

## بررسی روابط بین خشکسالی اقلیمی و متغیرهای خورشیدی در ایستگاه کرمانشاه

محمدحسین مبین<sup>1</sup>، اعظم غلام‌نیا<sup>2</sup>، رضا ابراهیمی<sup>3\*</sup>

تاریخ دریافت: 1395/1/22 تاریخ پذیرش: 1395/4/30

### چکیده

در قرن اخیر تغییرات اقلیمی و تحولات اقتصادی - اجتماعی کشورهای جهان موجب توجه فزاینده مردم به پدیده خشکسالی گردیده، به‌طوری‌که پیش‌بینی، تشخیص و ارزیابی اثرات این پدیده در بسیاری از کشورها از جهات گوناگون به‌ویژه در برنامه‌ریزی راهبردی کشاورزی و مدیریت منابع آب اهمیت بحرانی یافته است. از طرفی رخداد این پدیده را با اطمینان کامل نمی‌توان پیش‌بینی نمود. بنابراین باید آن را رخدادی تصادفی تلقی کرد. هدف اصلی پژوهش حاضر ارائه و بسط یک مفهوم جدید از خشکسالی اقلیمی و روشی نوین برای تشخیص و ارزیابی آن بر پایه رابطه سه‌گانه بین خشکسالی و متغیرهای هیدرومتئورولوژی و متئورولوژی مانند بارندگی، تابش خورشیدی و ساعات آفتابی است. بدین منظور با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه همدیدی کرمانشاه در دوره آماری 1970-2010، ابتدا نمودارهای دوگانه خشکسالی - خورشیدی (DGM) در ایستگاه کرمانشاه ترسیم شد و مشاهده گردید که وضعیت خشکی برخی از ماه‌ها نسبت به جدول توصیف کیفی خشکسالی و ترسالی براساس شاخص نمره استاندارد Z-Score تغییر می‌یابد. در مرحله بعد نقشه منحنی‌های هم‌ارزش بارش استاندارد شده ترسیم و متغیرهای معادله آنگستروم چون تابش خورشیدی و ساعات آفتابی به-عنوان متغیرهای مرجع رسم شد. این تکنیک که به‌عنوان روش سه‌گانه ترسیمی (TGM) موسوم است، الگوهای رفتاری بین پدیده خشکسالی و متغیرهای تابش خورشیدی و ساعات آفتابی را به صورت بارز نمایان می‌سازد. رابطه رگرسیون خطی بین خشکسالی و معادله آنگستروم 0/61 به‌دست آمد. خشکسالی و ضرایب مدل آنگستروم با روش پیشنهادی محاسبه شدند. رابطه بین معادله آنگستروم و خشکسالی با روش TGM ارائه شده است. روش TGM اطلاعات زیادی را درباره رخداد خشکسالی در ترکیب‌های متفاوت از تابش خورشیدی و ساعات آفتابی نشان می‌دهد. این روش در ایستگاه همدیدی کرمانشاه به کار برده شد. روش سه‌گانه ترسیمی در تشخیص و ارزیابی دوره‌های مرطوب و خشک و همچنین بررسی رابطه آن‌ها با تغییرات متغیرهای خورشیدی مانند تابش خورشیدی و ساعات آفتابی کمک می‌کند. نمودار ایستگاه کرمانشاه مبین آن است که میزان شیب این خط به‌نوعی تمایز فصلی دوره خشک و بارشی را نشان می‌دهد. یعنی هرچه شیب این خط بیش‌تر باشد، سال از دو فصل متمایز و متباین خشک و بارشی تشکیل شده و روش‌های تحلیلی DGM و TGM از کارایی بیش‌تری برخوردارند. این تحقیق در مقیاس زمانی ماهانه انجام شده اما اگر تحقیقات آتی براساس تقویم ژولیوسی صورت گیرد، موضوع مورد بررسی در مقیاس زمانی روزانه و حتی کم‌تر از آن نیز قابل مطالعه است

**واژه‌های کلیدی:** خشکسالی، روش سه‌گانه گرافیکی، کرمانشاه، معادله آنگستروم، تابش خورشیدی، ساعات آفتابی، دوره‌های خشک و مرطوب

### مقدمه

بین حوادث طبیعی که جمعیت‌های انسانی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، پدیده خشکسالی از نظر شدت، فراوانی، تداوم و فضای تحت پوشش، تلفات جانی، خسارات اقتصادی و اثرات اجتماعی درازمدت در جامعه، بیش‌تر از سایر بلایای طبیعی رخ می‌دهد، به‌طوری‌که پیش‌بینی، تشخیص و ارزیابی اثرات این پدیده در بسیاری از کشورها از جهات گوناگون به‌ویژه در برنامه‌ریزی راهبردی کشاورزی و مدیریت منابع آب اهمیت بحرانی یافته است. در دهه‌های اخیر مداخله و بهره‌برداری ناآگاهانه بیش از حد ظرفیت اکولوژیکی واحدهای زیستی موجب پیچیدگی بیش‌تر شرایط و ویژگی‌های خشکسالی‌ها از جهات گوناگون شده است (Banglapedia., 2003). برطبق نتایج اخیر (et al., 2002 Folland)، پیش‌بینی خشکسالی به موازات قطعی شدن پدیده افزایش جهانی دمای هوا از دهه‌ی 1970 به بعد که این

در دهه‌های اخیر تغییرات اقلیمی و تحولات اقتصادی - اجتماعی کشورهای جهان و به‌ویژه ایران، به عنوان یکی از کشورهای واقع در کمربند خشک کره زمین، موجب جلب توجه فزاینده دانشمندان، مسئولان و حتی مردم عادی به پدیده خشکسالی گردیده است. در

1- استادیار، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد

2- دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد

3- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، مخاطرات آب‌وهوایی، دانشگاه یزد

\* - نویسنده مسئول: (Email: Ebrahimi7679@yahoo.com)

دریافتی در سطح زمین می‌باشد و ضروری است تأثیر هر یک از متغیرهای خورشیدی به عنوان یک عامل هواشناختی در وضعیت خشکی و رطوبتی ماه‌های سال بررسی گردد. باتوجه به اهمیت مسئله خشکسالی مطالعات گسترده‌ای در سطح کشور و دنیا انجام شده است، اما در هریک از مناطق و کشورهای جهان از جمله ایران با استفاده از نمایه‌ها و روش‌های مختلف جنبه‌های گوناگون این موضوع مورد بررسی قرار گرفته است می‌توان گفت که در بخش عمده‌ای از این تحقیقات شاخص بارش استاندارد به‌عنوان یکی از مناسب‌ترین و رایج‌ترین نمایه‌های بررسی جنبه‌های مختلف خشکسالی اقلیمی (تداوم، حساسیت، شدت، بزرگی و فراوانی) به‌دلیل محاسبه آسان و نیاز به داده‌های بارش، مورد تأکید قرار گرفته است. بررسی‌های انجام شده بیانگر این است که در زمینه موضوع پژوهش حاضر و به‌ویژه روش و مراحل انجام آن در ایران هیچ گونه بررسی‌های مشابهی صورت نگرفته است، اما در سطح جهان سیرداس در تز دکترای خود این موضوع را برای اولین بار پیشنهاد نمود و در سال 2008 از این روش برای بررسی روابط بین خشکسالی و متغیرهای تابش خورشیدی استفاده نمود. وی در این مقاله با استفاده از اطلاعاتی چون تابش رسیده به سطح زمین به تابش بالای جو و ساعت آفتابی واقعی به ساعت آفتابی نجومی و بارش استاندارد شده در دوره زمانی 1982-1991 در هفت ایستگاه همدیدی ترکیه با کاربرد روش سه‌گانه ترسیمی خشکسالی‌های اقلیمی را در رابطه با پراسنچ‌های معادله خطی آنگستروم-پراسکات پیش‌بینی نمود. در این پژوهش بر مبنای تکنیک کریجینگ مدل گوسین نمودارهای سه‌گانه خشکسالی-خورشیدی را ترسیم نمود (Sirdas., 2002). سن نیز در کتاب خود از این روش به عنوان TDSIM نام برده و معتقد است که مدل‌های رگرسیونی چندگانه مختلف که تابش خورشیدی را با دیگر متغیرهای اقلیمی مرتبط می‌سازند با توجه به ماهیت چنین تکنیک‌های آماری دارای محدودیت‌هایی هستند از جمله اینکه با افزایش متغیرهای ورودی به مدل منابع خطا نیز افزایش می‌یابد و در بسیاری از موارد تغییرات این متغیرها، تغییرات تابش را توجیه نمی‌کند، اما با کاربرد نمودارهای TDSIM می‌توان تغییرات تابش را براساس دو متغیر دیگر و مرتبط با هم به طور همزمان تفسیر نمود (Sen., 2008). آلتونکاینانک و همکاران (2003) در تحقیقی با روشی مشابه نوسانات سطح آب دریاچه وان در ترکیه را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق روش دیاگرام‌های سه‌گانه براساس تکنیک کریجینگ به کار رفته است و در نتیجه مشخص گردیده است که این روش نسبت به روش‌های دیگر مانند مارکوف و اریما برای پیش‌بینی و مدلسازی تصادفی (stochastic modelling) کارایی بیش‌تری دارد. زیرا روش‌های مذکور اساساً دارای ساختار خطی و غالباً برای سری‌های ایستا کاربرد داشته و به هر حال توانایی محدودی در مدل کردن سری‌های ناپایستا و پدیده‌هایی که دارای ماهیت غیرخطی هستند،

