

## ارزیابی تجربی روابط رگرسیونی بین شدت لحظه‌ای تابش فعال فتوستت و شدت تابش کل

### خورشید

علی اکبر سبزی پرور<sup>۱\*</sup> - علی کریمی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۰۷

### چکیده

تحقیقات نشان می‌دهد که تغییرات قابل ملاحظه شدت تابش فعال فتوستت (PAR) می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای در عملکرد کمی و کیفی گیاهان داشته باشد. این پراسنج متأسفانه به دلایل اقتصادی و فنی به ندرت در ایران اندازه‌گیری می‌گردد و در ایستگاه‌های تابش سنجی کشور صرفاً تابش کل خورشیدی (TSR) پایش می‌گردد. هدف از این تحقیق بررسی روابط رگرسیونی بین شدت لحظه‌ای TSR با شدت تابش لحظه‌ای PAR تحت چهار شرایط مختلف جوی (آسمان صاف، بخشی ابری، تمام ابری، و همه شرایط) می‌باشد. به همین منظور مؤلفه‌های تابش ذکر شده و دیگر پارامترهای هواشناسی حداقل به تعداد چهار نوبت در روز به طور همزمان از فروردین تا آخر بهمن ۱۳۹۵ در ایستگاه هواشناسی دانشگاه بوعلی سینای همدان اندازه‌گیری گردید. نتایج تحقیق نشان داد که یک رابطه رگرسیونی خطی بین تابش TSR با تابش PAR برقرار می‌باشد. مقدار ضریب همبستگی این روابط که برای مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه استخراج گردید، تحت تأثیر شرایط آسمان (مقدار ابرناکی) قرار داشت، به طوری که با افزایش مقدار ابر مقدار ضریب همبستگی کاهش یافت. در این پژوهش همچنین نسبت بین تابش PAR با تابش TSR استخراج گردید. نتایج نشان داد که مقدار نسبت PAR/ TSR نیز تابع شرایط ابرناکی ایستگاه است. بررسی نسبت PAR/ TSR در مقیاس فصلی و سالانه نشان داد که با افزایش ابرناکی این نسبت نیز افزایش می‌یابد. به طوری که در مقیاس سالانه نسبت تابش فعال فتوستت به تابش کل از آسمان صاف به آسمان تمام ابری به ترتیب از ۰/۴۳۰، ۰/۴۸۹، افزایش می‌یابد.

**واژه‌های کلیدی:** تأثیر ابرناکی، کسر تابش PAR/ TSR، شرایط مختلف جوی. همدان

### مقدمه

خورشیدی ( $1000-800 \text{ kWh/m}^2/\text{yr}$ ) کمتر از نصف متوسط تابش در کشور ایران است. با توجه به مساحت ایران (حدود  $1648000$  کیلومتر مربع)، کل مقدار تابش در ایران حدود  $3/3$  میلیون ترا وات ساعت در سال می‌باشد که سیزده برابر کل انرژی مصرفی در ایران است؛ بنابراین شناخت مکان‌های مناسب جهت به‌کارگیری انرژی‌های نو همچون انرژی خورشید الزامی می‌باشد. بیابان‌های ایران از جمله نقاطی هستند که دارای پتانسیل انرژی خورشیدی بالایی می‌باشند. کمالی و مرادی (۵) نشان دادن تابش خورشید یکی از عوامل غیرزنده اکوسیستم است که نقش مهمی در غذا سازی تولیدکننده‌ها دارد. درباره اثر نور بر رشد گیاهان مطالعات فراوانی انجام شده است. کمبود نور بر شکل بیرونی گیاه و سرعت رشد طولی آن تأثیر می‌گذارد. گیاهی که در تاریکی می‌روید معمولاً ساقه‌ای بلند و باریک دارد و برگ‌ها گسترش نمی‌یابد. در این شرایط برگ‌ها و ساقه‌ها هر دو فاقد کلروفیل خواهند بود. اگر چنین گیاهی در معرض نور قرار بگیرد، رشد طولی ساقه‌اش کاهش می‌یابد. اگر همان نوع گیاه در نور پرورش یابد تنومند شده و برگ‌های آن کاملاً سبز و

خورشید یکی از منابع اصلی و بزرگ برای کره خاکی بوده و به طور مستقیم و یا غیرمستقیم روی فعل و انفعالات پدیده‌های فیزیکی آن مؤثر می‌باشد. تابش خورشید در رشد نباتات و زندگی انسان و حیوانات نقش مهمی داشته و در کشاورزی و صنعت به وجود نور بیش از پیش نیاز پیدا می‌شود. تابش خورشید یکی از متغیرهای مهم اقلیمی است و انرژی لازم برای همه پدیده‌های سطح زمین را فراهم می‌کند به طوری که گرمای آن باعث ایجاد فرآیندهای بسیاری بر سطح زمین می‌شود. تاجیک و همکاران (۷) نشان دادن که میزان تابش خورشید در ایران ( $2000 \text{ kWh/m}^2/\text{yr}$ ) یکی از بزرگ‌ترین مقادیر در جهان است. به عنوان مثال در آلمان، میزان تابش سالانه

۱ و ۲- استاد هواشناسی گروه مهندسی علوم آب و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا  
(\*) نویسنده مسئول: (Email: swsabzi@basu.ac.ir)

باند تابش کل خورشیدی را به عنوان تابعی از شاخص ابر، عمق نوری آئروسول، آب قابل بارش، کل ستون ازن و زاویه اوج خورشیدی بیان می‌کند. در این تحقیق آب قابل بارش و عمق نوری آئروسول از داده‌های زمینی چهار منطقه از محیط گرمسیری تایلند و شاخص ابر و کل ستون ازن از داده‌های ماهواره‌ای OMI/AURA و MTSAT-IR به دست آمد. برای ارزیابی دقت این مدل از انحراف جذر میانگین مربعات (RMSD)<sup>۴</sup> که برابر ۷.۹-۷.۳ درصد، اختلاف انحراف میانگین (MBD) که برابر ۳.۵ تا ۴.۵ درصد و ضریب تبیین ( $R^2$ ) برابر ۰/۹۶ برآورد شد استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که این مدل به دلیل اینکه اثرات آئروسول‌هایی که در جو باعث پراکندگی و جذب تابش خورشیدی می‌شوند را شامل می‌شود دارای خطای کمتری در مقایسه با مدل‌های دیگر است.

#### اهداف پژوهش

هدف از این تحقیق صرفاً بررسی همبستگی آماری بین شدت تابش کل خورشیدی (Total Global Solar Radiation-TSR) و شدت تابش فعال فتوسنتز (PAR) می‌باشد. با این هدف که با استخراج روابط تجربی بین PAR-TSR در مواقعی که ابزار اندازه‌گیری تابش PAR در دسترس نیست، بتوان با استفاده از دستگاه سنسجس TSR که معمولاً در دسترس است، شدت تابش PAR را برآورد نمود (لازم به ذکر است که در اغلب ایستگاه‌های تابش سنسجس کشور تابش TSR توسط دستگاه پیرانومتر اندازه‌گیری می‌گردد).

#### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** در این تحقیق اندازه‌گیری مؤلفه‌های تابش در استان همدان، ایستگاه هواشناسی واقع در دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا انجام گردید. این ایستگاه با موقعیت جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۷/۹۱ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۸/۸۹ دقیقه طول شرقی و با ارتفاع ۱۸۵۱ متر از سطح دریا در یک محوطه باز در داخل دانشگاه بوعلی سینا در جنوب غربی شهر همدان قرار دارد (شکل ۱). شهرستان همدان با وسعتی حدود ۴۱۱۸ کیلومتر مربع، از خط‌الرأس رشته‌کوه‌های الوند تا مرزهای شرقی استان کشیده شده است. اقلیم همدان با توجه به اقلیم‌بندی کوپن جزء مناطق سرد و نیمه‌خشک محسوب می‌شود.

بزرگ می‌شود. یکی از مهم‌ترین زمینه‌های کاربردی تابش خورشیدی، بخش کشاورزی می‌باشد. فتوسنتز پدیده فتوبیولوژیکی است که توانایی گیاهان در تبدیل انرژی نورانی به انرژی شیمیایی را به نمایش می‌گذارد. در حقیقت، در صورتی که آب، مواد غذایی و دما برای رشد مناسب باشند، رشد گیاهان و در نتیجه میزان محصول به طور مستقیم به تابش فعال فتوسنتزی (PAR) وابسته می‌شود. با توجه به اهمیت تابش PAR در کشاورزی متأسفانه در ایران در اکثر ایستگاه‌های هواشناسی به دلیل پرهزینه بودن این دستگاه و مقرون به صرفه نبودن، از مؤلفه‌های تابش تنها تابش کل (TSR)<sup>۲</sup> استفاده می‌شود.

