



## تخمین تابش دریافتی از خورشید بر روی صفحات جاذب در شرایط اقلیمی شهر زنجان

ابوالفضل بیات - دانشجوی کارشناس ارشد تبدیل انرژی - دانشکده مهندسی مکانیک - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان

کمال عباسپورثانی - استادیار گروه تبدیل انرژی - دانشکده مهندسی مکانیک - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان

E-mail: [bayat\\_ab@yahoo.com](mailto:bayat_ab@yahoo.com)

چکیده: برای طراحی سیستم‌های خورشیدی در یک منطقه، گام اول محاسبه میزان تابش در آن منطقه می‌باشد. میزان تابش یک منطقه شامل چندین نوع می‌باشد که از آن جمله می‌توان به تابش ساعتی فراجو عمود بر جهت تابش و تابش ساعتی ورودی به جو عمود بر جهت تابش اشاره نمود که تابش دوم خود به ۲ نوع تابش ستونی و تابش پراکنده در جو زمین تقسیم می‌شود. از دو نوع تابش ستونی و پراکنده می‌توان در محاسبه تابش ساعتی جذب شده توسط صفحات جاذب تابش استفاده نمود. در این مقاله ابتدا به محاسبه انواع تابش‌های مورد اشاره و عوامل مرتبط با آنها در شرایط اقلیمی شهر زنجان پرداخته می‌شود. و در نهایت، مقدار تابش ساعتی جذبی شهر زنجان بر حسب ساعات مختلف شبانه روز ارائه می‌گردد. این مقدار از  $240 \text{ W/m}^2$  در ماه‌های کم تابش تا میزان  $450 \text{ W/m}^2$  در ماه‌های پرتابش متغیر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تابش جذب شده خورشیدی، تابش فراجو، تابش ورود به جو، شرایط اقلیمی شهر زنجان

## Prediction of Solar Irradiation on Plate Absorbers in Zandjan Climate

A. Bayat, M.S. student in, Dept. of Mech. Eng., Takestan Branch, Islamic Azad University  
K. Abbaspoursani, Ass. Prof., Dept. of Mech. Eng., Takestan Branch, Islamic Azad University

**Abstract:** The first step in design of a solar system is prediction of the solar irradiance in a prescribed region. Commonly, the irradiance has some components which are the normal extraterrestrial irradiance and other is the normal outgoing to atmosphere. The later in turn has two suncomponents, direct or beam and diffuse, respectively. In this paper first, the solar irradiance and its parameters are predicted in Zandjan climate and then annually, for each month the hourly radiation are estimated in average days in each month. The results show that the amount of this irradiance varies between  $240-450 \text{ W/m}^2$  through the year.

**Keywords:** Incident solar irradiance, extraterrestrial irradiance, Zandjan climate.

## ۱- مقدمه

که صفحه جاذب گردآورنده در دمای  $T_{ff}$  باشد، است. این مقدار ما بین ۰ و ۱ می‌باشد. و مطابق رابطه (۲) محاسبه می‌گردد.

$$FR = \frac{\dot{m}C_p}{U_L A_C} \left[ 1 - \exp\left(\frac{-F' U_L A_C}{\dot{m}C_p}\right) \right] \quad (2)$$

$m^{\circ}$  مقدار دبی جرمی و  $C_p$  ظرفیت گرمایی ویژه سیال می‌باشد. با توجه به اینکه در جمع کننده تخت مورد مطالعه، لوله‌های سیال در میان صفحه جاذب قرار دارند، از رابطه (۳) برای محاسبه  $F'$  استفاده شده است.

$$F' = \frac{1}{W U_L \left[ \frac{1}{U_L [(W - D_o)\phi] + D_o} \right] + \frac{1}{\pi D_i h_f}} \quad (3)$$

که در رابطه فوق  $D_i$  قطر داخلی لوله،  $D_o$  قطر خارجی لوله و  $h_f$  ضریب انتقال حرارت جابجائی سیال در سطح داخلی لوله می‌باشد. در رابطه (۳) هیچ عبارتی که بیان کننده مقاومت حرارتی چسب باشد وجود ندارد. چرا که لوله‌ها در میان صفحه جاذب جاسازی شده‌اند.

