

بررسی روابط بین خشکسالی اقلیمی و متغیرهای خورشیدی در ایستگاه

هواشناسی یزد

اعظم غلام نیا*، دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد، ایران
محمد حسین مبین، استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی،
دانشگاه یزد، ایران

حمید سودایی‌زاده، دانشیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی،
دانشگاه یزد، ایران

چکیده

در قرن اخیر تغییرات اقلیمی و تحولات اقتصادی- اجتماعی کشورهای جهان موجب توجه فزاینده مردم به پدیده خشکسالی گردیده، به طوری که پیش‌بینی، تشخیص و ارزیابی اثرات این پدیده در بسیاری از کشورها از جهات گوناگون در برنامه‌ریزی راهبردی کشاورزی و مدیریت منابع آب اهمیت بحرانی یافته است. از طرفی رخداد این پدیده را با اطمینان کامل نمی‌توان پیش‌بینی کرد، بلکه 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 سه گانه بین خشکسالی و متغیرهای هواشناختی مانند بارندگی، تابش خورشیدی و ساعات آفتابی است. بدین منظور با استفاده از داده‌های هواشناختی ایستگاه همدیدی یزد در دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۱۰، ابتدا نمودارهای دوگانه‌ی خشکسالی- خورشیدی (DGM) در ایستگاه یزد ترسیم شد و مشاهده گردید وضعیت خشکی برخی از ماه‌ها نسبت به جدول توصیف کیفی خشکسالی و ترسالی براساس شاخص نمره استاندارد Z-Score تغییر می‌یابد. در مرحله‌ی بعد نقشه منحنی‌های هم‌ارزش بارش استاندارد شده ترسیم و متغیرهای معادله آنگستروم چون تابش خورشیدی و ساعات آفتابی به‌عنوان متغیرهای مرجع رسم شد. این تکنیک که به‌عنوان روش سه گانه ترسیمی (TGM) موسوم است، الگوهای رفتاری بین پدیده خشکسالی و متغیرهای تابش خورشیدی و ساعات آفتابی را به‌صورت بارز نمایان می‌سازد. نتایج نشان داد که رابطه رگرسیون خطی بین خشکسالی و معادله آنگستروم $0/80$ و در دوره‌های خشکی، دامنه‌ی کمی متغیرهای تابشی H/H_0 ، S/S_0 به ترتیب $0/76-0/71$ و $0/79-0/66$ می‌باشد.

کلمات کلیدی: خشکسالی، روش سه‌گانه‌ی گرافیکی، یزد، معادله‌ی آنگستروم، تابش خورشیدی، ساعات آفتابی، دوره‌های خشک و مرطوب

مقدمه

در دهه‌های اخیر تغییرات اقلیمی و تحولات اقتصادی-اجتماعی کشورهای جهان و به‌ویژه ایران، به‌عنوان 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 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 دراز مدت در جامعه، بیشتر از سایر بلاهای 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 (بنگلاپدیا ۲۰۰۳) بر طبق نتایج اخیر (فولاند، ۲۰۰۲) پیش‌بینی خشکسالی به موازات قطعی شدن پدیده‌ی افزایش جهانی دمای هوا از دهه‌ی ۱۹۷۰ به بعد که این 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 (کارل و ترنبرث، ۲۰۰۳). مطالعات موسسه ارزیابی فناوری (OTA، ۱۹۹۳) 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 طولانی مدت‌تر 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 ساله‌ی خشکسالی اقلیمی برای بهبود برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آبی بسیار مهم قلمداد می‌شود. خشکسالی در سال ۱۹۸۸ توام با امواج گرما در میانه‌ی غربی آمریکا منجر به ۳۹ میلیارد خسارت و افزایش نرخ مرگ و میر ناشی از

گرما گردید (رایسام، ۱۹۹۱ و نرنبرث و برنستاتور، ۱۹۹۲). 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 به عمل آمده یک تعریف مشخص و منحصر بفرد برای خشکسالی و شاخص‌های آن که برای استفاده در همه‌ی زمینه‌ها کاربرد داشته باشد، ارائه نشده، اگرچه تعاریف متفاوتی توسط ویلهایت و گلاتنز (۱۹۸۵)، 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 این رو 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 فرآیندهای طبیعی و اقلیمی و چرخه‌های بیولوژیکی و جوی از جمله گردش عمومی هوا را تامین می‌کند و رویدادهای جوی، اغتشاشات هوایی، پیدایش شرایط دمایی میانگین و مطلق، وضعیت بارشی و وزش بادها و طوفان‌ها به طور مستقیم یا غیر مستقیم 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 به ویژه نحوه استقرار سامانه‌های پرفشار و کم فشار هوا که پیامد آن پیدایش دوره‌های خشک و مرطوب است، همه به نوعی تحت تاثیر تابش خورشیدی دریافتی در سطح زمین می‌باشد و ضروری است تاثیر هریک 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، اما در هر یک 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) به‌خاطر اینکه محاسبه‌ی آن آسان و فقط به داده‌های بارش نیاز دارد، مورد تاکید قرار گرفته است. بررسی‌های انجام شده بیانگر این است که در زمینه‌ی موضوع پژوهش حاضر و به‌ویژه روش و مراحل انجام آن در ایران هیچ‌گونه بررسی‌های مشابهی صورت نگرفته، اما در سطح جهان سیرداس (۲۰۰۲) در رساله‌ی دکترای خود این موضوع را برای اولین بار پیشنهاد کرد و در سال ۲۰۰۸ 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 دوره‌ی زمانی ۱۹۸۲-۱۹۹۱ در هفت ایستگاه همدیدی ترکیه با کاربرد روش سه‌گانه‌ی ترسیمی، خشکسالی‌های اقلیمی را در رابطه با پراسنج‌های معادله‌ی خطی آنگستروم-پراسکات پیش‌بینی نمود. در این پژوهش برمبنای تکنیک کریجینگ مدل گوسین نمودارهای سه‌گانه‌ی خشکسالی-خورشیدی ترسیم گردید. سن (۲۰۰۸) نیز در کتاب خود از این روش به‌عنوان TDSIM نام برده و معتقد است که مدل‌های رگرسیونی چندگانه‌ی 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 به‌طور همزمان تفسیر کرد. آلتونکایناک و همکاران (۲۰۰۳) در تحقیقی با روشی مشابه، نوسانات سطح آب دریاچه‌ی وان در ترکیه را مورد بررسی

