پژوهش های جغرافیایی ـ شماره ۵۹، بهار ۱۳۸٦
صص ۲۱ – ۳٤

تعیین آستانهٔ خشکسالی و محاسبهٔ میزان بارش قابل اعتماد ایستگاههای حوضه آبریز دریاچه ارومیه

مجید زاهدی قره آغاج – استاد گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز
یوسف قویدل رحیمی * – دانشجوی دکتری اقلیم شناسی دانشگاه اصفهان
پذیرش مقاله : ۱۳۸۲/۷/۷ تائید نهایی : ۸۴/۱۰/۲۶

چکیده

وقوع پدیدهٔ خشکسالی از واقعیتهای مهم ایستگاههای حوضه آبریز دریاچه ارومیه است که می توان علت اصلی آن را در نوسانهای دوره ای اقلیم و عدم عبور توده هوای مرطوب و باران آور خصوصاً توده هوای مرطوب مدیترانه ای دانست. در این مطالعه دادههای مربوط به بارش سالیانه در یک دورهٔ آماری٤۳ ساله (۱۹٦۰– ۲۰۰۲) برای ایستگاههایی از حوضه آبریز دریاچه ارومیه جهت تحلیل آماری و محاسبه سالهای مرطوب و خشک استفاده قرار گرفته است. روش اصلی استفاده شده در این تحقیق عبارت از « نمایهٔ بارش قابل اعتماد DRI »[1] است. نتایج این مطالعه حاکی از وقوع پدیدهٔ خشکسالی درکل ایستگاهها است که با شدت و ضعفهایی، توأم است. در بین مدلهای «بارش قابل اعتماد»، «نمرات استاندارد شدهٔ بارش سالیانه»[2] و «شاخص درصد از بارش میانگین سالیانه»[3] که در این تحقیق استفاده قرارگرفته اند، مدل بارش قابل اعتماد با داشتن قابلیتهای بیشتر و محدودیتهای کمتر بهتر از دیگر مدلها تشخیص داده شده است.

کلید واژه ها: *بارش سالیانه، آستانهٔ خشکسالی، نمایهٔ بارش قابل اعتماد، ترسالی، حوضه آبریز دریاچه ارومیه*

مقدمه

نوسان بارش از مهمترین مسائل اقلیمی ایران است که آثار زیان بار آن در تمام عرصه های اقتصادی اجتماعی و حتی سیاسی – امنیتی (تشدید نزاع بر سر تملک آب در ادوار خشکسالی) به نحوی منعکس می شود. سیل، بارش برف و باران سنگین، تگرگ و خشکسالی مهمترین پدیده های زیان بار ناشی از بارش در کشور هستند و خسارات سنگینی بر پیکر نحیف اقتصاد ملی وارد می سازند. در میان مسائل ناشی از بارش، خشکسالی هم از نظر شدت و فراوانی وقوع و هم از نظر وسعت فضایی و میزان خساراتی که به بار می آورد، اهمیت بیشتری دارد. خشکسالی را می توان عبارت از کمبود مستمر و غیر طبیعی رطوبت در یک دوره زمانی خاص (معمولاً یک سال)، می دانست. در تعریف مذکور واژه مستمر به تداوم حالت

* نویسنده مسئول : ۰۹۱٤۳۰٤۰۱۷۰
E- mail : Neuralclimate@yahoo.co.uk

1-Dependable Rainfall Index (DRI)
2-Z Score Index of Annual Precipitation (ZSIAP)
3-Percent of Normal Precipitation Index (PNPI)

کمبود و واژه غیر طبیعی به انحراف شاخص ظر از شرایط طبیعی یا میانگین اطلاق می شود. پالمر چهار ویژگی فضایی ـ زمانی اصلی خشکسالیها را فراوانی، شدت، وسعت (فراگیری) و تداوم زمانی بر می شمارد (پالمر، ۱۹۹۹، ۵۸). دانشمندان پدیده های اقلیمی به ویژه خشکسالیهای متوالی و شدید را مهمترین عامل بیابان زایی و گسترش آن بویژه در مناطق خاورمیانه، شمال آفریقا، استرالیا و آمریکای لاتین می دانند (Keneth,1999, 58). پدیدهٔ مرموز و موذی خشکسالی بنا به ماهیت آثار مختلفی که دارد به انواع: کشاورزی، آب شناختی (هیدرولوژیک)، اقلیم شناختی و خشکسالی اقتصادی – اجتماعی تقسیم شده است (Smith, 1998, 79).

پدیدهٔ خزنده و مخرب خشکسالی در طول ادوار تاریخی خسارات فراوانی در ایران به بار آورده است. یکی از مهمترین اسناد موجود در بارهٔ خشکسالی در ایران کتیبه ای از داریوش در تخت جمشید است که در آن از خشکسالی به عنوان دومین معضل ایران یاد شده است (شکل ۱).

شکل ۱ کتیبهٔ داریوش کبیر در تخت جمشید (قویدل رحیمی، ۱۳۸۱ الف، : ۱۶ به نقل از فرهنگ نامهٔ بریتانیکا)

فرج زاده و همکاران (۳۱،۱۳۷۴) بر مبنای بارش و چند روش آماری خشکسالیهای ایران را با توجه به ویژگیهای فضایی ـ زمانی آن مطالعه کردند. خوش اخلاق (۱۳۷۷، ۲۵ تا ۲۱۰) در تحقیقی سینوپتیک، اقدام به مطالعه دورههای خشک و مرطوب ایران کرده و خشکسالیهای فراگیر ایران را تجزیه و تحلیل قرار داد. قویدل رحیمی (۱۳۸۱ الف،۸۲) با استفاده از روش نمرهٔ Z بارش، فصلهای مرطوب و خشک آذربایجان شرقی را با تأکید بر ابعاد زمانی ـ مکانی مطالعه کرد. قویدل رحیمی (۱۳۸۱ب، ۶) ماههای مرطوب و خشک آذربایجان شرقی را با استفاده از نمایهٔ SPI مطالعه و همبستگی موجود بین فراوانی وقوع و طول دورههای مرطوب و خشک را کشف کرد و با توجه به فراوانی وقوع ماههای خشک و مرطوب نقشهٔ خطر خشکسالی را به روش سویسی ترسیم کرد. زاهدی و قویدل رحیمی (۱۳۸۱، ۱۳) بر مبنای شاخص «مک کال» و سری زمانی « هالت– وینتر» اقدام به پیش بینی خشکسالیها و ترسالیهای حوضه دریاچه ارومیه کردند و به این نتیجه رسیدند که در سالهای پیش بینی، بارش ایستگاهها غالباً در حالت نرمال خواهند بود و خشکسالی شدیدی را برای ایستگاهها پیش بینی نکردند. محمدخورشیددوست و قویدل رحیمی (۱۳۸۳، ۲۵) با استفاده از شاخص SPI اقدام به تحلیل زمانی – مکانی دورههای مرطوب و خشک زمستانی آذربایجان شرقی کرده و با استفاده از سری های زمانی، بارش زمستانهٔ سالهای آتی را پیش بینی قرار داده اند. آزمون مدلهای مختلف ارزیابی ترسالی و خشکسالی در آذربایجان شرقی نشانگر برتری مدل SPI در مقیاس استانی بوده است (قویدل رحیمی ۱۳۸۴، ۱). کاربرد انواع نمایه های مبتنی بر بارش، محدودیتها و مزایای هر یک از نمایه ها در ایستگاههای آذربایجان شرقی بررسی قرار گرفته و از میان روشهای متعدد، روش نمرات Z بارش، بهترین

روش برای مطالعهٔ ایستگاه به ایستگاه (بین ایستگاهی) شناخته شد. (قویدل رحیمی۹،۱۳۸۴). با توجه به تحلیلهای ناشی از سری های زمانی خصوصاً روند نزولی بارش بلند مدت ایستگاههای حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه و پیش بینیهای به عمل آمده، نسبت به وقوع خشکسالی در بین سالهای ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ در حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه هشدار داده شده است (قویدل رحیمی و جهانبخش، ۱۳۸۳، ۴۸).

