

کاربرد "قواعد انجمنی"¹ در رصد کردن وقایع بارندگی و خشکسالی با استفاده از دمای سطح

آبهای آزاد (مطالعه‌ی موردی: استان خوزستان)

محمد هادی فتاحی^{2*}، اعظم بامداد³، علی رحیمی خوب⁴

تاریخ دریافت: 91/1/18 تاریخ پذیرش: 91/6/26

چکیده

کشور ایران، به دلیل واقع شدن در عرضهای جغرافیایی 25-40 درجه شمالی، در معرض تغییرات ویژه‌ی جوی و اقلیمی قرار دارد، و چنانچه پیش‌بینی پدیده‌های جوی نظیر بارندگی، خشکسالی و ترسالی به درستی صورت گیرد، تأثیر بسزایی در مقابله با بلایای طبیعی، و برنامه‌ریزی منابع آب و کشاورزی خواهد داشت. یکی از عوامل مهم در ایجاد تغییرات اقلیمی، دمای سطح آب گستره‌های آبی است که می‌تواند بر مقدار بارش در نقاط مختلف تأثیرگذار باشد. در این تحقیق، سعی شده است تا با استفاده از یکی از روشهای داده‌کاوی به نام قواعد انجمنی، روابط بین دمای سطح آب خلیج فارس و دریای سرخ، و مقدار بارندگی پاییزه و زمستانه سه ایستگاه سینوپتیک آبادان، اهواز و دزفول، واقع در استان خوزستان، طی سالهای 2010-1966 مورد بررسی قرار گیرد. داده-کاوی سازمانها را قادر می‌سازد تا با کاوش در مورد داده‌های یک سامانه، الگوها، روندها و رفتارهای آینده را کشف و پیش‌بینی کرده و بهتر تصمیم بگیرند. در این تحقیق، وقایع خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص بارندگی معیار شده تعریف گردیدند و تأثیر جداگانه و همزمان دمای سطح آب خلیج فارس و دریای سرخ در مورد این وقایع، با استفاده از الگوریتم زنجیره‌ی زمانی داده‌کاوی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. الگوریتم توسعه داده شده روابط بین شاخصهای جوی و بارندگی را به طریقه‌ای متفاوت با آنچه به صورت آمار آشناسی سنتی به دست می‌دهد، پیدا می‌کند. نتایج نشان دادند که استفاده‌ی همزمان از دمای سطح آب خلیج فارس و دریای سرخ، روابط بیشتری را نسبت به حالت جداگانه کشف می‌نماید. با وجود این که الگوریتم تهیه شده قادر است شرایط خشکی متوسط تا رطوبت شدید را پیش‌بینی کند، اما شرایط خنثی نیز، با احتمال بسیار زیاد و اطمینان بالایی، قابل پیش-بینی می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: داده‌کاوی، قواعد انجمنی، دمای سطح آب، بارندگی، شاخص SPI.

¹ Association rules

² - استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت

³ - کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان

⁴ - استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان

* - نویسنده مسئول: Fattahi_mh@yahoo.com

مقدمه

پیش بینی بارش در مقیاس فصلی و سالانه یکی از اقدامات مؤثر جهت برنامه ریزیهای کلان و خرد اقتصادی- اجتماعی می باشد. در صورتی که برآوردهای قابل اعتمادی از وضعیت اقلیمی چند ماه یا چند سال آینده در دسترس باشد، برنامه ریزان، مدیران و اقشار مخلف اجتماعی می توانند ضمن آمادگی مقابله با حوادث نامطلوب، نسبت به بهره‌وری بهینه از منابع آب و خاک و نیروی انسانی اقدام کنند.

