

استفاده از مدل دبی‌های آستانه جهت بررسی تغییرات فصلی جریان‌های کم (مطالعه موردی رودخانه هلیل رود)

علی سرحدی، سعید سلطانی* و رضا مدرس^۱

(تاریخ دریافت: ۸۶/۶/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۲/۲۴)

چکیده

بررسی وقایع جریان‌های کم و دانستن ویژگی‌های آن در مطالعات هیدرولوژیکی بسیار با اهمیت می‌باشد. در تحلیل ریسک و فراوانی وقوع کم آبی، معمولاً دبی‌های پیک سالانه در نظر گرفته می‌شوند. با این وجود در طول سال وقایعی وجود دارند که به علت کوچک‌تر بودن ابعاد آنها نسبت به دبی پیک کم آبی هر چند که از ریسک بالایی برخوردارند، نادیده گرفته می‌شوند. اما این حالت وقتی که از مدل سری مقادیر جزئی PD و یا مدل POT استفاده می‌کنیم، برطرف می‌شود. در این مطالعه دبی جریان کم ۷ روزه به منظور تحلیل فراوانی و بررسی تغییرات فصلی جریان‌های کم مورد بررسی قرار گرفت. پس از تحلیل فراوانی ۱۴ ایستگاه مورد مطالعه دبی با دوره بازگشت ۲ ساله به عنوان سطح آستانه برای هر ایستگاه در نظر گرفته شد و مقادیر پایین‌تر از آستانه به عنوان تعداد وقایع کم آبی $\Lambda(t)$ جهت بررسی تغییرات فصلی با استفاده از دو روش گرافیکی مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که تنها دو فصل دارای وقایع مهم کم آبی در منطقه مورد مطالعه وجود دارد و در سایر اوقات سال تعداد وقایع پایین‌تر از آستانه ناچیز است. و در نهایت بر همین اساس حوزه مورد بررسی به دو گروه همگن فصلی از نظر تغییرات جریان کم تقسیم شد.

واژه‌های کلیدی: جریان کم، مدل POT، تحلیل فراوانی، تغییرات فصلی جریان کم، حوزه حلیل رود

مقدمه

و یا در حقیقت همان حداقل آب جاری در رودخانه و همچنین دانستن ویژگی‌های آن در مطالعات هیدرولوژیکی مختلف مانند مدیریت کیفیت آب، تعیین حداقل دبی مورد نیاز جهت تولید برق، طراحی سیستم‌های آبیاری و ارزیابی تأثیر دوره‌های خشک‌سالی طولانی مدت بر اکوسیستم‌های آبی بسیار با اهمیت می‌باشد.

امروزه هیدرولوژیست‌ها جهت برآورد جریان‌های کم در مناطق با آمار کوتاه مدت از تحلیل فراوانی استفاده می‌کنند. در

در طی چند دهه اخیر افزایش تقاضای آب به دلیل افزایش جمعیت و گسترش صنعت موجب استفاده نامطلوب از آب شده است. این مسئله به خصوص در سال‌هایی که با پدیده خشک‌سالی مواجه هستیم و میزان آب‌های جاری به حداقل خود می‌رسد حادث‌تر بوده و تبعات و ضایعات زیست محیطی از جمله افزایش غلظت آلودگی، کاهش اکسیژن محلول و ... را به دنبال دارد. از این رو بررسی وقایع جریان‌های کم (Low flow)

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ssoltani@cc.iut.ac.ir

تحلیل فراوانی، رابطه واحدی را بایستی بین بزرگی و دوره بازگشت پدیده مورد نظر پیدا کرد. در واقع بایستی اطلاعات را از دوره آماری به برآورد رابطه بین Q و T بسط دهیم. سه مدل مختلف را بدین منظور می‌توان در نظر گرفت؛ ۱- مدل سری‌های حداکثر سالانه (Annual Maximum) (AM)، ۲- مدل سری‌های مقادیر جزئی (Partial Duration) (PD) یا مدل اوج‌های بالاتر از یک حد آستانه (Peak Over Threshold) (POT)، ۳- مدل سری‌های زمانی (TS). در سری جریان حداکثر سالانه (AM)، در هر سال فقط واقعه اوج مربوط به آن سال در نظر گرفته می‌شود. یعنی تنها یک واقعه سیل یا جریان کم ثبت می‌شود که به عنوان وقایع حدی محسوب می‌گردند (۳ و ۱۲). اما این حالت وقتی که از مدل سری مقادیر جزئی PD و یا مدل POT استفاده می‌کنیم برطرف می‌شود. مدل PD تمامی مقادیر کمتر از یک مقدار معین، که معمولاً سطح پایه، یا آستانه S (Truncation level) نامیده می‌شود، را در نظر می‌گیرد. بنابراین مدل PD تنها به یک واقعه در سال محدود نمی‌شود. در واقع مزیت اصلی مدل PD نسبت به سایر مدل‌ها این است که به ما اجازه انتخاب نسبی وقایع، جهت بررسی آنها را می‌دهد و بر خلاف مدل AM امکان کنترل تعداد وقایع جریان‌های کم را با انتخاب متناسب سطح آستانه فراهم می‌آورد (۱۱). هم‌چنین برای توزیع‌های با دنباله سنگین مدل PD سازگارتر بوده و بیشتر می‌تواند جنبه‌های حدی را بررسی کند. اما این مدل دارای دو ضعف مفهومی در انتخاب مقدار آستانه و هم‌چنین بررسی مقادیر حدی غیر مستقل در تحلیل‌ها می‌باشد. که اینها بیشتر مرتبط با وقایع وابسته به زمان است (۱۲).

آداموفسکی در مطالعات خود به این نتیجه رسید که شکل توزیع سری PD ممکن است به سطح آستانه انتخابی بستگی داشته باشد. به طوری که یک سری PD با سطح آستانه بالا ممکن است یک شکل تک مدی (Unimodal) را از تابع چگالی نشان دهد. در حالی که همان سری با سطح آستانه پایین‌تر یک شکل چند مدی (Multimodal) را می‌تواند نشان دهد. هم‌چنین

او با بررسی داده‌های AMS، PD در دو استان Ontario، Quebec براساس شکل تابع چگالی و زمان وقوع سیلاب‌ها، ۹ ناحیه همگن از لحاظ مکانیسم تولید سیلاب به دست آورد (۲).

فرانسیسکو نونزکوریا مدل سری‌های جزئی را جهت ارزیابی پروسه‌های ریسک سیلاب برای ایستگاه‌های دارای آمار کوتاه مدت پیشنهاد کرد. و به این نتیجه رسید که برای بررسی حجم و تداوم سیلاب، جهت ارزیابی پروسه‌های ریسک، مدل سری‌های جزئی نسبت به دبی پیک سالانه مناسب‌تر است (۴).

لانگ و همکاران، روش‌ها و آزمایش‌های مفیدی را جهت پردازش مقادیر آستانه و هم‌چنین انتخاب سطح آستانه و بازبینی آزادی مقادیر و ثبات پردازش‌ها، مورد بررسی قرار دادند (۹).

بوردی و همکاران جهت تحلیل مقادیر حدی دوره‌های خشک و تر با استفاده از داده‌های بارندگی ماهانه از هر دو روش PD و AM استفاده کردند و جهت تعیین مقادیر آستانه روش‌های آماری استاندارد را به کار بردند (۱۲).

تاها و همکاران از مدل دبی‌های آستانه جهت بررسی تغییرات فصلی سیل در دو استان Quebec و New Brunswick کانادا استفاده کردند. و به این نتیجه رسیدند که برای هر دو استان تنها دو فصل مهم جهت مدل فصلی تغییرات سیل نیاز می‌باشد. و براساس فصول مشخص شده، هر استان به چهار منطقه همگن تقسیم گردید. و فصول مناسب برای هر منطقه پیشنهاد گردید (۱۳).

در این مطالعه از دو روش گرافیکی در ارتباط با مدل PD جهت مطالعه روندهای فصلی و تعیین مناطق همگن فصلی تغییرات جریان‌های کم با استفاده از آمار ۱۴ ایستگاه هیدرومتری، در حوزه هلیل رود استفاده گردید. این مطالعه تأکید خاصی بر انتخاب فصول در مدل PD به جای چهار فصل معمولی زمستان، بهار، تابستان و پاییز با توجه به داده‌های موجود دارد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوزه هلیل رود در منطقه جیرفت می‌باشد. این حوزه با مساحتی بالغ بر ۱/۶ میلیون هکتار در محدوده بین ۲۸ درجه تا ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۶ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی در جنوب‌شرقی ایران قرار دارد (شکل ۱). از شمال غرب به ارتفاعات بافت-ساردوئیه و لاله‌زار و از شرق به رشته کوه‌های جبالبارز تا خروجی آن در جنوب به پل بهادرآباد ختم می‌شود. ارتفاع متوسط این حوزه ۱۷۴۱/۲ متر می‌باشد که ۱۱۴۵۳/۵ کیلومترمربع آن یعنی بالغ بر ۷۰ درصد آن را مناطق کوهستانی و بقیه آنرا دشت با شیب متوسط ۳ درصد تشکیل می‌دهد. حداکثر ارتفاع حوزه هلیل‌رود در نواحی کوهستانی شمال حوزه به ۳۷۵۴/۱ متر و کمترین ارتفاع آن به ۴۹۰ متر در محل خروجی (ایستگاه کهنک) به دشت پل بهادرآباد می‌رسد. حوزه هلیل رود با متوسط بارندگی ۲۵۰ میلی‌متر و ارتفاع متوسط ۱۷۷۴ متر را می‌توان از لحاظ آب‌هوایی به دو بخش تقسیم نمود؛ بخش کوهستانی بالادست که دارای آب و هوای نیمه خشک و زمستان‌های سرد می‌باشد و بخش دشتی پایین دست که دارای آب و هوایی خشک است.

