲ و ۰/۲-	نوسان کم در محدوده‌ی بین ۰/۲ و ۰/۲-	نوسان کم در محدوده‌ی بین ۰/۲ و ۰/۲-	نوسان در بالای محدوده‌ی بین ۰/۲ و ۰/۲-	نوسان در بالای محدوده‌ی بین ۰/۲ و ۰/۲-
تفسیر بخش اول	معرف جریان نیمه سریع در شکستگی های بزرگ	معرف جریان نیمه سریع در شکستگی های بزرگ	معرف جریان سریع محدود در مجراها	معرف جریان سریع در مجراها	معرف جریان سریع در مجراها	معرف جریان سریع در مجراها
بخش اول	کاهش در ۵ روز	کاهش در ۸ روز	کاهش در ۱۵ روز	کاهش در ۸ روز	کاهش در ۱۵ روز	کاهش در ۵ روز
تعداد بخش	دو	دو	دو	سه	دو	دو
تفسیر اصلی	اینرسی و حجم ذخیرهٔ بالا و غلبهٔ جریان پایه و وابستگی کم دبی به بارش	اینرسی و حجم ذخیرهٔ بالا و غلبهٔ جریان پایه و وابستگی کم دبی به بارش	اینرسی و حجم ذخیرهٔ بالا و غلبهٔ جریان پایه و وابستگی کم دبی به بارش	اینرسی و ذخیرهٔ دینامیکی کم آبخوان، وجود جریان پایه و نیمه سریع و سریع وابستگی زیاد دبی به بارش	اینرسی و حجم ذخیرهٔ بالا و غلبهٔ جریان پایه، وابستگی کم دبی به بارش	اینرسی و ذخیرهٔ دینامیکی کم آبخوان، وجود جریان پایه و سریع، وابستگی بالای دبی به بارش
چشمه	ورده ناوه	سید صادق	قره‌بلاغ	ماراب	چنارپیران	ریجاب

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



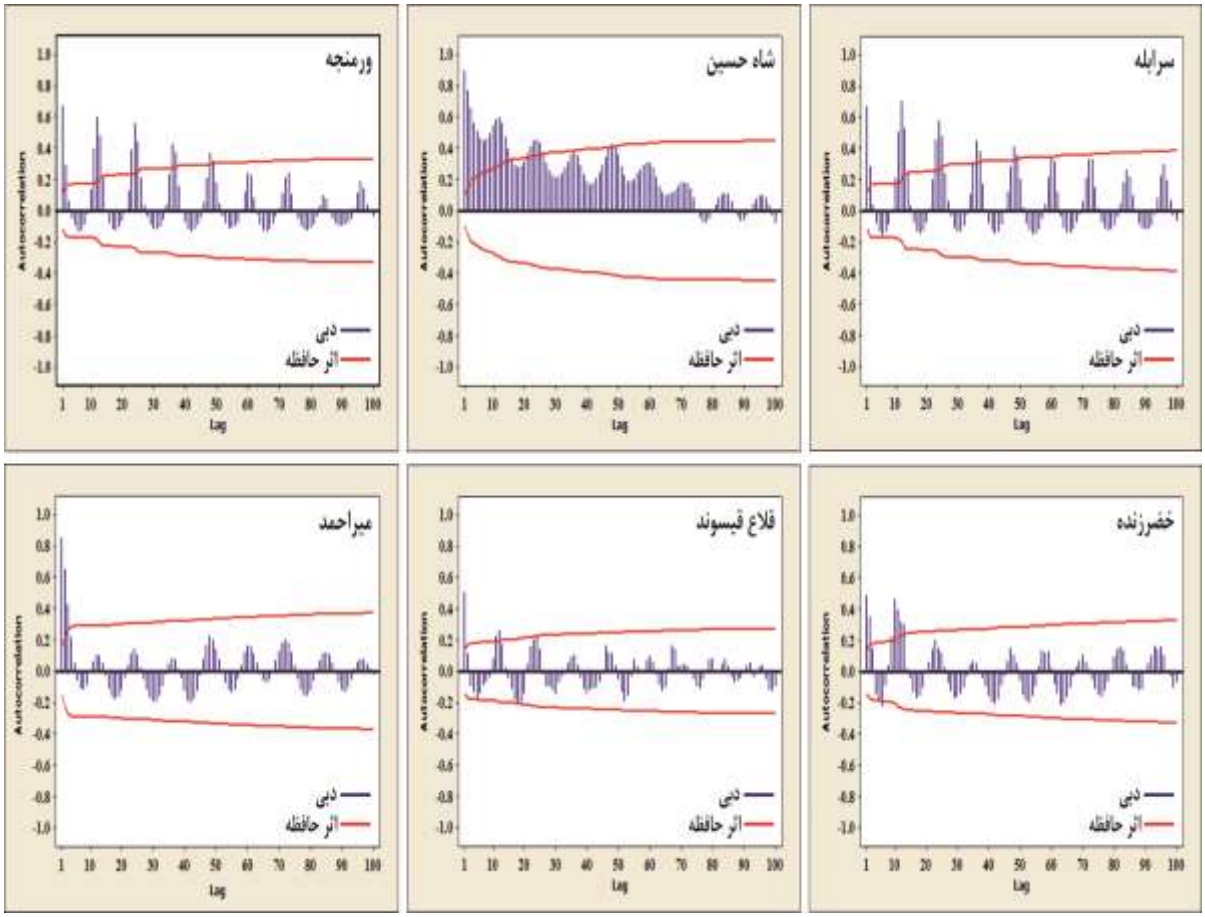
شکل ۵ : کرولوگرام چشمه‌های ریجاب، قره‌بلاغ، ماراب، چنارپیران، ورده ناوه و سید صادق

