

# تعیین زوایای بهینه‌ی شیب سطح و سمت‌الرأس کلکتورهای تخت (مسطح) خورشیدی در مناطق از جنوب شرق ایران

پویان طالبی‌زاده (دانشجوی کارشناسی ارشد)

مظفرعلی مهرابیان\* (استاد)

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید باهنر کرمان

مرتضی عبدالزاده (استادیار)

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی کرمان

مهندسی مکانیک شریف  
دوره ۳-۲۸، شماره ۱، ص. ۸۶-۷۷ (پادداشت فنی)

در این نوشتار پس از محاسبه‌ی زاویه‌ی شیب و سمت‌الرأس کلکتورهای خورشیدی به‌منظور دریافت بیشترین تشعشع خورشید در شهرهای کرمان، یزد، زاهدان، بیرجند، شیراز و طبس، میزان انرژی رسیده به سطح پانل طبق زوایای به‌دست آمده محاسبه شد. زوایای بهینه در روزها، ماه‌ها و فصول مختلف سال و همچنین درکل سال با استفاده از مدل‌های مختلف تشعشعی به‌دست آمد. در تمامی این مدل‌ها تأثیرات تشعشع انعکاسی زمین نیز در نظر گرفته شد. نتایج حاصله نشان می‌دهد که زاویه‌ی سمت‌الرأس برای دریافت بیشترین تشعشع خورشید صفر است. از طرفی دریافت بیشترین انرژی از خورشید در روزهای مختلف سال در زوایای شیب مختلفی صورت می‌گیرد؛ این در حالی است که مقدار انرژی به‌دست آمده برحسب زوایای بهینه‌ی روزانه و ماهانه تفاوت قابل ملاحظه‌ی ندارد. از این رو تغییر زاویه به‌صورت روزانه با استفاده از دنبال‌کننده مقرون به صرفه نیست. بیشینه انرژی به‌دست آمده برای بررسی مکان‌های مناسب در جنوب شرق ایران به‌منظور احداث نیروگاه‌ها و تأسیسات مختلف خورشیدی مفیدند. لازم به ذکر است که در این مقاله از الگوریتم ژنتیک به‌عنوان ابزاری برای بهینه‌سازی و یافتن زوایای بهینه استفاده شد.

واژگان کلیدی: انرژی خورشیدی، زاویه‌ی شیب، زاویه‌ی سمت‌الرأس، کلکتورهای خورشیدی، الگوریتم ژنتیک.

talebizadeh.pouyan@gmail.com  
ma\_mehrabian@alum.mit.edu  
abdolzadeh@iauk.ac.ir

## ۱. مقدمه

بهینه در چندین شهر دنیا را برابر  $\phi \pm 1^\circ = \beta_{opt}$  محاسبه کردند.<sup>[۲]</sup> در تمامی این رابطه‌ها، علامت مثبت مربوط به مناطق واقع در نیم‌کره شمالی و علامت منفی برای مناطق واقع در نیم‌کره جنوبی است.

در یکی از مطالعات انجام‌شده، روابطی برای به‌دست آوردن زاویه‌ی بهینه در ماه‌های مختلف ارائه شد<sup>[۳]</sup> که از آن‌ها به‌منظور اعتبارسنجی در کارهای انجام‌شده در مناطق مختلف جغرافیایی استفاده می‌شود. همچنین با استفاده از یک مدل ریاضی زاویه‌ی بهینه در شهر از میر ترکیه محاسبه، و زوایای بهینه برای این شهر در ماه‌ها و فصول مختلف سال ارائه شد.<sup>[۴]</sup> با استفاده از یک الگوریتم محاسباتی زاویه‌ی بهینه برای عرض‌های جغرافیایی متفاوت از  $1^\circ$  تا  $5^\circ$  درجه محاسبه شده<sup>[۵]</sup> و نیز مشخص شد که اگر پانل‌ها در فصول مختلف سال براساس زاویه‌ی بهینه در فصل مورد نظر تنظیم نشوند تقریباً  $1\%$  انرژی تشعشعی از بین می‌رود. محققین انرژی رسیده به سطح شیب‌دار را به‌صورت تابعی از زاویه‌ی شیب و زاویه‌ی سمت‌الرأس

برای دریافت بیشترین مقدار انرژی لازم است سطح پانل تقریباً بر جهت تشعشع عمود باشد؛ این امر با استفاده از دنبال‌کننده‌هایی که به‌طور لحظه‌ی خورشید را دنبال می‌کنند امکان‌پذیر است. اما با توجه به بالابودن هزینه‌ی ساخت این دنبال‌کننده‌ها می‌توان به‌جای استفاده از آن، زاویه‌ی شیب پانل را به‌صورت روزانه، ماهانه، یا فصلی تغییر داد. اغلب مطالعات انجام‌شده به بررسی تغییر زاویه‌ی شیب کلکتورهای خورشیدی به‌صورت ماهانه اختصاص داشته و بیانگر این مطلب است که زاویه‌ی شیب در نیم‌کره شمالی برای کلکتورهای خورشیدی رو به جنوب وابسته به عرض جغرافیایی است. برای مثال، در یکی از این مطالعات زاویه‌ی بهینه‌ی سالانه برابر  $\beta_{opt} = \phi \pm 15^\circ$  برآورد شده<sup>[۱]</sup> در حالی که در مطالعه‌ی دیگر این زاویه برابر  $\beta_{opt} = (\phi + 15) \pm 15^\circ$  و باز محققین دیگری زاویه‌ی

\* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۸۹/۴/۶، اصلاحیه ۱۳۸۹/۱۱/۹، پذیرش ۱۳۹۰/۵/۳.

در این مدل تابش پخشی و انعکاسی زمین همگن فرض شده است. این ایده ابتدا توسط هاتل و ورتز<sup>[۱۶]</sup> مطرح شد. در رابطه‌ی ۲،  $\bar{R}_b$  چنین محاسبه می‌شود:

$$\bar{R}_b = \frac{\bar{H}_{bT}}{\bar{H}_b} = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos \delta \sin \omega'_s + \frac{\pi}{180} \omega'_s \sin(\phi - \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \sin \phi \sin \delta} \quad (۳)$$

$$\omega'_s = \min \left[ \begin{array}{l} \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \\ \cos^{-1}(-\tan(\phi - \beta) \tan \delta) \end{array} \right] \quad (۴)$$

این مدل تنها برای کلکتورهای قابل استفاده است که زاویه‌ی سمت‌الرأس در آن‌ها صفر باشد. در روشی که به منظور ارزیابی تأثیرات زاویه‌ی سمت‌الرأس پیشنهاد شده<sup>[۱۷]</sup> داریم:

$$\frac{\bar{H}_T}{\bar{H}} = D + \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \rho_g \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (۵)$$

و مقدار  $D$  در این رابطه مطابق رابطه‌ی ۶ محاسبه می‌شود:

$$D = \left\{ \begin{array}{ll} \max \{0, G(\omega_{ss}, \omega_{sr})\} & \text{if } \omega_{ss} \geq \omega_{sr} \\ \max \{0, [G(\omega_{ss}, -\omega_s) + G(\omega_s, \omega_{sr})]\} & \text{if } \omega_{ss} \leq \omega_{sr} \end{array} \right\} \quad (۶)$$

مقادیر سه‌گانه‌ی  $G$  در معادله‌ی ۶ مطابق دستور زیر به دست می‌آیند:

$$G(\omega_1, \omega_2) = \frac{1}{\sqrt{d}} \left[ \begin{array}{l} \left( \frac{bA}{\sqrt{c}} - a'B \right) (\omega_1 - \omega_2) \frac{\pi}{180} + (a'A - bB) (\sin \omega_1 - \sin \omega_2) - \\ a'C (\cos \omega_1 - \cos \omega_2) - \left( \frac{bA}{\sqrt{c}} \right) (\sin \omega_1 \cos \omega_2 - \sin \omega_2 \cos \omega_1) + \\ \frac{bC}{\sqrt{c}} (\sin^2 \omega_1 - \sin^2 \omega_2) \end{array} \right] \quad (۷)$$

