

بررسی اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی هیدرولوژیک

کاظم نصرتی *، سید سعید اسلامیان ** و افسانه شهبازی ***

چکیده

برای مطالعه خشکسالی هیدرولوژیک با روش تحلیل منطقه‌ای، با استفاده از داده‌های روزانه ۱۲ ایستگاه آب‌سنجی حوزه آبریز اترک، جریان کمینه با تداوم هفت روزه در هر ایستگاه محاسبه شد. به منظور تعمیم تحلیل‌های نقطه‌ای بر منطقه مورد مطالعه، مدل منطقه‌ای مناسب جریان کمینه هفت روزه با دوره بازگشت ۱۰ سال با روش مدل‌های رگرسیونی استخراج و جریان کمینه به صورت منطقه‌ای برای ۲۰ ایستگاه برآورد شد. با در نظر گرفتن داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های منطقه، داده‌های روزانه هیدرومتری ایستگاه‌ها به مدت ۵۰ سال با استفاده از مولد ClimGen شبیه‌سازی شد. جریان کمینه هفت روزه با دوره بازگشت ۱۰ سال برای داده‌های شبیه‌سازی شده برای کلیه ایستگاه‌ها برآورد شد. سپس نقشه‌های پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه از لحاظ جریان کمینه ترسیم و مقادیر جریان کمینه با دو فرض موجود مقایسه شد. نتایج نشان داد که مقادیر جریان کمینه در حالت تولید داده‌ها، کاهش و خشکسالی در کل منطقه گسترش یافته است. با بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی مشخص شد که در حالت گرم شدن احتمالی و کاهش بارندگی، هسته‌های خشکسالی آبشناسی افزایش یافته و مناطق مستعد خشکسالی به طور جدی تحت تأثیر می‌گیرد که باید در مدیریت منابع آب مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم؛ جریان کمینه؛ حوزه آبریز اترک؛ خشکسالی هیدرولوژیک

* - مربی گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه شیراز، شیراز - ایران

** - دانشیار گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان - ایران

*** - مربی گروه محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، اصفهان - ایران

عرض جغرافیایی بالا، افزایش تعداد روزهای با درجه حرارت زیاد و افزایش یا کاهش خشکسالی و یا سیل شود (۶). افزایش دمای کره زمین سبب تغییرات وسیع در اقلیم‌های سطح زمین گردیده و باعث بروز تغییرات زمانی و مکانی بارش‌ها می‌شود. لذا میانگین دمای هوا در سطح زمین و تغییرات آن نشانه تغییرات اقلیمی می‌باشد و با بررسی روند تغییرات میانگین دمای هوا می‌توان تغییرات اقلیمی را ردیابی نمود (۷).

در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در مورد اثر احتمالی تغییر اقلیم بر جریان رودخانه‌ها صورت گرفته و تغییرات میانگین‌های بلندمدت اقلیمی و ویژگی‌های هیدرولوژیک بررسی شده است. در یک روش آمار ثبت شده تاریخی قابل دسترس جریان رودخانه‌ها تحلیل می‌شود و در روش دیگر اثر سناریوهای مختلف تغییر اقلیم بر جریان رودخانه‌ها از طریق مدل‌های هیدرولوژیک بررسی می‌شود. اثر تغییر اقلیم بر جریان‌های کمینه بیشتر از جریان‌های بیشینه می‌باشد (۹). در حوزه آبخیز می‌سی‌سی‌پی، اثر تغییر اقلیم بر جریان کمینه بررسی و تطابق الگوهای چرخه جریان رودخانه با الگوهای بارش اثبات و روشی برای بهبود برآورد شاخص‌های جریان کمینه برای چرخه‌های اقلیمی پیشنهاد شده است (۱۰). شواهدی مبنی بر تغییر آب و هوا در بریتانیا ارائه شده است و نشان می‌دهد که روند تغییر به سمت تابستان‌های خشک و پاییز مرطوب می‌باشد (۱۲). در مطالعه تغییرات احتمالی در فراوانی داده‌های هیدرولوژیک در اروپا مشخص شد که تشخیص

