

پایش خشکسالی گندم با استفاده از مدل اسکالوگرام تعمیم یافته در محدوده ایستگاه‌های سینوپتیک مشهد و شیراز

محمد قبائی سوق^۱ - ابوالفضل مساعدی^{۲*}

چکیده

خشکسالی پدیده‌ای چند متغیره و ناشی از تغییرات عوامل مختلف هواشناسی می‌باشد و نوسانات هریک، می‌تواند سبب افزایش یا کاهش شدت این پدیده گردد. در این تحقیق، مدل چندمعرفه اسکالوگرام با استفاده از متغیرهای هواشناسی تبخیر تعرق پتانسیل، تعداد روزهای بارانی و مقدار بارش در هر یک از فصل‌های پائیز، زمستان و بهار جهت پایش خشکسالی گیاه زراعی گندم در دو ایستگاه سینوپتیک مشهد و شیراز طی یک دوره ۵۰ ساله ارائه شده است. در مدل اسکالوگرام تعمیم یافته با تصحیح سطوح آستانه و وزن دادن به متغیرهای هواشناسی، معایب مدل‌های اسکالوگرام پیشین تصحیح گردید. هم‌چنین با برازش توابع توزیع مختلف بر مجموع امتیازات متغیرهای هواشناسی به کمک اصل انتقال هم‌احتمال، مقادیر آن‌ها جهت استفاده بهتر در تصمیم‌گیری‌ها به شاخص اسکالوگرام تبدیل شدند. نتایج نشان داد مدل اسکالوگرام تصحیح شده با در نظر گرفتن توزیع زمانی بارش و دخالت دادن تبخیر تعرق، مدلی مناسب برای پایش خشکسالی می‌باشد. بر اساس نتایج این مدل، مقدار بارش زیاد در یک سال که بخش عظیمی از آن در دوره کوتاهی رخ داده است نمی‌تواند به تنهایی عاملی برای ایجاد ترسالی باشد و ممکن است سالی با بارشی به مراتب کمتر اما با توزیعی مناسب‌تر، سبب ایجاد سالی با وضعیت رطوبتی نرمال گردد.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، متغیرهای هواشناسی، گندم، اسکالوگرام، تابع توزیع احتمال.

مقدمه ۲۱

طی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۱ یک خشکسالی بلندمدت و شدید بر ۲۵ استان کشور سیطره یافت. خشکسالی سال‌های مذکور در استان‌های کرمان، خراسان، فارس و سیستان و بلوچستان از شدت بیشتری برخوردار بود به طوری که خسارات وارده به بخش‌های کشاورزی و دامپروری طی سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ به ترتیب در حدود ۲/۵ و ۱/۷ میلیارد دلار برآورد گردید.

تفاوت در پارامترهای آب و هوایی و فاکتورهای اقتصادی-اجتماعی مؤثر بر خشکسالی و هم‌چنین متغیر بودن مفهوم و میزان تقاضای آب در مناطق مختلف کره زمین سبب شده است که امکان ارائه یک تعریف مشخص و جامع از خشکسالی، تا حدودی دشوار به نظر برسد (Mishra and Singh, 2010). انجمن هواشناسی آمریکا^۴ (1997) خشکسالی را در چهار دسته‌ی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیک و اقتصادی-اجتماعی تقسیم‌بندی نموده است. خشکسالی هواشناسی هم‌زمان با کمبود مقدار بارندگی در هر بازه زمانی معین، نسبت به میانگین درازمدت منطقه رخ می‌دهد. خشکسالی کشاورزی نیز معمولاً برای محصول خاصی با پایش میزان رطوبت خاک برای رشد آن محصول انجام می‌گیرد.

شاخص‌های پایش خشکسالی با در نظر گرفتن پارامترهای مؤثر

پدیده‌ی خشکسالی از نظر گستردگی، شدت، مدت و میزان آسیب‌رسانی به بخش‌های مختلف، یکی از بزرگ‌ترین بلاهای طبیعی محسوب می‌گردد که سالانه میلیاردها دلار خسارت به بخش‌های مختلف اقتصادی و اجتماعی جوامع، به‌ویژه بخش کشاورزی وارد می‌کند. در حدود نیمی از سطح کره زمین در معرض پدیده‌ی خشکسالی قرار دارد و تقریباً همه‌ی سرزمین‌های مهم کشاورزی در این مناطق قرار دارند، که این امر، اهمیت توجه به این پدیده را ممتاز می‌سازد (Mishra and Singh, 2010).

بر اساس گزارش^۳ FAO (2006)، در سال ۲۰۰۰ خشکسالی‌های شدیدی مناطق جنوب شرقی اروپا، خاورمیانه و بخش‌هایی از آسیای مرکزی تا چین را فراگرفت که سبب ایجاد خسارات زیادی در افغانستان، بلغارستان، عراق و ایران گردید، بر اساس همین گزارش

۱- دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۲- دانشیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد.

(*)- نویسنده مسؤل: (Email: mosadi@mu.ac.ir)

3-Food and Agriculture Organization of the United Nations

شاخص‌های منتخب هواشناسی کشاورزی می‌باشد. آن‌ها در پایان بیان نمودند هنگامی که متغیرهای موثر آب و هوایی و شاخص‌های کشاورزی با یکدیگر در مدل‌های چند متغیره تلفیق گردند، پیش‌بینی عملکرد گندم دیم با دقت بهتری انجام می‌گیرد و با در نظر گرفتن عواملی از قبیل نوع رقم، بیماری‌ها و عملیات کشاورزی دقت این پیش‌بینی‌ها می‌تواند بهبود یابد.

Khalil et al (2010) با بیان ضعف شاخص SPI در تحلیل تنش‌های کوتاه‌مدت (هفتگی و روزانه) گندم، از شاخص CMI در مقیاس هفتگی در ایستگاه بجنورد طی سال‌های ۱۳۷۵ الی ۱۳۸۴ استفاده نمودند. آن‌ها در تحقیق خود بر اساس نتایج پایش خشکسالی و دوره‌های حساس رشد محصول، برنامه‌ای برای آبیاری تکمیلی گندم دیم در این منطقه پیشنهاد دادند.

در مدل‌های تک‌معرفه، با استفاده از آمار طولانی مدت پارامترهای هواشناسی یا هیدرولوژیکی به پایش دوره‌های ترسالی و خشکسالی می‌پردازند (Morid and Paymzod, 2007). یکی از مشکلات مدل‌های تک‌معرفه در برنامه‌ریزی‌ها و تعیین شاخص‌های خشکسالی، تنها در نظر گرفتن مقدار بارندگی و عدم توجه به سایر عوامل مؤثر بر خشکسالی می‌باشد. این موضوع سبب شده است که در بعضی از سال‌ها علی‌رغم وقوع بارندگی در حد نرمال، اثرات خشکسالی به دلیل کاهش تعداد روزهای بارانی، تمرکز بارش در محدوده‌ی کوتاهی از زمان، افزایش دما و کاهش رطوبت نسبی و به تبع آن‌ها افزایش تبخیر، تدریجاً نمایان شود.

مدل اسکالوگرام یک مدل چندمعرفه می‌باشد که 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. با توجه به این‌که بروز پدیده خشکسالی تحت تأثیر نوسانات آب و هوایی 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 چندمعرفه برای بررسی این پدیده استفاده نموده‌اند.

Chang (1991) با استفاده از ۵ معرف جریان رودخانه، بارندگی، دما، سطح آب زیرزمینی و سطح آب در مخازن روشی چندمعرفه را برای پایش خشکسالی ارائه داد. Morid and Paymzod (2007) با استفاده از معرف‌های هیدرولوژیکی به کمک روش چانگ (۱۹۹۱)، به پایش روزانه خشکسالی در سطح استان تهران طی سال‌های ۱۳۷۸ الی ۱۳۸۰ پرداختند. Baratian (2003) با انتخاب ده پارامتر مختلف جوی به عنوان عوامل مؤثر بر خشکسالی به کمک مدل اسکالوگرام سال‌های خشک و مرطوب ایستگاه سینوپتیک شهرکرد را تعیین نمود. Karimi Nazar et al (2010) سه پارامتر بارش سالانه، تعداد روزهای بارانی و تبخیر تعرق پتانسیل سالانه را به عنوان عوامل مستقل مؤثر بر خشکسالی منطقه‌ی زابل در نظر گرفتند و به کمک

بر خشکسالی، شدت و نوع آن را تعیین می‌کنند. پرکاربردترین پارامتر، مقدار بارندگی بوده که در شاخص‌های اولیه، تنها پارامتر تعیین کننده-ی وضعیت خشکسالی بوده است. به مرور زمان و افزایش درک از خشکسالی و نحوه‌ی اثرگذاری سایر متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی بر این پدیده، توسعه‌ی شاخص‌های جدیدتر با سعی در دخالت دادن این عوامل در محاسبات، همراه بوده است.

