

آشکارسازی وابستگی‌های بین پارامترهای اقیانوسی - جوی و اقلیمی برای پایش خشکسالی با روش داده‌کاوی (مطالعه موردی: استان خوزستان)

مهدی نیکزاد^{1*}، سید محمود رضا بهبهانی² و علی رحیمی خوب³

چکیده

خشکسالی یک پدیده طبیعی است که به کندی آغاز، به آرامی گسترش و به شدت بر همه جوانب فعالیت‌های بشری تأثیر می‌گذارد. پس شناخت کامل، همه جانبه و پایش دقیق آن می‌تواند ابزار مناسبی را برای مقابله با آن و کاهش اثرات زیان‌بارش فراهم کند. یکی از مناطق استراتژیک که به لحاظ کشاورزی اهمیت خاصی دارد، استان خوزستان است که به دلیل وجود رودخانه‌های دائمی و سیل خیز بودن آن‌ها و همچنین وجود مخازن مختلف بسیار مهم است. هدف اصلی این پژوهش بهبود پایش خشکسالی توسط کشف وابستگی‌های بین خشکسالی و چندین پارامتر اقیانوسی - جوی به روشی متفاوت با روش آماری است. در این مطالعه از روش داده‌کاوی قوانین انجمنی استفاده شد. حوادث خشکسالی بر اساس شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) تعیین و وابستگی‌هایش با شاخص‌های اقیانوسی - جوی SOI، MEI، PNA، PDO و NAO بررسی شد. نتایج نشان داد که طبقه الگوهای منتخب حاکم بر وقوع خشکسالی در تأخیرهای زمانی متفاوت، مشابه هم بوده بدین معنی که وقایع خشکسالی بیشتر با وضعیت نرمال شاخص‌ها همراه بوده و با دقت حداکثر ۷۴/۲۴ و حداقل ۴۴/۸۶ درصد قابل پیش‌بینی است. بنابراین قوانینی که با این روش حاصل می‌شود می‌تواند به عنوان مکمل رویکردهای موجود پایش خشکسالی به کار برد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی خشکسالی، خوزستان، شاخص SPI، شاخص‌های اقیانوسی - اتمسفری، قوانین انجمنی.

ارجاع: نیکزاد م. بهبهانی س. م. ر. و رحیمی خوب ع. ۱۳۹۲. آشکارسازی وابستگی‌های بین پارامترهای اقیانوسی - جوی و اقلیمی برای پایش خشکسالی با روش داده‌کاوی (مطالعه موردی: استان خوزستان). مجله پژوهش آب ایران. ۷(۱۳): ۱۷۵-۱۸۳.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی منابع آب، گروه آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

۲- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

۳- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

* نویسنده مسئول: mmmnikzad@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۹/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۰۳

مقدمه

اطلس شمالی (NAO) بر پیش‌بینی تغییرات بارش مناطق جنوبی ایران پرداخت، نتایج نشان داد که این مناطق در فازهای گرم ENSO و NAO و فاز سرد SST با پربارشی و در فازهای سرد ENSO و NAO و فاز گرم SST با کم‌بارشی روبرو هستند. ناظم السادات و همکاران (۱۹۹۵) نشان دادند که همبستگی منفی و معنی‌داری بین دمای زمستانه سطح آب‌های خلیج فارس و بارش زمستانه در استان‌های جنوبی و جنوب غرب کشور (فارس، بوشهر، خوزستان و هرمزگان) وجود دارد. کارآموز و همکاران (۲۰۰۴) در پژوهشی میزان تأثیر متغیرهای جنوب غربی ایران را بر مقدار بارندگی تخمین زدند، نتایج نشان داد که الگوهای جهانی چرخه جوی مانند ENSO، NAO و دمای سطح دریای خلیج فارس (PGSST) می‌توانند شاخص‌های نمایانگر خشکسالی‌های هواشناسی در محدوده مورد مطالعه باشند.

در بررسی مطالعات انجام شده در سطح جهان و ایران در زمینه خشکسالی، دیده می‌شود که پیش‌بینی خشکسالی کمتر توجه شده است حتی در مواردی پیش‌بینی آن را با تردید طرح کرده‌اند (باقرزاده‌چهره، ۱۳۸۴). در کاربرد سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی و بررسی تأثیر آن‌ها بر رخداد بارندگی‌ها، بیشتر پژوهش‌ها اثر همزمان رخداد آن‌ها را با بارندگی ارزیابی کرده‌اند و تأخیر زمانی بین رخداد آن‌ها منظور نشده است، که از این نظر در پیش‌بینی‌ها به خصوص در منطقه‌ای که کشور ما در آن قرار دارد، کاستی‌هایی دیده می‌شود. هدف این پژوهش، بهبود بخشیدن پیش‌بینی خشکسالی با یافتن وابستگی‌های بین خشکسالی و چندین پارامتر اقیانوسی- اتمسفری و همچنین شناسایی وقوع حوادث خشکسالی با یک تأخیر زمانی معین از این شاخص‌ها، با به‌کارگیری یکی از روش‌های داده‌کاوی به نام قوانین انجمنی در استان خوزستان است. همچنین این پژوهش به دنبال یافتن صحت فرضیات ذیل است:

- ۱) پارامترهای اقیانوسی- اتمسفری به طور جداگانه توانایی پیش‌بینی خشکسالی را در استان خوزستان با دقت بالا دارند و استفاده ترکیبی آن‌ها باعث بهبود نتایج می‌شود.
- ۲) روش داده‌کاوی قوانین انجمنی به دلیل انعطاف‌پذیری می‌تواند روابط سودمندی را از پایگاه داده استخراج کرده و به دلیل در نظر گرفتن تأخیرهای زمانی پیش‌بینی

