فصلنامه علمی – ترویجی «نشریه انرژی ایران»
دوره ۲۰، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶، صفحه ۱۲۵-۱۰۳

تعیین زوایای بهینه آرایه‌های خوشیدی برای دریافت بیشترین انرژی (مطالعه مورد: خراسان رضوی، مشهد)

[۱]معصومه عبداله‌پور، [۲] عباس روحانی*، [۳] محمود رضا گلزاریان، [۴] حسین ابوترابی زارچی

تاریخ دریافت:
۱۳۹۵/۵/۱۰

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۵/۸/۸

کلمات کلیدی:
آرایه‌های خورشیدی،
انرژی خورشیدی،
حداکثر انرژی،
زاویه بهینه

چکیده

آرایه‌های خور شیدی یکی از نوید بخش‌ترین فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر در تامین انرژی ساختمان‌ها می‌باشد. در نصب پنل‌های خورشیدی روی بام ساختمان‌ها، دانستن زاویه شیب بهینه به منظور داشتن بیشترین انرژی سالانه، فصلی، ماهانه و یا روزانه حائز اهمیت می‌باشد .در حقیقت، تغییرات زاویه شیب آرایه در مقدار تابش خور شیدی که به سطح پنل‌ها می‌رسد، موثر است. در این تحقیق از مدل‌های مختلفی برای بدست آوردن زاویه شیب بهینه و زاویه آزیموث در شهر مشهد استفاده شد. با استفاده از مدل ایزوتروپیک زوایای بهینه‌ای برای ماه‌های مختلف، فصول و کل سال معرفی شده است. همچنین با استفاده از مدل غیرایزوتروپیک زاویه آزیموث و زاویه شیب بهینه برای مشهد بدست آمد. در حالت کلی در سیستم تک محوره در کل سال مجموع انرژی بدست آمده نسبت به انرژی دریافتی روی سطح افق ۱۸٪ افزایش می‌یابد و در سیستم دو محوره در کل سال مجموع انرژی بدست آمده نسبت به انرژی دریافتی روی سطح افق ۳۰٪ و نسبت به حالت تک محوره در کل سال ۱۱ ٪ افزایش می‌یابد.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیو سیستم دانشگاه فردوسی مشهد
ma.abdolahpour@yahoo.com
۲. استادیار گروه مهندسی مکانیک بیو سیستم دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسئول)
mahmood.golzarian@gmail.com
۳. استادیار گروه مهندسی برق دانشگاه فردوسی مشهد hazarchi@ gmail .com

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

۱. مقدمه

با توجه به اینکه بیشترین انرژی تابشی از خورشید زمانی حاصل می شود که پرتوهای خورشید به طور عمودی به سطح مورد نظر بتابند لذا برای دریافت بیشترین مقدار انرژی باید سطح تقریبا عمود بر جهت تشعشع باشد. برای تحقق این امر می‌توان از ردیاب خورشیدی که به طور لحظه‌ای خورشید را دنبال می کند یا تنظیم روزانه زاویه شیب سطح استفاده کرد [۱۱،۸] .

گومز و همکارانش [14] در آزمایش هایی که در اسـپانیا داشـتند به این نتیجه رسـیدند که میزان دریافت انرژی برای ردیاب دو محوره سیستم‌های فتوولتائیک متمرکز کننده ۲۵/۲ درصد و برای ردیاب تک محوره ۲۲/۳ درصـد نسـبت به حالت ثابت به صـورت سـالانه افزایش می‌یابد. بینقانم [9] طی آزمایشاتی که در شهر مدینه انجام دادند زاویه‌ی بهینه به منظور افزایش انرژی دریافتی را بدست آورد. وی به این نتیجه رسـید که زاویه شـیب بهینه سـالانه تقریبا برابر با عرض جغرافیایی منطقه اسـت و همچنین انرژی بدسـت آمده با شـیب ماهانه نسـبت به شـیب سـالانه ۸٪ افزایش می‌یابد. لهجوجی و درهمویی [16] از مدل ریا ضی برای محا سبه‌ی تابش خور شید در سطح شیبدار در مراکش ا ستفاده کردند. آنها زاویه بهینه ماهانه، ف صلی و سالانه را محا سبه کردند. زاویه ف صلی را در بهار ۲۱/۵ درجه، تابستان ۰/۶، پاییز ۵۱/۲ و تابستان ۶۲/۸ درجه بدست آوردند و مطرح کردند که زاویه سالانه با عرض جغرافیایی برابر اسـت. دمین و همکاران [10] به بررسـی مدل‌های مختلف تعیین زاویه‌ی شـیب بهینه برای بلژیک پرداختند. آنها عملکرد نسـبی مدل‌های مختلف را در شـرایط آب و هوایی مختلف مورد ارزیابی قرار دادند و به یان نتیجه ر سیدند که هیچ کدام از مدل‌ها در تمام شرایط آب و هوایی عملکرد مناسبی ندارد بنابراین مدلی جدید برای بلژیک توسعه دادند که براساس آن زاویه‌ی شیب بهینه با توجه به عرض جغرافیایی را تعیین می‌کردند. خطیبی و همکارانش [13] به بررسـی زاویه‌ی شـیب پنل‌های خورشیدی در پنج نقطه از مالزی به صورت ماهانه و فصلی پرداختند. نتایج نشان دادند که بهینه سازی شیب پنل در مالزی به صورت فصلی توصیه کردند؛ در حالی که تغییر زاویه‌ی بهینه برای شرق مالزی شامل Sabah و Sarawak states را به صورت ماهانه توصیه کردند.تحقیق مقدم و همکارانش [18] که در شهرهای زاهدان و بندرعباس صورت گرفت حاکی از آن ا ست که اگر زاویه شیب بهینه تنها دو بار در سال تنظیم شود، نسبت به حالتی که سیستم درطول سال ثابت است، ۸٪ انرژی بیشتری دریافت

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

می شود. شیب بهینه برای شهر امان اردن توسط تمیمی مورد مطالعه قرار گرفت[20] او شیب بهینه را βopt=۳۱/۳ پیشنهاد داد که نزدیک به شیب بهینه ای است که توسط NASA برای شهر امان گزارش شده بود. گوپینسن و همکاران[12] با استفاده از یک مدل ریاضی جدید زاویه شیب و سمت الراس بهینه را برای آفریقای جنوبی ارائه کرند. یلگن [21] با استفاده از یک مدل ریاضی زاویه شیب بهینه در شهر ازمیر ترکیه را محاسبه کرد و همچنین زاوایای بهینه را برای ماه‌ها و فصول مختلف سال نیز ارائه کرد.

