

مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال ششم، شماره دوازدهم، تابستان ۱۳۹۶

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۶/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱۲/۱۶

صفحات: ۶۳-۸۸

## بررسی روابط بین خشکسالی هواشناسی و متغیرهای خورشیدی در برخی از ایستگاه های همدیدی ایران

حسن فتحی زاده<sup>۱</sup>، اعظم غلامی نیا<sup>۲</sup>، محمدحسین مبین\*<sup>۳</sup>، حمید سودائی زاده<sup>۴</sup>

### چکیده

خشکسالی پدیده‌ای طبیعی است که می‌تواند خسارات قابل توجهی به بشر و سازه های طبیعی وارد آورد. رخداد این پدیده را با اطمینان کامل نمی‌توان پیش بینی نمود. هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی امکان ارائه و توسعه مفهوم جدیدی از خشکسالی اقلیمی و ارزیابی ویژگی های همه جانبه آن بر اساس متغیرهای سه گانه هیدرومتئورولوژیکی و هواشناختی مرتبط با پدیده خشکسالی، چون بارش، تشعشع خورشیدی و تداوم ساعات آفتابی در مقیاس ماهانه و حتی کمتر از آن در برخی از ایستگاه های ایران که تابش خورشیدی و هم تعداد ساعات آفتابی در آنها اندازه گیری و ثبت شده، می باشد. این پژوهش با استفاده از داده های هواشناختی ۲۰ ایستگاه سینوپتیک ایران که در آن تابش خورشیدی ثبت گردیده، در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۷۰ انجام شد. ابتدا با استفاده از نرم افزار Minitab 17 ایستگاه های مورد مطالعه براساس شاخص خشکسالی بارش استاندارد در مقیاس ماهانه (SMP)، تابش خورشیدی (SSI) و تعداد ساعات آفتابی (SSD) خوشه بندی و از هر خوشه یک ایستگاه همدیدی به عنوان نمونه انتخاب شد و جهت بررسی رابطه بین خشکسالی و متغیرهای خورشیدی، نقشه منحنی های هم ارزش بارش استاندارد شده ترسیم و سپس متغیر های معادله آنگستروم چون تابش خورشیدی و ساعات آفتابی به عنوان متغیرهای مرجع رسم گردید. نتایج نشان داد که ایستگاههای مورد مطالعه را می توان براساس شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده و متغیرهای خورشیدی به هشت خوشه-ی متفاوت تقسیم بندی نمود. ضریب تعیین معادله-ی آنگستروم در ایستگاه های بجنورد، رامسر و شیراز به ترتیب ۰/۰۳۸، ۰/۰۶۷، و ۰/۳۶ محاسبه برای بقیه ایستگاه ها ۰/۶۲-۰/۹۶ بدست آمد. بطور میانگین در دوره آماری، دوره خشکسالی در اکثر ایستگاه های فوق از اواخر ماه می (اردیبهشت) شروع شده و شامل ماههای ژون، ژولای، سپتامبر و اکتبر است و بعضاً تا اواخر نوامبر ادامه یافته و در همین دوره بیشترین مقادیر ساعات آفتابی و تابش خورشیدی نیز ثبت شده است.

واژگان کلیدی: متغیرهای سه گانه بارش استاندارد، آنگستروم، ساعات آفتابی، تابش خورشیدی

H.fathizad@stu.yazd.ac.ir

Az.gh1990@gmail.com

mhmobin@yazd.ac.ir

Hsodaie@yazd.ac.ir

۱- دانشجوی دکتری بیابان زدایی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد

۲- دانشجوی دکتری بیابان زدایی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد

۳- استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد (نویسنده مسئول)

۴- دانشیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد

## مقدمه

در دهه‌های اخیر در بین حوادث طبیعی که جمعیت‌های انسانی را تحت تأثیر قرار داده‌اند. اثرات پدیده خشکسالی از نظر درجه شدت، طول مدت، مجموع فضای تحت پوشش، تلفات جانی، خسارات اقتصادی و اثرات اجتماعی دراز مدت در جامعه بیشتر از سایر بلایای طبیعی بوده است (بانگلاپدیا، ۲۰۰۳)<sup>۱</sup>. همچنین تمایز این پدیده با سایر بلایای طبیعی در این است که برخلاف سایر بلایا این پدیده بتدریج و در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی عمل کرده و اثرات آن ممکن است پس از چند سال و با تأخیر بیشتری نسبت به سایر حوادث طبیعی ظاهر شود (فاتحی مرج و حیدریان، ۱۳۹۲). بنابراین چون تعیین دقیق زمان شروع آن کار مشکلی است تا حدودی آنرا یک پدیده و بلیه خزنده می‌دانند، از سویی چون خشکسالی برخلاف سایر بلایای طبیعی کمتر منجر به خسارات ساختاری می‌شود، کمک‌رسانی در هنگام وقوع این پدیده در مقایسه با سایر پدیده‌ها مثل سیل پیچیده‌تر و مشکل‌تر می‌باشد (بانگلاپدیا، ۲۰۰۳). تعیین کمی دوره‌های خشک و دوره‌های مرطوب مشکل است، به دلیل اینکه تعاریف متفاوتی برای این رخدادها 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 بشمارای 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 بعمل آمده یک تعریف مشخص و منحصر بفرد برای خشکسالی و شاخص‌های آن که برای استفاده که در همه‌ی زمینه‌ها کاربرد داشته باشد، ارائه نشده، اگرچه تعاریف متفاوتی توسط (ویلهایت و گلنتر، ۱۹۸۵)<sup>۲</sup>، 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 تأمین می‌کند و رویدادهای جوی، اغتشاشات هوایی، پیدایش شرایط دمایی میانگین و مطلق، وضعیت بارشی و وزش بادهای و طوفان‌ها بطور 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 بویژه نحوه استقرار سیستم‌های پرفشار و کم فشار هوا که پیامد آن پیدایش دوره‌های خشک و مرطوب است، همه بنوعی تحت تأثیر تابش خورشیدی دریافتی در سطح زمین می‌باشد و ضروریست تأثیر 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 است 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

<sup>۱</sup>- Banglapedia

<sup>۲</sup>- Wilhite and Glantz

که در بخش عمده‌ای از این تحقیقات شاخص بارش استاندارد (SPI<sup>۱</sup>) (مک‌کی<sup>۲</sup>، ۱۹۹۳) به عنوان یکی از مناسب‌ترین و رایج‌ترین نمایه‌های بررسی جنبه‌های مختلف خشکسالی اقلیمی (تداوم، حساسیت، شدت، بزرگی و فراوانی) به خاطر اینکه محاسبه‌ی آن آسان و فقط به داده‌های بارش نیاز دارد، مورد تأکید قرار گرفته است (لشنیزند، ۱۳۸۲؛ فاتحی مرچ و حیدریان، ۱۳۹۲؛ تبزاده و همکاران، ۱۳۹۴؛ منتصری و امیر عطایی، ۱۳۹۴). بررسی‌های انجام شده بیانگر این است که در زمینه‌ی موضوع پژوهش حاضر و بویژه روش و مراحل انجام آن در ایران هیچ گونه بررسی‌های مشابهی صورت نگرفته اما در سطح جهان (سیرداس، ۲۰۰۲)<sup>۳</sup>، در پایان‌نامه دکترای خود این موضوع را برای اولین بار پیشنهاد نمود و در سال ۲۰۰۷ از این روش برای بررسی روابط بین خشکسالی و متغیرهای تابش خورشیدی استفاده نمود. وی 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 پارامترهای معادله‌ی خطی آنگستروم-پراسکات پیش‌بینی نمود. در این پژوهش بر مبنای تکنیک کریجینگ مدل گوسین نمودارهای سه‌گانه‌ی خشکسالی-خورشیدی را ترسیم نمود. بعلاوه سن<sup>۴</sup> (۲۰۰۸) از این روش به عنوان 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 تابش را توجیه نمی‌کند اما با کاربرد نمودارهای مدل سه‌گانه خشکسالی-تابش خورشیدی (TDSIM)<sup>۵</sup> می‌توان تغییرات تابش را براساس دو متغیر دیگر و مرتبط با هم به طور همزمان تفسیر نمود. ضمناً آلتونکایناک<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۳) 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<sup>۷</sup> 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 نایستا و پدیده‌هایی که دارای ماهیت غیرخطی هستند، دارند.

در ایران با توجه به گسترش بیابان‌های وسیع و وجود تابش خورشیدی برای تکمیل این گونه مباحث و رفع پاره‌ای از ابهامات، هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی امکان ارائه و توسعه مفهوم جدیدی از خشکسالی اقلیمی و ارزیابی ویژگی‌های همه جانبه آن بر اساس متغیرهای سه‌گانه هیدرومتئورولوژیکی و هواشناختی مرتبط با پدیده خشکسالی،

1- Standardized Precipitation Index

2- McKee

3- Sirdas

4- Sen

5- Triple Drought-Solar Irradiation Model

6- Altunkaynak

7- Stochastic modelling

چون بارش (mm)، تشعشع خورشیدی (MJ.M- 2.Day-1)، و تداوم ساعات آفتابی (hr) در مقیاس ماهانه و حتی کمتر از آن در هشت خوشه‌ی خشکسالی-تابشی در ایران است. بعبارت دیگر یافتن روابط بین این متغیرها و میزان تأثیر آن‌ها بر وقوع خشکسالی اقلیمی و در نهایت شبیه‌سازی و ارائه برانزده‌ترین مدل‌های ریاضی و منطقی بین خشکسالی اقلیمی مورد اشاره در فوق است تا براساس روابط خاص و روش‌های ترسیمی نوینی چون نمودارهای دوگانه<sup>۱</sup> و سه‌گانه خورشیدی-خشکسالی<sup>۲</sup>، بتوان پدیده خشکسالی اقلیمی و ویژگی‌های همه‌جانبه آن مانند زمان-های آغاز، پایان، تداوم و شدت را تشخیص، ارزیابی و پیش‌بینی نمود.

### داده‌ها و روش‌ها

در پژوهش حاضر پس از بررسی و مرور پیشینه‌ی علمی موضوع ابتدا داده‌های هواشناسی مانند تابش خورشیدی رسیده به زمین (Mj m-2 d-1)، ساعت آفتابی (hr) و بارش (mm) در مقیاس زمانی ماهانه از ۲۰ ایستگاه همدیدی کشور که دارای طولانی‌ترین و کامل‌ترین سری داده‌های تابش خورشیدی ثبت شده بودند، در دوره آماری ۱۰-۱۹۷۰ از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های مورد نظر در کشور ایران را نشان می‌دهد.

