وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه تفرش

دانشکده مهندسی برق

پایان‌نامه کارشناسی ارشد الکترونیک

عنوان:

طراحی و ساخت یک سیستم هوشمند دنبال‌کننده خورشیدی دومحوره

نگارنده:

مهدی فلاحی

استاد راهنمای اول:

دکتر مهدی جعفری پناه

استاد راهنمای دوم:

دکتر مجتبی پیشوایی

اسفند ماه 1390

بسم الله الرحمن الرحيم

این مجموعه پیشکشی است به پدر و مادر عزیز و بزرگوارم که از تولّد تا مرگم را مدیونشان هستم . آنان که همراه زندگیم و شریک شادی‌ها و غم‌هایم بودند.

به آنانکه پندهایشان راهنمای انتخاب‌هایم و محبّتشان امیدبخش زندگیم است.

تقدیم به مادرم که گل هستی را به من هدیه کرد ، پدرم که شکوه زندگی را به من بخشید.

تشکر و قدردانی

همی دانم که روز و شب جهان روشن ز روی توست، ولیکن آفتابی یا مه تابان، نمی دانم، نمی دانم .....

شکر و سپاس بی‌پایان خویش را به درگاه حضرت حق نثار می‌دارم، که توفیق انجام این پایان‌نامه را نصیبم گردانید و صبرم افزون ساخت تا در تلاطم ایّام، استوار بمانم.

به رسم ادب و قدرشناسی، برخود لازم می‌دانم از اساتید راهنمای ارزشمند و فرزانه‌ام، آقایان، دکتر مهدی جعفری‌پناه و دکتر مجتبی پیشوایی که صبورانه پشتیبان و راهنمای من بودند و در طول انجام این پروژه با راهنمایی‌های مفید و مساعدت-هایشان مسیر راه را هموار نمودند و از هیچ‌گونه کمک علمی و عملی دریغ نکردند کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم.

همچنین از همکاری و راهنمایی‌های صمیمانه‌ی آقای مهندس سید امیر هاشمی تشکر ویژه می‌نمایم.

چکیده

علاقه به استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر روز به روز در حال افزایش است به طوریکه پیش‌بینی می‌شود تا سال 2100 بخش اعظم انرژی مورد نیاز بشر از این طریق تامین شود. یافتن منابع جدید انرژی و بومی نمودن آنها، در قرن حاضر، در ردیف اول فعالیت‌های جهانی قرار دارد.

برای کشورهای در حال پیشرفت نیز با مباحث مطرح شده در زمینه برنامه‌ریزی صحیح مصرف انرژی، استفاده از منابع انرژی تجدیدشدنی، محسوس‌تر می‌باشد. سوخت‌های فسیلی منابع انرژی تمام‌شدنی هستند و به همین دلیل تمرکز بر بومی‌نمودن و استفاده از منابع انرژی تجدیدشدنی، از جمله انرژی خورشیدی، در حال گسترش است. برای اینکه کاربردهای انرژی خورشیدی گسترده‌تر شود، بایستی بازده این سیستم‌ها به حداکثر مقدار ممکن افزایش یابد.

برای افزایش بازده سیستم‌های خورشیدی، راه‌حل‌های متفاوتی از جمله بهبود تکنولوژی ساخت صفحات خورشیدی، تکنیک‌های ذخیره‌سازی انرژی و کاهش تلفات در مبدل‌های *DC/AC*، ترفندهائی برای تمرکز پرتوهای دریافتی خورشید بر سطح پنل و استفاده از دنبال‌های خورشیدی وجود دارد.

