تحقیقات آب و خاک ایران، دورهٔ ۴۶، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۴ (ص ۴۱۳-۴۰۵)

# مطالعهٔ تطبیقی نمایه‌های هواشناسی با نمایه‌های هیدرولوژیکی برای پایش خشک‌سالی به روش داده‌کاوی (مطالعهٔ موردی: ایستگاه ارازکوسه، 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: ۱۳۹۳/۷/۱۴ـ 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 کمّی کردن خشک‌سالی، نمایه‌های متعددی تعریف شده است. در این پژوهش از دو نمایهٔ خشک‌سالی، شامل نمایهٔ بارش استانداردشده (SPI) و نمایهٔ جریان رودخانهٔ استانداردشده (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 مطالعهٔ تطبیقی نمایه‌های خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در ایستگاه ارازکوسه 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 پنجرهٔ 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 جدّی‌ترین معضل فیزیکی برای کشاورزی در جهان محسوب می‌شود و عبارت است از نبود یا اندک بودن بارش در یک دورهٔ طولانی، که عدم توازن در میزان آب و در نتیجهٔ 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 ارائهٔ اطلاعات به‌هنگام در زمینهٔ دوام، شدت، و توسعهٔ 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 نمایهٔ بارش استانداردشده و نمایهٔ پالمر جهت بررسی خشک‌سالی‌های دشت‌های جنوبی و جنوب غربی امریکا انجام دادند و نتیجه گرفتند نمایهٔ بارش استانداردشده دست‌کم یک ماه زودتر از نمایهٔ پالمر وقوع خشک‌سالی را پایش می‌کند و پیشنهاد کردند نمایهٔ بارش استانداردشده عملاً همچون ابزاری سودمند برای پایش خشک‌سالی جایگزین نمایهٔ پالمر در ایالات متحده شود. Ensafi Moghaddam (2007) در ارزیابی چند نمایهٔ خشک‌سالی هواشناسی در حوضهٔ دریاچهٔ نمک به روش‌های آماری به این نتیجه رسید که فراوانی مقادیر مختلف نمایهٔ 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

* نویسندهٔ مسئول: ghorbani.khalil@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

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

نوع دیگر خشک‌سالی، خشک‌سالیِ 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 نمایهٔ جریان سطحی استانداردشده[1] (SSI) و نمایهٔ کمبود جریان سطحی[2] (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 هیدرولوژیک و هواشناسی در شیرکوه یزد به این نتیجه رسید که در ایستگاه اسلامیه بین بارندگی و دبی رابطهٔ معنادار وجود ندارد. اما در ایستگاه فخرآباد ضریب همبستگی ۰٫۴۳ در سطح ۹۵ درصد معنادار است. Shahrokhvandi *et al.* (2009) ارتباط خشک‌سالی هیدرولوژیک با بارش را در حوضهٔ خرم‌آباد بررسی کردند. با بررسی همبستگی‌های متوالی مشخص شد همبستگی بین بارش مهر و آبان و آذر با خشک‌سالی هیدرولوژیک 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) فاصلهٔ زمانی رخداد خشک‌سالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی را در حوزهٔ آبخیز زاینده‌رود بررسی کردند. نتایج نشان داد با وجود همبستگی ضعیف بین دو نمایهٔ SPI و SWSI در طول دورهٔ آماری، فاصلهٔ زمانی بین دو رخداد بین سه تا یازده ماه با میانگین هفت ماه متغیر است. نتایج تحقیقات Mofidi pour *et al.* (2012) در حوضهٔ آبخیز اترک نشان داد بیشترین همبستگی بین SPI و SDI در مقیاس سه‌ماهه وجود دارد.

برای برقراری ارتباط بین داده‌ها از مجموعهٔ الگوریتم‌ها در قالب داده‌کاوی[3] استفاده می‌شود. داده‌کاوی طریقهٔ کشف عملی الگویی معنادار، شکل، و روند از میان داده‌ها با استفاده از تکنیک تشخیص الگو مانند شبکهٔ عصبی، آموزش ماشین، و الگوریتم ژنتیک است که توانایی تشخیص خودکار دانش موجود را دارد و از دیگر روش‌های تجزیه‌وتحلیل داده‌ها به دلیل کشف ساختار پنهان، نسبت‌ها، الگوها، و علائم متفاوت است. قوانین انجمنی[4] یکی از الگوریتم‌های داده‌کاوی است که برای یافتن الگوی بین داده‌ها و مطالعهٔ تطبیقی آن‌ها استفاده می‌شود. مطالعاتی در زمینهٔ 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 نمایهٔ نوسانات جنوبی، مقادیر منفی نمایهٔ 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 مطالعهٔ 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 خلیج‌فارس 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

