



جم لہستان محیط زیست فردا
شماره پست: ۶۰۵۶۰

دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک

۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان



کوبای نامه پذیرش، ارائه مقاله و حضور در همایش

کوبای می شود

سرکار خانم اجتاب آقای

زهره طاهری، محمد حسین عباس پور فرد، محمد طیبی زاده، حسین الوترانی زارچی

در دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک که در محل دانشکده مهندسی مکانیک برگزار گردید شرکت و مقاله خود را تحت عنوان:

تعمین سبب و جهت بهینه نصب سیستم های خورشیدی در شهر مشهد

ارائه نموده اند لذا بدینوسیله از تلاش و کوشش ایشان در عرصه فعالیت های علمی و پژوهشی تقدیر و تشکر به عمل می آید.

دکتر محمد علی کربلایی نژاد
مدیر همایش

سربراہی
مهندس سید محمد نوریان سروش



دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک

محل برگزاری دانشکده شهید مفتاح همدان

۱۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان



تعیین شیب و جهت بهینه نصب سیستم های خورشیدی در شهر مشهد

زهرا طاهری*^۱، محمدحسین عباسپورفرد^۲، محمد طبسی زاده^۳، حسین ابوترابی زارچی^۴

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه ماشین های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
- ۲ و ۳- به ترتیب دانشیار و استادیار گروه ماشین های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
- ۴- استادیار گروه برق دانشکده مهندسی و عضو هیأت علمی پژوهشکده هواخورشید، دانشگاه فردوسی مشهد

*- (Email: Zahra.taheri@ymail.com,)

چکیده

شدت تابش خورشید، مهمترین عامل تعیین کننده بازده سیستم های خورشیدی است. گرچه فاصله زمین با خورشید تقریباً ثابت است ولی به علت تفاوت زاویه تابش در هر منطقه، میزان انرژی قابل استفاده نیز متفاوت می باشد. بیشترین میزان تشعشع خورشیدی زمانی حاصل می شود که پرتو تابش، عمود بر سطح بتابد، این امر با استفاده از دنبال کننده های خورشید که به طور لحظه ای خورشید را دنبال می کنند امکان پذیر است، اما به کارگیری ردیاب های خورشیدی، مستلزم صرف انرژی و هزینه های اضافی بوده و در برخی شرایط عملی و مقرون به صرفه نیست. روش جایگزین، استفاده از شیب و جهت بهینه برای دریافت بیشترین تابش در دوره های زمانی گوناگون است. در این مقاله، شیب بهینه سیستم های خورشیدی برای شهر مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶/۱۶ درجه، براساس یک مدل ریاضی محاسبه شده است. محاسبات نشان داد، استفاده از تنظیم شیب به صورت دوره ای باعث می شود کل انرژی دریافتی سالیانه ۱/۱۶٪ نسبت به سطح افقی افزایش یابد. بهترین دوره برای تغییر شیب بدین صورت است که در ماه های اسفند و فروردین از شیب ۲۴ درجه، در سه ماه اردیبهشت، خرداد و تیر از شیب ۴ درجه، در ماه های مرداد و شهریور از شیب ۲۱ درجه و از ابتدای مهر تا پایان بهمن ماه نیز از شیب ۵۲ درجه استفاده گردد و اگر قرار است یک سیستم خورشیدی در کل سال ثابت بماند، بهتر است با شیب ۳۰ درجه رو به جنوب قرار گیرد.