پژوهشهای زیادی نشان داده اند که تغییرات دما در سطح گستره‌های بزرگ آبی می تواند تأثیر معنی داری بر نوسانهای بارش در سطح خشکیهای زمین داشته باشد. به عنوان مثال روکو و همکاران (1996) در مطالعات خود نشان دادند که دمای آبهای اقیانوسهای آرام و اطلس، با میزان بارش در ناحیه ی شمال غربی برزیل مرتبط است. مورون و همکاران (2001) نشان دادند که 35 تا 55 درصد از نوسانهای بارش سالانه در منطقه ی استوایی آمریکا با نوسانهای SST¹ در سطح آبهای حاره ای اقیانوس آرام توجیه می شود. چاندیمالا و زبیر (2007) در بررسی خود، قابلیت پیش بینی جریانهای سیلابی، و همچنین بارندگی را بر اساس شاخص ENSO² در مدیریت منابع آب در کشور زنجیره‌لانکا مورد بررسی قرار دادند. از جمله مهمترین شاخصهای مورد استفاده، شاخص SST در اقیانوس آرام و

تأثیر آن بر میزان بارندگی کشور زنجیره‌لانکا و سیلابهای حاصله بوده است. در ایران نیز ناظم السادات و شیروانی (2006) نشان دادند که تغییرات دمای سطح آبهای خلیج فارس تأثیر معنی داری بر نوسانهای بارش در سطح وسیعی از مناطق جنوب غربی و جنوبی ایران دارد. کلیه تحقیقات ذکر شده در بالا با استفاده از روشهای آماری انجام گرفته است. تادس و همکاران (2004) در تحقیقی که در مورد تأثیر فراسنجهای اقیانوسی و آب و هوایی بر وقایع خشکسالی در ایالات متحده آمریکا انجام دادند از روش جدیدی به نام داده کاوی استفاده کردند. نتایج تحقیقات آنها نشان دادند که از میان کلیه شاخصهای اقیانوسی و اقلیمی، شاخصهای SOI³، MEI⁴ و PDO⁵ روابط قویتری را با وقایع خشکسالی در نبراسکا دارند.

تعریف مسأله

کشور ایران دارای اقلیمی خشک تا نیمه خشک با متوسط بارندگی سالانه ی 240-220 میلیمتر است که تقریباً یک سوم متوسط بارندگی خشکیها را دارا می باشد. علاوه بر نقصان، توزیع نامناسب مکانی و زمانی و شدت بارندگیها، از یک طرف در زمان بارش باعث ایجاد سیلابهای مخرب، و از طرف دیگر باعث ایجاد کم آبیها و خشکسالیهای متناوب می گردد.

۳) Southern Oscillation Index

۴) Multivariate ENSO Index

۵) Pacific decadal oscillation

۱) Sea Surface Temperature

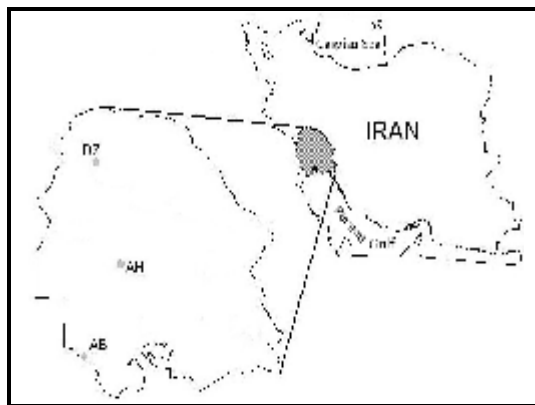
۲) El Nino- Southern Oscillation

- آیا استفاده توأم دماهای سطوح آبی دریای سرخ و خلیج فارس باعث افزایش دقت نتایج خواهد شد؟
- آیا امکان پیش‌بینی بارش با توجه به شرایط دمای سطح دریاهای فوق وجود دارد؟

مواد و روشها

محدوده‌ی مورد مطالعه

این تحقیق در مورد سه ایستگاه سینوپتیک واقع در استان خوزستان در جنوب غربی کشور ایران، صورت گرفته است. این سه ایستگاه شامل ایستگاههای آبادان، اهواز و دزفول، از جمله مناطق مهم استان بوده و از طرفی دارای آمار بلند مدت بارندگی ماهانه شامل سالهای 1966-2010 می‌باشند. موقعیت جغرافیایی این سه ایستگاه در شکل 1 نشان داده شده است.