بهرامی و عبا سپور ثانی [2] در مطالعه‌ی خود از یک مدل ریاضی و داده‌های هوا شناسی برای محاسبه تابش خورشیدی کل روی سطوح شیبدار به منظور تعیین زاویه شیب مناسب برای آرایه های خورشیدی در کرج استفاده کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که تغییرات زاویه شیب بهینه بین صفر تا 69درجه است . در زمستان این زاویه ۶۵/۳۳ درجه، در بهار ۲۲ درجه، در تابستان صفر درجه و در پاییز ۳۷/۳۳ درجه می‌باشد. زاویه شیب بهینه سالانه به طور متوسط ۳۱/۶۶ درجه می‌باشد که زاویه ثابت و مطلوب در سال است. ثقفی و همکاران [3] مقدار تابش دریافتی روزانه برای زوایای شیبِ صفر تا 90 درجه(با فواصل پنج درجه‌ای) بر حسب مگاژول بر مترمربع در ماه‌های مختلف سال برای شهر تهران محاسبه کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که، زاویه‌ی بهینه‌ای که سبب دریافت بیشترین تابش خورشیدی در کل طول سال می شود، حدود 30 درجه است. زاویه بهینه ماه‌های سرد سال حدود 55 درجه و زاویه بهینه ماه‌های گرم سال حدود 10 درجه است. عبدل‌زاده و همکاران [6] در تحقیقی با استفاده از مدل‌های مختلفی زاویه بهینه شیب پنل‌های خورشیدی جهت دریافت بیشترین میزان تشعشع متوسط ماهیانه خورشیدی در شهر کرمان محاسبه کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که با استفاده از روش لیو جوردن حداقل زاویه شیب بهینه ماهانه برابر با ۰/۸۸ و حداکثر آن برابر با ۶۰/۷۱ درجه است و با استفاده از روش لیو جوردن زاویه شیب بهینه سالانه برابر با ۲۷/۳۵ درجه است. طالبی زاده و همکاران [5] زوایای شیب و سمت الراس کلکتورهای خورشیدی به منظور دریافت بیشترین تشعشع خورشید در شهرهای کرمان، یزد، زاهدان، بیرجند، شیراز و طبس را محاسبه کردند. آنها از الگوریتم ژنتیک به عنوان ابزاری برای بهینه سازی و یافتن زوایای بهینه استفاده کردند. نتایج حاصل نشان داد که زاویه‌ی سمت الراس برای دریافت بیشترین تشعشع خورشید صفر است و در روزهای مختلف سال زوایای شیب مختلف است. خراسانی و مسیحی [4] به بررسی زاویهٔ شیب بهینه‌ی کلکتورهای

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

خور شیدی تخت در کا شان پرداختند. آنها به این نتیجه ر سیدند که تنظیم شیب حداقل هر ماه یک بار لازم ا ست و زاویه‌ی بهینه حداکثر و حداقل به ترتیب ۶۰ درجه برای ماه آذر و صفر درجه برای دو ماه خرداد و تیر می‌باشـد. آنها همچنین زاویه‌ی بهینه را به صـورت فصـلی معرفی کردند و بیان کردند که زاویه شیب سالانه برابر با ۲۹ درجه می‌باشد که به عرض جغرافیایی منطقه (۳۳/۵۹) نزدیک است.

ازآنجا که اغلب مطالعات تاکید بر کلکتورهای تک محوره داشـــتند و نیز باتوجه به اینکه میزان تابش خور شیدی به مقدار زیادی تابع موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی محل می با شد، لازم ا ست چنین مطالعاتی در هر منطقه به طور مجزا صورت گیرد. لذا در این مقاله شیب بهینه ن صب پنل های خورشیدی تک محوره و دو محوره برای شهر مشهد براساس دو مدل ریاضی لیو جوردن وکلین به کمک الگوریتم ژنتیک محاسبه شده است.

۲. مواد و روش‌ها

داده‌های مربوط به انرژی دریافتی روی سطح افق (H) جهت مدل سازی تابش خور شید از سازمان هوا شنا سی مشهد از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۴ دریافت شدند. برای بد ست آوردن میانگین روزانه‌ی تابش کل در سطح افق از داده های اداره‌ی هوا شنا سی مشهد در طی سال‌های مورد مطالعه میانگین‌گیری شد. تا بتوان ضریب صافی هوا را با ا ستفاده از روابط ریا ضی به منظور تعیین میزان دریافت انرژی محاسبه کرد.

مدل‌های ریا ضی با ا ستفاده از داده‌های انرژی ت شع شعی روی سطح افقی انرژی ر سیده به سطوح شیبدار را محاسبه می‌کنند. تشعشع کل روی یک سطح شیبدار از رابطه ۱ می توان محاسبه کرد:

$$H_T = H_b + H_d + H_r \quad (۱)$$

که در آن، H_b مجموع تابش مستقیم، H_d تابش پخشی و H_r تابش انعکاسی می باشد.

روش لیو جوردن: اولین روش برای بد ست آوردن H_T، روش لیو جوردن ا ست که تو سط Liu ارائه شده است [۱۷, ۶]. با استفاده از این روش مقدار تشعشع میانگین ماهیانه بر روی سطوح شیبدار به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$H_T = H\left(1 - \frac{H_d}{H}\right)R_b + H_d\left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + H\rho_g\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \quad (۲)$$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

که در آن β زاویه شیب، ρ_g ضریب انعکاس زمین، و H میزان تشعشع روی سطح افقی و R_b بیانگر نسبت مقدار متوسط تابش مستقیم روی سطح شیبدار به مقدار متوسط تابش مستقیم روی سطح صاف است.

$$R_b = \frac{\cos(\varphi \mp \beta)\cos\delta \sin\omega'_s + \left(\frac{\pi}{180}\right)\omega'_s \sin(\varphi \mp \beta)\sin\delta}{\cos\varphi \cos\delta \sin\omega_s + \left(\frac{\pi}{180}\right)\omega_s \sin\varphi \sin\delta} \quad (۳)$$

$$\omega'_s = min\begin{bmatrix} \cos^{-1}(-\tan\varphi \tan\delta) \\ \cos^{-1}(-\tan(\varphi \mp \beta)\tan\delta) \end{bmatrix} \quad (۴)$$

در رابطه‌های ۳ و ۴ علامت مثبت برای نیم کره جنوبی و علامت منفی برای نیم کره شمالی است. که در آن φ عرض جغرافیایی محل، δ زاویه‌ی انحراف محور کره زمین در بازه ی زمانی مورد نظر(رابطه‌ی ۵) ، ω_s زاویه‌ی طلوع خورشید در سطح افق و $\acute{\omega}_s$ و زاویه‌ی طلوع خورشید در سطح شیبدار بر حسب درجه(رابطه‌ی ۶) می‌باشند.

$$\delta = 23.45\sin\left(360\frac{n + 284}{365}\right) \quad (۵)$$

$$\omega'_s = min\begin{bmatrix} \cos^{-1}(-\tan\varphi \tan\delta) \\ \cos^{-1}(-\tan(\varphi \mp \beta)\tan\delta) \end{bmatrix} \quad (۶)$$

n جمع روزهای سال از اول ژانویه تا روز مورد نظر.

ضریب صافی هوا (Kth): برابر است با نسبت انرژی تابشی دریافتی توسط یک صفحه‌ی افقی در دوره‌ی زمانی مشخص (H) به مقدار انرژی تابشی دریافتی همین صفحه در همان زمان اگر در خارج از جو زمین قرار گرفته باشد.

$$K_{th} = \frac{H}{H_o} \quad (۷)$$

تابش فرا جو (H_o): انرژی تابشی در واحد سطح در لبه‌ی خارجی اتمسفر را تابش فرا جو می‌نامند که از رابطه‌ی ۸ محاسبه می‌شود.

$$H_o = \frac{24 \times I_{sc}}{\pi}\left(1 + 0.033\cos\frac{360n}{365}\right) \times \left[\cos\varphi\cos\delta\sin\omega_s + \sin\varphi\sin\delta\,\frac{\pi\omega_s}{180}\right] \quad (۸)$$

I_{sc} ثابت خورشیدی است که برابر با ۱۳۶۷ وات بر متر مربع است.

