سال پنجم، شماره دوم، زمستان ۱۳۹۷، ص ص ۹۹ - ۱۰۶
فصل‌نامه علمی – ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو
jrenew.ir
مقاله
تاریخ دریافت:۱۳۹۷/۰۴/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۰

طراحی و ساخت سامانه‌ی تعقیب‌کننده‌ی خورشیدی سه حالته (عملکرد بر اساس شرایط جوی) به همراه سامانه‌ی تشخیص زاویه

مجتبی هادی[۱]، بهنام مستاجران*[۲]، نوید ایوبیان[۳]، محمد اسلامی[۴]

۱- کارشناسی ارشد، مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشگاه اصفهان، اصفهان
۲- استادیار، مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر ، دانشگاه اصفهان، اصفهان
۳- دانشیار، مهندسی هسته‌ای، دانشگاه اصفهان، اصفهان
۴- کارشناسی ارشد، مهندسی مکاترونیک، دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب، تهران
* اصفهان، کد پستی ۸۱۷۴۶۷۳۴۴۱ b.mostajeran@ast.ui.ac.ir

چکیده

در این مقاله سامانه‌ی تعقیب‌کننده‌ای طراحی شده است که با در نظر گرفتن شرایط جوی، خورشید را در دو راستای افقی و عمودی تعقیب می‌کند. دراین تعقیب‌کننده، دو حسگر نوری در دو مکان مختلف بر بشقاب نصب گردیده است و در هر لحظه میانگین نور دریافتی دو حسگر، گرفته می‌شود. از مقایسه‌ی میانگین به دست آمده با اعداد معینی، شرایط آب و هوای محیط (۱-شب، ۲-روز و آفتابی، ۳-روز و ابری) تشخیص داده می‌شود و سپس با توجه به این تشخیص، سامانه از الگوریتم خاصی برای تعقیب خورشید استفاده می‌کند. هنگامی که شرایط محیط، روز و آفتابی است از حسگر برای یافتن جهت خورشید استفاده می‌کند. هنگامی که شرایط محیط، روز و ابری است، بر اساس معادلات حرکت خورشید، مسیر خورشید دنبال می‌شود و زمانی که شب فرا می‌رسد سامانه قطع شده و برای شروع دوباره در فردا، به مکان اولیه باز می‌گردد. در استفاده از معادلات حرکت خورشید (در شرایط نامساعد جوی) نیازمند سامانه‌ی تشخیص زاویه می‌باشیم. برنامه‌نویسی تعقیب‌کننده به زبانC، در محیط کدویژن انجام گرفت و بر میکروکنترلر AVR پیاده‌سازی شد. تعقیب‌کننده در نرم‌افزار پروتیوس شبیه‌سازی و نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نتایج دقیق حاصل از نرم‌افزار نجوم مقایسه شد. سامانه‌ی مذکور را می‌توان بر روی هر وسیله‌ای که از نور خورشید استفاده می‌کند، نصب کرد و به این ترتیب بازدهی عملکرد آن را افزایش داد.

کلیدواژگان:انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی، تعقیب‌کننده‌ی خورشیدی، حسگر نوری، کوره‌ی خورشیدی

Design and construction of two-axis solar tracking system with angle detection system for a Dish with a diameter of 3.2meter

Mojtaba Hadi[1],Behnam Mostajeran Goortani[2*],navid ayoobian[3],Mohammad eslami[4]

1- Renewable Energy Engineering Department, Faculty of Advanced Sciences and Technologies, Isfahan University, Isfahan, Iran
2- Renewable Energy Engineering Department, Faculty of Advanced Sciences and Technologies, Isfahan University, Isfahan, Iran
3- Department of Science and New Technologies, Isfahan University, Isfahan, Iran
4- Department of Engineering, Islamic Azad University south Tehran Branch, Tehran, Iran
* P.O.B. 8174673441, Isfahan, Iran, b.mostajeran@ast.ui.ac.ir

Abstract

A sun tracking system has been designed and fabricated. This system tracks the sun movement in horizontal and vertical directions under all weather conditions. Two light sensors receive the sun light, under various environment conditions (1- night 2- day an sunny 3- day and cloudy) and send signals to a microcontroller. An algorithm, based on comparing the average difference between the two signals, is written. When it is sunny the system uses sensors to find the direction of the sun. During cloudy hours, the tracking is according to sun movement equations. At night, the system stops and the next morning it returns to its original location. The programming of this system is written in C language in Codevision and on AVR micro controller. Tracking system has been simulated in Proteus and the results of simulation were compared with results of astronomy software. This system is capable to be installed and operate on systems harvesting solar energy.

Keywords: Renewable energies, solar energy, solar tracking, light sensors, solar furnace

۱- مقدمه

خورشید بزرگترین منبع انرژی و منشا انرژی‌های دیگر در جهان است. در هر ثانیه۲,۴ میلیون تن از جرم خورشید به انرژی تبدیل می‌شود. با توجه به وزن خورشید که حدود ۳۳۳ هزار برابر وزن زمین است، این کره‌ی نورانی را می‌توان به عنوان منبع عظیم انرژی تا ۵ میلیارد سال دیگر به حساب آورد[۱]. به طور کلی از انرژی خورشیدی در پنل های فتوولتاییک و یا به صورت گرمایی استفاده می‌شود. استفاده از انرژی گرمایی خورشید اغلب به صورت‌های زیر امکان‌پذیر است:

گردآورنده‌ی مسطح، برج‌های خورشیدی، گردآورنده‌های سهموی.

سامانه‌های تعقیب‌کننده، اغلب برای پنل‌های فتوولتاییک و گردآوردهای سهموی، طراحی و ساخته می‌شود. این سامانه‌ها بسته به نوع کاربرد می‌تواند دو محوره یا تک محوره ساخته شوند. سامانه‌ی تک محوره، تنها حرکت افقی خورشید از شرق به غرب را تعقیب می‌کند و سامانه‌ی دو محوره هر دو حرکت افقی و عمودی خورشید را تعقیب می‌کند[۲,۳].

به طور کلی اصول سامانه‌های متداول ردیاب خورشیدی براساس تعقیب خورشید به دو روش فعال یا غیر فعال می‌باشد.

