

## پیش‌بینی خشکسالی و سطح بارندگی در ایران جهت مدیریت منابع آب مبتنی بر مدل‌های مارکوفی ترکیبی

مهدی پیوندیان شعرباف<sup>۱</sup>

دانشجوی کارشناسی ارشد نرم افزار کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، مشهد، ایران

مجید وفایی جهان

دانشیار گروه کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، مشهد، ایران

### چکیده :

خشک‌سالی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی است که ممکن است در هر اقلیم آب‌وهوایی اتفاق بیفتد. از آنجاکه وقوع خشک‌سالی اجتناب‌ناپذیر است، بنابراین شناخت آن به‌منظور مدیریت بهینه منابع آب، از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این تحقیق به پیش‌بینی خشک‌سالی در شهر تهران و مشهد پرداخته شده است؛ به این منظور از مدل‌های مارکوفی در دو مرحله استفاده شد. در مرحله اول بعد از پیش‌پردازش داده‌ها، زنجیره مارکوف بر اساس ویژگی‌های بارندگی، حداقل دما، حداکثر دما و باد ایجاد شد و احتمال رخداد پیش‌بینی در سال آینده محاسبه شد، سپس در مرحله دوم میزان بارندگی، حداقل و حداکثر دما توسط مدل مخفی مارکوف پیش‌بینی شد تا بر اساس آن‌ها تصمیمات لازم جهت مدیریت منابع آب اتخاذ شود. روش پیشنهادی با روش‌های مدل مخفی مارکوف استاندارد و شبکه بیزین بر اساس دقت و نرخ خطا مقایسه شد. نتایج نشان داد روش پیشنهادی بر روی مجموعه داده شهر مشهد در مقایسه با HMM ۱۴٪ و در مقایسه با شبکه بیزین ۳۱٪ افزایش دقت و بر روی مجموعه داده شهر تهران در مقایسه با HMM ۱۰٪ و در مقایسه با شبکه بیزین ۱۵٪ افزایش دقت داشته است.

**واژه‌های کلیدی :** خشک‌سالی، مدیریت منابع آب، مدل‌های مارکوفی ترکیبی

## ۱- مقدمه

خشکسالی از وقایع مخرب طبیعی است که بیشترین صدمات را به منابع آبی وارد می‌نماید؛ بنابراین پیش‌بینی خشکسالی می‌تواند نقش مهمی در مدیریت این منابع و بهره‌برداری بهینه از آن‌ها در چنین شرایطی ایفا کند. فرآیند مدیریت جامع منابع آب فرآیند پیچیده‌ای است که اجزای متعددی دارد و مدل‌سازی تنها بخشی از آن است؛ بنابراین نمی‌توان با مدل‌سازی تمامی مسائل مربوط به آب را حل نمود، همچنین نیازها و تخصیص آب ممکن است طی زمان و در پاسخ به دیگر تغییرات سیستم، تغییر کند. تغییر در یک بخش سیستم می‌تواند تغییرات ناخواسته در دیگر قسمت‌های آن ایجاد کند. به‌منظور بررسی نیازهای آینده یک منطقه و پیش‌بینی‌های مرتبط با آن باید دینامیک یک سیستم یا منطقه را بررسی نمود. مزیت استفاده از رویکرد پویایی‌های سیستم در تصمیم‌گیری‌ها، در نظر گرفتن مجانب‌های آن و بررسی تغییرات مورد انتظار آن است (Wilhite and Glantz 1985, Wilhite 2000).

در گذشته برای حل مسائل منابع آبی، تکیه اصلی بر روی مدیریت منابع آب بود و صرفاً به دست مهندسان بررسی می‌گردید، درحالی‌که امروزه در مدیریت جامع منابع آب دیدگاه‌های مرتبط با مدیریت تقاضا و همچنین مشارکت بخش‌های مختلف وارد شده است. امر مسلم این است که، مدیریت جامع منابع آب باید در سطح حوضه آبریز انجام گیرد. عدم توجه به مدیریت آب در سطح حوضه آبریز باعث ایجاد مسائل زیر می‌شود:

الف) تأثیرات نامناسب مصارف بالادست بر مصرف‌کنندگان پایین. ب) عدم رعایت عدالت اجتماعی و بروز نابرابری‌ها. ج) تأمین نشدن نیازهای حداقل زیست‌محیطی. د) تخریب محیط‌زیست و بهینه نبودن برآیندهای اقتصادی. علاوه بر حجم محدود منابع در دسترس، عدم توزیع همگن زمانی و مکانی منابع موجود نیز از مشکلات دیگری است که بر دامنه مشکلات می‌افزاید. انتقال آب از حوزه‌ای به حوزه دیگر برای برقراری این توازن و توزیع همگن می‌تواند یکی از مهم‌ترین و مؤثرترین راه‌های تأمین نیاز آبی در این مناطق باشد (Dutra, Magnusson et al. 2013).

در این پژوهش قصد داریم به پیش‌بینی خشکسالی و سطح بارندگی در شهرهای تهران و مشهد جهت مدیریت منابع آب مبتنی بر مدل‌های مارکوفی بپردازیم. به این منظور از مدل‌های مارکوفی در دو مرحله استفاده شد.