مقایسه نتایج خودهمبستگی چشمه‌های چنارپیران و قره‌بلاغ با توسعه کارست سطحی حوضه‌های آبگیر آن‌ها نشان می‌دهد که جریان سریع محدود منطبق بر شارژ متمرکز محدود از طریق فرو چاله‌ها و کارن فیلدهای توسعه یافته است. جریان پایه آن‌ها نیز توسط تغذیه از طریق شبکه درزه و شکاف‌ها تامین می‌شود. نتایج خودهمبستگی در چشمه‌های ورده ناوه و سیدصادق مطابق انتظار و وابسته به ژئومورفولوژی کارست سطحی می‌باشد. نتایج خودهمبستگی چشمه‌های ماراب و ریجاب که حاکی از وجود جریان سریع، نیمه سریع و پایه بوده، با ژئومورفولوژی کارست سطحی آن‌ها مطابقت دارد. به‌طوری که جریان‌های سریع و نیمه سریع توسط تغذیه متمرکز از طریق فروچاله‌ها، درزه و شکاف‌های توسعه یافته و کارن فیلدها تامین شده و جریان پایه نیز توسط درزه و شکاف‌های کم توسعه یافته کنترل می‌گردد. کرولوگرام و تفسیر آن در توده بیستون (شکل ٦ و جدول ۵) نشان می‌دهد که چشمه‌های سرابله، ورمنجه، شاه‌حسین و میراحمد حاکی از اینرسی و ذخیرهٔ کم آبخوان و وجود جریان سریع و جریان پایه و وابستگی بالای دبی به بارش می‌باشد. بخش اول کرولوگرام که معمولا در طی ۷ روز و کم‌تر کاهش می‌یابد، معرف جریان سریع است. بخش دو نیز معرف وجود جریان نیمه سریع و جریان پایه است. کرولوگرام چشمه خضرزنده حاکی از اینرسی و حجم ذخیرهٔ نسبتاً بالا و غلبهٔ جریان پایه، وجود جریان سریع و نیمه سریع و وابستگی دبی به بارش است. کرولوگرام این چشمه دارای دو بخش مجزا می‌باشد. بخش اول معرف جریان نیمه‌سریع و سریع محدود،

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

بخش دوم معرف جریان پایه و غلبه‌ای آن می‌باشد. کرولوگرام چشمه قلاع قیسوند حاکی از اینرسی و حجم ذخیرهٔ دینامیکی بالا، غلبه جریان پایه وجود جریان سریع محدود و وابستگی کم دبی به بارش است. بخش اول معرف جریان سریع و بخش دوم معرف جریان نیمه سریع و جریان پایه می‌باشد.

مقایسه نتایج خودهمبستگی چشمه قلاع قیسوند با توسعه کارست سطحی حوضه‌ای آبگیر آن نشان می‌دهد که جریان سریع محدود منطبق بر شارژ متمرکز محدود از طریق کارن فیلدهای توسعه یافته است. جریان پایه آن‌ها نیز توسط تغذیه از طریق شبکه درزه و شکاف‌ها تامین می‌شود. نتایج خودهمبستگی در چشمه خضرزنده تا حد زیادی وابسته به ژئومورفولوژی کارست سطحی بوده و جریان‌های سریع و نیمه‌سریع محدود وابسته به تغذیه متمرکز محدود از طریق درزه و شکاف‌های بزرگ و کارن‌فیلدها می‌باشد. جریان پایه نیز وابسته به تغذیه منتشر از طریق درزه و شکاف‌ها می‌باشد. نتایج خودهمبستگی چشمه‌های ورمنجه، سرابله، شاه‌حسین، میراحمد حاکی از وجود جریان سریع، نیمه سریع و پایه بوده، با ژئومورفولوژی کارست سطحی آن‌ها مطابقت دارد. به طوری که جریان‌های سریع و نیمه سریع توسط تغذیه متمرکز از طریق فروچاله‌ها، درزه و شکاف‌های توسعه یافته و کارن فیلدها تامین شده و جریان پایه نیز توسط درزه و شکاف‌های کم توسعه یافته کنترل می‌گردد.



شکل ٦: کرولوگرام چشمه‌های ورمنجه، شاه حسین، سرابله، میراحمد، قلاع قیسوند و خضرزنده

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۵- نتایج آنالیز خودهمبستگی چشمه‌های شاخص توده دالاهو

تفسیر بخش سوم	-	-	-	-	-	-
بخش سوم	-	-	-	-	-	-
تفسیر بخش دوم	شکل یکنواخت و وجود جریان پایه	معرف جریان نیمه سریع در شکستگی های بزرگ و جریان پایه	نوسان در محدوده‌ی بین ۰/۲ و ۰/۲-	معرف جریان سریع در شکستگی ها	کاهش در ۵ روز	معرف جریان سریع در شکستگی ها
بخش دوم	نوسان در محدوده‌ی بین ۰/۲ و ۰/۲-	نوسان در بالای محدوده‌ی ۰/۲ و بین ۰/۲-	نوسان در محدوده‌ی بین ۰/۲ و ۰/۲-	معرف جریان سریع در مجراها	کاهش در ۷ روز	معرف جریان سریع در مجراها
تعداد بخش	دو	دو	دو	دو	دو	دو
تفسیر اصلی	اینرسی و ذخیرهٔ دینامیکی نسبتا بالای آبخوان، غلبه جریان پایه و وجود جریان نیمه سریع و سریع، وابستگی دبی به بارش	اینرسی و ذخیرهٔ دینامیکی کم آبخوان، وجود جریان پایه و سریع، وابستگی بالای دبی به بارش	اینرسی و ذخیرهٔ دینامیکی کم آبخوان، وجود جریان پایه و سریع وابستگی بالای دبی به بارش	اینرسی و حجم ذخیرهٔ بالا و غلبهٔ جریان پایه و وابستگی کم دبی به بارش	اینرسی و ذخیرهٔ دینامیکی کم آبخوان، وجود جریان سریع و وجود جریان پایه، وابستگی بالای دبی به بارش	اینرسی و ذخیرهٔ دینامیکی کم آبخوان، وجود جریان پایه و سریع وابستگی بالای دبی به بارش
چشمه	خضرزنده	سرابله	شاه حسین	قلاع قیسوند	میر احمد	ورمنجه

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- چگالی طیفی

تابع چگالی‌طیفی چشمه‌های ورده ناوه، سیدصادق و چنارپیران حاکی از غلبه جریان پایه، کم اهمیت بودن جریان مجرایی، اینرسی بالای آبخوان و توسعه کم شبکه کارست درونی می‌باشد. تابع چگالی طیفی چشمه‌های ماراب و ریجاب حاکی از وجود دو نوع جریان پایه و مجرایی، اینرسی کم آبخوان و توسعه شبکه مجراهای کارستی در این آبخوان‌ها می‌باشد. تابع چگالی‌طیفی چشمه قره‌بلاغ نشان‌دهنده وجود دو نوع جریان پایه و مجرایی، غلبه جریان پایه، اینرسی نسبتا کم آبخوان و توسعه یافتگی نسبی شبکه کارست درونی می‌باشد (شکل ۷ و جدول ٦).

