



ریسک خشکسالی، در تحقیق حاضر ضمن ارزیابی خشکسالی‌ها و پیش‌بینی احتمال وقوع آن‌ها، به ارائه راه‌کارهای مدیریت ریسک خشکسالی با هدف استفاده پایدار از منابع آبی در زیرحوزه آبخیز کلانک پرداخته می‌شود. نتایج پیش‌بینی روش زنجیره مارکوف در منطقه مورد مطالعه نشان داد که در بلندمدت، احتمال وقوع خشکسالی‌ها خوشبختانه کم‌تر از احتمال وقوع ترسالی‌هاست. از این‌رو لازم است برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران منطقه‌ای با تکیه بر روش‌های مدیریت ریسک خشکسالی تلاش نمایند، زمینه لازم برای استفاده پایدار از منابع آبی را فراهم نمایند.

واژه‌های کلیدی: مدیریت خشکسالی، زنجیره مارکوف، بهره‌برداری پایدار از منابع آب.

مقدمه

بسیاری از پدیده‌های طبیعی، شامل عناصری هستند که آن‌ها را نمی‌توان به سادگی کنترل یا پیش‌بینی نمود. اما این پیش‌بینی در صورتی امکان‌پذیر است که اطلاعاتی در مورد گذشته آن‌ها موجود باشد. به‌طور مثال، پیش‌بینی مقدار بارندگی‌ها در صورتی ممکن است که آگاهی از مشخصه‌های بارندگی گذشته در دست باشد. پیش‌بینی پدیده‌های جوی به دو صورت دینامیکی و آماری امکان‌پذیر است. مدل‌های دینامیکی بر قوانین فیزیکی استوار است. شناخت دقیق این قوانین، که همواره با سه فاز جامد، مایع و بخار آب و تبدلات انرژی بین این سه فاز مرتبط است، به‌ویژه به کارگیری این قوانین در زمان واقعی با مشکلات خاص خود مواجه است. دسته دیگر مدل‌های پیش‌بینی، مدل‌های آماری است که عمدتاً فیزیک پدیده تحت بررسی را به‌طور صریح مورد توجه قرار نمی‌دهند و تنها بر تعیین ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها تأکید دارند. این دسته از مدل‌ها از نظر سهولت استفاده بر مدل‌های قبلی برتری دارند. اگر چه تصور کلی بر این است که نتایج مدل‌های دینامیکی بر مدل‌های آماری برتری دارند، لیکن این گزاره همیشه درست نیست و درستی آن به شناخت قوانین فیزیکی حاکم، تفصیل مدل و قدرت تفکیک آن بستگی دارد. به این دلیل استفاده از مدل‌های دسته دوم نیز در بعضی از موارد اجتناب‌ناپذیر است. بررسی‌های آماری به روش‌های مختلف از جمله تحلیل سری‌های زمانی، همبستگی خطی و غیر خطی، مدل‌های ریاضی و استفاده از توزیع‌های آماری شناخته شده نظیر توزیع نرمال، گمبل، پیرسون انجام می‌گیرد. در میان روش‌های آماری، زنجیره مارکوف در علوم جوی در سال‌های اخیر مورد توجه ساده ریاضی مانند ضرب ماتریس‌ها، حل احتمالات مربوط به فرآیندهای وابسته پیش‌بینی را بسیار آسان نموده است. مدل زنجیره مارکوف در علوم مختلفی مانند هواشناسی، اقلیم‌شناسی، اقتصاد و صنعت کاربرد وسیعی دارد. با توجه به اهمیت مدیریت

پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از زنجیره مارکوف (مطالعه موردی: زیرحوزه آبخیز کلانک، حوزه آبخیز طالقان)