واژه های کلیدی: انرژی، تابش خورشید، شیب بهینه، عرض جغرافیایی



دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک

محل برگزاری دانشکده شهید مفتاح همدان

۱۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان



۱- مقدمه

انرژی، مهمترین رکن توسعه و پیشرفت بشری در همه‌ی زمینه‌ها از صنعت گرفته تا کشاورزی و حمل و نقل می‌باشد. در میان انواع مختلف انرژی، انرژی خورشید، یکی از منابع تأمین انرژی رایگان، پاک و عاری از اثرات مخرب زیست محیطی است که از دیر باز به روش‌های گوناگون مورد استفاده بشر قرار گرفته است. کاربرد انرژی خورشیدی کاملاً متنوع بوده و شامل کاربردهای حرارتی، تولید نیروی برق از طریق سیکل‌های ترمودینامیکی و تبدیل مستقیم نور خورشید به الکتریسیته با کمک سیستم‌های فتوولتائیک می‌شود. مطالعات وسیعی در سال‌های گذشته در مورد فن‌آوری و کاربردهای انرژی خورشیدی انجام گرفته و منجر به ارائه سامانه‌هایی شده است که ضمن دارا بودن توجیه اقتصادی لازم، از نقطه نظر تولید انرژی نیز مقرون به صرفه می‌باشند. تبدیل انرژی خورشیدی و استفاده از آن مستلزم به‌کارگیری روش‌های مختلفی است و برای جذب انرژی خورشیدی باتوجه به نوع کاربرد آن، از دریافت‌کننده‌هایی همچون کلکتور و پنل‌های خورشیدی استفاده می‌شود.

کره‌ی زمین انرژی خورشید را به صورت تابش خورشیدی دریافت می‌کند. به طور کلی میزان انرژی تابشی خورشید به دو عامل اصلی وابسته است: الف- زمان: ساعت، روز، روز سال (فصل) ب- مکان: عرض جغرافیایی. علاوه بر این نوع پوشش زمین و شرایط ابرناکی آسمان نیز بر میزان انرژی تابشی دریافتی از خورشید تأثیر دارند. کاربردهای خاصی نظیر خشک کردن میوه‌ها و سبزیجات نیاز به استفاده از کلکتورهای خورشیدی در دوره‌های زمانی خاصی از سال دارند و بیشترین انرژی تابشی از خورشید زمانی حاصل می‌شود که پرتوهای خورشید به طور عمودی به سطح مورد نظر بتابند. از آنجایی که خورشید همیشه در آسمان در حال حرکت است و هر روز مسیر متفاوتی را می‌پیماید و به علت تفاوت در زاویه تابش در هر منطقه، برای دریافت بیشترین انرژی تابشی مجبور به تغییر شیب و جهت دریافت‌کننده‌های خورشیدی خود می‌باشیم. البته در برخی موارد از سیستم‌های ردیاب خورشیدی برای تعقیب کردن لحظه‌ای مسیر خورشید استفاده می‌شود که این روش به دلیل معایب و محدودیت‌هایی، همواره عملی نیست. راهکار جایگزین استفاده از شیب و جهت بهینه برای نصب دریافت‌کننده‌های خورشیدی است که مقدار آن در مناطق مختلف و در بازه‌های گوناگون سال متغیر می‌باشد.

پیش از این تحقیقات گسترده‌ای برای تعیین شیب بهینه دریافت‌کننده‌های خورشیدی، در نقاط گوناگون دنیا و البته برخی از شهرهای ایران انجام گرفته از قبیل: (Runsheng and Tong, 2004; Hussein et al., 2004; Ulgen, 2006; moghadam et al., 2011). در تمام این تحقیقات مقدار شیب بهینه به صورت تابعی از عرض جغرافیایی مکان مورد مطالعه گزارش شده است. در تحقیقی که اخیراً صورت گرفته است، Lubitz (۲۰۱۱) نشان داد که در شرایط آب و هوایی مناسب، برای عرض‌های جغرافیایی کمتر از ۶۵ درجه، زاویه شیب بهینه سالیانه تقریباً ۰/۹ عرض جغرافیایی محل می‌باشد. در برخی مناطق بهتر است زاویه شیب تعیین شده در تمام طول سال ثابت باشد اما گاهی اوقات برای دستیابی به راندمان بیشتر، می‌توان زاویه شیب را چندین بار در سال تغییر داد. Nijegorodov (۱۹۹۷) برای ماه‌های مختلف سال، روابطی برای تعیین شیب بهینه برحسب عرض جغرافیایی پیشنهاد نمود که در جدول ۱ قابل مشاهده است.

