گزارش کوتاه علمی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و پنجم، شماره دوم، ۱۳۹۷
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2018.12995.2764

طبقه‌بندی فرکتال روزهای تیپ هواشناسی بر مبنای رفتار تابشی (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک کرج)

فاطمه بی‌خوابی آرانی[۱] و *زهرا آقاشریعتمداری[۲]

[۱]دانش‌آموخته کارشناس‌ارشد گروه هواشناسی کشاورزی، دانشگاه تهران،

[۲]استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۲۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۲/۲

چکیده

سابقه و هدف: در حال حاضر بخش اعظم انرژی مورد نیاز بشر از طریق سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود. با توجه به کاهش ذخایر سوخت‌های فسیلی و افزایش آلاینده‌ها و در نتیجه تغییرات اقلیمی ناشی از آن، تولید و به‌کارگیری منابع نوین انرژی تجدیدپذیر که آلایندگی کم‌تری دارند یک ضرورت است. انرژی خورشیدی در میان سایر منابع انرژی تجدیدپذیر به‌علت بهینه‌بودن در تولید انرژی، بارزتر است. دانستن اطلاعات مربوط به تابش خورشید در بسیاری از کاربردهای صنعتی، سیستم‌های فتوولتائیک، کشاورزی و طراحی کلکتورهای خورشیدی کاربرد دارد. طی این مطالعه برآورد شاخص فرکتال روزانه تابش و شاخص پاکی آسمان به‌منظور ارائه یک مدل که امکان طبقه‌بندی روزها به سه تیپ را می‌دهد، به‌کار گرفته می‌شود. روشی که آستانه‌های بعد فرکتال با استفاده از تابع توزیع تجمعی؛ روزهای ایستگاه کرج را در سه کلاس: آفتابی، نیمه‌ابری و ابری طبقه‌بندی می‌نماید.

مواد و روش‌ها: پایگاه داده‌ای این آزمایش شامل داده‌های تابش کل اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک کرج در بازه زمانی ۲۰۱٤- ۲۰۱٦ و همین‌طور داده‌های ساعات آفتابی همین مدت از ایستگاه موردنظر است. پس از کنترل کیفی داده‌ها با استفاده از الگوریتم مرادی، بعد فرکتال داده‌ها به‌طور روزانه محاسبه گردید. به کمک بعد فرکتال داده‌ها و شاخص شفافیت آسمان طبقه‌بندی روزانه با استفاده از تابع توزیع تجمعی انجام گرفت. طبق این روش برای هر یک از سال‌ها دو آستانه برای بعد فرکتال به‌دست آمد که با استفاده از این آستانه‌ها روزها در سه کلاس طبقه‌بندی شدند، در ادامه به تحلیل ماهانه داده‌ها پرداخته شد.

نتایج و بحث: بر طبق نتایج به‌دست آمده در ایستگاه مورد مطالعه بیش‌ترین درصد وقوع کلاس یک در ماه آگست ۲۰۱۵، بیش‌ترین درصد وقوع کلاس دو در فوریه ۲۰۱٦ و بیش‌ترین درصد وقوع کلاس سه مربوط به مارس ۲۰۱۵ می‌باشد. همچین میزان انحراف معیار کم بعد فرکتال و شاخص پاکی آسمان از میانگین سالانه نشان‌دهنده طبقه‌بندی همگن روزها است، به‌علاوه میزان انحراف معیار بالای این دو متغیر در کلاس سه (بیش از ۱۰٪) ناشی از وجود روزهای بارانی در این کلاس است که باعث می‌شود سیگنال تابش شکل منظمی داشته باشد و بعد فرکتال در این

* مسئول مکاتبه: zagha@ut.ac.ir

روزها نزدیک یک محاسبه گردد. تحلیل و بررسی ماهانه بعد فرکتال امکان تشخیص ماه‌هایی که نوسانات تابش در آن اغلب زیاد است و یا ماه‌هایی که سیگنال تابش در آن‌ها منظم است را می‌دهد. این اطلاعات در تعیین سایز سیستم‌های فتوولتاییک و در راستای کاستن از هزینه‌های اولیه طراحی مناسب و ساخت سیستم‌های انرژی خورشیدی مناسب با آب و هوای منطقه مورد مطالعه بسیار مفید است.

