

پیش بینی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی با استفاده از روشهای احتمالاتی و سریهای زمانی (مطالعه موردی استان سیستان و بلوچستان)

طیب رضی^۱، علیرضا شکوهی^۲، بهرام ثقفیان^۳

۱- عضو هیئت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و دانشجوی دکتری اقلیم شناسی دانشگاه تهران،
۲- عضو هیئت علمی دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، ۳- عضو هیئت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

تاریخ وصول: ۸۱/۵/۲۵

چکیده

خشکسالی که بخش جدایی ناپذیر تغییرات اقلیمی می باشد از دیدگاههای مختلفی قابل بررسی است. در مقاله حاضر شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی هواشناسی بصورت موردی در سطح استان سیستان و بلوچستان مورد بررسی قرار می گیرد. ابتدا با استفاده داده های بارندگی ماهانه و تشکیل جوامع آماری همگن و نرمال سازی داده ها اقدام به ساخت سری زمانی نمره Z بارندگی می شود. سپس با بهره گیری از تئوری RUN و تعیین سطح آستانه (*Truncation Level*)، جدا سازی ماهها و دوره های خشک، تر و نرمال صورت می گیرد و چگونگی استخراج منحنی های شدت- تداوم- فراوانی- (*Severity-Duration-Frequency*) (SDF) خشکسالی ارائه می گردد. در مرحله بعد با ترکیب تئوری RUN و زنجیره مارکوف نسبت به ساخت ماتریس احتمال انتقال (*Transition probability matrix*) و ماتریس ایستای (*Equilibrium transition matrix*) منطقه اقدام می گردد. در نهایت وضعیت درازمدت منطقه از نظر دوام خشکسالی و نیز طول مدت خشکسالیها در ۱۰ سال آینده پیش بینی می شود.

واژه های کلیدی: خشکسالی هواشناسی، SDF، تئوری ران، نمره Z، زنجیره مارکوف، سیستان و بلوچستان

مقدمه

خشکسالی به عنوان یکی از پدیده های محیطی شناخته شده است و در واقع بخش جدایی ناپذیری از تغییرات اقلیمی است که می تواند در هر منطقه جغرافیایی حادث شود و تاثیرات عمده ای بر آن منطقه بگذارد (۹). از میان دو پدیده حادی سیل و خشکسالی، پایش خشکسالی به اندازه سیل توسعه و تکامل نیافته است و تحلیلهای خشکسالی اغلب بصورت توصیفی ارایه می گردد (۷). بنابر تعریف، خشکسالی شامل یک دوره پیوسته و پایدار (از چند ماه تا چندین سال) است که در این دوره مقدار آب موجود در منابع آبی منطقه به حد قابل توجهی کاهش می یابد و دچار کمبود می شود (۱). ویژگیهای خشکسالی ممکن است در رژیم های مختلف آب و هوایی دنیا متفاوت باشد. در مناطق گرمسیری و پرباران استوایی اگر مقدار بارش نسبت به نرمال سالیانه دچار کاهش نسبی گردد و خشکسالی هواشناسی در منطقه حاکم شود، این امکان وجود دارد که این کاهش تاثیر محسوسی بر روی منابع آبی منطقه نگذارد و به عبارتی از نظر هیدرولوژیکی خشکسالی اتفاق نیافتد. اما در مناطق حساس فراخشک و خشک، کاهش بارندگی تاثیر عمیق بر روی منابع آب می گذارد و در بسیاری از موارد خشکسالی های هواشناسی با خشکسالی های هیدرولوژیکی توأماً اتفاق می افتد. از این رو شرایط خشکسالی ممکن است در مناطقی نظیر بریتانیا در حد یک دوره ۲۱ روزه باشد، در حالیکه در بسیاری

از مناطق گرمسیری دنیا مثل لیبی خشکسالی زمانی رخ می دهد که به مدت دو سال پیاپی هیچ بارانی نیارد (۶). بنابراین تعریف جامع و دقیقی از خشکسالی که مورد پذیرش محققین باشد و کاربرد جهانی داشته باشد وجود ندارد. تاکنون حداقل ۱۵۰ تعریف متفاوت از خشکسالی توسط متخصصین هواشناسی، آب و هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژی و علوم اجتماعی پیشنهاد شده است (۷). همه مناطق دنیا بطور موقت اما نامنظم از تکرار شرایط خشکسالی رنج می برند، اما این وضعیت در مناطقی که از نظر اقلیمی بطور متوالی ولی نامنظم توسط سیستم های آب و هوایی مختلف تحت تاثیر قرار می گیرند، حاد تر است (۵ و ۱۰). خشکسالی ها عمدتاً در ارتباط با شرایط زیر ایجاد می گردند (۲ و ۴):

۱- گسترش سلولهای پرفشار جنب حاره ای و افزایش شدت پایداری آنها سبب بروز خشکسالیهای بسیاری از مناطق عرضهای میانه میشود. خشکسالیهای جنوب فلسطین در ارتباط با این مکانیسم می باشند. خشکسالیهای بزرگ ساحل (آفریقا) نیز به گسترش شرقی و جنوبی پرفشار آזור نسبت داده می شوند.

۲- تغییرات و یا ناهنجاری در چرخه موسمی های تابستانی موجب تاخیر یا قطع پیشروی هوای مرطوب استوایی به مناطق موسمی و ایجاد خشکسالی می گردد. این قبیل خشکسالیها در نیجریه و پنجاب هند فراوان روی می دهد.

دقت خوبی برخوردار نباشند. همین پیچیدگی باعث شده است که متخصصین مختلف، روشهای متفاوتی را برای تحلیل و پیش بینی خشکسالی بکار برند که هر یک دارای نقاط ضعف و قوت خاص خود می باشد. از آنجاییکه وقوع این پدیده، تداوم، زمان آغاز و پایان خشکسالی و شدت و بزرگی آن همگی فرآیندهایی احتمالاتی می باشند، روشهایی که امروزه برای بیان این ویژگیها بکار برده می شوند نیز اغلب روشهای آماری-احتمالاتی می باشند (۱۰).

خشکسالی یکی از وقایع حدی محیطی است، که به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک ایران بسیار رخ می دهد و موجب خسارات اقتصادی و محیطی زیادی می شود. استخراج منحنی های شدت-تداوم- فراوانی خشکسالی (SDF) و نقشه های هم شدت خشکسالی از نیازهای اساسی برنامه ریزی های محیطی و به ویژه کشاورزی است (۳). جهت ساخت و استخراج این منحنی ها ابتدا باید ویژگیها و پارامترهای خشکسالی مورد شناسایی قرار گیرند.