کشور ایران به دلیل ریزش‌های جوی کم و نامناسب بودن پراکنش‌های زمانی و مکانی بارندگی در زمره کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان قرار دارد و به شدت از این بابت ضربه‌پذیر است (باقرزاده‌چهره، ۱۳۸۴). انتقال مدیریت بحران به مدیریت ریسک به عنوان امری اجتناب‌ناپذیر، برای به حداقل رساندن اثرات سوء خشکسالی در مدیریت این رویداد طبیعی بسیار ضروری است، در این راستا از ضروری‌ترین ابزارها، طراحی سیستم‌های پیش‌خشکسالی است (جلیلی، ۱۳۸۴). پژوهش حاضر قسمتی از اقدامات لازم برای طراحی این سیستم‌ها را شامل می‌شود. از دیرباز دانشمندان تلاش می‌کردند که روابطی بین میزان بارش و پارامترهای هواشناسی کوچک مقیاس موضعی ایجاد کنند. اما بعدها با شناخت سیگنال‌های اقلیمی بزرگ مقیاس (Large Scale Climate Signals) تلاش پژوهشگران به این سمت کشیده شد که روابطی بین این سیگنال‌ها و تغییرات بارش برقرار و تعریف کنند که می‌تواند در پیش‌بینی خشکسالی به کار رود (گلانتز، ۱۹۹۴ و روبلوزکی و هالپرت، ۱۹۸۷). داده‌کاوی (Data Mining) یک روش جدید است که می‌تواند الگوها و روابط پنهان درون حجم زیادی از داده‌ها را آشکار کند. روش داده‌کاوی در زمینه‌های تجاری، پزشکی و شبکه‌های مخابراتی به کار رفته است اما در زمینه خشکسالی فقط یک بار (تادس و همکاران، ۲۰۰۴) استفاده شده است.

مک‌کیب و همکاران (۲۰۰۷) ارتباط بین وقوع خشکسالی در ایالات متحده با میزان تغییرات دمای سطح دریا (SST) در اقیانوس آرام و اطلس شمالی در طول چند دهه اخیر را بررسی کردند، نتیجه حاصل آنکه تغییرات SST در قرن ۱۹ و ۲۰ به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد خشکسالی در ایالات متحده آمریکا در کنار شاخص‌های دیگری مانند ENSO مطرح شده است. تادس و همکاران (۲۰۰۴) در پژوهشی، وابستگی‌های بین حوادث خشکسالی و شاخص‌های اقیانوسی- اقلیمی را با روش داده‌کاوی قوانین انجمنی بررسی کردند، نتایج نشان داد که تعدادی از شاخص‌ها مانند نوسانات جنوبی اقیانوس آرام (SOI)، انسو چند متغیره (MEI)، نوسانات دهه‌ایی اقیانوس آرام (PDO) روابط به نسبت قوی‌تری با حوادث خشکسالی دارند. کوره‌پزان (۱۳۸۲) در پژوهشی به بررسی تأثیر سیگنال‌های هواشناسی بزرگ مقیاس مانند ENSO، SST و نوسانات

۲- شاخص آمریکای شمالی اقیانوس آرام (PNA)؛ الگویی است که در جو بالا رخ می‌دهد این پدیده یکی از مدل‌های حاکم بر تغییرات اقلیمی در عرض‌های میانی زمینی در طول ماه‌های زمستان است (باقرزاده‌چهره، ۱۳۸۴).

۳- شاخص انسو چند متغیره (MEI)، بر اساس شش متغیر اصلی دیده شده در اقیانوس آرام استوایی محاسبه می‌شود که عبارتند از: فشار سطح دریا (SLP)، مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد سطحی، دمای سطح دریا (SST)، دمای هوای سطحی و میزان ابری بودن آسمان. MEI مثبت شرایط ال نینو و MEI منفی شرایط لانینا را نشان می‌دهد (تادس و همکاران، ۲۰۰۴).

۴- شاخص نوسانات دهه‌ای اقیانوس آرام (PDO)، به عنوان مؤلفه اصلی تغییرات ماهانه دمای سطح دریا در ناحیه قطبی ۲۰ درجه شمالی (۲۰N) اقیانوس آرام شمالی، تعریف می‌شود. مقادیر مثبت PDO نشان دهنده فاز گرم دمای سطح دریای اقیانوس آرام شمالی و مقادیر منفی نشان دهنده فاز سرد هستند (تادس و همکاران، ۲۰۰۴).

۵- شاخص نوسانات اطلس شمالی (NAO)، بر اساس اختلاف فشار نرمال شده بین یک ایستگاه در آزورس (Azores)، گروهی از جزایر در اقیانوس اطلس، و ایستگاه دیگر در ایسلند (Iceland)، تعریف می‌شود (تادس و همکاران، ۲۰۰۴). شاخص NAO مثبت یک وضعیت شدیدتر از حالت نرمال در مرکز پر فشار جنب حاره و عمیق‌تر از حالت نرمال را در مرکز کم فشار ایسلند نشان می‌دهد. شاخص NAO منفی نمایانگر ضعیف بودن مراکز پر فشار جنب حاره و کم فشار ایسلند است. در نتیجه گرادیان فشار بین این نواحی کاهش یافته و باعث می‌شود که طوفان‌های زمستانه ضعیف‌تری در مسیر شرقی- غربی اتفاق بیافتد (باقرزاده‌چهره، ۱۳۸۴).