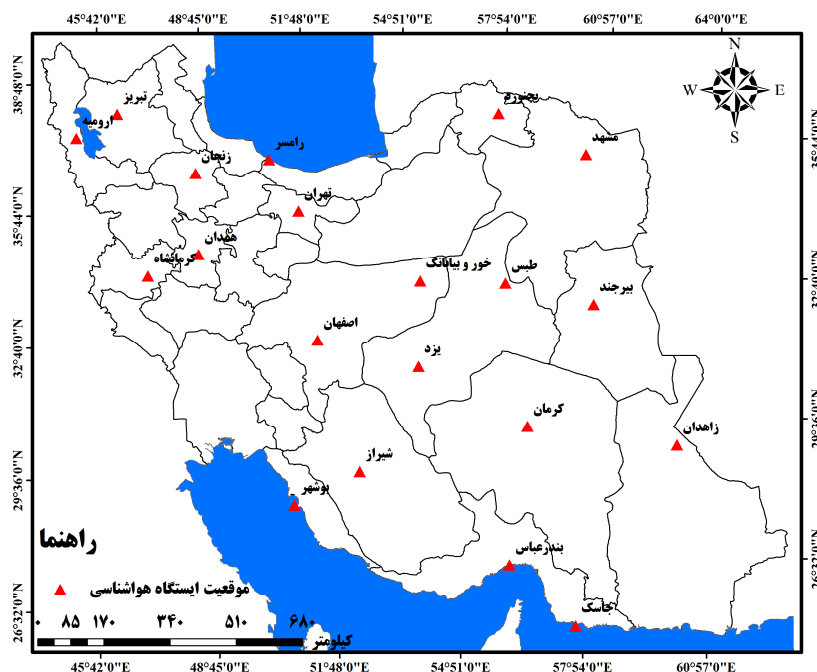
چون در برخی از ایستگاه‌های مذکور در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ دستگاه‌های تابش‌نگار از مدل KIPZONNEN-CCI به SOLRAD تغییر یافته و در این میان در موارد معدودی داده‌های تابش دارای خطا بودند، و با توجه به اینکه نسبت بین تابش دریافتی در سطح زمین به تابش بالای جو ( $R_s/R_0$ ) باید کمتر از یک باشد، در مواردی که این نسبت بیشتر از یک بود داده‌های پرت و دارای خطا حذف گردید. سپس ایستگاه‌های همدید کشور براساس نسبت  $H/H_0$  و بارش استاندارد شده با استفاده از نرم‌افزار Minitab17 و تکنیک آماری تحلیل خوشه‌ای<sup>۳</sup> و روش وارد<sup>۴</sup> خوشه‌بندی شدند. با انجام تحلیل خوشه‌ای بر روی ایستگاه‌های همدیدی مورد مطالعه و با توجه به سطح شباهت بیشتر از ۹۰ درصد، هشت ناحیه خشکسالی-تابشی شناسایی شد. در این پژوهش ایستگاه‌های همدیدی هواشناسی مشهد، رامسر، بندرعباس، تهران، بجنورد، کرمان، شیراز و تبریز به عنوان ایستگاه‌هایی که می‌توان به عنوان نمونه‌هایی از آب و هواهای گوناگون (خشک و نیمه‌خشک) کشور تلقی شوند، انتخاب گردیدند. جدول ۲ خصوصیات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

<sup>۱</sup>- Dual Graphic Method

<sup>۲</sup>- Triple Graphical Method

<sup>۳</sup>- Cluster analysis

<sup>۴</sup>- Ward



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در ایران

جدول ۱: خصوصیات اقلیمی ایستگاه‌های مورد بررسی

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
کرمان	N۳۰ ۱۵	E۵۶ ۵۸	۱۷۵۳/۸	ژوئن	آگوست	جولای
مشهد	N۳۶ ۱۶	E۵۹ ۳۸	۹۹۹/۳	ژوئن	جولای	آگوست
رامسر	N۳۶ ۵۴	E۵۰ ۴۰	-	ژوئن	ژوئن	آگوست
بجنورد	N۳۷ ۲۸	E۵۷ ۱۹	۱۰۹۱	ژوئن	آگوست	آگوست
بندرعباس	N۲۷ ۱۳	E۵۶ ۲۲	۹/۸	ژوئن	ژوئن	ژوئن
تبریز	N۳۸ ۵	E۴۶ ۱۷	۱۳۶۱	ژوئن	جولای	آگوست
تهران	N۳۵ ۴۱	E۵۱ ۱۹	۱۱۹۰/۸	ژوئن	ژوئن	سپتامبر
شیراز	N۲۹ ۳۲	E۵۲ ۳۶	۱۴۸۴	ژوئن	ژوئن	سپتامبر

در مرحله‌ی بعد براساس مدل آنگستروم (آنگستروم<sup>۱</sup>، ۱۹۲۴) ضرایب این مدل در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه و اسنجی و نسبت بین متغیرهای خورشیدی ( $S/S_0$  و  $R_s/R_0$ ) بدست 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

<sup>۱</sup>- Angstrom

نمودارهای دوگانه<sup>۱</sup> (DGM) مربوط به هر ایستگاه ترسیم شد. در مرحله‌ی پایانی با استفاده از بارش ماهانه‌ی استاندارد شده و انتخاب برانزنده‌ترین واریوگرام در نرم‌افزار GS<sup>+</sup> نمودارهای گرافیکی سه‌گانه‌ی<sup>۲</sup> خشکسالی-خورشیدی (TGM) با نرم‌افزار Surfer ترسیم گردید.

### ۱- طریقه محاسبه تابش فضایی و طول روز

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

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

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

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

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  $\vartheta_z = 90$  یعنی  $\omega_s$  هم از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\omega_s = \cos^{-1}(-tg \varphi tg \delta) \quad (3)$$

که  $\omega_s$  برای تک تک روزهای سال و برای شهرهای مورد نظر محاسبه شد.

برای بدست آوردن کسر ساعت آفتابی، به طول روز،  $N$ ، نیاز می‌باشد که از رابطه زیر برای تمام روزهای سال و تک تک شهرها محاسبه شد (دافی و بکمن<sup>۳</sup>، ۱۹۹۱).

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

### ۲- معادله خطی آنگستروم

روش برآورد میزان شدت تابش با استفاده از ساعات آفتابی، ابتدا به وسیله کمبل<sup>۴</sup> در سال ۱۹۱۹ و پنج سال بعد، مبنای ریاضی آن توسط انگستروم<sup>۵</sup> ارائه شد که امروزه بعد از گذشت سال‌ها، هنوز هم شکل اصلی آن بنام معادله انگستروم کاربرد دارد. این معادله به دلیل سادگی، کاربرد گسترده‌ای در محاسبه تابش رسیده به سطح زمین دارد و

<sup>۱</sup>- Dual Graphic Method

<sup>۲</sup>- Triple Graphic Method

<sup>۳</sup>- Duffie and Beckman

<sup>۴</sup>- Cambal

<sup>۵</sup>- 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)<sup>۱</sup>. معادله آنگستروم- پرسکات به طور کلی به صورت زیر می‌باشد که در آن ضرایب  $a'$  و  $b'$  برای هر منطقه قابل محاسبه است.

معادله آنگستروم رابطه ای 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 به صورت 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).

### ۳- خوشه‌بندی خشکسالی - تابشی ایستگاه‌ها

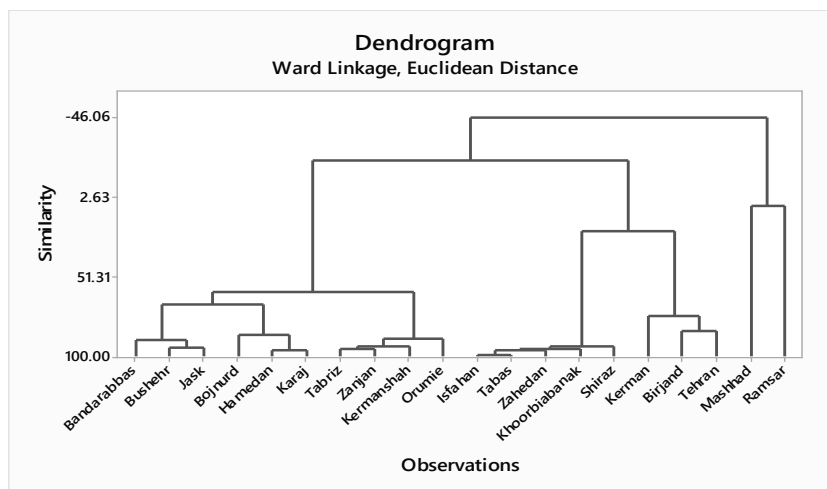
روش‌های خوشه‌بندی متنوعی وجود دارند که در همه آنها می‌توان ویژگی‌های مشترکی را پیدا نمود. در این تحقیق ایستگاه‌های همدید مورد مطالعه کشور براساس نسبت های  $S/S_0$ ،  $H/H_0$  و بارش استاندارد شده خوشه بندی شدند. در مرحله نخست از نرم‌افزار Minitab17 و تکنیک آماری تحلیل خوشه‌ای و روش وارد<sup>۲</sup> استفاده گردید. تکنیک فوق گستره‌ی وسیعی از فنون‌های مفید برای یافتن گروهی از آیتم‌های مشابه در یک‌سری از داده‌ها را دربرمی‌گیرد. روش وارد نوعی روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی است که پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها، سلسله مراتبی از خوشه‌ها را از خوشه‌های کوچک شامل کمیت‌های بسیار مشابه تا خوشه‌های بزرگتر ولی با تفاوت‌های بیشتر ایجاد می‌نماید. خروجی این تحلیل، ترسیمی است که به نام دندروگراف<sup>۳</sup> یا نمودار درختی معروف است. این دندروگراف تمامی نمونه‌های مورد مطالعه را وارد فهرست خود نموده و نشان می‌دهد که در چه سطحی از شباهت<sup>۴</sup>، هر دو خوشه مشابه بر پایه‌ی کمینه مجموع مربعات درون گروهی به یکدیگر متصل می‌شوند. با انجام تحلیل خوشه‌ای بر روی ایستگاه‌های همدیدی کشور هشت ناحیه خشکسالی-تابشی شناسایی شد. چنانکه در این نمودار مشاهده می‌شود، تفاوت‌ها و شباهت‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس میزان شباهت آن‌ها بر روی محور قائم نمودار نشان داده شده است. در این نمودار هر چه به محور x نزدیک شویم میزان شباهت‌ها بیشتر می‌شود. نمودار درختی حاصل از تحلیل خوشه-ای در شکل ۲ نشان داده شده است.

