

ارزیابی روشهای تحلیل منطقه‌ای فراوانی جریان کمینه در مناطق خشک و نیمه خشک

غلامرضا زهتاییان^۱، کاظم نصرتی^۲، افسانه شهبازی^۳

۱- استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۲- مربی آموزشکده کشاورزی داراب، دانشگاه شیراز، ۳- کارشناس ارشد محیط زیست دانشگاه تهران

تاریخ وصول: ۱۳۸۲/۳/۱۲

چکیده

تحلیل سنجه‌های فراوانی جریان کمینه روشی دقیق و عملی برای مطالعه خشکسالی هیدرولوژیک می‌باشد. جریان کمینه سالانه را معمولاً بصورت کمترین جریان متوسط در چند روز پیاپی از قبیل ۷، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ روزه در طول یک سال تعریف می‌کنند. بمنظور تعمیم تحلیل فراوانی جریان کمینه در هر ایستگاه، که فقط در همان محل اندازه‌گیری معتبر است، به مناطق فاقد آمار و یا دارای آمار کوتاه مدت از روشهای تحلیل منطقه‌ای استفاده می‌گردد. در این تحقیق ضمن محاسبه سریهای جریان کمینه سالانه با تداومهای ۷، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ روزه، هشت تابع توزیع آماری بر داده‌ها برازش داده شد. سپس با استفاده از مقایسه میانگین مربعات خطای حاصل از برازش توزیعهای مختلف، توزیع لوگ پیرسون نوع سه بعنوان توزیع مناسب منطقه‌ای فراوانی جریان کمینه معرفی گردید. شرط بکار بردن تحلیل منطقه‌ای، همگن بودن منطقه مورد مطالعه است. بنابراین همگنی منطقه به کمک آزمون تحلیل خوشه‌ای بررسی، و دو منطقه همگن شناخته شد. در مرحله بعد، امکان استفاده از روشهای رگرسیون چندگانه (بین جریان کمینه با دوره بازگشتهای خاص و ویژگیهای حوزه آبریز) و شاخص جریان کمینه برای تحلیلهای منطقه‌ای در مناطق همگن ارزیابی شد. نتایج حاصل نشان داد که روش رگرسیون چندگانه سنجه بهتری نسبت به روش شاخص جریان کمینه می‌باشد. نهایتاً با استفاده از مدل‌های رگرسیون چندگانه جریان کمینه با دوره بازگشتهای مختلف در مناطق همگن برآورد و نقشه‌های پهنه بندی جریان کمینه ترسیم گردید. آنالیز نقشه‌های هم مقدار جریان کمینه نشان داد که با افزایش دوره بازگشت، شدت خشکسالی زیادتر می‌شود، و حسب دوره بازگشتهای ۲ و ۱۰ ساله مناطق مستعد خشکسالی تعیین گردید و مشخص شد که نواحی مرکزی و شرقی حوضه خشکسالی شدیدتری را نسبت به سایر نقاط تجربه می‌نمایند. بنابراین در مطالعات منابع آب نیازمند توجه بیشتری می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: جریان کمینه، خشکسالی هیدرولوژیک، مناطق همگن، روشهای رگرسیون چند

متغیره و شاخص جریان کمینه

مقدمه

خشکسالی آبشناسی، کاهش سریع جریان‌های سطحی و افت سطح مخازن آب زیرزمینی، دریاچه‌ها و رودخانه‌ها را بررسی می‌نماید (علیزاده، ۱۳۶۸). تحلیل‌های نقطه‌ای از خشکسالی به دو دلیل در آنالیز خشکسالی مناسب نیست. یکی اینکه پدیده خشکسالی ذاتاً منطقه‌ای بوده و گسترش منطقه‌ای آن یکی از ویژگیهای اصلی مورد توجه در آنالیز خشکسالی است و دیگر اینکه، کوچک بودن اندازه نمونه (بررسی ایستگاهی) یکی از فاکتورهای محدود کننده آنالیز خشکسالی است. بعبارت دیگر، منطقه‌ای نمودن تحلیل خشکسالی ابزاری است برای افزایش اندازه نمونه تحت مطالعه (دراکوپ^۱ و همکاران، ۱۹۸۰).

جریان کمینه سالانه را می‌توان بعنوان کمترین جریان متوسط روزانه در یک سال تعریف کرد، اما معمولاً بصورت کمترین جریان متوسط در چند روز پیاپی از قبیل ۷، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ روزه در طول یک سال تعریف می‌شود. علت محاسبه جریان کمینه برای روزهای پیاپی به حداقل رساندن اثر تغییرات و نوسانات کوچک جریان است (ریگر^۲، ۱۹۸۵).

به طور کلی شناخت سنجه‌های فراوانی جریان کمینه، در مطالعات خشکسالی، طراحی سیستم‌های کاربری آب، طبقه بندی جریانهای رودخانه‌ها، برآورد نفوذ رواناب سطحی، برآورد تغذیه آبخوانها،

پتانسیل رقیق شدگی فاضلاب (ظرفیت جذب)، تنظیم ورود فاضلاب به رودها، مطالعات آبرسانی شهری، کشاورزی و صنعتی و حفظ شرایط مناسب زیست محیطی بسیار مهم می‌باشد (اسماختین^۳، ۲۰۰۱).