خود نتیجه تغییر اقلیم بر اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی است، اهمیت نسبتاً بیش‌تری یافته است، زیرا دمای بالا ظرفیت نگهداری آب جو و پتانسیل تبخیر و تعرق را افزایش می‌دهد (Karl and Trenberth., 2003). مطالعات موسسه ارزیابی فناوری (OTA., 1993) نشان داد که تأثیر مستقیم تغییر اقلیم بر منابع آبی در نوسان‌های طبیعی اقلیم نهفته است. در اقلیم گرم‌تر خشکسالی‌ها و سیلاب‌ها تکرارپذیر، شدید و طولانی‌مدت‌تر می‌شوند. افزایش بالقوه این مخاطرات مسئله‌ای نگران‌کننده و مهم است که باعث ایجاد تنش و استرس در منابع آبی و افزایش قیمت‌ها می‌گردد. به همین جهت دانستن تغییرات سالیانه و یا دوره‌های ده ساله خشکسالی اقلیمی برای بهبود برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آبی بسیار مهم قلمداد می‌شود. خشکسالی در سال 1988 توام با امواج گرما در میانه غربی آمریکا منجر به 39 میلیارد خسارت و افزایش نرخ مرگ و میر ناشی از گرما گردید (Riebsame et al., 1991)؛ (Branstator., 1992 Trenberth and). تعیین کمی دوره‌های خشک و دوره‌های مرطوب مشکل است؛ به دلیل اینکه تعاریف متفاوتی برای این رخداد‌های فرین وجود دارد. برای مثال خشکسالی اقلیمی، هیدرولوژیکی و کشاورزی که در هریک از آن‌ها معیارهای متفاوتی برای تشخیص آغاز و خاتمه یک دوره خشک و مرطوب در بازه‌های زمانی ثبت شده ارائه شده است. برای پایش دوره‌های خشک و مرطوب و تغییرات آن‌ها، شاخص‌های تخصصی بی‌شماری ارائه و توصیه شده که در برخی موارد داده‌های مورد نیاز آن به آسانی در دسترس می‌باشد (مانند بارندگی و دما). البته تاکنون علی‌رغم تلاش‌های به‌عمل آمده یک تعریف مشخص و منحصر به‌فرد برای خشکسالی و شاخص‌های آن که برای استفاده در همه زمینه‌ها کاربرد داشته باشد، ارائه نشده، اگرچه تعاریف متفاوتی در این زمینه بیان گردیده است. شاید دلیل اصلی فقدان چنین تعریفی، ناشی از این حقیقت است که برای پایش پدیده خشکسالی دسترسی به داده‌های متعدد الزامی است. از اینرو، علاوه بر بارش، متغیرهای دیگری چون جریان سطحی، رطوبت خاک، رطوبت نسبی هوا، تبخیر، دما، تابش خورشیدی، ساعات آفتابی به عنوان اطلاعات پایه ضروری هستند. تابش خورشیدی انرژی لازم برای بسیاری از فرایندهای طبیعی و اقلیمی و چرخه‌های بیولوژیکی و جوی از جمله گردش عمومی هوا را تأمین می‌کند و رویدادهای جوی، اغتشاشات هوایی، پیدایش شرایط دمایی میانگین و مطلق، وضعیت بارشی و وزش بادهای طوفان‌ها به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم نتیجه تغییر در بیلان تابشی خورشید در سطح زمین است. علاوه بر این پراکنش جغرافیایی پوشش گیاهی، حیات وحش، مراحل فنولوژیک و رشد گیاهان، و به‌ویژه نحوه استقرار سیستم‌های پرفشار و کم‌فشار هوا که پیامد آن پیدایش دوره‌های خشک و مرطوب است، همه به‌نوعی تحت تأثیر تابش خورشیدی

بر اساس متغیرهای خورشیدی، دو نسبت مذکور و نیز بارش ماهانه با استفاده از توزیع استاندارد z استاندارد سازی و نمودارهای دوگانه<sup>3</sup> (DGM) مربوط به ایستگاه کرمانشاه ترسیم شد. در مرحله پایانی با استفاده از بارش ماهانه استاندارد شده و انتخاب برانده‌ترین واریوگرام و مدل درون‌یابی آن‌ها و کاربرد نرم‌افزار GS<sup>+</sup> نمودارهای گرافیکی سه گانه<sup>4</sup> خشکسالی - خورشیدی (TGM) با نرم‌افزار Surfer ترسیم گردید. مراحل تحقیق به شرح زیر می‌باشد.

### تصحیح اطلاعات و داده‌ها

برای تصحیح اطلاعات و داده‌های هواشناسی برای انجام پژوهش به دو روش زیر عمل گردید:

1- داده‌هایی که اشتباه بودن آن‌ها مشخص بود، مثل بعضی از داده‌های تابش دریافتی در سطح زمین که مقدار آن از تابش بالای جو بیش‌تر بود یا اعداد منفی در ستون‌های مربوط به ساعت آفتابی حذف گردید.

2- با فرض اینکه وابستگی کسر تابش  $H/H_0$  به کسر آفتابی  $S/S_0$  باید از 80 درصد بیش‌تر باشد، اصلاح داده‌ها به روش زیر انجام شد:

الف - با محاسبه تابش بالای جو ماهانه برای هر ایستگاه و بدست آوردن میانگین ماهانه تابش روی زمین از داده‌های هواشناسی، کسر تابشی روزانه،  $H/H_0$ ، محاسبه شد.

ب - با محاسبه طول روز برای هر شهر (طریقه محاسبه در بخش بعد آمده است) و با بدست آوردن میانگین ساعت آفتابی از داده‌های هواشناسی، کسر آفتابی روزانه  $S/S_0$  محاسبه شد.