سامانه‌ی ردیاب فعال:

سامانه‌ی ردیاب خورشیدی فعال، به سامانه‌هایی اطلاق می‌گردد که بر اساس تشخیص نور خورشید مسیر حرکت خورشید را تشخیص می‌دهند و فرمان مناسب جهت چرخش سامانه به سمت خورشید را صادر می‌کند. سامانه‌هایی که با استفاده از انواع حسگر (شامل دیود نوری، ترانزیستور نوری، مقاومت نوری، حسگر خورشیدی و....) طراحی شده‌اند در این دسته قرار می‌گیرند.

معایب سامانه‌ی ردیاب خورشیدی فعال:

۱- ناتوانی در تشخیص موقعیت خورشید در شرایط نامساعد آب و هوایی نظیر ابری بودن و... و عدم بهره‌برداری از تابش عبوری خورشید در این شرایط: لازم به ذکر است در استفاده‌های مختلف از انرژی خورشیدی، طول موج‌های مشخصی موثر می‌باشد. به طور مثال در سلول‌های خورشیدی، طول موج فرابنفش و طیف نور مرئی خورشید، در استفاده‌های حرارتی(کوره‌های خورشیدی، فرنل خطی و...) طیف مادون قرمز تاثیرگذار است. اگر هوا ابری ولی روشن باشد به نحوی که برای چشمان شما آزار دهنده باشد، حدود ۵۰ درصد UV-B به زمین می‌رسد. اگر هوا به قدری ابری باشد که شما نمی‌توانید جای خورشید را در آسمان متوجه شوید، حدود ۲۰ درصد UV-B به شما می‌رسد اما اگر هوا بسیار ابری ومتراکم با ابرهای سیاه باشد به نحوی که شما می‌گویید هوا تاریک شده آنگاه مقدار اشعه UV-B ، کمتر از ۵ درصد به زمین می‌رسد[۴]. با این توضیحات مشخص است که استفاده از تابش خورشید حتی در شرایط ابری و نامساعد جوی امکان‌پذیر و در افزایش بازده موثر می‌باشد.

۲- سامانه‌ی ردیاب فعال، تحت تاثیر نورهای مصنوعی و مشکلات حسگر، دچار اختلال در ردیابی خورشید می‌شود.

۳- ناتوانی در بازیابی مسیر تابش خورشید پس از برطرف شدن شرایط نامساعد جوی: با توجه به اینکه ممکن است شرایط نامساعد جوی مدت زمان زیادی به طول انجامد، تعقیب‌کننده برای مدت زیادی خاموش می‌باشد، در این صورت پس از برطرف شدن شرایط نامساعد جوی و کنار رفتن ابر، ممکن است مسیر تابش خورشید دقیقا پشت به بشقاب باشد و لذا در زاویه‌ی دید حسگر نباشد و حسگرها، مسیر تابش خورشید را شناسایی نکنند و سامانه دچار سردرگمی و اختلال گردد.

مزایای سامانه‌ی ردیاب خورشیدی فعال:

۱- سامانه‌ی فعال، اصطلاحاً سامانه‌ی هوشیاری می‌باشد و قابلیت تصحیح خطاهای کوچک را دارد و چنانچه به هر دلیلی از روبه‌روی خورشید دور شده باشد (مشروط به اینکه میزان دورشدن از راستای خورشید به قدری نباشد که تابش خورشید در محدوده‌ی زاویه‌ی دید حسگر قرار نگیرد) قابلیت جبران خطا را دارد.

۲- سامانه‌ی فعال بدون ایجاد تغییرات در برنامه‌نویسی قابلیت استفاده و کاربرد در هر نقطه‌ی جغرافیایی را دارد.

سامانه‌ی غیرفعال:

سامانه‌ی ردیاب غیرفعال سامانه‌ای است که بر اساس معادلات حرکت خورشید و بدون توجه به تابش نور خورشید، حرکت خورشید تعقیب می‌شود. در واقع در این سامانه بر اساس معادلات حرکت خورشید، دو زاویه‌ی سمت[1] و ارتفاع[2] حاصل می‌گردد و با داشتن این دو زاویه، فرمان مناسب به موتورها جهت تحقق این زوایا داده می‌شود.

معایب سامانه‌ی ردیاب خورشیدی غیرفعال:

۱- عدم توانایی در اصلاح خطاهای جزئی، انباشته شدن این خطاها روی هم و در نهایت دور شدن هرچه بیشتر از راستای خورشید. (خطای بخش مکانیکی)

۲- به دلیل ناتوانی در اصلاح خطاهای جزئی، جهت بررسی واصلاح خطا، در بازه‌های زمانی مختلف، به ارزیابی و بررسی میدانی نیاز است.

۳- سامانه‌ی مذکور برای استفاده در نقطه‌ی جغرافیایی غیر از مکان حال حاضر، نیاز به تغییرات برنامه‌نویسی(تغییرات شامل تغییر طول و عرض جغرافیایی، ساعت و...) دارد.

۴- معادلات حرکت خورشید، اغلب پیچیده و پارامترهای زیادی در آن موثر است که احتمال اشتباه و خطا در محاسبات را افزایش می‌دهد. (خطای معادلات تقریبی)

مزایای سامانه‌ی ردیاب خورشیدی غیرفعال:

۱- سامانه‌ی مذکور حتی در شرایط نامساعد جوی به حرکت خود ادامه می‌دهد و قابلیت خود در تعقیب خورشید را از دست نمی‌دهد و لذا از تابش‌های اندک خورشید در شرایط نامساعد جوی نیز استفاده می‌کند.

۲- سامانه مذکورتحت تاثیر نورهای مصنوعی نمی‌باشد ودچاراختلال نمی‌گردد.

همان‌طور که مشخص است هر دو سامانه دارای معایب و محاسنی است و برای اینکه بتوانیم سامانه‌ی جامع با بازدهی بیشتری داشته باشیم، دو سامانه‌ی مشروح را به طور هم‌زمان مورد استفاده قرار می‌هیم. سامانه‌ی مذکور قابلیت نصب بر روی هر وسیله‌ی خورشیدی از جمله کوره‌های خورشیدی و پنل‌های فتوولتاییک را دارد.