پارامترهای مهم و حیاتی مرتبط با خشکسالی که در طراحی ها و برنامه ریزی های محیطی مورد نیاز هستند شامل تداوم (duration)، شدت (severity) و بزرگی خشکسالی (magnitude) می باشند. تداوم و شدت خشکسالی دو ویژگی اولیه و اساسی خشکسالی می باشند که مستقیماً به مقادیر پارامتر مورد بررسی (مثلاً پارامتر باران) وابسته هستند. بزرگی خشکسالی، پارامتر ثانویه ای می باشد که به تداوم و شدت خشکسالی وابسته است (۴). تحلیل فراوانی خشکسالی ها در قالب تداوم، شدت و

۳- دماهای پایین سطح آب دریاها و اقیانوسها که بوسیله تغییرات در جریانهای اقیانوسی و یا افزایش بالای (upwelling) آبهای سرد در اثر پدیده انسو (ENSO)، ایجاد می شوند نیز از دلایل وقوع خشکسالی در پاره ای از مناطق می باشند. بارندگی های کالیفرنیا و شیلی ممکن است از این مکانیسم متأثر باشند. چنین به نظر می رسد که بارانهای زیاد و فراوان منطقه مستعد خشکسالی شمال شرق برزیل، شدیداً به دماهای بالای سطح آب اقیانوس اطلس جنوبی در محدوده کمربند ۱۵-۰ درجه جنوبی وابسته می باشند.

۴- جابجایی مسیرهای بارندگی عرضهای میانه در ارتباط با گسترش بادهای غربی به عرضهای پایین تر و یا توسعه الگوهای مانع (Blocking) پایدار در عرضهای میانه از دلایل عمده تغییرات و نوسانات بارندگی در مناطق تحت تاثیر می باشد.

اگرچه هر یک از موارد فوق به تنهایی قادرند خشکسالیهای شدیدی را بر یک منطقه تحمیل کنند، اما بسیاری از خشکسالیهای بسیار شدید و طولانی از ترکیب مکانیسمهای مختلف حاصل می شوند.

بر خلاف سیلاب که قابل اندازه گیری مستقیم می باشد، خشکسالی ها اغلب اوقات بصورت توصیفی و کیفی ارائه می شوند. خشکسالیها با دیگر پدیده های هواشناسی از نظر ویژگی های زمانی تفاوت دارند. تعیین زمان آغاز و پایان خشکسالی ها بسیار مشکل است. پیچیدگی مسائل مرتبط با خشکسالی باعث شده است که نتوان این پدیده را بدرستی تحلیل و بررسی نمود و نتایج حاصله نیز از

وجود دارد، می پردازد و در این راستا وابستگی زمانی متغیرها را به دو صورت تعریف ضرایب خود همبستگی (ACF) و خود همبستگی جزیی ($PACF$) و یا ساخت ماتریس احتمال انتقال ($Transition\ probability\ matrix$) در نظر می گیرد (۱۰).

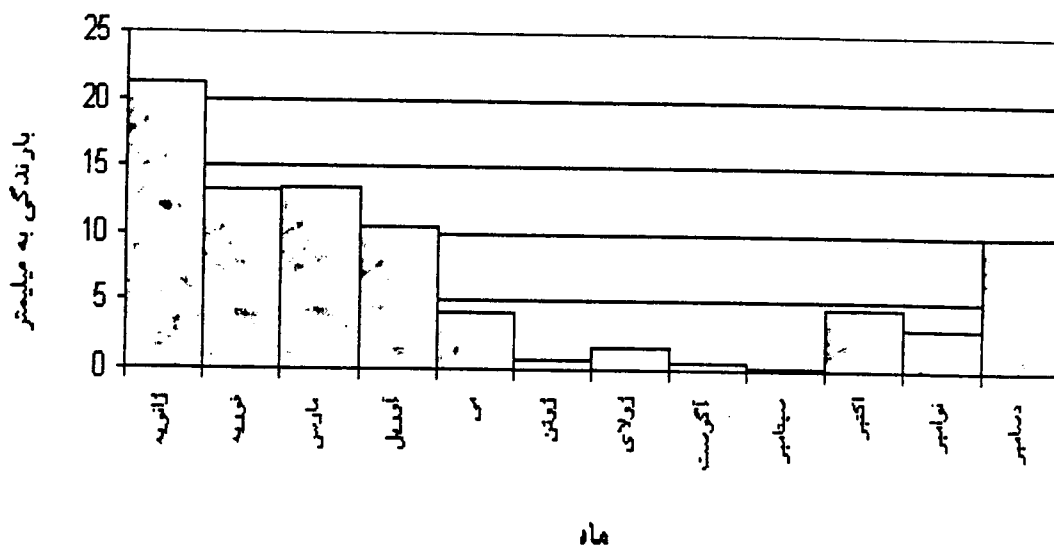
در مطالعه حاضر جهت تحلیل خشکسالیهای منطقه سیستان و بلوچستان، از روش $Run\ Theory\ (RT)$ استفاده می گردد و منحنی های شدت-تداوم-فراوانی خشکسالی (SDF) و نقشه های گستره هم شدت خشکسالی برای منطقه مورد مطالعه استخراج و شدت و تداوم آن پیش بینی می گردد. همچنین در ارتباط با پیش بینی های دراز مدت خشکسالی از روش ساخت ماتریس احتمال انتقال استفاده می شود. بدین منظور تکنیک های RT و زنجیره مارکوف با یکدیگر ترکیب و ماتریس های مورد نظر ساخته می شوند. در این مقاله نشان می دهیم که چگونه میتوان به کمک روش ترکیبی یاد شده احتمال دوام خشکسالی و نیز احتمال دراز مدت وقوع خشکسالی در هر منطقه را برآورد نمود.

موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی منطقه

استان سیستان و بلوچستان در جنوب شرقی ایران قرار دارد. محدوده این استان بین مختصات $۵۵^{\circ} ۲۴'$ تا $۲۸^{\circ} ۳۱'$ عرض شمالی و $۵۸^{\circ} ۰۷'$ تا $۱۶^{\circ} ۳۳'$ طول شرقی قرار دارد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی این استان را نشان می دهد.

بزرگی پیچیده است زیرا که هریک از این ویژگیها ممکن است توزیع احتمالاتی خاص خود را دارا باشند (۸). تداوم خشکسالی عبارتست از دوره ای که مقدار باران در آن بطور پیوسته کمتر از حد آستانه تعریف شده باشد. مجموع کسری آب در گامهای متوالی یک دوره خشکسالی، تحت عنوان شدت خشکسالی خوانده می شود. یک خشکسالی شدید عبارت است از دوره ای که دارای بزرگترین تداوم بوده و بزرگترین مجموع کمبود نسبت به آستانه را نیز داشته باشد. پدیده خشکسالی باید بر مبنای یک آستانه معین ($Truncation\ Level$) اندازه گیری و سنجیده شود. این آستانه بر اساس نوع فعالیت تعیین می گردد. بنابراین در هنگام طراحی سیستم مدیریت منابع آب جهت مقابله با بحران خشکسالی و کمبود آب، آستانه مورد نظر بر اساس نوع فعالیت توسط طراح و یا مدیر منابع آب تعیین می گردد (۹).