ج - با در نظر گرفتن کسر تابشی روزانه  $H/H_0$  و به عنوان متغیر وابسته و کسر ساعت آفتابی  $S/S_0$  به عنوان متغیر مستقل به کمک نرم‌افزار SPSS در حالیکه متغیر خطای برآورد استاندارد (متغیر تصادفی که میانگین آن صفر و انحراف معیارش یک باشد) روی عدد 3 تنظیم شده‌است، بهترین خط رگرسیون بین متغیرهای  $H/H_0$  و  $S/S_0$  رسم می‌شود. داده‌هایی که مقدار خطای برآورد استانداردشان از 3 بیش‌تر باشد به عنوان داده‌های پرت (داده‌هایی که در مقایسه با دیگر داده‌ها اختلاف زیاد دارند) معرفی می‌شوند و باید حذف شوند (میرحسینی، 1381).

### طریقه محاسبه تابش فضایی و طول روز

برای بدست آوردن تابش روزانه فضایی روی سطح افق از رابطه زیر استفاده شد.

دارند. در ایران با توجه به گسترش بیابان‌های وسیع و وجود تابش خورشیدی برای تکمیل این گونه مباحث و رفع پاره‌ای از ابهامات، در این پژوهش ویژگی‌های گوناگون خشکسالی اقلیمی چون تشخیص زمان آغاز، پایان، تداوم، و امکان پیش‌بینی این پدیده بر اساس روابط بین این پدیده و متغیرهای خورشیدی به‌ویژه میزان انرژی تابشی دریافت شده در سطح زمین و تعداد ساعات آفتابی در اقلیم مختلف ایران مورد بررسی قرار گرفته است و این روابط با استفاده از تکنیک - های آماری و ریاضی و منطقی، مدل‌سازی و شبیه‌سازی خواهد شد. هدف اصلی پژوهش حاضر ابتدا بررسی امکان ارائه و توسعه مفهوم جدیدی از خشکسالی اقلیمی و ارزیابی ویژگی‌های همه‌جانبه آن بر اساس متغیرهای سه‌گانه هیدرومتئورولوژیکی و هواشناختی مرتبط با پدیده خشکسالی، چون بارش (mm)، تشعشع خورشیدی (MJ.M-1) و تداوم ساعات آفتابی (hr) در مقیاس ماهانه و حتی کم‌تر از آن در ایستگاه کرمانشاه است. به عبارت دیگر یافتن روابط بین این متغیرها و میزان تاثیر آن‌ها بر وقوع خشکسالی اقلیمی و در نهایت شبیه‌سازی و ارائه برانده‌ترین مدل‌های ریاضی و منطقی بین خشکسالی اقلیمی مورد اشاره در فوق است تا براساس روابط خاص بتوان پدیده خشکسالی اقلیمی و ویژگی‌های همه‌جانبه آن مانند زمان‌های آغاز، پایان، تداوم و شدت را تشخیص، ارزیابی و پیش‌بینی نمود. سپس ارائه دیدگاه‌ها و روش‌های ترسیمی نوینی چون نمودارهای دوگانه<sup>1</sup> و سه‌گانه خورشیدی - خشکسالی<sup>2</sup> است.

### مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر پس از بررسی و مرور پیشینه علمی موضوع ابتدا داده‌های هواشناختی مانند تابش خورشیدی رسیده به زمین ( $M_j$  m-2 d-1)، ساعت آفتابی (hr) و بارش (mm) ایستگاه همدیدی کرمانشاه در مقیاس زمانی ماهانه در دوره آماری 1350 تا 1390 از سازمان هواشناسی کشور (IRIMO) اخذ گردید. چون در سال‌های 1379 و 1380 دستگاه‌های تابش‌نگار از مدل KIPZONNEN-CCI به SOLRAD تغییر یافته و در این میان در موارد معدودی داده‌های تابش دارای خطا بودند و با توجه به اینکه نسبت بین تابش دریافتی در سطح زمین به تابش بالای جو ( $R_s/R_0$ ) باید کم‌تر از یک باشد، در مواردی که این نسبت بیش‌تر از یک بود، داده‌های پرت و دارای خطا حذف گردید. جدول 1 خصوصیات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه کرمانشاه را نشان می‌دهد.

در مرحله بعد براساس مدل آنگستروم، ضرایب این مدل در ایستگاه کرمانشاه واسنجی و نسبت بین متغیرهای خورشیدی ( $R_s/R_0$ ) و  $S/S_0$  به‌دست آمد. برای تعیین دوره‌های خشک و مرطوب

3 - Dual Graphic Method  
4 - Triple Graphic Method

1- DGM  
2- TGM

جدول 1- خصوصیات اقلیمی ایستگاه کرمانشاه

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح میانگین دریا	ماه دارای بیشینه تابش	ماه دارای بیشینه ساعت آفتابی	کم بارش ترین ماه سال
کرمانشاه	34° 21' N	47° 9' E	1318	ژوئن	جولای	اگوست

$$H_o = \frac{24 \times 3600}{\pi} \times 1353 \left[ 1 + 0.033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \left[ \cos\phi \cos\delta \sin\omega_s + \frac{2\pi\omega_s}{360} \sin\phi \sin\delta \right] \quad (1)$$

شدت تابش کل روزانه خورشید در یک سطح افق،  $\bar{H}$ ، به همان پارامتر برای روز با آسمان صاف،  $\bar{H}_c$  و کسر ساعات آفتابی  $S/S_o$  می باشد و به صورت زیر بیان می گردد.

$$\frac{\bar{H}}{H_c} = a' + b' \frac{n}{N} \quad (5)$$

که  $a'$  و  $b'$  ثابت‌های این معادله هستند (کمالی و مرادی، 1384).

### شاخص استاندارد یا نرمال<sup>3</sup>

براساس مبانی ریاضی، این تبدیل به گونه‌ای است که اگر هر عدد موجود در یک توزیع به نمره Z-Score تبدیل شود، میانگین نمره-های تبدیل شده صفر و انحراف معیار آن‌ها یک خواهد بود (Wu et al., 2001). شاخص استاندارد Z به‌ویژه جهت مقایسه چندین نوع داده‌های متفاوت و متعلق به توزیع‌هایی با میانگین‌ها و یا انحراف معیار مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای مثال بدین منظور ابتدا سری‌های زمانی ماهانه بارش  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$  به روش Z-Score استانداردسازی شد. سری‌های بارش ماهانه استاندارد شده (SMP)،  $x_i$  به این صورت تعریف می‌شود:

$$x_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s_x} \quad (6)$$

که در آن

$$\bar{x} = \text{میانگین حسابی سری زمانی}$$

$$s_x = \text{انحراف معیار سری زمانی}$$

$SMP^4 =$  بارش ماهانه استاندارد شده، است.

از دیدگاه نظری Z-Score، قسمت‌هایی از سطح زیرین تابع توزیع نرمال گوسین<sup>5</sup> است. از مزایای مهم نمایه SPI آن است که برای محاسبه آن فقط به دو پارامتر میانگین حسابی و انحراف معیار متغیر مورد بررسی نیاز است، در حالیکه تعیین شاخص‌های دیگر خشکسالی مانند پالمر مستلزم پارامترهای بیش‌تر و متعددی است.

که در این رابطه زاویه انحراف خورشیدی،  $\delta$ ، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{234 + n}{365}\right) \quad (2)$$

برای محاسبه زاویه انحراف برای هر روز به جای  $n$ ، در فرمول فوق شماره روز سال گذاشته شد، به این صورت که برای روز اول ماه ژانویه،  $n = 1$  در نظر گرفته شد.

همچنین زاویه ساعت معادل  $\theta_z = 90^\circ$  یعنی  $\omega_s$  هم از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\phi \tan\delta) \quad (3)$$

که  $\omega_s$  برای تک‌تک روزهای سال ایستگاه مورد نظر محاسبه شد و سپس میانگین ماهانه گرفته شد.