انواع سامانه‌ی تعقیب‌کننده‌ی خورشیدی

سامانه‌های تعقیب‌کننده خورشیدی با توجه به کاربرد، نوع ساخت و طراحی و.. دارای تقسیم بندی‌های گوناگونی به شرح زیر هستند:

الف) بر اساس کنترل‌کننده

الف-۲)کنترل با کنترل‌کنندهٔ PLA[3]

الف-۳) کنترل با کنترل‌کنندهٔ PLD[4]

الف-۴) کنترل با کنترل‌کننده FLC[5]

1. Azimuth
2 Elevation
3.Programmable Logic Array
4.Proportional-Integral- Drivative
5. fuzzy logic control

ب) بر اساس نوع پردازنده

ب-۱) با استفاده از PLC[1]

ب-۲) با استفاده از FPGA[2]

ب-۳) با استفاده از CPLD[3]

ب-۴) با استفاده از MC[4]

ج) بر اساس نوع حرکت موتور (پیوسته یا گسسته)

د) تعقیب خورشید در یک جهت یا دو جهت

ه) روش شناسایی موقعیت خورشید

ه-۱) بر اساس معادلات حرکت خورشید(سامانه‌ی غیرفعال)

ه-۲) بر اساس حسگرها شامل فتوولتاییک، مقاومت نوری[5] فتودیود، فتوترانزیستور، حسگر مادون قرمز و... (سامانه‌ی فعال)

ه-۳) روشن بودن موتور در بازه‌های زمانی برابر: یکی دیگر از روش‌های تعقیبِ خورشید این است که بدون توجه به زوایای افقی و عمودی خورشید، به موتور فرمان دهیم که مثلا ۲ دقیقه خاموش و ۷ ثانیه روشن باشد و یا مثلا هر یک ساعت به اندازه‌ی ۱۵ درجه روشن باشد، که در این صورت می‌توان جهت تقریبی خورشید را شناسایی کرد[۵].

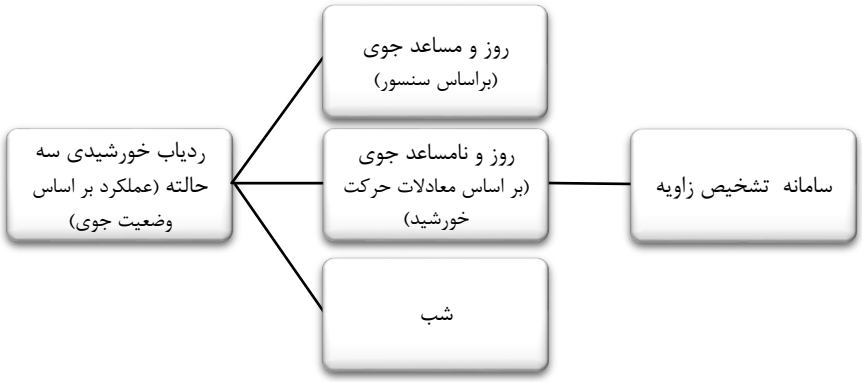
با در نظر گرفتن معایب و مزایای هر کدام از سامانه‌های تعقیب‌کننده، سامانه‌ی تعقیب‌کننده‌ای مطابق الگوریتم شکل۱ طراحی و پیاده‌سازی کردیم که معایب سامانه‌های فعال و غیرفعال را برطرف کرده و بر حسب شرایط جوی از یکی از سامانه‌های فعال یا غیرفعال استفاده کند.

۲- اصول وعملکرد سامانه‌ی تعقیب کننده‌ی طراحی شده

سامانه‌ی طراحی و ساخته شده در اینجا دارای قسمت‌هایی به شرح شکل۱ می‌باشد.

توجه۱: دقت شود که تعیین X و Y به صورت تجربی و با سعی و خطا انجام می‌شود و با کلیدهایی که در کنار سامانه‌ی تعقیب‌کننده تعبیه می‌شود، این مقادیر قابل تغییر می‌باشند.

توجه۲: مقدار شدت نوری که در هر لحظه با مقادیرX وYمقایسه می‌شود، میانگین شدت نور حس شده توسط دو حسگر نوری است که در دو مکان مختلف بر روی سامانه‌ی خورشیدی نصب می‌شود.



شکل۱ بخش‌های سامانه طراحی و ساخته شده

X = میزان شدت نور در ابتدای تاریکی شب

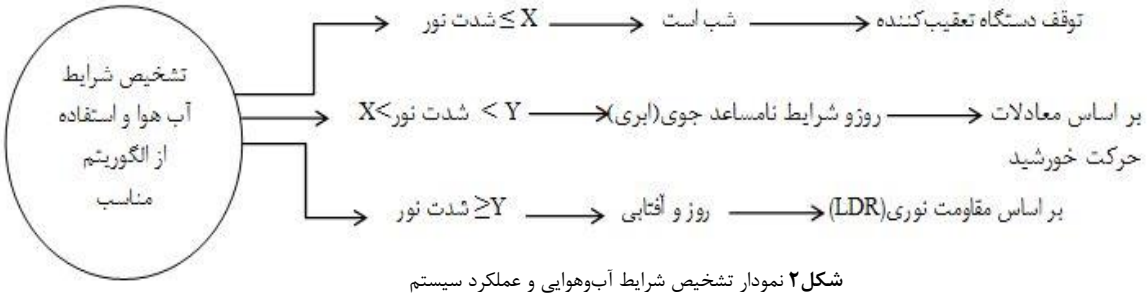
Y = میزان شدت نور در ابتدای روشنایی روز (روز و آفتابی)

عملکرد سامانه به این صورت است که ابتدا دو حسگر نوری در دو جای مختلف بر روی بشقاب نصب می‌گردد و در هر لحظه میانگین نور دریافتی آن‌ها به‌دست می‌آید، سپس با تعیین حدود شب و روز (X و Y)، شرایط آب و هوایی تشخیص داده می‌شود. پس از اینکه شرایط آب و هوایی یکی از سه حالت ۱-روز و آفتابی، ۲-روز و ابری، ۳-شب، تشخیص داده شد، الگوریتم مناسب مطابق شکل۲ انتخاب می‌شود.