شاخص بارندگی استاندارد شده

شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در سال ۱۹۹۳ برای پایش خشکسالی اقلیمی (هواشناسی) اختراع شد (کارآموز و عراقی‌نژاد، ۱۳۸۴). مک‌کی و همکاران، شاخص SPI را برای مقیاس‌های زمانی مختلف مانند: ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه، ارایه کردند، محاسبه این شاخص برای هر مکان بر اساس ثبت بارش طولانی مدت در پیروید زمانی مورد نظر پایه‌گذاری شده است. مقادیر مثبت SPI نشان دهنده

خشکسالی را با دقت خوبی انجام دهد. همچنین نسبت به روش‌های سنتی همبستگی‌های آماری می‌تواند روابط و الگوهای پنهان بیشتری را آشکار کند.

مواد و روش‌ها

به علت حجم بالای عملیات داده‌کاوی قوانین انجمنی و نیاز این روش به اطلاعات تاریخی دراز مدت صحیح برای اطمینان به الگوهای کشف شده توسط آن و همچنین به دلیل اینکه این پژوهش تأثیر پارامترهای اقیانوسی- اتمسفری بزرگ مقیاس بر خشکسالی‌های استان را بررسی می‌کند یک ایستگاه نمونه برای انجام آزمایش‌ها که شرایط مذکور را داشت انتخاب شد. این پژوهش بر روی ایستگاه سینوپتیک آبادان در استان خوزستان در جنوب غربی کشور ایران، انجام شده است. این ایستگاه از جمله مناطق مهم استان بوده و از طرفی دارای آمار بلند مدت بارندگی ماهانه، حداقل ۵۰ سال، است و در محدوده جغرافیایی به طول و عرض به ترتیب $15^{\circ} 48'$ شرقی و $22^{\circ} 30'$ شمالی قرار دارد و متوسط بارندگی سالانه این ایستگاه ۱۶۷ میلی‌متر است. آمار مربوط به بارندگی ایستگاه آبادان به صورت ماهانه و شاخص‌های اقیانوسی- اتمسفری SOI، MEI، PDO، PNA و NAO از پایگاه‌های داده زیر دریافت شد.

۱. موسسه مشترک مطالعات اقیانوسی و اتمسفری دانشگاه واشنگتون (jisao)
۲. بانک اطلاعات سازمان مدیریت اقیانوسی و اتمسفری ایالات متحده آمریکا (noaa)
۳. واحد مطالعات اقلیمی دانشگاه انگلستان شرقی (cru)

www.jisao.washington.edu
www.cru.uea.ac.uk
www.cpc.ncep.noaa.gov
www.cdc.noaa.gov

شاخص‌های اقیانوسی- اتمسفری

در این پژوهش پنج شاخص از رایج‌ترین و معروف‌ترین شاخص‌های اقیانوسی- جوی شامل موارد زیر استفاده شد:

- ۱- شاخص نوسان جنوبی (SOI)؛ بیانگر شدت گرادیان فشار در امتداد شرقی- غربی اقیانوس آرام است (باقرزاده‌چهره، ۱۳۸۴). SOI مثبت شرایط لانینا (خشک‌تر از نرمال) و SOI منفی شرایط ال نینو (مرطوب‌تر از نرمال) را نشان می‌دهد (تادس و همکاران، ۲۰۰۴).

استفاده شده است که می‌تواند قدرت تأثیر روابط را نسبت به هم مشخص کند. معیارهای پشتیبان، اطمینان و Leverage بر اساس معادلات ۱ تا ۳ محاسبه می‌شوند.

$$\text{Support}(X \rightarrow Y) = \text{Support}(X \cup Y) \quad (1)$$

$$\text{Confidence}(X \rightarrow Y) = \frac{\text{Support}(X \cup Y)}{\text{Support}(X)} \quad (2)$$

$$\text{Leverage}(X \rightarrow Y) = \text{Support}(X \rightarrow Y) - \text{Support}(X) * \text{Support}(Y) \quad (3)$$

که در آن‌ها $\text{Support}(X \rightarrow Y)$ ، $\text{Confidence}(X \rightarrow Y)$ و $\text{Leverage}(X \rightarrow Y)$ به ترتیب پشتیبان، اطمینان و معیار سودمندی الگوی مربوطه و $\text{Support}(X)$ ، $\text{Support}(Y)$ و $\text{Support}(X \cup Y)$ به ترتیب تعداد دفعات تکرار شده الگوی X ، Y و X به همراه Y در پایگاه داده می‌باشند.

الگوریتم‌های متفاوتی تا به حال برای کشف قوانین انجمنی ارایه شده است مانند الگوریتم Apriori (علیخانزاده، ۱۳۸۷) که در این الگوریتم با توجه به ماهیت کاربردی آن که در تحلیل سبد خرید است. مسأله سری‌های زمانی و تأخیرهای رخدادها مطرح نبوده است، ولی به علت ماهیت مسأله خشکسالی که عوامل مختلفی سبب وقوع آن می‌شود و همچنین تأثیر این عوامل بر خشکسالی معمولاً با تأخیر زمانی خود را نشان می‌دهد، بنابراین لازم است تغییراتی در الگوریتم Apriori داده شود تا قابل استفاده برای بررسی خشکسالی شود. منطق و روش کار مطابق الگوریتم Apriori است با این تفاوت که در این جا هدف پیدا کردن الگوهایی از پارامترهای اقیانوسی - اتمسفری و خشکسالی است که پیشوند و پسوند قانون از هم جدا هستند و وقوع پسوند با یک تأخیر زمانی نسبت به وقوع پیشوند اتفاق می‌افتد. یک قانون در الگوریتم مورد استفاده مشابه رابطه $X \rightarrow \text{Lag } Y$ تعریف می‌شود. که در آن X و Y حوادث پیشوند (علت، Antecedent) و پسوند (معلول، Consequent) و Lag اندازه تأخیر زمانی بین وقایع پیشوند و پسوند است. این روش به دنبال یافتن قوانینی متمرکز می‌شود که حوادث پیشوند و پسوند آن به طور مجزا از هم اتفاق می‌افتند همچنین شروع پسوند به دنبال شروع پیشوند با یک تأخیر زمانی معین، است. الگوریتم مذکور در استان خوزستان برای فاصله زمانی ۱۹۵۲ تا ۲۰۰۱ (۵۰ سال) در ایستگاه آبادان با در نظر گرفتن پارامترهای اقیانوسی - اتمسفری به عنوان پیشوند (علت قانون) و حوادث خشکسالی به عنوان پسوند (معلول قانون) استفاده شده است.