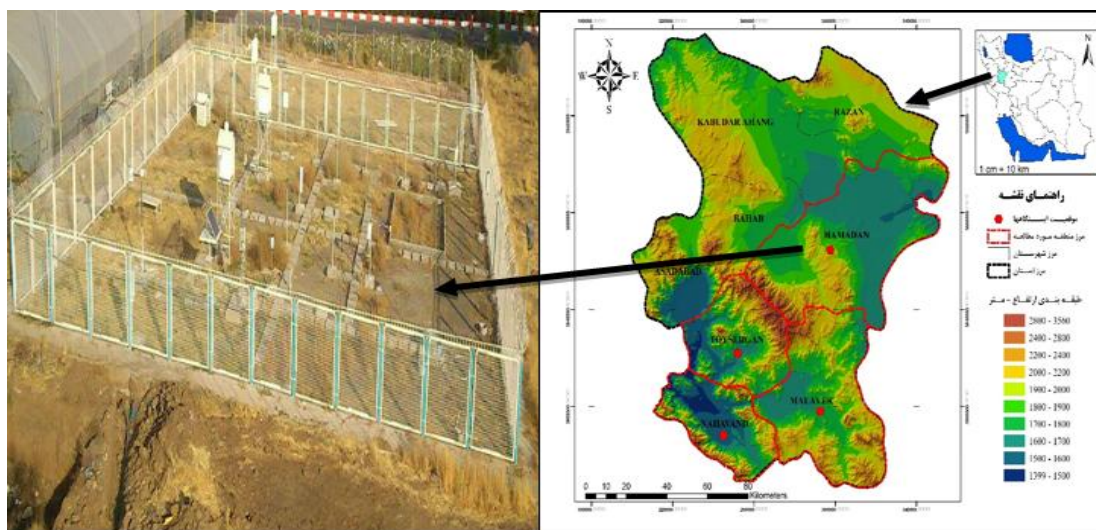
جکویزد و همکاران (۳) به بررسی تابش فعال فتوسنتزی و رابطه آن با تابش کل خورشیدی در حوزه مدیترانه شرقی پرداختند. در این مطالعه داده‌های ساعتی تابش فعال فتوسنتزی ( $H_{PAR}$ ) و تابش خورشیدی ( $H_{SW}$ ) به مدت دو سال برداشت گردید. این داده‌ها برای به دست آوردن تغییرات زمانی  $H_{PAR}$  و تعیین وابستگی آن‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. دامنه تغییرات فصلی نسبت  $H_{PAR}/H_{SW}$  از ۰/۴۵۶ (تابستان) تا ۰/۴۵۱ (در زمستان) با میانگین سالانه ۰/۴۵۴ متغیر بود. آن‌ها دریافتند که این نسبت در مقیاس روزانه بین ۰/۴۵۴ تا ۰/۴۶۷ و در مقیاس ساعتی بین ۰/۴۶۰ تا ۰/۵۰۱ متغیر است که به ترتیب مربوط به شرایط آسمان صاف تا کاملاً ابری است. اسکبدو و همکاران (۲) به مدل کردن کسرهای ساعتی و روزانه UV، PAR و NIR<sup>۳</sup> به تابش کل تحت شرایط آسمان مختلف در بوتاکاچیو برزیل پرداختند. آن‌ها چندین مدل تجربی مربوط به UV، PAR و NIR با تابش کل ارائه دادند و نشان دادند که پیش‌بینی مدل‌های تجربی برای مقادیر ساعتی و روزانه صحیح می‌باشد. در این مدل‌ها از ۵ سال داده در سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۰۱ استفاده کردند. برای به دست آوردن مقادیر روزانه و ساعتی مؤلفه‌های خورشید از داده‌های سال‌های ۲۰۰۴-۲۰۰۱ و از داده‌های سال ۲۰۰۵ برای اعتبارسنجی استفاده نمودند. در این تحقیق مقادیر ساعتی و روزانه UV، PAR و NIR همبستگی خطی با مقادیر ساعتی و روزانه تابش کل نشان داد. زیاولی و همکاران (۹) به پیش‌بینی تابش فعال فتوسنتزی از تابش کل در ایالات متحده پرداختند. در این پژوهش از داده‌هایی با طول دوره آماری سه سال (۲۰۰۹-۲۰۱۱) استفاده شد. آن‌ها دریافتند که شاخص شفافیت جو قادر است به عنوان نمایه‌ای برای پیش‌بینی PAR و یک جایگزین ترکیبی از کسر پخش شده در آسمان روشن بکار برده شود. جان جای و همکاران (۴) مدلی برای نسبت تابش فعال فتوسنتزی به باند تابش کل خورشیدی با استفاده از داده‌های زمینی و ماهواره‌ای در منطقه گرمسیری ارائه دادند. این مدل نسبت تابش فعال فتوسنتزی به

1- Photosynthetic Active Radiation

2- Total Solar Radiation

3- Near-infrared

4- Root-mean-square deviation



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه مورد مطالعه  
Figure 1- Geographical location of the study site

۳۸۰ الی ۷۵۰ نانومتر می‌باشد. عملکرد بهینه این دستگاه در دمای بین ۱۰- الی ۷۰ درجه سلسیوس است.

### روش انجام پژوهش

اندازه‌گیری روزانه داده‌های تابش PAR توسط دستگاه تابش سنج PAR، روزانه حداقل به تعداد چهار نوبت تقریباً در ساعات ۸:۰۰، ۱۰:۰۰، ۱۲:۰۰، ۱۶:۰۰ به وقت محلی در ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان از تاریخ ۹۵/۱۱/۱۷ تا ۲۰۱۶/۰۴/۰۵ (۲۰۱۶/۰۲/۱۸) انجام گردید. هم‌زمان با اندازه‌گیری این داده‌ها، تابش کل خورشیدی (TSR) نیز از لاگر (واقع‌نگار) ژئونیکا موجود در ایستگاه هواشناسی این دانشکده یادداشت گردید. در این پژوهش از رگرسیون خطی ساده و نمایی برای تحلیل داده‌ها استفاده شده است به طوری که در آن به بررسی رابطه یک متغیر مستقل (پیش‌بین) و یک متغیر وابسته پرداخته شده است. متغیر تابش کل (TSR) به‌عنوان متغیر مستقل و متغیر تابش فعال فتوسنتز (PAR) به‌عنوان متغیر وابسته استفاده شد. پس از تعیین متغیر مستقل و وابسته، با استفاده از نرم‌افزار SPSS، ۷۰ درصد داده‌ها برای تعیین روابط رگرسیونی و ۳۰ درصد داده‌ها برای ارزیابی دقت روابط به‌دست‌آمده در نظر گرفته شد. پس از تعیین ۷۰ درصد و ۳۰ درصد داده‌ها توسط نرم‌افزار spss از نرم‌افزار Excel برای تعیین روابط رگرسیونی و ارزیابی دقت روابط به‌دست‌آمده استفاده شد.

### تقسیم‌بندی شرایط آسمان

با توجه به مقدار ابرناکی آسمان، داده‌ها در چهار گروه آسمان

### داده‌های مورد استفاده

داده‌های لحظه‌ای اندازه‌گیری شده تابش TSR توسط لاگر (واقع‌نگار) ژئونیکا موجود در ایستگاه هواشناسی؛ داده لحظه‌ای اندازه‌گیری شده تابش PAR توسط ادوات ساخت شرکت لوترون در ایستگاه هواشناسی؛ داده‌های هواشناسی نظیر مقدار ابرناکی، نوع ابر، وضعیت ابر و میدان دید که هم‌زمان با داده‌های تابش در ایستگاه مورد مطالعه اندازه‌گیری شد.

### ادوات تابش‌سنجی مورد استفاده در پژوهش

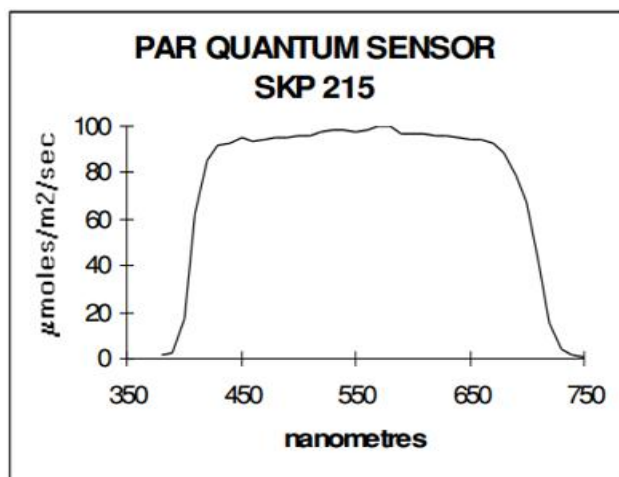
لاگر ژئونیکا (Geonica Data Logger): نام علمی سنسور تابش سنج این دستگاه پیرانومتر و مدل آن LPO2 است. شدت تابش قابل اندازه‌گیری توسط این سنسور بین صفر تا ۲۰۰۰ وات بر مترمربع است و گستره طیف اندازه‌گیری آن بین طول‌موج‌های ۳۰۵ تا ۲۸۰۰ نانومتر و عملکرد بهینه آن در دمای بین ۴۰- تا ۸۰ درجه سلسیوس می‌باشد.