مقایسه نتایج چگالی طیفی چشمه‌های شاخص توده دالاهو با توسعه کارست سطحی حوضه‌های آبگیر آن‌ها نشان‌دهنده‌ای وابستگی نوع جریان و میزان توسعه شبکه کارست درونی با ژئومورفولوژی کارست سطحی می‌باشد. به‌طوری که چشمه‌های ماراب و ریجاب به علت ژئومورفولوژی کارست سطحی توسعه یافته دارای شبکه کارست درونی توسعه یافته می‌باشند. سایر چشمه‌ها به علت کم توسعه بودن ژئومورفولوژی کارست سطحی دارای شبکه کارست درونی کم توسعه‌یافته می‌باشند. قره‌بلاغ نیز به علت توسعه‌یافتگی نسبی ژئومورفولوژی کارست سطحی دارای شبکه کارست درونی نسبتا توسعه یافته می‌باشد.

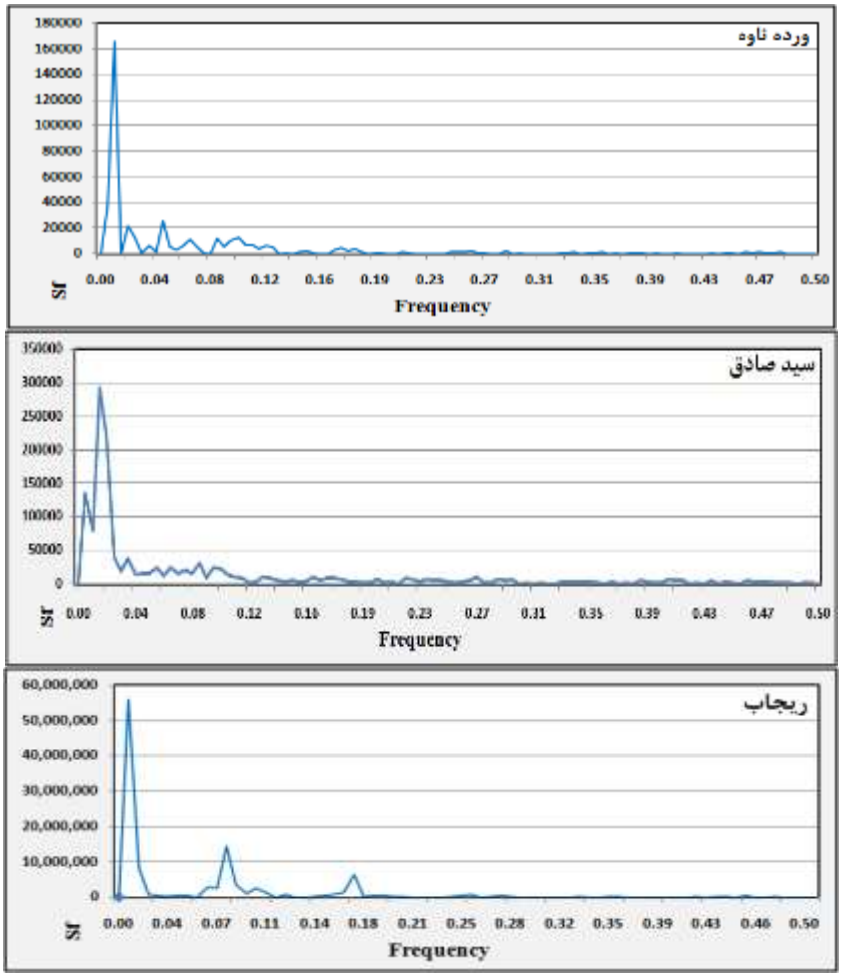
جدول ٦- نتایج آنالیز چگالی طیفی برای چشمه های شاخص توده دالاهو

تفسیر	فرکانس فیلترینگ	پیک‌های نوسان	چرخه شارژ سالانه	چشمه
اوج بزرگ در فرکانس ۰/۰۰۲ نشان دهنده‌ای چرخه شارژ سالانه آبخوان است. تابع چگالی طیفی چشمه ارائه دهنده‌ای یک باند طیفی نسبتا بزرگ با واریانس‌های قابل توجه در فرکانس‌های کم‌تر از ۰/۱۸ بوده و در فرکانس‌های بالاتر از ۰/۱۸ به یک اثر فیلترینگ خوب دست یافته و نشان دهنده‌ای وجود دو نوع جریان پایه و مجرایی بوده که غلبه با جریان پایه می‌باشد.	۰/۱۸	۰/۰۹ ۰/۱۸	۰/۰۰۲	ریجاب
اوج بزرگ در فرکانس ۰/۰۰۲ نشان دهنده‌ای چرخه شارژ سالانه آبخوان است. تابع چگالی طیفی چشمه ارائه دهنده‌ای یک باند طیفی نسبتا گسترده با واریانس‌هایی در فرکانس‌های کم‌تر از ۰/۱۷ بوده و در فرکانس‌های بالاتر از ۰/۱۷ به یک اثر فیلترینگ خوب دست یافته و نشان دهنده‌ای وجود دو نوع جریان پایه و مجرایی بوده که غلبه با جریان پایه می‌باشد.	۰/۱۷	۰/۰۱ ۰/۰٤ ۰/۰۵ ۰/۰۷ ۰/۰۹ ۰/۱	۰/۰۰۲	ورده ناوه
اوج بزرگ در فرکانس ۰/۰۰۸ نشان دهنده‌ای چرخه شارژ سالانه آبخوان است. تابع چگالی طیفی چشمه ارائه دهنده‌ای یک باند طیفی کوچک با واریانس‌های کم در فرکانس‌های کم‌تر از ۰/۱ بوده و در فرکانس‌های بالاتر از ۰/۱ به یک اثر فیلترینگ خوب دست یافته و نشان دهنده‌ای غالب بودن جریان پایه و کم اهمیت بودن جریان مجرایی می‌باشد.	۰/۱	۰/۰٤	۰/۰۰۸	سید صادق