با توجه به کارایی مطالعات پیوند از دور در شناخت منشأ بارش و نوسانهای آن که موجب خشکسالیها و ترسالی ها می شوند، اخیراً تلاشهایی در جهت شناخت الگوهای پیوند از دور مؤثر بر بارش به انجام رسیده است. در این راستا ثابت شده است که وقوع اکثر خشکسالیهای ایران با پدیدهٔ « لانینا » و ترسالی ها با « ال نینو » ارتباط دارد (عزیزی، ۱۳۷۹، ۸۴). ضرایب همبستگی معنا داری که بین بارش بهاری آذربایجان شرقی و « انسو » (شاخصهای دمای سطح آب) محاسبه قرار گرفته اند، مطالعهٔ عزیزی در خصوص ارتباط خشکسالیهای فصلی ایران با لانینا و ترسالی ها با ال نینو را با سطح اطمینان بیشتری تائید قرار داده است (قویدل رحیمی، ۱۳۸۴، ۱). همچنین ثابت شده است که افزایش بارش سالانهٔ استان آذربایجان شرقی با فاز منفی پدیدهٔ «نوسانهای اطلس شمالی» که موجب انتقال رطوبت اقیانوس اطلس (و تقویت سیکلونهای مدیترانه ای و دریای سیاه) به سوی شمال غرب ایران می شود و کاهش بارش و خشکسالی که نتیجهٔ استیلای زبانه پرفشار آزور در فاز مثبت بر روی ایران است، همبستگی معنی داری دارد (قویدل رحیمی، ۱۳۸۳، ۹). نتایج حاصل از شبیه سازی دما و بارش تبریز در مطالعه ای که با استفاده از مدل گردش عمومی جوی« آزمایشگاه پویایی سیالات ژئوفیزیکی» موسوم به GFDL انجام گرفته است، نشان داده است که افزایش دی اکسید کربن جو تبریز تا سال، ۲۰۵۰ تغییرات عمده ای در اقلیم تبریز و کل منطقهٔ شمال غرب به وجود خواهد آورد که از مهمترین این تغییرات می توان به تغییرات زمانی مقدار بارش (بویژه کاهش بارش زمستانی و بهاری) و وقوع خشکسالیهای شدید اشاره کرد(محمدخورشیددوست و قویدل رحیمی، ۱۳۸۴، ۸).

هدف این مقاله تجزیه و تحلیل خشکسالی از طریق عنصر بارش و با استفاده از شاخص بارش قابل اعتماد حوضهٔ آبریز دریاچه ارومیه است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

داده ها و روشها

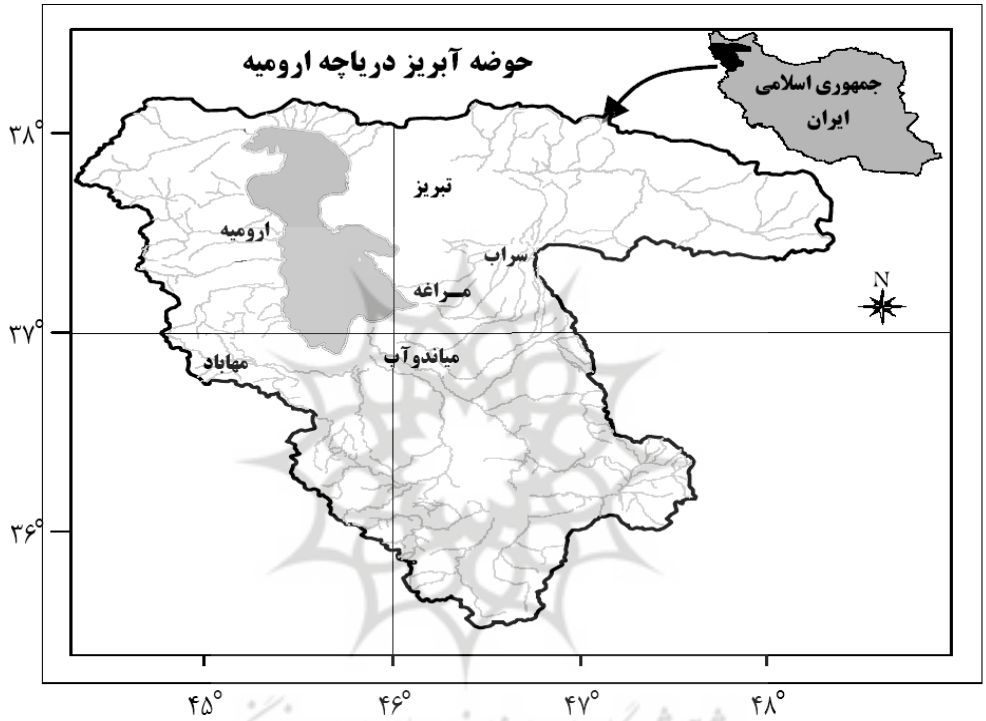
داده ها

داده های متوسط بارش سالیانه شش ایستگاه از محدودهٔ جغرافیایی حوضه آبریز دریاچه ارومیه شامل تبریز، ارومیه، مراغه، سراب، میاندوآب و مهاباد در یک دوره آماری ۴۳ ساله از سال۱۹۶۰ تا سال ۲۰۰۲ برای این مطالعه انتخابشد. مشخصات ایستگاههای مذکور در جدول ۱ و محدودهٔ فضایی حوضه آبریز در شکل ۲ نشان داده شده است.

به منظور آماده سازی، جورکردن و کنترل کیفی داده ها (بازسازی و تکمیل دادههای مفقود، تی تست، اف تست و آزمون جرم مضاعف برای سنجش صحت و همگنی داده ها) از نرم افزار Data Tester، برای داده پردازی از نرم افزار۳/۲۰ Instat+v و برای ترسیم نمودارهای تعیین خشکسالی و ترسالی از نرم افزار Drought Classifier v ۲۰۰۴ (نرم افزار تخصصی خشکسالی) استفاده شد.