در آنالیز منطقه‌ای فراوانی جریان کمینه یکی از عوامل مورد نیاز آگاهی از توزیع آماری مناسب منطقه‌ای می‌باشد. ماتالاس^۴ (۱۹۶۳) نشان داد که برای ۳۱ رودخانه از ۳۴ رودخانه مورد مطالعه در کانادا، توزیع ویبول سه پارامتری بهترین توزیع برای برازش جریانهای کمینه است. لوگاناتان^۵ و همکاران (۱۹۸۵) توزیعهای لوگ پیرسون تیپ سه و ویبول سه پارامتری را بعنوان بهترین توزیعها برای جریان کمینه معرفی کردند. تاسکر^۶ (۱۹۸۷) نتیجه گرفت که توزیع لوگ پیرسون تیپ سه به جز برای ایستگاههای دارای طول آمار خیلی کوتاه نسبت به توزیع ویبول برتری نسبی دارد.

تعیین مناطق همگن از لحاظ شرایط هیدرولوژیک و ویژگیهای منطقه‌ای مورد مطالعه، از شروط لازم در تحلیل منطقه‌ای فراوانی جریان کمینه محسوب می‌شوند. مطالعات تاسکر (۱۹۸۲) نشان داد که تفکیک منطقه مطالعاتی به مناطق همگن باعث دقت بیشتر و خطای کمتر در مدلهای رگرسیونی در مناطق فاقد

3. Smakhtin
4. Matalas
5. Loganatan
6. Tasker

1. Dracup
2. Riggs

منطقه‌ای با خطای استاندارد حدود ۲۷ درصد برای جریان کمینه ۷ روزه ۲ ساله، و حدود ۴۴/۲ درصد برای جریان کمینه ۷ روزه ۱۰ ساله، بدست آوردند. دینگمن و لاولور^۵ (۱۹۹۵) تأثیر بزرگتر بودن منطقه را بوسیله در نظر گرفتن دو ایالت و رمونت و نیوهمپشایر آمریکا به صورت یک منطقه همگن هیدرولوژیک بررسی کرده‌اند. نتیجه کار آنها برای جریان کمینه ۷ روزه ۱۰ ساله، خطای نسبی ۳۳ درصد و خطای برآورد ۶۴ درصد بوده است. برایان کارسو^۶ (۲۰۰۰) در مطالعه خود تحت عنوان ارزیابی روشهای تحلیل فراوانی جریان کمینه چنین نتیجه گرفت که مدل‌های رگرسیونی حاصل از رابطه بین ویژگیهای حوزه و جریان کمینه برتری کامل بر روشهای دیگر دارند. پیلون^۷ (۱۹۹۰) روش اصلاح شده شاخص سیل را برای تحلیل منطقه‌ای فراوانی جریان کمینه در ایالت اونتاریو کشور کانادا به کار برده است. وی از توزیع ویبول استفاده کرده و تغییراتی را نیز در آزمون دالریمل به منظور استفاده از توزیع ویبول ایجاد کرده است. در این مطالعه با هدف بررسی روشهای تحلیل منطقه‌ای سنج‌های جریان کمینه سعی شده است با انتخاب روشی مناسب، جریانهای کمینه با دوره بازگشت‌های مختلف برای مناطق فاقد آمار و یا دارای آمار کوتاه مدت تعیین شوند. تحلیل‌های منطقه‌ای و نقطه‌ای در قالب نقشه‌های پهنه بندی آرایه و هسته‌های خشکسالی آشناسی با دوره بازگشت‌های مختلف ردیابی و مناطق مستعد خشکسالی مشخص شوند.

آمار می‌گردد. آکرمن و سینکلر^۱ (۱۹۸۶) در مطالعه خود به بررسی اهمیت تعیین مناطق براساس خصوصیات حوضه در تحلیل منطقه‌ای سیلاب در اسکاتلند پرداختند. آنها برای تعیین مناطق همگن از روش تحلیل خوشه‌ای^۲ استفاده نمودند. روشهای مختلف تحلیل منطقه‌ای جریان کمینه نظیر ایجاد رابطه بین جریان کمینه و ویژگیهای حوضه، روش شاخص جریان کمینه و روش منطقه‌ای کردن پارامترهای توزیع احتمال، برای تحلیل منطقه‌ای وجود دارند که می‌توان در پیش‌بینی خشکسالی هیدرولوژیک از آن بهره‌مند شد. توماس و بنسون^۳ (۱۹۷۰)، در مطالعاتشان روی حوزه آبخیز رودخانه پوتوماک در ایالات متحده، میانگین خطاهای برآورد برای مدل‌های رگرسیون منطقه‌ای جریان کمینه را بیش از دو برابر میانگین خطاهای برآورد برای مدل‌های رگرسیون منطقه‌ای سیل در همان حوزه آبریز بدست آوردند. ووگل و کروئل^۴ (۱۹۹۲) نشان داده‌اند که بدست آوردن مدلی که پایه و اساس فیزیکی داشته و واکنش جریان کمینه یک حوزه را به پارامترهای ژئومورفیک و ژئوهیدرولوژیک مناسب ربط می‌دهد، منجر به بهبود ساختمان مدل‌های رگرسیون بدست آمده خواهد شد. آنها یک مدل فیزیکی را به عنوان یکی از ویژگیهای حوزه آبریز به همراه مساحت حوزه زهکشی و شیب متوسط حوزه به کار بردند و معادلات رگرسیون

5. Dingman and Lawlor
6. Brian and Caruso
7. Pilon

1. Acreman and Sinclair
2. Cluster Analysis
3. Thomas and Benson
4. Vogel and Kroll

مواد و روشها

مشخصات عمومی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبریز اترک در شمال شرق ایران از توچال تا دریای خزر گسترش داشته و در محدوده طول های 54 الی 59°4' و عرض های 36 57' الی 17' 38' قرار گرفته است. حوزه اترک در تقسیم‌بندی حوزه‌های آبخیز کل کشور، در واقع بخشی از حوزه دریای مازندران محسوب می‌شود. به علت قانونمند نبودن تغییرات بارش بر حسب ارتفاع در تمامی حوزه، تدوین مدل ریاضی که بیانگر تغییر اقلیم بر حسب ارتفاع باشد امکان‌پذیر نیست و از دید کلی حوزه آبریز اترک از نظر آب و هوایی خشک و نیمه خشک ارزیابی می‌گردد.

