

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده برق و رباتیک

گروه کنترل

کنترل فازی بهینه سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه

دانشجو :

علی فدائی

استاد راهنما :

دکتر حسین قلی زاده نرم

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

ماه و سال انتشار :

بهمن ۹۳



مدیریت تحصیلات تکمیلی  
فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

شماره: ۱۲۴۱/آت.ب

تاریخ: ۹۳/۱۱/۰۴

ویرایش: -----

فرم صورتجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای:

علی فدایی رشته: برق گرایش: کنترل

تحت عنوان: کنترل فازی بهینه سیستم فتو ولتائیک متصل به شبکه

که در تاریخ ۹۳/۱۱/۰۴ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است:

قبول (با درجه: بسیار خوب (۱۸))  دفاع مجدد  مردود

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)

۲- بسیار خوب (۱۸ - ۱۸/۹۹)

۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)

۴- قابل قبول (۱۴ - ۱۵/۹۹)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

امضاء	مرتبۀ علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استاد	حسین مهرزاد	۱- استاد راهنما
		-	۲- استاد مشاور
	استاد	مرتضی رحمانی	۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
	استادیار	محمدحسین اصفهانی	۴- استاد ممتحن
	استاد	علی رستگار	۵- استاد ممتحن

رئیس دانشکده:

**تقديم به**

**پدر و مادر مهربان**

**9**

**همسر صبورم**

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و سلام و دورد بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است؛ و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز...  
بر حسب وظیفه و از باب

" من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزوجل " :  
از پدر و مادر عزیزم، این دو معلم بزرگوارم، که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت هایم گذشته اند و در تمام عرصه های زندگی یار و یاور بی چشم داشت برای من بوده اند؛  
از همسر مهربانم، که با صبرش، در تمامی لحظات رفیق راهم بوده و در سایه همیاری و همدلی او به این منظور نائل شدم. او که سایه مهربانیش سایه سار زندگی من باشد و مشکلات مسیر را برایم تسهیل نمود؛  
از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر قلی زاده نرم که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده گرفتند؛  
کمال تشکر و قدردانی را دارم باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

## تعهد نامه

اینجانب علی فدائی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش کنترل دانشکده برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کنترل فازی بهینه سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه تحت راهنمایی دکتر حسین قلی زاده نرم متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافتهای آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

### تاریخ

### امضای دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

## چکیده :

در این پایان نامه با استفاده از کنترل کننده فازی عمل ردیابی نقطه حداکثر توان در سیستم فتوولتائیک مستقل از شبکه با بار مقاومتی متغیر و همچنین تحت تابش و دمای متغیر و استاندارد انجام می شود. روش آشفتن و مشاهده نیز برای ردیابی نقطه حداکثر توان استفاده شده و با روش فازی مقایسه می شود. نتایج به دست آمده عملکرد مناسب کنترل کننده فازی را جهت ردیابی نقطه حداکثر توان بیان می کند. همچنین جهت بهینه سازی گروه های فازی از الگوریتم اجتماع ذرات استفاده می گردد که باعث بهبود عملکرد کنترل کننده فازی می شود. در پایان نیز با استفاده از کنترل کننده فازی طراحی شده، سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه تک فاز پیاده سازی می گردد و با روش کنترل جریان هیستریزیس، سوئیچینگ اینورتر جهت تزریق حداکثر توان به شبکه انجام می شود.