راه‌حل مهم و قابل توجه در به حداکثر رساندن بازده سیستم‌های خورشیدی علاوه بر توجه به تکنولوژی ساخت صفحات خورشیدی، استفاده از دنبال‌کننده‌های خورشیدی است. در این پایان‌نامه سیستم دنبال‌کننده خورشیدی دومحوره‌ی هوشمندی مطرح می‌شود که علاوه بر داشتن حداکثر بازده ممکن در تبدیل انرژی خورشیدی، می تواند به طور پیوسته خورشید را دنبال نماید. همچنین با ترفند استفاده از ماژول *GPS* در این سیستم، استفاده از آن محدود به نقطه خاصی نیست و می توان در هر نقطه از جهان از آن استفاده نمود. قابل توجه است که عملکرد این سیستم کاملاً آنی بوده و نیاز به تنظیمات اولیه ندارد. فقط کافی است یکبار در هنگام نصب، استقرار سیستم در جهت جنوب جغرافیایی مناسب تنظیم گردد.

با بررسی مقالات متعدد در زمینه دنبال‌کننده‌های خورشیدی تک‌محوره و دومحوره، میزان افزایش بازده توسط این سیستم‌ها نسبت به یک پنل ثابت مشابه به ترتیب بین 30-35 درصد و 40-45 درصد برآورد شده است. میزان افزایش بازده توسط سیستم مطرح شده در این پایان‌نامه بالای 52 درصد به دست آمده است که این میزان افزایش بازده قابل توجه است.

فهرست مطالب

فصل اول: **مقدمه** 1

1-1) یافتن انرژی جایگزین سوختهای فسیلی، ضرورت جهان آینده 2

2-1) اصول کار یک سلول فوتوولتائیک(*PV*) 4

3-1) موقعیت کشور ایران از نظرمیزان دریافت انرژی خورشیدی 6

4-1) مشخصات سازنده های ماژولهای فوتوولتائیک 7

5-1) میزان تولید انرژی الکتریکی بوسیله یک سیستم فوتوولتائیک 8

6-1) سیستم های دنبال کننده خورشیدی 9

7-1) انواع دنبال‌کننده‌های خورشیدی 12

8-1) محاسبه میزان تابش دریافتی به یک پنل ثابت و یک دنبال کننده دو محوره خورشیدی 13

9-1) دنبال کننده های غیر فعال (مکانیکی) 15

10-1) دنبال کننده های فعال (الکترونیکی) 16

11-1) دنبال کننده های خورشیدی براساس کنترل کننده میکروپروسسوری و الکترونوری 16

12-1) دنبال کننده های کنترل شونده بر اساس تاریخ و زمان 19

13-1) دنبال کننده های خورشیدی که از ترکیب دو روش زمانی و الکترونوری بهره می گیرند 20