به دلیل متغیرهای مختلف مؤثر بر بروز خشکسالی تعریف مشخصی برای آن وجود ندارد. خشکسالی به‌عنوان بارندگی کمتر از حد معمول یک منطقه در یک دوره زمانی معین تعریف شده است (۱۳). در خشکسالی هیدرولوژیک کاهش سریع جریان‌های سطحی و افت سطح مخازن آب زیرزمینی، دریاچه‌ها و رودخانه‌ها بررسی می‌شود. به‌عنوان مثال، براساس حجم سالانه جریان آب ۱۴ رودخانه در فلسطین اشغالی برای یک دوره آماری ۳۰ ساله نتیجه‌گیری شد که خشکسالی هیدرولوژیک در این کشور وجود نداشته است (۴). در تحلیل منطقه‌ای شدت، مدت و دوره بازگشت خشکسالی از روش تحلیل داده‌های بارندگی در حوزه آبریز رودخانه اترک استفاده شده و برای تعمیم تحلیل‌های نقطه‌ای به منطقه‌ای، نقشه‌های هم‌شدت خشکسالی ترسیم شده است (۱).

تغییر اقلیم ناشی از تغییرپذیری کوتاه‌مدت آب و هوا، تغییر روندهای اقلیمی بلندمدت، تغییرات فرآیندهای طبیعی و یا در اثر فعالیت‌های بشری می‌باشد. بارش سالانه در دهه‌های اخیر حدود ۲۰ تا ۴۰ درصد کاهش یافته و خشکی در حال افزایش است. از نظر محققین هیدرولوژی اهمیت تغییر اقلیم، تشدید سیکل هیدرولوژی به‌خصوص در مناطق خشک می‌باشد (۷). به‌طورکلی پیش‌بینی محققین آن است که در سال ۲۱۰۰ درجه حرارت کره زمین حدود ۳/۵-۱ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد که می‌تواند منجر به افزایش بارندگی زمستانه در مناطق واقع در

مواد و روشها

حوزه آبخیز رودخانه اترک در شمال شرق ایران، در محدوده طول جغرافیایی 54° الی 59° و عرض جغرافیایی 36° الی 38° قرار گرفته است. این حوزه آبخیز در تقسیم‌بندی حوزه‌های آبخیز کل کشور، بخشی از حوزه آبخیز دریای مازندران محسوب می‌شود. وسعت این حوزه آبخیز 27480 کیلومتر مربع (در داخل ایران) است. بخشی که مربوط به شاخه حوزه آبخیز سومبار است، در جمهوری ترکمنستان واقع شده است. مساحت آن نیز در حدود 7600 کیلومتر مربع می‌باشد.

با بررسی ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در حوزه آبخیز اترک تعداد 12 ایستگاه هیدرومتری مناسب از لحاظ دوره آماری انتخاب شد (شکل ۱). با استفاده از آمار دبی روزانه این ایستگاه‌ها و نرم‌افزار کامپیوتری Excel، جدولی شامل دبی روزانه هر سال آبی تهیه شد. سپس میانگین‌های متوالی هفت روزه محاسبه و کمترین مقدار برای هر سال (جریان کمینه با تداوم هفت روزه) به دست آمد. جریان کمینه با تداوم هفت روزه مناسب‌ترین شاخص در برآورد منطقه‌ای جریان کمینه و بیان‌کننده الگوی خشکسالی هیدرولوژیک می‌باشد (۵).

با برازش هشت تابع توزیع بر جریان‌های کمینه هفت روزه، تابع لوگ پیرسون، تیپ سه به‌عنوان مناسب‌ترین تابع توزیع منطقه‌ای شناخته و جریان کمینه هفت روزه با دوره بازگشت 10 سال به کمک توزیع منطقه‌ای در هر ایستگاه محاسبه شد. مناطق همگن هیدرولوژیکی با

برخی از تغییرات از داده‌های با دوره آماری کوتاه مدت پیچیده می‌باشد. افزایش آشکار گرما و خشکی تابستان‌ها به وضوح نتیجه‌ای را در کمترین جریان کمینه نشان نمی‌دهد (۲). در مطالعه اثر تغییر اقلیم بر رژیم‌های هیدرولوژیک اروپا، از چهار سناریو استفاده و مشاهده شد که در جنوب اروپا کاهش و در شمال افزایش رواناب سالانه انتظار می‌رود. همچنین نتیجه‌گیری شد که شدت خشکسالی در نواحی غرب اروپا افزایش و در نواحی شرق کاهش می‌یابد (۳).