آماده‌سازی داده‌ها

ابتدا از بین ایستگاههای آبریز رودخانه اترک، ایستگاههای مناسب از لحاظ طول دوره آماری و شرایط آبشناسی منطقه، برای تحلیل فراوانی کمینه انتخاب شدند که در جدول (۱) طول دوره آماری در دسترس در این ایستگاهها تصویر شده است. شکل (۱) موقعیت منطقه مطالعاتی و ایستگاههای آبریز را در منطقه نشان می‌دهد. سپس با استفاده از برنامه‌ای که تحت Qbasic نوشته شد آمار دبی روزانه هر یک از ایستگاههای هیدرومتری منتخب، که از سازمان تحقیقات منابع آب (تماب) تهیه شد، به شکلی تنظیم شد که دبی روزانه هر سال آبی به طور متوالی تصویر و سریهای زمانی جریان کمینه با تداوم ۷، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ روزه محاسبه شد. جهت غلبه بر جریانهای صفر و کاهش

خطا از روش جنینگز و بنسون^۱ (۱۹۶۹) استفاده شد. در این روش ابتدا داده‌های غیرصفر را به توزیع برازش داده و سپس احتمالات حاصل را در نسبت تعداد داده‌های غیرصفر به کل داده‌ها ضرب می‌کنیم. سپس با کمک برنامه HYFA تالغ توزیع لوگ پیرسون تیپ سه به عنوان بهترین تالغ توزیع منطقه‌ای شناخته شد و در نهایت جریان های کمینه با تداومهای و دوره‌بازگشتهای مختلف محاسبه شدند.

بررسی همگنی منطقه

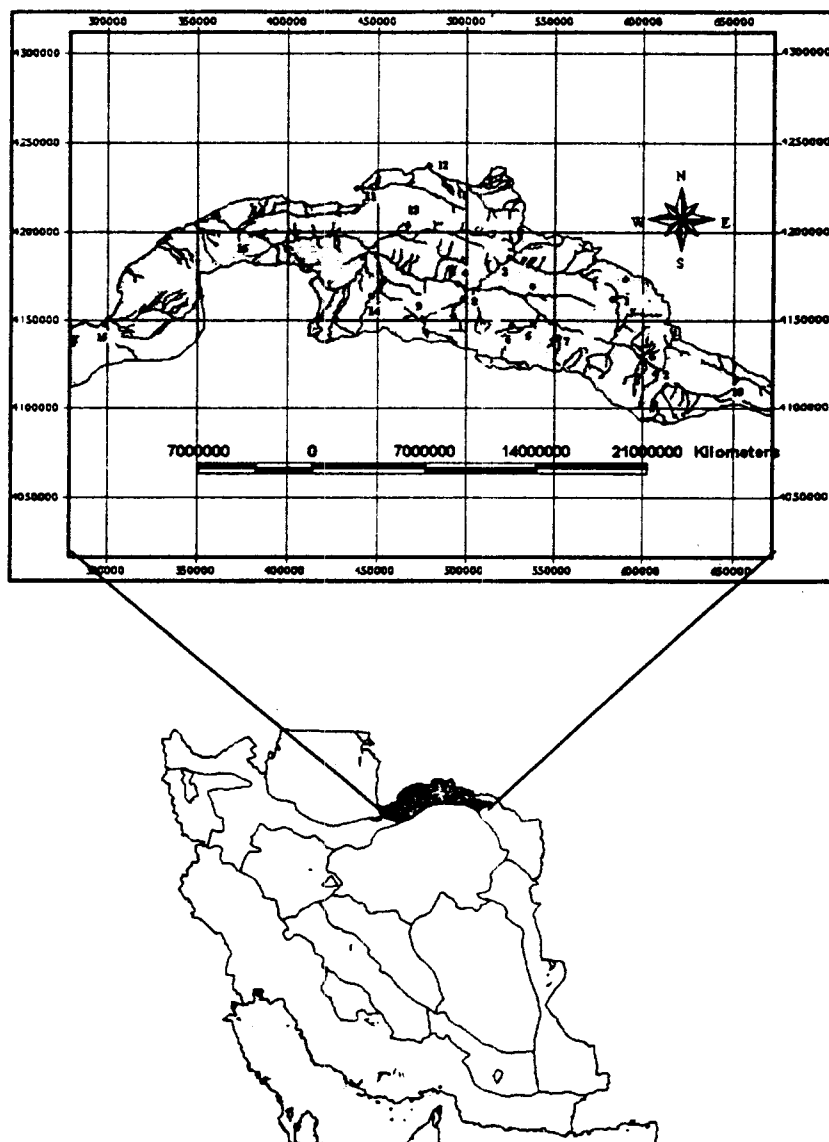
در این مطالعه برای تعیین عاملهای مهم و غیر همبسته تحلیل عاملی برای ۱۷ متغیر اندازه‌گیری شده در حوضه‌های منتخب با استفاده از نرم‌افزار SPSS بکار برده شد. متغیرها شامل خصوصیات مختلف حوضه نظیر مساحت، محیط، ضریب گراولیسوس، طول مستطیل معادل، عرض مستطیل معادل، ضریب‌شکل، ارتفاع متوسط وزنی، طول آبراهه اصلی، شیب آبراهه اصلی، شیب متوسط وزنی، زمان تمرکز، ارتفاع حداکثر، ارتفاع حداقل، تراکم آبراهه، درصد سازند نفوذپذیر، ضریب جریان و بارندگی متوسط سالانه می‌باشند پس از انتخاب متغیرهای ضروری، با کمک تحلیل عاملی چهار ویژگی مساحت، شیب متوسط وزنی، بارش متوسط سالانه و درصد سازند نفوذپذیر که مجموعاً ۸۷/۸ درصد از واریانس داده‌ها را در بر گرفته‌اند، به عنوان متغیرهای مستقل و پر اهمیت شناخته شدند.

