

مطالعه تطبیقی نمایه‌های هواشناسی با نمایه‌های هیدرولوژیکی برای پایش خشک‌سالی به روش داده‌کاوی (مطالعه موردی: ایستگاه آرازکوسه، استان گلستان)

فاطمه تیموری^۱، خلیل قربانی^{۲*}، جواد بذرافشان^۳، حسین شریفان^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. استادیار هواشناسی کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳. استادیار هواشناسی کشاورزی پردیس علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۴. دانشیار آبیاری و زهکشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۷/۱۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۳/۱۱)

چکیده

تداوم کمبود بارش در یک منطقه نسبت به میانگین بلندمدت (خشک‌سالی هواشناسی) باعث کاهش جریان آب رودخانه و افت تراز آب زیرزمینی (خشک‌سالی هیدرولوژی) می‌شود. برای کمی کردن خشک‌سالی، نمایه‌های متعددی تعریف شده است. در این پژوهش از دو نمایه خشک‌سالی، شامل نمایه بارش استاندارد شده (SPI) و نمایه جریان رودخانه استاندارد شده (SSI)، به ترتیب، برای پایش خشک‌سالی هواشناسی و خشک‌سالی هیدرولوژیکی استفاده شد. این نمایه‌ها هر یک در دسته‌هایی طبقه‌بندی می‌شوند و هر طبقه بیانگر وضعیتی از شدت خشک‌سالی است. هدف در این تحقیق مطالعه تطبیقی نمایه‌های خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در ایستگاه آرازکوسه واقع در استان گلستان است که با استفاده از قوانین انجمنی در داده‌کاوی انجام شده است. پس از محاسبه و طبقه‌بندی نمایه‌های SPI و SSI در پنجره زمانی دوازده‌ماهه با تعریف سناریوهای مختلف مشخص شد تطابق کاملی بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی وجود ندارد و با توجه به وضعیت خشک‌سالی در دوره‌های قبل جریان رودخانه رفتاری متفاوت نشان می‌دهد. همچنین، کمبود بارش با تأخیر کمتری نسبت به بیش‌بود بارش بر جریان رودخانه تأثیر می‌گذارد.

کلیدواژگان: خشک‌سالی هواشناسی، خشک‌سالی هیدرولوژیکی، داده‌کاوی، قوانین انجمنی.

مقدمه

خشک‌سالی جدی‌ترین معضل فیزیکی برای کشاورزی در جهان محسوب می‌شود و عبارت است از نبود یا اندک بودن بارش در یک دوره طولانی، که عدم توازن در میزان آب و در نتیجه آن کمبود آب، نابودی گیاهان، کم شدن شدت جریان آب، و کاهش عمق آب‌های سطحی و خاک مرطوب را به دنبال دارد. وقوع این پدیده می‌تواند برای عرصه‌های مختلف کشاورزی، اقتصادی، تولیدی، و ... بسیار زیان‌آور باشد. بنابراین، مقابله با این پدیده اهمیت زیادی دارد. سامانه‌های پایش خشک‌سالی ابزاری مهم جهت اتخاذ اقدامات مناسب برای مقابله با آثار خشک‌سالی به شمار می‌آیند که قادر به ارائه اطلاعات به‌هنگام در زمینه دوام، شدت، و توسعه جغرافیایی خشک‌سالی در یک ناحیه هستند. خشک‌سالی انواع متفاوتی دارد که بر اساس نمایه‌های مختلف طبقه‌بندی می‌شوند. زمانی که مقدار بارش طی دوره کمتر از

مقدار متوسط آن باشد خشک‌سالی هواشناسی اتفاق می‌افتد و با نمایه‌های مبتنی بر بارش، مانند SPI^۱، SIAP^۲، PNPI^۳، RAI^۴، و ... سنجیده می‌شود. Hayes *et al.* (1996) مقایسه‌ای بین دو نمایه بارش استاندارد شده و نمایه پالمر جهت بررسی خشک‌سالی‌های دشت‌های جنوبی و جنوب غربی آمریکا انجام دادند و نتیجه گرفتند نمایه بارش استاندارد شده دست‌کم یک ماه زودتر از نمایه پالمر وقوع خشک‌سالی را پایش می‌کند و پیشنهاد کردند نمایه بارش استاندارد شده عملاً همچون ابزاری سودمند برای پایش خشک‌سالی جایگزین نمایه پالمر در ایالات متحده شود. Ensafi Moghaddam (2007) در ارزیابی چند نمایه خشک‌سالی هواشناسی در حوضه دریاچه نمک به روش‌های آماری به این نتیجه رسید که فراوانی مقادیر مختلف نمایه SPI و ZSI رفتار و عملکرد مناسب و تقریباً مشابهی دارند. Zare

1. Standardized Precipitation Index
2. Standard Index of Annual Precipitation
3. Percent of Anomaly Precipitation Index
4. Rainfall Anomaly Index

SDI در مقیاس سه‌ماهه وجود دارد.

برای برقراری ارتباط بین داده‌ها از مجموعه الگوریتم‌ها در قالب داده‌کاوی^۳ استفاده می‌شود. داده‌کاوی طریقه کشف عملی الگویی معنادار، شکل، و روند از میان داده‌ها با استفاده از تکنیک تشخیص الگو مانند شبکه عصبی، آموزش ماشین، و الگوریتم ژنتیک است که توانایی تشخیص خودکار دانش موجود را دارد و از دیگر روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها به دلیل کشف ساختار پنهان، نسبت‌ها، الگوها، و علائم متفاوت است. قوانین انجمنی^۴ یکی از الگوریتم‌های داده‌کاوی است که برای یافتن الگوی بین داده‌ها و مطالعه تطبیقی آن‌ها استفاده می‌شود. مطالعاتی در زمینه استفاده از قوانین انجمنی در خشک‌سالی انجام شده که برخی از آن‌ها در ادامه می‌آید.