1. Standardized Stream flow Index
2. Stream flow Deficient Index
3. Data Mining
4. Association Rules

Archive of SID

www.SID.ir

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

## مواد و روش‌ها

### منطقهٔ مطالعاتی

منطقهٔ مطالعاتی این تحقیق ایستگاه ارازکوسه است که بر رودخانهٔ چهل‌چای، از شاخهٔ فرعی رودخانهٔ 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 حوضهٔ آبخیز ۱۶۷۸٫۱ کیلومتر مربع. تجهیزات آن اشل و لیمینوگراف و پل تلفریک است.

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

### استخراج نمایه‌های خشک‌سالی

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

**ـ نمایهٔ خشک‌سالی هواشناسی بارش استانداردشده (SPI):** نمایهٔ SPI را McKee و همکاران (1993) بر اساس اختلاف بین مقادیر بارش و میانگین بارش برای یک بازهٔ زمانی مشخص و تقسیم این مقدار بر انحراف معیار بارش پیشنهاد کردند. نمایهٔ 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. محاسبهٔ SPI شامل برازش تابع چگالی احتمال ـ که به عقیدهٔ McKee و همکاران (1993) مناسب‌ترین تابع تابعِ توزیع چگالی گاما است ـ بر توزیع فراوانی بارندگی کل برای یک ایستگاه معین است. پس از محاسبهٔ 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 محاسبه‌شده مطابق جدول ۱ طبقه‌بندی می‌شود. در این تحقیق نمایهٔ SPI در مقیاس زمانی ۳، ۶، و ۱۲ ماه محاسبه شد.

**جدول ۱. طبقه‌بندی حالت‌های مختلف خشک‌سالی هواشناسی بر اساس نمایهٔ SPI**

| حالت | محدوده | وضعیت خشک‌سالی |
|---|---|---|
| ۰ | SPI≥۱٫۵ | ترسالی شدید |
| ۱ | ۱ ≤ SPI ≤ ۱٫۵ | ترسالی ملایم |
| ۲ | -۱ ≤ SPI ≤ ۱ | نرمال |
| ۳ | -۱٫۵ ≤ SPI ≤ -۱ | خشک‌سالی ملایم |
| ۴ | SPI ≤ -۱٫۵ | خشک‌سالی شدید |

**نمایهٔ خشک‌سالی هیدرولوژیکی جریان رودخانهٔ استانداردشده (SSI)**

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

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

**SSI12**: نمایهٔ خشک‌سالی هیدرولوژیک SSI در پنجرهٔ زمانی دوازده‌ماهه

**SPI12**: نمایهٔ خشک‌سالی هواشناسی SPI در پنجرهٔ زمانی دوازده‌ماهه

**SPI12-L12**: نمایهٔ خشک‌سالی هواشناسی SPI در پنجرهٔ زمانی دوازده‌ماهه با گام تأخیری دوازده‌ماهه

**جدول ۲. طبقه‌بندی حالت‌های مختلف خشک‌سالی هیدرولوژیک بر اساس نمایهٔ SSI (Lorenzo-Lacruz *et al.*, 2013)**

| حالت | محدوده | وضعیت خشک‌سالی |
|---|---|---|
| ۰ | SSI≥۱٫۶۴ | ترسالی شدید |
| ۱ | ۰٫۵۲ ≤ SSI ≤ ۱٫۶۴ | ترسالی ملایم |
| ۲ | -۰٫۵۲≤ SSI ≤ ۰٫۵۲ | نرمال |
| ۳ | -۱٫۶۴ ≤ SSI ≤ -۰٫۵۲ | خشک‌سالی ملایم |
| ۴ | SSI ≤ -۱٫۶۴ | خشک‌سالی شدید |

**مطالعهٔ تطبیقی نمایه‌های خشک‌سالی با استفاده از قوانین انجمنی**

به‌منظور بررسی آثار خشک‌سالی بر منابع آب سطحی رابطهٔ داده‌های استانداردشدهٔ جریان (SSI) با سری‌های زمانی SPI در بازه‌های زمانی ۳، ۶، و ۱۲ ماه با استفاده از قوانین انجمنی در حوضه بررسی شد.