در این مرحله عاملهای استخراج شده تحت فرآیند آماری تحلیل خوشه‌ای قرار گرفته و با استفاده از

1. Jennings and Benson

هوتن و بهار و در منطقه همگن دو، ۱۱ ایستگاه شیرآباد، درکش، هی هی، فیروزه، بارزو، قتلش، بابا امان، دربند، قلعه بربر، چهار خروار، آبرقایه قرار گرفتند.

امتیازات عاملی ایستگاههای منتخب گروه بندی شدند. با در نظر گرفتن فاصله تشابه ۶/۲۵ منطقه مطالعاتی به دو منطقه همگن تقسیم می شود. چنانچه در منطقه همگن یک ۵ ایستگاه دانشمند، داشلی برون، قازانقایه،



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاههای هیدرومتری انتخاب شده در منطقه

جدول (۱) طول دوره آماری ایستگاههای منتخب در حوزه آبریز اترک

سال	ردیف	کد	76	75	74	73	72	71	70	69	68	67	66	65	64	63	62	61	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	دوره آماری
			۱	11-003	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
۲	11-011	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	۲۲	
۳	11-015														+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	۱۲	
۴	11-019																+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	۱۰	
۵	11-021	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	۲۶	
۶	11-027	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	۲۶	
۷	11-031		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	۲۳	
۸	11-033	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	۲۳	
۹	11-035		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	۲۴	
۱۰	11-045									+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	۱۴	
۱۱	11-051	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	۱۵	
۱۲	11-053	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	۱۲	
۱۳	11-061																+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	۷	
۱۴	11-069	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	۱۳	
۱۵	11-073	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	۲۱	
۱۶	11-101	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	۱۳	

روشهای تحلیل منطقه‌ای فراوانی جریان کمینه

در این مرحله دوروش ایجاد رابطه بین جریان کمینه با دوره بازگشت خاص و خصوصیات حوضه آبریز و روش شاخص جریان کمینه ارزیابی شده است.

در روش اول سعی بر این است که رابطه معنی‌داری بین جریان کمینه با یک دوره بازگشت خاص و ویژگیهای حوضه آبریز مانند خصوصیات فیزیوگرافی، زمین‌شناسی و اقلیمی به دست آورده شود. با توجه به اینکه معمولا جریان کمینه با یک دوره بازگشت خاص مثل $Q_{7,10}$ (جریان کمینه ۷ روزه با دوره بازگشت ۱۰ سال) مورد نیاز است این روش

کاربرد وسیعی داشته است و تاکنون محققان بسیاری مدل‌هایی منطقه‌ای برای تخمین جریان کمینه در محل اندازه‌گیری نشده به این روش به دست آورده‌اند. شکل کلی چنین مدل‌هایی به صورت زیر است:

$$Q_{d,T} = f[X_1^{b_1}, X_2^{b_2}, \dots] \quad (1)$$

که در آن:

$Q_{d,T}$: جریان کمینه d روزه با دوره بازگشت T که از آمار جریان در محل‌های اندازه‌گیری شده به دست می‌آید.

x: ویژگیهای حوضه آبریز

همگن یک و حوضه های تبرک آباد، سیساب و آغمر از در منطقه همگن دو جای گرفتند. مقادیر جریان کمینه برای این ایستگاهها بر اساس روابط منطقه ای در هر منطقه همگن، استخراج گردید. و انواع خطاها در هر دو روش در دو منطقه همگن از رابطه زیر بدست آمدند.

$$\text{خطای نسبی (\%)} = \frac{|\hat{Q}_{7,10} - Q_{7,10}|}{Q_{7,10}} \times 100 \quad (2)$$

که در آن $Q_{7,10}$ ، جریان کمینه محاسبه شده از تحلیل فراوانی هر ایستگاه است. از میانگین مقادیر خطای نسبی می توان به عنوان یکی از راههای مقایسه کارایی روشها استفاده کرد. همچنین می توان یک معادله رگرسیون خطی بین مقادیر $\hat{Q}_{7,10}$ و $Q_{7,10}$ برای دو روش به شکل کلی زیر برآزش داد.

$$\hat{Q}_{7,10} = a + bQ_{7,10} \quad (3)$$

که a و b ضرایب رگرسیون هستند و برای یک روش برآورد غیر اریب باید شرایط زیر برقرار باشد.

$$MBE = 0 \text{ و } b = 1 \text{ و } a = 0$$

که MBE میانگین خطای اریبی را نشان می دهد و از رابطه زیر بدست می آید.

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\hat{Q}_{7,10} - Q_{7,10} \right) \quad (4)$$

از a و b و MBE می توان به عنوان معیارهای اریبی در ارزیابی و مقایسه روشها استفاده کرد. ضریب همبستگی (R) برای رابطه (۳) را نیز می توان به عنوان

b : پارامترهایی که با استفاده از تکنیکهای رگرسیون چندمتغیره برآورد می شوند.