بررسی‌های عبدالزاده و همکاران (۱۳۸۷) در شهر کرمان، نشان داد که مقادیر انرژی دریافتی از خورشید در یک سال به ترتیب با استفاده از زوایای بهینه مربوط به ماه، فصل و سال، در مقایسه با مقادیر انرژی دریافتی از خورشید در یک سال روی سطح افق، ۱۷٪، ۱۵/۹٪ و ۹/۳۶٪ افزایش یافته است. همچنین آزمایشاتی که توسط مقدم و همکاران (۲۰۱۱) در شهرهای زاهدان و بندرعباس صورت گرفت حاکی از آن است که اگر زاویه شیب بهینه تنها دوبار در سال تنظیم شود، نسبت به حالتی که سیستم در طول سال ثابت است، ۸٪ انرژی بیشتری دریافت می‌شود. شیب ثابت سالیانه برای کشور سوریه با عرض جغرافیایی ۳۲ تا ۳۷ درجه شمالی، ۳۰/۵۶ درجه پیشنهاد شده است، نتایج بررسی‌ها روی عملکرد کلکتورهای خورشیدی در این کشور نشان داد در



دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک

محل برگزاری دانشکده شهید مفتاح همدان

۱۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان



مقایسه با کلکتورهایی که در یک سطح کاملاً افقی به طور ثابت نصب می شوند، استفاده از شیب بهینه کلکتور به صورت ماهیانه، فصلی و سالیانه به ترتیب ۲۸٪، ۲۶٪ و ۱۶٪ افزایش در میزان انرژی دریافتی از خورشید را به همراه دارد (Sheiker, 2009).

جدول (۱) شیب بهینه ماهیانه برای عرض های جغرافیایی مختلف پیشنهادی توسط (Nijgorodov (1997)

شیب بهینه ماهیانه	ماه سال
$0.89\varphi + 29^{\circ}$	January
$0.97\varphi + 17^{\circ}$	February
$\varphi + 4^{\circ}$	March
$\varphi - 10^{\circ}$	April
$0.93\varphi - 24^{\circ}$	May
$0.87\varphi - 34^{\circ}$	June
$0.89\varphi - 30^{\circ}$	July
$0.97\varphi - 17^{\circ}$	August
$\varphi - 2^{\circ}$	September
$\varphi + 12^{\circ}$	October
$0.93\varphi + 25^{\circ}$	November
$0.87\varphi + 34^{\circ}$	December

φ عرض جغرافیایی محل

آزمایشات صورت گرفته در شهر مدینه نیز نشان داد در صورت تنظیم شیب پنل های خورشیدی به صورت ماهیانه، در مقایسه با حالتی که در طول سال از یک شیب ثابت استفاده شود، ۸٪ انرژی بیشتری از خورشید به دست می آید (Benghanem, 2011). با توجه به اینکه میزان تابش خورشیدی به مقدار زیادی تابع موقعیت جغرافیایی محل می باشد، لازم است چنین مطالعاتی در هر منطقه به طور مجزا صورت گیرد. لذا در این مقاله شیب بهینه سیستم های خورشیدی برای شهر مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶/۱۶ درجه، براساس یک مدل ریاضی محاسبه شده است.

۲- مواد و روش ها

تابش کل روی سطح شیبدار از مجموع سه مؤلفه به دست می آید که عبارتند از: تابش مستقیم، تابش پراکنده و تابش انعکاسی.

$$H_T = H_B + H_D + H_R = R \cdot H \quad (1)$$

در این رابطه H تابش کل روی سطح افق ($W \cdot m^{-2}$)، R ضریب تابش، H_T تابش کل روی سطح شیبدار ($W \cdot m^{-2}$)، H_B ، H_D و H_R نیز به ترتیب بیانگر تابش مستقیم، تابش پراکنده و تابش انعکاسی در سطح شیبدار می باشند.