## ۲- کارهای پیشین

مدل پیش‌بینی‌های داده محور با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین اصول امیدوارکننده برای ارزیابی پیامدهای خشکسالی بوده و نیاز به زمان توسعه کمتر، حداقل ورودی و پیچیدگی نسبتاً کمتری از مدل پویا و یا فیزیکی دارد. اعتبار مقاله (Deo and Şahin 2015) به محاسبات ساده، سریع و کارآمد الگوریتم غیرخطی شناخته شده به عنوان یک دستگاه یادگیری شدید (ELM) برای پیش‌بینی شاخص خشکی مؤثر (EDI) در شرق استرالیا می‌باشد که با استفاده از داده ورودی آموزش دیده از دوره ۱۹۵۷-۲۰۰۸ و EDI ماهانه دوره ۲۰۰۹-۲۰۱۱ پیش‌بینی می‌کند. راولانه

و همکاران سعی در انجام محاسبات ساده، سریع و کارآمد الگوریتم غیرخطی شناخته شده به عنوان یک دستگاه یادگیری شدید (ELM) برای پیش‌بینی شاخص خشکی مؤثر (EDI) در شرق استرالیا می‌باشد که با استفاده از داده ورودی آموزش دیده از دوره ۱۹۵۷-۲۰۰۸ و EDI ماهانه دوره ۲۰۰۹-۲۰۱۱ پیش‌بینی می‌کند؛ بنابراین در این مطالعه یک کلاس بسیار بهبود یافته از الگوریتم ELM به تصویب رسید، ELM به عنوان یک مدل آماری در مسئله پیش‌بینی ماهانه شاخص خشکی مؤثر شناخته شده است.

شبکه‌های عصبی مصنوعی به صورت گسترده در مدل‌سازی رفتار غیرخطی از فرآیندهای هیدرولوژیکی استفاده شده است و زنجیره مارکوف برای مدل تصادفی سری زمانی متشکل از متغیر گسسته مفید هستند. هدف از مطالعه حاضر به منظور توسعه یک مدل شبکه عصبی مصنوعی بر اساس ورودی‌های آب و هوایی برای یک ماه و ارزیابی پیش‌بینی حجم جریان ماهانه برای پیش‌بینی شرایط خشک‌سالی است. رضائیان زاده و همکاران (Rezaeianzadeh, Stein et al. 2016) یک روش معمول بر اساس شبکه‌های عصبی مصنوعی ارائه دادند. شبکه‌های عصبی مصنوعی به صورت گسترده در مدل‌سازی رفتار غیرخطی از فرآیندهای هیدرولوژیکی استفاده شده است. در این مطالعه، مدل داده محور و تصادفی برای پیش‌بینی شرایط خشک‌سالی یک ماه پیش‌مورد استفاده قرار گرفت و حجم جریان با استفاده از یک شبکه عصبی مصنوعی در مخزن سد درودزن در استان فارس، ایران مورد بررسی قرار گرفت. مدل شبکه عصبی مصنوعی، آموزش دیده توسعه داده شد و با استفاده از متغیر آب و هوایی آزمایش شد. مدل ANN در هر دو شرایط پیش‌بینی رطوبت و جریان ورودی مخزن نتایج رضایت بخشی را نشان داد. الگوریتم آموزش‌گرایان مزدوج کوچک (SCG) در مقایسه با دیگر الگوریتم آموزش کاربردی در پیش‌بینی حجم جریان در تولید نتایج برتر است.

منو راماداس و همکاران (Ramadas and Govindaraju 2015) از قابلیت‌های فرمولاسیون مدل HMM برای ارزیابی خشک‌سالی کشاورزی استفاده کرده‌اند که در مقایسه آن دسته از شاخص‌های خشک‌سالی فعلی مانند استاندارد بارش تبخیر، تعرق (SPEI) و پالمر شاخص شدت خشک‌سالی خود کالیبره (SC-PDSI) استفاده شده است. این مقاله یک کلاس جدید از HMM ها با کاهش توزیع احتمال ارسال بتا می‌باشد. این مدل‌های جدید برای توسعه طبقه‌بندی احتمالاتی مورد استفاده قرار گرفت که مدلی برای خشک‌سالی کشاورزی در ایندیانا است. مدل مخفی مارکوف یک کلاس از مدل‌های گرافیکی که در آن ساختار گراف شامل گره‌های پنهان با قابلیت اتصال به گره مشاهده شده، به طوری که وابستگی زمانی که بین گره‌های پنهان است وجود داشته باشد. توزیع گاوسی انتشار در چندین برنامه کاربردی پیوسته HMM به دلیل به سهولت در محاسبه مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج نشان‌دهنده برتری HMM نسبت به کارهای مشابه است.

مالیا و همکاران (Mallya, Mishra et al. 2016) به منظور صراحت برای بررسی وابستگی زمانی در کشورهای که خشک‌سالی دارند در هر مقیاس زمان، یک روش جدید تجزیه و تحلیل خشک‌سالی بر اساس مدل مخفی مارکوف