این دیتالاگر به‌صورت خودکار پارامترهای هواشناسی را هر ده دقیقه یک‌بار ثبت می‌کند که زمان اندازه‌گیری می‌تواند به کمتر یا بیشتر از آن تنظیم شود. دستگاه ساخت کشور اسپانیا و دارای دقت بالایی است.

دستگاه تابش‌سنج فعال فتوسنتزی (PAR): شدت تابش قابل اندازه‌گیری توسط این دستگاه بین صفر تا  $2 \text{ mols/sec/m}^2$  است و گستره طیف اندازه‌گیری آن بین طول‌موج‌های ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر است.

می‌شود). طبق استاندارد سازمان هواشناسی کل کشور تقسیم‌بندی ابرناکی آسمان برحسب واحد اکتا، بر طبق زیر گزارش می‌گردد.  
 الف- ابرناکی صفر تا ۲ اکتا به‌عنوان آسمان صاف،  
 ب- ابرناکی ۳ تا ۶ اکتا به‌عنوان آسمان قسمتی ابری،  
 ج- ابرناکی ۷ تا ۸ اکتا به‌عنوان آسمان تمام ابری،

صاف (Clear sky)، آسمان قسمتی ابری (Partly cloudy sky)، آسمان تمام ابری (Overcast) و آسمان تحت تمام شرایط (All sky) قرار گرفته‌اند. در تقسیم‌بندی شرایط آسمان از واحد اکتا (Okta) استفاده می‌شود که آسمان بالای سر به ۸ قسمت تقسیم می‌شود (در هر واحد اکتا حدود ۱۲/۵ درصد از آسمان توسط ابر اشغال



شکل ۲: نمای ظاهری و پاسخ طیفی تابش سنج فعال فتوسنتزی مورد استفاده در پژوهش (شرکت ELE).

Figure 2- The instrument appearance and the spectral response of the photosynthetic active radiation as used in the research

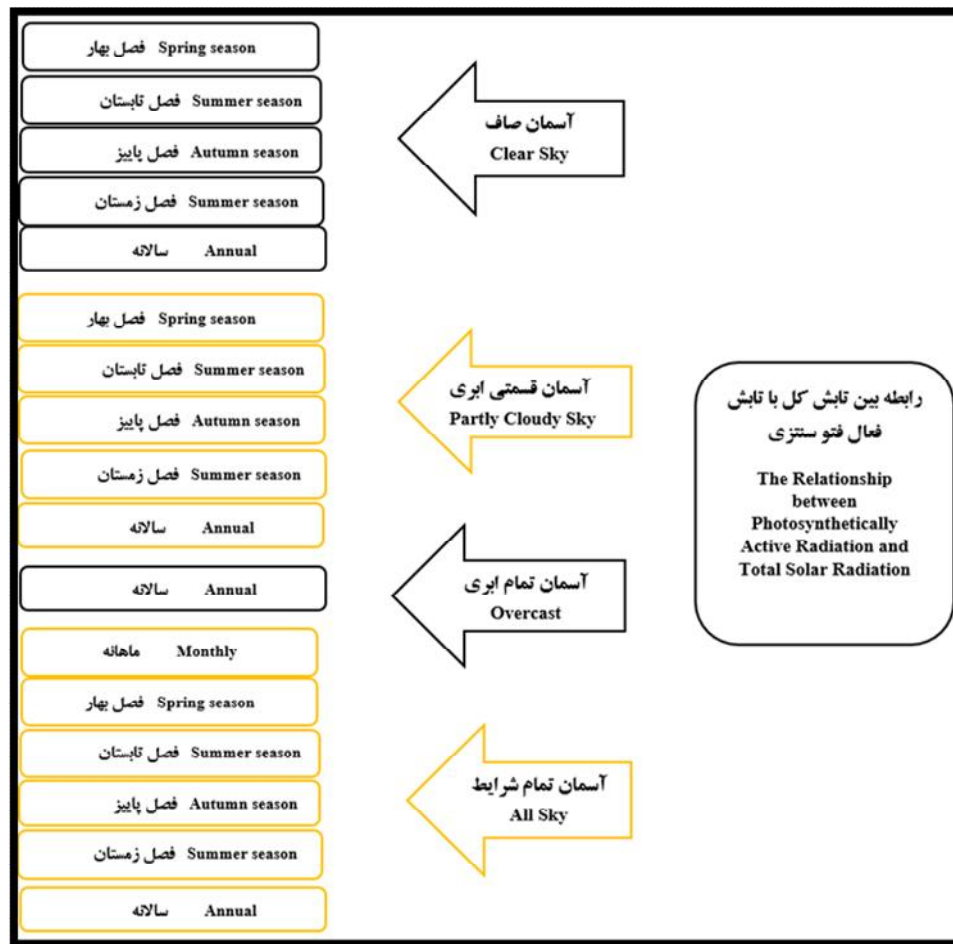
تجزیه و تحلیل فصلی داده‌ها با توجه به اینکه تعداد داده‌های اندازه‌گیری شده در آسمان تمام ابری کم می‌باشد بنابراین در تجزیه و تحلیل فصلی به تجزیه و تحلیل آسمان تمام ابری پرداخته نشده است و تجزیه و تحلیل آسمان صاف، قسمتی ابری و تمام شرایط انجام گرفته و روابط رگرسیونی آن‌ها استخراج گردیده است. در تجزیه و تحلیل ماهانه روابط با توجه به کم بودن تعداد داده‌ها فقط تجزیه و تحلیل آسمان تمام شرایط انجام گرفته است.

تعداد داده‌های اندازه‌گیری در فصل بهار ۴۲۴ داده (۲۰۴ داده در شرایط آسمان صاف و ۲۱۰ داده در شرایط آسمان قسمتی ابری)، در فصل تابستان ۴۴۲ داده (۳۰۷ داده در شرایط آسمان صاف و ۱۳۵ داده در شرایط آسمان قسمتی ابری)، در فصل پاییز ۳۳۱ داده (۱۶۱ داده در شرایط آسمان صاف و ۱۷۲ داده در شرایط آسمان قسمتی ابری)، در فصل زمستان ۲۴۰ داده (۸۶ داده در شرایط آسمان صاف و ۱۵۴ داده در شرایط آسمان قسمتی ابری) و در مقیاس سالانه که شامل تمام داده از فروردین تا آخر بهمن می‌باشد ۱۴۲۹ داده (۷۵۷ داده در شرایط آسمان صاف، ۵۵۷ داده در شرایط آسمان قسمتی ابری و ۱۱۵ داده در شرایط آسمان تمام ابری) می‌باشد. چارت روش انجام کار در شکل ۳ نمایش داده شده است.

در این پژوهش به دلیل حساسیت زیاد تابش UV به مقدار ابرناکی آسمان، از تقسیم‌بندی زیر استفاده شده است.  
 آسمان صاف: در آسمان صاف، آسمان از صفر اکتا تا یک اکتا ابری است.  
 آسمان قسمتی ابری: در آسمان قسمتی ابری، آسمان از ۲ تا ۷ اکتا دارای پوشش ابر است.  
 آسمان تمام ابری: در آسمان تمام ابری، آسمان ۸ اکتا ابری است.  
 آسمان تمام شرایط: در این گروه پوشش ابری آسمان ۰ تا ۸ اکتا می‌باشد و دربرگیرنده تمام حالات آسمان یعنی آسمان صاف، قسمتی ابری و تمام ابری می‌باشد.