نتیجه‌گیری: در این مطالعه به‌منظور بررسی شرایط منطقه موردنظر جهت استفاده از سلول‌های فتوولتاییک در راستای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی روشی جدید ارئه شده است. این روش با آستانه‌های بعد فرکتالی با استفاده از تابع توزیع تجمعی تعریف شده است. از سوی دیگر، امکان طبقه‌بندی روزانه تابش خورشید با استفاده از آستانه D به‌دست آمده از روش CDF نشان داده شد. طبقه‌بندی تابش خورشید در طراحی و نصب سیستم‌های انرژی خورشیدی به‌ویژه تنظیم PV، بسیار مهم است. روند الگوهای تابش روزانه خورشید اطلاعات با اهمیتی را با توجه به اهمیت فن‌آوری‌های تجدیدپذیر، در اختیار می‌گذارد. اهمیت این فناوری‌ها به‌علت گرمایش جهانی و دیگر تأثیرات مثبت در محیط، بسیار زیاد است. تحلیل ارائه شده در این بخش اهمیت زیادی به جهت کاستن از هزینه‌های اولیه به جهت طراحی مناسب و ساخت سیستم‌های انرژی خورشیدی مناسب با آب و هوای ایستگاه، دارا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تابش خورشیدی، بعد فرکتالی، طبقه‌بندی، تیپ روز، تابع توزیع تجمعی

مقدمه

پژوهش حاضر به‌منظور کمی‌سازی و تعیین رفتار فرکتالی سری زمانی روزانه تابش انجام گرفت. نوسانات تابش خورشید ناشی از تغییر شرایط آب و هوایی به‌ویژه ابرناکی می‌تواند منجر به تغییرات انرژی دریافتی در سطح زمین و انرژی تولیدی توسط سیستم‌های فتوولتائیک و عدم پایداری بازده انرژی تولیدی آن‌ها شود. در مسایل خورشیدی، بعد فرکتال به‌طور مستقیم با نوسانات زمانی سیگنال‌های تابش ارتباط دارد. از این‌رو می‌توان نوسانات تابش خورشیدی را به‌منظور ایجاد یک طبقه‌بندی مطابق با وضعیت جوی، تعیین نمود (۱، ۵ و ٦). هارونی و مافی (۲۰۰۲) با استفاده از شاخص فرکتال و طبقه‌بندی روزانه به بررسی عملکرد سیستم فتوولتاییک خودکار نصب شده در تهیفت[1] پرداختند که تطابق مناسبی بین شاخص‌های عملکرد بلندمدت و نمونه مورد بررسی مشاهده کردند (٤). مافی و هارونی (۲۰۰۳) به‌منظور برآورد شاخص فرکتال و استفاده از آن در طبقه‌بندی تابش‌های روزانه از داده‌های تابش اندازه‌گیری‌شده در بازه‌های زمانی ده دقیقه‌ای استفاده کردند و یک مدل طبقه‌بندی ارائه نمودند (۵). تاکنون مطالعه‌ای در زمینه طبقه‌بندی تیپ روزهای هواشناسی با استفاده از داده‌های تابش و نظریه فرکتالی در ایران انجام نگرفته است. هدف از این مطالعه استخراج و دستیابی به ویژگی‌های فرکتالی پنهان در سری زمانی تابش یک ایستگاه هواشناسی و طبقه‌بندی روزهای مختلف جهت بهره‌برداری بهینه از انرژی خورشیدی در این ایستگاه است. نتایج و روش کار در این مطالعه می‌تواند به‌عنوان الگویی جهت استفاده در سایر ایستگاه‌های هواشناسی و به‌منظور برنامه‌ریزی و مکان‌یابی محل احداث سیستم‌های فتوولتاییک مورد استفاده قرارگیرد.