شکل 1: موقعیت استان خوزستان در ایران و ایستگاههای مورد بررسی.

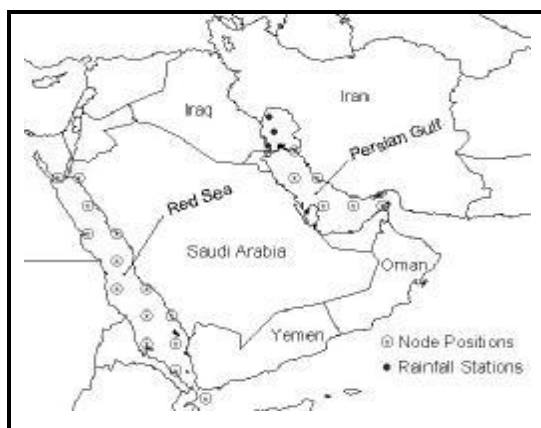
آبهای خلیج فارس، علاوه بر آن که از دیدگاههای تجاری، نظامی، شیلات و آبزیان نقش بسیار مهمی را در حیات اجتماعی- اقتصادی ایران ایفا می‌نمایند، تأثیر بسیار زیادی بر شرایط آب و هوایی بسیاری از نقاط ایران مخصوصاً مناطق جنوبی دارند. مطالعه‌ی تصاویر ماهواره‌ای از شرایط آب و هوایی کشور نشانگر آن است که بسیاری از بارشهای مناطق جنوبی کشور (در ماههای سرد سال)، ناشی از ورود توده‌های گرم اقیانوسی است که پس از عبور از دریای سرخ و خلیج فارس، وارد ایران می‌شوند (ناظم السادات و شیروانی، 2006). بنابراین، شرایط اقلیم سطحی خلیج فارس و دریای سرخ مانند جهت و سرعت باد، سامانه‌ی فشار و دمای سطح آب، نقش مؤثری در جهت توانایی تولید بارش در مناطق جنوب و جنوب غربی ایران دارا می‌باشند.

این پژوهش، در راستای شناخت هر چه بیشتر منابع بارش جنوب ایران در راستای توسعه‌ی مدل‌های پیش-بینی‌های جوی با استفاده از روشهای داده‌کاوی بوده و هدف این تحقیق پاسخ به سؤالی زیر است:

- آیا نوسانهای دمای سطح آب دریای سرخ بر بارش مناطق جنوب ایران (مطالعه موردی خوزستان) مؤثر می‌باشند؟
- میزان بارندگی در استان خوزستان، بیشتر تحت تأثیر کدام یک از گستره‌های آبی دریای سرخ و خلیج فارس می‌باشد؟

داده‌های بارندگی

موجود در هر منطقه، به عنوان متوسط دمای سطح آب ماهانه برای آن منطقه در نظر گرفته شده است.



شکل 2: موقعیت گره‌ها در محدوده‌های خلیج فارس و دریای سرخ.

الگوریتم زنجیره‌ی زمانی داده کاوی

زنجیره‌ی زمانی داده‌کاوی، داده‌ها را به صورت وقایع متوالی سازماندهی می‌کند که هر کدام زمان وقوع مشخصی دارد. الگوریتمهای زنجیره‌ی زمانی داده‌کاوی توسعه یافتند تا الگوهای پنهان بین داده‌های زنجیره‌ی زمانی را کشف نمایند (بری و لینف، 2000؛ کلمنتاین، 1999). این الگوریتمها به منظور توصیف و پیش‌بینی پدیده‌های پیچیده پیش‌بینی نشده طراحی شده‌اند (پاویلی، 2000؛ هانگ و یو، 1999).