از جمله نیازهای اساسی در برنامه ریزیهای منابع آب، پیش بینی مقدار آب برای بارگذاریهای کشاورزی، صنعتی و شهری است. از این رو لازم است پتانسیل آبی هر منطقه برای گام های زمانی مختلف جهت برنامه ریزیهای کارآمد از طریق روشهای مناسب و مطمئن پیش بینی گردد. روشهای سری زمانی بویژه زنجیره مارکوف از جمله این روشها می باشند. زنجیره مارکوف یک تکنیک ریاضی است که برای مدلسازی فرآیندهای احتمالاتی منفصل ($Discrete\ stochastic\ process$) بکار می رود. این تکنیک به تحلیل سریهای زمانی که در آنها خاطره وقایع گذشته به طور معنی داری

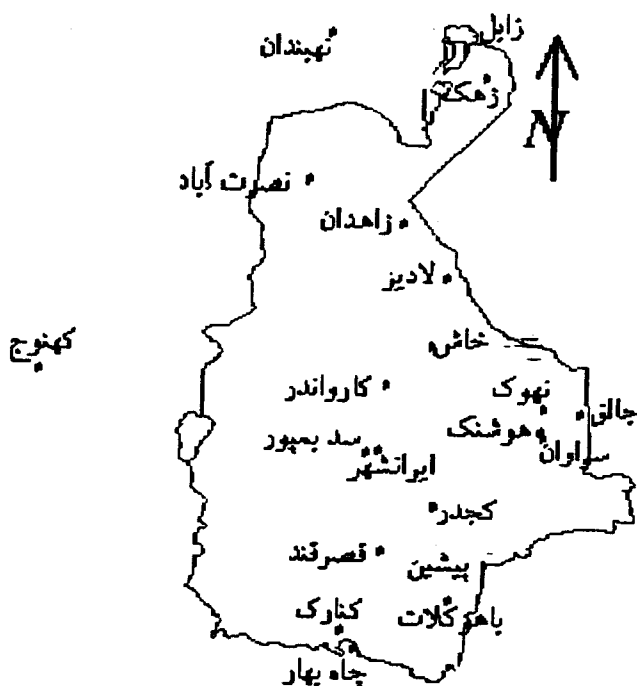


شکل ۲- نمودار رژیم بارندگی ایستگاه زاهدان

منابع اطلاعات و روش تحقیق

هواشناسی مورد استفاده شامل دو دسته ایستگاه های وابسته به سازمان هواشناسی و وزارت نیرو می باشند که بیش از ۲۲ سال آمار دارند. شکل (۳) پراکنش جغرافیائی ایستگاه ها را نشان می دهد.

در این تحقیق با استفاده از داده سطحی بارندگی ماهانه ایستگاه های هواشناسی مستقر در سطح استان پدیده خشکسالی از دیدگاه هواشناسی مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می گیرد. ایستگاه های



شکل ۳- پراکنش جغرافیائی ایستگاه های مورد استفاده (نقشه فاقد مقیاس است).

از سوی دیگر به علت تصادفی بودن بارندگی در همه ماههای سال، مقدار بارندگی هر ماه و به ویژه ماههای گرم، از سالی به سال دیگر تفاوت بسیار زیادی دارد که همین عامل باعث افزایش ضریب تغییرات بارندگی ماهیانه می شود.

ضریب تغییرات بالا و عدم توزیع یکنواخت بارندگی طی سال، باعث می گردد که نتوان از شاخص نمره Z در این مطالعه به روش مرسوم استفاده نمود. در روش مرسوم کل داده های بارندگی دوره مورد مطالعه را یک جامعه آماری مستقل در نظر گرفته و بر اساس میانگین و انحراف از معیار کل جامعه شاخص نمره Z محاسبه می گردد. این روش در مناطقی جواب می دهد که داده های بارندگی از توزیع نرمال و یا نزدیک به نرمال پیروی کنند. به جهت اینکه ضریب تغییرات بارندگی منطقه بالا است و داده ها نیز از توزیع نرمال پیروی نمی کنند، استفاده از این روش باعث می شود که ماههای خشک کم اهمیت و در عوض ماه های تر بسیر اغراق آمیز نشان داده شود. به همین جهت در این مطالعه، هریک از ماههای سال به عنوان یک جامعه آماری مستقل در نظر گرفته شد و شاخص نمره Z هر ماه براساس میانگین و انحراف از معیار همان ماه محاسبه گردید. سپس مقادیر نمره Z ماههای مختلف مجدداً طوری مرتب شدند تا یک سری زمانی کامل از روند ماه های خشک و تر مشخص گردد. شکلهای (۴) و (۵) سری زمانی شاخص نمره Z ایستگاههای زاهدان و خاش که به این طریق محاسبه شده اند را نشان می دهند.

ابتدا داده های بارندگی ماهانه کلیه ایستگاه ها از نظر صحت و همگنی مورد بررسی قرار گرفتند و پس از اطمینان از همگنی آنها، داده های مفقود هر ایستگاه با استفاده از داده های ایستگاه های مجاور و از طریق روش همبستگی بازسازی شدند.

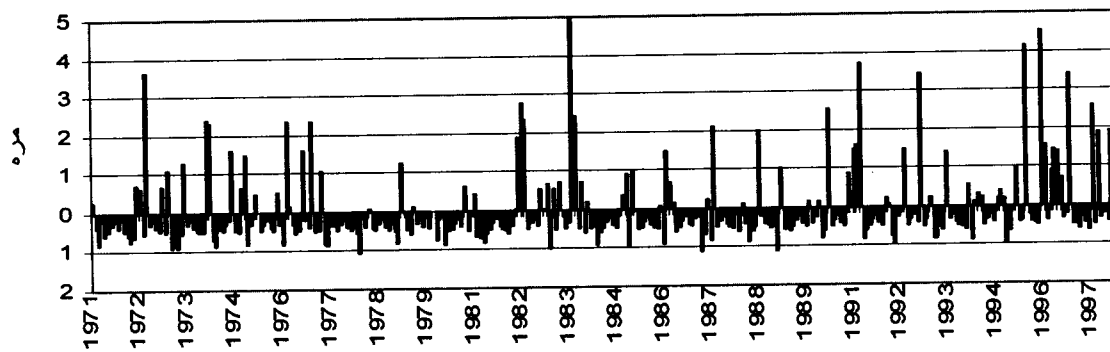
جهت مطالعه پدیده خشکسالی شاخص نمره Z به عنوان شاخص هواشناسی انتخاب گردید. پس از تکمیل سری زمانی ماهانه بارندگی، شاخص نمره Z بر اساس رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$Z = \frac{(x - \mu)}{\sigma} \quad (1)$$

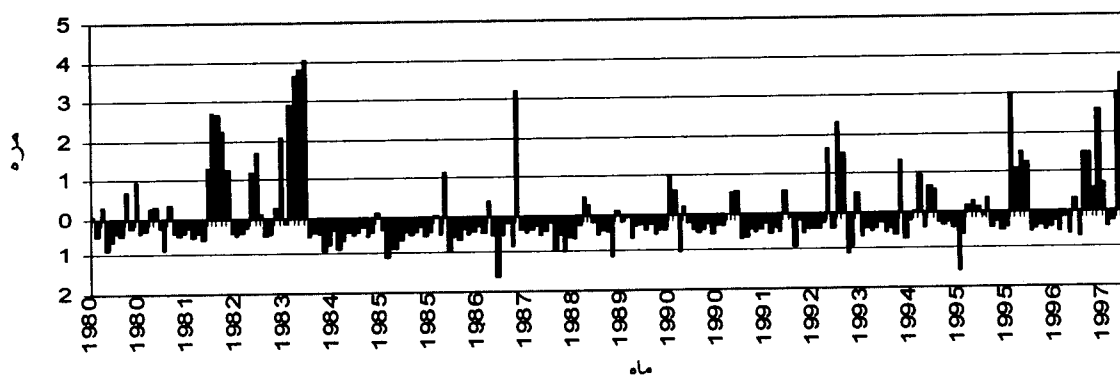
که در آن: Z ، شاخص نمره استاندارد؛ x بارش هر ماه؛ μ میانگین جامعه و σ ، انحراف از معیار جامعه آماری می باشد.