زوایای طلوع  $\omega_{sr}$  و غروب  $\omega_{ss}$  خورشید نیز براساس رابطه‌های زیر محاسبه می‌شوند:

$$|\omega_{sr}| = \min \left[ \omega_s, \cos^{-1} \frac{AB + C\sqrt{A^2 - B^2 + C^2}}{A^2 + C^2} \right] \quad (۸)$$

$$\omega_{sr} = \left\{ \begin{array}{l} -|\omega_{sr}| \text{ if } (A > 0 \text{ and } B > 0) \text{ or } (A \geq B) \\ +|\omega_{sr}| \text{ otherwise} \end{array} \right\}$$

$$|\omega_{ss}| = \min \left[ \omega_s, \cos^{-1} \frac{AB - C\sqrt{A^2 - B^2 + C^2}}{A^2 + C^2} \right] \quad (۹)$$

$$\omega_{ss} = \left\{ \begin{array}{l} +|\omega_{ss}| \text{ if } (A > 0 \text{ and } B > 0) \text{ or } (A \geq B) \\ -|\omega_{ss}| \text{ otherwise} \end{array} \right\}$$

که در آن

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \quad (۱۰)$$

$$A = \cos \beta + \tan \phi \cos \gamma \sin \beta$$

$$B = \cos \omega_s \cos \beta + \tan \delta \sin \beta \cos \gamma$$

$$C = \frac{\sin \beta \sin \gamma}{\cos \phi'} \quad (۱۱)$$

برای نواحی جنوب آفریقا مورد بررسی قرار دادند.<sup>[۷]</sup> گاندرهان و هپسلی<sup>[۸]</sup> زوایای بهینه را برای شهر ازمیر ترکیه به دست آوردند و نتایج را با مدل‌های پیشین<sup>[۷]</sup> مقایسه کردند. آن‌ها پیشنهاد کردند که برای افزایش انرژی به دست آمده لازم است پانل‌ها را هر ماه در زاویه‌ی بهینه‌ی ماهانه قرار دهیم. در مطالعات انجام شده در مورد کشور سوریه، رابطه‌ی برای به دست آوردن زاویه‌ی شیب ارائه شده و زوایای بهینه برای شهرهایی از این کشور محاسبه شده است.<sup>[۹]</sup> همچنین زاویه‌ی شیب بهینه برای شهری در مصر محاسبه شده و اثر کمیت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت<sup>[۱۰]</sup> که نتایج حاصله همخوانی اندکی با نتایج آزمایشگاهی در برخی ماه‌ها داشت. زوایای بهینه برای دریافت بیشترین تشعشع خورشید در شهر والنسیای اسپانیا نیز برآورد شده است.<sup>[۱۱]</sup> در مورد شهر دارالسلام، زوایای بهینه محاسبه شده که نتایج آن‌ها در مقایسه با نتایج به دست آمده از روابط نیجی گردوف در برخی ماه‌ها تفاوت قابل ملاحظه‌ی را نشان می‌داد.<sup>[۱۲]</sup>

در مورد مناطقی از اردن، علاوه بر کارهای تجربی و استفاده از مدل‌های ریاضی، از یک نرم‌افزار تجاری برای محاسبه‌ی زاویه‌ی بهینه استفاده شد.<sup>[۱۳]</sup> در کشور ما نیز زاویه‌ی بهینه شیب برای شهر کرمان تنها با در نظر گرفتن مقادیر ماهانه‌ی انرژی روی سطح افقی محاسبه شد<sup>[۱۴]</sup> و مشخص شد که بیشترین انرژی تشعشعی دریافتی از خورشید در ماه‌های مختلف سال در زوایای مختلفی صورت می‌گیرد که با عرض جغرافیایی برابر نیست، اما چنانچه هدف دریافت بیشترین انرژی تشعشعی سالانه باشد زاویه‌ی بهینه‌ی شیب پانل به عرض جغرافیایی محل نزدیک است.

مقادیر و روابط به دست آمده در کارهای گذشتگان برای این مناطق جغرافیایی ایران مناسب نبوده و استفاده از روابط آن‌ها، چنان که در ادامه نیز آورده شده، با خطای نسبتاً زیادی همراه خواهد شد. بنابراین در این تحقیق علاوه بر تأکید بر زاویه‌ی سمت‌الرأس و اثبات صفر بودن آن برای بیشینه شدن مقدار انرژی قابل حصول، زاویه‌ی شیب بهینه‌ی کلکتورهای خورشیدی برای شهرهای کرمان، بیرجند، شیراز، بزد، طبس و زاهدان واقع در جنوب شرقی ایران با استفاده از الگوریتم ژنتیک محاسبه شده و مقادیر بیشینه‌ی انرژی قابل حصول برای یک کلکتور خورشیدی طبق زوایای بهینه به دست آمده، محاسبه شده است. در انتها تأثیر ضریب انعکاس زمین بر نتایج به دست آمده برای زاویه‌ی بهینه‌ی شیب و مقادیر بیشینه‌ی انرژی قابل دسترس نیز بررسی شده است.

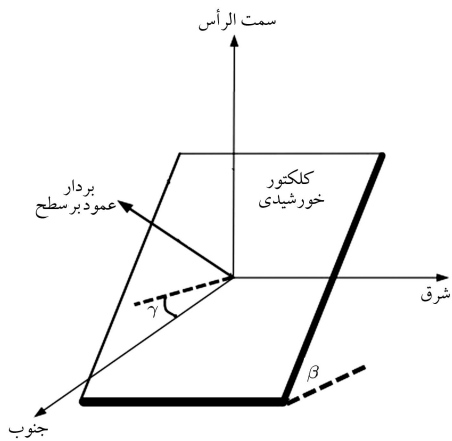
## ۲. مدل‌های ریاضی

اطلاعات مربوط به تشعشع کل خورشید روی یک سطح افقی معمولاً در دسترس است که با استفاده از آن می‌توان انرژی رسیده به سطوح شیب‌دار را محاسبه کرد. تشعشع کل روزانه  $H_T$  (میانگین روزانه یا میانگین ماهیانه مقادیر روزانه) برابر با مجموع تابش مستقیم، تابش پخشی و تابش انعکاسی است:

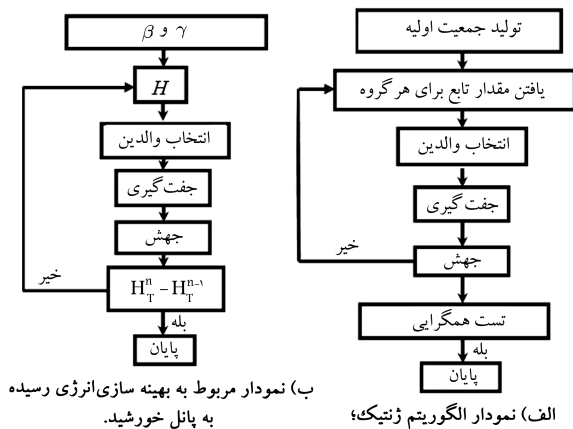
$$H_T = H_b + H_d + H_r \quad (۱)$$

اولین روش مورد استفاده در این پژوهش برای به دست آوردن  $H_T$  روش ایزوتروپیک است<sup>[۱۵]</sup> که براساس آن:

$$\bar{H}_T = \bar{H} \left( 1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \right) \bar{R}_b + \bar{H}_d \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \bar{H} \rho_g \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (۲)$$



شکل ۱. نمای کلی یک کلکتور خورشیدی.



شکل ۲. مراحل الگوریتم ژنتیک.

از الگوریتم ژنتیک تک‌منظوره استفاده شده است. تشعشع رسیده به سطح شیب‌دار به‌عنوان تابع هدف و زوایای شیب و سمت‌الرأس پانل به‌عنوان متغیرهای بهینه‌یابی در نظر گرفته شده‌اند. بهینه‌سازی با به‌کار بردن ۲۰ عدد دلخواه در بازه معین [۲] برای این دو متغیر آغاز می‌شود و مقادیر انرژی رسیده با توجه به این اعداد تعیین می‌شود. سپس دو عضو به‌صورت اتفاقی به‌عنوان پدر و مادر انتخاب شده و عمل تولید مثل<sup>۱</sup> شامل به وجود آوردن ۲ عدد جدید در همان بازه -- انجام می‌شود (شکل ۲). بدین ترتیب جمعیت فضای نمونه به ۴۰ عدد برای هر متغیر افزایش می‌یابد. سپس عمل جهش<sup>۲</sup> شامل تولید عددهای پراکنده در همان بازه به جای برخی از اعداد به‌صورت اتفاقی، انجام می‌شود. سرانجام آزمون هم‌گرایی انجام شده و در صورت عدم برقراری عملیات با حذف ۲۰ عضو نامناسب دوباره تکرار می‌شود. سرانجام با برقراری شرایط آزمایشی عملیات خاتمه یافته و مقادیر بهینه و مقدار تابع هدف مشخص می‌شود.<sup>[۱۹]</sup> این مراحل در شکل ۲ نشان داده شده است.