## نتایج و بحث

نتایج این تحقیق به‌صورت ماهانه، فصلی و سالانه ارائه شده است. در تجزیه و تحلیل سالانه که شامل تمام داده‌ها (۱۱ ماه اندازه‌گیری) می‌باشد با توجه به شرایط آسمان (صاف، قسمتی ابری، تمام ابری و تمام شرایط) داده‌ها در چهار گروه آسمان صاف (Clear Sky)، آسمان قسمتی ابری (Partly Cloudy Sky)، آسمان تمام ابری (Overcast) و تمام شرایط (All-Sky) قرار گرفتند که برای هر کدام از شرایط روابط رگرسیونی مجزا استخراج گردید. در



شکل ۳- خلاصه روش تحلیل داده‌ها  
Figure 3- Summary of data analysis method

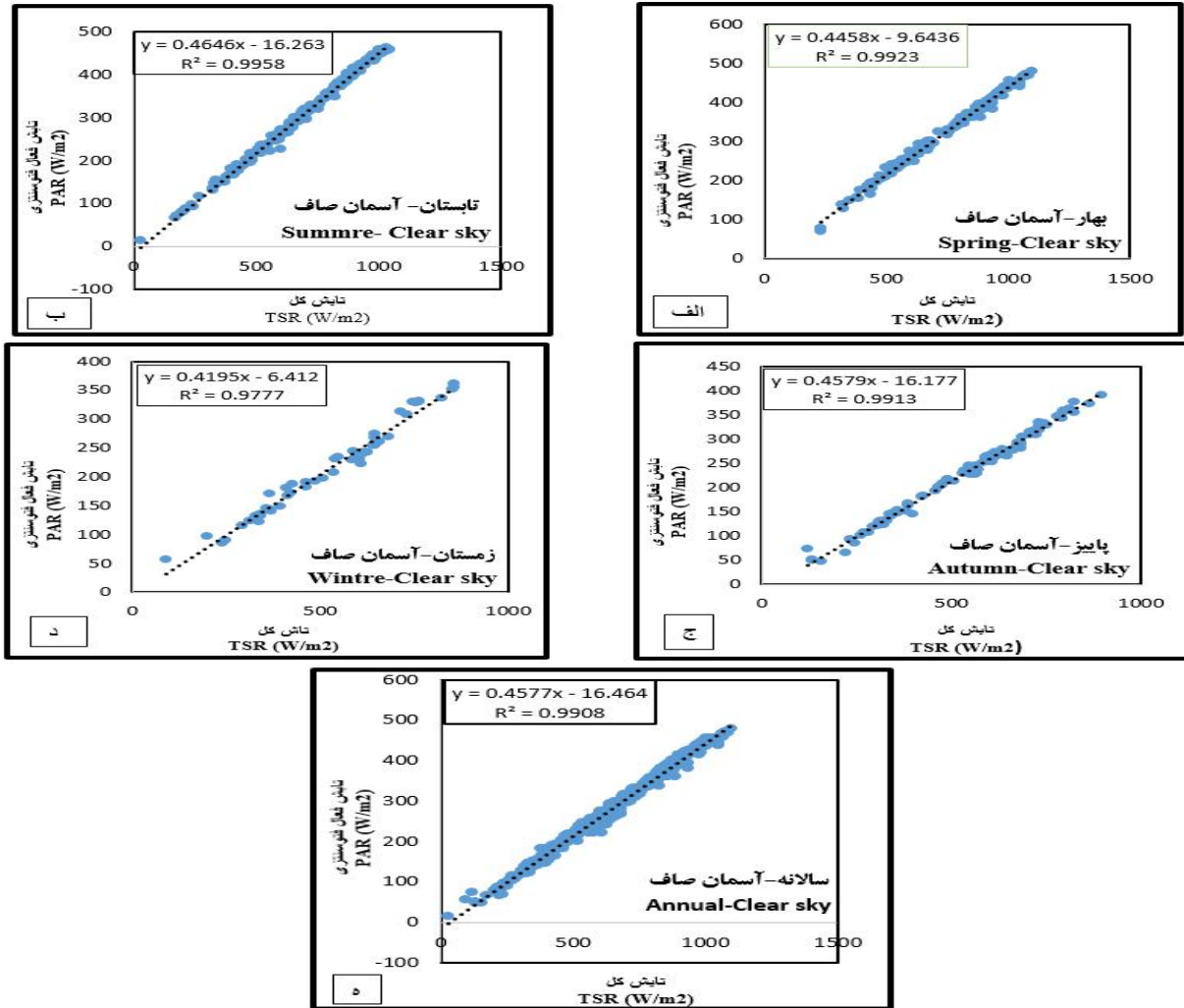
**اعتبار سنجی روابط رگرسیونی بین تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی در شرایط آسمان صاف**  
با توجه به جدول اعتبارسنجی (جدول ۱) رابطه خطی که در تمام فصول و در مقیاس سالانه بین تابش کل و تابش فعال فتوسنتزی وجود دارد تغییر بسیار کمی را نشان می‌دهد به طوری که اختلاف مقدار آماره‌های خط سنجی آن‌ها بسیار ناچیز می‌باشد.

**بررسی روابط تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی در گروه آسمان قسمتی ابری**  
تجزیه و تحلیل روابط بین تابش TSR با PAR در گروه آسمان قسمتی ابری در فصول بهار، تابستان، پاییز، زمستان و در مقیاس سالانه انجام گرفته است. با توجه به نمودارهای شکل ۵ (الف الی ه) یک رابطه رگرسیونی خطی بین تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی وجود دارد.

**بررسی روابط تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی در گروه آسمان صاف**  
در بررسی روابط تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی که در چهار گروه آسمان صاف، قسمتی ابری، تمام ابری و تمام شرایط انجام شده است با توجه به مقادیر  $P\text{-value} < 0.01$  می‌توان نتیجه گرفت که شیب خط رگرسیون در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد.

**بررسی روابط تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی در گروه آسمان صاف**  
تجزیه و تحلیل روابط بین PAR با TSR در گروه آسمان صاف در فصول بهار، تابستان، پاییز، زمستان و در مقیاس سالانه انجام گرفته است. با توجه به نمودارهای شکل ۴ (الف الی ه) و آماره‌های خط سنجی (جدول ۱) بین تابش TSR و PAR یک رابطه خطی وجود دارد که بهترین برازش آن در فصل تابستان می‌باشد.



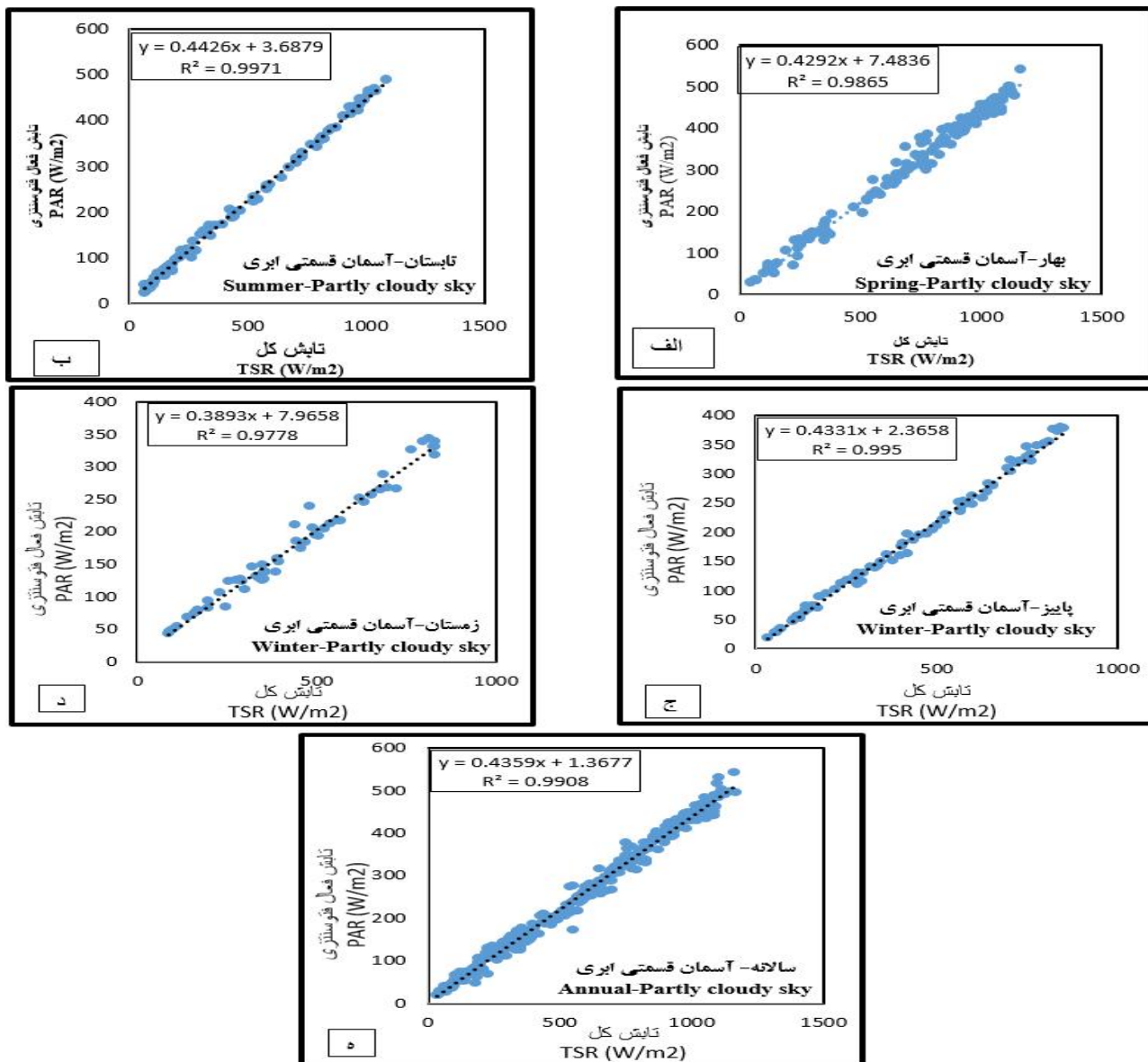


شکل ۴- بهترین روابط برازش بین PAR و TSR در مقیاس‌های زمانی مختلف تحت شرایط Clear Sky (الف الی ه)  
 Figure 4- The best fitting relations between TSR and PAR at different time scales under Clear Sky conditions