در این تحقیق یک الگوریتم زنجیره‌ی زمانی داده‌کاوی به نام ARSS² به زبان MATLAB رمز نویسی شده

اولین گام به منظور پیش‌بینی مقدار بارندگی با استفاده از دمای سطح آب، جمع‌آوری آمار بلند مدت است. آمار مربوط به بارندگی استان خوزستان به صورت ماهانه از طریق سازمان هواشناسی کل کشور، و همچنین سازمان تحقیقات منابع آب (تماب) به دست آمد. از میان ایستگاه‌های موجود، سه ایستگاه سینوپتیک شامل ایستگاه‌های آبادان، اهواز و دزفول، که در فاصله‌ی سالهای 1966-2010 دارای آمار ماهانه‌ی کامل و فاقد مقادیر گم شده بودند، انتخاب شدند.

داده‌های دمای سطح آب

محدوده‌ی خلیج فارس بین 47 تا 57 درجه‌ی شرقی و 22 تا 31 درجه‌ی شمالی و محدوده‌ی دریای سرخ بین 32 تا 44 درجه‌ی شرقی و 13 تا 28 درجه‌ی شمالی می‌باشد. مطابق بانک اطلاعاتی سازمان مدیریت اقیانوسی و نیواری ایالات متحده‌ی آمریکا (NOAA)¹، خلیج فارس حاوی 6 گره به ابعاد 2 درجه‌ی طولی در 2 درجه‌ی عرضی در طی سالهای 1966-2010 می‌باشد. همچنین، دریای سرخ نیز شامل 14 گره با همان ابعاد است. موقعیت جغرافیایی این دو محدوده‌ی آبی و گره‌های آنها در شکل 2 نشان داده شده است. میانگین دمای سطح آب گره‌های

¹) Association Rules Between SST and SPI

¹) National Oceanic and Atmospheric Administration

بیشتر، D را به عنوان مجموعه‌ای از تراکنشها در نظر بگیرد که N تعداد تراکنشها باشد. هر تراکنش D_i یک مجموعه‌ی داده است. پشتیبان X شامل درصد تراکنشهایی است که شامل مطلب x باشد.

$$Support(x) = \frac{|I / I \in D \wedge I \supseteq x|}{N}$$

برای یک قاعده‌ی انجمنی $x \rightarrow y$ پشتیبان و اطمینان رابطه به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$Support(x \rightarrow y) = support(x \cup y)$$

$$Confidence(x \rightarrow y) =$$

$$support(x \cup y) / support(x)$$

به عنوان مثال اگر x در 20 درصد مواقع و y به صورت همزمان در 12 درصد مواقع اتفاق بیفتد، اطمینان قانون $(x \rightarrow y)$ برابر با $12/20$ یعنی 0.6 می‌باشد. به این مفهوم که در 60 درصد مواقعی که x اتفاق افتاده است همراه با y بوده است.

در این الگوریتم، زنجیره‌ی زمانی SST خلیج فارس به عنوان x ، زنجیره‌ی زمانی SST دریای سرخ به عنوان y و زنجیره‌ی زمانی SPI به عنوان z به برنامه معرفی می‌شوند. سپس برنامه، با توجه به زمان تأخیر تعریف شده و مقدار حداقل پشتیبان و اطمینان، روابط $(x \rightarrow z)$ ، $(y \rightarrow z)$ و $(x, y \rightarrow z)$ را، که شرط حداقل پشتیبان و اطمینان را ارضا کنند، جستجو می‌کند. در این تحقیق آمار سالهای 1966-1995 برای اجرای برنامه و یافتن قواعد انجمنی، و آمار سالهای 1996-2010 برای سنجش صحت روابط شکل گرفته مورد استفاده قرار گرفته اند. از بین کلیه

تا بتواند روابط بین وقایع خشکسالی و ترسالی (SPI¹)، و دمای سطح آب خلیج فارس و دریای سرخ را با توجه به تأخیر زمانی وقوع آنها، مورد بررسی قرار دهد.

الگوریتم مورد استفاده در ابتدا داده‌های زنجیره‌های زمانی SST و SPI را گسسته می‌کند، به این ترتیب که داده‌ها را دسته‌بندی کرده و با توجه به تعداد دسته‌ها و محدوده هر کدام، به جای مقدار مربوط به SST یا SPI، شماره‌ی محدوده‌ی متناظر با آن را قرار می‌دهد. از آن جا که تأثیر دمای سطح آب بر میزان بارندگی همواره با یک تأخیر زمانی همراه است، لذا مقدار این تأخیر زمانی باید به وسیله‌ی کاربر مشخص گردد.