تنوع شرایط آب و هوایی، هم‌چنین خاک حاصل‌خیز، این منطقه را مساعد برای کشت انواع محصولات کشاورزی کرده است. به طوری که منطقه جیرفت به یکی از قطب‌های مهم کشاورزی تبدیل گردیده است. کشت محصولات کشاورزی در منطقه جیرفت وابستگی زیادی به منابع آب رودخانه‌ای دارد. بخصوص در فصل بهار و تابستان درصد بالایی از آب مورد نیاز کشاورزی این دشت از ذوب برف‌های بخش کوهستانی بالادست تأمین می‌شود. از این رو بررسی حداقل جریان آب رودخانه‌ای و وقایع مینیمم جریان‌های کم جهت مطالعات آب مورد نیاز کشاورزی در این منطقه از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد.

مدل POT

اگر X یک متغیر تصادفی باشد، می‌توان XS را به عنوان کمترین مقدار X در یک واقعه تعریف کرد. یک واقعه به عنوان عملکردی از یک سطح آستانه S تعریف می‌شود؛ به طوری که وقتی $X(t)$ کمتر از سطح آستانه S باشد، واقعه شروع و وقتی که $X(t)$ مساوی یا بالاتر از S باشد، واقعه به اتمام می‌رسد. توزیع POT به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$GS(x) = \text{Prob}\{XS < X \quad [1]$$

دوره بازگشت $T(x)$ به عنوان متوسط مدت زمان بین دو مقدار متوالی XS تعریف می‌شود و ارتباط آن با توزیع GS به صورت زیر است:

$$GS(x) = 1 - 1/T(x) \quad [2]$$

مدل سری‌های دبی آستانه جهت برآورد فراوانی جریان کم، قادرند تمامی پیک‌های پایین‌تر از یک سطح اساس معین یا سطح آستانه، Q_B ، در طول زمان‌های وقوع را تحلیل کنند. این مساله نشان می‌دهد که ماهیت روند فصلی در پروسه‌های جریان رودخانه، تأثیر مهمی روی توزیع بزرگی جریان‌های کم دارد. این تغییرات فصلی به شکل مناسبی می‌توانند توسط مدل‌های POT تحلیل و محاسبه شوند (۱۰).

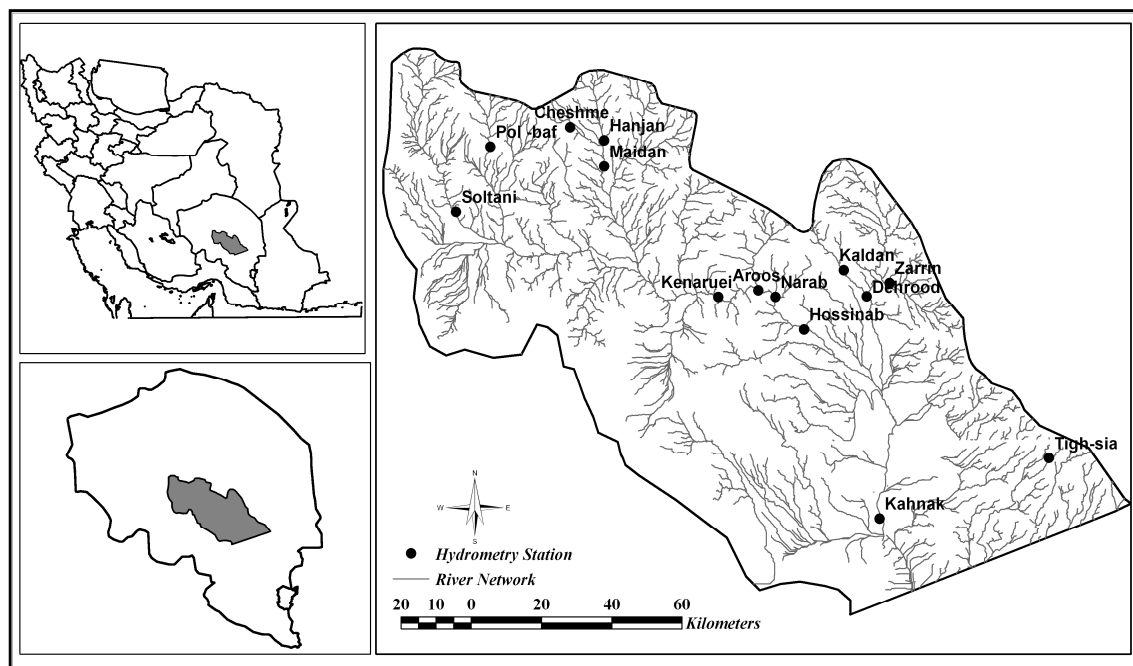
روش POT برای وقایع جریان‌های کم به صورت مدل زیر تعریف می‌شود؛

$$\xi_v = \begin{cases} 0; Q_v \geq Q_B \\ Q_v - Q_B; Q_v \leq Q_B \end{cases} \quad [3]$$

که در آن Q_B سطح پایه، Q_v دبی رودخانه در زمان τ_v و ξ_v وقوع پدیده در زمان τ_v می‌باشد.

در این مدل تمامی پارامترها مشابه وقایع سیلابی است با این تفاوت که مقادیر کمتر از سطح آستانه به عنوان وقایع جریان کم محسوب می‌گردند.

دو مدل POT در بررسی و مطالعه تغییرات فصلی، جریان کم وجود دارد. در مدل اول که می‌توان آن را "مدل فصلی POT گسسته" (Discrete seasonal POT model) نامید، سال به n فصل تقسیم می‌شود به طوری که بزرگی جریان‌های کم متعلق



شکل ۱. موقعیت جغرافیائی منطقه و ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

دوره بازگشت‌هایی که معمولاً خیلی بالاتر از طول دوره ثبت می‌باشند، برازش داده می‌شوند.

تحلیل حدی معمولاً براساس زمان‌های بازگشت وقایع حدی است. زمان بازگشت یا دوره بازگشت یک واقعه می‌تواند به عنوان متوسط تعداد مشاهداتی که برای به دست آوردن یک مشاهده مساوی یا بزرگ‌تر از اندازه آن در وقایع سیلابی و کوچک‌تر از آن در وقایع جریان‌های کم ساخته می‌شود، تعریف شود (۳). در این حالت معمولاً یک توزیع آماری به سری مشاهداتی برازش داده شده و براساس آن بزرگی و احتمال وقوع متغیر مورد بررسی تعیین می‌شود.

به منظور انتخاب توزیع مناسب روش‌های زیادی وجود دارد که از جمله آنها می‌توان به آزمون هم‌بستگی آزمون ضریب خود هم‌بستگی (به عنوان مثال توزیع نرمال ولوگ نرمال) و پیرسون تیپ ۳، معیار اطلاعات آکائیک، آزمون مربع کای و کلموگروف - اسمیرنوف اشاره کرد.

از چندین روش جهت برآورد پارامترهای توزیع استفاده می‌شود که از مهم‌ترین آنها می‌توان به روش گشتاورها (MOM)، روش حداکثر درست‌نمایی (MLM) و روش

به K_{th} مین فصل، $K = 1, \dots, n$ به طور مشخصی بدون در نظر گرفتن سال وقوع، توزیع می‌شوند. بنابراین با n فصل می‌توان n تابع توزیع برای برازش بزرگی جریان‌های کم ثبت شده به دست آورد. اما مدل دوم که می‌توان آن را "مدل فصلی POT پیوسته" (Continuous seasonal POT model) نامید، جهت محاسبه تغییرات فصلی جریان کم از مدل بزرگی جریان‌های کم، به عنوان یک تابع تصادفی پیوسته وابسته به زمان استفاده می‌کند. مدل فصلی گسسته این فرض را که در هر فصل، تغییرات بزرگی جریان کم ناچیز است را در ارتباط با خصوصیات جریان کم‌های کم حوزه در نظر می‌گیرد. بنابراین برآورد آماری پارامترهای مدل گسسته به طور قابل ملاحظه‌ای پیچیدگی کمتری نسبت به مدل پیوسته دارند (۱۳).