جدول ۱- خلاصه نتایج آماری همبستگی‌های فصلی و سالانه بین PAR با TSR برای شرایط Clear Sky

Table 1- Summary of seasonal and annual statistical correlations between TSR and PAR for Clear Sky conditions

مقیاس زمانی Time scale	روابط بین PAR با TSR در شرایط آسمان صاف Relationships between TSR and PAR in clear sky conditions	RMSE ( $W.m^{-2}$ )	MAE ( $W.m^{-2}$ )	MBE ( $W.m^{-2}$ )	MPE (%)	$R^2$	میانگین داده‌ها PAR Average ( $W.m^{-2}$ )
بهار Spring	PAR= 0.4458*TSR-9.6436	6.91	4.82	-0.52	-0.17	0.992	336.5
تابستان Summer	PAR= 0.4646*TSR-16.263	7.04	5.07	-0.75	-0.78	0.995	306.4
پاییز Autumn	PAR= 0.4579*TSR-16.177	6.64	5.41	1.33	0.62	0.991	243.6
زمستان Winter	PAR=0.4195*TSR-6.412	11.56	10.23	2.51	1.49	0.977	224.5
سالانه Annual	PAR=0.4577*TSR-16.464	9.95	7.51	-0.27	-0.28	0.990	291.8



شکل ۵- بهترین روابط برازش TSR با PAR در مقیاس‌های زمانی مختلف تحت شرایط Partly Cloudy Sky (الف الی ه)  
 Figure 5- The best fitting relations between TSR and PAR at different time scales under Partly Cloudy Sky condition

بررسی رابطه تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی در گروه آسمان تمام ابری

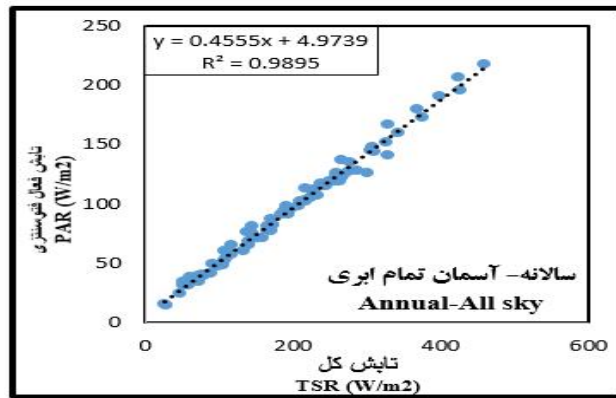
تجزیه و تحلیل رابطه بین TSR با PAR در گروه آسمان تمام ابری در مقیاس سالانه انجام گرفته است. با توجه به نمودار شکل ۷ یک رابطه خطی بین تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی در آسمان تمام ابری وجود دارد و این شکل بهترین برازش این رابطه را نشان می‌دهد.

اعتبارسنجی روابط رگرسیونی بین تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی در شرایط آسمان قسمتی ابری

با توجه به جدول اعتبارسنجی (جدول ۲) رابطه خطی که در تمام فصول و در مقیاس سالانه بین تابش کل و تابش فعال فتوسنتزی وجود دارد در فصل تابستان دارای کمترین مقدار آماره‌های خطا سنجی به طوری که  $RMSE=8.42$ ،  $MAE=7.19$  و  $R^2=0.997$  می‌باشد و این نشان می‌دهد که بهترین برازش خطی در آسمان قسمتی ابری در فصل تابستان بین تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی وجود دارد.

جدول ۲- خلاصه نتایج آماری همبستگی‌های فصلی و سالانه روابط بین PAR با TSR برای شرایط Partly Cloudy Sky  
Table 2- : Seasonal and annual statistical correlations between TSR and PAR for partly cloudy conditions

Time scale	Relationships between TSR and PAR in Partly Cloudy Sky conditions	PAR TSR					$R^2$	PAR Average ( $W.m^{-2}$ )
		RMSE ( $W.m^{-2}$ )	MAE ( $W.m^{-2}$ )	MBE ( $W.m^{-2}$ )	MPE (%)	( $W.m^{-2}$ ) PAR		
Spring	PAR= 0.4292*TSR+7.4836	16.07	12.08	0.02	2.02	0.986	323	
Summer	PAR=0.4426*TSR+3.6879	8.42	7.19	2.19	1.40	0.997	241.3	
Autumn	PAR= 0.4331*TSR+2.3658	9.75	7.39	2.79	0.69	0.995	176.4	
Winter	PAR=0.3893*TSR+7.9658	12.53	7.94	0.04	0.52	0.977	170.41	
Annual	PAR=0.4359*TSR+1.3677	14.59	10.83	1.41	0.39	0.990	247.1	



شکل ۷- بهترین رابطه برازش PAR با TSR در مقیاس سالانه تحت شرایط Overcast

Figure 7- The best fitting relations between TSR and PAR for annual time scale under overcast conditions

که مشاهده می‌شود مقدار آماره‌های خطا سنجی این رابطه بسیار کم می‌باشد که نشان می‌دهد یک رابطه رگرسیونی خطی خوبی بین تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی وجود دارد.

اعتبار سنجی رابطه رگرسیونی بین تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی در شرایط آسمان تمام ابری جدول اعتبار سنجی (جدول ۳) رابطه تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی را در شرایط آسمان تمام ابری نشان می‌دهد. همان‌طور

جدول ۳- خلاصه نتایج آماری همبستگی سالانه بین تابش PAR با TSR برای شرایط Overcast  
Table 3- Annual statistical correlation between TSR and PAR for Overcast conditions