**کلمات کلیدی :** آشفتن و مشاهده ، کنترل کننده فازی ، ردیابی حداکثر توان ، اینورتر، الگوریتم

اجتماع ذرات، کنترل جریان هیستریزیس

## فهرست مطالب :

۱.....	فصل اول : مقدمه
۲.....	۱-۱ مقدمه
۳.....	۲-۱ برنامه توسعه انرژی های پاک
۵.....	۳-۱ انرژی خورشیدی در ایران
۶.....	۴-۱ بیان مسأله
۷.....	۵-۱ پیشینه تحقیق
۸.....	۶-۱ ساختار پایان نامه
۹.....	فصل دوم : سیستم های فتوولتائیک
۱۰.....	۱-۲ مقدمه
۱۱.....	۲-۲ تعریف سیستم های برق خورشیدی فتوولتائیک
۱۱.....	۳-۲ مزایا و معایب سیستم های فتوولتائیک
۱۲.....	۴-۲ ساختار سیستم فتوولتائیک
۱۲.....	۵-۲ سیستم فتوولتائیک مستقل از شبکه (Stand Alone)
۱۳.....	۶-۲ سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه (Grid Connected)
۱۴.....	۲-۷ مازول فتوولتائیک
۱۸.....	۸-۲ آرایه فتوولتائیک
۱۹.....	۹-۲ تجهیزات کنترل توان
۲۱.....	فصل سوم : ردیابی نقطه حداکثر توان در سیستم های فتوولتائیک



۲۲	.....	۱-۳ مقدمه
۲۲	.....	۲-۳ مشخصه ماژول فتوولتائیک
۲۶	.....	۳-۳ تکنیک ردیابی نقطه حداکثر توان
۲۷	.....	۱-۳-۳ روش کنترل وابسته به ریپل (RCC)
۲۷	.....	۲-۳-۳ الگوریتم آشفتن و مشاهده کردن (P&O)
۲۹	.....	۳-۳-۳ الگوریتم هدایت افزایشی (INC)
۳۱	.....	۴-۳-۳ روش ولتاژ مدار باز جزئی
۳۱	.....	۵-۳-۳ روش جریان اتصال کوتاه جزئی
۳۱	.....	۶-۳-۳ روش شبکه عصبی
۳۳	.....	۷-۳-۳ روش کنترل منطق فازی
۳۵	.....	فصل چهارم : طراحی کنترل کننده فازی بهینه برای ردیابی نقطه حداکثر توان
۳۶	.....	۱-۴ مقدمه
۳۶	.....	۲-۴ مبدل بوست
۴۰	.....	۴-۳ اینورتر
۴۲	.....	۴-۴ الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات (PSO)
۴۴	.....	۵-۴ طراحی و بهینه‌سازی کنترل کننده فازی
۴۴	.....	۱-۵-۴ مرحله فازی سازی
۴۵	.....	۲-۵-۴ قوانین و استنتاج
۴۵	.....	۳-۵-۴ غیرفازی سازی

فصل پنجم : شبیه سازی	۵۵
۱-۵ مقدمه	۵۶
۲-۵ انتخاب ماژول فتوولتائیک	۵۶
۳-۵ پارامترهای بوست	۵۷
۴-۵ شبیه سازی سیستم فتوولتائیک مستقل از شبکه با بار اهمی	۵۸
۵-۵ شبیه سازی تحت شرایط متفاوت دما و تابش	۶۷
۶-۵ شبیه سازی تحت تغییرات بار مقاومتی	۶۹
۷-۵ شبیه سازی سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه تک فاز	۷۰
۱-۷-۵ همگام سازی با شبکه	۷۱
۲-۷-۵ کنترل کننده PID	۷۱
فصل ششم : نتیجه گیری و پیشنهادات	۸۱
مراجع	۸۳