قرار دادند. در این تحقیق، روش دیاگرام‌های سه‌گانه براساس تکنیک کریجینگ به‌کار رفته است و در نتیجه مشخص گردیده است که این روش نسبت به روش‌های دیگر مانند مارکوف و اریما برای پیش‌بینی و مدل‌سازی تصادفی^۱ کارایی بیشتری دارد؛ زیرا روش‌های مذکور اساساً دارای ساختار خطی و غالباً برای سری‌های ایستا کاربرد داشته و به هر حال توانایی محدودی در مدل‌کردن سری‌های نایستا و پدیده‌هایی که دارای ماهیت غیرخطی هستند، دارند. در ایران با توجه به گسترش بیابان‌های وسیع و وجود تابش خورشیدی برای تکمیل این‌گونه 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 ایستگاه همدیدی مورد بررسی قرار گرفته است و این روابط با استفاده از تکنیک‌های 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 پراسنج‌های سه‌گانه آب و هواشناسی 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 یزد است. به‌عبارت دیگر یافتن روابط بین این متغیرها و میزان تاثیر آن‌ها بر وقوع خشکسالی اقلیمی و در نهایت شبیه‌سازی و ارائه برازنده‌ترین 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 کرد. سپس ارائه‌ی دیدگاه‌ها و روش‌های ترسیمی نوینی چون نمودارهای دوگانه^۲ و سه‌گانه‌ی خورشیدی-خشکسالی^۳ است.

1- stochastic modelling

2- DGM

3- TGM

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر پس از بررسی و مرور پیشینه‌ی 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 یزد در مقیاس زمانی ماهانه در دوره آماری ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰ از سازمان هواشناسی کشور^۱ اخذ گردید. چون در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۷۹ 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 ۱ خصوصیات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه یزد را نشان می‌دهد.

جدول ۱. خصوصیات اقلیمی ایستگاه یزد

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح میانگین دریا	ماه دارای بیشینه تابش	ماه دارای بیشینه ساعت آفتابی	کم بارش‌ترین ماه سال
یزد	۳۱ ۵۴	۵۴ ۱۷	۱۲۳۷/۲	ژوئن	جولای	آگوست

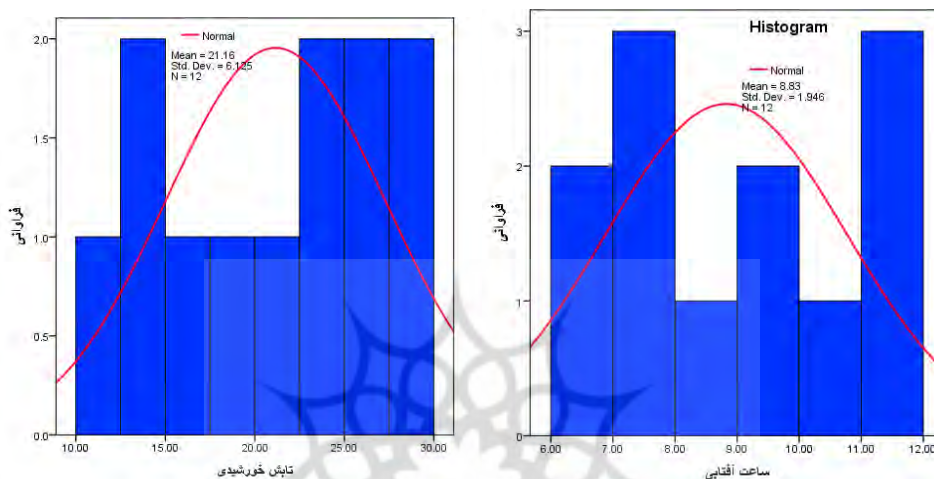
در این تحقیق به منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از روش کلموگراف - اسمیرنوف^۲ استفاده گردید. چنانکه در شکل ۱ (منحنی قرمز) مشاهده می‌شود، داده‌های مورد استفاده در این تحقیق دارای توزیع نرمال بودند، از این جهت، تبدیلی روی آنها جهت نرمال کردن داده‌ها انجام نشد. هیستوگرام فراوانی (شکل ۱) و خصوصیات آماری داده‌های تابش خورشیدی و ساعات آفتابی در ایستگاه یزد در جدول شماره ۲ خلاصه شده است.

