

تحلیل خشک‌سالی‌های شمالغرب ایران با روش شاخص اکتشاف خشک‌سالی

سید بهروز حسینی^{۱*} - یعقوب دین پژوه^۲ - جعفر نیکبخت^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۱۳

چکیده

در این مطالعه فراوانی خشک‌سالی‌های شمالغرب ایران با توجه به اطلاعات دوره آماری موجود منتهی به ۲۰۱۰ برای هفده ایستگاه هواشناسی سینوپتیک تحلیل شد. مشخصه‌های خشک‌سالی با شاخص اکتشاف خشک‌سالی (RDI) تعیین گردید. مقادیر بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_o)، در مقیاس ماهانه مورد استفاده قرار گرفت. برای تخمین ET_o روش پنمن ماننيس - فائو ۵۶ استفاده شد. برای تحلیل فراوانی مشخصه‌های خشک‌سالی، ابتدا مقادیر اولیه RDI از داده‌های مشاهداتی بدست آمد. سپس با تطبیق توزیع‌های آماری، بهترین توزیع برای برآزش مقادیر اولیه با روش کی دو و در سطح ۵ درصد انتخاب شد. پارامترهای توزیع، با روش حداکثر درست‌نمایی به‌دست آمد. آنگاه با تابع چندک توزیع منتخب و به کار بردن روش مونت کارلو، تعداد ۵۰۰ سری مصنوعی (به تعداد داده‌های مشاهداتی هر ایستگاه) برای RDI شبیه‌سازی شد. حداکثر مقدار سه مشخصه اصلی خشکی (طول مدت دوام، شدت و بزرگی) برای هر سری مشخص شد. تحلیل فراوانی برای هر سری (با طول ۵۰۰) بطور مجزا صورت گرفت. نقشه‌های هم‌مقدار مشخصه‌های خشکی رسم شد. نتایج نشان داد حداکثر شدت خشکی با دوره بازگشت ۱۰ سال برای ایستگاه اهر بود. حداکثر طول مدت دوام خشکی با دوره بازگشت ۱۰ سال در ایستگاه خلخال مشاهده شد. با دوره بازگشت ۱۰ سال حداکثر بزرگی خشکی متعلق به ایستگاه پیرانشهر بود.

واژه‌های کلیدی: تحلیل فراوانی، شاخص اکتشاف خشک‌سالی، شمالغرب ایران، مشخصه‌های خشک‌سالی

مقدمه

معنای انحراف موقت بارش از حد نرمال اقلیم یک منطقه می‌باشد به طوری که این بارش‌ها برای تامین نیازهای فعالیت‌های مشخص شده انسانی ناکافی باشد (۷). خشک‌سالی در هر منطقه‌ای می‌تواند رخ بدهد و نوع اقلیم منطقه تأثیری بر وقوع یا عدم وقوع این پدیده مخرب ندارد. مناطق مرطوب نیز همواره در معرض این پدیده طبیعی قرار دارند و کاهش بارش در یک دوره طولانی مدت می‌تواند این مناطق را در معرض خشک‌سالی قرار دهد. با توجه به این‌که پدیده خشک‌سالی در هر منطقه‌ای خصوصیات و ویژگی‌های خاص خود را دارد، درک این پدیده و توسعه ابزار و مدل‌هایی برای پیش‌بینی خشک‌سالی از لحاظ کمی و کیفی دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد. هرچند بروز این پدیده اجتناب‌ناپذیر است ولی با مدیریت مناسب و کارآمد، همراه با برنامه‌ریزی‌های دقیق، می‌توان تا حد بسیار زیادی اثرات مخرب آن را کاهش داد.

خصوصیات خشک‌سالی^۶ با تعیین آغاز و اتمام دوره خشک‌سالی، شدت، بزرگی و گستره جغرافیایی آن توصیف می‌شود. شاخص‌های خشک‌سالی برای تحلیل مشخصه‌های خشک‌سالی (گستره زمانی و مکانی خشک‌سالی و شدت خشک‌سالی) استفاده می‌شوند (۵ و ۶). محققین به منظور ارزیابی خشک‌سالی، شاخص‌های متعددی را ارائه

خشک‌سالی^۴ یکی از پدیده‌های محیطی طبیعی است که ناشی از نوسانات اقلیمی و تأثیرات آن‌ها می‌باشد. این وقایع طبیعی به تناوب به وقوع پیوسته و نتیجه این نوسانات، افزایش نیاز آبی گیاهان، کاهش حجم منابع آب‌های زیرزمینی، تأثیرات منفی بر روی جامعه بشری، آلودگی و تخریب محیط زیست، تغییر گونه‌ها، افزایش بیماری‌ها، مشکلات اقتصادی و اثرات ویرانگر بر روی حیات گیاهی و جانوری است (۱۰، ۱۲ و ۱۴). خشک‌سالی یک پدیده پیچیده منطقه‌ای بوده و اثرات آن اغلب به صورت تدریجی در طول یک دوره زمانی طولانی روی هم انباشته می‌شود و حتی پس از این‌که، خود پدیده خشک‌سالی به پایان رسید، ممکن است منطقه مورد تأثیر را تحت شعاع خود قرار داده و در محدوده وسیعی گسترش یابد (۶ و ۱۵) به همین دلیل از آن به عنوان یک پدیده خزنده^۵ یاد می‌شود (۱۹). بروز خشک‌سالی به

۱ و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*-نویسنده مسئول: (Email: behrouz.hosseini66@yahoo.com)

۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

4- Drought

5- Creeping Phenomenon

توزیع آماری از بین ۶۴ توزیع کاندیدا انتخاب شد. معیار انتخاب مناسب‌ترین توزیع، آزمون نکویی برازش کی دو و در سطح ۵ درصد بود. پارامترهای تابع توزیع منتخب با کمک روش حداکثر درست نمایی^۳ تخمین زده شدند. با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو و معین بودن تابع چندک^۴ توزیع منتخب، داده‌های تصادفی بین صفر و یک به تابع چندک داده شد و تعداد ۵۰۰ سری مصنوعی به اندازه طول داده‌های مشاهداتی در هر ایستگاه تولید گردید. برای هر سری تولیدی، مقادیر شاخص RDI بطور جداگانه محاسبه شد. دوره‌های خشک‌سالی (مقادیر RDI کوچک‌تر از -۱) برای هر سری مصنوعی مشخص شدند. سه مشخصه شدت خشک‌سالی، طول مدت دوام خشکی و بزرگی خشک‌سالی در هر دوره خشکی تعیین شد. برای هر سری مصنوعی بزرگ‌ترین مقدار موجود برای هر مشخصه بدست آمد. به این ترتیب، سه سری جدید که هر کدام شامل ۵۰۰ داده (به تعداد سری‌های مصنوعی تولید شده) بود، تشکیل شد. برای هر یک از سه سری به دست آمده، بهترین تابع توزیع از بین توابع توزیع احتمال کاندیدا مشخص شد. تحلیل فراوانی^۵ هر یک از سری‌های جدید (ماکزیمم مقدار مشخصه‌های خشکی) انجام شد. منحنی رشد حداکثر مقدار مشخصه‌های خشک‌سالی‌های هر ایستگاه به صورت مجزا رسم شد.

شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را بر روی نقشه ایران نشان می‌دهد. نام ایستگاه‌های منتخب، موقعیت جغرافیایی هر ایستگاه، ارتفاع این ایستگاه‌ها از سطح دریا و نیز سال‌های آماری موجود برای تک تک ایستگاه‌ها در جدول ۱ آمده است. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق از اداره کل هواشناسی استان‌های مورد مطالعه اخذ شد.

شکل ۲ پراکندگی ۱۷ ایستگاه هواشناسی منتخب را در منطقه شمالغرب نشان می‌دهد. معیار انتخاب این ایستگاه‌ها قابل دسترس بودن داده‌های مورد نیاز برای محاسبات (حداقل ۲۰ سال) و نیز پراکندگی مناسب آن‌ها در منطقه بود.

مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه هر ایستگاه با استفاده از داده‌های پارامترهای هواشناسی به روش فائو ۵۶- پنمن مانیت^۶ ارائه شده توسط آلن و همکاران (۳)، بشرح زیر تخمین زده شد:

$$PET = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 278} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

که در آن:

PET: مقدار تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع (mm/day), Δ :

کرده اند (۹، ۱۱ و ۱۳). کاربرد همزمان مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (PET) علاوه بر متغیرهای دیگر مرتبط با آب در یک شاخص جدید، بسیار مفید بوده که در بسیاری از تحلیل‌های خشک‌سالی از آن غفلت شده است (۱۶). شاخص اکتشاف خشکی^۱ (RDI)، توسط ساکیریس و ونجلیس (۱۷) با به کار بردن نسبت بارش به تبخیر و تعرق ارائه شد. شفیعی‌زاده و همکاران (۱) به بررسی شاخص‌های رایج خشک‌سالی پرداخته و شاخص اکتشاف را مناسب‌ترین نمایه برای اقلیم‌های مختلف ایران معرفی نمودند. خلیلی و همکاران (۸) به بررسی و مقایسه شاخص RDI و شاخص بارش استاندارد^۲ در نواحی مختلف آب و هوایی ایران پرداختند. نتایج آن‌ها بیانگر این بود که شاخص RDI دوره‌های خشک‌سالی را به صورت واقع بینانه تری محاسبه می‌کند. اسدی زرج و همکاران (۴) به پیش خشک‌سالی توسط شاخص RDI در ایران پرداختند. نتایج بررسی آن‌ها بیانگر همبستگی قابل ملاحظه‌ای بین شاخص بارش استاندارد و شاخص RDI، در دوره‌های ۳ ماهه، ۶ ماهه و ۹ ماهه بود. اخیراً ونجلیس و همکاران (۱۸) تأثیر روش‌های مختلف محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل را در تشخیص دوره‌های خشک‌سالی مطالعه کردند.

شمالغرب ایران مانند دیگر نقاط کشور همواره در معرض خشک‌سالی با شدت‌های مختلف بوده است. این ناحیه با توجه به سطح زیر کشت تولیدات دیم در ایران موقعیت ممتازی دارد. در این مطالعه تحلیل خشک‌سالی‌های ۱۷ ایستگاه هواشناسی منتخب با استفاده از شاخص اکتشاف خشکی انجام شده است. دانستن مشخصه‌های خشک‌سالی در هر ایستگاه لازمه مدیریت علمی و عملی آب قابل دسترس در مواقع خشک‌سالی می‌باشد. به عبارت بهتر، تخصیص بهینه و منطقی منابع آب قابل دسترس جهت رفع نیاز بخش‌های مختلف، مستلزم تعیین هر چه دقیق‌تر این مشخصه‌ها می‌باشد. بنابراین، هدف این مطالعه تحلیل فراوانی مشخصه‌های خشک‌سالی‌های شمالغرب ایران با روش RDI و کاربرد شبیه‌سازی مونت کارلو می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، مشخصه‌های خشک‌سالی ۱۷ ایستگاه هواشناسی منتخب واقع در منطقه شمالغرب ایران با شاخص RDI طی سال‌های آماری موجود برای هر ایستگاه و منتهی به سال ۲۰۱۰ تحلیل شد. برای هر ایستگاه مورد مطالعه، مقدار نسبت بارش به تبخیر و تعرق پتانسیل (α_0^i) در مقیاس سالانه برای یک‌سال‌ها به عنوان مقادیر اولیه RDI محاسبه شد. سپس بر روی سری α_0^i ها بهترین

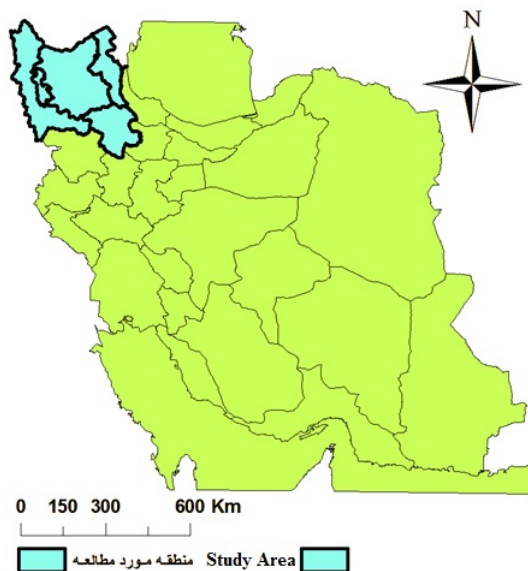
- 3- Maximum Likelihood
- 4- Quantile
- 5- Frequency Analysis
- 6- FAO-Penman Monteith

- 1- Reconnaissance Drought Index
- 2- Standardized Precipitation Index

پس از محاسبه مقادیر PET، مقادیر α_0^i (RDI اولیه) به عنوان ضریب i آمین سال، با به کار بردن گام‌های زمانی ماهانه از رابطه زیر برآورد گردید (۱۸):

$$\alpha_0^i = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} PET_{ij}} \quad (2)$$

شیب منحنی فشار بخار R_n ، ($KPa/^\circ C$): تابش خالص در سطح گیاه ($MJ/m^2 \cdot day$): G : شار گرمایی زمین ($MJ/m^2 \cdot day$): γ : ضریب سایکرومتری ($KPa/^\circ C$): u_2 : سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (m/s): $VPD = e_s - e_a$: کمبود فشار بخار (KPa) و T : درجه حرارت هوا در ارتفاع ۲ متری ($^\circ C$) می‌باشد.



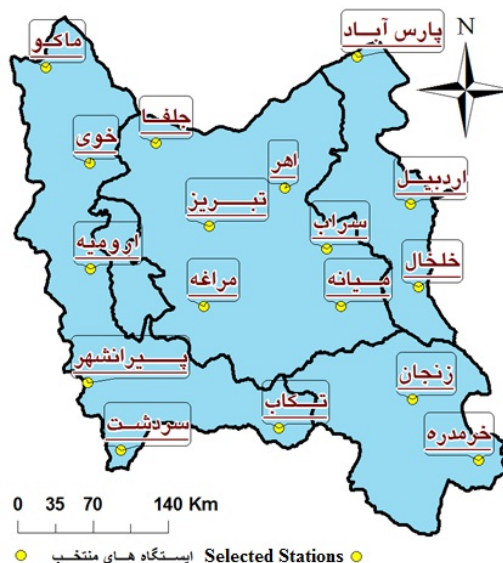
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در ایران

Figure 1- Geographical location of Study Area in Iran

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب و سری زمانی داده‌های مورد بررسی

Table 1- Geographical information of Selected Stations and Time Series

Row	Station	Time Series Duration	Altitude (m)	Longitude	Latitude
1	اردبیل	1985-2010	1314.4	48.4	38.33
2	ارومیه	1966-2010	1328	45.04	37.66
3	اهر	1986-2010	1390.5	47.067	38.43
4	پارس آباد	1984-2010	31.9	47.783	39.65
5	پیرانشهر	1986-2010	1443.5	49.15	36.7
6	تبریز	1951-2010	1361	46.283	38.08
7	تکاب	1986-2010	1817.2	47.1	36.4
8	جلفا	1985-2010	736.2	45.667	38.75
9	خلخال	1987-2010	1796	48.517	37.63
10	خرمدره	1986-2010	1575	49.183	36.18
11	خوی	1971-2010	1103	44.97	38.55
12	سراب	1987-2010	1682	47.533	37.93
13	سردشت	1986-2010	1556.8	45.48	36.15
14	زنجان	1973-2010	1663	48.483	36.68
15	ماکو	1985-2010	1411.3	44.433	39.33
16	مراغه	1984-2010	1477.7	46.277	37.4
17	میانه	1987-2010	1110	47.7	37.45



شکل ۲- پراکندگی ایستگاه‌های منتخب
Figure 2- Distribution of Selected Stations

۵۰۰ عدد به‌دست آمد، بهترین تابع توزیع ممکن با در نظر گرفتن آماره کای اسکوتر (در سطح ۵ درصد)، برای هر سه سری مشخص گردید. مقادیر حداکثر هر یک از پارامترهای تابع توزیع منتخب اخیر با روش حداکثر درست نمایی تخمین زده شدند. با توجه به توزیع منتخب و پارامترهای آن، مقادیر حداکثر شدت، حداکثر طول مدت و حداکثر بزرگی خشک‌سالی‌های منطقه، با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال به‌دست آمد.