1- Tahifet

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: ایستگاه مورد مطالعه ایستگاه هواشناسی سینوپتیک کرج با عرض جغرافیایی ۴۸′ ۳۵° شمالی و طول جغرافیایی ۵۷′ ۵۰° شرقی و ارتفاع ۱۲۹۲/۹ متر واقع در استان البرز است. در اولین گام داده‌های تابش کل رسیده به رویه افقی در سطح زمین در ایستگاه با گام زمانی دو ثانیه‌ای، طی بازه زمانی ۲۰۱٤ تا ۲۰۱٦، و همچنین داده‌های ساعات آفتابی این ایستگاه در بازه زمانی مورد مطالعه دریافت گردید.

برآورد بعد خودمتشابه (فرکتال): بعد فرکتالی پارامتری مهم در مدل‌سازی فرکتالی و شامل اطلاعاتی راجع به بی‌نظمی شکل سیگنال‌ها است. چندین الگوریتم برای محاسبه بعد فرکتالی سیگنال‌ها ارائه شده است (۲، ۳ و ٦). در این مطالعه به‌دلیل آن‌که تابش کل روزانه، سری زمانی گسسته یک‌بعدی است از بعد مینکوفسکی- بولیگاند[1] برای اندازه‌گیری این نوسانات استفاده شد.

بولیگاند نشان داد که بعد D از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$D_M = 2 - \lambda(S) \qquad (۱)$$

که در آن، $\lambda(S)$ عامل تشابه و نشانگر مرتبه بسیار کوچک $S(\Delta\tau)$ می‌باشد. که توسط رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\lambda(S) = \lim_{\Delta\tau \to 0} \frac{\ln[S(\Delta\tau)]}{\ln(\Delta\tau)} \qquad (۲)$$

با استفاده از قوانین لگاریتم و با جایگزینی:

$$\ln\left(\frac{S(\Delta\tau)}{\Delta\tau^2}\right) \cong D.\ln\left(\frac{1}{\Delta\tau}\right) + cons\tan t, as \Delta\tau \to 0 \qquad (۳)$$

پس از بازآرایی:

$$D = \left[\frac{\ln\left(\frac{S(\Delta\tau)}{\Delta\tau^2}\right)}{\ln\left(\frac{1}{\Delta\tau}\right)}\right] \qquad (٤)$$

سپس چندین نقطه $(\Delta\tau_i, S(\Delta\tau_i))$ برای ترسیم خط باید محاسبه گردد. برآورد بعد فرکتال D نیازمند برازش مناسبی بر منحنی لگاریتمی تعریف شده بر اساس رابطه ۳ است.

طبقه‌بندی فرکتالی تابش خورشیدی: مطالعات هارونی و مافی (۲۰۰۵) نشان می‌دهد بسیاری از سیگنال‌های روزانه تابش خورشید بعد فرکتالی مشابهی دارند در حالی‌که مربوط به روزهایی با شرایط آب و هوایی کاملاً متفاوت است بنابراین در کنار بعد فرکتالی باید از ضریب ابرناکی نیز استفاده نمود (٤)؛ ضریب ابرناکی K_T عبارتست از نسبت تابش کل دریافتی از خورشید بر رویه افقی در سطح زمین (H) به تابش کل دریافتی از خورشید بر رویه افقی در بالای جو زمین (H_0). بنابراین:

$$K_T = \frac{H}{H_0} \qquad (۵)$$

شاخص ضریب ابرناکی در بازه $0 < K_T \leq 1$ قرار دارد.

طبقه‌بندی فرکتال روزانه: طبقه‌بندی فرکتال روزانه با استفاده از روش آماری انجام می‌گیرد، این روش براساس تابع توزیع تجمعی (CDF)، $F_X(X)$ می‌باشد. $F_X(X)$ توزیع احتمالی از مقادیر واقعی متغیر تصادفی X است. برای هر مقدار واقعی عدد x، $CDF(X)$، مقدار متغیر تصادفی X از مقادیر کم‌تر یا مساوی x تعیین می‌شود. بنابراین، تابع توزیع تجمعی $F_x(x)$ برای دو آستانه D بعد فرکتال به‌ترتیب مطابق با رابطه‌های ٦ و ۷ است.