14-1) مقایسه چند مقاله در زمینه‌ی دنبال‌کننده‌های‌خورشیدی از دید افزایش بازده 21

15-1) قالب‌بندی پایان‌نامه 24

فصل دوم: **تحلیل حرکت خورشید و بررسی روابط حاکم بر آن** 25

2-1) مطالعات هندسی 26

2-2) محاسبات هندسی مربوط به تعیین موقعیت خورشید 27

2-3) محاسبه زمان دقیق طلوع و غروب خورشید 33

فصل سوم: سخت افزار 35

3-1) قسمت های مکانیکی 36

3-2) قسمت های الکترونیکی و الکتریکی 39

3-2-1) پردازنده 39

3-2-2) ماژول *GPS* 40

3-2-3) درایور موتورها 44

3-2-4) فیدبک زاویه عمودی و افقی صفحه خورشیدی 45

3-2-5) شارژر باتری 46

3-2-6) جمع آوری اطلاعات 48

3-2-7) اتصال به رایانه 48

3-2-8) نمایش اطلاعات 49

فصل چهارم: نرم افزار 51

4-1) الگوریتم برنامه 53

4-2) فایل‌های پروژه 54

فصل پنجم: نتایج تست عملی 60

5-1) تحلیل نتایج تست عملی سیستم در فصل بهار 60

5-2) تحلیل نتایج تست عملی سیستم در فصل تابستان 65

5-3)مقایسه نتایج تست عملی سیستم در فصل‌های بهار و تابستان 69

5-4) طراحی سیستم‌های فوتوولتائیک مستقل از شبکه..... 69

فصل ششم: جمع بندی و نتیجه گیری..... 76

6-1) پیشنهاد کارهای آینده..... 81

6-2) مراجع 83

فهرست شکل‌ها

شکل (1- 1) فرایند تولید برق بوسیله یک سلول فوتوولتائی 5

شکل(1-2) فرایند تولید برق بوسیله یک مدول فوتوولتائی 5

شکل(1-3) میزان تابش جهانی بر حسب کیلووات ساعت بر مترمربع 8

شکل(1-4) روند تکامل تکنولوژی سلول‌های فوتوولتائی 9

شکل1-5) تاثیر زاویه‌ی پرتو تابشی خورشید به صفحه در میزان دریافت انرژی آن 10

شکل1-6) نمودار درصد افت توان برحسب انحراف زاویه از محورعمود بر سطح پنل 11

شکل1-7) دنبال‌کننده‌های خورشیدی دومحوره و تک‌محوره 12

شکل1-8) نحوه‌ی متفاوت چیدمان سنسورهای الکترونوری 17

شکل1-9) مقایسه توان دریافتی دنبال‌کننده دومحوره با یک پنل ثابت 18

شکل1-10) مقایسه توان تولیدی 4سیستم خورشیدی 22

شکل2-1) مسیر طی شده توسط خورشید در ساعات متفاوت روز 26

شکل2-2) نمودار تغییرات معادله‌ی زمان در طول سال 29

شکل2-3) نمودار تغییرات زاویه‌ی میل خورشیدی در طول سال 29

شکل2-4) شماتیک سنجش زوایای سمت و ارتفاع خورشیدی 31

شکل2-5) نحوه دنبال‌کردن خورشید با استفاده از زاویه سمت و ارتفاع خورشیدی 32

شکل3-1) شکل موج PWM 38

شکل3-2) نمای ظاهری سیستم ساخته شده 38

شکل3-3) شماتیک اجزای بخش کنترلی سیستم 39

شکل3-4) ماژول GPS 41

شکل3-5) درایور L298..... 44

شکل3-6) مدار مربوط به اتصالات موتور و درایور L298 45

شکل3-7) مدار پیشنهادی برای استفاده از پتانسیومتر به عنوان فیدبک زاویه..... 45

شکل3-8) نحوه اتصالات LM2576 47

شکل3-9) نحوه اتصال قطعه حافظه 24c512 به میکروکنترلر 48

شکل3-10) نحوه اتصال قطعه MAX232..... 49

شکل3-11) نحوه اتصالات LCD به میکروکنترلر 49

شکل4-1) نمای ظاهری برنامه AVRStudio..... 52

شکل4-2) الگوریتم کلی برنامه 53

شکل4-3) فلوچارت مربوط به تنظیمات اولیه..... 56

شکل4-4) فلوچارت نحوه محاسبه زوایای خورشیدی 58

شکل5-1) نمودار تغییرات زاویه سمت خورشید بر حسب زاویه ارتفاع آن در فصل بهار..... 61

شکل5-2) نمودار زاویه‌ی ارتفاع خورشید بر حسب زمان در فصل بهار 61

شکل5-3) نمودار زاویه‌ی میل خورشید بر حسب زمان در فصل بهار..... 62

شکل5-4) نمودار زاویه سمت خورشید بر حسب ارتفاع حاصل از تست عملی سیستم در فصل بهار ..62

شکل5-5) نمودار زاویه‌ی ارتفاع خورشید بر حسب زمان حاصل از تست عملی سیستم در فصل بهار 63

شکل5-6) نمودار توان تولیدی بر حسب زمان در سیستم دنبال‌کننده دومحوره هوشمند در فصل بهار63

شکل5-7) مقایسه توان تولیدی دنبال‌کننده دومحوره و تک‌محوره با پنل ثابت در فصل بهار 64

شکل5-8) نمودار زاویه سمت خورشید بر حسب زاویه ارتفاع آن در فصل تابستان 66

شکل5-9) نمودار تغییرات زاویه ی ارتفاع خورشید بر حسب زمان در فصل تابستان.....66

شکل5-10) نمودار توان تولیدی سیستم دنبال‌کننده خورشیدی دومحوره هوشمند در فصل تابستان.. 67