یافتن قواعد انجمنی، در حقیقت به دست آوردن روابطی بین مجموعه‌ی داده‌هاست. یک قاعده‌ی انجمنی به شکل اگر x آن گاه y تعریف می‌شود که x جمله‌ی پیشین و y جمله‌ی دنباله می‌باشد. دو گونه‌ی آماری، که از ابتدا برای توصیف روابط وجود داشته اند، عبارتند از پشتیبان و اطمینان (اگراوال و همکاران، 1993). این مقادیر به صورت عددی می‌باشند. پشتیبان یک قاعده‌ی انجمنی برابر درصد تراکنشهایی است که شامل هر دو جمله‌ی پیشین و دنباله باشد. اطمینان یک قاعده‌ی انجمنی نیز برابر درصد تراکنشهایی می‌باشد که شامل جمله‌ی پیشینی است که جمله‌ی دنباله را نیز به همراه داشته باشد. برای توضیح

^۱) Standardized Precipitation Index

مختلف را به صورت ماهانه اعمال کرده و روابط پنهان بین داده‌ها را کشف نماید.

مقادیر ماهانه ی SST و SPI در فاصله ی سالهای 2010-1966 گسسته شده و به 7 دسته طبقه بندی

گردیدند. شاخص SPI به عنوان نماینده ی وقایع خشکسالی و ترسالی به 7 دسته تقسیم شده است. حد آستانه برای دسته بندی این شاخص، که به وسیله ی شیروانی و همکاران (2003) استفاده گردیده، در جدول 1 نشان داده شده است.

روابط موجود، با توجه به زمانهای تأخیر مختلف، روابطی که با توجه به آزمون صحت، فاقد خطا بودند به عنوان قوانین انجمنی معرفی گردیدند.

نتایج و بحث

در این تحقیق، داده‌های زنجیره ی زمانی SST خلیج فارس و دریای سرخ، و همچنین شاخص SPI استفاده شدند تا بتوان قوانینی را تولید کرد که از طریق آنها احتمال وقوع وقایع خشکسالی و ترسالی را به دست آورد. الگوریتم استفاده شده قادر است تا زمانهای تأخیر

جدول 1: محدوده ی دسته بندی شاخص SPI.

مقادیر SPI	احتمال وقوع	محدوده های خشکسالی
$SPI \leq -1.64$	$OP \leq 0.05$	خشکسالی شدید
$1.64 < SPI \leq -0.84$	$0.05 < OP \leq 0.2$	خشکسالی متوسط
$-0.84 < SPI \leq -0.25$	$0.2 < OP \leq 0.4$	خشکسالی
$-0.25 < SPI \leq 0.25$	$0.4 < OP \leq 0.6$	خنثی
$0.25 < SPI \leq 0.84$	$0.6 < OP \leq 0.8$	مرطوب
$0.84 < SPI \leq 1.28$	$0.8 < OP \leq 0.9$	رطوبت متوسط
$SPI > 1.28$	$OP > 0.9$	رطوبت شدید

مقادیر SST نیز به 7 محدوده مطابق جدول 2 تقسیم بندی شدند. از آن جا که داده‌های دمای سطح آب در طی دوره آماری از توزیع بهنجار برخوردار بودند، لذا با توجه

جدول 2: محدوده ی دسته بندی دمای سطح آب خلیج فارس و دریای سرخ.