۴- تخمین ضریب تلفات کلی از جمع کننده تخت خورشیدی  $U_L$  که ضریب تلفات کلی از جمع کننده نام دارد و به صورت مجموع تلفات از بالا و عایق‌های کناری و پشت جمع کننده می‌باشد از رابطه (۴) محاسبه می‌گردد.

$$U_L = U_t + U_b + U_o \quad (4)$$

برای هر یک از ضرایب تلفات جمع کننده روابط خاصی معرفی شده است. برای ضریب  $U_t$  که ضریب تلفات از بالای صفحه جمع کننده است رابطه (۵) حاکم می‌باشد که در این رابطه  $N$  تعداد پوشش‌های شفاف و سایر پارامترها مطابق روابط (۶) الی (۹) محاسبه می‌گردند.

با توجه به وضعیت آب و هوایی ایران و بالا بودن میزان تابش اشعه خورشید در واحد سطح، می‌توان انرژی خورشید را به عنوان جایگزین مناسب برای سوخت‌های فسیلی در نظر گرفت. طبق بررسی‌های انجام شده، تغییرات شدت تابش در سطح کشور ایران در حد مطلوبی بوده و می‌توان از این منبع به منظور تامین بخشی از انرژی کشور استفاده نمود.

جهت تبدیل انرژی خورشید به انواع مختلف انرژی‌های مورد نیاز، تجهیزات متنوعی وجود دارد که یکی از آنها جمع کننده تخت خورشیدی، جهت تولید انرژی حرارتی می‌باشند. جمع کننده‌های تخت خورشیدی، رایج ترین نوع جمع کننده‌های خورشیدی می‌باشند و در مواردی که به دمای کمتر از  $90^{\circ}C$  نیاز باشد، کاربرد دارند [۱].

## ۲- تخمین میزان انرژی تولیدی توسط یک جمع کننده

جمع کننده‌های تخت خورشیدی در حالت کلی برای تولید آب گرم، هوای گرم و یا بخار آب در فشار پائین به کار می‌روند. و معمولاً به طور ثابت با شیب و جهت مطلوبی که بستگی به موقعیت جغرافیایی محل و نوع و زمان استفاده از آن‌ها دارد، نصب می‌کنند.

حرارت مفید قابل جذب توسط یک جمع کننده تخت خورشیدی از رابطه (۱) بدست می‌آید. [۲]

$$q_u = F_R A_C [S - U_L (T_{ff} - T_a)] \quad (1)$$

در رابطه (۱)  $F_R$  نرخ حرارت مفید واقعی،  $A_C$  سطح کلکتور،  $S$  مقدار تابش جذب شده،  $U_L$  ضریب کلی تلفات حرارتی از کلکتور،  $T_{ff}$  دمای صفحه جاذب و  $T_a$  دمای محیط می‌باشد.

## ۳- محاسبه نرخ حرارت مفید واقعی

$F_R$  بیان کننده نرخ حرارت مفید واقعی به دست آمده نسبت به مقدار حرارتی که می‌توانست جذب شود، در صورتی

عایق لبه‌های کلکتور است.

#### ۵- محاسبه میزان تابش جذب شده در شهر زنجان

در این بخش به بررسی نحوه محاسبه و نتایج تابش ساعتی جذب شده برای شهر زنجان پرداخته می‌شود. پارامترهای مختلفی بر میزان جذب شده تأثیرگذار می‌باشد. از جمله این پارامترها مؤلفه های مربوط به شیشه روکش کلکتور است که شامل ضریب عبور، میزان جذب و قوه انعکاس آن و ضخامت شیشه مورد استفاده، ضریب خاموشی آن و همچنین تعداد لایه هایی که به عنوان روپوش به کار برده می شود می باشد.