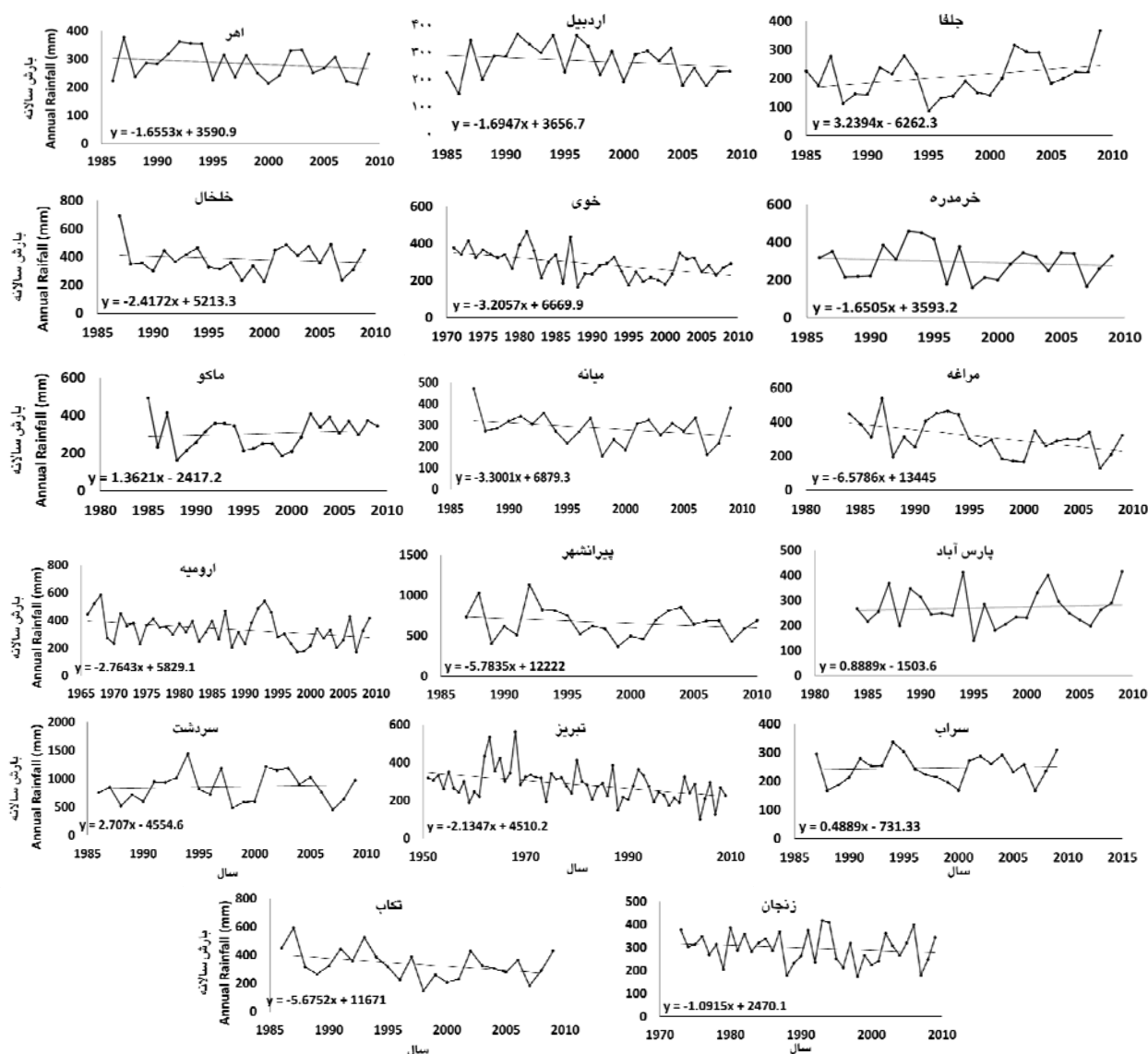
نتایج و بحث

شکل ۳ سری زمانی مقادیر بارش سالانه ایستگاه‌های منتخب را در دوره آماری موجود نشان می‌دهد. همان گونه که از شکل ۳ می‌توان استنباط کرد، بیشتر ایستگاه‌ها دارای روند منفی برای مقدار بارش سالانه هستند. ایستگاه‌های جلفا، ماکو، پارس آباد، سراب و سردشت دارای شیب خط روند مثبت، برای سری بارش‌های سالانه بود. در میان ایستگاه‌های مذکور، جلفا با بیشترین شیب در رتبه اول افزایش مقدار بارش دراز مدت سالانه قرار گرفت.

شکل ۴ هیستوگرام میانگین تبخیر-تعرق پتانسیل ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه را در دوره آماری موجود تا ۲۰۱۰ نشان می‌دهد. به طوریکه از این شکل بر می‌آید بیشترین مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه منطقه، متعلق به ماه‌های گرم سال (ژوئیه، جولای و آگوست) و کمترین آن مربوط به سردترین ماه سال (ژانویه) می‌باشد.

که در آن P_{ij} و PET_{ij} به ترتیب مقادیر بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل ماه i و سال j می‌باشد. i می‌تواند از هر ماهی در سال شروع شود که در این مطالعه، اولین ماه سال آبی (مهرماه) در نظر گرفته شد. مقدار α_0^i می‌تواند در مقیاس ماهانه، فصلی و حتی سالانه به کار رود (۱۸). مقادیر مثبت این شاخص بیانگر دوره‌های مرطوب و مقادیر منفی بیانگر دوره‌های خشک، نسبت به شرایط نرمال منطقه می‌باشد. با کمک نرم افزار EasyFit 5.5، بهترین توزیع آماری ممکن از بین ۶۴ توزیع کاندیدای مختلف و با در نظر گرفتن آماره کای اسکوتر، بر روی مقادیر α_0^i انتخاب شد. سپس با استفاده از روش حداکثر درست نمایی پارامترهای توزیع به‌دست آمد و منحنی فراوانی تراکمی رسم و مقادیر احتمال تجمعی^۱ آن‌ها، محاسبه گردید. با استفاده از روش انتقال هم احتمال^۲ مقدار متناظر احتمال وقوع تجمعی نرمال استاندارد هر یک از مقادیر α_0^i با کمک منحنی توزیع تجمعی نرمال استاندارد استخراج شد. با عنایت به مقادیر پارامترهای تابع توزیع منتخب و دادن عدد تصادفی بین صفر و یک به احتمال کمتری در تابع چندک، ۵۰۰ سری داده جدید با طولی برابر با طول دوره آماری (برابر با طول آماری موجود در هر ایستگاه) تولید شد. در هر یک از ۵۰۰ سری، دوره‌های خشک‌سالی با روش RDI تعیین شد. برای هر دوره خشکی، طول مدت دوام، شدت و بزرگی خشک‌سالی محاسبه شد. حداکثر مقدار مشخصه‌های خشک‌سالی در هر سری به‌دست آمد. به این ترتیب برای هر مشخصه، یک سری با