Tadesse (2002) پارامترهای اقیانوسی، اقلیمی، و هواشناسی را برای کشف قواعدی که بتوانند رخداد خشک‌سالی را تشخیص دهند به کار گرفت و به این نتیجه رسید که بیشتر رخداد‌های خشک‌سالی با مقادیر مثبت نمایه نوسانات جنوبی، مقادیر منفی نمایه ENSO چندمتغیره، و مقادیر منفی نوسانات دهکی آرام مرتبطاند. Harms and Deogun (2004) از داده‌کاوی برای مدیریت خشک‌سالی استفاده کردند و در کاوش قواعد انجمنی متوالی با قیود تأخیر زمانی ارتباطاتی بین حوادث ضمنی اقلیمی در مقیاس جهانی و شرایط محلی خشک‌سالی یافتند. Dhanya and Nagesh Kumar (2009) برای ارتباط خشک‌سالی‌ها و سیل‌ها در هندوستان با داده‌های اقلیمی از قواعد انجمنی استفاده کردند و روابط مستحکمی بین نمایه‌های اقلیمی منتخب با رویدادهای بارش حدی به دست آوردند. Ghorbani *et al.* (2010) قوانین انجمنی را در مطالعه تطبیقی نمایه‌های هواشناسی SPI و SIAP به کار بردند و وقوع هم‌زمانی طبقات خشک‌سالی این دو نمایه را بررسی کردند. Fattahi *et al.* (2012) از قواعد انجمنی برای رصد وقایع بارندگی و خشک‌سالی با استفاده از دمای سطح آب خلیج فارس و دریای سرخ استفاده کردند. نتایج نشان داد با اینکه الگوریتم تهیه‌شده قادر است شرایط خشکی متوسط تا رطوبت شدید را پیش‌بینی کند، شرایط خنثی نیز با احتمال بسیار زیاد و اطمینان بالا قابل پیش‌بینی‌اند. با اینکه داده‌کاوی در مطالعات مختلف در زمینه‌های هواشناسی و خشک‌سالی به کار رفته، در مطالعات اندکی جهت کشف روابط خشک‌سالی هیدرولوژیکی و هواشناسی از آن

Abyane *et al.* (2010) با مطالعه تطبیقی چهار نمایه خشک‌سالی هواشناسی بر پایه عملکرد نسبی گندم در استان همدان دریافتند نمایه SPI و SIAP شدت و تداوم خشک‌سالی را به خوبی برآورد می‌کنند و نمایه SPI از نظر شدت خشک‌سالی‌های برآوردی با نمایه زراعی عملکرد نسبی گندم همخوانی مطلوب‌تری دارد.

نوع دیگر خشک‌سالی، خشک‌سالی هیدرولوژیکی است و هنگامی روی می‌دهد که جریان آب‌های سطحی سطح آب دریاچه‌ها و منابع آبی کاهش می‌یابد. از نمایه‌های خشک‌سالی هیدرولوژیکی، که بر کاهش دبی جریان رودخانه استوار است، می‌توان به نمایه جریان سطحی استاندارد شده^۱ (SSI) و نمایه کمبود جریان سطحی^۲ (SDI) اشاره کرد.

با توجه به اینکه اندازه‌گیری شدت بارش نسبت به دبی و تراز آب زیرزمینی آسان‌تر است و تعداد ایستگاه‌هایی که کار اندازه‌گیری بارش را انجام می‌دهند نسبت به ایستگاه‌های هیدرومتری بیشتر است و توزیع مکانی بهتری دارند، پژوهشگران به دنبال آن هستند که رابطه‌ای منطقی بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی پیدا کنند. در این زمینه Mozafari (2006) با بررسی تطابق خشک‌سالی هیدرولوژیکی و هواشناسی در شیرکوه یزد به این نتیجه رسید که در ایستگاه اسلامی بین بارندگی و دبی رابطه معنادار وجود ندارد. اما در ایستگاه فخرآباد ضریب همبستگی ۰/۴۳ در سطح ۹۵ درصد معنادار است. Shahrokhvandi *et al.* (2009) ارتباط خشک‌سالی هیدرولوژیکی با بارش را در حوضه خرم‌آباد بررسی کردند. با بررسی همبستگی‌های متوالی مشخص شد همبستگی بین بارش مهر و آبان و آذر با خشک‌سالی هیدرولوژیکی همین زمان معنادار است. همچنین نتایج تحقیقات Heydari *et al.* (2009) در شهرستان‌های ارومیه و خوی نشان داد در شهرستان ارومیه خشک‌سالی هیدرولوژیکی با تأخیر زمانی یک‌ماهه و در خوی با تأخیر زمانی دو‌ماهه نسبت به خشک‌سالی هواشناسی بروز کرده است. Babaei *et al.* (2011) فاصله زمانی رخداد خشک‌سالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی را در حوزه آبخیز زاینده‌رود بررسی کردند. نتایج نشان داد با وجود همبستگی ضعیف بین دو نمایه SPI و SWSI در طول دوره آماری، فاصله زمانی بین دو رخداد بین سه تا یازده ماه با میانگین هفت ماه متغیر است. نتایج تحقیقات Mofidi pour *et al.* (2012) در حوضه آبخیز اترک نشان داد بیشترین همبستگی بین SPI و

3. Data Mining
4. Association Rules

1. Standardized Stream flow Index
2. Stream flow Deficient Index

جدول ۱. طبقه‌بندی حالت‌های مختلف خشک‌سالی هواشناسی بر اساس نمایه SPI

حالت	محدوده	وضعیت خشک‌سالی
۰	$SPI \leq -1.5$	ترسالی شدید
۱	$-1 \leq SPI \leq -0.5$	ترسالی ملایم
۲	$-1 \leq SPI \leq 1$	نرمال
۳	$0.5 \leq SPI \leq 1$	خشک‌سالی ملایم
۴	$SPI \geq 1.5$	خشک‌سالی شدید

نمایه خشک‌سالی هیدرولوژیکی جریان رودخانه استاندارد شده (SSI)

نمایه SSI کاملاً مشابه نمایه SPI محاسبه می‌شود با این تفاوت که در این نمایه سری زمانی به کاررفته دبی رودخانه به صورت ماهیانه است (جدول ۲).