تحلیل فراوانی جریان‌های کم

هدف اولیه تحلیل فراوانی، ارتباط دادن بزرگی وقایع حدی به فراوانی وقوع آنها از طریق استفاده از توزیع‌های آماری می‌باشد. در تحلیل فراوانی، یک توزیع احتمال به داده‌های مشاهده شده مربوط به یک سیستم رودخانه جهت برآورد بزرگی وقایع با

منظور برآورد چندک‌های (Quantiles) توزیع از روش حداکثر درست‌نمایی و به منظور انتخاب بهترین تابع توزیع از روش مجموع مربعات باقی‌مانده استفاده شد که رابطه آن به صورت زیر است:

$$RSS = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_e - Q_0)^2}{n - m} \quad [5]$$

در اینجا Q_e دبی برآورد شده با استفاده از توزیع برازش شده، Q_0 دبی مشاهده شده، n اندازه نمونه و m تعداد پارامترهای توزیع برازش داده شده است.

نتایج

در حوزه مورد مطالعه داده‌های ۱۴ ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه قرار گرفت و جهت بررسی تغییرات فصلی جریان کم انتخاب گردید (جدول ۱). به طوری که ایستگاه سلطانی، با ۳۷ سال آمار بیشترین دوره آماری را به خود اختصاص داده است. جریان کم سالانه را می‌توان به عنوان کمترین جریان متوسط برای تعداد روزهای پیاپی از قبیل ۷، ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰، ۲۱۰، ۲۴۰، ۲۷۰، ۳۰۰، ۳۳۰، ۳۶۰، ۳۹۰، ۴۲۰، ۴۵۰، ۴۸۰، ۵۱۰، ۵۴۰، ۵۷۰، ۶۰۰، ۶۳۰، ۶۶۰، ۶۹۰، ۷۲۰، ۷۵۰، ۷۸۰، ۸۱۰، ۸۴۰، ۸۷۰، ۹۰۰، ۹۳۰، ۹۶۰، ۹۹۰، ۱۰۲۰، ۱۰۵۰، ۱۰۸۰، ۱۱۱۰، ۱۱۴۰، ۱۱۷۰، ۱۲۰۰، ۱۲۳۰، ۱۲۶۰، ۱۲۹۰، ۱۳۲۰، ۱۳۵۰، ۱۳۸۰، ۱۴۱۰، ۱۴۴۰، ۱۴۷۰، ۱۵۰۰، ۱۵۳۰، ۱۵۶۰، ۱۵۹۰، ۱۶۲۰، ۱۶۵۰، ۱۶۸۰، ۱۷۱۰، ۱۷۴۰، ۱۷۷۰، ۱۸۰۰، ۱۸۳۰، ۱۸۶۰، ۱۸۹۰، ۱۹۲۰، ۱۹۵۰، ۱۹۸۰، ۲۰۱۰، ۲۰۴۰، ۲۰۷۰، ۲۱۰۰، ۲۱۳۰، ۲۱۶۰، ۲۱۹۰، ۲۲۲۰، ۲۲۵۰، ۲۲۸۰، ۲۳۱۰، ۲۳۴۰، ۲۳۷۰، ۲۴۰۰، ۲۴۳۰، ۲۴۶۰، ۲۴۹۰، ۲۵۲۰، ۲۵۵۰، ۲۵۸۰، ۲۶۱۰، ۲۶۴۰، ۲۶۷۰، ۲۷۰۰، ۲۷۳۰، ۲۷۶۰، ۲۷۹۰، ۲۸۲۰، ۲۸۵۰، ۲۸۸۰، ۲۹۱۰، ۲۹۴۰، ۲۹۷۰، ۳۰۰۰، ۳۰۳۰، ۳۰۶۰، ۳۰۹۰، ۳۱۲۰، ۳۱۵۰، ۳۱۸۰، ۳۲۱۰، ۳۲۴۰، ۳۲۷۰، ۳۳۰۰، ۳۳۳۰، ۳۳۶۰، ۳۳۹۰، ۳۴۲۰، ۳۴۵۰، ۳۴۸۰، ۳۵۱۰، ۳۵۴۰، ۳۵۷۰، ۳۶۰۰، ۳۶۳۰، ۳۶۶۰، ۳۶۹۰، ۳۷۲۰، ۳۷۵۰، ۳۷۸۰، ۳۸۱۰، ۳۸۴۰، ۳۸۷۰، ۳۹۰۰، ۳۹۳۰، ۳۹۶۰، ۳۹۹۰، ۴۰۲۰، ۴۰۵۰، ۴۰۸۰، ۴۱۱۰، ۴۱۴۰، ۴۱۷۰، ۴۲۰۰، ۴۲۳۰، ۴۲۶۰، ۴۲۹۰، ۴۳۲۰، ۴۳۵۰، ۴۳۸۰، ۴۴۱۰، ۴۴۴۰، ۴۴۷۰، ۴۵۰۰، ۴۵۳۰، ۴۵۶۰، ۴۵۹۰، ۴۶۲۰، ۴۶۵۰، ۴۶۸۰، ۴۷۱۰، ۴۷۴۰، ۴۷۷۰، ۴۸۰۰، ۴۸۳۰، ۴۸۶۰، ۴۸۹۰، ۴۹۲۰، ۴۹۵۰، ۴۹۸۰، ۵۰۱۰، ۵۰۴۰، ۵۰۷۰، ۵۱۰۰، ۵۱۳۰، ۵۱۶۰، ۵۱۹۰، ۵۲۲۰، ۵۲۵۰، ۵۲۸۰، ۵۳۱۰، ۵۳۴۰، ۵۳۷۰، ۵۴۰۰، ۵۴۳۰، ۵۴۶۰، ۵۴۹۰، ۵۵۲۰، ۵۵۵۰، ۵۵۸۰، ۵۶۱۰، ۵۶۴۰، ۵۶۷۰، ۵۷۰۰، ۵۷۳۰، ۵۷۶۰، ۵۷۹۰، ۵۸۲۰، ۵۸۵۰، ۵۸۸۰، ۵۹۱۰، ۵۹۴۰، ۵۹۷۰، ۶۰۰۰، ۶۰۳۰، ۶۰۶۰، ۶۰۹۰، ۶۱۲۰، ۶۱۵۰، ۶۱۸۰، ۶۲۱۰، ۶۲۴۰، ۶۲۷۰، ۶۳۰۰، ۶۳۳۰، ۶۳۶۰، ۶۳۹۰، ۶۴۲۰، ۶۴۵۰، ۶۴۸۰، ۶۵۱۰، ۶۵۴۰، ۶۵۷۰، ۶۶۰۰، ۶۶۳۰، ۶۶۶۰، ۶۶۹۰، ۶۷۲۰، ۶۷۵۰، ۶۷۸۰، ۶۸۱۰، ۶۸۴۰، ۶۸۷۰، ۶۹۰۰، ۶۹۳۰، ۶۹۶۰، ۶۹۹۰، ۷۰۲۰، ۷۰۵۰، ۷۰۸۰، ۷۱۱۰، ۷۱۴۰، ۷۱۷۰، ۷۲۰۰، ۷۲۳۰، ۷۲۶۰، ۷۲۹۰، ۷۳۲۰، ۷۳۵۰، ۷۳۸۰، ۷۴۱۰، ۷۴۴۰، ۷۴۷۰، ۷۵۰۰، ۷۵۳۰، ۷۵۶۰، ۷۵۹۰، ۷۶۲۰، ۷۶۵۰، ۷۶۸۰، ۷۷۱۰، ۷۷۴۰، ۷۷۷۰، ۷۸۰۰، ۷۸۳۰، ۷۸۶۰، ۷۸۹۰، ۷۹۲۰، ۷۹۵۰، ۷۹۸۰، ۸۰۱۰، ۸۰۴۰، ۸۰۷۰، ۸۱۰۰، ۸۱۳۰، ۸۱۶۰، ۸۱۹۰، ۸۲۲۰، ۸۲۵۰، ۸۲۸۰، ۸۳۱۰، ۸۳۴۰، ۸۳۷۰، ۸۴۰۰، ۸۴۳۰، ۸۴۶۰، ۸۴۹۰، ۸۵۲۰، ۸۵۵۰، ۸۵۸۰، ۸۶۱۰، ۸۶۴۰، ۸۶۷۰، ۸۷۰۰، ۸۷۳۰، ۸۷۶۰، ۸۷۹۰، ۸۸۲۰، ۸۸۵۰، ۸۸۸۰، ۸۹۱۰، ۸۹۴۰، ۸۹۷۰، ۹۰۰۰، ۹۰۳۰، ۹۰۶۰، ۹۰۹۰، ۹۱۲۰، ۹۱۵۰، ۹۱۸۰، ۹۲۱۰، ۹۲۴۰، ۹۲۷۰، ۹۳۰۰، ۹۳۳۰، ۹۳۶۰، ۹۳۹۰، ۹۴۲۰، ۹۴۵۰، ۹۴۸۰، ۹۵۱۰، ۹۵۴۰، ۹۵۷۰، ۹۶۰۰، ۹۶۳۰، ۹۶۶۰، ۹۶۹۰، ۹۷۲۰، ۹۷۵۰، ۹۷۸۰، ۹۸۱۰، ۹۸۴۰، ۹۸۷۰، ۹۹۰۰، ۹۹۳۰، ۹۹۶۰، ۹۹۹۰، ۱۰۰۲۰، ۱۰۰۵۰، ۱۰۰۸۰، ۱۰۱۱۰، ۱۰۱۴۰، ۱۰۱۷۰، ۱۰۲۰۰، ۱۰۲۳۰، ۱۰۲۶۰، ۱۰۲۹۰، ۱۰۳۲۰، ۱۰۳۵۰، ۱۰۳۸۰، ۱۰۴۱۰، ۱۰۴۴۰، ۱۰۴۷۰، ۱۰۵۰۰، ۱۰۵۳۰، ۱۰۵۶۰، ۱۰۵۹۰، ۱۰۶۲۰، ۱۰۶۵۰، ۱۰۶۸۰، ۱۰۷۱۰، ۱۰۷۴۰، ۱۰۷۷۰، ۱۰۸۰۰، ۱۰۸۳۰، ۱۰۸۶۰، ۱۰۸۹۰، ۱۰۹۲۰، ۱۰۹۵۰، ۱۰۹۸۰، ۱۱۰۱۰، ۱۱۰۴۰، ۱۱۰۷۰، ۱۱۱۰۰، ۱۱۱۳۰، ۱۱۱۶۰، ۱۱۱۹۰، ۱۱۲۲۰، ۱۱۲۵۰، ۱۱۲۸۰، ۱۱۳۱۰، ۱۱۳۴۰، ۱۱۳۷۰، ۱۱۴۰۰، ۱۱۴۳۰، ۱۱۴۶۰، ۱۱۴۹۰، ۱۱۵۲۰، ۱۱۵۵۰، ۱۱۵۸۰، ۱۱۶۱۰، ۱۱۶۴۰، ۱۱۶۷۰، ۱۱۷۰۰، ۱۱۷۳۰، ۱۱۷۶۰، ۱۱۷۹۰، ۱۱۸۲۰، ۱۱۸۵۰، ۱۱۸۸۰، ۱۱۹۱۰، ۱۱۹۴۰، ۱۱۹۷۰، ۱۲۰۰۰، ۱۲۰۳۰، ۱۲۰۶۰، ۱۲۰۹۰، ۱۲۱۲۰، ۱۲۱۵۰، ۱۲۱۸۰، ۱۲۲۱۰، ۱۲۲۴۰، ۱۲۲۷۰، ۱۲۳۰۰، ۱۲۳۳۰، ۱۲۳۶۰، ۱۲۳۹۰، ۱۲۴۲۰، ۱۲۴۵۰، ۱۲۴۸۰، ۱۲۵۱۰، ۱۲۵۴۰، ۱۲۵۷۰، ۱۲۶۰۰، ۱۲۶۳۰، ۱۲۶۶۰، ۱۲۶۹۰، ۱۲۷۲۰، ۱۲۷۵۰، ۱۲۷۸۰، ۱۲۸۱۰، ۱۲۸۴۰، ۱۲۸۷۰، ۱۲۹۰۰، ۱۲۹۳۰، ۱۲۹۶۰، ۱۲۹۹۰، ۱۳۰۲۰، ۱۳۰۵۰، ۱۳۰۸۰، ۱۳۱۱۰، ۱۳۱۴۰، ۱۳۱۷۰، ۱۳۲۰۰، ۱۳۲۳۰، ۱۳۲۶۰، ۱۳۲۹۰، ۱۳۳۲۰، ۱۳۳۵۰، ۱۳۳۸۰، ۱۳۴۱۰، ۱۳۴۴۰، ۱۳۴۷۰، ۱۳۵۰۰، ۱۳۵۳۰، ۱۳۵۶۰، ۱۳۵۹۰، ۱۳۶۲۰، ۱۳۶۵۰، ۱۳۶۸۰، ۱۳۷۱۰، ۱۳۷۴۰، ۱۳۷۷۰، ۱۳۸۰۰، ۱۳۸۳۰، ۱۳۸۶۰، ۱۳۸۹۰، ۱۳۹۲۰، ۱۳۹۵۰، ۱۳۹۸۰، ۱۴۰۱۰، ۱۴۰۴۰، ۱۴۰۷۰، ۱۴۱۰۰، ۱۴۱۳۰، ۱۴۱۶۰، ۱۴۱۹۰، ۱۴۲۲۰، ۱۴۲۵۰، ۱۴۲۸۰، ۱۴۳۱۰، ۱۴۳۴۰، ۱۴۳۷۰، ۱۴۴۰۰، ۱۴۴۳۰، ۱۴۴۶۰، ۱۴۴۹۰، ۱۴۵۲۰، ۱۴۵۵۰، ۱۴۵۸۰، ۱۴۶۱۰، ۱۴۶۴۰، ۱۴۶۷۰، ۱۴۷۰۰، ۱۴۷۳۰، ۱۴۷۶۰، ۱۴۷۹۰، ۱۴۸۲۰، ۱۴۸۵۰، ۱۴۸۸۰، ۱۴۹۱۰، ۱۴۹۴۰، ۱۴۹۷۰، ۱۵۰۰۰، ۱۵۰۳۰، ۱۵۰۶۰، ۱۵۰۹۰، ۱۵۱۲۰، ۱۵۱۵۰، ۱۵۱۸۰، ۱۵۲۱۰، ۱۵۲۴۰، ۱۵۲۷۰، ۱۵۳۰۰، ۱۵۳۳۰، ۱۵۳۶۰، ۱۵۳۹۰، ۱۵۴۲۰، ۱۵۴۵۰، ۱۵۴۸۰، ۱۵۵۱۰، ۱۵۵۴۰، ۱۵۵۷۰، ۱۵۶۰۰، ۱۵۶۳۰، ۱۵۶۶۰، ۱۵۶۹۰، ۱۵۷۲۰، ۱۵۷۵۰، ۱۵۷۸۰، ۱۵۸۱۰، ۱۵۸۴۰، ۱۵۸۷۰، ۱۵۹۰۰، ۱۵۹۳۰، ۱۵۹۶۰، ۱۵۹۹۰، ۱۶۰۲۰، ۱۶۰۵۰، ۱۶۰۸۰، ۱۶۱۱۰، ۱۶۱۴۰، ۱۶۱۷۰، ۱۶۲۰۰، ۱۶۲۳۰، ۱۶۲۶۰، ۱۶۲۹۰، ۱۶۳۲۰، ۱۶۳۵۰، ۱۶۳۸۰، ۱۶۴۱۰، ۱۶۴۴۰، ۱۶۴۷۰، ۱۶۵۰۰، ۱۶۵۳۰، ۱۶۵۶۰، ۱۶۵۹۰، ۱۶۶۲۰، ۱۶۶۵۰، ۱۶۶۸۰، ۱۶۷۱۰، ۱۶۷۴۰، ۱۶۷۷۰، ۱۶۸۰۰، ۱۶۸۳۰، ۱۶۸۶۰، ۱۶۸۹۰، ۱۶۹۲۰، ۱۶۹۵۰، ۱۶۹۸۰، ۱۷۰۱۰، ۱۷۰۴۰، ۱۷۰۷۰، ۱۷۱۰۰، ۱۷۱۳۰، ۱۷۱۶۰، ۱۷۱۹۰، ۱۷۲۲۰، ۱۷۲۵۰، ۱۷۲۸۰، ۱۷۳۱۰، ۱۷۳۴۰، ۱۷۳۷۰، ۱۷۴۰۰، ۱۷۴۳۰، ۱۷۴۶۰، ۱۷۴۹۰، ۱۷۵۲۰، ۱۷۵۵۰، ۱۷۵۸۰، ۱۷۶۱۰، ۱۷۶۴۰، ۱۷۶۷۰، ۱۷۷۰۰، ۱۷۷۳۰، ۱۷۷۶۰، ۱۷۷۹۰، ۱۷۸۲۰، ۱۷۸۵۰، ۱۷۸۸۰، ۱۷۹۱۰، ۱۷۹۴۰، ۱۷۹۷۰، ۱۸۰۰۰، ۱۸۰۳۰، ۱۸۰۶۰، ۱۸۰۹۰، ۱۸۱۲۰، ۱۸۱۵۰، ۱۸۱۸۰، ۱۸۲۱۰، ۱۸۲۴۰، ۱۸۲۷۰، ۱۸۳۰۰، ۱۸۳۳۰، ۱۸۳۶۰، ۱۸۳۹۰، ۱۸۴۲۰، ۱۸۴۵۰، ۱۸۴۸۰، ۱۸۵۱۰، ۱۸۵۴۰، ۱۸۵۷۰، ۱۸۶۰۰، ۱۸۶۳۰، ۱۸۶۶۰، ۱۸۶۹۰، ۱۸۷۲۰، ۱۸۷۵۰، ۱۸۷۸۰، ۱۸۸۱۰، ۱۸۸۴۰، ۱۸۸۷۰، ۱۸۹۰۰، ۱۸۹۳۰، ۱۸۹۶۰، ۱۸۹۹۰، ۱۹۰۲۰، ۱۹۰۵۰، ۱۹۰۸۰، ۱۹۱۱۰، ۱۹۱۴۰، ۱۹۱۷۰، ۱۹۲۰۰، ۱۹۲۳۰، ۱۹۲۶۰، ۱۹۲۹۰، ۱۹۳۲۰، ۱۹۳۵۰، ۱۹۳۸۰، ۱۹۴۱۰، ۱۹۴۴۰، ۱۹۴۷۰، ۱۹۵۰۰، ۱۹۵۳۰، ۱۹۵۶۰، ۱۹۵۹۰، ۱۹۶۲۰، ۱۹۶۵۰، ۱۹۶۸۰، ۱۹۷۱۰، ۱۹۷۴۰، ۱۹۷۷۰، ۱۹۸۰۰، ۱۹۸۳۰، ۱۹۸۶۰، ۱۹۸۹۰، ۱۹۹۲۰، ۱۹۹۵۰، ۱۹۹۸۰، ۲۰۰۱۰، ۲۰۰۴۰، ۲۰۰۷۰، ۲۰۱۰