1- IRIMO

2- Kolmogorov-Smirnov

جدول ۲. خصوصیات آماری داده‌های ایستگاه یزد

پارامتر	میانگین	متوسط خطای استاندارد	چولگی	حداقل	حداکثر
تابش خورشیدی	۱۸/۵۷	۰/۶۳	-۰/۲۴۲	۱۱/۹۳	۲۹/۲۷
ساعات آفتابی	۸/۸۲	۰/۶۳۷	۰/۰۶۹	۶/۱۴	۱۱/۴۵



شکل ۱. هیستوگرام فراوانی متغیرهای تابش خورشیدی و ساعات آفتابی در ایستگاه یزد

در مرحله‌ی بعد براساس مدل آنگستروم، ضرایب این مدل در ایستگاه یزد و اسنچی و نسبت بین متغیرهای خورشیدی (R_s/R_0 و S/S_0) به دست آمد. برای تعیین دوره‌های خشک و مرطوب براساس متغیرهای خورشیدی، دو نسبت مذکور و نیز بارش ماهانه با استفاده از توزیع استاندارد z استانداردسازی و نمودارهای دوگانه (DGM) مربوط به ایستگاه یزد ترسیم شد. در مرحله‌ی پایانی با استفاده از بارش ماهانه‌ی استاندارد شده و انتخاب برازنده‌ترین واریوگرام و مدل درونیابی آن‌ها و کاربرد نرم‌افزار GS^+ نمودارهای گرافیکی سه گانه^۲ خشکسالی-خورشیدی (TGM) با نرم‌افزار Surfer ترسیم گردید. مراحل تحقیق به شرح زیر است:

- 1- Dual Graphic Method
- 2- Triple Graphic Method

۱- تصحیح اطلاعات و داده‌ها

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

۱- 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.

۲- با فرض اینکه وابستگی کسر تابش H/H_0 به کسر آفتابی S/S_0 باید از ۸۰ درصد بیشتر باشد، اصلاح داده‌ها به روش زیر انجام شد:

الف- با محاسبه تابش بالای جو ماهانه برای ایستگاه یزد با استفاده از معادلات شماره‌ی ۱ تا ۴ و به‌دست 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 به‌دست 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 به‌عنوان متغیر وابسته و کسر ساعت آفتابی S/S_0 به‌عنوان متغیر مستقل به کمک نرم افزار SPSS در حالی که متغیر خطای برآورد استاندارد (متغیر تصادفی که میانگین آن صفر و انحراف معیارش یک باشد)، روی عدد ۳ تنظیم شده است، بهترین خط رگرسیون بین متغیرهای H/H_0 و S/S_0 رسم می‌شود. داده‌هایی که مقدار خطای برآورد استانداردشان از ۳ بیشتر باشد، به‌عنوان داده‌های پرت (داده‌هایی که در مقایسه با دیگر داده‌ها اختلاف زیاد دارند) معرفی می‌شوند و باید حذف شوند (میرحسینی، ۱۳۸۱).

۲- طریقه محاسبه تابش فضایی و طول روز

برای به‌دست آوردن تابش روزانه فضایی روی سطح افق از رابطه زیر استفاده شد (کمالی و مرادی، ۱۳۸۴):

(۱)

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

که در این رابطه زاویه انحراف خورشیدی، δ ، از رابطه زیر به دست می آید:

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{234 + n}{365}\right) \quad (۲)$$

برای محاسبه زاویه انحراف برای هر روز به جای n ، در فرمول فوق شماره روز گذاشته شد، به این صورت که برای روز اول ماه ژانویه، $n = 1$ و برای آخرین روز سال $n = 365$ در نظر گرفته شد.

همچنین زاویه ساعت معادل $\varphi_z = 90$ یعنی ω_s هم از رابطه زیر به دست می آید:

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta) \quad (۳)$$

که ω_s برای تک تک روزهای سال ایستگاه مورد نظر محاسبه شد و سپس میانگین ماهانه گرفته شد.

برای به دست آوردن کسر ساعت آفتابی، به طول روز (N)، نیاز است که از رابطه زیر برای تمام روزهای سال محاسبه شود:

$$N = \frac{2}{15} \omega_s \quad (۴)$$

۳- معادله خطی آنگستروم

روش برآورد میزان شدت تابش با استفاده از ساعات آفتابی، ابتدا به وسیله کمبل^۱ در سال ۱۹۱۹ و پنج سال بعد، مبنای ریاضی آن توسط آنگستروم^۲ ارائه شد که امروزه بعد از گذشت سالها، هنوز هم شکل اصلی آن به نام معادله آنگستروم کاربرد دارد. این معادله به دلیل سادگی، کاربرد گسترده‌ای در محاسبه تابش رسیده به سطح زمین دارد و

1- Cambal

2- Angstrom

برای مناطقی که روش مناسبی برای محاسبه تابش آن‌ها ارائه نشده و یا مقادیر تابش آن‌ها اندازه‌گیری نمی‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). معادله آنگستروم-پرسکات به‌طور کلی به‌صورت زیر می‌باشد که در آن ضرایب a' و b' برای هر منطقه قابل محاسبه است.

معادله آنگستروم رابطه‌ای رگرسیون بین نسبت متوسط ماهانه 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_0 می‌باشد و به‌صورت زیر بیان می‌گردد.

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

که a' و b' ثابت‌های این معادله هستند (کمالی و مرادی، ۱۳۸۴).

۴- شاخص استاندارد یا نرمال^۱

بر اساس مبانی ریاضی، این تبدیل به‌گونه‌ای است که اگر هر عدد موجود در یک توزیع به نمره Z-SCORE تبدیل شود، میانگین نمره‌های تبدیل شده صفر و انحراف معیار آن‌ها یک خواهد بود (وو و همکاران، ۲۰۰۱). 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 استاندارد سازی شد. سری-های بارش ماهانه استاندارد شده (SMP)، X_1 به این صورت تعریف می‌شود (سن، ۲۰۰۸):

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

که در آن:

1- Z SCORE

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

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

SMP^۱ = بارش ماهانه استاندارد شده، است.

از دیدگاه نظری Z-SCORE، قسمت‌هایی از سطح زیرین تابع توزیع نرمال گوسین^۲ 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 حالی که تعیین شاخص‌های دیگر خشکسالی مانند پالمر مستلزم پارامترهای بیشتر و متعددی است. در جدول ۲ طبقات Z-SCORE مورد استفاده در سری‌های بارش ماهانه استاندارد شده SMP را نشان می‌دهد (سیرداس و سن، ۲۰۰۱).