برای بدست‌آوردن کسر ساعت آفتابی، به طول روز،  $N$ ، نیاز می‌باشد که از رابطه زیر برای تمام روزهای سال محاسبه شد.

$$N = \frac{2}{15} \omega_s \quad (4)$$

### معادله خطی آنگستروم

روش برآورد میزان شدت تابش با استفاده از ساعات آفتابی، ابتدا به وسیله کمبل<sup>1</sup> در سال 1919 و پنج سال بعد، مینای ریاضی آن توسط آنگستروم<sup>2</sup> ارائه شد که امروزه بعد از گذشت سال‌ها، هنوز هم شکل اصلی آن بنام معادله آنگستروم کاربرد دارد. این معادله به‌دلیل سادگی، کاربرد گسترده‌ای در محاسبه تابش رسیده به سطح زمین دارد و برای مناطقی که روش مناسبی برای محاسبه تابش آن‌ها ارائه نشده و یا مقادیر تابش آن‌ها اندازه‌گیری نمی‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد (Allen et al., 1998). معادله آنگستروم-پرسکات به‌طور کلی به صورت زیر می‌باشد که در آن ضرایب  $a'$  و  $b'$  برای هر منطقه قابل محاسبه است.

معادله آنگستروم رابطه‌ای رگرسیون بین نسبت متوسط ماهانه

3 - Z SCORE

4 - standardized monthly precipitation

5 - Gaussian

1- Cambal

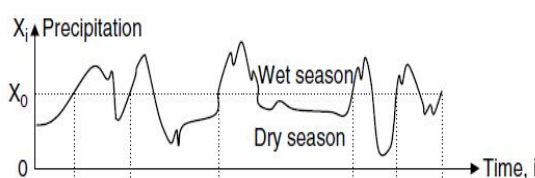
2- Angstrom

جدول 2 طبقات Z-Score مورد استفاده در سری‌های بارش ماهانه استاندارد شده SMP را نشان می‌دهد.

جدول 2- توصیف کیفی خشکسالی براساس شاخص نمره استاندارد

Z-Score		
علامت اختصاری	طبقه‌بندی خشکسالی	مقادیر نمایه
MID1	خشکسالی ملایم	0 تا -0.99
MOD2	خشکسالی متوسط	-1 تا -1/49
SED3	خشکسالی شدید	-1/5 تا -1/99
EXD4	خشکسالی بسیار شدید	-2 و کمتر

و به‌عنوان مثال ویژگی‌های مختلف خشکسالی در شکل 1 نشان داده شده است. چنانکه مشاهده می‌شود، SMP برای تعیین ویژگی‌های مختلف خشکسالی چون تداوم، بزرگی و شدت آن در مقیاس‌های گوناگون قابل استفاده است.



شکل 1- شکل ویژگی‌های خشکسالی

در پژوهش حاضر از این فرمول‌های بنیادین برای بررسی ویژگی‌های خشکسالی ایستگاه کرمانشاه استفاده گردید. رابطه‌ی بین متغیرهای خورشیدی و شدت خشکسالی به صورت نمودارهای پراکنش<sup>5</sup> با بهترین خط برازش، نشان داده شده، و سری زمانی SMP برای ترسیم نمودارهای سه‌گانه گرافیکی خشکسالی - خورشیدی مورد استفاده قرار گرفته است.

### درون‌یابی

روش‌های درون‌یابی مجموعه‌ای از مدل‌های مختلف ریاضی و آماری را برای پیش‌بینی مقادیر نامعلوم به کار می‌گیرند. آنچه مسلم است، شباهت نقاط مجهول به نزدیک‌ترین نقاط معلوم یا اصل نزدیک‌ترین همسایه که پایه روش‌های درون‌یابی است و اینکه چگونه این اصل مورد استفاده قرار می‌گیرد، بستگی به مدل انتخابی دارد. برای درک بهتر ساختار فضایی نمونه‌های برداشت شده و انتخاب

بهترین روش در درون‌یابی، خود همبستگی فضایی<sup>6</sup> بین نمونه‌ها مطالعه می‌شود. این بررسی را می‌توان با ترسیم فاصله بین نمونه‌ها و واریانس ارزش نمونه‌ها یا به عبارت دیگر تغییرنماها به دست آورد. تغییر نما، براساس این تفکر که خواص پدیده‌ها در مکان‌های نزدیک - تر شباهت بیش‌تری دارند تا در فاصله‌های دورتر، درجه وابستگی یا همبستگی بین نقاط را اندازه‌گیری می‌کند (غلام‌نیا و همکاران، 1393). با محاسبه و رسم تغییرنما در امتدادهای مختلف به آسانی می‌توان به وجود تغییرات در خود همبستگی‌ها پی برد. برای داده‌هایی که دارای روندهای موضعی تعریف شده‌ای باشند، روش کریجینگ، با کم‌ترین واریانس تخمین، درون‌یابی می‌کند که میزان خطای آن تابع مشخصات تغییرنما (ساختار فضایی) است. اگر مطالعات مربوط به واریوگرافی و تشخیص مدل تغییرنما با دقت کافی انجام شود درون‌یابی به روش کریجینگ، با دقت بالایی همراه خواهد بود. کریجینگ برای تخمین در درون‌یابی دو مدل کریجینگ معمولی و کریجینگ فراگیر را پیشنهاد می‌کند. کریجینگ معمولی بیانگر مدل‌های کروی<sup>7</sup>، دایره‌ای<sup>8</sup>، نمایی<sup>9</sup>، گوسی<sup>10</sup> و خطی<sup>11</sup> در تغییرنما است. بنابراین استفاده از تخمین‌گرهای زمین‌آمار می‌تواند دقت محاسبات را به دلیل در نظر گرفتن موارد فوق‌الذکر افزایش دهد. در این تحقیق برای درون‌یابی متغیرهای خورشیدی و بارش استاندارد شده در ایستگاه کرمانشاه از نرم‌افزار GS+ استفاده شد. ابتدا برازنده‌ترین تغییرنما و مدل درون‌یابی با استفاده از نرم‌افزار محاسبه و سپس مدل مناسب با نرم‌افزار SURFER به تغییرنما برازش داده شده است.

### روش سه‌گانه گرافیکی<sup>12</sup>

اگرچه در حال حاضر فرمول‌های رگرسیون چندگانه مختلفی ارائه شده‌اند که تابش خورشید را با متغیرهای دیگر مانند ساعات آفتابی، رطوبت، دما، ارتفاع مرتبط می‌سازد، اما همه آن‌ها مبتنی بر فرضیات محدودکننده‌ای هستند که مورد نیاز تکنیک‌های رگرسیون می‌باشند چنین مدل‌های رگرسیونی تغییرات جزئی را نشان نمی‌دهد و ترجیحاً به حالت قطعی و جبری<sup>13</sup> هستند. چنین مدل‌هایی بیانگر روابط ریاضی بوده و افزایش تعداد متغیرها، منابع خطا نیز افزایش می‌یابد و دقت مدل زیر سوال می‌رود. تغییرات سه بعدی را می‌توان با استفاده از سیستم مختصات کارتیزین و به صورت نقشه‌های منحنی میزان<sup>14</sup>

6 - Spatial autocorrelation

7 - Spherical

8 - Circular

9 - Exponential

10 - Gaussian

11 - Linear

12 - Triple graphical method

13 - deterministic

14- contour map

1- Mild drought

2- Moderate drought

3- Severe drought

4- Extreme drought

5 - scatter

صورت خطوط منحنی میزان نمایش داده می‌شود. با توجه به مراحل قبلی می‌توان مقادیر تخمینی تابش خورشیدی را برای هر جفت مفروض ساعات آفتابی و رطوبت نسبی بدست آورد. نمودارهای TGM را می‌توان برای دوره‌های زمانی مختلف (ساعت، روز، هفته، ماه و سال) تهیه نمود. به‌علاوه مقایسه دو نمودار TGM مربوط به مکان‌های مختلف می‌تواند تفاوت‌های اقلیمی بین آن‌ها را تا حد زیادی نشان دهد. تفاوت‌های بین تخمین توسط مدل انگستروم و برآورد TGM قابل مشاهده‌است و مهم‌ترین تفاوت آن‌ها مشارکت متغیر سوم یعنی بارش استاندارد در این مثال است.