## فهرست اشکال :

- شکل (۱-۱) پیش‌بینی تولید برق در جهان از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۳۵ ..... ۲
- شکل (۲-۱) میزان تولید انرژی های پاک سال ۲۰۰۲ ..... ۴
- شکل (۳-۱) پیش‌بینی تولید انرژی در سال ۲۰۳۰ ..... ۴
- شکل (۱-۲) نحوه ی تبدیل انرژی در سلول خورشیدی ..... ۱۰
- شکل (۲-۲) نمای کلی سیستم مستقل از شبکه ..... ۱۲
- شکل (۳-۲) نمای کلی سیستم متصل به شبکه ..... ۱۳
- شکل (۴-۲) مدار معادل سلول فتوولتائیک ..... ۱۴
- شکل (۵-۲) مدل معادل دقیق سلول فتوولتائیک ..... ۱۵
- شکل (۶-۲) مدار معادل سلول فتوولتائیک با ترکیب دیودها و صرف نظر از مقاومت موازی ..... ۱۷
- شکل (۷-۲) سلول، ماژول و آرایه ی خورشیدی ..... ۱۸
- شکل (۱-۳) مشخصه ی I-V ماژول خورشیدی BP SX 150S ..... ۲۳
- شکل (۲-۳) تاثیر دما بر مشخصه ی I-V ماژول خورشیدی ..... ۲۴
- شکل (۳-۳) تاثیر دما بر مشخصه ی P-V ماژول خورشیدی ..... ۲۴
- شکل (۴-۳) تاثیر تابش بر مشخصه ی I-V ماژول خورشیدی ..... ۲۵
- شکل (۵-۳) تاثیر تابش بر مشخصه ی P-V ماژول خورشیدی ..... ۲۵
- شکل (۶-۳) اتصال مستقیم یک بار مقاومتی به PV ..... ۲۶
- شکل (۷-۳) فلوجارت الگوریتم P&O ..... ۲۸
- شکل (۸-۳) منحنی P-V در الگوریتم هدایت افزایشی ..... ۲۹
- شکل (۹-۳) الگوریتم IncCon ..... ۳۰
- شکل (۱۰-۳) ساختار شبکه عصبی ..... ۳۲

- شکل (۳-۱۱) نمای کلی سیستم فازی ..... ۳۴
- شکل (۴-۱) مدار معادل مبدل بوست ایده آل ..... ۳۶
- شکل (۴-۲) مبدل بوست در حالت بسته شدن کلید ..... ۳۷
- شکل (۴-۳) مبدل بوست در حالت باز شدن کلید ..... ۳۷
- شکل (۴-۴) الف : ولتاژ سلف ب : جریان سلف ج : جریان دیود د : جریان خازن ..... ۳۸
- شکل (۴-۵) مدار معادل اینورتر تک فاز ..... ۴۱
- شکل (۴-۶) الف : حالت وصل سوئیچ های  $S1$  و  $S2$  ب : حالت وصل سوئیچ های  $S3$  و  $S4$  ..... ۴۱
- شکل (۴-۷) الف: سیستم فازی در حالت متداول ب: سیستم فازی استفاده شده ..... ۴۶
- شکل (۴-۸) توابع عضویت گروه های فازی ورودی اول ( $E$ ) ..... ۴۸
- شکل (۴-۹) توابع عضویت گروه های فازی ورودی دوم ( $CE$ ) ..... ۴۸
- شکل (۴-۱۰) توابع عضویت گروه های فازی ورودی سوم ( $Vpv$ ) ..... ۴۹
- شکل (۴-۱۱) توابع عضویت گروه های فازی خروجی ( $\Delta D$ ) ..... ۴۹
- شکل (۴-۱۲) نمودار تابع هزینه ..... ۵۱
- شکل (۴-۱۳) توابع عضویت گروه های فازی ورودی اول ( $E$ ) بعد از بهینه سازی ..... ۵۲
- شکل (۴-۱۴) توابع عضویت گروه های فازی ورودی دوم ( $CE$ ) بعد از بهینه سازی ..... ۵۲
- شکل (۴-۱۵) توابع عضویت گروه های فازی ورودی سوم ( $Vpv$ ) بعد از بهینه سازی ..... ۵۳
- شکل (۴-۱۶) توابع عضویت گروه های فازی خروجی ( $\Delta D$ ) بعد از بهینه سازی ..... ۵۳
- شکل (۵-۱) مدار معادل کلی سیستم ..... ۵۶
- شکل (۵-۲) سیستم فتوولتائیک مستقل از شبکه با بار اهمی ..... ۵۸
- شکل (۵-۳) ولتاژ خروجی مازول فتوولتائیک ..... ۵۹
- شکل (۵-۴) جریان خروجی مازول فتوولتائیک ..... ۵۹
- شکل (۵-۵) ولتاژ خروجی مبدل بوست با روش P&O ..... ۶۰