جدول ۱: مشخصات جغرافیایی ایستگاههای حوضه آبریز دریاچه ارومیه

ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع (متر)
ارومیه	٤٥ -٥٠	٣٧ – ٣٢	١٣١٢
تبریز	٤٦ -١٥	٣٨ -٠ ٨	١٣٤٩
میاندوآب	٤٦ -٠٦	٣٦ – ٥٨	١٣١٤
مراغه	٤٦ -١٤	٣٧ – ٢٤	١٤١٩
مهاباد	٤٥ – ٤٣	٣٦- ٤٦	١٥٠٠
سراب	٤٧ – ٣٢	٣٧ – ٥٦	١٦٥١



شکل ۲: محدوده جغرافیایی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران

روشها

به منظور محاسبهٔ میزان بارش قابل اعتماد DR و تعیین سالهای مرطوب و خشک از نمایهٔ DR به شرح ذیل استفاده شده است.

$$DR=\sqrt[N]{p_1\times p_2\times p_3\ldots p_N}\times(0.8)$$

مقیاس ارائه شده برای طبقه بندی شدت و تعیین کیفیت بارش از طریق نمایهٔ DR به شرح ذیل می باشند:

$$NP = DR \le P \le GM$$

$$D = P < DR$$

$$W = P > GM$$

در معادلات فوق که همگی بر واحد میلیمتر محاسبه می شوند:

DR: نمایهٔ بارش قابل اعتماد، ۰/۸ ضریب ثابت معادله؛ P: بارش سال مفروض؛N : تعداد مشاهدات بارش سالیانه (طول دورهٔ آماری)؛ GM : میانگین هندسی؛ NP: محدودهٔ نرمال؛ D: آستانهٔ خشکسالی وW: عدد آستانهٔ ترسالی می باشند (*Popov et al, 2002, 21*). نمایهٔ DR جزو شاخصهای هیدرو اقلیمی بوده و مزیت آن در تعدیل آثار مقادیر;کرانه ای (مقادیر حداقل و حداکثر) بارش که میانگین بلند مدت را به شدت تغییرداده و موجب گمراهی در نتایج به دست آمده می شوند، است (شکل ۳). بعد از محاسبه نمایهٔ DR و آستانه های مختلف آن، بارش هر ایستگاه با توجه به معادلات تعریف شده طبقه بندی و نتایج به دست آمده در جدول ۲ درج شد.

به منظور مقایسهٔ نتایج به دست آمده با دیگر شاخصهای خشکسالی، نتایج حاصل از شاخصهای «درصد از بارش میانگین» و «نمرات Z بارش» مقایسه قرار گرفته است. در ذیل معادلات نمایه های « درصد از بارش میانگین » و « نمرات Z بارش» درج شده است:

نمایهٔ درصد از بارش میانگین

$$PNPI = (P_i / \bar{P}) \times 100$$

نمایهٔ نمرات استاندارد شدهٔ بارش

$$ZSIAP = (P_i - \bar{P}) / P_{SD}$$

در معادلات فوق: P_i: بارش سال مفروض، $\bar{P}$: میانگین بلند مدت بارش و P_{SD}: انحراف معیار بارش بلند مدت (واحد میلیمتر) ایستگاهها می باشند (*WMO, 2004, 86*). هر دو شاخص فوق دارای مقیاس طبقه بندی است که در این مطالعه از مقیاس طبقه بندی تغییر یافته و سازگار با شرایط اقلیمی ایران به شرح جدول ۳ استفاده شده است :

جدول ۳: مقیاس طبقه بندی شدت خشکسالی به روش PNPI و ZSIAP

شدت	نرمال	خشکسالی			
شاخص	آستانهٔ نرمال	خشکسالی ضعیف	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید
PNPI	۸۰ تا۱۲۰ درصد	۷۰ تا ۸۰ درصد	۵۵ تا ۷۰ درصد	۴۰ تا ۵۵ درصد	کمتر از ۴۰ درصد
ZSIAP	۰/۲۵- تا ۰/۲۵ +	۰/۲۵- تا ۰/۵۲-	۰/۵۲- تا ۰/۸۴-	۰/۸۴- تا ۱/۲۸-	کمتر از ۱/۲۸-

ماخذ : (خلیلی و بذر افشان، ۱۳۸۲، ۸۹)

برای قابل قیاس کردن نتایج حاصل از دو شاخص PNPI وZSIAP با نمایهٔ DR مقیاس طبقه بندی به شرح جدول ۴ در سه کلاسمان خشکسالی، نرمال و ترسالی تنظیم شده است.

جدول ۴: مقیاس طبقه بندی تعدیل شده برای مقایسهٔ خروجی شاخصها با همدیگر

شاخص	خشکسالی	وضع نرمال	ترسالی
PNPI	کمتر از ۸۰	۱۲۰ تا۸۰ درصد	بیش از۱۲۰ درصد
ZSIAP	۰/۲۵- تا کمتر از ۱/۲۸-	۰/۲۵- تا ۰/۲۵+	بیشتر از ۰/۲۵+

ویژگیهای آماری بارش

مهمترین نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری ایستگاههای حوضه آبریز دریاچه ارومیه در جدول ۵ درج شده است.

۱- با توجه به میانگین بارش حوضه، ایستگاههای مهاباد، مراغه و ارومیه ایستگاههای مرطوب و ایستگاههای تبریز، سراب و میاندوآب ایستگاههای کم بارش و خشک حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه می باشند.

۲- با در نظرگرفتن مقادیر انحراف معیار و ضرایب تغییرپذیری بارش، ایستگاه مهاباد به عنوان کم ثبات ترین و ایستگاه مراغه به عنوان قابل اعتمادترین ایستگاه از نظر توزیع بارش شناخته شدند.

جدول ۵: مشخصات آماری بارش در ایستگاههای حوضه آبریز دریاچه ارومیه (۲۰۰۲-۱۹۶۰)

ایستگاه	ارومیه	تبریز	میاندوآب	مراغه	مهاباد	سراب
متوسط	۳۴۱	۲۹۲	۲۷۳	۳۳۶	۳۸۶	۲۵۴/۵
میانگین هندسی	۳۲۶/۵	۲۷۶/۵	۲۵۷/۶	۳۲۰	۳۶۰/۷	۲۴۹
دامنهٔ بارش	۳۹۲	۳۸۱	۴۵۹	۳۳۳	۶۵۵	۳۲۲
کمینه	۱۸۸	۱۳۲	۱۳۵	۱۷۵	۱۸۰	۱۱۶
بیشینه	۵۸۰	۵۱۳	۵۹۴	۵۰۸	۸۳۵	۴۳۸
انحراف معیار	۱۰۲	۸۶/۵	۷۶	۸۸/۳	۱۴۸/۶	۹۱/۶
ضریب تغییرات	۳۰	۲۹/۶	۲۹/۲	۲۶/۳	۳۸/۵	۳۶

محاسبهٔ نمایهٔ DR و تعیین خشکسالیها

با استفاده از نمایه های DR، مقادیر عددی شاخصهای مذکور برای هریک از ایستگاهها محاسبه و درجدول ۶ درج شد و با مبنا قراردادن مقادیر مذکور اقدام به طبقه بندی بارش هر یک از سالهای دورهٔ آماری ایستگاهها شد.

مقادیر محاسبهٔ نمایهٔ DR علاوه بر اینکه آستانهٔ خشکسالی ایستگاهها محسوب می شوند، بیانگر مقدار نسبتاً قابل اطمینانی از بارش که در بلند مدت می توان روی آن مقدار در برنامه ریزی هاحساب کرد. پس از تعیین سالهای مرطوب و خشک ویژگیهای آماری خشکسالیها و ترسالیهای هریک از ایستگاهها که شامل فراوانی وقوع، وسعت (فراگیری) و تداوم (استمرار) زمانی است، استخراج شد.