در تحقیقی ابراهیم پور و همکاران (۱۳۸۸)، به مقایسه‌ی برخی از مدل های پیش بینی نسبت تابش پراکنده به تابش کل پرداختند و نهایتاً مدل "Orgill and Hollands (1997)" را برای اقلیم های

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

ایران مناسـب‌تر اعلام کردند. در این مدل، نسـبت تابش پراکنده به تابش کل با توجه به محدوده ی ضریب صافی هوا از رابطه‌ی ۹ به دست می‌آید :

$$\begin{aligned} K_{dh} &= 1.557 - 1.84K_{th} && 0.35 \le K_{th} \le 0.75 \\ K_{dh} &= 1 - 0.249K_{th} && K_{th} < 0.35 \\ K_{dh} &= 0.177 && K_{th} > 0.75 \end{aligned} \qquad (۹)$$

ρ ضریب انعکاس زمین بوده که مقدار آن بسته به نوع پوشش محیط از ۰/۲ تا ۰/۸ متغییر است. در این مطالعه مقدار این ضریب برابر با ۰/۲ در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه در روش لیو جوردن تنها زاویه β متغییر است از این روش برای تعیین زاویه بهینه‌ی سیستم‌های تک محوره استفاده شد.

روش کلین: .Klein رو شی را ارائه کرده ا ست(مدل KT) که تاثیر زوایای آزیموث را نیز مورد ارزیابی قرار می‌دهد و روابط آن به شکل رابطه‌های ۱۰ تا ۱۹ نوشته می‌شود [۱۵، ۱۶، ۱۹]:

$$H_T=HR \qquad (۱۰)$$

$$R = D + \frac{H_d}{H}\left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + \rho_g\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \qquad (۱۱)$$

مقدار D از رابطه‌ی ۱۲ بدست می‌آید:

$$D = \begin{cases} \max(0, G(\omega_{ss}, \omega_{sr})) & if \omega_{ss} \ge \omega_{sr} \\ \max(0, [G(\omega_{ss}, -\omega_s) + G(\omega_s, \omega_{sr})]) & if \omega_{sr} \ge \omega_{ss} \end{cases} \qquad (۱۲)$$

مقادیر سه گانه G طبق رابطه‌ی ۱۳ به دست می‌آید:

$$G(\omega_1,\omega_2) = \frac{1}{2d}\left[\left(\frac{bA}{2} - aB\right)(\omega_1 - \omega_2)\frac{\pi}{180} + (aA - bB)(\sin\omega_1 - \sin\omega_2) - aC(\cos\omega_1 - \cos\omega_2) + \left(\frac{bA}{2}\right)(\cos\omega_1\sin\omega_1 - \cos\omega_2\sin\omega_2) + \left(\frac{bC}{2}\right)(\sin^2\omega_1 + \sin^2\omega_2)\right] \qquad (۱۳)$$

$$a = 0.409 + 0.5016(\omega_s - 60) - \frac{H_d}{H} \qquad (۱۴- \text{الف})$$

$$b = 0.6609 - 0.4767\sin(\omega_s - 60) \qquad (۱۴- \text{ب})$$

$$d = sin\omega_s - \frac{\pi\omega_s}{180}cos\omega_s \qquad (۱۴- \text{ج})$$

زوایای طلوع ω_{sr} و غروب خورشید ω_{ss} براساس روابط ۱۵ و ۱۶ محاسبه می‌شود:

$$|\omega_{sr}| = \min\left[\omega_s, cos^{-1}\frac{AB + C\sqrt{A^2 - B^2 + C^2}}{A^2 + C^2}\right] \qquad (۱۵- \text{الف})$$

$$\omega_{sr} = \begin{cases} -|\omega_{sr}| & if\ (A > 0\ and\ B > 0) or\ (A \ge B) \\ +|\omega_{sr}| & otherwise \end{cases} \qquad (۱۵- \text{ب})$$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

$$|\omega_{ss}| = \min\left[\omega_s, \cos^{-1}\frac{AB - C\sqrt{A^2 - B^2 + C^2}}{A^2 + C^2}\right] \quad (۱۶- الف)$$

$$\omega_{ss} = \begin{cases} +|\omega_{ss}| & if\ (A > 0\ and\ B > 0) or\ (A \geq B) \\ -|\omega_{ss}| & otherwise \end{cases} \quad (۱۶- ب)$$

$$A = cos\beta + tan\varphi\ cos\gamma\ sin\beta \quad (۱۷- الف)$$

$$B = cos\omega_s cos\beta + tan\delta\ cos\gamma\ sin\beta \quad (۱۷- ب)$$

$$C = \frac{sin\beta sin\gamma}{cos\varphi} \quad (۱۷- ج)$$

معادلات ۱۰ تا ۱۷ به مدل KT موسوم‌اند. در این مدل برای محاسبه‌ی H_d از روابط ۱۸ و ۱۹ استفاده می‌شود:

$$for\ \omega_s \leq 81.4^\circ$$
$$\frac{H_d}{H} = \begin{cases} 1 - 0.2727K_T + 2.4495K_T^2 - 11.9514K_T^3 + 9.3879K_T^4 & for\ K_T < 0.715 \\ 0.143 & for\ K_T \geq 0.715 \end{cases} \quad (۱۸)$$

$$for\ \omega_s > 81.4^\circ$$
$$\frac{H_d}{H} = \begin{cases} 1 + 0.2832K_T + 2.5557K_T^2 - 0.8448K_T^3 & for\ K_T < 0.715 \\ 0.175 & for\ K_T \geq 0.715 \end{cases} \quad (۱۹)$$

کد رایانه‌ای دو روش لیو جوردن و KT در متلب پیاده سازی شد. با استفاده از کدهای نوشته شده برای دو سیستم تک محوره و دو محوره زاویه بهینه به صورت روزانه، فصلی و سالانه محاسبه و مقایسه شدند.

با توجه به اینکه انحراف معیار انرژی دریافتی در روزهای مختلف یک ماه متغیر است و به منظور اطمینان از صحت و تعمیم پذیری زاویه بهینه از مدل رگرسیونی گوسی و دو ضابطه‌ی برای تخمین مقدار تابش کل روزانه حاصل ۶ ساله استفاده شد.

ضابطه مدل گوسی مطابق رابطه ۲۰ ضابطه مدل دو ضابطه‌ی مطابق رابطه ۲۱ می باشند:

$$H = a\exp\left(-\left(\frac{n-b}{c}\right)^2\right) \quad (۲۰)$$

$$\begin{aligned} H &= an^3 + bn^2 + cn + d & n \leq 182 \\ H &= qn^3 + wn^2 + vn + z & n > 182 \end{aligned} \quad (۲۱)$$

که در آن a، b، c و ... ضرایب رگرسیونی و n شماره روز از سال می باشد.

برای ارزیابی توانایی مدل های ۲۰ و ۲۱ جهت تخمین مقدار تابش کل علاوه بر ضریب تبیین(R^2) و مقایسه داده های واقعی و پیش بینی شده از لحاظ آماری، از میانگین ریشه مربعات خطا (RMSE) و متوسط درصد قدرمطلق خطا (MAPE) استفاده شد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

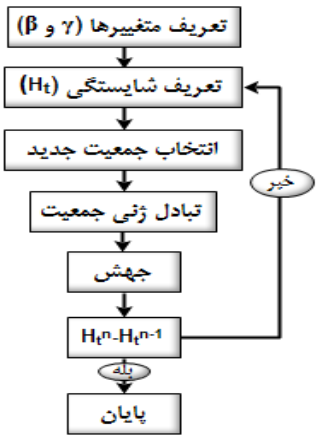
$$\text{MAPE} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\left|\frac{H_{act-}H_{pre}}{H_{act}}\right| \times 100 \quad (۲۲)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n}(H_{act-}H_{pre})^2}{n}} \quad (۲۳)$$

که در آن H_{act} مقدار تابش واقعی و H_{pre} مقدار تابش پیش بینی شده است.