شاخص شدت خشکسالی پالمر^۱ (PDSI) به عنوان اولین شاخص جامع خشکسالی توسط پالمر در سال ۱۹۶۵ ارائه شد. محاسبه‌ی شاخص پالمر بر مبنای بیلان اقلیمی آب و با استفاده از داده‌های طولانی مدت دما و بارندگی طی محاسبات طولانی و معادلات نسبتاً پیچیده انجام می‌شود (Horvath et al, 2010). شاخص رطوبت محصول^۲ (CMI) در سال ۱۹۶۸ توسط پالمر از شاخص PDSI مشتق شد. در این شاخص پارامترهای هفتگی دما و بارش برای محاسبه‌ی مقدار رطوبت در دوره‌ی هفتگی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مهم‌ترین محدودیت شاخص CMI این است که شاخصی کوتاه‌مدت (هفتگی) بوده و تنها در فصل رشد محصول پاسخ قابل اطمینانی به همراه خواهد داشت (Mishra and Singh, 2010). شاخص خشکسالی رطوبت خاک^۳ (SMDI) در سال ۱۹۹۳ توسط هولینگر و همکاران ارائه شد (Hayes, 2000). تنها فاکتور اقلیمی مورد استفاده در این شاخص رطوبت خاک می‌باشد و در مقیاس سالانه به کار می‌رود. Narasimhan and Srinivasan (2005) با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT^۴ شاخص‌های کمبود رطوبت خاک^۵ (SMDI) و کمبود تبخیر تعرق^۶ (ETDI) را به ترتیب بر اساس اساس مقدار رطوبت خاک و تبخیر تعرق، در مقیاس هفتگی ارائه نمودند. Matera et al (2007) با محاسبه‌ی کمبود تعرق روزانه و استفاده از یک مدل بیلان آبی، یک شاخص جدید کشاورزی با عنوان کمبود تعرق روزانه^۷ (DTx) ارائه نمودند.

Bazgeer and Kamali (2008) با تعیین ۶ مرحله فنولوژیکی رشد گندم، مدل‌های آماری پیش‌بینی عملکرد گندم در هر مرحله را با استفاده از متغیرهای هواشناسی و شاخص‌های هواشناسی کشاورزی در سنندج، قروه، کرمانشاه و کنگاور استخراج و با استفاده از معیارهای آماری بهترین مرحله برای پیش‌بینی عملکرد گندم را تعیین نمودند. سپس به ارزیابی مدل‌های ایجاد شده طی سال‌های زراعی ۸۴-۱۳۸۳ و ۸۵-۱۳۸۴ پرداختند. بر اساس نتایج آن‌ها در سنندج و قروه ۶۸ درصد، کرمانشاه ۹۱ درصد و کنگاور ۸۱ درصد از تغییرات عملکرد محصول گندم دیم ناشی از تغییرات متغیرهای هواشناسی و

- 1-Palmer Drought Severity Index
- 2-Crop Moisture Index
- 3-Soil Moisture Drought Index
- 4-Soil and Water Assessment Tool
- 5-Soil Moisture Deficit Index
- 6-Evapotranspiration Deficit Index
- 7-Daily Transpiration Deficit

هواشناسی از ابتدای ماه اکتبر تا انتهای ماه ژوئن (مجموعاً ۹ ماه) منظور گردید. هم‌چنین منظور از فصل‌های پاییز (ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر)، زمستان (ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس)، بهار (ماه‌های آوریل، می و ژوئن) و تابستان (ماه‌های جولای، آگوست و سپتامبر) می‌باشد.

برای هر تحلیل فراوانی پس از بررسی مقدماتی نمونه‌ها، سری داده‌ها باید دارای شرایط پایه‌ای تصادفی بودن، استقلال، همگنی و نداشتن داده‌ی پرت باشند تا بتوان تابع چگالی $f(x)$ را بر آن‌ها برازش داد. آزمون‌های همگنی من ویتنی در سطح ۹۵ درصد، استقلال والد-ولفویتز و داده‌ی پرت گروز-بک در سطح ۹۰ درصد روی داده‌های بارش سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک مشهد و شیراز انجام گردید. داده‌های ایستگاه‌های مورد بررسی در سطح ۹۵ درصد همگن بودند و در این ایستگاه‌ها فرض استقلال داده‌ها رد نشد. هم‌چنین بر اساس آزمون گروز-بک در ایستگاه شیراز مقادیر حداقل بارندگی پائین‌تر از حد پائین آزمون گروز بک بودند که می‌توانند به عنوان داده‌های پرت تلقی شوند ولی با توجه به این که مقادیر روزانه‌ی بارندگی در ایستگاه ذکر شده در اختیار بوده است و با مقایسه با داده‌های سایر ایستگاه‌های مجاور، مشاهده شد که در مقادیر بارندگی‌های فوق اشتباه یا خطای اندازه‌گیری و یا ... وجود نداشته و یک سال بسیار خشک هم اتفاق افتاده است. بنابراین جهت تحلیل‌های بعدی از آن‌ها استفاده گردید.

داده‌های ناقص در سری ماهانه‌ی بارندگی و دماهای حداقل و حداکثر ایستگاه شیراز (جمعاً به مدت ۲ ماه) به کمک آمار ایستگاه سینوپتیک فسا از روش نسبت‌ها بازسازی گردید. مقدار تبخیر تعرق پتانسیل (ET_0) ایستگاه مشهد در ماه‌های مختلف از روش فائو پنمن-مانتیت (FPM) برآورد گردید. در ایستگاه شیراز برای ماه‌هایی که فاقد پارامترهای مورد نیاز این روش استاندارد بودند با توجه به نوع کمبود پارامتر در هر ماه، مقدار ET_0 بر اساس معیارهای آماری از مناسب-ترین معادله (۱۱ معادله‌ی تجربی و تخمینی واسنجی شده) برآورد گردید (Ghabaei Sough, 2011).

مدل اسکالوگرام سال‌های خشک و مرطوب ایستگاه را تعیین نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد، در این منطقه، همیشه کم بارش‌ترین سال مصادف با شدیدترین خشکسالی نمی‌تواند باشد و نقش عوامل دیگر نیز در این میان مؤثر خواهد بود.

در مدل‌های پیشین اسکالوگرام در مرحله‌ی ارزش‌گذاری از یک ضریب ثابت k در معادله‌ی $\mu \pm k\sigma$ برای عوامل مختلف هواشناسی که تغییرپذیری آن‌ها نسبت به میانگین متفاوت می‌باشد، استفاده می‌نمودند. هم‌چنین برای عوامل مختلف از وزن‌های یکسان استفاده می‌نمودند که موارد ذکر شده می‌توانند سبب بروز خطا در تعیین سال‌های خشک و تر گردد. علاوه بر این‌ها، در مدل‌های پیشین در مرحله‌ی رتبه‌بندی، سال‌ها را بر اساس جمع عوامل هواشناسی از مرطوب‌ترین تا خشک‌ترین سال طبقه‌بندی می‌نمودند. در این تحقیق، با برازش توابع توزیع مختلف بر مجموع امتیازات هواشناسی به کمک اصل انتقال هم‌احتمال، مقادیر آن‌ها جهت استفاده بهتر در تصمیم‌گیری‌ها به شاخص اسکالوگرام تبدیل شدند. بنابراین هدف از انجام این تحقیق پایش خشکسالی گیاه زراعی گندم طی یک دوره‌ی ۵۰ ساله در محدوده ایستگاه‌های سینوپتیک مشهد و شیراز بر اساس انتخاب متغیرهای دربردارنده‌ی بارش و توزیع زمانی آن و هم‌چنین تبخیر تعرق، با اصلاح معایب مدل‌های اسکالوگرام پیشین می‌باشد.