**قاعدهٔ انجمنی،** که به صورت $x \rightarrow y$ تعریف می‌شود، را در یک مجموعهٔ تراکنش nتایی در نظر می‌گیریم که X

Archive of SID

www.SID.ir

پیش‌آیند قاعده و y پس‌آیند آن است. اگر تعداد تراکنش‌هایی را که شامل آیتم x یا y هستند به ترتیب با $n_s$ و $n_a$ و تعداد تراکنش‌هایی را که شامل آیتم x هستند و آیتم y را نیز شامل می‌شوند با $n_{as}$ نمایش دهیم، سنجش‌ها و اطمینان[1] و لیفت[2] به صورت زیر تعریف می‌شوند (Ghorbani *et al.*, 2010).

**الف) حمایت از پیش‌آیند** ((supp(x))، که عبارت است از احتمال وقوع پیش‌آیند در یک مجموعه تراکنش (رابطهٔ ۱):

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

**ب) حمایت از قاعده** ((supp(x→y))، که عبارت است از احتمال وقوع قاعدهٔ انجمنی x→y در یک مجموعه تراکنش (رابطهٔ ۲):

(رابطهٔ ۲)

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

سنجش حمایت، از آنجا که تعداد تراکنش‌ها را به حساب می‌آورد، اغلب قید تکرار نیز نامیده می‌شود. مجموعهٔ آیتم‌هایی که حمایتی بیشتر از مقدار آستانه داشته باشند مجموعهٔ آیتم‌های بزرگ یا مکرر نامیده می‌شوند. مشکل عمدهٔ 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 مجموعهٔ تراکنش‌هایی که شامل آیتم x هستند (رابطهٔ ۳):

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

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 قاعدهٔ انجمنی بین آیتم‌ها 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 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 (رابطهٔ ۴):

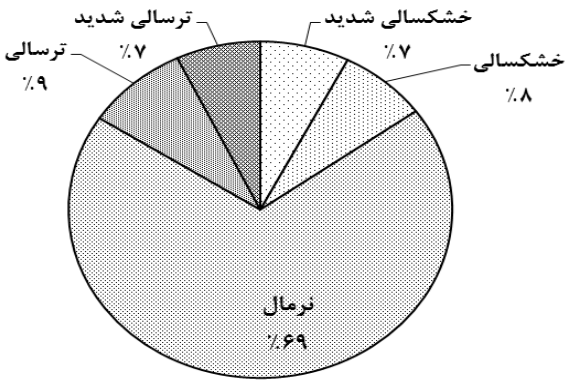
(رابطهٔ ۴)

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

پس از محاسبهٔ نمایه‌ها، هر یک از طبقات خشک‌سالی SPI و SSI نمایهٔ SSI12 به منزلهٔ پس‌آیند و نمایه‌های خشک‌سالی هواشناسی محاسبه و یادشده همراه تأخیر به منزلهٔ 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 رابطهٔ خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی گزارش شدند.

## یافته‌ها و بحث

با بررسی وضعیت طبقات خشک‌سالی و ترسالی هواشناسی طی دورهٔ مطالعاتی مشخص می‌شود ۶۹ درصد حالات رخداده 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 نمایهٔ خشک‌سالی هواشناسی SPI در پنجرهٔ زمانی دوازده‌ماهه**

با بررسی وضعیت طبقات خشک‌سالی و ترسالی هیدرولوژیکی طی دورهٔ مطالعاتی مشخص می‌شود ۴۰ درصد