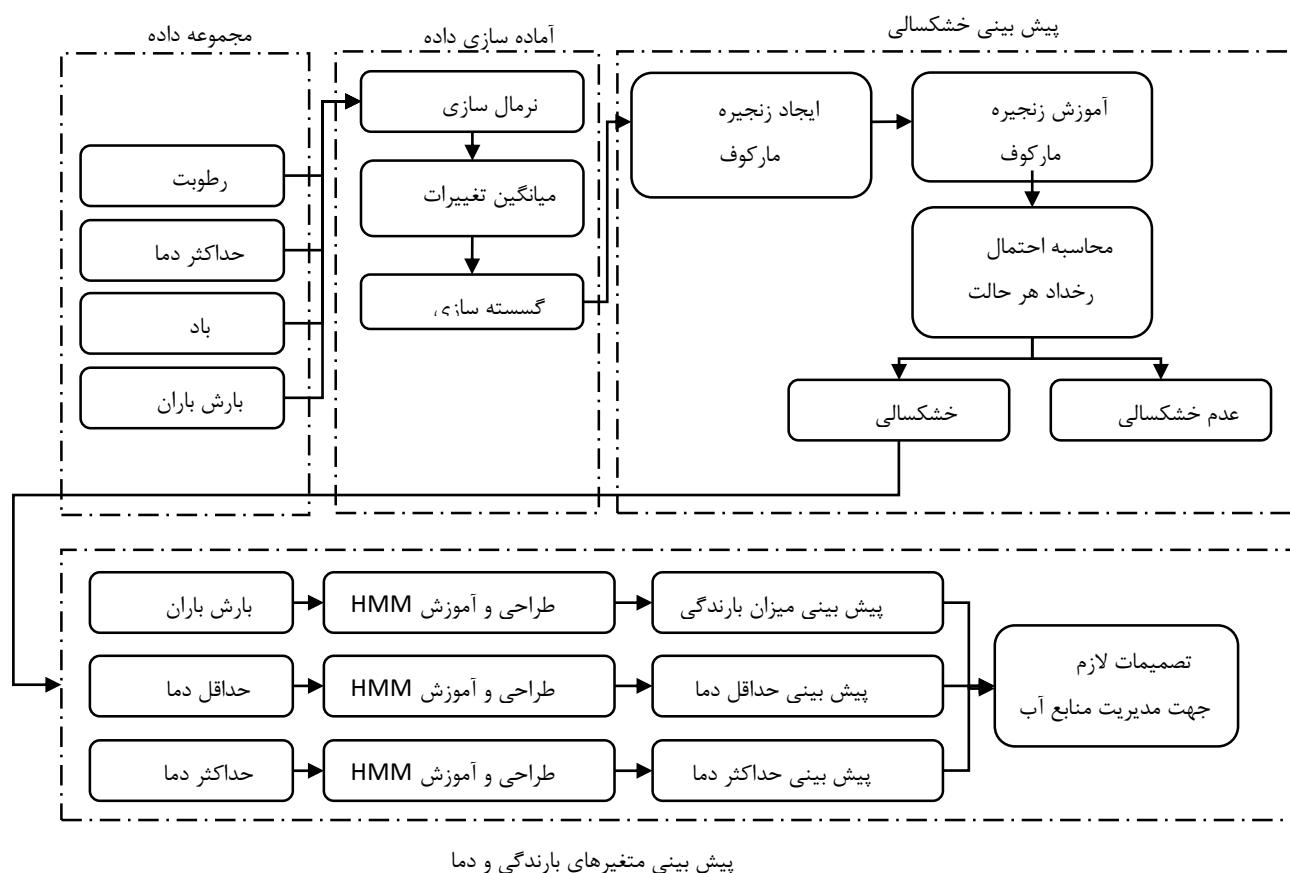
ارائه کردند. بررسی عمومی در خشکسالی مبتنی بر (HMM-DA) بازتاب عدم قطعیت مدل تجزیه و تحلیل HMM را برای طبقه بندی احتمالاتی کشورهای خشکسالی نشان داد.

جی یانگ یو و همکاران (Yoo, Kwon et al. 2015) به بررسی نقش توفان به عنوان گردباد ناشی از باستر خشکسالی (TDB) از طریق روش HMM پرداختند. این مطالعه به تجزیه و تحلیل خشکسالی مبتنی بر مدل مخفی زنجیره مارکوف (HMM-DA) پرداخته است که ابزاری برای درک شروع و پایان خشکسالی هواشناسی بوده و بیشتر برای توصیف گردباد ناشی از باستر خشکسالی (TDB) از طریق بررسی الگوهای خشکسالی مکانی در کره جنوبی می باشد.

هائو و همکاران (AghaKouchak 2015) برای پیش بینی خشکسالی از مفهوم ESP استفاده کردند. در این مطالعه، یک چارچوب چند متغیره برای استفاده از ESP به متغیرهای متعدد (در اینجا پیشنهاد بارش و رطوبت خاک) پیشنهاد شده است. در این مطالعه، نشان داده شد که MSDI منجر به بالاتر رفتن احتمال تشخیص خشکسالی و شاخص بحرانی موفقیت در مقایسه با SPI و SSI (گلیان و همکاران ۲۰۱۴) می شود. به همین دلیل، این مطالعه در پیش بینی خشکسالی تنها بر MSDI تمرکز کرده است.

### ۳- روش پیشنهادی

خشکسالی از وقایع مخرب طبیعی است که بیشترین صدمات را به منابع آبی وارد می نماید؛ بنابراین پیش بینی خشکسالی می تواند نقش مهمی در مدیریت این منابع و بهره برداری بهینه از آنها در چنین شرایطی ایفا کند. در این تحقیق به پیش بینی خشکسالی در شهر مشهد و تهران پرداخته شده است. برای مدل سازی روش پیشنهادی از مدل های مارکوفی شامل زنجیره مارکوف و مدل مخفی مارکوف استفاده شد. فلوجارت روش پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: فلوچارت روش پیشنهادی

### ۳-۱- پیش برداشتن مجموعه داده

در این تحقیق از مجموعه داده آب و هوا شهر مشهد و تهران که از سایت هواشناسی دریافت شده، برای پیش بینی خشک سالی استفاده شده است. این مجموعه داده شامل اطلاعات بارندگی، حداقل دما، حداکثر دما، رطوبت، باد و میزان تابش خورشید به صورت روزانه از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۴ (شامل ۱۲۹۲۸ روز) است. منطقه انتخابی از شهر مشهد در شکل ۲ و شهر تهران در شکل ۳ نشان داده شده است، همان طور که مشاهده می شود، در هر شهر به تجزیه تحلیل اطلاعات مربوط به یک ایستگاه هواشناسی پرداخته شده است.