مواد و روش‌ها

موقعیت ایستگاه‌ها و داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق از آمار متغیرهای هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک مشهد و شیراز طی سال‌های آبی ۵۸-۱۹۵۷ الی ۰۷-۲۰۰۶ میلادی جهت پایش خشکسالی گندم استفاده شده است. در جدول (۱) برخی از خصوصیات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌های مذکور ارائه شده است. در این تحقیق با توجه به این که متوسط مقدار بارش در فصل تابستان (ماه‌های جولای، آگوست و سپتامبر) به متوسط سالانه در ایستگاه‌های مشهد و شیراز به ترتیب برابر ۲/۷۱ و ۰/۴۴ درصد می‌باشد، سال آبی برابر مجموع هریک از عوامل

جدول ۱- برخی از خصوصیات جغرافیایی و اقلیمی (۵۰ ساله) ایستگاه‌های مشهد و شیراز

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	متوسط دما (سانتی‌گراد)	متوسط بارش (میلی‌متر)	نسبت بارش تابستانه به سالانه (درصد)	اقلیم (دومارتن)
مشهد	۳۶° ۱۶'	۵۹° ۳۸'	۹۹۹/۲	۱۴/۲۹	۲۴۸/۱	۲/۷۱	نیمه‌خشک
شیراز	۲۹° ۳۲'	۵۲° ۳۶'	۱۴۸۴	۱۷/۷۷	۳۲۴/۸	۰/۴۴	نیمه‌خشک

مدل چندمعرفه‌ی اسکالوگرام

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 (KarimiNazar et al., 2010).

در مدل اسکالوگرام جهت انتخاب عوامل مؤثر بر پدیده‌ی مورد بررسی، هیچ‌گونه محدودیتی وجود ندارد و هر محقق‌ی بنا به نظر کارشناسی خویش و امکان دستیابی به اطلاعات می‌تواند تعداد عوامل 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 معادله‌ی $\mu + k\sigma$ که در هیدرولوژی آماری کاربرد زیادی دارد استفاده می‌شود. محققان مختلف بر اساس نظر کارشناسی و با توجه به تغییرپذیری عوامل مختلف هواشناسی نسبت به میانگین از یک ضریب ثابت k برای عوامل مختلف استفاده می‌نمایند. به‌عنوان مثال Karimi Nazar et al. (2010)، مقدار K را معادل 0.25 یا 0.5 و Baratian, (2003) مقدار K را $1/2$ یا $1/4$ انتخاب نمودند. سپس بر اساس معادلات جدول (۲)، ۳ محدوده برای هر کدام از متغیرها محاسبه می‌شود.

در مرحله‌ی ارزش‌گذاری بر اساس محاسبات آماری مرحله‌ی قبل، داده‌ها در سه طیف ارزشی مثبت، خنثی و منفی ارزش‌گذاری می‌شوند که ملاک این تقسیم‌بندی، مقادیر $\mu \pm k\sigma$ داده‌ها است. برای مثال در خصوص متغیرهای که افزایش آن‌ها (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 متغیرهای که افزایش آن‌ها (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 متغیرهای هواشناسی مؤثر بر تنش‌های خشکسالی را نشان می‌دهد.

در مرحله‌ی رتبه‌بندی، وضعیت رطوبتی هر کدام از سال‌ها، بر اساس حاصل جمع تعداد موارد مثبت، خنثی و منفی تعیین می‌گردد.

معایب مدل‌های اسکالوگرام به‌کار گرفته شده

به‌نظر می‌رسد که استفاده از یک ضریب ثابت k بر اساس نظر کارشناس برای متغیرهای مختلف هواشناسی که تغییرپذیری آن‌ها نسبت به میانگین متفاوت می‌باشد، چندان درست نباشد. به‌طور مثال مقدار دمای میانگین دارای تغییرات زیادی در طول سال نمی‌باشد، در حالی که مقادیر بارش سالانه، بارش در هر یک از فصل‌های سال و

تعداد روزهای بارانی در سال‌های مختلف دارای تغییرات بیشتری در اطراف میانگین می‌باشند. هم‌چنین استفاده از وزن یکسان در مورد متغیرهای مختلف هواشناسی، تا حد زیادی می‌تواند سبب بروز خطا در تعیین رخداد‌های خشکسالی و ترسالی گردد. به‌طور مثال در نظر گرفتن وزن برابر برای متغیرهای مقدار بارندگی سالانه و دمای میانگین به‌عنوان عوامل هواشناسی مؤثر بر خشکسالی نمی‌تواند چندان منطقی باشد.

طراحی مدل اسکالوگرام تصحیح‌شده برای گیاه گندم

در این مطالعه با استفاده از اصول کلی حاکم بر مدل اسکالوگرام برای تصحیح آن با در نظر گرفتن موارد فوق برای گیاه گندم به‌عنوان یکی از محصولات استراتژیک و اساسی کشور اقدام شده است. در طراحی مدل اسکالوگرام تصحیح‌شده، برای پایش خشکسالی‌ها گندم از ۵ متغیر هواشناسی شامل: مجموع تبخیر/تعرق پتانسیل سالانه، تعداد روزهای بارانی در سال، مقدار بارش فصل پائیز، مقدار بارش فصل زمستان و مقدار بارش فصل بهار، به‌عنوان عوامل مؤثر استفاده شده است. آن‌گاه وضعیت رطوبتی سال‌های مختلف بر اساس میزان نوسانات اقلیمی و تنش‌های هواشناسی حاصل از تغییرات متغیرهای فوق طبقه‌بندی گردید. متغیرهای هواشناسی تعداد روزهای بارانی و مقدار بارش در هر یک از فصل‌های زمستان، بهار و پائیز به‌عنوان متغیرهایی که چگونگی توزیع زمانی بارندگی در طول سال را نشان می‌دهند، در نظر گرفته شدند و متغیر هواشناسی مقدار تبخیر/تعرق نیز به‌عنوان عاملی که اثر عوامل مختلف هواشناسی مانند دما، رطوبت نسبی، ساعت آفتابی و سرعت باد را در بر دارد، در نظر گرفته شد. مقادیر بیشتر در متغیرهای هواشناسی تعداد روزهای بارانی، مقدار بارش فصل‌های زمستان، بهار و پائیز به‌عنوان امتیاز مثبت و میزان کمتر از حدود تعیین شده (جدول ۲) امتیاز منفی کسب می‌کنند. عواملی دیگر مانند مجموع تبخیر/تعرق پتانسیل سالانه هر چه مقدار کمتری داشته باشند، به‌عنوان امتیاز مثبت و میزان بیشتر آن‌ها به‌عنوان امتیاز منفی در نظر گرفته می‌شوند. علت این امر تأثیر مثبت افزایش عوامل دسته‌ی اول بر کاهش تنش‌های خشکسالی و تأثیر منفی افزایش عوامل دسته‌ی دوم بر افزایش تنش‌های خشکسالی می‌باشد.

اصلاح معایب مدل‌های اسکالوگرام پیشین

بر اساس معایب بیان شده برای مدل‌های اسکالوگرام پیشین، در این بخش اقدام به اصلاح معایب ذکر شده در موارد تصحیح سطوح آستانه‌ی طیف‌های ارزشی و تعیین وزن متغیرهای هواشناسی گردید. در مدل اسکالوگرام پیشنهاد شده جهت تصحیح سطوح آستانه‌ی طیف‌های ارزشی، با برازش توزیع‌های آماری مختلف بر متغیرهای هواشناسی مؤثر بر خشکسالی، بهترین تابع توزیع برای هر متغیر

از سوی سازمان فائو طول این مراحل برای ارقام مختلف گیاهی در جدولی به صورت تیپ آورده شده است (سطر اول جدول (۳) برای گیاه گندم)، ولی باید توجه داشت که طول مراحل رشد هر رقم گیاهی در هر منطقه نیز متفاوت است. ارقامی که در این تحقیق برای مراحل مختلف رشد آمده است از مجموعه نرم‌افزارهای نیاز آبی گیاهان OPTIWAT اقتباس شده است (Alizade and Kamali, 2007).

