مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۹، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵
ص ۱۰۹۹-۱۰۷۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۷/۲۸
تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۰۲/۱۷

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

❖ **فاطمه مقصود*؛** دانشجوی دکتری، دانشکده منابع‌طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.

❖ **آرش ملکیان؛** دانشیار، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

❖ **محسن محسنی ساروی؛** استاد، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

❖ **ام‌البنین بذرافشان؛** استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع‌طبیعی، 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 می باشد. همچنین مدل گوسی در مقیاس‌های زمانی ۱، ۶، ۹، ۱۲و 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 ۱۳۸۶-۱۳۸۷بدست 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، پهنه بندی، خشکسالی هواشناسی، زنجیره مارکوف، روش زمین آمار، قزوین.

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۹۸۱۱۴۴۵۵۳۱۰۱+
Email: f.maghsoud@modares.ac.ir

۱. مقدمه

خشکسالی عبارت است از کمبود رطوبت مستمر و غیرطبیعی که تداوم و شدت، از ویژگی‌های اولیه و بزرگی، از ویژگی‌های ثانویهٔ این واقعهٔ 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 طورکلی خشکسالی‌ها شامل چهار طبقهٔ هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اجتماعی- اقتصادی بوده که از میان آنها، خشکسالی هواشناسی زمانی روی می‌دهد که بارندگی در هر بازهٔ زمانی (سالانه، فصلی، ماهانه) کمتر از بازهٔ زمانی بلندمدت آن باشد [۴]. البته کمبود بارندگی ممکن است نسبت به میانگین نرمال یک منطقهٔ اقلیمی و یا طول دورهٔ 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 منطقهٔ خاص در نظر گرفته شود؛ چرا که شرایط جوی که موجب کمبود بارش می شود، از منطقه‌ای به منطقهٔ 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 بارش استاندارد[1] 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 زمینهٔ مقایسه شاخص *SPI* با شاخص‌های متداول دیگر انجام گرفته است. مقایسهٔ دو شاخص بارش استاندارد شده و شناسایی خشکسالی[2] 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 مقایسهٔ این دو شاخص در اقالیم 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، نکتهٔ حائز اهمیت این است که مقایسهٔ 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 بررسی‌های دقیق‌تر در مقیاس محلی به شمار می‌رود. به طوری که نتایج حاصل از محاسبهٔ شاخص‌های خشکسالی هواشناسی شامل شاخص دهک‌ها، شاخص استاندارد بارش، شاخص معیار استاندارد، شاخص Z چینی[3]، شاخص درصد نرمال بارش و شاخص شناسایی خشکسالی با روش کمینهٔ بارش در مناطق اقلیمی مختلف، نتایج مختلفی از خود نشان دادند [۹]. همچنین مقایسهٔ سه شاخص درصد نرمال بارش، نیچه و بارش استاندارد به منظور تعیین کمی و کیفی سال‌های خشک، نرمال و مرطوب در حوزهٔ آبخیز رودخانهٔ آریشان نشان داد که شاخص درصد نرمال بارش، از نظر فراوانی وقوع شرایط

[1] SPI: Standaridised Precipitation Index
[2] RDI: Reconnaissance Drought Index
[3] CZI: China Z Index

نرمال، خشکسالی و ترسالی، بین دو شاخص نیچه و بارش استاندارد قرار گرفته و شرایط متعادل‌تری را نشان می‌دهد [۲۷]. در تحقیقی دیگر نیز، مقایسهٔ اثرات خشکسالی بر تولید علوفهٔ گیاهان مرتعی استان قم با استفاده از شاخص معیارهای بارش سالانه، بارش استاندارد شده و شاخص شدت خشکسالی پالمر نشان داد که مناسب‌ترین شاخص‌ها با در نظر گرفتن اثر مقیاس زمانی به ترتیب در *SPI3*، *PDSI*، *SPI24* و *SPI6* بوده و بهترین پایهٔ 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 ارائهٔ نتایج بهتری از وقوع و خاتمهٔ خشکسالی هستند. به عنوان مثال شاخص متغیر استاندارد[1] از جمله شاخص‌های ترکیبی است که با تلفیق دو شاخص بارش استاندارد و شاخص رطوبت خاک[2] 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 متغیرهٔ احتمالی شناخته شده است [۱۵].

