



اولین کنفرانس انرژی های تجدید پذیر و تولید پراکنده ایران

The First Iranian Conference on Renewable Energies and Distributed Generation
ICREDG 2010



تعیین زاویه بهینه شیب و سمت سطح کلکتورهای خورشیدی در شهر کرمان

مرتضی عبدالزاده، محمد رهنما و روح الله فدایی نژاد

می توان از تنظیم روزانه زاویه شیب سطح استفاده کرد با توجه به اینکه اطلاعات تشعشعی خورشید موجود مربوط به سطح افقی می باشد لذا تعیین میزان انرژی تشعشعی ورودی به یک سطح تحت زاویه بر اساس این اطلاعات ضروری می باشد. اغلب مطالعات انجام شده در این زمینه، بیانگر این مطلب هستند که زاویه سمت سطح و زاویه شیب بهینه در نیم کره شمالی برای پانل های خورشیدی رو به جنوب وابسته به عرض جغرافیایی است. برای مثال Lunde [1] زاویه بهینه را برابر با $b_{opt} = f \pm 15$ و Beckman [2] زاویه بهینه را برابر با $b_{opt} = (f + 15) \pm 15$ گزارش کردند. در روابط فوق الذکر f عرض جغرافیایی است. Alonge و Qje یک مدل ریاضی برای زاویه شیب و زاویه سمت الراس بهینه برای چند شهر در کشور نیجریه ارائه کردند [3]. QIU و RIFFATS زاویه بهینه را برای چندین شهر دنیا با یک مدل ریاضی بررسی کردند [4]. در کار آنها زاویه بهینه برابر با $b_{opt} = f \pm 10$ گزارش شد. IBRAHIM نشان داد که با تنظیم زاویه پانل خورشیدی به صورت ماهیانه، بیشترین انرژی تشعشعی قابل دسترس می باشد [5]. Mujahid با استفاده از یک الگوریتم محاسباتی زاویه بهینه را برای عرض های جغرافیایی متفاوت از 10 تا 50 درجه به دست آورد و دریافت که اگر پانل ها در ماه های فصول مختلف سال بر اساس زاویه دریافت ماکزیمم انرژی خورشید در فصل مورد نظر تنظیم شوند تقریباً 10% انرژی تشعشعی از دست می رود [6]. Uigen با استفاده از یک مدل ریاضی زاویه بهینه در شهر از میر ترکیه را محاسبه کرد و همچنین زاوایای بهینه را برای ماهها و فصول مختلف سال نیز ارائه کرد [7]. Bari زاوایای بهینه را برای نقاط مختلف مالزی [8] و Elminir و همکاران برای نقاط مختلف مصر به دست آوردند [9]. Gopinathan و همکاران با استفاده از یک مدل ریاضی جدید زاویه شیب و سمت الراس بهینه را برای آفریقای جنوبی ارائه کردند [10]. Yaku و Malik با استفاده از یک مدل ریاضی زاویه بهینه در شهر دارالسلام را به دست آوردند و زاویه شیب بهینه را به صورت ساعتی، روزانه، ماهیانه، فصلی و سالانه بیان کردند [11]. علاوه بر کارهای

چکیده- در این تحقیق با استفاده از مدل های مختلف آسمان زاویه بهینه شیب کلکتورهای خورشیدی بمنظور دریافت بیشترین میزان تشعشع متوسط ماهیانه خورشیدی در شهر کرمان بدست آمده است. در کلیه مدل های استفاده شده تاثیرات تشعشع انعکاسی زمین نیز در نظر گرفته شده است. در کار حاضر سه مدل متفاوت برای به دست آوردن زاویه شیب بهینه و زاویه سمت سطح بهینه در شهر کرمان استفاده شده است. با استفاده از مدل ایزوتروپیک زاوایای بهینه ای برای ماه های مختلف سال، فصول سال و کل سال معرفی شده است. همچنین با استفاده از دو مدل غیر ایزوتروپیک زاویه سمت سطح و زاویه شیب بهینه برای شهر کرمان حاصل شده است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که دریافت ماکزیمم انرژی تشعشعی از خورشید در ماه های مختلف سال در زاوایای مختلفی صورت می گیرد که با زاویه عرض جغرافیایی برابر نمی باشد اما چنانچه هدف دریافت ماکزیمم انرژی تشعشعی سالانه باشد زاویه بهینه شیب پانل به عرض جغرافیایی محل نزدیک می باشد.