فریبا ابراهیمی آذرخواهان^۱، علیرضا مقدم نیا^۲

تاریخ دریافت: ۹۲/۷/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۲۸

چکیده

امروزه با توجه به موضوع روز جهان، مبحث تغییر اقلیم و خشکسالی در تمام نقاط جهان حائز اهمیت است. یکی از مهم‌ترین علل اهمیت این موضوع ارتباط شرایط اقلیمی با میزان منابع آب در دسترس است. به‌گونه‌ای که هر آن‌چه پدیده‌ی خشکسالی بیش‌تر باشد پدیده کم آب امری اجتناب‌ناپذیر است. از آن‌جا که پدیده‌های طبیعی فرایندی اجتناب‌ناپذیر هستند و نقش انسان در آن‌ها کم رنگ است. تنها راه‌کار این امر، پیش‌بینی این پدیده و برنامه‌ریزی برای مقابله با این پدیده‌ی طبیعی است. بسیاری از پدیده‌های طبیعی، شامل عناصری هستند که آن‌ها را نمی‌توان به سادگی کنترل یا پیش‌بینی نمود. اما این پیش‌بینی در صورتی امکان‌پذیر است که اطلاعاتی در مورد گذشته آن‌ها موجود باشد. به‌طور مثال، پیش‌بینی مقدار بارندگی‌ها در صورتی ممکن است که آگاهی از مشخصه‌های بارندگی گذشته در دست باشد. پیش‌بینی پدیده‌های جوی به دو صورت دینامیکی و آماری امکان‌پذیر است. بررسی‌های آماری به روش‌های مختلف از جمله تحلیل سری‌های زمانی، همبستگی خطی و غیر خطی، مدل‌های متفاوت ریاضی و استفاده از توزیع‌های آماری شناخته شده نظیر توزیع نرمال، گمبل، پیرسون انجام می‌گیرد. در میان روش‌های آماری، زنجیره مارکوف در علوم جوی در سال‌های اخیر مورد توجه جدی قرار گرفته است. زنجیره مارکوف با روش‌های ساده ریاضی مانند ضرب ماتریس‌ها، حل احتمالات مربوط به فرآیندهای وابسته پیش‌بینی را بسیار آسان نموده است. مدل زنجیره مارکوف در علوم مختلفی مانند هواشناسی، اقلیم‌شناسی، اقتصاد و صنعت کاربرد وسیعی دارد. با توجه به اهمیت مدیریت

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، آبخیزداری، دانشگاه تهران

faribaebrahimi@ut.ac.ir

۲. دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

جدی قرار گرفته است. زنجیره مارکف با روش‌های ساده ریاضی (مانند ضرب ماتریس‌ها) حل احتمالات مربوط به فرآیندهای وابسته را بسیار آسان نموده است. زنجیره مارکف یک فرآیند تصادفی گسسته در زمان با خاصیت مارکف است. یک فرآیند تصادفی گسسته در زمان شامل سیستمی است که در هر مرحله در حالت خاص و مشخصی قرار دارد و به صورت تصادفی در هر مرحله تغییر حالت می‌دهد. مراحل اغلب به عنوان لحظه‌های زمانی در نظر گرفته می‌شوند. خاصیت مارکف بیان می‌کند که توزیع احتمال شرطی برای سیستم در مرحله بعد فقط به حالت فعلی سیستم بستگی ندارد و به حالت‌های قبل نیز بستگی دارد. چون سیستم به صورت تصادفی تغییر می‌کند به طور کلی پیش‌بینی حالت زنجیره مارکف در نقطه‌ای خاص در آینده غیر ممکن است. با این حال ویژگی‌های آماری سیستم در آینده قابل پیش‌بینی است. در بسیاری از کاربردها چیزی که دارای اهمیت است همین ویژگی‌های آماری است. تغییرات حالات، سیستم انتقال نام دارند و احتمال‌هایی که به این تغییر حالات نسبت داده می‌شوند احتمال انتقال نام دارند. مجموعه‌ای از حالات‌ها و احتمال انتقال‌ها به طور کامل یک زنجیره مارکف را مشخص می‌کنند. طبق قرار داد ما فرض می‌کنیم همیشه حالت بعدی وجود دارد و در نتیجه فرآیند تا ابد ادامه پیدا می‌کند.