جدول ۳. توصیف کیفی خشکسالی براساس شاخص نمره استاندارد Z-SCORE

علامت اختصاری	طبقه‌بندی خشکسالی	مقادیر نمایه
MID ^۳	خشکسالی ملایم	۰ تا -۰/۹۹
MOD ^۴	خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۴۹
SED ^۵	خشکسالی شدید	-۱/۵ تا -۱/۹۹
EXD ^۶	خشکسالی بسیار شدید	-۲ و کمتر

و به‌عنوان مثال ویژگی‌های مختلف خشکسالی در شکل ۲ 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 (سیرداس و همکاران، ۲۰۰۷).

1- standardized monthly precipitation

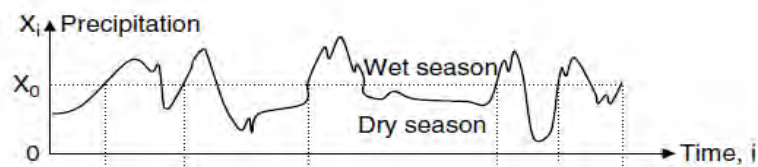
2- Gaussian

3- Mild drought

4- Moderate drought

5- Severe drought

6- Extreme drought



شکل ۲. شکل ویژگی‌های خشکسالی

در پژوهش حاضر از این فرمول‌های بنیادین برای بررسی ویژگی‌های خشکسالی ایستگاه یزد استفاده گردید. رابطه‌ی بین متغیرهای خورشیدی و شدت خشکسالی به صورت نمودارهای پراکنش^۱ با بهترین خط برازش، نشان داده شده، و سری زمانی SMP برای ترسیم نمودارهای سه گانه گرافیکی خشکسالی - خورشیدی مورد استفاده قرار گرفته است.

۵- 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، خودهمبستگی فضایی^۲ بین نمونه‌ها مطالعه می‌شود. این بررسی را می‌توان با ترسیم فاصله بین نمونه‌ها و واریانس ارزش نمونه‌ها یا به عبارت دیگر تغییر نماها به دست آورد. تغییرنما، بر اساس این تفکر که خواص پدیده‌ها در مکان‌های نزدیکتر شباهت بیشتری دارند تا در فاصله‌های دورتر، درجه وابستگی یا همبستگی بین نقاط را اندازه‌گیری می‌کند (غلام‌نیا و همکاران، ۱۳۹۳). با محاسبه و رسم تغییرنما در امتدادهای مختلف به آسانی می‌توان به وجود تغییرات در خود همبستگی‌ها پی برد.

1- scatter

2- spatial autocorrelation

برای داده‌هایی که دارای روندهای موضعی تعریف شده‌ای باشند، روش کریجینگ، با کمترین واریانس تخمین، درون‌یابی می‌کند که میزان خطای آن تابع مشخصات تغییرنا (ساختار فضایی) است. اگر مطالعات مربوط به واریوگرافی و تشخیص مدل تغییرنا 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^۱، دایره‌ای^۲، نمایی^۳، گوسی^۴ و خطی^۵ در تغییر نما است. بنابراین استفاده از تخمین‌گرهای زمین‌آماري 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 یزد از نرم‌افزار GS+ استفاده شد. ابتدا برازنده‌ترین تغییر نما و مدل درون‌یابی با استفاده از نرم‌افزار محاسبه و سپس مدل مناسب با نرم‌افزار SURFER به تغییر نما برازش داده شده است.

۶- روش سه‌گانه‌ی گرافیکی^۶

اگر چه در حاضر فرمول‌های رگرسیون چندگانه‌ی مختلفی ارائه شده‌اند که تابش خورشید را با متغیرهای دیگر مانند ساعات آفتابی، رطوبت، دما، ارتفاع مرتبط می‌سازد، اما همه‌ی آن‌ها مبتنی بر فرضیات محدودکننده‌ای هستند که مورد نیاز تکنیک‌های رگرسیون هستند (سن، ۲۰۰۰ و سن و ساهین ۲۰۰۱). چنین مدل‌های رگرسیونی تغییرات جزئی را نشان نمی‌دهد و ترجیحا به حالت قطعی و جبری^۷ هستند. چنین مدل‌هایی بیانگر روابط ریاضی بوده و با افزایش تعداد متغیرها، منابع خطا نیز افزایش می‌یابد و دقت مدل زیر سوال می‌رود. تغییرات سه بعدی را می‌توان با استفاده از

-
- 1- SPHERICAL
 - 2- CIRCULAR
 - 3- EXPONENTIAL
 - 4- GAUSSIAN
 - 5- LINEAR
 - 6- Triple graphical method
 - 7- deterministic

سیستم مختصات کارتیزین و به صورت نقشه‌های منحنی میزان^۱ نمایش داد. در نقشه‌های معمولی تغییرات یک متغیر با متغیرهای مکانی شامل طول و عرض جغرافیایی یا جهات شمالی و شرقی آن‌ها بیان می‌گردد (ایزاک و اریواستاوا ۱۹۸۹، کرسی، ۱۹۹۳ و کیتانیدیس، ۱۹۹۷). 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. علاوه بر آن، 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 کرد. سیرداس (۲۰۰۲)، برای اولین بار این روش تهیه نقشه را در رساله‌ی دکترای خود پیشنهاد کرد. با استفاده از این روش می‌توان مقادیر کنونی یک متغیر را براساس مقادیر قبلی دو پارامتر مشابه دیگر به صورت نقشه ترسیم کرد. ساختار روش سه گانه‌ی ترسیمی (TGM) سه نوع متغیر را در بر می‌گیرد که از بین آن‌ها دو متغیر مستقل (پیش‌بین) شامل تابش خورشیدی استاندارد شده^۲ (SSI) و ساعات آفتابی استاندارد شده^۳ (SSD) ساختار اصلی این نوع ترسیم را تشکیل داده و بارش ماهانه استاندارد شده^۴ (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. مترون (۱۹۶۳) نشان داد که خطوط هم ارزش را با استفاده از تکنیک‌های زمین آماری و از جمله روش کریجینگ می‌توان ترسیم کرد. علاوه بر آن، ایزاک و اریواستاوا (۱۹۹۳) و ژورنل وهوجبرگتس (۱۹۷۸) نیز در توضیح بیشتر کاربرد روش‌های ژئواستاتیکی در علوم زمین، بر کارایی این گونه تکنیک‌ها در تخمین و برآورد مقادیر متغیرهای مکانی در یک سری از مکان‌های دارای پراکنش نامنظم تاکید کرده‌اند. در پژوهش حاضر، پس از ترسیم نمودار نقطه‌ای دو متغیر مستقل، مقادیر متغیر