1- Minkowski-Bouligand

$$F_x(x)_1 = \frac{\max(F_x(x)) - \min(F_x(x))}{3} \quad (۶)$$

و

$$F_x(x)_2 = \frac{2(\max(F_x(x)) - \min(F_x(x)))}{3} \quad (۷)$$

مقادیر تابع توزیع تجمعی $CDF(X)$ برای سال‌های آماری محاسبه و دو آستانه برای D_1 و D_2 محاسبه گردید، نتایج در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- آستانه‌های بعد فرکتالی آماری برای ایستگاه کرج.

Table 1. Statistical Fractal dimension thresholds for Karaj site.

	2014	2015	2016
D_1	1.24	1.11	1.21
D_2	1.4	1.34	1.37

با استفاده از این آستانه‌ها و همچنین با استفاده از شاخص شفافیت آسمان می‌توان روزها را از نظر وضعیت تابش به سه دسته روز با آسمان صاف، روز با آسمان نیمه ابری و روز با آسمان کاملاً ابری تقسیم‌بندی کرد. در جدول ۲ نتایج ماهانه درصد احتمال وقوع هر کلاس، میانگین و انحراف استاندارد دو متغیر D و K_T ارائه شده است.

جدول ۲- ویژگی‌های ماهانه به‌دست آمده برای هر کلاس از تابش در ایستگاه کرج.

Table 2. Monthly characteristics of each class obtained for the Karaj site.

	سال year	2014			2015			2016		
	کلاس Class	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ژانویه January	D%	10	35	55	20.69	24.14	55.17			
	$\langle D \rangle$	1.13	1.33	1.41	1.08	1.23	1.48			
	σ(D)	0.07	0.04	13.0	0.02	0.07	0.1			
	$\langle KT \rangle$	0.76	0.74	0.5	0.74	0.71	0.51			
	$\sigma\langle KT \rangle$	0.01	0.04	0.18	0.04	0.08	0.15			
فوریه February	D%	38.1	4.76	57.14	24	16	60	28.58	38.1	33.34
	$\langle D \rangle$	1.08	1.37	1.4	1.07	1.24	1.46	1.09	1.29	1.47
	σ(D)	0.07	0	0.12	0.02	0.07	0.11	0.05	0.05	0.11
	$\langle KT \rangle$	0.74	0.69	0.53	0.77	0.74	0.48	0.78	0.69	0.48
	$\sigma\langle KT \rangle$	0.04	0.05	0.19	0.03	0.02	0.2	0.03	0.09	0.16
مارس March	D%	19.23	23.08	57.69	0	5	95	18.19	36.37	45.46
	$\langle D \rangle$	1.11	1.31	1.45	0	1.26	1.45	1.11	1.27	1.52
	σ(D)	0.05	0.05	0.1	0	0	0.14	0.01	0.07	0.05
	$\langle KT \rangle$	0.75	0.71	0.54	0	0.75	0.55	0.8	0.76	0.63
	$\sigma\langle KT \rangle$	0.05	0.1	0.24	0	0	0.18	0.06	0.05	0.14
آپریل April	D%	13.04	21.74	65.22	17.65	17.65	64.71	18.75	12.5	68.75
	$\langle D \rangle$	1.12	1.32	1.52	1.08	1.21	1.47	1.06	1.37	1.5
	σ(D)	0.03	0.05	0.09	0.03	0.09	0.07	0.02	0	0
	$\langle KT \rangle$	0.64	0.69	0.57	0.78	0.74	0.58	0.78	0.72	0.58
	$\sigma\langle KT \rangle$	0.14	0.07	0.2	0.02	0.05	0.21	0.03	0.04	0.09

ادامه جدول ۲-

Continue Table 2.