یک زنجیره مارکف دنباله‌ای از متغیرهای تصادفی X_1, X_2, \dots, X_n و ... است که دارای خاصیت مارکف هستند یعنی همانند معادله‌ی ۱:

رابطه (۱)

$$\Pr(X_{n+1}=x|X_1=x_1, X_2=x_2, \dots, X_n=x_n) = \Pr(X_{n+1}=x|X_n=x_n)$$
 مقادیر ممکن برای X_1 مجموعه قابل شمارشی را می‌سازند که فضای حالت نام دارد.

زنجیره مارکف حالت خاصی از مدل‌هایی است که در آن‌ها حالت فعلی یک سیستم به حالت‌های قبلی آن بستگی دارد. در تعیین حالت سیستم با استفاده از مدل مارکف باید دو عامل را مشخص نمود، این دو عامل عبارتند از حالت سیستم در زمان مشخص و احتمالات تغییر حالت خاص به حالت‌های ممکن دیگر، که اصطلاحاً احتمالات گذار نامیده می‌شوند [۹]. اگر مجموعه حالات ممکن در یک زنجیره مارکف محدود باشد می‌توان یک ماتریس مربع P را تشکیل داد که عناصر آن p_{ij} عموماً معرف ماتریس احتمال گذار است. با توجه به این توضیحات آنچه که اهمیت دارد و کارایی این مدل را پررنگ می‌کند وقوع پدیده‌های طبیعی همانند خشکسالی است که در جهان و در ایران در سال‌های اخیر در حال گسترش است. در سال‌های اخیر به دلیل افزایش تعداد وقوع خشکسالی، مطالعه آن مورد توجه قرار گرفته است [۲]. کلارک و کاراس (۱۹۸۹)، روابط تحلیلی بین بارندگی و روان‌آب را در یک حوزه آبریز برای یک مدل توزیع احتمال مورد بررسی قرار دادند و مدل توزیع احتمال شرطی (زنجیره مارکف) را برای نشان دادن چگونگی توالی بارش و پتانسیل تبخیر و تعرق، در عرض‌های مختلف جغرافیایی به کار بردند [۳]. آزام و همکاران در برآورد بازده مراتع با استراتژی‌های مختلف بهره‌برداری،

از مدل زنجیره مارکف بهره جستند و اثرات بارندگی، تعداد دام و چگونگی چرا را روی محصول مرتعی بررسی کردند [۱]. جین و آگراوال برای پیش‌بینی محصول نیشکر از مدل زنجیره مارکف استفاده کردند، آن‌ها با استفاده از داده‌های آماری سال‌های زراعی برای اظهار نظر در مورد خصوصیات بیومتری و میزان محصول تولید شده از مدل مذکور کمک گرفتند و توانستند مقادیر محصول نیشکر را ۷ تا ۸ هفته بعد از کاشت پیش‌بینی کنند. نتایج حاصل در مدل بسیار موفقیت‌آمیز بود [۵]. الفکی و افرینک برای پیش‌بینی عمق آب‌های زیرزمینی در ماه‌های مختلف سال از مدل زنجیره مارکف استفاده نمودند [۲]. جعفری به کمک زنجیره مارکف احتمالات پیشامدهای متوالی روزهای خشک با آستانه ۰/۱ میلی‌متر در روز برای ماه‌های نوامبر تا آوریل سال‌های ۱۹۹۵-۱۹۶۵ را در ایستگاه‌های بوشهر، شیراز، اصفهان، کرج و بندر انزلی تحلیل نمود و نتیجه گرفت که داده‌های بارندگی روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه برازش خوبی بر زنجیره مارکف مرتبه اول دارد [۴]. در بررسی حاضر با به‌کارگیری توزیع نرمال و زنجیره مارکف احتمال وقوع خشکسالی با شدت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه زیرحوزه آبخیز کلانک می‌باشد که در حوزه آبخیز طالقان واقع شده است. منطقه‌ی مورد مطالعه در طول جغرافیایی ۵۰ درجه ۴۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۹ دقیقه قرار دارد. شهرستان طالقان به مرکزیت شهر طالقان، یکی از شهرستان‌های استان البرز با مساحت ۱۳۲۵ کیلومتر مربع است. طالقان در منطقه‌ای بیلاقی در میان رشته کوه البرز و در ۱۲۰ کیلومتری شمال غربی تهران قرار گرفته است. شهر طالقان به لحاظ قرار گرفتن در رشته کوه‌های البرز میانی دارای آب و هوای کوهستانی و بیلاقی است که در شکل ۱ نشان داده شده است.