1- contour map

2- Standardized Solar Irradiation

3- Standardized Sunshine Duration

4- Standardized month precipitation

وابسته به این نمودار اضافه شده‌اند. به 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 کرد که به کمک آن ارزش‌های متغیر وابسته و مشخص شده بر روی نقشه را بر اساس مقادیر متغیرهای مستقل پیش‌بینی کرد. در راستای اجتناب از چنین محدودیت‌هایی، پیشنهاد می‌شود خطوط منحنی میزان مربوط به بارش ماهانه استاندارد شده براساس ساعات آفتابی و میزان تابش خورشیدی ترسیم شود. نمودار TGM نه تنها روابط متقابل بین متغیرهای ۳ گانه‌ی فوق را نشان می‌دهد، بلکه تغییرات جزئی‌تر در بازه‌ی 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 کرد که با تلفیق این پراسنج‌های ۳ 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 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 به‌دست آورد. نمودارهای TGM را می‌توان برای دوره‌های زمانی مختلف (ساعت، روز، هفته، ماه و سال) تهیه کرد. به علاوه مقایسه‌ی دو نمودار TGM مربوط به مکان‌های مختلف می‌تواند تفاوت‌های اقلیمی بین آن‌ها را تا حد زیادی نشان دهد.

تفاوت‌های بین تخمین توسط مدل آنگستروم و برآورد TGM قابل مشاهده است و مهمترین تفاوت آن‌ها مشارکت متغیر سوم یعنی بارش استاندارد در این مثال است.

نتایج و بحث

۱- 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 موثری داشته و خود تحت کنترل این رویدادهای طبیعی گوناگون می‌باشد. در هوای ابری، مدت زمان آفتابی کم و امکان وقوع بارش بیشتر است، در حالی که در شرایط آسمان صاف، مدت زمان آفتابی، حداکثر است و معمولاً بارش قابل توجهی رخ نمی‌دهد. اگر شرایط خشکی در چند فصل ادامه یابد، خشکسالی به وقوع می‌انجامد. نسبت‌های تابش خورشیدی و تعداد ساعات آفتابی را می‌توان با روش ZScore به شرح زیر استاندارد نمود (سن، ۲۰۰۸).

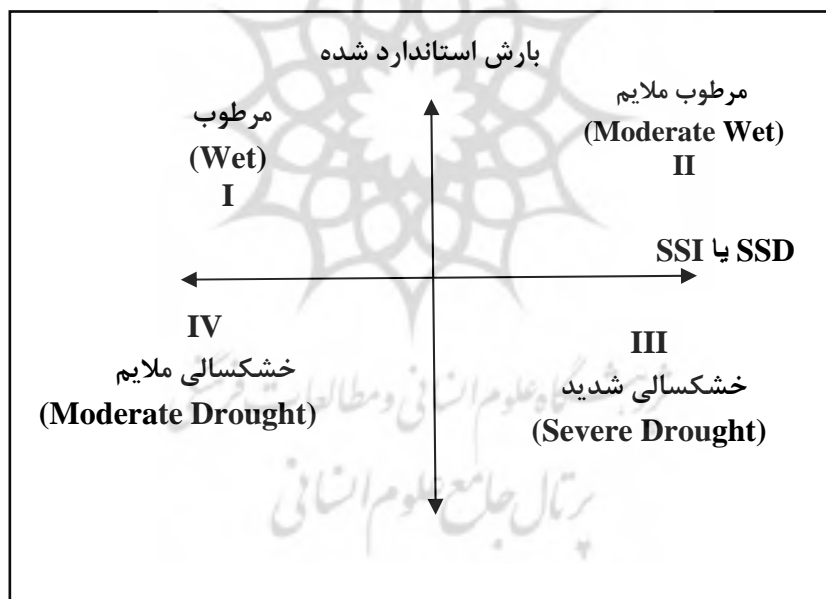
$$SSD = \frac{(S/S_0)t - (S/S_0)_{mean}}{\text{Standard deviation}} \quad (7)$$

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

که (H/H_0) ، نسبت تابش ثبت شده به تابش بالای جو و (S/S_0) ، نسبت ساعات آفتابی ثبت شده به ساعات آفتابی بالای جو می‌باشد. 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 کرد: 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 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 (سن، ۲۰۰۸).