1- Cumulative Distribution Function
2- Equi-Probability



شکل ۳- تغییرات دراز مدت بارش سالانه
Figure 3- Long Term Annual Rainfall Changes

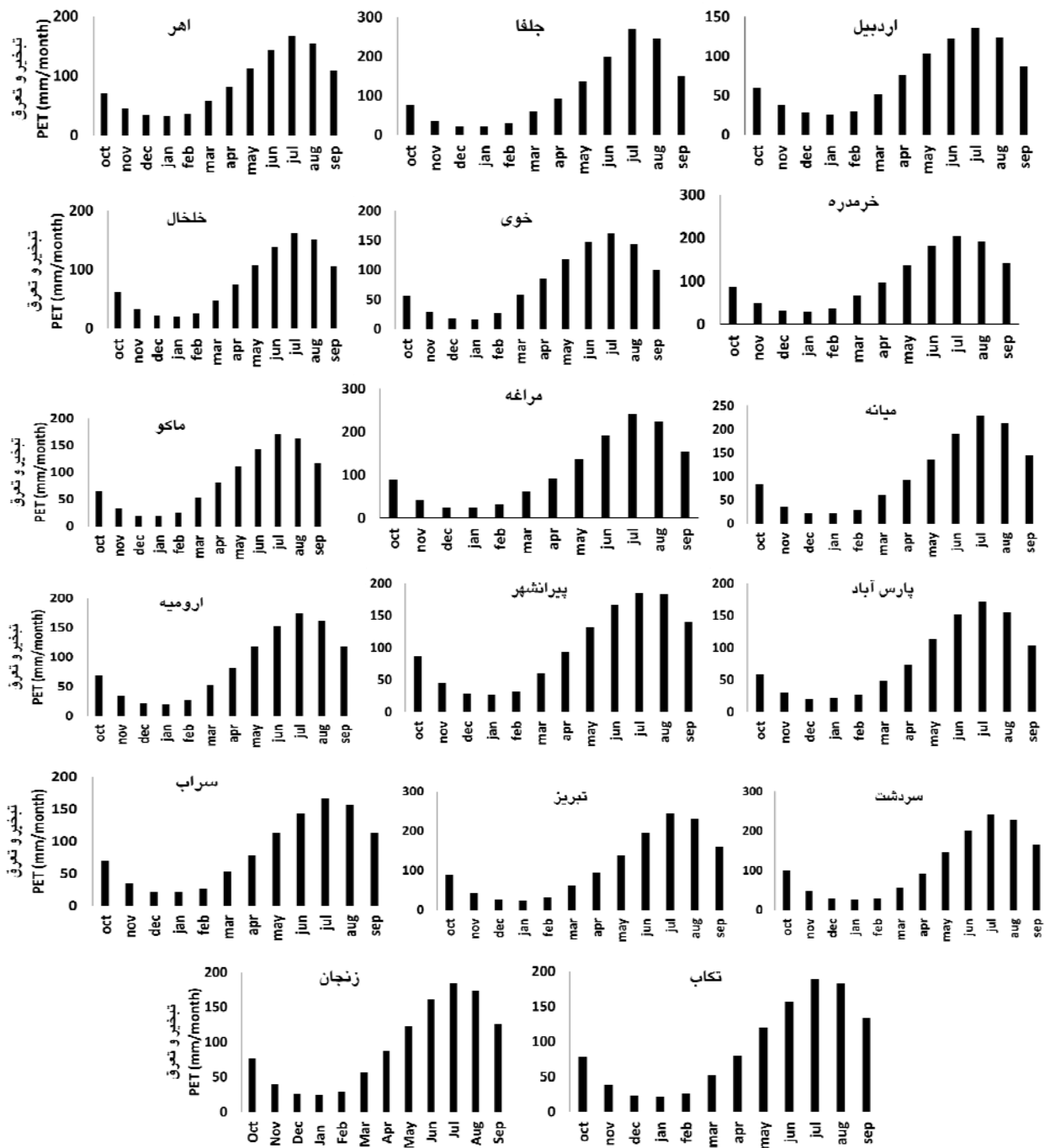
بارش نسبت به میانگین درازمدت بطور محسوس کم شده در حالی که مقدار تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع افزایش یافته است. طوری که میانگین تبخیر و تعرق در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۹۱ معادل ۱۳۸۸/۴۷ میلی متر در سال و میانگین مجموع بارش سالانه نیز ۲۳۹/۶۵ میلی متر بود. این رقم برای میانگین کل دوره آماری مورد مطالعه برای تبخیر-تعرق پتانسیل معادل ۱۳۳۴/۸ میلی متر در سال و برای بارش سالانه ۲۸۳/۵ میلی متر بود. شیب خط روند و ضرایب معادله به وضوح بیانگر نحوه تغییرات در مقادیر دراز مدت بارش و PET می باشد.

پس از تعیین مقادیر RDI هر ایستگاه، نمودارهای RDI در

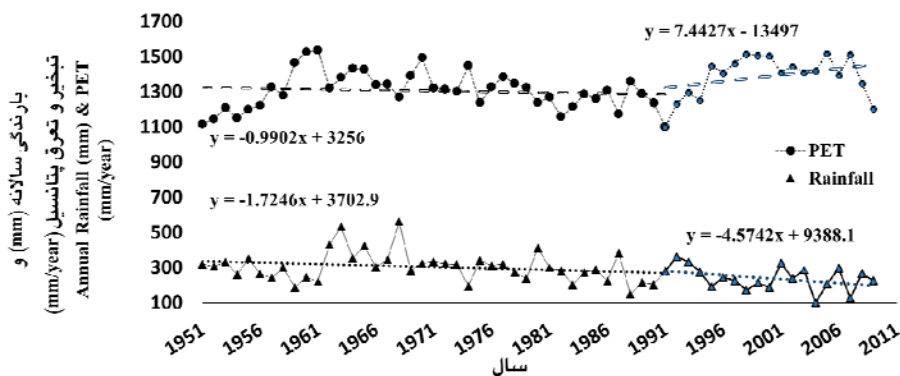
با رسم نمودارهای PET و بارش سالانه و مقایسه آنها برای تک تک ایستگاه‌ها، ملاحظه شد که با افزایش مقدار بارش سالانه، مقدار تبخیر و تعرق دارای روندی کاهشی بوده و در ماه‌های گرم سال که تقریباً در تمام منطقه بارش‌های بسیار کم اتفاق می افتد، میزان PET حداکثر مقدار خود را دارد. البته قابل ذکر است که باید برای بررسی‌های دقیق‌تر، نمودارهای تبخیر در مقابل سایر پارامترهای موثر نیز ترسیم گردد تا بتوان تاثیر سایر پارامترها (علاوه بر بارش) را نیز مورد بررسی قرار داد. شکل ۵ نمونه‌ای از نوسانات سری زمانی PET و بارش را در ایستگاه هواشناسی تبریز نشان می دهد. به طوری که از شکل ۵ استنباط می شود، بعد از سال ۱۹۹۱ مقدار

مشاهداتی اصلی ایستگاه تبریز طی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ را نشان می‌دهد.

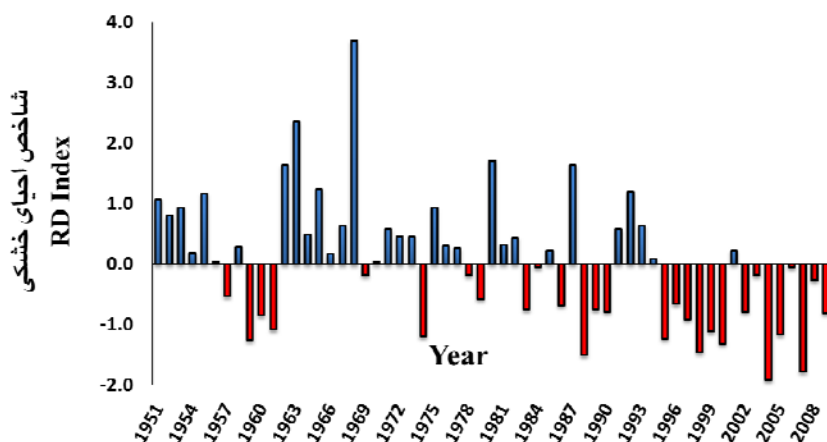
مقیاس سالانه برای تک تک ایستگاه‌ها رسم شد و به عنوان مثال، شکل ۶ نمودار مقادیر شاخص اکتشاف خشکی را در خصوص سری



شکل ۴- هیستوگرام میانگین دراز مدت ماهانه بارش
Figure 4- Mean Annual Rainfall's Histogram



شکل ۵- نوسانات مقادیر بارش و PET سالانه ایستگاه هواشناسی تبریز (۱۹۵۱-۲۰۱۰)
Figure 5- Frequency of Annual Rainfall and Yearly PET- Tabriz Station (1951-2020)



شکل ۶- تغییرات مقادیر شاخص خشک‌سالی اکتشاف خشکی (RDI) سری مشاهداتی ایستگاه تبریز (۱۹۵۱-۲۰۱۰)
Figure 6- Frequency of reconnaissance drought index- Tabriz Station (1951-2010)

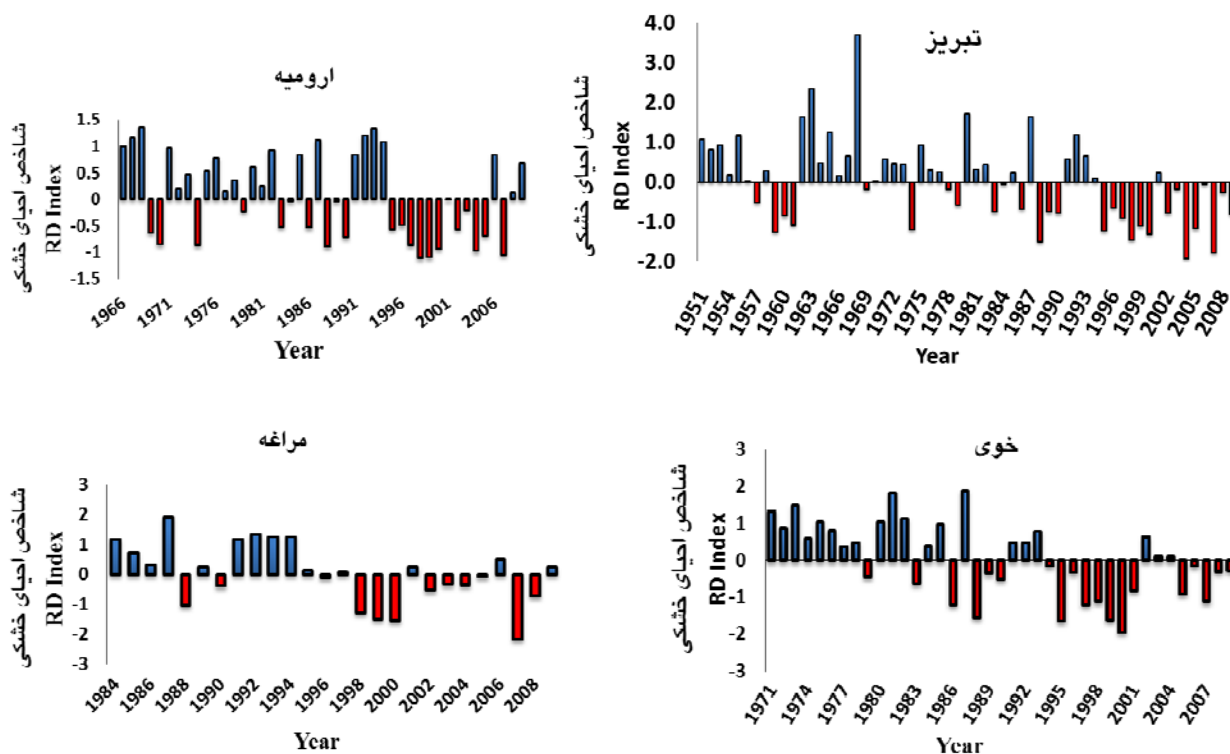
نمونه) واقع در محدوده دریاچه ارومیه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از این شکل می‌توان استنباط کرد حوضه دریاچه ارومیه، منطقه مواجه با خشک‌سالی به وقوع پیوسته از سال ۱۹۹۵ بود. اگرچه چند مورد هم ترسالی در طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۰ رخ داده، اما شدت پایین این ترسالی‌ها جبران‌کننده اثرات خشکی‌های متوالی در منطقه نخواهد بود.