در روش شاخص جریان کمینه ابتدا برای ایستگاههایی که در منطقه همگن قرار گرفته اند، لازم است تا Q_T/Q_2 برای دوره بازگشتهای مختلف محاسبه شود و سپس میانگین نسبتهای حاصله بین ایستگاهها برای دوره بازگشتهای مختلف بدست آید. این میانگینها برای تداومهای ۷، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ روزه برای مناطق همگن یک و دو محاسبه شدند. در ادامه روش شاخص جریان کمینه باید معادله ای منطقه ای بین میانگین پیشامد سالانه و ویژگیهای حوضه آبریز بدست آید. برای این کار از تکنیک رگرسیون چندگانه استفاده می گردد. به این منظور از نتایج تحلیل عاملی استفاده شد و ترکیبهای مختلفی از ویژگیهای مساحت، شیب متوسط، بارش سالانه و درصد سازند نفوذپذیر همراه با جریان کمینه با تداومهای مختلف بررسی شدند.

محاسبه خطا

جهت ارزیابی روشهای تحلیل منطقه ای در مناطق همگن از ایستگاههایی که در تحلیل منطقه ای شرکت نکرده اند استفاده شد. سپس تحلیل فراوانی در این ایستگاهها صورت گرفت و مقادیر چهار عامل بدست آمده از تحلیل عاملی نیز برای ایستگاههای مذکور استخراج گردید. در مرحله بعد موقعیت هر یک از ایستگاهها در گروههای همگن مشخص گردید. بطوریکه در گروهبندی، حوضه های چات مشترک، ترشکلی و مراوه تپه در منطقه

ترکیبهای مختلفی از ویژگیهای حوضه آبریز برای ورود به مدل بررسی شدند و در نهایت ترکیبی که برای هر یک از مناطق همگن معنی دار بوده و نتیجه‌بهتری از لحاظ ضریب همبستگی و خطای استاندارد ارائه شدند. جدول (۲) ترکیب‌های ورودی مدل منطقه‌ای جریان کمینه ۷ روزه ۱۰ ساله در سطح معنی دار ۵ درصد و جدول (۳) مدل‌های نهایی مناسب برای جریان کمینه ۷ روزه با دوره بازگشت ۱۰ سال نشان داده شده است.

در روش شاخص جریان کمینه باید معادله‌ای منطقه‌ای بین میانگین پیشامد سالانه و ویژگیهای حوضه آبریز بدست آید. برای این کار از تکنیک رگرسیون چندگانه استفاده می‌گردد. به این منظور از نتایج تحلیل عاملی استفاده شد و ترکیبهای مختلفی از ویژگیهای مساحت، شیب متوسط، بارش سالانه و درصد سازند نفوذپذیر همراه با جریان کمینه با تداوم‌های مختلف بررسی شدند. خلاصه این بررسی برای تداوم ۷ روزه در جدول (۴) آمده است. همچنین مدل‌های نهایی این روش در جدول (۵) نشان داده شده است.

پس از انجام تحلیل منطقه‌ای معیارهای مقایسه بیان شده در روش مطالعه محاسبه شدند که نتایج آن در جدول (۶) نشان داده شده است. به منظور داشتن ایده‌ای کلی از ویژگیهای منطقه‌ای جریان کمینه در منطقه مطالعاتی، جریان کمینه با تداوم ۷ روزه با دوره بازگشت ۲ سال نیز طبق مدل‌های منطقه‌ای، که به روش رگرسیون چندگانه (روش مناسب) بدست آمدند، محاسبه شدند. مدل‌های منطقه‌ای برآورد جریان

معیارهای دقت برای مقایسه روشها به کار برد. همچنین می‌توان درصد میانگین خطای اریبی نسبی و درصد جذر میانگین مربعات خطای نسبی (نسبت به میانگین مقادیر واقعی) را برای هر دو روش در هر دو منطقه همگن بعنوان معیارهای دیگر استفاده نمود. مقدار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (\hat{Q} - Q)^2}{N}} \quad (5)$$

هر چه مقدار RMSE و |MBE| (قدر مطلق MBE) کمتر باشند دقت مدل بالاتر است. مقادیر مثبت MBE نشان‌دهنده آنست که مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل بیشتر از مقادیر واقعی و مقادیر منفی آن نشان دهنده آنست که مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل کمتر از مقادیر واقعی می‌باشند.

در نهایت با کاربرد معادله بهترین روش تحلیل منطقه‌ای جریان کمینه، مقادیر جریان کمینه با تداوم ۷ روزه و دوره‌بازگشت‌های دو، ۱۰ و ۵۰ سال برای کل منطقه مطالعاتی برآورد گردید و با روش کریجینگ منطقه مطالعاتی از لحاظ جریان کمینه پهنه‌بندی شد و نقشه‌های هم‌مقدار جریان کمینه ترسیم شد.

نتایج

برای تحلیل منطقه‌ای فراوانی جریان کمینه با روش اول، روابط بین جریان کمینه با تداوم و دوره‌بازگشت مختلف و نتایج حاصل از تحلیل عاملی به کمک رگرسیون چند متغیره بررسی شد.

پس از برآورد جریان کمینه با دوره بازگشت‌های ۲ و ۱۰ سال برای تمام ایستگاههای موجود در منطقه، نقشه پهنه‌بندی جریان کمینه بدست آمد. این نقشه‌ها در شکل (۲، الف وب) تصویر شده‌اند.