#### ۴. بررسی نتایج

برای محاسبه‌ی میزان انرژی تشعشعی دریافتی روی یک سطح شیب‌دار نیازمند استفاده از میزان دریافتی روی یک سطح افقی هستیم. این مقادیر از سازمان هواشناسی برای یک دوره‌ی بیست‌ودو ساله (از سال ۱۹۸۳ تا ۲۰۰۵) در شهرهای کرمان، بیرجند، شیراز، یزد، طبس و زاهدان گرفته شده‌اند. عرض جغرافیایی این شهرها

همچنین ثابت‌های  $a, a', b, d$  طبق تعریف عبارت‌اند از:

$$\begin{aligned} a &= 0,4090 + 0,5016 \sin(\omega_s - 60) \\ b &= 0,6609 - 0,4767 \sin(\omega_s - 60) \\ a' &= a - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \\ d &= \sin(\omega_s) - \frac{\pi \omega_s}{180} \cos(\omega_s) \end{aligned} \quad (12)$$

معادلات ۵ تا ۱۲ به مدل  $K_T$  موسوم‌اند. در این مدل‌ها برای محاسبه‌ی  $H_d$  (میانگین روزانه‌ی تشعشع) و  $\bar{H}_d$  (میانگین ماهانه‌ی تشعشع) از روابط ۱۳ تا ۱۶ استفاده شده است:

$$\bar{K}_T = \frac{H}{\bar{H}} \quad (13)$$

for  $\omega_s \leq 81,4^\circ$

$$\frac{H_d}{H} = \begin{cases} 1 - 0,2727K_T + 2,4495K_T^2 - 11,9514K_T^3 + 9,3879K_T^4 & \text{for } K_T < 0,715 \\ 0,143 & \text{for } K_T \geq 0,715 \end{cases} \quad (14)$$

for  $\omega_s \geq 81,4^\circ$

$$\frac{H_d}{H} = \begin{cases} 1 + 0,2832K_T - 2,5557K_T^2 + 0,8448K_T^3 & \text{for } K_T < 0,722 \\ 0,175 & \text{for } K_T \geq 0,722 \end{cases} \quad (15)$$

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{H} \quad (15)$$

for  $\omega_s \leq 81,4^\circ$  and  $0,3 \leq \bar{K} \leq 0,8$

$$\begin{aligned} \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} &= 1,391 - 3,56\bar{K} + 4,189\bar{K}^2 - 2,137\bar{K}^3 \\ \text{for } \omega_s > 81,4^\circ \text{ and } 0,3 \leq \bar{K} \leq 0,8 \\ \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} &= 1,311 - 3,022\bar{K} + 3,427\bar{K}^2 - 1,821\bar{K}^3 \end{aligned} \quad (16)$$

$H_s$  نیز از رابطه‌ی ۱۷ به دست می‌آید:

$$H_s = \frac{24 \times 360^\circ G_{sc}}{\pi} (1 + 0,33 \cos \frac{36^\circ n}{365}) (\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \phi \sin \delta) \quad (17)$$

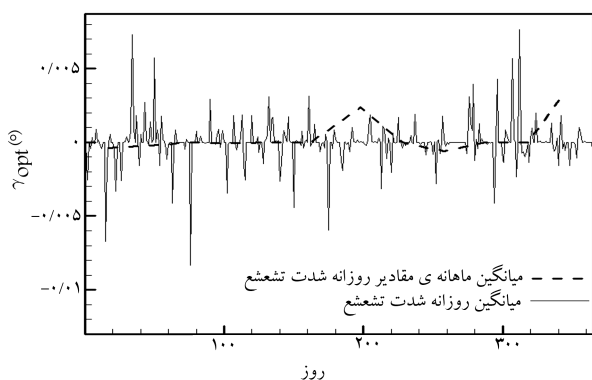
یادآور می‌شود ضریب انعکاس زمین ( $\rho_g$ ) در روابط بالا معادل ۰٫۲ در نظر گرفته شده است. به‌منظور نشان‌دادن زوایای شیب و سطح در شکل ۱ آورده شده است.

#### ۳. الگوریتم ژنتیک

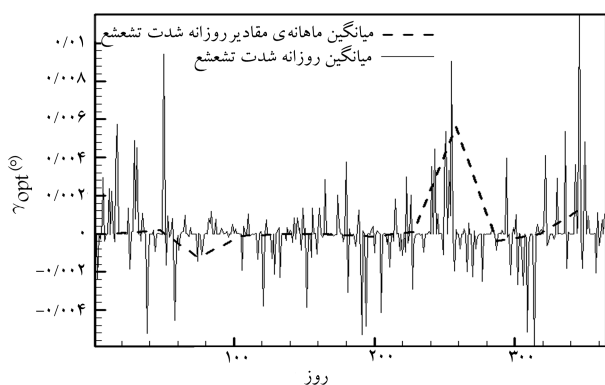
الگوریتم ژنتیک به‌عنوان ابزاری برای بهینه‌سازی در مسائل مختلف مهندسی کاربرد دارد و مبتنی بر علم ژنتیک و تولید مثل طبیعی است. این روش توسط جان هولند در سال ۱۹۷۵ ابداع و سپس توسط یکی از شاگردانش به‌نام دیوید گولدبرگ توسعه یافت.<sup>[۱۸]</sup> در این تحقیق برای یافتن بیشترین تشعشع خورشید و تعیین زوایای بهینه

جدول ۱. مقادیر متوسط روزانه‌ی انرژی تشعشعی کل در ماه‌های میلادی روی یک سطح افقی در شهرهای کرمان، بیرجند، شیراز، یزد، طبس و زاهدان.

ماه	$n$	کرمان $H$ (MJ/M <sup>2</sup> )	یزد $H$ (MJ/M <sup>2</sup> )	بیرجند $H$ (MJ/M <sup>2</sup> )	زاهدان $H$ (MJ/M <sup>2</sup> )	شیراز $H$ (MJ/M <sup>2</sup> )	طبس $H$ (MJ/M <sup>2</sup> )
ژانویه	۱۷	۱۲,۵۲	۱۳,۰۷	۱۳,۵۹	۱۳,۳۸	۱۳,۹۲	۱۱,۵۶
فوریه	۴۷	۱۵,۸۳	۱۷,۳۳	۱۵,۸۳	۱۶,۳۳	۱۵,۶۴	۱۳,۸۴
مارس	۷۵	۱۸,۳۶	۱۸,۹۶	۱۸,۸۴	۱۸,۹۳	۱۸,۰۰	۱۶,۸۰
آوریل	۱۰۵	۲۳,۰۰	۲۳,۲۴	۲۲,۰۰	۲۴,۲۷	۲۲,۲۱	۲۱,۴۰
مه	۱۳۵	۲۶,۸۳	۲۶,۹۵	۲۶,۳۶	۲۶,۱۵	۲۵,۲۴	۲۳,۸۶
جون	۱۶۲	۲۸,۵۴	۲۹,۷۳	۲۷,۵۶	۲۷,۱۸	۲۷,۷۲	۲۶,۱۱
جولای	۱۹۸	۲۸,۱۰	۲۸,۷۹	۲۸,۱۳	۲۷,۹۷	۲۵,۹۱	۲۵,۸۳
اوت	۲۲۸	۲۵,۹۰	۲۷,۰۴	۲۶,۷۴	۲۵,۹۳	۲۴,۸۳	۲۴,۱۸
سپتامبر	۲۵۸	۲۳,۵۸	۲۴,۵۶	۲۳,۷۴	۲۳,۹۹	۲۲,۸۲	۲۱,۵۰
اکتبر	۲۸۷	۱۹,۳۲	۲۰,۲۰	۱۷,۹۷	۱۹,۲۰	۱۸,۵۶	۱۷,۴۹
نوامبر	۳۱۸	۱۵,۲۰	۱۴,۰۷	۱۴,۰۵	۱۵,۱۲	۱۳,۹۵	۱۲,۸۴
دسامبر	۳۴۴	۱۳,۱۹	۱۱,۹۱	۱۲,۹۹	۱۲,۶۸	۱۳,۳۲	۱۰,۸۴



شکل ۳. زاویه‌ی بهینه‌ی سمت‌الرأس برای روزهای مختلف سال میلادی براساس میانگین ماهانه‌ی مقادیر روزانه و نیز میانگین روزانه‌ی شدت تشعشع خورشیدی برای شهر یزد.