	سال year	2014			2015			2016		
	کلاس Class	1	2	3	1	2	3	1	2	3
مه May	D%	16.67	33.33	50	27.27	4.55	68.18	20.69	20.69	58.63
	$\langle D \rangle$	1.11	1.33	1.51	1.08	1.23	1.5	1.11	1.3	1.54
	σ(D)	0.08	0.05	0.07	0.02	0	0.1	0.05	0.03	0.09
	$\langle KT \rangle$	0.68	0.67	0.48	0.72	0.67	0.54	0.73	0.7	10.05
	$\sigma\langle KT \rangle$	0.06	0.07	0.21	0.02	0	0.12	0.03	0.04	0.09
ژوئن June	D%				47.06	23.53	29.41	40	23.34	36.67
	$\langle D \rangle$				1.06	1.25	1.54	1.1	1.31	1.54
	σ(D)				0.03	0.06	0.12	0.04	0.04	0.07
	$\langle KT \rangle$				0.69	0.67	0.6	0.72	0.66	0.62
	$\sigma\langle KT \rangle$				0.03	0.03	0.07	0.04	0.07	0.1
ژولای July	D%				34.48	31.03	34.48	31.25	6.25	62.5
	$\langle D \rangle$				1.05	1.25	1.47	1.1	1.34	1.61
	σ(D)				0.03	0.06	0.07	0.05	0	0.11
	$\langle KT \rangle$				0.71	0.69	0.64	0.69	0.69	0.66
	$\sigma\langle KT \rangle$				0.02	0.01	0.06	0.02	0	0.03
اوت August	D%				72.73	18.18	9.09			
	$\langle D \rangle$				1.07	1.3	1.43			
	σ(D)				0.03	0.04	0			
	$\langle KT \rangle$				0.69	0.67	0.69			
	$\sigma\langle KT \rangle$				0.02	0.03	0			
دسامبر December	D%	41.38	24.14	34.48						
	$\langle D \rangle$	1.1	1.35	1.43						
	σ(D)	0.05	0.05	0.1						
	$\langle KT \rangle$	0.7	0.63	0.47						
	$\sigma\langle KT \rangle$	0.07	0.06	0.24						

با توجه به جدول ۲ کلاس یک در ماه دسامبر ۲۰۱٤، ماه‌های ژوئن و اوت ۲۰۱۵ و ماه ژوئن ۲۰۱٦ و کلاس دو در ماه فوریه ۲۰۱٦ بیش‌ترین درصد احتمال وقوع را دارا بودند در سایر ماه‌ها کلاس سه دارای بیش‌ترین درصد احتمال وقوع بود. حداکثر دریافت انرژی در ماه اوت سال ۲۰۱۵ رخ داد. در تمامی ماه‌ها انحراف استاندارد داده‌ها در کلاس یک و دو کم‌تر از ۱۰٪ است که نشان‌دهنده همگنی طبقه‌بندی در این روش است. انحراف بیش از ۱۰٪ داده‌ها از میانگین در دسته سه ناشی از یکنواختی و نظم سیگنال‌های تابش در روزهای بارانی است که موجب تعیین بعد فرکتالی در محدوده دسته یک

می‌گردد و با تأثیر دادن ضریب ابرناکی این روزها در دسته سه جای می‌گیرند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش میانگین ماهانه بعد فرکتالی D به‌منظور بررسی نوسانات ماهانه تابش مورد بررسی قرار گرفت و نشان داد تابش در تمام دوره آماری نوسانی است، همچنین میزان نوسانات تابش در دوره آماری موردنظر مشابه است. میزان انحراف از معیار پایین داده‌ها نشانگر عدم پراکندگی داده‌ها از میانگین است. این اطلاعات برای تنظیم اندازه سیستم‌های فتوولتائیک بسیار مفید است. به کمک این اطلاعات می‌توان برنامه‌ریزی جامع و مناسب جهت بهره‌برداری از سیستم‌های فتوولتائیک و ذخیره انرژی در ماه‌هایی که میزان انرژی دریافتی تابش خورشیدی زیاد است برای ماه‌هایی که دریافت انرژی در آن‌ها پایین اما درخواست انرژی بالا است، را انجام داد. با تکمیل بانک داده‌ها، از طریق این روش می‌توان به نتایج ارزنده‌ای در زمینه تحلیل کارایی سیستم‌های فتوولتائیک دست یافت.

منابع

1.Badescu, V. 2014. Modeling solar radiation at the earth's surface. Springer, Germany, 537p.

2.Dubuc, B., Quiniou, J.F., Roques-Carmes, C., Tricot, C., and Zucker, S.W. 1989. Evaluating the fractal dimension of profiles. Physical Review A. 39: 3. 1500-1512.