- شکل (۶-۵) ریپل ولتاژ خروجی مبدل بوست با روش P&O ..... ۶۰
- شکل (۷-۵) جریان خروجی مبدل بوست با روش P&O ..... ۶۱
- شکل (۸-۵) ریپل جریان خروجی مبدل بوست با روش P&O ..... ۶۱
- شکل (۹-۵) توان خروجی مبدل بوست با روش P&O ..... ۶۲
- شکل (۱۰-۵) ریپل توان خروجی مبدل بوست با روش P&O ..... ۶۲
- شکل (۱۱-۵) ولتاژ خروجی مبدل بوست با روش کنترل فاز-بهبینه ..... ۶۳
- شکل (۱۲-۵) ریپل ولتاژ خروجی مبدل بوست با روش کنترل فاز-بهبینه ..... ۶۳
- شکل (۱۳-۵) جریان خروجی مبدل بوست با روش کنترل فاز-بهبینه ..... ۶۴
- شکل (۱۴-۵) ریپل جریان خروجی مبدل بوست با روش کنترل فاز-بهبینه ..... ۶۴
- شکل (۱۵-۵) توان خروجی مبدل بوست با روش کنترل فاز-بهبینه ..... ۶۵
- شکل (۱۶-۵) ریپل توان خروجی مبدل بوست با روش کنترل فاز-بهبینه ..... ۶۵
- شکل (۱۷-۵) مقایسه توان ردیابی شده توسط روش فاز-بهبینه و روش P&O ..... ۶۶
- شکل (۱۸-۵) نمودار تغییرات تابش ..... ۶۷
- شکل (۱۹-۵) توان خروجی مبدل بوست با روش کنترل فاز-بهبینه در تابش متغیر ..... ۶۷
- شکل (۲۰-۵) نمودار تغییرات دما ..... ۶۸
- شکل (۲۱-۵) توان خروجی مبدل بوست با روش کنترل فاز-بهبینه در دمای متغیر ..... ۶۸
- شکل (۲۲-۵) نمودار تغییرات بار ..... ۶۹
- شکل (۲۳-۵) توان خروجی مبدل بوست با روش فاز-بهبینه در تغییرات بار ..... ۶۹
- شکل (۲۴-۵) سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه با کنترل کننده فاز-بهبینه ..... ۷۰
- شکل (۲۵-۵) ولتاژ خروجی ماژول فتوولتائیک ..... ۷۴
- شکل (۲۶-۵) جریان خروجی ماژول فتوولتائیک ..... ۷۵
- شکل (۲۷-۵) ولتاژ خروجی مبدل بوست ..... ۷۵

- شکل (۲۸-۵) توان خروجی مبدل بوست ..... ۷۶
- شکل (۲۹-۵) ولتاژ شبکه ..... ۷۶
- شکل (۳۰-۵) جریان مرجع ..... ۷۷
- شکل (۳۱-۵) جریان مرجع به همراه جریان تزریقی به شبکه ..... ۷۷
- شکل (۳۲-۵) ردیابی جریان مرجع توسط جریان تزریقی به شبکه ..... ۷۸
- شکل (۳۳-۵) مقدار خطای ردیابی جریان مرجع توسط جریان تزریقی به شبکه ..... ۷۸
- شکل (۳۴-۵) توان اکتیو و راکتیو تزریقی به شبکه ..... ۷۹