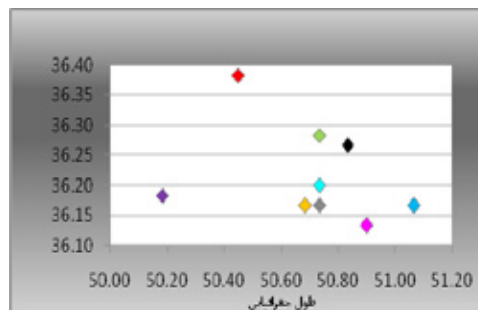


شکل ۱- محدوده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه

جمع‌آوری اطلاعات

داده‌های مربوط به بارندگی منطقه مورد مطالعه از شرکت مدیریت منابع آب ایران (تماب) تهیه گردیده است و بر اساس موقعیت حوزه

آبخیز کلانک ۷ ایستگاه سینوپتیک و باران‌سنجی منطقه مشخص گردید و داده‌های آن مورد ارزیابی قرار گرفت. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد استفاده در شکل ۲ نشان داده شده است. داده‌ها به صورت سالانه و ماهانه در طی دوره آماری ۴۰ ساله (۱۳۵۱-۱۳۹۱) استفاده شده است. که این داده‌ها پس از جمع‌آوری مورد ارزیابی کیفی قرار گرفتند.



شکل ۲- پراکنش ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد استفاده



بررسی کیفیت داده‌های جمع‌آوری شده

در این مطالعه برای کنترل نمودن همگنی آمار به‌منظور بررسی کیفیت داده‌ها از روش آزمون توالی استفاده شده است. در این روش آمارهای به‌دست آمده به ترتیب صعودی و یا نزولی مرتب شده سپس میانگین آن‌ها تعیین می‌گردد. که مقدار آن برابر رقمی است که در وسط سری آمارها قرار دارد در سری‌های زوج میانگین سری برابر میانگین دو رقم وسط سری می‌باشد سپس هر یک از ارقام سری را با میانگین به‌دست آمده مقایسه نموده و چنانچه از آن بیش‌تر باشد با علامت "b" و اگر از آن کوچک‌تر باشد با علامت "a" نشان داده می‌شود. برای ارقامی که برابر میانگین باشند علامتی گذاشته نمی‌شود. با توجه به علامت‌های به‌دست آمده می‌توان دنباله‌ها را که از یک یا چندین سال متوالی با علامت "a" و یا "b" مشخص شده‌اند و ممکن است بین آن‌ها سال‌های بدون علامت موجود باشد، تعیین کرد. چنانچه مجموع دنباله‌ها خیلی کم باشد، نشان بر تغییرات کم در

شرایط اندازه‌گیری است و چنانچه زیاد باشد نشان‌دهنده‌ی نوسانات شدید در شرایط اندازه‌گیری است. نتایج این‌روش در هر یک از ایستگاه‌های مورد بررسی برآورد شده است و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. به‌طوری که میزان بارندگی‌های بیش‌تر از میانگین که با "b" نشان داده شده است و تعداد بارندگی‌های کوچک‌تر از میانگین که با "a" نشان داده شده است به‌گونه‌ای که اگر تعداد دنباله برآورد شده ۱۸ باشد و بر این اساس تعداد ۱۸ عدد در دامنه‌ی تغییرات ۲۶- قرار دارد که این امر همگنی آمار استفاده شده در منطقه‌ی مورد مطالعه را مشخص می‌کند. با توجه به این آمار طی بررسی انجام شده تمام ایستگاه‌های مورد استفاده همگن بوده است.