<sup>1</sup>- Allen et al

<sup>2</sup>- Ward

<sup>3</sup>- dendrogram

<sup>4</sup>- Similarity



شکل ۴: خوشه‌بندی خشکسالی-تابشی ایستگاه‌های مورد مطالعه

خوشه اول شامل ایستگاه‌های بندرعباس، جاسک و بوشهر است. ایستگاه بجنورد، همدان و کرج نیز خوشه خشکسالی-تابشی بعدی را تشکیل می‌دهند. ایستگاه‌های تبریز، زنجان، کرمانشاه و ارومیه نیز در یک ناحیه خشکسالی-تابشی قرار داشته و خوشه‌ی بعدی ایستگاه‌های شیراز، طبس، اصفهان، خور و بیابانک و زاهدان را شامل می‌شود. کرمان، تهران و بیرجند در یک خوشه و سرانجام ایستگاه‌های مشهد و رامسر هر کدام به تنهایی در یک خوشه خشکسالی-تابشی قرار گرفته‌اند.

#### ۴- شاخص استاندارد یا نرمال<sup>۱</sup>

بر اساس مبانی ریاضی، این تبدیل بگونه‌ای 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)<sup>۲</sup>. شاخص استاندارد z بویژه 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  $x_i$  ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ) به روش Z-Score استانداردسازی شد. سری‌های بارش ماهانه استاندارد شده (SMP)،  $x_i$  به این صورت تعریف می‌شود:

$$x_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s_x} \quad (۶)$$

که در آن

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

<sup>۱</sup>- Z Score

<sup>۲</sup>- Wu et al.



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

SMP<sup>۱</sup> = بارش ماهانه استاندارد شده

در جدول ۲ طبقات Z-Score مورد استفاده در سری‌های بارش ماهانه استاندارد شده SMP را نشان می‌دهد.

جدول ۲: توصیف کیفی خشکسالی براساس شاخص نمره استاندارد Z-SCORE (سیرداس و ساهین، ۲۰۰۸)

مقادیر نمایه	طبقه بندی خشکسالی	علامت اختصاری
۰ تا -۰/۹۹	خشکسالی ملایم	MID <sup>۲</sup>
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط	MOD <sup>۳</sup>
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید	SED <sup>۴</sup>
-۲ و کمتر	خشکسالی بسیار شدید	EXD <sup>۵</sup>

در پژوهش حاضر از این فرمول‌های بنیادین برای بررسی ویژگی‌های خشکسالی در ایستگاه‌های همدیدی مشهد، کرمان، بندرعباس، شیراز، رامسر، تهران، تبریز و بجنورد استفاده گردید. رابطه‌ی بین متغیرهای خورشیدی و شدت خشکسالی به صورت نمودارهای پراکنش<sup>۶</sup> با بهترین خط برازش، نشان داده شده، و سری زمانی SMP<sup>۷</sup> برای ترسیم نمودارهای سه گانه گرافیکی خشکسالی- خورشیدی مورد استفاده قرار گرفته است (سیرداس و ساهین، ۲۰۰۸).

#### ۵- روش ترسیمی دوگانه<sup>۸</sup> (DGM)

در این تحقیق برای نمایش ترسیمی روابط بین خشکسالی اقلیمی و هر یک از متغیرهای خورشیدی (ساعات آفتابی و تابش خورشیدی) در مقیاس زمانی ماهانه از این روش شماتیک که به روش ترسیمی دوگانه استفاده شده است و با توجه به متفاوت بودن واحدهای اندازه‌گیری هر یک از متغیرهای مذکور این پارامترها به صورت استاندارد شده و بدون بعد استفاده گردیده است. نسبت‌های تابش خورشیدی و تعداد ساعات آفتابی با روش Z-Score بشرح زیر استاندارد شده اند (روابط ۷ و ۸):

$$SSD = \frac{(s/s_0)_i - (s/s_0)_{mean}}{\text{Standardized deviation}} \quad (۷)$$

$$SSI = \frac{(H/H_0)_i - (H/H_0)_{mean}}{\text{Standardized deviation}} \quad (۸)$$

1- Standardized monthly precipitation  
 2- Mild drought  
 3- Moderate drought  
 4- Severe drought  
 5- Scatter  
 6- Extreme drought  
 7- Standardized monthly precipitation  
 8- Dual Graphic Method

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:

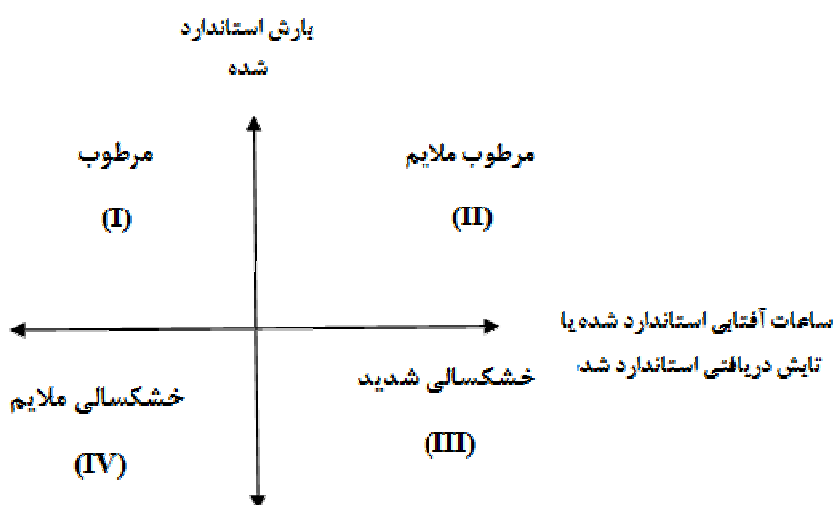
- اگر ساعات آفتابی استاندارد شده (SSD)<sup>۱</sup> رسیده به زمین (تابش دریافتی استاندارد شده) از میانگین آن کمتر، یا به عبارت دیگر کم‌تر از صفر و میزان بارش دوره استاندارد شده بیش‌تر از صفر باشد، در اینصورت شرایط اقلیمی مرطوب است.

- 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 (شکل شماره ۳-۵) (سیرداس و ساهین، ۲۰۰۸)<sup>۲</sup>.

زاده (۱۹۶۸) پیشنهاد کرده این قواعد را می‌توان برای یک سیستم استنتاج منطق فازی نیز به کار برد. شرایط و تقسیم‌بندی‌های مذکور به صورت ترسیمی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: تقسیم‌بندی کلی تابشی - خشکسالی بین بارش ماهانه استاندارد شده و تابش دریافتی یا تعداد ساعات آفتابی استاندارد شده

<sup>۱</sup>- Standardized Solar Duration

<sup>۲</sup>- Sirdas and Sahin

چنانکه مشاهده می‌شود نمودار مذکور با توجه به اصول حاکم بر آن که بدان اشاره شد، دارای ۴ ربع است (I تا IV) که هر ربع بیانگر شرایط رطوبتی و خشکی اقلیمی و محدوده‌های بین آن‌ها در مقیاس زمانی ماهانه می‌باشد (سیرداس و ساهین، ۲۰۰۸).

#### ۶- درون‌یابی

روش‌های درون‌یابی مجموعه‌ای از مدل‌های مختلف ریاضی و آماری را برای پیش‌بینی مقادیر نامعلوم بکار می‌گیرند. با محاسبه و رسم تغییرنا در امتدادهای مختلف به آسانی می‌توان به وجود تغییرات در خود همبستگی‌ها پی برد، درون‌یابی در واقع برآورد میزان متغیر پیوسته مجهول براساس نمونه‌های معلوم در منطقه است (لو و وانگ<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸). 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. کلید اساسی در کریجینگ نیم تغییرنا است که در واقع بررسی همبستگی مکانی بین دو نقطه است. اما فرض بر آن است که مقادیر یک متغیر در فواصل نزدیک بیشترین شباهت را داشته و با افزایش فاصله از میزان همبستگی مقادیر آن متغیر کاسته می‌شود (علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۸۸). از مهمترین ویژگی‌های کریجینگ آن است که به ازاء هر تخمینی خطای مرتبط با آن را نیز محاسبه می‌کند. در روش کلاسیک (مانند رگرسیون و معکوس وزنی فاصله) معمولاً این چنین نیست (حسنی پاک، ۱۳۸۶). در این تحقیق برای درون‌یابی متغیرهای خورشیدی و بارش استاندارد شده در ایستگاه‌های مورد مطالعه از نرم‌افزار GS+ 5.1 استفاده شد. ابتدا برازنده‌ترین تغییرنا و مدل درون‌یابی با استفاده از نرم‌افزار محاسبه و سپس مدل مناسب با نرم‌افزار Surfer 11 به تغییرنا برازش داده شده است.

#### ۷- روش سه‌گانه‌ی گرافیکی<sup>۲</sup>

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 می‌باشند (سین و همکاران، ۲۰۰۱، سین، ۲۰۰۸). چنین مدل‌های رگرسیونی تغییرات جزئی را نشان نمی‌دهد و ترجیحاً به حالت قطعی و جبری 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 کارتزین و بصورت نقشه‌های منحنی میزان<sup>۳</sup> نمایش داد. در نقشه‌های معمولی تغییرات یک متغیر با متغیرهای مکانی شامل طول و عرض جغرافیایی یا جهات شمالی و شرقی آنها بیان می‌گردد (کریسی<sup>۴</sup>،

<sup>۱</sup>- Lu and Wong

<sup>۲</sup>- Triple graphical method

<sup>۳</sup>- Contour map

<sup>۴</sup>- Cressie

۱۹۹۳؛ ایساکس و سریواستاوا<sup>۱</sup>، ۱۹۸۹؛ کیتانیدیس<sup>۲</sup>، ۱۹۹۷). از اینرو تخمین مقادیر متغیر مورد نظر بر روی نقشه با استفاده از مقادیر یک جفت از متغیرهای مکانی معلوم و متناظر آن میسر می‌گردد. بعلاوه 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 (۲۰۰۲)، برای اولین بار این روش تهیه‌ی 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 بصورت نقشه ترسیم نمود ساختار روش سه گانه‌ی ترسیمی (TGM) سه نوع متغیر را در بر می‌گیرد که از بین آنها دو متغیر مستقل شامل تابش خورشیدی استاندارد شده<sup>۳</sup> (SSI) و ساعات آفتابی استاندارد شده<sup>۴</sup> (SSD) ساختار اصلی این نوع ترسیم را تشکیل داده و بارش ماهانه استاندارد شده<sup>۵</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 (سیرداس و ساهین، ۲۰۰۸). در پژوهش حاضر، پس از ترسیم نمودار نقطه‌ای دو متغیر مستقل، مقادیر متغیر وابسته به این نمودار اضافه شده‌اند. با این روش می‌توان نقشه‌ای تهیه نمود که به کمک آن ارزش‌های متغیر وابسته و مشخص شده بر روی نقشه را بر اساس مقادیر متغیرهای مستقل پیش‌بینی نمود. در راستای اجتناب از چنین محدودیت‌ها، 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 جزء مستقل به صورت همزمان استفاده نمود 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 بدست آورد. نمودارهای TGM را می‌توان برای دوره‌های زمانی مختلف (ساعت، روز، هفته، ماه و سال) تهیه نمود (سیرداس و ساهین، ۲۰۰۸).