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

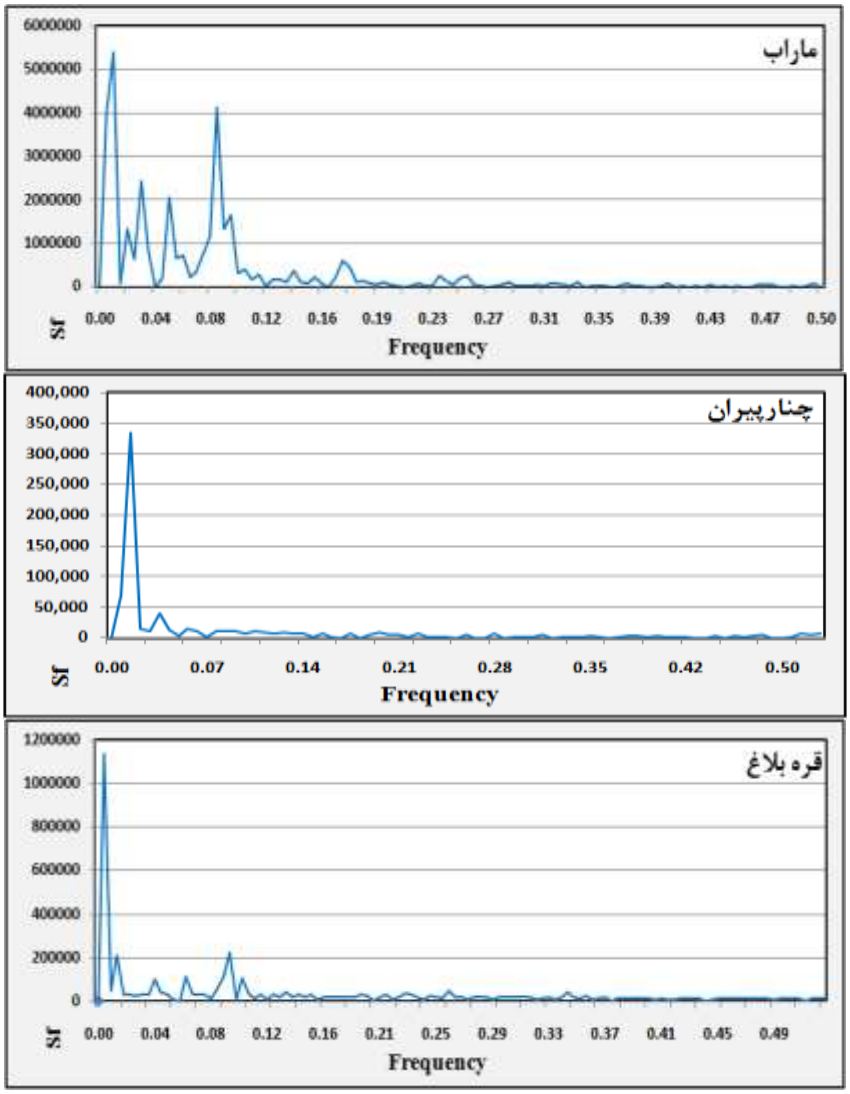
ادامه جدول ۶- نتایج آنالیز چگالی طیفی برای چشمه های شاخص توده دالاهو

تفسیر	فرکانس فیلترینگ	پیک‌های نوسان	چرخه شارژ سالانه	چشمه
اوج بزرگ در فرکانس ۰/۰۰۳ نشان دهنده‌ای چرخه شارژ سالانه آبخوان است. تابع چگالی طیفی چشمه ارائه دهنده‌ای یک باند طیفی کوچک با واریانس‌های بسیار کم در فرکانس‌های کم‌تر از ۰/۰۵ بوده و در فرکانس‌های بالاتر از ۰/۵۰ به یک اثر فیلترینگ خوب دست یافته و نشان دهنده‌ای غالب بودن جریان پایه و کم اهمیت بودن جریان مجرایی می‌باشد.	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۰۳	چنارپیران
اوج بزرگ در فرکانس ۰/۰۰۲ نشان دهنده‌ای چرخه شارژ سالانه آبخوان است. تابع چگالی طیفی چشمه ارائه دهنده‌ای یک باند طیفی کوچک با واریانس‌های نسبتا کم در فرکانس‌های کم‌تر از ۰/۱۱ بوده و در فرکانس‌های بالاتر از ۰/۱۱ به یک اثر فیلترینگ خوب دست یافته و نشان دهنده‌ای غالب بودن جریان پایه و وجود مقطعی جریان مجرایی می‌باشد.	۰/۱۱	۰/۰۶ ۰/۰۵ ۰/۰۷	۰/۰۰۲	قره بلاغ



شکل ۷: تابع چگالی طیفی چشمه‌های ورده ناوه، سیدصادق، ریجاب، ماراب، قره بلاغ و چنارپیران

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



ادامه شکل ۷: تابع چگالی طیفی چشمه‌های ورده ناوه، سیدصادق، ریجاب، ماراب، قره بلاغ و چنارپیران

همچنین در خضرزنده و قلاع قیسوند حاکی از غلبه جریان پایه، کم اهمیت بودن جریان مجرایی، اینرسی بالای آبخوان و توسعه کم شبکه کارست درونی می‌باشد. تابع چگالی طیفی چشمه‌های شاه حسین، میراحمد، ورمنجه، سرابله حاکی از وجود دو نوع جریان پایه و مجرایی، اینرسی کم آبخوان و توسعه شبکه مجراهای کارستی در این آبخوان‌ها می‌باشد (شکل ۸ و جدول ۷).