۰، ۲۰۱۳۰، ۲۰۱۶۰، ۲۰۱۹۰، ۲۰۲۲۰، ۲۰۲۵۰، ۲۰۲۸۰، ۲۰۳۱۰، ۲۰۳۴۰، ۲۰۳۷۰، ۲۰۴۰۰، ۲۰۴۳۰، ۲۰۴۶۰، ۲۰۴۹۰، ۲۰۵۲۰، ۲۰۵۵۰، ۲۰۵۸۰، ۲۰۶۱۰، ۲۰۶۴۰، ۲۰۶۷۰، ۲۰۷۰۰، ۲۰۷۳۰، ۲۰۷۶۰، ۲۰۷۹۰، ۲۰۸۲۰، ۲۰۸۵۰، ۲۰۸۸۰، ۲۰۹۱۰، ۲۰۹۴۰، ۲۰۹۷۰، ۲۱۰۰۰، ۲۱۰۳۰، ۲۱۰۶۰، ۲۱۰۹۰، ۲۱۱۲۰، ۲۱۱۵۰، ۲۱۱۸۰، ۲۱۲۱۰، ۲۱۲۴۰، ۲۱۲۷۰، ۲۱۳۰۰، ۲۱۳۳۰، ۲۱۳۶۰، ۲۱۳۹۰، ۲۱۴۲۰، ۲۱۴۵۰، ۲۱۴۸۰، ۲۱۵۱۰، ۲۱۵۴۰، ۲۱۵۷۰، ۲۱۶۰۰، ۲۱۶۳۰، ۲۱۶۶۰، ۲۱۶۹۰، ۲۱۷۲۰، ۲۱۷۵۰، ۲۱۷۸۰، ۲۱۸۱۰، ۲۱۸۴۰، ۲۱۸۷۰، ۲۱۹۰۰، ۲۱۹۳۰، ۲۱۹۶۰، ۲۱۹۹۰، ۲۲۰۲۰، ۲۲۰۵۰، ۲۲۰۸۰، ۲۲۱۱۰، ۲۲۱۴۰، ۲۲۱۷۰، ۲۲۲۰۰، ۲۲۲۳۰، ۲۲۲۶۰، ۲۲۲۹۰، ۲۲۳۲۰، ۲۲۳۵۰، ۲۲۳۸۰، ۲۲۴۱۰، ۲۲۴۴۰، ۲۲۴۷۰، ۲۲۵۰۰، ۲۲۵۳۰، ۲۲۵۶۰، ۲۲۵۹۰، ۲۲۶۲۰، ۲۲۶۵۰، ۲۲۶۸۰، ۲۲۷۱۰، ۲۲۷۴۰، ۲۲۷۷۰، ۲۲۸۰۰، ۲۲۸۳۰، ۲۲۸۶۰، ۲۲۸۹۰، ۲۲۹۲۰، ۲۲۹۵۰، ۲۲۹۸۰، ۲۳۰۱۰، ۲۳۰۴۰، ۲۳۰۷۰، ۲۳۱۰۰، ۲۳۱۳۰، ۲۳۱۶۰، ۲۳۱۹۰، ۲۳۲۲۰، ۲۳۲۵۰، ۲۳۲۸۰، ۲۳۳۱۰، ۲۳۳۴۰، ۲۳۳۷۰، ۲۳۴۰۰، ۲۳۴۳۰، ۲۳۴۶۰، ۲۳۴۹۰، ۲۳۵۲۰، ۲۳۵۵۰، ۲۳۵۸۰، ۲۳۶۱۰، ۲۳۶۴۰، ۲۳۶۷۰، ۲۳۷۰۰، ۲۳۷۳۰، ۲۳۷۶۰، ۲۳۷۹۰، ۲۳۸۲۰، ۲۳۸۵۰، ۲۳۸۸۰، ۲۳۹۱۰، ۲۳۹۴۰، ۲۳۹۷۰، ۲۴۰۰۰، ۲۴۰۳۰، ۲۴۰۶۰، ۲۴۰۹۰، ۲۴۱۲۰، ۲۴۱۵۰، ۲۴۱۸۰، ۲۴۲۱۰، ۲۴۲۴۰، ۲۴۲۷۰، ۲۴۳۰۰، ۲۴۳۳۰، ۲۴۳۶۰، ۲۴۳۹۰، ۲۴۴۲۰، ۲۴۴۵۰، ۲۴۴۸۰، ۲۴۵۱۰، ۲۴۵۴۰، ۲۴۵۷۰، ۲۴۶۰۰، ۲۴۶۳۰، ۲۴۶۶۰، ۲۴۶۹۰، ۲۴۷۲۰، ۲۴۷۵۰، ۲۴۷۸۰، ۲۴۸۱۰، ۲۴۸۴۰، ۲۴۸۷۰، ۲۴۹۰۰، ۲۴۹۳۰، ۲۴۹۶۰، ۲۴۹۹۰، ۲۵۰۲۰، ۲۵۰۵۰، ۲۵۰۸۰، ۲۵۱۱۰، ۲۵۱۴۰، ۲۵۱۷۰، ۲۵۲۰۰، ۲۵۲۳۰، ۲۵۲۶۰، ۲۵۲۹۰، ۲۵۳۲۰، ۲۵۳۵۰، ۲۵۳۸۰، ۲۵۴۱۰، ۲۵۴۴۰، ۲۵۴۷۰، ۲۵۵۰۰، ۲۵۵۳۰، ۲۵۵۶۰، ۲۵۵۹۰، ۲۵۶۲۰، ۲۵۶۵۰، ۲۵۶۸۰، ۲۵۷۱۰، ۲۵۷۴۰، ۲۵۷۷۰، ۲۵۸۰۰، ۲۵۸۳۰، ۲۵۸۶۰، ۲۵۸۹۰، ۲۵۹۲۰، ۲۵۹۵۰، ۲۵۹۸۰، ۲۶۰۱۰، ۲۶۰۴۰، ۲۶۰۷۰، ۲۶۱۰۰، ۲۶۱۳۰، ۲۶۱۶۰، ۲۶۱۹۰، ۲۶۲۲۰، ۲۶۲۵۰، ۲۶۲۸۰، ۲۶۳۱۰، ۲۶۳۴۰، ۲۶۳۷۰، ۲۶۴۰۰، ۲۶۴۳۰، ۲۶۴۶۰، ۲۶۴۹۰، ۲۶۵۲۰، ۲۶۵۵۰، ۲۶۵۸۰، ۲۶۶۱۰، ۲۶۶۴۰، ۲۶۶۷۰، ۲۶۷۰۰، ۲۶۷۳۰، ۲۶۷۶۰، ۲۶۷۹۰، ۲۶۸۲۰، ۲۶۸۵۰، ۲۶۸۸۰، ۲۶۹۱۰، ۲۶۹۴۰، ۲۶۹۷۰، ۲۷۰۰۰، ۲۷۰۳۰، ۲۷۰۶۰، ۲۷۰۹۰، ۲۷۱۲۰، ۲۷۱۵۰، ۲۷۱۸۰، ۲۷۲۱۰، ۲۷۲۴۰، ۲۷۲۷۰، ۲۷۳۰۰، ۲۷۳۳۰، ۲۷۳۶۰، ۲۷۳۹۰، ۲۷۴۲۰، ۲۷۴۵۰، ۲۷۴۸۰، ۲۷۵۱۰، ۲۷۵۴۰، ۲۷۵۷۰، ۲۷۶۰۰، ۲۷۶۳۰، ۲۷۶۶۰، ۲۷۶۹۰، ۲۷۷۲۰، ۲۷۷۵۰، ۲۷۷۸۰، ۲۷۸۱۰، ۲۷۸۴۰، ۲۷۸۷۰، ۲۷۹۰۰، ۲۷۹۳۰، ۲۷۹۶۰، ۲۷۹۹۰، ۲۸۰۲۰، ۲۸۰۵۰، ۲۸۰۸۰، ۲۸۱۱۰، ۲۸۱۴۰، ۲۸۱۷۰، ۲۸۲۰۰، ۲۸۲۳۰، ۲۸۲۶۰، ۲۸۲۹۰، ۲۸۳۲۰، ۲۸۳۵۰، ۲۸۳۸۰، ۲۸۴۱۰، ۲۸۴۴۰، ۲۸۴۷۰، ۲۸۵۰۰، ۲۸۵۳۰، ۲۸۵۶۰، ۲۸۵۹۰، ۲۸۶۲۰، ۲۸۶۵۰، ۲۸۶۸۰، ۲۸۷۱۰، ۲۸۷۴۰، ۲۸۷۷۰، ۲۸۸۰۰، ۲۸۸۳۰، ۲۸۸۶۰، ۲۸۸۹۰، ۲۸۹۲۰، ۲۸۹۵۰، ۲۸۹۸۰، ۲۹۰۱۰، ۲۹۰۴۰، ۲۹۰۷۰، ۲۹۱۰۰، ۲۹۱۳۰، ۲۹۱۶۰، ۲۹۱۹۰، ۲۹۲۲۰، ۲۹۲۵۰، ۲۹۲۸۰، ۲۹۳۱۰، ۲۹۳۴۰، ۲۹۳۷۰، ۲۹۴۰۰، ۲۹۴۳۰، ۲۹۴۶۰، ۲۹۴۹۰، ۲۹۵۲۰، ۲۹۵۵۰، ۲۹۵۸۰، ۲۹۶۱۰، ۲۹۶۴۰، ۲۹۶۷۰، ۲۹۷۰۰، ۲۹۷۳۰، ۲۹۷۶۰، ۲۹۷۹۰، ۲۹۸۲۰، ۲۹۸۵۰، ۲۹۸۸۰، ۲۹۹۱۰، ۲۹۹۴۰، ۲۹۹۷۰، ۳۰۰۰۰، ۳۰۰۳۰، ۳۰۰۶۰، ۳۰۰۹۰، ۳۰۱۲۰، ۳۰۱۵۰، ۳۰۱۸۰، ۳۰۲۱۰، ۳۰۲۴۰، ۳۰۲۷۰، ۳۰۳۰۰، ۳۰۳۳۰، ۳۰۳۶۰، ۳۰۳۹۰، ۳۰۴۲۰، ۳۰۴۵۰، ۳۰۴۸۰، ۳۰۵۱۰، ۳۰۵۴۰، ۳۰۵۷۰، ۳۰۶۰۰، ۳۰۶۳۰، ۳۰۶۶۰، ۳۰۶۹۰، ۳۰۷۲۰، ۳۰۷۵۰، ۳۰۷۸۰، ۳۰۸۱۰، ۳۰۸۴۰، ۳۰۸۷۰، ۳۰۹۰۰، ۳۰۹۳۰، ۳۰۹۶۰، ۳۰۹۹۰، ۳۱۰۲۰، ۳۱۰۵۰، ۳۱۰۸۰، ۳۱۱۱۰، ۳۱۱۴۰، ۳۱۱۷۰، ۳۱۲۰۰، ۳۱۲۳۰، ۳۱۲۶۰، ۳۱۲۹۰، ۳۱۳۲۰، ۳۱۳۵۰، ۳۱۳۸۰، ۳۱۴۱۰، ۳۱۴۴۰، ۳۱۴۷۰، ۳۱۵۰۰، ۳۱۵۳۰، ۳۱۵