شکل ۲: منطقه انتخابی از اطلاعات آب و هوایی شهر مشهد



شکل ۳: منطقه انتخابی از اطلاعات آب و هوایی شهر تهران

برای آماده سازی مجموعه داده، ابتدا باید داده ها نرمال شوند. بعد از نرمال کردن داده ها باید بر اساس نوع پیش بینی، میانگین تغییرات هر ویژگی محاسبه شود، زیرا اطلاعات هواشناسی به صورت روزانه ثبت شده است. در مرحله اول روش پیشنهادی به پیش بینی خشک سالی به صورت سالانه و در مرحله دوم به پیش بینی سطح بارندگی و میزان دما به صورت ماهانه و فصلی پرداخته شده است؛ بنابراین مجموعه داده باید به صورت مجزا بر اساس میانگین تغییرات هر ویژگی به صورت ماهانه، فصلی و سالانه به روز شود. در مرحله بعدی آماده سازی داده ها، نوبت به گسسته سازی می رسد، زیرا برای استفاده از مدل های مارکوفی، ویژگی ها باید گسسته شوند. در این مرحله هر ویژگی به صورت

جدول ۱ گسسته می شود. نحوه گسسته شدن ویژگی حداکثر دما در شکل ۴ نشان داده شده، سایر ویژگی ها شامل حداقل، بارندگی، باد به همین ترتیب گسسته می شود. مراحل گسسته سازی در نرم افزار Genie صورت گرفت؛ این نرم افزار از روش سلسله مراتبی برای گسسته سازی استفاده می کند.

جدول ۱: دسته‌بندی ویژگی‌های مجموعه داده هواشناسی

دسته‌بندی	نام ویژگی
بارندگی ضعیف، بارندگی متوسط، بارندگی شدید، بارندگی خیلی شدید	باران
باد کم، باد متوسط، باد شدید، باد خیلی شدید	باد
دما کم، دما متوسط، دما شدید، دما خیلی شدید	حداقل دما
دما کم، دما متوسط، دما شدید، دما خیلی شدید	حداکثر دما



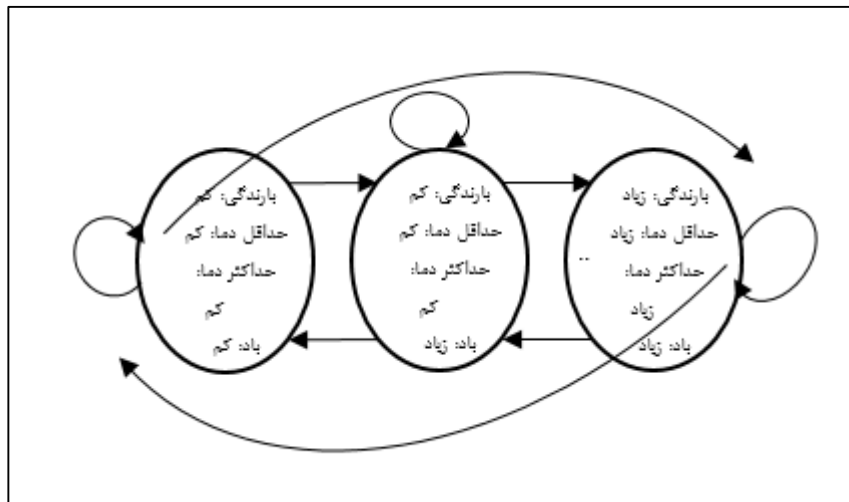
شکل ۴: نحوه گسسته سازی ویژگی حداکثر دما

### ۲-۳- پیش بینی خشک‌سالی

در این مرحله بر اساس ویژگی‌های حداقل دما، حداکثر دما، باد و بارندگی به پیش‌بینی خشک‌سالی پرداخته می‌شود. در طراحی مدل از زنجیره مارکوف استفاده شده است؛ زنجیره مارکوف، یک سیستم ریاضی است که در آن انتقال از یک حالت به حالت دیگر صورت می‌گیرد، البته تعداد این حالات قابل شمارش است، همچنین زنجیره مارکوف یک فرایند تصادفی بدون حافظه است، بدین معنی که توزیع احتمال شرطی حالت بعد تنها به حالت فعلی بستگی دارد و به وقایع قبل از آن وابسته نیست. این نوع بدون حافظه بودن خاصیت مارکوف نام دارد (Banik, Mandal et al. 2002, Paulo and Pereira 2007).

در طراحی زنجیره مارکوف حالات مختلفی که متغیرهای حداقل دما، حداکثر دما، باد و بارندگی نسبت به هم دارند، به‌عنوان حالات زنجیره مارکوف در نظر گرفته می‌شود، نمونه‌ای از زنجیره مارکوف حاصل در

شکل ۵ نشان داده شده است (۲۴ حالت برای زنجیره مارکوف وجود دارد). نکته: در این مرحله از میانگین تغییرات ویژگی‌ها به صورت سالانه استفاده شده، زیرا قصد داریم خشکسالی را به صورت سالانه پیش‌بینی کنیم.