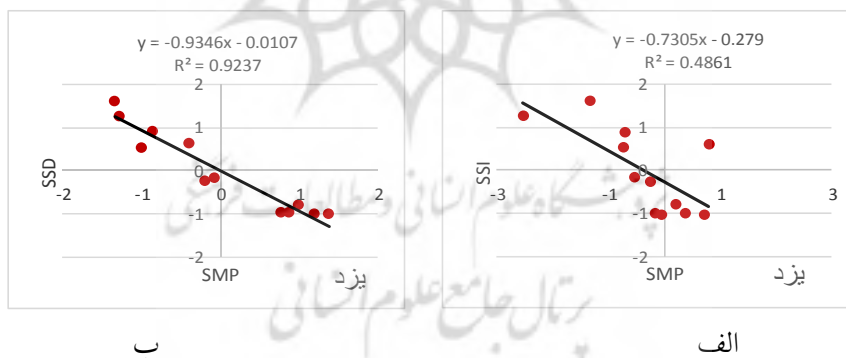
همان‌گونه که زاده (۱۹۶۸) پیشنهاد کرده این قواعد را می‌توان برای یک سیستم استنتاج منطق فازی نیز به‌کار برد. در این تحقیق برای نمایش ترسیمی روابط بین خشکسالی اقلیمی و هر یک از متغیرهای خورشیدی (ساعات آفتابی و تابش خورشیدی) از این روش شماتیک که به روش ترسیمی دوگانه^۱ استفاده شده است، با توجه به متفاوت بودن واحدهای اندازه‌گیری هر یک از متغیرهای مذکور این پارامترها به‌صورت استاندارد شده و بدون بعد استفاده گردیده است. شرایط و تقسیم‌بندی‌های مذکور به‌صورت ترسیمی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. تقسیم‌بندی‌های دوره‌های خشکی و رطوبتی به صورت ترسیمی (سن، ۲۰۰۸)

چنانکه مشاهده می‌شود، نمودار مذکور با توجه به اصول حاکم بر آن که بدان اشاره شد، دارای ۴ ربع است که هر ربع بیانگر شرایط رطوبتی و خشکی اقلیمی و

محدوده‌های بین آن‌هاست (سپرداس و همکاران، ۲۰۰۷). برای به‌دست آوردن ارتباط بین خشکسالی هواشناسی و متغیرهای خورشیدی نمودارهای دوگانه‌ی خشکسالی-خورشیدی در ایستگاه یزد ترسیم شد. شکل ۴ نمودارهای دوگانه‌ی خشکسالی-خورشیدی را نشان می‌دهد. آب و هوای استان یزد به علت قرار گرفتن در کمربند خشک جهانی (جنب حاره)، دارای زمستان‌های سرد و نسبتاً مرطوب و تابستان‌های گرم و طولانی و خشک است. خشکی اقلیمی استان یزد، دو علت اساسی و عمده دارد، یکی این که روی کمربند خشک جهانی قرار دارد و دیگر آنکه از دریا‌های آزاد عمان و خلیج فارس و دریاچه‌های داخلی و بادهای رطوبت‌زای دریایی دور است. طبق شاخص بارش استاندارد شده در ایستگاه یزد، شرایط خشکی از ماه می آغاز و تا اکتبر ادامه دارد، به عبارتی ۶ ماه خشک و ۶ ماه شرایط مرطوب واقع می‌شود. بنابراین این تمایز اقلیمی را می‌توان براساس یافته‌های فوق از ویژگی‌های اقلیمی این ایستگاه تلقی نمود. چنان‌که در نمودارهای دوگانه (DGM) خشکسالی خورشیدی (شکل ۴) مشاهده می‌گردد. در ایستگاه یزد شرایط اقلیمی مرطوب و خشک قابل تمییز هستند، چند ماه در شرایط خشکی و چند ماه در شرایط مرطوب قرار می‌گیرند.



شکل ۴. نمودار رابطه‌ی رگرسیونی بین تابش خورشیدی (SSI) و خشکسالی (الف) و نمودار رابطه‌ی بین تعداد ساعات آفتابی (SSD) و خشکسالی (ب) در ایستگاه یزد

رابطه‌ی خطی بین SSD و SMP از رابطه‌ی SSI قوی‌تر است. نتیجه‌ی قابل توجه این‌که با توجه به نمودارهای DGM وضعیت خشکی برخی از ماه‌ها نسبت به جدول

توصیف کیفی خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص نمره استاندارد Z-Score تغییر می‌یابد (جدول ۳)؛ زیرا در محاسبه شاخص بارش استاندارد شده فقط مقادیر بارش ماهانه مد نظر قرار می‌گیرد، اما اگر تاثیر هریک از متغیرهای خورشیدی به‌عنوان یک عامل هواشناختی در وضعیت خشکی و رطوبتی ماه‌های سال بررسی گردد، مشاهده می‌شود که با منظور کردن هر یک یا هر دوی این متغیرها این وضعیت تغییر می‌کند و بر این اساس می‌توان شرایط اقلیمی هر ماه بر حسب وضعیت خشکسالی-خورشیدی آن را مجدداً تعریف کرد، مثلاً در ایستگاه یزد با توجه به متغیرهای خورشیدی و بارش استاندارد شده ماه اکتبر وضعیت خشکی، شدید، ولی با بارش استاندارد شده به تنهایی نزدیک به نرمال (۰/۹۹-) می‌باشد.

جدول ۴. وضعیت خشکی و رطوبتی در نمودارهای DGM و شاخص بارش استاندارد در

ایستگاه همدیدی یزد

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

۲- انتخاب برازنده‌ترین مدل درونیابی

اولین مرحله قبل از ترسیم نقشه‌های سه‌گانه‌ی خشکسالی-خورشیدی، تعیین تغییرنمای تجربی (SV) است. در ادامه واریوگرامی برای برازش بر داده‌ها استفاده شد که همبستگی مکانی بین داده‌ها را به صورت مطلوب‌تری از سایر واریوگرام‌ها نشان دهند. برای این امر از نسبت میان اثر قطعه‌ای و سقف واریوگرام استفاده گردید (Co+C). برای انتخاب روش مناسب، ابتدا واریوگرام‌های مختلف با استفاده از نرم‌افزار GS محاسبه و رسم شده‌اند. سپس مدل مناسب به واریوگرام برازش داده شده است که مشخصات آن در جدول ۵ استفاده شده است. هر واریوگرامی که بیشترین (ضریب تبیین) R^2 و کم‌ترین RSS را دارا باشد، برازنده است (جدول ۵). با توجه به پارامترهای به دست آمده برای واریوگرام‌های برازش شده واریوگرام گوسی با ضریب تبیین $RSS=0/861$ و $0/906$ بهترین برازش را داشت.