## بحث و نتایج

### ارتباط بین خشکسالی و متغیرهای خورشیدی

در فصول خشک، تابش خورشیدی و مدت زمان آفتابی تا حداکثر میزان خود افزایش یافته و برعکس در فصول مرطوب کمینه مقادیر خود را دارند. مدت زمان آفتابی و تداوم آن در دوره‌های خشکسالی، نقش مؤثری داشته و خود تحت کنترل این رویدادهای طبیعی گوناگون می‌باشد. در هوای ابری مدت زمان آفتابی کم و امکان وقوع بارش بیش‌تر است، در حالیکه در شرایط آسمان صاف، مدت زمان آفتابی حداکثر و معمولاً بارش قابل توجهی رخ نمی‌دهد. اگر شرایط خشکی در چند فصل ادامه یابد خشکسالی به وقوع می‌انجامد. نسبت-های تابش خورشیدی و تعداد ساعات آفتابی را می‌توان با روش Z-Score به شرح زیر استاندارد نمود:

$$SSD = \frac{(S/S_0)t - (S/S_0)_{mean}}{\text{Standard deviation}} \quad (7)$$

$$SSI = \frac{(H/H_0)t - (H/H_0)_{mean}}{\text{Standard deviation}} \quad (8)$$

همانطور که اشاره گردید روابط فیزیکی خاصی بین تابش خورشیدی و تعداد ساعات آفتابی با بارش وجود دارد که می‌توان آن‌ها را به صورت زیر بیان نمود:

اگر ساعات آفتابی استاندارد شده رسیده به زمین (تابش دریافتی استاندارد شده) از میانگین آن کم‌تر، یا به عبارت دیگر کم‌تر از صفر و میزان بارش فصلی استاندارد شده بیش‌تر از صفر باشد، در این صورت شرایط اقلیمی مرطوب است.

اگر ساعات آفتابی استاندارد شده (تابش دریافتی استاندارد شده) و میزان بارش فصلی استاندارد شده از صفر بزرگ‌تر باشد شرایط

نمایش داد. در نقشه‌های معمولی تغییرات یک متغیر با متغیرهای مکانی شامل طول و عرض جغرافیایی یا جهات شمالی و شرقی آن‌ها بیان می‌گردد (Cressie., and Srivastava., 1989 Isaaks). از این رو، تخمین مقادیر متغیر مورد نظر بر روی نقشه با استفاده از مقادیر یک جفت از متغیرهای مکانی معلوم و متناظر آن میسر می‌گردد. به‌علاوه اگر پیش‌بینی شرایط خشکسالی با استفاده از پارامترهای اندازه‌گیری شده مانند رطوبت و دمای هوا مدنظر باشد، می‌توان متغیرهای اخیر را جایگزین دو متغیر مکانی نمود. سیرداس برای اولین بار این روش تهیه نقشه را در رساله دکترای خود پیشنهاد کرد. با استفاده از این روش می‌توان مقادیر کنونی یک متغیر را براساس مقادیر قبلی دو پارامتر مشابه دیگر بصورت نقشه ترسیم نمود. ساختار روش سه‌گانه ترسیمی (TGM) سه نوع متغیر را در بر می‌گیرد که از بین آن‌ها دو متغیر مستقل (پیش‌بینی) شامل تابش خورشیدی استاندارد شده<sup>1</sup> (SSI) و ساعات آفتابی استاندارد شده<sup>2</sup> (SSD) ساختار اصلی این نوع ترسیم را تشکیل داده و بارش ماهانه استاندارد شده<sup>3</sup> (SMP) متغیر وابسته تلقی می‌گردد که هر یک از مقادیر آن پس از محاسبه به هر زوج ارقام متغیرهای متناظر خود مرتبط و بر روی نمودار پراکنش اضافه می‌شود (Sirdas., 2002). مترون (1963) نشان داد که خطوط هم‌ارزش را با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آماری و از جمله روش کریجینگ می‌توان ترسیم نمود. در پژوهش حاضر، پس از ترسیم نمودار نقطه‌ای دو متغیر مستقل، مقادیر متغیر وابسته به این نمودار اضافه شده‌اند. عبارت دیگر این نوع نمایش، ترسیمی تلفیقی و مقایسه‌ای از نمودار پراکنش دو متغیر مستقل و نقشه منحنی‌های هم‌ارزش متغیر وابسته است. با این روش می‌توان نقشه‌ای تهیه نمود که به کمک آن ارزش‌های متغیر وابسته و مشخص شده بر روی نقشه را براساس مقادیر متغیرهای مستقل پیش‌بینی نمود. در راستای اجتناب از چنین محدودیت‌هایی، پیشنهاد می‌شود خطوط منحنی میزان مربوط به بارش ماهانه استاندارد شده بر اساس ساعات آفتابی و میزان تابش خورشیدی ترسیم شود. نمودار TGM نه‌تنها روابط متقابل بین متغیرهای 3 گانه فوق را نشان می‌دهد بلکه تغییرات جزئی‌تر در بازه زمانی گوناگون (ماهانه، فصلی، روزانه و سالانه) را نیز بیان می‌کند. برای دستیابی به این هدف می‌توان از دو جز مستقل به صورت هم‌زمان استفاده نمود که با تلفیق این پراسنج‌های 3 گانه می‌توان نمودارهای TGM نمایش داد. در این روش تخمینی محور عمودی در دستگاه مختصات نسبت ساعت آفتابی نجومی به ساعت آفتابی واقعی و محور افقی تابش رسیده به زمین به تابش بالای جو اختصاص می‌یابد و متغیر سوم به

1- Standardized Solar Irradiation

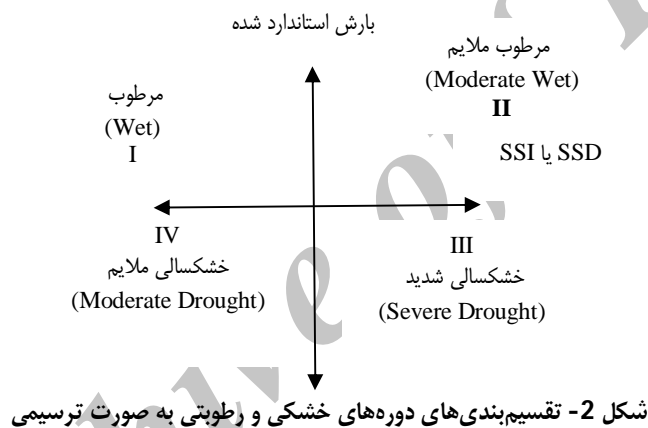
2- Standardized Sunshine Duration

3 - Standardized Month Precipitation

4 - Standardized Solar Duration (SSD)

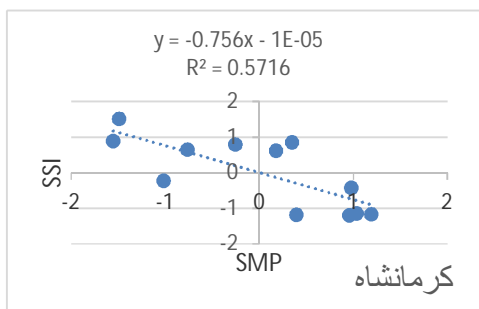
CSa می‌باشد. این ایستگاه در معرض جبهه‌های مرطوب مدیترانه‌ای قرار دارد که در برخورد با ارتفاعات زاگرس، موجبات ریزش برف و باران را فراهم می‌سازد. طبق شاخص بارش استاندارد شده در ایستگاه کرمانشاه شرایط خشکی از ماه می آغاز و تا اکتبر ادامه دارد به عبارتی 6 ماه خشک و 6 ماه شرایط مرطوب واقع می‌شود. چنانکه در نمودارهای دوگانه (DGM) خشکسالی خورشیدی (شکل 2) مشاهده می‌گردد، در ایستگاه کرمانشاه دو شرایط اقلیمی مرطوب و خشک قابل تمیز هستند، چند ماه در شرایط خشکی و چند ماه در شرایط مرطوب قرار می‌گیرند. رابطه خطی بین SSD و SMP از رابطه SSI قوی‌تر است. نتیجه قابل توجه اینکه با توجه به نمودارهای DGM وضعیت خشکی برخی از ماه‌ها نسبت به جدول توصیف کیفی خشکسالی و ترسالی براساس شاخص نمره استاندارد Z-Score (جدول 2) تغییر می‌یابد (جدول 3).