کنکاش در ادبیات مسئله نشان می دهد که در مطالعات مشابهی که در مناطق معتدل اقلیمی اروپا و آمریکا انجام شده است، کل سری زمانی ماهانه دوره مورد مطالعه را یک جامعه آماری در نظر گرفته و شاخص نمره Z را محاسبه و از آن به عنوان یک شاخص مناسب هواشناسی جهت تعیین ماه های خشک و تر استفاده نموده اند. اما به علت پراکنش نامنظم زمانی بارندگی در استان سیستان و بلوچستان، سهم بارندگی در بیش از ۶ ماه از سال از بارندگی سالیانه تقریباً صفر است.

به همین دلیل داده های بارندگی ماهیانه ایستگاههای مورد مطالعه از توزیع خانواده گاما پیروی می کنند.



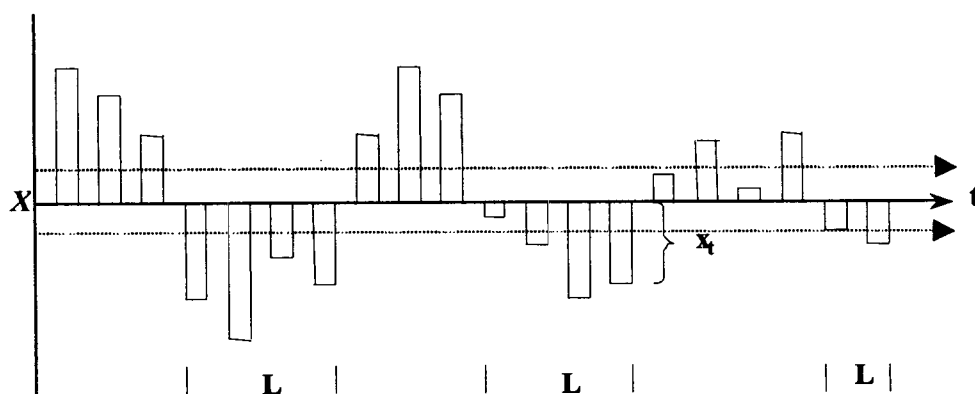
شکل ۴- سری زمانی شاخص نمره Z ایستگاه سینوپتیک زاهدان



شکل ۵ - سری زمانی شاخص نمره Z ایستگاه سینوپتیک خاش

تغییر نکنند. در هنگام استفاده از تئوری RUN در بررسی خشکسالی، این تئوری به صورت کمی بیان می دارد که چگونه فرایند هیدرولوژیکی از بالا و پایین یک آستانه بحرانی عبور می کند. مقدار آستانه انتخابی، سطح مبنا (*Truncation Level*) یا سطح بحرانی (*Critical Level*) نامیده می شود. قبل از تحلیل داده ها، کلیه داده ها باید به درصدی از میانگین، باقیمانده از میانگین و یا نمره Z تبدیل گردند. نمره Z استاندارد شده به علت اینکه بدون بعد نیز می باشد از دو شاخص قبلی مناسب تر و مفیدتر است. لذا نمره Z بارندگی می تواند بطور مستقیم با نمره Z جریان آب سطحی مقایسه گردد.

یکی از روشهای مرسوم و بسیار متداول تحلیل و بررسی خشکسالی، روش RT است که در سال ۱۹۶۷ توسط یوجویچ بکار گرفته شد (۱۱). آنالیز تئوری RUN در خشکسالی بر اساس کاربرد تئوری RUN بر روی متغیرهای ناپیوسته استوار است، اگر چه این تئوری برای متغیرهای پیوسته نیز کاربرد دارد. تئوری RUN بر اساس این مفهوم که دو فرایند یکدیگر را قطع می کنند استوار است. در هیدرولوژی منظور از این فرایندها سریهای زمانی احتمالاتی و ایستای متغیرهای هیدرولوژی می باشد (۵، ۶ و ۱۰). منظور از ایستایی عبارتست از اینکه پارامترهای توزیع از قبیل میانگین و واریانس داده ها با زمان



شکل ۶- چگونگی تعیین شدت، تداوم و بزرگی خشکسالی از روش Run Theory

Z مثبت یا منفی در محدوده جدا شده توسط سطح بحرانی قرار گیرد، علیرغم آنکه طبق تعریف باید مرطوب و یا خشک به شمار آید، نرمال محسوب خواهد گشت.

عبور از سطح بحرانی زمانی رخ می دهد که در زمان $t - \Delta t$ (ماه قبل)؛ $(X - X_0) > 0$ و در زمان t (ماه بعدی) $(X - X_0) < 0$ گردد. این کاهش در مقدار X شروع یک خشکسالی را نشان می دهد، که بر اساس سطح بحرانی مشخص شده است. طول توالی منفی، تداوم یک دوره خشکسالی را تعیین می نماید (۱۰). مجموع انحرافات منفی در هر L ، مجموع توالی (Run Sum) یا S_L نامیده می شود که در واقع شدت خشکسالی (Severity) را سنجش می کند. بزرگی خشکسالی (Magnitude) مقدار میانگین کسری بارش را در یک دوره ویژه از خشکسالی (L_i) بیان می نماید (۵).

تعریف خشکسالی بر اساس تئوری RUN برای زیر سیستم های هیدرولوژی از قبیل بارندگی،

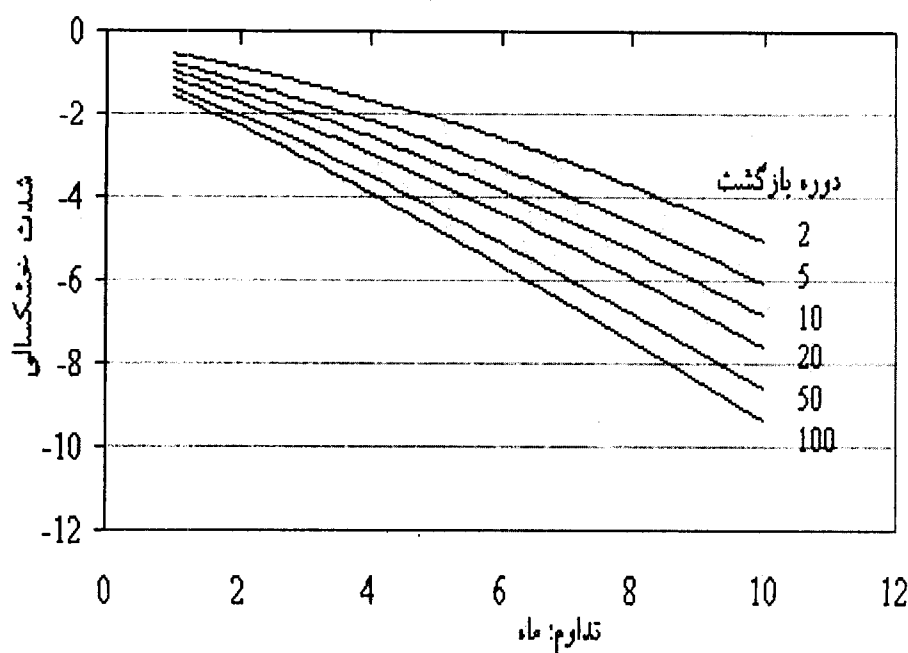
شکل (۶) یک سری زمانی گویا از متغیرهای هیدرولوژیکی ناپیوسته (X) را نشان می دهد. فاصله های زمانی معادل (Δt) در نظر گرفته شده است. X_0 سطح مبنا یا مقداری از متغیر X است که مقدار انحراف مقادیر x نسبت به آن مشخص و تعریف می شوند. برای تحلیل خشکسالی فقط باقیمانده های منفی مورد استفاده می باشند، اما ویژگیهای مشابهی نیز برای باقیمانده های مثبت جهت تحلیل ترسالیها و ماههای تر وجود دارد.