مقدار تابش کل در سطح افق توسط دستگاه های اندازه گیری در ایستگاه های هواشناسی در هر منطقه ثبت می شود. برای محاسبه تابش کل خورشید در سطوح شیبدار، مدل های ریاضی زیادی گسترش یافته اند. این مدل ها تنها تفاوتشان در نحوه محاسبه تابش پراکنده است. (Liu and Jordan, 1960; Koronakis, 1986; Rindl et al., 1990; Tian et al., 2001;)



دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک

محل برگزاری دانشکده شهید مفتاح همدان

۱۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان



(Badescu, 2002) رایج ترین مدل که در اکثر تحقیقات از آن استفاده شده است مدل Liu and Jordan می باشد که مقدار ضریب تابش در آن، از رابطه‌ی (۲) به دست می آید:

$$R = \left(1 - \frac{H_d}{H}\right) R_b + \frac{H_d}{H} \left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + \rho \left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \quad (2)$$

R_b ضریب تابش مستقیم بوده که برای مناطق واقع در نیمکره شمالی از رابطه‌ی (۳) بدست می آید:

$$R_b = \frac{\cos(\varphi-\beta)\cos\delta\sin\omega_s + \left(\frac{\pi}{180}\right)\omega_s\sin(\varphi-\beta)\sin\delta}{\cos\varphi\cos\delta\sin\omega_s + \left(\frac{\pi}{180}\right)\omega_s\sin\varphi\sin\delta} \quad (3)$$

در این رابطه δ بیانگر زاویه انحراف محور کره‌ی زمین در روز مورد نظر می باشد:

$$\delta = 23.5 \sin \left[360 \times \frac{n}{365} \right] \quad (4)$$

n جمع روزهای سال از اول فروردین تا روز مورد نظر

φ عرض جغرافیایی محل بوده که برای مشهد مقدار آن $36/16$ درجه می باشد.

زاویه طلوع خورشید در سطح افق (ω_s) و زاویه طلوع در سطح شیبدار (ω'_s) به ترتیب از روابط (۵) و (۶) قابل محاسبه است.

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\varphi \cdot \tan\delta) \quad (5)$$

$$\omega'_s = \min \left[\cos^{-1}(-\tan\varphi \cdot \tan\delta), \cos^{-1}(-\tan(\varphi - \beta) \cdot \tan\delta) \right] \quad (6)$$

ضریب صافی هوا (K_{th})، بیانگر نسبت تابش کل در سطح افق به تابش روی همان سطح اگر در خارج از جو زمین قرار گرفته باشد، می باشد.

$$K_{th} = \frac{H}{H_0} \quad (7)$$

تابش فراجو (H_0) از رابطه‌ی (۸) قابل استحصال است:

$$H_0 = \frac{I_{sc}}{\pi} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) \times \left[\cos\varphi\cos\delta\sin\omega_s + \frac{\pi\omega_s}{180} \sin\varphi\sin\delta \right] \quad (8)$$

I_{sc} ثابت خورشیدی است که مقدار آن در اکثر منابع ۱۳۶۷ وات بر متر مربع ذکر شده است.

برای پیش بینی نسبت تابش پراکنده به تابش کل (K_{dh})، مدل‌های ریاضی مختلفی وجود دارد، در تحقیقی، ابراهیم پور و همکاران (۱۳۸۸) به مقایسه‌ی برخی از این مدل‌ها پرداختند و نهایتاً مدل "Orgill and Hollands (1997)" را برای اقلیم‌های ایران مناسب تر اعلام کردند. در این مدل، نسبت تابش پراکنده به تابش کل با توجه به محدوده‌ی ضریب صافی هوا از رابطه‌ی (۹) به دست می آید:

$$\begin{cases} K_{dh} = 1.557 - 1.84K_{th} & 0.35 < K_{th} < 0.75 \\ K_{dh} = 1 - 0.249K_{th} & K_{th} < 0.35 \\ K_{dh} = 0.177 & K_{th} > 0.75 \end{cases} \quad (9)$$

ρ ضریب انعکاس زمین بوده که مقدار آن بسته به نوع پوشش محیط از $0/2$ تا $0/8$ متغیر است. در این مطالعه، مقدار این ضریب با توجه به پوشش سنگی زمین در محل انجام آزمایشات میدانی، $0/3$ در نظر گرفته شد.