## نتایج و بحث

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

<sup>1</sup>- Isaaks and Srivastava

<sup>2</sup>- Kitaniadis

<sup>3</sup>- Standardized Solar Irradiation

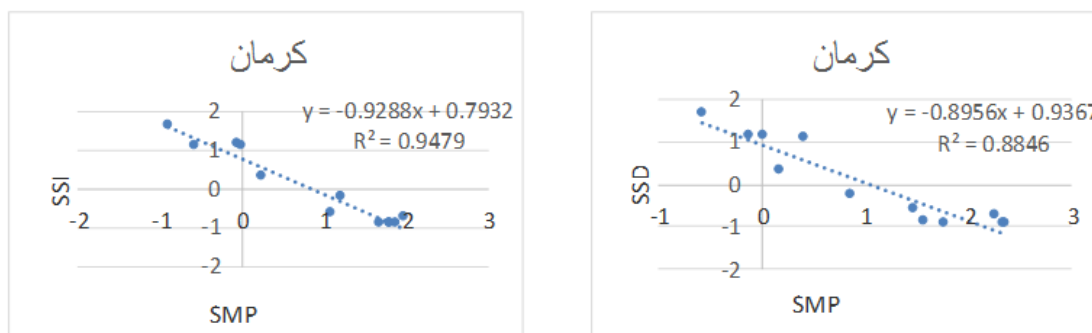
<sup>4</sup>- Standardized Sunshine Duration

<sup>5</sup>- Standardized month precipitation

است در حالی که در شرایط آسمان صاف، مدت زمان آفتابی حداکثر و معمولاً بارش قابل توجهی رخ نمی‌دهد. اگر شرایط خشکی در چند دوره ادامه یابد در آن سال، خشکسالی رخ می‌دهد.

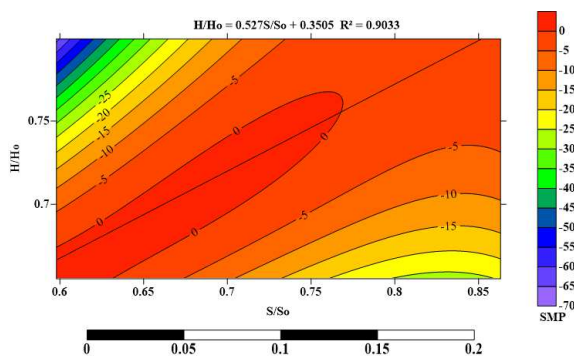
در این تحقیق برای نمایش ترسیمی روابط بین خشکسالی اقلیمی و هر یک از متغیرهای خورشیدی (ساعات آفتابی و تابش خورشیدی) از این روش شماتیک که به روش ترسیمی دوگانه (DGM) استفاده شده و با توجه به متفاوت بودن واحدهای اندازه‌گیری هر یک از متغیرهای مذکور این پارامترها به صورت استاندارد شده و بدون بعد استفاده گردیده است. برای بدست آوردن ارتباط بین خشکسالی هواشناسی و متغیرهای خورشیدی نمودارهای دوگانه و سه گانه ی خشکسالی- خورشیدی در ایستگاه‌های کرمان، مشهد، تهران، بجنورد، رامسر، بندرعباس، شیراز و تبریز ترسیم و شرح زیر مورد بحث قرار می‌گیرد:

آب و هوای ایستگاه کرمان بر اساس سیستم طبقه‌بندی کوپن BSw می‌باشد. به عبارت دیگر دارای تابستان‌های خشک و زمستان‌های مرطوب و معتدل متمایل به سرد است. در شکل ۴ دیده می‌شود که ضرایب تعیین بین ساعات آفتابی استاندارد شده و تابش دریافتی استاندارد شده با میزان بارش ماهانه استاندارد شده در این ایستگاه بترتیب بین ۰/۸۸ و ۰/۹۴ است و بنابراین رابطه‌ی خطی بین SSI و SMP از رابطه‌ی SSD قوی‌تر است. شرایط خشکی از ماه آگوست آغاز و تا می‌ادامه دارد که شامل ماه‌های می، ژولای، جون، آگوست، سپتامبر، اکتبر و نوامبر است، یعنی ۷ ماه از سال در شرایط خشک و ۵ ماه بقیه در شرایط مرطوب واقع می‌شوند. بعبارت دیگر در بخش عمده ای از هر سال مقادیر SSI و SSD قابل ملاحظه و میزان SMP ناچیز بوده است. نتیجه‌ی قابل توجه دیگر اینکه با توجه به نمودارهای DGM وضعیت خشکی برخی از ماه‌ها نسبت به جدول توصیف کمی خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص نمره استاندارد Z-Score (جدول ۲) تغییر می‌یابد. زیرا در محاسبه شاخص بارش استاندارد شده فقط مقادیر بارش ماهانه مد نظر می‌باشد، اما اگر تأثیر هر یک از متغیرهای خورشیدی به عنوان یک عامل هواشناختی در وضعیت خشکی و رطوبتی ماه‌های سال بررسی گردد مشاهده می‌شود که با منظور نمودن هر یک یا هر دوی این متغیرها این وضعیت تغییر نموده و بر این اساس می‌توان شرایط اقلیمی هر ماه بر حسب وضعیت خشکسالی-خورشیدی آن مجدداً تعریف نمود، مثلاً در ایستگاه کرمان (شکل ۴) با توجه به متغیرهای خورشیدی و بارش استاندارد شده ماه سپتامبر وضعیت خشکی شدید ولی با بارش استاندارد شده به تنهایی نزدیک به نرمال (۰/۹۹-۰/۹۹-) می‌باشد. برای تمام ایستگاه‌ها شرایط خشکی و رطوبتی را می‌توان اینگونه مورد بررسی قرار داد. علاوه بر یافته‌های مورد اشاره می‌توان بدین نتیجه نیز اشاره نمود که در دوره آماری مورد مطالعه در ایستگاه کرمان با توجه به روابط کمی بین متغیرهای خورشیدی و بارش استاندارد شده، غالباً شرایط خشکسالی حاکم بوده است زیرا بطور کلی و میانگین در دوره آماری مورد مطالعه، شرایط خشکسالی در یک دوره هفت ماهه از هر سال تداوم داشته و فقط یک دوره کمتر از پنج ماهه شرایط مرطوب را تجربه نموده است.



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

اگر همین روابط با روش سه‌گانه‌ی گرافیکی چنانکه در شکل ۵ (نمودار TGM در ایستگاه کرمان) بررسی گردد، مشاهده می‌شود که بر اساس معادله آنگستروم همبستگی خطی قابل توجهی بین ساعات آفتابی و تابش دریافتی استاندارد شده وجود دارد ( $R^2 = 0.91$ ). در این شکل منحنی هم ارزش با کمیت صفر که طبق تعریف ارائه شده در جدول ۲ بیانگر شرایط خشکسالی نرمال است بصورت یک زبانه در امتداد جنوب غربی - شمال شرقی نقشه و در امتداد خط رگرسیون معادله آنگستروم کشیده شده و در داخل این منحنی، منحنی‌های هم‌ارزش با مقادیر مثبت (شرایط ترسالی) و در خارج از آن منحنی‌های هم‌ارزش با مقادیر منفی (شرایط خشکسالی) نظم یافته‌اند. عبارت دیگر محدوده خشکسالی بر حسب  $S/S_o$   $0.64-0.76$  و بر حسب  $H/H_o$  بین  $0.62$  تا  $0.77$  می‌باشد و در کمتر این محدوده‌ها شرایط ترسالی و در بیشتر این ارقام وضعیت خشکسالی حاکم، و به هرصورت با افزایش کمیت هر یک از متغیرهای خورشیدی مورد بحث خشکسالی نیز تشدید و بر تداوم آن افزوده می‌گردد.

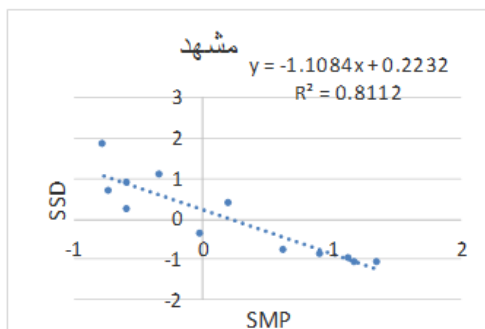


شکل ۵: نمودار TGM در ایستگاه کرمان

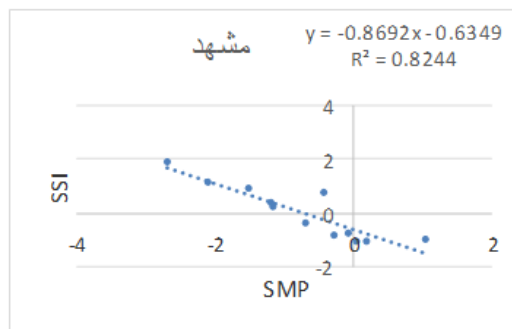
نکته مهم اینکه گرچه در روی این شکل ارقام منحنی‌ها جهت وضوح بیشتر با فواصل دو ترسیم شده‌اند، اما اگر از این نقشه در نرم افزار گرافیکی مربوطه (Surfer) استفاده شود، می‌توان با حرکت مکان‌نما بر روی نقشه در هر نقطه

از سطح افقی آن، مقادیر جزئی‌تر سه محور  $x$ ,  $y$  و  $z$  را بررسی و تغییرات هریک را بر حسب کمیت های دیگر را مشاهده نمود. نتیجه اینکه ترسیم اینگونه نقشه های سه بعدی روشی نوین جهت ارزیابی ویژگی های همه جانبه رخداد خشکسالی (آغاز، پایان و تداوم) در مقیاس زمانی ماهانه و کمتر از آن ارائه می نماید.

