

پایش و پهنه‌بندی خصوصیات خشکسالی هواشناسی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و روش‌های زمین آمار (مطالعه موردی: استان قزوین)

- ❖ فاطمه مقصود*؛ دانشجوی دکتری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.
- ❖ آرش ملکیان؛ دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ❖ محسن محسنی ساروی؛ استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ❖ ام‌البین بذرافشان؛ استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، ایران.

چکیده

خشکسالی هواشناسی هنگامی روی می‌دهد که بارندگی در هر بازه زمانی کمتر از بازه بلند مدت آن رخ دهد. اغلب شاخص‌های بررسی خشکسالی زمانی که خشکسالی به وقوع می‌پیوندد، مورد استفاده قرار می‌گیرند. این در حالیست که برای مدیریت خشکسالی در ابتدا نیاز به شناخت و تعیین ویژگی‌های خشکسالی از نظر احتمال وقوع، شدت و گسترش آن می‌باشد. در این تحقیق از شاخص بارش استاندارد (SPI) به عنوان شاخص منتخب جهت پایش خشکسالی در ایستگاه‌های بارانسنجی واقع در داخل استان قزوین با طول دوره آماری مشترک ۳۷ ساله (۱۹۷۱-۲۰۰۸) در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه استفاده گردید. سپس با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و چهار روش میان‌یابی، اقدام به بررسی و پایش ویژگی‌های مختلف خشکسالی گردید. نتایج نشان داد با افزایش مقیاس زمانی، مقادیر مثبت و منفی از نظر فراوانی کاهش و از نظر تداوم افزایش یافته است. با توجه به نتایج ماتریس احتمال انتقال، حالت تقریباً نرمال غالب بوده و کمترین دوره بازگشت مربوط به حالت تقریباً نرمال و پس از آن، حالات مرطوب ملایم و خشک ملایم می‌باشد. همچنین مدل گوسی در مقیاس‌های زمانی ۱، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه و مدل نمایی در مقیاس‌های زمانی ۳ و ۴۸ ماهه، مناسبترین مدل‌ها جهت برازش واریوگرام انتخاب گردید. در نهایت، بهترین روش میان‌یابی در هر مقیاس جهت تهیه نقشه‌های وسعت خشکسالی در سال آبی ۱۳۸۶-۱۳۸۷ بدست آمد که نتایج نشان داد با افزایش مقیاس زمانی، وسعت خشکسالی و همچنین وضعیت خشکسالی‌ها از شرق به غرب استان کاهش یافته است.

واژگان کلیدی: پایش، پهنه‌بندی، خشکسالی هواشناسی، زنجیره مارکوف، روش زمین آمار، قزوین.

۱. مقدمه

بارش استاندارد^۱ ابزاری قوی در آنالیز داده‌های بارندگی بوده و هدف از آن، اختصاص ارزش عددی به بارندگی است تا بتوان نواحی با آب و هوای کاملاً متفاوت را با هم مقایسه نمود [۵].

تاکنون تحقیقات بسیاری در زمینه مقایسه شاخص *SPI* با شاخص‌های متداول دیگر انجام گرفته است. مقایسه دو شاخص بارش استاندارد شده و شناسایی خشکسالی^۲ ایستگاه سینوپتیک قائمشهر نشان داد که این دو شاخص، همبستگی معنی‌داری با هم داشته، به طوری که مرطوب‌ترین و خشک‌ترین سال شناسایی شده در هر دو شاخص یکسان است [۱۸]. همچنین مقایسه این دو شاخص در اقلیم مختلف ایران نشان داد که این دو شاخص در همه‌ی حالات رفتار مشابهی داشته، با این تفاوت که شاخص شناسایی خشکسالی، خشکسالی را در وضعیت شدیدتری نشان می‌داد [۱۶].

با وجود این تفاسیر، نکته حائز اهمیت این است که مقایسه شاخص‌های مختلف خشکسالی و انتخاب شاخص برتر در یک منطقه، دلیلی بر برتری آن شاخص در مناطق دیگر نیست و ویژگی‌های اقلیمی، توپوگرافی و ... در هر منطقه در انتخاب شاخص برتر، مؤثر است. لذا تعیین شاخص مختص هر منطقه، مهم‌ترین گام در برررسی‌های دقیق‌تر در مقیاس محلی به شمار می‌رود. به طوری که نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های خشکسالی هواشناسی شامل شاخص دهک‌ها، شاخص استاندارد بارش، شاخص معیار استاندارد، شاخص *Z* چینی^۳، شاخص درصد نرمال بارش و شاخص شناسایی خشکسالی با روش کمینه بارش در مناطق اقلیمی مختلف، نتایج مختلفی از خود نشان دادند [۹]. همچنین مقایسه سه شاخص درصد نرمال بارش، نیچه و بارش استاندارد به منظور تعیین کمی و کیفی سال‌های خشک، نرمال و مرطوب در حوزه آبخیز رودخانه آریشان نشان داد که شاخص درصد نرمال بارش، از نظر فراوانی وقوع شرایط

خشکسالی عبارت است از کمبود رطوبت مستمر و غیرطبیعی که تداوم و شدت، از ویژگی‌های اولیه و بزرگی، از ویژگی‌های ثانویه این واقعه اقلیمی به شمار می‌روند [۱۳] و تأثیر آن بر جوامع بشری، به عنوان یکی از بزرگ‌ترین بلایای طبیعی، بیشتر از سایر بلایا است [۳۶]. به طور کلی خشکسالی‌ها شامل چهار طبقه هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اجتماعی-اقتصادی بوده که از میان آنها، خشکسالی هواشناسی زمانی روی می‌دهد که بارندگی در هر بازه زمانی (سالانه، فصلی، ماهانه) کمتر از بازه زمانی بلندمدت آن باشد [۴]. البته کمبود بارندگی ممکن است نسبت به میانگین نرمال یک منطقه اقلیمی و یا طول دوره خشک ارزیابی گردد. لذا مفهوم کمبود بارش در هر منطقه متفاوت بوده، به طوری که ممکن است همان مقدار بارشی که سبب ایجاد خشکسالی در منطقه‌ای گردیده، در منطقه‌ای دیگر به عنوان بارش سنگین تلقی شود و در نتیجه تعاریف خشکسالی هواشناسی باید به صورت موردی برای هر منطقه خاص در نظر گرفته شود؛ چرا که شرایط جوی که موجب کمبود بارش می‌شود، از منطقه‌ای به منطقه‌ای دیگر شدیداً تغییر می‌نماید [۳].

برای تحلیل کمی خشکسالی وجود یک شاخص مشخص جهت تعیین دوره‌های مرطوب و خشک بسیار ضروری است [۳۲]. شاخص‌های خشکسالی با بیان حدود طبیعی خشکسالی‌های رخ داده، امکان پایش و ارزیابی آن را در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی ممکن می‌سازند [۱۲]. در این بین، پیچیدگی مسائل مرتبط با خشکسالی باعث شده که متخصصین مختلف، روش‌ها و شاخص‌های متفاوتی را برای تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی به کار برند که به تبع، هر یک دارای نقاط ضعف و قوت خاص خود هستند [۳]. از میان شاخص‌های متداول، شاخص

³ CZI: China Z Index

¹ SPI: Standardised Precipitation Index

² RDI: Reconnaissance Drought Index

کننده آب مورد نیاز کشاورزی، شرب و صنعت استان قزوین به شمار می‌رود و اگرچه علی‌الوجه برداشت بی‌رویه از چاه‌ها منجر به افت سطح آبخوان این استان گردیده است، اما بدون شک وقوع خشکسالی‌های هواشناسی در دهه‌های اخیر نیز سبب تشدید این افت گردیده است و می‌توان با انجام مطالعات و پایش در زمینه خشکسالی به شناخت ویژگی‌هایی از این پدیده همچون وسعت، شدت و فراوانی اقدام نمود و با شناخت مناطق حساس، تا حد ممکن از اثرات سوء آن بر منابعی همچون آب زیرزمینی و آب‌های سطحی کاست. محاسبه و طبقه‌بندی فراوانی، شدت و مدت خشکسالی و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی به منظور تحلیل شدت تغییرات مکانی خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه، حاکی از حساسیت خشکسالی اقلیمی در این منطقه بود [۱۲]. همچنین بررسی وسعت خشکسالی استان گلستان با استفاده از شاخص بارش استاندارد نشان داد که وسعت خشکسالی با افزایش مقیاس زمانی کاهش یافته و وضعیت خشکسالی‌ها در پهنه استان از سمت غرب به شرق کاهش می‌یابد [۸]. بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی در مقیاس‌های مختلف در استان فارس نیز نشان داد که بیشترین شدت خشکسالی در نواحی مرکزی و جنوبی بوده، به طوری که قسمت‌های جنوبی دارای شدت بیشتر و طول دوره بیشتری نسبت به سایر مناطق بوده و قسمت‌های شمالی استان، حساسیت کمتری به خشکسالی نشان می‌دهند [۲۱]. بررسی خصوصیات خشکسالی هواشناسی در حوزه رودخانه آواش اتیوپی نشان داد که در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه، قسمت‌های بالایی و وسط حوزه دارای خشکسالی شدیدتری می‌باشند [۱۴].

مقایسه‌ی چهار روش درون‌یابی فاصله وزنی معکوس، توابع پایه‌ای شعاعی، چندجمله‌ای جهانی و کریجینگ جهت پایش و سنجش خشکسالی در استان گلستان نشان داد، دو روش کریجینگ و توابع شعاعی پایه در دوره‌های

نرمال، خشکسالی و ترسالی، بین دو شاخص نیچه و بارش استاندارد قرار گرفته و شرایط متعادل‌تری را نشان می‌دهد [۲۷]. در تحقیقی دیگر نیز، مقایسه اثرات خشکسالی بر تولید علوفه گیاهان مرتعی استان قم با استفاده از شاخص معیارهای بارش سالانه، بارش استاندارد شده و شاخص شدت خشکسالی پالم نشان داد که مناسب‌ترین شاخص‌ها با در نظر گرفتن اثر مقیاس زمانی به ترتیب در $SPI6$ ، $SPI24$ ، $PDSI$ ، $SPI3$ بوده و بهترین پایه زمانی نیز ابتدای فصل رشد می‌باشد [۴]. همچنین با توجه به نتایج بررسی عملکرد شاخص‌های هواشناسی به منظور ارزیابی خشکسالی در استان قزوین، شاخص بارش استاندارد شده و شاخص دهک‌ها در جایگاه نخست برای شناسایی خشکسالی در استان معرفی گردید [۲۴] و شاخص SPI همبستگی مکانی بهتری را برای پهنه‌بندی شدت خشکسالی در استان قزوین نشان داد [۲۲].

علیرغم این موضوع، در مواردی که دو یا چند نوع خشکسالی به صورت همزمان در منطقه رخ می‌دهند، مشاهده شده که مدل‌های تلفیقی شاخص‌های خشکسالی، قادر به ارائه نتایج بهتری از وقوع و خاتمه خشکسالی هستند. به عنوان مثال شاخص متغیر استاندارد^۱ از جمله شاخص‌های ترکیبی است که با تلفیق دو شاخص بارش استاندارد و شاخص رطوبت خاک^۲ قادر به بررسی دو نوع خشکسالی هواشناسی و کشاورزی بوده و نتایج بررسی ویژگی‌های خشکسالی با استفاده از این شاخص، در بخش‌هایی از کالیفرنیا و شمال کارولینا نشان داد که همواره آغاز و پایان خشکسالی براساس ترکیبی از دو شاخص SPI و SSI بوده است، به طوری که در ابتدا شاخص SPI غالب بوده و به تدریج با افزایش استمرار خشکسالی به سمت شاخص SSI حرکت می‌نماید که بدین سبب، این شاخص به عنوان مدلی منطقی برای ترکیب شاخص‌های چند متغیره احتمالی شناخته شده است [۱۵].

آبخوان دشت قزوین، یکی از بزرگ‌ترین منابع تأمین

^۱ MSDI: Multivariate Standardized Drought Index

^۲ SSI: Standardized Soil Moisture Index

۲. روش‌شناسی

۱.۲. منطقه مورد مطالعه

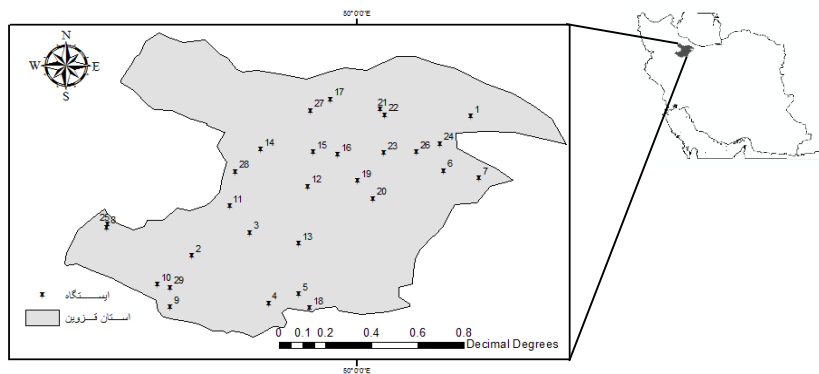
استان قزوین با مساحتی بالغ بر ۱۵۸۲۱ کیلومتر مربع، در بخش شمال غربی کشور و در موقعیت ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. این استان از شمال با گیلان، از جنوب با مرکزی و همدان و از شرق و غرب به ترتیب با استان‌های البرز و زنجان همسایه است. پوشش گیاهی در این استان به طور عمده شامل دو دسته جنگل و مرتع است که عمده پوشش در منطقه رود بار و الموت بوده و دشت قزوین نیز جزء مهم‌ترین مراتع در این استان به شمار می‌آید.