واژه های کلیدی: انرژی خورشیدی، زاویه بهینه، کلکتور خورشیدی

1- مقدمه

اطلاعات میزان تشعشع خورشیدی در نقاط مختلف بصورت تشعشع کل روی یک سطح افقی در دسترس می باشد. این اطلاعات در سازمان هواشناسی کشور در نقاطی که ایستگاههای اندازه گیری نصب شده است موجود می باشد. معمولاً این اطلاعات بصورت مقدار تشعشع کل روزانه در طول سال می باشند. با توجه به اینکه بیشترین میزان تشعشع خورشیدی مستقیم روی سطح عمود بر جهت تابش خورشید می باشد. لذا برای دریافت بیشترین مقدار انرژی باید سطح صاف تقریباً عمود بر جهت تشعشع باشد. این امر با استفاده از دنبال کننده های خورشید که بطور لحظه ای خورشید را دنبال می کنند امکان پذیر است اما مشکل اصلی هزینه بالای ساخت این وسایل می باشد. در کلکتورهای خورشیدی تخت و سلولهای فتوولتائیک

1- مرتضی عبدالزاده، عضو هیات علمی- دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی مکانیک-

دانشگاه آزاد اسلامی- واحد کرمان mabdolzadh@yahoo.com

2- محمد رهنما، استاد مهندسی مکانیک، بخش مهندسی مکانیک، دانشکده فنی، دانشگاه شهید باهنر کرمان- کرمان rahnama@mail.uk.ac.ir

3- روح الله فدایی نژاد، استادیار، بخش مهندسی برق، دانشکده فنی، دانشگاه صنعتی تحصیلات تکمیلی کرمان- کرمان rfadaein@iee.org

مدلی ارائه شده تنها برای سطوح با زاویه سمت صفر قابل استفاده است. Klein روشی را ارائه کرده است که تاثیرات زوایای سمت سطح را نیز مورد ارزیابی قرار می دهد [14] و روابط آن به شکل زیر نوشته می شوند:

$$H_T = HD + H_d \left(\frac{1 + \cos b}{2} \right) + Hr_g \left(\frac{1 - \cos b}{2} \right) \quad (5)$$

$$D = \begin{cases} \max\{0, G(w_{ss}, w_{sr})\} & \text{if } w_{ss} \geq w_{sr} \\ \max\{0, [G(w_{ss}, -w_s) + G(w_s, w_{sr})]\} & \text{if } w_{sr} < w_{ss} \end{cases} \quad (1-6)$$

(2-6)

$$G(w_1, w_2) = \frac{1}{2d} \left[\left[\left(\frac{bA}{2} - a'B \right) (w_1 - w_2) \frac{p}{180} + (a'A - bB) (\sin w_1 - \sin w_2) - \dots \right. \right. \\ \left. \left. \dots - a'C (\cos w_1 - \cos w_2) + \left(\frac{bA}{2} \right) \cos w_1 \sin w_1 - \cos w_2 \sin w_2 \right] + \dots \right. \\ \left. \left. \dots + \left(\frac{bC}{2} \right) (\sin^2 w_1 - \sin^2 w_2) \right] \right]$$

ثابت های a', a, b به صورت زیر تعریف می شوند:

$$a' = a - \frac{H_d}{H} \quad (3-6)$$

$$a = 0.409 + 0.5016 \sin(w_s - 60) \quad (4-6)$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \sin(w_s - 60) \quad (5-6)$$

زوایای طلوع w_{sr} و غروب w_{ss} خورشید به صورت زیر محاسبه می شوند:

$$|w_{sr}| = \min \left[w_s, \cos^{-1} \frac{AB + C\sqrt{A^2 - B^2 + C^2}}{A^2 + C^2} \right] \quad (7)$$

$$w_{sr} = \begin{cases} -|w_{sr}| & \text{if } (A > 0 \text{ and } B > 0) \text{ or } (A \geq B) \\ +|w_{sr}| & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$|w_{ss}| = \min \left[w_s, \cos^{-1} \frac{AB - C\sqrt{A^2 - B^2 + C^2}}{A^2 + C^2} \right] \quad (8)$$

$$w_{ss} = \begin{cases} -|w_{ss}| & \text{if } (A > 0 \text{ and } B > 0) \text{ or } (A \geq B) \\ +|w_{ss}| & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$A = \cos b + \tan f \cos g \sin b$$

$$B = \cos w_s \cos b + \tan d \cos g \sin b \quad (9)$$

$$C = \frac{\sin b \sin g}{\cos f}$$

این معادلات برای نیمکره شمالی و جنوبی قابل استفاده می باشند.

Hay روش دیگری را برای تعیین تشعشع کل رسیده روی سطح شیب دار ارائه کرد. در روش وی R_b برای نیم کره شمالی و جنوبی یکسان است فقط مقادیر به دست آمده برای ژانویه در نیم کره

تجربی و استفاده از مدل های ریاضی Shariah و همکاران با استفاده از نرم افزار زاویه بهینه را برای مناطقی از اردن به دست آوردند [12]. در تحقیق حاضر مدل های ریاضی مختلف برای شهر کرمان مورد استفاده قرار می گیرد. در بخش دوم مدل های ریاضی استفاده شده در این تحقیق مورد بررسی قرار می گیرند. در بخش سوم به بررسی نتایج حاصله برای شهر کرمان پرداخته شده است و در بخش چهارم نتیجه گیری ارائه شده است.