نهایتاً براساس معادلات ذکر شده، مقادیر ضریب صافی هوا و نسبت تابش پراکنده برای ماه‌های مختلف در شهر مشهد محاسبه گردید. مقادیر تابش کل روی سطح افق، برای چندسال متوالی (۲۰۰۸ تا ۲۰۱۱) از اداره‌ی هواشناسی مشهد به دست آمد و میانگین گیری شد. نهایتاً با جایگذاری همه‌ی مقادیر در رابطه‌ی (۱۱) برای شیب‌های از 0 تا 90 درجه، زاویه در حالتی که تابش



دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک

محل برگزاری دانشکده شهید مفتاح همدان

۱۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان



در آن از همه بیشتر شد به عنوان شیب بهینه در هر ماه در نظر گرفته شد. به کمک شیب بدست آمده برای هر ماه، شیب فصلی و سالیانه نیز محاسبه گردید.

۳- نتیجه گیری و پیشنهادات

باتوجه به اینکه شهر مشهد در نیمکره شمالی زمین واقع شده است، مناسب ترین جهت برای قرار گیری سیستم های خورشیدی، رو به جنوب می باشد. اما برای تعیین بهترین شیب براساس مدل ریاضی پیشنهادی و با کمک روابط ذکر شده در بخش مواد و روشها، محاسبات لازم صورت گرفت که نتایج آن، در جداول ۲ و ۳ قابل مشاهده است.

جدول (۲) ضرایب صافی هوا و نسبت تابش پراکنده محاسبه شده برای ماه های مختلف در مشهد

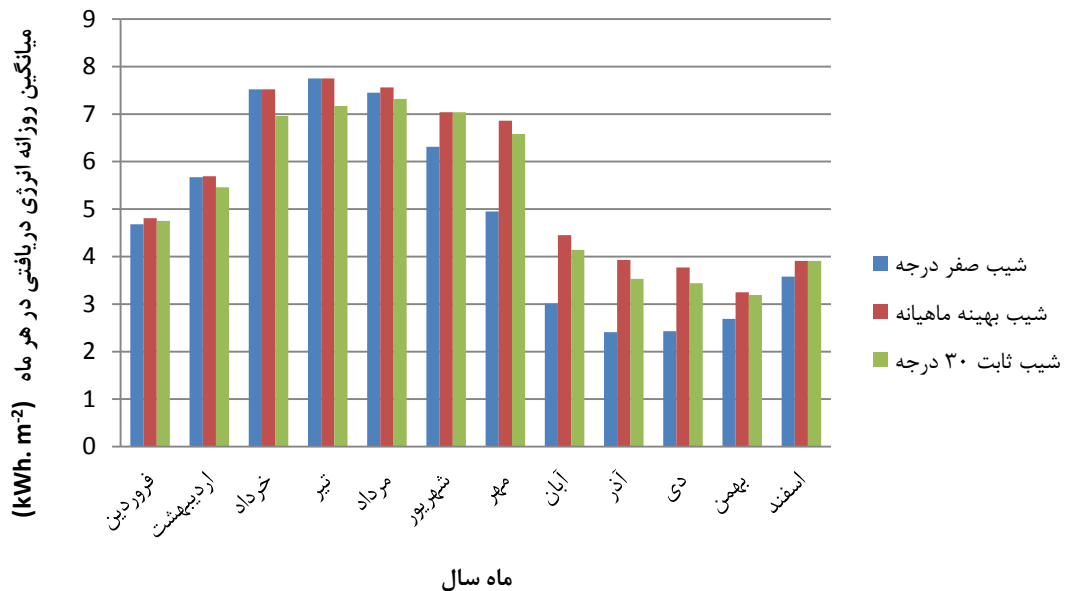
ماه	K_{th}	K_{dh}
فروردین	۰/۴۸	۰/۶۷
اردیبهشت	۰/۵	۰/۶۴
خرداد	۰/۶۳	۰/۴
تیر	۰/۶۶	۰/۳۴
مرداد	۰/۷	۰/۲۷
شهریور	۰/۷۱	۰/۲۵
مهر	۰/۷۲	۰/۲۳
آبان	۰/۵۸	۰/۴۹
آذر	۰/۵۶	۰/۵۳
دی	۰/۵۴	۰/۵۶
بهمن	۰/۴۷	۰/۶۹
اسفند	۰/۴۷	۰/۶۹