ایستگاه مشهد (شکل ۶) براساس سیستم طبقه‌بندی کوپن دارای اقلیم BSh است و از نوع اقلیم خشک می‌باشد (داوودی و همکاران، ۱۳۸۹). چنانکه در نمودارهای دوگانه (DGM) خشکسالی خورشیدی (شکل ۶) مشاهده می‌گردد، ضرایب تعیین بین ساعات آفتابی استاندارد شده و تابش دریافتی استاندارد شده با میزان بارش ماهانه استاندارد شده در این ایستگاه تقریباً برابر ( $R^2 = 0.82$ ) بوده و همان مطلبی که فوقاً در مورد ایستگاه کرمان ذکر شد، درباره این ایستگاه صادق است بجز اینکه ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و می در دوره مرطوب واقع شده‌اند. در این دوره چنانکه قبلاً اشاره شد با افزایش بارش استاندارد شده تعداد ساعات آفتابی استاندارد شده براساس یک رابطه ریاضی خطی کاهش می‌یابد که این خود نتیجه‌ی توده هوای MP بر این منطقه و پایداری نسبی جو است. در این ایستگاه با بررسی روابط بین خشکسالی و متغیرهای خورشیدی غالباً ماه‌های سال در دو ربع این نمودارها قابل بررسی است. پراکنش ماه‌ها در نمودارهای دوگانه‌ی خشکسالی - خورشیدی بر واقعیت‌های تجربی و مشاهداتی کاملاً منطبق است که این خود دقت و کارایی این نمودارها را توجیه می‌نماید به‌طوری‌که با شروع ماه دسامبر و آغاز زمستان تا اواخر بهار همزمان با تثبیت نسبی تعداد ساعات آفتابی میزان بارش به طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد. پس از آن تنها ماهی که در دوره‌ی نسبتاً مرطوب سال واقع می‌شود آخرین ماه بهار (می) است و پس از آن به علت غلبه‌ی سیستم‌های جوی پرفشار جنب حاره‌ای (STHP)، به سرعت از میزان بارش ماهانه کاسته و بر تعداد ساعات آفتابی افزوده می‌شود، به‌طوری‌که ۶ ماه از سال در ماه‌های تابستان و پاییز (نوامبر، آگوست، سپتامبر، ژون، اکتبر و ژولای) در دوره‌ی خشکسالی شدید واقع می‌شود. در این دوره‌ی ۶ ماهه به تدریج با بلندشدن روزها، تعداد ساعات آفتابی افزایش و میزان ابرناکی کاهش می‌یابد. در این ایستگاه براساس این نمودار بطور میانگین در دوره آماری مورد مطالعه ۶ ماه از سال در شرایط خشکسالی و ۶ ماه بقیه سال وضعیت ترسالی را تجربه می‌کنند.



ب



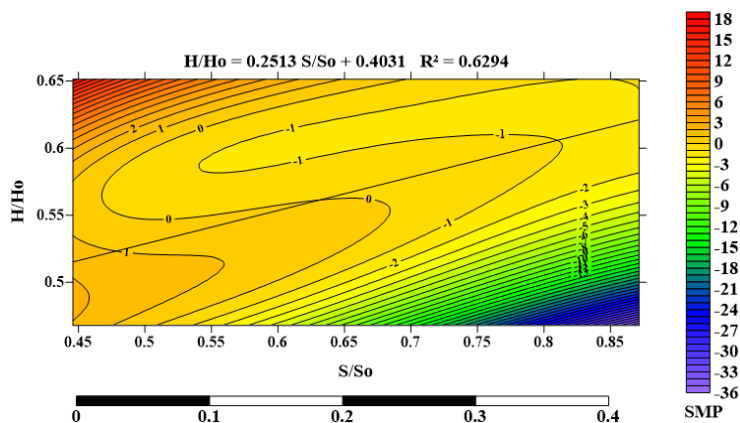
الف

شکل ۶: نمودار رابطه‌ی بین تابش خورشیدی (SSI) و خشکسالی (الف) و نمودار رابطه‌ی بین تعداد ساعات آفتابی (SSD) و خشکسالی (ب) در ایستگاه مشهد

از مقایسه اینگونه نمودارها با یکدیگر مشاهده می شود که با تغییر اقلیم از BSw (کرمان) به آب و هوای نوع BSh تعادل بین شرایط خشکسالی و ترسالی بیشتر می شود بعبارت دیگر در دوره آماری مورد مطالعه در این ایستگاه بطور کلی و میانگین هر سال به دوره شش ماه خشکی و مرطوب تقسیم شده و در مقایسه با ایستگاه کرمان با ۷ ماه دارای خشکسالی و ۵ ماه ترسالی، کمتر در معرض خشکسالی های اقلیمی قرار داشته است. بعلاوه چنانکه خواهیم دید در ایستگاههایی که شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک بر آنها حاکم است (کرمان و مشهد)، بین پارامترهای خورشیدی و بارش استاندارد رابطه‌ی خطی با ضریب تعیین بالاتری وجود دارد (اشکال شماره ۴ و ۶). نکته مهم دیگر اینکه شیب خط رگرسیون معادلات مربوط به تخمین خشکسالی اقلیمی بر مبنای متغیرهای خورشیدی با توجه نمودارهای DGM، در ایستگاههای مختلف یکسان نبوده و می تواند خود پایه‌ای جهت تصمیم‌گیری برای استفاده از روش ترسیمی سه‌گانه در بررسی روابط بین خشکسالی اقلیمی و متغیرهای مذکور و اعتبارسنجی مدل‌های ارائه شده بکار گرفته شود، زیرا هرچه این شیب بیشتر باشد نقاط مربوط به دوره های چند ماهه و مداوم خشکسالی و ترسالی بطور واضح تر در امتداد خط رگرسیون پراکنده شده و هر مجموعه از این ماه‌ها به‌گونه‌ای منفک و مشخص در دو ربع I و III قرار می گیرند. مثلاً مقایسه نمودارهای DGM ایستگاههای کرمان مبین آنست که میزان شیب این خط بنوعی تمایز فصلی دوره خشک و بارشی را نشان می دهد. 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.

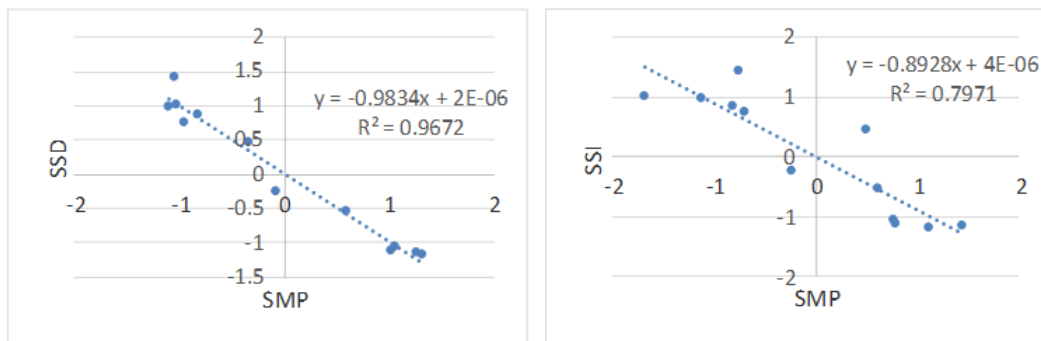
اگر همین روابط با روش سه‌گانه‌ی گرافیکی چنانکه در شکل ۷ (نمودار TGM در ایستگاه مشهد) بررسی گردد، مشاهده می شود که بر اساس معادله انگستروم همبستگی خطی قابل توجهی بین ساعات آفتابی و تابش دریافتی استاندارد شده وجود ندارد ( $R^2 = 0.62$ ) و در مقایسه با ایستگاه کرمان این رقم کمتر است و منحنی‌های هم ارزش بارش ماهانه استاندارد شده به اندازه ایستگاه کرمان منظم و موازی نیست. در این شکل منحنی هم ارزش با ارزش صفر که طبق تعریف ارائه شده در جدول ۳ بیانگر شرایط خشکسالی نرمال است بصورت یک نوار بشکل S تقریباً از میان خط رگرسیون معادله خطی انگستروم عبور نموده و در سمت چپ آن شرایط ترسالی و در طرف راست آن شرایط خشکسالی مشاهده می‌شود. توازی و نظم منحنی‌ها در این نقشه وضعیت منحصر بفردی را نمایش می‌دهند، بطوریکه از مبداء نمودار ( $H/Ho = S/So = 0.45$ ) تا اواسط هر محور ( $H/Ho = 0.55$  و  $S/So = 0.65$ ) شیب تغییر شرایط نرمال به سمت خشکسالی یا ترسالی تدریجی و فواصل بین منحنی‌ها کمتر بوده اما از این نقاط به طرف ارقام بیشتر بر روی هر محور این گرادیان و فاصله‌ها فزونی می یابد. بعبارت دیگر بر خلاف ایستگاه کرمان که بطور کلی با افزایش کمیت هر یک از متغیرهای خورشیدی، خشکسالی نیز تشدید و بر تداوم آن افزوده می‌شود. در ایستگاه مشهد سهم هر یک از این متغیرها در پیدایش و تداوم خشکسالی‌ها یکسان نیست و  $H/Ho$  بیشتر در غلبه ترسالی و  $S/So$  عمدتاً در چیرگی شرایط خشکسالی موثر است.





شکل ۷: نمودار TGM در ایستگاه مشهد

ایستگاه تهران که براساس سیستم طبقه‌بندی کوپن دارای اقلیم BSk است. همبستگی خطی بین تعداد ساعات آفتابی استاندارد شده با بارش ماهانه استاندارد شده بیشتر است ( $R^2 = 0.96$ ). طبق شکل ۸ در بین تعداد ساعات آفتابی نسبت به تابش خورشیدی با خشکسالی ماهانه استاندارد شده همبستگی بیشتری وجود دارد. از اینرو در شکل ۹-ب ماه‌ها بطور مشخص تری به دو گروه تقسیم شده‌اند، در صورتیکه در شکل ۹-الف این تمایز کمتر است. بنابراین براساس یافته‌های فوق این تمایز اقلیمی را می‌توان از ویژگی‌های آب و هوایی این ایستگاه تلقی نمود.