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه حوزه هلیل رود

ردیف	شماره ایستگاه	رودخانه	محل ایستگاه	طول دوره آماری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا
۱	۴۴-۰۱۱	بافت	پل بافت	۲۲	۵۶° ۳۸'	۲۹° ۱۵'	۲۲۰۰
۲	۴۴-۰۰۳	هلیل	سلطانی	۳۴	۵۶° ۳۲'	۲۹° ۰۵'	۲۰۰۰
۳	۴۴-۰۰۵	هلیل	عروس	۱۰	۵۷° ۲۵'	۲۸° ۵۳'	۱۲۵۰
۴	۴۴-۰۰۷	هلیل	حسین آباد	۳۶	۵۷° ۳۳'	۲۸° ۴۷'	۹۲۰
۵	۴۴-۰۰۹	شور	دهرود	۳۰	۵۷° ۴۴'	۲۸° ۵۲'	۱۰۰۰
۶	۴۴-۰۱۱	هلیل	کهنک	۱۸	۵۷° ۴۶'	۲۸° ۱۸'	۵۲۰
۷	۴۴-۰۲۱	هلیل	نراب	۱۰	۵۷° ۲۸'	۲۸° ۵۲'	۱۱۰۰
۸	۴۴-۰۲۷	دلفارد	کلدان	۱۷	۵۷° ۴۰'	۲۸° ۵۶'	۱۴۴۰
۹	۴۴-۰۲۹	سقدر	زارین	۱۹	۵۷° ۴۸'	۲۸° ۵۴'	۱۴۰۰
۱۰	۴۴-۰۳۵	آغین	تیغ سیاه	۱۶	۵۸° ۱۶'	۲۸° ۲۷'	۱۶۰۰
۱۱	۴۴-۰۵۳	رودار	هنجان	۱۴	۵۶° ۵۸'	۲۹° ۱۶'	۲۱۵۰
۱۲	۴۴-۱۰۷	قلعه ریگی	رمون	۱۰	۵۷° ۲۲'	۲۸° ۵۷'	۱۵۰۰
۱۳	۴۴-۱۱۱	میدان	سیدمرتضی	۱۷	۵۶° ۵۸'	۲۹° ۱۲'	۵۱۹
۱۴	۴۴-۱۱۵	هلیل	کناروئیه	۱۰	۵۷° ۱۸'	۲۸° ۵۲'	۱۳۴۰

مقادیر آستانه برای این که با فرض آستانه مطابقت داشته باشند، بایستی به اندازه کافی پایین انتخاب شوند. به عبارتی وقایع مینیمم بایستی از هم مستقل باشند. تاها و همکاران جهت تعریف وقایع سیلابی، رگرسیون چند متغیره را برای برآورد QB به کار بردند. استفاده از معادلات رگرسیونی، به کارگیری توابع مستقل انتقالی و یا غیر انتقالی را نیز به دنبال خواهد داشت. آنها به این نتیجه رسیدند وجود هم‌بستگی قوی بین QB و سطح زهکش حوزه (DBA) نشان می‌دهد که تعیین سطح پایه در مناطقی که آمار وجود ندارد، با استفاده از خصوصیات فیزیکی حوزه امکان‌پذیر می‌باشد (۱۳). لانگ و همکاران نیز چندین تست آماری، مانند میانگین تعداد وقایع آستانه، میانگین تجاوزهای بالاتر از آستانه و شاخص پراکندگی را برای انتخاب سطح آستانه پیشنهاد دادند (۹).

در انتخاب سطح آستانه ما مجبوریم که بین اریبی و واریانس سبک و سنگین کنیم. اگر یک سطح پایین را انتخاب کنیم، تعداد وقایع کاهش می‌یابد و برآوردها دقیق‌تر می‌شود.

بنابراین انتخاب سطح آستانه پایین، بعضی از مشاهدات را از مرکز توزیع معرفی می‌کند و برآورد اریب می‌شود (۳). در این مطالعه جهت تعیین وقایع جریان کم در فصول مختلف از تحلیل فراوانی جریان کم برای برآورد سطح آستانه استفاده گردید. سطح آستانه بر اساس مقدار دبی جریان با احتمال وقوع‌های مختلف تعیین می‌شود. وقتی که سطح آستانه براساس دبی جریان با احتمال وقوع بالا (دوره بازگشت کم) در نظر گرفته شود، می‌توان وقایع جریان کم را که احتمال وقوع آنها زیاد است را مشخص کرد.