پس از محاسبه نمایه‌ها و اختصاص دادن آن‌ها به طبقات خشک‌سالی مربوطه سری‌های زمانی به صورت کیفی (طبقه خشک‌سالی) به صورت زیر مرتب شد.

SSI12: نمایه خشک‌سالی هیدرولوژیکی SSI در پنجره زمانی دوازده‌ماهه

SPI12: نمایه خشک‌سالی هواشناسی SPI در پنجره زمانی دوازده‌ماهه

SPI12-L12: نمایه خشک‌سالی هواشناسی SPI در پنجره زمانی دوازده‌ماهه با گام تأخیری دوازده‌ماهه

جدول ۲. طبقه‌بندی حالت‌های مختلف خشک‌سالی هیدرولوژیکی بر اساس نمایه SSI (Lorenzo-Lacruz et al., 2013)

حالت	محدوده	وضعیت خشک‌سالی
۰	$SSI \leq -1.64$	ترسالی شدید
۱	$-0.52 \leq SSI \leq -1.64$	ترسالی ملایم
۲	$-0.52 \leq SSI \leq 0.52$	نرمال
۳	$0.52 \leq SSI \leq 1.64$	خشک‌سالی ملایم
۴	$SSI \geq 1.64$	خشک‌سالی شدید

مطالعه تطبیقی نمایه‌های خشک‌سالی با استفاده از قوانین انجمنی

به منظور بررسی آثار خشک‌سالی بر منابع آب سطحی رابطه داده‌های استاندارد شده جریان (SSI) با سری‌های زمانی SPI در بازه‌های زمانی ۳، ۶، و ۱۲ ماه با استفاده از قوانین انجمنی در حوضه بررسی شد.

قاعده انجمنی، که به صورت $y \rightarrow x$ تعریف می‌شود، را در یک مجموعه تراکنش n تایی در نظر می‌گیریم که X

استفاده شده است. بر این اساس، هدف این تحقیق بررسی روابط خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی بر اساس قوانین انجمنی در ایستگاه آرازکوسه است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی این تحقیق ایستگاه آرازکوسه است که بر رودخانه چهل‌چای، از شاخه فرعی رودخانه گرگان‌رود، در مجاورت شهر گنبد قرار دارد با موقعیت جغرافیایی به طول ۵۵ درجه و ۸ دقیقه، عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۳ دقیقه، ارتفاع ۳۴/۵ متر از سطح آب‌های آزاد، و مساحت حوضه آبخیز ۱۶۷۸/۱ کیلومتر مربع. تجهیزات آن اشل و لیمینوگراف و پل تلفریک است.

در این تحقیق از آمار چهل و پنج ساله (۱۳۴۵-۱۳۸۹) بارندگی ایستگاه هواشناسی و دبی رودخانه ایستگاه هیدرومتری آرازکوسه در مقیاس زمانی ماهیانه استفاده شد. پس از کنترل کیفی و تصحیح و تکمیل آمار با روش‌های آزمون جرم مضاعف و رابطه همبستگی، نمایه‌های خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی به شرح زیر محاسبه شدند.

استخراج نمایه‌های خشک‌سالی

برای خشک‌سالی هواشناسی نمایه SPI و برای خشک‌سالی هیدرولوژیکی نمایه SSI به شرح زیر استخراج شدند:

- نمایه خشک‌سالی هواشناسی بارش استاندارد شده

(SPI): نمایه SPI را McKee و همکاران (1993) بر اساس اختلاف بین مقادیر بارش و میانگین بارش برای یک بازه زمانی مشخص و تقسیم این مقدار بر انحراف معیار بارش پیشنهاد کردند. نمایه بارش استاندارد بر محاسبات احتمالات وقوع بارندگی برای هر مقیاس زمانی استوار است. این نمایه صرفاً از داده‌های بارندگی ماهیانه استفاده می‌کند و برای تشخیص کمبود میزان بارندگی در مقیاس‌های زمانی چندگانه (۳، ۶، ۱۲، ۲۴، و ۴۸ ماه) طراحی شده است. محاسبه SPI شامل برازش تابع چگالی احتمال- که به عقیده McKee و همکاران (1993) مناسب‌ترین تابع تابع توزیع چگالی گاما است- بر توزیع فراوانی بارندگی کل برای یک ایستگاه معین است. پس از محاسبه تابع تجمعی کل، تغییر شکل هم احتمالی تابع تجمعی گاما به متغیر تصادفی نرمال استاندارد Z (یا SPI) با میانگین ۰ و واریانس ۱ صورت می‌گیرد و شدت خشک‌سالی محاسبه شده مطابق جدول ۱ طبقه‌بندی می‌شود. در این تحقیق نمایه SPI در مقیاس زمانی ۳، ۶، و ۱۲ ماه محاسبه شد.