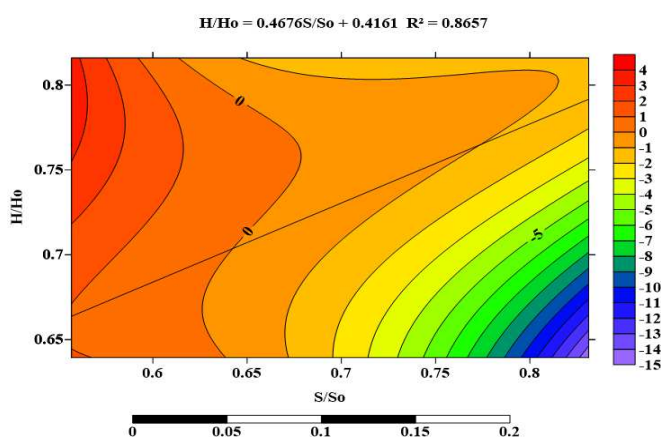
ب

الف

شکل ۸: نمودار رابطه‌ی بین تابش خورشیدی (SSI) و خشکسالی (الف) و نمودار رابطه‌ی بین تعداد ساعات آفتابی (SSD) و خشکسالی (ب) در ایستگاه تهران

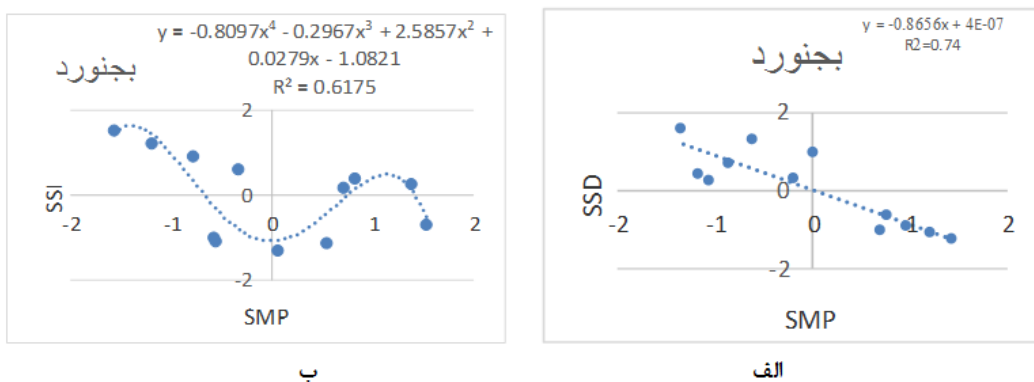
همین روابط را می‌توان با روش سه‌گانه‌ی گرافیکی چنانکه در شکل ۹ (نمودار TGM در ایستگاه تهران) مشاهده نمود. بر اساس معادله‌ی انگستروم همبستگی خطی بین ساعات آفتابی و تابش دریافتی استاندارد شده قابل توجه است ( $R^2 = 0.86$ ). در این شکل منحنی هم‌ارزش با ارزش صفر که طبق تعریف ارائه شده در جدول ۳ بیانگر شرایط

خشکسالی نرمال است در نقطه  $H/Ho = 0.7$  و  $S/So = 0.64$  خط رگرسیون معادله خطی آنگستروم قطع نموده و در سمت چپ آن شرایط ترسالی و در طرف راست آن شرایط خشکسالی مشاهده می‌شود. در این ایستگاه مشهد سهم هریک از این متغیرها در پیدایش و تداوم خشکسالی‌ها یکسان نیست، بطوریکه حتی با افزایش ارقام محور  $H/Ho$  شرایط ترسالی نسبتاً افزایش می‌یابد. اما پس از اندکی گذر بر روی محور  $S/So$  منحنی‌های خشکسالی با گرادیان یا شیب و فشردگی بیشتر شرایط خشکسالی را بخوبی نشان می‌دهند. این وضعیت بیانگر آنست که تغییرات  $S/So$  عمدتاً و بهتر در پیدایش و چیرگی شرایط خشکسالی موثر است.



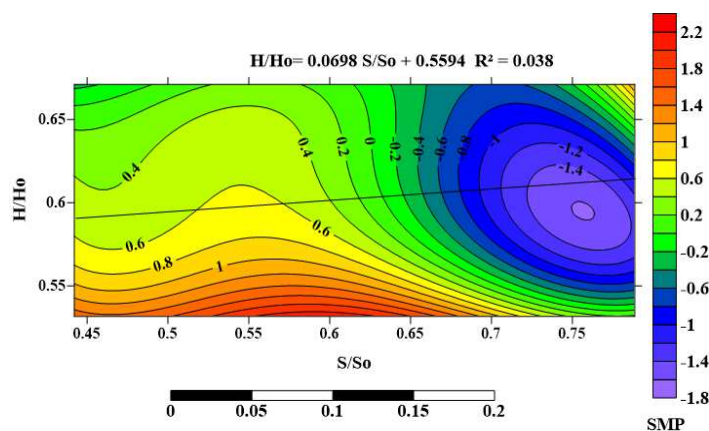
شکل ۹: نمودار TGM در ایستگاه تهران

در ایستگاه بجنورد که براساس سیستم طبقه‌بندی کوپن دارای اقلیم BSk است، رابطه‌ی بین SSI و SMP خطی و با ضریب تعیین معنی‌دار برقرار است و مانند ایستگاه‌های فوق می‌توان از این نمودار برای بررسی خشکسالی بدین روش استفاده نمود (شکل ۱۰).



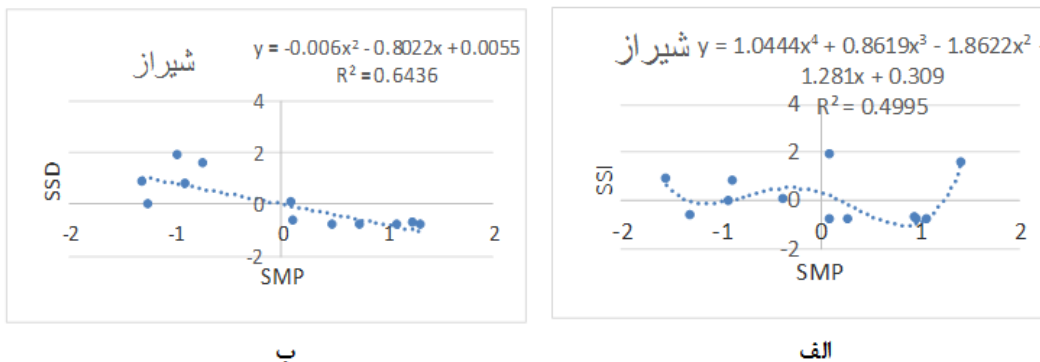
شکل ۱۰: نمودار رابطه‌ی بین تابش خورشیدی (SSI) و خشکسالی (الف) و نمودار رابطه‌ی بین تعداد ساعات آفتابی (SSD) و خشکسالی (ب) در ایستگاه بجنورد

با توجه به نمودار TGM (شکل ۱۱) مشاهده می شود که در این ایستگاه تأثیر تعداد ساعات آفتابی استاندارد شده بر بارش ماهانه استاندارد شده بیشتر از تابش خورشیدی است.

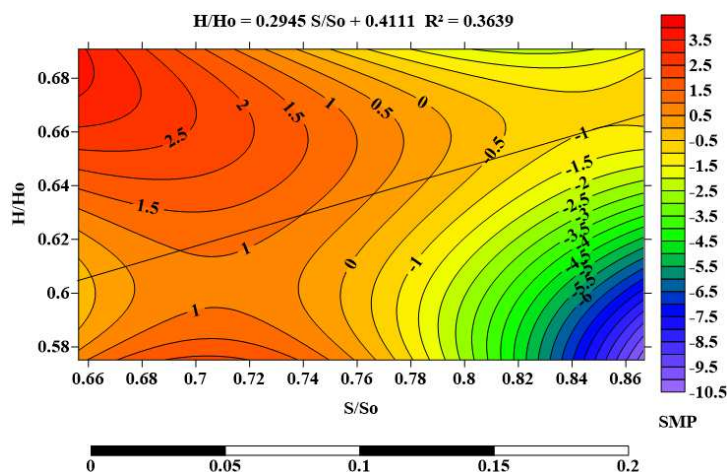


شکل ۱۱: نمودار TGM در ایستگاه بجنورد

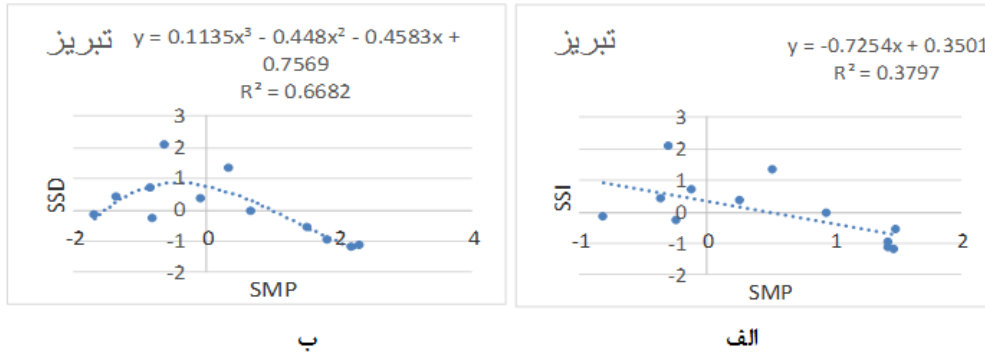
شکل شماره ۱۲ رابطه‌ی بین تابش خورشیدی (SSI) و خشکسالی (الف) و نمودار رابطه‌ی بین تعداد ساعات آفتابی (SSD) و خشکسالی (ب) را در ایستگاه شیراز نشان می دهد. همبستگی خطی قابل قبولی بین SSD و بارش ماهانه استاندارد شده ( $R^2 = 0.64$ ) وجود دارد و ۵ ماه از سال در ربع اول و هفت ماه بقیه در ربع سوم واقع شده اند بنابراین همان شرایط و توضیحات ایستگاههای کرمان و تهران برای آن صادق است. اما بین SSD و SSI چنین رابطه خطی وجود ندارد و بنابراین چنانکه در نمودار TGM (شکل ۱۳) مشاهده می شود اگرچه رابطه خطی آنگستروم بین متغیرهای خورشیدی نیز در این ایستگاه نسبتاً ضعیف بوده ( $R^2 = 0.36$ ) ولی در نقشه مربوطه متغیر خورشیدی S/So بخوبی توانسته شرایط خشکسالی و ترسالی را مشخص و تبیین نماید.