شکل5-11) مقایسه توان تولیدی دنبال‌کننده دومحوره و تک‌محوره با پنل ثابت در 1390/6/15 68

شکل5-12) اجزای مهم یک سیستم خورشیدی 70

شکل6-1) مقایسه توان تولیدی دنبال‌کننده دومحوره و تک‌محوره با پنل ثابت در 1390/6/15 79

فهرست جداول

جدول 1-1) مشخصات سلول‌های تولیدی شرکت فیبرنوری 7

جدول 1-2) مشخصات ماژول‌های تولیدی شرکت فیبرنوری 8

جدول 1-3) مشخصات محصولات برخی سازنده های معتبر خارجی 9

جدول 1-4) درصد افت توان بر حسب انحراف زاویه از محور عمود بر سطح پنل 11

جدول 5-1) مقایسه هزینه پنل در سه سیستم مطرح شده.....73

جدول 5-2) صورت حساب پیاده‌سازی سیستم‌های خورشیدی برای مصارف خانگی 75

فصل اول

مقدمه

مسئله جهانی بحران انرژی، مشکلات ناشی از پایان‌پذیری سوخت‌های فسیلی و اثرات زیانبار زیست محیطی استفاده از این سوخت‌ها، مجامع علمی را به فکر استفاده از منابع انرژی جایگزین واداشته است. انرژی خورشیدی بعنوان منبعی پاک، پایان‌ناپذیر، تجدیدپذیر و البته رایگان، یکی از این منابع می‌باشد که امروزه در جوامع مختلف به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم و به کمک سیستم‌های خورشیدی چهارگانه‌ی فوتوبیولوژی، شیمیائی، فوتوولتائیک و حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله کاربردهای مهم انرژی خورشیدی، تبدیل آن به انرژی الکتریکی به کمک سیستم‌های حرارتی و سیستم‌های فوتوولتائیک است. در سیستم‌های فوتوولتائیکی، انرژی خورشیدی بدون بهره‌گیری از مکانیزم‌های متحرک بصورت مستقیم به انرژی الکتریکی

تبدیل می‌شود. این کار توسط مجموعه‌ای از پنل‌های خورشیدی (که بسته‌بندی‌هایی حفاظت شده از تعدادی سلول فوتوولتائیکی می‌باشند) انجام می‌گیرد.

کل مصرف انرژی الکتریکی مردم در سال 2005، 15 تریلیون کیلووات-ساعت بوده است. پیش‌بینی می‌شود که این مقدار در سال 2015 به 19 تریلیون کیلووات-ساعت برسد. بدین معنی که سالیانه حدود 2/6 درصد افزایش مصرف انرژی الکتریکی در جهان خواهیم داشت. همچنین متوسط رشد مصرف سالیانه انرژی الکتریکی کشورهای توسعه یافته 5 درصد است که این مقدار دو برابر متوسط رشد مصرف سالیانه جهان می‌باشد. اثرات مصرف بالای انرژی در زمین و آب و هوا کاملاً مشخص می‌باشد و یکی از راه‌حل‌های ممکن پایین آوردن میزان مصرف انرژی است، حال آن که این امر نمی‌تواند به طور موثر ادامه داشته باشد. به مدت دو قرن انرژی الکتریکی مورد نیاز مردم جهان از طریق سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شد. در 5 دهه اخیر بخشی از این انرژی توسط نیروگاه‌های هسته‌ای تولید می‌شود. اما تولید انرژی بدین طریق مشکلات زیست محیطی را پدید می‌آورد. بدین ترتیب جوامع صنعتی و همچنین شهرهای بزرگ با مشکل آلودگی محیط زیست مواجه شدند و از طرف دیگر مشاهده می‌شود که مواد اولیه و سوخت مورد نیاز آن‌ها با شتاب روز افزون در حال تمام شدن است.