آبخوان دشت قزوین، یکی از بزرگ‌ترین منابع تأمین کنندهٔ آب مورد نیاز کشاورزی، شرب و صنعت استان قزوین به شمار می‌رود و اگرچه عللی همچون 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 زمینهٔ خشکسالی به شناخت ویژگی هایی 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 تهیهٔ نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی به منظور تحلیل شدت تغییرات مکانی خشکسالی در حوضهٔ دریاچهٔ 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 پهنهٔ 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 طوری‌که قسمت‌های جنوبی دارای شدت بیشتر و طول دورهٔ 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

[1] MSDI: Multivariate Standardized Drought Index
[2] SSI: Standardized Soil Moisture Index

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

همچنین نتایج حاصـل از پایش و پیش‌بینی گسـترش خشـکسـالی در سـطح اسـتان خوزسـتان نشـان داد که بر اساس شاخص بارش استاندارد و زنجیره مارکوف، در تمامی ایسـتگاه‌ها وضـعیت تقریباً نرمال در مقیاس زمانی ۶ ماهه، دارای بیشـــترین فراوانی بوده و پیش‌بینی شـــد که در ۱۰ ســـال آینده به طور متوســـط کل اســـتان، ۳۵ ماه درگیر خ شک سالی خواهد بود[۳۱]. از دیگر تحقیقات انجام گرفته در داخل کشور، در زمینه پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از زنجیرهٔ مارکوف می‌توان به تحقیقات انجام گرفته در استان‌های لرستان و سیستان‌وبلوچستان نیز اشاره نمود [۷ و ۲۶].

با توجه به موارد ذکر شـــده، تاکنون تحقیقات جامعی در رابطه با پایش خشـــکســـالی و مدیریت آن در اســـتان قزوین صورت نگرفته است و مقادیر کم بارش به‌خصوص در نواحی شرقی استان، ضرورت پایش خشکسالی را در این تحقیق قوت می‌بخشـــد. از ســـوی دیگر اغلـب شـاخص‌هایی که جهت بررسـی خشـکسـالی اسـتفاده می‌شـوند زمانی که خشـکسـالی به وقوع می‌پیوندد مورد استفاده قرار می‌گیرند. این در حالیست که برای مدیریت خشـکسـالی نیاز اسـت تا ویژگی‌های خشـکسـالی از نظر احتمال وقوع و شـــدت آن تعیین گردد. بدین منظور در این تحقیق اهـدافی همچون؛ تعیین مقـادیر SPI در ایســـتگاه‌های مختلف اســـتان قزوین، تعیین کلاس‌های مختلف خشکسالی و محاسبه احتمال وقوع هر یک از این کلاس‌ها با اسـتفاده از زنجیره مارکوف، بررسـی شـدت و فراوانی وقوع خشکسالی و در نهایت پهنه‌بندی احتمالات وقوع خشـــکســـالی با بهترین روش زمین آمار در ســـطح استان، دنبال شد.

۲. روش‌شناسی

۲. ۱. منطقهٔ 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 دقیقهٔ طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقهٔ عرض شمالی واقع شده است. این استان از شمال با گیلان، از جنوب با مرکزی و همدان و از شـــرق و غرب به ترتیب با اســـتان‌های البرز و زنجان همسایه است. پوشش گیاهی در این استان به طور عمده شامل دو دستهٔ جنگل و مرتع است که عمدهٔ پوشش در منطقهٔ رودبار و الموت بوده و دشـــت قزوین نیز جزء مهم‌ترین مراتع در این استان به شمار می‌آید.

این اســتان در مجموع، دارای ۷۴ ایســتگاه باران‌ســنجی اســت. از آنجایی که بعضــی ایســتگاه‌ها طی ســال‌های اخیر تأســیس شــده و یا دارای آمار ناقصــی بوده، پس از برطرف نمودن نقص آماری، ۲۹ ایستگاه با طول دورهٔ آماری مشترک ۳۷ ساله (از سال ۱۳۵۱ تا ۱۳۸۷) انتخاب شد که اسامی آنها و ســـالهای دارای نقص آماری که مورد بازســـازی قرار گرفته، در جدول ۱ آمده اســت. در شــکل۱، نقشــهٔ موقعیت استان در کشور و نقشهٔ پراکندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است.

(ب) (الف)

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

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

شمارهٔ ایستگاه	نام ایستگاه	سال‌های دارای نقص آماری	شمارهٔ 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	بهجت‌آباد	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	کبریت میان	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 کلیماتولوژی از شرکت مدیریت منابع آب ایران (وابسته به وزارت نیرو) دریافت و پس از مرتب کردن داده‌ها در برنامهٔ اکسل، داده‌ها جهت نیل به اهداف تحقیق مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. لازمهٔ تحلیل صحیح آماری، داشتن سه خاصیت تناسب، کفایت و صحت است [۱۹] جهت دست‌یابی به این اهداف، اقدام به تهیهٔ داده‌های بارندگی و بازسازی آمار موجود گردید. جهت برخورداری از نتایج بهتر و کارآمدتر بیشترین طول دورهٔ 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 کلیهٔ 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.