شکل ۵: شمای گرافیکی زنجیره مارکوف

برای آموزش زنجیره مارکوف با استفاده از ماتریس گذار، رابطه بین حالت‌های سیستم در دو مرحله متوالی مشخص می‌شود؛ به عبارت دیگر، با دانستن حالت هر مرحله، می‌توان تابع توزیع حالت سیستم را در مرحله بعد تعیین کرد. بدیهی است با داشتن ماتریس گذار، می‌توان تابع توزیع را به دست آورد. لیکن، هدف این است که بتوان رابطه مستقیم بین هر حالت با حالت قبل خود را تعیین کرد، برای این منظور مراحل زیر انجام می‌شود:



الف) احتمال تغییر حالت سیستم از  $i$  به  $j$  در  $m$  مرحله مطابق رابطه (۱) مشخص می‌شود.

$$P_{ij}^m = P[X_m = j | X_n = i] \quad (1)$$

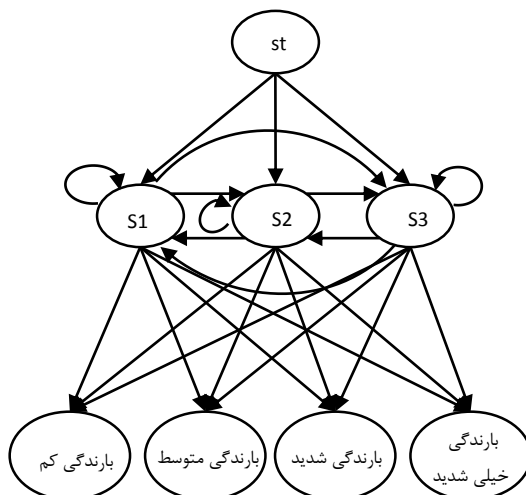
ب) ماتریس گذار بر اساس مرحله قبل تشکیل می‌شود (رابطه ۲).

$$P^{(m)} = \begin{bmatrix} P_{11}^{(m)} & \dots & P_{1M}^{(m)} \\ \vdots & & \vdots \\ P_{M1}^{(m)} & \dots & P_{MM}^{(m)} \end{bmatrix} \quad (2)$$

در نهایت بعد از محاسبه و تشکیل ماتریس گذار، نوبت به پیش‌بینی خشک‌سالی می‌رسد، به این منظور احتمال رخداد هر حالت تعیین می‌شود و حالاتی که در آن میزان بارندگی کم یا متوسط است به‌عنوان حالات خشک‌سالی در نظر گرفته می‌شود، بنابراین احتمال رخداد هر حالت بارندگی محاسبه می‌شود، سپس بیشترین احتمال نمایانگر نتیجه نهایی (خشک‌سالی / عدم خشک‌سالی) است. در صورتی که نتیجه حاصل خشک‌سالی باشد، به مرحله بعد رفته و میزان بارندگی، حداقل دما و حداکثر دما برای دوره‌های ماهانه و فصلی پیش‌بینی می‌شود تا بر اساس آن تصمیمات لازم جهت مدیریت منابع آب گرفته شود.

### ۳-۳- مدیریت منابع آب

در این مرحله بعد از تعیین شدن خشک‌سالی در طی سال آینده، به پیش‌بینی ماهانه و فصلی میزان بارندگی، حداقل دما و حداکثر دما پرداخته می‌شود تا بر اساس نتایج حاصل، تصمیمات لازم جهت مدیریت منابع آب اتخاذ شود. برای مدل‌سازی این قسمت از مدل مخفی مارکوف (Huang, Ariki et al. 1990, Elliott, Aggoun et al. 2008) استفاده شده است، به این صورت که برای هر ویژگی یک HMM طراحی می‌شود (نمونه‌ای از HMM طراحی شده برای ویژگی باران با سه حالت مخفی در شکل ۶ نشان داده شده است)، سپس بر اساس الگوریتم بام ولج (Jahan, Oudelha and Ainon 2010) آموزش می‌یابد. در نهایت برای پیش‌بینی میزان بارندگی، حداقل دما و حداکثر دما احتمال رخداد هر حالت متغیر توسط الگوریتم پیش‌رو محاسبه می‌شود و بیشترین احتمال به‌عنوان نتیجه خروجی است.



شکل ۶: شمای گرافیکی مدل مخفی مارکوف

#### ۴- روش پیشنهادی

#### ۴-۱- معیارهای ارزیابی

برای تجزیه و تحلیل و پیاده سازی روش پیشنهادی از نرم افزار متلب، Genie و معیارهای صحت، Precision، Recall، Fmeasure و نرخ خطا استفاده شد.

معیار دقت مهم ترین معیار برای تعیین کارایی یک روش است. این معیار نشان دهنده این است که روش پیشنهادی چند درصد از کل مجموعه رکوردهای آزمایشی را به درستی تشخیص داده است.

$$Accuracy = \frac{TN + TP}{TN + FN + TP + FP} \quad (۳)$$

معیار Recall، دقت دسته بندی کلاس مثبت را با توجه به کل رکوردها با برچسب کلاس مثبت نشان می دهد (رابطه ۴).