۳. الگوریتم ژنتیک

الگوریتم زنتیک به عنوان ابزاری برای بهینه سازی در مسائل مختلف کاربرد دارد. در این تحقیق برای یافتن بیشترین تشعشع خورشید بر حسب زوایای پنل از الگوریتم ژنتیک تک منظوره استفاده شده است. تابع تشعشع رسیده به سطح شیبدار به عنوان تابع شایستگی و زوایای شیب و آزیموث (β و γ) به عنوان متغییرهای بهینه سازی در نظر گرفته شدند. مراحل الگوریتم ژنتیک در شکل ۱ نشان داده شده است. تابع شایستگی به کمک برنامه‌ی کامپیوتر در متلب به کمک روابط ۱ تا ۱۶ پیاده سازی شد.



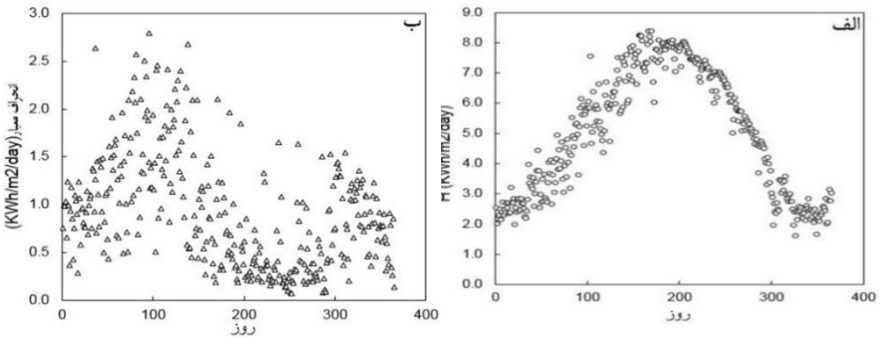
شکل ۱) مراحل الگوریتم ژنتیک

٤. نتایج و بحث

به ترتیب شکل ۲-الف و ب میزان انرژی دریافتی روزانه و انحراف معیار آن طی شش سال را نشان می دهد روز صفر از محور x شکل ۲ معادل با اول ژانویه (۱۱ دی ماه) است. همانطور که ملاحظه می

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

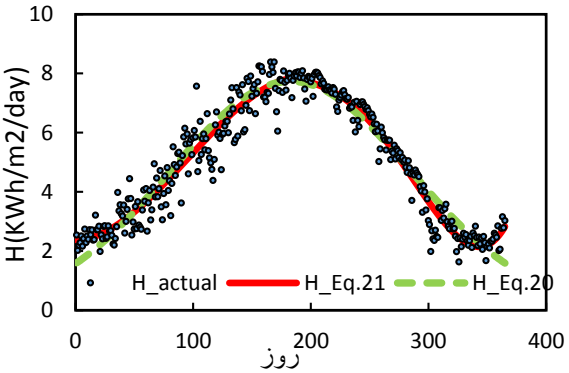
شـــود، میزان انحراف معیار انرژی دریافتی در روزهای مختلف یک ماه متغیر اســـت. در فصـــل های زمســـتان، بهار و پاییز به دلیل متغییر بودن آب و هوای روزانه میزان انحراف معیار زیاد اســت و در فصل تابستان میزان انحراف معیار کمتر است(شکل ۲-ب) بنابراین محاسبه زاویه بهینه به صورت روزانه و یا دوره مدت کوتاه‌تری ضروری می‌تواند باشد.



شکل ۲) میزان انرژی دریافتی روزانه(الف)، میزان انحراف معیار(ب)

در این مقاله دو مدل گوسی(رابطه ۲۰) و رگرسیونی درجه سوم و چهارم (رابطه۲۱) برای تخمین مقدار تابش در طول سال پیشنهاد و ارزیابی شد. به دلیل انحراف معیار تابش در طی روزهای سال و عمومیت بخشیدن به مقادیر زوایا بهینه کلکتور در منطقه مورد مطالعه داشتن مدلی جهت تخمین مقدار تابش ضروری است. شکل۳ مدل گوسی (eq20) و دو ضابطه‌ی (eq21) برازش شده برای مقادیر تابش در طی روزهای سال را نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می شود، شکل تغییرات تابع تابش برحسب روز از سال میلادی ابتدا با نزدیک‌تر شدن به فصل تابستان افزایشی است و سپس مقدار تابش روند نزولی پیدا می‌کند. مقادیر تابش در شش ماهه ابتدا سال میلادی تقریبا برابر با شش ماهه دوم سال می‌باشد. مقادیر ضرایب رگرسیونی برآورد شده برای تابع گوسی در رابطه ۲۴ و برای تابع دو ضابطه‌ی در رابطه‌ی ۲۵ نشان داده شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]



شکل۳) متوسط میزان انرژی تابشی دریافت شده در سطح افق طی شش سال همراه با تابع گوسی برازش شده.

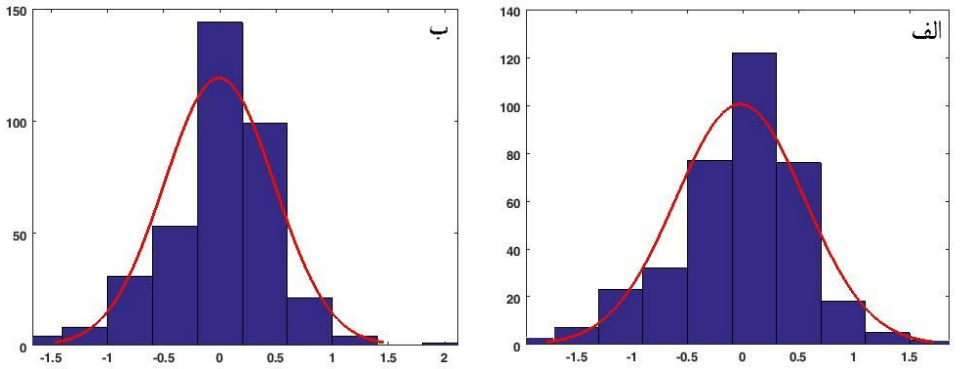
$$H = 7.73\exp\left(-\left(\frac{n-182.8}{144.9}\right)^2\right) \quad (۲۴)$$

$$H = -1.543\times10^{-6}\times n^3 + 0.0004415\times n^2 + 0.000761\times n + \\ H = -2.338\times10^{-8}\times n^4 - 2.219\times10^{-5}\times n^3 + 0.007545\times n \quad (۲۵)$$

شـــکل۴- الف توزیع فراونی خطاهای مدل گوســـی و شـــکل۴- ب توزیع فراونی خطاهای مدل دو ضابطه‌ی را در طول سال نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود مقدار دامنه خطای تخمین تابش افقی بیش از ۷۶ درصـــد از روزها بین ۰/۶- تا ۰/۶ اســـت. همچنین توزیع خطا ها نیز نزدیک به حالت نرمال می باشد.