2- مدل های ریاضی

اطلاعات میزان انرژی تشعشع خورشید در نقاط مختلف بصورت تشعشع کل روی یک سطح افقی در دسترس می باشد. مدل های ریاضی ارائه شده با استفاده از داده های انرژی تشعشعی روی سطح افقی انرژی رسیده به سطوح شیب دار را محاسبه می کنند. تشعشع کل روزانه میانگین ماهیانه روی یک سطح شیب دار، برابر با مجموع تابش مستقیم H_B ، تابش پخشی H_D و تابش انعکاسی H_R است. لذا می توان نوشت:

$$H_T = H_B + H_S + H_R \quad (1)$$

اولین روشی که در کار حاضر برای به دست آوردن H_T مورد استفاده قرار گرفت، روشی ایزتروپیک است. که توسط Liu ارائه شده است [13]. با استفاده از این روش مقدار تشعشع میانگین ماهیانه بر روی سطح شیب دار به شکل زیر حاصل می شود:

$$H_T = H \left(1 - \frac{H_d}{H} \right) R_b + H_d \left(\frac{1 + \cos b}{2} \right) + Hr_g \left(\frac{1 - \cos b}{2} \right) \quad (2)$$

در رابطه اخیر b زاویه شیب، r_g ضریب انعکاس زمین، H_T تشعشع کل تابیده شده به سطح پانل شیب دار و H میزان تشعشع روی سطح افقی است. در رابطه اخیر R_b بیانگر نسبت مقدار متوسط تابش مستقیم روی سطح شیب دار به مقدار متوسط تابش مستقیم روی سطح صاف است ($R_b = H_{BT} / H_B$). برای یک سطح با زاویه سمت الراس، g برابر با صفر داریم:

$$R_b = \frac{\cos(f \mu b) \cos d \sin w'_s + (p/180) w'_s \sin(f \mu b) \sin d}{\cos f \cos d \sin w'_s + (p/180) w'_s \sin f \sin d} \quad (3)$$

$$w'_s = \min \left[\cos^{-1}(-\tan f \tan d), \cos^{-1}(-\tan(f \pm b) \tan d) \right] \quad (4)$$

در رابطه اخیر علامت مثبت برای نیم کره شمالی و علامت منفی برای نیم کره جنوبی است.

خورشید وجود دارد. لذا با دانستن زوایای بهینه پانل‌های خورشیدی برای سیستم‌هایی که با استفاده از انرژی خورشید کار می‌کنند می‌توان بخش عمده‌ای از انرژی مورد نیاز شهر را تامین نمود. در کار حاضر داده‌های میانگین ماهیانه در روز روی سطح افقی، به عنوان ورودی مدل‌ها در نظر گرفته شده‌اند. شایان ذکر است ضریب انعکاس زمین $r_g = 0/2$ در نظر گرفته شده است [17]، (جدول 1) کلیه مقادیر تشعشع روی یک سطح افقی از داده‌های تشعشع سنجی موجود در اداره هواشناسی کرمان که برای یک دوره ده ساله از سال 1986 تا سال 1997 موجود بوده، استفاده شده است. شایان ذکر است این مقادیر با پیرانومتر Kip&Zone مدل CB7 [18] اندازه‌گیری شده‌اند، شکل (1). در جدول (2) مقادیر مربوط به انرژی تشعشعی دریافتی از خورشید روی سطح افقی برای ماههای مختلف سال در شهر کرمان ارائه شده است. مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار انرژی دریافتی از خورشید در ماه ژوئن بوده و برابر با $28/05 MJ/m^2$ است و کمترین مقدار انرژی برای ماه ژانویه بوده و برابر با $12/11 MJ/m^2$ است.

جدول 1- ضرایب انعکاس زمین برای چند پوشش مختلف

Ground Cover	Reflectivity
Dry bare ground	0.2
Dry grassland	0.3
Desert sand	0.4
Snow	0.5-0.8



شکل 1- دستگاه پیرانومتر به منظور اندازه‌گیری انرژی تشعشعی

شمالی برای جولای در نیم کره جنوبی مورد استفاده قرار می‌گیرد [15].

$$R_b = \{ \cos b \sin d \sin f (w_{ss} - w_{sr})(p/180) - \dots \\ \sin d \cos f \sin b \cos g (w_{ss} - w_{sr})(p/180) + \dots \\ \cos f \cos d \cos b (\sin w_{ss} - \sin w_{sr}) + \dots \\ \cos d \cos g \sin f \sin b (\sin w_{ss} - \sin w_{sr}) - \dots \\ \cos d \sin b \sin g (\cos w_{ss} - \cos w_{sr}) \} / \{ 2[\cos f \cos d \sin w_s + \dots \\ (p/180)w_s \sin f \sin d] \} \quad (10)$$

$$ifg < 0 \left\{ \begin{array}{l} w_{sr} = -\min \left[w_s, \cos^{-1} \frac{AB + \sqrt{A^2 - B^2 + 1}}{A^2 + 1} \right] \\ w_{ss} = \min \left[w_s, \cos^{-1} \frac{AB - \sqrt{A^2 - B^2 + 1}}{A^2 + 1} \right] \end{array} \right. \quad (11)$$

$$ifg > 0 \left\{ \begin{array}{l} w_{sr} = -\min \left[w_s, \cos^{-1} \frac{AB - \sqrt{A^2 - B^2 + 1}}{A^2 + 1} \right] \\ w_{ss} = \min \left[w_s, \cos^{-1} \frac{AB + \sqrt{A^2 - B^2 + 1}}{A^2 + 1} \right] \end{array} \right. \quad (12)$$

$$A = \frac{\cos f}{\sin g \tan b} + \frac{\sin f}{\tan g} \quad (13)$$

$$B = \tan d \left(\frac{\cos f}{\tan g} - \frac{\sin f}{\sin g \tan b} \right)$$