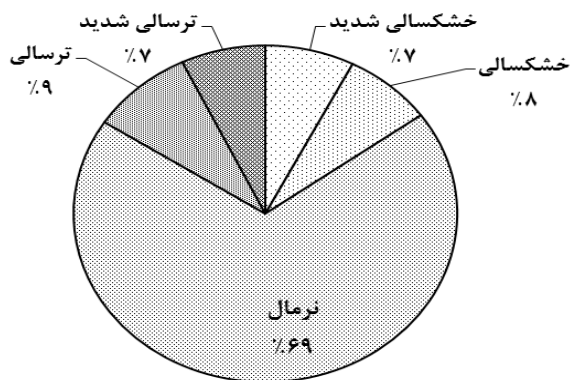
وقایع نادر مشکلی ندارد و بین ۰ تا بی‌نهایت تغییر می‌کند. مقادیر کمتر از ۱ به این معنی است که شرایط رضایت‌بخش از پیش‌آیند احتمال پس‌آیند را در یک احتمال غیر شرطی کاهش می‌دهد. مقادیر بزرگ‌تر از ۱ به این معنی است که شرایط رضایت‌بخش از پس‌آیند احتمال پیش‌آیند را در یک احتمال غیر شرطی افزایش می‌دهد. اگر پیش‌آیند و پس‌آیند مستقل باشند، مقدار لیفت برابر ۱ است (رابطه ۴):

$$\text{lift} = \frac{p(x/y)}{p(y)} = \frac{p(x \cap y)}{p(x)p(y)} = \frac{n_{as}n}{n_a n_s} \quad (\text{رابطه ۴})$$

پس از محاسبه نمایه‌ها، هر یک از طبقات خشک‌سالی SPI و SSI نمایه SSI12 به منزله پس‌آیند و نمایه‌های خشک‌سالی هواشناسی محاسبه و یادشده همراه تأخیر به منزله پس‌آیند در نظر گرفته شدند. با در نظر گرفتن پنج طبقه برای SPI و پنج طبقه برای SSI جهت کشف روابط بین خشک‌سالی هیدرولوژیک و هواشناسی و تأثیر تأخیرهای زمانی خشک‌سالی هواشناسی در حالت‌های سالیانه، نیم سال اول و دوم، و فصلی از قوانین انجمنی استفاده شد و قاعده‌هایی که از درصد اطمینان بالاتری برخوردار بودند قانون یا رابطه خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک گزاری شدند.

یافته‌ها و بحث

با بررسی وضعیت طبقات خشک‌سالی و ترسالی هواشناسی طی دوره مطالعاتی مشخص می‌شود ۶۹ درصد حالات رخ داده شرایط نرمال را نشان می‌دهد و وضعیت خشک‌سالی و ترسالی شدید، که جزء وقایع حدی‌اند، حدود ۱۵ است (شکل ۱).



شکل ۱. درصد تعلق هر طبقه از نمایه خشک‌سالی هواشناسی SPI در پنجره زمانی دوازده‌ماهه

با بررسی وضعیت طبقات خشک‌سالی و ترسالی هیدرولوژیک طی دوره مطالعاتی مشخص می‌شود ۴۰ درصد

پیش‌آیند قاعده و y پس‌آیند آن است. اگر تعداد تراکنش‌هایی را که شامل آیت x یا y هستند به ترتیب با n_s و n_a و تعداد تراکنش‌هایی را که شامل آیت x هستند و آیت y را نیز شامل می‌شوند با n_{as} نمایش دهیم، سنجش‌ها و اطمینان^۱ و لیفت^۲ به صورت زیر تعریف می‌شوند (Ghorbani et al., 2010).

الف) حمایت از پیش‌آیند ($\text{supp}(x)$)، که عبارت است از

احتمال وقوع پیش‌آیند در یک مجموعه تراکنش (رابطه ۱):

$$\text{supp}(x) = p(x) = \frac{n_a}{n} \quad (\text{رابطه ۱})$$

ب) حمایت از قاعده ($\text{supp}(x \rightarrow y)$)، که عبارت است از

احتمال وقوع قاعده انجمنی $x \rightarrow y$ در یک مجموعه تراکنش (رابطه ۲):

(رابطه ۲)

$$\text{supp}(x \rightarrow y) = p(x \cap y) = \frac{n_{as}}{n}$$

سنجش حمایت، از آنجا که تعداد تراکنش‌ها را به حساب می‌آورد، اغلب قید تکرار نیز نامیده می‌شود. مجموعه آیت‌هایی که حمایتی بیشتر از مقدار آستانه داشته باشند مجموعه آیت‌های بزرگ یا مکرر نامیده می‌شوند. مشکل عمده این سنجش در نظر نگرفتن تراکنش‌های نادر است. این سنجش را Agrawal et al. (1993) معرفی کردند.

ج) اطمینان قاعده، که عبارت است از احتمال وقوع

هم‌زمانی پیش‌آیند و پس‌آیند در مجموعه تراکنش‌هایی که شامل آیت x هستند (رابطه ۳):

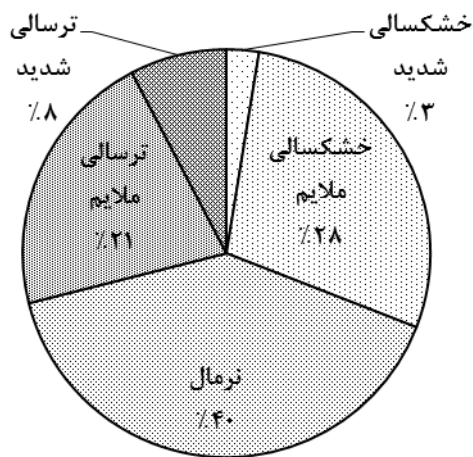
$$\text{conf}(x \rightarrow y) = \frac{n_{as}}{n_a} \quad (\text{رابطه ۳})$$

این سنجش را نیز Agrawal et al. (1993) معرفی کردند. مسئله‌ای که در مورد این سنجش وجود دارد این است که به تکرار پس‌آیند در یک مجموعه داده حساس است؛ طوری که پس‌آیندهای با مقادیر حمایت بالا به طور خودکار اطمینان با مقادیر بالا تولید می‌کنند. حتی اگر قاعده انجمنی بین آیت‌ها موجود نباشد، مقدار این سنجش نیز بین ۰ تا ۱۰۰ درصد تغییر می‌کند.