در مطالعات بیوفیزیک مدیریت منابع طبیعی مشخص شده که در 30 سال آینده دما در مناطق قاره‌ای حدود $1/4$ - $0/4$ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد، الگوهای بارندگی منطقه‌ای تغییر کرده و طوفان‌های مداوم و شدید واقع می‌شود لذا در آینده باید روشهای کنترل فرسایش، ذخیره آب و سیستم‌های زهکشی و آبیاری مطالعه شود (۱۱). تغییر اقلیم، به دلیل تغییر الگوهای مکانی و زمانی حرارت، بارندگی، انرژی تابشی و باد می‌تواند باعث بیابان‌زایی شود و معمولاً بیابان‌زایی با تغییر اقلیم در ارتباط می‌باشد (۸). اکثر نواحی کشور ایران در مناطق خشک و نیمه خشک واقع شده و در معرض خشکسالی‌های مداوم قرار دارد لذا به شدت نسبت به تغییر اقلیم آسیب‌پذیر می‌باشد. بنابراین مطالعه اثر تغییر اقلیم بر رژیم‌های هیدرولوژیک ضروری بوده و نتایج آن می‌تواند برای مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب سودمند باشد. هدف از این مطالعه بررسی اثر تغییر اقلیم بر جریان کمینه به‌عنوان شاخص خشکسالی هیدرولوژیک با فرض رخداد تغییر اقلیم می‌باشد.

به کمک روابط منطقه‌ای برای ۲۰ ایستگاه، جریان کمینه با تداوم هفت روزه و دوره بازگشت ۱۰ ساله برآورد شد.

برای منظور کردن تغییر اقلیم، با استفاده از مولد ClimGen با در نظر گرفتن داده‌های روزانه بارندگی، درجه حرارت و هیدرومتری موجود، با فرض رخداد تغییر اقلیم؛ به طوری که درجه حرارت به مقدار دو درجه سانتی‌گراد افزایش و بارش سالانه ۱۰ درصد کاهش یابد؛ داده‌های روزانه دبی ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه به مدت ۵۰ سال (تا سال ۲۰۵۰) شبیه‌سازی شد. در هر ایستگاه طبق روشی که توضیح داده شد جریان کمینه با تداوم هفت روزه و دوره بازگشت ۱۰ سال برای داده‌های شبیه‌سازی شده محاسبه شد. با استفاده از مدل‌های رگرسیونی، تحلیل منطقه‌ای فراوانی جریان کمینه انجام شد. به طوری که جریان کمینه داده مستقل و درجه حرارت سالانه و بارش سالانه متغیرهای مدل منظور شد و جریان کمینه با تداوم هفت روز و دوره بازگشت ۱۰ سال در هر یک از ۲۰ ایستگاه به صورت منطقه‌ای برآورد شد.

به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی خشکسالی هیدرولوژیک با دوره بازگشت ۱۰ سال و مقایسه آنها در دو حالت داده‌های واقعی و داده‌های شبیه‌سازی شده، برای عمل درون‌یابی به روش کریجینگ از نرم‌افزار Winsurfer استفاده شد. ترسیم خطوط هم‌شدت خشکسالی برای هر حالت با در نظر گرفتن مختصات جغرافیایی نقطه (طول و عرض جغرافیایی) و مقدار جریان کمینه متناسب با آن نقطه در محیط این نرم‌افزار انجام

استفاده از ویژگی‌های فیزیوگرافی حوزه‌های آبخیز از روش تحلیل خوشه‌ای بررسی و ایستگاه‌ها در یک گروه همگن طبقه‌بندی شدند. در هر یک از حوزه‌های آبخیز انتخاب شده برای تحلیل فراوانی، دو عامل مؤثر در بروز جریان کمینه و تحت تأثیر تغییر اقلیم (یعنی میانگین بارندگی سالانه و میانگین درجه حرارت سالانه) تعیین شد. ارقام میانگین درجه حرارت سالانه از گزارش جامع منابع آب (جاماب) استخراج شد. برای تعیین بارش متوسط سالانه و تعمیم آن به کل منطقه به دلیل وجود همبستگی ناچیز بین ارتفاع و میزان بارندگی عملاً از تکنیک پهنه‌بندی منطقه با استفاده از روابط ارتفاعی صرف‌نظر شد. به علت کارایی روش کریجینگ (۱) و ویژگی بارز آن منوط به برآورد واریانس از پدیده در هر نقطه درون‌یابی شده، برای تعیین بارندگی متوسط، خطوط هم‌بارش از این روش و نرم‌افزار Winsurfer استفاده و داده‌های بارش تعیین شد.