شکل ۴. زاویه‌ی بهینه‌ی سمت‌الرأس برای روزهای مختلف سال میلادی براساس میانگین ماهانه‌ی مقادیر روزانه و میانگین روزانه‌ی شدت تشعشع خورشیدی برای شهر بیرجند.

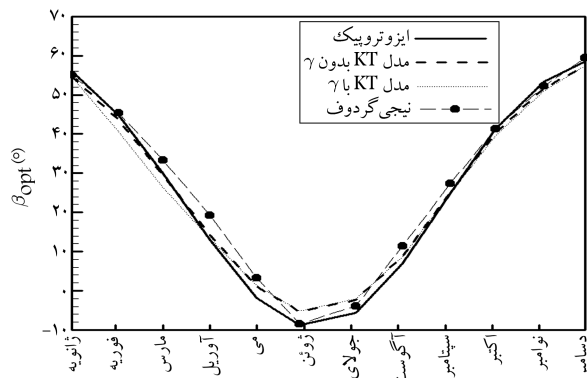
به ترتیب ۳۰,۱۵، ۳۲,۵۲، ۲۹,۳۲، ۳۱,۵۴، ۳۳,۳۶ و ۲۹,۲۸ درجه هستند. با تعیین زوایای بهینه‌ی کلکتورهای خورشیدی می‌توان از انرژی تشعشعی قابل دسترس در این مناطق استفاده‌ی بیشینه کرد.

در مطالعه‌ی حاضر، داده‌های روزانه از سازمان هواشناسی گرفته شد و برای به‌دست آوردن زوایای بهینه‌ی روزانه مورد استفاده قرار گرفت. میانگین ماهانه‌ی داده‌های روزانه محاسبه و برای تعیین زوایای بهینه‌ی ماهانه استفاده شد. در جدول ۱ میانگین ماهانه‌ی مقادیر روزانه‌ی شدت تشعشع خورشیدی دریافتی روی یک سطح افقی مربوط به شهرهای کرمان، بیرجند، شیراز، یزد، طبس و زاهدان ارائه شده است. مشاهده می‌شود که بیشترین انرژی دریافتی از خورشید برای شهرهای کرمان، یزد، شیراز و طبس در ماه جون بوده، در حالی که برای شهرهای زاهدان و بیرجند در ماه جولای است و کم‌ترین مقدار آن برای تمامی شهرها ماه دسامبر است.

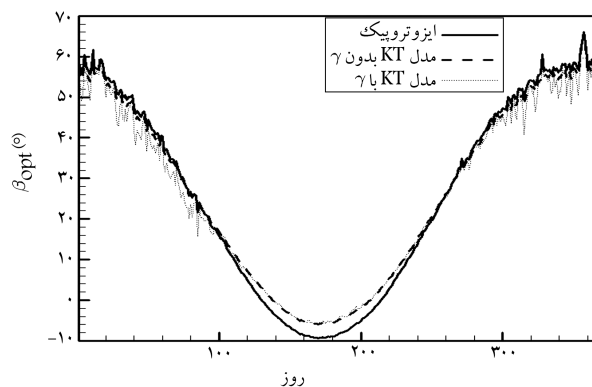
در ادامه، ابتدا دو مدل ایزوتروپیک و  $KT$  مقایسه شده و سپس به بررسی کتی زوایای بهینه‌ی به‌دست آمده پرداخته‌ایم و در نهایت مقادیر انرژی به‌دست آمده مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### ۱.۴. مقایسه‌ی مدل‌های مختلف

چنان که در قسمت مدل‌های ریاضی گفته شد، مدل ایزوتروپیک در مواردی کاربرد دارد که زاویه‌ی سمت‌الرأس برابر صفر در نظر گرفته شود. بنابراین به‌کمک این مدل می‌توان تنها زاویه‌ی شیب بهینه را به‌دست آورد. پژوهش‌های گذشته عمدتاً زاویه‌ی سمت‌الرأس را بررسی نکرده و مقدار بهینه‌ی آن را برابر صفر در نظر گرفته‌اند.<sup>[۲]</sup> در این تحقیق با استفاده از مدل  $KT$  که انرژی دریافتی به سطح شیب‌دار را براساس هر دو زاویه‌ی شیب و سمت‌الرأس محاسبه می‌کند، زاویه‌ی بهینه‌ی سمت‌الرأس به‌دست آورده شده است. مقادیر بهینه‌ی زاویه‌ی سمت‌الرأس در روزها و ماه‌های مختلف سال برای شهر یزد و بیرجند در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. شایان ذکر



شکل ۷. زاویه‌ی بهینه‌ی شیب سطح برای ماه‌های مختلف سال میلادی با استفاده از مدل‌های مختلف برای شهر شیراز.



شکل ۸. زاویه‌ی بهینه‌ی شیب سطح برای روزهای مختلف سال میلادی با استفاده از مدل‌های مختلف برای شهر شیراز.

برای ماه‌ها و روزهای مختلف سال میلادی با استفاده از مدل‌های مختلف برای شهر کرمان، و در شکل‌های ۷ و ۸ زاویه‌ی بهینه‌ی شیب سطح به ترتیب برای ماه‌ها و روزهای مختلف سال میلادی با استفاده از مدل‌های مختلف برای شهر شیراز ارائه شده است.

چنان‌که در شکل‌های ۵ و ۷ مشاهده می‌شود مقایسه‌ی نتایج حاصله با مدل نیجی‌گردوف نشان‌گر نزدیکی آن‌هاست؛ اختلاف اندک میان این دو نیز ناشی از آن است که نتایج نیجی‌گردوف با چندین فرض ساده‌شونده، و براساس تعداد محدودی از مکان‌های جغرافیایی به دست آمده‌اند. همچنین نیجی‌گردوف پارامتر  $\bar{K}T$  را در کل سال میلادی ثابت و برابر ۰٫۲ در نظر گرفت و همین علت تفاوت ناچیز آن با مقادیر به دست آمده در این تحقیق در برخی ماه‌هاست. مقایسه‌ی نتایج حاصل از مدل  $KT$  نشان می‌دهد چنانچه زاویه‌ی سمت‌الرأس برابر صفر در نظر گرفته شود نتایج با مدل  $KT$  بدون زاویه‌ی سمت‌الرأس یکسان است؛ این امر نشان از صفر بودن مقدار بهینه‌ی زاویه‌ی سمت‌الرأس دارد. لازم به ذکر است که زاویه‌ی شیب منفی به این معنی است که کلکتور از سمت شمال خارج شده و می‌بایست رو به جنوب قرار گیرد.

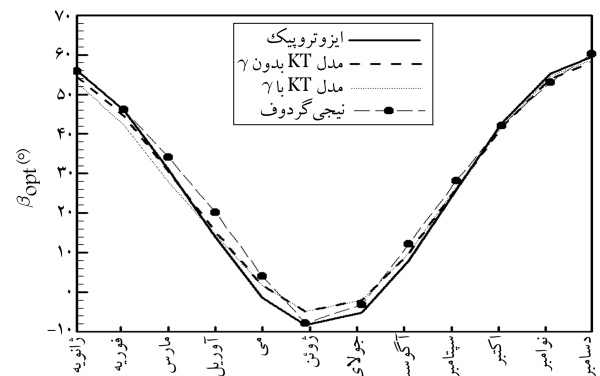
#### ۲.۴. بررسی کمتی زوایای شیب بهینه

نتایج مربوط به زوایای بهینه‌ی شیب برای ماه‌های مختلف سال میلادی برای استفاده در دریافت بیشترین انرژی از خورشید در جدول ۲ آورده شده است.