جدول ۶: مقادیر محاسبهٔ نمایهٔ DR برای هر یک از ایستگاههای حوضهٔ آبریز دریاچه ارومیه (به میلیمتر)

ایستگاه	تبریز	ارومیه	مراغه	میاندوآب	سراب	مهاباد
نمایهٔ DR	۲۲۴	۲۶۰/۸	۲۵۹/۲	۲۰۶/۴	۱۹۳/۲	۲۸۸/۸
محدودهٔ نرمال	بین ۲۲۴ و ۲۷۶/۵	بین ۲۶۰/۸ و ۳۲۶/۵	بین ۲۵۹/۲ و ۳۲۰	بین ۲۰۶/۴ و ۲۵۷/۶	بین ۱۹۳/۲ و ۲۴۹	بین ۲۸۸/۸ و ۳۶۰/۷
آستانهٔ خشکسالی	کمتر از ۲۲۴	کمتر از ۲۶۰/۸	کمتر از ۲۵۹/۲	کمتر از ۲۰۶/۴	کمتر از ۱۹۳/۲	کمتر از ۲۸۸/۸
آستانهٔ ترسالی	بیش از ۲۷۶/۵	بیش از ۳۲۶/۵	بیش از ۳۲۰	بیش از ۲۵۷/۶	بیش از ۲۴۹	بیش از ۳۶۰/۷

با توجه به جدول ۲ می توان ویژگیهای زمانی و فضایی اصلی ایستگاههای حوضه آبریز دریاچه ارومیه را که با توجه به نمایهٔ DR محاسبه قرار گرفته اند و با ارقام پر رنگ تر درج شده اند به شرح ذیل عنوان کرد:

الف) از نظر توزیع فراوانی فضایی سالهای خشک و مرطوب ایستگاههای میاندوآب با ۱۱ بار و تبریز و مهاباد با ۱۰ بار فراوانی وقوع دارای بیشترین تعداد خشکسالی و ایستگاه مراغه با ۷ بار ترسالی و ۳۶ سال بدون خشکسالی دارای کمترین تعداد فراوانی وقوع خشکسالی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه می باشند.

ب) متوالی ترین دوره خشکسالی دو دورهٔ مستمر سه ساله در ایستگاههای تبریز (۱۹۹۹ – ۲۰۰۱) و ارومیه (۱۹۹۸ – ۲۰۰۰) قرائت شد.

ج) وسیع ترین دورهٔ ترسالیهای متوالی ایستگاههای حوضه آبریز دریاچه ارومیه دو دوره ٤ ساله یکی از سال ۱۹۷٦ – ۱۹۷۹ و دیگری از سال ۱۹۹۱– ۱۹۹٤ ثبت شده است.

د) متوالی ترین دورهٔ ترسالی ایستگاهها با ۱۳ بار ترسالی مستمر در ایستگاه تبریز ثبت شده است. تداوم سالهای مرطوب برای ایستگاههای مراغه۱۱، ارومیه و سراب ۱۰، میاندوآب ۸ و مهاباد ۷ بار محاسبه شد.

ه) فراگیرترین خشکسالی ایستگاهها نیز در سال ۱۹۹۰ رخ داده است. از دیگر خشکسالیهای وسیع حوضه آبریز دریاچه ارومیه می توان به خشکسالی سالهای ۱۹٦۱، ۱۹۸۳، ۱۹۸۹، ۱۹۹۹، ۲۰۰۰ اشاره کرد .

بر اساس آستانه های جدول ۴ و به منظور مقایسهٔ ارقام آستانهٔ محاسبه شده از طریق شاخص DR با دو شاخص رایج PNPI و ZSIAP اقدام به محاسبه مقادیر متناظر شاخص DR در برابر آستانه های PNPI و ZSIAP شد. اعداد آستانه مذکور برای ایستگاه ارومیه (به عنوان ایستگاه شاخص) در جدول ۷ نشان داده شده است.

همان گونه که در جدول ۷ مشاهده می شود نمایهٔ بارش قابل اعتماد از افراط دو شاخصPNPI وZSIAP برکنار بوده و آستانه تعیین خشکسالی آن در محدوهٔ پائین تری از دو شاخص PNPI و ZSIAP قرار می گیرد. در طرحهایی که نیاز به برآورد میزان بارش سالیانه دارند، شاخص DR بسیار مفید واقع خواهد شد. برآورد شاخص DR می تواند موجب درکی صحیح و منطقی از مقادیر آستانهٔ بارش، خصوصاً در برنامه ریزی کشاورزی (بویژه زراعت دیم که در آذربایجان رایج است) و مدیریت منابع آب شود.

جدول۷: تعیین خشکسالیهای ایستگاههای حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از نمایهٔ DR (بارش به میلیمتر)

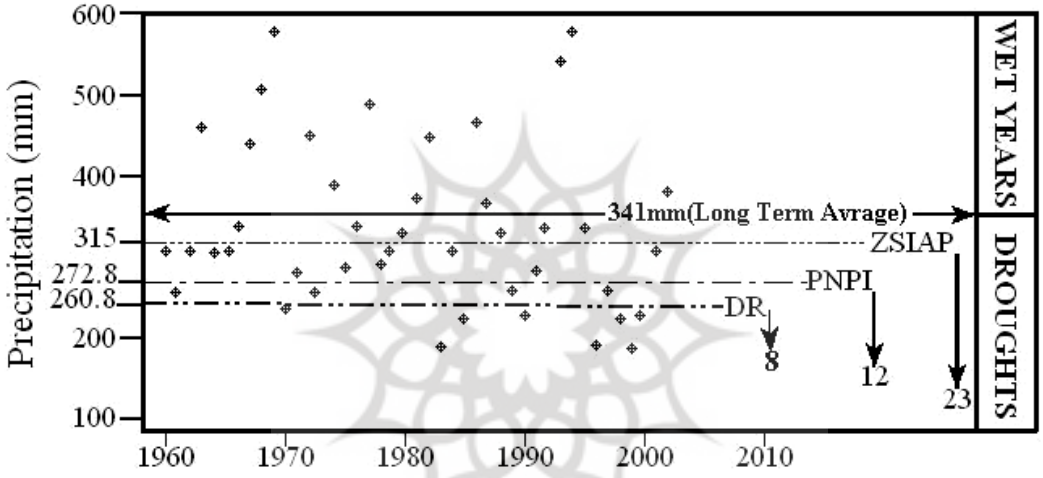
وضعیت	مهاباد	وضعیت	سراب	وضعیت	میاندوآب	وضعیت	مراغه	وضعیت	ارومیه	وضعیت	تبریز	سال
	۳۰۹		۲۰۳	خشکسالی	۲۰۴		۲۸۲		۳۱۱		۲۴۹	۱۹۶۰
خشکسالی	۲۵۳	خشکسالی	۱۶۷	خشکسالی	۱۷۶	خشکسالی	۲۳۱		۲۶۳	خشکسالی	۱۹۰	۱۹۶۱
	۳۸۷		۲۵۵		۲۶۸		۲۷۴		۳۰۸		۳۰۰	۱۹۶۲
	۶۷۵		۴۴۴		۴۶۷		۳۴۸		۴۶۱		۵۴۷	۱۹۶۳
	۵۹۲		۳۹۰		۴۱۰		۲۸۷		۳۰۶		۳۶۰	۱۹۶۴
خشکسالی	۲۰۷		۳۷۳		۲۹۲		۲۹۸		۳۲۱		۴۲۸	۱۹۶۵
	۳۳۱		۲۵۴		۲۱۳		۳۳۸		۳۵۲		۳۲۴	۱۹۶۶
	۲۹۶		۳۱۷		۲۶۱		۴۵۳		۴۴۰		۲۹۱	۱۹۶۷