این استان در مجموع، دارای ۷۴ ایستگاه باران‌سنجی است. از آنجایی که بعضی ایستگاه‌ها طی سال‌های اخیر تأسیس شده و یا دارای آمار ناقصی بوده، پس از برطرف نمودن نقص آماری، ۲۹ ایستگاه با طول دوره آماری مشترک ۳۷ ساله (از سال ۱۳۵۱ تا ۱۳۸۷) انتخاب شد که اسامی آنها و سالهای دارای نقص آماری که مورد بازسازی قرار گرفته، در جدول ۱ آمده است. در شکل ۱، نقشه موقعیت استان در کشور و نقشه پراکندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است.

زمانی مختلف دارای نتایج بهتری در پهنه بندی شدت خشکسالی‌ها می‌باشند [۱۰].

همچنین نتایج حاصل از پایش و پیش‌بینی گسترش خشکسالی در سطح استان خوزستان نشان داد که بر اساس شاخص بارش استاندارد و زنجیره مارکوف، در تمامی ایستگاه‌ها وضعیت تقریباً نرمال در مقیاس زمانی ۶ ماهه، دارای بیشترین فراوانی بوده و پیش‌بینی شد که در ۱۰ سال آینده به طور متوسط کل استان، ۳۵ ماه درگیر خشکسالی خواهد بود [۳۱]. از دیگر تحقیقات انجام گرفته در داخل کشور، در زمینه پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از زنجیره مارکوف می‌توان به تحقیقات انجام گرفته در استان‌های لرستان و سیستان و بلوچستان نیز اشاره نمود [۷ و ۲۶].

با توجه به موارد ذکر شده، تاکنون تحقیقات جامعی در رابطه با پایش خشکسالی و مدیریت آن در استان قزوین صورت نگرفته است و مقادیر کم بارش به خصوص در نواحی شرقی استان، ضرورت پایش خشکسالی را در این تحقیق قوت می‌بخشد. از سوی دیگر اغلب شاخص‌هایی که جهت بررسی خشکسالی استفاده می‌شوند زمانی که خشکسالی به وقوع می‌پیوندد مورد استفاده قرار می‌گیرند. این در حالیست که برای مدیریت خشکسالی نیاز است تا ویژگی‌های خشکسالی از نظر احتمال وقوع و شدت آن تعیین گردد. بدین منظور در این تحقیق اهدافی همچون؛ تعیین مقادیر SPI در ایستگاه‌های مختلف استان قزوین، تعیین کلاس‌های مختلف خشکسالی و محاسبه احتمال وقوع هر یک از این کلاس‌ها با استفاده از زنجیره مارکوف، بررسی شدت و فراوانی وقوع خشکسالی و در نهایت پهنه‌بندی احتمالات وقوع خشکسالی با بهترین روش زمین آمار در سطح استان، دنبال شد.



(ب)

(الف)

شکل ۱. الف) نقشه موقعیت استان قزوین در کشور ایران (ب) نقشه موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان قزوین

جدول ۱. اسامی ایستگاه‌های باران‌سنجی انتخابی در استان قزوین به همراه سال‌های دارای نقص آماری

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	سال‌های دارای نقص آماری	شماره ایستگاه	نام ایستگاه	سال‌های دارای نقص آماری
۱	باغ کلایه	۶۲-۶۵-۶۶-۶۷	۱۶	اسماعیل‌آباد	-
۲	آبگرم	۷۹	۱۷	ککجین	-
۳	رحیم‌آباد	۵۰	۱۸	چلمبر	۵۹-۷۹
۴	نصرت‌آباد	۵۲-۷۸	۱۹	بایه نصرت‌آباد	۶۷-۷۹
۵	حاجی‌عرب	۶۹	۲۰	محمدآباد	۵۴
۶	بهبخت‌آباد	۵۸	۲۱	زرشک	۷۷-۷۸-۸۴
۷	زیاران	-	۲۲	میزوج	-
۸	دشتک	-	۲۳	بیدستان	-
۹	گلچشمه	-	۲۴	چناسک	-
۱۰	قوزلو	۶۹	۲۵	محمودآباد	۵۳
۱۱	ظیاء‌آباد	-	۲۶	کبریت‌میان	۶۳-۶۷
۱۲	دیال‌آباد	-	۲۷	مرتضی‌آباد	-
۱۳	دانسفان	۵۳-۵۴-۶۹	۲۸	مهین	-
۱۴	کنشکین	-	۲۹	دهاروان	۵۷-۸۴
۱۵	آشتجین	-			

۲.۲. روش تحقیق

آمار بارندگی ماهانه و مختصات ایستگاه‌های کليما‌تولوژی از شرکت مدیریت منابع آب ایران (وابسته به وزارت نیرو) دریافت و پس از مرتب کردن داده‌ها در برنامه اکسل، داده‌ها جهت نیل به اهداف تحقیق مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. لازمه تحلیل صحیح آماری، داشتن سه خاصیت تناسب، کفایت و صحت است [۱۹]. جهت دستیابی به این اهداف، اقدام به تهیه داده‌های بارندگی و بازسازی آمار موجود گردید. جهت برخورداری از نتایج بهتر و کارآمدتر بیشترین طول دوره آماری (۳۷ سال

اخیر) مورد بررسی قرار گرفت. همچنین به منظور رعایت اصل صحت، از ایستگاه‌های با نقص آماری کمتر و دارای پراکنش مناسب در سطح استان استفاده شد. سپس آزمون‌های همگنی در کلیه ایستگاه‌های انتخابی انجام گرفت که با بررسی نمودارها، ایستگاه‌هایی که دارای خط مستقیم بودند انتخاب گردید [۱۹]. درگام بعد با استفاده از روش همبستگی بین ایستگاه‌ها، بازسازی و تطویل آمار انجام شد.

شرایط گوناگونی همچون کشاورزی و هیدرولوژی و همچنین دینامیک خشکسالی ها) [۳۶]، در تمامی مقیاس‌های زمانی قابل محاسبه است. شایان ذکر است به دلیل آن که مدیریت بخش‌های عمده‌ای از منابع آبی ایران در مقیاس زمانی یک ساله انجام می‌گیرد، اخیراً بسیاری از محققین در مطالعات خود بیشتر از مقیاس ۱۲ ماهه استفاده می‌نمایند [۳۳].

- شاخص بارش استاندارد (SPI):

شاخص SPI یکی از شاخص‌های متداول اقلیمی در تحلیل منطقه‌ای خشکسالی و مطالعات تطبیقی و مقایسه‌ای میان مناطق مختلف است [۴]. این شاخص مطابق جدول ۲، دارای مزایا و محدودیت‌هایی است که البته با توجه به ویژگی چندکاره بودن این شاخص (پایش

جدول ۲. مزایا و معایب شاخص بارش استاندارد

مزایا	
- عدم تأثیرپذیری از شرایط توپوگرافی	- دارای توزیع نرمال [۲۰]
- برپایه داده‌های بارندگی بوده و بستگی به شرایط خاک داشته و برای تمامی ماه‌های سال قابل استفاده است.	- چندکاره بودن سبب شده تا با محاسبه برای هر مقیاس زمانی، امکان پایش در شرایط گوناگون فراهم شود.
محدودیت‌ها	
- قبل از استفاده از این شاخص برای یک ایستگاه، اطلاعاتی درباره اقلیم ناحیه مورد نیاز است.	- صحت و اعتبار مقادیر شاخص، وابسته به صحت و اعتبار داده‌های مورد استفاده است

نمایه SPI به صورت رابطه ۲، محاسبه می‌شود [۵]:

رابطه (۲)

$$SPI = - \left[t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad \bullet < H(x) \leq 0.5$$

$$SPI = + \left[t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad \bullet 0.5 < H(x) \leq 1$$

که در آن:

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{H(x)} \right]} \quad \bullet < H(x) \leq 1$$

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(1 - H(x))^2} \right]} \quad \bullet < H(x) \leq 1$$

همچنین در این روابط مقادیر زیر، ثابت و H(x) احتمال تجمعی است.

- شرح اجمالی محاسبه شاخص بارش استاندارد:

- تشکیل سری‌های زمانی در مقیاس ۱ ماهه (i= ۴۸، ۲۴، ۱۲، ۹، ۶، ۳، ۱)

- برازش توزیع آماری گاما بر سری‌های بارندگی حاصل از مرحله قبل و محاسبه احتمالات تجمعی توزیع گاما [۲۰].

تابع توزیع گاما به صورت تابع چگالی احتمال یا فراوانی، به صورت رابطه (۱) تعریف شده است:

$$g(x) = \frac{1}{B^\alpha \cdot \Gamma(\alpha)} \cdot X^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{B}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که برای $X > 0$ ، هر کدام از پارامترها عبارتند از:

α = پارامتر شکل ($\alpha > 0$)

β = پارامتر مقیاس ($\beta > 0$)

X = پارامتر بارندگی ($X > 0$)

- تغییر شکل هم احتمال توزیع تجمعی گاما به نرمال. پس از انجام محاسبات لازم و تعیین پارامترهای مربوطه،

به منظور پایش شدت خشکسالی و تداوم آن در کل استان، از میانگین بارش وزنی منطقه به عنوان ایستگاه معرف کل، استفاده شد؛ بدین صورت که ابتدا در محیط نرم افزاری Arc GIS با استفاده از نقشه حوزه آبخیز، توپوگرافی و موقعیت ایستگاه‌های استان اقدام به بستن زیرحوضه‌های موجود در منطقه شد و سپس با استفاده از مقادیر میانگین بارش وزنی در هر زیرحوضه موجود، مقادیر شاخص بارش استاندارد در کلیه مقیاس‌های زمانی (۱-۳-۶-۹-۱۲-۲۴ و ۴۸ ماهه) محاسبه و مقادیر خشکسالی در کل استان مورد بررسی و پایش قرار گرفت.

$$\begin{aligned} c_1 &= 2/535535 & d_1 &= 3/432788 \\ c_2 &= 0/802853 & d_2 &= 0/19269 \\ c_3 &= 0/030328 & d_3 &= 0/03308 \end{aligned}$$

در این تحقیق برای استخراج مقادیر خشکسالی از برنامه نرم‌افزاری مجموعه شاخص‌های خشکسالی^۱ و نرم‌افزار Excel استفاده شد. با توجه به مقادیر بارندگی در هر یک از ایستگاه‌ها، مقادیر SPI محاسبه گردید. سپس وضعیت خشکسالی هر دوره زمانی با استفاده از جدول (۳) تعیین گردید.

جدول ۳. طبقات شدت خشکسالی بر اساس SPI (به نقل از [۲۰])

مقادیر SPI	طبقه خشکسالی
>۲	کاملاً مرطوب
۱/۹۹-۱/۵	خیلی مرطوب
۱/۴۹-۱	نسبتاً مرطوب
۰/۹۹-۰	مرطوب ملایم
-۰/۹۹-۰	خشکسالی ملایم
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید
<-۲	خشکسالی بسیار شدید

شدت و فراوانی خشکسالی

به طور کلی، شدیدترین خشکسالی تاریخی عبارت است از دوره‌ای که دارای بزرگ‌ترین تداوم بوده و بزرگ‌ترین مجموع کمبود، نسبت به آستانه را داشته باشد [۲۳]. همچنین با افزایش مقیاس زمانی، فراوانی خشکسالی‌ها به صورت معکوس کاهش و مدت آن به صورت خطی افزایش می‌یابد [۲۰]. بدین منظور در این تحقیق فراوانی تداوم‌های ۱ ماهه تا ۱۱ ماهه در تمامی مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه، به دست آمد و از بین آنها، شدیدترین خشکسالی (بزرگترین مجموع مقادیر SPI در طولانی‌ترین تداوم)، استخراج گردید.

دوره بازگشت خشکسالی

بر اساس رابطه ۳، دوره بازگشت عکس احتمال وقوع است که وضعیت متوسط بازگشت یک پدیده را بیان نموده و به عنوان توجیهی از نظر میزان احتمال وقوع خطر در محاسبات اقتصادی کاربرد دارد [۱۹].

$$T_r = \frac{1}{P} \quad (3)$$

که در آن:

T_r : دوره بازگشت به سال و P : احتمال وقوع است.

^۱ DIP: Drought Indices Package

به طوری که با استفاده از ضریب تناوب می توان مقدار یک متغیر با دوره بازگشت مورد نظر را از رابطه کلی زیر به دست آورد [۱۹]:

به طوری که با استفاده از ضریب تناوب می توان مقدار یک متغیر با دوره بازگشت مورد نظر را از رابطه کلی زیر به دست آورد [۱۹]:

$$X_{Tr} = \bar{X} + K.S \quad (۴)$$

که در آن:

X_{Tr} : مقدار متغیر مورد نظر در دوره بازگشت Tr سال، K : ضریب تناوب یا فراوانی، \bar{X} : میانگین داده‌ها، S : انحراف معیار داده‌ها.