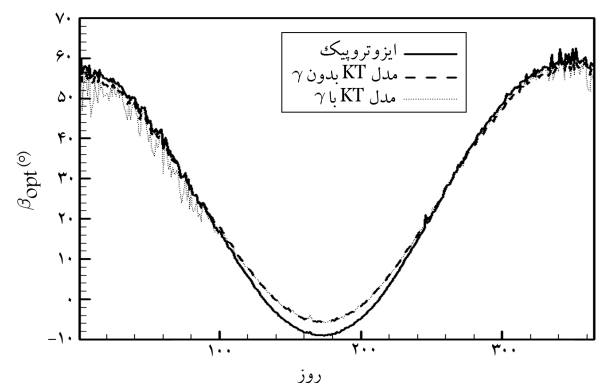
است که به دلیل زیاد بودن نمودارها تنها نتایج مربوط به زاویه‌ی بهینه‌ی سمت‌الرأس در شهرهای یزد و بیرجند ارائه شده است.

چنان‌که در شکل‌های ۳ و ۴ ملاحظه می‌شود، نتایج حاصله حاکی از صفر بودن زاویه‌ی سمت‌الرأس است که با نتایج مطالعات پیشین<sup>[۱]</sup> نیز هم‌خوانی دارد. نوسانات موجود در شکل‌های ۳ و ۴ ناشی از انتخاب معیار هم‌گرایی در الگوریتم ژنتیک و به دست آوردن زاویه‌ی بهینه‌ی سمت‌الرأس برای هر روز است؛ با افزایش دقت الگوریتم ژنتیک این نوسانات کاهش یافته و تمامی مقادیر به صفر نزدیک‌تر می‌شوند. در عین حال مرتبه این نوسانات از  $10^{-3}$  کم‌تر است.

حال به بررسی زاویه‌ی شیب بهینه‌ی به دست آمده از مدل‌های مختلف می‌پردازیم. این زاویه با استفاده از مدل‌های ایزوتروپیک، مدل  $KT$  با زاویه‌ی سمت‌الرأس صفر و مدل  $KT$  با زاویه‌ی سمت‌الرأس غیر صفر به دست آمده است. همچنین زوایای به دست آمده مربوط به میانگین ماهانه‌ی مقادیر روزانه‌ی شدت تشعشع خورشیدی با استفاده از یک روش بهینه‌سازی<sup>[۴]</sup> به منظور مقایسه در شکل‌های مربوطه ارائه شده است. در این دوازده رابطه برای زاویه‌ی شیب بهینه در ماه‌های مختلف سال ارائه شده و در مورد عرض‌های جغرافیایی بین  $60^\circ$  تا  $-60^\circ$  صادق‌اند.<sup>[۴]</sup> نیجی‌گردوف با استفاده از یک مدل ریاضی، تشعشع روزانه را محاسبه و سپس با انتگرال‌گیری از آن در کل ماه، میانگین تشعشع روزانه در کل ماه را محاسبه کرد. سپس با مشتق‌گیری از رابطه‌ی به دست آمده با صرف نظر از برخی کمیت‌های کوچک توانست زوایای بهینه را به دست آورد. در شکل‌های ۵ و ۶ زاویه‌ی بهینه‌ی شیب سطح به ترتیب



شکل ۵. زاویه‌ی بهینه‌ی شیب سطح برای ماه‌های مختلف سال میلادی با استفاده از مدل‌های مختلف برای شهر کرمان.



شکل ۶. زاویه‌ی بهینه‌ی شیب سطح برای روزهای مختلف سال میلادی با استفاده از مدل‌های مختلف برای شهر کرمان.

جدول ۲. مقادیر زاویه‌ی بهینه‌ی شیب سطح برای ماه‌های مختلف سال میلادی با استفاده از مدل  $KT$ .

ماه	زاهدان (°)	بیرجند (°)	شیراز (°)	طیس (°)	یزد (°)	کرمان (°)
ژانویه	۵۴٫۱۴	۵۸٫۳۷	۵۴٫۶۴	۵۷٫۶۹	۵۶٫۷۲	۵۲٫۸۳
فوریه	۴۴٫۰۰	۴۷٫۶۰	۴۰٫۴۸	۴۷٫۸۲	۴۷٫۵۹	۴۲٫۳۱
مارس	۳۰٫۰۱	۳۳٫۲۸	۲۶٫۲۲	۳۳٫۰۷	۳۲٫۵۰	۲۷٫۸۳
آوریل	۱۴٫۷۱	۱۷٫۲۵	۱۳٫۳۴	۱۷٫۸۷	۱۶٫۶۵	۱۴٫۵۵
مه	۰٫۹۷	۳٫۸۹	۱٫۳۱	۴٫۶۸	۲٫۹۸	۱٫۷۷
ژوئن	-۵٫۲۸	-۲٫۸۰	-۵٫۲۳	-۱٫۹۴	-۳٫۹۱	-۴٫۸۹
جولای	-۲٫۷۴	-۰٫۱۰	-۲٫۰۷	۰٫۸۸	-۰٫۹۷	-۲٫۰۸
اوت	۹٫۰۲	۱۲٫۲۴	۸٫۷۹	۱۲٫۶۵	۱۱٫۳۲	۹٫۸۳
سپتامبر	۲۵٫۵۳	۲۸٫۹۲	۲۴٫۹۶	۲۸٫۸۰	۲۸٫۲۱	۲۶٫۶۳
اکتبر	۴۰٫۶۴	۴۳٫۶۶	۳۹٫۵۷	۴۴٫۳۲	۴۴٫۰۴	۴۱٫۷۶
نوامبر	۵۲٫۷۵	۵۵٫۹۲	۵۱٫۰۱	۵۵٫۹۷	۵۴٫۷۲	۵۴٫۶۷
دسامبر	۵۶٫۶۲	۶۰٫۹۴	۵۷٫۵۰	۶۰٫۱۵	۵۸٫۸۰	۵۸٫۶۲

جدول ۳. مقادیر زاویه‌ی بهینه‌ی شیب سطح برای فصول مختلف سال میلادی و کل سال با استفاده از مدل  $K - T$ .

فصل	زاهدان (°)	بیرجند (°)	شیراز (°)	طیس (°)	یزد (°)	کرمان (°)
زمستان	۴۲٫۷۲	۴۶٫۴۲	۴۰٫۴۵	۴۶٫۱۹	۴۵٫۶۰	۴۰٫۹۹
بهار	۳٫۴۶	۶٫۱۱	۳٫۱۴	۶٫۸۷	۵٫۲۴	۳٫۸۱
تابستان	۱۰٫۶۰	۱۳٫۶۹	۱۰٫۵۶	۱۴٫۱۱	۱۲٫۸۵	-۰٫۶۹
پاییز	۵۰٫۰۰	۵۳٫۵۱	۴۹٫۳۶	۵۳٫۴۸	۵۲٫۵۲	۵۱٫۶۸
کل سال	۲۶٫۷۰	۲۹٫۹۳	۲۵٫۸۸	۳۰٫۱۶	۲۹٫۰۵	۲۳٫۹۵

چنان که مشاهده می‌شود زاویه‌ی بهینه‌ی شیب سطح برای ماه‌های مختلف میلادی در تمامی این شهرها، به علت واقع شدن تمامی این شهرها در منطقه‌ی جنوب شرقی ایران و نزدیک بودن عرض جغرافیایی آن‌ها به یکدیگر، نسبتاً نزدیک است. این در حالی است که در بعضی از ماه‌ها اختلاف در حدود چند درجه است.

نتایج مربوط به زاویه‌ی بهینه‌ی فصلی و سالانه نیز در جدول ۳ آورده شده است. مقادیر مربوط به زاویه‌ی بهینه برای فصل با معدل‌گیری از زوایای بهینه‌ی مربوط به ماه‌های همان فصل و مقدار مربوط به زاویه‌ی بهینه برای کل سال نیز با معدل‌گیری از زوایای بهینه‌ی تمامی ماه‌های سال حاصل شده است. چنان که در جدول ۳ مشاهده می‌شود مقادیر مربوط به زاویه‌ی بهینه‌ی سالیانه نیز برای شهرهای مختلف به دلایلی که قبلاً ذکر شد به یکدیگر نزدیک است.