با استفاده از اطلاعات این نرم‌افزار، تاریخ کاشت، طول مراحل ۴ گانه دوره‌های رشد و ضرایب گیاهی دوره‌های رشد در ایستگاه‌های مشهد و شیراز استخراج گردید که نتایج آن در جدول (۳) آورده شده است.

با استخراج طول دوره‌های رشد و ضرایب گیاهی، با ضرب ضریب گیاهی بدست آمده برای هر روز در مقدار تبخیر تعرق پتانسیل همان روز (Erfanian et al., 2011) مقدار نیاز آبی آن روز محاسبه گردید. مقدار ضریب گیاهی در مراحل توسعه و پایانی رشد با استفاده از معادله خطی حاکم بر هر مرحله، برای هر روز محاسبه گردید.

با محاسبه نیاز آبی گندم برای روزهای مختلف مراحل رشد در هر ایستگاه، مقدار نیاز آبی آن در فصل‌های پائیز، زمستان و بهار و همچنین کل دوره‌ی رشد محاسبه گردید. سپس با تقسیم نیاز آبی گندم در طول هر فصل بر کل نیاز آبی آن در طول دوره‌ی رشد، درصد نیاز آبی برای هر یک از فصل‌های پائیز، زمستان و بهار بدست آمد که از این نسبت‌ها برای وزن دادن به مقدار بارش در هر یک از فصل‌های مذکور استفاده شد.

به‌منظور امکان‌سنجی ارزیابی مدل اسکالوگرام ارائه شده با استفاده از مقدار عملکرد گندم، آمار تولید و سطح زیر کشت گندم، طی سال‌های ۱۹۶۱ الی ۲۰۰۹ از سایت سازمان فائو^۱ برای کشور ایران اخذ و مقدار عملکرد گندم در هر سال بر حسب تن در هکتار محاسبه گردید. مقدار عملکرد گندم طی دوره‌ی ۱۹۸۶ الی ۲۰۰۹ در شکل (۱) آورده شده است. مطابق این شکل، به‌نظر می‌رسد افت‌های ناگهانی در مقدار عملکرد گندم طی سال‌های ۱۹۸۹، ۱۹۹۹، ۲۰۰۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۸ می‌تواند ناشی از تغییرات آب و هوایی باشد.

نتایج و بحث

نتایج انتخاب مناسب‌ترین توزیع و تعیین طیف‌های ارزشی

با برازش توزیع‌های آماری مختلف بر متغیرهای هواشناسی مورد بررسی، بهترین تابع توزیع برای هر متغیر هواشناسی انتخاب و بر اساس آن طیف‌های ارزشی آن‌ها تعیین گردید که نتایج آن به ترتیب در جدول‌های (۴) و (۵) برای ایستگاه‌های مشهد و شیراز ارائه شده است.

هواشناسی بر اساس آزمون نکوئی برازش کلموگروف-اسمیرنوف تعیین و پارامترهای توزیع منتخب استخراج گردید. لازم به ذکر است که برای متغیرهای هواشناسی مقدار بارش در هر یک از فصل‌های پائیز، زمستان و بهار و مقدار تبخیر تعرق پتانسیل سالانه از برازش توزیع‌های مختلف (شامل توابع توزیع پیوسته که از پایین محدود و از بالا نامحدودند) استفاده شد. ضمن آن که برای متغیر هواشناسی تعداد روزهای بارانی از برازش توابع توزیع گسسته استفاده گردید. سپس مقادیر احتمال تجمعی توزیع‌های منتخب برای هر متغیر هواشناسی با استفاده از نرم‌افزار Easy Fit 5.4 محاسبه گردید. آن‌گاه با استفاده از اصل انتقال هم‌احتمال (Karamouz and Araghinejad, 2005) به شیوه‌ی معکوس، مقادیر متناظر با ۱ و -۱ در توزیع احتمال تجمعی نرمال استاندارد شده با میانگین صفر و انحراف از معیار یک در توزیع‌های منتخب محاسبه گردید. لازم به ذکر است که توزیع منتخب گسسته برای متغیر روزهای بارانی با استفاده از قضیه‌ی حد مرکزی توسط توزیع نرمال تقریب زده شد (Bazargan lari, 2002). مطابق آن چه ذکر شد، اعداد متناظر با مقادیر ۱ و -۱ از توزیع تجمعی نرمال استاندارد برای هر متغیر هواشناسی بدست آمد. در مورد متغیرهای که با افزایش آن‌ها تنش‌های خشکسالی کاهش می‌یابد، به ازای مقادیر بیش‌تر از مقدار متناظر با ۱ دارای ارزش مثبت و مقادیر کمتر از مقدار متناظر با -۱ دارای ارزش منفی و مقادیر بین اعداد متناظر با ۱ و -۱ در طیف ارزشی خنثی قرار می‌گیرند.

بارندگی به عنوان عامل اصلی در شاخص‌های خشکسالی زیادی به‌کار گرفته شده‌است. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که وزن بارندگی در شاخص‌های خشکسالی به‌تنهایی بیش از ۸۰ درصد تغییرات را توصیف می‌کند (Kyantash and Dracup, 2002). بیشترین تمرکز مراجع در ارزیابی خشکسالی‌ها، روی خشکسالی هواشناسی می‌باشد که یکی از دلایل آن بار عاملی بارندگی در عوامل بوجود آورنده‌ی خشکسالی است (Karamouz and Araghinejad, 2005). Ansari et al (2010) برای توسعه‌ی شاخص بارندگی و تبخیر تعرق استاندارد شده با توجه به نظر کارشناسی وزن عامل بارندگی را دو برابر مقدار تبخیر تعرق پتانسیل در ایستگاه مشهد در نظر گرفتند. تعیین وزن عوامل هواشناسی مؤثر بر خشکسالی، تا حد زیادی دشوار به‌نظر می‌رسد. در این تحقیق وزن عوامل هواشناسی تعداد روزهای بارانی و تبخیر تعرق به‌ترتیب برابر ۰/۲۵ و ۰/۵ منظور گردید. اما به‌منظور تعیین وزن بارش فصل‌های پائیز، زمستان و بهار از نسبت نیاز آبی در هر یک از فصل‌های مذکور به کل نیاز آبی گیاه گندم در طول دوره‌ی رشد استفاده شد.

گیاهان در طول دوره‌های مختلف رشد خود مقادیر ضرایب گیاهی K_c متفاوتی دارند و بر این اساس دوره‌ی رشد آن‌ها به ۴ مرحله تقسیم می‌شود. طول دوره در هر یک از مراحل رشد بستگی به نوع ارقام گیاهی داشته و باید از روی اطلاعات محلی بدست آید. هرچند

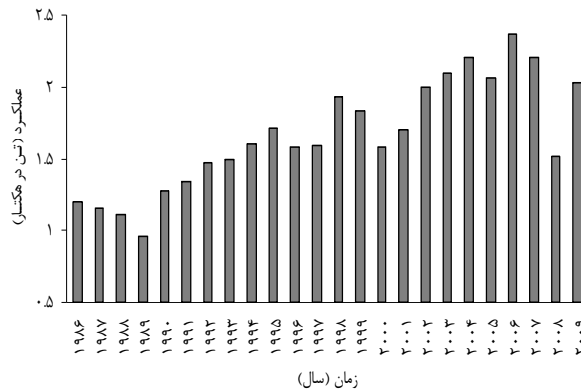
1- <http://www.fao.org/corp/statistics/>

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

معادله	طیف ارزشی	
	عواملی که با افزایش آن‌ها تنش‌های خشکسالی افزایش می‌یابد	عواملی که با افزایش آن‌ها تنش‌های خشکسالی کاهش می‌یابد
$x_i \geq \mu + k\sigma$	منفی	مثبت
$\mu - k\sigma \leq x_i \leq \mu + k\sigma$	خنثی	خنثی
$x_i \leq \mu - k\sigma$	مثبت	منفی

جدول ۳- ضرایب گیاهی و طول مراحل مختلف رشد گیاه گندم در ایستگاه‌های مشهد و شیراز (Alizade and Kamali, 2007)