۳- تعقیب خورشید در شرایط جوی مساعد (روز و آفتابی)

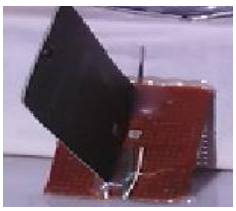
هنگامی که طبق الگوریتم شکل۲ شرایط آب و هوایی، روز و آفتابی تشخیص داده شود، تشخیص موقعیت خورشید بر اساس حسگرهای نوری انجام می‌شود. لذا برای تعقیب خورشید در راستای افق دو حسگر مطابق شکل۳، بر روی بشقاب خورشیدی نصب می‌گردد و بین آنها یک تیغه‌ی کدر به صورت عمودی قرار می‌گیرد. حسگرهای استفاده شده مقاومت نوری(LDR) می‌باشند. مقاومت‌های نوری، مقاومت‌هایی هستندکه مقاومتشان با نورتغییر می‌کند و تابع شدت نورتابیده شده به سطح آن می‌باشند، هرچه شدت نورتابیده شده بیشتر گردد الکترون‌های ظرفیت اتم‌ها، انرژی بیشتری کسب کرده و تعداد بیشتری الکترون آزاد در ماده تولید می‌شود. درنتیجه مقاومت فتورزیستورکاهش می‌یابد (با هر ده برابر شدن شدت نورتابیده شده به سطح فتورزیستور مقاومت آن ده برابر کوچک می‌گردد).

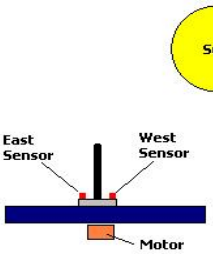
1. Programable logic contorerl
2. Field-programmable gate array
3. Complex Programmable Logic Device
4. Microprocessor
5. LDR



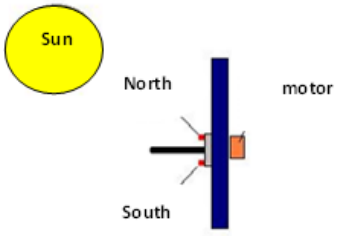
شکل۲ نمودار تشخیص شرایط آب‌وهوایی و عملکرد سیستم

لازم به ذکر است مقاومت‌های نوری به طور معمول در شرایط یکسان نوری، مقدار مقاومت یکسان از خود نشان نمی‌دهند و لذا می‌بایست با قرار دادن پتاسیومتر برای هر کدام از مقاومت‌ها و تنظیم پتاسیومترها، مقدار اهم هر دو مقاومت در شرایط نوری یکسان را برابر هم تنظیم کرد. چنانچه از منظر افقی سامانه‌ی خورشیدی دقیقا روبه‌روی خورشید باشد، دو حسگر در وضعیت مشابه نوری قرار دارند و موتورها خاموش می‌باشند ولیکن به محض اینکه خورشید اندکی از جهت افقی جابه‌جا شود، تیغه بر روی یکی از حسگرها، سایه ایجاد می‌کند و لذا وضعیت نوری دو حسگر متفاوت خواهد شد؛ پس با برنامه‌نویسی در میکروکنترلر، به موتور فرمان داده می‌شود که با توجه به اینکه کدام حسگر در سایه قرار گرفته است، موتور به سمت حسگری که در نور قرار دارد (راستگرد یا چپگرد) چرخش کند و تا زمانی به چرخش ادامه دهد که دو حسگر مجددا در وضعیت مشابه نوری قرار گیرند. اصول تعقیب خورشید در راستای عمود مشابه با تعقیب خورشید در راستای افقی است با این تفاوت که تیغه‌ی کدر مشابه شکل۴ به صورت افقی قرار می‌گیرد و حسگرها بالا و پایین تیغه نصب می‌گردد.





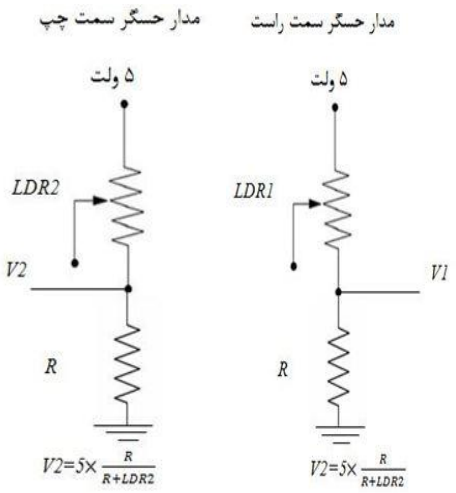
شکل۳ شماتیک و شکل قرار گرفتن تیغه و مقاومت برای تعقیب خورشید در راستای افقی



شکل۴ قرار گرفتن تیغه و مقاومت برای تعقیب خورشید در راستای عمودی

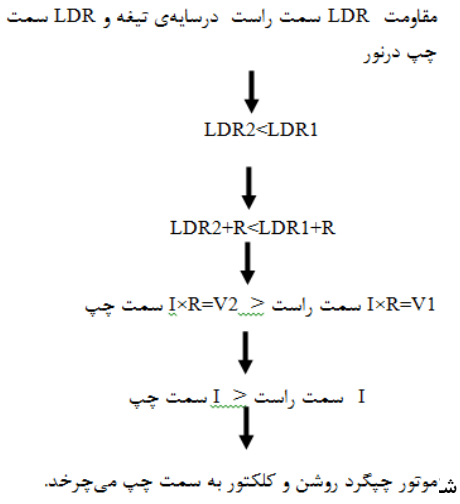
تا به اینجا توانسته‌ایم تغییرات نور دریافتی توسط چهار حسگر را با تغییرات مقدار مقاومت‌های آن‌ها مشخص کنیم. با طراحی مدارهای شکل ۵ و بر اساس رابطه‌ی۱، تغییرات مقدار مقاومت‌های نوری را به تغییرات ولتاژ مقاومت ثابت مرتبط می‌کنیم. شکل‌های ۵ و۶ و۷ مربوط به حرکت افقی می‌باشند و برای حرکت عمودی نیز مشابه مدارات و الگوریتم‌های مذکور استفاده می‌شود.