### ۳.۴. محاسبه‌ی بیشترین انرژی تشعشعی با استفاده از زاویه‌ی شیب بهینه

اگر سطح شیب‌داری عمود بر اشعه‌ی خورشید باشد انرژی بیشتری را از خورشید دریافت می‌کند. بنا بر این انتظار می‌رود چنانچه سطح شیب‌دار براساس زوایای بهینه‌ی روزانه تنظیم شده باشد، انرژی بیشتری نسبت به حالت ماهانه دریافت کند؛ و به همین ترتیب چنانچه براساس زوایای بهینه‌ی ماهانه تنظیم شده باشد، انرژی بیشتری نسبت به حالت فصلی دریافت می‌کند. در جدول ۴ انرژی تأییده به سطح با زاویه‌ی شیب صفر در سال، و در جدول ۵ درصد افزایش انرژی به دست آمده نسبت به حالت افقی در شهرهای کرمان، بیرجند، شیراز، یزد، طیس و زاهدان -- در زوایای بهینه‌ی روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه -- ارائه شده است.

مطابق انتظار، قراردادن کلکتورهای خورشیدی براساس زوایای بهینه‌ی روزانه، موجب دریافت انرژی بیشتری از خورشید می‌شود. اما براساس داده‌های مندرج در جدول ۴، مقدار کل انرژی تشعشعی رسیده به سطح شیب‌دار براساس زوایای بهینه‌ی روزانه نسبت به ماهانه تفاوت چندانی ندارد (حدود ۱٪) و لذا زاویه‌ی بهینه‌ی روزانه با استفاده از دنبال‌کننده به علت هزینه‌ی بالای این‌گونه وسایل مقرون به صرفه نیست. اما با توجه به تفاوت چشمگیر مقادیر ماهانه و فصلی با مقدار سالانه، تغییر ماهانه و حتی فصلی، تأثیر به‌سزایی در میزان انرژی گرفته شده از خورشید خواهد داشت؛ هرچه تعداد پانل‌های مورد استفاده بیشتر باشد تأثیر این تفاوت نیز بیشتر خواهد شد. در شکل‌های ۹ تا ۱۴ مقدار انرژی متوسط رسیده به سطح شیب‌دار برحسب زاویه‌ی سمت‌الرأس برای چهار زاویه‌ی شیب  $10^\circ$ ،  $\phi$ ،  $\phi + 10^\circ$ ،  $\phi + 20^\circ$  با استفاده از مدل  $KT$  برای شهرهای کرمان، بیرجند، شیراز، طیس، یزد و زاهدان نشان داده شده است. با توجه به شکل ۲ بیشترین اختلاف از صفر برای زاویه‌ی سمت‌الرأس مربوط به ماه سپتامبر است (شکل‌های ۹ تا ۱۴).

با توجه به شکل‌های ۸ تا ۱۳ می‌توان گفت که بیشترین انرژی دریافتی برای تمامی شهرها در ماه سپتامبر مربوط به زاویه‌ی سمت‌الرأس صفر و زاویه‌ی شیب  $10^\circ - \phi$  است. همچنین با افزایش زاویه‌ی سمت‌الرأس -- چه در جهت مثبت و چه در جهت منفی -- انرژی دریافتی کاهش می‌یابد و با افزایش زاویه‌ی شیب نیز مقدار انرژی کاهش می‌یابد. زاویه‌ی بهینه‌ی شیب و روند تأثیرگذاری آن بر انرژی دریافتی در ماه‌های مختلف متفاوت است. به عنوان مثال در شکل ۱۵ مقدار انرژی متوسط رسیده به یک سطح شیب‌دار برحسب زاویه‌ی سمت‌الرأس برای شهر کرمان مربوط به ماه ژانویه است. همان‌طور که مشاهده می‌شود زاویه‌ی شیب بهینه برابر  $20^\circ + \phi$  است و با کاهش زاویه‌ی شیب انرژی دریافتی کاهش می‌یابد. مقادیر دقیق زاویه‌ی شیب بهینه در جدول ۲ ارائه شده است.

### ۴.۴. تأثیر ضریب انعکاس زمین بر زاویه‌ی بهینه‌ی شیب و بیشینه انرژی دریافتی از سطح شیب‌دار

در این تحقیق ضریب انعکاس زمین برابر  $0.2$  در نظر گرفته شد؛ اگرچه این ضریب برای پوشش‌های مختلف زمین متفاوت خواهد بود. مقادیر این ضریب در جدول ۶ برای پوشش‌های مختلف ارائه شده است.

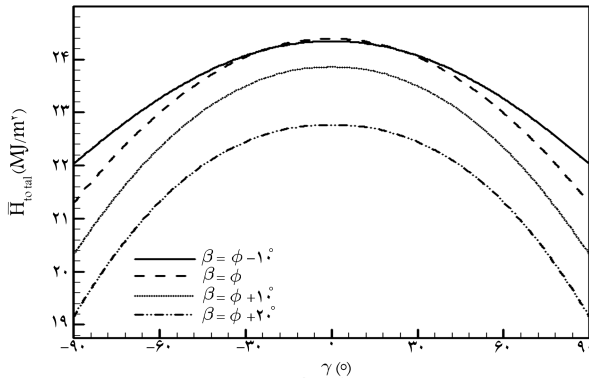
با توجه به جدول ۶ و شهرهای در نظر گرفته شده در این تحقیق، ضریب انعکاس زمین  $0.2$  در نظر گرفته شده است. در جدول ۷ تأثیر این پارامتر بر زاویه‌ی بهینه‌ی شیب و بیشینه انرژی دریافتی از سطح شیب‌دار برای شهر کرمان در ماه ژانویه بررسی شده است.

جدول ۴. مقدار انرژی رسیده به سطح با زاویه‌ی شیب صفر (سطح افقی) در سال میلادی.

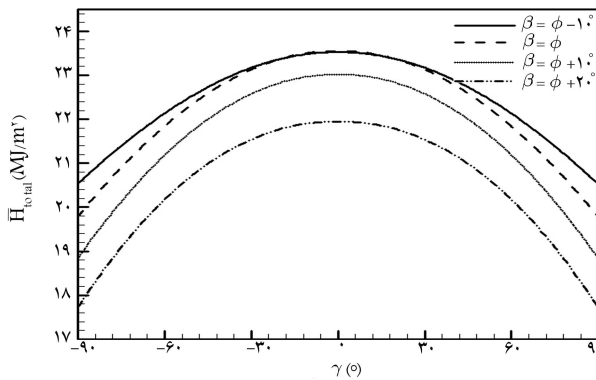
کرمان	یزد	طیس	شیراز	بیرجند	زاهدان	$H$ (MJ/m <sup>2</sup> )
$7,62E+03$	$7,79E+03$	$6,89E+03$	$7,37E+03$	$7,55E+03$	$7,65E+03$	

جدول ۵. درصد افزایش انرژی روی یک سطح شیب‌دار براساس زوایای بهینه‌ی روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه نسبت به یک سطح افقی در شهرهای کرمان، یزد، طیس، شیراز، بیرجند و زاهدان (سالانه).

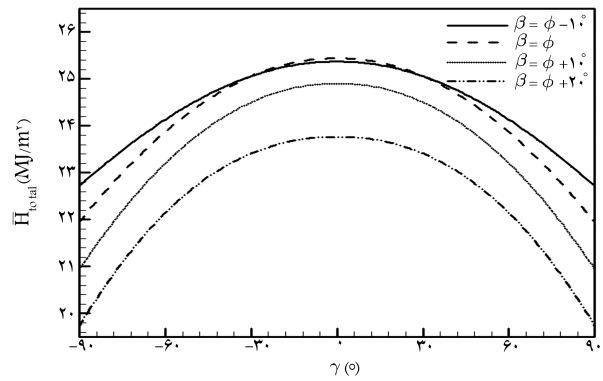
روزانه %	ماهانه %	فصلی %	سالانه %	
۱۵,۷۴	۱۵,۲۲	۱۵,۱۶	۴,۲۸	کرمان
۱۷,۳۲	۱۶,۶۲	۱۵,۴۰	۹,۷۶	یزد
۱۷,۷۷	۱۷,۳۵	۱۶,۲۳	۱۰,۹۴	طیس
۱۵,۵۵	۱۴,۶۰	۱۳,۴۸	۸,۱۰	شیراز
۱۹,۱۴	۱۸,۴۲	۱۵,۷۹	۱۰,۱۱	بیرجند
۱۵,۰۰	۱۴,۴۳	۱۳,۲۷	۷,۹۴	زاهدان