معیار Precision، دقت دسته بندی کلاس منفی را با توجه به کل مواردی که کلاس منفی است، نشان می دهد (رابطه ۵).

$$Recall = \frac{TP}{FN + TP} \quad \longrightarrow \quad \text{Max}(P1, P2, P3, P4)$$

$$Precision = \frac{TP}{FP + TP} \quad (۵)$$

معیار F-Measure ترکیب معیارهای Recall و Precision را نشان می دهد و در مواردی مورد استفاده قرار می گیرند

که نتوان اهمیت ویژه ای را برای هر یک از دو معیار Recall و Precision نسبت به یکدیگر قائل شد. مقادیر معیار F-Measure با استفاده از رابطه (۶) قابل محاسبه می باشد.

$$F - Measure = \frac{2 \times Recall \times Precision}{Recall + Precision} \quad (۶)$$

#### ۴-۲- نتایج ارزیابی

در این تحقیق به پیش‌بینی خشک‌سالی در شهر مشهد و تهران پرداخته شده است. برای مدل‌سازی روش پیشنهادی از مدل‌های مارکوفی شامل زنجیره مارکوف و مدل مخفی مارکوف استفاده شد. همان‌طور که گفته شد، روش پیشنهادی در مرحله اول بر اساس زنجیره مارکوف با ویژگی‌های بارندگی، حداقل دما، حداکثر دما و باد مدل‌سازی شد و به پیش‌بینی سالانه خشک‌سالی پرداخت. نتایج حاصل از آزمون Precision، Recall و F-measure برای پیش‌بینی خشک‌سالی در شهر تهران و مشهد در جدول ۲ نشان داده شده است؛ همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر Precision و Recall برای شهر تهران به ترتیب برابر ۰,۸۰۷۱ و ۰,۸۲۷۳ و برای شهر مشهد ۰,۹۶۴۳ و ۰,۹۵۴۵ است. این نتایج نشانگر این است که روش پیشنهادی توانایی تشخیص سال‌های خشک‌سالی و غیر خشک‌سالی را دارد، بنابراین زنجیره مارکوف مدل مناسبی برای پیش‌بینی است.

جدول ۲: نتایج حاصل از آزمون‌های Precision، Recall و F-measure برای پیش‌بینی خشک‌سالی در مرحله اول

مجموعه داده	Precision	Recall	F-measure
Tehran	۰,۸۰۷۱	۰,۸۲۷۳	۰,۸۰۷۱
Mashhad	۰,۹۶۴۳	۰,۹۵۴۵	۰,۹۶۳۰

جدول ۳، نشان‌دهنده نتایج حاصل از آزمون‌های دقت و نرخ خطا برای پیش‌بینی خشک‌سالی در مرحله اول است؛ همان‌طور که مشاهده می‌شود زنجیره مارکوف در مرحله اول قادر به صحت پیش‌بینی ۰,۸۵۱۹٪ بر روی مجموعه داده شهر تهران و صحت ۰,۹۶۳۰٪ بر روی شهر مشهد است.

جدول ۳: نتایج حاصل از آزمون‌های دقت و نرخ خطا برای پیش‌بینی خشک‌سالی در مرحله اول

مجموعه داده	Accuracy	Error rate
Tehran	۰,۸۵۱۹	۰,۱۴۸۱
Mashhad	۰,۹۶۳۰	۰,۰۳۷۰

در مرحله دوم روش پیشنهادی بعد از تعیین شدن خشک‌سالی در طی سال آینده، به پیش‌بینی ماهانه و فصلی میزان بارندگی، حداقل دما و حداکثر دما پرداخته شد تا بر اساس نتایج حاصل، تصمیمات لازم جهت مدیریت منابع آب اتخاذ شود. برای

مدل سازی این قسمت از مدل مخفی مارکوف استفاده شده است. جدول ۴، نشان دهنده نتایج حاصل از آزمون های دقت و نرخ خطا برای پیش بینی ماهانه بارندگی برای شهر تهران و مشهد است. همان طور که مشاهده می شود مدل مخفی مارکوف دقت ۰,۷۶۴۱٪ در پیش بینی ماهانه بارندگی شهر مشهد و دقت ۰,۶۷۰۲٪ در پیش بینی ماهانه بارندگی شهر تهران کسب کرده است. کمترین نرخ خطا مربوط به شهر مشهد بوده است. در این مرحله برای طراحی HMM تعداد حالات مخفی متفاوت بررسی شد، اما نتایج تغییری نکرد، بنابراین HMM با ۳ حالت مخفی مدل شد.

جدول ۴: نتایج حاصل از آزمون های دقت و نرخ خطا برای پیش بینی ماهانه بارندگی

	Accuracy	Error rate
Mashhad	۰,۷۶۴۱	۰,۲۳۵۹
Tehran	۰,۶۷۰۲	۰,۳۲۹۸

جدول ۵، نشان دهنده نتایج حاصل از آزمون های دقت و نرخ خطا برای پیش بینی فصلی بارندگی برای شهر تهران و مشهد است. همان طور که مشاهده می شود مدل مخفی مارکوف دقت ۰,۸۰۸۵٪ در پیش بینی ماهانه بارندگی شهر مشهد و دقت ۰,۸۵۲۱٪ در پیش بینی ماهانه بارندگی شهر تهران کسب کرده است. کمترین نرخ خطا مربوط به شهر تهران بوده است. در این مرحله برای طراحی HMM تعداد حالات مخفی متفاوت بررسی شد، اما نتایج تغییری نکرد، بنابراین HMM با ۳ حالت مخفی مدل شد.

جدول ۵: نتایج حاصل از آزمون های دقت و نرخ خطا برای پیش بینی فصلی بارندگی

مجموعه داده	Accuracy	Error rate
Mashhad	۰,۸۰۸۵	۰,۱۹۱۵
Tehran	۰,۸۵۲۱	۰,۱۴۷۹

جدول ۶، نشان دهنده نتایج حاصل از آزمون های دقت و نرخ خطا برای پیش بینی ماهانه حداقل دما است. همان طور که مشاهده می شود در این بخش HMM با تعداد ۳ و ۵ حالت مخفی مدل شده است. بر روی مجموعه داده شهر مشهد HMM با ۵ حالت مخفی بیشترین دقت ۰,۷۱۳۳٪ و بر روی مجموعه داده شهر تهران HMM با ۵ حالت مخفی بیشترین دقت ۰,۶۸۱۸٪ را کسب کرده است. بنابراین در مدل پیشنهادی برای پیش بینی حداقل دما ۵ حالت مخفی انتخاب می شود.