بارندگی بیشتر از بارش متوسط و مقادیر منفی آن معنای عکس را دارد (باقرزاده‌چهره، ۱۳۸۴).

طبقه‌بندی‌های متفاوتی از شاخص SPI وجود دارد که هر کدام از آن‌ها، این شاخص را به ۵ تا ۷ طبقه یا بیشتر تقسیم کرده‌اند که هر کدام از طبقات، نشان دهنده خشکسالی یا ترسالی و شدت آن است. ولی به دلیل اینکه خشکسالی جزء پدیده‌های نادر بوده و وقوع آن نسبت به طبقات با شرایط خنثی و ترسالی، بسیار کم است بنابراین اگر هدف یافتن هر طبقه از خشکسالی با شدت‌های متفاوت مانند خشکسالی‌های بسیار شدید، شدید و ملایم، الگوهایی از پایگاه داده‌ها را از پایگاه داده باشد به علت کمبود داده برای عملیات داده‌کاوی که لازمه آن حجم بالای داده است، الگوها به علت تکرار پایین بی‌معنی بوده و قابل اعتماد نیستند. بنابراین طبق جدول ۱ دو طبقه برای شاخص SPI در نظر گرفته شد که شرایط خشک‌تر از نرمال، شرایط خشکسالی نامیده می‌شود. در این حالت خشکسالی ۲۹۲ بار در ۵۰ سال اتفاق افتاده که در حدود ۴۸/۶۷ درصد ماه‌ها، خشکسالی را تجربه کرده‌اند. در این پژوهش از SPI با مقیاس زمانی ۱۲ ماهه (سالانه) استفاده و با نرم‌افزار SPI محاسبه شد.

جدول ۱- طبقه‌بندی شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)

مقادیر SPI	وضعیت خشکسالی
$SPI \geq 0$	مرطوبتر از نرمال (ترسالی)
$SPI < 0$	خشکتر از نرمال (خشکسالی)

روش قوانین انجمنی

قوانین انجمنی مطالعه ویژگی‌ها یا خصوصیتی می‌باشد که با یکدیگر همراه هستند. قوانین انجمنی به رابطه $X \rightarrow Y$ دلالت می‌کند و این قاعده در پایگاه داده با ضرایب اطمینان^۱ و پشتیبان^۲ برقرار می‌شود. ضریب اطمینان، توان دلالت و ایجاب و پشتیبان تکرار الگوها را مشخص می‌کند. مناسب است فقط به روابطی توجه شود که پشتیبان و اطمینان بالایی داشته باشند به چنین روابطی که ضریب اطمینان بالا و پشتیبان قوی دارند، قوانین محکم و قوی گفته می‌شود (علیخانزاده، ۱۳۸۷). در ضمن در این پژوهش برای بیان نظر نهایی علاوه بر قیود پشتیبان و اطمینان از معیار سودمندی Leverage نیز

1- Confidence

2- Support

شاخص خشکسالی SPI، بر اساس مفهوم SPI که مقادیر مثبت شرایط مرطوب‌تر از نرمال و مقادیر منفی شرایط خشک‌تر از نرمال را نشان می‌دهد به دو گروه طبق جدول ۱ طبقه‌بندی شد. برای یک مقایسه کلی با الگوریتم استفاده شده در این مطالعه، یکی از روش‌های همبستگی آماری برای تعیین همبستگی پارامترهای اقیانوسی- اتمسفری و شاخص خشکسالی، استفاده شد.

روش استاندارد برای کاربرد قوانین انجمنی در حوزه داده‌های عددی، گسسته‌سازی است برای سری زمانی ماهانه ۵۰ ساله شاخص‌های اقیانوسی- اتمسفری فرض شده است که از توزیع نرمال پیروی می‌کنند و بر اساس انحراف معیار در توزیع فراوانی نرمال به هفت گروه، طبقه‌بندی شدند که در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول 2- مقادیر آستانه برای طبقه‌بندی شاخص‌های اقیانوسی- اتمسفری (تادس و همکاران، 2004)

طبقات	SOI	MEI	NAO	PNA & PDO
۱	$\geq 1/5$	$\leq -1/5$	≤ -4	≤ -2
۲	$1/5 \leq X < 1/5$	$-1/5 < X \leq -1$	$-4 < X \leq -3$	$-2 < X \leq -1/5$
۳	$0/5 \leq X < 1$	$-1 < X \leq -0/5$	$-3 < X \leq -2$	$-1/5 < X \leq -1$
۴	$-0/5 < X < 0/5$	$-0/5 < X < 0/5$	$-2 < X < 2$	$-1 < X < 1$
۵	$-1 < X \leq -0/5$	$0/5 \leq X < 1$	$2 \leq X < 3$	$1 \leq X < 1/5$
۶	$-1/5 < X \leq -1$	$1 \leq X < 1/5$	$3 \leq X < 4$	$1/5 \leq X < 2$
۷	$X \leq -1/5$	$X \geq 1/5$	$X \geq 4$	$X \geq 2$

نتایج و بحث

منتخب در جدول ۳ آمده است. نتایج نشان داد که نوع الگوهای منتخب حاکم بر وقوع خشکسالی در ایستگاه آبادان برای تأخیرهای زمانی متفاوت، مشابه هم هستند یعنی پارامترهای اقیانوسی- اتمسفری به طور منفرد و ترکیبات دو تا پنج تایی پیشوند همگی شامل حالتی است که این شاخص‌ها در طبقه چهارم مربوط به طبقه‌بندی خودشان قرار می‌گیرند. مقادیر اطمینان مربوط به الگوهای منتخب برای تأخیرهای زمانی متفاوت در جدول ۴ آمده است. همان طور که دیده شد تمایز بین الگوهای منتخب در استان خوزستان، ترکیبات متفاوت شاخص‌ها با هم علی‌رغم طبقه مشابه شاخص‌ها (طبقه چهارم) و مقادیر اطمینان به این الگوها است.