روش تحقیق

شاخص SPI

به‌منظور پیش‌بینی خشکسالی بایستی بر اساس شاخصی شرایط اقلیمی را طبقه‌بندی کنیم که در این مطالعه شاخص SPI برای شناسایی دوره‌های خشک استفاده شده است و از زنجیره‌ی مارکف برای پیش‌بینی سری زمانی استفاده به‌عمل آمده است [۱]. برای محاسبه‌ی شاخص از بارندگی‌های ماهانه‌ی منطقه در بازه‌ی زمانی ۴۰ سال از سال آبی (۱۳۵۱-۱۳۵۲ تا ۱۳۹۰-۱۳۹۱) استفاده شده است، که با توزیع پیرسون نوع سوم برازش شده است. به‌این ترتیب مقادیر شاخص برابر نمره استاندارد در توزیع نرمال استاندارد می‌شود.

مدل زنجیره مارکوف

همان‌طور که در مقدمه ذکر شد، مدل زنجیره‌ی مارکوف از جمله فرایندهای تصادفی هستند که در مدل‌سازی و شبیه‌سازی سری‌های زمانی کاربرد گسترده‌ای دارند. در این تحقیق از مدل زنجیره‌ی مارکف مرتبه اول (گام یک) استفاده شده است، که عبارت است از یک سری زمانی گسسته، که در آن رفتار سری در گام زمانی آینده نه تنها به حال بلکه به گام‌های گذشته نیز بستگی دارد، که به شکل معادله‌ی ۲ بیان می‌شود [۱۱].

رابطه (۲)
$$p\{x_{t+1} | x_t, x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_1\} = p\{x_{t+1} | x_t\}$$
 که P احتمال وقوع حالت X_{t+1} به شرط وقوع X_t و متغیر حالت X و T گام زمانی است. تعداد حالت می‌تواند از ۲ تا N باشد.

در این تحقیق با استفاده از روش زنجیره مارکوف احتمال انتقال حالات مختلف در N حالت بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید و بررسی شد. که در فرمول ۳، احتمال انتقال از حالت i به حالت j بررسی شد. [۱۲]

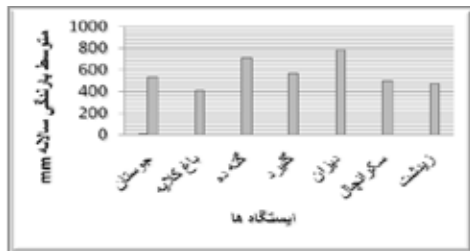
$$\hat{p}_{ij} = \frac{n_{ij}}{\sum_{k=1}^N n_{ik}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این تحقیق بر اساس شاخص SPI سری‌های زمانی در سه

حالت به حالت مختلف بررسی شد و این بررسی با در نظر گرفتن تمام ایستگاه‌های موجود در منطقه است و نتایج در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- ماتریس احتمال گذر سه گانه اقلیمی