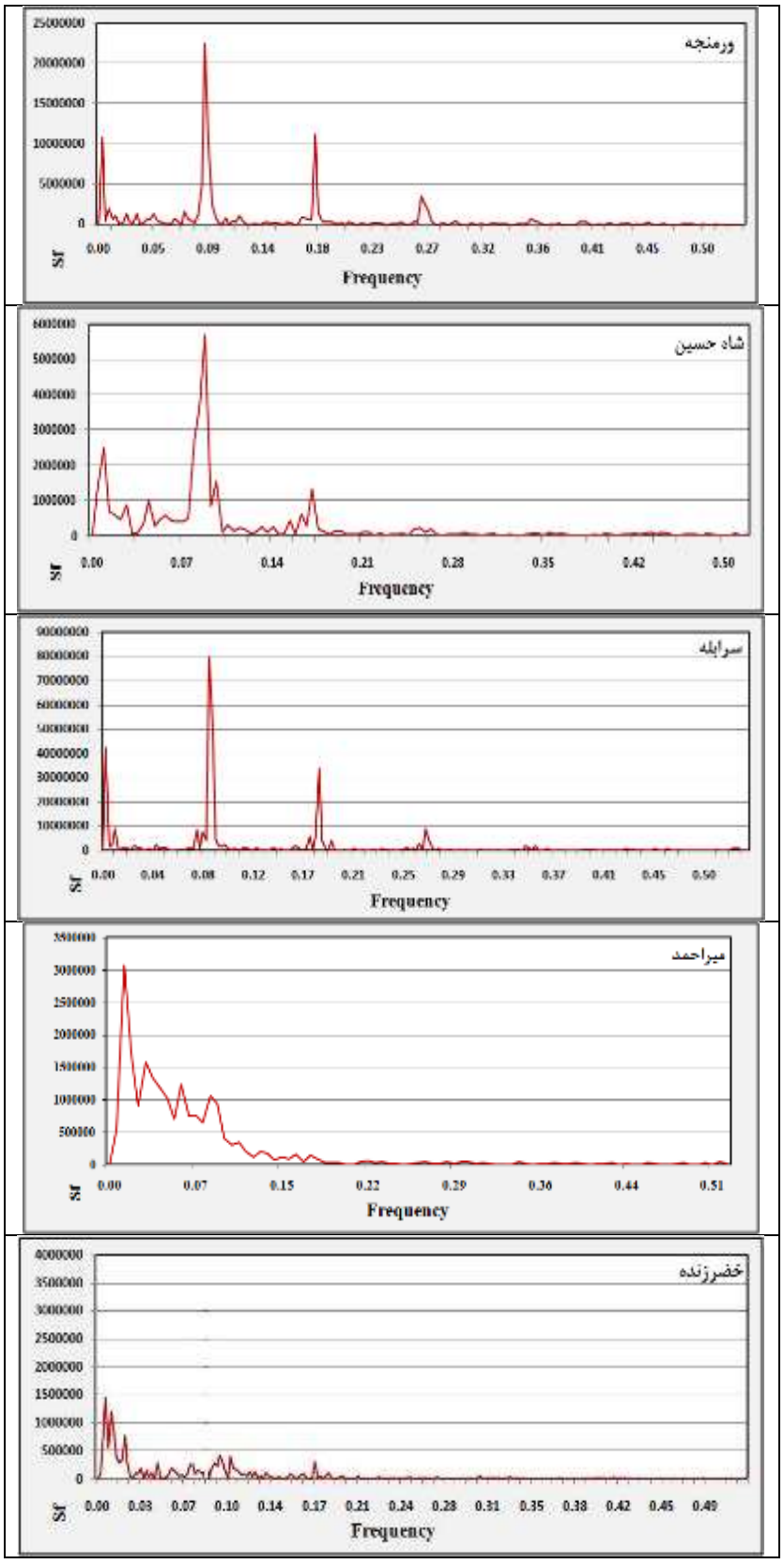
مقایسه نتایج چگالی‌طیفی چشمه‌های شاخص توده بیستون با توسعه کارست‌سطحی حوضه‌های آبگیر آن‌ها نشان دهنده‌ای وابستگی نوع جریان و میزان توسعه شبکه کارست درونی با ژئومورفولوژی کارست سطحی حوضه آبگیر چشمه‌ها می‌باشد. به‌طوری که چشمه‌های شاه حسین، میراحمد، ورمنجه، سرابله به علت ژئومورفولوژی کارست سطحی توسعه یافته دارای شبکه کارست درونی توسعه یافته می‌باشند. چشمه‌های خضرزنده و قلاع قیسوند به علت توسعه نیافتگی ژئومورفولوژی کارست سطحی دارای شبکه کارست درونی توسعه نیافته می‌باشند.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۷- نتایج آنالیز چگالی طیفی برای چشمه های شاخص توده بیستون