در سال 2005، کشور ایالات متحده 4 تریلیون کیلووات-ساعت انرژی الکتریکی تولید کرده است. 70 درصد این مقدار (2/8 تریلیون کیلووات-ساعت) از سوخت‌های فسیلی که اکثریت آن زغال سنگ بوده، تولید شده است. در نتیجه به میزان 2/5 بیلیون تن گاز $CO2$، 20 میلیون تن گاز $SO2$ و 8 میلیون تن گاز NOX در جو زمین تولید شده است. اثرات تولید چنین حجمی از گازهای سمی بر سلامت انسان و محیط زیست قابل توجه است. همچنین اثرات میدان‌های مغناطیسی خطوط انتقال فشار قوی بر سلامت انسان اخیراً مورد توجه قرار گرفته است. افزایش مشکلات زیست محیطی در سال‌های اخیر، از قبیل گرم شدن کره زمین، اثرات نامطلوب گازهای گلخانه‌ای و همچنین محدود بودن ذخایر سوخت‌های فسیلی بشر را به سمت استفاده از منابع پاک و تجدیدپذیر سوق داده است.

1-1) یافتن انرژی جایگزین سوخت‌های فسیلی، ضرورت جهان آینده

پیشرفت علم و فناوری ضمن دستاوردهای فراوان برای آسایش و رفاه بشر همواره مشکلات تازه‌ای را با خود به همراه آورده است. مثال ملموس در این مورد آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از سوخت‌های فسیلی است. اهمیت استفاده از این منابع به حدی است که حتی لحظه‌ای توقف در این کار روند زندگی در جهان مدرن را مختل خواهد نمود. اما موضوع به همین جا ختم نمی‌شود. گازهایی که در نتیجه سوختن این مواد وارد هوا می‌شوند دلیل اصلی ایجاد مشکلات تنفسی برای انسان و آلودگی محیط زیست هستند. در عین حال، انتشار این گازها در جو زمین مانع خروج گرما از اطراف زمین می‌شود. پدیده‌ای که نتیجه آن

افزایش دمای هوا و تغییرات آب و هوایی گسترده در زمین است و اثر گلخانه‌ای نامیده می‌شود. چنانچه افزایش دمای هوا مطابق روند فعلی صورت پذیرد، بازگرداندن آن به وضعیت سابق تقریباً غیرممکن خواهد بود. بهترین راه‌حل ممکن که اکثر دانشمندان آنرا پیشنهاد کرده‌اند، متوقف نمودن روند افزایش رو به رشد این گازهای مضر است. دانشمندان معتقدند که از آغاز انقلاب صنعتی تاکنون میلیاردها تن از این گازها وارد جو زمین شده است. میزان این گازهای مضر در هوای زمین در حال حاضر 30 درصد بیش از آن چیزی است که قبل از انقلاب صنعتی وجود داشته است. هر چه کشورها به سمت صنعتی شدن حرکت کرده‌اند، میزان تولید دی‌اکسیدکربن جو بیشتر شده است. پیش‌بینی می‌شود تا نیمه قرن حاضر مقدار این گاز به دو برابر افزایش یابد و این مساله دمای هوای زمین را به میزان 3 تا 10 درجه افزایش خواهد داد. از آنجا که دی‌اکسیدکربن گازی بی‌رنگ و بی-بو است، آلودگی آن مستقیماً جلب‌توجه نمی‌کند. این مساله نیازمند بررسی دوباره و جدی منابعی است که می توانند جایگزین سوخت‌های فسیلی شوند. در حال حاضر، اتفاق نظر کلی درباره چگونگی مواجهه با این مشکل در میان دانشمندان، گروههای طرفدار محیط زیست و مدیران صنعتی وجود ندارد. گروهی از متخصصان بر بهره‌گیری از منابع سنتی انرژی مثل باد و انرژی خورشیدی تاکید می‌ورزند. عده‌ای دیگر معتقدند استفاده از سوخت‌های فسیلی ادامه می‌یابد اما باید راههای تازه‌ای برای جمع-آوری دی‌اکسیدکربن قبل از ورود آن به هوا یافته‌شود. در این میان استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، می‌تواند پاسخگوی مناسبی برای جایگزینی انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی باشد[1] .