زنجیره مارکوف^۳

زنجیره مارکف یکی از فرایندهای مهم احتمالاتی است که کاربرد زیادی در هیدرولوژی و هواشناسی دارد. از آنجا که وقوع پدیده های اقلیمی مانند بارندگی از قوانین استوکاستیک پیروی می کنند، این مدل همواره به عنوان یک روش ریاضی برای مدلسازی متغیرهای تصادفی اقلیمی، مورد استفاده اقلیم شناسان قرار گرفته و توانایی خوبی برای مدلسازی آنها دارد. یک فرآیند استوکاستیک $(X_t, t > 0)$ در نظر بگیرد که در آن X_t متغیر تصادفی بوده که هر کدام متعلق به یک وضعیت مشخص (حالت های مختلف وضعیت خشکسالی) از $S = 1.2.3.....k$ می باشند. این فرآیند یک زنجیره مارکوف مرتبه اول است. در صورتی که هر متغیر X_{t_1}, X_{t_2} و فقط به مقدار متغیر در یک گام زمانی قبل آن بستگی داشته باشد این خاصیت بصورت رابطه (۵) بیان می گردد.

$$P_r \{X_{t+1} | X_t, X_{t-1}, \dots, X_1\} = P_r \{X_{t+1} | X_t\} \quad (۵)$$

که X_t متغیر در زمان t و X_{t+1} مقدار متغیر در زمان $t+1$ و $P_r \{X_{t+1} | X_t\}$ احتمال شرطی^۴ می باشد. به طور کلی برای یک سری معین از نقاط زمانی

$$\Pr X(t_n) = i_n | X(t_1 = i_1, \dots, X(t_{n-1}) = i_{n-1}) = \Pr X(t_n) = i_n | X(t_{n-1}) = i_{n-1} \quad (۶)$$

رفتار زنجیره مارکوف با مجموعه ای از احتمالات برای حالات انتقالی که احتمال انتقال نامیده می شود کنترل می گردد. احتمال انتقال، احتمال وقوع هر یک از حالات ممکن در مرحله بعد می باشد، که می توان آن را بصورت ماتریس احتمال انتقال^۵ نشان داد. متداول ترین شکل زنجیره، زنجیره مارکوف مرتبه اول^۶ نامیده می شود، که در آن احتمالاتی که حالت بعد را کنترل می کنند، منحصراً به حالت فعلی سیستم بستگی دارد [۳۴].

برای حالتی که k وضعیت موجود باشد، ماتریس احتمال انتقال برای زنجیره مارکوف مرتبه اول طبق رابطه (۷)، دارای $k \times k$ عنصر می باشد. که در آن k تعداد اجزای فضای نمونه وضعیت ها (تعداد نتایج هر آزمایش) است.

$$P = \begin{bmatrix} P_{1,1} & P_{1,2} & \dots & P_{1,k} \\ P_{2,1} & P_{2,2} & \dots & P_{2,k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{k,1} & P_{k,2} & \dots & P_{k,k} \end{bmatrix} \quad (۷)$$

همچنین در این ماتریس هر یک از عناصر (P_{ij}) احتمال انتقال از حالت i به j می باشد. تخمین حداکثر درست نمایی برای احتمالات انتقال بصورت رابطه (۸) است.

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}}{\sum_j n_{ij}} \quad (۸)$$

احتمال انتقال هر وضعیتی بین صفر تا یک تغییر می

^۴ Conditional probabilities

^۵ Transition matrix

^۶ First-order markov chain

^۳ Markov chain

میانگین ناشناخته باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. به دلیل آن که اکثر موارد تعداد و پراکندگی داده‌ها به حدی نیست که میانگین‌گیری ساده از آن میانگین واقعی در منطقه را نشان دهد، مقدار پارامتر مورد نظر از رابطه (۹) برآورد می‌گردد:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (9)$$

که در آن:

λ_i : وزن داده شده به متغیر x : در نقطه i : n : تعداد نقاطی که متغیر در آنها اندازه‌گیری شده است [۲۸].
در بررسی‌های آمار کلاسیک نمونه‌هایی که از کل جامعه به منظور شناخت آن برداشت می‌شوند، فاقد اطلاعات مکانی هستند. در نتیجه مقدار اندازه‌گیری شده یک کمیت معین در یک نمونه آماری هیچگونه اطلاعی در مورد مقدار همان کمیت در نمونه‌گیری به فاصله معین و معلوم در بر نخواهد داشت. در حالیکه در زمین آمار علاوه بر مقدار یک کمیت معین در یک نمونه، موقعیت مکانی نمونه نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. منحنی نیم‌تغییرنما برای تشریح ارتباط مکانی یک متغیر به کار می‌رود. این نیم‌تغییرنما که بر اساس مقادیر نمونه‌های اندازه‌گیری شده محاسبه می‌شود را نیم‌تغییرنمای تجربی می‌گویند و از معادله (۱۰) قابل محاسبه می‌باشد:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x+h) - z(x)]^2 \quad (10)$$

که در آن:

$n(h)$: تعداد جفت نمونه‌های به کار رفته در محاسبه به ازای هر فاصله مانند h ،
 $z(x)$: متغیر اندازه‌گیری شده در موقعیت x ،
 $z(x+h)$: متغیر اندازه‌گیری شده که به فاصله h از $z(x)$ قرار دارد.

در این تحقیق برای ترسیم نیم‌تغییرنما از نرم‌افزار GS^+ استفاده شد. برای رسم آن، فاصله یا h در محور افقی و مقدار γ در محور قائم آورده می‌شود. فاصله‌ای که طی آن

کند. و جمع احتمالات برای هر ردیف برابر با یک می‌باشد که می‌توان آن را به زبان ریاضی بصورت $\sum p_{ij} = 1$ نشان داد. زنجیره مارکوف مرتبه اول نیز بر اساس تعداد حالاتی که متغیر مورد نظر می‌توانند داشته باشد، تغییر می‌کند. ساده‌ترین نوع زنجیره مارکوف، زنجیره مارکوف مرتبه اول یک حالت است. در این حالت متغیر تصادفی ناپیوسته فقط دارای دو حالت وقوع و عدم وقوع می‌باشد. در این تحقیق پس از محاسبه مقادیر SPI وضعیت و کلاس‌های خشکسالی مطابق جدول طبقه‌بندی شاخص بارش استاندارد [۲۰] تعیین و پس از شمارش کلاس‌های خشکسالی و تعیین تعداد حالت‌هایی که کلاس‌های خشکسالی به یکدیگر تبدیل می‌شوند، ماتریس احتمال انتقال به دست آمد. در گام بعدی ماتریس احتمال انتقال بدست آمده آنقدر در خودش ضرب می‌شود تا درایه‌های هر سطر ماتریس با هم برابر شده و ماتریس احتمال ایستا به دست آید. در نهایت با استفاده از ماتریس احتمال ایستای به دست آمده، دوره بازگشت هر یک از کلاس‌های خشکسالی تعیین گردید.

وسعت خشکسالی

وسعت یا گستره رویدادهای خشکسالی همانند شدت و بزرگی آن متفاوت است که بسته به علت و یا علت‌های ایجاد خشکسالی، منطقه تحت پوشش آن نیز تغییر می‌کند [۲۳]. به طور کلی روش‌های مختلفی برای برآورد متغیرهایی که تغییرات زمانی و مکانی دارند، وجود دارد که تفاوت عمده آن‌ها مربوط به نحوه وزن‌دهی نقاط مشاهده شده در اطراف نقطه مجهول می‌باشد. برای پهنه‌بندی وسعت خشکسالی در این تحقیق چهار روش میانمایی به شرح ذیل مورد بررسی قرار گرفت:

روش‌های میان‌یابی

- روش کریجینگ (Kriging): این روش به عنوان روش رگرسیون حداقل مربعات شناخته شده که وابستگی مکانی بین مشاهدات را برآورد نموده و درشرایطی که

انعطاف بیشتری نسبت به روش IDW بوده و دارای پارامترهای تصمیم بیشتری است. شبکه‌های مورد استفاده در این روش شامل سه لایه؛ ورودی، پنهان و خروجی می‌باشند. توابع پایه شعاعی منظم به عنوان تابع تحریک نرون‌های لایه مخفی مورد استفاده قرار می‌گیرند. شبکه‌ها به گونه‌ای تنظیم شده‌اند که تبدیلات در واحدهای پنهان در حکم مجموعه‌ای از توابع به منظور نگاشت الگوهای ورودی به الگوهای خروجی انجام می‌گیرد [۱۰، ۱۷].

- روش تخمین گر موضعی (GPI): این روش یک مدل رگرسیونی چند متغیره بر اساس تمامی داده‌ها ایجاد و یک سطح تفهیمی ایجاد می‌کند. این روش مدلی را بر نقاط نمونه برداری برازش می‌کند که می‌تواند یک سطح چند ضلعی با توان یک، دو و یا چهار باشد. بهترین کاربرد این روش در سطوح با تغییرات ملایم و تدریجی است [۲].

- معیارهای ارزیابی روش‌های میان‌یابی:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (obs - pre)^2}{n}} \quad (12)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |obs - pre|}{n} \quad (13)$$

در روابط بالا n ، تعداد کل داده‌ها؛ obs و pre نیز به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده می‌باشند. جهت انتخاب بهترین روش نزدیک‌ترین مقادیر $RMSE$ و MAE به صفر انتخاب می‌شود. سپس در محیط نرم افزاری Arc GIS اقدام به ترسیم نقشه‌های وسعت خشکسالی در مقیاس‌های مورد مطالعه گردید.

۳. نتایج

شکل ۲، نوسانات خشکسالی در مقیاس‌های زمانی ۱-۳-۶-۹-۱۲-۲۴ و ۴۸ ماهه را نشان می‌دهد. شکل مذکور مبین این مطلب است که با افزایش مقیاس زمانی

نیم‌تغییرنا به حد ثابتی می‌رسد و به حالت افقی نزدیک می‌شود، شعاع تأثیر یا دامنه تغییرنا^۱ گفته می‌شود. مقدار نیم‌تغییرنا پس از آنکه به حد ثابتی رسیده به نام آستانه^۲ خوانده می‌شود. مقدار آستانه برابر واریانس کل تمام نمونه‌های است که در محاسبه تغییرنا به کار رفته‌اند. مقدار تغییرنا در مبدأ مختصات یعنی به ازای $h=0$ به نام اثر قطعه‌ای^۳ نامیده می‌شود. در این تحقیق از نیم‌تغییرنا برای میان‌یابی با مشتقات روش کریجینگ و همچنین محاسبه توزیع مکانی واریانس خطای برآورد روش کریجینگ استفاده شده است. همچنین به منظور ارزیابی ساختار مکانی داده‌ها می‌توان از نسبت اثر قطعه‌ای بر آستانه استفاده نمود. بدین صورت که چنانچه نسبت مذکور کمتر از ۰/۲۵، ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ و بزرگتر از ۰/۷۵ باشند به ترتیب نشان دهنده ساختار قوی، متوسط و ضعیف می‌باشند [۳۰].

- روش معین عکس فاصله (IDW): در این

روش برای هر یک از نقاط اندازه‌گیری بر اساس فاصله (بدون توجه به موقعیت آرایش نقاط)، بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول، اندازه‌گیری وزنی انجام می‌شود. به طوری که توان‌های بزرگتر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را کاهش داده و توان‌های کوچکتر وزن‌ها را به طور یکنواخت‌تری بین نقاط هم‌جوار توزیع می‌کند. مقدار عامل وزنی با استفاده از رابطه (۱۱) محاسبه می‌گردد.

در این رابطه؛ D_i ، فاصله بین نقطه برآوردشده و مقدار مشاهده شده در نقطه i ؛ α ، توان معادله و n ، تعداد نقاط مشاهده شده می‌باشند [۲۸].