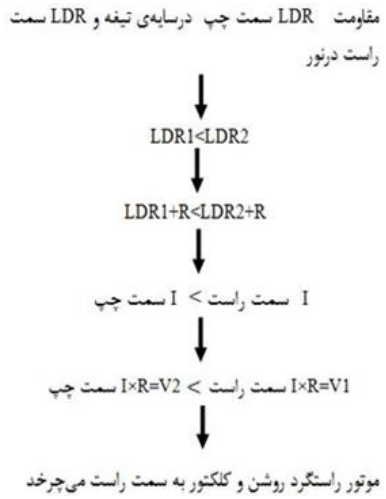
$$Vout=Vin\times\frac{R}{R+LDR} \qquad (۱)$$



شکل۵ تبدیل تغییرات مقدار مقاومت به ولتاژ برای حرکت افقی

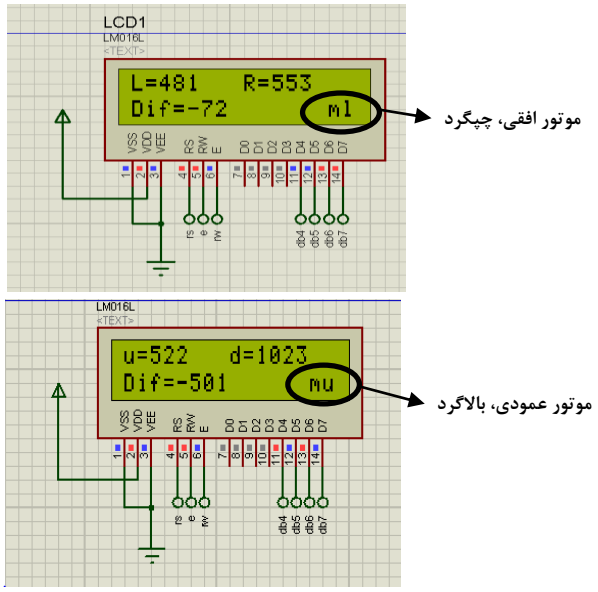
با استفاده از الگوریتم‌های شکل۶ و شکل۷ و بر اساس مدارات شکل۵، جهت چرخش موتور به چپ یا راست تعیین می‌گردد.





شکل۷ الگوریتم تعیین جهت چرخش راستگرد موتور افقی

تفاضل مقدار حسگرها چپ و راست تیغه در حرکت افقی و حسگرهای بالا و پایین تیغه در حرکت عمودی با Dif مشخص می‌شود. در واقع Dif برابر است با حاصل تفریق R(حسگرRight) از L(حسگرLeft) و لذا نتیجه‌ی Dif می‌تواند مثبت یا منفی باشد (Dif= L-R). از منفی و مثبت شدن مقدار Dif، جهت حرکت موتور به سمت چپ یا راست مشخص می‌گردد. به این صورت که اگر Dif، منفی شود، مقدار R بزرگتر ازمقدار L است و لذا حسگر سمت چپ در نور قرار دارد و موتور چپگرد (چرخش به سمت حسگری که در نور قرار دارد) شروع به چرخش می‌کند. Dif، در حرکت عمودی برابر است با حاصل تفریق شدت نور دریافتی حسگر d(Down) از شدت نور دریافتی حسگر u (Up) (Dif=u-d). در این پروژه ابتدا سامانه در نرم افزار proteus شبیه‌سازی شد و پس از بررسی صحت عملکرد شبیه‌سازی شده‌ی آن، مدار بر روی برد پیاده گردید. همانگونه که در شکل۸ مشاهده می‌شود در شبیه‌سازی شده‌ی سامانه-ی تعقیب‌کننده، در گوشه سمت راست صفحه‌ی LCD، حرکت چپگرد (ml) یا راستگرد موتور(mr) و همچنین بالاگرد(mu) یا پایین‌گرد موتور(md)، نشان داده می‌شود.



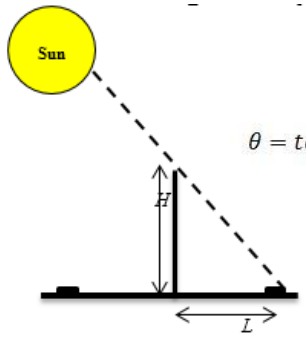
شکل۸ نمایش حرکت عمودی و افقی در نرم‌افزارproteus

حسگرهای LDR، حساسیت بسیاری به نور دارند و با وجود تنظیم پتاسیومترهای آن‌ها، در شرایط نوری یکسان، مقدار مقاومت آن‌ها دقیقا با هم برابر نخواهد بود. به عبارت دیگر، ممکن است دو حسگر مربوط به حرکت افقی در شرایط محیطی و نوری کاملا یکسان قرار داشته باشند ولیکن مقدار R وL نشان داده بر روی LCD دقیقا برابر نباشد و لذا مقدار Dif حاصل از تفاضل مقادیر R وL، عددی مثبت یا منفی شود. در این صورت سامانه به اشتباه، به موتور فرمان حرکت می‌دهد. برای جلوگیری از این اشتباه، باید قبل از فرمان روشن شدن موتورها، برای حسگرها محدوده‌ی خلاص تعریف شود؛ به طوری-که اگر تفاضل مقدار نشان داده شده توسط دو حسگر (Dif)، در این محدوده باشد، هنوز دو حسگر در شرایط یکسان فرض شود و موتورها همچنان خاموش بمانند. بدین منظور در شروع کار، به‌وسیله‌ی کلیدهای تعبیه شده و با تنظیم چهار مقدار dif top l-r ،dif min u-d ،dif min l-r و dif top u-d، محدوده‌ی آزادی و خلاص حسگرها مشخص گردید. در شکل۹، شرایط شروع به چرخش موتورها و جهت چرخش آن‌ها به صورت مختصر آورده شده است.

شکل۹ شرایط روشن و خاموش بودن موتورها و جهت چرخش آن‌ها

لازم به ذکر است که مقادیر dif min l-r و dif min u-d با عدد منفی مقادیر dif top u-d و dif top l-r با عدد مثبت تعیین می‌شود dif min u-d حد پایین تفاضل دو حسگر برای حرکت عمودی، dif min l-r حد پایین تفاضل دوحسگر برای حرکت افقی، dif top u-d حد بالای تفاضل دو حسگر برای حرکت عمودی و dif top l-r حد بالای تفاضل دو حسگر برای حرکت افقی است.

دقت کنید که فاصله‌ی قرار گرفتن دو حسگر از تیغه‌ی بین آن‌ها و ارتفاع تیغه، حداقل زاویه‌ای که سامانه به آن پاسخ می‌دهد و در واقع دقت سامانه را تعیین می‌کند.(شکل ۱۰)



$$\theta = tan^{-1}\frac{L}{H} \quad (۲)$$

شکل۱۰ تعیین حداقل زاویه‌ای که سامانه به آن واکنش نشان می‌دهد.

θ: حداقل تغییر زاویه‌ی موقعیت خورشید که سامانه‌ی تعقیب‌کننده به آن واکنش نشان می‌دهد.