برای ارزیابی اعتبار بیشتر مدل رگرسیونی گوسی و مدل دو ضابطه‌ی برازش شده، مقایسه آماری بین مقادیر پیش بینی شده تابش و مقادیر واقعی در سطح احتمال یک درصد انجام شد(جدول۱).

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]



شکل۴) توزیع فراوانی خطاهای مدل گوسی(الف) و مدل دو ضابطه‌ی
(ب) برازش شده در طول روزهای سال همراه با نمودار نرمال آن

جدول۱) عملکرد پیش بینی مدل رگرسیونی و دو ضابطه‌ی برازش شده

مدل مورد استفاده	Criterion of error					p-vlaue	
	R^2_{adj}	R^2	EF(%)	MAPE(%)	RMSE	Variance	Mean
مدل رگرسیونی(eq15)	۰/۹۲	۰/۹۲	۹۱/۸۹	۱۱/۶۰	۰/۵۷	۰/۸۵	۰/۸۶
مدل دو ضابطه (eq16)	۰/۹۴	۰/۹۴	۹۴/۲۵	۸/۷۳	۰/۴۹	۰/۵۹	۰/۹۶

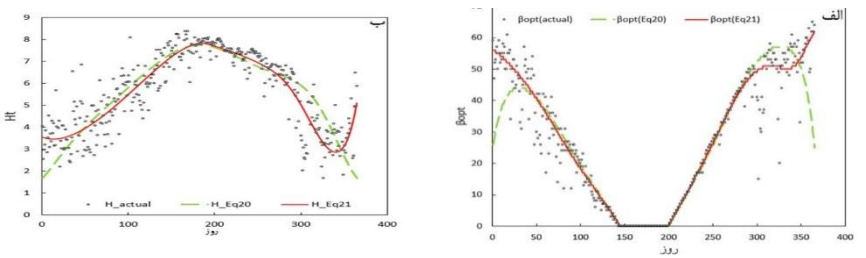
مقادیر p نشـــان می دهد که دو پارامتر آماری واریانس و میانگین بین دو مجموعه داده های واقعی و پیش بینی شده توسط مدل گوسی و مدل دو ضابطه‌ی در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند. همچنین مقادیر پایین خطا بر حســب دو معیار RMSE و MAPE و نیز مقادیر بالای

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

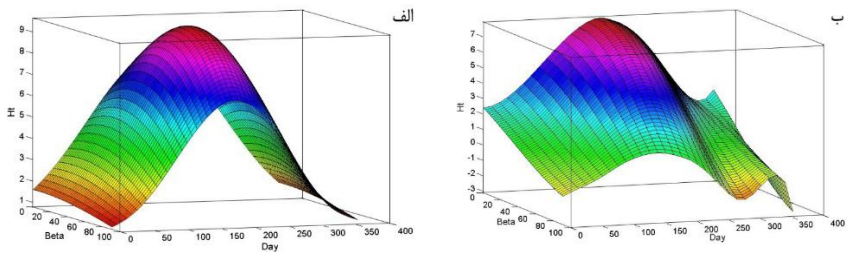
بازده پیش بینی(EF)، ضریب تبیین(R^2) و ضریب تبیین تصحیح شده(R^2_{adj}) نشان دهنده آن است که مدل دو ضابطه‌ی برازش شده را می‌توان با اطمینان برای تخمین تابش افقی استفاده کرد.

۵. تعیین شیب بهینه در سیستم تک محوره

پس از آنکه مدل گوسی برای تخمین روزانه تابش در موقعیت جغرافیایی منطقه بر اساس داده های تاریخی ۶ ساله برازش و ارزیابی شد. به کمک روش لیو جوردن آمقدار زاویه بهینه صفحه تک محوره که منجر به دریافت بیشترین انرژی روزانه می شود محاسبه گردید که در شکل۵- الف نشان داده شده است. در شکل ۵- ب می‌توان میزان انرژی بدست آمده به ازای β_{opt} متناظر هر روز را مشاهده کرد. مقادیر زاویه بهینه به صورت سالانه، ماهیانه و هفته ای محاسبه و در جدول ۲ نشان داده شده است. شکل شکل۶-الف نشان دهنده‌ی تغییرات Ht دریافتی در ازای β مختلف برای تمام روزهای سال است و شکل۶- ب نشان دهنده‌ی میزان Ht دریافتی در ازای β_{opt} بدست آمده در هر روز از سال است. از شکل می‌توان متوجه شد که در تابستان با کاهش زاویه‌ی شیب میزان انرژی افزایش یافته (رابطه‌ی عکس با یکدیگر دارند) و در زمستان با افزایش زاویه‌ی شیب میزان انرژی نیز افزایش می‌یابد.



شکل۵) الف) زاویه شیب بهینه پنل بر حسب روزانه ب) میزان **H** بدست آمده متناظر با β_{opt} برای هر روز



شکل۶. الف) تغییرات **Ht** به ازای **β** مختلف ب) تغییرات **Ht** به ازای β_{opt} در روزهای سال

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

با استفاده از زوایای بهینه‌ی بدست آمده میزان انرژی دریافتی در صورت استفاده از زاویه بهینه روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه محاسبه شد . نتایج بدست آمده نشان داد که میزان دریافت انرژی در کل سال نسبت به حالت ثابت به ترتیب ۱۳/۰۵،۱۵/۸۸ ، ۱۱/۲۷، ۹/۴۹٪ افزایش می‌یابد. در جدول ۳ مقادیر مجموع کل تابش دریافتی سال را برای هر یک از حالت‌های زاویه بهینه روزانه،ماهانه، فصلی و سالانه محاسبه شد. همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌کنید در صورت استفاده از شیب سالانه به جای عرض جغرافیایی منطقه میزان انرژی دریافتی افزایش خواهد یافت.

این میزان افزایش به صورت سالانه ا ست در حالی که در برخی از ماه‌های سال به ویژه تابستان در صورت استفاده از زاویه بهینه روزانه این میزان نیز بیشتر می‌شود به عنوان نمونه در ماه Jul (۱۱تیر تا ۱۰مرداد) این میزان به ۲۳٪ نیز می‌رسد و در کل سال میزان انرژی دریافتی ($kW.h/m^2$) ۲۱۱۸/۵۶ خواهد بود. در جدول ۴ درصد افزایش انرژی دریافتی برای هر ماه در صورت استفاده از زاویه بهینه روزانه محاسبه شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

جدول۲) مقادیر زاویه‌ی شیب بهینه‌ی ماهیانه، فصلی و سالیانه محاسبه شده براساس روش لیو جوردن

ماه سال	β_{opt} هفته‌ی اول	β_{opt} هفته‌ی دوم	β_{opt} هفته‌ی سوم	β_{opt} هفته‌ی چهارم	β_{opt} ماهیانه	β_{opt} فصلی	β_{opt} سالیانه
Dec	۵۵/۷۱	۵۴/۸۶	۵۲/۶۳	۵۹/۳۳	۵۵/۷۷	زمستان ۴۹/۲۱	۲۷/۸۳
Jan	۵۳/۲۹	۵۵/۵۷	۵۱/۳۸	۴۷/۷۸	۵۱/۷۱		
Feb	۴۳/۸۶	۴۵/۵۷	۳۸/۲۵	۳۲	۴۰/۱۴		
Mar	۳۱	۳۲/۱۴	۲۴/۵۷	۲۴/۲۹	۲۷/۲۹	بهار ۱۵/۷۷	
Apr	۲۳/۱۴	۱۹/۴۳	۱۵	۹/۲۵	۱۶/۴۰		
May	۷/۴۳	۵/۸۶	۲/۳۸	۰	۳/۶۱		
Jun	۰	۰	۰	۰	۰	تابستان ۵/۲۵	
Jul	۰	۰	۰/۵۰	۴/۲۲	۱/۳۵		
Aug	۸/۲۹	۱۱/۵۷	۱۵/۸۸	۲۰	۱۴/۳۹		
Sep	۲۵/۷۱	۲۹/۱۴	۳۲	۳۷/۲۵	۳۱/۲۷	پاییز ۴۱/۱۰	
Oct	۴۲/۲۹	۴۴	۴۷/۷۵	۳۹/۸۹	۴۳/۳۹		
Nov	۴۳/۱۴	۵۴	۴۶/۱۳	۵۱/۲۵	۴۸/۶۳		