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^n D_i^{-\alpha}} \quad (11)$$

- روش توابع شعاعی (RBF): این روش دارای

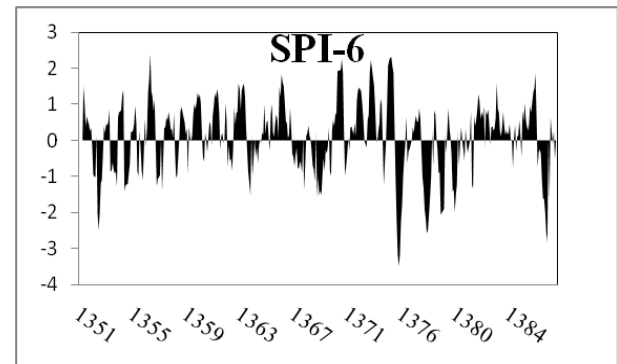
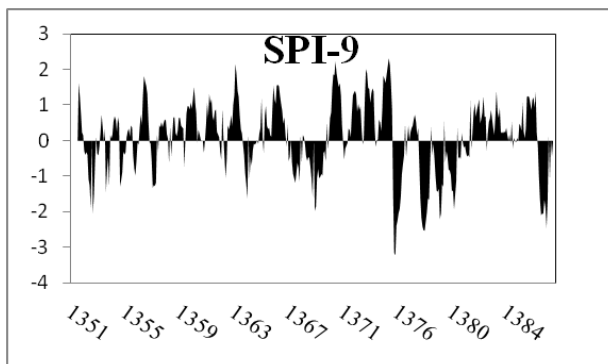
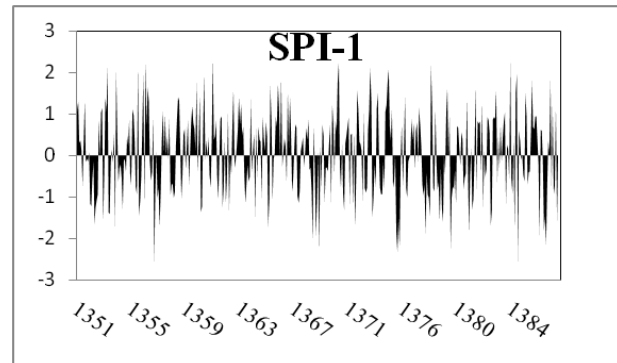
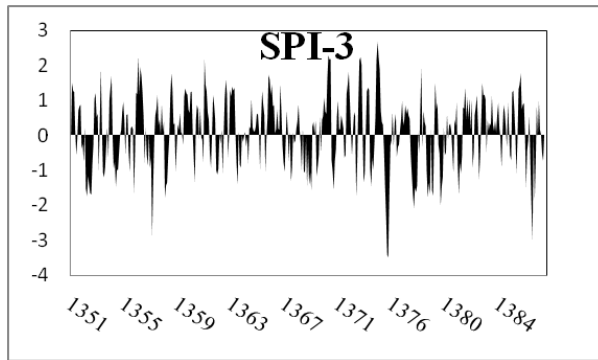
³ Nugget Effect

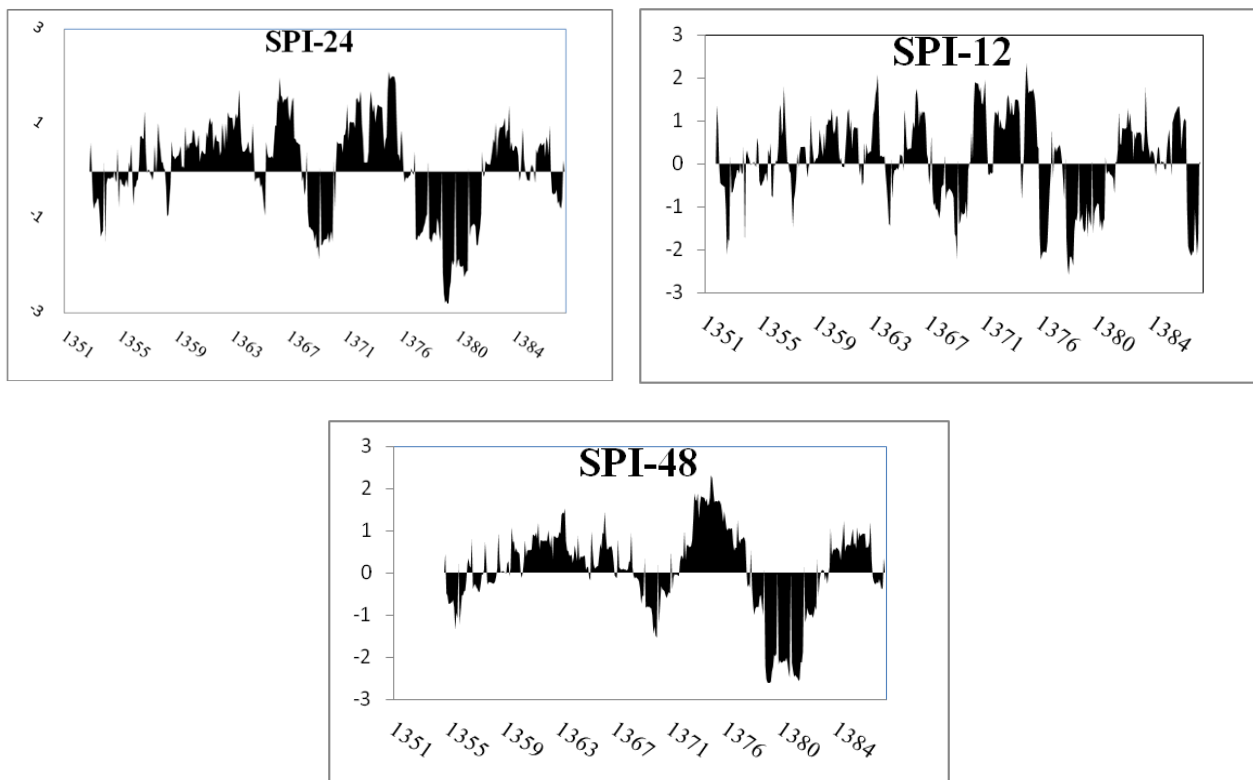
¹ Effective Range

² Sill

ماهه مشاهده شده است. در مقیاس زمانی ۳ ماهه، مقادیر مثبت و منفی دارای فراوانی بیشتری بوده و نسبت به مقیاس ۱ ماهه، دارای تداوم طولانی‌تری هستند. در مقیاس ۹ ماهه نیز وقوع خشکسالی طولانی‌مدتی را نسبت به مقیاس ۶ ماهه نشان می‌دهد. به طوری که از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۷۹، منطقه با روندی نزولی در شدت خشکسالی همراه بوده و همچنان دارای تداوم است. در این مقیاس، بزرگ‌ترین مقدار خشکسالی به ترتیب ۳/۱۷- و ۳/۲۳- هستند که به صورت دو ماه متوالی و در یک تداوم ۱۰ ماهه در سال ۱۳۷۵-۱۳۷۶ قرار گرفته است.

مورد مطالعه (از ۱ ماهه به ۴۸ ماهه)، مقادیر مثبت و منفی از نظر تعداد یا فراوانی کاهش یافته، ولی از نظر تداوم یا طول مدت خشکسالی افزایش می‌یابند. به طوری که با توجه به نمودار خشکسالی در مقیاس ۱ ماهه مشاهده می‌شود که مقادیر خشکسالی به کرات مثبت و منفی شده که نشان‌دهنده خشکسالی‌های با بزرگی بیشتر، ولی کوتاه‌مدت است. همچنین در محل وقوع خشکسالی نمودار به دفعات زیاد نزول کرده و به مقادیر بسیار پایینی رسیده است. به طوری که بزرگ‌ترین مقادیر خشکسالی، با مقادیر عددی ۲/۵۶- و ۲/۳۲-، به ترتیب در سال‌های ۸۴ و ۷۵ با تداوم‌های بسیار کوتاه ۱ ماهه و ۴





شکل ۲. نمودار خشکسالی‌ها و ترسالی‌های استان قزوین با استفاده از میانگین بارش وزنی حوضه در مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه (ستون‌های x و y به ترتیب نشان‌دهنده سال و مقادیر SPI) (۱،۳،۶،۹،۱۲،۲۴،۴۸ ماهه)

شدیدترین خشکسالی و تداوم آنها نیز افزایش می‌یابد. محاسبات مربوط به توزیع فراوانی می‌توانند در ارزیابی پتانسیل منطقه مورد مطالعه نسبت به شدت‌های مختلف خشکسالی کاربرد داشته باشند. مطابق جدول ۵، با افزایش مقیاس زمانی از فراوانی تداوم‌های کوتاه مدت کاسته شده، به طوری که در مقیاس ۴۸ ماهه، تنها یک تداوم یک ماهه مشاهده شده است و تداوم ۱۱ ماهه، ۵ بار در طول دوره آماری تکرار شده است. در مقیاس زمانی ۱ ماهه نیز، تداوم‌های ۱ و ۲ ماهه در مجموع ۶۶ بار تکرار شده و حداکثر طول تداوم مشاهده شده در این مقیاس نیز، ۵ ماهه است.

در مقیاس ۱۲ ماهه، از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۰ خشکسالی با شدت‌های تقریباً یکسان و به صورت سال به سال تکرار گردیده است. در مقیاس ۲۴ ماهه بر شدت و تداوم خشکسالی‌ها افزوده شده، به طوری که بزرگ‌ترین مقادیر خشکسالی $-2/86$ و $-2/84$ بوده که با تداومی ۱۱ ماهه در سال ۱۳۷۹ رخ داده است. در مقیاس ۴۸ ماهه از میزان فراوانی تداوم‌های کوتاه‌مدت کاسته شده، به طوری که تداوم‌های ۱۱ ماهه، با شدت‌های تقریباً یکسان، بیشترین فراوانی تداوم را به خود اختصاص داده‌اند. براساس جدول ۴، بزرگ‌ترین مجموع در هر مقیاس زمانی مشخص گردیده است که با افزایش مقیاس زمانی،

جدول ۴. مقادیر شدیدترین خشکسالی در هر مقیاس زمانی

تداوم	پایان		شروع		بیشترین شدت	مقیاس زمانی
	ماه	سال	ماه	سال		
۴	۱۱	۱۳۷۵	۸	۱۳۷۵	-۷/۹۱	۱
۷	۱۰	۱۳۵۲	۴	۱۳۵۲	-۱۰/۱۲	۳
۹	۴	۱۳۷۶	۸	۱۳۷۵	-۱۸/۶۲	۶
۱۱	۸	۱۳۷۸	۱۰	۱۳۷۷	-۲۰/۱۸	۹
۱۱	۱۱	۱۳۷۸	۱	۱۳۷۸	-۲۰/۸۹	۱۲
۱۱	۱۱	۱۳۷۹	۱	۱۳۷۹	-۲۱/۸۳	۲۴
۱۱	۱۱	۱۳۷۹	۱۱	۱۳۷۹	-۲۵/۵	۴۸

جدول ۵. فراوانی تداوم‌های ۱ ماهه تا ۱۱ ماهه در مقیاس‌های زمانی مورد بررسی طی دوره آماری

مقیاس زمانی	تداوم (ماه)										
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
۱	۴۲	۲۴	۸	۶	۱	-	-	-	-	-	-
۳	۲۵	۱۹	۵	۶	۲	۱	۲	-	-	-	-
۶	۱۴	۱۰	۴	۱	۳	۳	۲	-	۳	-	-
۹	۱۵	۲	۶	-	۱	-	-	۳	۲	۱	۱
۱۲	۶	۲	۱	۲	-	-	۱	-	۲	۵	-
۲۴	۴	۱	۳	۱	-	-	-	-	۱	۷	-
۴۸	۱	۱	۲	۱	-	-	-	-	۲	۵	-

وقوع خشکسالی در تمامی ایستگاه‌ها تقریباً صفر می‌باشد. در جدول ۷، دوره بازگشت در هر مقیاس مورد مقایسه قرار گرفته است که مطابق آن مشاهده می‌شود که با افزایش مقیاس زمانی مورد مطالعه در دوره بازگشت، تغییر محسوسی در مقادیر خشکسالی مشاهده نشده به طوریکه براساس شکل ۳، مقادیر خشکسالی در هر دوره بازگشت، دارای شیب یکسانی است.

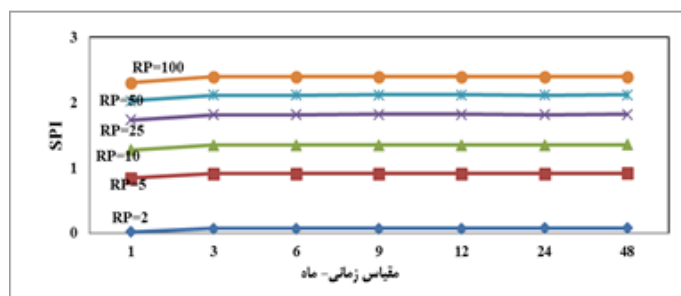
در جدول ۶، مقادیر دوره بازگشت‌های ۲-۵-۱۰-۲۰- در ۲۵-۵۰ و ۱۰۰ ساله در هر ایستگاه نشان داده شده و بیان می‌کند که در کلیه ایستگاه‌ها، مقادیر خشکسالی در هر دوره بازگشت تقریباً یکسان بوده و با افزایش مقادیر دوره بازگشت، مقادیر خشکسالی افزایش می‌یابند. براساس رابطه ۳، هر چه اعداد جدول بزرگ‌تر باشند، احتمال وقوع آنها کمتر است. به طوری که در دوره بازگشت ۲ ساله، احتمال