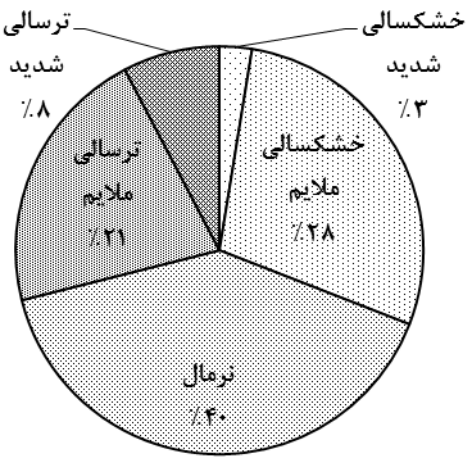
1. Confidence
2. Lift

Archive of SID

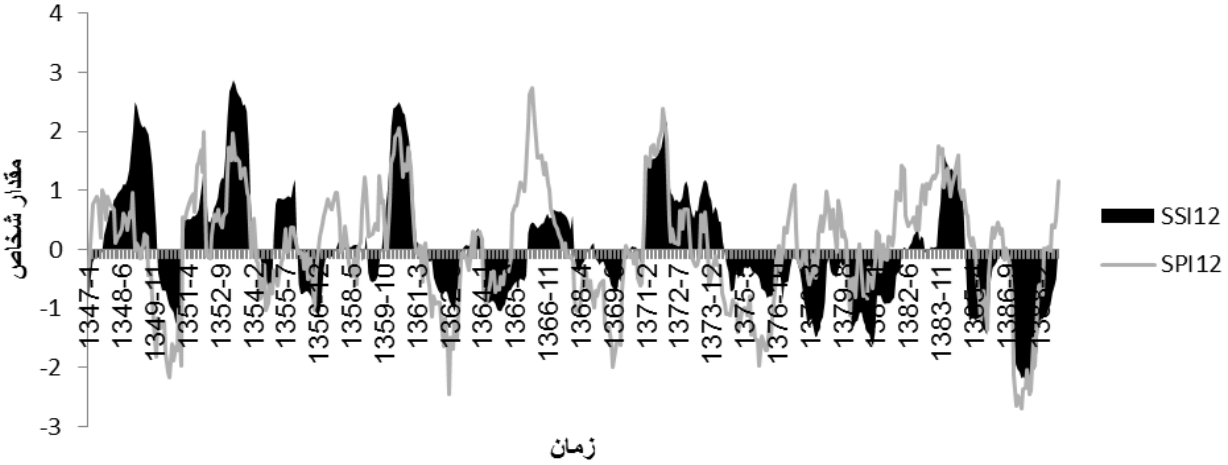
www.SID.ir

حالات رخداده 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 مطالعهٔ تطبیقی این نمایه‌ها، پس از طبقه‌بندی آن‌ها، با توجه به سناریوهایی که در ادامه تعریف می‌شوند، قوانین احتمالی مشخص شدند.




**شکل ۲. درصد تعلق هر طبقه از نمایهٔ خشک‌سالی هیدرولوژیکی SSI در پنجرهٔ زمانی دوازده‌ماهه**




**شکل ۳. نمودار سری زمانی ماهیانهٔ نمایه‌های SPI12 و SSI12**

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

در این سناریو متغیرهای SPI12 و SPI12-L12 به منزلهٔ پیش‌آیند و SSI12 به منزلهٔ پس‌آیند در نظر گرفته شدند تا بر اساس آن‌ها اثر خشک‌سالی هواشناسی سال جاری و سال قبل بر خشک‌سالی هیدرولوژیکی رودخانهٔ ارازکوسه 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 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 منزلهٔ پیش‌آیند و SSI12 به منزلهٔ 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).

Archive of SID
www.SID.ir

**جدول ۳. قوانین به‌دست‌آمده بین SPI12 و SPI12-L12 با SSI12**

| ردیف | پس‌آیند | پیش‌آیند | پشتیبانی | اطمینان | پشتیبانی قانون | لیفت |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | SSI12 = dry | SPI12 = dryو 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 dryو SPI12L12 = normal | ۶٫۷ | ۵۲٫۹ | ۳٫۶ | ۱٫۹ |
| ۴ | SSI12 = normal | SPI12 = normalو 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 = normalو SPI12L12 = very dry | ۷٫۳ | ۵۹٫۵ | ۴٫۴ | ۱٫۵ |
| ۷ | SSI12 = normal | SPI12 = dryو 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 = wetو SPI12L12 = normal | ۵٫۲ | ۵۰ | ۲٫۶ | ۱٫۲ |
| ۱۰ | SSI12 = wet | SPI12 = wetو SPI12L12 = wet | ۲ | ۷۰ | ۱٫۴ | ۳٫۳ |
| ۱۱ | SSI12 = wet | SPI12 = normalو 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 wetو SPI12L12 = normal | ۶٫۳ | ۵۰ | ۳٫۲ | ۶٫۶ |