جدول (۳) مقادیر زاویه شیب و متوسط انرژی روزانه در هر ماه براساس زاویای بهینه ماهیانه، فصلی و سالیانه

ماه	شیب بهینه ماهیانه (درجه)	میانگین روزانه انرژی استحصالی (kWh. m ⁻²)	شیب بهینه فصلی (درجه)	میانگین روزانه انرژی استحصالی (kWh. m ⁻²)	شیب بهینه سالیانه (درجه)	میانگین روزانه انرژی استحصالی (kWh. m ⁻²)
فروردین	۱۸	۴/۸۱	۷	۴/۷۶	۴/۷۵	
اردیبهشت	۵	۵/۶۹		۵/۶۹	۵/۴۶	
خرداد	۰	۷/۵۲		۷/۴۷	۶/۹۶	
تیر	۰	۷/۷۵		۷/۶	۷/۱۷	



۷/۳۲		۷/۵۵	۱۴	۷/۵۶	۱۲	مرداد
۷/۰۴	۳۰	۶/۸۴		۷/۰۴	۳۰	شهریور
۶/۵۸		۶/۸۴		۶/۸۶	۴۸	مهر
۴/۱۴		۴/۴۵	۵۴	۴/۴۵	۵۵	آبان
۳/۵۳		۳/۹۲		۳/۹۳	۶۰	آذر
۳/۴۴		۳/۷		۳/۷۷	۵۹	دی
۳/۱۹		۳/۲۵	۴۵	۳/۲۵	۴۴	بهمن
۳/۹۱		۳/۵۸		۳/۹۱	۳۱	اسفند



شکل (۱) مقایسه بین انرژی استحصالی در ماه های مختلف برای شیب صفر، شیب ماهیانه و شیب ۳۰° در مشهد (kWh. m⁻²)

با تجزیه و تحلیل صورت گرفته بر روی محاسبات پیشنهاد می شود، برای دریافت بیشترین انرژی تابشی در شهر مشهد از تنظیم شیب سیستم به صورت دوره ای استفاده شود. بدین صورت که در ماه های اسفند و فروردین از شیب ۲۴ درجه، سه ماه اردیبهشت، خرداد و تیر شیب ۴ درجه، ماه های مرداد و شهریور شیب ۲۱ درجه و از ابتدای مهر تا پایان بهمن ماه نیز از شیب ۵۲ درجه استفاده گردد. در این حالت نیز شیب میانگین به دست آمده برای کل سال، ۳۰ درجه می باشد. در جدول ۴ مقایسه ای بین دوره های زمانی مختلف تنظیم شیب و مجموع انرژی استحصالی سالیانه در هر حالت صورت گرفته است. نتایج بیانگر این است که استفاده از دوره های پیشنهادی تنظیم شیب در این مقاله، افزایش ۱۱/۶ درصدی در انرژی دریافتی سالیانه از خورشید در شهر مشهد را به همراه دارد.