	۳۳۶		۲۷۳	خشکسالی	۱۷۰		۴۸۲		۵۰۹		۴۸۵	۱۹۶۸
	۶۳۰		۲۷۸		۵۹۴		۴۸۵		۵۸۰		۴۱۴	۱۹۶۹
	۳۱۰	خشکسالی	۱۲۶	خشکسالی	۱۸۱		۲۶۶	خشکسالی	۲۳۷		۲۳۶	۱۹۷۰
خشکسالی	۱۸۰		۲۹۱		۳۰۴		۳۲۰		۲۷۶		۳۳۵	۱۹۷۱
	۴۷۰		۳۰۵		۳۲۱		۴۲۳		۴۵۰		۳۵۳	۱۹۷۲
	۳۰۱		۲۴۷	خشکسالی	۲۰۵	خشکسالی	۲۱۰		۲۶۱		۲۶۸	۱۹۷۳
	۳۶۰	خشکسالی	۱۷۴		۳۰۶		۳۴۲		۳۹۰		۳۰۷	۱۹۷۴
خشکسالی	۲۸۶		۲۳۶	خشکسالی	۱۵۷		۲۸۵		۲۸۷	خشکسالی	۲۱۸	۱۹۷۵
	۳۶۱		۲۳۰		۲۶۴		۳۱۶		۳۵۲		۳۳۳	۱۹۷۶
	۵۹۶		۲۳۶		۳۶۴		۴۷۶		۴۸۹		۳۶۰	۱۹۷۷
	۴۰۳		۳۴۸		۲۸۳		۳۳۰		۲۹۱		۳۰۶	۱۹۷۸
	۸۳۵		۱۹۸		۲۴۱		۲۹۰		۳۱۳		۲۴۱	۱۹۷۹
	۳۳۰	خشکسالی	۱۶۸		۲۱۳		۳۰۱		۳۳۹		۲۵۱	۱۹۸۰
	۵۳۰		۲۴۵		۴۵۵	خشکسالی	۲۰۳		۳۷۴		۴۰۳	۱۹۸۱
	۵۹۳		۶۳۰		۳۴۶		۴۵۶		۴۴۹		۳۸۰	۱۹۸۲
خشکسالی	۲۴۷	خشکسالی	۱۶۳	خشکسالی	۱۷۶		۳۱۰	خشکسالی	۱۹۰	خشکسالی	۱۸۸	۱۹۸۳
	۳۴۹		۲۳۰		۳۴۱		۴۴۰		۳۱۵		۲۵۷	۱۹۸۴
	۴۰۰		۲۰۳		۲۱۴		۳۸۵	خشکسالی	۲۵۱		۲۳۴	۱۹۸۵
	۳۷۳		۲۵۱		۲۶۸		۴۰۳		۴۶۸		۲۹۵	۱۹۸۶
	۴۲۳	خشکسالی	۱۹۷		۲۹۲		۴۱۶		۳۵۸		۳۴۲	۱۹۸۷
	۴۳۶		۲۲۴		۲۳۰		۴۱۸		۳۳۰		۲۵۳	۱۹۸۸
	۳۳۰	خشکسالی	۱۲۷	خشکسالی	۱۷۴	خشکسالی	۲۳۲		۲۶۸	خشکسالی	۱۹۱	۱۹۸۹
خشکسالی	۱۹۵	خشکسالی	۱۵۲	خشکسالی	۱۳۵	خشکسالی	۲۱۶	خشکسالی	۲۲۸	خشکسالی	۱۴۸	۱۹۹۰
	۳۲۸		۱۹۶		۲۲۷		۳۶۸		۲۸۴		۲۵۰	۱۹۹۱
	۳۶۵		۲۴۱		۲۵۳		۳۵۸		۳۴۱		۲۷۸	۱۹۹۲
	۶۷۸		۳۰۶		۵۲۵		۵۰۸		۵۴۲		۳۶۲	۱۹۹۳
	۵۰۵		۲۶۴		۲۵۴		۴۳۳		۵۷۹		۳۷۴	۱۹۹۴
	۳۵۰		۲۶۱		۲۸۶		۳۵۷		۳۳۷	خشکسالی	۱۷۶	۱۹۹۵
خشکسالی	۱۸۰		۴۰۱		۲۵۷		۴۰۸	خشکسالی	۱۹۲		۲۵۱	۱۹۹۶
	۳۹۴		۲۴۸		۲۹۸		۲۸۱		۲۷۱	خشکسالی	۱۹۳	۱۹۹۷
خشکسالی	۲۵۷		۲۲۲		۲۱۷		۲۷۰	خشکسالی	۲۲۳		۲۳۴	۱۹۹۸
خشکسالی	۲۳۷		۲۳۶	خشکسالی	۱۵۰	خشکسالی	۱۸۵	خشکسالی	۱۸۸	خشکسالی	۲۲۰	۱۹۹۹
	۳۱۳		۲۰۲	خشکسالی	۱۸۵	خشکسالی	۱۷۵	خشکسالی	۲۳۱	خشکسالی	۲۰۱	۲۰۰۰
خشکسالی	۲۲۰	خشکسالی	۱۸۰		۲۳۸		۲۸۲		۳۱۰	خشکسالی	۲۰۳	۲۰۰۱
	۴۴۰		۲۵۴		۲۹۸		۳۱۹		۳۸۲		۳۰۹	۲۰۰۲

جدول ۷ مقایسهٔ اعداد آستانهٔ شاخص DR و شاخصهای PNPI و ZSIAP ایستگاه ارومیه (به میلیمتر)

شاخص	خشکسالی	وضع نرمال	ترسالی
ZSIAP	از ۳۱۵ تا کمتر از ۲۱۰/۴۴	از ۳۱۵/۵ تا ۳۶۶/۵	بیش از ۳۶۶/۵
DRI	از کمتر از ۲۶۰/۸	بین ۲۶۰/۸ و ۳۲۵/۵	بیش از ۳۲۵/۵
PNPI	از ۲۷۲/۸ تا ۱۳۶/۴	از ۴۰۹/۲ تا ۲۷۲/۸	بیش از ۴۰۹/۲

در شکل ۳ مقادیر مربوط به آستانه های خشکسالی برآورد شده از طریق سه شاخص بحث شده در ارتباط و در کنار همدیگر برای ایستگاه سینوپتیک ارومیه ترسیم شده است. فراوانی وقوع و طبقه بندی خشکسالیها و ترسالی ها و سالهای نرمال ازطریق نمایه های بحث برای مقایسهٔ بهتر نتایج با استفاده از مدلهای گرافیک توزیع فراوانی برای ایستگاه ارومیه در شکل های ۴، ۵ و ۶ ترسیم شده است.

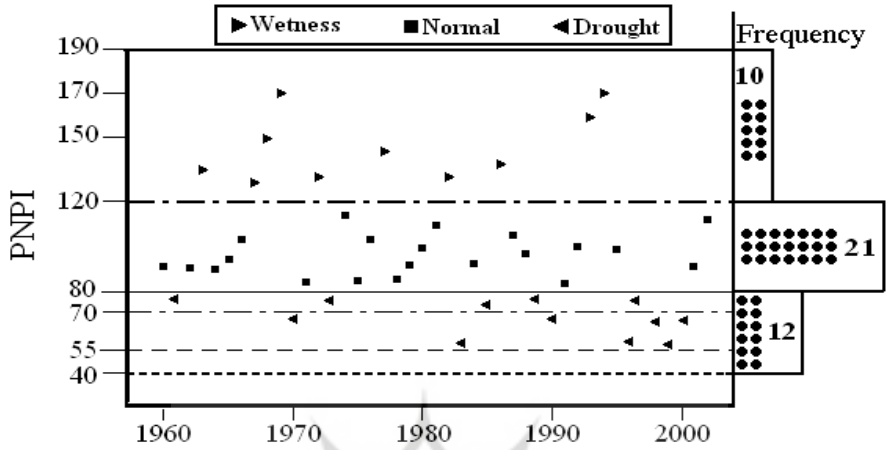


شکل۳- مدل مقایسهٔ برآورد مقادیر آستانهٔ خشکسالی ایستگاه سینوپتیک ارومیه به وسیله شاخصهای DRI ، PNPI ، ZSIAP و میانگین بلند مدت بارش (۳۴۱ میلیمتر).