بر اساس الگوهای منتخب که به‌طور متوسط از بین ۸۸۲ قانون انجمنی (۹۸ قانون برای هر تأخیر زمانی) به دست آمده‌اند می‌توان نتیجه‌گیری کرد که وقوع خشکسالی یا شرایط خشک‌تر از حالت نرمال در استان خوزستان اکثر مواقع زمانی اتفاق می‌افتد که شاخص‌ها در طبقه میانی یا طبقه چهارم خود بر اساس انحراف معیارشان قرار می‌گیرند که معمولاً این طبقه را از نظر شدت و ضعف شاخص‌ها، نرمال در نظر می‌گیرند و در شرایط عادی انتظار شرایط درحد میانگین درازمدت یا حداکثر رطوبت نرمال را دارند ولی بر اساس روش استفاده شده که دارای پتانسیل بالایی در آشکارسازی روابط و الگوهای پنهان در پایگاه داده است

الگوریتم داده‌کاوی مذکور بر مبنای قوانین انجمنی در حالت‌های بدون تأخیر و تأخیرهای زمانی یک، دو، سه، چهار، پنج، شش، نه و ۱۲ ماهه بین وقوع پارامترهای اقیانوسی- اتمسفری و وقایع خشکسالی در ایستگاه آبادان اجرا شد. در هر حالت نیز به طور متوسط ۹۸ قانون انجمنی به دست آمد که شامل ترکیبات پیشوندی یک تا پنج عضوی شاخص‌ها بودند و توانایی پیش‌بینی وقوع خشکسالی را بر اساس شاخص‌های اقیانوسی- اتمسفری داشتند. همان طور که در مبنای قوانین انجمنی ذکر شد فقط قوانینی برای ما مطلوب هستند که به اندازه کافی تکرار شده باشند یعنی دارای حداقل مقدار پشتیبان (در این پژوهش ۶ درصد) بوده و مقدار اطمینان بالایی داشته باشند. حداقل پشتیبان ۶ درصد بر اساس سعی و خطا و در نظر گرفتن این نکته که افزایش مقدار پشتیبان سبب کاهش تعداد قوانین تولید شده و کاهش آن افزایش قوانین را در پی دارد که تجزیه و تحلیل آن‌ها دشوار است به دست آمده است. بنابراین برای هر تأخیر زمانی به طور متوسط ۳۸ قانون انجمنی که آستانه حداقل پشتیبان را دارا بودند به دست آمد. در نهایت از بین این قوانین کشف شده برای هر تأخیر زمانی، ۹ الگو منتخب شدند که شامل ترکیبات منفرد و با هم شاخص‌ها می‌شوند که بیش‌ترین مقدار معیار سودمندی Leverage را دارند، الگوهای

اطمینان بیانگر دلالت بیشتر قوانین انجمنی آن‌ها است. الگو شماره ۲ که مبین طبقه چهارم شاخص MEI یعنی MEI(4) به عنوان پیشوند قانون انجمنی در پیش‌بینی خشکسالی است، بیشترین ارتباط را با وقوع خشکسالی در ایستگاه آبادان دارد و الگوهای شماره ۱، ۴، ۵ و ۳ به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند. همان طور که دیده می‌شود شاخص PNA کمترین ارتباط را با وقوع خشکسالی دارد. این مطلب از این جهت مهم است که در سیستم پایش خشکسالی می‌توان شاخص‌های اقیانوسی - اتمسفری را به کار برد که ارتباط بیشتری با وقوع خشکسالی دارند یا به عبارت دیگر، مقدار اطمینان پیش‌بینی خشکسالی بالاتری دارند. علت این موضوع تا حدی می‌تواند مربوط به ماهیت این شاخص‌ها باشد، چرا که شاخص PNA مخصوص نواحی آمریکای شمالی تعریف شده است و در نقاط دیگر کاربرد معنی‌داری تاکنون پیدا نکرده است. شاخص MEI نیز به علت اینکه به عنوان مظهری برای سیستم‌های توأمان اتمسفر- اقیانوس روی نواحی حاره‌ای اقیانوس آرام تعریف می‌شود و با لحاظ کردن چندین متغیر اقیانوسی - اتمسفری، می‌تواند تأثیر این شاخص را بر خشکسالی‌های محلی با دقت بیشتری نشان دهد.