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

جدول۳) مقادیر مجموع کل تابش دریافتی سال برای زاویه‌ی شیب بهینه‌ی ماهیانه، فصلی و سالیانه براساس روش لیو جوردن

تنظیم زاویه بهینه به صورت	روزانه	هفته ای	ماهانه	فصلی	شش ماه	سالانه (°۸۳/۲۷)	عرض جغرافیایی (°۲۷/۳۶)
مجموع H دریافتی در سال ($kW.h/m^2$)	۲۱۱۸/۵۶	۲۰۵۱/۷۳	۲۰۱۷/۵۵	۱۹۹۲/۲۰	۱۹۵۶/۰۵	۱۹۵۲/۰۳	۱۲۲۶/۱۶
درصد افزایش انرژی نسبت به حالت ثابت	۱۲/۴۲	۲۳/۴۰	۲۲/۳۹	۴۵/۳۸	۳۱/۳۷	۱۸/۳۷	-
درصد افزایش انرژی نسبت به حالت عرض جغرافیایی	۷۰/۸۸	۶۹/۳۳	۶۶/۷۰	۶۴/۰۷	۶۱/۵۲	۶۱/۴۴	-
درصد افزایش انرژی نسبت به حالت سالانه	۵/۸۵	۴/۸۸	۳/۲۶	۱/۶۳	۰/۰۵	-	-

جدول۴) درصد افزایش انرژی دریافتی برای هر ماه در صورت استفاده از زاویه بهینه روزانه براساس روش لیو جوردن

ماه سال	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
درصد افزایش انرژی	۳/۶۵	۵/۲۲	۴/۹۸	۱۴/۹۶	۱۲/۸۶	۲۱/۱۸	۲۲/۲۹	۲۰/۸۱	۱۷/۷۷	۱۱/۲۱	۶/۷۱	۴/۶۲

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

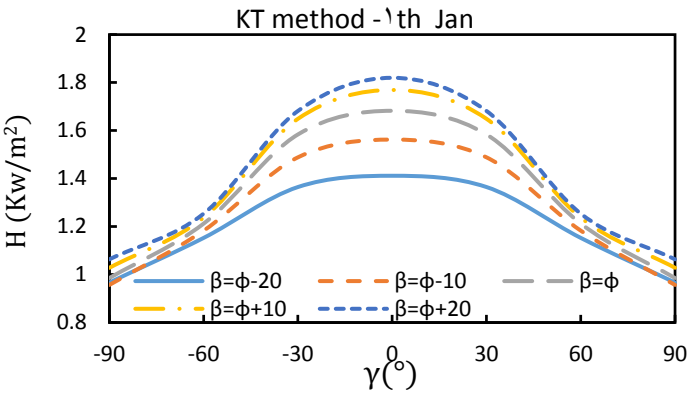
گومز در تحقیق خود از سیستم‌های فتوولتائیک متمرکز کننده استفاده کردند به همین دلیل میزان دریافت انرژی افزایش می‌یابد. در تحقیقات مختلف به این دلیل شیب سالانه برابر با عرض جغرافیایی بدست آمده چون آنها برای محاسبه شیب سالانه، زاویه بهینه ماهانه را در نظر گرفته اند. در صورتی که اگر زاویه بهینه روزانه در نظر گرفته شود زاویه‌ی بهینه سالانه کمتر از عرض جغرافیایی بدست خواهد آمد. خراسانی و مسیحی در تحقیق خود بیان کردند که در ماه آذر تشعشع ورودی روزانه به کلکتوری با شیب بهینه در مقایسه با تشعشع ورودی به سطح افقی ۷۰ ٪ بیشتر است و در سایر ماه ها میزان افزایش تفاوت می کند. آنها نیز زاویه‌ی شیب سالانه را برابر با عرض جغرافیایی معرفی نکردند. خطیبی و همکارانش نیز در نتایج خود بر تنظیم زاویه‌ی بهینه پنل‌های خورشیدی در کوتاه مدت توصیه کرده‌اند. همچنین مقدم و همکارانش بیان کردند که در شهرهای زاهدان و بندرعباس زاویه شیب بهینه تنها دو بار در سال تنظیم شود، نسبت به حالتی که سیستم درطول سال ثابت است، ۸٪ انرژی بیشتری دریافت می شود.

٦. تعیین شیب بهینه در سیستم دو محوره

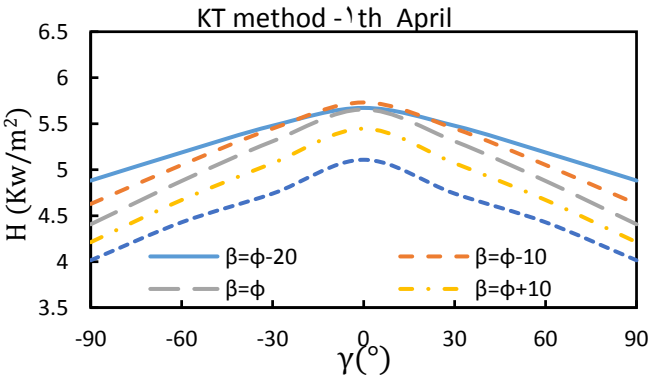
مدل ایزوتروپیک در مواردی کاربرد دارد که زاویه آزیموث برابر با صفر قرار داده شود. بنابراین از مدل کلین برای تعیین زوایای بهینه سیستم دو محوره استفاده شد. در پژوهش‌های گذشته عمدتا زاویه آزیموث را بررسی نکردند و مقدار بهینه را برابر با صفر در نظر گرفته‌اند. در این تحقیق با استفاده از مدل KT که انرژی دریافتی به سطح شیبدار را براساس دو زاویه‌ی شیب و آزیموث محاسبه می‌کند، زاویه بهینه آزیموث بدست آورده شده است.