با استفاده از این روش انرژی تشعشعی کل متوسط ماهیانه در یک روز به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$H_T = (H - H_d)R_b + Hr_g \left(\frac{1 - \cos b}{2} \right) + \\ H_d \left\{ \frac{H - H_d}{H_o} R_b + \left(\frac{1 + \cos b}{2} \right) \left(1 - \frac{H - H_o}{H_o} \right) \right\} \quad (14)$$

در رابطه اخیر H_o تشعشع خارج از جو بر روی یک سطح افقی است.

3- بررسی نتایج

مقادیر لازم برای استفاده در سه مدلی که در بخش قبل توضیح داده شدند، با استفاده از داده‌های سازمان هواشناسی برای یک دوره دوازده ساله در شهر کرمان به دست آمده‌اند. شهر کرمان در منطقه‌ای نسبتاً کویری در ارتفاع 1845 متری از سطح دریا با طول جغرافیایی $57/05^\circ$ و عرض جغرافیایی $30/15^\circ$ قرار گرفته است. با توجه به آب و هوای خشک منطقه در یازده ماه از سال تابش مناسب

جدول 2- مقادیر انرژی تشعشعی کل متوسط روزانه در هر ماه روی یک سطح افقی در شهر کرمان

Month	$H(MJ/m^2)$
January	12.11
February	15.77
March	17.17
April	22.22
May	25.72
June	28.05
July	27.64
August	25.05
September	24.30
October	18.73
November	14.55
December	14.05

جدول 3- مقایسه مقادیر ماهیانه زاویه شیب بهینه کار حاضر با نتایج [16]Nijegorodov

Month	$b_{opt(m)}(N)$ [16]	$b_{opt(m)}$ (°)
Jan: $b_{opt(m)}(N) = 0.89f + 29$	56.23	56.21
Feb: $b_{opt(m)}(N) = 0.97f + 17$	46.68	46.44
March: $b_{opt(m)}(N) = f + 4$	33.68	30.67
April: $b_{opt(m)}(N) = f - 10$	20.6	14.14
May: $b_{opt(m)}(N) = 0.93f - 24$	4.45	-0.88
June: $b_{opt(m)}(N) = 0.87f - 34$	-10.38	-7.89
July: $b_{opt(m)}(N) = 0.89f - 30$	-2.77	-4.88
Aug: $b_{opt(m)}(N) = 0.97f - 17$	12.68	8.14
Sep: $b_{opt(m)}(N) = f - 2$	28.6	26.91
Oct: $b_{opt(m)}(N) = f + 12$	42.6	43.43
Nov: $b_{opt(m)}(N) = 0.93f + 25$	53.46	55.21
Dec: $b_{opt(m)}(N) = 0.87f + 34$	60.62	60.71

در بخش اول به بررسی نتایج مدل ایزوتروپیک پرداخته شده است. همان طور که در بخش قبل اشاره شد، با استفاده از انرژی تشعشعی دریافتی روی سطح افقی و روابط (2) تا (4) می توان مقدار انرژی تشعشعی رسیده به سطح شیب دار را محاسبه کرد. شایان ذکر است که علامت منفی برای زاویه شیب به این معنی است که جهت کلکتور رو به شمال است. در سایر موارد که علامت زاویه شیب مثبت است کلکتور رو به جنوب قرار می گیرد.

در جدول (3) مقادیر زاویه شیب بهینه برای پانل های خورشیدی با استفاده از روش کار حاضر و همچنین با استفاده از یک روش بهینه سازی ریاضی که برای مناطق مختلف جهان انجام شده است آورده شده است. این بهینه سازی انرژی به منظور دریافت ماکزیمم انرژی تشعشعی توسط Nijegorodov و همکاران انجام شده است [16]. وی 12 رابطه را برای زاویه شیب بهینه در ماههای مختلف سال بر حسب عرض جغرافیایی ارائه کرده است و این روابط برای عرض های جغرافیایی بین 60 تا 60- صادق هستند. در ستون اول جدول (3) این روابط ارائه شده اند. در ستون دوم این مقادیر با استفاده از روابط فوق الذکر برای ماههای مختلف سال برای شهر کرمان محاسبه شده اند. در ستون سوم مقادیر محاسبه شده با استفاده از روش ایزوتروپیک برای شهر کرمان آورده شده است. با مقایسه نتایج حاصل از دو روش می توان به اختلاف کم بین نتایج اشاره کرد که این اختلاف از آنجا ناشی می شود که این روابط با توجه به بهینه سازی ریاضی حاصل شده اند و این در حالی است که مقادیر انرژی تشعشعی رسیده به سطح شیب دار صرفاً تابعی از موقعیت جغرافیایی محل هستند.

