

تعیین رخدادهای خشکسالی و ترسالی بر پایه مدل چندمتغیر اسکالوگرام و بررسی ارتباط شدیدترین رخدادها با مقادیر حدی بارش

ابوالفضل مساعدی^{۱*} و محمدقبایی سوق^۲

^۱ دانشیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد، ^۲ دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۹/۱۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۷/۱۹)

چکیده

خشکسالی عارضه‌ای طبیعی، موقتی و بازگشتی در اقلیم هر منطقه محسوب می‌گردد. یکی از معایب موجود در مدل‌های تک‌متغیر پایش خشکسالی، پایش بر مبنای مقدار یک متغیر (بارش) می‌باشد. این موضوع سبب می‌شود در سال‌هایی که مقدار بارش در حد متوسط است، ولی تعداد روزهای بارانی و یا رطوبت نسبی از حد نرمال کمتر و یا دما و به تبع آن‌ها تبخیر تعرق از حد نرمال بیشتر است، خشکسالی از نظر تنها نمایه‌ی موجود یعنی مقدار بارش پنهان بماند. با توجه به خصوصیات پیچیده‌ی پدیده‌ی خشکسالی و تاثیرپذیری آن از متغیرهای مختلف اقلیمی، توسعه‌ی مدل‌های پایش چندمتغیر می‌تواند به شناخت بهتر این پدیده کمک فراوانی نماید. در این تحقیق در راستای نیل به این هدف با استفاده از ۵۰ عامل اقلیمی مرتبط با بارش، تبخیر تعرق پتانسیل و روزهای بارانی طی یک دوره‌ی آماری ۵۰ ساله یک مدل چندمتغیر بر اساس سطوح آستانه‌ی چانگ و مدل اسکالوگرام جهت پایش رخدادهای خشکسالی و ترسالی در ۵ ایستگاه سینوپتیک شیراز، تهران، مشهد، تبریز و کرمانشاه توسعه داده شد. بررسی ارتباط بین سال‌های وقوع شدیدترین رخدادهای خشکسالی و ترسالی با سال وقوع کمینه و بیشینه‌ی مقدار بارش نشان داد همواره شدیدترین رخدادهای خشکسالی و ترسالی مقارن با وقوع کم‌بارش‌ترین یا پر بارش‌ترین سال‌ها نمی‌باشند. ضمن آن‌که تعیین مقدار وزن هر یک از عوامل ذکر شده با توجه به اقلیم منطقه می‌تواند بر پایش وضعیت خشکسالی موثر باشد. این موضوع به تحقیقات بیشتری نیاز دارد.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، متغیرهای هواشناسی، سطوح آستانه، مدل‌های چندمتغیر.

مقدمه

قرار گرفتن کشور ایران در کمربند خشک کره‌ی زمین و نوسانات زیاد بارش در مناطق مختلف کشور، سبب وقوع رخدادهای خشکسالی و ترسالی با شدت‌های متفاوت در دوره‌های مختلف شده است. اگر چه خشکسالی در همه‌ی رژیم‌های آب و هوایی روی می‌دهد، اما در مناطق خشک که از جنبه‌های اکوسیستمی ساختار شکننده‌تری دارند، خشکسالی نمود بیشتری یافته و خسارات بیشتری را بر جای می‌گذارد.

خشکسالی سیمای موقت اقلیمی یک ناحیه است و با خشکی که به وضعیت دائمی کمبود آب در یک ناحیه اطلاق می‌شود، متفاوت می‌باشد (Dinpashoh, 2003). پدیده‌ی خشکسالی به لحاظ گستردگی، شدت، مدت و میزان آسیب‌رسانی، یکی از بزرگ‌ترین بلاهای طبیعی محسوب می‌گردد که سالانه در سراسر جهان میلیاردها دلار خسارت را به بخش‌های

مختلف اقتصادی و اجتماعی جوامع، به‌ویژه بخش کشاورزی وارد می‌کند. در سال زراعی ۷۹-۱۳۷۸، به‌علت کاهش بارندگی و کم‌بودن ریزش برف و نبود یخبندان کافی، ذخایر آب‌های سطحی استان خراسان به شدت کاهش یافت و تولید مزارع را که از منابع فوق آبیاری می‌شدند، تحت تأثیر قرار داد، به‌طوری که خسارت‌های ناشی از عوامل نامساعد جوی در بخش زراعت در این استان، معادل ۶۸۲/۴ میلیارد دلار برآورد گردید (Ashgar Toosi et al., 2003). بر اساس گزارش (FAO (2006). طی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۱ یک خشکسالی بلند مدت و شدید ۲۵ استان کشور را فرا گرفت به طوری که در استان‌های کرمان، خراسان، فارس و سیستان و بلوچستان از شدت و بزرگی بیشتری برخوردار بود. خشکسالی سال‌های مذکور موجب افت شدید آب‌های سطحی و زیرزمینی و کاهش تولیدات کشاورزی گردید. بر پایه‌ی این گزارش، خسارات خشکسالی در بخش‌های کشاورزی و دامپروری کشور در حدود ۲/۵ میلیارد دلار برای سال ۲۰۰۱ و ۱/۷ میلیارد دلار برای سال ۲۰۰۰ میلادی برآورد

گردید.

تفاوت در پارامترهای آب و هوایی و فاکتورهای اقتصادی-اجتماعی موثر بر خشکسالی و همچنین متغیر بودن مفهوم و میزان تقاضای آب در مناطق مختلف جهان سبب شده است که امکان ارائه‌ی یک تعریف مشخص و جامع از خشکسالی، تا حدودی دشوار به نظر برسد (Mishra and Singh, 2010). با توجه به پارامترهای به کار رفته در توصیف خشکسالی و دیدگاه-های مختلف در رابطه با خشکسالی، می‌توان آن را در چهار دسته‌ی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اقتصادی-اجتماعی تقسیم‌بندی نمود (American Meteorological Society, 1997; Wilhite, 2000). در تحقیقی مروری بر مفاهیم خشکسالی بیان داشتند که باید به ۴ دسته‌ی فوق، دسته‌ی دیگری با عنوان خشکسالی آب زیرزمینی اضافه نمود. در دو دهه اخیر تحقیقات گسترده‌ای در ارتباط با پایش، پهنه‌بندی و پیش‌بینی خشکسالی در مناطق مختلف ایران و جهان انجام شده است. در موضوع پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌های مختلف هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی به پایش خشکسالی پرداخته شده است. در موضوع پهنه‌بندی به کمک روش‌های مبتنی بر سنجش از راه دور بر مبنای شاخص پرکاربرد بارش استاندارد شده (SPI) و یا سایر شاخص‌ها به ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی اقدام نموده‌اند. در موضوع پیش‌بینی نیز با استفاده از سری‌های زمانی، روش‌های هوشمند و زنجیره مارکوف به پیش-بینی خشکسالی پرداخته‌اند.

در مدل‌های تک‌متغیر با استفاده از آمار طولانی مدت یک متغیر هواشناسی (نظیر مقدار بارش) یا یک متغیر هیدرولوژیکی (مانند آورد رودخانه یا نوسانات سطح آب‌زیرزمینی) به پایش دوره‌های ترسالی و خشکسالی می‌پردازند (Morid and Paymozd., 2007).

یکی از معایب موجود در مدل‌های تک‌متغیر پایش خشکسالی، استفاده از تنها یک متغیر (مقدار بارش) می‌باشد. این موضوع سبب می‌شود در سال‌هایی که مقدار بارش در حد متوسط است، ولی تعداد روزهای بارانی و یا رطوبت‌نسبی از حد نرمال کمتر و یا دما و به تبع آن‌ها تبخیر تعرق از حد نرمال منطقه بیشتر است، خشکسالی از نظر تنها نمایه‌ی موجود یعنی مقدار بارش پنهان مانده و مشکلات خاص زیست-محیطی، اقتصادی و اجتماعی و یا حتی سیاسی به وجود آید.

شاخص SPI که به منظور پایش خشکسالی اقلیمی ایالت کلرادوی آمریکا توسط McKee et al., (1993) ابداع گردیده است یک شاخص تک متغیر و در عین حال یکی از

پرکاربردترین شاخص‌های پایش خشکسالی است. محاسبه‌ی این شاخص، مستلزم برازش توزیع احتمالاتی مناسب به سری طولانی مدت داده‌های بارندگی در بازه‌های زمانی دلخواه (سه ماهه، شش ماهه و ...) می‌باشد. بسیاری از پژوهشگران از جمله McKee et al., (1993) توزیع گاما را پیشنهاد دادند. با فرض پیروی مقدار بارندگی از توزیع گاما، گام بعدی در محاسبه‌ی شاخص SPI، انتقال احتمال تجمعی به دست آمده از توزیع گاما به توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و انحراف از معیار یک می‌باشد. در واقع SPI عبارتست از متغیری از تابع توزیع نرمال استاندارد که مقدار احتمال تجمعی آن با مقدار احتمال تجمعی متغیر مورد نظر از توزیع گامای به دست آمده، مساوی باشد. طبق این روش دوره‌ی خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به‌طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که مقدار SPI مثبت گردد (Lloyd-Hughes and Saunders, 2002).

با توجه به این‌که بروز پدیده‌ی خشکسالی تحت تاثیر نوسانات متغیرهای جوی و اقلیمی مختلف می‌باشد و نوسانات هر یک از این متغیرها می‌توانند سبب افزایش یا کاهش شدت این پدیده گردد، در سال‌های اخیر برخی محققان از مدل‌های چندمتغیر برای بررسی این پدیده استفاده نموده‌اند که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته می‌شود:

Chang (1991) با استفاده از ۵ متغیر جریان رودخانه، بارندگی، دما، سطح آب زیرزمینی و سطح آب در مخازن روشی چندمتغیر را برای پایش خشکسالی ارائه داد. Morid and Paymozd (2007) با استفاده از متغیرهای هیدرولوژیکی به-کمک روش Chang (1991)، به پایش روزانه‌ی خشکسالی در سطح استان تهران طی سال‌های آبی ۷۸-۱۳۷۷ تا ۸۰-۱۳۷۹ پرداختند. Baratian (2003) با انتخاب ده پارامتر مختلف جوی به‌عنوان عوامل موثر بر خشکسالی به کمک مدل اسکالوگرام سال‌های خشک و مرطوب ایستگاه شهرکرد را تعیین نمود. وی با ارزش‌گذاری عوامل جوی موثر بر خشکسالی در سه طیف ارزشی مثبت، خنثی و منفی در هر سال، بر اساس تعداد موارد خنثی، مثبت و منفی، سال‌های مورد بررسی را از نظر وقوع، سال‌های مرطوب تا خشک رتبه‌بندی نمود. بر اساس رتبه‌بندی وی خشک‌ترین و مرطوب‌ترین سال به ترتیب در سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۷۱ به وقوع پیوستند. Karimi Nazar et al, (2010) با بیان این‌که برخی از عوامل ده‌گانه‌ی فوق تا حد زیادی به هم وابسته-اند و تبخیر تعرق می‌تواند در بردارنده‌ی عواملی چون دما، رطوبت‌نسبی و سرعت باد باشد، سه پارامتر بارش سالانه، تعداد روزهای بارانی و تبخیر تعرق پتانسیل سالانه را به‌عنوان عوامل

مقدار بارش با سال وقوع شدیدترین رخدادهای خشکسالی و ترسالی در محدوده ایستگاه‌های مورد بررسی از اهداف دیگر این تحقیق می‌باشد.