د) لیفت را، که یکی دیگر از سنجش‌های نکویی قاعده

است، Brin et al. (1997) معرفی کردند. سنجش لیفت بیانگر آن است که چند بار انتظار داریم پیش‌آیند و پس‌آیند با هم اتفاق بیفتد. در جایی که از لحاظ آماری مستقل باشند این سنجش با

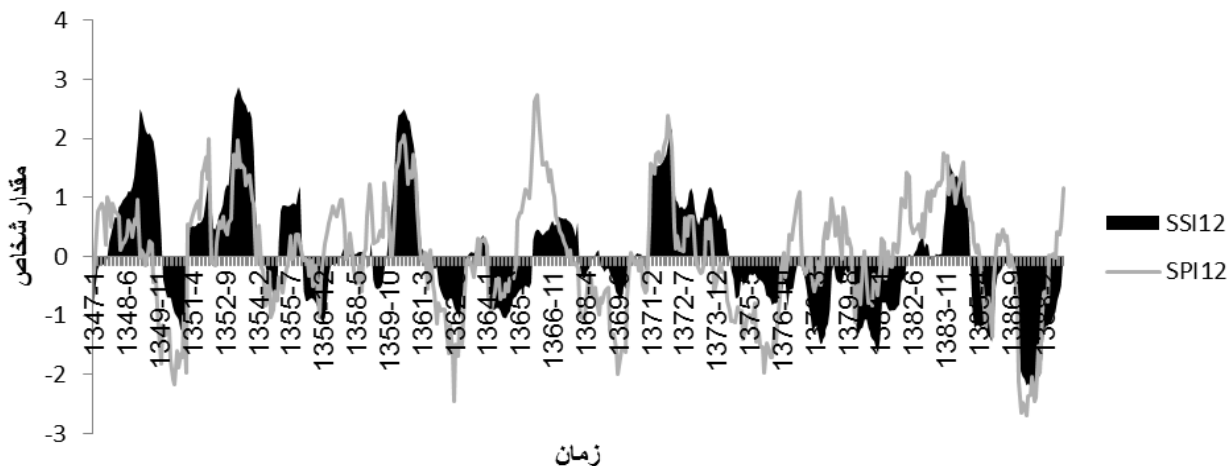
1. Confidence
2. Lift



شکل ۲. درصد تعلق هر طبقه از نمایه خشک‌سالی هیدرولوژیکی SSI در پنجره زمانی دوازده‌ماهه

حالات رخ داده شرایط نرمال را نشان می‌دهد و وضعیت خشک‌سالی و ترسالی شدید، که جزء وقایع حدی‌اند، حدود ۱۰ است (شکل ۲).

همچنین نمودار سری زمانی نمایه‌های SPI12 و SSI12 (شکل ۳) روند مشابهی بین این دو نمایه نشان نمی‌دهد؛ طوری که بتوان به وضوح هم‌زمانی یا یک تأخیر زمانی را در وقوع رخداد‌های ترسالی و خشک‌سالی مشاهده کرد. این مسئله باعث می‌شود قوانین کلی و مستحکمی بین وقوع خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی وجود نداشته باشد. با وجود این، به منظور مطالعه تطبیقی این نمایه‌ها، پس از طبقه‌بندی آن‌ها، با توجه به سناریوهایی که در ادامه تعریف می‌شوند، قوانین احتمالی مشخص شدند.



شکل ۳. نمودار سری زمانی ماهیانه نمایه‌های SSI12 و SPI12

خشک‌سالی هیدرولوژیکی سال قبل با خشک‌سالی هیدرولوژیکی سال جاری

برای اینکه بتوانیم اثر جریان رودخانه در سال قبل را بر خشک‌سالی رودخانه در سال جاری ببینیم در این سناریو متغیرهای SPI12 و SSI12-L12 به منزله پیش‌آیند و SSI12 به منزله پس‌آیند در نظر گرفته شدند. مهم‌ترین نتایجی که از اجرای الگوریتم آپریوری بر این داده‌ها به دست آمد در ادامه می‌آید.

اگر خشک‌سالی هواشناسی شرایط نرمال را در سال جاری نشان دهد، ولی سال قبل جریان رودخانه وضعیت خشک داشته باشد، با اطمینان بیش از ۹۰ درصد، انتظار داریم رودخانه در سال جاری شرایط خشکی را نشان دهد.

شرایط خشک‌سالی شدید هواشناسی بعد از یک سال ترسالی شدید هیدرولوژیکی با اطمینان بیش از ۸۰ درصد انتظار شرایط خشکی ملایم را به وجود می‌آورد (جدول ۴).

الف) قوانین بین خشک‌سالی هواشناسی سال قبل و سال جاری با خشک‌سالی هیدرولوژیکی سال جاری

در این سناریو متغیرهای SPI12 و SPI12-L12 به منزله پیش‌آیند و SSI12 به منزله پس‌آیند در نظر گرفته شدند تا بر اساس آن‌ها اثر خشک‌سالی هواشناسی سال جاری و سال قبل بر خشک‌سالی هیدرولوژیکی رودخانه آرازکوسه بررسی شود. نتایج نشان داد خشک‌سالی هواشناسی سال قبل می‌تواند بر خشک‌سالی هیدرولوژیکی تأثیر داشته باشد؛ مثلاً، با اطمینان بیش از ۵۰ درصد مشاهده شد سالی که وضعیت خشک‌سالی هواشناسی در حالت نرمال قرار داشته ولی سال قبل خشک‌سالی هواشناسی در وضعیت ترسالی یا ترسالی شدید بوده خشک‌سالی هیدرولوژیکی در سال جاری وضعیت ترسالی را نشان می‌دهد (جدول ۳).