در این تحقیق برای شار جذب شده ساعتی از رابطه معمول و مشهور ایزوتروپیک [۲] استفاده شده است. رابطه محاسبه تابش جذبی در روش ایزوتروپیک به صورت رابطه (۱۳) بیان می‌شود.

$$S_{iso} = I_b R_b (\tau \alpha)_b + 0.5 \left[ I_d (\tau \alpha)_d (1 + \cos \beta) + \rho_g (I_b + I_d) (\tau \alpha)_g (1 - \cos \beta) \right] \quad (13)$$

زاویه  $\beta$  زاویه‌ای است که صفحه کلکتور با افق خواهد داشت که این زاویه به زاویه شیب (Slope) معروف است. زاویه  $\beta$  به طور مستقیم تابعی از عرض جغرافیایی است و برای هر یک از کشورهای دنیا فرمولی تجربی و متفاوت با کشوری دیگر دارد. در ایران پیشنهاد می‌شود برای انتخاب زاویه شیب عرض جغرافیایی محلی ( $\varphi$ )، را در نظر بگیریم. اما این فقط یک تقریب است بهترین نتیجه را با محاسبه از طریق سعی و خطا می‌توان به دست آورد که در این تحقیق همان عرض جغرافیایی  $36/41^\circ$  در نظر گرفته شده است.

ضریب  $R_b$  نتایج تغییر زاویه قرارگیری خورشید را بیان می‌کند. این ضریب از رابطه (۱۴) به دست می‌آید.

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (14)$$

$$U_t = \left[ \frac{N}{\frac{C}{T_{pm}} \left( \frac{T_{pm} - T_{am}}{N = f} \right)^e + \frac{1}{h_w}} \right]^{-1} + \frac{\sigma (T_{pm} - T_{am}) (T_{pm}^2 + T_{am}^2)}{\left( \varepsilon_p + 0.00591 N h_w \right) \left( \frac{2N + f - 1 + 0.133 \varepsilon_p}{\varepsilon_g} \right) - N} \quad (5)$$

$$f = (1 + 0.089 h_w - 0.1166 h_w \varepsilon_p) (1 + 0.07866 N) \quad (6)$$

$$C = 520 (1 + 0.00005189 \beta^2) \quad (7)$$

$$h_w = 9.4 V_m^{0.5} \quad (8)$$

$$e = 0.43 \left( 1 - \frac{100}{T_{pm}} \right) \quad (9)$$

$$U_b \cong \frac{K.A}{d} \quad (10)$$

$$U_e \cong \frac{(U.A)_e}{A_c} \quad (11)$$

$$(U.A)_e = \frac{P.d_c.K_e}{d_e} \quad (12)$$

در روابط فوق  $\varepsilon_p$  ضریب نشر صفحه،  $\varepsilon_g$  ضریب نشر شیشه و  $h_w$  ضریب جابجایی باد روی صفحه کلکتور که مایل شده است می‌باشند.

ضریب تلفات از لبه‌ها و از پشت کلکتور نیز مطابق روابط (۱۰) و (۱۱) تعیین می‌گردند.

$$U_b \cong \frac{K.A}{d} \quad (10)$$

که  $K$  ضریب هدایت حرارتی عایق،  $A$  مساحت عایق پشت کلکتور و  $d$  ضخامت عایق می‌باشد.

$$U_e \cong \frac{(U.A)_e}{A_c} \quad (11)$$

$$(U.A)_e = \frac{P.d_c.K_e}{d_e} \quad (12)$$

که  $A_c$  مساحت صفحه جاذب کلکتور،  $P$  محیط کلکتور،  $d_c$  ضخامت کلکتور،  $K_g$  هدایت حرارتی عایق لبه و  $d_g$  ضخامت

$$\tau_g = \tau_r \times \tau_a \quad (20)$$

برای محاسبه دو ضریب  $\tau_a$  و  $\tau_r$  از روابط (۲۱) و (۲۲) استفاده می شود.

$$\tau_a = \exp\left(-\frac{k.l}{\cos \theta_z}\right) \quad (21)$$

$$\tau_r = 0.5 \left( \frac{1-r_{II}}{1+r_{II}} + \frac{1-r_{\perp}}{1+r_{\perp}} \right) \quad (22)$$

$k$  ضریب خاموشی است و برای پوشش شفاف شیشه‌ای برابر با ۳۲ و  $L$  فاصله نوری پوشش بر حسب متر و برای پوشش شفاف شیشه‌ای ۰/۰۰۲۳ متر است.