- 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 شرایط گوناگونی همچون کشاورزی و هیدرولوژی و هم‌چنین دینامیک خشکسالی‌ها) [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].

جدول ۲. مزایا و معایب شاخص بارش استاندارد

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

- شرح اجمالی محاسبه شاخص بارش استاندارد:

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

- برازش توزیع آماری گاما بر سری های بارندگی حاصل از مرحلهٔ قبل و محاسبهٔ احتمالات تجمعی توزیع گاما[۲۰].

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

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

که برای X>۰، هر کدام از پارامترها عبارتند از:

α= پارامتر شکل (α>۰)

β= پارامتر مقیاس (β>۰)

X= پارامتر بارندگی (X>۰)

- تغییر شکل هم احتمال توزیع تجمعی گاما به نرمال.

پس از انجام محاسبات لازم و تعیین پارامترهای مربوطه، نمایه *SPI* به صورت رابطهٔ ۲، محاسبه می‌شود [۵]:

رابطه (۲)

$$SPI = -\left[t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right] \qquad ۰< H(x) \leq ۰/۵$$

$$SPI = +\left[t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right] \qquad ۰/۵ < H(x) \leq ۱$$

که در آن:

$$t = \sqrt{\ln\left[\frac{1}{H(x)}\right]} \qquad ۰< H(x) \leq ۱$$

$$t = \sqrt{\ln\left[\frac{1}{(1-H(x))^2}\right]} \qquad ۰< H(x) \leq ۱$$

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

$c_۱$=۲/۵۳۵۵۳۵ $d_۱$=۳/۴۳۲۷۸۸
$c_۲$=۰/۸۰۲۸۵۳ $d_۲$= ۰/۱۹۲۶۹
$c_۳$=۰/۰۳۰۳۲۸ $d_۳$=۰/۰۰۳۳۰۸

در این تحقیق برای استخراج مقادیر خشکسالی از برنامه نرم‌افزاری مجموعه شاخص‌های خشکسالی[1] و نرم‌افزار Excel استفاده شد. با توجه به مقادیر بارندگی در هر یک از ایستگاه‌ها، مقادیر SPI محاسبه گردید. سپس وضعیت خشکسالی هر دورهٔ زمانی با استفاده از جدول (۳) تعیین گردید.

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 نقشهٔ حوزهٔ 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 زیرحوضهٔ موجود، مقادیر شاخص بارش استاندارد در کلیهٔ مقیاس‌های زمانی (۱-۳-۶-۹-۱۲-۲۴و ۴۸ ماهه) محاسبه و مقادیر خشکسالی در کل استان مورد بررسی و پایش قرار گرفت.

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

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

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.

دورهٔ بازگشت خشکسالی

براساس رابطهٔ ۳، دورهٔ 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].

$$T_r = \frac{1}{P} \qquad (۳)$$

که در آن:

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

[1] DIP: Drought Indices Package

به طوری که با استفاده از ضریب تناوب می‌توان مقدار یک متغیر با دورهٔ بازگشت مورد نظر را از رابطهٔ کلی زیر به دست آورد [۱۹] :

$$X_{Tr} = \overline{X} + K.S \qquad (۴)$$

که در آن:

X_{Tr} : مقدار متغیر مورد نظر در دورهٔ بازگشت Tr سال، K : ضریب تناوب یا فراوانی، $\overline{X}$: 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 می‌کنند، این مدل همواره به عنوان یک روش ریاضی برای مدلسازی متغییرهای تصادفی اقلیمی، مورد استفاده اقلیم شناسان قرار گرفته و توانایی خوبی برای مدلسازی آنها دارد. یک فرآیند استوکاستیک $(X_t, t > 0)$ در نظر بگیرید که در آن X_t متغیر تصادفی بوده که هر کدام متعلق به یک وضعیت مشخص (حالت های مختلف وضعیت خشکسالی) از $S = 1.2.3.....k$ می‌باشند. 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.