ب) قوانین بین خشک‌سالی هواشناسی سال جاری و

جدول ۳. قوانین به دست آمده بین SPI12 و SPI12-L12 با SSI12

ردیف	پس آیند	پیش آیند	پشتیبانی	اطمینان	پشتیبانی قانون	لیفت
۱	SSI12 = dry	SPI12 = dry و SPI12L12 = dry	۱٫۲	۶۶٫۷	۰٫۸	۲٫۳
۲	SSI12 = dry	SPI12 = very dry	۷٫۵	۵۷٫۹	۴٫۴	۲
۳	SSI12 = dry	SPI12 = very dry و SPI12L12 = normal	۶٫۷	۵۲٫۹	۳٫۶	۱٫۹
۴	SSI12 = normal	SPI12 = normal و SPI12L12 = dry	۵٫۲	۸۰٫۸	۴٫۲	۲
۵	SSI12 = normal	SPI12L12 = dry	۷٫۷	۶۴٫۱	۵	۱٫۶
۶	SSI12 = normal	SPI12 = normal و SPI12L12 = very dry	۷٫۳	۵۹٫۵	۴٫۴	۱٫۵
۷	SSI12 = normal	SPI12 = dry و SPI12L12 = normal	۵٫۲	۵۳٫۸	۲٫۸	۱٫۳
۸	SSI12 = normal	SPI12L12 = very dry	۸٫۵	۵۳٫۵	۴٫۶	۱٫۳
۹	SSI12 = normal	SPI12 = wet و SPI12L12 = normal	۵٫۲	۵۰	۲٫۶	۱٫۲
۱۰	SSI12 = wet	SPI12 = wet و SPI12L12 = wet	۲	۷۰	۱٫۴	۳٫۳
۱۱	SSI12 = wet	SPI12 = normal و SPI12L12 = very wet	۶٫۳	۶۵٫۶	۴٫۲	۳٫۱
۱۲	SSI12 = wet	SPI12L12 = very wet	۷٫۱	۶۱٫۱	۴٫۴	۲٫۹
۱۳	SSI12 = very wet	SPI12 = very wet و SPI12L12 = normal	۶٫۳	۵۰	۳٫۲	۶٫۶

جدول ۴. قوانین به دست آمده بین SPI12 و SSI12-L12 با SSI12

ردیف	پس آیند	پیش آیند	پشتیبانی	اطمینان	پشتیبانی قانون	لیفت
۱	SSI12 = dry	SPI12 = normal و SSI12L12 = very dry	۲	۹۰	۱٫۸	۳٫۲
۲	SSI12 = dry	SPI12 = very dry و SSI12L12 = very wet	۱٫۲	۸۳٫۳	۱	۲٫۹
۳	SSI12 = dry	SSI12L12 = very dry	۲٫۲	۸۱٫۸	۱٫۸	۲٫۹
۴	SSI12 = dry	SPI12 = dry و SSI12L12 = normal	۳٫۴	۵۸٫۸	۲	۲٫۱
۵	SSI12 = dry	SPI12 = very dry	۷٫۵	۵۷٫۹	۴٫۴	۲
۶	SSI12 = dry	SPI12 = very dry و SSI12L12 = normal	۵٫۶	۵۳٫۶	۳	۱٫۹
۷	SSI12 = normal	SPI12 = normal و SSI12L12 = dry	۲۳٫۴	۶۸٫۶	۱۶٫۱	۱٫۷
۸	SSI12 = normal	SSI12L12 = dry	۲۹	۶۷٫۸	۱۹٫۶	۱٫۷
۹	SSI12 = normal	SPI12 = very wet و SSI12L12 = dry	۲٫۴	۶۶٫۷	۱٫۶	۱٫۷
۱۰	SSI12 = normal	SPI12 = dry و SSI12L12 = wet	۲٫۲	۶۳٫۶	۱٫۴	۱٫۶
۱۱	SSI12 = normal	SPI12 = normal و SSI12L12 = very wet	5.0	۶۰	۳	۱٫۵
۱۲	SSI12 = normal	SPI12 = wet و SSI12L12 = dry	۲٫۴	۵۸٫۳	۱٫۴	۱٫۴
۱۳	SSI12 = normal	SSI12L12 = very wet	۷٫۵	۵۰	۳٫۸	۱٫۲
۱۴	SSI12 = very wet	SPI12 = wet و SSI12L12 = wet	۱٫۴	۷۱٫۴	۱	۹٫۵
۱۵	SSI12 = very wet	SPI12 = very wet و SSI12L12 = normal	۴	۵۰	۲	۶٫۶

خشک سالی هواشناسی بیشترین همبستگی را با مقدار ۶۷٫۴ درصد دارد و به تدریج با تأخیرهای بیشتر از مقدار همبستگی کاسته می شود.

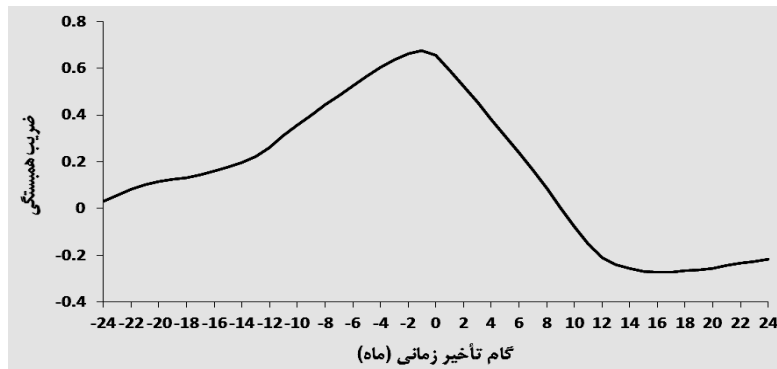
برای پی بردن به زمان تأثیر خشک سالی هواشناسی بر خشک سالی هیدرولوژیکی، نمایه SPI12 با گام های تأخیری