L : فاصله‌ی هر حسگر تا تیغه

H: ارتفاع تیغه

چنانچه طول تیغه زیاد و فاصله‌ی حسگرها تا تیغه کم باشد حداقل زاویه‌ی قابل تشخیص برای تعقیب‌کننده‌ی خورشیدی کم‌تر و دقت دستگاه تعقیب-کننده بیش‌تر می‌شود. به طوری که اگر برای تعقیب خورشید در راستای افق، تیغه‌ای کدر به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر، عرض ۵ سانتی‌متر و ضخامت ۵ میلیمتر به صورت عمودی نصب می‌گردد به طوری‌که فاصله‌ی هر حسگر تا تیغه ۰/۵ میلیمتر می‌باشد در این صورت حداقل زاویه‌ای که سامانه به آن واکنش نشان می‌دهد ۰/۳ درجه به‌دست می‌آید.

۴- تعقیب خورشید در شرایط نامساعد جوی(روز و ابری)

زمانی‌که میانگین نور دریافتی توسط دو حسگر بین مقادیر X و Y باشد، یعنی روشنایی محیط، از حد روشنایی روز کمتر و از حد روشنایی شب بیشتر است، شرایط آب و هوایی، روز و ابری است. در این صورت چنانچه برای سامانه‌ی تعقیب‌کننده، از الگوریتم مشروح در قسمت قبل (الگوریتم شکل۹) استفاده شود، چون دو حسگر چپ و راست در شرایط نوری تقریبا یکسان قرار دارند، حسگرها توانایی تشخیص ندارند و موتور خاموش می‌ماند و پس از مدتی دستگاه خورشیدی کاملا از راستای خورشید دور می‌شود و در صورت طولانی بودن ابری بودن آسمان، احتمال دارد با کنار رفتن ابر و تابش خورشید، سامانه پشت به خورشید قرار گیرد و حسگرها نتوانند خورشید را بیابند. لذا برای شرایط جوی روز و ابری، سامانه‌ی تعقیب‌کننده بر اساس معادلات حرکت خورشید طراحی می‌شود. با داشتن معادلات حرکت خورشید، در هر زمان و تاریخ و مکان جغرافیایی، دو زاویه‌ی سمت و ارتفاع به‌دست می‌آید که با داشتن این زوایا، می‌توان موقعیت خورشید را در آسمان بیابیم.

۴-۱ یافتن مسیر حرکت خورشید با استفاده از معادلات حرکت خورشید

با استفاده از معادلات حرکت خورشید و بر اساس زمان، طول و عرض جغرافیایی و با داشتنN (تعداد روز از اول ژانویه)، می‌توان زوایای سمت و ارتفاع را مطابق زیر یافت[۸،۷].

$$X = \frac{360(N-1)}{365.242\ (degrees)} \quad \text{(degree)} \quad (۳)$$

$$EOT^{1} = 0.258cosx - 7.416sinx - 3.648cos2x - 9.228sin2x \quad \text{(miutes)} \quad (۴)$$

$$LC = \frac{(local\ longitude - longitude\ of\ Standard\ time\ zone\ meridian)}{15} \quad \text{(hours} \quad (۵)$$

$$ts = t + \frac{EOT}{60} - LC \ \text{(hours)} \quad (۶)$$

$$\omega = 15(ts - 12)\ \text{(degree)} \quad (۷)$$

$$sin\delta = 0.39795\ cos[0.98563(N-173)] \quad (۸)$$

$$Elevation(\alpha) = sin^{-1}[sin\,\delta\,sin\,\varphi + cos\,\delta\,cos\,\varphi\,cos\,\omega] \quad (۹)$$

$$azimuth(\emptyset) = cos^{-1}\left[\frac{sin\,\delta\,cos\,\varphi - cos\,\delta\,sin\,\varphi\,cos\,\omega}{cos\,\alpha}\right] \quad (۱۰)$$

N = تعداد روز با احتساب از اول ژانویه

Local longitude = طول جغرافیایی محل

LSTM (longitude of Standard time zone meridian)= نصف النهار استاندارد محلی (برای ایران ۵۲/۵ درجه)

t = زمان رسمی کشور

φ = عرض جغرافیایی محل

δ = زاویه میل

ω = زاویه‌ی ساعتی

EOT = معادله‌ی زمان

Elevation(α) زاویه‌ی ارتفاع

azimuth(Ø) زاویه‌ی سمت

پارامترهای استفاده شده در معادلات حرکت خورشید، دارای مفاهیم خورشیدشناسی به شرح زیر می‌باشند:

LSTM = یک یا چند نصف‌النهار که فاصه‌شان تا نصف‌النهار مبدا، مضرب صحیحی از ۷ درجه و ۳۰ دقیقه‌ی کمانی باشد، به‌عنوان نصف‌النهار استاندارد یک کشور یا منطقه (LSTM) شناخته می‌شود. نصف‌النهار استاندارد ایران ۵۲درجه و ۳۰ دقیقه شرقی است.

EOT = زمانی که ساعت‌های رسمی نشان می‌دهند براساس وجود یک خورشید فرضی است که با سرعت متوسط در آسمان حرکت می‌کند. تفاوت این زمان با زمانی که ساعت‌های آفتابی نشان می‌دهند، معادله زمان (EOT) نام دارد.

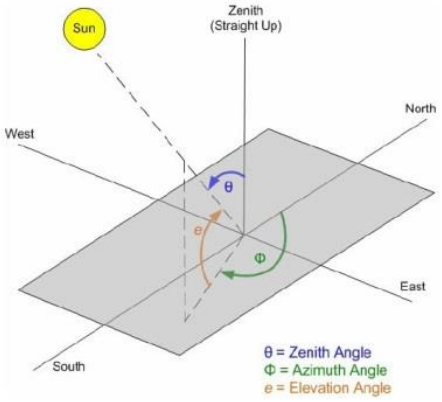
ω (زاویه‌ی ساعتی[2]) = دایره‌ی ساعتی، دایره عظیمه‌ای است که از جسم مورد نظر، قطب شمال و قطب جنوب آسمان می‌گذرد. دایره‌ی ساعتی، مشابه نصف‌النهارها بر روی زمین است. زاویه‌ی ساعتی، فاصله‌ی زاویه‌ای دایره‌ی

1. Equation of Time

2. Hour angle

ساعتی خورشید و نصف‌النهار سماوی بر روی استوای سماوی به سمت غرب آسمان است.

δ = میل خورشید در حقیقت فاصله‌ی زاویه‌ای بین خورشید واستوای سماوی(به عنوان مبداء) است. در شکل۱۱، زوایای سمت و ارتفاع نشان داده شده است.