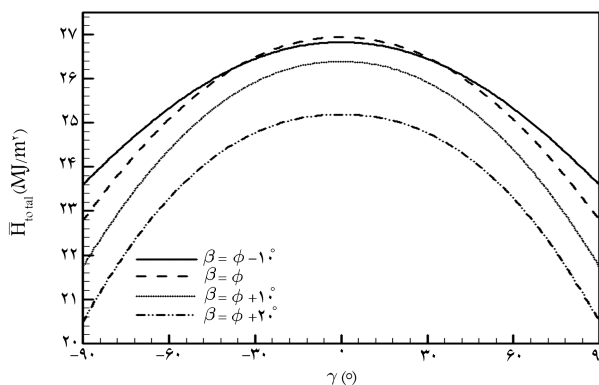
شکل ۱۱. مقادیر متوسط روزانه‌ی انرژی تشعشعی کل رسیده به یک سطح شیب‌دار برحسب زوایای سمت‌الرأس مختلف برای زوایای مختلف شیب در ماه سپتامبر برای شهر شیراز.



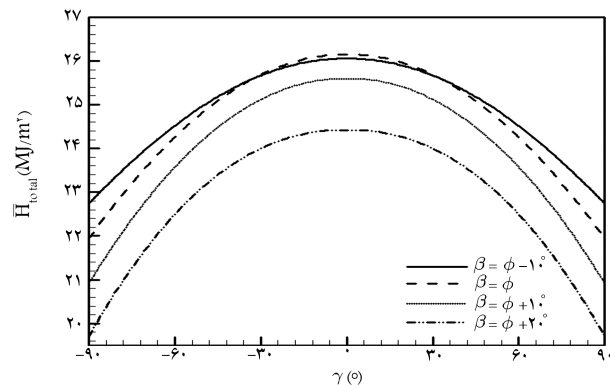
شکل ۱۲. مقادیر متوسط روزانه‌ی انرژی تشعشعی کل رسیده به یک سطح شیب‌دار برحسب زاویه سمت‌الرأس مختلف برای زوایای مختلف شیب در ماه سپتامبر برای شهر طیس.



شکل ۹. مقادیر متوسط روزانه‌ی انرژی تشعشعی کل رسیده به یک سطح شیب‌دار برحسب زوایای سمت‌الرأس مختلف برای زوایای مختلف شیب در ماه سپتامبر برای شهر کرمان.



شکل ۱۳. مقادیر متوسط روزانه‌ی انرژی تشعشعی کل رسیده به یک سطح شیب‌دار برحسب زاویه سمت‌الرأس مختلف برای زوایای مختلف شیب در ماه سپتامبر برای شهر یزد.



شکل ۱۰. مقادیر متوسط روزانه‌ی انرژی تشعشعی کل رسیده به یک سطح شیب‌دار برحسب زوایای سمت‌الرأس مختلف برای زوایای مختلف شیب در ماه سپتامبر برای شهر بیرجند.

جدول ۷. زاویه‌ی بهینه‌ی شیب و بیشینه انرژی دریافتی از سطح شیب‌دار برای ضرایب مختلف انعکاس زمین.

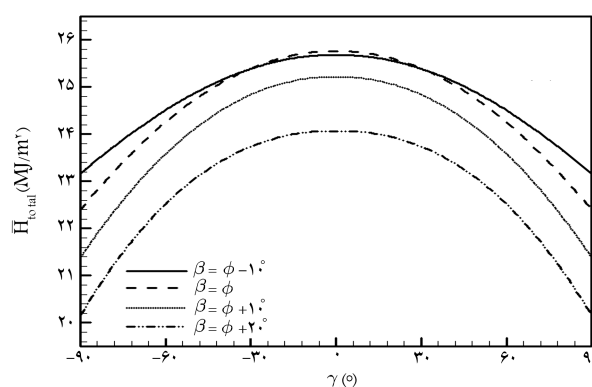
ضریب انعکاس زمین	زاویه‌ی بهینه‌ی شیب سطح (°)	بیشینه‌ی انرژی رسیده به سطح شیب‌دار (MJ/m <sup>2</sup> )
۰٫۲	۵۲٫۸۳	۱۹٫۳۲
۰٫۳	۵۴٫۸۴	۱۹٫۳۵
۰٫۴	۵۶٫۹۵	۱۹٫۳۷
۰٫۵	۵۹٫۱۷	۱۹٫۳۷

تثعشعی روی سطح افق در ماه ژانویه در کرمان را ۱۰٪ کاهش دهیم (به جای ۱۲٫۵۲ معادل ۱۱٫۲۶۸ اندازه‌گیری شود) زاویه‌ی بهینه در این ماه در حدود ۰٫۴ درجه افزایش می‌یابد و بیشترین انرژی رسیده به میزان تقریبی ۱۲٪ کاهش می‌یابد. دقیق نبودن طول و عرض جغرافیایی محل هم می‌تواند منجر به بروز خطای محسوس شود. همچنین عدم انتخاب دقیق ضریب انعکاس زمین در منطقه‌ی مورد نظر - که ممکن است در شهرهای مختلف متفاوت باشد - در ایجاد خطا تأثیر به‌سزایی دارد.

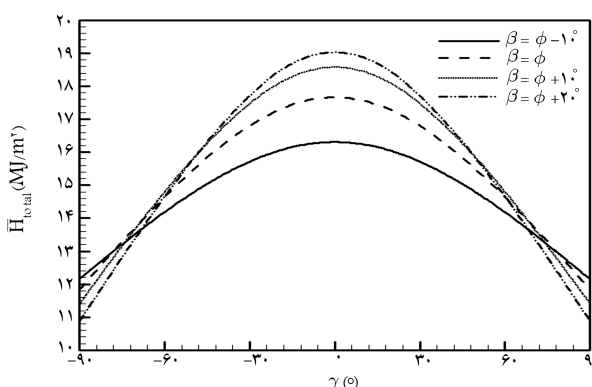
## ۶. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، پس از تعیین زاویه‌ی بهینه‌ی سمت‌الرأس، زاویه‌ی بهینه‌ی شیب براساس مدل‌های مختلف بررسی شد و مقدار آن برای شهرهای کرمان، بیرجند، شیراز، یزد، طبس و زاهدان به‌دست آمد. بیشینه انرژی رسیده به سطح شیب‌دار نیز با توجه به زوایای بهینه‌ی به‌دست آمده تعیین شد. مقادیر به‌دست آمده برای بررسی محل مناسب به‌منظور احداث انواع نیروگاه‌ها و تأسیسات خورشیدی مختلف مفید است. از الگوریتم ژنتیک به‌عنوان ابزاری برای به‌دست آوردن این مقادیر استفاده شد. ضمن انجام این تحقیق نتایج زیر نیز به‌دست آمد:

- مقدار بهینه‌ی زاویه سمت‌الرأس برای دریافت بیشترین انرژی از خورشید صفر است.
- محاسبه‌ی مقادیر مربوط به انرژی نشان داد که انرژی تثعشعی به‌دست آمده روی سطح شیب‌دار برحسب زوایای بهینه‌ی روزانه نسبت به ماهانه، فصلی و سالانه بیشتر است، اما استفاده از دنبال‌کننده که روزانه خورشید را دنبال کند به‌دلیل تفاوت ناچیز انرژی کسب‌شده در حالت روزانه و ماهانه مقرون به صرفه نیست. این درحالی است که مقادیر انرژی دریافتی براساس زوایای بهینه‌ی ماهانه و حتی فصلی با سالانه تفاوت قابل ملاحظه‌ی دارد. لذا می‌توان زاویه را به‌صورت ماهانه تغییر داد تا انرژی بیشتری نسبت به زاویه‌ی بهینه‌ی سالانه دریافت کرد و در عین حال از هزینه‌های مربوط به دنبال‌کننده‌ی روزانه نیز اجتناب شود.
- مقایسه‌ی مدل‌های مختلف حاکی از نزدیک بودن نتایج آن‌ها به یکدیگر است. دلیل اختلاف نیز فرض‌های ساده‌شونده‌ی است که در برخی از مدل‌ها اعمال شده است.
- بررسی ضریب انعکاس زمین نشان داد که افزایش این ضریب زاویه‌ی بهینه‌ی شیب را به‌طور قابل ملاحظه‌ی افزایش داده ولی تأثیر چندانی بر انرژی رسیده به سطح ندارد.