اقلیمی، نسبتاً مرطوب است. اگر ساعات آفتابی استاندارد شده (تابش دریافتی استاندارد شده) بیش‌تر از صفر و میزان بارش فصلی استاندارد شده کم‌تر از صفر باشد، شرایط خشکسالی شدید ایجاد می‌شود. اگر ساعات آفتابی استاندارد شده (تابش دریافتی استاندارد شده) و میزان بارش فصلی استاندارد شده کم‌تر از صفر باشد شرایط خشکسالی ملایم حاکم است. چنانکه مشاهده می‌شود نمودار مذکور با توجه به اصول حاکم بر آن که بدان اشاره شد، دارای 4 ربع است که هر ربع بیانگر شرایط رطوبتی و خشکی اقلیمی و محدوده‌های بین آن‌ها می‌باشد (Sirdas et al., 2007). برای بدست آوردن ارتباط بین خشکسالی هواشناسی و متغیرهای خورشیدی نمودارهای دوگانه خشکسالی - خورشیدی در ایستگاه کرمانشاه ترسیم شد. شکل 2 نمودارهای دوگانه خشکسالی - خورشیدی را نشان می‌دهد. آب و هوای ایستگاه کرمانشاه براساس سیستم طبقه‌بندی کوپن



جدول 3- وضعیت خشکی و رطوبتی در نمودارهای DGM و شاخص بارش استاندارد در ایستگاه کرمانشاه

ماه	وضعیت خشکی و رطوبتی ماه‌ها در نمودار رابطه بین تعداد ساعات آفتابی و بارش استاندارد شده	وضعیت خشکی و رطوبتی ماه‌ها در نمودار رابطه بین میزان تابش خورشیدی و بارش استاندارد شده	وضعیت خشکی و رطوبتی ماه‌ها با شاخص بارش استاندارد شده
ژانویه	مرطوب	مرطوب	نزدیک به نرمال
فوریه	مرطوب	مرطوب	نزدیک به نرمال
مارس	مرطوب	مرطوب	بسیار مرطوب
آوریل	مرطوب	مرطوب	نزدیک به نرمال
می	خشکی ملایم	خشکی ملایم	نزدیک به نرمال
ژون	خشکی شدید	خشکی شدید	خشکسالی متوسط
ژولای	خشکی شدید	خشکی شدید	خشکسالی متوسط
آگوست	خشکی شدید	خشکی شدید	خشکسالی متوسط
سپتامبر	خشکی شدید	خشکی شدید	خشکسالی متوسط
اکتبر	خشکی شدید	خشکی شدید	نزدیک به نرمال
نوامبر	نسبتاً مرطوب	مرطوب	نزدیک به نرمال
دسامبر	نسبتاً مرطوب	مرطوب	نزدیک به نرمال



شکل 4- نمودار رابطه بین تابش خورشیدی (SSI) و خشکسالی در ایستگاه کرمانشاه

### انتخاب برازنده ترین مدل درون یابی

اولین مرحله قبل از ترسیم نقشه های سه گانه خشکسالی - خورشیدی، تعیین تغییرنمای تجربی (SV) است. برای انتخاب روش مناسب ابتدا واریوگرام های مختلف با استفاده از نرم افزار + GS محاسبه و رسم شده اند. سپس مدل مناسب به واریوگرام برازش داده شده است که مشخصات آن در جدول زیر استفاده شده است. هر واریوگرامی که بیشترین  $R^2$  (ضریب تبیین) و کمترین RSS را دارا باشد، برازنده می باشد (جدول 4). با توجه به شکل های 3 و 4 در ایستگاه کرمانشاه روش کریجینگ، مدل گوسین با ضریب تبیین  $RSS = 0/247$  و  $0/935$  بهترین برازش را داشت.

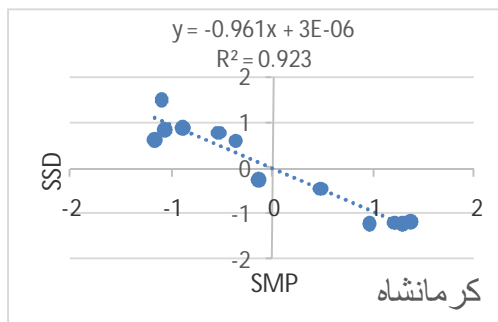
### نمودار سه گانه خشکسالی - خورشیدی

هدف اصلی این شیوه گرافیکی ترکیب سه متغیر متفاوت ولی مرتبط برای بررسی رفتار آن ها در دو بعد براساس نقشه کنتور تراز می باشد که جزئیات توضیح داده می شود. در این پژوهش مربعات حداقل و روش کریجینگ و IDW برای هدف های مختلف به کار رفته است. ابتدا از روش مربعات خطا برای بدست آوردن رابطه بین دو متغیر خورشیدی استفاده و سپس با انتخاب روش های مناسب مانند کریجینگ و IDW، متغیر سوم (SMP) به عنوان نقشه پایه وارد شده است (Sirdas et al., 2002). این روش نه تنها برای متغیرهای کلیماتولوژی بلکه برای تخمین شدت خشکسالی وابسته به تابش خورشیدی و ساعات آفتابی نیز به کار می رود. برخی از متغیرهای مهندسی خورشیدی مانند ضرایب معادله آنگستروم نیز قابل تخمین است. شکل 5 نمودار سه گانه خشکسالی - خورشیدی می باشد که تغییرات شرایط خشکسالی وابسته به تابش خورشیدی ( $H/H_0$ ) و ساعات آفتابی (S/SO) را آشکار می سازد. علاوه بر این خط ترسیم شده ضرایب مدل آنگستروم (a و b) را نمایش می دهد. اگر یکی از پارامترها موجود نباشد می توان از این معادله بدست آورد، همانطور که

زیرا در محاسبه شاخص بارش استاندارد شده فقط مقادیر بارش ماهانه مدنظر می باشد، اما اگر تأثیر هر یک از متغیرهای خورشیدی به عنوان یک عامل هواشناختی در وضعیت خشکی و رطوبتی ماه های سال بررسی گردد، مشاهده می شود که با منظور نمودن هر یک یا هر دوی این متغیرها این وضعیت تغییر نموده و بر این اساس می توان شرایط اقلیمی هر ماه بر حسب وضعیت خشکسالی - خورشیدی آن مجدداً تعریف نمود، مثلاً در ایستگاه کرمانشاه با توجه به متغیرهای خورشیدی و بارش استاندارد شده ماه اکتبر وضعیت خشکی شدید ولی با بارش استاندارد شده به تنهایی نزدیک به نرمال (0/99-0/99) می باشد.