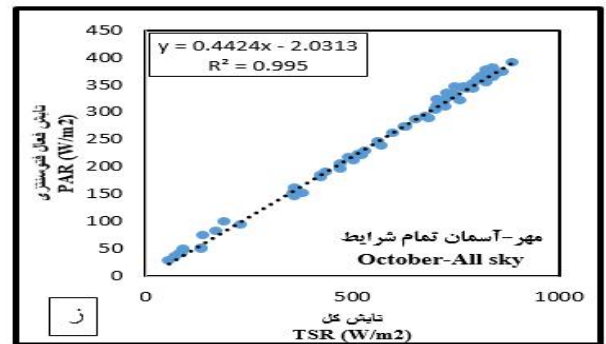
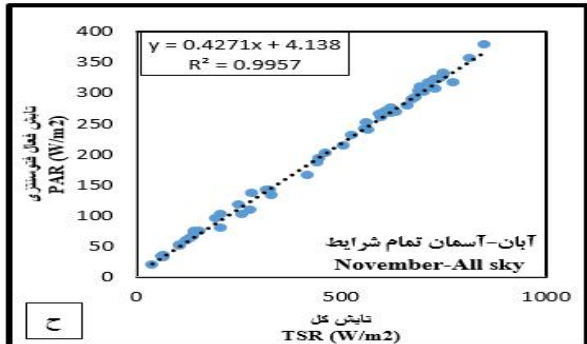
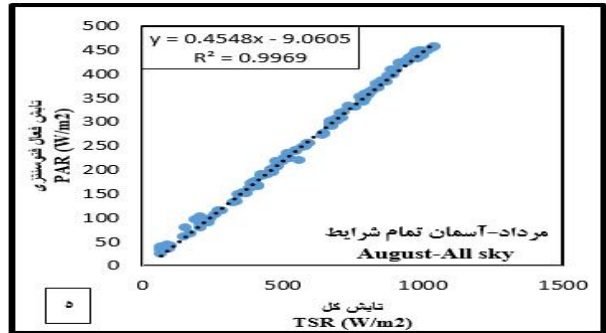
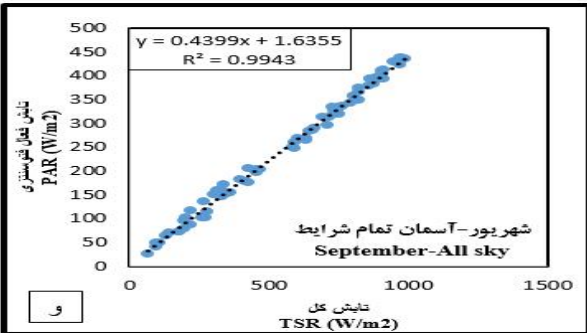
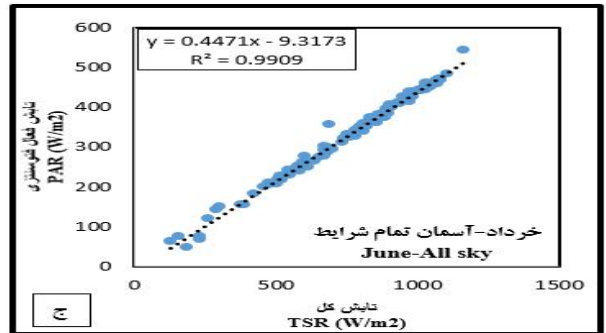
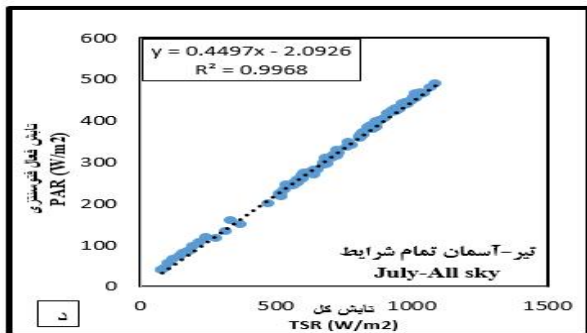
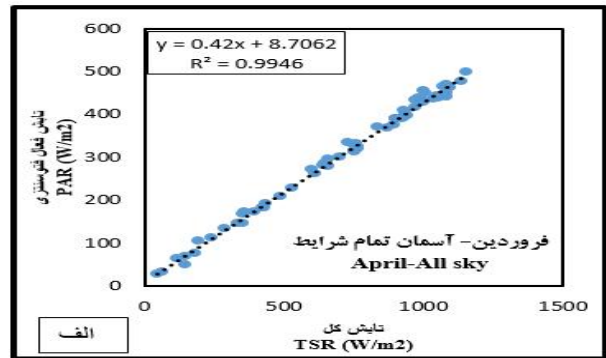
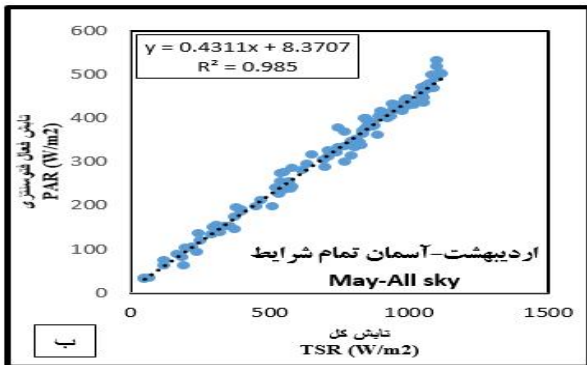
Time scale	Relationships between TSR and PAR in Overcast conditions	PAR TSR					$R^2$	PAR Average ( $W.m^{-2}$ )
		RMSE ( $W.m^{-2}$ )	MAE ( $W.m^{-2}$ )	MBE ( $W.m^{-2}$ )	MPE (%)	( $W.m^{-2}$ ) PAR		
Annual	PAR=0.4555*TSR+4.9739	4.86	3.69	0.79	2.52	0.989	91.8	

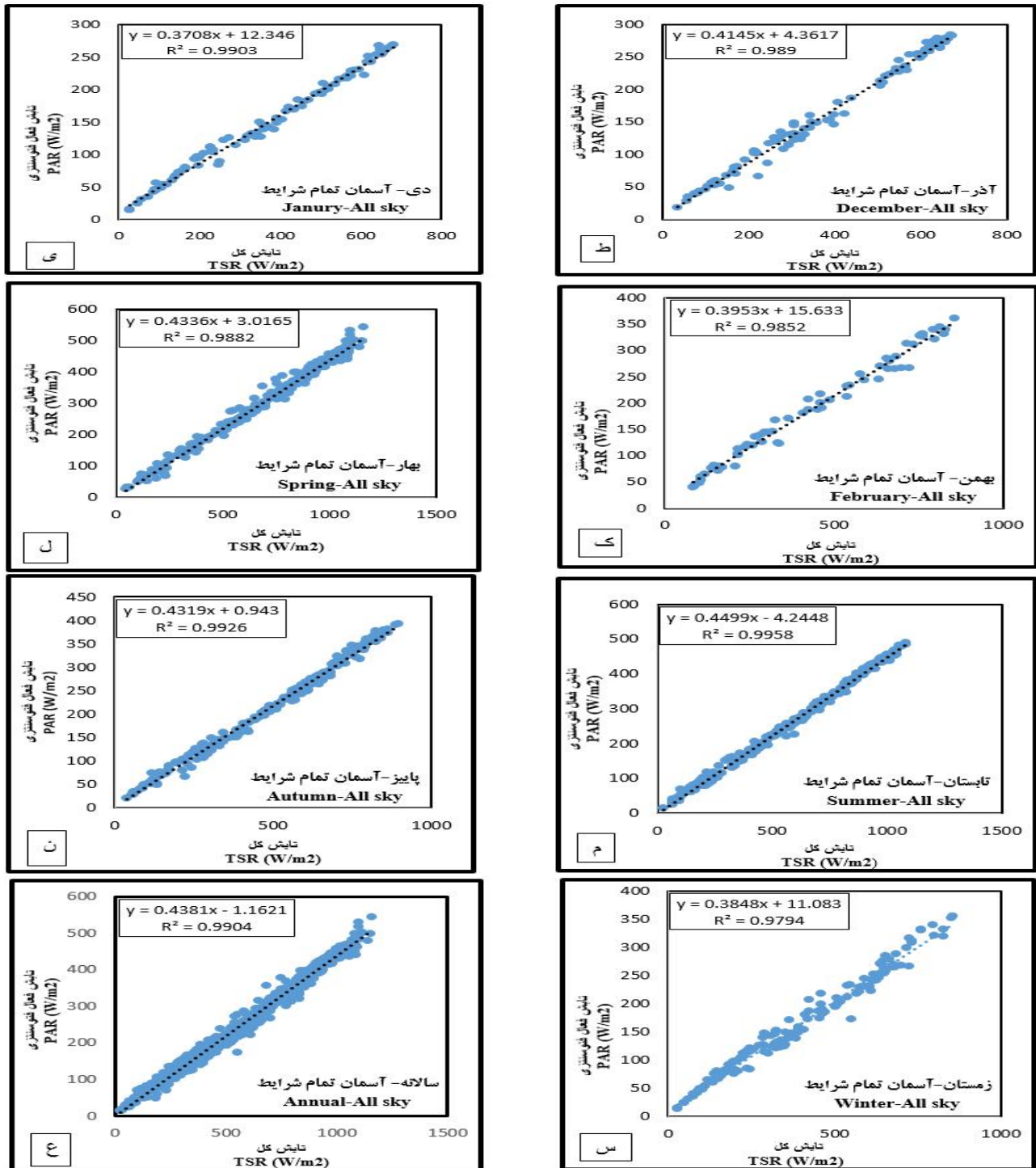


یک روابط خطی می‌باشند که با تغییر ماه‌ها و فصول این روابط تغییر بسیار کمی را نشان می‌دهند که می‌توان نتیجه گرفت که پراکندگی (Scattering) که توسط ابرها و آئروسول‌ها و جذب (Absorption) که توسط ابرها انجام می‌گیرد روی طول موج تابش فعال فتوسنتزی تأثیر خیلی کمی را دارند.