کمینه برای مناطق همگن یک و دو بترتیب در معادلات (۶) و (۷) نشان داده شده‌اند.

$$\text{Log}(Q_{7,2}) = 0.05 \log(A) - 1/856 \quad (6)$$

$$\text{Log}(Q_{7,2}) = 1/506 \log(I) - 1/88 \quad (7)$$

جدول (۲) ترکیب‌های ورودی مدل منطقه‌ای در روش رگرسیون چند متغیره جریان کمینه ۷ روزه ۱۰ ساله در سطح معنی‌دار ۵ درصد

خطای استاندارد	ضریب همبستگی	متغیرهای مستقل وارد شده به مدل	متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده	منطقه مطالعاتی	متغیر وابسته	
۰/۲۰۸	۰/۸۷	A , PPF	A , I , R , PPF	کل منطقه	Q _{7,10}	
۱/۲۵۱	۰/۸۵۶	Log A , LogI	LogA,LogI,LogR,Log PPF			
۰/۰۰۳	۰/۹۹۷	A	A , I , R , PPF	منطقه همگن یک		
۳۲۵	۱/۷۹۱	Log A	LogA,LogI,LogR,Log PPF	منطقه همگن دو		
۱۰۱۹	۱/۸۹	A , PPF	A , I , R , PPF			
۱/۲۸۱	۱/۸۸	Log A	LogA,LogI,LogR,Log PPF	کل منطقه		Log(Q _{7,10})
۱/۵۵۳	۱/۸۰۲	A , I	A , I , R , PPF			
۱/۲۵۸	۱/۷۹۵	Log A	LogA,LogI,LogR,Log PPF	منطقه همگن یک		
۱/۲۳۶	۱/۸۸۷	A	A , I , R , PPF			
۱/۷۱۱	۱/۸۸۹	Log A	LogA,LogI,LogR,Log PPF	منطقه همگن دو		
۱/۷۱۱	۱/۸۸۹	A , I	A , I , R , PPF			
۱/۵۵	۱/۹۱۲	Log A	LogA,LogI,LogR,Log PPF			

A: مساحت، I: شیب متوسط، R: بارش سالانه PPF: درصد سازند نفوذپذیر

جدول (۳) مدل‌های ارائه شده در رگرسیون چندمتغیره برای جریان کمینه ۷ روزه ۱۰ ساله

مدل	متغیرهای مستقل وارد شده به مدل	متغیر وابسته	منطقه مطالعاتی
$Q_{7,10} = 0.35 \times 10^{-5} A + 1.15 \times 10^{-3}$	A	Q _{7,10}	منطقه همگن یک
$Q_{7,10} = 2.4 \times 10^{-6} A + 3.5 \times 10^{-4} PPF + 0.018$	A , PPF	Q _{7,10}	منطقه همگن دو

مناطق خشک و نیمه خشک

جدول (۴) ترکیب ورودی مدل منطقه‌ای روش شاخص جریان کمینه ۷ روزه در سطح معنی‌دار ۵ درصد

خطای استاندارد	ضریب همبستگی	متغیرهای مستقل وارد شده به مدل	متغیرهای مستقل مورد نظر	منطقه همگن	متغیر وابسته	
۰/۱۷۶	۰/۹۷	A, R	A, I, R, PPF	منطقه همگن یک	MQ ₇	
۰/۳۹	۰/۸۹	Log R	LogA, LogI, LogR, Log PPF			
۰/۰۶	۰/۸۶	A, PPF	A, I, R, PPF	منطقه همگن دو		
۰/۱۳	۰/۷۰۶	Log A	LogA, LogI, LogR, Log PPF			
۰/۲۵۳	۰/۷۶	R	A, I, R, PPF	منطقه همگن یک		Log(MQ ₇)
۰/۲۴	۰/۹۱۷	Log R	LogA, LogI, LogR, Log PPF			
۰/۱۷۴	۰/۶۹	A, PPF	A, I, R, PPF	منطقه همگن دو		
۰/۰۶۹	۰/۸۰۹	Log A, Log I	LogA, LogI, LogR, Log PPF			

جدول (۵) ترکیب نهایی میانگین پیشامد سالانه جریان کمینه و خصوصیات حوضه در روش شاخص جریان کمینه

مدل	متغیرهای مستقل وارد شده به مدل	متغیر وابسته	منطقه مطالعاتی
$MQ_7 = 0.13 \times 10^{-5} A - 3.65 \times 10^{-3} R + 2.613$	A, R	MQ ₇	منطقه همگن یک
$MQ_7 = 7.01 \times 10^{-5} A + 3.1 \times 10^{-3} PPF + 0.134$	A, PPF	MQ ₇	منطقه همگن دو

جدول (۶) مقایسه روشهای تحلیل منطقه‌ای بوسیله معیارهای مختلف در مناطق همگن

معیار مقایسه		a	b	R	RMSE	RMSE %	MBE	MBE %	درصد خطای نسبی
منطقه همگن یک	روش اول	-۰/۰۵	۰/۹	۰/۹۵۹	۰/۴۸۱	۳۸/۱۳	-۰/۲۶	-۲۱/۵	۳۹/۲۶
	روش دوم	-۰/۱۶	۰/۳۵	۰/۰۶۳	۰/۴۸۹	۳۸/۹۷	-۰/۲	-۱۶/۱	۴۰/۲۴
منطقه همگن دو	روش اول	۰/۴۳	۰/۷۸۵	۰/۷۱	۰/۱۵۹	۲۸/۴۸	-۰/۰۸	-۱۴/۸	۲۷/۸۳
	روش دوم	۰/۵۱	۰/۴۷	۰/۶۴	۰/۵۱۳	۹۱/۶	-۰/۰۲	-۴/۷	۸۵/۵