(ج) تأثیر خشک سالی هواشناسی با گام های تأخیری زمانی بر خشک سالی هیدرولوژیکی

همبستگی تقاطعی بین SSI12 با SPI12 تا بیست و چهار گام تأخیری یک ماهه (شکل ۴) نشان می دهد در پنجره زمانی دوازده ماهه خشک سالی هیدرولوژیکی با یک ماه تأخیر نسبت به

اطمینان بیش از ۵۰ درصد در اثر خشک‌سالی‌های هواشناسی تا سه ماه تأخیر ولی وضعیت ترسالی در رودخانه با اطمینان بیش از ۵۰ درصد در اثر ترسالی‌های هواشناسی بیش از شش ماه تأخیر رخ می‌دهد.

یک‌ماهه به منزله پیش‌آیند و SSI12 به منزله پس‌آیند در نظر گرفته شدند. نتایج اجرای الگوریتم آپریوری بر این داده‌ها (جدول ۵) نشان می‌دهد وضعیت خشک‌سالی در رودخانه آرازکوسه با



شکل ۴. همبستگی تقاطعی بین SSI12 با SPI12 در گام‌های تأخیری یک‌ماهه

جدول ۵. قوانین به‌دست‌آمده ناشی از تأثیر خشک‌سالی هواشناسی با گام‌های تأخیری زمانی بر خشک‌سالی هیدرولوژیکی

ردیف	پس‌آیند	پیش‌آیند	پشتیبانی	اطمینان	پشتیبانی قانون	لیفت
۱	SSI12 = dry	SPI12-L2 = dry	۷٫۵	۵۹٫۵	۴٫۵	۲
۲	SSI12 = dry	SPI12 = very dry	۷٫۷	۵۷٫۹	۴٫۵	۲
۳	SSI12 = dry	SPI12-L3 = dry	۷٫۵	۵۶٫۸	۴٫۳	۲
۴	SSI12 = dry	SPI12-L1 = dry	۷٫۵	۵۶٫۸	۴٫۳	۲
۵	SSI12 = dry	SPI12-L3 = very dry	۷٫۷	۵۵٫۳	۴٫۳	۱٫۹
۶	SSI12 = dry	SPI12-L2 = very dry	۷٫۷	۵۵٫۳	۴٫۳	۱٫۹
۷	SSI12 = dry	SPI12-L1 = very dry	۷٫۷	۵۲٫۶	۴٫۱	۱٫۸
۸	SSI12 = dry	SPI12-L4 = dry	۷٫۵	۵۱٫۴	۳٫۹	۱٫۸
۹	SSI12 = dry	SPI12-L5 = very dry	۷٫۷	۵۰	۳٫۹	۱٫۷
۱۰	SSI12 = dry	SPI12-L4 = very dry	۷٫۷	۵۰	۳٫۹	۱٫۷
۱۱	SSI12 = normal	SPI12-L10 = dry	۷٫۵	۶۲٫۲	۴٫۷	۱٫۶
۱۲	SSI12 = normal	SPI12-L11 = dry	۷٫۵	۶۲٫۲	۴٫۷	۱٫۶
۱۳	SSI12 = normal	SPI12-L12 = dry	۷٫۵	۶۲٫۲	۴٫۷	۱٫۶
۱۴	SSI12 = normal	SPI12-L9 = dry	۷٫۵	۵۶٫۸	۴٫۳	۱٫۴
۱۵	SSI12 = normal	SPI12-L5 = dry	۷٫۵	۵۶٫۸	۴٫۳	۱٫۴
۱۶	SSI12 = normal	SPI12-L6 = dry	۷٫۵	۵۴٫۱	۴٫۱	۱٫۴
۱۷	SSI12 = wet	SPI12-L9 = very wet	۷٫۳	۷۲٫۲	۵٫۳	۳٫۴
۱۸	SSI12 = wet	SPI12-L11 = very wet	۷٫۳	۶۹٫۴	۵٫۱	۳٫۳
۱۹	SSI12 = wet	SPI12-L10 = very wet	۷٫۳	۶۹٫۴	۵٫۱	۳٫۳
۲۰	SSI12 = wet	SPI12-L8 = very wet	۷٫۳	۶۶٫۷	۴٫۹	۳٫۱
۲۱	SSI12 = wet	SPI12-L7 = very wet	۷٫۳	۶۱٫۱	۴٫۵	۲٫۹
۲۲	SSI12 = wet	SPI12-L12 = very wet	۷٫۳	۶۱٫۱	۴٫۵	۲٫۹
۲۳	SSI12 = wet	SPI12-L6 = very wet	۷٫۳	۵۲٫۸	۳٫۹	۲٫۵

ترسالی‌های شدید بیشتر از خشک‌سالی اتفاق افتاده است. با توجه به اینکه نمایه‌های خشک‌سالی نمایه‌های استاندارد شده‌اند، می‌توان نتیجه گرفت خشک‌سالی‌ها با شدت کمتر ولی مدت بیشتر و ترسالی‌ها در مدت کمتر ولی با شدت بیشتر رخ داده‌اند. تأخیرهای زمانی خشک‌سالی هیدرولوژیکی ناشی از خشک‌سالی هواشناسی نشان می‌دهد خشک‌سالی‌های هواشناسی در زمان‌های کوتاه‌تر، حداکثر سه ماه، ولی ترسالی‌های هواشناسی در مدت بیشتر، حداقل شش ماه، اثر خود را بر جریان رودخانه می‌گذارند.