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

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. به‌طور کلی برای یک سری معین از نقاط زمانی $t_1 < t_2 < ....., t_n$، احتمالات شرطی بصورت رابطه (۶) است [۲۷].

$$\Pr x(t_n) = i_n \big| X(t_1 = i_1,.....X(t_{n-1}) = i_{n-1} = \Pr X(t_n) = i_n \big| X(t_{n-1}) = i_{n-1} \qquad (۶)$$

رفتار زنجیره مارکوف با مجموعه‌ای 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×k عنصر می باشد. که در آن k تعداد اجزای فضای نمونه وضعیت ها (تعداد نتایج هر آزمایش) است.

$$P = \begin{bmatrix} P_{1,1}P_{1,2}.....P_{1,K} \\ P_{2,1}P_{2,2}.....P_{2.K} \\ . \\ . \\ P_{K,1}P_{K,2}.....P_{K,K} \end{bmatrix} \qquad (۷)$$

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.

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

احتمال انتقال هر وضعیتی بین صفر تا یک تغییر می

[3] Markov chain

[4] Conditional probabilities
[5] Transition matrix
[6] First-order markov chain

کند. و جمع احتمالات برای هر ردیف برابر با یک می باشد 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. ساده ترین نوع زنجیره مارکوف، زنجیره مارکوف مرتبه اول یک حالته است. در این حالت متغیر تصادفی ناپیوسته فقط دارای دو حالت وقوع و عدم وقوع می‌باشد.

در این تحقیق پس از محا سبه مقادیر SPI و ضعیت و کلاس‌های خ شکسالی مطابق جدول طبقه‌بندی شاخص بارش استاندارد [۲۰] تعیین و پس از شمارش کلاس‌های خشکسالی و تعیین تعداد حالت‌هایی که کلاس‌های خ شکسالی به یکدیگر تبدیل می شوند، ماتریس احتمال انتقال به‌دست آمد. در گام بعدی ماتریس احتمال انتقال بدست آمده آنقدر در خودش ضرب می شود تا درایه های هر سطر ماتریس با هم برابر شده و ماتریس احتمال ایستا به‌دست آید .در نهایت با استفاده از ماتریس احتمال ایستای به‌دست آمده، دورهٔ بازگشت هر یک از کلاس‌های خشکسالی تعیین گردید.

وسعت خشکسالی

وسعت یا گسترهٔ رویدادهای خشکسالی همانند شدت و بزرگی آن متفاوت است که بسته به علت و یا علت‌های ایجاد خشکسالی، منطقهٔ 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 پهنه بندی وسعت خشکسالی در این تحقیق چهار روش میانیابی 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 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:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z(x_i) \qquad (۹)$$

که در آن:

λ_i: وزن داده شده به متغیر x: در تقطه i، n: تعداد نقاطی که متغیر در آنها اندازه‌گیری شده است [۲۸].

در بررسی‌های آمار کلاسیک نمونه‌هائی 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 نمو نه نیز مورد تو جه قرار می گیرد. منحنی نیم‌تغییرنما برای تشریح ارتباط مکانی یک متغیر به کار می رود. این نیم‌تغییرنما که بر اساس مقادیر نمونه‌های اندازه‌گیری شده محاسبه می‌شود را نیم‌تغییرنمای تجربی می‌گویند و از معادله (۱۰) قابل محاسبه می‌باشد:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2.n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x+h) - z(x)]^2 \qquad (۱۰)$$

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 می شود. فا صله‌ای که طی آن

نیم‌تغییرنما به حد ثابتی می‌رسد و به حالت افقی نزدیک می‌شود، شعاع تأثیر یا دامنه تغییرنما[1] گفته می‌شود. مقدار نیم‌تغییرنما پس از آنکه به حد ثابتی ر سید به نام آ ستانه[2] خوانده می شود. مقدار آ ستانه برابر واریانس کل تمام نمونه هائی است که در محاسبه تغییرنما به کار رفته‌اند. مقدار تغییرنما در مبدأ مختصات یعنی به ازای h=o به نام اثر قطعه‌ای[3] نامیده می‌شود. در این تحقیق از نیم‌تغییرنما برای میانیابی با مشتقات روش کریجینگ و همچنین محاسبه توزیع مکانی وار یانس خ طای برآورد روش کریجینگ ا ستفاده شده ا ست. 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، ۰/۲۵تا 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 مقدارمشاهده شده درنقطه i؛ α، توان معادله و n، تعداد نقاط مشاهده شده می‌باشند[۲۸].