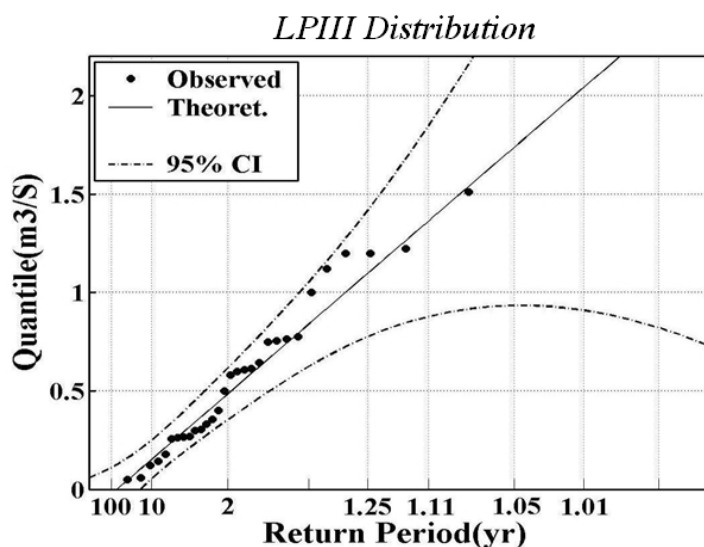
پس از محاسبه مقادیر چندک‌های توزیع، مقادیر مجموع مربعات خطا نیز در تمام ایستگاه‌ها محاسبه شد و بر اساس حداقل مقادیر مجموع مربعات خطا، تابعی که کمترین مقدار خطا را داشته باشد به منظور برآورد جریان‌های کم در دوره‌های برگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله برای هر ایستگاه محاسبه گردید (جدول ۲). به عنوان مثال تابع توزیع تجمعی جریان کم در ایستگاه سلطانی در شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. برآورد مقادیر جریان کم با دوره بازگشت‌های مختلف در ایستگاه‌های حوزه هلیل رود

ایستگاه	دهرود	تیغ سیاه	حسین آباد	پل بافت	سلطانی	هنجان	کهنک
بهترین توزیع انتخاب شده							
دوره بازگشت (سال)	LPIII	LN2	LN2	EV1	LPIII	LPIII	EV1
۲	۰/۴۳۹	۰/۰۱۹	۴/۳۸	۰/۰۶	۰/۰۱۵	۰/۴۹۳	۳/۶۶
۵	۰/۲۲۳	۰/۰۱۱	۴/۰	۰/۰۵	۰/۰۰۴	۰/۲۲۳	۳/۱۴
۱۰	۰/۱۳۴	۰/۰۰۸	۳/۴۴	۰/۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۱۳۴	۲/۴۶
۲۰	۰/۰۸۴	۰/۰۰۷	۲/۹۴	۰/۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۸۴	۱/۹۴
۵۰	۰/۰۵۴	۰/۰۰۵	۲/۳۴	۰/۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۵۴	۱/۳۹
۱۰۰	۰/۰۳۱	۰/۰۰۴	۱/۱۹	۰/۰۱	۰	۰/۰۳۱	۰/۵۶

ادامه جدول ۲. برآورد مقادیر جریان کم با دوره بازگشت‌های مختلف در ایستگاه‌های حوزه هلیل رود

ایستگاه	کلدان	زارین	کناروئیه	عروس	چشمه	نراب	میدان
بهترین توزیع انتخاب شده							
دوره بازگشت (سال)	Normal	LN2	Normal	Gamma	LN2	Normal	Gamma
۲	۰/۰۱۴	۰/۰۲۶	۰/۸	۰/۵۹۷	۰/۰۴۶	۰/۳۸۲	۰/۰۱۶
۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۲۸۲	۰/۲۶۲	۰/۰۲۵	۰/۲۸۱	۰/۰۰۳
۱۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۱۳۲	۰/۱۵۲	۰/۰۱۸	۰/۲۲۹	۰/۰۰۱
۲۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۶۲	۰/۰۸۹	۰/۰۱۴	۰/۱۸۵	۰/۰۰۱
۵۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۲۹	۰/۰۵۱	۰/۰۱۱	۰/۱۴۸	۰
۱۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۱۱	۰/۰۲۳	۰/۰۰۸	۰/۱۰۴	۰



شکل ۲. تابع توزیع تجمعی احتمال برای دبی جریان کم و توزیع لوگ پیرسون نوع ۳ برازش شده

با توجه به جدول ۲ می‌توان گفت توابع توزیع لوگ نرمال دو پارامتری ($LN2$) و لوگ پیرسون تیپ ۳ ($LPIII$) را می‌توان به عنوان توابعی برای محاسبه جریان‌های کم در حوزه هلیل رود معرفی کرد.

با در نظر گرفتن دبی با احتمال وقوع ۲ ساله (دوره برگشت پایین) توزیع‌های مختلف برای هر ایستگاه و تعداد وقایع جریان‌های کم در طول دوره آماری تعیین گردید.

جهت بررسی تغییرات فصلی جریان‌های کم در منطقه مورد مطالعه از دو روش گرافیکی استفاده گردید. روش اول برای ۱۴ ایستگاه در شکل ۳ شرح داده شده است. به طوری که در این روش از میانگین تعداد وقایع جریان‌های کم $\Lambda(t)$ در فاصله زمانی $(0, T)$ برای هر روز از سال در ایستگاه‌ها، استفاده گردید. و پس از آن مقادیر تجمعی میانگین تعداد وقایع جریان کم $\Lambda(t)$ برای هر ایستگاه به دست آمد. که رفتار هر یک از آنها نشان دهنده فصول مهم برای هر ایستگاه می‌باشد. در ایستگاه‌های مطالعاتی، دو مشاهده جالب توجه به دست آمد؛ اول این که همه منحنی‌های رسم شده، جز ایستگاه‌های عروس و چشمه، برای سطوح پایه مختلف، شیب آنها تقریباً در یک زمان یکسان تغییر پیدا می‌کنند و دوم این که در دوره‌های تعریف شده منحنی‌ها کمتر خطی می‌باشند. این نوع رفتار منحنی‌های فراوانی تجمعی، نشان می‌دهد که برای هر ایستگاه در شکل ۳ به عنوان مثال، سه فصل مختلف می‌توان تشخیص داد. بنابراین مدل فصلی گسسته می‌تواند یک مدل متناسب برای این ایستگاه‌ها باشد.

اما خطی بودن منحنی‌های فراوانی تجمعی در شکل ۳ معنی خاصی دارد. به طوری که در یک فصل، توزیع زمانی وقایع کم آبی به مقدار زیادی همگن است. مهم‌تر این که بزرگی وقایع ممکن است برای یک فصل یکسان توزیع شود. در ایستگاه‌های مورد بررسی سه فصل متفاوت را در ارتباط با تغییرات جریان کم مشاهده می‌شود. فصل اول از مهر ماه شروع و تا آذر، فصل دوم از دی تا نیمه‌های اردیبهشت و فصل سوم از نیمه اردیبهشت تا مهر ادامه پیدا می‌کند. همان گونه که در شکل

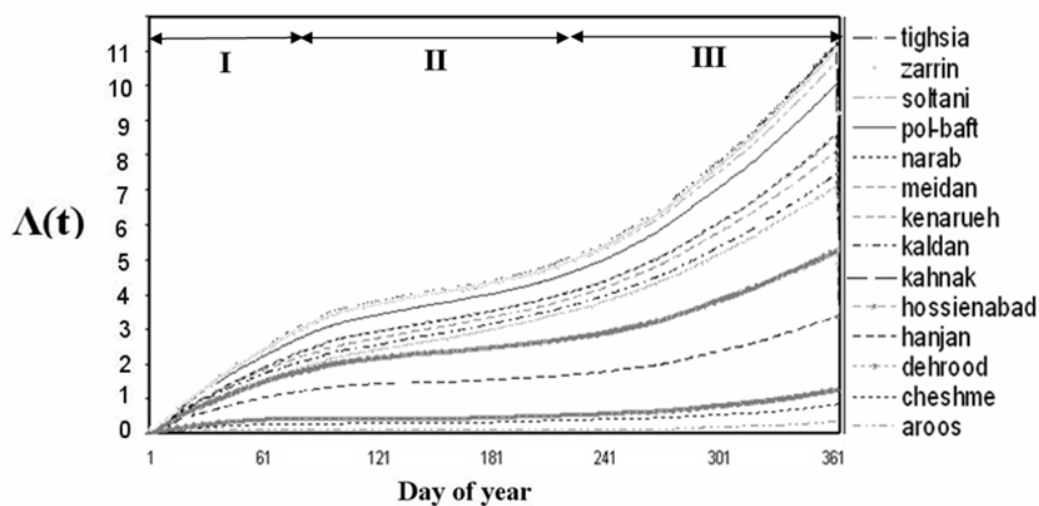
مشاهده می‌شود در فصل دوم منحنی تجمعی شیب چندانی را نشان نمی‌دهد و تقریباً در اکثر ایستگاه‌ها در این فصل واقعه کم آبی رخ نداده است که این موضوع به ذوب بهاری برف‌های بخش کوهستانی بالا دست برمی‌گردد. اما از نیمه اردیبهشت به بعد شیب منحنی حتی از فصل اول هم بیشتر می‌شود که خود نشان دهنده این است که شدیدترین وقایع کم آبی از اواسط اردیبهشت شروع و تا مهر ادامه پیدا می‌کند. اما وقایع کم آبی که از مهر شروع و تا آذر ادامه پیدا می‌کند به علت رگبارهای پراکنده پاییزه از شدت کمتری برخوردار می‌باشند. بنابراین جهت مدل تغییرات فصلی جریان کم می‌توان تنها دو فصل اول و سوم را انتخاب کرد.