همانگونه که زاده پیشنهاد کرده این قواعد را می توان برای یک سیستم استنتاج منطق فازی نیز به کار برد. در این تحقیق برای نمایش ترسیمی روابط بین خشکسالی اقلیمی و هر یک از متغیرهای خورشیدی (ساعات آفتابی و تابش خورشیدی) از این روش شماتیک که به روش ترسیمی دوگانه<sup>1</sup> استفاده شده است و با توجه به متفاوت بودن واحدهای اندازه گیری هریک از متغیرهای مذکور این پارامترها به صورت استاندارد شده و بدون بعد استفاده گردیده است (Zadeh., 1968). شرایط و تقسیم بندی های مذکور به صورت ترسیمی در شکل 2 نشان داده شده است.

بنابراین این تمایز اقلیمی را می توان براساس یافته های فوق از ویژگی های اقلیمی این ایستگاه تلقی نمود. با توجه به نمودارهای DGM وضعیت خشکی برخی از ماه ها نسبت به جدول توصیف کیفی خشکسالی و ترسالی براساس شاخص SPI تغییر می یابد. زیرا در محاسبه شاخص بارش استاندارد شده فقط مقادیر بارش ماهانه مدنظر می باشد، اما اگر تأثیر هریک از متغیرهای خورشیدی به عنوان یک عامل هواشناختی در وضعیت خشکی و رطوبتی ماه های سال بررسی گردد، مبنایی برای ارائه یک روش جدید تشخیص وضعیت خشکی و رطوبتی ماه های سال بدست می آید که می توان شرایط اقلیمی هر ماه برحسب وضعیت خشکسالی - خورشیدی آن مجدداً تعریف نمود.



شکل 3- نمودار رابطه بین تعداد ساعات آفتابی (SSD) و خشکسالی در ایستگاه کرمانشاه

1 - Dual Graphic Method (DGM)



### نتیجه گیری

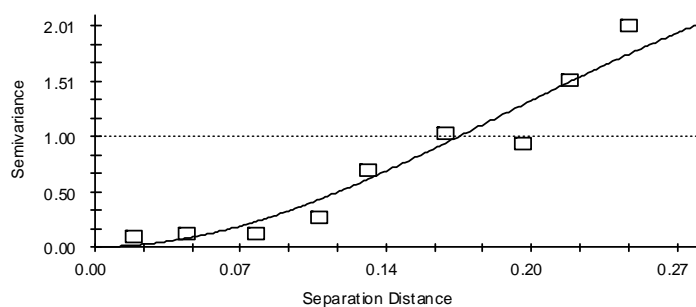
می توان ویژگی های همه جانبه خشکسالی اقلیمی مانند زمان آغاز، پایان، تداوم و شدت را در مقیاس های ماهانه و حتی کم تر براساس مقادیر متغیرهای خورشیدی برآورد نمود. چنانکه در شکل 5 و جدول 4 دیده می شود، می توان در ایستگاه کرمانشاه با اعتبار بالا ( $R^2=0/89$ ) و ( $RSS=0/574$ )، مقادیر بارش استاندارد را با توجه به مقادیر استاندارد شده متغیرهای خورشیدی برآورد نمود و هر شدت خشکسالی اقلیمی را بر حسب آستانه های کمی هریک از متغیرهای خورشیدی مشخص نمود.

مشهود است با استفاده از این نمودارها دو ناحیه متفاوت و سه متغیر، می تواند مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. ایستگاه کرمانشاه در پهنه غربی ایران واقع شده است. روش ارائه شده در این پژوهش، در ایستگاه کرمانشاه کارایی زیادی دارد. همانطور که در نمودارهای TGM مشاهده می شود در این ایستگاه شرایط خشکی بیش تر تابع ساعات آفتابی است و طبق شکل 5 با افزایش نسبت  $S/S_0$  مواجهه با افزایش شدت خشکی و تداوم ماه های خشک می باشد. ماه های خشک از ماه می آغاز و تا اواخر اکتبر ادامه دارد که شامل ماه های می، ژوئیه، ژون، آگوست، سپتامبر و اکتبر است. در ایستگاه کرمانشاه محدوده متغیرهای تابشی در دوره خشکی  $H/H_0$  0/5-0/56 و  $S/S_0$  0/644-0/84 می باشد و خشکی شدید بیش تر تحت تأثیر ساعت آفتابی می باشد.

جدول 4- مشخصات واریوگرام حاصل از مقادیر SMP و متغیرهای خورشیدی در روش کریجینگ و مدل های مختلف در ایستگاه کرمانشاه

مدل	Nugget Co	Sill Co+C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	R <sup>2</sup>	RSS
1 کروی	0/001	3/012	0/7060	0/7060	1/00	0/852	0/667
2 نمایی	0/001	3/012	0/3930	1/179	1/00	0/852	0/880
3 خطی	0/001	2/267	0/3610	0/3610	1/00	0/894	0/62
Linear to sill	0/001	2/267	0/3610	0/3610	1/00	0/894	0/62
4 گوسی	0/001	3/012	0/2650	0/159	1/00	0/935	0/247

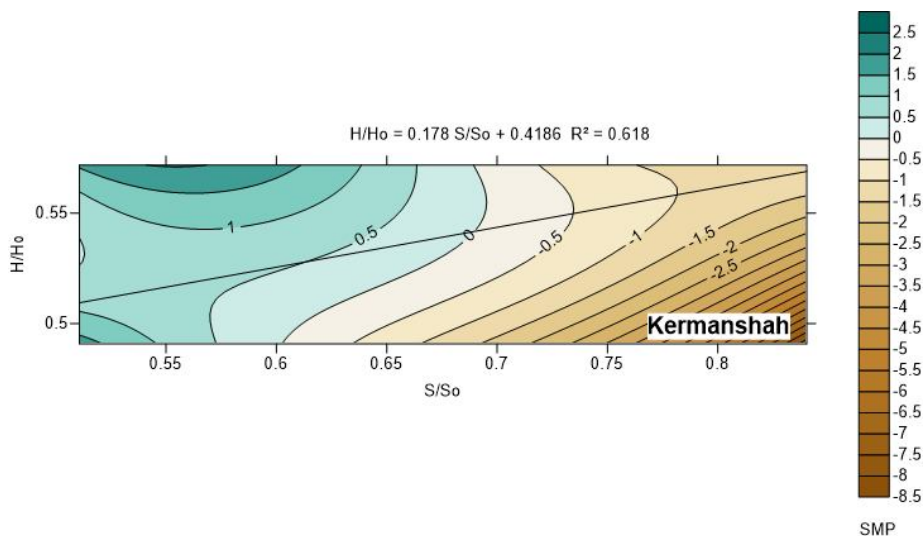
Isotropic Variogram of Kermanshah



Gaussian model (Co = 0.0010; Co + C = 3.0120; Ao = 0.27;  $r^2 = 0.935$ ;  
RSS = 0.247)

شکل 5- نمودار تغییر نمای ایستگاه کرمانشاه

- 1 - Spherical
- 2 - Exponential
- 3 - Linear
- 4 - Gaussian



شکل 6- نمودار TGM در ایستگاه کرمانشاه

- تابش خورشیدی در این ایستگاه با دقت و اعتبار بالا ارائه شده است. چنانکه مشاهده می‌شود با توجه به نمودارهای سه‌گانه می‌توان:
- تغییرات کمی و کیفی خشکسالی و ترسالی بر حسب دو متغیر خورشیدی را بررسی نمود.
- با توجه به ارقام خطوط منحنی میزان می‌توان شدت خشکسالی را در هر ماه و حتی بین هر ماه مشاهده نمود.
- با توجه به تغییرات شیب خط فرضی که به طور مستقیم هر دو ماه متوالی را به یکدیگر متصل می‌کند می‌توان روند خشکی را بررسی نمود.
- علاوه بر این با توجه به این نمودار می‌توان تشخیص داد که تغییرات ماهانه خشکسالی بیش‌تر تحت تأثیر کدام متغیرهای خورشیدی است مثلاً در ایستگاه کرمانشاه تغییرات بیش‌تر تحت تأثیر تعداد ساعت آفتابی است.
- از همه مهم‌تر روابط خشکسالی را با دو متغیر خورشیدی به صورت ماهانه و بین ماهانه قابل بررسی و می‌توان چنین ادعا نمود که این پژوهش روشی جدید برای تشخیص آغاز، تداوم، شدت و پایان خشکسالی اقلیمی براساس بارش استاندارد شده در مقادیر کمی خورشیدی (تعداد ساعات آفتابی و تابش دریافتی) ارائه نموده‌است.