یک باقیمانده منفی که به شکل $X - X_0 < 0$ معرفی می شود بیانگر یک رخداد خشکسالی است. سطح بحرانی می تواند به هر شکل و هر اندازه دلخواه تنظیم و در نظر گرفته شود. اگر سطح بحرانی با فاصله کمی از میانگین انتخاب شود (در شکل مشخص شده است)، بیانگر این نکته خواهد بود که باقیمانده های کوچک نسبت به میانگین هنوز در دامنه ای از مقدار X_0 قرار گرفته اند که نرمال می باشد. به عبارت دیگر در صورتی که داده ای با نمره

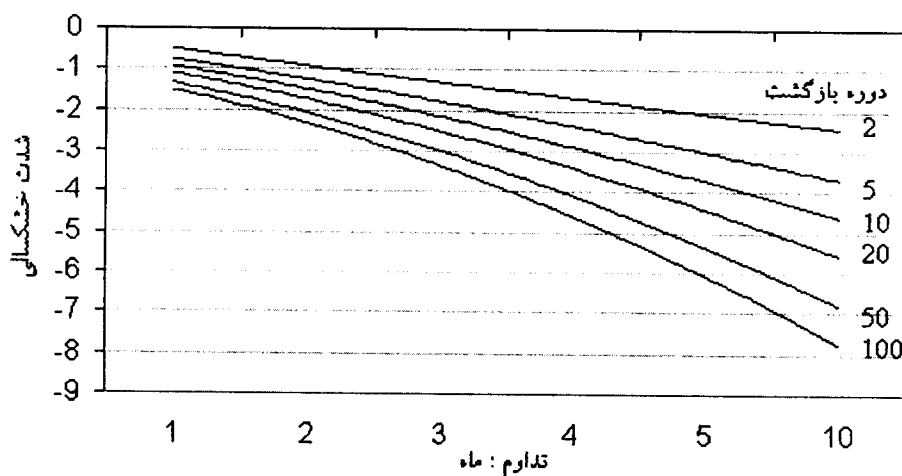
آماري پيرسون تيپ III بوده و بدین لحاظ با استفاده از دو مرحله ساخت متغیر تصادفی، مرحله اول از توزیع مستطیلی و مرحله دوم از توزیع پیرسون تیپ III مبادرت به تولید داده گردید.

پس از تولید داده و افزایش طول دوره آماری، مجدداً سری زمانی تطویل شده شاخص نمره Z_t با استفاده از روش RT مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و دوره های خشک و شدت آنها تعیین گردید. سپس مجدداً مقادیر شدت خشکسالیهای هر یک از تداومها برای دوره بازگشت های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله از طریق فرمول تجربی ویول محاسبه و به رسم منحنی های شدت - تداوم - فراوانی خشکسالی ایستگاههای مورد مطالعه اقدام گردید. شکل های (۷ تا ۹) منحنی های شدت - تداوم - فراوانی ایستگاههای زاهدان، زابل و ایرانشهر را نمایش می دهند.

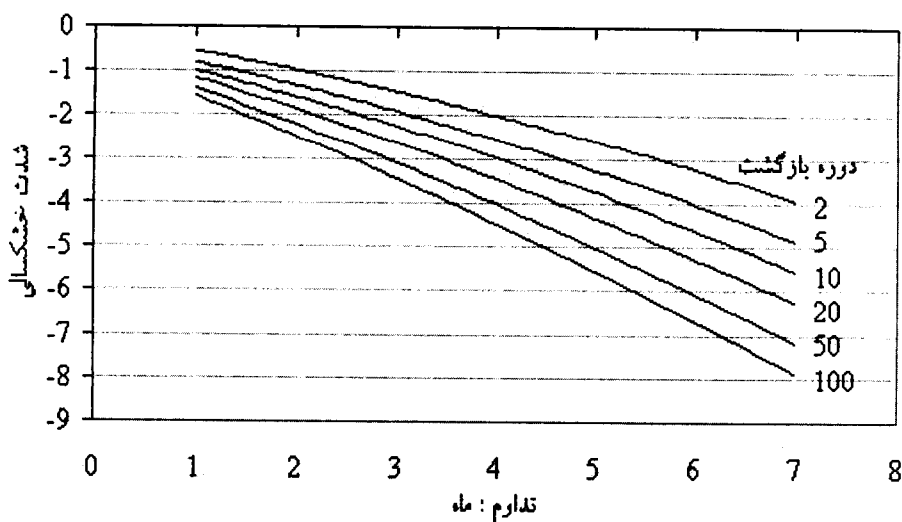
پس از تعیین خشکسالی با تداوم های مختلف جهت ترسیم منحنی های شدت - تداوم - فراوانی خشکسالی (SDF)، داده های شدت در هریک از تداوم ها به صورت نزولی مرتب و با استفاده از فرمول تجربی ویول احتمال تجاوز شدت خشکسالی در تداوم مورد نظر در دوره بازگشت های مختلف محاسبه گردید. به منظور ساخت منحنی های SDF مجموعه ای از اطلاعات مربوط به خشکسالی های ۱ تا ۲۴ ماهه و بالاتر مورد نیاز است. اما در عمل به علت محدود بودن تعداد داده های مربوط به خشکسالی های ۳ ماهه به بالا امکان ساخت این منحنی ها وجود نداشت. لذا جهت رفع این نقیصه با برآزش توزیع آماری مناسب به سری زمانی داده های بارندگی ماهانه کلیه ایستگاه ها، اقدام به تولید داده جهت افزایش طول دوره آماری تا مرز ۳۰ و ۴۰ سال گردید. اکثر ایستگاه ها دارای توزیع



شکل ۷- منحنی های شدت - تداوم - فراوانی ایستگاه زاهدان



شکل ۸- منحنی های شدت- تداوم - فراوانی ایستگاه زابل



شکل ۹- منحنی های شدت- تداوم - فراوانی ایستگاه اهواز

۲- پیش بینی شدت و تداوم خشکسالی با استفاده

از زنجیره مارکوف

زنجیره مارکوف را عموماً بوسیله تعداد تاخیرهای زمانی (*Lags*) مورد استفاده برای تعریف شرایط کنونی متغیر تقسیم بندی می نمایند. بر این اساس زنجیره مارکوف مرتبه ۱ به بررسی فرآیندهایی می پردازد که در آنها هر واقعه تنها به واقعه مرحله قبل خود وابسته بوده و خاطره زمانی آن به یک دوره

قبل برمی گردد (۸ و ۱۱). در این تحقیق به منظور مدل سازی از روش تشکیل ماتریس احتمال انتقال استفاده شده است.