جدول ۶. دوره‌های بازگشت شاخص بارش استاندارد ایستگاه‌های بارانسنجی استان قزوین

دوره بازگشت							ایستگاه	دوره بازگشت							ایستگاه
۱۰۰	۵۰	۲۵	۲۰	۱۰	۵	۲		۱۰۰	۵۰	۲۵	۲۰	۱۰	۵	۲	
۲/۳۶	۲/۰۸	۱/۷۷	۱/۶۷	۱/۳۰	۰/۸۵	۰	دیال‌آباد	۲/۳۵	۲/۰۸	۱/۷۷	۱/۶۶	۱/۳۰	۰/۸۵	۰	آبگرم
۲/۳۵	۲/۰۸	۱/۷۷	۱/۶۶	۱/۳۰	۰/۸۵	۰	اسماعیل‌آباد	۲/۳۵	۲/۰۸	۱/۷۷	۱/۶۶	۱/۲۹	۰/۸۵	۰	رحیم‌آباد
۲/۳۵	۲/۰۸	۱/۷۷	۱/۶۶	۱/۲۹	۰/۸۵	۰	چلمبر	۲/۳۶	۲/۰۸	۱/۷۷	۱/۶۶	۱/۳۰	۰/۸۵	۰	نصرت‌آباد
۲/۳۶	۲/۰۸	۱/۷۷	۱/۶۷	۱/۳۰	۰/۸۵	۰	محمدآباد	۲/۳۶	۲/۰۸	۱/۷۷	۱/۶۶	۱/۳۰	۰/۸۵	۰	بهبخت‌آباد
۲/۳۵	۲/۰۸	۱/۷۷	۱/۶۶	۱/۳۰	۰/۸۵	۰	میزوج	۲/۳۵	۲/۰۸	۱/۷۷	۱/۶۶	۱/۳۰	۰/۸۵	۰	زیاران
۲/۳۶	۲/۰۸	۱/۷۷	۱/۶۷	۱/۳۰	۰/۸۵	۰	بیدستان	۲/۳۵	۲/۰۸	۱/۷۷	۱/۶۶	۱/۲۹	۰/۸۵	۰	دشتک
۲/۳۵	۲/۰۸	۱/۷۷	۱/۶۶	۱/۳۰	۰/۸۵	۰	محمودآباد	۲/۳۵	۲/۰۸	۱/۷۷	۱/۶۶	۱/۲۹	۰/۸۵	۰	گلچشمه
۲/۳۶	۲/۰۸	۱/۷۷	۱/۶۷	۱/۳۰	۰/۸۵	۰	کبریت‌میان	۲/۳۶	۲/۰۸	۱/۷۷	۱/۶۷	۱/۳۰	۰/۸۵	۰	قوزلو
۲/۳۶	۲/۰۸	۱/۷۷	۱/۶۷	۱/۳۰	۰/۸۵	۰	دهاروان	۲/۳۶	۲/۰۸	۱/۷۷	۱/۶۷	۱/۳۰	۰/۸۵	۰	ظیاء‌آباد

جدول ۷. مقادیر دوره بازگشت خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف

مقیاس زمانی							دوره بازگشت (سال)
۴۸	۲۴	۱۲	۹	۶	۳	۱	
۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۱	۲
۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۸۴	۵
۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۴	۱/۲۷	۱۰
۱/۸۲	۱/۸۱	۱/۸۲	۱/۸۲	۱/۸۱	۱/۸۱	۱/۷۳	۲۵
۲/۱۲	۲/۱۱	۲/۱۲	۲/۱۲	۲/۱۱	۲/۱۱	۲/۰۲	۵۰



شکل ۳. نمودار دوره بازگشت خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف

احتمال انتقال ایستگاه نمونه (آبگرم) می‌باشد. با توجه به جداول مذکور ملاحظه می‌شود بیشترین حالت‌های انتقال مربوط به حالت تقریباً نرمال می‌باشد یعنی در هر سه نوع مقیاس زمانی از حالت‌های دیگر انتقال به حالت تقریباً نرمال داشته و از حالت تقریباً نرمال به حالت‌های دیگر وجود داشته است در این بین انتقال حالت تقریباً نرمال به تقریباً نرمال بیشتر بوده است یعنی اگر در گام زمانی

همچنین به منظور بررسی احتمال وقوع هر یک از طبقات خشکسالی در کلیه‌ی مقیاس‌های نمونه، کوتاه مدت (۱ ماهه)، میان مدت (۱۲ ماهه) و بلند مدت (۴۸ ماهه)، از روش ریاضی زنجیره مارکوف استفاده شد.

نتایج مدل زنجیره مارکوف:

جداول (۸)، (۹) و (۱۰) به عنوان مثال، ماتریس

وقوع کاهش می‌یابد. در تمام مقیاس‌های زمانی مقادیر دوره بازگشت‌های بدست آمده تقریباً مشابه به همدیگر می‌باشند. یعنی اگر به عنوان مثال در ایستگاه شماره ۲ دوره بازگشت حالت نرمال برای مقیاس زمانی یک ماهه حدود ۲/۵ باشد برای سایر مقیاس‌های زمانی نیز این دوره بازگشت در این حدود می‌باشد.

نتایج وسعت خشکسالی

در این مرحله، ابتدا با استفاده از مقادیر شاخص بارش استاندارد و مختصات ایستگاه‌ها در محیط نرم افزار GS^+ ، مقادیر واریوگرام در هر مقیاس بدست آمد. جدول (۱۴)، مناسب‌ترین مدل واریوگرام همراه با پارامترهای مدل برای مقادیر بارش استاندارد در هر مقیاس را نشان می‌دهد. همچنین جدول (۱۵) نتایج نهایی ارزیابی روش‌های مختلف میان‌یابی شامل مقادیر ریشه دوم میانگین مربعات خطا ($RMSE$) و میانگین خطای مطلق (MAE) را نشان می‌دهد. طبق جدول (۱۴)، مدل گوسی^۱ مناسب‌ترین مدل برازش واریوگرام در مقیاس‌های زمانی ۱، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه و مدل نمایی^۲ نیز، مناسب‌ترین مدل در مقیاس‌های زمانی ۳ و ۴۸ ماهه می‌باشد. طبق جدول (۱۴)، ساختار مکانی داده‌ها در مقیاس زمانی ۱ ماهه، قوی و در سایر مقیاس‌ها متوسط می‌باشد.

فعلی در وضعیت نرمال قرار داشته باشیم احتمال اینکه در گام زمانی بعد نیز وضعیت تقریباً نرمال باشد نسبت به حالت‌های دیگر بیشتر است. در کل، در تمام مقیاس‌های زمانی حالت تقریباً نرمال غالب بوده است. از سوی دیگر تمام احتمالات انتقال در اطراف قطر اصلی می‌باشد. این بدان معناست که هر وضعیت خشکسالی بیشتر تمایل داشته است به وضعیت خشکسالی نزدیک به خودش انتقال پیدا کند تا وضعیت‌هایی که از حالت مورد نظر فاصله زیادی دارند. به عنوان مثال اگر وضعیت خشکسالی خشک ملایم باشد ما انتظار داریم که وضعیت خشکسالی گام زمانی بعد تقریباً نرمال، خشک ملایم، مرطوب ملایم و خشک متوسط باشد و نمی‌توان انتظار داشت که از خشک ملایم به یک باره انتقال به بسیار بسیار خشک و بسیار بسیار مرطوب را داشته باشیم.

جداول (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) مقادیر دوره بازگشت هر یک از حالت‌ها در ۳ نوع مقیاس زمانی را نشان می‌دهند که مقیاس‌های ۱، ۱۲ و ۲۴ ماهه به ترتیب به عنوان نمونه مقیاس‌های کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت مورد بررسی قرار گرفته‌اند. طبق جداول، ملاحظه می‌شود کمترین دوره بازگشت مربوط به حالت تقریباً نرمال می‌باشد. پس از آن کمترین دوره بازگشت مربوط به مرطوب ملایم و خشک ملایم می‌باشد. با توجه به جداول مذکور می‌توان مشاهده کرد که هر چه از حالت نرمال دور شویم دوره بازگشت افزایش پیدا کرده و در عوض احتمال

^۱ این مدل در نزدیک مبدا دارای رفتار سهمی‌گون می‌باشد: Gaussian Model

^۲ این مدل از مبدا مختصات شروع شده و در نزدیکی آن رفتار خطی دارد: Exponential Model

جدول ۸. ماتریس انتقال ایستگاه آبگرم در مقیاس کوتاه مدت (۱ ماهه)

بسیار بسیار خشک	بسیار خشک	خشک متوسط	خشک ملایم	تقریبا نرمال	مرطوب ملایم	مرطوب متوسط	بسیار مرطوب	بسیار مرطوب	
.	.	.	.	۰/۵	۰/۳۳	۰/۱۷	.	.	بسیار بسیار مرطوب
.	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۵۴	۰/۱۳	.	۰/۱۳	.	بسیار مرطوب
.	۰/۰۵	.	۰/۰۷	۰/۴۳	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۱۲	.	مرطوب متوسط
.	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۴۶	۰/۲۱	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۰۳	مرطوب ملایم
۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۳۸	۰/۲۷	۰/۱	۰/۰۴	۰/۰۱	تقریبا نرمال
۰/۰۴	.	۰/۰۴	۰/۲۴	۰/۳۷	۰/۱۷	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۰۲	خشک ملایم
.	۰/۱۶	۰/۰۵	۰/۲۶	۰/۳۷	۰/۱۶	.	.	.	خشک متوسط
.	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۳۳	۰/۲	.	۰/۱۳	.	بسیار خشک
.	.	.	۰/۳۳	۰/۳۳	.	.	۰/۳۳	.	بسیار بسیار خشک

جدول ۹. ماتریس انتقال ایستگاه آبگرم در مقیاس میان مدت (۱۲ ماهه)

بسیار بسیار خشک	بسیار خشک	خشک متوسط	خشک ملایم	تقریبا نرمال	مرطوب ملایم	مرطوب متوسط	بسیار مرطوب	بسیار مرطوب	
.	.	.	.	.	.	۰/۲۵	.	۰/۷۵	بسیار بسیار مرطوب
.	.	.	.	.	۰/۰۶	۰/۴۴	۰/۳۹	۰/۱۱	بسیار مرطوب
.	.	.	.	۰/۰۴	۰/۳۵	۰/۴۴	۰/۱۷	.	مرطوب متوسط
.	.	.	۰/۰۲	۰/۲	۰/۶	۰/۱۴	۰/۰۴	.	مرطوب ملایم
۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۷۴	۰/۰۹	۰/۰۲	.	.	تقریبا نرمال
۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۱۲	۰/۴۸	۰/۳۳	۰/۰۲	.	.	.	خشک ملایم
.	۰/۰۸	۰/۴۶	۰/۳۱	۰/۱۵	.	.	.	.	خشک متوسط
۰/۴۳	۰/۴۳	.	۰/۰۷	۰/۰۷	.	.	.	.	بسیار خشک
۰/۵۶	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۶	۰/۱۷	.	.	.	.	بسیار بسیار خشک

جدول ۱۰. ماتریس انتقال ایستگاه آبگرم در مقیاس بلند مدت (۴۸ ماهه)

بسیار بسیار خشک	بسیار خشک	خشک متوسط	خشک ملایم	تقریبا نرمال	مرطوب ملایم	مرطوب متوسط	بسیار مرطوب	بسیار مرطوب	
.	.	.	.	.	.	۰/۳۳	۰/۱۷	۰/۵	بسیار بسیار مرطوب
.	.	.	.	.	.	۰/۱۴	۰/۷۶	۰/۱	بسیار مرطوب
.	.	.	.	۰/۰۲	۰/۲۶	۰/۵۹	۰/۱۳	.	مرطوب متوسط
.	.	.	.	۰/۳۲	۰/۴۳	۰/۲۵	.	.	مرطوب ملایم
۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۸۱	۰/۰۷	۰/۰۱	.	.	تقریبا نرمال
.	.	۰/۰۷	۰/۶۷	۰/۲۲	۰/۰۴	.	.	.	خشک ملایم
.	۰/۰۸	۰/۶۳	۰/۱۷	۰/۱۳	.	.	.	.	خشک متوسط
.	۰/۷۹	۰/۱۱	.	۰/۱۱	.	.	.	.	بسیار خشک
۰/۸۸	۰/۱	.	.	.	.	.	.	.	بسیار بسیار خشک

جدول ۱۱. دوره بازگشت هر یک از حالت‌ها در مقیاس زمانی کوتاه مدت (۱ماهه) در تعدادی از ایستگاه‌ها