$\theta_z$  زاویه شکست روکش می‌باشد که تابعی از زاویه تابش مستقیم می‌باشد و از رابطه (۲۳) به دست می‌آید.

$$\theta_r = \text{Arc sin} \left( \frac{\sin \theta}{1.526} \right) \quad (23)$$

همچنین  $r_{\perp}$  و  $r_{II}$  به ترتیب ضرایب انعکاس روکش نسبت به حالت تابش موازی و تابش عمودی می‌باشد که با استفاده از روابط (۲۴) و (۲۵) قابل محاسبه می‌باشند.

$$r_{II} = \frac{\tan^2(\theta_r - \theta)}{\tan^2(\theta_r + \theta)} \quad (24)$$

$$r_{\perp} = \frac{\sin^2(\theta_r - \theta)}{\sin^2(\theta_r + \theta)} \quad (25)$$

در رابطه (۱۳)، اندیس  $d$  و  $g$  به ترتیب مربوط به مؤلفه‌های پخش و انعکاسی از زمین می‌باشند و برای محاسبه  $(\tau\alpha)_g$  و  $(\tau\alpha)_d$  تمام مراحل کاملاً مشابه حالت  $(\tau\alpha)_b$  می‌باشد. فقط تفاوت آنجاست که به ازای هر  $\beta$  که انتخاب می‌شود رابطه‌ای وجود دارد که از آن‌ها زوایای برخورد برای مؤلفه‌های پخشی و انعکاسی زمین به دست می‌آید. که برخلاف  $\theta$  یا همان  $\theta_b$  ضرایب  $\theta_g$  و  $\theta_d$  ثابت هستند و به صورت ساعتی با تغییر زاویه خورشید تغییر نمی‌کنند. با به دست آوردن  $\theta_g$  و  $\theta_d$  از روابط (۲۶) و (۲۷) می‌توان تمامی مراحل ذکر

زاویه  $\theta$  زاویه بین تابش مستقیم خورشید با راستای عمود بر صفحه تابش است که به زاویه برخورد معروف است.

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \cdot \sin \phi \cdot \cos \beta - \\ & \sin \delta \cdot \cos \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma + \\ & \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \beta \cdot \cos \gamma + \\ & \cos \delta \cdot \sin \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \cdot \sin \omega \\ & + \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega \end{aligned} \quad (15)$$

برای رابطه (۱۵) اگر سیستم را به سمت جنوب قرار دهیم مقدار زاویه  $\gamma$  برابر صفر خواهد شد، در نتیجه رابطه (۱۵) به رابطه ساده تری به صورت رابطه (۱۶) تبدیل می‌شود.

$$\cos \theta = \cos \delta \cdot \cos(\phi - \beta) \cdot \cos \omega + \sin(\phi - \beta) \sin \omega \quad (16)$$

$\theta_z$  زاویه بین تابش مستقیم خورشید و راستای عمود بر صفحه افق است که زاویه سمت الرأس نامیده می‌شود. برای تعیین زاویه  $\theta_z$  نیز می‌توان رابطه (۱۷) را به کار برد.

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \omega + \sin \phi \cdot \sin \delta \quad (17)$$

ضریب  $(\tau\alpha)_b$  در رابطه (۱۳) مضربی است از حاصل ضرب ضریب عبور پوشش شفاف و ضریب جذب صفحه جذب در هر ساعت با توجه به زاویه‌ای که راستای تابش مستقیم با صفحه جذب دارد. که در روش ایزوتروپیک از رابطه (۱۸) بدست می‌آید.

$$(\tau\alpha)_b = 1.01 \tau_g \cdot \alpha_p \quad (18)$$

که در آن ضریب صفحه جذب طبق (۱۹) محاسبه می‌گردد.

$$\alpha_p = \alpha_n \left( 1 + 2.0345 \times 10^{-3} \theta - 1.99 \times 10^{-4} \theta^2 + 5.324 \times 10^{-6} \theta^3 - 4.799 \times 10^{-8} \theta^4 \right) \quad (19)$$

$\alpha_n$  ضریب جذب صفحه نسبت به حالتی است که تابش به صورت عمودی بر صفحه می‌تابند و این ضریب برای جنس‌های مختلف صفحه مقادیر متفاوت است. در این تحقیق جنس صفحه جذب انتخابی مس می‌باشد که نسبت به مؤلفه قائم تابش ضریب جذبی برابر ۰/۹۵ دارد.