نکته دیگری که از منحنی تجمعی میانگین تعداد وقایع کم آبی می‌توان برداشت کرد این است که ایستگاه تیغ سیاه بیشترین و ایستگاه عروس که در پایین منحنی قرار دارد، کمترین تعداد وقایع کم آبی را به خود اختصاص می‌دهند.

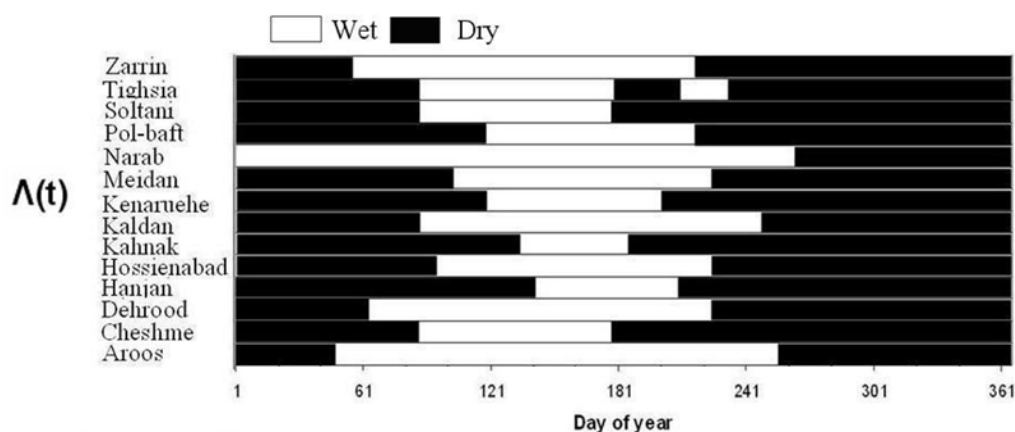
نکته قابل توجه این است که بدون بررسی موقعیت ژئوگرافیکی ایستگاه‌ها، یک منطقه همگن براساس فصول به دست آمد. پس از بررسی و مقایسه دقیق تقسیم‌بندی فصلی سال در بخش‌های مختلف، منطقه به دو قسمت همگن تقسیم گردید.

فرم دوم روش گرافیکی نیز برای ۱۴ ایستگاه در منطقه مورد بررسی بکار برده شد. به طوری که این روش نیز تغییرات ناچیزی را نسبت به روش اول نشان می‌دهد. در این روش برای تعریف وقایع جریان‌های کم، از سطح پایه‌ای متناظر با میانگین وقایع کم آبی در هر سال برای هر ایستگاه استفاده گردید. از زمان حادث شدن این وقایع جهت تعریف فصول هیدرولوژیکی مهم در طول سال، استفاده گردید. شکل ۴ فرم دوم روش گرافیکی را تشریح می‌کند.

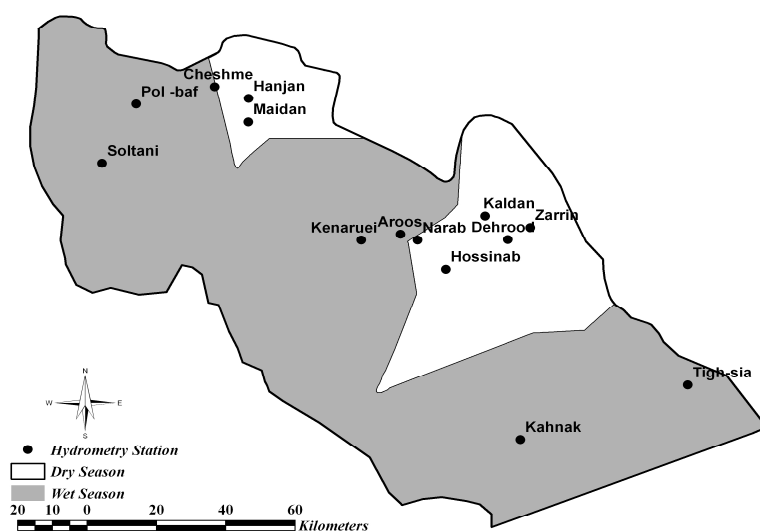
تغییرات در سطح پایه (که به شکل رنگ‌های مختلف نشان داده شده است) یک تقسیم‌بندی فصلی را در سال برای هر ایستگاه نشان می‌دهد. که به ما اجازه گروه‌بندی کردن ایستگاه‌ها به مناطق ژئوگرافیکی همگن در توزیع فصلی تغییرات



شکل ۳. روش گرافیکی به منظور تعیین فصول کم آبی در ایستگاه‌های منتخب



شکل ۴. تغییرات فصلی دوره‌های خشک (کم آبی) و مرطوب در ایستگاه‌های منتخب



شکل ۵. گروه‌بندی ایستگاه‌های منطقه براساس دوره‌های تر و خشک

جریان‌های کم را می‌دهد.

شایان ذکر است که هر دو روش گرافیکی براساس یک ایده بنا شده‌اند و برای بررسی گرافیکی رفتار فصلی جریان‌های کم در ایستگاه‌های مختلف به کار گرفته شدند.

در نهایت بر اساس این روش‌ها، حوزه هلیل رود به دو منطقه همگن تقسیم بندی شد. جهت ترسیم مناطق همگن فصلی تغییرات جریان کم، برای تعیین محدوده هر ایستگاه از پلی گون‌های تیسسن (Theissen polygon) استفاده گردید. و در نهایت جهت گروه کردن ایستگاه‌های همگن از آنالیز تفکیک تار (Reclass analysis) در نرم افزارهای 8.5 Erdas imaging و Idrisi klimanjarو استفاده گردید. شکل ۵ موقعیت ژئوگرافی مناطق همگن را برای این حوزه نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه جهت بررسی تغییرات فصلی زمان وقوع جریان‌های کم از روش تحلیل دبی کمتر از آستانه جریان‌های کم ۷ روزه استفاده گردید. پس از تحلیل فراوانی و انتخاب دبی با دوره بازگشت ۲ ساله به عنوان سطح آستانه، با استفاده از روش PD و به کارگیری دو روش گرافیکی مشخص گردید

منابع مورد استفاده

۱. نصرتی، ک. ۱۳۸۱. تحلیل فراوانی منطقه‌ای جریان‌های کم در منطقه خشک و نیمه خشک حوزه رودخانه اترک. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
2. Adamowski, K. 2000. Regional analysis of annual maximum and partial duration flood data by nonparametric and L- moment methods. J. Hydrol. 229: 219-231
3. Bordi, I., K. Fraedrich, M. Petitta and A. Sutera 2006. Extreme value analysis of wet and dry periods in Sicily. Theor. Appl. Climatol. 87: 61-71.
4. Francisco, N. 1987. Multivariate partial duration series in flood risk analysis. Hydrologic frequency modelling, Internatioal symposium on flood frequency and risk analysis, Baton Rouge, USA.
5. Greenwood, J. A., J. M. Landwehr, N. C. Matalas and J. R. Wallis. 1979. Probability weighted moments: definition and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form. Water Resour. Res. 15(5):1049-1054.
6. Hosking, J. R. M. 1990. L-moments: analyzing and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. J. Royal Stat. Soc. 2: 105-124
7. Hosking, J. R. M. 1986. The Theory of Probability Weighted Moments. IBM Pub., USA.
8. Joseph, E. S. 1970. Probability distribution of annual drought. J. Irrig. Drain. 94(4): 461-474.
9. Lang, M., T.B.M.J. Ouarda and B. Bobe'e. 1999. Towards operational guidelines for over-threshold modeling. J. Hydrol. 255: 103-117.
10. Naess, A. and P.H. Clausen 2001. Combination of the peak -over- threshold and bootstrapping method for extreme

- value prediction. *Structural Safety* 23: 315-330.
11. Parent E. and J. Bernier. 2003. Encoding prior experts judgment to improve risk analysis of extreme hydrological events via POT modeling. *J. Hyrol.* 283:1-18.
 12. Rao, A. R. and K. H. Hamed. 2000. *Flood Frequency Analysis*. CRC Press, Boca Raton, FL.
 13. Taha B. M. J. Quarda, F. Ashkar and N.El-Jabi. 1993. Peak over Threshold model for seasonal flood variation. *Engineering hydrology, proceedings of the symposium ASCE, San Francisco, California*.
 14. Tasker, G. D. 1987. A comparison of methods for estimating low flow characteristics of streams. *Water Resour. Bull.* 23 (6): 1077-1083.
 15. Vogel, R. M. and N. M. Fennessey. 1993. L-moment diagram should replace product moment diagram. *Water Resour. Res.* 29: 1745-1752.
 16. Vogel, R. M. and C. N. Kroll. 1989. Low-flow frequency analysis using probability-plot correlation coefficients. *J. Water Resour. Plan. Manag.* 115 (3): 338-357.