وقوع رخداد خشک‌سالی یا ترسالی هیدرولوژیکی به شرایط گذشته وابسته است؛ طوری که ترسالی و خشک‌سالی شدید هواشناسی می‌تواند اثر درازمدت داشته باشد و با وجود ترسالی و خشک‌سالی هواشناسی در سال جاری شرایط متفاوت‌تری را از وضعیت خشک‌سالی شاهد باشیم.

ماهیت پیوست نمایه خشک‌سالی باعث می‌شود با دسته‌بندی نمایه‌ها و مطالعه تطبیقی دسته‌ها از درصد اطمینان قوانین انجمنی کاسته شود.

نبود قوانین مستحکم و کلی بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی می‌تواند ناشی از دسته‌بندی کلاسیک طبقات خشک‌سالی و همچنین تأثیر تأخیری متفاوت شرایط پیشین رطوبتی بر جریان رودخانه باشد. گزارش‌هایی که در این زمینه چاپ شده، مانند Mozafari (2006) و Babaei *et al.* (2011)، نیز این نتیجه را تأیید می‌کند. گفتنی است سایر مطالعاتی که حاکی از وجود همبستگی معنادارند (بین ۰/۴ تا ۰/۶) همبستگی‌های بالایی ندارند و قادر به مدل‌سازی به نحو مطلوب نیستند.

نتیجه‌گیری

مهم‌ترین نتایجی که در مطالعه تطبیقی نمایه‌های خشک‌سالی هواشناسی (SPI) و خشک‌سالی هیدرولوژیکی (SSI) در ایستگاه آرازکوسه با استفاده از قوانین انجمنی به دست آمد عبارت است از:

بررسی فراوانی خشک‌سالی و ترسالی‌های هیدرولوژیکی نشان می‌دهد ترسالی و خشک‌سالی‌های شدید حدود ۱۰ درصد کل وقایع خشک‌سالی را در بر می‌گیرد و در منطقه مطالعاتی

REFERENCES

- Agrawal, R., Imielinski, T., and Swami, A. N. (1993). Mining Association Rules between Sets of Items in Large Databases, in Peter Buneman and Sushil Jajodia (eds.), *Proc. ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, 1993, 207-216.
- Babaei, H., Araghinejad, S., and Horfar, A. (2011). Time interval identification of the occurrences of meteorological and hydrological droughts in Zayandeh-Rud basin. *Arid Biom Scientific and Research Journal*. 1 (3):1-13. (In Farsi)
- Brin, S., Motwani, R., and Silverstein, C. (1997). Beyond market baskets: Generalizing association rules to correlations. In J. M. Peckman (ed.), *Proc. ACM SIGMOD Conference on Management of Data (SIGMOD'97)*, May 1997, 265-276.
- Dhanya, C. T. and Nagesh-Kumar, D. (2009). Data mining for evolution of association rules for droughts and floods in India using climate inputs. *J. Geophys. Res.*, 114, D02102, doi:10.1029/2008JD010485.
- 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. (In Farsi)
- Fattahi, M., Bamdad, A., and Rahimi-Khoob, A. (2012). Applying Association Rules Methods For Drought And Rainfall Moniroring Using The Sea Surface Temperature (Case Study: KHOOZESTAN Province). *Water Engineering journal*. 5(13): 109-118. (In Farsi)
- Ghorbani, Kh., Kalili, A., Alavipanah, S.K., and Nakhaezadeh, Gh. (2010). Comparative Study of the Meteorological Drought Indices (Spi and Siap) Using Data Mining Method (Case Study of Kermanshah Province). *Journal of Water and Soil*. 24(3): 417-426. (In Farsi)
- Harms, S. K. and Deogun, J. S. (2004). Sequential association rule mining time lags. *Journal of Intelligent Information Systems*. 22(1): 7-22.
- Hayes, M. (1996). Drought indexes. National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln, 7 pp. [Available from University of Nebraska Lincoln, 239LW Chase Hall, Lincoln, NE 68583.]
- Heydari, M., Farrokhi, E., Tnyan, S., and Hesari, B. (2009). Analysis of meteorological and hydrological drought by the use of DIP software Areas to be studied: Urmia and Khoy. *Fifth National Conference on Science and Engineering Iranian Watershed*. (In Farsi).
- Lorenzo-Lacruz, J., Mor'an-Tejeda, E., Vicente-Serrano, S. M., and L'opez-Moreno, J. I. (2013). Streamflow droughts in the Iberian Peninsula between 1945 and 2005: spatial and temporal patterns. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17, 119-134.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration time scales. *Eight Conf. On Applied*

- Climatology, Anaheim, CA, American Meteorological Society*, 179-184.
- Mofidi pour, N., Sheikh, V., Ownegh, M., and sadoddin, A. (2012). The Analysis of Relationship Between Meteorological and Hydrological Droughts In Atrak Watershed. *managment of Watershed journal*. (5):16-26. (In Farsi)
- Mozafari, Gh. (2006), Mismatching of Meteorological and Hydrological Drought In tow nearby Catchments on the northern slopes of Shirkooh (Yazd), *Modarres Journal of Human Sciences*, 10(1):173-190. (In Farsi)
- Shahrokhvandi, S. M., Lashani-Zand, M., and Khakpour, M. (2009). A Survey Of Hydrological Droughts And Its Relationship With Precipitation In The Basins Of Khorram-Abad Rivers. *Environmental Based Territorial Planning (Amayesh)*. 2(6): 140-155. (In Farsi)
- Tadesse, T. (2002). Identifying Drought and its association with climatic and Oceanic Parameters Using Data Mining Techniques. *Nebraska, Graduate college University of Nebraska*.
- Zare Abyane, H., Yzdani, V., and Ajdari, Kh. (2010). Comparative Study of Four Meteorological Drought Index Based on Relative Yield of Rain Fed Wheat in Hamedan Province. *Natural Geografic Research*. (69): 35-49. (In Farsi)