در شکل‌های ۷ تا۱۰ مقدار انرژی متوسط رسیده به سطح شیبدار بر حسب زاویه آزیموث برای پنج زاویه شیب φ-20، φ-10، φ، φ+10، φ+20 برای برخی از روزهای سال نشان داده شده است. با توجه به شکل‌های ۷ تا ۱۰ می‌توان گفت که بیشترین دریافت انرژی مربوط به زاویه آزیموث صفر است. همچنین با افزایش زاویه آزیموث (چه در جهت مثبت وچه در جهت منفی) میزان انرژی دریافتی کاهش می‌یابد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

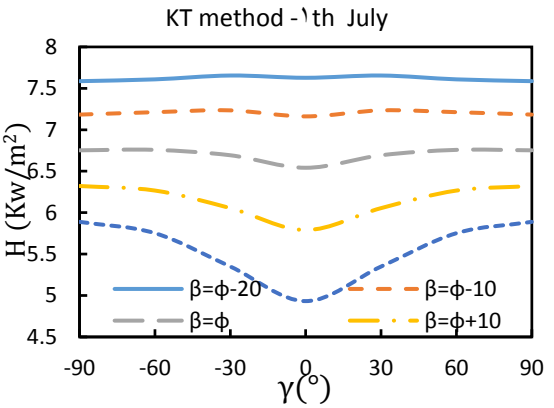


شکل۷) مقادیر متوسط روزانه انرژی تشعشعی کل رسیده به یک سطح شیبدار بر حسب زاویه آزیموث مختلف برای زوایای مختلف شیبدار در اولین روز ماه ژانویه

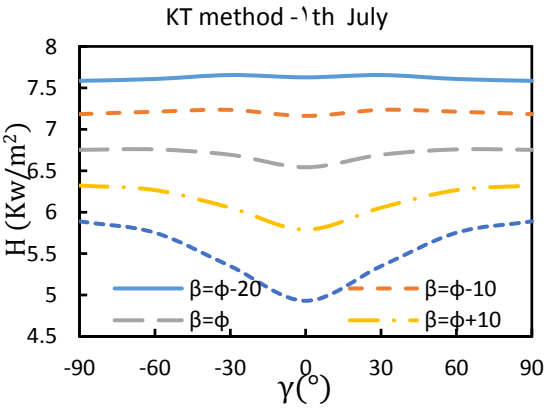


شکل۸) مقادیر متوسط روزانه انرژی تشعشعی کل رسیده به یک سطح شیبدار بر حسب زاویه آزیموث مختلف برای زوایای مختلف شیبدار در اولین روز ماه آوریل.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]



شکل۹) مقادیر متوسط روزانه انرژی تشعشعی کل رسیده به یک سطح شیبدار بر حسب زاویه آزیموث مختلف برای زوایای مختلف شیبدار در اولین روز ماه ژولای.

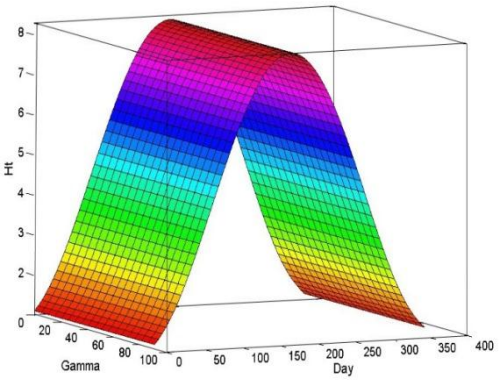


شکل۱۰) مقادیر متوسط روزانه انرژی تشعشعی کل رسیده به یک سطح شیبدار بر حسب زاویه آزیموث مختلف برای زوایای مختلف شیبدار در اولین روز ماه اکتبر.

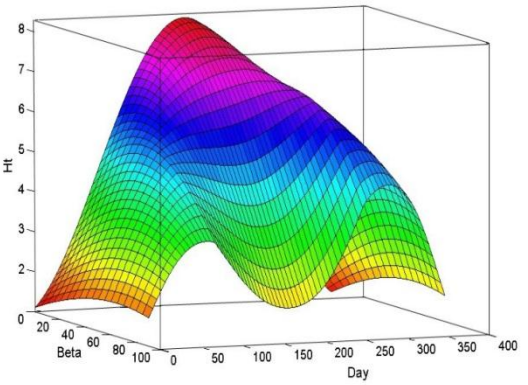
در شکل ۱۱ روند تاثیر گذاری زاویه آزیموث بر میزان انرژی دریافتی به ازای زاویه شیب برابر با صفر در روزهای مختلف سال نشان داده شده است. همچنین در شکل ۱۲ روند تاثیر گذاری زاویه شیب بر میزان انرژی دریافتی به ازای زاویه آزیموث برابر با صفر در روزهای مختلف سال نشان داده شده است. در شکل۱۳ روند تاثیر گذاری زاویه آزیموث و زاویه شیب بر میزان انرژی دریافتی در روز اول سال

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

میلادی نشان داده شده است که نتایجی که حاصل می شود . با توجه به اینکه روز اول سال میلادی برابر با ۱۱ دی ماه است؛ باید زاویه‌ی شیب به ۹۰ درجه نزدیک و زاویه‌ی آزیموث به صفر درجه هرچه نزدیکتر باشد میزان انرژی دریافتی افزایش می‌یابد.

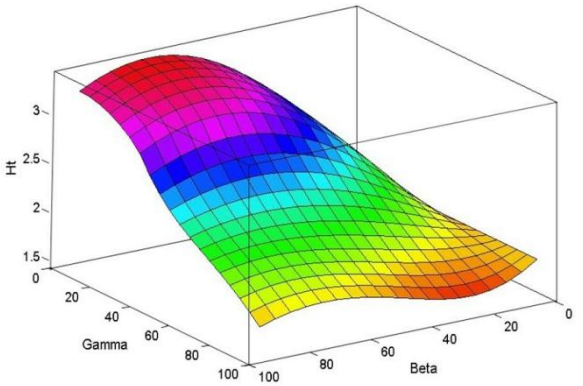


شکل۱۱) روند تاثیر گذاری زاویه آزیموث بر میزان انرژی دریافتی به ازای زاویه شیب ثابت در روزهای مختلف سال



شکل ۱۲) روند تاثیر گذاری زاویه شیب بر میزان انرژی دریافتی به ازای زاویه آزیموث ثابت در روزهای مختلف سال.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]



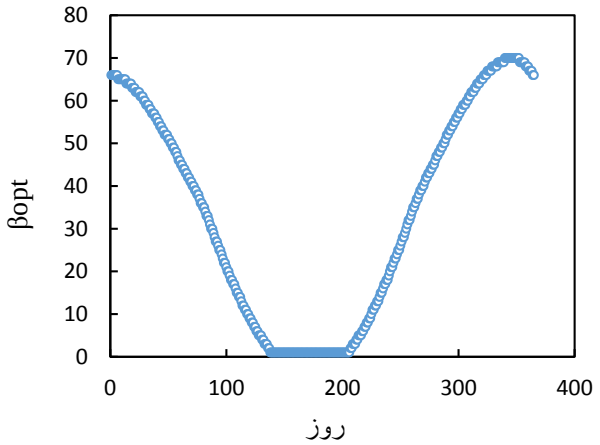
شکل۱۳) روند تاثیر گذاری زاویه آزیموث و زاویه شیب بر میزان انرژی دریافتی در روز اول سال میلادی