در رابطه (۱۸) با استفاده از رابطه (۲۰) تعیین می‌گردد.

جمع‌کننده تخت خورشیدی، اکنون می‌توان میزان حرارت فوق را برای ماه‌های مختلف و شرایط دمایی گوناگون در منطقه زنجان محاسبه نمود. در شکل‌های (۵) تا (۸) میزان حرارت تولید شده توسط یک جمع‌کننده تخت خورشیدی برای شهر زنجان برحسب میانگین ساعتی آمده است.

#### ۷- نتیجه‌گیری

انرژی میانگین ماهیانه تولیدی در یک جمع‌کننده تخت خورشیدی در شرایط اقلیمی شهر زنجان، در طول سال از کمترین میزان خود در دی ماه که برابر 5.8 MJ است تا بیشترین مقدار خود در تیرماه برابر 19.5 MJ متغیر می‌باشد. که نتایج آن برای ماه‌های مختلف سال در شکل (۹) آورده شده است.

در جمع بندی نهایی، مقدار انرژی سالیانه تولیدی توسط یک جمع‌کننده تخت خورشیدی در شرایط اقلیمی شهر زنجان برابر 5209 MJ تعیین گردیده است.

#### ۸- تشکر و قدردانی

در پایان از حمایت‌های علمی و مالی شرکت گاز استان زنجان، تشکر و قدردانی می‌گردد.

#### ۹- مراجع

[1] Kalogirou S. A., "Solar Thermal Collectors and Applications", Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 30, pp. 231-295, (2004).

[2] Duffie J. A., and Beckman W. A., "Solar Engineering of Thermal Processes", Second Edition, Madison, USA, A wiley-interscience Publication, (1991).

[3] <http://www.wather.com>

شده در بخش قبل را تکرار کرد تا  $(\tau\alpha)_g$  و  $(\tau\alpha)_d$  را به دست آورد.

$$\theta_g = 90 - 5.788 \times 10^{-1} \beta + 2.6 \times 10^{-3} \beta^2 \quad (26)$$

$$\theta_d = 59.6 - 1.388 \times 10^{-1} \beta + 1.497 \times 10^{-3} \beta^2 \quad (27)$$

براساس روابط بیان شده و با استفاده از اطلاعات منطقه زنجان [۳] می‌توان به محاسبه میزان تابش جذبی در این منطقه پرداخت. در شکل‌های (۱) تا (۴) میزان تابش جذبی منطقه زنجان براساس ماه‌های مختلف نمایش داده شده است.

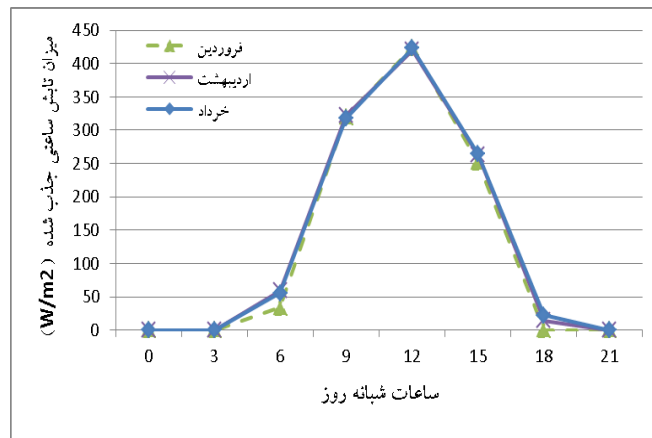
همانطور که در شکل‌های فوق مشخص است، مقدار تابش جذبی منطقه زنجان بر حسب ساعات مختلف شبانه روز از مقدار  $240 \text{ W/m}^2$  در ماه‌های کم تابش تا میزان  $450 \text{ W/m}^2$  در ماه‌های پرتابش متغیر می‌باشد.