به منظور تحلیل منطقه‌ای خشکسالی، باید جریان کمینه به طور منطقه‌ای تعیین شود. به همین دلیل باید نتایج حاصل از تحلیل فراوانی جریان کمینه که در نقاط اندازه‌گیری شده معتبر هستند، به نقاط دیگر که فاقد آمار و یا دارای آمار کوتاه مدت می‌باشند تعمیم داده شوند. بدین ترتیب از روش مدل‌های رگرسیونی که یکی از روشهای تحلیل منطقه‌ای فراوانی جریان کمینه است استفاده و روابط منطقه‌ای جریان کمینه هفت روزه با دوره بازگشت ۱۰ سال برآورد شد. ویژگی‌های میانگین درجه حرارت سالانه و میانگین بارش سالانه برای هشت ایستگاه دیگر محاسبه و جمعاً

شد.

در شکل (۳) نقشه مقادیر هم‌مقدار جریان کمینه با دوره بازگشت ۱۰ سال و با در نظر گرفتن داده‌های شبیه‌سازی شده نشان داده شده است. براساس این شکل‌ها با گرم شدن احتمالی زمین شدت خشکسالی افزایش و دامنه جریان کمینه کاهش می‌یابد. این دامنه از ۰/۲ تا ۲/۸ مترمکعب بر ثانیه در حالت عادی به مقدار صفر تا ۱/۵ مترمکعب بر ثانیه در حالت گرم شدن احتمالی می‌باشد. در شکل (۲) فقط یک هسته خشکسالی در مرکز منطقه دیده می‌شود اما با برون‌یابی خطوط هم‌مقدار مشاهده می‌شود که هسته‌های ترسالی به سمت جنوب در حال حرکت و محدود شدن بوده و گستره خشکسالی هیدرولوژیک، منطقه مطالعاتی را فرا گرفته است. در شکل (۳) مشاهده می‌شود که هسته‌های خشکسالی در قسمت‌های شمال و جنوب شرق وجود دارد. با برون‌یابی خطوط هم‌مقدار مشخص می‌شود که هسته‌های ترسالی از منطقه عبور نموده‌اند و با گرم شدن احتمالی زمین تعداد هسته‌های خشکسالی مؤثر بر منطقه افزایش یافته است. پس بخش‌های مرکزی و شرقی منطقه بدون در نظر گرفتن سناریوی گرم شدن احتمالی زمین، تحت تأثیر خشکسالی هیدرولوژیک بوده و این مناطق از نظر خشکسالی مستعد می‌باشند و باید از جنبه مدیریت منابع آب و کاربری اراضی مورد توجه قرار گیرند. با منظور نمودن گرم شدن احتمالی زمین، گستره خشکسالی افزایش یافته و مناطق مستعد بیابانی شدن نیز به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابند. باید توجه نمود که

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون در دو حالت لگاریتمی و عادی بررسی شد و با توجه به ارقام ضریب همبستگی ($r = 0/873$) و خطای استاندارد ($SE = 0/22$)، معادله (۱) به‌عنوان رابطه منطقه‌ای برای جریان کمینه حاصل شد. برای تعیین صحت رابطه مقدار درصد خطای نسبی آن برای چند ایستگاه که در تحلیل فراوانی استفاده نشده بود محاسبه شد و مقدار خطا ($38/52$) نسبت به مطالعات دیگر قابل ملاحظه نبود و صحت رابطه تأیید گردید.