در جدول (4) مقادیر زاویه بهینه و مقادیر مربوط به انرژی تشعشعی رسیده به سطح شیب دار برای ماه، فصل و سال آورده شده است. مقادیر مربوط به زاویه بهینه برای فصل با میانگین گیری از زوایای بهینه مربوط به ماههای همان فصل حاصل شده است. با مشاهده نتایج گزارش شده در جدول (4) می توان دریافت که زوایای بهینه مربوط به ماههای می، ژوئن و جولای منفی می باشند و در بقیه ماههای سال زوایای بهینه مثبت می باشند. همچنین با استفاده از زوایای بهینه ماهیانه، بیشترین مقدار انرژی دریافتی از خورشید در ماه ژوئن بوده و برابر با $28/26 MJ/m^2$ است و کمترین مقدار انرژی برای ماه مارس بوده و برابر با $19/16 MJ/m^2$ است. شایان ذکر است با استفاده از روش بهینه سازی فصلی هم این دو ماه، ماههای حداکثر و حداقل انرژی تشعشعی دریافتی هستند و مقادیر آنها برابر با $27/95 MJ/m^2$ و $18/75 MJ/m^2$ است. در صورتی که مد نظر باشد سیستم سالیانه ماکزیمم انرژی تشعشعی را دریافت کند ماههای حداکثر و حداقل انرژی سپتامبر و ژانویه می باشند و مقدار دریافت انرژی آنها به ترتیب $26/61 MJ/m^2$ و $17/25 MJ/m^2$ است. با استفاده از مقادیر موجود در جدول های (2) و (4) می توان انرژی کل دریافتی در سال را با استفاده از روش های بهینه سازی مختلف و همچنین روی سطح افق به دست آورد که نتایج مربوطه در جدول (5) مشاهده می شود. با بررسی داده های موجود در جدول (5)

80 با استفاده از مدل Klein [14] برای چهار زاویه شیب $f-10$ ، f ، $f+10$ و $f+20$ برای ماههای ژانویه و جولای مشخص شده است. در شکل (3) مقادیر انرژی خورشیدی متوسط رسیده به سطح شیب دار برای پنج زاویه سمت مختلف صفر، 20، 40، 60 و 80 با استفاده از مدل Hay [15] برای چهار زاویه شیب f ، $f-10$ ، $f+10$ و $f+20$ برای ماههای ژانویه و جولای مشخص شده است.

می توان دریافت 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 17%، 15/9% و 9/36% افزایش یافته است. همان طور که اشاره شد مدل ایزوتروپیک فقط برای $g = 0$ صادق است. برای در نظر گرفتن تاثیر g در ادامه نتایج برای دو مدل غیر ایزوتروپیک آورده شده است.

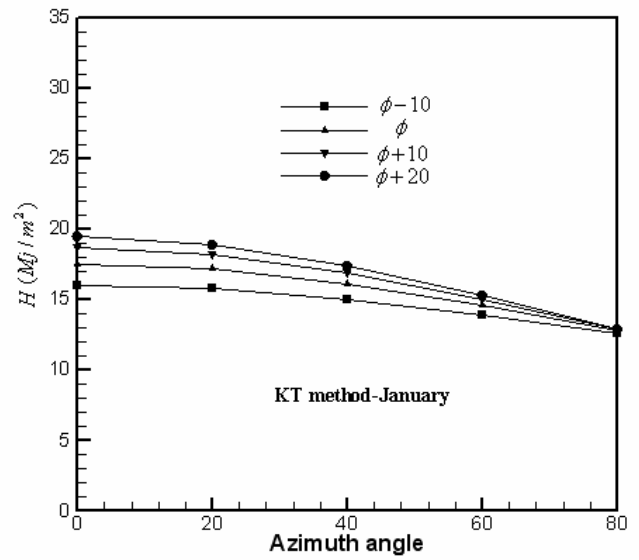
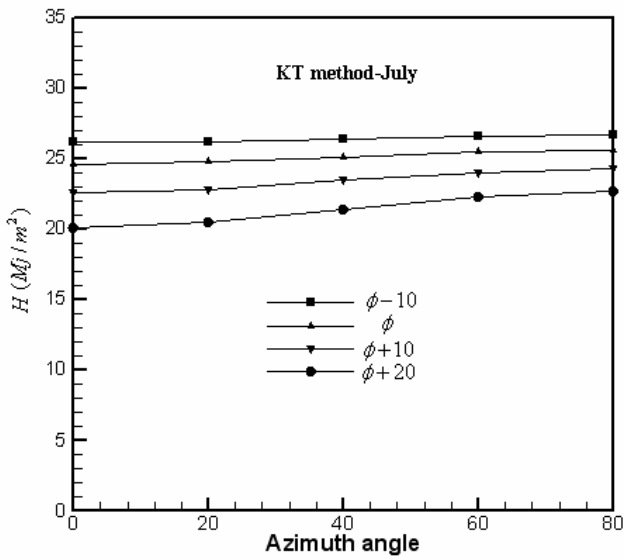
در شکل (2) مقادیر انرژی تشعشی متوسط رسیده به سطح شیب دار برای پنج زاویه سمت الراس، g ، مختلف صفر، 20، 40، 60 و