مواد و روش‌ها

موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی و داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق به منظور طراحی مدل چندمتغیر اسکالوگرام از داده‌های روزانه‌ی مقدار بارش و آمار ماهانه‌ی مقادیر متوسط دمای حداقل، دمای حداکثر، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد در ۵ ایستگاه سینوپتیک شیراز، تهران، مشهد، تبریز و کرمانشاه طی یک دوره‌ی آماری ۵۰ ساله (از سال آبی ۵۸-۱۹۵۷ تا ۰۷-۲۰۰۶ میلادی) استفاده شده است. برخی از خصوصیات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی در جدول (۱) ارائه شده است. در ایستگاه‌های مذکور نسبت بارش فصل تابستان به مجموع بارش سالانه ناچیز می‌باشد. به طوری که این مقدار از ۰/۴۴ درصد (ایستگاه شیراز) تا ۵/۵۵ درصد (ایستگاه تبریز) در نوسان است (جدول ۱). از این رو در این تحقیق سال آبی معادل فصل‌های پائیز، زمستان و بهار در نظر گرفته شد. ایستگاه‌های مورد مطالعه در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک قرار دارند به طوری که با توجه به خصوصیات اقلیمی آن‌ها، ایستگاه‌های شیراز و تهران در شرایط آب و هوایی "گرم و نیمه‌خشک" و ایستگاه‌های مشهد، تبریز و کرمانشاه نیز در شرایط آب و هوایی "سرد و نیمه‌خشک" قرار می‌گیرند.

مستقل موثر بر خشکسالی منطقه‌ی زابل در نظر گرفتند. نتایج آن‌ها نشان داد که در طول دوره‌ی مورد بررسی، خشک‌ترین و مرطوب‌ترین سال‌ها به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۷۱ به وقوع پیوسته‌اند ضمن آن که همیشه کم‌بارش‌ترین سال مصادف با شدیدترین خشکسالی نمی‌تواند باشد و عوامل دیگر نیز در این میان موثر خواهند بود. Dinpoashoh et al., 2004 در تحقیقی به پهنه‌بندی اقلیم بارشی ایران با استفاده از مدل چندمتغیر پرداختند. آن‌ها به این منظور با انتخاب ۵۷ متغیر موثر بر اقلیم بارشی از ۷۷ ایستگاه هواشناسی، به کمک روش تجزیه به عامل‌ها ۱۲ متغیر مهم را انتخاب و بر اساس روش تجزیه خوشه‌ها کل کشور را به ۶ ناحیه همگن و یک ناحیه غیرهمگن تفکیک نمودند. (Zare Zade Mahrizi and Morid (2011 برای پایش خشکسالی سیستم منابع آب زاینده‌رود، دو شاخص هواشناسی بارش استاندارد شده (SPI) و خشکسالی موثر (EDI) را با روش هیدرولوژیکی توسعه داده بر اساس تراز مخزن سد، در دوره خشکسالی ۱۳۸۰-۱۳۷۷ با هم مقایسه نمودند. آن‌ها با بیان قابلیت هر یک از روش‌های مذکور، بر استفاده همزمان از چند شاخص برای پایش خشکسالی تاکید نمودند.

با توجه به این که وقوع خشکسالی از نوسانات عوامل مختلف هواشناسی تاثیر می‌پذیرد و از طرفی با توجه به قابلیت‌های مدل‌های چندمتغیر، تحقیق حاضر تلاش دارد با به کارگیری ۵۰ متغیر مرتبط با عوامل هواشناسی در قالب مدل چندمتغیر اسکالوگرام پایشی جامع‌تر از رخدادهای خشکسالی و ترسالی در محدوده‌ی چند ایستگاه سینوپتیک ارائه دهد. ضمن آنکه، بررسی ارتباط بین سال وقوع مقادیر کمینه و بیشینه‌ی

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و خصوصیات اقلیمی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	متوسط بارش (میلی‌متر)	تبخیر تعرق (میلی‌متر)	رطوبت نسبی (درصد)	متوسط دما (سانتی‌گراد)	متوسط نسبت بارش تابستان به بارش سالانه (درصد)
شیراز	۲۹° ۳۲'	۵۳° ۳۶'	۱۴۸۴	۳۲۴/۸	۹۸۲	۴۱	۱۷/۷۷	۰/۴۴
تهران	۳۵° ۴۱'	۵۱° ۱۹'	۱۱۹۰/۸	۲۲۹/۶	۹۲۲	۴۱	۱۷/۳۲	۱/۸۸
مشهد	۳۶° ۱۶'	۵۹° ۳۸'	۹۹۹/۲	۲۴۸/۱	۷۹۹	۵۵	۱۴/۲۹	۲/۷۱
تبریز	۳۸° ۰۵'	۴۶° ۱۷'	۱۳۶۱	۲۷۱/۱	۷۰۷	۵۴	۱۲/۴۵	۵/۵۵
کرمانشاه	۳۴° ۱۷'	۴۷° ۰۷'	۱۳۲۲	۴۵۰/۹	۷۷۴	۴۷	۱۴/۲۵	۰/۵۷

مدل اسکالوگرام

مدل اسکالوگرام یک مدل چندمتغیره می‌باشد که در دهه‌های گذشته بیشتر در موارد اقتصادی به کار گرفته شده است. این مدل به دلیل عدم محدودیت در تعداد عوامل و نوع آن‌ها و همچنین دوره‌ی آماری، قابلیت تعمیم به بسیاری از مباحث مربوط به اقلیم مانند: طبقه‌بندی اقلیمی، تعیین دوره‌های خشکسالی و ترسالی و ... را دارد (Karimi Nazar et al.,

داده‌های ناقص در سری‌های ماهانه‌ی بارندگی و دماهای حداقل و حداکثر ایستگاه‌های تبریز و شیراز با استفاده از آمار ایستگاه‌های سینوپتیک مراغه و فسا از روش نسبت‌ها بازسازی گردید و در ایستگاه کرمانشاه به علت آن که در مجاورت آن ایستگاهی با طول دوره‌ی آماری طولانی مدت که بتواند سال ۱۹۶۲ را پوشش دهد وجود نداشت، سال مذکور و سال‌های قبل از آن از روند محاسبات حذف گردیدند.

در مرحله رتبه‌بندی، شدت خشکسالی و ترسالی هر یک از سال‌های آماری، بر اساس حاصل جمع تعداد موارد مثبت، خنثی و منفی مشخص می‌گردد (Karimi Nazar et al., 2010; Baratian, 2003).

طراحی مدل اسکالوگرام

به مرور زمان و افزایش درک بشر از پدیده‌ی پیچیده‌ی خشکسالی، تلاش‌های مختلفی برای دخالت دادن عواملی علاوه بر بارندگی برای توصیف این پدیده آغاز گردید. در مناطق مختلف آب و هوایی به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک، بالا بودن میزان تبخیر تعرق و تمرکز بارش در محدوده‌ی کوتاهی از زمان، سبب افزایش اثرات تنش‌های کم‌آبی در سال‌های خشک می‌گردد.

در نتیجه، در این مناطق بارندگی به تنهایی نمی‌تواند توصیف مناسبی از خشکسالی را ارائه دهد. از طرفی به‌نظر می‌رسد که بررسی چگونگی توزیع زمانی بارندگی در طول سال، فواصل زمانی بین روزهای بارانی و تعداد روزهای متوالی بدون باران می‌تواند به شناخت جامع‌تر خشکسالی کمک شایانی نمایند. از این‌رو در این تحقیق برای پایش خشکسالی از ۵۰ متغیر مرتبط با مقدار بارش، تبخیر تعرق پتانسیل و روزهای بارانی در قالب مدل اسکالوگرام استفاده شده است. لیست متغیرهای مؤثر بر تنش‌های خشکسالی (پیشنهادی در این تحقیق) جهت طراحی مدل اسکالوگرام به همراه ضرایب تاثیر آن‌ها در جدول (۳) آورده شده است. لازم به ذکر است که ضرایب تاثیر بیان شده برای ایستگاه‌های واقع در شرایط آب و هوایی "سرد و نیمه‌خشک" می‌باشند و ضرایب تاثیر در شرایط آب و هوایی "گرم و نیمه‌خشک" برابر یک در نظر گرفته شد که در بخش‌های بعد دلایل این امر به‌طور کامل‌تر ارائه می‌گردد.