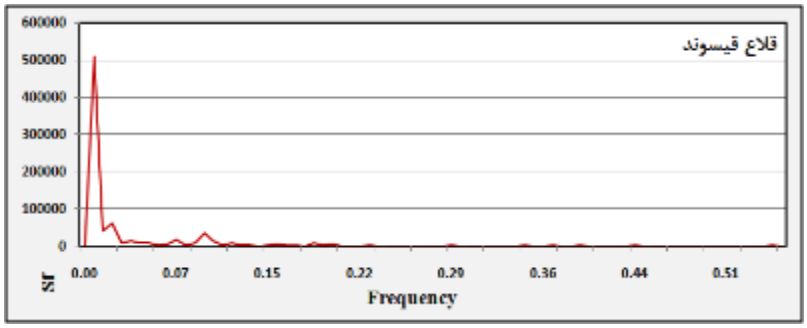
تفسیر	فرکانس فیلترینگ	پیک های نوسان	چرخه شارژ سالانه	چشمه
اوج در فرکانس ۰/۰۰۲ نشان دهنده‌ای چرخه شارژ سالانه آبخوان است. تابع چگالی طیفی چشمه ارائه دهنده‌ای یک باند طیفی با واریانس‌های کم در فرکانس‌های کم‌تر از ۰/۱۷ وده و در فرکانس‌های بالاتر از ۰/۱۷ به یک اثر فیلترینگ خوب دست یافته و نشان دهنده‌ای غلبه جریان پایه و محدود بودن جریان مجرایی و اینرسی زیاد آبخوان و توسعه کم شبکه مجراهای کارستی در این آبخوان می‌باشد.	۰/۱۷	۰/۰۰٦ ۰/۰۱ ۰/۰۹ ۰/۱۱	۰/۰۰۲	خضرزنده
فرکانس ۰/۰۰۲ نشان دهنده‌ای چرخه شارژ سالانه آبخوان است. تابع چگالی طیفی چشمه ارائه دهنده‌ای یک باند طیفی گسترده با واریانس‌های زیاد بوده و نشان دهنده‌ای وجود دو نوع جریان پایه و مجرایی و اینرسی کم آبخوان و توسعه زیاد شبکه مجراهای کارستی در آبخوان می‌باشد.	۰/۲۷	۰/۰۵ ۰/۰۹ ۰/۰۹	۰/۰۰۲	ورمنجه
فرکانس ۰/۰۰٤ نشان دهنده‌ای چرخه شارژ سالانه آبخوان است. تابع چگالی طیفی چشمه ارائه دهنده‌ای یک باند طیفی گسترده با واریانس‌های زیاد در فرکانس‌های کم‌تر از ۰/۲٦ بوده و در فرکانس‌های بالاتر از ۰/۲٦ به یک اثر فیلترینگ خوب دست یافته و نشان دهنده‌ای وجود دو نوع جریان پایه و مجرایی و اینرسی کم آبخوان و توسعه شبکه مجراهای کارستی در این آبخوان می‌باشد.	۰/۲٦	۰/۰۳ ۰/۰۵ ۰/۰۸ ۰/۰۹ ۰/۱۷ ۰/۱٦ ۰/۱۵	۰/۰۰۹	شاه حسین
فرکانس ۰۰۲/. نشان دهنده‌ای چرخه شارژ سالانه آبخوان است. تابع چگالی طیفی چشمه ارائه دهنده‌ای یک باند طیفی گسترده با واریانس‌های زیاد بوده و نشان دهنده‌ای وجود دو نوع جریان پایه و مجرایی و اینرسی کم آبخوان و توسعه زیاد شبکه مجراهای کارستی در آبخوان می‌باشد.	۰/۲۷	۰/۰۰٦ ۰/۰۷ ۰/۰۹ ۰/۱۹	۰/۰۰۲	سرابله
اوج در فرکانس ۰/۰۳ نشان دهنده‌ای چرخه شارژ سالانه آبخوان است. تابع چگالی طیفی چشمه ارائه دهنده‌ای یک باند طیفی گسترده با واریانس‌های زیاد در فرکانس‌های کم‌تر از ۰/۱۷ بوده و در فرکانس‌های بالاتر از ۰/۱۷ به یک اثر فیلترینگ خوب دست یافته و نشان دهنده‌ای وجود دو نوع جریان پایه و مجرایی و اینرسی کم آبخوان و توسعه شبکه مجراهای کارستی در این آبخوان می‌باشد.	۰/۱۷	۰/۰۵ ۰/۰٦ ۰/۱ ۰/۱۲	۰/۰۳	میراحمد
اوج در فرکانس ۰/۰۰۳ نشان دهنده‌ای چرخه شارژ سالانه آبخوان است. تابع چگالی طیفی چشمه ارائه دهنده‌ای یک باند طیفی با واریانس‌های چشمگیر در فرکانس‌های کم‌تر از ۰/۰۸ بوده و در فرکانس‌های بالاتر از ۰/۰۸ به یک اثر فیلترینگ خوب دست یافته و نشان دهنده‌ای وجود غلبه جریان پایه و محدود بودن جریان مجرایی و اینرسی زیاد آبخوان و توسعه کم شبکه مجراهای کارستی در این آبخوان می‌باشد.	۰/۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	قلاع قیسوند

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ۸: تابع چگالی طیفی چشمه‌های ورمنجه، شاه حسین، سرابله، میراحمد، خضرزنده، قلاع قیسوند

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



ادامه شکل ۸: تابع چگالی طیفی چشمه های ورمنجه، شاه حسین، سرابله، میراحمد، خضرزنده، قلاع قیسوند

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعات هیدروشیمیایی در دو توده مورد بررسی حاکی از منشاء کارستی و کربناته آبخوان‌های آن‌ها می‌باشد. تفاوت در رفتار هیدرودینامیکی آبخوان‌های مورد بررسی در این دو توده، به علت تفاوت در سازندهای کربناته (ضخامت، خلوص)، زمین‌ساخت (گسل، درزه و شکاف)، شرایط اقلیمی (دما، بارش)، لندفرم‌های سطحی، توپوگرافی بوده که همین امر سبب عدم توسعه یکسان کارست گردیده است.

نتایج آنالیز منحنی فرودهیدروگراف چشمه‌های شاخص توده دالاهو، بیانگر این امر است که چشمه‌های ماراب و ریجاب دارای درجه توسعه کارست ۵/۵ می‌باشد. درجه توسعه کارستی چشمه‌های چنار پیران و قره‌بلاغ ۳/۷ با غلبه جریان پایه می‌باشد. تغذیه و تخلیه چشمه توسط شبکه درزه و شکاف‌های متراکم با بازشدگی زیاد صورت می‌گیرد. چشمه ورده ناوه با دو زیر رژیم خطی متفاوت دارای درجه توسعه کارست ۲/۷ می‌باشد و جریان پایه در آن غلبه دارد. تغذیه و تخلیه آبخوان ورده ناوه توسط درزه و شکاف‌های متراکم با توسعه‌یافتگی کم صورت می‌گیرد. چشمه سیدصادق دارای یک زیر رژیم خطی با درجه توسعه کارستی ۲/۳ بوده و در آن جریان پایه غلبه دارد. نتایج حاصله از روش منحنی فرود هیدروگراف در چشمه‌های توده دالاهو نشانگر توسعه ناهمگون آبخوان‌های کارستی در این توده می‌باشد. با این‌که وجود سازندهای کربناته و عامل زمین‌ساخت نقش مهمی را در توسعه کارست در توده دالاهو دارا می‌باشد، اما نقش لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی، ارتفاع و اقلیم را نمی‌توان نادیده انگاشت. این عوامل سبب گردیده‌اند که با وجود تشابه لیتولوژیکی و زمین‌ساختی در حوضه تغذیه‌کننده آبخوان‌ها، رفتار هیدرودینامیکی آن‌ها متفاوت باشد. ژئومورفولوژی کارست سطحی نقش اصلی را در میزان و چگونگی تغذیه آبخوان‌ها بر عهده دارد. بنابراین هر چه تغذیه بیش‌تر باشد، میزان توسعه کارست شبکه درونی آبخوان به علت میزان انحلال بیش‌تر آب ورودی در طول زمان بیش‌تر می‌شود. همچنین آبخوان‌های واقع در ارتفاعات بالاتر به دلیل دریافت بارش بیش‌تر و انباشته شدن برف بیش‌تر و کاهش دما، دارای توسعه کارست سطحی و درونی بیش‌تری می‌باشند که موارد گفته شده در مورد چشمه‌های ماراب و ریجاب صدق می‌نماید. در چشمه‌های ورده‌ناوه و سیدصادق نیز، به دلیل عدم توسعه لندفرم‌های سطحی کارست، شبکه کارست درونی نیز توسعه نیافته است و این امر حاکی از تائید نتایج منحنی فرود هیدروگراف می‌باشد. چشمه‌های قره‌بلاغ و چنار پیران نیز، به دلیل قرارگیری حوضه آبگیر خود در نواحی مرتفع تاقدیس دالاهو،