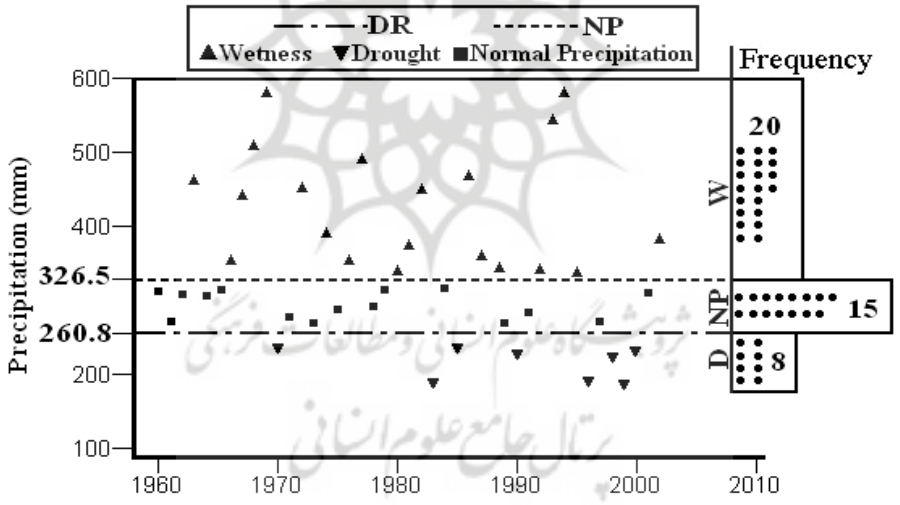
در شکل ۳ ضخامت بیشتر پیکان، طولانی تر بودن خطوط آستانه (خطوط منقطع) و اعداد بیشتر مبین افزایش مقدار شاخص تعیین و کثرت خشکسالیهای برآورد شده می باشد که با نازکتر شدن پیکان و کوتاهتر شدن خطوط آستانه، از فراوانی وقوع خشکسالی کاسته می شود. همان گونه که مشاهده می شود، بیشترین فراوانی وقوع خشکسالی برآورد شده از طریق شاخصهای سه گانهٔ استفاده شده، مربوط به شاخص ZSIAP با ۲۳ خشکسالی و کمترین فراوانی برآورد شده مربوط به شاخص DRI است. خشکسالیهای برآورد شده از طریق شاخص DRI دارای فراوانی وقوع کمتر ولی شدت بیشتر نسبت به خشکسالیهای برآورد شده از طریق دو نمایهٔ PNPI و ZSIAP می باشند. اغراق آمیزی میانگین بارش (با ۲۹ بار خشکسالی) نسبت به شاخصهای دیگر نیز نشان از ناتوانی آن در برآورد دقیق بارش قابل اعتماد دارد .

در جدول ۸ نتایج حاصل از پایش خشکسالی به روشهای سه سنجهٔ بارش قابل اعتماد، درصد از بارش متوسط بلند مدت و نمرات استاندارد شدهٔ بارش سالیانه برای ایستگاه تبریز درج شده است. مقایسهٔ نتایج جدول ۸ بیانگر احتمال وقوع و دقت بیشتر آستانهٔ خشکسالی نمایهٔ بارش قابل اعتماد ایستگاه تبریز نسبت به آستانهٔ خشکسالی دیگر ایستگاهها است. نتایج جدول ۸ در کل ایستگاههای مطالعه شده صادق می باشد.

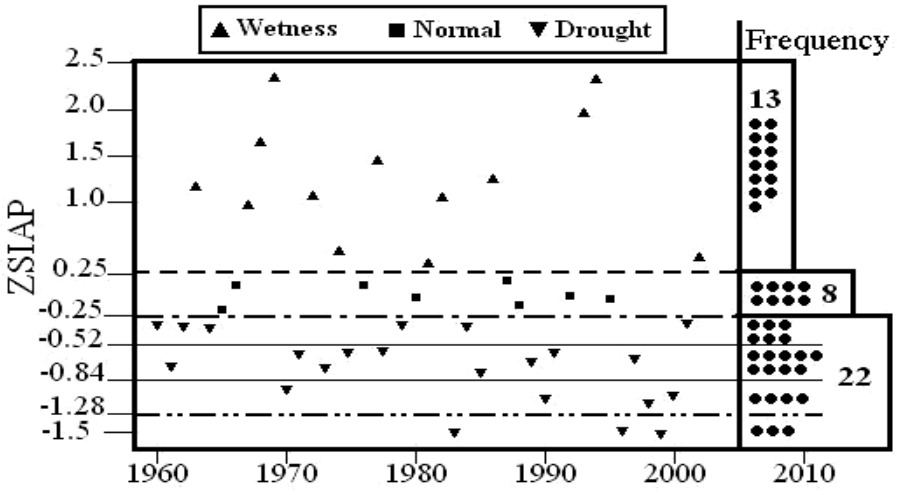
مدلهای گرافیک توزیع فراوانی سالهای خشک، نرمال و مرطوب که در شکل های ۴ ، ۵ و ۶ برای ایستگاه ارومیه ترسیم شده اند، مشابهت نتایج جدول ۸ را که در صدد مقایسهٔ نتایج ناشی از شاخصهای استفاده شده برای ایستگاه تبریز و برتری و مزیت نسبی نمایهٔ بارش قابل اعتماد (چون میزان بارش آستانه در اکثر مواقع معادل یا بیشتر از آستانهٔ انتظار است) می باشد را مورد تأیید قرار می دهند.



شکل ۴: مدل تعیین و طبقه بندی خشکسالیها ، ترسالی ها و سالهای نرمال ایستگاه ارومیه بر اساس PNPI



شکل ۵: مدل تعیین و طبقه بندی خشکسالیها، ترسالی ها و سالهای نرمال ایستگاه ارومیه بر اساس DRI



شکل ۶: مدل تعیین و طبقه بندی خشکسالیها ، ترسالی ها و سالهای نرمال ایستگاه ارومیه بر اساس ZSIAP

جدول ۸: مقایسهٔ نتایج حاصل از کاربرد آستانهٔ شاخصهای مختلف برای تعیین خشکسالیها سالهای نرمال و ترسالیهای ایستگاه تبریز