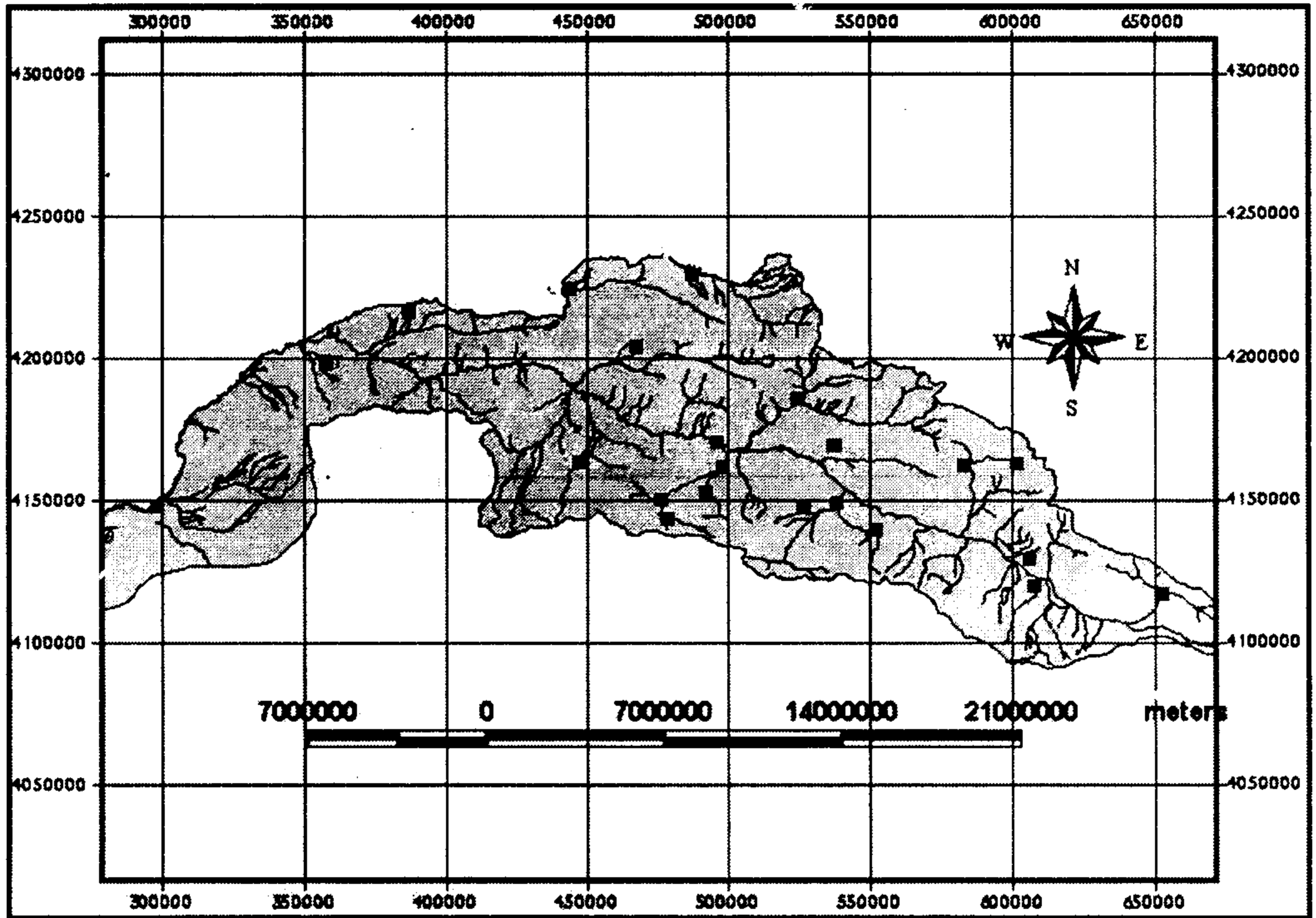
$$Q_{7.10} = 0.0123R - 0.183T - 0.25 \quad (1)$$

در این فرمول Q جریان کمینه (متر مکعب بر ثانیه)، R بارندگی سالانه (میلی‌متر) و T میانگین درجه حرارت سالانه است.