محدوده دسته بندی	دمای سطح آب خلیج فارس	دمای سطح آب دریای سرخ
1	$SST < 20$	$SST < 24.6$
2	$20 \leq SST < 22.2$	$24.6 \leq SST < 25.7$
3	$22.2 \leq SST < 24.4$	$25.7 \leq SST < 26.7$
4	$24.4 \leq SST < 28.7$	$26.7 \leq SST < 28.8$
5	$28.7 \leq SST < 30.9$	$28.8 \leq SST < 29.8$
6	$30.9 \leq SST < 33.1$	$29.8 \leq SST < 30.9$
7	$SST \geq 33.1$	$SST \geq 30.9$

پیش‌بینی کند، به عنوان قانون پذیرفته می‌شود. مثلاً اگر اطمینان یک رابطه برابر با 0.6 باشد، یعنی اگر بتواند 60 درصد وقایع را به درستی پیش‌بینی کند، آن رابطه به عنوان یک قاعده‌ی انجمنی در نظر گرفته می‌شود. نتایج نهایی به دست آمده از اجرای الگوریتم ARSS برای هر سه ایستگاه آبادان، اهواز و دزفول در جداول 3، 4 و 5 آورده شده‌اند. در این جداول، نمایه‌ی SST نشانگر محدوده‌های خلیج فارس یا دریای سرخ است. مثلاً $SST_R(1)$ نشاندهنده‌ی مقدار دمای سطح آب دریای سرخ در محدوده‌ی شماره‌ی 1 می‌باشد.

بعد از گسسته کردن داده‌ها، شاخص SPI به عنوان جمله‌ی دنباله‌ی قوانین، و SST خلیج فارس و دریای سرخ به عنوان جمله‌ی پیشین مشخص گردیدند. حداقل پشتیبان تعیین شده برای یک رابطه، وقوع حداقل 2 بار برای اجزای آن است. مقدار حداقل اطمینان نیز بستگی به نظر کاربر دارد، که در این تحقیق برابر با 0.45 در نظر گرفته شده است. برای هر بار اجرای برنامه، زمان تأخیر برای دمای سطح آب خلیج فارس و دریای سرخ باید وارد شود که در طی آن روابطی به دست می‌آید. این روابط با آمار سالهای 2010-1996 مورد سنجش قرار می‌گیرند. اگر رابطه قادر باشد با توجه به مقدار اطمینان، کلیه‌ی وقایع را به درستی

جدول 3: نتایج نهایی به دست آمده پس از صحت سنجی روابط، مربوط به ایستگاه آبادان.

ردیف	قانون	پشتیبان	اطمینان	زمان تأخیر (خلیج فارس)	زمان تأخیر (دریای سرخ)
1	$SST_P(3) \rightarrow SPI(4)$	0.0904	0.57	6	----
2	$SST_R(2) \rightarrow SPI(4)$	0.0904	0.59	----	7
3	$SST_P(5), SST_R(1) \rightarrow SPI(2)$	0.0114	0.67	8	11
4	$SST_P(4), SST_R(3) \rightarrow SPI(3)$	0.0114	0.67	9	11
5	$SST_P(4), SST_R(4) \rightarrow SPI(4)$	0.1034	0.6	5	11
6	$SST_P(5), SST_R(3) \rightarrow SPI(5)$	0.0174	0.5	4	11
7	$SST_P(2), SST_R(1) \rightarrow SPI(6)$	0.0339	0.54	8	8

جدول 4: نتایج نهایی به دست آمده پس از صحت سنجی روابط، مربوط به ایستگاه اهواز.

ردیف	قانون	پشتیبان	اطمینان	زمان تأخیر (خلیج فارس)	زمان تأخیر (دریای سرخ)
1	$SST_P(5) \rightarrow SPI(4)$	0.0977	0.59	12	---
2	$SST_R(5) \rightarrow SPI(4)$	0.0862	0.63	----	12
3	$SST_P(5), SST_R(1) \rightarrow SPI(2)$	0.0114	0.67	8	11
4	$SST_P(6), SST_R(6) \rightarrow SPI(3)$	0.0339	0.54	7	8
5	$SST_P(4), SST_R(6) \rightarrow SPI(4)$	0.0809	0.64	11	13
6	$SST_P(6), SST_R(1) \rightarrow SPI(5)$	0.0511	0.48	5	10
7	$SST_P(4), SST_R(3) \rightarrow SPI(7)$	0.0113	0.67	6	8

جدول 5: نتایج نهایی به دست آمده پس از صحت سنجی روابط، مربوط به ایستگاه دزفول.