ایستگاه	تاریخ کاشت	تاریخ برداشت	ضرایب گیاهی منفرد گندم		طول مراحل مختلف دوره‌های رشد گندم (روز)	
			آغازین	میانی	توسعه	پایانی
تیپ (فانو)	۱۱ آبان	۱۰ تیر	۰/۴۰	۱/۱۵	۲۰	۱۴۰
مشهد	۱۱ آبان	۳۱ خرداد	۰/۲۰	۱/۱۰	۳۰	۱۲۰
شیراز	۱ آبان	۳۱ خرداد	۰/۱۵	۱/۲۰	۳۰	۱۲۰



شکل ۱- مقدار عملکرد گندم در ایران طی سال‌های ۱۹۸۶ الی ۲۰۰۹

و بهار در مدل اسکالوگرام، مقدار نیاز آبی گندم در طول هر فصل از مجموع نیازهای آبی محاسبه گردید که مقادیر آن در ستون‌های ۲ تا ۴ جدول (۶) برای هر ایستگاه آورده شده است. همچنین نسبت نیاز آبی در هر فصل به کل نیاز آبی (وزن هر یک از فصل‌ها) در ستون‌های ۶ تا ۸ جدول (۶) آورده شده است. ضرایب بدست آمده برای هر فصل در ایستگاه‌های مشهد و شیراز نشان می‌دهد که وزن مقدار بارش فصل‌های مشابه، یکسان نیستند. علاوه بر این، در هر ایستگاه مقدار وزن بارش در فصل‌های مختلف نیز متفاوت می‌باشد. وزن مقدار بارش فصل بهار در ایستگاه مشهد نسبت به فصل زمستان بسیار بیشتر است، در حالی که در ایستگاه شیراز وزن بارش در زمستان نسبت به بهار مقدار بیشتری دارد. موضوع فوق نشان‌دهنده اهمیت ریزش‌های جوی فصل بهار برای مشهد و ریزش‌های جوی در زمستان برای شیراز می‌باشد.

برای تعیین طیف‌های ارزشی متغیرهای هواشناسی، ابتدا، مقادیر احتمال تجمعی مناسب‌ترین تابع توزیع هر متغیر هواشناسی محاسبه گردید. سپس با استفاده از اصل انتقال هم‌احتمال به شیوه معکوس، مقادیر متناظر با ۱ و ۱- در توزیع احتمال تجمعی نرمال استاندارد شده برای توزیع منتخب محاسبه و آن‌گاه بر اساس شیوه ارزش‌گذاری متغیرهای هواشناسی، طیف‌های ارزشی مثبت، خنثی و منفی تعیین گردید. با توجه به جدول‌های (۴) و (۵) مقادیر حدود طیف خنثی از حدهای بالا و پائین در طیف‌های ارزشی مثبت و منفی بدست می‌آید. به‌طور مثال در جدول (۴) برای عامل هواشناسی تعداد روزهای بارانی در ایستگاه مشهد حدهای فوق در محدوده‌ی مساوی و بیشتر از ۴۷ تا مساوی و کمتر از ۷۲ قرار دارد.

نتایج تعیین وزن متغیرهای هواشناسی

جهت تعیین وزن متغیرهای مقدار بارش فصل‌های پاییز، زمستان

جدول ۴- نتایج توزیع منتخب برازش یافته بر متغیرهای هواشناسی و طیف‌های ارزشی آن‌ها در مدل اسکالوگرام ایستگاه مشهد

عامل هواشناسی	توزیع منتخب	پارامترهای توزیع منتخب به ترتیب از چپ به راست	طیف منفی	طیف مثبت
تعداد روزهای بارانی	Neg. Binomial (n, p)	-	کمتر از ۴۷	بیشتر از ۷۲
تبخیر تعرق پتانسیل	Pearson 5 (α, β, γ)	۰/۰۰	بیشتر از ۸۸/۲۹	کمتر از ۷۱۴/۳۶
مقدار بارش فصل پائیز	Johnson.SB ($\gamma, \delta, \lambda, \xi$)	۲۲۴/۰۱	کمتر از ۲۰/۹۹	بیشتر از ۷۸/۵۱
مقدار بارش فصل زمستان	Johnson.SB ($\gamma, \delta, \lambda, \xi$)	۲۱۲/۵۸	کمتر از ۷۴/۶۹	بیشتر از ۱۷۱/۷۹
مقدار بارش فصل بهار	Dagum (k, α, β)	۸۹/۵۴	کمتر از ۳۳/۳۴	بیشتر از ۱۱۴/۴۰

جدول ۵- نتایج توزیع‌های منتخب برازش یافته بر متغیرهای هواشناسی و طیف‌های ارزشی آن‌ها در مدل اسکالوگرام ایستگاه شیراز

عامل هواشناسی	توزیع منتخب	پارامترهای توزیع منتخب به ترتیب از چپ به راست	طیف منفی	طیف مثبت
تعداد روزهای بارانی	Neg. Binomial (n, p)	-	کمتر از ۲۹	بیشتر از ۵۰
تبخیر تعرق پتانسیل	Johnson. SB ($\gamma, \delta, \lambda, \xi$)	۴۴۲/۸۵	بیشتر از ۱۰۵۶/۲	کمتر از ۹۰۶/۳
مقدار بارش فصل پائیز	Dagum (k, α, β)	۱۸۱/۲۲	کمتر از ۲۰/۰۳	بیشتر از ۱۷۰/۸
مقدار بارش فصل زمستان	Gamma (α, β)	-	کمتر از ۱۰۶/۳	بیشتر از ۲۷۴/۷
مقدار بارش فصل بهار	Gen. Extrem (k, σ, μ)	۱۹/۳۸	کمتر از ۱۰/۳۱	بیشتر از ۵۴/۰۵

هم‌انتقال به شیوهی معکوس، مقادیر متناظر با ارزش متغیرهای هواشناسی در توزیع نرمال استاندارد شده محاسبه و با استفاده از حدود طبقه‌های ارائه شده برای شاخص SPI (Edwards and McKee, 1997) طبقه‌های مختلف رطوبتی تعیین گردید.

نتایج نهایی حاصل از تعیین وضعیت‌های رطوبتی بر اساس مدل اسکالوگرام به‌ترتیب برای ایستگاه‌های مشهد و شیراز در شکل‌های (۲) و (۳) ارائه شده است. بر اساس مدل اسکالوگرام، شدیدترین خشکسالی در مشهد طی سال آبی ۰۱-۲۰۰۰ اتفاق افتاده است. ضمن آن‌که دوره‌ی خشکسالی طولانی طی سال‌های ۹۹-۱۹۹۸ الی ۰۱-۲۰۰۰ در ایستگاه‌های مشهد و شیراز اتفاق افتاده است.

نتایج توزیع‌های برازش یافته بر ارزش عوامل هواشناسی

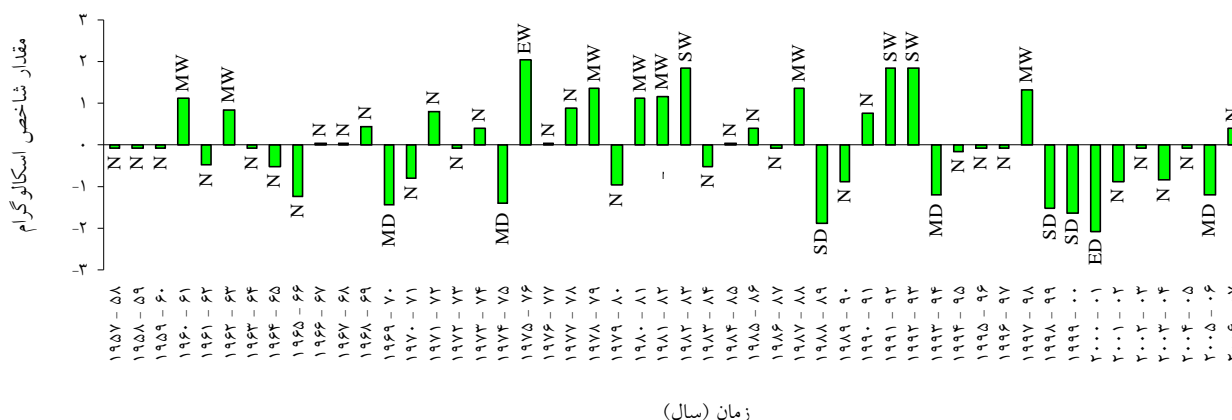
با توجه به مقادیر ارزش‌گذاری شده برای هر متغیر هواشناسی، امتیاز هر سال از جمع ارزش متغیرهای هواشناسی در آن سال محاسبه شده است. بر اساس مدل تعریف شده، حداکثر امتیازی که یک سال می‌تواند به خود اختصاص دهد ۱/۷۵ و حداقل آن ۱/۷۵- می‌باشد که هر چه مقدار امتیازات مثبت در سالی بیشتر باشد، نشان‌دهنده‌ی سالی با ویژگی ترسالی شدیدتر می‌باشد و بر عکس. با برازش توزیع‌های مختلف (شامل توزیع‌هایی که از پایین و بالا نامحدودند) بر حاصل جمع ارزش‌های هر سال، بر اساس آزمون نکوئی برازش K-S، بهترین تابع توزیع انتخاب (جدول ۷) و تابع احتمال تجمعی آن محاسبه شد. در ادامه با استفاده از اصل احتمال