جدول 4- مقادیر زاویه شیب بهینه و انرژی متوسط روزانه ماهیانه رسیده به سطح پانل خورشیدی بر اساس زاویه بهینه ماهیانه، فصلی و سالیانه

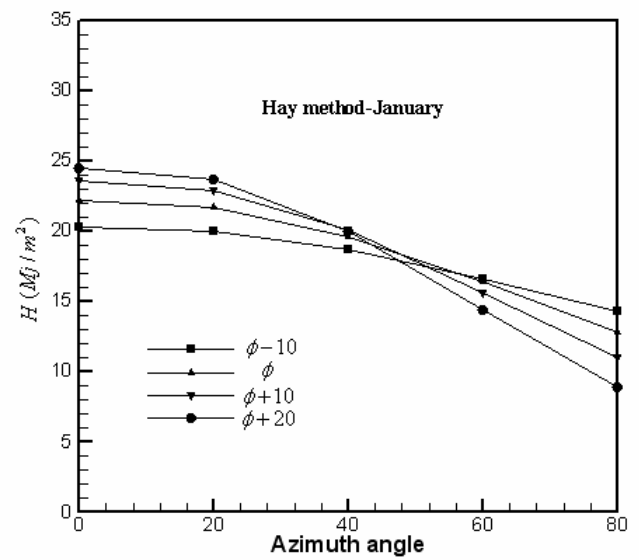
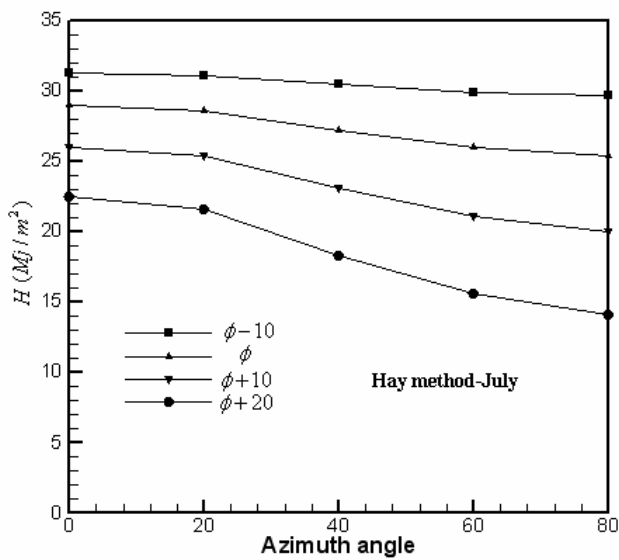
Month	$b_{opt(m)}$ ($^{\circ}$)	$H_{opt(m)}$ (MJ/m^2)	$b_{opt(s)}$ ($^{\circ}$)	$H_{opt(s)}$ (MJ/m^2)	$b_{opt(y)}$ ($^{\circ}$)	$H_{opt(y)}$ (MJ/m^2)
January	56.21	19.25	44.44	18.91	27.35	17.25
February	46.44	21.04		21.03		20.11
March	30.67	19.16		18.75		19.13
April	14.14	22.72	1.79	22.34		22.29
May	-0.88	25.73		25.71		23.68
June	-7.89	28.26		27.95		24.73
July	-4.88	27.73	10.06	27.07		24.82
August	8.14	25.24		25.23		24.24
September	26.91	26.61		25.69		26.61
October	43.43	24.18	53.12	23.89		23.39
November	55.21	23.08		23.07		20.78
December	60.71	25.72		25.52		21.97

جدول 5- مقادیر سالیانه انرژی دریافتی از خورشید روی سطح یک تحت زاویه بهینه ماهیانه، فصلی، سالیانه و زاویه صفر در شهر کرمان

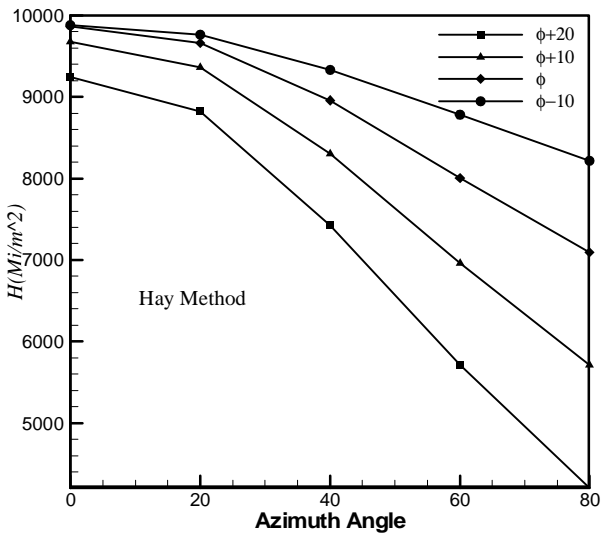
زاویه بهینه	$b_{opt(m)}$	$b_{opt(s)}$	$b_{opt(y)}$	$b=0$
$H_{total}(MJ/m^2)$	8707	8602	8114	7419