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

دارای ژئومورفولوژی کارست نسبتاً توسعه یافته می‌باشند که نتایج منحنی فرود هیدروگراف این امر را تائید می‌نماید. در توده بیستون نیز، نتایج بیانگر درجه توسعه کارست ۵/۵ در چشمه‌های ورمنجه، میراحمد، شاه‌حسین و سرابله بوده و در این چشمه‌ها جریان سریع توسط مجراها تخلیه می‌گردد. چشمه‌های خضرزنده و قلاع قیسوند با درجه توسعه کارستی ۳/۷ دارای جریان پایه و سریع محدود می‌باشند که تغذیه و تخلیه چشمه‌ها توسط شبکه درزه و شکاف‌های متراکم با بازشدگی زیاد صورت می‌گیرد. در توده بیستون، شاهد تفاوت در پارامترهای تاثیرگذار بر رفتار هیدرودینامیکی آبخوان و میزان توسعه کارست درونی می‌باشیم. در این توده، پارامترهای زمین‌شناسی و زمین‌ساخت و همچنین ژئومورفولوژی کارست سطحی تعیین‌کننده میزان توسعه کارست می‌باشند؛ بنابراین، نتایج منحنی فرود هیدروگراف چشمه‌های توده بیستون با ژئومورفولوژی کارست سطحی آن همخوانی کاملی را نشان می‌دهد. نتایج روش خودهمبستگی و کرولوگرام چشمه‌های شاخص توده دالاهو نشان می‌دهد که چشمه‌های چنار پیران و قره‌بلاغ دارای اینرسی و حجم ذخیره بالا و غلبهٔ جریان پایه و وابستگی کم دبی به بارش و وجود جریان سریع محدود در این آبخوان‌ها می‌باشد. در این دو چشمه، جریان سریع محدود منطبق بر شارژ متمرکز محدود از طریق فروچاله‌ها و کارن فیلدهای توسعه یافته است. جریان پایه آن‌ها نیز توسط تغذیه از طریق شبکه درزه و شکاف‌ها تامین می‌شود. کرولوگرام چشمه‌های ورده ناوه و سیدصادق حاکی از اینرسی و حجم ذخیرهٔ بالا و غلبهٔ جریان پایه، وجود جریان نیمه‌سریع (شکافی) در شکستگی‌های بزرگ و وابستگی کم دبی به بارش است که ژئومورفولوژی سطحی کارست آن‌ها نیز این امر را تائید می‌نماید. کرولوگرام چشمه‌های ماراب و ریجاب حاکی از اینرسی و حجم ذخیرهٔ کم دینامیکی، وجود جریان پایه و جریان سریع و نیمه‌سریع (شکافی) و وابستگی دبی به بارش است. در این چشمه‌ها، جریان‌های سریع و نیمه‌سریع توسط تغذیه متمرکز از طریق فروچاله‌ها، درزه و شکاف‌های توسعه‌یافته و کارن فیلدها تامین شده و جریان پایه نیز توسط درزه و شکاف‌های کم توسعه‌یافته کنترل می‌گردد. در توده بیستون نیز، کرولوگرام چشمه‌های سرابله، ورمنجه، شاه‌حسین و میراحمد حاکی از اینرسی و ذخیرهٔ کم آبخوان و وجود جریان سریع و جریان پایه و وابستگی بالای دبی به بارش می‌باشد. در این چشمه‌ها، جریان‌های سریع و نیمه سریع توسط تغذیه متمرکز از طریق فروچاله‌ها، درزه و شکاف‌های توسعه یافته و کارن فیلدها تامین شده و جریان پایه نیز توسط درزه و شکاف‌های کم‌توسعه یافته کنترل می‌گردد. کرولوگرام چشمه خضرزنده حاکی از اینرسی و حجم ذخیره نسبتا بالا و غلبهٔ جریان پایه، وجود جریان سریع و نیمه سریع و وابستگی دبی به بارش است. نتایج خودهمبستگی در چشمه خضرزنده تا حد زیادی وابسته به ژئومورفولوژی کارست‌سطحی بوده و جریان‌های سریع و نیمه سریع محدود وابسته به تغذیه متمرکز محدود از طریق درزه و شکاف‌های بزرگ و کارن فیلدها می‌باشد. جریان پایه نیز وابسته به تغذیه منتشر از طریق درزه و شکاف‌ها می‌باشد. کرولوگرام چشمه قلاع‌قیسوند حاکی از اینرسی و حجم ذخیرهٔ دینامیکی بالا، غلبه جریان پایه وجود جریان سریع محدود و وابستگی کم دبی به بارش است. در این چشمه، جریان سریع محدود منطبق بر شارژ متمرکز محدود از طریق کارن فیلدهای توسعه‌یافته است. جریان پایه آن‌ها نیز توسط تغذیه از طریق شبکه درزه و شکاف‌ها تامین می‌شود. تابع چگالی طیفی چشمه‌های ورده ناوه، سیدصادق و چنارپیران حاکی از غلبه جریان پایه،

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

کم اهمیت بودن جریان مجرایی، اینرسی بالای آبخوان و توسعه کم شبکه کارست درونی می‌باشد. تابع چگالی طیفی چشمه‌های ماراب و ریجاب حاکی از وجود دو نوع جریان پایه و مجرایی، اینرسی کم آبخوان و توسعه شبکه مجراهای کارستی در این آبخوان‌ها می‌باشد. تابع چگالی طیفی چشمه قره بلاغ نشان دهنده‌ای وجود دو نوع جریان پایه و مجرایی، غلبه جریان پایه، اینرسی نسبتا کم آبخوان و توسعه یافتگی نسبی شبکه کارست درونی می‌باشد. همچنین در توده بیستون نیز، تابع چگالی طیفی چشمه‌های خضرزنده و قلاع قیسوند حاکی از غلبه جریان پایه، کم اهمیت بودن جریان مجرایی، اینرسی بالای آبخوان و توسعه کم شبکه کارست درونی می‌باشد. تابع چگالی طیفی چشمه‌های شاه حسین، میراحمد، ورمنجه، سرابله حاکی از وجود دو نوع جریان پایه و مجرایی، اینرسی کم آبخوان و توسعه شبکه مجراهای کارستی در این آبخوان‌ها می‌باشد. مقایسه نتایج چگالی طیفی چشمه‌های شاخص توده بیستون با توسعه کارست سطحی حوضه‌های آبگیر آن‌ها نشان دهنده‌ای وابستگی نوع جریان و میزان توسعه شبکه کارست درونی با ژئومورفولوژی کارست سطحی حوضه آبگیر چشمه‌ها می‌باشد.