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^{n} D_i^{-\alpha}} \qquad (۱۱)$$

– **روش توابع شعاعی (RBF)**: این روش دارای 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 ا ستفاده 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 تخمین‌گر 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 نمونه‌برداری 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:**

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(obs - pre)^2}{n}} \qquad (۱۲)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|obs - pre|}{n} \qquad (۱۳)$$

در روابط بالا *n* ،تعداد کل داده‌ها ؛ *obs* و *pre* نیز به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده می‌با شند. 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

[1] Efective Range
[2] Sill
[3] Nugget Effect

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. به‌طوری که با توجه به نمودار خشکسالی در مقیاس ۱ ماهه مشاهده می شود که مقادیر خشکسالی به کرات مثبت و منفی شده که نشان‌دهندهٔ 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- و۲/۳۲-، به ترتیب در سال‌های ۸۴ و ۷۵ با تداوم‌های بسیار کوتاه ۱ ماهه و ۴ 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.

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

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 ۲/۸۶- و ۲/۸۴- 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، شدیدترین خشکسالی و تداوم آنها نیز افزایش می‌یابد. محاسبات مربوط به توزیع فراوانی می‌توانند در ارزیابی پتانسیل منطقهٔ مورد مطالعه نسبت به شدت‌های مختلف خشکسالی کاربرد داشته باشند. مطابق جدول ۵، با افزایش مقیاس زمانی از فراوانی تداوم های 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 دورهٔ 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.

جدول۴. مقادیر شدیدترین خشکسالی در هر مقیاس زمانی

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

جدول ۵. فراوانی تداوم‌های ۱ ماهه تا ۱۱ ماهه در مقیاس‌های زمانی مورد بررسی طی دورهٔ 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	۱	-	۲	۵
۲۴	۴	۱	۳	۱	-	-	-	-	-	۱	۷
۴۸	۱	۱	۲	۱	-	-	-	-	-	۲	۵

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

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

جدول۶. دوره‌های بازگشت شاخص بارش استاندارد ایستگاه‌های بارانسنجی استان قزوین

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

جدول ۷. مقادیر دوره بازگشت خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف

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

شکل ۳. نمودار دورهٔ بازگشت خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف

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 (۴۸ماهه)، از روش ریاضی زنجیره مارکوف استفاده شد.

نتایج مدل زنجیره مارکوف:

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

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، میان‌مدت 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 وقوع کاهش می‌یابد. در تمام مقیاس‌های زمانی مقادیر دوره بازگشت‌های بدست آمده تقریبا 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 روش های مختلف میان‌یابی شامل مقادیر ریشه دوم میانگین مربعات خطا (*RMSE*) و میانگین خطای مطلق (*MAE*) را نشان می‌دهد. طبق جدول(۱۴)، مدل گوسی[1] مناسب‌ترین مدل برازش واریوگرام در مقیاس‌های زمانی ۱، ۶، ۹، ۱۲و ۲۴ ماهه و مدل نمایی[2] نیز، مناسب‌ترین مدل در مقیاس های زمانی ۳ و ۴۸ ماهه می باشد. طبق جدول(۱۴)، ساختار مکانی داده‌ها در مقیاس زمانی ۱ ماهه، قوی و درسایر مقیاس‌ها متوسط می‌باشد.

[1] Gaussian Model: این مدل در نزدیک مبدا دارای رفتار سهمی‌گون می‌باشد

[2] Exponential Model: این مدل از مبدا مختصات شروع شده و در نزدیکی آن رفتار خطی دارد