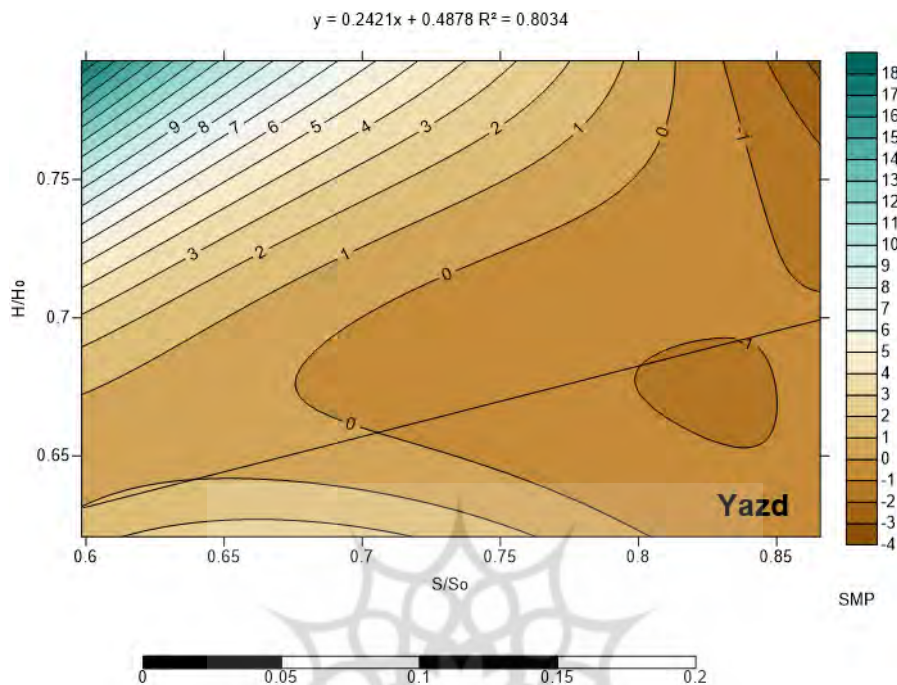
جدول ۵. مشخصات واریوگرام حاصل از مقادیر SMP و متغیرهای خورشیدی در ایستگاه یزد

مدل	Nugget Co	Sill Co+C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	R2	RSS
کروی ^۱	۰/۰۰۱	۳/۰۱۲	۶/۲۷	۶/۲۷	۱/۰۰	۰/۸۵۷	۱/۸۵
نمایی ^۲	۰/۰۰۱	۳/۰۱۲	۳/۳۸	۱۰/۱۴	۱/۰۰	۰/۸۰۷	۲/۴۴
خطی ^۳	۰/۰۰۱	۳/۰۱۲	۴/۲۷	۴/۲۷	۱/۰۰	۰/۸۷۷	۱/۶۵
خطی با آستانه ^۴	۰/۰۰۱	۳/۰۱۲	۴/۲۷	۴/۲۷	۱/۰۰	۰/۸۷۷	۱/۶۵
گوسی ^۵	۰/۰۰۱	۳/۰۱۲	۲/۵۵	۴/۴۱۸	۱/۰۰	۰/۹۰۶	۰/۸۶۱

- 1- Spherical
- 2- Exponential
- 3- Linear
- 4- Linear to sill
- 5- Gaussian

۳- نمودار سه گانه خشکسالی-خورشیدی

هدف اصلی این شیوه‌ی گرافیکی، ترکیب سه متغیر متفاوت، ولی مرتبط برای بررسی رفتار آن‌ها در دو بعد براساس نقشه کنتور تراز است که جزئیات توضیح داده می‌شود. در این پژوهش مربعات حداقل و روش کریجینگ و IDW برای هدف‌های مختلف به کار رفته است. ابتدا از روش مربعات خطا برای به‌دست آوردن رابطه‌ی بین دو متغیر خورشیدی استفاده و سپس با انتخاب روش‌های مناسب مانند کریجینگ و IDW، متغیر سوم (SMP) به‌عنوان نقشه‌ی پایه وارد شده است (سahین و سیرداس، ۲۰۰۲). این روش نه تنها برای متغیرهای اقلیم‌شناسی، بلکه برای تخمین شدت خشکسالی وابسته به تابش خورشیدی و ساعات آفتابی نیز به کار می‌رود. برخی از متغیرهای مهندسی خورشیدی مانند ضرایب معادله آنگستروم نیز قابل تخمین است. شکل ۴، نمودار سه گانه‌ی خشکسالی - خورشیدی است که تغییرات شرایط خشکسالی وابسته به تابش خورشیدی (H/H_0) و ساعات آفتابی (S/S_0) را آشکار می‌سازد. علاوه بر این خط ترسیم شده ضرایب مدل آنگستروم (a و b) را نمایش می‌دهد. اگر یکی از پارامترها موجود نباشد، می‌توان از این معادله به‌دست آورد. همان‌طور که مشهود است با استفاده از این نمودارها دو ناحیه‌ی متفاوت و سه متغیر، می‌تواند مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. ایستگاه یزد در مرکز ایران واقع شده است. روش ارائه شده در این پژوهش، در ایستگاه یزد کارایی زیادی دارد. همان‌طور که در نمودارهای TGM مشاهده می‌شود، در این ایستگاه شرایط خشکی بیشتر تابع ساعات آفتابی است و با توجه به شکل ۵، افزایش نسبت S/S_0 مواجه با افزایش شدت خشکی و تداوم ماه‌های خشک می‌باشد. ماه‌های خشک از ماه می آغاز و تا اواخر اکتبر ادامه دارد که شامل ماه‌های می، ژوئای، ژون، آگوست، سپتامبر و اکتبر است. در این شکل اعداد منفی و مثبت روی منحنی‌ها به ترتیب بیانگر بازه‌های زمانی خشکی و مرطوب است. به این ترتیب در ایستگاه یزد محدوده متغیرهای تابشی در دوره‌ی خشکی H/H_0 ۰/۶۶-۰/۷۹ و S/S_0 ۰/۷۱-۰/۸۶ و خشکی شدیدتر تحت تاثیر ساعت آفتابی است.



نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش، می‌توان ویژگی‌های همه‌جانبه‌ی خشکسالی اقلیمی مانند زمان آغاز، پایان، تداوم و شدت را در مقیاس‌های ماهانه و حتی کمتر بر اساس مقادیر متغیرهای خورشیدی برآورد کرد. چنان‌که در جدول ۵ دیده می‌شود، می‌توان در ایستگاه یزد با اعتبار بالا ($R^2=0/90$ و $RSS=0/861$)، مقادیر بارش استاندارد را با توجه به مقادیر استاندارد شده‌ی متغیرهای خورشیدی برآورد کرد و هر شدت خشکسالی اقلیمی را بر حسب آستانه‌های کمی هر یک از متغیرهای خورشیدی مشخص نمود. با توجه به شکل ۵، خشکسالی در ایستگاه یزد از اوایل می شروع شده و شامل ماه‌های ژون، ژولای، سپتامبر، اکتبر است و تا اواخر اکتبر ادامه دارد. در دوره‌های خشکی، دامنه‌ی کمی متغیرهای تابشی S/S_0 ، H/H_0 به ترتیب $0/79-0/66$ و $0/86-0/71$ می‌باشد. نمودار TGM در ایستگاه یزد نشان می‌دهد که با افزایش نسبت

S/S₀ مواجهه با افزایش شدت خشکسالی و تداوم ماه‌های خشک می‌باشد. در این ایستگاه ۶ ماه خشک و ۶ 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 بر اساس 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 شده است. بررسی نمودار ایستگاه یزد، 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 معادله‌ی آنگستروم جهت تخمین 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 کرد.
- 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 به‌طور مستقیم هر دو ماه متوالی را به یکدیگر متصل می‌کند، می‌توان روند خشکی را مورد بررسی قرار داد.

- علاوه بر این با توجه به این نمودار می‌توان تشخیص داد که تغییرات ماهانه‌ی خشکسالی بیشتر تحت تاثیر کدام متغیرهای خورشیدی است، مثلا در ایستگاه یزد تغییرات بیشتر تحت تاثیر تعداد ساعت آفتابی است.
- از همه مهم‌تر، می‌توان روابط خشکسالی را با دو متغیر خورشیدی به‌صورت ماهانه و بین ماهانه بررسی کرد و چنین ادعا نمود که این پژوهش، روشی جدید برای تشخیص آغاز، تداوم، شدت و پایان خشکسالی اقلیمی بر اساس بارش استاندارد شده در مقادیر کمی خورشیدی (تعداد ساعات آفتابی و تابش دریافتی) ارائه کرده است.

منابع

- غلام‌نیا، اعظم، محمد حسین مبین و حمید سودایی‌زاده، (۱۳۹۳)، ارائه یک مدل عمومی برای برآورد انرژی خورشیدی روزانه در یزد، اولین همایش ملی بهداشت محیط، سلامت و محیط زیست پایدار، همدان.
- کمالی، غلامعلی و اسحق مرادی، (۱۳۸۴)، تابش خورشیدی - اصول و کاربردها در کشاورزی و انرژی‌های نو، چاپ اول، موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی.
- میرحسینی، سید عباس، (۱۳۸۱)، تعیین ضریب صافی هوا برای شهرهای مختلف ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف تهران.
- Allen, R.G., 1998. Evaluation of Procedures for Estimating Mean Monthly Solar.
- 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, S. edited, Asiatic Society of Bangladesh
- Cressie NAC. 1993. Statistics for Spatial Data, revised edition Wiley: New York; 900 pp.
- Folland CK, Karl TR, Salinger MJ. 2002. Observed climate variability and change. Weather (Royal Meteorological Society) 57(8): 269-278.
- Isaaks EH, Srivastava RM. 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford: Oxford University Press; 561 pp.

Journel A, Huijbregts A. 1978. Mining Geostatistics. London: Academic Press.

Karl TR, Trenberth KE. 2003. Modern global climate change. *Science* 302: 1719–1723.

Riebsame WE, Changnon SA, Karl TR. 1991. Drought and Natural Resources Management in the United States: Impacts and Implications of the 1987–89 Droughts. Westview Press: Boulder, CO; 174.

Sen Z, O ztopal A, Sahin AD. 2001. Application of genetic algorithm for determination of Angstrom equation coefficients. *Energy Conversion & Management* 42: 217–231.

Sen, Z. 2008. Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques. Istanbul Technical University.

Sirdas S, Sen Z. 2001. Application of the standardized precipitation index (Z-SCORE) to the Marmara region of Turkey. In Integrated Water Resources Management Symposium, Red book, IAHS publication no. 272. International Association of Hydrological Sciences (IAHS): Geneva; 291–297.

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 Turkiye Uygulaması (Meteorological drought modelling and application to Turkey). PhD Thesis, Institute of Science and Art, Istanbul Technical University.

Trenberth KE, Branstator GW. 1992. Issues in establishing causes of the 1988 drought over North America. *Journal of Climate* 5(2): 159–172.

Wu H, Hayes MJ, 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 LA. 1968. Fuzzy algorithms. *Information and Control* 12: 94–102.