جدول ۶- مقادیر نیاز آبی گندم در طول دوره‌ی رشد به تفکیک فصل در ایستگاه‌های مشهد و شیراز

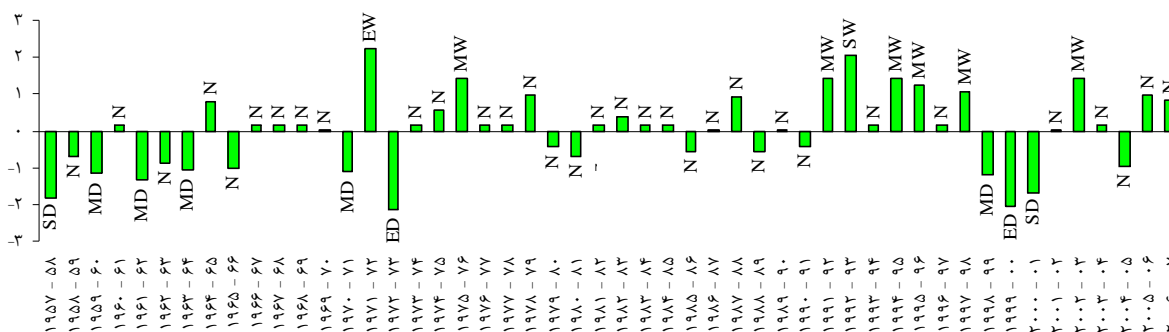
ایستگاه	مقدار نیاز آبی (mm)			درصد نیاز آبی فصلی نسبت به کل (ضریب وزنی)
	مجموع	بهار	زمستان	
مشهد	۴۹۷/۷۹	۳۶۶/۵۶	۱۱۰/۸۱	۰/۴۲
شیراز	۸۶۶/۹۳	۳۷۶/۹۱	۴۱۳/۹۷	۰/۴۳

جدول ۷- نتایج توزیع‌های منتخب برازش یافته بر مقادیر مجموع ارزش متغیرهای هواشناسی در ایستگاه‌های مشهد و شیراز

ایستگاه	توزیع منتخب	پارامترهای توزیع منتخب به ترتیب از چپ به راست
مشهد	Laplas (λ, μ)	-
شیراز	Weibull (α, β, γ)	-



شکل ۲- پایش وضعیت خشکسالی بر اساس مدل اسکالوگرام در ایستگاه مشهد در طول دوره‌ی مورد بررسی



شکل ۳- وضعیت خشکسالی بر اساس مدل اسکالوگرام در ایستگاه شیراز در طول دوره‌ی مورد بررسی

ایستگاه‌های شیراز و مشهد نشان آورده شده‌است. در این جدول از ۸ شاخص خشکسالی هواشناسی شامل: معیار بارندگی سالانه (SIAP)، دهک‌ها^۱ (DI)، درصد نرمال^۲ (PN)، ناهنجاری بارش^۳ (RAI)، استاندارد شده (SPI)، Z چینی (CZI)، نمره‌ی Z^۴ (ZSI) و RDI^۵ استفاده شده است. منابع چگونگی محاسبه‌ی شاخص‌های مورد استفاده به شرح زیر است: شاخص‌های SIAP و RAI (Ghorbani et al., 2010)، شاخص DI (Smakhtin and Hughes, 2007)، شاخص PN (Hays, 2000)، شاخص SPI (Edwards and Wu et al., 2001)، شاخص‌های CZI و ZSI (McKee, 1997) و شاخص RDI (Tsakiris et al., 2007) می‌باشند. لازم به ذکر است در جدول مذکور، شاخص SPI^{*}، همان شاخص SPI می‌باشد که

علائم بکار گرفته شده در شکل‌های (۲) و (۳) شامل: خشکسالی بسیار شدید (ED)، خشکسالی شدید (SD)، خشکسالی متوسط (MD)، نرمال (N)، ترسالی متوسط (MW)، ترسالی شدید (SW) و ترسالی بسیار شدید (EW) می‌باشند.

تشریح برخی از نمونه‌های بررسی شده

همان‌طور که بیان شد، اکثر شاخص‌های مورد بررسی جهت تحلیل خشکسالی در سال‌های مختلف تنها بر مقدار بارش تکیه نموده و نقش سایر متغیرهای هواشناسی را نادیده می‌گیرند. همچنین وقوع خشکسالی با تمرکز بارش در محدوده‌ی کوتاهی از زمان به‌علت نادیده گرفتن توزیع زمانی بارش پنهان می‌ماند. در این بخش به‌عنوان نمونه دو مورد در ایستگاه‌های شیراز و مشهد به‌ترتیب در سال‌های ۲۰۰۴-۰۵ و ۱۹۷۰-۷۱ مورد بحث و بررسی بیشتر قرار می‌گیرد. در جدول (۸) نتایج شاخص اسکالوگرام در مقایسه با سایر شاخص‌های خشکسالی در سال‌های ۲۰۰۴-۰۵ و ۱۹۷۰-۷۱ به ترتیب در

- 1- Deciles
- 2- Percent of Normal Precipitation Index
- 3- Rainfall Anomaly Index
- 4- Z-Score Index
- 5-Reconnaissance Drought Index

بیان می‌گردد. بر اساس شکل ۴ (الف) در ایستگاه شیراز طی سال ۰۵-۲۰۰۴ از مجموع ۵۱۲/۳ میلی‌متر بارش، ۳۳۳/۸ میلی‌متر آن در فصل پاییز، ۱۷۶/۱ میلی‌متر در فصل زمستان و تنها ۲/۴ میلی‌متر در فصل بهار باریده است. مقادیر بارش به تفکیک ماه در سال ۰۵-۲۰۰۴ در مقایسه با میانگین دراز مدت نیز در شکل (۵) نشان داده شده است که بر اساس آن مقدار بارش در ماه دسامبر تقریباً ۶ برابر متوسط درازمدت آن است. در شکل (۶) مقدار بارش روزانه در ماه دسامبر سال ۰۵-۲۰۰۴ ایستگاه شیراز ارائه شده است که نشان می‌دهد در محدوده‌ی کوتاهی شامل ۱۳ دسامبر تا ۱۷ دسامبر (مجموعاً ۵ روز) مقدار بارشی برابر با ۱۹۷ میلی‌متر اتفاق افتاده است. در نتیجه، به نظر می‌رسد که عدم توزیع یکنواخت بارش و تمرکز آن در محدوده‌ی کوتاهی از ماه دسامبر و همچنین در فصل پاییز سبب شده است که در شاخص‌های متداول خشکسالی، سالی با ویژگی ترسالی شدید یا بسیار شدید نشان داده شود، اما در شاخص اسکالوگرام به علت وزن دهی به بارش فصل‌های مختلف تا حد زیادی این نقیصه برطرف شده است. بر اساس شکل ۴ (ب) در ایستگاه مشهد در سال ۰۵-۱۹۷۰ از مجموع ۱۲۷/۶ میلی‌متر بارش، ۲۷/۱۰ میلی‌متر آن در فصل پاییز، ۵۷/۸ میلی‌متر در فصل زمستان و ۴۲/۷ میلی‌متر در فصل بهار باریده است. در شکل (۷) مقادیر بارش ماهانه سال ۰۵-۱۹۷۰ در مقایسه با میانگین درازمدت آن آورده شده است. با توجه به شکل‌های مذکور می‌توان دریافت که اگر چه این سال بر اساس شاخص‌های خشکسالی، سالی با ویژگی خشکسالی شدید یا بسیار شدید می‌باشد، ولی توزیع یکنواخت آن در طول سال و همچنین وزن بیشتر مقدار بارش در بهار سبب شده است که در مدل اسکالوگرام سالی با ویژگی نرمال جلوه نماید.