## فهرست جداول :

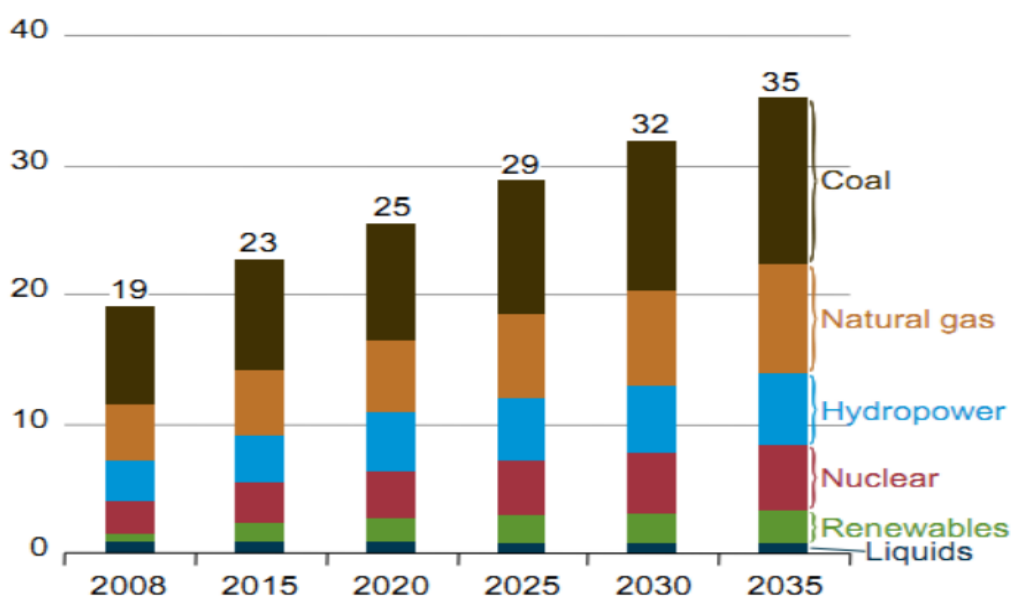
- جدول (۱-۱) رشد استفاده از سلول‌های فتوولتائیک در کشورهای توسعه یافته (بر حسب مگا وات) ..... ۵
- جدول (۲-۱) میزان مصرف انرژی در ایران در بخش‌های مختلف و پیش‌بینی در سال ۲۰۲۱ (بر حسب گیگاوات) ..... ۶
- جدول (۱-۴) قوانین فازی ..... ۵۰
- جدول (۱-۵) اطلاعات فنی ماژول ..... ۵۶
- جدول (۲-۵) پارامترهای ماژول ..... ۵۷
- جدول (۳-۵) نتایج مقایسه بین روش‌های P&O و کنترل فازی و کنترل فازی-بهینه ..... ۶۶
- جدول (۴-۵) پارامترهای کنترل کننده PID در روش حلقه باز ..... ۷۲
- جدول (۵-۵) پارامترهای کنترل کننده PID در روش حلقه بسته ..... ۷۳

۱. فصل اول :

مقدمه



فعالیت‌های بشر پیوسته در حال تغییر شکل زمین و اتمسفر اطراف آن است. تبدیل جنگل‌ها به زمین‌های کشاورزی و یا تخریب آن‌ها برای مقاصد دیگر، پیدایش اثر گلخانه‌ای و همچنین با گسترش صنعت و تکنولوژی و استفاده انبوه و بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی، خطر آلودگی و تخریب محیط زیست روز به روز بشر و این کره خاکی را مورد تهدید قرار می‌دهد. در حال حاضر منابع انرژی فسیلی به عنوان مهم‌ترین و اصلی‌ترین منابع تأمین‌کننده انرژی بشر تلقی می‌گردند. با گذشت زمان مصرف انرژی الکتریکی با توجه به روند رو به رشد جمعیت و صنعتی شدن افزایش پیدا خواهد کرد و بنابراین توان تولیدی واحدهای نیروگاهی باید افزایش یابد. شکل (۱-۱) پیش‌بینی تولید برق در جهان از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۳۵ و سهم هر کدام از روشهای تولید را نشان می‌دهد. با توجه با این شکل افزایش استفاده از سوخت‌های فسیلی موجب افزایش آلودگی زیست محیطی و تولید گازهای گلخانه‌ای شده که مهمترین دلیل گرمایش جهانی است. محدود بودن این منابع، افزایش شدید قیمت آن و آلودگی‌های شدید زیست محیطی، بشر را به فکر جایگزینی برای تأمین انرژی انداخته است که هیچ کدام از مشکلات مذکور را به همراه نداشته باشد [۱].



شکل (۱-۱) پیش‌بینی تولید برق در جهان از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۳۵ [۱]

در حال حاضر مطالعه پیرامون استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و همچنین فرآیند جایگزینی انرژی های فسیلی، به شدت در حال گسترش است. منابع زیادی به عنوان انرژی تجدیدپذیر در دسترس هستند از قبیل انرژی خورشیدی، باد، زمین گرمایی، هیدروژن (پیل سوختی) و... اما به نظر میرسد در میان آنها گرایش به سمت انرژی خورشیدی بیشتر باشد. خورشید یک منبع بی پایان انرژی است که همیشه و در همه جای جهان قابل استفاده می باشد. براساس تحقیقات آزمایشگاه ملی انرژی های قابل بازیافت امریکا میزان انرژی خورشیدی که در هر دقیقه به سطح زمین می رسد بیشتر از انرژی است که که توسط انسانها در یک سال مصرف می شود. در این فصل اهمیت انرژی های نو، برنامه توسعه آن و همچنین اجرای طرح های خورشیدی در کشور ایران ارائه شده است.