جدول 3- الگوهای منتخب به عنوان پیشوند قوانین انجمنی (منظور X در قانون انجمنی Y Lag X)

شماره الگو	پیشوند قوانین انجمنی
۱	SOI(4)
۲	MEI(4)
۳	PNA(4)
۴	PDO(4)
۵	NAO(4)
۶	PDO(4),NAO(4)
۷	PNA(4),PDO(4),NAO(4)
۸	MEI(4),PNA(4),PDO(4),NAO(4)
۹	SOI(4),MEI(4),PNA(4), PDO(4),NAO(4)

نتیجه گرفته می‌شود که با مشاهده مقادیر شاخص‌های SOI و MEI بین ۰/۵ تا ۰/۵-، PNA و PDO بین ۱ تا ۱- و NAO بین ۲ تا ۲- برابر انحراف معیارشان، انتظار وقوع خشکسالی با دقت حداکثر ۷۴/۲۴ و حداقل ۴۴/۸۶ درصد را داشته باشد که مقدار حداکثر مربوط به الگوی شماره نه در تأخیر زمانی شش ماهه است و مقدار حداقل مربوط به الگو شماره دو در تأخیر زمانی ۱۲ ماهه است. به عبارت دیگر طبق معادله ۴ برای الگوی شماره نه در تأخیر زمانی شش ماهه معادله زیر حاصل خواهد شد:

$$IF(S(4),M(4),PN(4),PD(4),N(4)) \rightarrow Lag=6 \text{ (Drought)} \quad (4)$$

با این توضیح که در ۶۶ بار تکرار پنج شاخص مذکور در پایگاه داده باهم و در طبقه چهارم طبقه‌بندی خودشان بر اساس انحراف معیار، ۴۹ بار آن همراه خشکسالی بوده است و طبق تعریف اطمینان قوانین انجمنی مقدار اطمینان این قانون بر اساس معادله ۵، ۷۴/۲۴ درصد می‌شود.

$$Confidence((S(4),M(4),PN(4),PD(4),N(4)) \rightarrow Lag=6 \text{ Drought}) = 49/66 = 0.7424 \quad (5)$$

مقادیر اطمینان متفاوت الگوهای منتخب، دلالت بر تأثیر این شاخص‌ها بر وقوع خشکسالی در طول زمان می‌کند و همچنین دقت پیش‌بینی وقوع خشکسالی را برای تأخیرهای زمانی متفاوت، می‌رساند. مطابق جدول ۴، استفاده از ترکیب شاخص‌های اقیانوسی - اتمسفری، سبب افزایش دقت پیش‌بینی خشکسالی در تأخیرهای زمانی متفاوت شده است به عبارت دیگر در یک تأخیر زمانی مشخص استفاده از ترکیبات پیشوندی بیشتر، به طور نسبی سبب افزایش مقدار اطمینان قوانین انجمنی گشته است.

همچنین بر اساس مقادیر اطمینان قوانین منتخب دیده می‌شود که بعضی از شاخص‌های اقیانوسی - اتمسفری به طور منفرد ارتباط بیشتری با خشکسالی‌های ایستگاه آبادان دارند به عبارت دیگر قوانین انجمنی‌های آن‌ها دارای مقدار اطمینان بالاتری است که این مقدار بالاتر

جدول 4- مقادیر اطمینان قوانین انجمنی منتخب برای تأخیرهای زمانی متفاوت

تأخیر (ماه)	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۹	۱۲
شماره الگو	۵۴/۹۶	۵۳/۳۱	۵۲/۸۹	۵۵/۷۹	۵۴/۱۳	۵۳/۷۲	۵۵/۳۷	۵۲/۸۹	۴۶/۲۸
۱	۵۵/۵۶	۵۶/۳۸	۵۵/۵۶	۵۶/۳۸	۵۷/۲۰	۵۵/۹۷	۵۴/۷۳	۴۹/۳۸	۴۴/۸۶
۲	۴۸/۷۴	۴۷/۴۹	۴۶/۹۸	۴۸/۹۹	۴۷/۹۹	۴۸/۴۹	۴۹/۲۵	۴۷/۲۴	۴۶/۷۳
۳	۵۱/۱۲	۵۰/۶۲	۵۱/۱۲	۵۰/۸۷	۵۰/۱۲	۵۰/۶۲	۵۰/۸۷	۴۸/۶۳	۴۸/۱۳
۴	۴۹/۱۳	۴۸/۹۵	۴۸/۰۸	۴۸/۴۳	۴۷/۳۸	۴۷/۹۰	۴۷/۵۵	۴۶/۸۵	۴۷/۰۳
۵	۵۱/۴۴	۵۰/۹۱	۵۰/۶۵	۵۰/۹۱	۴۹/۰۹	۴۹/۸۷	۵۰/۱۳	۴۷/۷۸	۴۷/۷۸
۶	۵۱/۴۸	۴۹/۶۳	۵۰/۰۰	۵۱/۴۸	۴۹/۶۳	۵۱/۸۵	۵۲/۹۶	۴۹/۶۳	۴۸/۱۵
۷	۵۹/۶۸	۵۹/۶۸	۶۰/۴۸	۶۴/۵۲	۶۲/۱۰	۶۳/۷۱	۶۴/۵۲	۵۸/۸۷	۴۸/۳۹
۸	۶۹/۷۰	۶۹/۷۰	۶۸/۱۸	۷۲/۷۳	۶۸/۱۸	۶۸/۱۸	۷۴/۲۴	۶۳/۶۴	۴۵/۴۵
۹									

در بررسی ارتباط شاخص‌های اقیانوسی- اتمسفری به طور منفرد بر وقوع خشکسالی باید سودمندی قوانین را نیز در نظر داشت بر همین اساس مطابق جدول ۵ که مقادیر معیار سودمندی Leverage قوانین انجمنی منتخب برای تأخیرهای زمانی متفاوت را نشان می‌دهد. پس نتیجه‌گیری می‌شود که شاخص‌های PNA، PDO و NAO با توجه به اینکه مقادیر اطمینان پایین‌تری نسبت به شاخص‌های SOI و MEI دارند اما سودمندی قوانین آن‌ها ۱/۵ تا ۲/۵ برابر شاخص‌های SOI و MEI است با این تحلیل که تکرار پیشوند قانون و الگو نسبت به کل دوره آماری (۵۰ سال) بسیار بیشتر از تکرار پیشوند قانون و الگوی شاخص‌های SOI و MEI است که باعث افزایش سودمندی قانون و از

طرفی تکرار الگوهای آن‌ها نسبت به تکرار پیشوند قانون‌ها است که همین امر سبب کاهش مقادیر اطمینان قوانین انجمنی آن‌ها (شاخص‌های PNA، PDO و NAO) شده است بنابراین الگوهای منفرد شاخص‌های PNA، PDO و NAO علی‌رغم مقادیر اطمینان کمتر نسبت به شاخص‌های SOI و MEI سودمندتر بوده و تکرار الگوهای آن‌ها در پایگاه داده بسیار بالا بوده به عبارت دیگر اطمینان به مقادیر اطمینان‌های آن‌ها بسیار بالاتر است و از این نظر تمام الگوهای منفرد شاخص‌ها مناسب برای به کارگیری در سامانه‌های پیش‌بینی خشکسالی و دارای توجیه برای کاربرد است.