جدول ۶: نتایج حاصل از آزمون‌های دقت و نرخ خطا برای پیش‌بینی ماهانه حداقل دما

مجموعه داده	تعداد حالات مخفی	Accuracy	Error rate
Mashhad	۳	۰,۶۷۷۳	۰,۳۲۱۷
	۵	۰,۷۱۳۳	۰,۲۸۶۷
Tehran	۳	۰,۶۲۹۴	۰,۳۷۰۶
	۵	۰,۶۸۱۸	۰,۳۱۸۲

جدول ۷، نشان‌دهنده نتایج حاصل از آزمون‌های دقت و نرخ خطا برای پیش‌بینی فصلی حداقل دما است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در این بخش HMM با تعداد ۳ و ۵ حالت مخفی مدل شده است. بر روی مجموعه داده شهر مشهد HMM با ۵ حالت مخفی بیشترین دقت ۰,۷۲۳۴٪ و بر روی مجموعه داده شهر تهران HMM با ۵ حالت مخفی بیشترین دقت ۰,۶۸۰۹٪ را کسب کرده است؛ بنابراین در مدل پیشنهادی برای پیش‌بینی حداقل دما ۵ حالت مخفی انتخاب می‌شود.

جدول ۷: نتایج حاصل از آزمون‌های دقت و نرخ خطا برای پیش‌بینی فصلی حداقل دما

مجموعه داده	تعداد حالات مخفی	Accuracy	Error rate
Mashhad	۳	۰,۷۰۲۱	۰,۲۷۶۶
	۵	۰,۷۲۳۴	۰,۲۷۷۹
Tehran	۳	۰,۵۹۵۷	۰,۴۰۴۳
	۵	۰,۶۸۰۹	۰,۳۱۹۱

جدول ۸، نشان‌دهنده نتایج حاصل از آزمون‌های دقت و نرخ خطا برای پیش‌بینی ماهانه حداکثر دما است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در این بخش HMM با تعداد ۳ و ۵ حالت مخفی مدل شده است. بر روی مجموعه داده شهر مشهد HMM با ۵ حالت مخفی بیشترین دقت ۰,۷۳۱۵٪ و بر روی مجموعه داده شهر تهران HMM با ۵ حالت مخفی بیشترین دقت ۰,۶۷۰۲٪ را کسب کرده است. بنابراین در مدل پیشنهادی برای پیش‌بینی حداکثر دما ۵ حالت مخفی انتخاب می‌شود.

جدول ۸: نتایج حاصل از آزمون‌های دقت و نرخ خطا برای پیش‌بینی ماهانه حداکثر دما

مجموعه داده	تعداد حالات مخفی	Accuracy	Error rate
Mashhad	۳	۰,۶۵۷۳	۰,۳۴۲۷
	۵	۰,۷۳۱۵	۰,۲۶۸۵
Tehran	۳	۰,۶۵۹۶	۰,۳۴۰۴
	۵	۰,۶۷۰۲	۰,۳۲۹۸

جدول ۹، نشان‌دهنده نتایج حاصل از آزمون‌های دقت و نرخ خطا برای پیش‌بینی فصلی حداکثر دما است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در این بخش HMM با تعداد ۳ و ۵ حالت مخفی مدل شده است. بر روی مجموعه داده شهر مشهد HMM با ۵ حالت مخفی بیشترین دقت ۰,۶۷۰۲٪ و بر روی مجموعه داده شهر تهران HMM با ۵ حالت مخفی بیشترین دقت ۰,۶۸۵۳٪ را کسب کرده است؛ بنابراین در مدل پیشنهادی برای پیش‌بینی حداکثر دما ۵ حالت مخفی انتخاب می‌شود.

جدول ۹: نتایج حاصل از آزمون‌های دقت و نرخ خطا برای پیش‌بینی فصلی حداکثر دما

مجموعه داده	تعداد حالات مخفی	Accuracy	Error rate
Mashhad	۳	۰,۶۲۷۷	۰,۳۷۲۳
	۵	۰,۶۷۰۲	۰,۳۲۹۸
Tehran	۳	۰,۶۳۲۹	۰,۳۶۷۱
	۵	۰,۶۸۵۳	۰,۳۱۴۷

روش پیشنهادی با روش‌های مدل مخفی مارکوف استاندارد و شبکه بیزین مقایسه شد. جدول ۱۰، نشان‌دهنده نتایج حاصل از مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های مدل مخفی مارکوف استاندارد و شبکه بیزین بر اساس دقت و نرخ خطا است. همان‌طور که مشاهده می‌شود روش پیشنهادی بر روی مجموعه داده شهر مشهد در مقایسه با HMM ۱۴٪ و در مقایسه با شبکه بیزین ۳۱٪ افزایش دقت داشته است. روش پیشنهادی بر روی مجموعه داده شهر تهران در مقایسه با HMM ۱۰٪ و در مقایسه با شبکه بیزین ۱۵٪ افزایش دقت داشته است.