جدول (۴) مقایسه بین شیب های مختلف و تأثیر آن در میزان تابش دریافتی سالیانه



دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک

محل برگزاری دانشکده شهید مفتاح همدان

۱۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان



دوره های پیشنهادی	ماه‌بانه	فصلی	ثابت ۳۰ درجه	صفر	شیب مورد استفاده
۲۰۲۴/۱	۲۰۳۲/۶۶	۲۰۰۵/۸۳	۱۹۳۹/۴۹	۱۷۸۹/۳	مجموع انرژی سالانه (kWh. m ⁻²)
%۱۱/۶	%۱۲	%۱۱	%۸	۰	درصد افزایش تابش دریافتی نسبت به افق



دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک

محل برگزاری دانشکده شهید مفتاح همدان

۱۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان



۴- تشکر و قدردانی

از همکاری و حمایت اعضای محترم بخش فتوولتائیک پژوهشکده هواخورشید دانشگاه فردوسی مشهد به ویژه پرسنل آزمایشگاه تست میدانی فتوولتایی، جناب آقایان مهندس معین چوبینه، مهندس حامد شفاعتی و مهندس حمیدرضا صادقی شفاقی تشکر و قدردانی می گردد.

۵- فهرست منابع

- [۱] ابراهیم پور، ع، معرفت، م، نیری، ه. ۱۳۸۸. مقایسه روش های مختلف پیش بینی تابش دیفیوز برای اقلیم های ایران. مجله علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی. ۲۱-۱: (۲۷).
- [۲] عبدل زاده، م، جعفری، س، رهنما، م. و عامری، م. ۱۳۸۷. تعیین زاویه بهینه پانل های خورشیدی ثابت برای دریافت بیشترین انرژی تشعشعی در شهر کرمان. نشریه بین المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران. ۹۸-۹۱: (۱۰) ۱۹.
- [3] Badescu, V. 2002. A new kind of cloudy sky model to compute instantaneous values of diffuse and global solar irradiance. *Theoretical and Applied Climatology*. 72:127-136.
- [4] Benganem, M. 2011. Optimization of tilt angle for solar panel: Case study for Madinah, Saudi Arabia. *Applied Energy*. 88: 1427-1433.
- [5] Hussein, H. M. S., Ahmad, G. E. and El-Ghetany, H. H. 2004. Performance evaluation of photovoltaic modules at different tilt angles and orientations. *Energy Conversion and Management*. 45: 2441-2452.
- [6] Koronakis, S. 1986. On the choice of the angle of tilt for south facing solar collectors in the Athens basin area. *Solar Energy*. 36 (3): 217-225.
- [7] Lubitz, W. D. 2011. Effect of manual tilt adjustments on incident irradiance on fixed and tracking solar panels. *Applied Energy*. 88: 1710-1719.
- [8] Liu, B. Y. H., Jordan, R. C. 1960. The interrelationship and characteristics and distribution of direct, diffuse and total solar radiation, *Solar Energy*. 4 (3): 1-19.
- [9] Moghadam, H., Farshchi Tabrizi, F. and Zolfaghari Sharak, A. 2011. Optimization of solar flat collector inclination. *Desalination*. 265: 107-111.
- [10] Nijegorodov, N., Adedoyin, J. A., Devan, K. R. S. 1997. A new analytical-empirical model for the instantaneous diffuse radiation and experimental investigation of its validity. *Renewable Energy*, 11 (3): 341-350.
- [11] Reindel, D. T., Beckman, W. A., and Duffie, J. A. 1990. Evaluation of hourly tilted surface radiation models. *Solar Energy*. 45 (1): 9-17.
- [12] Runsheng T. Tong, W. 2004. Optimum tilt angle for solar collectors used in China. *Applied Energy*. 79 (3): 239-248.
- [13] Skeiker, K. 2009. Optimum tilt angle and orientation for solar collectors in Syria. *Energy Conversion and Management*. 50: 2439-2448.
- [14] Tian, Y. Q., Davies-Colley, R. J., Gong, P., Thorrold, B. W. 2001. Estimating solar radiation on slopes of arbitrary aspect. *Agriculture and Forest Meteorology*. 109 (1): 67-74.
- [15] Ulgen, K. 2006. Optimum tilt angle for solar collectors. *Energy sources, part A: recovery, utilization and environmental effects*. 28 (13): 1171-1180.