بررسی و مقایسه نتایج روش‌های آنالیز منحنی فرودهیدروگراف، خودهمبستگی و چگالی طیفی نشان می‌دهد که تطابق قابل قبولی بین نتایج حاصل از سری‌های زمانی و روش فرودهیدروگراف وجود دارد. در این سه روش، جریان‌های پایه و سریع موجود در آبخوان‌ها شناسایی شده و میزان آن‌ها برآورد گردیده است؛ اما نتایج روش فرود هیدروگراف برای چشمه‌های توسعه یافته، با واقعیت مناطق انطباق بیش‌تری را نشان می‌دهند؛ به عبارت دیگر، این روش، برای چشمه‌های با درجه توسعه کارستی ٤ به بالا مناسب بوده و جریان سریع را با دقت بالاتری شناسایی می‌نماید، در حالی که نتایج حاصل از سری زمانی برای چشمه‌های با درجه توسعه کارست بالا قابل انطباق بالایی نمی‌باشد. در نهایت می‌توان گفت این روش‌ها، کاربرد مناسبی در ارزیابی میزان توسعه شبکه درونی کارست داشته و نتایج آن‌ها با ژئومورفولوژی کارست سطحی و نوع تغذیه از طریق آن تطابق دارد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

References

- Afrasiabian, A., (1998), "The importance of studies and researches on water resources in Iran", Articles of the second international symposium, Iran, Tehran, July 1998, pp 126-137. [In Persian].
- Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., Ljung, G. M., (2015), "Time series analysis: forecasting and control, London: John Wiley & Sons.
- Cooper, H. H., Jr., Rorabaugh, M. I., (1963), "Groundwater movements and bank storage due to flood stages in surface streams", ***USGS Water Supply***, 1536: 343-366.
- Drogue, C., (1967), "Essai de détermination des composantes de l'écoulement des sources karstiques", ***Chronique d Hydrogeologie***, 10: 42-47.
- Duffy, C. J., Gelhar, L. W., (1986), "A frequency domain analysis of groundwater quality fluctuations: interpretation of field data", ***Water Resources Research***, 22 (7): 1115-1128.
- Ford, D., Williams, P. D., (2013), "***Karst hydrogeology and geomorphology***", London: John Wiley & Sons.
- Forkasiewicz, J., Paloc, H., (1967), "Le regime de tarissement de la Foux de la Vis. Etude preliminaire: Chronique d'Hydrogeologie", ***BRGM***, 3 (10): 61-73.
- Geological organization of Iran, (2007), 1:100000 geological map of Kamyaran, Miyanrahan, Kermanshah, Karand gharb, Ghasre shirin, Tehran: Geological organization of Iran.
- Goldscheider, N., Drew, D., (Eds.)., (2007), "***Methods in karst hydrogeology: IAH: International Contributions to Hydrogeology***", 26.CRC Press; 1 edition (June 14, 2007), Netherlands.
- Khoshraftar, R., Sarvar, J., Mojtahedi, N., (2016), "Investigation of karst forms in Dorfak-Guilan mountainous mass", ***Journal of Geographical Space***, 32: 40-58.
- Griffiths, G. A., Clausen, B., (1997), "Streamflow recession in basins with multiple water storages", ***Journal of Hydrology***, 190 (1): 60-74.
- Kresic, N., Bonacci, O., (2010), "Spring discharge hydrograph. In groundwater hydrology of springs: engineering, theory, management, and sustainability", ***elsevier ch***, 4: 129-163.
- Kullman, E., (1980), "L evaluation du regime des eaux souterraines dans les roches carbonatiques du Mésozoique des Carpates Occidentales par les courbes de tarissement des sources. Západné Karpaty, sér. hydrogeólogia a inž, ***Geológia***, 3: 7-60.
- Larocque, M., Mangin, A., Razack, M., Banton, O., (1998), "Contribution of correlation and spectral analyses to the regional study of a large karst aquifer (Charente, France)", ***Journal of Hydrology***, 205 (3): 217-231.
- Lastennet, R., Mudry, J., (1997), "Role of karstification and rainfall in the behavior of a heterogeneous karst system", ***Environmental Geology***, 32 (2): 114-123.
- Malík, P., Vojtková, S., (2012), "Use of recession-curve analysis for estimation of karstification degree and its application in assessing overflow/underflow conditions in closely spaced karstic springs", ***Environmental Earth Sciences***, 65 (8): 2245-2257.
- Malik, P., (2007), "Assessment of regional karstification degree and groundwater sensitivity to pollution using hydrograph analysis in the Velka Fatra Mountains, Slovakia", ***Environmental geology***, 51 (5): 707-711.
- Mangin, A., (1971), "Etude des débits classés d'exutoires karstiques portant sur un cycle hydrologique", ***In Annales de spéléologie***, 28 (1): 21-40.
- Mangin, A., (1982), "L'approche systémique du karst, conséquences conceptuelles et méthodologiques", ***Signature***, 14: 141-157.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- Mangin, A., (1984), "Pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrélatoire et spectrale", ***Journal of hydrology***, 67 (1): 25-43.
- Milanovic, P. T., (1981), "***Karst hydrogeology. In Karst hydrogeology***", Published by Water Resources Pubns: New yourk.
- Padilla, A., Pulido-Bosch, A., (1995), "Study of hydrographs of karstic aquifers by means of correlation and cross-spectral analysis", ***Journal of Hydrology***, 168 (1): 73-89.
- Watts, G. J. D., (1968), "***Spectral Analysis and its applications***", Publisher by Holden Day: San Francisco.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]