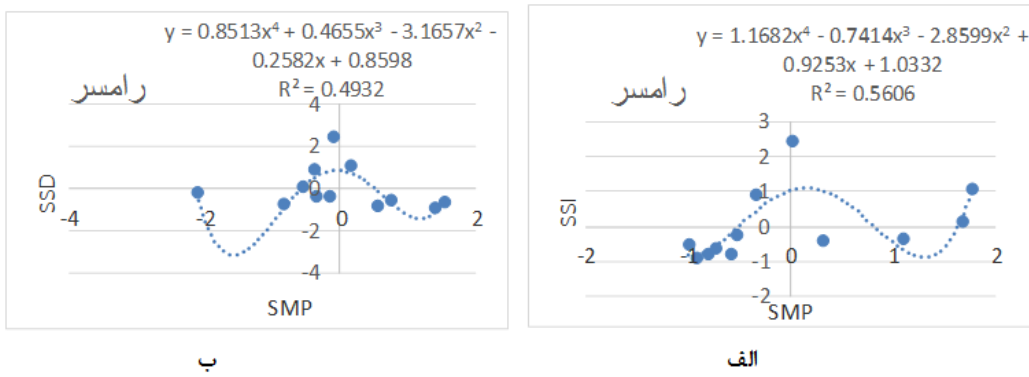
شکل ۱۲: نمودار رابطه‌ی بین تابش خورشیدی (SSI) و خشکسالی (الف) و نمودار رابطه‌ی بین تعداد ساعات آفتابی (SSD) و خشکسالی (ب) در ایستگاه شیراز



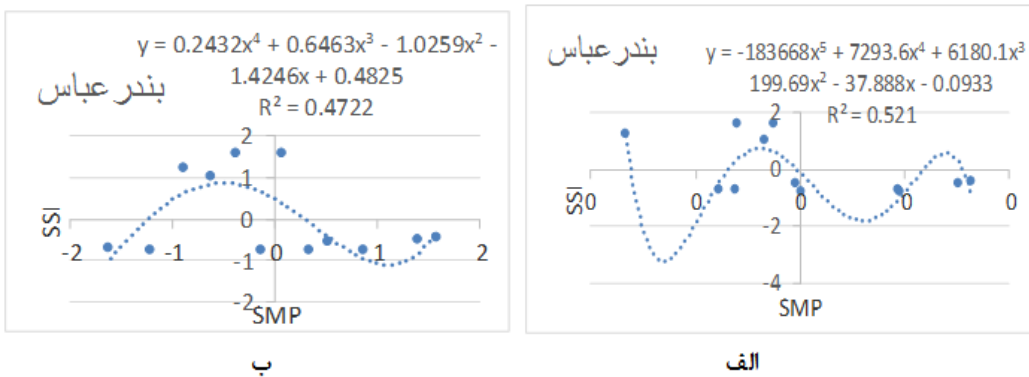
در مورد ایستگاه های هواشناسی تبریز، رامسر و بندر عباس که بر اساس سیستم طبقه بندی کوپن بترتیب دارای اقلیم BSk، Csa و Bwh هستند، بر اساس معادله آنگستروم، ارتباط خطی معنی داری بین متغیر های خورشیدی و بارش ماهانه استاندارد شده یافت نشد و ضرایب تعیین معادلات آنها بین ۰/۰۴ و ۰/۲۵۸ بدست آمد. بهمین جهت بعلت فقدان چنین رابطه معنی داری می توان چنین نتیجه گرفت که بیش از متغیر های خورشیدی عوامل هوا شناختی و جغرافیایی دیگری در تبیین الگو های رفتاری بارشی آنها تأثیر گذارند که مورد آنها از اهداف این تحقیق نیست. اشکال شماره ۱۴ تا ۱۶ رابطه ی بین تابش خورشیدی (SSI) و خشکسالی (الف) و نمودار رابطه ی بین تعداد ساعات آفتابی (SSD) و خشکسالی (ب) و اشکال شماره ۱۶ تا ۱۹ نمودار های TGM را این گروه از ایستگاه ها نشان می دهند. به عنوان مثال ایستگاه رامسر (شکل ۱۵) که در دامنه های شمالی البرز و در کرانه خزر واقع و براساس سیستم طبقه بندی کوپن دارای اقلیم Csa است، با توجه به پایین بودن میزان ضریب تعیین رابطه خطی (۰/۱۵۸) و ۰/۰۴ می توان نتیجه گرفت که تغییرات SSE و SSD نمی تواند تغییرات SMP را توجیه نماید و عوامل دیگری چون واقع شدن آن در دامنه های شمالی البرز، نزدیکی به دریای خزر، تأثیرپذیری از پرفشار سیبری، ناپایداری های جوی محلی و عوامل دیگر که موجب توزیع بارش تقریباً یکسان در تمام ماه های سال در این منطقه بوده و در این امر موثر می باشد.



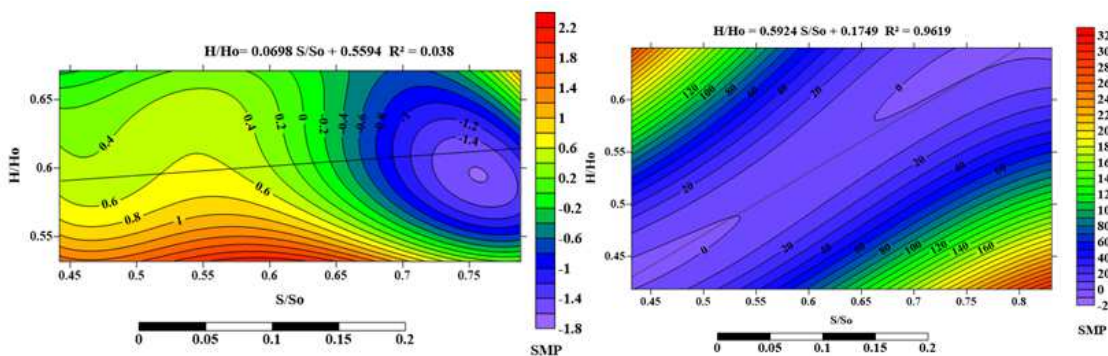
شکل ۱۴: نمودار رابطه‌ی بین تابش خورشیدی (SSI) و خشکسالی (الف) و نمودار رابطه‌ی بین تعداد ساعات آفتابی (SSD) و خشکسالی (ب) در ایستگاه تبریز



شکل ۱۵: نمودار رابطه‌ی بین تابش خورشیدی (SSI) و خشکسالی (الف) و نمودار رابطه‌ی بین تعداد ساعات آفتابی (SSD) و خشکسالی (ب) در ایستگاه رامسر

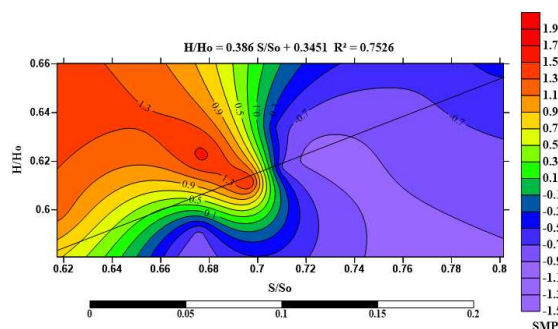


شکل ۱۶: نمودار رابطه‌ی بین تابش خورشیدی (SSI) و خشکسالی (الف) و نمودار رابطه‌ی بین تعداد ساعات آفتابی (SSD) و خشکسالی (ب) در ایستگاه بندرعباس



شکل ۱۷: نمودار TGM در ایستگاه تبریز

شکل ۱۸: نمودار TGM در ایستگاه رامسر



شکل ۱۹: نمودار TGM در ایستگاه بندرعباس

با بررسی تطبیقی نمودارهای دوگانه و نقشه‌های سه بعدی که در بالا مورد بحث قرار گرفتند این نتیجه بدست می‌آید که بطور کلی در ایستگاه‌هایی که بارش سالانه بطور عادلانه در چند ماه متوالی دریافت می‌شود و سال به دو دوره خشک و بارشی قابل تقسیم است و یا بعبارت دیگر نقاط مشخص شده در نمودارهای دوگانه در دو ربع I و III پراکنده می‌باشند و ضمناً ضرایب تعیین روابط خطی بین SSI و SSD با SMP و نیز ضرایب تعیین روابط خطی معادله آنگستروم بین S/So و H/Ho زیاد و قابل توجه‌اند، می‌توان بنحوی شایسته چنین روش‌هایی را برای تشخیص و ارزیابی جنبه‌های همه جانبه خشکسالی در مقیاس زمانی ماهانه مورد استفاده قرار داد. چنین ایستگاه‌هایی بر اساس سیستم طبقه‌بندی دومارتن دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک بوده و در سیستم کوپن در گروه B قرار می‌گیرند.

### نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که می‌توان ویژگی‌های همه‌جانبه‌ی خشکسالی اقلیمی مانند زمان آغاز، پایان، تداوم و شدت را در مقیاس‌های ماهانه و حتی کمتر بر اساس مقادیر متغیرهای هیدرومتئورولوژیکی و هواشناختی مرتبط با

پدیده خشکسالی، چون بارش (mm)، تشعشع خورشیدی (MJ.M- 2.Day-1)، و تداوم ساعات آفتابی (hr) برآورد نمود. برای بررسی تطبیقی این متغیرها همه آنها به کمیت‌های استاندارد شده تبدیل شده و روابط خطی بین بارش ماهانه (SMP)، تعداد ساعات آفتابی (SSD) و تابش دریافتی در سطح زمین استاندارد شده (SSI) با ترسیم نمودارهای دوگانه (DGM) و بر اساس معادله خطی آنگستروم ( $H/H_0 = A \cdot S/S_0 + B$ )، بر روی نقشه‌های سه بعدی (TGM) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. اما قبل از مراحل مذکور ابتدا ۲۰ ایستگاه هواشناسی همدید کشور که در آنها داده‌های تابش خورشیدی اندازه‌گیری و ثبت شده است در دوره آماری ۱۰-۱۹۷۰ بر اساس داده‌های مورد بررسی در تحقیق با روش Ward به هشت گروه تقسیم و از هر گروه یک ایستگاه بعنوان نمونه انتخاب گردید. نتایج تحقیق نشان داد که با توجه نمودارهای DGM، وضعیت خشکی برخی از ماه‌ها نسبت به جدول توصیف کیفی خشکسالی و ترسالی براساس شاخص SMP تغییر می‌یابد. زیرا در محاسبه شاخص بارش استاندارد شده فقط مقادیر بارش ماهانه مد نظر می‌باشد، اما اگر تأثیر هریک از متغیرهای خورشیدی به عنوان یک عامل هواشناختی در وضعیت خشکسالی و رطوبتی ماه‌های سال بررسی گردد، مبنایی برای ارائه یک روش جدید جهت تشخیص و ارزیابی جنبه‌های همه جانبه وضعیت خشکسالی در مقیاس زمانی ماهانه بدست می‌آید که می‌توان شرایط اقلیمی هر ماه بر حسب وضعیت خشکسالی - خورشیدی آن مجدداً تعریف نمود. همچنین در نمودارهای TGM، محدوده‌های و تغییرات کمی و کیفی خشکسالی و ترسالی بر حسب دو متغیر خورشیدی در مقیاس زمانی ماهانه را بررسی نمود و با توجه به ارقام خطوط منحنی میزان شدت خشکسالی را در هر ماه و حتی بین هر ماه مشاهده نمود و تغییرات شیب خط فرضی که به طور مستقیم هر دو ماه متوالی را به یکدیگر متصل می‌کند می‌تواند روند و تداوم دوره‌های چند ماهه خشکسالی را نمایش داد، می‌توان گفت که این پژوهش روشی نوین برای تشخیص آغاز، تداوم، شدت و پایان خشکسالی اقلیمی بر اساس روابط بین بارش استاندارد شده و مقادیر کمی متغیرهای خورشیدی (تعداد ساعات آفتابی و تابش دریافتی) در مقیاس زمانی ماهانه و حتی کمتر از آن برای ایستگاه‌های هواشناسی واقع در مناطق خشک و نیمه خشک ایران ارائه نموده است. نتایج بیانگر آنست که در ایستگاه‌هایی که که بارش سالانه بطور عادلانه در چند ماه متوالی دریافت می‌شود و سال به دو دوره خشک و بارشی قابل تقسیم است و یا عبارت دیگر نقاط مشخص شده در نمودارهای دوگانه در دو ربع I و III پراکنده می‌باشند و ضمناً ضرایب تعیین روابط خطی بین SSI و SSD با SMP و نیز ضرایب تعیین روابط خطی معادله آنگستروم بین  $S/S_0$  و  $H/H_0$  زیاد و قابل توجه‌اند، یا بر اساس سیستم طبقه بندی دومارتن دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک بوده و در سیستم کوپن در گروه B قرار می‌گیرند، روابط خطی معتبرتری بین متغیرهای خورشیدی و نمایه‌های خشکسالی SPI در مقیاس ماهانه وجود دارد. بطوریکه ضرایب تعیین در ایستگاه‌های خشک و نیمه خشک (کرمان، مشهد، تهران، بجنورد، و شیراز) بین SSI یا SSD با SMP بیش از ۰/۸۰ محاسبه شده است. بعلاوه در همین ایستگاه‌ها ارقام مذکور برای روابط خطی مبتنی بر معادله آنگستروم بین ۰/۶۰ تا ۰/۹۴ نیز بدست آمده است. بعلاوه بطور میانگین در دوره آماری ۱۰-۱۹۷۰، دوره خشکسالی در اکثر ایستگاه‌های فوق از اواخر ماه می (اردیبهشت) شروع شده و شامل ماه‌های ژون، ژولای، سپتامبر، اکتبر است و بعضاً تا اواخر نوامبر ادامه یافته و در همین دوره بیشترین مقادیر ساعات آفتابی و تابش خورشیدی نیز ثبت شده است. شیب خط رگرسیون معادلات مربوط به تخمین خشکسالی اقلیمی بر مبنای متغیرهای خورشیدی با