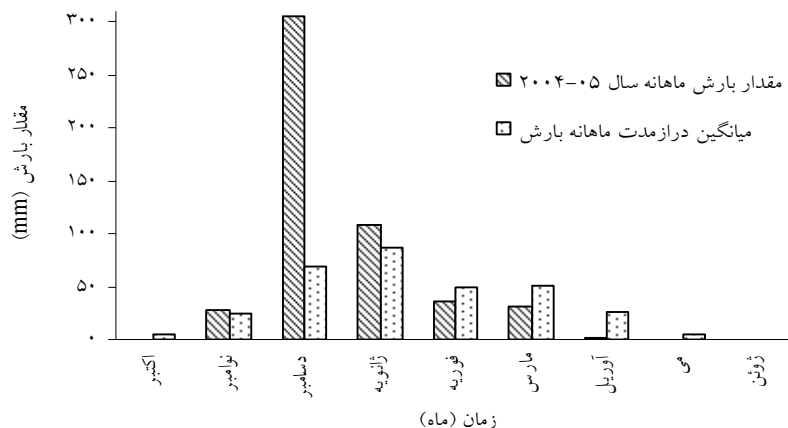
با برآزش مناسب‌ترین تابع توزیع بر داده‌های بارش به جای تابع توزیع پیش‌فرض (گاما) اصلاح شده است. شاخص RDI (Select)* نیز همان شاخص RDI است که بر اساس انتخاب مناسب‌ترین تابع توزیع نسبت بارش به تبخیر تعرق به جای تابع توزیع پیش‌فرض (لوگ‌نرمال) و مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر تعرق به جای روش پیش‌فرض (تورنت‌وایت) اصلاح شده است (Ghabaei Sough, 2011). در ایستگاه شیراز مقدار بارش در سال ۰۵-۲۰۰۴ برابر ۵۱۲/۳ میلی‌متر ثبت شده است که در زمره‌ی یکی از سال‌های پر بارش (پنجمین سال پربارش) این ایستگاه قرار دارد. شاخص‌های RAI، SIAP و DI سال مذکور را سالی با طبقه‌ی ترسالی بسیار شدید و شاخص‌های PN، SPI، ZSI، CZI و RDI (Select)* این سال را سالی با طبقه‌ی ترسالی شدید، برآورد کرده‌اند (جدول ۸). در مدل اسکالوگرام طراحی شده برای گیاه گندم در ایستگاه شیراز، سال مذکور سالی با ویژگی نرمال، شناخته شده است. در ایستگاه مشهد مقدار بارش در سال ۰۵-۱۹۷۰ برابر ۱۲۷/۶ میلی‌متر ثبت شده است که بعد از سال ۰۰-۱۹۹۹ با بارشی برابر با ۱۰۵/۳ میلی‌متر در ردیف دومین سال کم‌بارش در سری داده‌های آن ایستگاه می‌باشد. شاخص‌های RAI، SIAP و DI سال مذکور را سالی با طبقه‌ی خشکسالی بسیار شدید و شاخص‌های PN، SPI، ZSI، CZI و RDI (Select)* این سال را سالی با طبقه‌ی خشکسالی شدید برآورد کرده‌اند (جدول ۸). در مدل اسکالوگرام تصحیح شده برای گیاه گندم در ایستگاه مشهد، سال مذکور سالی نرمال برآورد شده است. با توجه به دو مورد ذکر شده و اختلاف شدیدی که بین شاخص اسکالوگرام و سایر شاخص‌ها در سال‌های ذکر شده وجود دارد، در زیر با بررسی بیشتر وضعیت ریزش‌های جوی در سال‌های مذکور علت این تفاوت

جدول ۸- مقایسه نتایج مدل اسکالوگرام با نتایج شاخص‌های خشکسالی در سال‌های ۰۵-۲۰۰۴ و ۰۵-۱۹۷۰ به ترتیب در ایستگاه‌های شیراز و مشهد

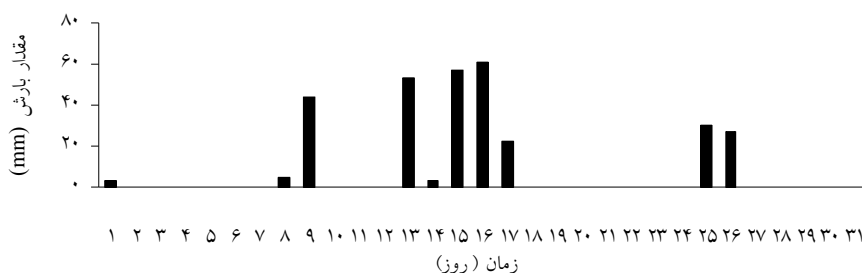
ایستگاه	سال	مدل اسکالوگرام	RAI	SIAP	DI	PN	*SPI	ZSI	CZI	*RDI (Select)
شیراز	۰۵-۲۰۰۴	N	EW	EW	EW	SW	SW	SW	SW	SW
مشهد	۰۵-۱۹۷۰	N	ED	ED	ED	SD	SD	SD	SD	SD



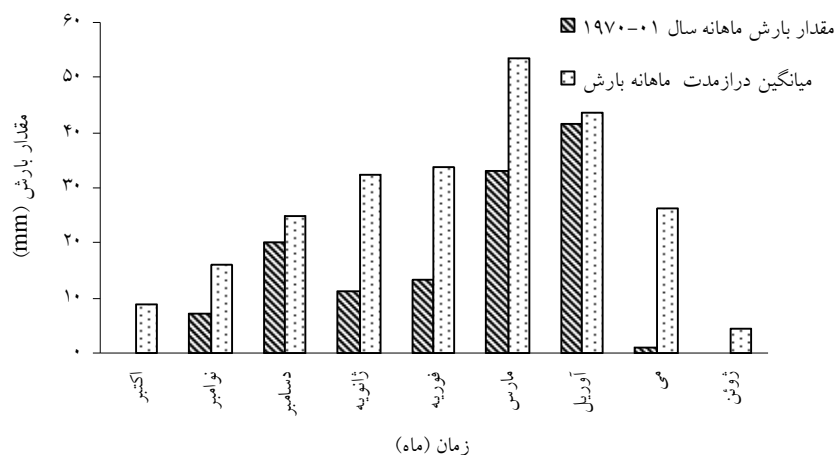
شکل ۴- نحوه‌ی توزیع بارش در سال‌های ۰۵-۲۰۰۴ و ۰۵-۱۹۷۰ به ترتیب در ایستگاه‌های شیراز (الف) و مشهد (ب)



شکل ۵- مقایسه‌ی مقادیر میانگین بارش درازمدت ماهانه با مقادیر بارش در سال ۲۰۰۴-۰۵ در ایستگاه شیراز



شکل ۶- چگونگی توزیع بارش روزانه در ماه دسامبر سال ۲۰۰۴-۰۵ در ایستگاه شیراز



شکل ۷- مقایسه‌ی مقادیر میانگین بارش درازمدت ماهانه با مقادیر بارش در سال ۱۹۷۰-۷۱ در ایستگاه مشهد

ندارد و در صورت وجود، آمار سازمان‌های مختلف تفاوت زیادی با یکدیگر دارند. همچنین، آمار سایت فائو برای کل ایران به صورت مجموع کشت دیم و آبی ارائه شده است که امکان تفکیک عملکرد در دو نوع کشت ممکن نیست. علاوه بر این، در صورت وجود آمار دقیق و مدون باز هم به نظر می‌رسد که نمی‌توان اثر مدیریت زراعی،