بدین ترتیب اگر کل حالت های در نظر گرفته شده برای یک پارامتر محیطی خشک (D)، نرمال (N) و مرطوب (W) باشد و ما در حال حاضر در حالت (*State*) خشکی باشیم، وضعیت و حالت محیط در گام بعدی می تواند با درصدی از احتمال هر یک از حالت های D، N و W باشد. احتمال یاد شده، احتمال

۳- ترکیب تکنیکهای زنجیره مارکوف و تئوری RUN برای شبیه سازی خشکسالی

با توجه به تئوری RUN، امید ریاضی خشکسالی (*Z-score* های منفی پایین تر از آستانه)، برابر است با حاصل ضرب احتمال رخداد خشکسالی در طول دوره شبیه سازی:

$$E(D) = P_D \cdot t \quad (2)$$

که در آن $E(D)$ امید ریاضی خشکسالی و به عبارتی تعداد متوسط خشکسالی مورد انتظار در دوره شبیه سازی و P_D احتمال رخداد خشکسالی می باشد.

P_D مورد استفاده در معادله شماره (۲) در واقع عبارتست از احتمال رفتن از حالتی غیر از خشکی به خشکی. بر این اساس اگر به عنوان مثال حالتی تحت مطالعه D ، N و W و احتمال ایستای آنها P_D^* ، P_N^* و P_W^* ، و احتمال رفتن از حالت W به D و نیز از حالت N به D در ماتریس احتمال انتقال به ترتیب $P_{N,D}$ و $P_{W,D}$ باشند، خواهیم داشت:

$$P_D = P_N^* \cdot P_{N,D} + P_W^* \cdot P_{W,D} \quad (3)$$

حال اگر بخواهیم مدت دوام خشکسالی را بطور متوسط در آینده پیش بینی نماییم، کافی است که احتمال ایستای خشکی را بر احتمال رخداد خشکی حاصل از معادله شماره (۳)، تقسیم نماییم:

$$E(L) = P_D^* / P_D \quad (4)$$

انتقال نامیده شده و در صورت استفاده از زنجیره مارکوف مرتبه ۱ و با توجه به وضعیت موجود به صورت یک احتمال شرطی برآورد می گردد. بر اساس مباحث فوق الذکر، درجه همبستگی میان حالتها را می توان به کمک احتمال انتقال حالت (*State transition probability*) نشان داد که در صورت داشتن حالتی مختلف، مجموعه این احتمالات را می توان بصورت یک ماتریس بنام ماتریس احتمال انتقال نشان داد.

نکته مهمی که در ساخت این ماتریس باید بدان توجه نمود آن است که مجموع درایه های هر سطر باید معادل یک گردد.

در صورتیکه بتوان ماتریس انتقال را به تعادل رسانید یعنی احتمال انتقال از همه حالتها به یک حالت خاص را به عددی ثابت میل داد، می توان به کمک این احتمالات به تعادل رسیده وضعیت سیستم را در دراز مدت پیش بینی نمود. به ماتریس حاصل ماتریس تعادل گفته می شود.

تمام سطرهای ماتریس مزبور یکسان می باشند به نحوی که اگر ماتریس احتمال انتقال یک ماتریس 3×3 باشد، ماتریس مزبور قابلیت تبدیل به یک ماتریس 1×3 را خواهد داشت. برای بدست آوردن این ماتریس باید ماتریس احتمال انتقال را بینهایت بار در خود ضرب نمود.

در مورد ایستگاه های تحت مطالعه در این تحقیق تعداد مراحل ضرب ماتریس احتمال انتقال کمتر از ۱۰ بوده است.

۴- تعیین ماتریسهای احتمال انتقال و ایستای منطقه با توجه به آنچه که در بند ۳ گفته شد مبادرت به محاسبه ماتریس های احتمال انتقال و احتمال ایستای ایستگاه های منطقه سیستان و بلوچستان گردید که نتایج آن را به ترتیب در جداول ۴ و ۵ ملاحظه می نمائید.

جدول ۴- ماتریس احتمال انتقال ایستگاه های منطقه

تحت مطالعه

ایستگاه	وضعیت	D	N	W
پیشین	D	0.619	0.186	0.194
	N	0.611	0.111	0.277
	W	0.590	0.227	0.181
زابل	D	0.526	0.232	0.241
	N	0.170	0.707	0.122
	W	0.457	0.305	0.237
زاهدان	D	0.581	0.234	0.183
	W	0.781	0.062	0.156
	N	0.539	0.206	0.253
چاه بهار	D	0.735	0.110	0.154
	N	0.833	0	0.166
	W	0.6	0.085	0.314
ایران شهر	D	0.647	0.151	0.200
	N	0.545	0.227	0.227
	W	0.506	0.146	0.346
قصرقند	D	0.683	0.118	0.198
	N	0.566	0.1	0.333
	W	0.55	0.15	0.3
کچدر	D	0.625	0.164	0.210
	N	0.5	0.125	0.375
	W	0.597	0.059	0.343

علاوه بر دو مورد مذکور نتایج دیگری نیز از ماتریسهای احتمال انتقال و ماتریس احتمال ایستای قابل برداشت است:

۱- قطر ماتریس احتمال انتقال نشان دهنده پایداری شرایط محیطی است. جدول (۲) ماتریس احتمال انتقال ایستگاه پیشین را نشان می دهد.

جدول ۲- ماتریس احتمال انتقال ایستگاه پیشین

وضعیت	D	N	W
D	۰/۶۱۹	۰/۱۸۶	۰/۱۹۴
N	۰/۶۱۱	۰/۱۱۱	۰/۲۷۷
W	۰/۵۹۰	۰/۲۲۷	۰/۱۸۱

$P_{D,D}$ در این ماتریس معادل ۶۱۹٪ می باشد. این امر بدان مفهوم است که اگر منطقه دچار خشکی شد، با احتمال مزبور در تله خشکی باقی خواهد ماند. حال آنکه برای وضعیت مرطوب، شانس باقی ماندن در همان وضعیت تنها ۱۸۱٪ می باشد.

۲- هر کدام از درایه های ماتریس ایستای معرف درصد دوره هایی است که منطقه در دراز مدت در آن حالت باقی می ماند. جدول (۳) ماتریس ایستای ایستگاه پیشین را نشان می دهد. ماتریس مزبور نشان می دهد که ایستگاه پیشین در سالهای آبی، ۶۱٪ دوره ها را در وضعیت خشکی، ۱۸٪ دوره ها در وضعیت نرمال، و ۲۱٪ از دوره ها را در وضعیت مرطوب خواهد بود.