به‌طوری‌که قبلاً اشاره شد، محاسبات در مورد ۵۰۰ سری مصنوعی نیز به‌طور مشابه (با توجه به تابع چندک) انجام شد. برای هر سری مصنوعی بیشترین مقدار هر مشخصه خشکی استخراج شد. به این ترتیب ۳ سری جدید (به تعداد مشخصه‌های خشک‌سالی) به طول ۵۰۰ به‌دست آمد. آن‌گاه برای هر سری جدید بهترین توزیع آماری از بین ۶۵ توزیع کاندیدا با روش کی دو مشخص شد. پارامترهای توزیع‌های منتخب با روش حداکثر درستی به‌دست آمد.

همان‌گونه که از شکل ۶ می‌توان نتیجه گرفت، در تبریز طول‌ترین دوره‌های خشک‌سالی (RDI منفی) پس از سال ۱۹۹۴ به وقوع پیوسته است. زیرا مقادیر شاخص اکتشاف خشکی آن‌ها (به جز سال ۲۰۰۱) منفی هستند. در این سال‌ها مقدار بارش سالانه تبریز کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته است. بیشترین مقدار مشخصه شدت خشکی برای سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ برابر با $-۶/۹۸$ و بیشترین طول دوره خشکی تجربه شده ۸ سال بود. بزرگی خشکی برای این دوره (شدت تقسیم بر طول دوره خشکی) برابر با $-۱/۲$ بود.

بر اساس نمودارهای رسم شده، تمامی ایستگاه‌ها طی دوره آماری موجود بر اساس RDI خشک‌سالی‌ها را به تناوب تجربه کرده‌اند. بیشترین شدت خشک‌سالی با توجه به RDI مربوط به ایستگاه اهر با مقدار مطلق $۲/۷۵$ می‌باشد که در سال آبی ۲۰۰۰-۲۰۰۱ اتفاق افتاده است. بیشترین طول دوره خشکی برای ایستگاه ارومیه بود که به مدت ۱۱ سال متوالی در وضعیت خشک‌سالی قرار داشت. ابتدای این دوره خشکی سال آبی ۱۹۹۵ و انتهای آن سال آبی ۲۰۰۵ بود.

شکل ۷ نمودار RDI چهار ایستگاه هواشناسی منتخب (به عنوان



شکل ۷- نمودارهای RDI چهار ایستگاه هواشناسی مجاور دریاچه ارومیه
Figure 7- RD Index Chart for 4 Stations Beside Urmia Lake

شکل ۸ نمودار رشد مشخصه حداکثر مقدار شدت خشکی را برای ایستگاه زنجان نشان می‌دهد. بیشترین مقدار برای دوره بازگشت ۱۰۰ سال و کمترین مقدار این مشخصه برای دوره بازگشت ۲ سال می‌باشد.

ب) حداکثر طول مدت دوام خشکی: جدول ۳ مقادیر حداکثر طول مدت دوام خشکی با دوره‌های بازگشت مختلف را نشان می‌دهد. پس از تعیین مقادیر حداکثر طول مدت‌های خشکی با دوره‌های بازگشت مختلف، نسبت طول مدت‌های ۱۰۰ سال به ۲ سال برای هر ایستگاه محاسبه گردید.

به طوری که از این جدول می‌توان استنباط کرد، کمترین نسبت مذکور برای مشخصه حداکثر طول مدت دوام خشکی مقدار ۱/۹۵ و برای ایستگاه ماکو و بیشترین مقدار آن برای سردشت و معادل با ۹/۱۸ می‌باشد.

نمودارهای حداکثر طول مدت دوام خشکی، با دوره‌های بازگشت مختلف رسم شد و شکل زیر نمودار ایستگاه هواشناسی زنجان را نشان می‌دهد.

تحلیل فراوانی مشخصه‌های خشکی

همان‌گونه که در بخش‌های قبل ذکر شد، مقدار شدت خشکی با توجه به داده‌های مصنوعی (۵۰۰ داده برای هر ایستگاه و هر مشخصه) به دست آمد. مقادیر حداکثر هر مشخصه در هر ایستگاه به ازای دوره‌های بازگشت مختلف با توجه به پارامترهای توزیع منتخب تخمین زده شد. خلاصه نتایج به شرح زیر بود:

الف) حداکثر شدت خشکی: جدول ۲ مقادیر حداکثر شدت خشکی با دوره‌های بازگشت مختلف را نشان می‌دهد. پس از تعیین مقادیر حداکثر شدت‌های خشکی با دوره‌های بازگشت مختلف، نسبت شدت‌های ۱۰۰ سال به ۲ سال برای هر ایستگاه محاسبه گردید.

به طوری که از جدول ۲ می‌توان استنباط کرد، کمترین نسبت مذکور برای مشخصه حداکثر شدت خشکی مقدار ۲/۱۳ و برای ایستگاه تبریز و بیشترین مقدار آن برای تکاب و معادل با ۳/۱۷ می‌باشد.

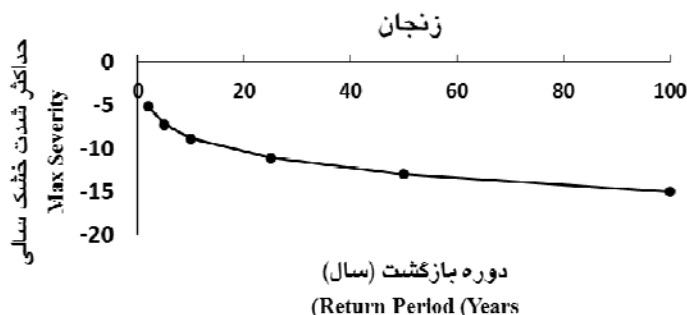
نمودار حداکثر شدت‌های خشکی با دوره‌های بازگشت مختلف برای هر ایستگاه رسم شد و برای نمونه شکل ۸ برای ایستگاه هواشناسی زنجان رسم شده است.

جدول ۲- مقادیر max severity با دوره‌های بازگشت مختلف
Table 2- Maximum Secerity Values For Differnt Return Periods

ایستگاه	دوره بازگشت						Tr(۱۰۰/۲)
	۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	۲	
اردبیل	-7.13	-6.40	-5.67	-4.72	-3.97	-2.68	۲/۴۹
اهر	-16.48	-14.80	-13.11	-10.82	-9.01	-6.31	۲/۶۱
ارومیه	-5.41	-4.91	-4.41	-3.71	-3.15	-2.30	۲/۳۵
پارس آباد	-6.08	-5/26	-4/52	-3/610	-2/9625	-2/09	2/91
پیرانشهر	-7.88	-7/17	-6/41	-5/34	-4/456	-3/08	2/55
تبریز	-13.75	-12/61	-11/44	-9/82	-8/5031	-6/45	2/13
تکاب	-9/13	-7/81	-6/61	-5/18	-4/1874	-2/88	3/17
چلغا	-7/92	-7/14	-6/35	-5/28	-4/4364	-3/14	2/52
خلخال	-13/43	-11/95	-10/49	-8/57	-7/0958	-4/92	2/73
خرمدره	-8/21	-7/39	-6/56	-5/43	-4/5371	-3/18	2/58
خوی	-8/01	-7/33	-6/64	-5/66	-4/8544	-3/58	2/24
سراب	-7/61	-6/91	-6/19	-5/19	-4/3658	-3/07	2/48
سردشت	-4/34	-4/01	-3/66	-3/13	-2/67	-1/87	2/32
زنجان	-14/98	-12/95	-11/09	-8/83	-7/23	-5/09	2/94
ماکو	-7/58	-6/48	-5/54	-4/47	-3/75	-2/79	2/72
مراغه	-7/80	-7/07	-6/33	-5/29	-4/44	-3/13	2/48
میانه	-6/41	-5/84	-5/25	-4/42	-3/73	-2/63	2/43

Tr(۱۰۰/۲): نسبت شدت‌های حداکثر خشکی با دوره بازگشت ۱۰۰ سال به دوره بازگشت ۲ سال.