نام ایستگاه	بسیار بسیار مرطوب	بسیار مرطوب	تقریباً نرمال	خشک ملایم	خشک متوسط	بسیار خشک	بسیار بسیار خشک
آبگرم	۷۴/۰۷	۱۸/۴۸	۱۰/۵۸	۴/۵۳	۲/۴۵	۸/۱۸	۲۲/۱۲
رحیم‌آباد	۴۴/۲۵	۱۸/۴۸	۱۱/۳۹	۴/۹۳	۲/۵۵	۶/۴۴	۲۲/۱۷
نصرت‌آباد	۴۰/۰۰	۲۷/۷۰	۱۱/۶۷	۳/۳۸	۲/۸۴	۹/۸۳	۱۵/۸۵
بهبخت‌آباد	۴۹/۲۶	۱۷/۰۶	۱۳/۸۵	۳/۵۲	۲/۸۶	۱۰/۵۳	۱۳/۰۰
زیاران	۴۰/۳۲	۲۹/۵۹	۹/۴۴	۶/۳۴	۲/۱۰	۱۰/۵۳	۱۶/۳۹
دشتک	۴۰/۱۶	۲۲/۱۲	۹/۰۴	۷/۶۴	۲/۲۲	۷/۶۲	۱۴/۲۲
گلچشمه	۲۹/۵۰	۴۰/۱۶	۱۰/۵۵	۶/۲۴	۲/۰۹	۸/۸۷	۱۶/۴۲
قوزلو	۵۵/۲۵	۲۷/۶۲	۸/۸۷	۴/۷۷	۲/۳۳	۱۰/۵۲	۲۴/۶۹
ظیاء‌آباد	۶۳/۶۹	۲۲/۱۷	۸/۷۰	۳/۶۴	۲/۸۲	۱۱/۳۰	۱۳/۰۲
دیال‌آباد	۶۳/۲۹	۱۸/۴۲	۱۰/۳۰	۳/۵۲	۲/۹۱	۱۱/۰۶	۱۴/۷۵
اسماعیل‌آباد	۴۴/۴۴	۲۶/۱۱	۹/۶۲	۳/۵۸	۳/۰۸	۷/۶۲	۱۷/۰۴
چلمبر	۵۵/۵۶	۲۱/۱۰	۱۰/۸۱	۳/۱۰	۳/۰۴	۱۱/۳۶	۱۶/۳۱
محمدآباد	۴۴/۶۴	۲۶/۲۵	۱۰/۱۰	۳/۸۳	۲/۷۲	۹/۵۸	۱۳/۷۶
میزوج	۴۰/۱۶	۲۱/۱۰	۱۱/۱۰	۴/۶۲	۲/۵۶	۷/۷۶	۲۱/۱۴
بیدستان	۴۹/۲۶	۲۱/۰۵	۱۱/۱۰	۳/۵۸	۲/۷۳	۱۱/۹۲	۱۵/۲۲
محمودآباد	۶۳/۲۹	۲۱/۱۴	۹/۴۳	۴/۸۲	۲/۳۳	۱۰/۰۶	۱۶/۹۶
کبریت‌میان	۳۴/۲۵	۲۴/۷۵	۱۲/۰۰	۶/۰۱	۲/۱۳	۹/۸۱	۱۴/۶۲
دهاروان	۴۹/۲۶	۱۹/۲۷	۱۴/۲۷	۴/۳۰	۲/۴۲	۸/۹۰	۲۲/۳۱

جدول ۱۲. دوره بازگشت هر یک از حالت‌ها در مقیاس زمانی میان مدت (۱۲ماهه) در تعدادی از ایستگاه‌ها

نام ایستگاه	بسیار بسیار مرطوب	بسیار مرطوب	تقریباً نرمال	خشک ملایم	خشک متوسط	بسیار خشک	بسیار بسیار خشک
آبگرم	۵۶/۸۲	۲۵/۳۲	۹/۶۰	۵/۲۵	۲/۵۷	۸/۱۵	۱۶/۲۶
رحیم‌آباد	۳۱/۵۵	۲۹/۵۰	۸/۹۹	۷/۱۵	۲/۷۱	۶/۹۰	۱۱/۲۷
نصرت‌آباد	۴۳/۸۶	۱۶/۸۹	۹/۷۶	۶/۳۳	۲/۹۸	۶/۵۹	۹/۳۱
بهبخت‌آباد	۵۰/۰۰	۲۵/۷۱	۸/۹۲	۴/۹۲	۲/۴۹	۷/۷۲	۲۲/۳۷
زیاران	۱۰۹/۸۹	۱۶/۸۴	۱۲/۱۸	۴/۸۰	۲/۶۰	۱۰/۹۸	۱۳/۴۲
دشتک	۲۳/۱۵	۱۲/۹۴	۱۶/۸۹	۸/۵۱	۲/۵۵	۷/۱۲	۷/۳۷
گلچشمه	۲۶/۹۵	۲۶/۶۰	۱۴/۳۷	۷/۰۱	۲/۳۸	۶/۱	۱۵/۸۵
قوزلو	۵۵/۸۷	۳۴/۳۶	۱۲/۰۵	۵/۰۱	۲/۱۸	۱۳/۷۷	۱۱/۲۴
ظیاء‌آباد	۱۴۴/۹۳	۱۴/۱۴	۹/۷۲	۵/۹۸	۲/۶۹	۹/۹۷	۹/۳۳
دیال‌آباد	۷۵/۷۶	۳۰/۲۱	۹/۳۴	۴/۹۷	۲/۵۷	۸/۵۰	۲۰/۲۴
اسماعیل‌آباد	۴۶/۰۸	۲۷/۰۳	۸/۷۸	۵/۹۹	۲/۵۹	۸۴۹	۱۱/۱۲
چلمبر	۱۰۷/۵۳	۱۶/۰۰	۱۰/۰۵	۵/۶۹	۲/۷۹	۵/۰۲	۱۸/۸۰
محمدآباد	۱۵۳/۸۵	۲۷/۱۰	۱۲/۰۶	۵/۰۸	۲/۲۰	۱۱/۳۹	۲۰/۱۲
میزوج	۲۵/۶۴	۲۹/۱۵	۹/۲۹	۷/۵۸	۲/۳۸	۷/۹۶	۱۴/۸۴
بیدستان	۱۱۴/۹۴	۲۳/۱۵	۹/۵۱	۵/۳۸	۲/۷۰	۷/۱۰	۱۳/۷۲
محمودآباد	۷۲/۹۹	۲۴/۲۷	۸/۴۲	۵/۴۱	۲/۶۸	۸/۰۸	۱۲/۲۱
کبریت‌میان	۱۵۱/۵۲	۳۸/۹۱	۹/۴۱	۵/۹۸	۲/۰۱	۱۷/۰۴	۱۵/۷۷
دهاروان	۴۰/۳۲	۵۵/۲۵	۱۴/۷۱	۴/۸۹	۲/۱۳	۸/۳۷	۲۲/۴۷

جدول ۱۳. دوره بازگشت هر یک از حالت‌ها در مقیاس زمانی بلند مدت (۴۸ ماهه) در تعدادی از ایستگاه‌ها

نام ایستگاه	بسیار مرطوب	بسیار مرطوب	بسیار مرطوب	مرطوب متوسط	مرطوب ملایم	تقریبا نرمال	خشک ملایم	خشک متوسط	بسیار خشک	بسیار خشک
آبگرم	۶۵/۷۹	۱۳/۶۶	۸/۶۱	۹/۰۰	۲/۴۰	۷/۲۰	۱۶/۵۰	۲۰/۸۳	۴۹/۵۰	
رحیم‌آباد	۱۹۶/۰۸	۱۸/۸۷	۷/۹۲	۵/۲۸	۲/۷۷	۱۴/۱۴	۱۱/۰۰	۱۰/۱۵	۱۹۶/۰۸	
نصرت‌آباد	۴۰۰/۰۰	۱۵/۸۵	۷/۷۶	۴/۶۶	۲/۲۷	۹/۹۰	۸/۸۰	۲۳/۳۱	۳۵/۹۷	
بهجت‌آباد	۵۲۶/۳۲	۱۲/۵۵	۱۰/۴۵	۱۴/۳۷	۲/۰۰	۸/۰۵	۱۷/۹۹	۳۴/۳۶	۲۲/۱۷	
زیاران	۴۰۰/۰۰	۲۸/۲۵	۹/۴۳	۵/۳۵	۲/۱۹	۲۳/۳۱	۱۲/۷۷	۴۹/۵۰	۱۴/۱۴	
دشتک	۳۸/۳۱	۱۱/۹۹	۱۱/۳۰	۷/۱۵	۲/۷۲	۹/۱۷	۶/۸۴	۲۸/۸۲	۲۰۰/۰۰	
گلچشمه	۱۳/۹۱	۴۵/۲۵	۱۰/۰۴	۷/۱۵	۲/۲۰	۴/۵۹	۷/۹۲	۱۳۵/۱۴	۴۰۰/۰۰	
قوزلو	۷۹/۳۷	۱۸/۸۷	۸/۶۱	۵/۵۰	۲/۸۹	۱۰/۷۱	۸/۰۸	۱۴/۶۶	۱۹۶/۰۸	
ظیاء‌آباد	۷۹/۳۷	۱۸/۸۷	۸/۶۱	۵/۵۰	۲/۸۹	۱۰/۷۱	۸/۰۸	۱۴/۶۶	۱۹۶/۰۸	
دیال‌آباد	۱۳۱/۵۸	۱۴/۶۶	۱۰/۴۲	۵/۵۰	۲/۷۹	۷/۹۲	۱۳/۱۹	۱۷/۹۹	۳۳/۰۰	
اسماعیل‌آباد	۶۵/۷۹	۱۳/۱۹	۱۷/۹۹	۵/۳۵	۲/۴۰	۱۰/۴۲	۱۶/۵۰	۲۱/۹۸	۲۰/۸۳	
چلمبر	۱۹۲/۳۱	۱۰/۶۵	۹/۸۳	۶/۸۵	۲/۶۶	۸/۵۱	۹/۵۶	۳۳/۵۶	۴۰/۳۲	
محمدآباد	۳۹/۵۳	۲۵/۵۸	۹/۶۶	۶/۳۴	۲/۳۵	۸/۰۳	۲۵/۷۱	۱۸/۳۵	۳۲/۱۵	
میزوج	۲۵/۱۹	۲۵/۱۹	۱۶/۳۷	۵/۵۱	۲/۲۰	۹/۲۶	۳۰/۶۷	۸۰/۰۰	۱۴/۳۱	
بیدستان	۱۳۶/۹۹	۳۱/۷۵	۶/۹۹	۵/۲۴	۲/۶۵	۱۲/۹۲	۱۲/۵۰	۱۷/۶۱	۲۷/۷۰	
محمودآباد	۹۶/۱۵	۲۲/۷۳	۵/۷۳	۶/۸۲	۳/۲۳	۷/۹۱	۸/۵۸	۱۴/۹۵	۲۰۰/۰۰	
کبریت‌میان	۱۴۴/۹۳	۲۴/۰۴	۱۱/۶۸	۴/۱۳	۲/۹۱	۱۰/۴۵	۱۱/۳۶	۱۹/۳۴	۲۲/۷۳	
دهاروان	۲۵/۸۵	۱۲/۵۲	۲۲/۹۴	۸/۱۰	۲/۳۳	۷/۱۰	۱۰/۸۲	۲۲/۸۸	۱۲۹/۸۷	

جدول ۱۴. بهترین مدل برازش داده شده به واریوگرام و عامل‌های مربوط به آن.

مقیاس زمانی (ماهه)	نام مدل	اثر قطعه‌ای (C ₀)	آستانه واریوگرام (C ₀ +C)	(C ₀ /C ₀ +C)
۱	مدل گوسی	۰/۱۱۵	۰/۶۹۸	۰/۱۶۴
۳	مدل نمایی	۰/۱۵۴	۰/۳۰۹	۰/۴۹۸
۶	مدل گوسی	۰/۲۴۱	۰/۴۸۳	۰/۴۹۸
۹	مدل گوسی	۰/۲۱۸	۰/۴۳۷	۰/۴۹۸
۱۲	مدل گوسی	۰/۱۵۲	۰/۳۰۶	۰/۴۹۶
۲۴	مدل گوسی	۰/۱۴۶	۰/۲۹۴	۰/۴۹۶
۴۸	مدل نمایی	۰/۱۲۳	۰/۲۴۷	۰/۴۹۷

همچنین طبق جدول (۱۵)، روش کریجینگ، در مقیاس‌های زمانی ۱ ماهه، (RMSE=۰/۳۶) و ۳ ماهه (MAE=۰/۲۸ و RMSE=۰/۴۴)، ۶ ماهه (MAE=۰/۴۳ و RMSE=۰/۵۲) و ۱۲ ماهه (MAE=۰/۵۶ و RMSE=۰/۶۸) و همچنین روش توابع پایه شعاعی، در مقیاس‌های زمانی ۹ ماهه (RMSE=۰/۵۴) و ۴۸ ماهه (MAE=۰/۴۷ و RMSE=۰/۵۱) مطلق ۰/۲۸ می‌باشد.