جدول ۳- ماتریس احتمال ایستای ایستگاه پیشین

ایستگاه	D	N	W
پیشین	۰/۶۱۱	۰/۱۸۱	۰/۲۰۶

جدول ۵- ماتریس احتمال ایستای ایستگاه های منطقه

ایستگاه	D	N	W
ایران شهر	۰/۶۹۶	۰/۱۶۲	۰/۲۴۰
زابل	۰/۳۴۷	۰/۶۴۸	۰/۱۸۴
کچدر	۰/۶۰۱	۰/۱۳۱	۰/۲۶۷
قصرقند	۰/۶۳۶	۰/۱۲۳	۰/۲۳۹
پیشین	۰/۶۱۱	۰/۱۸۱	۰/۲۰۶
زاهدان	۰/۶۱۲	۰/۱۹۵	۰/۱۹۱
چاه بهار	۰/۷۱۹	۰/۰۹۵	۰/۱۸۵

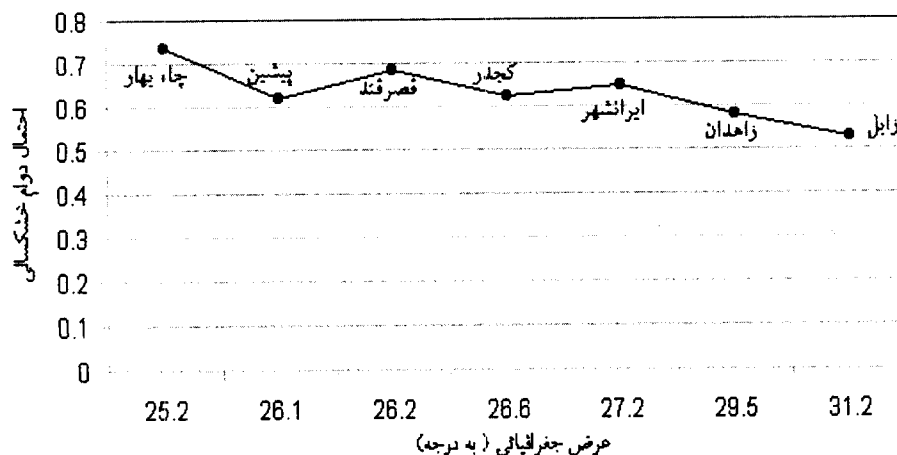
این شکل نشان می دهد که پدیده خشکسالی در این استان تا حدودی با عرض جغرافیائی در ارتباط است.

به منظور نشان دادن وضعیت عمومی منطقه ز نظر خشکسالی درایه مربوط به خشکی در ماتریس های احتمال ایستای مربوط به هر ایستگاه قرائت و نتیجه در شکل ۱۱ نشان داده شده است. موقعیت هر ایستگاه روی این نمودار معرف احتمال دراز مدت (P) وقوع خشکسالی برای آن ایستگاه است. به عنوان مثال احتمال اینکه در دراز مدت زابل دچار خشکسالی شود ۳۵ درصد و زاهدان ۶۱ درصد است. با استفاده از رابطه ۴ تعداد دوره های خشک و مدت دوام هر دوره در ایستگاههای تحت مطالعه به شرح جدول ۶ برآورد شده است. همانطوریکه ملاحظه می شود زاهدان در یک دوره ۱۲۰ ماهه پیش بینی شده دارای ۳۰/۷۵ دوره خشکی با مدت دوام ۲/۴ ماهه خواهد بود. این امر بدان مفهوم است که شهر مزبور در ۱۲۰ ماه آینده ۷۴ ماه در وضعیت خشکی قرار خواهد داشت.

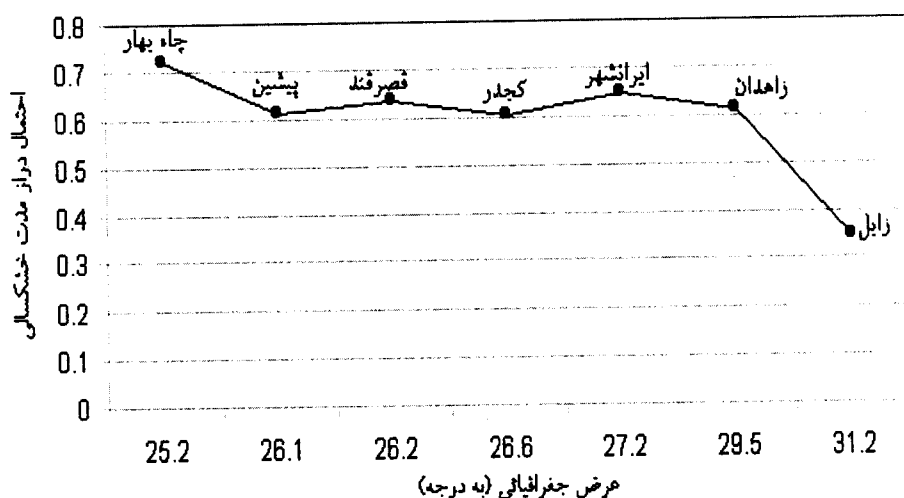
۵- تعیین احتمال دوام خشکسالی، احتمال

دراز مدت و طول دوران خشکسالی

همانطور که در بند سوم گفته شد قطر ماتریس احتمال انتقال نشان دهنده پایداری شرایط محیطی است. با استخراج ارقام مربوط به خشکی از ماتریس تشکیل شده برای هر ایستگاه، شکل شماره ۱۰ تهیه شده است که موقعیت نقاط مختلف استان را نسبت به یکدیگر نشان می دهد. همانطوریکه در این شکل دیده می شود بهترین وضعیت از این نظر مربوط به زابل و بدترین وضعیت مربوط به چاه بهار می باشد.



شکل ۱۰- نمودار احتمال دوام خشکسالی منطقه



شکل ۱۱- نمودار احتمال دراز مدت خشکسالی منطقه

جدول ۷- برآورد تعداد دوره و دوام خشکسالیها در منطقه مورد مطالعه

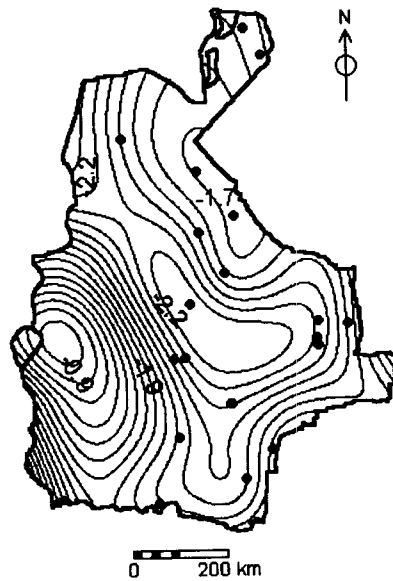
ایستگاه	پیشین	چاه بهار	کجدر	زابل	زاهدان	قصرقند	ایران شهر
تعداد دوره خشکی	۲۷/۹۶	۲۲/۸۴	۲۷/۰۴	۱۹/۷۰	۳۰/۷۵	۲۴/۱۹	۲۵/۲۷
تداوم	۲/۶۲	۳/۷۷	۲/۶۶	۲/۱۱	۲/۳۹	۳/۱۶	۲/۸۳