نوع تأثیر هریک از متغیرهای هواشناسی ذکر شده در جدول (۳)، بر افزایش یا کاهش اثرات تنش‌های خشکسالی به شرح زیر می‌باشند. در متغیرهای مرتبط با بارش (متغیرهای X_1 تا X_{18}) با افزایش مقدار آن‌ها اثرات تنش‌های خشکسالی کاهش می‌یابند. هم‌چنین در متغیرهای مرتبط با تبخیر تعرق پتانسیل (متغیرهای X_{19} تا X_{31}) افزایش مقدار آن‌ها سبب افزایش اثرات تنش‌های خشکسالی می‌گردند. اما در ارتباط با تعداد روزهای بارانی (متغیرهای X_{32} تا X_{35})، افزایش تعداد روزهای بارانی، سبب کاهش اثرات تنش‌های خشکسالی و افزایش تعداد روزهای متوالی بدون باران (متغیرهای X_{36} تا X_{50}) سبب افزایش اثرات تنش‌های خشکسالی می‌گردند. لازم به ذکر است که در این تحقیق مقدار تبخیر تعرق پتانسیل ایستگاه‌های مورد بررسی در ماه‌هایی که دارای آمار کامل پارامترهای هواشناسی شامل دمای

(2010). به‌طور کلی در طراحی مدل اسکالوگرام چهار مرحله‌ی مشخص وجود دارد که عبارتند از: تعیین عوامل مؤثر بر پدیده‌ی مورد بررسی، انجام محاسبات آماری، ارزش‌گذاری و رتبه‌بندی. در مدل اسکالوگرام جهت انتخاب عوامل مؤثر بر پدیده‌ی مورد بررسی، هیچ‌گونه محدودیتی وجود ندارد و هر محقق می‌تواند با نظر کارشناسی خویش و امکان دستیابی به اطلاعات اقلیمی می‌تواند تعداد عوامل و دوره‌ی آماری را تغییر دهد. در این مدل عوامل مؤثر با توجه به نوع تأثیری که بر پدیده‌ی مورد بررسی دارند، به‌صورت مثبت یا منفی ارزش‌گذاری می‌شوند. به‌طور معمول در محاسبات آماری مدل اسکالوگرام، ابتدا میانگین (μ) و انحراف از معیار (σ) هر یک از متغیرها محاسبه، آن‌گاه از معادله $\mu + k\sigma$ که در هیدرولوژی آماری کاربرد زیادی دارد استفاده می‌شود. محققان مختلف بر اساس نظر کارشناسی و با توجه به تغییرپذیری عوامل هواشناسی مختلف نسبت به میانگین از یک ضریب ثابت k برای عوامل هواشناسی مختلف استفاده می‌نمایند به‌عنوان مثال (Karimi Nazar, 2010). مقدار K را معادل 0.25 یا 0.5 و K را $1/2$ یا $1/4$ برای هر یک از عوامل هواشناسی انتخاب نمودند.

در مرحله‌ی ارزش‌گذاری، بر اساس محاسبات آماری مرحله‌ی قبل، پس از انتخاب مقدار K با توجه به مقادیر $\mu \pm k\sigma$ ، سه محدوده برای وقوع هر یک از متغیرها در نظر گرفته می‌شود و داده‌ها در سه طیف ارزشی مثبت، خنثی و منفی قرار می‌گیرند. برای مثال در خصوص عواملی که افزایش آن‌ها (مانند مقدار بارش) سبب کاهش تنش‌های خشکسالی می‌شوند، موارد بیشتر از $\mu + k\sigma$ در طیف مثبت و موارد کمتر از $\mu - k\sigma$ در طیف منفی قرار می‌گیرند. در مورد عواملی که افزایش آن‌ها (مانند تبخیر تعرق) سبب افزایش تنش‌های خشکسالی می‌شوند، موارد بیشتر از $\mu + k\sigma$ در طیف منفی و موارد کمتر از $\mu - k\sigma$ در طیف مثبت قرار می‌گیرند. جدول (۲) چگونگی تعیین طیف ارزشی عوامل مؤثر بر تنش‌های خشکسالی در این تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول ۲- چگونگی تعیین طیف ارزشی متغیرهای هواشناسی مؤثر بر تنش‌های خشکسالی

طیف ارزشی		عواملی که با افزایش آن‌ها تنش‌های خشکسالی کاهش می‌یابد
	عواملی که با افزایش آن‌ها تنش‌های خشکسالی کاهش می‌یابد	عواملی که با افزایش آن‌ها تنش‌های خشکسالی افزایش می‌یابد
	مثبت	منفی
	خنثی	خنثی
	منفی	مثبت
$x_i \geq \bar{x} + k\sigma$	مثبت	منفی
$\bar{x} - k\sigma \leq x_i \leq \bar{x} + k\sigma$	خنثی	خنثی
$x_i \leq \bar{x} - k\sigma$	منفی	مثبت

اطلاعات وسیع تر و کامل تر و هم‌چنین بار عاملی بارندگی در عوامل بوجود آورنده‌ی خشکسالی، جستجو نمود (Karamouz and Araghinejad, 2005). بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که وزن بارندگی در شاخص‌های خشکسالی به تنهایی بیش از ۸۰ درصد تغییرات این‌گونه شاخص‌ها را توصیف می‌کند (Kyantash & Dracup, 2002). از طرفی در مناطقی با دمای زیاد و تبخیر تفرق بالا، بارندگی به تنهایی نمی‌تواند نشان‌دهنده‌ی وقوع خشکسالی باشد (Tsakiris et al., 2007).

مقدار وزن هر یک از عوامل ۵۰ گانه می‌تواند در پایش وضعیت خشکسالی در هر سال موثر باشد. در این تحقیق به منظور استخراج رخدادهای خشکسالی و ترسالی، در ابتدا وزن هر یک از ۵۰ عامل اقلیمی مرتبط با بارش، روزهای بارانی و تبخیر تفرق در مورد همه ایستگاه‌ها یکسان در نظر گرفته شدند و در بخش دوم تحقیق، این وزن‌ها بر اساس اقلیم منطقه متفاوت در نظر گرفته شدند (جدول ۳). در ایستگاه‌های شیراز و تهران با شرایط آب و هوایی گرم و نیمه‌خشک و تبخیر تفرق بیش از ۹۰۰ میلی‌متر در سال، از ضرایب تاثیر واحد برای هر یک از متغیرهای اقلیمی استفاده شده است که با توجه به سهم هر یک از متغیرهای بارندگی (۱۸ عامل)، تبخیر تفرق (۱۳ عامل) و روزهای بارانی (۱۹ عامل) در مدل اسکالوگرام طراحی شده، نسبت وزن بارندگی (در مجموع ۳۷ عامل از ۵۰ عامل) و تبخیر تفرق (۱۳ عامل از ۵۰ عامل) در مدل نهائی به ترتیب برابر با ۷۴ درصد و ۲۶ درصد بدست می‌آید.

در ایستگاه‌های مشهد، تبریز و کرمانشاه با شرایط آب و هوایی سرد و نیمه‌خشک و تبخیر تفرق کمتر از ۸۰۰ میلی‌متر در سال، ضریب تاثیر هر یک از متغیرهای اقلیمی با توجه به سهم آن‌ها در شکل‌دهی متغیر اقلیمی سالانه انتخاب شده است. به عبارتی با توجه به آن‌که مقدار بارش سالانه از مجموع بارش ماه‌های اکتبر، نوامبر، دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می و ژوئن بدست می‌آید ضریب تاثیر هر یک از این ۹ ماه برابر ۰/۱۱ در نظر گرفته شد و به همین ترتیب ضریب تاثیر هر یک از ۳ فصل برابر ۰/۳۳ انتخاب گردید. ضریب تاثیر سایر متغیرهای اقلیمی مورد استفاده در جدول (۳) ارائه شده است. بر پایه‌ی آنچه بیان گردید در این وضعیت مجموع متغیرهای بارندگی (۵ واحد)، تبخیر تفرق (۳ واحد) و روزهای بارانی (۹ واحد) برابر ۱۷ واحد می‌باشند که وزن متغیرهای بارندگی و تبخیر تفرق در مدل نهائی به ترتیب حدود ۸۲ درصد و ۱۸ درصد بدست می‌آید. در صورتی که در این ایستگاه‌ها هم از ضرایب تاثیر واحد برای هر یک از متغیرهای اقلیمی استفاده شود، نسبت وزن بارندگی و تبخیر تفرق در مدل نهائی به ترتیب برابر با ۷۴

حداقل، دمای حداکثر، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد می‌باشند، از روش استاندارد فائو پنمن-مانتیت محاسبه گردیده‌است و در صورت فقدان یک یا چند پارامتر از پارامترهای هواشناسی مورد نیاز این روش استاندارد در یک یا چند ماه، با توجه به نوع کمبود داده، بر اساس معیارهای آماری خطا، مقدار ET_0 بر اساس مناسب‌ترین معادله (شامل ۱۱ معادله‌ی تجربی و تخمینی واسنجی‌شده) برآورد گردیده است (Ghabaei Sough, 2011).

برای تعیین سطوح ارزشی متغیرهای هواشناسی از روش سطوح آستانه‌ی متغیرهای خشکسالی (Chang (1991) استفاده گردید. بدین منظور برای هر یک از متغیرها، داده‌های مشاهداتی به‌طور صعودی مرتب و سطح آستانه‌ی X درصد، مقداری است که مربوط به موقعیت N ام داده‌های مرتب‌شده با تعداد N می‌باشد. این مقدار برای عوامل مؤثر بر خشکسالی که افزایش آن‌ها سبب کاهش تنش‌های خشکسالی می‌شوند از رابطه‌ی (۱) و برای عوامل مؤثر بر خشکسالی که افزایش آن‌ها سبب افزایش تنش‌های خشکسالی می‌شوند از رابطه‌ی (۲) محاسبه می‌گردد.

$$i = \frac{(100 - X)}{100} N \quad (1)$$

$$i = \frac{X}{100} N \quad (2)$$

مفهوم روابط فوق بدین معناست که در سطح آستانه‌ی مورد نظر، X درصد متغیرهای کاهش‌دهنده‌ی تنش‌های خشکسالی، از آن بیشتر هستند. ولی برای متغیرهای تشدید کننده‌ی خشکسالی، X درصد داده‌های ثبت شده، کمتر از آن هستند. (Chang (1991) و Morid and Paymozd (2007) سطوح شدت ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۹۵ درصد را برای تعیین سطوح طبقات مختلف خشکسالی به‌کار بردند. در این تحقیق سطوح آستانه‌ی ۹۰ و ۹۵ درصد برای طبقه‌های خشکسالی شدید و بسیار شدید و سطوح آستانه‌ی ۵ و ۱۰ درصد برای طبقه‌های ترسالی بسیار شدید و شدید انتخاب شده است. توضیح بیشتر آن‌که به‌عنوان مثال: در طبقه‌بندی شاخص SPI، طبقه‌ی "خشکسالی شدید" فراوانی تجمعی ۲/۳ تا ۶/۷ درصد را شامل می‌شود که مقداری معادل فراوانی تجمعی ۹۳/۳ تا ۹۷/۷ درصد است. بسیاری دیگر از شاخص‌های خشکسالی مانند EDI، ZSI و RDI نیز از همین طبقه‌بندی استفاده کرده‌اند. بنابراین، آستانه-ی ۹۰ درصد روش چانگ برای طبقه‌ی "خشکسالی شدید" در شاخص SPI در نظر گرفته شده و برای سایر طبقات نیز به همین شیوه عمل شده است. امروزه، آنالیز خشکسالی بر اساس داده‌های بارندگی به‌عنوان مهم‌ترین عامل، برای بررسی انواع خشکسالی به‌کار می‌رود. که دلیل آن را می‌توان در وجود