در مقاله‌ای که اخیراً توسط دکتر مارتین هوفرت استاد فیزیک دانشگاه نیویورک و 17 تن از همکاران وی به چاپ رسید[1]، به بررسی و تحقیق درباره منابع جایگزین سوخت‌های فسیلی پرداخته شده است. بررسی‌ها حاکی از آن است که در حال حاضر 85 درصد انرژی مورد نیاز جهان از منابع سوخت‌های فسیلی تامین می‌شود. از 15 درصد باقیمانده، انرژی حاصل از سدهای آبی و انرژی هسته‌ای هر کدام حدود 6/5 درصد و انرژی خورشیدی و انرژی باد مجموعاً 2 درصد نیاز بشر به انرژی را تامین می‌کنند. در این بررسی مشخص شده که چنانچه بخواهد افزایش دمای زمین محدود گردد، استفاده از منابع غیرفسیلی باید به 4 تا 14 برابر میزان فعلی افزایش یافته و باید تا پایان قرن حاضر حداقل سه چهارم انرژی مصرفی جهان از سایر منابع غیرفسیلی تامین شود.

به نظر می‌رسد آنچه بیش از همه مورد نیاز است، یافتن روش‌های جدید مبتنی بر فناوری پیشرفته‌ای است که این برنامه‌ها را عملی کنند. هدفی که دستیابی به آن چندان هم آسان نیست. علت این امر گران‌بودن انرژی تولیدی از سایر منابع نسبت به انرژی حاصله از نفت و سایر سوخت‌های رایج است. در روش‌های دیگر نیز، مثل تولید انرژی از گاز هیدروژن، انرژی که می‌باید جهت شکستن مولکول آب مصرف شود بیش از انرژی حاصله از هیدروژن است و از اینرو، این روش‌ها اقتصادی نخواهند بود. روش دیگر، تولید انرژی الکتریکی از سدهای آبی است که به علت محدودیت منابع آب در روی زمین عملاً امکان افزایش

ظرفیت چندانی نسبت به ظرفیت موجود ندارد. راه‌حل‌هایی همانند صرفه‌جویی در مصرف انرژی، احداث ساختمان‌های دارای عایق حرارتی مناسب، تولید اتومبیل‌های کم‌مصرف و.. از جمله مواردی هستند که منجر به کاهش مصرف انرژی شده و بدین ترتیب در کاهش آلودگی محیط‌زیست نیز موثرند.

در این راستا نور خورشید یکی از منابع مورد توجه دانشمندان برای تامین انرژی جایگزین سوخت‌های رایج است. در دهه‌های گذشته تولید انرژی الکتریکی از نور خورشید بسیار گران تمام می‌شد که این میزان در حال حاضر با ساخت سلول‌های جدید خورشیدی به میزان زیادی کاهش یافته است. محققان امیدوارند در آینده با انجام تحقیقات جدید و یافتن راههای بهتر برای جذب نور خورشید، این فرآیند بسیار ارزان‌تر شده و تا حدودی از جنبه اقتصادی مقرون به صرفه شود. برای حل مشکل عدم دسترسی به نور خورشید در روزهای ابری یا مناطق پرباران، سلول‌های خورشیدی می توانند در فضا نصب شده و انرژی نور خورشید از طریق این سلول‌ها به صورت امواج مایکروویو به زمین ارسال شود. با پوشاندن 16 درصد از سطح کره‌ی زمین، آنهم با سلول‌های خورشیدی که فقط 10 درصد بازده تبدیل انرژی دارند، حدود 20 تراوات ($20\ Tw$) توان الکتریکی تولید می‌شود که این میزان، دو برابر مقدار مصرف انرژی الکتریکی حاصل از سوخت‌های فسیلی است.