بررسی روابط تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی در گروه آسمان تمام شرایط

تجزیه و تحلیل روابط بین PAR با TSR در گروه آسمان تمام شرایط در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه انجام گرفته است. با توجه به نمودارهای شکل ۸ روابط بین تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی





شکل ۸- بهترین روابط برازش بین تابش TSR با PAR در دوره‌های زمانی مختلف تحت شرایط All Sky (الف الی ح)  
 Figure8- The best fitting relations between TSR with PAR in different time periods under All Sky conditions

که رابطه بین تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی با تغییر ماه‌ها و فصول تغییر بسیار کمی می‌کند به طوری که رابطه بین PAR با TSR در ماه تیر  $RMSE=7.43$ ،  $MAE=6.32$  و  $R^2=0.996$  می‌باشد و در ماه بهمن که ابرناکی افزایش می‌یابد  $RMSE=14.29$

اعتبارسنجی روابط رگرسیونی بین تابش کل با تابش فعال فتوسنتزی در آسمان تمام شرایط با توجه به آماره‌های خطا سنجی جدول ۴ می‌توان نتیجه گرفت

آماره‌های خطا سنجی را نشان می‌دهد.  $MAE=11.43$  و  $R^2=0.985$  می‌باشد که اختلاف بسیار کم بین

جدول ۴- خلاصه نتایج آماری همبستگی‌های ماهانه، فصلی و سالانه بین تابش PAR با شرایط آسمان All Sky

Table 4- Summary of monthly, seasonal and annual statistical correlations between TSR and PAR for all sky conditions

مقیاس زمانی Time scale	رابطه بین PAR با شرایط آسمان تمام ابری Relationships between TSR and PAR in All Sky conditions	RMSE ( $W.m^{-2}$ )	MAE ( $W.m^{-2}$ )	MBE ( $W.m^{-2}$ )	MPE (%)	$R^2$	میانگین داده‌ها PAR ( $W.m^{-2}$ ) PAR Average ( $W.m^{-2}$ )
فروردین April	PAR= 0.42*TSR+8.7062	10.56	8.11	1.96	0.94	0.994	311
اردیبهشت May	PAR= 0.4311*TSR+8.3707	14.55	10.76	1.91	2.19	0.985	316.6
خرداد June	PAR= 0.4471*TSR-9.3173	7.00	5.05	0.18	-0.57	0.990	336.8
تیر July	PAR= 0.4497*TSR-2.0926	7.43	6.32	0.41	0.02	0.996	312.4
مرداد August	PAR= 0.4548*TSR-9.0605	8.10	5.64	1.06	-0.97	0.996	228
شهریور September	PAR= 0.4399*TSR+1.6355	9.33	8.05	0.93	1.29	0.994	253.2
مهر October	PAR= 0.4424*TSR-2.0313	8.23	6.24	-0.01	-1.23	0.995	254.4
آبان November	PAR= 0.4271*TSR+4.138	8.85	7.13	-0.14	0.70	0.995	197.5
آذر December	PAR= 0.4145*TSR+4.3617	8.44	5.13	-0.72	-1.20	0.989	164.4
دی January	PAR=0.3708*TSR+12.346	10.39	7.30	0.04	0.07	0.990	146.3
بهمن February	PAR=0.3953*TSR+15.633	14.29	11.43	-2.57	0.01	0.985	189.6
بهار Spring	PAR= 0.4336*TSR+3.0165	12.00	9.13	2.28	1.16	0.988	324.6
تابستان Summer	PAR=0.4499*TSR-4.2448	7.58	6.28	0.25	0.21	0.995	286.2
پاییز Autumn	PAR= 0.4319*TSR+0.943	8.66	7.03	0.49	-0.38	0.992	199.9
زمستان Winter	PAR=0.3848*TSR+11.083	13.65	10.09	-6.02	-2.61	0.979	167.3
سالانه Annual	PAR=0.4381*TSR-1.1621	11.93	9.15	-0.14	-0.45	0.990	258.2

در بوتاکاچو برزیل پرداختند و نشان دادن که بین PAR با مقادیر ساعتی و روزانه تابش کل یک همبستگی خطی وجود دارد سازگار می‌باشد.

#### نسبت بین تابش فعال فتوسنتزی به تابش کل

در این تحقیق نسبت بین مؤلفه تابش خورشیدی یعنی PAR به

در بررسی روابط بین تابش PAR با TSR با توجه به نمودارها و آماره‌های خطا سنجی نتایج نشان می‌دهند که یک رابطه خطی بین تابش PAR با TSR وجود دارد. این رابطه خطی با افزایش ابرناکی در ماه‌ها و فصل‌ها از همبستگی آن کاسته می‌شود. این نتایج با نتایج اسکیدو و همکاران (۲) که به مدل کردن کسرهای ساعتی و روزانه UV، PAR و NIR به تابش کل تحت شرایط آسمان مختلف

**بررسی نسبت بین تابش فعال فتوسنتزی به تابش کل به صورت ماهانه**

با توجه به جدول ۵ در بررسی نسبت بین تابش فعال فتوسنتزی به تابش کل به صورت ماهانه مشخص گردید که بیشترین مقدار نسبت PAR به TSR در ماه تیر و کمترین مقدار آن در ماه بهمن به ترتیب ۰/۴۴۸ و ۰/۴۰۷ است.

تابش کل (TSR) به صورت ماهانه، فصلی و سالانه مورد بررسی قرار گرفت. در بررسی ماهانه این نسبت به دلیل کم بودن فقط در آسمان تمام شرایط این بررسی صورت گرفته است. در بررسی فصلی، این نسبت در شرایط آسمان صاف، آسمان قسمتی ابری و آسمان تمام شرایط و در بررسی سالانه، این نسبتها در شرایط آسمان صاف، آسمان قسمتی ابری، آسمان تمام ابری و آسمان تمام شرایط مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۵- نسبت بین تابش فعال فتوسنتزی به تابش کل (ماهانه)

Table 5- The ratio of photosynthetic active radiation to total solar radiation (monthly)

شرایط آسمان Conditions of the sky	ماه	PAR/TSR
آسمان تمام شرایط All Sky	April	0.447
آسمان تمام شرایط All Sky	May	0.447
آسمان تمام شرایط All Sky	June	0.433
آسمان تمام شرایط All Sky	July	0.448
آسمان تمام شرایط All Sky	August	0.437
آسمان تمام شرایط All Sky	September	0.444
آسمان تمام شرایط All Sky	October	0.443
آسمان تمام شرایط All Sky	November	0.444
آسمان تمام شرایط All Sky	December	0.435
آسمان تمام شرایط All Sky	January	0.426
آسمان تمام شرایط All Sky	February	0.407

مانند PAR و UV دارد و این باعث افزایش نسبتها از آسمان صاف به ابری می شود. بطوری که در فصول مختلف در آسمان تمام شرایط در فصل تابستان با ۰/۴۴۳ بیشترین می باشد و در مقیاس سالانه نسبت PAR به TSR از آسمان صاف به آسمان قسمتی ابری و آسمان تمام ابری به ترتیب از ۰/۴۳۰ به ۰/۴۴۴ و ۰/۴۸۹ افزایش می یابد و در آسمان تمام شرایط این نسبت ۰/۴۴۰ می باشد.

**بررسی نسبت بین تابش فعال فتوسنتزی به تابش کل به صورت فصلی و در مقیاس سالانه**

بررسی نسبت بین تابش فعال فتوسنتزی به تابش کل به صورت فصلی، فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان و در مقیاس سالانه انجام گرفته است. با توجه به جدول ۶ در بررسی نسبت بین تابش فعال فتوسنتزی به تابش کل در فصول سال و در مقیاس سالانه مشخص گردید که نسبت PAR به TSR از آسمان صاف به آسمان قسمتی ابری افزایش می یابد که این افزایش به دلیل افزایش ابرناکی آسمان می باشد. ابرناکی آسمان جذب بیشتری در طول موجهای بلند تابش خورشیدی مانند تابش فروسرخ نسبت به طول موجهای کوتاه

جدول ۶- نسبت بین تابش فعال فتوسنتزی به تابش کل (PAR/TSR) در فصول مختلف و مقیاس سالانه

Table 6- The ratio of photosynthetic active radiation to total solar radiation (PAR / TSR) in seasonal and annual time scales

شرایط آسمان Conditions of the sky	بهار Spring	تابستان Summer	پاییز Autumn	زمستان Winter	سالانه Annual
آسمان صاف Clear Sky	0.431	0.438	0.424	0.406	0.430
آسمان قسمتی ابری Partly Cloudy Sky	0.444	0.454	0.447	0.442	0.444
آسمان تمام ابری Overcast	-	-	-	-	0.489
آسمان تمام شرایط All Sky	0.440	0.443	0.440	0.435	0.440

در بررسی نسبت بین مؤلفه تابش فعال فتوسنتزی به تابش کل در مقیاس ماهانه، فصلی، سالانه مشخص شد که این نسبت در آسمان صاف به آسمان ابری به دلیل جذب شدن بیشتر طول موج‌های بلند تابش خورشیدی نسبت به طول موج‌های کوتاه افزایش می‌یابد. که این نتایج با نتایج آلودوس و همکاران (۱) در جنوب شرقی اسپانیا، پاپانوا و همکاران (۶) در آتن، جکوبدز و همکاران (۳) در حوزه مدیترانه شرقی و یودو و آرو (۸) در نیجریه که به بررسی نسبت PAR به TSR پرداختند سازگار می‌باشند.