درصد و ۲۶ درصد بدست خواهد آمد. بیشتر باشد نشان دهنده‌ی سالی با ویژگی ترسالی شدیدتر می‌باشد و بر عکس. بر پایه‌ی مدل طراحی شده در ایستگاه‌های شیراز و تهران، مجموع امتیازات متغیرهای اقلیمی سال‌های

با توجه به مقادیر ارزش‌گذاری شده برای هر متغیر هواشناسی، امتیاز هر سال از جمع ارزش متغیرهای آن سال محاسبه شده است. که هر چه مقدار امتیازات مثبت در سالی

جدول ۳- شرح متغیرهای پیشنهادی مؤثر بر تنش‌های خشکسالی به همراه ضرایب تأثیر آنها در مدل اسکالوگرام

شرح متغیر	ضریب تأثیر	علامت اختصاری
مقدار بارش سالانه	۱/۰۰	X ₁
مقدار بارش فصل پاییز	۰/۳۳	X ₂
مقدار بارش فصل زمستان	۰/۳۳	X ₃
مقدار بارش فصل بهار	۰/۳۳	X ₄
مقدار بارش در هریک از ماههای اکتبر، نوامبر، دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می و ژوئن	۰/۱۱	X ₁₃ تا X ₅
بیشترین مقدار بارش ماهانه فصل پاییز	۰/۳۳	X ₁₄
کمترین مقدار بارش ماهانه فصل زمستان	۰/۱۶۵	X ₁₅
بیشترین مقدار بارش ماهانه فصل زمستان	۰/۱۶۵	X ₁₆
بیشترین مقدار بارش ماهانه فصل بهار	۰/۳۳	X ₁₇
حداکثر مقدار بارش ۲۴ ساعته در سال	۱/۰۰	X ₁₈
مقدار تبخیر تعرق پتانسیل سالانه	۱/۰۰	X ₁₉
مقدار تبخیر تعرق در هر یک از ماههای اکتبر، نوامبر، دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می و ژوئن	۰/۱۱	X ₂₈ تا X ₂₀
مقدار تبخیر تعرق پتانسیل فصل پاییز	۰/۳۳	X ₂₉
مقدار تبخیر تعرق پتانسیل فصل زمستان	۰/۳۳	X ₃₀
مقدار تبخیر تعرق پتانسیل فصل بهار	۰/۳۳	X ₃₁
تعداد روزهای بارانی در سال	۱/۰۰	X ₃₂
تعداد روزهای بارانی با بیش از یک میلی‌متر بارش در طول سال	۱/۰۰	X ₃₃
تعداد روزهای بارانی با بیش از ۵ میلی‌متر بارش در طول سال	۱/۰۰	X ₃₄
تعداد روزهای بارانی با بیش از ۱۰ میلی‌متر بارش در طول سال	۱/۰۰	X ₃₅
بیشترین تعداد روزهای متوالی بدون باران در طول سال	۱/۰۰	X ₃₆
بیشترین تعداد روزهای متوالی بدون باران در فصل پاییز	۰/۳۳	X ₃₇
بیشترین تعداد روزهای متوالی بدون باران در فصل زمستان	۰/۳۳	X ₃₈
بیشترین تعداد روزهای متوالی بدون باران در فصل بهار	۰/۳۳	X ₃₉
بیشترین تعداد روزهای متوالی بدون باران در هریک از ماههای اکتبر، نوامبر، دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می و ژوئن	۰/۱۱	X ₄₈ تا X ₄₀
بیشترین تعداد روزهای متوالی با بارش کمتر یا مساوی یک میلی‌متر در سال	۱/۰۰	X ₄₉
بیشترین تعداد روزهای متوالی با بارش کمتر یا مساوی ۵ میلی‌متر در سال	۱/۰۰	X ₅₀

توضیح:

۱- در جدول فوق منظور از سال آبی، مجموع مقدار هریک از متغیرها در طی ۹ ماه: اکتبر، نوامبر، دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می و ژوئن می‌باشد. هم‌چنین منظور از فصل‌های پاییز (ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر)، زمستان (ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس) و بهار (ماه‌های آوریل، می و ژوئن) می‌باشد.

۲- ضرایب تأثیر بیان شده در مورد هر یک از متغیرها برای ایستگاه‌های واقع در شرایط آب و هوایی "سرد و نیمه‌خشک" می‌باشند. ضرایب تأثیر تمامی متغیرها در شرایط آب و هوایی "گرم و نیمه‌خشک" برابر یک در نظر گرفته شده‌است.

تربیت سال رتبه‌بندی می‌نمایند. در این تحقیق به منظور اصلاح این امر و ارائه‌ی شاخصی مبتنی بر مدل اسکالوگرام با برازش توزیع‌های مختلف (شامل توزیع‌هایی که از پایین و بالا نامحدودند) بر حاصل جمع ارزش عوامل هواشناسی سال‌های مختلف، بر اساس آماره‌ی نکویی برازش کلموگروف- اسمیرنوف،

مختلف می‌تواند از ۵۰+ تا ۵۰- تغییر نماید و در ایستگاه‌های مشهد، تبریز و کرمانشاه، مجموع امتیازات متغیرهای اقلیمی سال‌های مختلف می‌تواند از ۱۷+ تا ۱۷- تغییر نماید. در مدل‌های پیشین اسکالوگرام با رتبه‌بندی مجموع امتیازات عوامل اقلیمی سال‌های مختلف، آن‌ها را از مرطوب‌ترین سال تا خشک-

سال اختصاص داده شد و در انتها با ضرب نمودن ضریب تاثیر هر متغیر اقلیمی در مقدار آن و جمع نمودن ارزش عددی هر یک از عوامل هواشناسی ۵۰ گانه، امتیاز اقلیمی هر سال تعیین گردید. با برآزش توزیع‌های مختلف بر مجموع امتیازات متغیرهای هواشناسی سال‌های مختلف، مناسب‌ترین تابع توزیع مجموع امتیازات متغیرهای هواشناسی در هر ایستگاه تعیین گردید که نتایج آن برای ایستگاه‌های مورد بررسی در جدول (۵) ارائه شده است. تمامی نتایج ارائه شده در این مقاله برای وضعیتی است که ضریب تاثیر هر متغیر اقلیمی در ایستگاه‌های مناطق "سرد و نیمه خشک" با ایستگاه‌های مناطق "گرم و نیمه‌خشک" متفاوت باشد. با توجه به محدودیت حجم مقاله از ارائه نتایج در حالتی که وزن همه متغیرهای اقلیمی در همه ایستگاه‌ها یکسان فرض شود، خودداری شده است.

نتایج استخراج رخدادهای ترسالی و خشکسالی در ایستگاه‌های مورد بررسی

با محاسبه تابع احتمال تجمعی مناسب‌ترین توزیع، به کمک اصل انتقال هم‌احتمال، مقادیر متناظر با ارزش متغیرهای هواشناسی در توزیع نرمال استاندارد شده محاسبه و به‌عنوان مقادیر شاخص چندمتغیره اسکالوگرام در نظر گرفته شدند. سپس با استفاده از طبقه‌بندی ارائه شده برای شاخص SPI (جدول ۴)، وضعیت خشکسالی در طول دوره‌ی مورد بررسی برای هر یک از ایستگاه‌های شیراز، تهران، مشهد، تبریز و مجموع ۵۰ رخداد بوقوع پیوسته، رخدادهای خشکسالی معادل طبقه‌های خشکسالی شدید و بسیار شدید و رخدادهای ترسالی معادل طبقه‌های ترسالی شدید و بسیار شدید در شاخص چندمتغیر اسکالوگرام در نظر گرفته شدند. در شکل‌های (۱) تا (۵) مقادیر بارش سالانه و مجموع امتیازات اقلیمی حاصل از ارزش‌گذاری عوامل هواشناسی برای رخدادهای خشکسالی و ترسالی استخراج شده به‌ترتیب در ایستگاه‌های شیراز، تهران، مشهد، تبریز و کرمانشاه نشان داده شده است.

جدول ۵- نتایج مناسب‌ترین توزیع برازش یافته بر مقادیر مجموع ارزش متغیرهای هواشناسی در ایستگاه‌های مورد بررسی

ایستگاه	مناسب‌ترین توزیع	پارامترهای مناسب‌ترین توزیع به ترتیب از چپ به راست
شیراز	Log. Logistic (3p) (α, β, γ)	۹۷/۴۸ -۹۹/۳۴ ۱۸/۹۱
تهران	Log. Logistic (3p) (α, β, γ)	۱۴۱/۷۹ -۱۴۳/۰۸ ۳۴/۳۸
مشهد	Laplace (λ, μ)	- ۰/۰۵ ۰/۳۱
تبریز	Gen Extreme (K, σ, μ)	۱/۴۳ ۴/۳۴ -۰/۳۸
کرمانشاه	Laplace (λ, μ)	- ۰/۰۵ ۰/۳۹

مناسب‌ترین تابع توزیع انتخاب و تابع احتمال تجمعی آن محاسبه شد. در ادامه با استفاده از اصل انتقال هم‌احتمال (Karamouz and Araghinejad, 2005)، مقادیر متناظر با ارزش متغیرهای هواشناسی در توزیع نرمال استاندارد شده با میانگین صفر و انحراف از معیار یک محاسبه و با استفاده از طبقه‌بندی ارائه شده برای شاخص SPI (Edwards and McKee, 1997) طبقه‌های مختلف خشکسالی و ترسالی در مدل اسکالوگرام تعیین گردید. محدوده‌های طبقه‌های مختلف خشکسالی بر اساس مقادیر شاخص SPI و این تحقیق در جدول (۴) آورده شده است.