سیستم‌های فوتوولتائیک[1]، سیستم‌هایی هستند که تابش دریافتی از خورشید را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. با تبدیل انرژی تابشی خورشید به انرژی الکتریکی توسط سلول‌های فوتوولتائیک، میزان دلار بر وات *($/watt)* هزینه شده برای انرژی الکتریکی به شدت پائین خواهد آمد. با استفاده از دنبال‌کننده‌های خورشیدی، می توان تا حد زیادی به بهبود بازده این سیستم‌ها کمک نمود و گامی بزرگ در جهت بومی نمودن و ارتقاء این مبحث مهم تولید انرژی برداشت. در نتیجه استفاده از منابع انرژی-های تجدیدپذیر از جمله انرژی خورشیدی، می تواند نیاز خیلی زیاد مصرف انرژی بشر را تامین کند.

بخش اصلی یک سیستم فوتوولتائیک، پنل فوتوولتائیک می‌باشد. پنل‌های فوتوولتائیک که در معرض خورشید قرار می‌گیرند، متشکل از سلول‌های فوتوولتائیک هستند. این سلول‌ها از مواد نیمه‌هادی سیلیکونی ساخته شده اند. سیستم‌های فوتوولتائیک شامل تجهیزات دیگری از جمله مبدل‌هایی برای تبدیل جریان مستقیم به جریان متناوب، منبع ذخیره کننده انرژی و ... نیز می-باشند.

[1] *photovoltaic*

2-1) اصول کار یک سلول فوتوولتائیک(PV)

فوتوولتائیک *"Photovoltaic"* ترکیبی از کلمه یونانی *"Photos"* به معنی نور و *"Volt"* می باشد و روی‌هم-رفته به معنای تولید الکتریسیته از نور است. تاریخچه فوتوولتائیک به سال 1839 برمی‌گردد. هنگامی که فیزیکدان فرانسوی ادموند بکرل[1] برای اولین بار اثر فوتوولتائیک را مشاهده کرد. در سال 1886، چارلز فیتس[2] آمریکایی یک سلول فوتوولتائیک سلنیوم ساخت که نور مرئی را به الکتریسیته با راندمان 1 درصد تبدیل می‌کرد. در سال 1930 این نظریه برای ویژگی‌های الکتریکی سیلیکون و دیگر نیمه هادی‌های کریستالی پیشرفت کرد و در نهایت تولید نسل اولیه سلول‌های فوتوولتائیک با استفاده از سیلیکون در سال 1954 در آزمایشگاه بل رخ داد. طبق این تولید نشان داده شد که سلول‌های خورشیدی بر اساس پیوندهای p-n ساخته شده از کریستال si، می‌توانند با بازده 5 الی6 درصد نور خورشید را به انرژی الکتریکی تبدیل کنند[7].

سیلیکون یکی از بیشترین مواد نیمه‌هادی چهارظرفیتی مورد استفاده برای ساخت این سلول‌ها است که ساختار کریستالی مانند الماس دارد. تبدیل انرژی فوتوولتائیک به طبیعت کوانتومی نور وابسته است که انرژی مشخصی را طبق فرمول (1-1) حمل می‌کند؛[3],[2]

$$E_{ph} = \frac{hc}{l} \qquad (1\text{-}1)$$

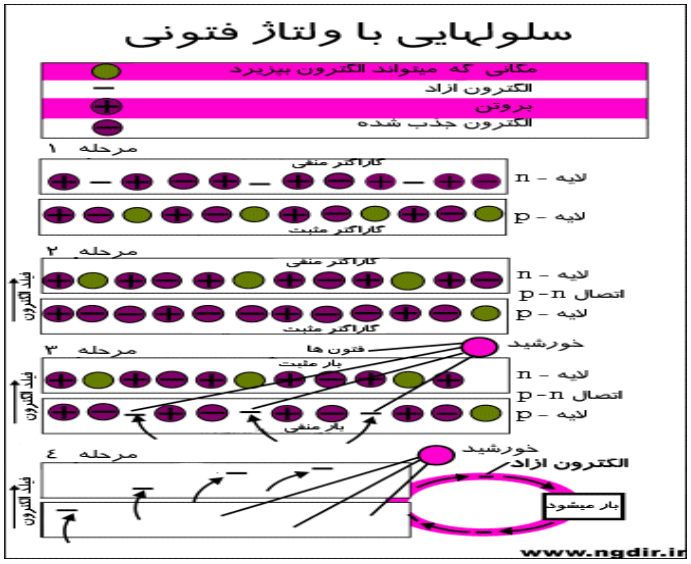
h: ثابت پلانک C: سرعت نور l : طول موج نور