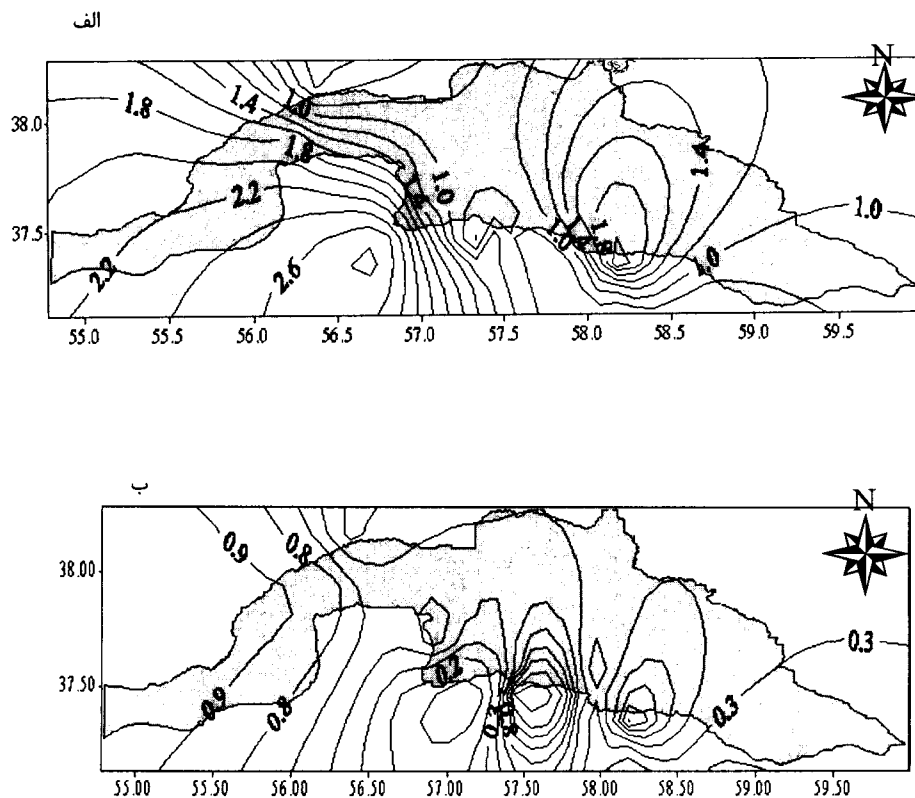
بحث و نتیجه گیری

نظر به اینکه ویژگیهای مختلف حوزه های آبخیز بر چرخه هیدرولوژیک تأثیر می گذارند بهتر است که همگنی حوضه ها از جنبه ها و معیارهای مختلف بررسی شوند. پس می توان با اضافه نمودن معیارهای دیگری مانند شاخص پوشش گیاهی و خصوصیات خاک بر دقت تعیین مناطق همگن افزود. همچنین می توان نتیجه گرفت که ویژگیهای مساحت حوزه، شیب متوسط حوزه، بارش متوسط سالانه و درصد سازند نفوذپذیر در فراوانی جریان کمینه و بدنبال آن در ظهور خشکسالی هیدرولوژیک مؤثر می باشند.

با توجه به تعداد ایستگاه محدود، در بررسی میزان خطای روابط منطقه ای در هر یک از مناطق همگن، مقادیری که به عنوان معیارهای اریبی در ارزیابی و مقایسه روشها بکار رفته اند، نتایج مناسبی را ارائه نمی دهند. چنانچه مقادیر جذر میانگین مربعات خطا و درصد آن، ضریب همبستگی و درصد خطای نسبی برای روش اول یعنی رگرسیون چند متغیره در مناطق همگن دوگانه دلالت بر برتری این روش بر روش دوم (جریان کمینه شاخص) دارند. اما با توجه به کمبود تعداد ایستگاهها برای مقایسه خطا در هر یک از مناطق همگن نمی توان به مقادیر اریبی اعتماد کرد زیرا در بررسی مقادیر ضرایب رگرسیون، حداقل داده، یعنی سه ایستگاه بکار رفته است. اما با توجه به نتایج بدست آمده می توان روش رگرسیون چند متغیره را به عنوان روش بهتر انتخاب کرد.

تحلیل نقشه های خشکسالی نشان می دهد که با افزایش دوره بازگشت خشکسالی، مقادیر جریان کمینه کاهش یافته و در نتیجه شدت خشکسالی بیشتر می شود. در شکل (۲ الف)، نقشه مربوطه به دوره بازگشت دو ساله، خطوطی که از منطقه عبور کرده اند، مقدار جریان کمینه حدود ۰/۰۴۴ تا ۲/۸ را نشان می دهند که یک هسته خشکسالی آبشناسی نواحی مرکزی منطقه را تحت تأثیر قرار داده و یک نوار خشکی از شمال تا جنوب ایجاد شده است. بایرونیایی خطوط هم مقدار، یک هسته خشکسالی با مقدار عددی حدود صفر از جنوب و یک دسته خشکسالی از شمال شرقی، منطقه را تحت تأثیر قرار داده اند. در شکل (۲ ب)، نقشه مربوط به دوره بازگشت ۱۰ ساله، مقادیر خطوط هم مقداری که منطقه را تحت تأثیر قرار داده اند عموماً بین ۰/۰۰۴ تا ۱/۴ می باشند. گستره نواحی مرطوب با نفوذ هسته های متعدد خشکسالی آبشناسی محدود، و نوار خشکی به نواحی شرق و غرب گسترش یافته است. بدین ترتیب با افزایش دوره بازگشت خشکسالی، تعداد هسته هایی که منطقه را تحت تأثیر قرار می دهند به تدریج فزونی یافته و در دوره بازگشت بالا، گستره خشکی تمام منطقه را فرامی گیرد. در سرجمع دوره بازگشتهای مشاهده شده مشخص شد که نواحی مرکزی و شرقی حوضه خشکسالی شدیدتری را نسبت به سایر نقاط تجربه می نمایند. بنابراین این مناطق در معرض خسارات و صدمات اقتصادی- اجتماعی خشکسالی آبشناسی قرار داشته و استعداد افزایش روند بیابانزایی در آنها بیشتر است. بنابراین