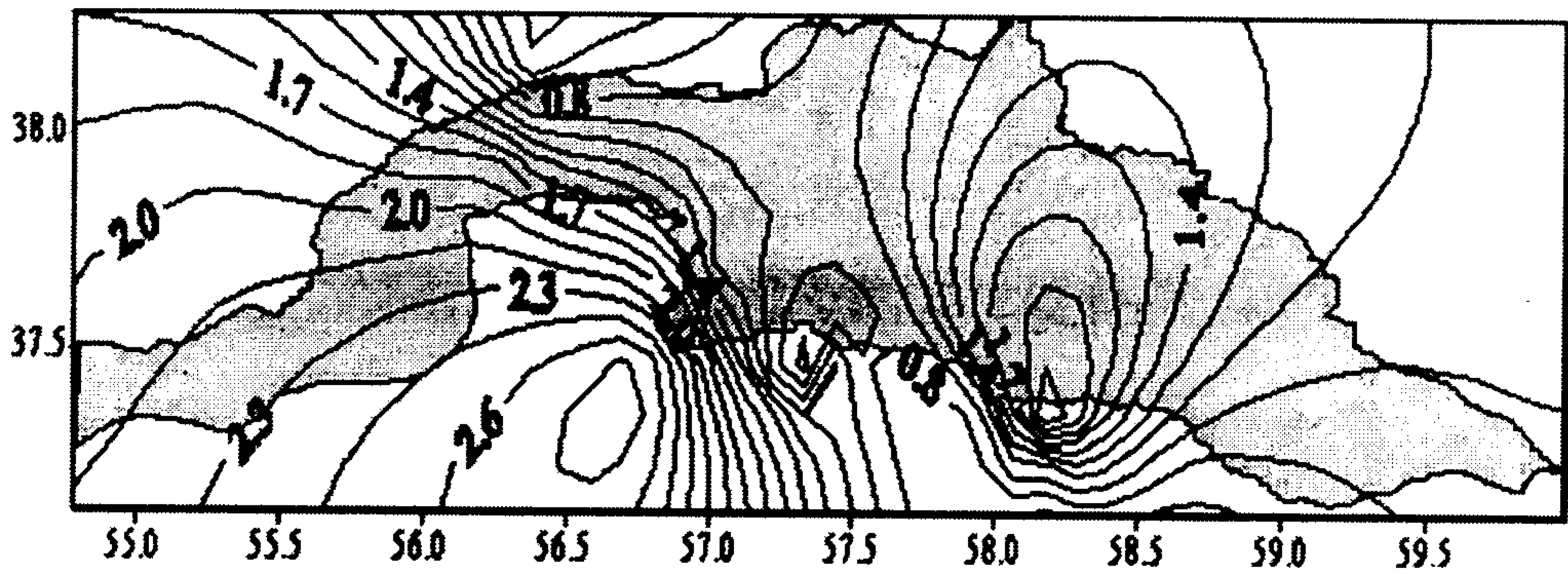
با استفاده از این رابطه جریان کمینه با تداوم هفت روزه و دوره بازگشت ۱۰ سال در ۲۰ ایستگاه برآورد و نقشه‌های هم‌مقدار جریان کمینه ترسیم شد. در شکل (۲) نقشه خشکسالی هیدرولوژیک با دوره بازگشت ۱۰ سال در حالت داده‌های واقعی نشان داده شده است.

نتایج حاصل از تحلیل مدل رگرسیون برای داده‌های شبیه‌سازی شده در دو حالت لگاریتمی و عادی بررسی و با توجه به ارقام ضریب همبستگی ($r = 0/783$) و خطای استاندارد ($SE = 0/37$)، معادله (۲) به‌عنوان رابطه منطقه‌ای برای جریان کمینه حاصل شد:

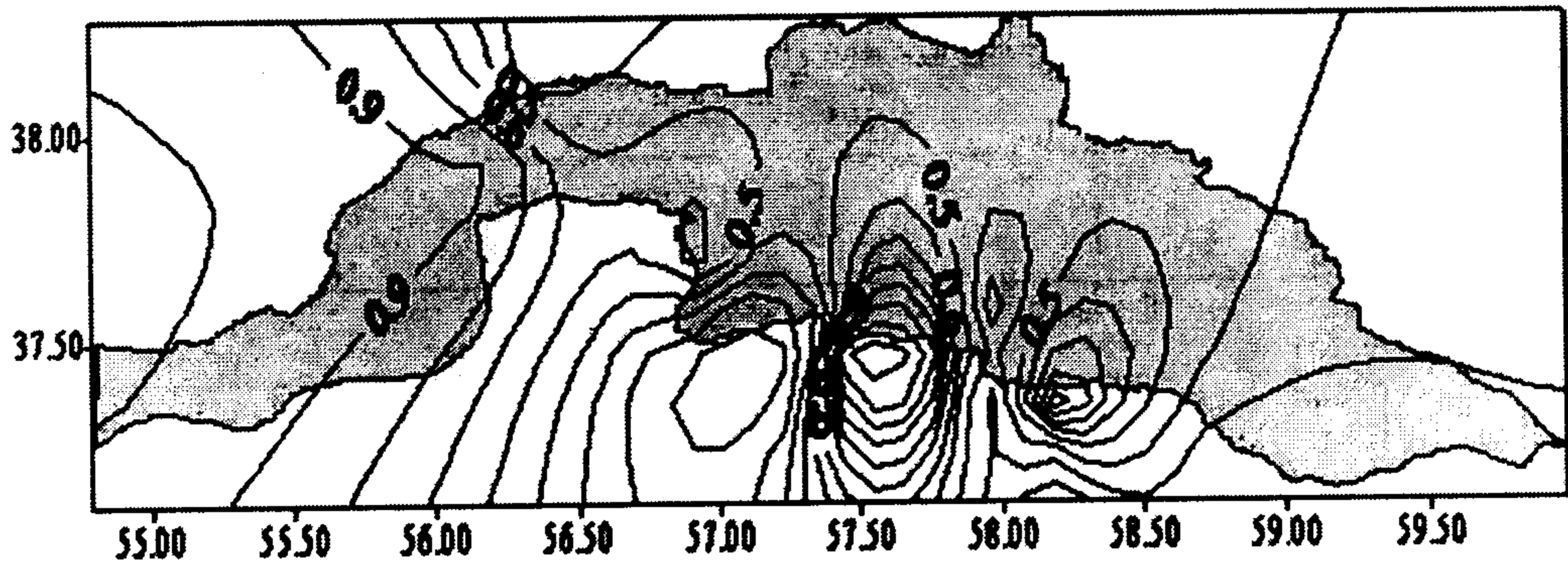
$$Q_{7.10} = 0.9 \log R - 1.123 \log T \quad (2)$$