در بررسی نسبت بین تابش فعال فتوسنتزی به تابش کل در مقیاس فصلی و سالانه داده‌ها مشخص گردید که یک رابطه رگرسیونی خطی بین PAR با TSR وجود دارد و با تغییر ماه‌ها که با تغییر ابرناکی همراه است این روابط خطی تغییر می‌کنند. نتایج نشان داد که بهترین برازش در ماه تیر و مرداد است و در ماه آبان تا بهمن به علت افزایش ابرناکی از مقدار همبستگی کاسته می‌شود.

در این پژوهش روابط رگرسیونی بین تابش فعال فتوسنتزی و تابش کل لحظه‌ای در اقلیم سرد و نیمه‌خشک همدان مورد بررسی قرار گرفت. اندازه‌گیری‌های روزانه مؤلفه‌های تابش خورشید حداقل به تعداد چهار نوبت در روز به مدت ۱۱ ماه از فروردین تا آخر بهمن ۱۳۹۵ در ایستگاه هواشناسی دانشگاه بوعلی سینا همدان انجام گردید. پس از اندازه‌گیری و ثبت داده‌ها اقدام به تعیین روابط

### نتیجه‌گیری

در بررسی نسبت بین تابش فعال فتوسنتزی به تابش کل در مقیاس فصلی و سالانه داده‌ها مشخص گردید که این نسبت در آسمان صاف به آسمان ابری به دلیل جذب شدن بیشتر طول موج‌های بلند تابش خورشیدی نسبت به طول موج‌های کوتاه افزایش می‌یابد. که این نتایج با نتایج آلودوس و همکاران (۱) در جنوب شرقی اسپانیا، پاپانوا و همکاران (۶) در آتن، جکوبدز و همکاران (۳) در حوزه مدیترانه شرقی و یودو و آرو (۸) در نیجریه که به بررسی نسبت PAR به TSR پرداختند سازگار می‌باشند.

### منابع

- 1- Alados I., Foyo-Moreno I.Y., and Alados-Arboledas L. 1996. Photosynthetically active radiation: measurements and modelling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 78(1-2), pp.121-131.
- 2- Escobedo J.F., Gomes E.N., Oliveira A.P., and Soares J. 2009. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. *Applied Energy*, 86(3), pp.299-309.
- 3- Jacovides C.P., Tymvios F.S., Asimakopoulos D.N., Theofilou K.M., and Pashiardes S. 2003. Global photosynthetically active radiation and its relationship with global solar radiation in the Eastern Mediterranean basin. *Theoretical and Applied Climatology*, 74(3), pp.227-233.
- 4- Janjai S., Wattan R., and Sripradit A. 2015. Modeling the ratio of photosynthetically active radiation to broadband global solar radiation using ground and satellite-based data in the tropics. *Advances in Space Research*, 56(11), pp.2356-2364.
- 5- Kamali Gh.A., and Moradi E. 2005. *Sun Radiation Principles and Applications in Agriculture and New Energy*. Ferdowsi University of Mashhad Printing and Publishing.
- 6- Papaioannou G., Papanikolaou N., and Retalis D. 1993. Relationships of photosynthetically active radiation and shortwave irradiance. *Theoretical and Applied Climatology*, 48(1), pp.23-27.



- 7- Tajek E., Rezai A.A., Abkar A., Alavipanah S.k., Jahantab Z., and Rahmati A.R. 2015. Estimate the total instantaneous solar short wavelength using the Modus satellite imagery(Case study: Central regions of Iran ). Remote Sensing and Geographic System in Natural Resources, Sixth year, the first number.
- 8- Udo S.O., and Aro, T.O. 1999. Global PAR related to global solar radiation for central Nigeria. Agricultural and Forest Meteorology, 97(1), pp.21-31.
- 9- Yu X., Wu Z., Jiang W., and Guo X. 2015. Predicting daily photosynthetically active radiation from global solar radiation in the Contiguous United States. Energy Conversion and Management, 89: 71-82.

## Experimental Evaluation of Regression Relations of Instantaneous Photosynthetically Active Radiation (PAR) and Total Solar Radiation (TSR)

A.A. Sabziparvar<sup>1\*</sup> - A. Karimi<sup>2</sup>

Received: 01-01-2018

Accepted: 26-02-2018

**Introduction:** Exposure of human, animal and plants to sunlight has a major role for their growth. One of the most important applications of solar radiation is the agricultural sector. Photosynthesis is a photobiological phenomenon that depicts the ability of plants to convert light energy into chemical energy. In fact, if we provide suitable water and temperature, plant growth and consequently crop yields are directly dependent on photosynthetic active radiation (PAR). Regarding the importance of monitoring of PAR flux in agriculture, unfortunately, in most meteorological stations, this parameter is not routinely measured, as its determination is an acostly process.

**Materials and Methods:** In this study, the radiation parameters were measured in a meteorological station located at the faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University in Hamedan. The station has a geographical position of 34 degrees and 47.91 minutes North latitude, 48 degrees and 28.98 minutes Eastern longitude and 1851 meters above sea level in an open space land inside the university campus (Hamedan, Iran). The climate of Hamedan is cold and semi-arid. Geonica Data Logger (GDL) and the PAR detector as radiation devices were used in this study. The scientific name Pyronometer light sensor which is connected to GDL is LPO2 (Huksellux). The sensitivity of the sensor is between zero to 2000 watts per square meter, and its spectral response ranges from 305 to 2800 nm. The intensity of the irradiance measured by the PAR device is from zero to 2000  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2.\text{sec})$  and its spectral response covers 380 nm to 750 nm. The method used in this work was to measure daily PAR data from a PAR device (ELE) at least four times a day at a local time from April 2016 to February 2017. At the same time, the TSR data was also recorded by the Geonica Logger in nearby meteorological site. In this study, simple linear regression and exponential regression were employed to investigate the relationship between the TSR data (independent variable, predictors) and the PAR variable (a dependent variable). Using SPSS software, 70% of the data was used to construct the regression relationships and the remainder for evaluating the accuracy of the obtained relationships. Due to the different weather conditions, the measured data are divided into four groups: Clear Sky, Partly Cloudy Sky, Overcast, and All Condition (All sky). To report the cloudiness, Okta unit is used parts (e.g. each Okta corresponds to about 12.5% cloud coverage).

**Results and Discussion:** The analysis of regression relationship between TSR and PAR in the clear sky, partly cloudy sky, overcast and all sky was performed for monthly, seasonal and annual scales. There was a linear relationship between TSR and PAR fluxes. This linear relationship decreased with increasing cloudiness for both monthly and seasonal scales. These results were compared with those of Escobedo et al. (2009) who modelled hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. Our findings were also in good agreement with their results, as they also observed a linear correlation between PAR and TSR fluxes at Botucatu. Moreover, the ratio between PAR and TSR was determined for all time scales. Our results showed that the highest and lowest ratio of PAR /TSR occurs in July (0.448) and February (0.407), respectively. On seasonal and annual scales, the ratio PAR /TSR increased as the sky conditions changed from the clear sky to the cloudy sky, mainly because of the effect of cloudiness. Cloudy sky absorbs longer wavelength radiation of solar spectrum (such as infrared radiation) as compared with short wavelengths (such as PAR and UV). This increases the radiation proportions from the clear sky to the cloudy sky. Our results are in good agreement with the results of Alados et al. (southeast Spain), Papaioannou et al. (Athens), Jacovides and et al. (Eastern Mediterranean basin) and Udo and Aro in central Nigeria who examined the PAR/TSR ratio.

**Conclusion:** In the present study, the following results were achieved:

In monthly, seasonal and annual time scales, there was a linear regression relationship between PAR and TSR varying with the change in clouds cover. The best correlations were observed in June and July, but the

1 and 2- Professor in Meteorology and Graduate M.Sc student of Agricultural Meteorology, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran  
(\*-Corresponding Author Email: swsabzi@basu.ac.ir)

correlation coefficients decreased from October to February (autumn and winter) due to the increased cloudiness.

The PAR/TSR ratio in the seasonal time scale showed an increment as the cloud cover increased. On annual scale, the ratio of photosynthetic active radiation (PAR) to total global irradiance (TSR) increased from 0.430 in clear sky to 0.489 in overcast condition.

**Keywords:** Atmospheric conditions, Effect of cloudiness, Hamedan, Radiation fraction PAR/TSR