مناطق خشک و نیمه خشک



شکل (۳) نقشه پیش بینی خشکسالی هیدرولوژیک با دوره بازگشت ۲ سال (الف) و با دوره بازگشت ۱۰ سال (ب) در حوزه آبخیز رودخانه اتوک

- ارزیابی مدیریت ریسک (خطر) خشکسالی آبشناسی با استفاده از سیستم های خبره مانند شبکه های عصبی مصنوعی و منطق فازی در حوزه مورد نظر، که در بر گیرنده پایش و پیش بینی خشکسالی است.
- بکارگیری جریان کمیته در مطالعات اکولوژی رودخانه ها و ارزیابی اثرات زیست محیطی از نظر اقتصادی - اجتماعی و اکولوژیک.

در مطالعات منابع آب (تأسیسات آبی، برداشت آب از حوضه، آبرسانی و...) نیازمند توجه بیشتری می باشند. با توجه به تحقیق صورت گرفته، می توان پیشنهادات زیر را جهت پیشبرد و تداوم تحقیقات آتی درباره جریان کمیته عنوان نمود:

- جهت افزایش دقت تعیین مناطق همگن، همچنین بهبود معادلات رگرسیون منطقه ای استفاده از معیارهای دیگری علاوه بر معیارهای مورد استفاده در این تحقیق، مانند خصوصیات خاک و شاخص پوشش گیاهی.

منابع

- ۱- علیزاده، ا. ۱۳۶۸. مفهوم هیدرولوژی خشکسالیها و روشهای پیش‌بینی آن. نیوار، انتشارات سازمان هواشناسی کشور، شماره بهار.
- 2- Acreman, M. C., Sinclair, C. D., 1986. Classification of drainage basins according to their physical characteristics for flood frequency analysis in Scotland, *Journal of Hydrology*, 84,365-384.
- 3- Brian S. C. 2000. Evaluation of low flow frequency analysis methods. *Journal of Hydrology* 39(1): 19-47
- 4- Dingman, S.L., and S.C.Lawlor, 1995; Estimating low flow quantiles from drainage basin characteristics in New Hampshire and Vermont, *Water Resources Bulletin*, Vol.31, No.2, PP.243-256
- 5- Dracup, J. A., K. S. Lee and E. G. Paulson Jr 1980. On the definition of droughts. *Water Resource Research*, 16: 297-302.
- 6- Jennings M.E.and M.A. Benson. 1969. Frequency curve for annual flood series with some zero events of incomplete data. *Water Resources Research*, 5(1): 275- 280
- 7- Lognathan. G .V. C. Y. Kuo, and T.C.Mc Cormick, 1985. Frequency analysis of low flows. *Nordic Hydrology*. Vol.16, No.16, pp.105- 128.
- 8- Matalas. N.C.1963. Probability distribution of low flows. *USGS Prof. Papers*. 434
- 9- Pilon, P.G., 1990. The weibol distribution applied to regional low flow frequency anlysis, *Symp. Regionalization in hydrology, IAHS Publ., No.191, 227-237*
- 10- Riggs. H.C.1985. *Stream Flow Characteistics*. Elsevier.
- 11- Smakhtin.V.U.2001.Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*.240: 147-186.
- 12- Tasker, G.D. 1982. Comparing methods of hydrologic regionalization, *Water Resources Bulletin*, 18(6): 965-970.
- 13- Tasker, G.D. 1987. A comparison of methods for estimating low flow characteristics of streams, *Water Resources Bulletin*, Vol. 23, No.6, pp.1077-1083
- 14- Thomas, W.o. and M.A.Benson, 1968. Uniform flood frequency estimating methods for Federal Agencies. *Water Resources Geology*, 891-908
- 15- Vogel, R.M., and C.N.Kroll, 1992,Regional geohydrologic-genorphil relationships for the estimation of low flow statistics. *Water Resources Research*, Vol.28, No.9, PP: 2451-2458.

An Evaluation of Regional Low-flow Frequency Analysis Methods in Arid and Semi-arid Regions

G.Zehtabian¹ , K. Nosrati² , A. Shahbazi³

1- Professor, University of Tehran, 2- Faculty member, University of Shiraz, 3- M.Sc. Graduate of Environmental Science, University of Tehran

Received : 2/6/2003

ABSTRACT

Analysis of low flow frequency indices is an applied method in studying hydrological drought. Annual low flows were defined as the lowest mean daily flow with in continuous period of 7, 15, 30 and 60 days in a year. Estimation of low flow is often needed at chatchments that are not equipped with gauging stations, therefore regional analysis methods are often used. In this study, suitable gauging stations in Atrak river basin were selected. After determining the annual low flow series with a duration of 7, 15, 30 and 60 days, 8 probability distributions were fitted to the data set. Log-Pearson was selected as a suitable regional distribution for low flow frequency analysis in the study area. Regional homogeneity of the study area was assessed through cluster analysis was two homogene areas being regionalized. Regional analysis was performed for two methods of multivariate regression and low flow index method. Results showed that multivariate regression method is a better measure than low flow index method. Finally, using the regional models, low flows with return periods in the homogenous regions were estimated. Forecasting maps of drought with return periods of 2 and 10 years were drawn. Results showed that the more the number of return periods of drought, the more the drought severity. In total, observed return periods indicated that the eastern and central parts of the watershed experienced a more severe drought than the other locations. These regions require more attention in the future water resources studies.

Key word: Low flow, Hydrological drought, Homogene regions, Multivariate regression, Low flow index methods.