شکل۱۱ زوایای سمت و ارتفاع[۷]

۲-۴ بررسی دقت زوایای خورشیدی حاصل از شبیه‌سازی با مقادیر دقیق آن‌ها

انواع وب‌سایت‌ها و نرم‌افزارها وجود دارند که با استفاده از امکاناتی که در آن‌ها برای تنظیم موقعیت جغرافیایی و زمان وجود دارد، می‌توان دو زاویه‌ی سمت و ارتفاع را یافت. از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

در سایت www.sunearthtools.com، تمهیدات خوبی در زمینه‌ی خورشیدشناسی وجود دارد. در قسمتی از سایت با تنظیم موقعیت جغرافیایی، دو زاویه‌ی سمت و ارتفاع، مسیر حرکت خورشید، تغییرات زوایای خورشیدی در طول روز و... یافته می‌شود. در سایت مذکور این امکان وجود دارد که مقدار انتشار CO_2 برای تولید هر کیلووات ساعت برق، هزینه‌های مصروف در استفاده از سلول‌های فتوولتائیک و زمان برگشت سرمایه در هنگام استفاده از سلول‌های فتوولتائیک (PV) را به‌دست آورد.

در وب‌سایت http://www.suncalc.net، با تعیین موقعیت مکان جغرافیایی با استفاده از GPS[1]، مشخصات خورشیدی، شامل زمان طلوع و غروب خورشید، طول روز و... به‌دست می‌آید.

در وب‌سایت http://10k.aneventapart.com/2/Uploads/660/، می‌توان به صورت online حرکت خورشید را با توجه به فصل سال و برای زمان‌های مختلف، مشاهده کرد.

در وب‌سایت http://wiki.naturalfrequency.com/wiki/SolarTool ابزارهای تحلیل خورشید آمده است.

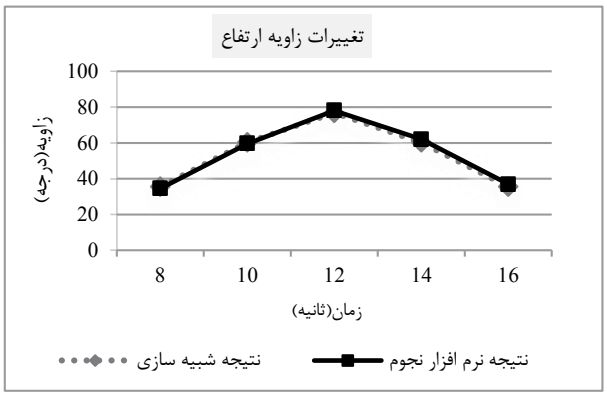
نرم افزارهای موبایل و تبلت نیز وجود دارد که برای تحلیل مسیر خورشید از دید ناظر، به‌کار می‌رود که عبارتند از:

Solar Sunseeker
Sun Surveyor
Helios Sun Position
Sonnenbahn Indikator Pro
Pilkington Sun Angle Calculator
SolarTrack, Solmetric iSV
Sun Position, etc

علاوه بر موارد ذکر شده، ویدئوها، فیلم‌ها و نرم‌افزارهای نجوم و خورشیدشناسی بسیاری در مورد حرکت خورشید و ویژگی‌های آن موجود است که با تعیین مشخصات اولیه شامل تاریخ، زمان و موقعیت جغرافیایی، دو زاویه‌ی سمت و ارتفاع استخراج می‌گردد. در جدول ۱ نتایج حاصل از شبیه‌سازی در کنار نتایج حاصل از نرم‌افزار نجوم برای تاریخ و ساعات مختلف و طول و عرض جغرافیایی کشور ایران (طول جغرافیایی:۵۱/۶۶ و عرض جغرافیایی:۳۲/۶۱) آورده شده است تا دقت عملکرد شبیه‌سازی مشخص گردد. علاوه بر این برای مقایسه‌ی بهتر، در نمودارهای شکل۱۲، زوایای سمت و ارتفاع حاصل از شبیه‌سازی و نرم‌افزار نجوم در N=۲۰۰ در کنار هم آورده شده است.

جدول۱ مقایسه‌ی زوایای خورشیدی حاصل از شبیه‌سازی با مقادیر دقیق آن‌ها

N	تاریخ	زمان (ساعت)	زاویه ارتفاع شبیه‌سازی (درجه)	زاویه ارتفاع دقیق (درجه)	زاویه سمت شبیه‌سازی (درجه)	زاویه سمت دقیق (درجه)
۵۰	۲۰ فوریه	۸	۱۷/۵	۱۵/۷	۱۱۶/۹	۱۱۴/۲
		۱۲	۴۵/۴	۴۶/۶	۱۷۰/۵	۱۷۵/۱
		۱۶	۱۷/۶	۲۰/۹	۲۴۳	۲۴۱/۴
۲۰۰	۱۹ جولای	۸	۳۵/۵	۳۴/۵	۸۶/۴	۸۵/۹
		۱۲	۷۶/۸	۷۸	۱۴۹/۴	۱۷۲/۸
		۱۶	۳۵/۵	۳۷/۱	۲۷۳/۶	۲۷۲/۴
۳۰۰	۲۷ اکتبر	۸	۱۶/۷	۱۹/۸	۱۱۸	۱۲۰/۹
		۱۲	۴۴/۱	۴۴/۲	۱۷۰/۷	۱۸۵/۵
		۱۶	۱۶/۷	۱۳/۷	۲۴۱/۹	۲۴۴/۳
۰	۱ ژانویه	۸	۱۰/۳	۹/۶	۱۲۵/۶	۱۲۵/۳
		۱۲	۳۴/۴	۳۴/۷	۱۷۱/۹	۱۷۹
		۱۶	۱۰/۳	۱۰/۹	۲۳۴/۳	۲۳۳/۵

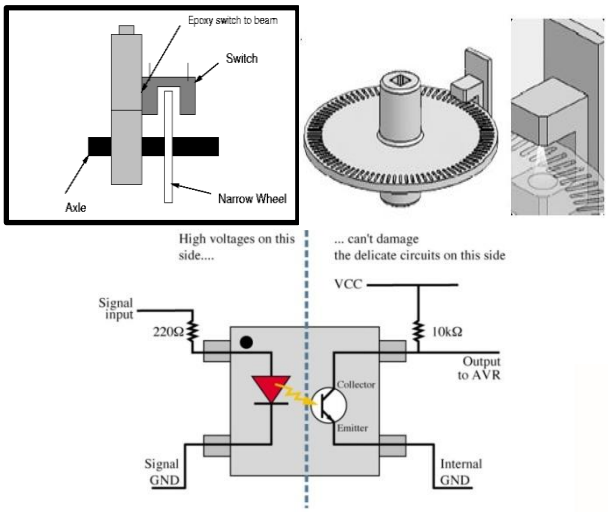


شکل۱۲ مقایسه‌ی زوایای سمت و ارتفاع حاصل از شبیه‌سازی و نرم‌افزارهای نجوم در N= ۲۰۰