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

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

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

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

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

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

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	مرطوب متوسط	مرطوب ملایم	تقریبا 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	۲۹/۲۴	۱۴۷/۰۶
رحیم‌آباد	۴۴/۲۵	۱۸/۴۸	۱۱/۳۹	۴/۹۳	۲/۵۵	۶/۴۴	۲۲/۱۷	۳۷/۰۴	۷۴/۰۷
نصرت‌آباد	۴۰/۰۰	۲۷/۷۰	۱۱/۶۷	۳/۳۸	۲/۸۴	۹/۸۳	۱۵/۸۵	۲۹/۳۳	۱۴۷/۰۶
بهجت‌آباد	۴۹/۲۶	۱۷/۰۶	۱۳/۸۵	۳/۵۲	۲/۸۶	۱۰/۵۳	۱۳/۰۰	۲۹/۴۱	۱۱۱/۱۱
زیاران	۴۰/۳۲	۲۹/۵۹	۹/۴۴	۶/۳۴	۲/۱۰	۱۰/۵۳	۱۶/۳۹	۳۱/۸۵	۲۴/۰۷
دشتک	۴۰/۱۶	۲۲/۱۲	۹/۰۴	۷/۶۴	۲/۲۲	۷/۶۲	۱۴/۲۲	۴۰/۳۲	۸۵/۵۰
گلچشمه	۲۹/۵۰	۴۰/۱۶	۱۰/۵۵	۶/۲۴	۲/۰۹	۸/۸۷	۱۶/۴۲	۴۴/۴۴	۸۵/۵۰
قوزلو	۵۵/۲۵	۲۷/۶۲	۸/۸۷	۴/۷۷	۲/۳۳	۱۰/۵۲	۲۴/۶۹	۲۶/۰۴	۴۹/۰۲
ظیاءآباد	۶۳/۶۹	۲۲/۱۷	۸/۷۰	۳/۶۴	۲/۸۲	۱۱/۳۰	۱۳/۰۲	۴۰/۳۲	۲۲۲/۲۲
دیال‌آباد	۶۳/۲۹	۱۸/۴۲	۱۰/۳۰	۳/۵۲	۲/۹۱	۱۱/۰۶	۱۴/۷۵	۲۴/۵۷	۱۴۷/۰۶
اسماعیل‌آباد	۴۴/۴۴	۲۶/۱۱	۹/۶۲	۳/۵۸	۳/۰۸	۷/۶۲	۱۷/۰۴	۲۷/۳۲	۲۲۲/۲۲
چلمبر	۵۵/۵۶	۲۱/۱۰	۱۰/۸۱	۳/۱۰	۳/۰۴	۱۱/۳۶	۱۶/۳۱	۳۱/۵۵	۱۱۱/۱۱
محمدآباد	۴۴/۶۴	۲۶/۲۵	۱۰/۱۰	۳/۸۳	۲/۷۲	۹/۵۸	۱۳/۷۶	۳۰/۳۰	۴۵۴/۵۵
میزوج	۴۰/۱۶	۲۱/۱۰	۱۱/۱۰	۴/۶۲	۲/۵۶	۷/۷۶	۲۱/۱۴	۲۴/۳۹	۷۴/۰۷
بیدستان	۴۹/۲۶	۲۱/۰۵	۱۱/۱۰	۳/۵۸	۲/۷۳	۱۱/۹۲	۱۵/۲۲	۲۵/۹۷	۱۱۱/۱۱
محمودآباد	۶۳/۲۹	۲۱/۱۴	۹/۴۳	۴/۸۲	۲/۳۳	۱۰/۰۶	۱۶/۹۶	۳۴/۰۱	۱۴۷/۰۶
کبریت میان	۳۴/۲۵	۲۴/۷۵	۱۲/۰۰	۶/۰۱	۲/۱۳	۹/۸۱	۱۴/۶۲	۲۸/۷۴	۱۳۸/۸۹
ده‌اروان	۴۹/۲۶	۱۹/۲۷	۱۴/۲۷	۴/۳۰	۲/۴۲	۸/۹۰	۲۳/۳۱	۲۹/۳۳	۴۴/۶۴