امکان‌سنجی ارزیابی مدل اسکالوگرام با استفاده از مقدار عملکرد گندم

در این تحقیق امکان ارزیابی مدل‌های اسکالوگرام ارائه شده با استفاده از مقدار عملکرد گیاه گندم در سطح کشور میسر نگردید. زیرا امکان دسترسی به چنین آماری به تفکیک برای هر ایستگاه وجود

- American Meteorological Society, 78: 847-84.
- Ansari, H., Davary, K., Sanaienejad, H. (2010). Drought monitoring with new precipitation and evapotranspiration index based on fuzzy logic. *Journal of Water and Soil*, 24 (1), 38-52.
- Bazargan Lari, A. (2002). *Applied Statistics*. Publication of Shiraz University, 307P.
- Bazgeer, S., and Kamali, G.A. (2008). Wheat yield prediction using agro meteorological indices for some regions of the Western of the country. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 15(2).113-121.
- 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.
- Erfanian, M., Alizadeh, A., and Mohammadian, A. (2011). An investigation on the possible differences between present crops water requirements and National Documents of Irrigation. *Iranian Journal of irrigation and drainage*, 3(4), 478-492.
- 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. Msc thesis. faculty of water and soil engineering. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 194 p.
- Ghorbani, Kh., Khalili, A., Alavipanah, S.K., 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.
- Hayes, M.J. (2000). What is drought?. National drought mitigation center, URL:www.drought.unl.edu/whatis/indices.htm.
- Horvath, S., Szep, I.J., Makra, L., Mika, J., Pajtok-Tari, I., and Utasi, Z. (2010). Effect of evapotranspiration parameterization on the Palmer drought severity index. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35, 11-18.
- Karamouz, M., Araghinejad, SH. (2005). *Advanced Hydrology*. Publication of Amirkabir university of technology, Tehran polytechnic press. 460p.
- KarimiNazar, M., Moghaddammia, A., 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.
- Keyantash J., and Dracup J.A. 2002. The Quantification of Drought Indices, *American Metrological Society*, 83, 8: 1167-1180.
- Khalili, N., davari, K., Ansari, H. Alizadeh, A. (2011). The Management of Supplementary Irrigation for Rainfed Wheat During the Drought Periods Using

آفات و بیماری‌های گیاهی، توسعه‌ی مکانیزاسیون کشاورزی و استفاده از بذرهای اصلاح شده در جهت بهره‌وری بیشتر در طول زمان را در عملکرد نادیده گرفت.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق، قابلیت‌های مدل‌های چندمعرفه و هم‌چنین معایب مدل چندمعرفه‌ی اسکالوگرام بیان گردید سپس با اصلاح معایب مدل اسکالوگرام به پایش خشکسالی گیاه گندم طی یک دوره‌ی ۵۰ ساله در ایستگاه‌های مشهد و شیراز پرداخته شد.

در مدل اسکالوگرام، بر عکس روش‌های دیگر تنها به یک عامل خصوصاً بارش تکیه نشده بلکه سایر متغیرهای هواشناسی تأثیرگذار نیز دخالت داده می‌شوند و پارامترهای هواشناسی ارزش‌گذاری شده در ترکیب با یک‌دیگر مجموعه‌ای از طبقات را ایجاد می‌نمایند. بنابراین، مدل اسکالوگرام در صورت طراحی درست می‌تواند مدل مناسبی برای بررسی خشکسالی از دیدگاه جامع‌تر باشد.

استفاده از یک ضریب ثابت K برای همه‌ی عوامل هواشناسی منجر به مقادیر نادرستی از طیف‌های ارزشی می‌گردد. تعیین سطوح آستانه‌ی متغیرهای هواشناسی بر اساس برآزش توابع توزیع مختلف تا حد زیادی می‌تواند به تعیین دقیق‌تر این سطوح آستانه برای هر یک از متغیرهای هواشناسی کمک نماید. تعیین وزن مقدار بارش در هر یک از فصل‌های پائیز، زمستان و بهار بر اساس مقدار نیاز آبی گندم، یکی از نقاط قوت مدل اسکالوگرام طراحی شده می‌باشد. در این مدل مقدار بارش زیاد در یک سال که بخش عظیمی از آن در دوره‌ی کوتاهی به وقوع پیوسته است (سال ۲۰۰۴-۰۵ در ایستگاه شیراز) نمی‌تواند به تنهایی عاملی برای ایجاد ترسالی باشد و ممکن است سالی با بارشی به مراتب کمتر اما با توزیع مناسب‌تر در طول سال، سبب ایجاد سالی با وضعیت رطوبتی مناسب‌تر گردد.

در مدل‌های پیشین اسکالوگرام در مرحله‌ی رتبه‌بندی، سال‌ها را بر اساس جمع عوامل هواشناسی از مرطوب به خشک طبقه‌بندی می‌نمودند. در این تحقیق، با برآزش توابع توزیع مختلف بر مجموع امتیازات متغیرهای هواشناسی به کمک اصل انتقال هم‌احتمال، مقادیر آن‌ها جهت استفاده در تصمیم‌گیری‌ها به شاخص اسکالوگرام تبدیل شدند که به کمک آن وضعیت رطوبتی هر سال برای گندم پایش می‌گردد.

مراجع

- Alizade, A., Kamali, GH.A. (2007). *Crops water requirements in Iran*. Astan Qods Razavi Press, 228P.
- American Meteorological Society, (1997). *Meteorological drought policy statement*. Bull.

- Narasimhan, B., and Srinivasan, R. (2005). Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Eeficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring. *Agricultural and forest Meteorology*, 133, 69–88.
- Smakhtin V.U., and Hughes D.A. (2007). Automated estimation and analyses of meteorological drought characteristics from monthly rainfall data. *Environmental Modelling & Software*, 22: 880-890.
- Tsakiris, G., Pangalou, D., and Vangelis, H. 2007. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resource Manage*, 21, 821–833.
- Wu, H., and Hayes, M.J. 2001. An evaluation of the standardized precipitation index, the china index and statistical Z-Score. *International journal of climatology*, 21, 741-758.
- Crop Moisture Index (The Case Study: Bojnurd). *Journal of Water and Soil*, 24(6), 1254-1264.
- Matera, A., Fontana, G., Marletto, V., Zinoni, F., Botarelli, L., and Tomei, F. (2007). Use of a new agricultural drought index within a regional drought observatory. In Rossi G., Vega T., Bonaccorso B. (Eds.), *Methods and tools for drought analysis and management*, Water Science and Technology Library, 62, 103–124.
- Mishra, A.K., and Singh, V.P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391: 202–216.
- Morid, S., Paymozd, Sh. (2007). Compression hydrological and meteorological metethods for daily drought monitoring: case study 1998-2001 period of Tehran province. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 42(2), 325-333.

Wheat Drought Monitoring by Using Generalized Scalogram Model for Mashhad and Shiraz Synoptic Stations

Ghabaei Sough. M¹, Mosaedi. A^{2*}

Abstract

Drought is a multivariate phenomena that caused by variation in some meteors. In this study, a new multivariable model purposed to monitor wheat drought in Mashhad and Shiraz synoptic stations during 50 years period. Purposed model was designed based on multivariable Scalogram model, with some meteorological variables as inputs such as annual evapotranspiration, number of rainy days and amounts of precipitation in autumn, winter and spring. In proposed model, imperfection of former Scalogram model including threshold levels and weights of meteorological variable were modified. In the new model drought condition will not be determined only based on precipitations amounts, but the other important meteors such as number of rainy days, evapotranspiration and especially time distribution of precipitation is considered. Results showed the modified Scalogram model, is enable to monitor agricultural drought of wheat by considering distribution of precipitation in time and the amount of evapotranspiration.

Key words: Drought, meteorological variable, wheat, scalogram, crop water requirement, Probability distribution function.

1- Former M.Sc. Student, Dept of Water Eng. Gorgon University of Agricultural Sciences and Natural Resources

2 - Associate Prof., Faculty of Natural Resources and Environment, Fredowsi University of Mashhad.

(* Corresponding Author Email: mosaedi@um.ac.ir)