Tr (100/2): Ratio of 100 Years Return Period to 2 Years Maximum Severity



شکل ۸- مقادیر حداکثر شدت خشک‌سالی تابعی از دوره بازگشت (به سال) در زنجان
Figure 8- Maximum Severity Values Dependant to Return Period (Zanzan Station)

و با روش معکوس فاصله (IDW) انجام شد. دلیل انتخاب این روش درونیابی، نتایج بهتری بود که نسبت به روش کریجینگ مشاهده شد. این کار برای هر سه مشخصه و برای دوره‌های بازگشت ده سال انجام شد و نقشه‌های هم مقدار (هم رقوم) هر مشخصه تهیه گردید. نتایج این بررسی در شکل‌های زیر قابل مشاهده می‌باشد. الف) حداکثر شدت خشکی: شکل ۱۱ منحنی‌های هم رقوم را برای حداکثر شدت خشکی با دوره بازگشت ۱۰ سال نشان می‌دهد.

شکل ۱۰ نمودار حداکثر بزرگی خشکی با دوره‌های بازگشت مختلف را برای ایستگاه زنجان نشان می‌دهد.

منحنی‌های هم رقوم مشخصه‌های خشکی (حداکثر مشخصه‌ها) با دوره بازگشت ۱۰ سال

پس از تعیین مقادیر حداکثر مشخصه‌های خشکی، اقدام به رسم منحنی‌های هم مقدار گردید. این کار در محیط نرم افزار ARC GIS

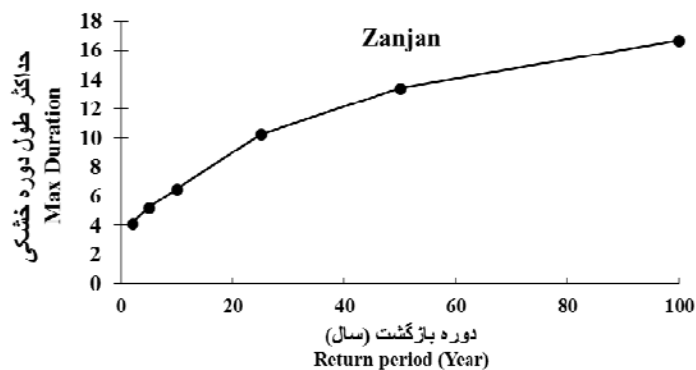
جدول ۳- مقادیر max duration با دوره‌های بازگشت مختلف

Table 3- Maximum Duration Values for Different Return Periods

Tr(100/2)	دوره بازگشت						ایستگاه
	100	50	25	10	5	2	
2/31	8/04	7/38	6/68	5/69	4/85	3/47	اردبیل
7/85	32/24	18/162	11/10	6/82	5/32	4/10	ارومیه
8/54	39/85	22/24	13/42	8/07	6/19	4/66	اهر
8/03	25/60	14/38	8/76	5/35	4/15	3/18	پارس آباد
1/97	7/96	7/50	6/99	6/20	5/45	4/04	پیرانشهر
2/09	10/61	9/83	9/01	7/81	6/79	5/08	تبریز
8/97	31/25	17/35	10/39	6/17	4/68	3/48	تکاب
3/93	13/51	10/78	8/59	6/32	4/96	3/44	جلفا
2/98	16/78	14/50	12/40	9/85	8/04	5/63	خلخال
2/31	8/10	7/44	6/73	5/73	4/89	3/50	خرمدره
7/64	32/16	18/17	11/16	6/91	5/41	4/20	خوی
2/75	9/33	8/15	7/05	5/69	4/72	3/39	سراب
9/18	29/92	16/58	9/89	5/84	4/41	3/26	سردشت
2/41	11/97	10/82	9/65	8/09	6/85	4/97	زنجان
1/95	6/88	6/48	6/05	5/37	4/748	3/53	ماکو
2/13	8/58	8/01	7/38	6/43	5/57	4/03	مراغه
2/31	8/19	7/51	6/80	5/79	4/94	3/54	میانه

Tr (100/2): نسبت شدت‌های حداکثر طول مدت دوام خشکی با دوره بازگشت ۱۰۰ سال به دوره بازگشت ۲ سال.

Tr (100/2): Ratio of 100 Years Return Period to 2 Years Maximum Duration's



شکل ۹- نمودار حداکثر duration ها با دوره‌های بازگشت مختلف (ایستگاه زنجان)

Figure 9- Maximum Duration Values for Different Return Periods (Zanjan Station)

با خشک سالی خفیف می‌باشند. خفیف‌ترین خشک سالی در جنوب غربی منطقه و در ایستگاه سردشت روی می‌دهد که مقداری برابر با ۳/۱۳- داشت.

ب) حداکثر طول مدت خشکی: شکل ۱۲ منحنی‌های هم رقوم را برای حداکثر طول مدت دوام خشکی با دوره بازگشت ۱۰ سال نشان می‌دهد.

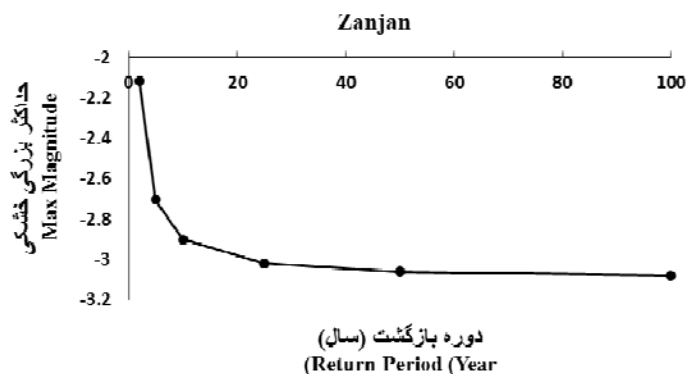
همان‌گونه که از این شکل می‌توان استنباط کرد بیشترین مقدار شدت خشکی با دوره بازگشت ۱۰ سال، در قسمت‌های شمالی و شرقی منطقه مورد مطالعه روی می‌دهد. ایستگاه‌های تبریز، اهر، خلخال و زنجان مناطق درگیر با این مشخصه خشک سالی هستند. ایستگاه تبریز با شدت ۹/۸۲- در رتبه اول قرار دارد. کمترین مقدار این مشخصه‌ها در مناطق مرکزی و غربی اتفاق می‌افتد. ایستگاه‌های پارس آباد، اردبیل، سراب، میانه، سردشت و ارومیه هم مناطق درگیر

جدول ۴- مقادیر max magnitude با دوره‌های بازگشت مختلف
Table 4- Maximum Magnitude Values for Different Return Periods

ایستگاه	دوره بازگشت					
	100	50	25	10	5	2
اردبیل	-1/90	-1/83	-1/75	-1/62	-1/49	-1/23
ارومیه	-1/11	-1/11	-1/09	-1/07	-1/04	-0/95
اهر	-3/15	-3/13	-3/09	-2/98	-2/78	-2/20
پارس آباد	-1/26	-1/25	-1/23	-1/19	-1/14	-0/99
پیرانشهر	-7/88	-7/17	-6/41	-5/34	-4/45	-3/08
تبریز	-3/07	-3/02	-2/96	-2/86	-2/75	-2/50
تکاب	-2/75	-2/52	-2/28	-1/96	-1/71	-1/32
جلفا	-2/77	-2/54	-2/30	-1/98	-1/73	-1/34
خلخال	-3/43	-2/91	-2/47	-1/98	-1/66	-1/25
خرمدره	-3/35	-2/99	-2/64	-2/20	-1/88	-1/41
خوی	-1/97	-1/93	-1/88	-1/78	-1/67	-1/41
سراب	-2/49	-2/34	-2/18	-1/94	-1/73	-1/37
سردشت	-1/26	-1/22	-1/17	-1/09	-1/01	-0/85
زنجان	-3/07	-3/05	-3/01	-2/90	-2/70	-2/11
ماکو	-2/31	-2/14	-1/96	-1/74	-1/56	-1/27
مراغه	-2/74	-2/51	-2/27	-1/96	-1/71	1/34
میانه	-1/74	-1/69	-1/64	-1/54	-1/43	-1/16