شکل ۱ - نقشه پراکنش ایستگاه‌های منتخب در منطقه مورد مطالعه



شکل ۲ - نقشه پهنه‌بندی مقادیر هم‌مقدار جریان کمینه با دوره بازگشت ۱۰ سال در حالت معمولی



شکل ۳ - نقشه پهنه‌بندی مقادیر هم‌مقدار جریان کمینه با دوره بازگشت ۱۰ سال در حالت تغییر اقلیم

- منابع مورد استفاده
- ۱ - نصرتی، ک. و آذرنیوند، ح. ۱۳۸۱. تحلیل منطقه‌ای شدت، مدت و دوره بازگشت خشکسالی با استفاده از داده‌های بارندگی. بیابان (۷): ۶۱-۴۹.
 - ۲ . Arnell NW (1989) Changing frequency of extreme hydrological events in northern and western Europe. FRIENDS in Hydrology, IAHS Publication 187: 237-249.
 - ۳ . Arnell NW (1999) The effect of climate change on hydrological regimes in Europe: a continental perspective. Global Environmental Change 9: 5-23.
 - ۴ . Ben-Zvi A (1987) Indices of hydrological drought in Israel. Journal of Hydrology 92: 179-191.
 - ۵ . Brian SC (2000) Evaluation of low flow frequency analysis methods. Journal of Hydrology 39(1): 19-47.
 - ۶ . Kattenberg A, Giorgi F, Grassl H and Meehl *et al.* (1996) Climate models projections of future climate. In: Houghton JT *et al.*, editor. Climate change 1995: The science of climate change. New York: Cambridge University Press, PP: 283-357.
 - ۷ . Kelly M and Hulme M (1993) Desertification and climate change. Tiempo هرچند در این مطالعه، به این سناریو از یک جنبه توجه شده و ممکن است با گرم شدن و افزایش دما، بارندگی‌ها افزایش یابد ولی گرم شدن کره زمین به دلایل مختلف در حیات موجودات زنده مؤثر می‌باشد.
 - 8: 1-7.
 - ۸ . Petit JR, Jouzel J, Raynaud D, Barkov NI and Barnola JM (2000) Climate and atmospheric history of the past 420000 years from the Vostok ice core, Antarctica. Nature 399: 429-436.
 - ۹ . Schaake JC and Chunzhen L (1989) Development and application of simple water balance models to understand the relationship between climate and water resources. Proceedings of a Baltimore Symposium, IAHS Publication 181: 343-352.
 - 10 . Telis PA (1990) Improving estimates of low flow characteristics for streamflow stations affected by climatic cycles. Water Resource Research PP: 37-40.
 - 11 . Williams J (1999) Biophysical aspects of natural resource management: Commodity Markets and Resource Management, National Agricultural and Resources Outlook Conference, Canberra, 1: 113-123.

- 12 . Wood TR (1987) Present-day hydrology of the river Severn. Wiley, New York, PP: 79-97.
- 13 . World Meteorological Organization (1975) Drought and agriculture. WMO Technical Note No. 138, Geneva, Switzerland, 392 P.