جدول 5- مقادیر معیار سودمندی Leverage قوانین انجمنی منتخب برای تأخیرهای زمانی متفاوت

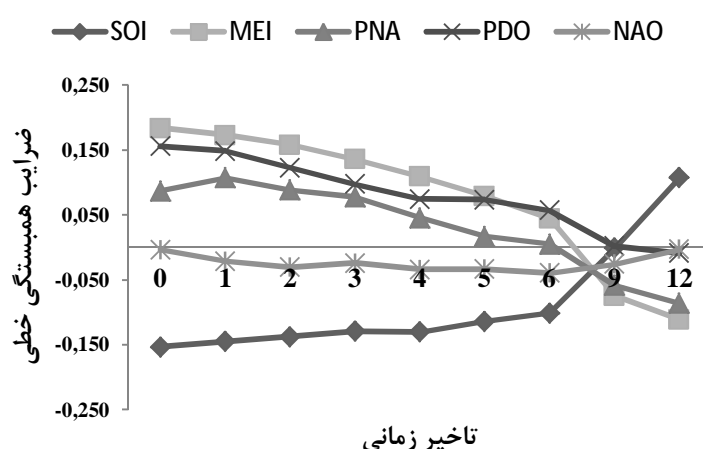
تأخیر (ماه)	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۹	۱۲
شماره الگو	۱۹۴/۷۲	۱۹۳۴/۶۷	۱۹۲۸/۱۱	۱۹۲۰/۲۲	۱۹۱۴/۱۷	۱۹۰۷/۶۱	۱۹۰۰/۲۲	۱۸۸۱/۰۶	۱۸۷۷/۰۰
۱	۱۹۴۸/۵۰	۱۹۴۱/۴۲	۱۹۳۵/۰۰	۱۹۲۷/۹۲	۱۹۲۰/۸۳	۱۹۱۴/۵۸	۱۹۰۸/۳۳	۱۸۹۰/۲۵	۱۸۸۵/۳۳
۲	۳۱۹۵/۸۹	۳۱۸۵/۶۷	۳۱۷۴/۹۴	۳۱۶۲/۵۶	۳۱۵۲/۱۷	۳۱۴۰/۷۸	۳۱۲۹/۲۲	۳۰۹۷/۳۹	۳۰۸۶/۶۷
۳	۳۲۱۸/۳۹	۳۲۰۷/۵۸	۳۱۹۶/۱۱	۳۱۸۵/۱۴	۳۱۷۴/۵۰	۳۱۶۳/۰۳	۳۱۵۱/۷۲	۳۱۱۹/۸۱	۳۱۰۹/۰۰
۴	۴۵۹۲/۷۲	۴۵۷۷/۰۰	۴۵۶۱/۹۴	۴۵۴۵/۷۲	۴۵۳۰/۸۳	۴۵۱۴/۴۴	۴۴۹۸/۸۹	۴۴۵۱/۸۹	۴۴۳۵/۸۳
۵	۳۰۷۳/۷۲	۳۰۶۳/۴۲	۳۰۵۲/۹۴	۳۰۴۲/۱۴	۳۰۳۲/۶۷	۳۰۲۱/۵۳	۳۰۱۰/۷۲	۲۹۸۰/۳۱	۲۹۶۹/۶۷
۶	۲۱۶۶/۸۳	۲۱۶۰/۱۷	۲۱۵۲/۵۰	۲۱۴۴/۳۳	۲۱۳۷/۶۷	۲۱۲۹/۱۷	۲۱۲۱/۱۷	۲۱۰۰/۱۷	۲۰۹۳/۳۳
۷	۹۹۳/۴۴	۹۹۰/۰۰	۹۸۶/۳۹	۹۸۲/۱۱	۹۷۹/۱۷	۹۷۵/۳۹	۹۷۱/۷۸	۹۶۲/۶۱	۹۶۱/۳۳
۸	۵۲۷/۶۷	۵۲۵/۸۳	۵۲۴/۱۷	۵۲۱/۸۳	۵۲۰/۵۰	۵۱۸/۶۷	۵۱۶/۱۷	۵۱۱/۸۳	۵۱۲/۰۰
۹									

بر اساس قوانین انجمنی کشف شده برای تأخیرهای زمانی یک، دو، سه، چهار، پنج، شش، نه و ۱۲ ماهه به این نتیجه می‌رسیم که استفاده از هر کدام از شاخص‌ها به طور منفرد و یا ترکیبی برای تأخیرهای زمانی متفاوت، دارای دقت‌های پیش‌بینی متفاوت هستند بنابراین اگر شاخص SOI در طبقه چهارم مربوط به طبقه‌بندی خودش قرار

گیرد یعنی مقادیر شاخص بین ۰/۵ تا ۰/۵- برابر انحراف معیارش باشد (الگو شماره ۱ از جدول ۳) بعد از گذشت سه ماه، خشکسالی‌ها با اطمینان بیشتری نسبت به تأخیرهای دیگر اتفاق افتاده است که همین امر سبب افزایش مقدار اطمینان به ۵۵/۷۹ درصد شده است. به عبارت دیگر شاخص SOI اگر در طبقه چهارم قرار گیرد،