با بررسی نتایج بدست آمده از برنامه‌ی الگوریتم ژنتیک برای سیستم دو محوره می‌توان دریافت که بیشترین مقدار انرژی در ماه ژانویه در زاویه شیب φ+۲۰ می‌باشد. همچنین در ژوئن حداکثر مقدار انرژی برای زاویه شیب φ-۲۰ می‌باشد و زاویه آزیموث بهینه برای دریافت بیشترین انرژی در تمام سال برابر با صفر است . با استفاده از زوایای بهینه‌ی بدست آمده در سیستم دو محوره میزان انرژی دریافتی در صورت استفاده از زاویه بهینه روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه محاسبه شد . نتایج بدست آمده نشان داد که میزان دریافت انرژی در کل سال نسبت به حالت ثابت به ترتیب۲۹/۳۲، ۲۳/۴۸ ، ۱۸/۱۱، ۱۴/۲۴، ۱۱/۶۲، ۱۰/۳۱ ٪ افزایش می‌یابد. در جدول ۵ درصد افزایش انرژی هر یک از حالت‌های زاویه بهینه روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه نسبت به حالت ثابت و تک محوره محاسبه شد. در شکل ۱۴ زاویه‌ی شیب بهینه برای هر روز در سیستم دو محوره نشان داده شده است. به منظور مقایسه‌ی زاویه بهینه بدست آمده در سیستم تک محوره و دو محوره طرح آماری به روش مقایسه‌ی زوجی در سطح احتمال یک درصد انجام شد. نتایج مقایسات آماری مقادیر پیش بینی شده‌ی βopt دو سیستم به صورت مقادیر p برای مقایسات آماری میانگین و واریانس در جدول ۶ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که βopt دو سیستم در سطح یک درصد با یکدیگر اختلاف معنادار دارند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

جدول۵) درصد افزایش انرژی دریافتی در صورت استفاده از سیستم دو محوره

تنظیم زاویه بهینه به صورت	روزانه	هفته ای	ماهانه	فصلی	شش ماه	سالانه
درصد افزایش انرژی نسبت به حالت ثابت	۲۹/۳۲	۲۳/۴۸	۱۸/۱۱	۱۴/۲۴	۱۱/۶۲	۱۰/۳۱
درصد افزایش انرژی نسبت به حالت تک محوره	۱۰/۳۶	۸/۸۱	۵/۸۴	۳/۶۷	۳/۱۷	۲/۱۷



شکل۱۴) زاویه شیب بهینه‌ی بدست آمده برای هر روز در سیستم دو محوره

۷. نتیجه گیری

یکی از مهمترین عواملی که بر کارایی آرایه‌های خور شیدی و مقدار تابش دریافتی شان اثر می‌گذارد، زاویهٔ شیب آنها نسبت به سطح افق است. در نوشتار حاضر، مقدار تابش دریافتی روی سطوح شیبدار با زوایای مختلف در شهر مشهد با مدلسازی ریاضی، محاسبه و پس از بررسی، نتیجه گرفته می‌شود که :

۱. با توجه به انحراف معیار داده‌های تابشی، هر چه فاصله‌ی بین تنظیم شیب سیستم خورشیدی کمتر باشید انرژی دریافتی افزایش می‌یابد. هر چه فاصله‌ی تنظیم شیب کاهش یابد میزان انرژی دریافتی در کل سال افزایش می‌یابد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

۲. با تنظیم روزانه شیب بیشترین انرژی دریافتی را خواهیم داشت.

۳. مقدار بهینه‌ی زاویه آزیموث برای دریافت بیشترین میزان انرژی برابر با صفر است.

۴. زاویهٔ بهینه برای تنظیم فصلی در بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب°۱۵، °۵، °۴۱ و °۴۹ است. تفاوت زاویه‌ی بهینه به خصوص در بهار و تابستان نسبت به پاییز و زمستان بر اهمیت تنظیم زاویه شیب به صورت کوتاه مدت تاکید دارد.

۵. زاویه‌ی بدست آمده برای تنظیم سالانه برابر با °۲۸ است که این مقدار حدود ۸ درجه از عرض جغرافیایی منطقه کمتر است.

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] بهرامی.ا، و عباسپور ثانی.ک، ۱۳۹۱، تعیین زاویه شیب بهینه آرایه های خوشیدی در شرایط اقلیمی کرج، نشریه انرژی ایران.

[۳] ثقفی.م.ج، اسدی خاجی.م، پوینده.ر، 1389 ، شیب بهینه‌ی گردآوری‌های خورشیدی و مقایسه با حالت نصب شده روی نمای جنوبی در تهران.

[۴] خرا سانی،ح.، م سیحی، م. ۱۳۹۲. تعیین زاویه‌ی شیب بهینه‌ی ماهیانه، ف صلی، شش ماهه و سالانه کلکتورهای خورشیدی تخت در کاشان. نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت انرژی. ۴: ۴۸-۳۹.

[۵] طالبی‌زاده.پ، مهرابیان.م.ع، عبدال‌زاده.م،1390 . تعیین زوایای بهینه سطح و سمت الراس کلکتورهای تخت (مسطح) خورشیدی در متاطقی از جنوب شرق ایران ، مهندسی مکانیک شریف، ۲۸-۳.

[۶] عبدل‌زاده،م.، جعفری،س.، رهنما،م.، عامری،م. ۱۳۸۷. تعیین زاویه بهینه پنل خورشیدی برای دریافت بیشترین انرژی تشعشعی در شهر کرمان. نشریه بین المللی علوم مهندسی. ۱۹: ۹۸-۹۱.

[۷] نمازیان. ع، ۱۳۸۹. ا صول ا ستفاده از تابش خور شید در طراحی معماری تنظیم شرایط محیطی). انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.

[8] Adrian,W.Y.W., Durairajah,V and Gobee,S. 2014. Autonomous Dual Axis Solar Tracking System Using Optical Sensor and Sun Trajectory. Lecture Notes in Electrical Engineering 291.

[9] Benghanem, M. Optimization of Tilt Angle for Solar Panel: Case study for Madinah, Saudi Arabia. 2011. Applied Energy.88:4:1427–1433.

[10] Demain,C. Journée,M and Bertrand,C. 2013. Evaluation of different models to estimate the global solar radiation on inclined Surfaces. Renewable Energy. 50: 710-721.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

[11] Engin,M and Engin,D. 2013. Optimization Controller for Mechatronic Sun Tracking System to Improve Performance. Advances in Mechanical Engineering. 143652:9.
[12] Gopinathan KK, Maliehe NB, Mpholo MI, 2007, A study on the intercepted insolation as a function of slope and azimuth of th surface, Energy, pp.213-220.
[13] Khatib,T. Mohamed,M. Mahmoud,M and SopiaN,K. 2015. Optimization of the Tilt Angle of Solar Panels for Malaysia. Energy Sources. 37:606–613.
[14] Gomez –Gil Fj, wang X, Barnet A, 2012. Energy production of photovoltaic systems:fixed, tracking, and concentrating. Renewable and sustainable energy reviews 16(1):306-13.
[15] Klein.S.A, 1977. Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces. Solar Energy, VoL 19, pp. 325-329.
[16] Lahjouji.D, Darhmaoui.H, 2013. Tilt Angle Optimization for Maximum Solar Energy Collection - Case Study for !frane, Morocco.
[17] Liu, B.Y.H., Jordan, R.C. 1979. Daily Insolation on Surfaces Tilted Towards the Equator. Transactions ASHRAE, 526- 541, 1979.
[18] Moghadam, H., Farshchi Tabrizi, F. and Zolfaghari Sharak, A. 2011. Optimization of solar flat collector inclination. Desalination. 265: 107-111
[19] Talebizadeh.P ,Mehrabian.M.A andAbdolzadeh.M. 2014. Determination of Optimum Slope Angles of Solar Collectors Based on New Correlations", Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects.
[20] Tamimi A. l., 2011, Modeling of optimum inclination angles of solar systems for Amman, Jordan, Renewable and Sustainable Energy 3, 43109.
[21] Ulgen K.,2006, Optimum tilt angle for solar collectors Energy Sources, Part A: Recoveryy, Utilization and Environmental Effects, v 28, pp. 1171-1180

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]