توجه نمودارهای DGM، در ایستگاه‌های مختلف یکسان نبوده و می‌تواند خود پایه ای جهت تصمیم‌گیری برای استفاده از روش ترسیمی سه‌گانه در بررسی روابط بین خشکسالی اقلیمی و متغیرهای مذکور و اعتبارسنجی مدل-های ارائه شده بکار گرفته شود. زیرا هرچه این شیب بیشتر باشد نقاط مربوط به دوره های چند ماهه و مداوم خشکسالی و ترسالی بطور واضح‌تر در امتداد خط رگرسیون پراکنده شده و هر مجموعه از این ماه‌ها به‌گونه‌ای منفک و مشخص در دو ربع I و III قرار می‌گیرند. مثلاً مقایسه نمودارهای ایستگاه مشهد (نمودار شماره ۶) با نمودارهای مشابه آن مربوط به ایستگاه تبریز (نمودار شماره ۱۴) مبین آنست که میزان شیب این خط بنوعی 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.

بررسی تطبیقی ضرایب تعیین مدل آنگستروم نشان می‌دهد که در ایستگاه‌هایی که بطور مشخص دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک هستند، تعداد ساعات آفتابی می‌تواند با اطمینان و با اعتبار آماری بالاتری تغییرات تابش خورشیدی دریافتی در سطح زمین را توجیه نماید ولی در غیر این صورت بویژه در ایستگاه‌های ساحلی و شمالی چنین وضعی مشاهده نمی‌شود و عوامل هواشناختی دیگری چون غبارآلودگی هوا، رطوبت نسبی و ابرناکی تغییرات تابشی را تبیین می‌کنند. مقایسه نمودارهای مربوط به ایستگاه‌های کرمان مشهد، تهران و بجنورد با نمودارهای تبریز، بندر عباس و رامسر این نتیجه را بخوبی بیان می‌کند. بررسی‌های انجام شده بیانگر آنست که در ایران تا کنون پژوهش‌های مشابه با تحقیق حاضر صورت نگرفته که بتوان نتایج آنها را با یافته‌های این مطالعه مقایسه نمود. اما نتایج پژوهش‌هایی که در کشور‌های دیگر انجام شده (سیرداس، ۲۰۰۲؛ سیرداس و ساهین، ۲۰۰۸)، بخوبی یافته‌های مورد اشاره در این تحقیق را تأیید می‌کنند.

## منابع

- داوودی، محمود، محمدی، حسین‌مراد، بای، ناصر، (۱۳۸۹)، تجزیه و تحلیل و پیش بینی برخی عناصر اقلیمی مشهد، مجله علمی و فنی نیوار، ۳۴ (۷۱-۷۰)، صص. ۴۶-۳۵.
- کمالی، غلامعلی، مرادی، اسحاق، (۱۳۸۴)، تابش خورشیدی- اصول و کاربردها در کشاورزی و انرژی‌های نو، چاپ اول، موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی، ۲۹۹ ص.
- تیبزاده، شهین، زارعی، حیدر، بذرافشان، ام البنین، (۱۳۹۳)، تحلیل شدت، مدت، فراوانی و گستره خشکسالی هواشناسی در حوضه آبریز بختگان، علوم و مهندسی آبیاری، ۳۸ (۴)، صص. ۱۲۳-۱۱۰.
- حسنی‌پاک، علی اصغر، (۱۳۸۶)، زمین آمار، دانشگاه تهران، ۳۸۰ صفحه.
- علوی‌پناه، سیدکاظم، متین‌فر، حمیدرضا، رفیعی امام، عمار، (۱۳۸۸)، کاربرد فناوری اطلاعات در علوم زمین (خاک شناسی رقومی)، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۵۷ صفحه.
- فاتحی مرج، احمد، حیدریان، احمد، (۱۳۹۲)، بررسی خشکسالی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی با استفاده از GIS در استان خوزستان، نشریه علمی-پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۷ (۲۳)، صص. ۳۲-۱۹.
- کلاتری، حمیده، (۱۳۹۱)، بررسی روابط شاخص خشکی دومارتن و تبخیر و تعرق گیاه مرجع در مناطق خشک و بیابانی ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد.



- منتصری، مجید، امیرعطایی، بابک، (۱۳۹۴)، پیش‌بینی استوکستیک احتمال وقوع خشکسالی (مطالعه موردی: شمال غرب ایران)، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، ۴۵ (۱)، صص. ۶۶-۵۱.
- Allen, R.G., (1998), "Evaluation of Procedures for Estimating Mean Monthly Sola".
- Altunkaynak A, Ozger M, Sen Z., (2003), "Triple diagram model of level fluctuations in Lake Van, Turkey", Hydrology and Earth System Sciences, 7 (2): 235-244.
- 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, N.A.C., (1993), "Statistics for Spatial Data", revised edition Wiley: New York; 900 pp.
- Duffie, J.A. and Beckman, W.A., (1991), "Solar engineering of thermal processing", 2nd ed. Madison: John Wiley & Sons, Inc.
- Isaaks EH, Srivastava RM., (1989), "An Introduction to Applied Geostatistics". Oxford: Oxford University Press: 561 pp.
- Kitanidis PK., (1997), "A variance-ratio test for supporting a variable mean in Kriging". Mathematical Geology, 29 (3): 335-348.
- Lu, G.Y. and Wong D.W., (2008), "An Adaptive Inverse-Distance Weighting spatial Interpolation Technique". Comp. Geosci, 34: 1044-1055.
- McKee T.B, Doeskin N.J, and Kleist, J., (1993), "The relationship of drought frequency and duration to time scales, 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA". American Meteorological Society, Boston, MA, 179-184.
- 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., (2002), "Meteorolojik Kuraklık Modellemesi ve T"urkiye Uygulaması (Meteorological drought modelling and application to Turkey)", PhD Thesis, Institute of Science and Art, Istanbul Technical University.
- Sirdas, S., Sahin, A. D., (2008), "Relationship between drought and solar irradiation variables". Hydrol Process, 22: 1460-1472.
- Wilhite, D., A. and M., H., Glantz, (1985), "Understanding the Drought Phenomenon, The Role of Definition", Water International, 10: 111-20.
- Wu, H., Hayes, MJ, Weiss, A, and 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.

## The relationship between drought and solar variables in some synoptic stations of Iran

Hassan Fathizad<sup>1</sup>, Azam Gholamnia<sup>1</sup>, Mohammad Hossein Mobin\*<sup>2</sup>, Hamid Sodaiezhadeh<sup>3</sup>

1- Ph.D. student of Combat Desertification, Department of management the arid and desert regions, College of Natural Resources and Desert, Yazd University, Iran

2- Assistant Professor, Department of management the arid and desert regions, College of Natural Resources and Desert, Yazd University, Iran

Email: mhmobin@yazd.ac.ir

3- Associate Professor, Department of management the arid and desert regions, College of Natural Resources and Desert, Yazd University, Iran

**Received:** 2016-09-04

**Accepted:** 2017-03-06

---

### Abstract

Drought is natural phenomenon's which can damage were and has a significant loss to human and natural structures. The occurrence of this phenomenon cannot be predicted with complete certainty. The main objective of this study is clustering of drought tradition stations and assessment Climate drought based on the triangular relationship between drought and Hydrometeorology and meteorology variables Such as rainfall, solar radiation and sunshine hours. In this study, using data from meteorological synoptic stations in Iran where twenty solar radiations were recorded, was conducted in the period 1970-2010. The stations studied using Minitab17 software based on the standardized precipitation index solar radiation and sunshine duration, Clustering, Standardized monthly precipitation and from each cluster a station were selected and to examine the relationship between drought and solar variables, and to examine the relationship between drought and solar variables the standardized precipitation same value curves map was drawn and then Angstrom equation variables such as solar radiation and sunshine duration as reference variables was drawn. The results showed solar variables divided into eight different Clusters in all studied stations coefficient of Angstrom equation 0.62-0.96 determinate except Bojnoord, Ramsar and Shiraz are 0.038, 0.067 and 0.36, respectively. The statistical mean period shows most station that started in March and continues in June, July, September, and October and continues in the late of November. In this period, the most sunshine hours and sun radiation are recorded.

**Keywords:** Triangular relationship, Standardized precipitation, Angstrom, Sunshine hours, Sun radiation.