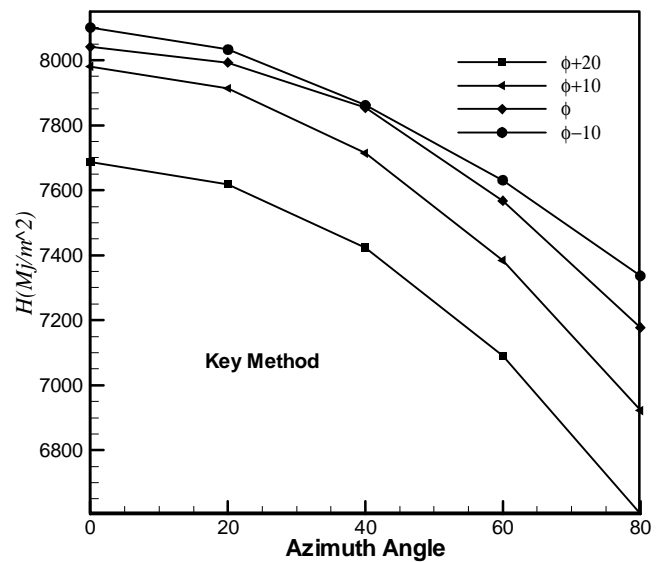
شکل 2- مقادیر انرژی تشعشی کل متوسط روزانه رسیده به سطح شیب دار برای زوایای سمت مختلف در ماههای ژانویه و ژولای با استفاده از مدل Klein [14]



شکل 3- مقادیر انرژی تشعشی کل متوسط روزانه رسیده به سطح شیب دار برای زوایای سمت مختلف در ماههای ژانویه و ژولای با استفاده از مدل Hay [15]



شکل 5- مقادیر متوسط سالیانه انرژی دریافتی از خورشید برای روش Hay [15]



شکل 4- مقادیر متوسط سالیانه انرژی دریافتی از خورشید برای روش Klein [14]

می کند این روند در شکل (5) هم مشاهده می شود. همچنین در هر دو شکل با زیاد شدن زاویه شیب در یک زاویه سمت سطح ثابت انرژی دریافتی از خورشید کاهش پیدا می کند.

4- منابع خطا

از منابع خطایی که می تواند بر روی نتایج تاثیر گذارد اطلاعات تشعشی اندازه گیری شده روی یک سطح افقی است. در صورتی که دقت دستگاههای اندازه گیری تشعشع در محدوده مجاز نباشد این خطا در معادلات تشدید می شود و منجر به تولید نتایج غیر واقعی می گردد. دقت نبودن طول و عرض جغرافیایی محل نیز می تواند خطای قابل ملاحظه ای ایجاد نماید. همچنین عدم انتخاب صحیح ضریب انعکاس زمین منطقه مورد نظر در ایجاد خطا تاثیر بسزایی دارد.

5- نتیجه گیری

1- با استفاده از روش ایزوتروپیک حداقل زاویه شیب بهینه برای میانگین ماهانه در شهر کرمان برابر با 0/88 و حداکثر آن برابر با 60/71 درجه است.

با بررسی نتایج می توان دریافت که با استفاده از مدل Klein [14] بیشترین مقدار انرژی برای ماه ژانویه در زاویه شیب $f+20$ و زاویه سمت الراس صفر می باشد. همچنین در جولای حداکثر مقدار انرژی برای زاویه شیب $f-10$ و زاویه سمت الراس حداکثر می باشد. در ماه ژانویه با افزایش g در یک زاویه شیب ثابت انرژی دریافتی از خورشید کاهش پیدا می کند در حالی که در جولای عکس این حالت اتفاق می افتد و با افزایش g انرژی دریافتی افزایش پیدا می کند. نتایج حاصل از مدل Hay [15] نشان می دهد که در ژانویه برای $g < 50$ بیشترین انرژی دریافتی در زاویه شیب $f+20$ است، در حالی که برای $g > 50$ زاویه شیب بهینه برابر با $f-10$ است. اما برای ماه جولای مشاهده می شود که بیشترین انرژی دریافتی در زاویه شیب $f-10$ و زاویه سمت الراس صفر می باشد. در هر دو شکل با افزایش زاویه سمت الراس انرژی دریافتی کاهش می یابد. در شکل های (4) و (5) مقادیر متوسط سالیانه انرژی دریافتی از خورشید برای دو روش Klein [14] و Hay [15] ارائه شده است. با بررسی نتایج می توان دریافت که با استفاده از این دو روش زاویه شیب بهینه برابر با $f-10$ و زاویه سمت الراس مناسب برابر با صفر است. در شکل (4) برای یک زاویه شیب ثابت با افزایش زاویه سمت الراس انرژی دریافتی از خورشید کاهش پیدا

H_T	تشعشع کل روی سطح شیب دار MJ/m^2
b	زاویه شیب پانل ($^\circ$)
d	زاویه میل ($^\circ$)
w_S	زاویه ساعت طلوع آفتاب ($^\circ$)
w'_S	زاویه ساعت طلوع آفتاب بر روی یک سطح شیب دار ($^\circ$)
f	عرض جغرافیایی ($^\circ$)
r_g	ضریب انعکاس زمین
g	زاویه سمت الراس خورشید ($^\circ$)