ردیف	قانون	پشتیبان	اطمینان	زمان تأخیر (خلیج فارس)	زمان تأخیر (دریای سرخ)
1	$SST_p(4) \rightarrow SPI(4)$	0.1073	0.58	5	----
2	$SST_R(4) \rightarrow SPI(4)$	0.113	0.54	----	5
3	$SST_R(1) \rightarrow SPI(5)$	0.0113	0.5	----	7
4	$SST_p(4), SST_R(3) \rightarrow SPI(3)$	0.0114	0.67	9	11
5	$SST_p(5), SST_R(4) \rightarrow SPI(4)$	0.1017	0.62	4	5
6	$SST_p(4), SST_R(4) \rightarrow SPI(5)$	0.0169	0.6	8	9
7	$SST_p(4), SST_R(4) \rightarrow SPI(7)$	0.0115	0.67	1	8

سطح آب خلیج فارس در 8 ماه قبل و از دمای سطح آب دریای سرخ در 11 ماه قبل از آن استفاده کنیم. اگر اولی در محدوده ی پنجم یعنی بین 28.7 و 30.9 باشد و دومی نیز در محدوده ی اول یعنی کوچکتر از 24.6 باشد، آن گاه مقدار SPI در محدوده ی دوم قرار خواهد گرفت. یعنی در ایستگاه آبادان با شرایط خشکسالی متوسط روبرو خواهیم بود.

نتیجه گیری

مبحث پیش بینی و پیش آگهی خشکسالی و سیل در ایران سابقه ی چندانی ندارد. طی سالهای اخیر تلاش شده است که به موازات گسترش ایستگاههای هواشناسی، شاخصها و ابزارهای تحلیل مناسبی جهت پایش و پیش آگهی خشکسالی تهیه و تدوین شوند. در این تحقیق، از شاخص SPI به عنوان نمایانگر وقایع خشکسالی و از فراسنج SST برای پیش بینی این وقایع استفاده شده است. با استفاده از روش قواعد انجمنی، که یکی از روشهای داده کاوی است،

برای توضیح بیشتر مفهوم قوانین، به جدول 3 دقت کنید. برای مثال، در ایستگاه آبادان، در حالتی که تأثیر دمای سطح آب خلیج فارس بطور جداگانه در مورد بارندگی این ایستگاه بررسی شده، قانون زیر به دست آمده است.

$$SST_p(3) \rightarrow SPI(4)$$

زمان تأخیر = 6 ماه

این قانون به این مفهوم است که اگر دمای سطح آب خلیج فارس در یک ماه مشخص در محدوده ی شماره ی 3، یعنی بین 22/2 و 24/4 باشد، مقدار SPI در این ایستگاه در 6 ماه بعد از آن با اطمینان 0.57 در محدوده ی چهارم، یعنی حالت خنثی قرار می گیرد. همچنین، زمانی که تأثیر همزمان دمای سطح آب خلیج فارس و دریای سرخ مورد توجه قرار گیرد، رابطه ی زیر حاصل می شود:

$$SST_p(5), SST_R(1) \rightarrow SPI(2)$$

این رابطه نشان می دهد که اگر بخواهیم مقدار SPI را در یکی از ماههای پاییز یا زمستان پیش بینی کنیم باید از دمای

یک ماه مقدور نمی‌باشد. همچنین، از آنجا که استفاده‌ی همزمان از دمای سطح آب خلیج فارس و دریای سرخ منجر به نتایج بیشتری نسبت به حالت جداگانه شده است، به نظر می‌رسد اگر علاوه بر دمای سطح آب، از سایر فراسنجهای اقیانوسی و آب و هوایی برای پیش‌بینی استفاده شود، نتایج بهتر و دقیقتری حاصل شوند که البته این مسأله بطور حتم در تحقیقات آینده مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