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	مرطوب متوسط	مرطوب ملایم	تقریبا 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	۳۰/۲۱	۲۳/۴۷
رحیم‌آباد	۳۱/۵۵	۲۹/۵۰	۸/۹۹	۷/۱۵	۲/۷۱	۶/۹۰	۱۱/۲۷	۱۶/۴۵	۵۳/۴۸
نصرت‌آباد	۴۳/۸۶	۱۶/۸۹	۹/۷۶	۶/۳۳	۲/۹۸	۶/۵۹	۹/۳۱	۱۷/۱۲	۲۱۲/۷۷
بهجت‌آباد	۵۰۰/۰۰	۲۵/۷۱	۸/۹۲	۴/۹۲	۲/۴۹	۷/۷۲	۲۲/۳۷	۲۶/۵۳	۳۲/۶۸
زیاران	۱۰۹/۸۹	۱۶/۸۴	۱۲/۱۸	۴/۸۰	۲/۶۰	۱۰/۹۸	۱۳/۴۲	۱۵/۹۰	۳۵/۷۱
دشتک	۲۳/۱۵	۱۲/۹۴	۱۶/۸۹	۸/۵۱	۲/۵۵	۷/۱۲	۷/۳۷	۳۲/۸۹	۲۱۲/۷۷
گلچشمه	۲۶/۹۵	۲۶/۶۰	۱۴/۳۷	۷/۰۱	۲/۳۸	۶/۱	۱۵/۸۵	۲۶/۷۴	۳۵/۵۹
قوزلو	۵۵/۸۷	۳۴/۳۶	۱۲/۰۵	۵/۰۱	۲/۱۸	۱۳/۷۷	۱۱/۲۴	۴۲/۷۴	۳۸/۷۶
ظیاءآباد	۱۴۴/۹۳	۱۴/۱۴	۹/۷۲	۵/۹۸	۲/۶۹	۹/۹۷	۹/۳۳	۲۵/۱۹	۳۰/۵۸
دیال‌آباد	۷۵/۷۶	۳۰/۲۱	۹/۳۴	۴/۹۷	۲/۵۷	۸/۵۰	۲۰/۲۴	۲۰/۳۳	۲۵/۰۶
اسماعیل‌آباد	۴۶/۰۸	۲۷/۰۳	۸/۷۸	۵/۹۹	۲/۵۹	۸۴۹	۱۱/۱۲	۱۳/۶۲	۱۰۵/۲۶
چلمبر	۱۰۷/۵۳	۱۶/۰۰	۱۰/۰۵	۵/۶۹	۲/۷۹	۵/۰۲	۱۸/۸۰	۱۰۷/۵۳	۳۰/۸۶
محمدآباد	۱۵۳/۸۵	۲۷/۱۰	۱۲/۰۶	۵/۰۸	۲/۲۰	۱۱/۳۹	۲۰/۱۲	۸۳/۳۱	۱۶/۸۴
میزوج	۲۵/۶۴	۲۹/۱۵	۹/۲۹	۷/۵۸	۲/۳۸	۷/۹۶	۱۴/۸۴	۲۵/۲۵	۲۸/۶۵
بیدستان	۱۱۴/۹۴	۲۳/۱۵	۹/۵۱	۵/۳۸	۲/۷۰	۷/۱۰	۱۳/۷۲	۳۸/۷۶	۲۱/۳۲
محمودآباد	۷۲/۹۹	۲۴/۲۷	۸/۴۲	۵/۴۱	۲/۶۸	۸/۰۸	۱۲/۲۱	۳۰/۴۹	۳۲/۸۹
کبریت میان	۱۵۱/۵۲	۳۸/۹۱	۹/۴۱	۵/۹۸	۲/۰۱	۱۷/۰۴	۱۵/۷۷	۳۵/۴۶	۲۱/۲۸
ده‌اروان	۴۰/۳۲	۵۵/۲۵	۱۴/۷۱	۴/۸۹	۲/۱۳	۸/۳۷	۲۲/۴۷	۱۰۶/۳۸	۲۳/۷۰

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

نام ایستگاه	بسیار بسیار مرطوب	بسیار مرطوب	مرطوب متوسط	مرطوب ملایم	تقریبا نرمال	خشک ملایم	خشک متوسط	بسیار خشک	بسیار 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
کبریت میان	۱۴۴/۹۳	۲۴/۰۴	۱۱/۶۸	۴/۱۳	۲/۹۱	۱۰/۴۵	۱۱/۳۶	۱۹/۳۴	۲۲/۷۳
ده‌راوان	۲۵/۸۵	۱۲/۵۲	۲۲/۹۴	۸/۱۰	۲/۳۳	۷/۱۰	۱۰/۸۲	۲۲/۸۸	۱۲۹/۸۷

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

مقیاس زمانی(ماهه)	نام مدل	اثر قطعه ای(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 ۱ماهه، (RMSE=۰/۳۶ و MAE=۰/۲۸)، ۳ ماهه (RMSE=۰/۴۴ و MAE=۰/۳۲)، ۶ ماهه (RMSE=۰/۵۲ و MAE=۰/۴۳) و۱۲ماهه (RMSE=۰/۶۸ و MAE=۰/۵۶) و همچنین روش توابع پایه شعاعی، در مقیاس‌های زمانی ۹ماهه (RMSE=۰/۵۴ و MAE=۰/۴۷) و ۴۸ ماهه (RMSE=۰/۵۱ و MAE=۰/۳۷) و روش فا صله وزنی معکوس با توان دو نیز در مقیاس زمانی ۲۴ماهه (RMSE=۰/۵۸ و MAE=۰/۴۲) به عنوان بهترین روش‌های میان یابی جهت تهیه نقشه‌های وسعت خشکسالی در سال آبی ۱۳۸۶-۱۳۸۷و در مقیاس‌های مذکور انتخاب گردید. در مجموع بهترین روش میانیابی درمقیاس زمانی ۱ماهه و با میانگین خطای مطلق ۰/۲۸ می‌باشد.