جدول ۱۰: نتایج حاصل از مقایسه روش پیشنهادی با HMM و شبکه بیزین

مجموعه داده	روش ها	Accuracy	Error rate
Mashhad	HMM	۰,۸۲۳۵	۰,۱۷۶۵
	BN	۰,۶۵۷۱	۰,۳۴۲۹
	روش پیشنهادی	۰,۹۶۳۰	۰,۰۳۷
Tehran	HMM	۰,۷۵۷۶	۰,۲۴۲۴
	BN	۰,۷۰۵۸	۰,۲۹۴۱
	روش پیشنهادی	۰,۸۵۱۹	۰,۱۴۸۱

## ۵- نتیجه گیری

در این تحقیق به پیش‌بینی خشک‌سالی در شهر مشهد و تهران پرداخته شد. برای مدل‌سازی روش پیشنهادی از مدل‌های مارکوفی شامل زنجیره مارکوف و مدل مخفی مارکوف استفاده شد. روش پیشنهادی در مرحله اول بر اساس زنجیره مارکوف به پیش‌بینی خشک‌سالی پرداخت، سپس در مرحله دوم سطح بارندگی و دما بر اساس مدل مخفی مارکوف پیش‌بینی شد تا بر اساس اطلاعات به دست آمده تصمیمات لازم جهت مدیریت منابع آب گرفته شود.

روش پیشنهادی با روش‌های مدل مخفی مارکوف استاندارد و شبکه بیزین بر اساس دقت و نرخ خطا مقایسه شد. نتایج نشان داد روش پیشنهادی بر روی مجموعه داده شهر مشهد در مقایسه با HMM ۱۴٪ و در مقایسه با شبکه بیزین ۳۱٪ افزایش دقت و بر روی مجموعه داده شهر تهران در مقایسه با HMM ۱۰٪ و در مقایسه با شبکه بیزین ۱۵٪ افزایش دقت داشته است.



## ۶- منابع :

from <http://globalweather.tamu.edu/>.

- AghaKouchak, A. (2015). "A multivariate approach for persistence-based drought prediction: Application to the 2010–2011 East Africa drought." *Journal of Hydrology* **526**: 127-135.
- Banik, P., A. Mandal and M. S. Rahman" (۲۰۰۲). "Markov chain analysis of weekly rainfall data in determining drought-proneness." *Discrete Dynamics in Nature and Society* **7**(4): 231-239.
- Deo, R. C. and M. Şahin (2015). "Application of the extreme learning machine algorithm for the prediction of monthly Effective Drought Index in eastern Australia." *Atmospheric Research* **153**: 512-525.
- Dutra, E., L. Magnusson, F. Wetterhall, H. L. Cloke, G. Balsamo, S. Bousetta and F. Pappenberger (2013). "The 2010–2011 drought in the Horn of Africa in ECMWF reanalysis and seasonal forecast products." *International Journal of Climatology* **33**(7): 1720-1729.
- Elliott, R. J., L. Aggoun and J. B. Moore (2008). *Hidden Markov models: estimation and control*, Springer Science & Business Media.
- Huang, X. D., Y. Ariki and M. A. Jack (1990). *Hidden Markov models for speech recognition*, Edinburgh university press Edinburgh.
- Jahan, M. V. *An Introduction to Computer Modeling and Simulation (In Persian)*, Islamic Azad University – Khate Aval Press.
- Mallya, G., V. Mishra, D. Niyogi, S. Tripathi and R. S. Govindaraju (2016). "Trends and variability of droughts over the Indian monsoon region." *Weather and Climate Extremes* **12**: 43-68.
- Oudelha, M. and R. N. Aïnon (2010). *HMM parameters estimation using hybrid Baum-Welch genetic algorithm*. Information Technology (ITSim), 2010 International Symposium in, IEEE.
- Paulo, A. A. and L. S. Pereira (2007). "Prediction of SPI drought class transitions using Markov chains." *Water resources management* **21**(10): 1813.
- Ramadas, M. and R. S. Govindaraju (2010). "Probabilistic assessment of agricultural droughts using graphical models." *Journal of Hydrology* **526**: 151-163.
- Rezaeianzadeh, M., A. Stein and J. P. Cox (2016). "Drought forecasting using Markov chain model and artificial neural networks." *Water resources management* **30**(7): 2245-2259.
- Wilhite, D. A. (2000). "Drought as a natural hazard: concepts and definitions".
- Wilhite, D. A. and M. H. Glantz (1985). "Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions." *Water international* **10**(3): 111-120.
- Yoo, J., H. H. Kwon, B. J. So, B. Rajagopalan and T. W. Kim (2015). "Identifying the role of typhoons as drought busters in South Korea based on hidden Markov chain models." *Geophysical Research Letters* **42**(8): 2797-2804.

## **Drought and Precipitation level forecast in Iran for water source management based on Combinational Markov Models**

### **Abstraction**

Drought is considered as one of the vital natural disasters that can be occurred in any climate. Given that drought incidence is inevitable, so its recognition is of important in order to efficient management of water. In this article drought forecasts in Tehran and Mashhad are considered. To this Markov models have been applied. At first stage after preprocessing of data, according to precipitation features, lowest temperature, highest temperature and wind Markov chains were created and the possibility of its incidence for next year was calculated, then at second stage precipitation level, lowest and highest temperature were forecasted by Markov hidden models so that based on them necessary decisions for water source management can be taken. Suggested method was compared based on error rate and accuracy by standard hidden Markov models and Bayesian network. The results show that suggested method on Mashhad collection data had 14% and 31% and on Tehran collection data 10% and 15% better accuracy compared to HMM and Bayesian network, respectively.

Keywords: Drought, water source management, Markov chain, hidden Markov model.