## ۲-۱ برنامه توسعه انرژی های پاک

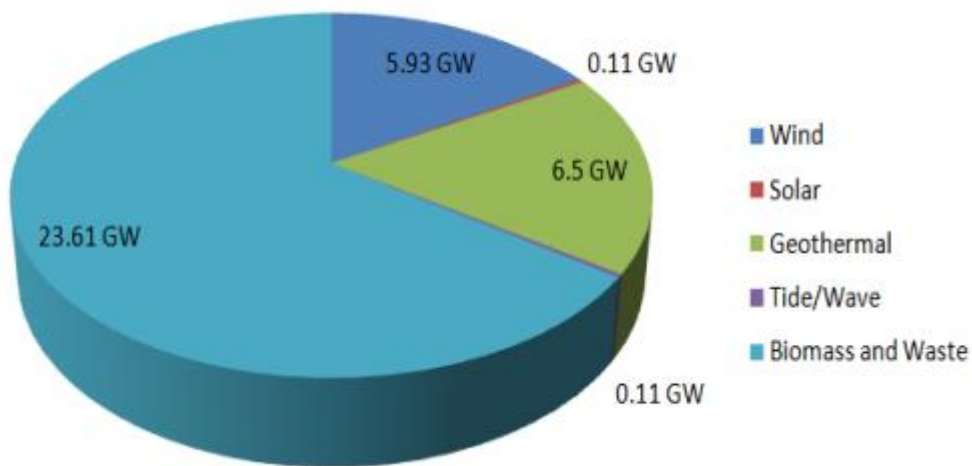
در حال حاضر برنامه ریزی های گسترده ای جهت جایگزینی منابع انرژی فسیلی با منابع انرژی تجدیدپذیر وجود دارد که یکی از مهمترین این منابع، انرژی خورشیدی می باشد. انرژی خورشیدی منبع اصلی تأمین کننده سایر انرژی هاست. از انرژی خورشیدی برای مصارف مختلفی می توان استفاده نمود. یکی از مهم ترین کاربردهای انرژی خورشیدی تولید برق می باشد. تولید برق به دو روش مستقیم و غیرمستقیم صورت می پذیرد. در روش مستقیم که با استفاده از سیستم های فتوولتائیک (PV)<sup>۱</sup> صورت می پذیرد، انرژی خورشید به طور مستقیم بعد از برخورد به سلول های فتوولتائیک تبدیل به انرژی الکتریسیته می شود ولی در روش غیرمستقیم، ابتدا انرژی خورشیدی تبدیل به انرژی گرمایی شده و سپس انرژی گرمایی تبدیل به انرژی الکتریکی می شود. نیروگاه هایی که به این روش تولید برق می نمایند به نیروگاه های حرارتی خورشیدی (CSP)<sup>۲</sup> موسوم هستند [۲-۳].