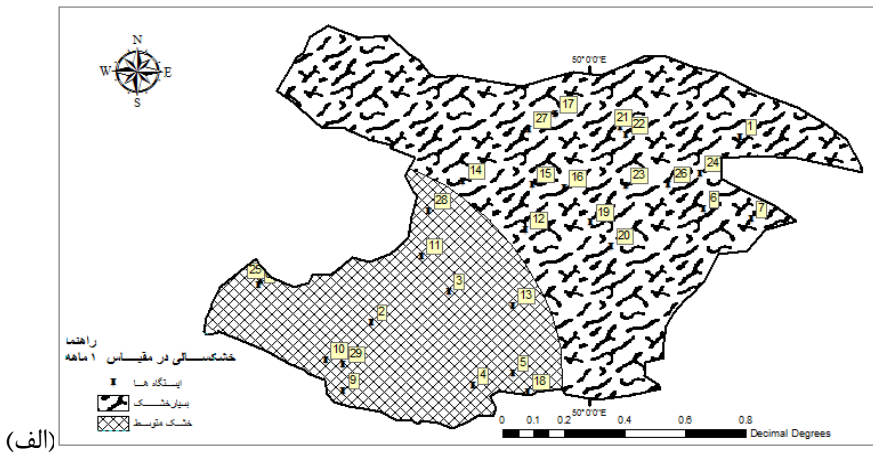
و روش فا صله وزنی معکوس با توان دو نیز در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه (MAE=۰/۴۲ و RMSE=۰/۵۸) به عنوان بهترین روش‌های میان یابی جهت تهیه نقشه‌های وسعت خشکسالی در سال آبی ۱۳۸۶-۱۳۸۷ و در مقیاس‌های مذکور انتخاب گردید. در مجموع بهترین روش میان‌یابی در مقیاس زمانی ۱ ماهه و با میانگین خطای

جدول ۱۵. نتایج خطای روش‌های میان‌یابی

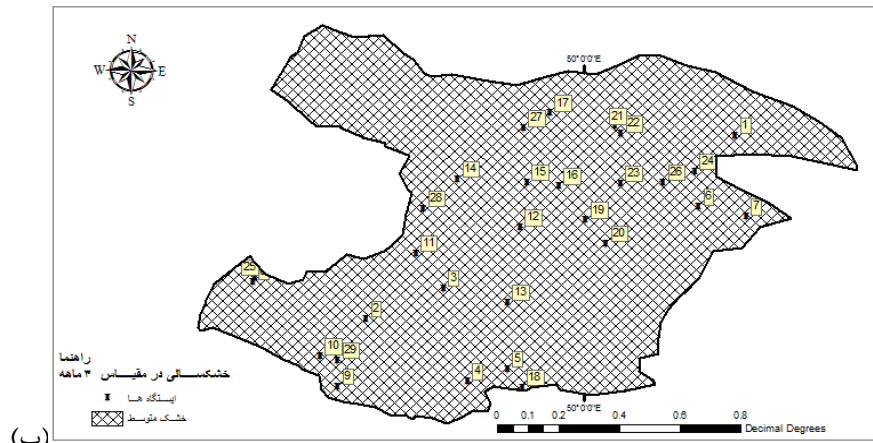
MAE	RMSE	روش میان‌یابی	مقیاس زمانی	MAE	RMSE	روش میان‌یابی	مقیاس زمانی
۰/۶۱	۰/۷۳	IDW		۰/۳۴	۰/۴۳	IDW	
۰/۵۶	۰/۶۸	Kriging		۰/۲۸	۰/۳۶	Kriging	
۰/۵۷	۰/۶۹	RBF	۱۲ ماهه	۰/۲۹	۰/۳۷	RBF	۱ ماهه
۰/۵۷	۰/۶۹	GPI		۰/۳	۰/۳۷	GPI	
۰/۴۲	۰/۵۸	IDW		۰/۴۱	۰/۵۱	IDW	
۰/۴۹	۰/۶۳	Kriging		۰/۳۲	۰/۴۴	Kriging	۳ ماهه
۰/۴۴	۰/۵۹	RBF	۲۴ ماهه	۰/۳۵	۰/۴۵	RBF	
۰/۵۳	۰/۶۷	GPI		۰/۳۵	۰/۴۶	GPI	
۰/۴۸	۰/۵۹	IDW		۰/۴۷	۰/۶۱	IDW	
۰/۴۸	۰/۵۹	Kriging		۰/۴۳	۰/۵۲	Kriging	۶ ماهه
۰/۳۷	۰/۵۱	RBF	۴۸ ماهه	۰/۴۳	۰/۵۳	RBF	
۰/۵۲	۰/۶۳	GPI		۰/۴۵	۰/۵۴	GPI	
				۰/۵۱	۰/۶۲	IDW	
				۰/۴۷	۰/۵۷	Kriging	۹ ماهه
				۰/۴۷	۰/۵۴	RBF	
				۰/۵۱	۰/۶۱	GPI	

خشک می‌باشد. در مقیاس ۹ ماهه شکل (ت) اقلیم خشک بخش اعظم استان (۵۴/۱۴٪) را خصوصاً در نواحی مرکزی نشان می‌دهد. مطابق شکل (ث)، در مقیاس ۱۲ ماهه تمامی سطح منطقه را اقلیم تقریباً نرمال در (ج)، لکه‌هایی از اقلیم مرطوب ملایم نیز در منطقه مشاهده می‌شود. در مقیاس ۴۸ ماهه تقریباً تمامی طبقات خشکسالی مشاهده شده به طوریکه هرچه به سمت اطراف منطقه پیش می‌رویم از شدت خشکسالی کاسته شده و اقلیم به سمت مرطوب متوسط و حتی بسیار مرطوب پیش می‌رود.

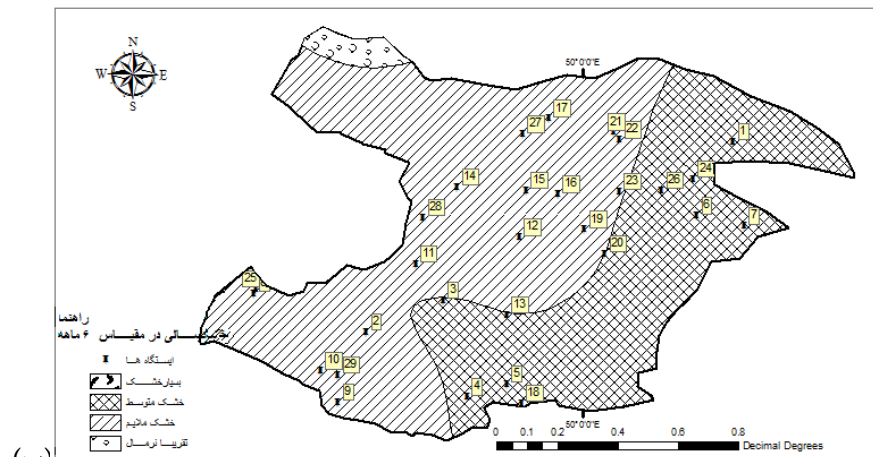
شکل‌های (الف) تا (چ) نقشه‌های وسعت خشکسالی استان قزوین را نشان می‌دهد. مطابق شکل (الف) در مقیاس یک ماهه، خشکسالی از شمال به جنوب کاسته شده به طوریکه اقلیم بسیار خشک (۶۸/۵٪) نواحی شمالی و شرقی استان را در بر گرفته است. شکل (ب)، وسعت خشکسالی در مقیاس ۳ ماهه می‌باشد که در آن تمامی استان با اقلیم خشک متوسط در بر گرفته شده است. طبق شکل (پ) در مقیاس ۶ ماهه، نواحی شرقی دارای اقلیم خشک متوسط (۴۷/۴۸٪) بوده که با پیش‌روی به نواحی مرکزی، غربی و شمالی از شدت خشکسالی کاسته شده بطوریکه (۵۰/۴۱٪) از استان اقلیم



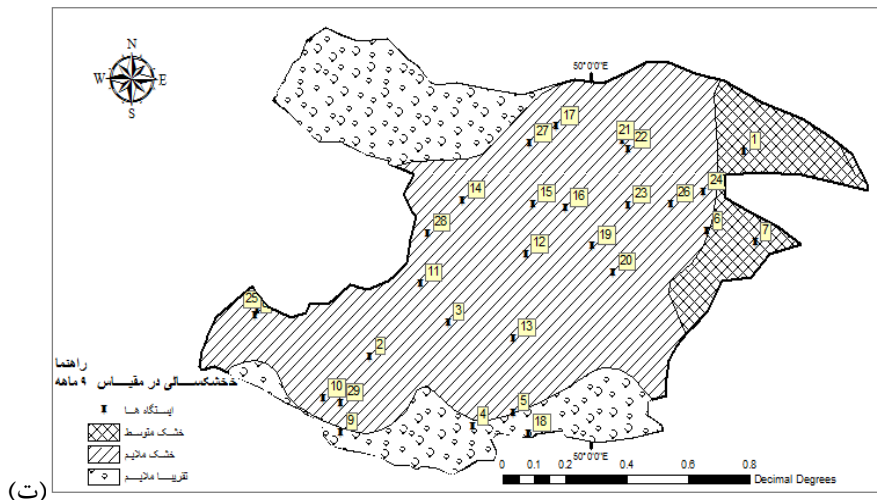
(الف)



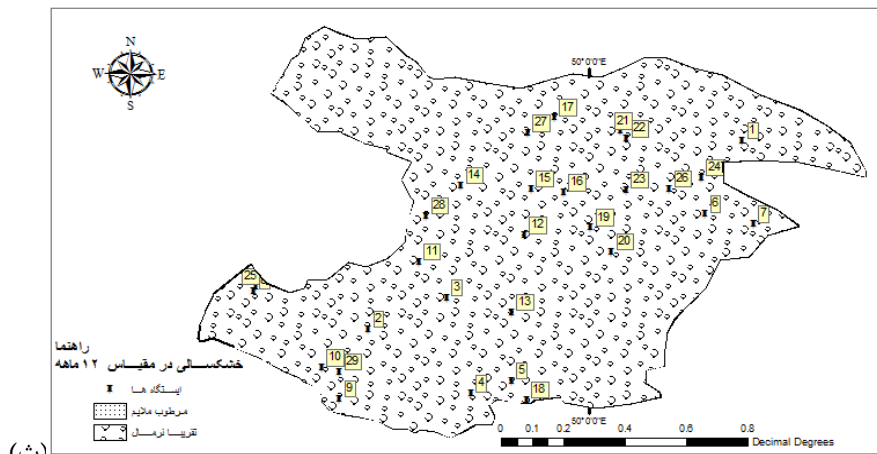
(ب)



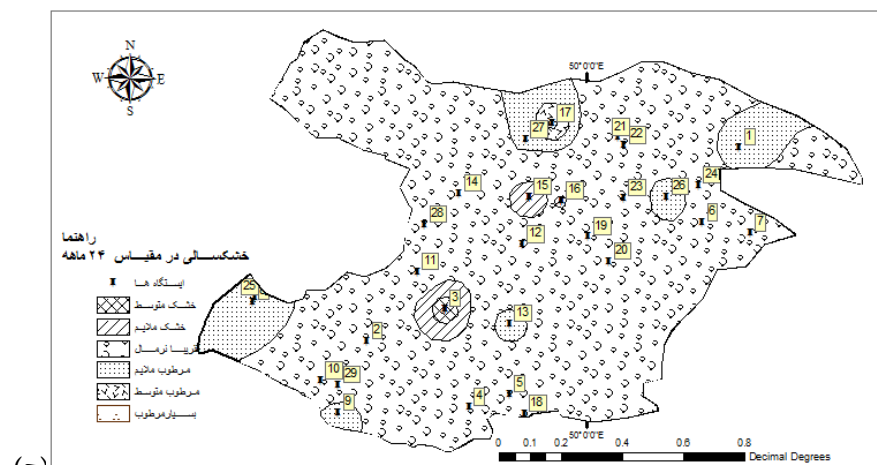
(پ)



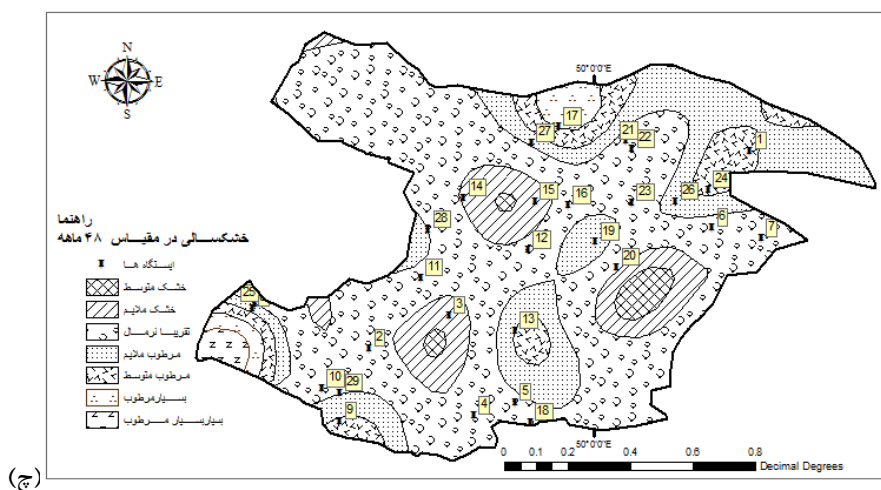
(ت)



(ث)



(ج)



(ج)

شکل ۴. نقشه وضعیت خشکسالی در مقیاس زمانی

الف) ۱ ماهه، ب) ۳ ماهه، پ) ۶ ماهه، ت) ۹ ماهه، ث) ۱۲ ماهه، ج) ۲۴ ماهه، چ) ۴ ماهه

۴. بحث و نتیجه گیری

کشور ایران به دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک جغرافیایی، خشکسالی از جمله بزرگترین بلایایی به شمار رفته که با توجه با انواع مختلف آن به نوبه‌ی خود، بیش از سایر بلایای طبیعی دارای اثرات سوء و به تبع جبران ناپذیری بر ابعاد مختلف جوامع بشری داشته و به طور مستقیم یا غیرمستقیم ساکنین بسیاری نواحی را با مشکلاتی جدی روبه‌رو نموده است. لذا شناسایی و بررسی این پدیده از اهمیت بسیاری برخوردار می‌باشد. وقوع خشکسالی‌های هواشناسی در دهه‌های اخیر سبب تشدید افت سطح آبخوان دشت قزوین که بزرگترین منبع تأمین کننده آب مورد نیاز کشاورزی، شرب و صنعت استان قزوین به‌شمار می‌رود، گردیده است. در این تحقیق با انجام مطالعات و پایش در زمینه خشکسالی به بررسی وسعت، شدت و فراوانی این پدیده پرداخته شده و از میان شاخص‌های متداول، شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی (۱-۳-۶-۹-۱۲-۲۴-۴۸ ماهه)، به عنوان یکی از مفیدترین و کارآمدترین شاخص‌های خشکسالی هوا شناسی ارائه شده، جهت انجام بررسی و پایش خشکسالی مورد استفاده قرار گرفت. با ترسیم نمودارهای نوسانات مقادیر شاخص بارش استاندارد و نقشه‌های وسعت خشکسالی در کلیه