جدول ۴- طبقه‌های مختلف خشکسالی براساس شاخص SPI و این تحقیق

طبقات خشکسالی	مقدار عددی شاخص
ترسالی بسیار شدید	۲ یا بیشتر
ترسالی شدید	۱/۵۰ تا ۱/۹۹
ترسالی متوسط	۱ تا ۱/۴۹
نرمال	۰/۹۹ تا -۰/۹۹
خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۴۹
خشکسالی شدید	-۱/۹۹ تا -۱/۵۰
خشکسالی بسیار شدید	-۲ یا کمتر

نتایج و بحث

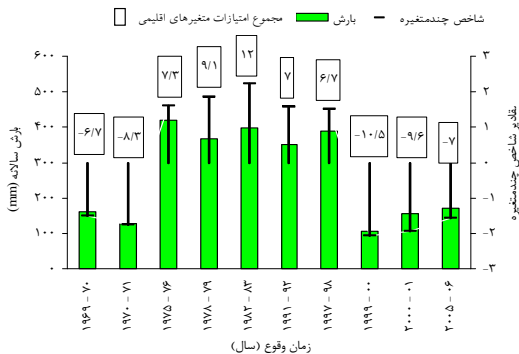
نتایج مناسب‌ترین توزیع برازش یافته بر ارزش متغیرهای هواشناسی

بر اساس آن‌چه در بخش مواد و روش‌ها توضیح داده شد برای هر ایستگاه در هر سال، ۵۰ متغیر هواشناسی مرتبط با بارش، تبخیر تعرق پتانسیل و روزهای بارانی (جدول ۳) طی یک دوره‌ی آماری ۵۰ ساله، از داده‌های روزانه بارش و ماهانه‌ی تبخیر تعرق پتانسیل استخراج گردید، سپس مطابق مراحل که در طراحی مدل اسکالوگرام بیان گردید نوع تاثیر متغیرهای هواشناسی بر تنش‌های خشکسالی تعیین و با استفاده از سطوح آستانه‌ی چانگ (معادلات ۱ و ۲)، سطوح آستانه‌ی طیف‌های ارزشی مثبت، خنثی و منفی تعیین گردید. پس از آن، بر اساس طیف‌های ارزشی تعیین شده برای هر متغیر و با توجه به مقدار آن در هر سال یکی از مقادیر ۱، ۰ و -۱ به آن متغیر در هر

بررسی، ۴۰ سال در حد نرمال بوده است و از مجموع ۱۰ رخداد

در ایستگاه شیراز (شکل ۱)، در طول دوره ۵۰ ساله مورد

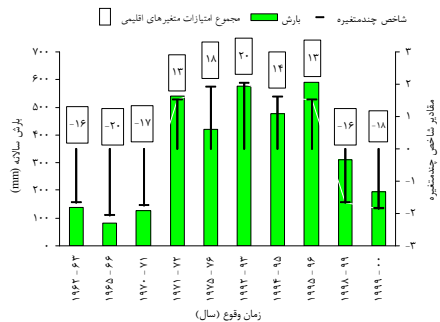
مجموع ۱۰ رخداد استخراج شده، سهم رخدادهای ترسالی و خشکسالی به ترتیب ۵ و ۵ واقعه می‌باشد. رخدادهای ترسالی به ترتیب در سال‌های ۱۹۷۵-۷۶، ۱۹۷۸-۷۹، ۱۹۸۳-۸۴، ۱۹۸۲-۹۲ و ۱۹۹۱ و ۱۹۹۷-۹۸ رخ داده‌اند که شدیدترین آن‌ها در سال ۱۹۸۲-۸۳ با مجموع امتیازات متغیرهای اقلیمی ۱۲ به وقوع پیوسته است. رخدادهای خشکسالی نیز در سال‌های ۱۹۶۹-۷۰، ۱۹۷۰-۷۱، ۱۹۷۰-۲۰۰۰، ۱۹۹۹-۲۰۰۰، ۲۰۰۰-۰۱ و ۲۰۰۵-۰۶ حادث شده‌اند که شدیدترین خشکسالی در سال ۱۹۹۹-۲۰۰۰ با مجموع امتیازات متغیرهای اقلیمی ۱۰/۵- به وقوع پیوسته است. بر اساس گزارش (2006) FAO و (2003) Ashgar Toosi رخدادهای خشکسالی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۱ بر اساس خسارات وارده در زمره‌ی شدیدترین خشکسالی‌های استان خراسان بوده‌اند که نتایج مدل اسکالوگرام با آن مطابقت دارد.



شکل ۳- مقادیر بارش سالانه و مجموع امتیازات رخدادهای خشکسالی و ترسالی استخراج شده بر اساس مدل اسکالوگرام در ایستگاه مشهد

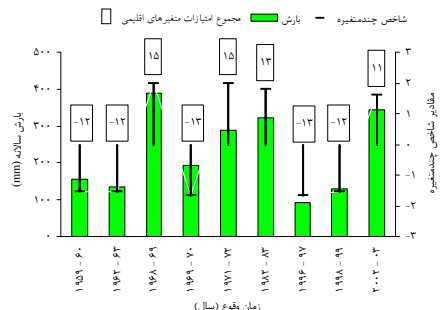
در ایستگاه تبریز (شکل ۴) از مجموع ۸ رخداد استخراج شده به ترتیب ۴ و ۴ واقعه‌ی ترسالی و خشکسالی به وقوع پیوسته است، به طوری که رخدادهای ترسالی به ترتیب در سال‌های ۱۹۶۲-۶۳، ۱۹۶۳-۶۴، ۱۹۶۸-۶۹، ۱۹۸۰-۸۱ و ۱۹۸۰-۸۱ رخدادهای خشکسالی به ترتیب در سال‌های ۱۹۵۹-۶۰، ۱۹۷۵-۷۵، ۱۹۷۴، ۱۹۸۸-۸۹ و ۱۹۹۸-۹۹ رخ داده‌اند. شدیدترین ترسالی‌ها در سال ۱۹۸۰-۸۱ با مجموع امتیازات متغیرهای اقلیمی ۸/۶ و شدیدترین خشکسالی در سال ۱۹۹۸-۹۹ با مجموع امتیازات متغیرهای اقلیمی ۱۰/۷- اتفاق افتاده است. در ایستگاه کرمانشاه (شکل ۵) از مجموع ۷ رخداد استخراج شده به ترتیب ۳ و ۴ واقعه‌ی ترسالی و خشکسالی به وقوع پیوسته است، به طوری که رخدادهای ترسالی به ترتیب در سال‌های ۱۹۶۸-۶۹، ۱۹۷۱-۷۲ و ۱۹۹۱-۹۲ و رخدادهای خشکسالی به ترتیب در سال‌های ۱۹۶۳-۶۴، ۱۹۷۸-۷۹، ۱۹۹۹-۲۰۰۰ رخ داده‌اند. شدیدترین ترسالی در سال

استخراج شده به ترتیب ۵ و ۵ واقعه ترسالی و خشکسالی به وقوع پیوسته است، به طوری که رخدادهای خشکسالی به ترتیب در سال‌های ۱۹۶۲-۶۳، ۱۹۶۴-۶۶، ۱۹۶۵-۶۶، ۱۹۷۰-۷۱، ۱۹۹۸-۹۹ و ۱۹۹۹-۲۰۰۰ و رخدادهای ترسالی به ترتیب در سال‌های ۱۹۷۱-۷۲، ۱۹۷۵-۷۶، ۱۹۹۲-۹۳، ۱۹۹۴-۹۵ و ۱۹۹۵-۹۶ رخ داده‌اند. شدیدترین ترسالی در سال ۱۹۹۲-۹۳ با مجموع امتیازات متغیرهای اقلیمی ۲۰ و شدیدترین خشکسالی در سال ۱۹۶۵-۶۶ با مجموع امتیازات متغیرهای اقلیمی ۲۰- اتفاق افتاده است.



شکل ۴- مقادیر بارش سالانه و مجموع امتیازات رخدادهای خشکسالی و ترسالی استخراج شده بر اساس مدل اسکالوگرام در ایستگاه شیراز

در ایستگاه تهران (شکل ۲) از مجموع ۹ رخداد استخراج شده به ترتیب ۴ و ۵ واقعه‌ی ترسالی و خشکسالی به وقوع پیوسته است، به طوری که رخدادهای ترسالی به ترتیب طی سال‌های ۱۹۶۸-۶۹، ۱۹۷۱-۷۲، ۱۹۸۲-۸۳ و ۲۰۰۲-۰۳ و رخدادهای خشکسالی به ترتیب در سال‌های ۱۹۵۹-۶۰، ۱۹۶۳-۶۳، ۱۹۶۲-۷۰، ۱۹۶۹-۷۰، ۱۹۶۹-۹۷ و ۱۹۹۸-۹۹ رخ داده‌اند. شدیدترین ترسالی‌ها در سال‌های ۱۹۶۸-۶۹ و ۱۹۷۱-۷۲ با مجموع امتیازات متغیرهای اقلیمی ۱۵ و شدیدترین خشکسالی در سال‌های ۱۹۶۹-۷۰ و ۱۹۹۶-۹۷ با مجموع امتیازات متغیرهای اقلیمی ۱۳- اتفاق افتاده است.