3.Ghaffari, H. 2012. Fractal dimension and impact of some of its mathematical operators, Master's Thesis, Department of Mathematics and Computer Science at the University of Damghan, 72p. (In Persian)

4.Harrouni, S., and Maafi, A. 2002. Classification des éclairements solaires à l'aide de l'analyse fractale. Revue Internationale des énergies renouvelables (CDER), 5: 107-122.

5.Maafi, A., and Harrouni, S. 2003. Preliminary results of the fractal classification of daily solar irradiances. Solar Energy, 75: 1. 53-61.

6.Moradi, I. 2009. Quality control of global solar radiation using sunshine duration hours. Energy, 34: 1. 1-6.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(2), 2018
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2018.12995.2764

Short Technical Report

Fractal classification of typical meteorological day based on solar behavior (Case study: Karaj synoptic station)

F. Bikhabi Arani[1] and *Z. Aghashariatmadari[2]

[1]M.Sc. Graduate of Agrometeorology, University of Tehran, [2]Assistant Prof., Dept. of Irrigation Engineering and Development, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

Received: 03.15.2017; Accepted: 04.22.2018

Abstract

Background and Objectives: Nowadays, most of the energy needs of humans are supplied by fossil fuels. Given the decline in fossil fuel reserves and rising emissions and consequent climate change, the production and use of new sources of clean renewable energy with fewer emissions is of high importance. Solar energy is more pronounced among other renewable energy sources, due to the efficiency of energy production. Solar radiation data is used in many industrial applications, photovoltaic systems, agriculture and solar collector design. For this purpose, the fractal dimension is used as a classification criterion. In this study, the estimation of the daily fractal index and the index of purity of sky are used to provide a model that allows classifying the days into three types. In this method, with the advantage of cumulative distribution function, the fractal dimension classifies the days of Karaj station in three classes: clear sky, partially cloudy sky and cloudy sky.

Materials and Methods: The database of this experiment includes the total radiation data measured at the Karaj synoptic meteorological station in the period 2014-2016, as well as the sunny hours of the same period from the station. In the first stage after data quality control using moradi algorithm, daily fractal dimension of solar radiation time series was calculated. Daily classification was performed with the help of the fractal dimension data and the Transparency Index of Sky using the cumulative distribution function. According to this method, for each year, two fractal thresholds were obtained using the cumulative distribution function (CDF) and by using these thresholds the days were classified into three classes. Then, monthly data analysis was performed.

Results: According to the results obtained at the station, the highest frequency of class 1 was occurred in August 2015, high frequency of class 2 was occurred in February 2016 and high frequency of class 3 was occurred in March 2015. Also, these statistical properties showed that our classification method leads to homogeneous groupings of the studied days since the standard deviations of D and KT were low in comparison with their averages. The more standard deviation of these two variables for class III (upper than 10%) is due to rainy days in this class, which causes the signal Radiation has a regular shape and then the fractal is calculated near to 1. However, the monthly analysis of the fractal dimension allows the detection of the months in which radiation fluctuations are often high or in which the radiation pattern is regular. This information is very useful in determining the size of photovoltaic systems in order to reduce the cost of initial design and the construction of solar energy systems appropriate to the climate of the study area.

* Corresponding Author; Email: zagha@ut.ac.ir

Conclusion: In this study, a new method has been proposed for classification of radiation per day according to different weather classes, in order to use photovoltaic systems and solar energy in the study area. This method has been proposed to classify the daily global irradiances into typical days using the fractal dimension as a basic criterion since it allows quantifying the irradiance fluctuations. This method defines fractal dimension thresholds using the cumulative distribution function. Then shown that it is possible to realize daily solar irradiances classification using the D thresholds obtained from the CDF method. Classification of the daily solar irradiance is important in design and installation of solar energy systems, especially PV arrays. Trends in the patterns of daily solar irradiance became significant information due to the recent interests in renewable technologies. This interest is essentially due to global warming and other negative effects to our environment. Such analyses presented in this purpose are of great interest as they reduce the initial costs by appropriate design and construction of solar energy systems suitable to the climate of the site of interest.

Keywords: Solar radiation, Fractal dimension, Classification, Typical day, Cumulative distribution function