**جدول ۴. قوانین به‌دست‌آمده بین SPI12 و SSI12-L12 با SSI12**

| ردیف | پس‌آیند | پیش‌آیند | پشتیبانی | اطمینان | پشتیبانی قانون | لیفت |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | SSI12 = dry | SPI12 = normalو SSI12L12 = very dry | ۲ | ۹۰ | ۱٫۸ | ۳٫۲ |
| ۲ | SSI12 = dry | SPI12 = very dryو 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 = dryو 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 dryو SSI12L12 = normal | ۵٫۶ | ۵۳٫۶ | ۳ | ۱٫۹ |
| ۷ | SSI12 = normal | SPI12 = normalو 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 | SSI12L12 = dryو SPI12 = very wet | ۲٫۴ | ۶۶٫۷ | ۱٫۶ | ۱٫۷ |
| ۱۰ | SSI12 = normal | SSI12L12 = wetو SPI12 = dry | ۲٫۲ | ۶۳٫۶ | ۱٫۴ | ۱٫۶ |
| ۱۱ | SSI12 = normal | SPI12 = normalو SSI12L12 = very wet | 5.0 | ۶۰ | ۳ | ۱٫۵ |
| ۱۲ | SSI12 = normal | SSI12L12 = dryو SPI12 = wet | 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 | SSI12L12 = wetو SPI12 = wet | ۱٫۴ | ۷۱٫۴ | ۱ | ۹٫۵ |
| ۱۵ | SSI12 = very wet | SSI12L12 = normalو SPI12 = very wet | ۴ | ۵۰ | ۲ | ۶٫۶ |

**ج) تأثیر خشک‌سالی هواشناسی با گام‌های تأخیری زمانی بر خشک‌سالی هیدرولوژیکی**

همبستگی تقاطعی بین SSI12 با SPI12 تا بیست و چهار گام تأخیری یک‌ماهه (شکل ۴) نشان می‌دهد در پنجرهٔ زمانی دوازده‌ماهه خشک‌سالی هیدرولوژیکی با یک ماه تأخیر نسبت به خشک‌سالی هواشناسی بیشترین همبستگی را با مقدار ۶۷٫۴ درصد دارد و به‌تدریج با تأخیرهای بیشتر از مقدار همبستگی کاسته می‌شود.

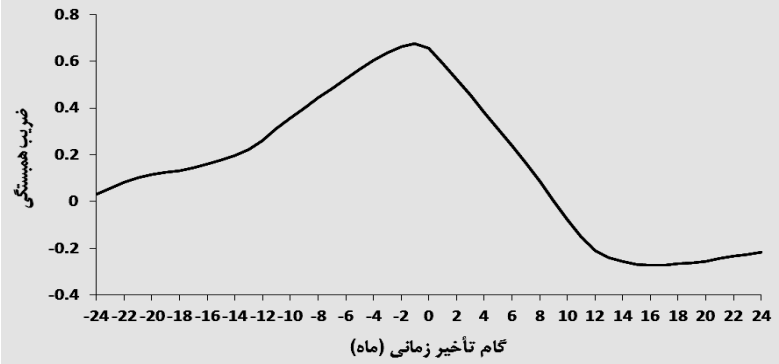
برای پی بردن به زمان تأثیر خشک‌سالی هواشناسی بر خشک‌سالی هیدرولوژیکی، نمایهٔ SPI12 با گام‌های تأخیری

Archive of SID

www.SID.ir

یک‌ماهه به منزلهٔ پیش‌آیند و SSI12 به منزلهٔ پس‌آیند در نظر گرفته شدند.

نتایج اجرای الگوریتم آپریوری بر این داده‌ها (جدول ۵) نشان می‌دهد وضعیت خشک‌سالی در رودخانهٔ ارازکوسه با 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.




**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 |

Archive of SID

www.SID.ir

نبودِ 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 مطالعهٔ تطبیقی نمایه‌های خشک‌سالی هواشناسی (SPI) و خشک‌سالی هیدرولوژیکی (SSI) در ایستگاه ارازکوسه 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 منطقهٔ مطالعاتی ترسالی‌های شدید بیشتر از خشک‌سالی اتفاق افتاده است. با توجه به اینکه نمایه‌های خشک‌سالی نمایه‌های استانداردشده‌اند، 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 نمایهٔ خشک‌سالی باعث می‌شود با دسته‌بندی نمایه‌ها و مطالعهٔ تطبیقی دسته‌ها از درصد اطمینان قوانین انجمنی کاسته شود.

## 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 Monironing 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*


Archive of SID

www.SID.ir

*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)

Archive of SID

www.SID.ir