مقیاس‌ها مشاهده شد که با افزایش مقیاس زمانی، فراوانی خشکسالی‌ها به صورت معکوس کاهش و مدت آن به صورت خطی افزایش می‌یابد که این مورد با نتایج محققین، هم‌خوانی داشته [۲۰] و [۸]. مقایسات انجام گرفته‌ی شدیدترین خشکسالی در هر مقیاس زمانی نشان داد که با افزایش مقیاس از فراوانی تداوم‌های کوتاه‌مدت کاسته شده به طوری‌که در مقیاس زمانی ۱ ماهه تداوم‌های ۱ و ۲ ماهه مجموعاً ۶۶ بار و با افزایش مقیاس به ۴۸ ماهه تنها یک تداوم یک ماهه و ۵ تداوم ۱۱ ماهه در طول دوره آماری تکرار شده است که ۴ مورد آن در ۱۰ سال اخیر رخ داده است. با افزایش مقادیر دوره برگشت، احتمال وقوع آنها کمتر شد که با نتایج تعدادی از محققین سازگار می‌باشد [۸]. نتایج حاصل از مدل زنجیره مارکوف نشان داد بیشترین حالت‌های انتقال مربوط به حالت تقریباً نرمال بوده و در تمامی مقیاس‌های زمانی حالت تقریباً نرمال غالب بوده است. همچنین هر وضعیت خشکسالی بیشتر تمایل به انتقال به حالات نزدیک‌تر به خودش داشته است تا حالات دورتر. که این مورد با نتایج برخی از محققین هم‌خوانی دارد [۳۵]. کمترین دوره بازگشت مربوط به حالت تقریباً نرمال و پس از آن مربوط به مرطوب ملایم و خشک ملایم می‌باشد بطوریکه هر چه از حالت نرمال دور شویم دوره

نسبت اثر قطعه‌ای بر آستانه مشاهده شد که مدل گوسی در مقیاس زمانی ۱ ماهه دارای ساختار قوی و در بقیه مقیاس‌ها دارای ساختار متوسط می‌باشد. همچنین نتایج جدول خطای چهار روش میان‌یابی؛ معین عکس فاصله، کریجینگ، تابع شعاعی پایه و روش تخمین‌گر موضعی نشان داد روش کریجینگ، در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶ و ۱۲ و روش توابع پایه شعاعی، در مقیاس‌های زمانی ۹ و ۴۸ ماهه و روش فاصله وزنی معکوس نیز در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه، بهترین روش‌های میان‌یابی جهت تهیه نقشه‌های وسعت خشکسالی در سال آبی ۱۳۸۶-۱۳۸۷ می‌باشند که به نوعی با نتایج محققین مختلفی دارای هم‌خوانی می‌باشد [۸]، [۱]، [۶] و [۱۱].

نقشه‌های وسعت خشکسالی نیز نشان داد؛ در مقیاس ۳ ماهه تمامی استان با اقلیم خشک متوسط در بر گرفته شده است. همچنین از مقیاس ۶ ماهه به ۹ ماهه خشکسالی از شرق استان خارج شده و اقلیم به سمت خشک ملایم پیش می‌رود. در مجموع با افزایش مقیاس زمانی، وسعت خشکسالی و همچنین وضعیت خشکسالی‌ها از شرق به غرب استان کاهش یافته و نواحی شمال شرقی استان بیش از سایر مناطق مستعد خشکسالی بوده است. لذا در اقدامات مدیریتی مهار خشکسالی پیشنهاد می‌گردد که این بخش از استان در الویت برنامه ریزان و مدیران اجرایی قرار گیرد.

بازگشت افزایش پیدا کرده و در عوض احتمال وقوع کاهش می‌یابد که این مورد با نتایج محققین هم‌خوانی دارد [۲۵]. همچنین ملاحظه می‌شود در اکثر ایستگاه‌های مورد بررسی دوره بازگشت‌های مربوط به وقوع کلاسه تر سالی‌ها بیشتر از دوره بازگشت مربوط به کلاسه‌های نظیر خشکسالی آنها بوده که با نتایج [۲۲] هم‌خوانی دارد که این مسئله امری مهم در برنامه‌ریزی‌های مدیریت منابع آب می‌باشد.

میان‌یابی یکی از ارکان اساسی در مطالعات و بررسی‌های پهنه‌ای جهت تعیین مناطق حساس و مستعد خشکسالی به شمار می‌رود. به دلیل پاره‌ای از مشکلات همچون عدم امکان تأسیس ایستگاه‌های اقلیمی در بعضی مناطق و همچنین نقص آماری، ضرورت رعایت اصول و روش‌های میان‌یابی قوت یافته است. بدین ترتیب جهت شناسایی مناطق مستعد خشکسالی و در پی آن مدیریت صحیح و اقدامات موثر و به موقع، نیاز است تا با به کارگیری روش‌های مختلف میان‌یابی و مقایسه آنها، روشی که دارای کمترین میزان خطا می‌باشد انتخاب گردد. لذا با توجه به جدول نتایج مناسب‌ترین مدل واریوگرام برای مقادیر بارش استاندارد در هر مقیاس، مدل گوسی در مقیاس‌های زمانی ۱، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه و مدل نمایی در مقیاس‌های زمانی ۳ و ۴۸ ماهه به عنوان مناسب‌ترین مدل برازش انتخاب گردید. با توجه به

References

- [1] Akhtari, R., Mahdian, M.H., Morid. S., (2007). Assessment of spatial analysis of SPI and EDI drought indices in Tehran province J. Iran- Water Resources Research, 2, 27-38.
- [2] Asadi Nalivan, O., Haydari, F., Sour, A., Shahbazi, A., Kavandi, R., Gheiasi, S., (2013). Investigation of groundwater contamination trend in Silveh basin in terms of drinking applications, International Journal of Agronomy and Plant Production, 4(8), 1826-1834.
- [3] Asghar, A. (2009). Drought indexes. Journal of Agriculture and Natural Resources Research Khorasan, 1.
- [4] Azarakhshi, M., Farokhzadeh, B., Mahdavi, M., Arzani, H., and Ahmadi, H. (2012). Assessment of the Standard Index of Annual Precipitation, Standardized Precipitation Index and Palmer Drought Severity Index in the Rangelands of Qom Province. Journal of Range and Watershed Management, 2, 159-174.
- [5] Bodaghjamali, J., Javanmard, S., and Shirmohammadi, R. (2003). Monitoring and droughts zoning Khorasan Province using Standarized Precipitation Index. Geographical Research. 67,11390-1406.
- [6] Banejad, H., Zare Abyaneh, H., Nazarifar, M. H., Sabziparvar, A., (2006). Application of standard precipitation index (SPI) with Geostatistic Method for analyzing meteorological drought in Hamedan province. J. Agricultural Reserch Water, Soil & Plant in Agricultural, 6, 61-72.
- [7] Bashirzadeh, M., Araghinejad, SH. (2010). Forecasting severity, duration and frequency of droughts using Markov chain and run theories (Case study: Lorestan Province). Journal of Shahrekord University,4(6),91-94.
- [8] Bazrafshan, O., Mohseni-Saravi, M., Malekian, A., and Moeini, A. (2011). A study of drought characteristics of Golestan Province using the Standardized Precipitation Index (SPI), Iranian journal of Range and Desert Reseach, 18, 396-407.
- [9] Dehbozorgi, M. (2012). Evaluation of efficiency of different drought indices for drought severity mapping and forecasting with Artificial Neural Networks in different climatic conditions of Iran, M.sc. Thesis, University of Tehran.
- [10] Eivazi1, M., Mosaedi, A. (2011). Monitoring and spatial analysis of meteorological drought in Golestan province using geostatistical methods. Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources, 64(1),65-78.
- [11] Ensafi Moghadam, T., Rafiei Emam, A. (2009). Climatic droughts zoning using Inverse Distance Weighted method, Iranian journal of Range and Desert Reseach, 16 (2), 274-292.
- [12] Ensafi Moghaddam, T. (2007). An investigation and assessment of climatological indices and determination of suitable index for climatological droughts in the Salt Lake Basin of Iran. Iranian journal of Range and Desert Reseach,14(2), 271-288.
- [13] Farajzadeh, M. (1995). A study of statistic droughts in Iran. PhD Thesis, Tarbiat Modaress University Press.
- [14] Ghahroudi Tali, M., (2002). Assesing interpolation by kriging method. Physical Geography Research Quartery,43,95-108.
- [15] Hao, Z., AghaKouchak, A. (2013). Multivariate Standardized Drought Index: A parametric multi-index model, Advances in Water Resources, 12-18.
- [16] Hilaire, A. S., T. B. Ouarda, M. Lachance, B. Bob, J. Gaudet, and C. Gignac. (2003). Assessment of the impact of meteorological network density on the estimation of basin precipitation and runoff: a case study. Hydrol,17,3561-3580.
- [17] Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K., Lucas, N., (2001). Using arcGIS geostatistical analyst. ESRI, Redlands, CA.
- [18] Koolaeian, A., Zia Tabar Ahmadi, M. Kh., Hashemian, M. (2012). A study of two drought indices (SPI, RDI) in Ghaemshahr. 1th Conference on water crisis and consequences, Azad University, Ferdows Unit.
- [19] Mahdavi, M. (2010). Applied Hydrology. Vol 2, University of Tehran Press.
- [20] McKee B.P., Doeske N.J., Kliest J. (1993). The Relationship of drought frequency and duration to time scales, 8th

Conference on Applied Climatology, Anaheim, California.

- [21] Moradi, H.R., Rajabi, M.F., Aragzadeh, M. (2011). Investigation of meteorological drought characteristics in Fars province, Iran, *Catena*, 35-46.
- [22] Moradi, Saeed. (2013). Drought monitoring based on precipitation in the Qazvin province, M.sc. Thesis, University of Zanzan.
- [23] Nalbantis I., Tsakiris, G. (2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resource Management* 23, 881- 897.
- [24] Naserzadeh, M.M., Ahmadi, E. (2013). Assessment the performance of meteorological drought Indices in drought monitoring and zoning in Qazvin province. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 12(2), 141-161.
- [25] Paulo. A.A., Ferreira. E., Coelho. C., Pereira L.S. (2006). Drought class transition analysis through Markov and Loglinear models, An approach to early warning. *Agricultural Water Management* ,77 ,59-81.
- [26] Raziei, T., Daneshkar Arasteh, P., Akhtari, R., Saghafia, B. (2007). Investigation of meteorological droughts in the Sistan and Balouchestan Province, Using the Standardized Precipitation Index and Markov Chain Model. *Iran-Water Resources Research*, 3(1),25-35.
- [27] Rezaei, B., Beliani, M., Zeinali, B. (2011). An estimation of droughts and wets using of precipitation indices in Parishan lake watershed basin. *Journal of Talab*, 2(7), 19-29.
- [28] Saghafian, B., ramzkhah, H., ghermez cheshme, B. (2012). Spatial mapping of the mean annual precipitation using geostatistics techniques (Case study: Fars province), *Journal of Water Engineering*,4(9),29-38.
- [29] Shamshad, A., Bawadi, M.A., Wan Hussin.W.M.A. .Majid .T.A. and Sanusi .S.A.M., (2005). First and second order Markov chain models for synthetic generation of wind speed time series. *Energy*. 30(5), 693-708.
- [30] Shi, J., Wang, H., Xu, J., Wu, J., Liu, X., Zhu, H. and Yu, C. (2007). Spatial distribution of heavy metals in soils: a case study of changxing, china, *Environ Geol*. 52, 1-10.
- [31] Shokri Koochak, S., Behnia, A., (2013). Monitoring and prediction of Khuzestan province, Iran drought using SPI drought Index and Markov Chain. *Journal of Irrigation Science and Engineering*,36(3).
- [32] Silva, V. P. R., (2003). On climate variability in Northeast Brazil. *Journal of Arid Environment*, 54(2),256-367.
- [33] Tabari, H., Abghari, H., Talaei, P.H. (2012). Temporal trends and spatial characteristics of drought and rainfall in arid and semiarid regions of Iran, *Hydrological Processes*. 26(22), 3351-3361.
- [34] Wilks, D.S. (1995). *Statistical methods in the atmospheric sciences an introduction*. ITHACA, NEW YORK.
- [35] Yoo.c. (2006). Long term analysis of wet and dry years in Seoul, Korea. *Journal of Hydrology* ,318, 24-36.
- [36] Zarepour javinani, H. (2011). Comparison and monitoring climatological indices of drought and determination of the most appropriate index for zoning in Isfahan province. M.Sc. Thesis, University of Kashan.