سال	ZSIAP	وضعیت	نتیجه	DRI	وضعیت	نتیجه	NPNI	وضعیت	نتیجه
۱۹۶۰	-/۵	خشکسالی	۱۵ بار ترسالی	۲۴۹		۲۲ بار ترسالی	۸۱		۱۱ بار ترسالی
۱۹۶۱	-۱/۲	خشکسالی		۱۹۰	خشکسالی		۶۶/۵	خشکسالی	
۱۹۶۲	/۱			۳۰۰	ترسالی		۱۰۱/۳		
۱۹۶۳	۲/۹۵	ترسالی		۵۴۷	ترسالی		۱۶۶/۷	ترسالی	
۱۹۶۴	/۸	ترسالی		۳۶۰	ترسالی		۱۵۷	ترسالی	
۱۹۶۵	۱/۶	ترسالی		۴۲۸	ترسالی		۱۴۸/۵	ترسالی	
۱۹۶۶	/۴	ترسالی		۳۲۴	ترسالی		۱۱۴		
۱۹۶۷	۰			۲۹۱	ترسالی		۴۵/۵	خشکسالی	
۱۹۶۸	۲/۲	ترسالی		۴۸۵	ترسالی		۱۶۵	ترسالی	
۱۹۶۹	۱/۴	ترسالی		۴۱۴	ترسالی		۱۴۲/۲	ترسالی	
۱۹۷۰	-/۶۵	خشکسالی		۲۳۶			۸۲/۲		
۱۹۷۱	/۵	ترسالی	۲۰ بار خشکسالی	۳۳۵	ترسالی	۱۱ سال با بارش نرمال	۱۱۵/۷		۱۰ بار خشکسالی
۱۹۷۲	/۷	ترسالی		۳۵۳	ترسالی		۱۲۱/۲	ترسالی	
۱۹۷۳	-/۲			۲۶۸			۱۰۰		
۱۹۷۴	/۱۸			۳۰۷	ترسالی		۱۰۵/۷		
۱۹۷۵	-/۸۵	خشکسالی		۲۱۸	خشکسالی		۷۵	خشکسالی	
۱۹۷۶	/۵	ترسالی		۳۳۳	ترسالی		۱۱۴/۷		
۱۹۷۷	/۸	ترسالی	۸ سال با بارش نرمال	۳۶۰	ترسالی		۱۲۳/۶	ترسالی	۲۲ سال با بارش نرمال
۱۹۷۸	/۲			۳۰۶	ترسالی		۱۰۵/۴		
۱۹۷۹	-/۶	خشکسالی		۲۴۱			۸۳		
۱۹۸۰	-/۵	خشکسالی		۲۵۱			۸۶/۵		
۱۹۸۱	۱/۳	ترسالی		۴۰۳	ترسالی		۱۳۸/۸	ترسالی	
۱۹۸۲	۱	ترسالی		۳۸۰	ترسالی		۱۳۱	ترسالی	
۱۹۸۳	-۱/۲	خشکسالی		۱۸۸	خشکسالی		۶۴/۷		
۱۹۸۴	-/۳	خشکسالی		۲۵۷		۱۰	۹۱/۲		

دقت و مقبولیت در برآورد بارش قابل اعتماد برای هر یک از شاخصهای استفاده شده (بر مبنای مقادیر آستانهٔ خشکسالی)

ZSIAP ۴۶/۵۱ درصد PNPI ۷۶/۸ درصد DR ۷۶/۸ درصد

						۸۱		۲۳۴		خشکسالی	۱۹۸۵
						۱۰۱/۶		۲۹۵	ترسالی		۱۹۸۶
						۱۱۸		۳۴۲	ترسالی	ترسالی	۱۹۸۷
						۸۶/۸		۲۵۳		خشکسالی	۱۹۸۸
					خشکسالی	۶۵/۸	خشکسالی	۱۹۱	خشکسالی	خشکسالی	۱۹۸۹
					خشکسالی	۵۱	خشکسالی	۱۴۸	خشکسالی	خشکسالی	۱۹۹۰
						۸۵/۷		۲۵۰		خشکسالی	۱۹۹۱
					ترسالی	۱۳۰	ترسالی	۲۷۸	ترسالی		۱۹۹۲
						۱۱۷/۸	ترسالی	۳۶۲	ترسالی	ترسالی	۱۹۹۳
					ترسالی	۱۲۸/۸	ترسالی	۳۷۴	ترسالی	ترسالی	۱۹۹۴
					خشکسالی	۶۰/۳	خشکسالی	۱۷۶	خشکسالی	خشکسالی	۱۹۹۵
						۸۶/۴		۲۵۱		خشکسالی	۱۹۹۶
					خشکسالی	۶۰/۳	خشکسالی	۱۹۳	خشکسالی	خشکسالی	۱۹۹۷
						۸۰/۲		۲۳۴		خشکسالی	۱۹۹۸
					خشکسالی	۷۵/۸	خشکسالی	۲۲۰	خشکسالی	خشکسالی	۱۹۹۹
					خشکسالی	۷۰	خشکسالی	۲۰۱	خشکسالی	خشکسالی	۲۰۰۰
					خشکسالی	۷۰/۶	خشکسالی	۲۰۳	خشکسالی	خشکسالی	۲۰۰۱
						۱۰۶/۴	ترسالی	۳۰۹	ترسالی		۲۰۰۲

بحث و نتیجه گیری

هدف اصلی شاخص DR محاسبهٔ مقدار عددی بارش قابل اطمینان برای اهداف برنامه ریزی های عمرانی است. میزان مقبولیت آستانه های خشکسالی ایستگاهها بر اساس شاخصهای مطالعه شده در جدول ۹ درج شده است. با توجه به جدول ۹ می توان DRI را مطمئن ترین و ZSIAP را نامطمئن ترین شاخص برآورد بارش قابل اعتماد دانست. از نظر دقت برآورد، شاخص PNPI در حد واسط DRI و ZSIAP قرار دارد. در محدودهٔ مطالعه شده مقادیر DRI با ۸۳/۷ درصد در ایستگاه مراغه (با اعتمادترین) تا ۷۴/۵ درصد در ایستگاه میاندوآب (کم اعتمادترین) قابل حصول می باشند.

جدول ۹: میزان قابل اعتماد بودن بارش هر ایستگاه بر مبنای آستانه های شروع خشکسالی برآوردی از شاخصها (۴۳ ساله)

ایستگاه	تبریز	ارومیه	مراغه	میاندوآب	سراب	مهاباد
DRI	٪۷۶/۸	٪۸۱/۴	٪۸۳/۷	٪۷۴/۵	٪۷۹/۱	٪۷۶/۸
ZSIAP	٪۴۶/۵۱	٪۵۱/۱	٪۵۳/۸	٪۴۴/۶	٪۴۹/۴	٪۴۶/۵
PNPI	٪۷۶/۸	٪۷۹	٪۸۱	٪۶۹	٪۷۵	٪۷۳

بدیهی است هر قدر طول دورهٔ آماری (تعداد مشاهدات بارش سالیانه) بیشتر شود، به همان نسبت سطح اطمینان مقادیر شاخص نیز بالاتر خواهد رفت. غالباً میانگین بارش بلند مدت مبنای برنامه ریزیهای مرتبط با اقلیم قرار داده می شود که این کار غلط و گمراه کننده است شکل ۲. مقایسهٔ مقادیر شاخصها و میانگین بلند مدت بارش سالیانه ایستگاهها، نشانگر تفاوت فاحش ارقام برآورد شده می باشد (مثلاً تفاوت DRI و بارش بلند مدت در ایستگاه مهاباد ۹۷/۲ میلیمتر است). شاخص قرار

دادن میانگین بلند مدت بارش و دیگر شاخصها می تواند برنامه ریزان را در تعیین نوع و نحوهٔ کاربری اراضی بویژه زراعت دیم و پیش بینی حجم آبی که باید در پشت سدها ذخیره شود، با مشکلات بسیار جدی مواجه سازد. نمایهٔ DRI قادر است این مشکل را به راحتی مرتفع سازد. با توجه به کمتر بودن مقدار آستانهٔ خشکسالی برآوردی از DRI در مقایسه با مقادیر محاسبه از طریق دیگر شاخصها (و میانگین)، می توان گفت از نظر توالی، وسعت و فراوانی وقوع خشکسالیهای برآورد شده از طریق DRI کمتر ولی از نظر شدت بسیار شدیدتر از خشکسالیهای برآورد شده به وسیلهٔ دیگر شاخصهای تعیین خشکسالی می باشند.