حالت	D	N	W
D	۰/۰	۱	۰/۰
N	۰/۰۸	۰/۶۹	۰/۲۳
W	۰/۳۴	۰/۶۷	۰/۰



شکل ۳- متوسط بارندگی سالانه ایستگاه‌های موجود در منطقه مورد بررسی در تحقیق

که با توجه به این جدول احتمال انتقال از خشک به خشک PDD صفر درصد برآورد شده است، احتمال انتقال از خشک به متوسط (نرمال) PDN ۱۰۰ درصد برآورد شده است، احتمال انتقال از خشک به مرطوب PDW صفر درصد برآورد شده است که مجموع سطر آن برابر ۱ است. در ارتباط با احتمال انتقال از نرمال به خشک PND ۸ درصد و احتمال انتقال از نرمال به نرمال PNN ۶۹ درصد و احتمال انتقال از نرمال به مرطوب PNW ۲۳ درصد است. در ارتباط با احتمال انتقال از مرطوب به خشک PWD ۳۴ درصد و احتمال انتقال از مرطوب به نرمال PWN ۶۷ درصد و احتمال انتقال از مرطوب به مرطوب PWW صفر درصد است. برای حفظ اختصار جداول و ماتریس تمام ایستگاه‌ها آورده نشده است. احتمال رویداد خشکسالی برای تمام ایستگاه‌های منطقه مورد بررسی قرار گرفته

جدول ۲- ماتریس احتمال تعادل خشکی برای تمام ایستگاه‌های کلانک طالقان

ایستگاه	جوسان	باغ کلايه	گته ده	گليرد	ديزان	سكرانچال	زيشدشت	کل
P*N	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۰۹
PND	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۸
P*W	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۰۴
PWD	۰/۱۲	۰/۲۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۳۴
PD	۰/۰۲	۰/۰۳۵	۰/۰۰۸	۰/۰۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰۴	۰/۰۲۱

گروه خشک (D)، متوسط (N)، مرطوب (W)، تقسیم شده‌اند. در این تحقیق درصد احتمال تبدیل هر کدام از این حالت‌ها توسط زنجیره‌ی مارکف بررسی شد و در ماتریس بیان شد. قابل ذکر است در هر کدام از ماتریس‌ها بایستی جمع مقادیر هر سطر ۱ شود. با توجه به ماتریس احتمال گذار حالات متفاوت اقلیمی به حالت خشک، احتمال تعادل حالت خشک بر طبق معادله‌ی ۴ محاسبه گردید.

$$P^*D = (PDD + PWD + PND) / N \quad \text{رابطه (۴)}$$

P*D احتمال تعادل دوره‌ی خشک و PDD احتمال انتقال از دوره‌ی خشک به خشک و PWD احتمال انتقال از دوره‌ی مرطوب به خشک و PND احتمال انتقال از دوره‌ی متوسط به خشک است و N تعداد کل انتقال ممکن از یک حالت به حالت خشک است. در نهایت احتمال رویداد خشکسالی PD بر اساس معادله‌ی ۵ برآورد گردید (۲ و ۳).

$$PD = (P^*N * PND) + (P^*W * PWD) \quad \text{رابطه (۵)}$$

به منظور بررسی تداوم دوره‌ی خشکسالی E(L) از معادله‌ی ۶ استفاده شد:

$$E(L) = (P^*D / PD) \quad \text{رابطه (۶)}$$

به منظور بررسی رویداد دوره‌ی خشکسالی PD از معادله‌ی (۷) استفاده شد:

$$PD = (P^*N * PND) + (P^*W * PWD) \quad \text{رابطه (۷)}$$

نتایج

پس از بررسی همگنی داده‌ها متوسط بارندگی ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به متوسط بارندگی شاخص SPI بر اساس توزیع نرمال برآورد گردید. بر اساس آن بر اساس مدل زنجیره‌ی مارکوف بر مبنای سه حالت، خشک، متوسط، مرطوب، بر اساس شاخص SPI احتمال انتقال هر کدام از حالات محاسبه گردید. در جدول زیر حالات انتقال از یک

3- Clarke, R. and Karas, M. 1989. Analytical Relationships between Rainfall and Runoff. Third IHAS Assembly. Baltimore. 181: 187-193.