۶- تولید نقشه های گستره هم شدت

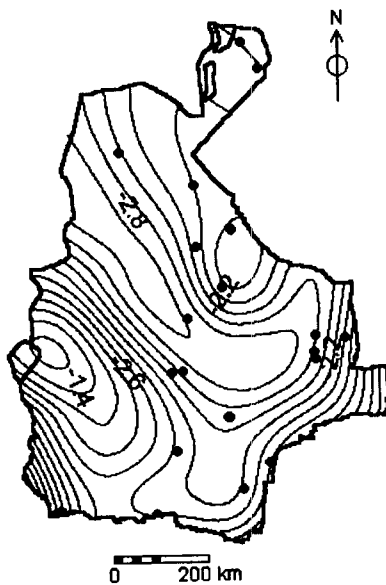
خشکسالی منطقه

روش درونیایی *TPSS* نوع *Tension* با وزن ۳ مناسب تشخیص داده شد. پس از درونیایی و توزیع مکانی مقادیر شدت خشکسالی هر تداوم، نقشه های گستره هم شدت (*Iso-severity*) با دوره بازگشت های مختلف استخراج گردید. در این مرحله از نرم افزارهای *ILWIS* و *ARC/VIEW* در محیط *GIS* استفاده گردید. شکل های (۱۲) و (۱۳) نمونه هایی از نقشه های تولید شده را نشان می دهند.

برای تهیه نقشه های گستره هم شدت خشکسالی در منطقه مورد مطالعه، اطلاعات مربوط به طول و عرض جغرافیایی و شدت خشکسالی هر تداوم که بروش *RUN* تهیه شده اند مورد بررسی زمین آماری قرار گرفت و از میان روش های میانگین متحرک (*WMA*)، کریجینگ معمولی (*OK*) و اسپلاین (*TPSS*)، براساس آزمون های انجام شده،



شکل ۱۲- خطوط هم شدت خشکسالی برای تداوم ۳ ماهه و دوره بازگشت ۵ ساله



شکل ۱۳- خطوط هم شدت خشکسالی برای تداوم ۳ ماهه و دوره بازگشت ۲۰ ساله

اهمیت نشان می دهد. لذا در این مطالعه برای رفع این مشکل، نمره Z هر یک از ماه ها براساس میانگین و انحراف از معیار همان ماه استخراج گردید. سربهای زمانی نمره Z ایستگاه های مختلف نشان می دهد که این ایستگاه ها در بیشتر ماه های سال از پدیده خشکسالی رنج می برند. در این استان خشکسالی های بیش از ۲۸ ماه متوالی نیز مشاهده

نتیجه گیری

در این تحقیق از شاخص هواشناسی نمره Z و روش *Run Theory* استفاده گردید. نتایج نشان داد که به علت خشکی ذاتی منطقه و پراکنش نامنظم بارندگی در طول سال، محاسبه شاخص نمره Z به روش مرسوم برای چنین مناطقی خشکسالی ها را کم

رسد. به عبارتی دیگر با افزایش عرض جغرافیایی از شدت و دوام خشکسالیها تا حدودی کاسته می شود. این بررسی نشان داد که اگر در چابهار خشکسالی حاکم شود، احتمال گذر از وضعیت خشکسالی به دیگر حالتها، تنها ۲۸٪ است در حالیکه این احتمال برای زابل ۶۵٪ می باشد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از همکاری صمیمانه آقای دکتر پیمان دانش کار آراسته و خانم مهندس سیما رحیمی بندرآبادی که در تهیه و ترسیم نقشه های مربوطه در محیط GIS ما را یاری نمودند سپاسگزاری می گردد.

گردید، که نشان دهنده شرایط بحرانی استان می باشد.

منحنی های شدت- تداوم - فراوانی و نقشه های هم شدت خشکسالی می تواند در برنامه ریزیهای کشاورزی و منابع آب مفید واقع گردد. این منحنی ها می توانند وضعیت منطقه را از نظریتانسیل آب و ریسک کم آبی ترسیم نموده و راهنمای بسیار مفیدی برای برنامه ریزان منابع آب باشد. نقشه های گستره هم شدت خشکسالی حاکی از آن است که پدیده خشکسالی در مرکز استان شدیدتر است.

همانطوری که در شکل (۱۰) دیده می شود، دوام خشکسالی تقریباً از جنوب به شمال منطقه کاهش یافته و در زابل به کمترین مقدار خود می

منابع

- 1-Baren, M.A., "Hydrological Aspects of droughts", UNESCO/WMO, 1985.
- 2-Barry, R.G. and Chorley, R.J., "Atmosphere, weather and climate", Routledge, London, 1998.
- 3-Dalezios, N.R., Loukas, A., Vasiliades, L, Liakopoulos, E., "Severity duration frequency analysis of droughts and wet periods in Greece", Hydrol. Sci. Jour., 45 (5): 751-768, 2000.
- 4-Dracup, J.A., "Causes and occurrence of drought", in Drought Management and Its Impact on Public Water Systems, Natl. Acad. Press, 1985.
- 5-Dracup, J.A., Lee, K.S., Paulson, E.G. Jr., "On the statistical characteristics of drought events", Water resour. Res., 16 (2): 289-296, 1980a.
- 6-Dracup, J.A., Lee, K.S., Paulson, E.G. Jr., "On the definition of droughts", Water Resour. Res., 16 (2): 297-302, 1980b.
- 7-Dupigny-Giroux, L.A., "Towards characterizing and planning for drought in Vermont-Part I: A climatological perspective", J. Am. Water Resour. Assoc., 37 (3): 505-525, 2001.
- 8-Moye, L.A., Kapadia, A.S., Cech, I.M., and Hardy, R.J., "The theory of runs with applications to drought prediction", J. Hydrol., 103: 127-137, 1988.
- 9-Sharma, T.C., "Drought parameters in relation to truncation levels", Hydrol. Process., 14: 1279-1788, 2000.
- 10-Thompson, S., "Hydrology for water management", Prentice Hall Inc., 1999.
- 11-Yevjevich, V., "An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts", Colorado State Univ., Fort Collins CO., 1967.

PREDICTION OF DROUGHT SEVERITY, DURATION AND FREQUENCY USING PROBABILISTIC AND TIME SERIES METHODS

(CASE STUDY: SISTAN AND BALOUCHESTAN PROVINCE)

T. Raziei¹, A.R. Shokoohi², B. Saghafian³

1-Research Climatologist, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI) Tehran, Iran, 2- Assistant Professor, International University of Imam Khomeini, Qazvin, Iran, 3- Associate Professor and Research Hydrologist, SCWMRI, Tehran, Iran.

Received : 16.8.2003

Abstract

Drought, as an integrated part of climate variability, may be investigated through many different aspects. In this study, severity, duration and frequency (SDF) of meteorological drought in Sistan and Belochestan province were investigated. In order to construct Z-score time series, homogeneous data set was established and standardized for each individual month. Using run theory and based on a selected truncation level, dry, wet and normal months and periods were determined and eventually the SDF curves were derived. In the next step, transition probability matrix and equilibrium transition matrix were developed for each station via combination of run theory and Markov Chain. Finally, the long-term condition of the region from drought point of view was investigated and probability of drought occurrence and length of drought events for the next 10 years were predicted.

Key words: Meteorological drought; z-score; Run theory; Markov chain; SDF, Sistan and Belochestan