شکل ۵- مقادیر بارش سالانه و مجموع امتیازات رخدادهای خشکسالی و ترسالی استخراج شده بر اساس مدل اسکالوگرام در ایستگاه تهران

مطابق نتایج حاصل از شکل (۳)، در ایستگاه مشهد از

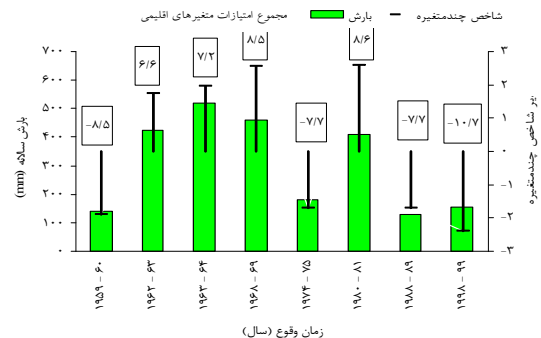
است. بر اساس این جدول، در ایستگاه شیراز هم‌زمان با وقوع کمینه مقدار بارش، شدیدترین خشکسالی اتفاق افتاده است، اما بین سال وقوع بیشینه مقدار بارش و شدیدترین رخداد ترسالی ارتباطی مشاهده نگردید. در ایستگاه تهران هم‌زمان با سال وقوع کمینه و بیشینه مقدار بارش، شدیدترین رخدادهای خشکسالی و ترسالی نیز اتفاق افتاده‌اند، هرچند رخداد خشکسالی شدید دیگری نیز در سال ۱۹۶۹-۷۰ به وقوع پیوسته است در حالی که مقدار بارش در آن سال ۱۹۴/۴ میلی-متر بوده است که تقریباً دو برابر مقدار کمینه بارش و حدوداً ۷۸ درصد میانگین بارش این ایستگاه است (شکل ۲). بررسی سال وقوع مقادیر کمینه و بیشینه بارش در ایستگاه مشهد نشان می‌دهد که بین سال وقوع مقدار کمینه و شدیدترین رخداد خشکسالی تناظر وجود دارد در حالی که بین مقدار بیشینه بارش و شدیدترین رخداد ترسالی چنین تناظری وجود ندارد (شکل ۳). در ایستگاه تبریز سال وقوع مقدار کمینه بارش و شدیدترین رخداد خشکسالی با هم مقارن می‌باشند. در حالی که بین شدیدترین ترسالی و بیشینه مقدار بارش این ارتباط وجود ندارد (شکل ۴). در ایستگاه کرمانشاه بین مقدار کمینه بارش و شدیدترین خشکسالی ارتباطی مشاهده نگردید ولی هم‌زمان با وقوع بیشینه مقدار بارش، شدیدترین ترسالی نیز به وقوع پیوسته است.

بررسی نقش عوامل اقلیمی مورد بررسی در آشکارسازی خشکسالی شیراز

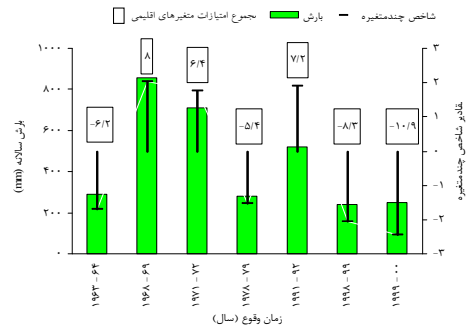
برای بررسی دقیق‌تر نحوه‌ی تاثیرگذاری برخی از متغیرهای مرتبط با عوامل اقلیمی نظیر توزیع زمانی بارش، تبخیر تعرق و تعداد روزهای بارانی در مدل چندمتغیر اسکالوگرام، مقادیر ۱۴ متغیر مرتبط با این عوامل به صورت خلاصه برای سال‌های پربارش (۵ سال)، سال‌های مقارن با رخدادهای خشکسالی و ترسالی و سال‌های کم‌بارش (۵ سال) برای ایستگاه شیراز در جدول (۷) ارائه شده است. هم‌چنین در این جدول برای سال‌های مذکور، نتایج استاندارد شده مدل اسکالوگرام و شاخص SPI (به‌علت کاربرد وسیع در پایش خشکسالی) به‌منظور مقایسه ارائه شده‌اند. لازم به ذکر است که در این جدول برخی از سال‌های پربارش (۹۶-۱۹۹۵، ۹۳-۱۹۹۲ و ۷۲-۱۹۷۱) و یا کم‌بارش (۶۶-۱۹۶۵، ۷۱-۱۹۷۰ و ۶۳-۱۹۶۲) مقارن با برخی رخدادهای خشکسالی و ترسالی استخراج شده بر اساس مدل اسکالوگرام هستند.

مقایسه‌ی نتایج مدل اسکالوگرام و شاخص SPI برای سال‌های پربارش، سال‌های مقارن با رخدادهای خشکسالی و ترسالی و سال‌های کم‌بارش در ایستگاه شیراز نشان می‌دهد که پایش وضعیت رطوبتی بر اساس هر دو شاخص (به‌جز سال‌های

۶۹-۱۹۶۸ با مجموع امتیازات متغیرهای اقلیمی ۸ و شدیدترین خشکسالی در سال ۲۰۰۰-۱۹۹۹ با مجموع امتیازات متغیرهای اقلیمی ۱۰/۹- اتفاق افتاده است. توضیح آن‌که در ایستگاه مذکور به‌علت آن‌که داده‌های روزانه برای متغیرهای هواشناسی قبل از سال ۱۹۶۳ موجود نمی‌باشند، سال‌های قبل از آن (سال آبی ۵۸-۱۹۵۷ الی ۶۳-۱۹۶۲) از نظر وجود خشکسالی و ترسالی بررسی نشده‌اند.



شکل ۴- مقادیر بارش سالانه و مجموع امتیازات رخدادهای خشکسالی و ترسالی استخراج شده بر اساس مدل اسکالوگرام در ایستگاه تبریز



شکل ۵- مقادیر بارش سالانه و مجموع امتیازات رخدادهای خشکسالی و ترسالی استخراج شده بر اساس مدل اسکالوگرام در ایستگاه کرمانشاه

نتایج وقوع رخدادهای خشکسالی در ایستگاه‌های مناطق "سرد و نیمه‌خشک" که در آن‌ها وزن عوامل اقلیمی در بخش اول و دوم تحقیق متفاوت در نظر گرفته شده‌اند، در بعضی از ایستگاه‌ها تغییر محسوسی نشان می‌دهند. به‌گونه‌ای که در ایستگاه مشهد در دو سال و در ایستگاه تبریز در یک سال شرایط خشکسالی یا ترسالی تغییر می‌یابد. در ایستگاه کرمانشاه تغییر در وزن عوامل هیچ تغییری در سال‌های وقوع ترسالی و یا خشکسالی ایجاد نمود.

بررسی ارتباط بین سال وقوع شدیدترین رخدادهای ترسالی و خشکسالی با سال وقوع مقادیر حدی بارش

مقادیر حدی بارش و شدیدترین رخدادهای ترسالی و خشکسالی برای ۵ ایستگاه مورد بررسی در جدول (۶) ارائه شده

همین قضاوت را کم و بیش می‌توان اعمال نمود. موارد متفاوتی را نیز می‌توان گزارش نمود. به‌عنوان مثال وضعیت رطوبتی برای سال‌های ۷۳-۱۹۷۲ و ۹۴-۱۹۹۳ (دو سال از ۵ سال کم‌بارش) بر اساس مدل اسکالوگرام در شرایط خشکسالی متوسط و نرمال قرار دارد در حالی که بر اساس شاخص SPI این دو سال در شرایط خشکسالی متوسط قرار دارند (جدول ۷).

۵۸-۱۹۵۷، ۹۹-۱۹۹۸) تا حدودی مشابه هم‌دیگر هستند. به بیانی دیگر عموماً در سال‌هایی که وضعیت رطوبتی بر اساس مدل اسکالوگرام در شرایط خشکسالی قرار دارد، نتایج شاخص SPI نیز نشان‌دهنده‌ی وضعیت خشکسالی می‌باشد. ولی در بیشتر موارد در طبقه‌ی خشکسالی یکسانی قرار ندارند و شدت خشکسالی در آن‌ها متفاوت می‌باشد. در شرایط ترسالی نیز

جدول ۶- مقایسه تناظر بین سال وقوع مقادیر حدی بارش با سال وقوع شدیدترین رخدادهای ترسالی و خشکسالی استخراج شده در ایستگاه‌های مورد بررسی

ایستگاه	مقدار کمینه بارش (mm)	سال وقوع	شدیدترین رخداد خشکسالی	مقدار بیشینه بارش (mm)	سال وقوع	شدیدترین رخداد ترسالی
شیراز	۸۲/۹	۱۹۶۵-۶۶	۱۹۶۵-۶۶	۵۸۹/۳	۱۹۹۵-۹۶	۱۹۹۲-۹۳
تهران	۹۲/۵	۱۹۹۶-۹۷	۱۹۹۶-۹۷، ۱۹۶۹-۷۰	۳۸۷/۷	۱۹۶۸-۶۹	۱۹۷۱-۷۲، ۱۹۶۸-۶۹
مشهد	۱۰۵/۳	۱۹۹۹-۲۰۰۰	۱۹۹۹-۲۰۰۰	۴۲۰/۹	۱۹۹۲-۹۳	۱۹۸۲-۸۳
تبریز	۱۲۹/۷	۱۹۸۸-۸۹	۱۹۹۸-۹۹	۵۱۷/۹	۱۹۶۳-۶۴	۱۹۸۰-۸۱
کرمانشاه	۲۴۰/۸	۱۹۹۸-۹۹	۱۹۹۹-۲۰۰۰	۸۵۵/۵	۱۹۶۸-۶۹	۱۹۶۸-۶۹

حالی که بر اساس SPI، (۰/۰۳) در وضعیت نرمال قرار دارد (جدول ۷) این تفاوت به دلیل دخالت عوامل توزیع زمانی بارندگی و مقادیر تبخیر تعرق است.

در این تحقیق با استفاده از اطلاعات مربوط به توزیع زمانی بارش، روزهای بارانی و تبخیر تعرق و نحوه‌ی تاثیرگذاری آن‌ها در مدل اسکالوگرام پیشنهاد شده، سعی می‌شود در مواردی که نتایج این دو شاخص با یک‌دیگر متفاوتند علت تفاوت مشخص شود.