نسبت شدت‌های حداکثر بزرگی خشکی با دوره بازگشت ۱۰۰ سال به دوره بازگشت ۲ سال. $Tr(100/2)$

Tr (100/2): Ratio of 100 Years Return Period to 2 Years Maximum Magnitude

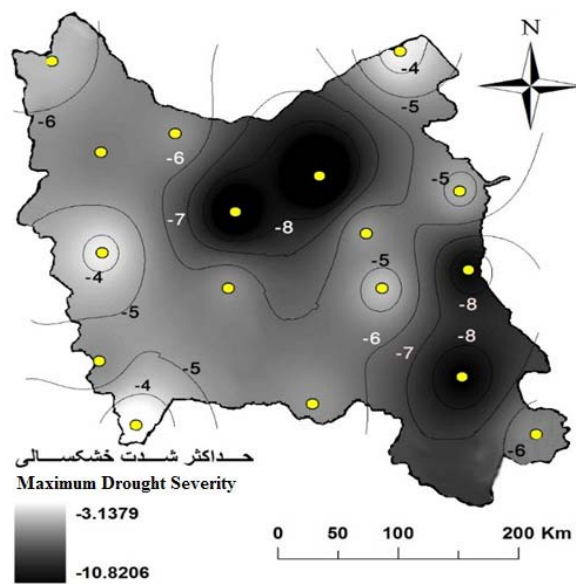


شکل ۱۰- نمودار حداکثر magnitude ها با دوره های بازگشت مختلف (ایستگاه زنجان)
Figure 10- Maximum Magnitude Values for Different Return periods (Zanjan Station)

میانه، خرمدره و سردشت مناطق درگیر با این مشخصه می‌باشند. اگر چه کمترین مدت دوام خشک سالی در ایستگاه پارس آباد مشاهده شد که کمتر از ۵ سال و پنج ماه بود.

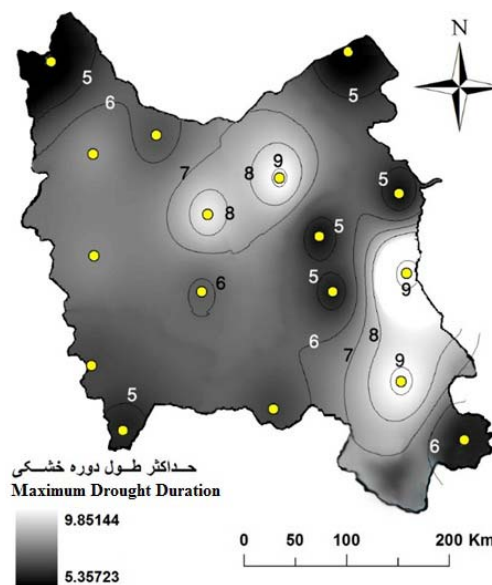
ج) حداکثر بزرگی خشکی: شکل ۱۳ منحنی‌های هم رقوم را برای مشخصه حداکثر بزرگی خشکی و با دوره بازگشت ۱۰ سال نشان می‌دهد.

همان‌گونه که از این شکل می‌توان استنباط کرد بیشترین مقدار طول مدت دوام خشکی با دوره بازگشت ۱۰ سال، در قسمت‌های شمالی و شرقی منطقه مورد مطالعه روی می‌دهد. ایستگاه‌های تبریز، اهر، خلخال و زنجان شاهد بیشترین طول دوام خشکی خواهند بود. ایستگاه خلخال با بیش از ۹ سال طول دوام خشک سالی، در رتبه اول قرار دارد. روند خاصی برای کمترین مقدار این مشخصه در منطقه مورد مطالعه وجود ندارد. ایستگاه‌های پارس آباد، ماکو، اردبیل، سراب،



شکل ۱۱- منحنی‌های هم رقوم max severity منطقه با دوره بازگشت ۱۰ سال

Figure 11- Equivalent Curve of Max Drought Severity of Study Area with 10 Years of Return Peiod



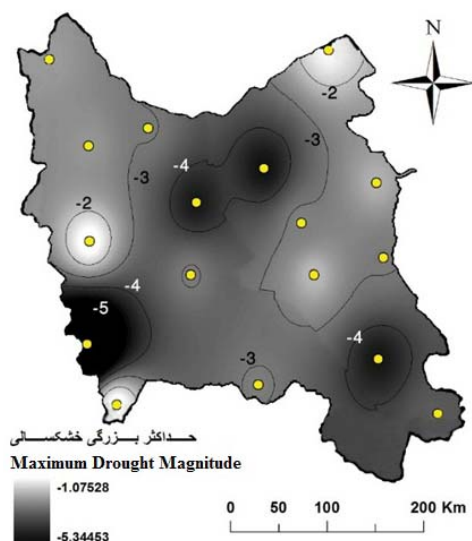
شکل ۱۲- منحنی‌های هم رقوم max duration با دوره بازگشت ۱۰ سال

Figure 12- Equivalent Curve of Max Drought Duration of Study Area with 10 Years of Return Peiod

نتیجه‌گیری کلی

برای مطالعه خصوصیات خشکی در شمالغرب ایران از شاخص RDI استفاده شد. مقادیر مشاهداتی RDI در مقیاس سالانه به دست آمد و هیستوگرام‌های رسم شده نشان داد که تمامی ۱۷ ایستگاه مورد مطالعه به تناوب خشک سالی‌ها را تجربه کرده‌اند و ایستگاه اهر شدیدترین مقدار مطلق خشکی (intensity) را دارا بود که در سال ۲۰۰۰ اتفاق افتاده است.

همان‌گونه که از این شکل می‌توان استنباط کرد، حداکثر این مشخصه در جنوب غربی منطقه مورد نظر روی می‌دهد. ایستگاه واقع در این منطقه پیرانشهر می‌باشد. مقدار حداکثر بزرگی خشکی در این ایستگاه، معادل با $5/34$ بود. کمترین شدت‌های خشکی هم در ایستگاه‌های ارومیه، سردشت و پارس آباد روی می‌دهد. کمترین مقدار این مشخصه متعلق به ارومیه با مقداری معادل با $1/07$ بود.



شکل ۱۳- منحنی‌های هم‌رقوم max magnitude با دوره بازگشت ۱۰ سال

Figure 13- Equivalent Curve of Max Drought Magnitude of Study Area with 10 Years of Return Period

بیشترین شدت برای ایستگاه اهر می باشد. هم چنین برای حداکثر طول مدت دوام خشکی با دوره بازگشت ده سال، ایستگاهی که کمترین زمان باقی ماندن در خشک سالی را تجربه می کند پارس آباد می باشد در حالی که خلخال ایستگاهی است که بیشترین طول مدت دوام خشکی را دارد. در مورد حداکثر بزرگی خشکی نیز، کمترین نسبت شدت به طول مدت خشکی، برای ایستگاه ارومیه بود و بیشترین مقدار آن در ایستگاه پیرانشهر مشاهده شد.