#### ۶- میزان انرژی مفید جمع‌کننده در شرایط اقلیمی شهر زنجان

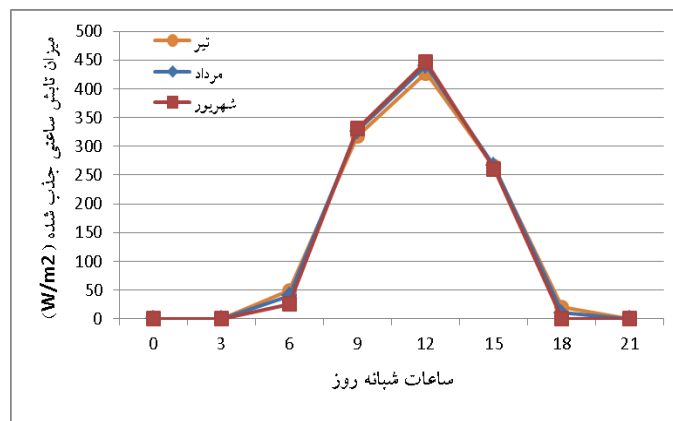
در این بخش هدف ارائه نتایج تولید حرارت با استفاده از یک کلکتور صفحه تخت در شهر زنجان می‌باشد. در ایران خوشبختانه سازندگان و وارد کنندگان تجهیزات بهره برداری از انرژی خورشیدی رو به افزایش است و در چند سال اخیر شرکت‌ها و بخش‌های مرتبط با این صنعت رو به افزایش می‌باشد.

در این پژوهش مشخصات یک کلکتور از شرکت KBB جهت استفاده در سیستم خورشیدی مورد نظر انتخاب گردید که مشخصات آن در جدول شماره (۱) آمده است.

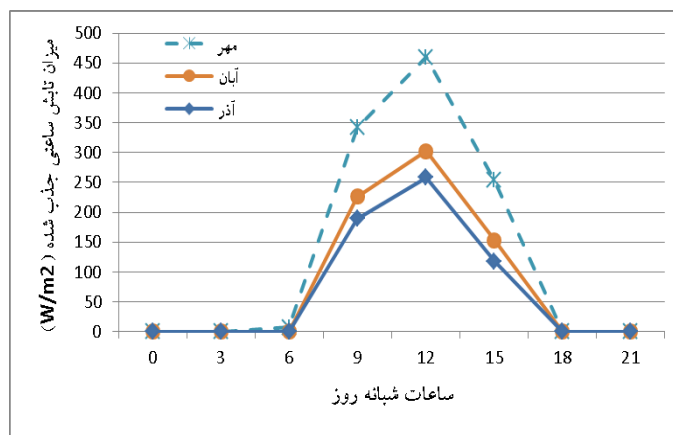
همان‌طور که در جدول (۱) مشخص است مساحت واقعی کلکتور مورد استفاده  $2 \text{ m}^2$  می‌باشد. همچنین با استفاده از مشخصات کلکتور میزان دبی جرمی در گردش برای کلکتور نیز  $80 \text{ kg/hr}$  در نظر گرفته می‌شود. با توجه به فرضیات بیان شده و تشریح روش محاسبه میزان حرارت تولید شده توسط یک



شکل (۱): میزان تابش خورشیدی جذبی در فصل بهار



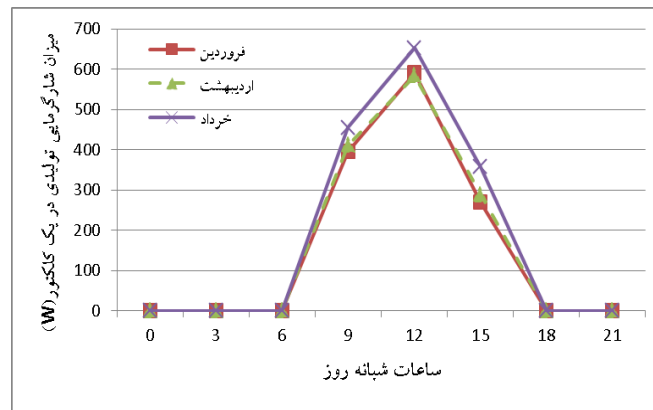
شکل (۲): میزان تابش خورشیدی جذبی در فصل تابستان