شکل ۱۴. مقادیر متوسط روزانه‌ی انرژی تثعشعی کل رسیده به یک سطح شیب‌دار برحسب زاویه سمت‌الرأس برای زوایای مختلف شیب در ماه سپتامبر برای شهر زاهدان.



شکل ۱۵. مقادیر متوسط روزانه‌ی انرژی تثعشعی کل رسیده به سطح شیب‌دار برحسب زاویه سمت‌الرأس برای چندین زاویه‌ی شیب در ماه ژانویه برای شهر کرمان.

جدول ۶. مقادیر مختلف ضریب انعکاس زمین.

ضریب انعکاس زمین	نوع پوشش زمین
۰٫۲	زمین لخت و خشک
۰٫۳	زمین خشک چمن‌زار
۰٫۴	شن‌های بیابانی
۰٫۵ - ۰٫۸	زمین برفی

چنان‌که در جدول ۷ مشاهده می‌شود افزایش ضریب انعکاس زمین زاویه‌ی بهینه‌ی شیب را به‌طور قابل ملاحظه و بیشینه‌ی انرژی رسیده به سطح شیب‌دار را به‌طور ناچیز افزایش می‌دهد، و از ضریب ۰٫۴ به بعد تقریباً تأثیری بر بیشینه انرژی رسیده به سطح شیب‌دار ندارد.

## ۵. منابع خطا

خطاهای مؤثر بر نتایج مربوط به اطلاعات تثعشعی اندازه‌گیری شده روی یک سطح افقی است. اگر دقت دستگاه‌های اندازه‌گیری تثعشع در محدوده‌ی مجاز نباشد این خطا در معادلات تشدید، و منجر به تولید نتایج غیرواقعی می‌شود. مثلاً اگر انرژی



(MJ/m<sup>2</sup>)

$\bar{H}_d$ : میانگین ماهانه مقادیر روزانه‌ی شدت تشعشع خورشیدی پخشی (MJ/m<sup>2</sup>)

$H_d$ : میانگین روزانه‌ی شدت تشعشع خورشیدی پخشی (MJ/m<sup>2</sup>)

$\bar{H}_T$ : میانگین ماهانه مقادیر روزانه‌ی شدت تشعشع خورشیدی انعکاس از زمین

(MJ/m<sup>2</sup>)

## ۲.۷. علائم یونانی

$n$ : روز سال

$\delta$ : زاویه‌ی انحراف (میل خورشید) (°)

$\gamma$ : زاویه‌ی سمت‌الرأس (°)

$\omega_s$ : زاویه‌ی ساعتی غروب خورشید (میل خورشید) (°)

$\omega_{sr}$ : زاویه‌ی طلوع خورشید (میل خورشید) (°)

$\omega_{ss}$ : زاویه‌ی غروب خورشید (میل خورشید) (°)

$\beta$ : شیب سطح دریافت‌کننده نسبت به افق (°)

$\phi$ : عرض جغرافیایی (°)

$\rho_g$ : ضریب انعکاس زمین

لازم به ذکر است که از الگوریتم ژنتیک تاکنون برای بهینه‌سازی انرژی رسیده به سطح شیب‌دار استفاده نشده است. در این تحقیق تنها دو متغیر اصلی پانل‌ها مورد بررسی قرار گرفت، این در حالی است که استفاده از الگوریتم ژنتیک راه را برای بررسی متغیرهای بیشتر همواره می‌سازد.

## ۷. فهرست علائم

### ۱.۷. حروف لاتین

$K_T$ : شاخص وضوح روزانه

$\bar{K}_T$ : شاخص وضوح میانگین ماهانه

$\bar{H}$ : میانگین ماهانه مقادیر روزانه‌ی شدت تشعشع خورشیدی دریافتی (MJ/m<sup>2</sup>)

$H$ : میانگین روزانه‌ی شدت تشعشع خورشیدی دریافتی (MJ/m<sup>2</sup>)

$\bar{H}_T$ : میانگین ماهانه مقادیر روزانه‌ی شدت تشعشع خورشیدی دریافتی کل (MJ/m<sup>2</sup>)

$H_T$ : مقادیر روزانه‌ی شدت تشعشع خورشیدی دریافتی کل (MJ/m<sup>2</sup>)

$\bar{H}_b$ : میانگین ماهانه مقادیر روزانه‌ی شدت تشعشع خورشیدی دریافتی مستقیم

## پانویس

1. mating
2. mutation

## منابع (References)

1. Lunde, P.J., *Solar Thermal Engineering*, John Wiley and Sons, Inc., New York, NY (1980).
2. Duffie, J.A. and Beckman, W.A., *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley and Sons, Inc., New York, NY (1982).
3. Qiu, G. and Riffat S.B. "Optimum tilt angle of solar collectors and its impact on performance", *International Journal of Ambient Energy*, **24**, pp. 13-20 (2003).
4. Nijegorodov, N.; Devan, K.R.S. and Jain, P.K. "Atmospheric transmittance models and an analytical method to predict the optimum slope on an absorber plate", *Renewable Energy*, **4**, pp. 525-530 (1997).
5. Ulgen, K. "Optimum tilt angle for solar collectors", *Energy Sources, Part A, Recovery, Utilization and Environmental Effects*, **28**, pp. 1171-1180 (2006).
6. Mujahid Abdulaziz, M. "Optimum tilt angle for solar collection systems", *International Journal of Solar Energy*, **14**, pp. 191-202 (1994).
7. Gopinathan, K.K.; Maliehe, N.B. and Mpholo, M.I. "Study on the intercepted insulation as a function of slope and azimuth of the surface", *Energy*, **32**, pp. 213-220 (2007).
8. Gunerhan, H. and Hepbasli, A. "Determination of the optimum tilt angle of solar collectors for building applications", *Building and Environment*, **42**, pp. 779-783 (2007).
9. Skeiker, K. "Optimum tilt angle and orientation for solar collectors in Syria", *Energy Conversion and Management*, **50**, pp. 2439-2448 (2009).
10. Elminir, H.K.; Ghitass, A.E.; El-Hussainy, F.; Hamid, R.; Beheary, M.M. and Abdel-Moneim, K.M. "Optimum solar flat-plate collector slope: Case study for Helwan, Egypt", *Energy Conversion and Management*, **47**, pp. 624-637 (2006).
11. Hartley, L.E.; Martinez-Lozano, J.A.; Utrillas, M.P.; Tena, F. and Pedro, R. "The optimization of the angle of inclination of a solar collector to maximize the incident solar radiation", *Renewable Energy*, **6**, pp. 180-298 (1999).
12. Azmi, M.; Yakup, M. and Malik, A.Q. "Optimum tilt angle and orientation for solar collector in Brunei Darussalam", *Renewable Energy*, **24**, pp. 223-234 (2001).
13. Shariah, A.; Al-Akhras, M.A. and Al-Omari, I.A. "Optimizing the tilt angle of solar collectors", *Renewable Energy*, **12**, pp. 587-598 (2002).
14. Abdolzadeh, M., Jafari, S., Rahnema, M., Ameri, M., "Determination of optimum angle of fixed solar panels to receive maximum solar radiation energy in Kerman Iran," *International Journal of Engineering Science*

- Iran University of Science and Technology, **19**, (10), PP.91-98 (2008).
15. Liu, B.Y.H. and Jordan, R.C. "Daily insolation on surfaces tilted towards the equator", *Transactions ASHRAE*, **3**, pp. 526-541 (1979).
  16. Hottel. H.C. and Woertz, B.B. "Performance of flat-plate solar heat collectors", *Trans. Asme*, **64**, (91), pp.94-102 (1942).
  17. Klein, S.A. "Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces", *Solar Energy*, **10**, pp. 72-77 (1981).
  18. Goldberg, D.E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Reading, MA, Addison-Wesley (1989).
  19. Haupt, R.L. and Haupt, S.E., *Practical Genetic Algorithm*, John Wiley and Sons, Inc., New York (2004).