### منابع

- کمالی، غ.غ. و نیکزاد، م. 1368. شاخص‌های هواشناسی در خشکسالی کشاورزی. نیوار، 6.
- غلام‌نیا، م. مبین، م.ج.، سودایی‌زاده، ح. 1393. ارائه یک مدل عمومی برای برآورد انرژی خورشیدی روزانه در یزد، اولین همایش ملی

با توجه به جدول 3 محدودده زمانی آغاز دوره خشک، پایان و تداوم دوره خشک مشخص می‌شود. با توجه به این شکل خشکسالی در ایستگاه کرمانشاه از اواخر می شروع شده و شامل ماه‌های ژون، ژولای، سپتامبر، اکتبر است و تا اواخر اکتبر ادامه دارد. محدودده متغیرهای تابشی در دوره‌ی خشکی  $H/H_o$  0/5-0/56 و  $S/S_o$  0/644-0/84 می‌باشد. نشان می‌دهد که ایستگاه کرمانشاه با افزایش نسبت  $S/S_o$  مواجه با افزایش شدت خشکسالی و تداوم ماه‌های خشک می‌باشد. در این ایستگاه 6 ماه خشک و 6 ماه مرطوب وجود دارد. روش‌های ترسیمی دوگانه (DGM) و سه‌گانه (TGM)، به شرط دسترسی به داده‌ها و اطلاعات لازم در انجام چنین تحقیقاتی مفید و کارا می‌باشند. بررسی‌های انجام شده بیانگر آن است که تاکنون در این زمینه در ایران مطالعه‌ای صورت نگرفته و پژوهش حاضر در واقع نخستین نمونه تحقیقاتی در کشور محسوب می‌شود. این تحقیق در مقیاس زمانی ماهانه انجام شده اما اگر تحقیقات آتی براساس تقویم ژولیوسی صورت گیرد، موضوع مورد بررسی در مقیاس زمانی روزانه و حتی کم‌تر از آن نیز قابل مطالعه است. میزان شیب خط رگرسیونی معادله مربوط به تخمین خشکسالی اقلیمی بر مبنای متغیرهای خورشیدی، پایه‌ای جهت تصمیم‌گیری برای استفاده از روش ترسیمی سه‌گانه در بررسی روابط بین خشکسالی اقلیمی و متغیرهای مذکور و اعتبارسنجی مدل‌های ارائه شده‌است. با بررسی نمودار ایستگاه کرمانشاه مبین آن است که میزان شیب این خط به نوعی تمایز فصلی دوره خشک و بارشی را نشان می‌دهد. یعنی هرچه شیب این خط بیش‌تر باشد، سال از دو فصل متمایز و متباین خشک و بارشی تشکیل شده و روش‌های تحلیلی DGM و TGM از کارایی بیش‌تری برخوردارند.

علاوه بر این در این نمودارها معادله آنگستروم جهت تخمین

- Riebsame, W.E., Changnon, S.A., Karl, T.R., 1991: Drought and Natural Resources Management in the United States: Impacts and Implications of the 1987-89 Droughts. Westview Press: Boulder: 174.
- Sen, Z.O., Ztopal, A., Sahin, A.D. 2001. Application of genetic algorithm for determination of Angstrom equation coefficients. Energy Conversion and Management 42: 217-231.
- Sen, Z. 2008. Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques. Istanbul Technical University.
- Sirdas, S., Sen, Z. 2003. Spatio-temporal drought analysis to the Trakya region, Turkey. Hydrological Sciences Journal 48.5: 809-820.
- Sirdas, S. 2002. Meteorolojik Kuraklık Modellemesi ve Türkiye Uygulaması (Meteorological drought modelling and application to Turkey). PhD Thesis, Institute of Science and Art, Istanbul Technical University.
- Trenberth, K.E., Branstator, G.W. 1992. Issues in establishing causes of the 1988 drought over North America. Journal of Climate. 5.2: 159-172.
- Wu, H., Hayes, M.J., Weiss, A., Hu, Q. 2001. An evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China-Z Index and the statistical Z-Score. International Journal of Climatology 21: 745-758.
- Zadeh, L.A. 1968. Fuzzy algorithms. Information and Control 12, pp: 94-102.
- بهداشت محیط، سلامت و محیط زیست پایدار، همدان، 1393.
- میرحسینی، س.ع. 1381. تعیین ضریب صافی هوا برای شهرهای مختلف ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف تهران، 1381.
- Allen, R.G. 1998. Evaluation of Procedures for Estimating Mean Monthly Solar radiation from air temperature. FAO, Rome.
- Angstrom, A. 1924. Solar and terrestrial radiation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 50: 121-125.
- Banglapedia, E. 2003. National Encyclopedia of Bangladesh, Islam, and S. edited, Asiatic Society of Bangladesh.
- Cressie NAC. 1993. Statistics for Spatial Data, revised edition Wiley: New York; 900 pp.
- Folland, C.K., Karl, T.R., Salinger, M.J. 2002. Observed climate variability and change. Weather (Royal Meteorological Society) 57.8: 269-278.
- Isaaks, E.H., Srivastava, R.M. 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford: Oxford University Press; 561 pp.
- Journel, A., Huijbregts, A. 1978. Mining Geostatistics. London: Academic Press.
- Karl, T.R., Trenberth, K.E. 2003. Modern global climate change. Journal of Science 302: 1719-1723.

Archive

## Relationship Between Drought and Solar Irradiation variables in Kermanshah Station

M.H. Mobin<sup>1</sup>, A. Gholamnia<sup>2</sup>, R. ebrahimi<sup>3\*</sup>

Received: Apr.10, 2016

Accepted: Jul.20, 2016

### Abstract

Drought prediction for in many regions of the world has critical importance for strategic planning agriculture and water management. The occurrence of droughts cannot be predicted with certainty and thus must be treated as random variables. It is the main purpose of this paper to develop a new concept of drought features assessments based on triple drought related hydro meteorological and meteorological variables, namely, rainfall, solar irradiation and sunshine duration. At first scatter diagram of rainfall, solar irradiation and sunshine duration are drawn as named Dual Graphic Method (DGM) and observed monthly drought condition are change compare SMP values table. Equal standard rainfall lines are drawn as a map with two reference variables as solar irradiation and sunshine duration. These are referred to as the triple graphical method (TGM) approach. It furnishes rich features of drought behavior variation based on the rainfall, solar irradiation and sunshine duration. This analysis and the solar irradiation estimation method are applied to Kermanshah stations in the Republic of Iran for the monthly data period 1970–2010. The linear relations between drought and the variables of the Angstrom equation are found 0.61. TGM graphs help to identify not only precipitation surplus (wet spells) or deficits (dry spells droughts) but also their variations with two more meteorological variables as solar irradiation and sunshine duration.

**Key words:** Drought, triple graphical method (TGM), Kermanshah, Angstrom equation, Solar irradiation, Sunshine duration, Dry and wet season

Archive of SID

1- Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Yazd University

2 -Ph.D. Student in Combat to Desertification, Faculty of Natural Resources, Yazd University

3- Ph.D Student in Climatology, Yazd University

(\* - Corresponding Author Email: [Ebrahimi7679@yahoo.com](mailto:Ebrahimi7679@yahoo.com))