---

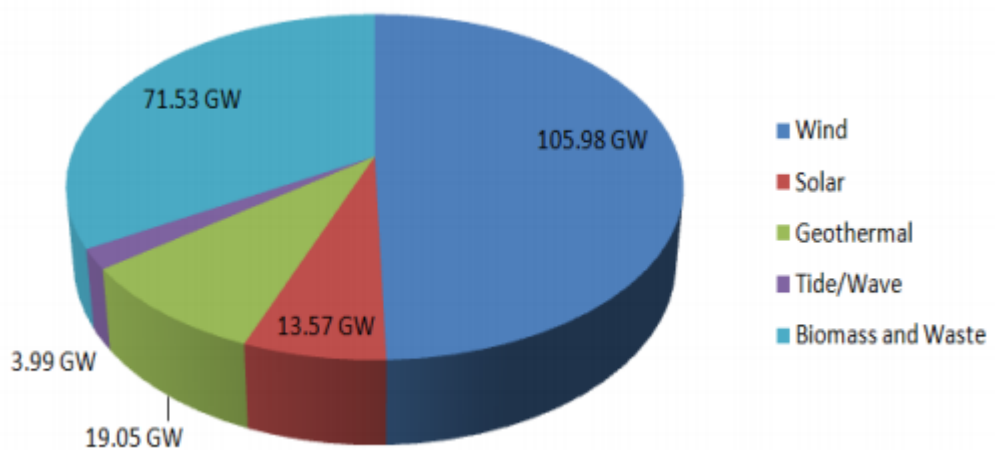
<sup>۱</sup> Photovoltaic

<sup>۲</sup> Concentrating solar power

در شکل های (۲-۱) و (۳-۱) میزان سهم هریک از منابع تجدیدپذیر در تأمین انرژی در سال های ۲۰۰۲ و ۲۰۳۰ با هم مقایسه شده است. همانگونه که مشاهده می شود میزان تولید انرژی از خورشید در سال ۲۰۳۰ تقریباً ۱۲۰ برابر خواهد شد [۴].



شکل (۲-۱) میزان تولید انرژی های پاک سال ۲۰۰۲ [۴]



شکل (۳-۱) پیش بینی تولید انرژی در سال ۲۰۳۰ [۴]

استفاده از سلول‌های فتوولتائیک جهت تأمین برق به جای استفاده از برق حاصل از سوخت‌های فسیلی، در دهه های اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته است. به گونه ای که اکثر کشورهای توسعه یافته سیاست اصلی تولید برق پاک خود را بر همین اساس تنظیم و تدوین کرده اند. جدول زیر رشد استفاده از سلول‌های فتوولتائیک در چند کشور توسعه یافته را نشان می‌دهد [۵].

جدول (۱-۱) رشد استفاده از سلول‌های فتوولتائیک در کشورهای توسعه یافته (بر حسب مگا وات) [۵]

کشور	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹	درصد رشد
ایتالیا	۷	۱۳	۱۰۵	۱۸۴	۳۲۲	۱۱۵
هند	۸	۹	۱۷	۳۱	۵۷	۴۸
آمریکا	۱۰۳	۱۴۵	۲۶۱	۴۷۰	۸۴۶	۵۲
چین	۱۲	۱۵	۲۶	۴۳	۷۸	۴۵
ژاپن	۲۹۰	۲۸۷	۳۱۲	۴۶۴	۶۷۳	۱۸
آلمان	۸۶۶	۹۵۳	۱۳۰۰	۱۶۲۵	۱۹۸۳	۱۸
اسپانیا	۲۰	۶۱	۴۵۰	۶۹۸	۱۰۴۶	۱۲۱

### ۳-۱ انرژی خورشیدی در ایران

امروزه برنامه های بسیار زیادی در جهت ساخت و توسعه نیروگاه های خورشیدی و سایر نیروگاه های تجدیدپذیر تهیه و در حال اجرا می باشد. به عنوان مثال کشورهای عضو اتحادیه اروپا برنامه ریزی جهت تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز خود را با استفاده از انرژی های تجدیدپذیر به خصوص انرژی خورشیدی آغاز نموده اند. مصرف انرژی در ایران نیز مانند سایر نقاط جهان در حال افزایش است و متأسفانه بر خلاف بسیاری از کشورهای جهان در روند افزایش و نوع مصرف انرژی از الگوی مناسبی برخوردار نمی باشد. در جدول زیر میزان مصرف انرژی در بخش های مختلف از سال ۱۹۷۶ الی ۲۰۰۶ میلادی آورده شده است [۶]. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین میزان مصرف انرژی در ایران مربوط به بخش خانگی و تجاری بوده و بر خلاف آمار جهانی که بخش صنعت رتبه اول را دارا می باشد، این بخش در ایران بعد از مصارف خانگی و حمل و نقل قرار دارد. با توجه به پتانسیل بالای انرژی خورشیدی و قابلیت بسیار زیاد استفاده از آن در مصارف خانگی می‌توان با جایگزینی انرژی