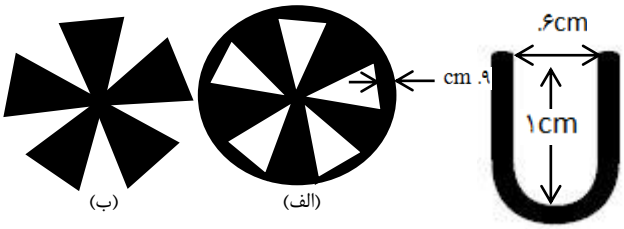
1.Global Positioning System

۴-۳ سامانه‌ی تشخیص زاویه‌ی تعقیب‌کننده

تا به اینجا با استفاده از معادلات مسیرحرکت خورشید دو زاویه سمت و ارتفاع به‌دست آمده است و می‌بایست بر روی سامانه‌ی خورشیدی،سامانه‌ی تشخیص و شناسایی زاویه نصب گردد. لذا برای تشخیص زاویه، سامانه‌ی اپتوکانتر و پره را به آن اضافه می‌کنیم. اپتوکانتر یک قطعه الکترونیکی U شکل است. همان‌گونه که در شکل۱۲مشاهده می‌کنید؛ این IC کوچک، دارای فرستنده و گیرنده است. فرستنده‌ی نوری، نور را ارسال می‌کند و در سمت دیگر گیرنده، نور را به طور پیوسته دریافت می‌کند. حال چنانچه چندپره، بر روی محور موتور به گونه‌ای قرار گیرد که با حرکت موتور، چندپره بچرخد و پره‌های آن از بین دهانه‌یU شکل اپتوکانتر عبور کند، با هر بار عبور پره‌ها از بین دهانه‌ی اپتوکانتر، ارتباط نوری فرستنده و گیرنده‌ی نور در اپتوکانتر قطع شده و به این ترتیب یک پالس ایجاد می‌شود و از شمارش تعداد پالس‌ها می‌توان تعداد دور موتور را به دست آورد(شکل۱۳).



شکل۱۲ اپتوکانتر و نحوه‌ی عملکرد آن[۸]



شکل۱۳ اپتوکانتر و چندپرمناسب جهت تشخیص زاویه

لازم به ذکر است که چندپر را می توانستیم به یکی از حالت‌های (الف) یا (ب) در شکل ۱۳، طراحی کنیم. اگر از چندپر (الف) استفاده کنیم با توجه به اینکه فاصله‌ی دهانه‌ی اپتوکانتر(۶cm) است برای اینکه اپتوکانتر چرخش چندپر را حس کند ضخامت گوشته‌ی چندپر (که در اینجا ۹cm. است) می-بایست کمتر از ۶cm. باشد که این امر باعث استحکام کم و شکنندگی چندپر می‌گردد و علاوه بر آن، احتمال خطا در تشخیص چرخ پره‌ها زیاد است لذا از چندپر (ب) استفاده کردیم.

۵- عملکرد سامانه‌ی تعقیب‌کننده در شب

چنانچه دو حسگر تشخیص وضعیت شرایط محیط، وضعیت را شب تشخیص دهند، با حرکت معکوس موتور، سامانه به مکان اولش در شرق باز می‌گردد و سپس خاموش می‌شود . حسگرهای LDR تفاوت بین نور طبیعی خورشید و نور مصنوعی ناشی از وسایل روشنایی را تشخیص نمی‌دهند لذا ممکن است نور ناشی از وسایل روشنایی در شب باعث شود حسگرها، موقعیت زمانی را روز تشخیص دهند و سامانه خاموش نشود. برای جلوگیری از این اختلال و اطمینان از قطع سامانه در شب، زمان طلوع و غروب خورشید به عنوان قطع و وصل برق سامانه تعیین می‌گردد. به عبارت بهتر، هم‌زمان با طلوع خورشید، برق سامانه وصل می‌شود و در ابتدای شب، پس از بازگشت سامانه‌ی خورشیدی به شرق و خاموش شدن سامانه، با دریافت زمان غروب خورشید، برق سامانه نیز قطع می‌گردد.

$$Sun\ rise=12\ \frac{1}{15^\circ}cos^{-1}\left(\frac{-sin\varphi\ sin\delta}{cos\varphi\ cos\delta}\right) \quad (۱۱)$$

$$Sun\ set=12+\frac{1}{15^\circ}cos^{-1}\left(\frac{-sin\varphi\ sin\delta}{cos\varphi\ cos\delta}\right) \quad (۱۲)$$

۶- مراجع

[1] ا.شیخ احمدی و م.زرگرزاده، *بهره گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر برای تولید انرژی الکتریکی*، ۱۳۸۵،

[2] م.رئوفی راد،*طراحی سیستم‌های خورشیدی ساختمان در ایران*، انتشارات فدک ایستاتیس،۱۳۸۵، چاپ اول.

[3] *استفاده از انرژی گرمایی خورشید*, Accessed 10 June 2015; *www.suna.org.ir www.azenasanatparsian.com*

[4] *اثر پوشش ابر بر تابش ماورابنفش خورشید*, Accessed 15 May 2016; http://www.ifco.ir/building/ConservationHints/Intro.asp.

[5] *M.lin, et al* ,xperimental and theoretical analysis on a linear Fresnel reflector solar collector prototype with V-shaped cavity receiver, *Applied thermal Engineering*, vol.51, p.936:972,2013

[6] ه.علیزاده، س.نظری‌نژاد، *انرژی خورشیدی و مصارف گرمایشی*، انتشارات پویاگستر،۱۳۸۶،چاپ اول

[7] غ.دژکامه، *نجوم محاسباتی و کاربردی*، پیام امروز،۱۳۸۵، چاپ اول.

[8] P.J Gabay,(2012). Motion Sensing Via Rotary Shaft Encoders Assures Safety and Control