هم چنین ایستگاه ارومیه با بیشترین سال‌های باقی ماندن در دوره خشکی، در رتبه اول قرار گرفت. سپس با برآزش توزیع مناسب بر روی مقادیر اولیه RDI مشاهداتی و با کمک روش مونت کارلو، با پارامترهای توزیع منتخب، ۵۰۰ سری مصنوعی تولید گردید. در هر ایستگاه برای هر سری حداکثر مقدار مشخصه‌های خشک‌سالی تعیین و تحلیل فراوانی وقوع آن‌ها با دوره بازگشت‌های مختلف تخمین زده شد. نمودارهای روند برای سری‌های حداکثر مشخصه‌های خشکی نشان می دهد که کمترین شدت خشکی در ایستگاه پارس آباد و

منابع

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO. ISBN, 92-5-104219-5.
- Asadi Zarch M.A., Malekinezhad H., Mobin M.H., Dastorani M.T., and Kousari M.R. 2011. Drought monitoring by reconnaissance drought index (RDI) in Iran. Water Resource Management, 25(13):3485-3504. W J, 1987. A Drought Watch System. World Climate Program. WMO/TD No, 193(134): 1-22.
- Gibbs W.J. 1987. A Drought Watch System. World Climate Program. WMO/TD 193(134): 1-22.
- Guttman N.B. 1998. Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index. Journal of the American Water Resources Association, 34(1): 113-121
- Hayes M., Svoboda M., and Wilhite D.A. 2000. Monitoring drought using the Standardized Precipitation Index. In Drought: A Global Assessment. Wilhite DA (ed.). Routledge, London: 168-180.
- Hoyt J.C. 1936. Droughts of 1930-34, U.S. Geological Survey Water Supply Paper. 680-106.
- Karamouz M., and Araghi Nezhad S.H. 2005. Advanced Hydrology. Amirkabir University Press, 464 p.
- Khalili D., Farnoud T., Jamshidi H., Kamgar Haghighi A.A., and Zand Parsa S.H. 2011. Comparability Analyses of the SPI and RDI Meteorological Drought Indices in Different Climatic Zones. Water Resources Management, 25:1737-1757.
- McKee T.B., Doesken N.J., and Kleist J. 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society. Boston. pp. 179-184.
- Meehl G.A. 2000. An introduction to trends in extreme weather and climate events: observations, socioeconomic

- impacts, terrestrial ecological impacts, and model projections. *Bulltain. American Meteorological. Society*, 81(3): 413-416.
- 11- Meyer S.J., Hubbard K.G., and Wilhite D.A. 1993. A crop-specific drought index for corn: I. Model development and validation. *Agronomy Journal*, 86: 388-395.
 - 12- Obasi G.O.P. 1994. WMO's role in the international decade for natural disaster reduction, *Bulltain of American. Meteorology and. Society*, 75: 1655-1661.
 - 13- Palmer W.C. 1965. Meteorological drought. US Department of Commerce Weather Bureau Research Paper No.45.
 - 14- Rossi G., Benedini M., Tsakiris G., and Giakoumakis S. 1992. On regional drought estimation and analysis. *Water Resource Management*, 6: 249-277.
 - 15- Rossi G. 2000. Drought mitigation measures: A comprehensive framework. In: *Drought and Drought mitigation in Europe*, Vogt J V and Somma F (eds). Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, pp. 233-246.
 - 16- Shafizadeh F., Malekinezhad H., and Nase Sadrabadi A. R. 2011. Comparing Analysis of Common Drought Indices against Introducing Appropriate Index in Different Region of Iran. Fourth Iran Water Resources Management Conference, Amir Kabir University of Technology, Tehran, Iran.
 - 17- Tsakiris G. 2004. Meteorological Drought Assessment. Report for the European Research Project MEDROPLAN (Mediterranean Drought Preparedness and Mitigation Planning), Zaragoza, Spain.
 - 18- Tsakiris G and Vangelis H, 2005. Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *Eur Water*, (9/10):3 -11.
 - 19- Vangelis H., Tigkas D., and Tsakiris G. 2013. The effect of PET method on Reconnaissance Drought Index (RDI) calculation. *Journal of Arid Environments*, 88: 130-140.
 - 20- Wilhite D.A. 1993. The Enigma of drought (chapter 1, part one). In: Wilhite, D A. (Ed.), *Drought Assessment, Management and Planning: Theory and CaseStudies* Bosto, Kluwer Academic Publishers: 3-15.



Analysis of Droughts of Northwest of Iran Using the Reconnaissance Drought Index

S.B. Hosseini^{1*}- Y. Dinpasjhoh²- J. Nikbakht³

Received:10-11-2013

Accepted:02-02-2015

Introduction: Drought is a creeping natural phenomenon, which can occur in any region. Such phenomenon not only affects the region subjected to drought, but its adverse effects can also be extended to other adjacent regions. This phenomenon mainly starts with water deficiency (say less than long-term mean of variable under study such as rainfall, streamflow, groundwater level or soil moisture) and progress in time. This period can be ended by increasing the rainfall and reaching the mean level. Even after the ending of a drought period, its adverse effects can be continued for several months. Although, it is not possible (at least at this time) to prevent the occurrence of drought in a given region, it is not impossible to alleviate the drought consequences by scientific water management. Such a management should be employed before drought initiation as well as during it and continue on even after the end of the drought period. The frequency of the main drought characteristics is a major concern of this study. The Northwest of Iran recently encountered severe and prolonged droughts, such that a major portion of the Urmia Lake surface disappeared during the last drought in recent years. In order to study drought characteristics, we used the Reconnaissance Drought Index (RDI). This index is based on annual rainfall and potential reference crop evapotranspiration (abbreviated by PET here). This study employed the Monte Carlo simulation technique for synthetic data generation for analysis.

Materials and Methods: The information from the 17 synoptic weather stations located in the North-west of Iran was used for drought analysis. Data was gathered from the Islamic Republic of Iran's Meteorological Organization (IRIMO). In the first stage of research, the ratio of long term mean annual precipitation to evapotranspiration was calculated for each of the stations. For this purpose, the Penman-Montheis (FAO 56) method was selected for PET estimation. In the second stage, the 64 candidate statistical distributions were fitted for the mentioned RDI's of each station. The best statistical distribution was selected among the 64 candidate distributions. The best fitted distribution was identified by the chi-square criterion. The parameters of the distribution were estimated by the Maximum Likelihood Estimation (MLE) scheme. Then 500 synthetic time series (each of them have the same number of observed data) were generated employing the parent population parameters. The three main drought characteristics (namely duration, severity and magnitude) were obtained for each of the mentioned artificial time series. The maximum values for each of the mentioned drought characteristic were selected for each year. Then, a new time series having the 500 elements were obtained by collecting the chosen values for each station. Once again the best distribution was selected for each series. Drought characteristics for different return periods (2, 10, 25, 50, 100 and 200 years) were estimated for each station.

Results and Discussion: Preliminary results indicated that a negative trend existed in annual rainfall time series for almost all of the stations. On the other hand, the pattern of monthly PET histograms were more or less similar for all of the selected stations. The peak of the PET was mainly observed in the hottest month of year, whereas the lowest value of the monthly PET belonged to the coldest month of year. The results showed that the amount of annual rainfall time series decreases sharply, after the year 1991. However, PET values significantly increase for all of the selected stations. After calculation of RDI values, the histogram of annual RDI's was plotted against the year. This is repeated for all of the selected stations. Figure. 6 shows the mentioned diagram for Tabriz station as an example. In the mentioned Figure, negative values of RDI (shown by red bars) indicated the drought years. A critical prolonged drought with a sixteen years duration period (neglecting the 2001 in which RDI value was a small positive value) was experienced in Tabriz. The maximum drought severity in Tabriz was estimated to be about -7 in RDI units. Urmia station experienced the longest drought period, starting from 1995 and ending in 2005. It can be concluded that although few sparse wet years were observed in some of

1, 2- MSc. Student of Water Resources Management and Associate Professor, Department of Water Engineering, Agriculture Faculty, Tabriz University

(*- Corresponding Author Email: behrouz.hosseini66@yahoo.com)

3- Assistant Professor of Water Engineering Department, Agriculture Faculty, Zanjan University

the selected stations in the studied period, they cannot compensate the water deficiency accumulated during several consecutive years. The results showed that the lowest value of the ratio of drought severity in a 100 year return period to the corresponding value for 2 year return period was about 2.13 (belonged to the Tabriz station), whereas the highest value was 3.17 (belonged to the Tekab station). On the other hand, the lowest value for the ratio of drought duration in 100 year return period to its corresponding value for 2 year return period was 1.95 (experienced in the Makoo station). The highest mentioned ratio was 9.18 (observed in the Sardasht station). The lowest and highest value of the ratio of drought magnitude in 100 year return period to its corresponding value for 2 year return period were 1.17 and 2.74, respectively. The mentioned drought magnitude ratios were observed in the Urmia and the Khalkhal stations, respectively. The isoplethes of the three main drought characteristics (severity, magnitude, duration) for a 10 year return period was illustrated for the study area (Northwest of Iran).

Conclusion: In the present study RDI values were used to analyze drought characteristics of Northwest of Iran. The Penman-Montheis method was used to estimate PET (needed for RDI) values of the stations. The main three drought characteristics were calculated for each of the 500 synthetic time series. The results showed that nearly all of the areas under study experienced severe and prolonged droughts. It can be concluded that a sharp decrease in annual precipitation as well as the increase in PET (due to greenhouse effects of consuming fossil fuels as the main source of energy in the region) from 1995 to 2005 was observed in the study area. Scientific management of available water in the study area is extremely vital to alleviate the adverse consequences of drought. Several economic and social problems were anticipated in these arid and semi-arid regions of Iran.

Keywords: Drought, Northwest of Iran, Penman-Montheis, RDI