در سال ۵۸-۱۹۵۷ که یکی از پر بارش‌ترین سال‌ها بوده- است، توزیع بارندگی برای فصل‌های پائیز، زمستان و بهار به- ترتیب برابر حدود ۶۵ درصد، ۳۳ درصد و ۱ درصد بارندگی سالانه می‌باشد. از طرفی حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته با مقداری معادل ۹۹ میلی‌متر در ۲۹ نوامبر ۱۹۵۷ به وقوع پیوسته‌است. همچنین تعداد روزهای بارانی در این سال برابر ۳۰ روز گزارش شده است که از حد آستانه پائین ایستگاه شیراز (۲۸ روز) مقدار ناچیزی بالاتر و اختلافی برابر با ۱۱ روز نسبت به میانگین بلند مدت روزهای بارانی در این ایستگاه را دارد. علاوه بر این‌ها تعداد ۸۴ روز متوالی بدون باران در فصل بهار در این سال ثبت شده است. بررسی مقادیر تبخیر تعرق در فصل‌های پائیز، زمستان و بهار هم نشان‌دهنده بیشتر بودن مقدار تبخیر تعرق نسبت به میانگین دراز مدت هر یک از فصل‌ها می‌باشد. بنا بر موارد ذکر شده اگرچه این سال با بارشی معادل ۵۲۱/۴ میلی‌متر، چهارمین سال پر بارش در ایستگاه شیراز می‌باشد، اما با توجه به موارد ذکر شده و به‌ویژه تعداد روزهای بارانی کمتر از میانگین، ۸۴ روز متوالی بدون باران در فصل بهار و هم‌چنین تمرکز ۶۵ درصدی بارش در دو ماه نوامبر و دسامبر (مقدار بارش صفر در ماه اکتبر)

در ادامه به تشریح علل برخی از اختلافات میان نتایج مدل اسکالوگرام و شاخص SPI و نحوه‌ی دخالت متغیرهای اقلیمی نظیر تبخیر تعرق و توزیع زمانی بارندگی در برخی از سال‌ها در ایستگاه شیراز پرداخته می‌شود. سال ۵۸-۱۹۵۷ با بارشی معادل ۵۲۱/۴ میلی‌متر، چهارمین سال پر بارش ایستگاه شیراز می‌باشد که بر اساس نتایج مدل اسکالوگرام و شاخص SPI وضعیت رطوبتی آن به‌ترتیب در شرایط نرمال (۰/۹۸-) و ترسالی متوسط (۱/۴۷) قرار دارد. هم‌چنین سال ۰۵-۲۰۰۴ با بارشی برابر با ۵۱۲/۳ میلی‌متر در ردیف پنجمین سال پر بارش ایستگاه شیراز قرار دارد که وضعیت رطوبتی آن بر اساس مدل اسکالوگرام و شاخص SPI به‌ترتیب در وضعیت‌های نرمال (۰/۶۸) و ترسالی متوسط (۱/۴۱) قرار دارد. در دو مورد بیان- شده اختلاف شدت خشکسالی بر اساس شاخص SPI ناچیز و ناشی از اختلاف مقدار بارندگی سالانه (۹/۱ میلی‌متر) می‌باشد ولی میان نتایج مدل اسکالوگرام اختلاف قابل توجهی وجود دارد که به‌دلیل دخالت عواملی دیگر علاوه بر مقدار بارندگی سالانه است. به‌عنوان مثالی دیگر می‌توان به سال ۷۶-۱۹۷۵ اشاره نمود که با بارشی معادل ۴۱۹/۱ میلی‌متر به‌عنوان یازدهمین سال پر بارش در طول ۵۰ سال مورد بررسی شناخته شده است. این سال در حالی که بر اساس شاخص SPI در وضعیت رطوبتی نرمال (۰/۸۲) قرار گرفته است اما بر پایه‌ی مدل اسکالوگرام به- عنوان یک رخداد ترسالی شدید (۱/۸۹) معرفی شده است. سال ۹۹-۱۹۹۸ با بارشی معادل ۳۱۲/۶ میلی‌متر به‌عنوان بیست و پنجمین سال پر بارش و کمی کمتر از مقدار میانگین درازمدت بارش ایستگاه شیراز (۳۲۴/۸ میلی‌متر) در مدل اسکالوگرام به- عنوان یک رخداد خشکسالی (۱/۶۵-) شناخته شده است در

دهنده‌ی توزیعی نزدیک به یکنواخت و در برخی موارد (بارش فصل بهار) بیشتر از مقدار میانگین و نزدیک به سطوح آستانه ۹۰ درصد می‌باشد. علاوه بر این، بر اساس اطلاعات جدول ۷، تعداد روزهای بارانی این سال، ۵۶ روز ثبت شده است که کمی بیشتر از سطح آستانه‌ی ۹۰ درصد می‌باشد. تعداد روزهای متوالی بدون باران در سال و در هر یک از فصل‌های پائیز، زمستان و بهار به ترتیب برابر ۴۱، ۴۱، ۱۲ و ۳۷ روز ثبت شده‌اند که به جز فصل پائیز اختلاف کمی با سطوح آستانه‌ی ۱۰ درصد در این ایستگاه دارند. بنا بر این، اگرچه سال مذکور در ردیف یازدهمین سال پربارش ایستگاه شیراز قرار دارد ولی تعداد روزهای متوالی بدون باران کمتر از میانگین درازمدت، تعداد روزهای بارانی نسبتاً بالا و توزیع مناسب بارندگی در فصل‌های مختلف سال سبب شده است که این سال در مقایسه با برخی از سال‌های پربارش نظیر ۵۸-۱۹۵۷ و ۰۵-۲۰۰۴ بر اساس مدل اسکالوگرام در زمره‌ی رخدادهای ترسالی قرار گیرد (جدول ۷).

در ادامه‌ی این تحقیق به بررسی نتایج سال ۱۹۹۸-۹۹ پرداخته می‌شود. چگونگی توزیع ۳۱۲/۶ میلی‌متر بارش این سال طی فصل‌های پائیز، زمستان و بهار به ترتیب برابر ۰/۱ میلی‌متر (در روز ۱۲ اکتبر ۱۹۹۸ بارشی معادل ۰/۱ میلی‌متر ثبت شده است)، ۳۰۷/۶ میلی‌متر و ۴/۷ میلی‌متر می‌باشد که بر پایه‌ی آن حدود ۹۷ درصد بارندگی در فصل زمستان و کمتر از ۳ درصد بارندگی در فصل‌های پائیز و بهار به وقوع پیوسته است. این سال با تعداد ۸۷ روز دارای بیشترین تعداد روز متوالی بدون باران در طول دوره ۵۰ ساله می‌باشد و همچنین طی فصل‌های پائیز و بهار دارای ۷۹ و ۸۲ روز متوالی بدون باران می‌باشد. از طرفی در این سال تباخیر تعرق در هر یک از فصل‌های سال اختلاف زیادی با میانگین دراز مدت خود (در طول دوره‌ی آماری) دارد که خود سبب افزایش تنش‌های خشکسالی در سال مذکور می‌گردد. تعداد روزهای بارانی در این سال برابر ۳۴ روز گزارش شده است که نسبت به سال‌های کم‌بارش ۷۳-۱۹۷۲ و ۹۴-۱۹۹۳ که بر اساس مدل اسکالوگرام در ردیف رخدادهای خشکسالی نیامده‌اند کمی بیشتر است. یکی از دلایل نمودار نشدن سال‌های مذکور در ردیف رخدادهای خشکسالی، توزیع همگون‌تر بارش طی فصل‌های سال و کم‌تر بودن تعداد روزهای متوالی بدون باران آن سال‌ها نسبت به سال ۱۹۹۸-۹۹ می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

تعیین هدف پایش، انتخاب ورودی‌های موثر و استفاده از مدلی مناسب، از مهم‌ترین فرآیندها در پایش خشکسالی به شمار می‌روند. در این تحقیق با هدف تعیین رخدادهای خشکسالی و ترسالی و انتخاب ۵۰ عامل مرتبط با متغیرهای

سبب شده است که بر خلاف شاخص SPI (با وضعیت رطوبتی ترسالی متوسط با شدت ۱/۴۷) در مدل اسکالوگرام وضعیت خشکسالی در شرایط نرمال (۰/۹۸-) قلمداد شود. ضمن آن‌که در مدل اسکالوگرام شدت خشکسالی در این سال نزدیک به بازه‌ی ابتدائی شرایط خشکسالی متوسط (۱/۰۰-) می‌باشد. بنابراین مدل اسکالوگرام با در نظر گرفتن توزیع زمانی بارش مدلی واقعی‌تر از وضعیت رطوبتی سال مذکور را ارائه می‌دهد.

توزیع بارندگی در فصل‌های پائیز، زمستان و بهار در سال ۰۵-۲۰۰۴ به ترتیب برابر ۳۴، ۶۵ و ۱ درصد میانگین بلند مدت بارش این ایستگاه می‌باشد که نشان‌دهنده‌ی توزیع ناچیز بارندگی (۲/۴ میلی‌متر) در فصل بهار می‌باشد. در سال ذکر شده توزیع بارندگی در ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر به ترتیب برابر ۰/۰ میلی‌متر، ۲۸/۶ میلی‌متر و ۳۰۵/۲ میلی‌متر گزارش شده است که بارندگی ماه دسامبر تقریباً معادل ۶۰ درصد بارندگی سالانه درازمدت شیراز می‌باشد. از طرفی طی روزهای ۱۳ تا ۱۷ دسامبر در مجموع بارش‌هایی معادل ۱۹۶ میلی‌متر رخ داده‌اند. تعداد روزهای بارانی در این سال معادل میانگین بلند مدت این شهر (۴۱ روز) می‌باشد. همچنین بیشترین تعداد روزهای متوالی بدون باران برابر ۵۸ روز در فصل پائیز ثبت گردیده است که نسبت به ۸۴ روز متوالی بدون باران در فصل بهار سال ۵۸-۱۹۵۷ به مقدار قابل ملاحظه‌ای کمتر می‌باشد. بررسی مقادیر تبخیر تعرق فصل‌های مختلف هم نشان‌دهنده‌ی مقدار کمتر این متغیر نسبت به سال ۵۸-۱۹۵۷ می‌باشد. بنا بر آن‌چه بیان گردید هرچند سال ۰۵-۲۰۰۴ جزء ۵ سال پربارش ایستگاه شیراز می‌باشد، اما توزیع ناهمگون بارش و تمرکز بارش در محدوده‌ی کوتاهی از زمان سبب گشته است که در مدل اسکالوگرام این سال، سالی با شرایط رطوبتی نرمال (۰/۶۸) شناخته شود هر چند که از نظر مقدار بارندگی سال پربارانی (و از نظر شاخص SPI ترسالی متوسط ۱/۴۱) بوده است.

اگرچه بارندگی سال‌های ۵۸-۱۹۵۷ از ۰۵-۲۰۰۴، ۱۱ میلی‌متر بیشتر بوده است، ولی تعداد بیشتر روزهای متوالی بدون باران، تعداد کمتر روزهای بارانی و مقدار بیشتر تبخیر تعرق در سال ۵۸-۱۹۵۷ سبب شده است که در مدل اسکالوگرام خشکسالی در این سال نسبت به سال ۰۵-۲۰۰۴ بیشتر به نظر برسد (جدول ۷).