4- Jafri, k, 1378. Statistical Analysis of Rainfall in the Dry Climate of Iran using a Markov Chain, Master's Thesis. Tehran University.

5- Jain, R. and Agrawal, R. 1992. Probability Model for Crop Yield Forecasting. Biomet Journal. (34): 501-511.

6-Hagigatjo, Parvyz. Zaman, Shah Mohammadi, 1380. Application of Markov chains in droughts and Wet Regions of Sistan, Conferencing Solutions to Combat the Climate Crisis, Zabol University.

7- McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist. J. 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales, Proceedings of the 8th Conference on Applied.

8- McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist. J. 1995. Drought Monitoring with Multiple Time Scales. Proceedings of the 9th Conference on Applied Climatology, Dallas, TX, USA. 233-236.

9-Momeni, M. 1374. Operational Research (probabilistic models), Second Edition. 0: 137-135

10-Razy, T. and shokohi, A. 1382. Forecasting the Intensity, Duration and Frequency of Droughts using Probabilistic Methods for Time Series (Case Study of the Province). Byban magazine. issue 8.

11-Thompson, S.A. 1990. A Markov and Runs Analysis of Drought in the Central United States, Physical Geography. 11 (3): 191-205.

12-Wilks, D.S. 1995, Statistical Methods in the Atmospheric Sciences, Academic Press, San Diego, California, USA, 467 pp.

است، نتایج در جدول ۲ آورده شده است. بر اساس معادله احتمال تعادل و ماتریس فوق احتمال تعادل دوره‌ی خشکی برای سال بعد از دوره‌ی آماری مورد نظر که سال آبی ۱۳۹۲ می‌باشد. دوره‌ی خشک ۱۰/۵ درصد برآورد شده است. بر اساس معادله‌ی ۶ احتمال تداوم خشکی ۵ درصد برآورد گردید.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق بر اساس به‌کارگیری شاخص SPI و مدل زنجیره‌ی مارکوف یک گام احتمال گذر و ماندگاری در سه حالت مرطوب، نرمال، خشک مورد بررسی قرار گرفت و نتایج کلی آن حاصل شد و نتایج زیر به‌دست آمد:

احتمال گذر از یک حالت معین به همان حالت مانند PDD، محتمل‌تر از گذر به سایر شرایط است. احتمال تعادل بیش‌تر در شرایط نرمال وجود دارد و بعد خوشبختانه در حالت خشکسالی است. احتمال روزهای نرمال بیش از مرطوب و مرطوب بیش از خشک است. در نهایت با توجه به این که در تمام جهان به‌خصوص کشور ایران با گذشت زمان در معرض مواجه شدن با پدیده خشکی می‌باشیم حائز اهمیت است که احتمال گذر از حالات را به حالت خشک را در تمام ایستگاه‌ها، با دقت بیش‌تری مورد بررسی قرار داد. با توجه به این امر در این منطقه نیز به علت احتمال تداوم ۵ درصدی که برآورد شده است. بایستی توجه بیش‌تری برای مدیریت خشکسالی که در پیش است داشته باشیم زیرا پیش‌بینی هیچ قطعیتی را به دنبال ندارد ولیکن وجود این احتمال خشکی در آینده را برآورد می‌کند هر آن‌چه که کم و ناچیز باشد با این حال با وضعیت تغییرات اقلیمی جهان و خشکسالی که سراسر کره‌ی زمین را فرا می‌گیرد همین میزان ناچیز لازم به توجه است.

منابع

1-Azzam, S., Azzm, A. and Nielsen, M. 1990. Markov Chains as Shortcut Method to Estimate Age Distributions in Herds of Beff Cattle. Journal of Animal Science. 68: 5-14.

2-Elfeki, A. and Uffrink, G. 1996. Stochastic Simulation of Heterogeneous Geological Formations using Soft Info. Groundwater Quality, Remediation and Protection-Proceeding of an International Conference, Prague, Czech Republic 15-18 May.