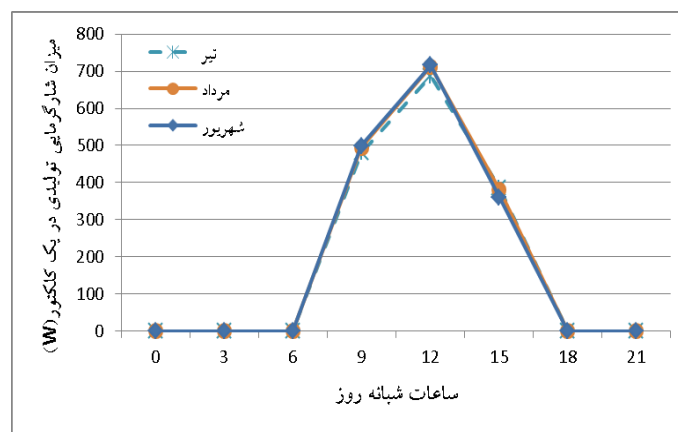
شکل (۳): میزان تابش خورشیدی جذبی در فصل پائیز



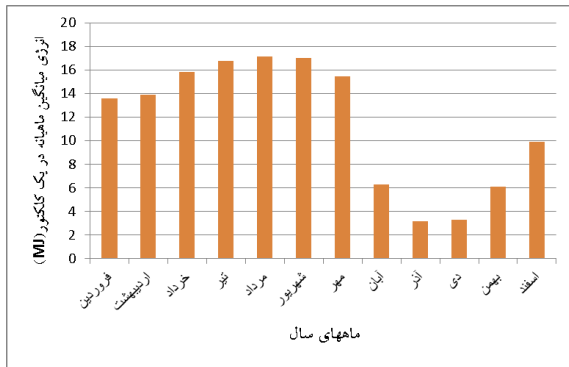
شکل (۴): میزان تابش خورشیدی جذبی در فصل زمستان



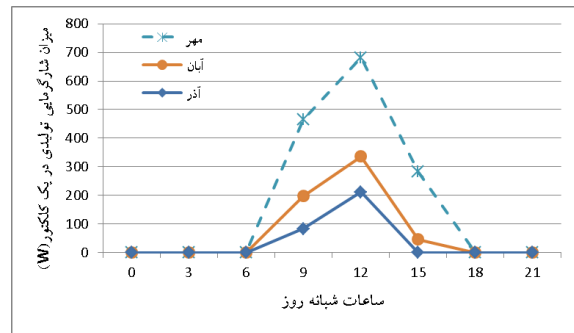
شکل (۵): میزان شار گرمایی تولیدی در جمع کننده در فصل بهار



شکل (۶): میزان شار گرمایی تولیدی در جمع کننده در فصل تابستان



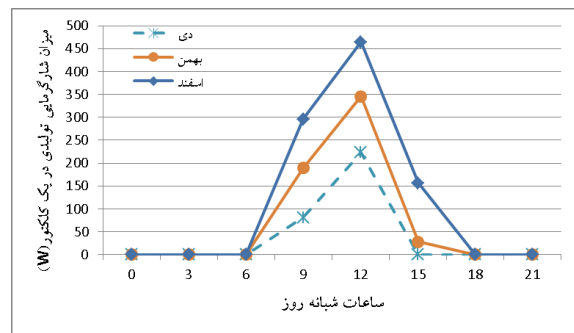
شکل (۹): روند تغییرات انرژی میانگین ماهانه در جمع‌کننده در طی سال



شکل (۷): میزان شار گرمایی تولیدی در جمع‌کننده در فصل پائیز

جدول (۱): مشخصات کلکتور خورشیدی مورد استفاده

۱۸۷۰ mm	طول جمع‌کننده
۱۱۵۰ mm	عرض جمع‌کننده
۷۵ mm	ضخامت جمع‌کننده
شیشه	جنس روکش
۳,۲ mm	ضخامت روکش
۰,۵ mm	ضخامت صفحه جاذب
۱۰ mm	قطر داخلی لوله‌ها
۱۲ mm	قطر خارجی لوله‌ها
۱۵۰ mm	فاصله لوله‌ها
۲ m <sup>2</sup>	مساحت صفحه جاذب
مس	جنس صفحه جاذب



شکل (۸): میزان شار گرمایی تولیدی در جمع‌کننده در فصل پائیز