خطی برای هر یک از پارامترهای اقیانوسی - اتمسفری و اقلیمی در تأخیرهای زمانی متفاوت محاسبه شده است که نتایج در شکل ۱ نشان داده شده است. با استفاده از روش آماری همبستگی خطی، روابط بین شاخص خشکسالی و شاخص‌های اقیانوسی - اتمسفری ضعیف است (کمتر از ۰/۲۰). بنابراین بر اساس روش آماری، همبستگی قوی و مورد تأییدی بین شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI ۱۲ ماهه) و شاخص‌های اقیانوسی - اتمسفری دیده نشده است. نتیجه‌ای که در هر دو روش داده‌کاوی و آماری مورد تأیید گرفته این است که وابستگی شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI ۱۲ ماهه) با شاخص‌های اقیانوسی - اتمسفری SOI، MEI و PDO نسبتاً بیشتر از PNA و NAO است.

بعد از سه ماه حداکثر تأثیر خود را در ایستگاه آبادان می‌گذارد و از نظر پیش‌بینی خشکسالی تأخیر زمانی بهینه است. مشابه آنچه برای شاخص SOI گفته شد، زمان تأخیر بهینه برای شاخص‌های MEI، PNA، PDO و NAO مطابق الگوهای شماره ۲ تا ۵ جدول ۳ به ترتیب برابر چهار، شش، صفر (یا دو) و صفر ماه است برای الگوهای شماره ۶ تا ۹ که بیانگر ترکیب‌های پیشوندی دو تا پنج عضوی هستند، زمان تأخیر بهینه، به ترتیب برابر صفر، شش، سه (یا شش) و شش ماه است. برای یک مقایسه کلی با الگوریتمی که در این پژوهش استفاده شده است روش همبستگی خطی آماری برای تعیین همبستگی پارامترهای اقیانوسی - اتمسفری و اقلیمی، استفاده شده است. بر اساس این روش آماری، مقادیر ضریب همبستگی



شکل ۱- ضرایب همبستگی خطی بین پارامترهای اقیانوسی - اتمسفری و شاخص SPI

می‌شود در پژوهش‌های بعدی برای صحت بیشتر نتایج و تصمیم‌گیری‌های درست در سیستم‌های پایش از چندین ایستگاه متفاوت در سطح استان و همچنین شاخص‌های متفاوت اقیانوسی - جوی استفاده شود و در نهایت بر اساس این دستاوردها سیستم‌های پایش خشکسالی توسعه داده شود.

منابع

۱. باقرزاده‌چهره ک. ۱۳۸۴. ارزیابی سیگنال‌های هواشناسی در پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در استان تهران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس. ۱۶۵ص.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش بر خلاف روش‌های کلاسیک آماری که در پژوهش‌های داخلی و خارجی، بسیار از آن‌ها استفاده شده است از روش جدیدی به نام قوانین انجمنی بهره گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم داده‌کاوی قوانین انجمنی که در این پژوهش استفاده شده است، با شناسایی و تولید قوانین انجمنی بین حوادث هدف خشکسالی و شاخص‌های اقیانوسی - اتمسفری، ابزاری مفید برای پایش خشکسالی در ایستگاه آبادان است. همچنین این قوانین نشان می‌دهد که پارامترهای اقیانوسی - جوی استفاده شده در این پژوهش می‌تواند به عنوان هشدار دهنده خشکسالی در ایستگاه آبادان استفاده شوند. با توجه به حجم وسیع عملیات داده‌کاوی پیشنهاد

- assessment of ENSO, NAO and SST effect on regional meteorological drought: Application of fuzzy clustering. World Water Congress.1-10.
8. McCabe G. J. Betancourt J. L. Gray S. T. Palecki M. A. and Hidalgo H. G. 2007. Associations of multi-decadal sea-surface temperature variability with US drought. 182-192.
 9. Nazemosadat M. J. Cordery I. and Slamian S. 1995. The impact of Persian Gulf sea surface temperatures on Iranian rainfall. The Proceeding of the First International Conference of Iranian Water Resources, Esfahan, Iran. 845-854.
 10. Ropelewski C. F. and Halpert M. S. 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño-Southern Oscillation. Monthly Weather Review. 115:1606-1626.
 11. Tadesse T. Wilhite D. A. Harms S. K. Hayes M. J. and Goddard S. 2004. Drought Monitoring Using Data Mining Techniques: A Case Study for Nebraska, U.S.A. Natural Hazards. 33(1):137-159.
 ۲. جلیلی ش. ۱۳۸۴. مقایسه شاخص‌های هواشناسی و ماهواره‌ای در پایش خشکسالی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس. ۱۳۷ ص.
 ۳. علیخانزاده ا. ۱۳۸۵. داده‌کاوی (ترجمه). چاپ اول. انتشارات علوم رایانه. ۳۴۴ ص.
 ۴. کوره‌پزان دزفولی ا. ۱۳۸۲. تأثیر سیگنال‌های هواشناسی در پیش‌بینی تغییرات بارش. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر. ۱۷۵ ص.
 ۵. کارآموز م. و عراقی‌نژاد ش. ۱۳۸۴. هیدرولوژی پیشرفته. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. ۴۶۵ ص.
 6. Glantz M. 1994. Usable science: Food security, early warning, and El Niño, in Proceedings of the Workshop on ENSO/FEWS. Budapest, Hungary. 3-11.
 7. Karamouz M. Araghinajad S. and Koorehpazan Dezfuli A. 2004. Climate regionalizing for the