نور خورشید از فوتون‌ها، یا ذرات انرژی ساخته شده است. این فوتون‌ها که مقادیر متغیر انرژی را شامل می‌شوند مشابه طول موجهای متفاوت طیف‌های نوری هستند. وقتی فوتون‌ها به یک سلول فوتوولتائیک برخورد می‌کنند، ممکن است منعکس شوند، مستقیم از میان آن عبور کنند، یا جذب شوند. فقط فوتونهای جذب شده انرژی را برای تولید الکتریسیته فراهم می‌کنند. وقتی که نور خورشید کافی باشد و انرژی توسط جسم نیمه‌رسانا جذب شود، الکترون‌ها در اتم‌های جسم جابجا می‌شوند. با توجه به خاصیت پخش الکترون‌ها در سطح اجسام، الکترون‌ها بطور طبیعی به سطح اجسام مهاجرت می‌کنند.

در پیوندهای P-N زمانی که الکترون‌ها موقعیت N را ترک می‌کنند، به جای آنها حفره‌ها شکل می‌گیرند. تعداد الکترونها زیاد است، هر کدام یک بار منفی را حمل می‌کنند و به طرف جلوی سطح سلول می‌روند، در نتیجه عدم توازن بار بین سلول‌های

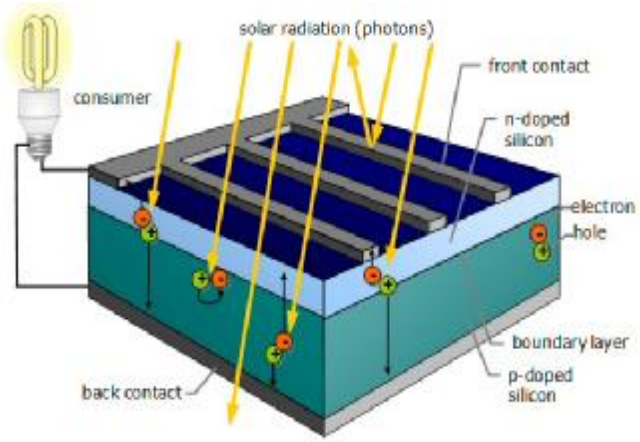
[1] *Edmond Becquerel*
[2] *Charles Fits*

سطوح‌جلویی و سطوح‌عقبی یک پتانسیل ولتاژ شبیه قطب‌های مثبت و منفی یک باطری را ایجاد می‌کند. وقتی که بین دو سطح از طریق یک راه داخلی ارتباط برقرار شود، الکتریسیته جریان می‌یابد. فرآیند تولید برق بوسیله یک سلول فوتوولتائی در شکل(1-1) نشان داده شده است.



شکل (1- 1) فرایند تولید برق بوسیله یک سلول فوتوولتائی

تک سلول‌ها در اندازه‌هایی حدود 1 cm تا 10 cmساخته می‌شوند. هر سلول، توان 1 یا 2 وات تولید می‌کند که این انرژی برای بیشتر کاربردها کافی نیست. برای اینکه بازده انرژی افزایش یابد باید با ترکیب سلول‌ها یک مدول از آنها ساخته شود. با ترکیب مدول‌ها یک آرایش فوتوولتائیک تشکیل می‌شود. در شکل(1-2) فرایند تولید برق بوسیله یک مدول فوتوولتائی نشان داده شده است.



شکل(1-2) فرایند تولید برق بوسیله یک مدول فوتوولتائی