منابع

1. Agrawal, R., Imielinski, T., & Swami, A. (1993). Mining associations between sets of items in massive databases. Proceedings of the 1993 ACM SIGMOD Conference Washington DC, USA. Pp. 312-322.
2. Berry, J. A. and Linoff, G.: 2000, *Mastering Data Mining: The Art and Science of Customer Relationship Management*, John Wiley & Sons, New York, 494 pp.
3. Chandimala, J. and Zubair, L. 2007. Predictability of stream flow and rainfall based on ENSO for water resources management in Sri Lanka. Elsevier, Journal of Hydrology. Vol. 335, pp. 303-312.
4. Huang, Y. and Yu, P. S.: 1999, Adaptive query processing for time-series data, in Proceeding of the 5th International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, ACM, pp. 282-286.

سعی شده است تا روابط بین SST و SPI مورد بررسی قرار گیرند. برای این منظور الگوریتم زنجیره‌ی زمانی ARSS رمزنویسی شده و از اجرای آن روابط زیادی حاصل شده است. از بین کلیه‌ی روابط به دست آمده با زمانهای تأخیر متفاوت، ممکن است چندین رابطه وجود داشته باشد که توانسته باشند با توجه به مقدار اطمینان وقایع را به درستی پیش‌بینی نمایند. اما از میان آنها، روابطی که دارای مقادیر پشتیبان و اطمینان بالاتری بوده‌اند در جداول آورده شده‌اند.

همان طور که از نتایج جداول 3، 4 و 5 بر می‌آید، استفاده از دمای سطح آب خلیج فارس یا دریای سرخ بطور جداگانه، تنها قادر است شرایط خنثی را پیش‌بینی کند. تنها در ایستگاه دزفول، شرایط مرطوب نیز قابل پیش‌بینی است، و شاید علت آن بیشتر بودن متوسط بارندگی سالانه‌ی این ایستگاه باشد. استفاده‌ی همزمان از دمای سطح آب خلیج فارس و دریای سرخ توانسته است قوانین بیشتری را تولید کند. از میان این قوانین، پیش‌بینی شرایط خنثی، یعنی $SPI(4)$ با مقدار پشتیبان بیشتری صورت می‌گیرد. البته هر چند پشتیبان سایر قوانین مربوط به دیگر محدوده‌های SPI کمتر است، اما همین روابط با اطمینان نسبتاً مناسب قادرند وقایع مربوطه را به درستی پیش‌بینی نمایند.

در این تحقیق، مقادیر SST و SPI به صورت ماهانه استفاده شده‌اند، که در این حالت، امکان کشف تأثیرات دمای سطح آب بر بارندگی، برای مقیاسهای زمانی کمتر از

ought Monitoring Using Data Mining Techniques: A Case Study for Nebraska, USA. *Natural Hazards*. 33:137-159.

5. Klementine, M.: 1999, A knowledge discovery methodology for telecommunication network alarm databases, Ph.D. dissertation, University of Helsinki, Finland.
6. Moron, V., Ward, M. N. and Navarra, A. 2001. Observed and SST-Forced seasonal rainfall variability across tropical America. *Int. J. Climatol.* 21: 1467-1501.
7. Nazemosadat S. M. J. and Shirvani ,2006, A. Prediction of Persian Gulf SST using multiple regression and principal components analysis. *Journal of Agriculture Science and Technology*, Vol. 9, issue 3, 1-11.
8. Povinelli, R. J.: 2000, Using genetic algorithms to find temporal patterns indicative of time-series events, in *GECCO 2000 Workshop:Data Mining with Evolutionary Algorithms*, pp.80-84.
9. Roucou, P., JO. Rocha de Arago, A. Harzallah, B. Fontain and S. Janicot. 1996. Vertical montion changes related to North-East Brazil rainfall variability: A GCM simulation. *Int. J. Climatol.* 16: 879-892.
10. Shirvani, A., S. Amin and S. M. J. Nazemosadat. 2003. Moniroring Drought Using SPI and Z-score for Different Time Scale for Shiraz Station in Iran. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 5, 03812,
11. Tadesse, T., Wilhite D. A., Harms, S., Hayes, M. J. and Goddard, S. 2004. Dr-