عواملی مانند تغییر اقلیم، اثر توده هواهای مختلف، کم بودن طول دورهٔ آماری ، بالا بودن مقادیر انحراف معیار، چولگی و ضریب تغییرات و نوسانهای زمانی شدید سری زمانی بارش، پیش بینی بارش و خشکسالی را بسیار مشکل و در واقع غیر ممکن کرده است. با در نظر گرفتن محدودیتهای پیش بینی خشکسالی، استفاده از نمایهٔ DR در برنامه ریزیهای به ویژهٔ در بخش های کشاورزی و منابع آب بسیار مفید خواهد بود. آگاهی از مقدار بارش قابل حصول نقش مهمی در تعیین نوع کاربری اراضی ایفا می کند. نمایهٔ DR به برنامه ریزان این اجازه را می دهد که با اطمینان بیشتری کاربری مناسب اراضی را انتخاب و اعمال نمایند. چون میزان دریافت بارش کم و کیف منابع آب در دسترس برای مصارف گوناگون را تعیین می کند و DRI قادر به تعیین میزان بارش قابل دریافت برای یک دورهٔ بلند مدت با ضریب اطمینانی بالا (از ۷۴/۵ درصد در ایستگاه میاندوآب تا ۸۳/۷ درصد در ایستگاه مراغه) است. در این صورت برای تعیین میزان جمعیت، نوع و تعداد صنایع مختلف در محدودهٔ شهرهایی که درحال گسترش می باشند، استفاده از شاخص مذکور بسیار مفید خواهد بود. نمایهٔ DR با تعیین میزان بارش قابل اعتماد فضاهای جغرافیایی مختلف (بویژه شهرها) مختلف میزان آبی را که می توان در بلند مدت برای توسعه در اختیارگرفت، تعیین می کند. این موضوع می تواند سقف جمعیت پذیری نواحی جغرافیایی مختلف را بر اساس ظرفیتها و محدودیتهای منابع آب (خصوصاً در نواحی که بارش تنها منبع تأمین آب است) تعیین کند.

منابع

۱. زاهدی، م و ی، قویدل رحیمی، (۱۳۸۱)، شناخت، طبقه بندی و پیش بینی خشکسالی با استفاده از روش سری های زمانی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، فضای جغرافیایی.

۲. خلیلی، ع و ج، بذرافشان، (۱۳۸۲)، ارزیابی کارایی چند نمایه خشکسالی هواشناسی در نمونه های اقلیمی مختلف ایران، نیوار .

۳. خوش اخلاق، ف، (۱۳۷۷)، تحقیق در خشکسالیهای فراگیر ایران با استفاده از تحلیلهای سینوپتیکی، پایان نامه دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز.

۴. عزیزی، ق، (۱۳۷۹)، ال نینو و دورههای خشکسالی و ترسالی در ایران، فصلنامه پژوهش های جغرافیایی دانشگاه تهران، ۷۱،۸۴: ۳۸.

۵. فرج زاده، م و ع، موحد دانش و ه ، قائمی، (۱۳۷۴)، خشکسالی در ایران، دانش کشاورزی.

۶. قویدل رحیمی، ی، (۱۳۸۱) الف- تجزیه و تحلیل نوسانهای بارش و محاسبه دورههای مرطوب و خشک در استان آذربایجان شرقی ، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز.

۷. قویدل رحیمی، ی، (۱۳۸۱) ب- تحلیل توزیع فضایی دورههای مرطوب و خشک ایستگاههای حوضه آبریز دریاچه ارومیه، فضای جغرافیایی.
۸. قویدل رحیمی، ی و س، جهانبخش، (۱۳۸۳)، مدل سازی روند بارش و پیش بینی خشکسالیهای حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه، نشریهٔ دانشکدهٔ علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز، ویژه نامهٔ جغرافیا، ۵۲-۳۳، ۳ - ۱۷ .
۹. قویدل رحیمی، ی، (۱۳۸۳)، خشکسالی در آذربایجان شرقی و ارتباط آن با الگوی بزرگ مقیاس گردش جوی ـ اقیانوسی نوسانهای اطلس شمالی، پذیرفته شده برای چاپ در فصلنامه پژوهش های جغرافیایی دانشگاه تهران،۱۴.
۱۰. قویدل رحیمی، ی،(۱۳۸۴)، اثر الگوی بزرگ مقیاس گردش جوی - اقیانوسی «انسو» بر تغییرپذیری فصلی اقلیم در ایران، مجلهٔ علوم انسانی مدرس، ۴۳ (۹)، ۱۳۲-۱۱۷.
۱۱. قویدل رحیمی، ی، (۱۳۸۳)، کاربرد نمایه های مبتنی بر بارش در مطالعه خشکسالیها و ترسالیها (مطالعه ی: استان آذربایجان شرقی)، مجلهٔ پژوهش و سازندگی، ۵۶-۴۷، ۶۵.
۱۲. قویدل رحیمی، ی، (۱۳۸۴)، آزمون مدلهای ارزیابی خشکسالی و ترسالی برای ایستگاههای استان آذربایجان شرقی، مقالهٔ پذیرفته شده مجلهٔ منابع طبیعی ایران، ۵۸(۳)، ۵۱۷-۵۳۰ .
۱۳. محمدخورشیددوست، ع و ی، قویدل رحیمی، (۱۳۸۳)، مطالعهٔ نوسانهای بارش و پیش بینی و تعیین فصلهای مرطوب و خشک زمستانه آذربایجان شرقی، فصلنامهٔ تحقیقات جغرافیایی، ۳۶-۲۵، ۱- ۷۲.
۱۴. محمدخورشیددوست، ع و ی، قویدل رحیمی، (۱۳۸۴)، شبیه سازی آثار دو برابر شدن دی اکسید کربن جو بر تغییر اقلیم تبریز با استفاده از مدل گردش عمومی آزمایشگاه پویایی سیالات ژئوفیزیکی، مجلهٔ محیط شناسی دانشگاه تهران، ۳۹ (۳۹)، ۱۰-۱ .
15. Keneth, H. F., 1999: Climate variation, drought and desertification, W. M. O. Annual Report. Geneva. 81pp.
16. Palmer, W. C., 1965: Meteorological drought. Office of Climatology, Research Paper 45, U.S. Weather Bureau, 58 pp.
17. Popov, G. F; L. Houerou; L. See., 2002: Agrobioclimatic classification of Africa using Dependable Rainfall (DR) index, Agrometeorology series working paper. No6. FAO.Rom.Italy.
18. Smith .K., 1998: Environmental hazards, Rutledge, New York.
19. WMO., 2004: Hydrological aspects of drought. Studies and Reports in Hydrology, No. 39, UNESCO-WMO, Geneva, Switzerland, 149 pp.