مقدار بارندگی طی فصل‌های پائیز، زمستان و بهار در سال ۷۶-۱۹۷۵ به ترتیب برابر ۹۱/۹ میلی‌متر (۲۲ درصد)، ۲۶۱/۱ میلی‌متر (۶۲ درصد) و ۶۶/۱ میلی‌متر (۱۶ درصد) ثبت شده است که نسبت به میانگین دراز مدت بارندگی طی دوره‌ی مشابه به ترتیب ۸-، ۷۰ و ۳۳ میلی‌متر اختلاف دارند که نشان

دیگر تنها به یک عامل (خصوصاً مقدار بارش) تکیه نکرده است. بررسی ارتباط بین سال‌های وقوع شدیدترین رخدادهای ترسالی و خشکسالی مدل اسکالوگرام با سال‌های وقوع کمینه و بیشینه‌ی مقدار بارش نشان‌داد که همیشه کم‌بارش‌ترین و پر بارش‌ترین سال‌ها مقارن با وقوع شدیدترین خشکسالی و ترسالی نمی‌باشند و منجر به تقویت نظریه‌ی همیشه کم‌بارش-ترین و پر بارش‌ترین سال‌ها مقارن با وقوع شدیدترین خشکسالی و یا شدیدترین ترسالی نمی‌باشد، می‌گردد. بنابراین، عواملی علاوه بر مقدار بارش می‌توانند نقش مهمی در تعیین سال‌های بحرانی از جنبه‌ی خشکسالی داشته باشند که در این تحقیق مقدار تبخیر تعرق و پراکنش زمانی بارندگی معرفی شده‌اند.

مقدار وزن هر یک از عوامل ۵۰ گانه می‌تواند در پایش وضعیت خشکسالی در هر سال موثر باشد. در این تحقیق به منظور استخراج رخدادهای خشکسالی و ترسالی، در ابتدا وزن هر یک از ۵۰ عامل اقلیمی مرتبط با بارش، روزهای بارانی و تبخیر تعرق در مورد همه ایستگاه‌ها یکسان در نظر گرفته شدند و در بخش دوم تحقیق، این وزن‌ها بر اساس اقلیم منطقه متفاوت در نظر گرفته شدند (جدول ۳)، به‌گونه‌ای که در مورد شرایط آب و هوایی "گرم و نیمه‌خشک" در مدل نهایی وزن عوامل مرتبط با بارندگی برابر با ۷۴ درصد و عوامل مرتبط با تبخیر تعرق برابر با ۲۶ درصد در نظر گرفته شد. در مورد شرایط آب و هوایی "سرد و نیمه‌خشک" که تبخیر تعرق در آن‌ها کمتر می‌باشد، وزن متغیرهای بارندگی و تبخیر تعرق در مدل نهایی به ترتیب حدود ۸۲ درصد و ۱۸ درصد در نظر گرفته شد. نتایج وقوع رخدادهای خشکسالی در ایستگاه‌های مناطق "سرد و نیمه‌خشک" که در آن‌ها وزن عوامل اقلیمی در بخش اول و دوم متفاوت در نظر گرفته شده‌اند در بعضی از ایستگاه‌ها تغییر محسوسی نشان می‌دهند. به‌گونه‌ای که در ایستگاه مشهد در دو سال و در ایستگاه تبریز در یک سال شرایط خشکسالی یا ترسالی تغییر می‌یابد. در ایستگاه کرمانشاه تغییر در وزن عوامل هیچ تغییری در سال‌های وقوع ترسالی و یا خشکسالی ایجاد ننموده‌است. پیشنهاد می‌شود که مشابه این تحقیق در مورد تعداد بیشتری ایستگاه با شرایط اقلیمی مختلف و با وزن‌های متفاوت عوامل هواشناسی انجام شده و در رابطه با نحوه تعیین مقدار وزن هر یک از عوامل هواشناسی بر وقوع خشکسالی در اقلیم‌های متفاوت بررسی بیشتری صورت پذیرد.

هواشناسی موثر بر تنش‌های خشکسالی در قالب مدل چندمتغیر اسکالوگرام به پایش رخدادهای خشکسالی و ترسالی در ۵ ایستگاه سینوپتیک شیراز، تهران، مشهد، تبریز و کرمانشاه پرداخته شد.

به‌کارگیری متغیرهای در بر دارنده‌ی توزیع زمانی بارش، تعداد روزهای بارانی و تبخیر تعرق پتانسیل مهم‌ترین مزیت مدل توسعه داده شده می‌باشد. در مدل توسعه داده شده میزان بارش سالانه به تنهایی نشان‌دهنده‌ی خشکسالی نمی‌باشد، بلکه عوامل دیگر نظیر تعداد روزهای بارانی، مقدار بارندگی در طی یک روز، نحوه‌ی توزیع بارش، تبخیر تعرق و تعداد روزهای متوالی بدون باران نیز در میزان شدت خشکسالی تاثیرگذار بوده و نقش خود را نشان داده‌اند. بنابراین، نتایج آن می‌تواند به واقعی‌تر شدن بررسی خشکسالی از جنبه‌ی کشاورزی کمک فراوانی نماید.

نتایج مقایسه شاخص SPI و مدل اسکالوگرام در ایستگاه شیراز نشان دهنده‌ی مشابهت رفتاری مدل اسکالوگرام با شاخص SPI در تعیین وضعیت کلی رطوبتی (خشکسالی یا ترسالی) در موارد متعدد می‌باشد، هرچند که در سال‌هایی با وضعیت (طبقه) رطوبتی یکسان دارای مقدار عددی متفاوت می‌باشند.

به رغم این مشابهت رفتاری لازم به ذکر است که مشابهت رفتاری یک مدل جدید با شاخص SPI یا عدم آن نمی‌تواند یک مزیت یا اشکال برای یک مدل باشد. زیرا به رغم عدم مشابهت رفتاری نتایج مدل اسکالوگرام در سال ۹۹-۱۹۹۸ ایستگاه شیراز به نظر می‌رسد که مدل مذکور با در نظر گرفتن عواملی علاوه بر بارندگی، پیشی دقیق‌تر از وضعیت رطوبتی این سال ارائه داده است. مشابه همین استدلال را می‌توان در مورد سال‌های ۵۸-۱۹۵۷ و ۰۵-۲۰۰۴ بیان نمود. این سال‌ها به رغم قرار گرفتن در ردیف چهارمین و پنجمین سال پر بارش ایستگاه شیراز به علت تعداد روزهای بارانی کم، تعداد روزهای زیاد متوالی بدون باران و توزیع ناهمگون بارش در طول سال بر اساس مدل اسکالوگرام در شرایط نرمال قرار دارند. موارد متعدد دیگری را نیز می‌توان مثال زد.

بنابراین در مدل اسکالوگرام توسعه داده شده می‌توان مشاهده کرد که متغیرهای اقلیمی ارزش‌گذاری شده، در ترکیب با یکدیگر نمایی از طبقه‌بندی را به‌دست داده و مانند روش‌های

REFERENCES

- American Meteorological Society, (1997). Meteorological Drought Policy Statement. *Bull. American Meteorological Society*, 78, 847-84.
- Ashgar Toosi, Sh., Alizadeh, A., and Javanmard, S. 2003. Prediction of Drought Initiation in

Ppvince of Khorasan. *Journal of Geography Research*, 70 (3), 119-128 (In Farsi).

- Dinpashoh, Y. (2003). Analysis of Meteorological Drought Using Pattern Analyzing. Ph.D. Thesis, University of Tabriz. 192 p (In Farsi).

- Dinpashoh, Y., Fakhri-Fard, A., Moghaddam, M., Jahanbakhsh, S., and Mirnia, M. (2004). Selection of Variables for the Purpose of Regionalization of Iran's Precipitation Climate Using Multivariate Methods. *Journal of Hydrology*, 297, 109-123.
- Dracup, J. A., Lee, K.S., and Paulson, E.G. (1980). On the Definition of Drought. *Water Resource Research*, 16(2), 297-302.
- Baratian, A. (2003). Determination Change of Drought using Scalogram Model (Case Study: Shahrkord). *First International Conference of Climate Change, University of Esfahan, Iran*, (In Farsi)
- Chang, T.J., and Kleopa, X., (1991). A Purposed Method for Drought Monitoring. *Water Resource Research*, 2, 275-281.
- Edwards, D.C., and McKee, T.B. (1997). Characteristics of 20th Century Drought in the United States at Multiple Time Scales. *Climatology Report*, 97, 2: Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2006). National Strategy and Action Plan on Drought Preparedness, Management and Mitigation in the Agricultural Sector Prepared with the assistance of the Through the TCP Project No. 3003 /IRA, V 1, 60 P.
- Ghabaei Sough, M. (2011). Evaluation of Meteorological Drought Indices. M.Sc. Thesis. *Faculty of Water and Soil Engineering*. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 194 p (In Farsi).
- Karamouz, M., and Araghinejad, Sh. (2005). Advanced Hydrology. *Tehran polytechnic press*. 460p (In Farsi).
- Karimi Nazar, M., Moghaddamia, A., and Mosaedi, A. (2010). Investigation of Climatic Factors Affecting on Occurrence of Drought (Case Study: Zabol). *Journal of Water and Soil Conservation*. 17 (1), 145-158 (In Farsi).
- Lloyd-Hughes, B., and Saunders M. A. (2002). A Drought Climatology for Europe. *International Journal of Climatology*, 22, 1571-1592.
- McKee T.B., Doesken N.J., and Kleist J. (1993). The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. *Eighth Conference on Applied Climatology, January 17-22, Anaheim, California*, 179-184.
- Mishra, A.K., and Singh, V.P. (2010). A Review of Drought Concepts. *Journal of Hydrology*, 391, 202-216.
- Morid, S., and Paimozd, Sh. (2007). Comprision of Hydrological and Meteorological Methods in Daily Drought Monitoring: A Case Study: 1999-2001 Drought in Tehran Province. *Journal of Agriculture and Natural Resources*, 42, 325-334 (In Farsi).
- Tsakiris, G., Pangalou, D., and Vangelis, H. (2007). Regional Drought Assessment Based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resource Manage*, 21, 821-833.
- Wilhite, D.A. (2000). Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions. In: Wilhite, D.A. (Ed.), *Drought: A Global Assessment*, vol. 1. Routledge, New York, 1-18.
- Zare Zade Mahrizi, M., and Morid, S. (2011). Application of Reservoir Level and Meteorological Indices for Drought Monitoring (Case Study: Zayandeh Rud Water System). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 42(1), 19- 26. (In Farsi)