7- مراجع

- [1] Lunde PJ. Solar Thermal Engineering. New York: Wiley, 1980.
- [2] Duffie JA, Beckman WA. Solar Engineering of Thermal Processes. New York: Wiley, 1982.
- [3] Alonge AF, Oje K, Computer Modeling Of Optimum Angle Of Slope For Flat Solar Collectors In Nigeria Major Town, Computers in Agriculture and Natural Resources, 4th World Congress Conference, 2006.
- [4] QIU G., RIFFAT S. B. , Optimum tilt angle of solar collectors and its impact on performance, International journal of ambient energy, vol. 24, pp. 13-20, 2003.
- [5] IBRAHIM D., Optimum tilt angle for solar collectors used in Cyprus, Renewable energy , vol. 6, pp. 813-819 1995.
- [6] Mujahid, Abdulaziz M., Optimum tilt angle for solar collection systems , International Journal of Solar Energy, v 14, pp. 191-202, 1994.
- [7] Ulgen K., Optimum tilt angle for solar collectors Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects, v 28, pp. 1171-1180, 2006.
- [8] Bari, S., Optimum slope angle and orientation of solar collectors for different periods of possible utilization, Energy Conversion and Management, v 41, p 855-860, 2000.
- [9] Elminir H.K, El-Hussainy, F.; Hamid, R.; Beheary, M.M., Optimum solar flat-plate collector slope: Case study for Helwan, Egypt, Energy Conversion and Management, v 47, pp. 624-637, 2006.
- [10] Gopinathan KK, Maliehe NB, Mpholo MI, A study on the intercepted insolation as a function of slope and azimuth of th surface, Energy, pp.213-220, 2007.
- [11] Yakup M, Malik A.Q, Optimum tilt angle and orientation for solar collector in Brunei Darussalam, Renewable Energy, V 24, pp. 223-234, 2001.
- [12] Shariah A, Al-Akhras MA, Al-Omari IA., Optimizing the tilt angle of solar collectors, Renewable Energy, pp. 587-598. 2002.
- [13] Liu BYH, Jordan RC, Daily insolation on surfaces tilted towards the equator, Transactions ASHRAE, 526-541, 1979.
- [14] Klein SA. Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces, Solar Energy, V 10, 72-77, 1981.
- [15] Hay JE., Study of shortwave radiation on non-horizontal surfaces. Report No. 79-12, Canadian climate centre, Ontario, 1979.
- [16] Nijegorodov N, Devan KRS, Jain PK., Atmospheric transmittance models and an analytical method to predict the optimum slope on an absorber plate , Renewable Energy , V4, 525-530, 1997.
- [17] Tomas Markvart, 2000, Solar Electricity, John Wily & Sons Inc, Printed in USA

[18] مرتضی عبدل زاده، تاثیر پاشش آب بر روی پانلهای فتوولتاییک بر عملکرد سیستم پمپ آب فتوولتاییک، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، سال 1385

2- با استفاده از روش ایزوتروپیک زاویه شیب بهینه برای میانگین سالانه در شهر کرمان برابر با 27/35 است. شایان ذکر است که این زاویه به زاویه عرض جغرافیایی شهر کرمان نزدیک است .

3- با بررسی نتایج حاضر می توان دریافت 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 17%، 9/15% و 9/36% افزایش یافته است. لذا می توان دریافت که انتخاب زاویه شیب بهینه تاثیر زیادی بر دریافت انرژی ماکزیمم از خورشید دارد.

4- با استفاده از مدل های غیر ایزوتروپیک برای پانل خورشیدی می توان تاثیر زاویه سمت الراس را بر انرژی دریافتی از خورشید بررسی کرد.

5- با استفاده از مدل Klein در ماه ژانویه با زیاد شدن g در یک زاویه شیب ثابت، انرژی دریافتی از خورشید کاهش پیدا می کند در حالی که در ماه جولای عکس این حالت اتفاق می افتد و با زیاد شدن g انرژی دریافتی افزایش پیدا می کند.

6- نتایج حاصل از مدل Hay نشان می دهند که در ماه ژانویه برای $g < 50$ بیشترین انرژی دریافتی در زاویه شیب $f + 20$ است، در حالی که برای $g > 50$ زاویه شیب بهینه برابر با $f - 10$ است. اما برای ماه جولای مشاهده می شود که بیشترین انرژی دریافتی در زاویه شیب $f - 10$ و زاویه سمت الراس صفر است.

7- مقادیر متوسط سالیانه انرژی دریافتی از خورشید برای دو روش Klein و Hay مشخص می کند که با استفاده از این دو روش زاویه شیب بهینه برابر با $f - 10$ و زاویه سمت الراس مناسب برابر با صفر است.

6- فهرست علائم و اختصارات

H	تشعشع کل روی سطح افقی MJ/m^2
H_d	تشعشع پخشی روی سطح افقی MJ/m^2
H_R	تشعشع انعکاسی از زمین به سطح شیب دار MJ/m^2
H_S	تشعشع پخشی روی سطح شیب دار MJ/m^2
H_O	تشعشع خارج از جو MJ/m^2