جدول۱۵. نتایج خطای روش‌های میان‌یابی

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

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 بسیارخشک (۶۸/۵٪) نواحی شمالی و شرقی استان را در برگرفته است. شکل (ب)، وسعت خشکسالی در مقیاس ۳ ماهه می‌باشد که در آن تمامی استان با اقلیم خشک متوسط در برگرفته 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 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 ۱۲ماهه تمامی سطح منطقه را اقلیم تقریباً نرمال در برگرفته که با افزایش مقایس زمانی به ۲۴ ماهه در شکل (ج)، لکه‌هایی از اقلیم مرطوب ملایم نیز در منطقه مشاهده می‌شود. در مقیاس ۴۸ماهه 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.

N
W
E
S
50°0'0"E
راهنما
خشکسالی در مقیاس ۱ ماهه
ایستگاه ها
بسیار خشک
خشک متوسط
0 0.1 0.2 0.4 0.6 0.8
Decimal Degrees

(الف)

N
W
E
S
50°0'0"E
راهنما
خشکسالی در مقیاس ۳ ماهه
ایستگاه ها
خشک متوسط
0 0.1 0.2 0.4 0.6 0.8
Decimal Degrees

(ب)

N
W
E
S
50°0'0"E
راهنما
خشکسالی در مقیاس ۶ ماهه
ایستگاه ها
بسیار خشک
خشک متوسط
خشک ملایم
تقریبا نرمال
0 0.1 0.2 0.4 0.6 0.8
Decimal Degrees

(پ)

N
W
E
S
50°0'0"E
راهنما
خشکسالی در مقیاس ۹ ماهه
ایستگاه ها
خشک متوسط
خشک ملایم
تقریبا ملایم
0 0.1 0.2 0.4 0.6 0.8
Decimal Degrees

(ت)

N
W
E
S
50°0'0"E
راهنما
خشکسالی در مقیاس ۱۲ ماهه
ایستگاه ها
مرطوب ملایم
تقریبا نرمال
0 0.1 0.2 0.4 0.6 0.8
Decimal Degrees

(ث)

N
W
E
S
50°0'0"E
راهنما
خشکسالی در مقیاس ۲۴ ماهه
ایستگاه ها
خشک متوسط
خشک ملایم
تقریبا نرمال
مرطوب ملایم
مرطوب متوسط
بسیار مرطوب
0 0.1 0.2 0.4 0.6 0.8
Decimal Degrees

(ج)

(چ)

شکل۴. نقشهٔ 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 کنندهٔ 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 (۱-۳-۶-۹-۱۲-۲۴-۴۸ماهه)، به عنوان یکی ازمفیدترین و کارآمدترین شاخص‌های خشکسالی هواشناسی 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 می یابد 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 تدوام‌های کوتاه‌مدت کاسته شده به طوریکه درمقیاس زمانی ۱ماهه تدوام‌های ۱و ۲ ماهه مجموعاً ۶۶ بار و با افزایش مقیاس به ۴۸ماهه تنها یک تداوم یک ماهه و ۵ تدوام ۱۱ماهه 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 می باشد[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

بازگشت افزایش پیدا کرده و در عوض احتمال وقوع کاهش می یابد 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 برنامه‌ریزی های مدیریت منابع آب می‌باشد.

میان یابی 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 روش های مختلف میان یابی 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، ۱۲و ۲۴ماهه و مدل نمایی در مقیاس های زمانی ۳ و ۴۸ ماهه به عنوان مناسب‌ترین مدول برازش انتخاب گردید. با توجه به 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 ۲۴ماهه، بهترین روش های میان یابی جهت تهیه نقشه های وسعت خشکسالی در سال آبی ۱۳۸۶-۱۳۸۷می باشند که به نوعی با نتایج محققین مختلفی دارای هم‌خوانی می‌باشد [۸]،[۱]،[۶] و [۱۱] . نقشه‌های وسعت خشکسالی نیز نشان داد؛ در مقیاس ۳ماهه تمامی استان با اقلیم خشک متوسط در برگرفته شده است. همچنین از مقیاس ۶ماهه به ۹ماهه 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.

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). Asseessing 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 Zanjan.

[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 Brazul. Journal of Arid Environment, 54(2),256-367.

[33] Tabari, H., Abghari, H., Talaee, P.H. (2012). Temporal trends and spatial characteristics of drought and rainfall in arid and semiarid regions of Iran, Hydrological Processed. 26(22), 3351-3361.

[34] Wilks, D.S. (1995). Statisticl 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.