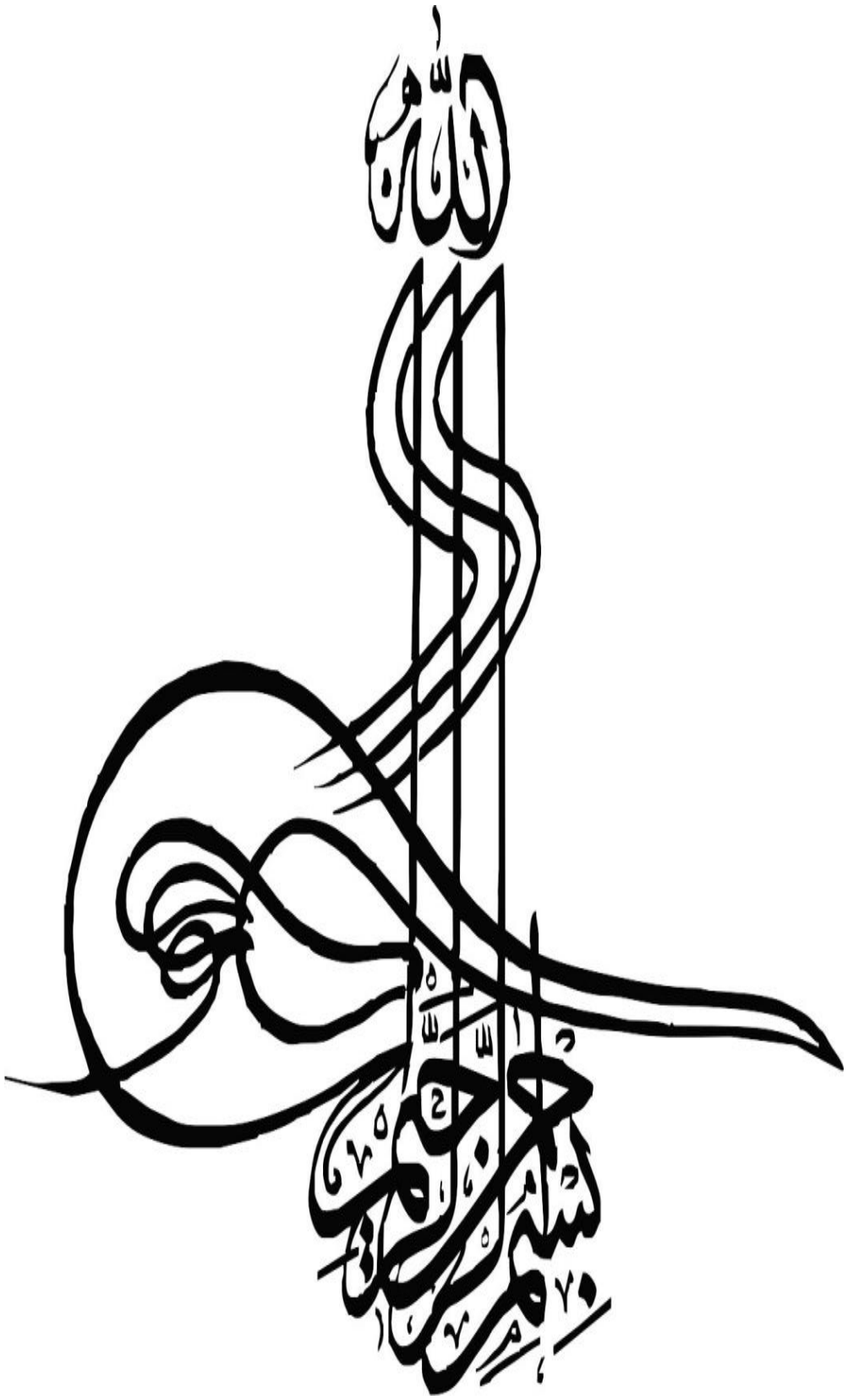
اللهم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی نساجی

مطالعه بازده سلول های خورشیدی حساس به رنگ تهیه شده از چندلایه های نانو ذرات TiO_2/ نانو میله های TiO_2

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی نساجی- تکنولوژی نساجی

الهه رجایی

استاد راهنما
دکتر سیدعبدالکریم حسینی راوندی

۱۳۹۳

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی نساجی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته تکنولوژی نساجی خانم الهه رجایی تحت عنوان

مطالعه بازده سلول های خورشیدی حساس به رنگ تهیه شده از چندلایه های نانو ذرات TiO2/نانو میله های TiO2

در تاریخ ۱۳۹۳/۱۲/۱۹ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱-استاد راهنمای پایان نامه	دکتر سید عبدالکریم حسینی
۲-استاد مشاور پایان نامه	دکتر هاله خلیلی
۳-استاد داور	دکتر مصطفی یوسفی
۴-استاد داور	دکتر محمد ژیانی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر مصطفی یوسفی

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم؛

پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پربار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی 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 یاوری بی چشم داشت برای من بوده اند؛

همسری مهربان که با قلبی آکنده از عشق و معرفت محیطی سرشار از سلامت و امنیت و آرامش و آسایش برای من فراهم آورده است.
فرزندی نازنین که صبورانه من را همراهی نموده تا بتوانم به تهیه و تنظیم پایان نامه بپردازم.

خواهری دلسوز که همواره در طول تحصیل متحمل زحماتم بود و تکیه گاه من در مواجهه با مشکلات، و وجودش مایه دلگرمی من می باشد.

بر خود لازم می‌دانم از تمام اساتید محترمی که در طول تحصیلات دانشگاهی از محضرشان کسب علم نموده‌ام سپاس گذاری نمایم.

از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر حسینی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛ از استاد صبور و با تقوا، سرکار خانم دکتر خلیلی ، که زحمت مشاوره این رساله را در حالی متقبل شدند که بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی رسید؛ و از اساتید فرزانه و دلسوز؛ جناب آقای دکتر ژیانی و جناب آقای دکتر یوسفی که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم.

در پایان از دوست گرامیم سرکار خانم مهندس رضوانی بسیار سپاسگذارم چرا که بدون راهنماییهای ایشان تامین این پایان نامه بسیار مشکل مینمود .

الهه رجایی

اسفند ۱۳۹۳

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه(رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به پدرم

کوهی استوار و حامی من در طول تمام زندگی

تقدیم به مادرم

سنگ صبوری که الفبای زندگی به من آموخت

تقدیم به همسرم

که در سایه همیاری و همدلی او به این منظور نائل شدم.

تقدیم به دلبندم

امید بخش جانم که آسایش او آرامش من است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده ۱

فصل اول: کلیات ۲

۱-۱-منابع مورد استفاده در تولید الکتریسیته ۲

۱-۲- جایگاه انرژی‌های تجدید پذیر در تولید برق ۴

۱-۲-۱- جایگاه انرژی‌های تجدید پذیر در تولید برق در ایران ۵

۱-۳-انرژی خورشیدی ۶

۱-۳-۱- کاربردهای انرژی خورشیدی ۷

۱-۳-۲- مزایای نیروگاه‌های خورشیدی ۸

۱-۴- اثر فتوولتائیک ۹

۱-۴-۱- خواص فتوولتائیک در سلول‌های خورشیدی ۹

۱-۴-۲- اتلاف انرژی در یک سلول خورشیدی ۱۰

۱-۵- مدار معادل ۱۱

۱-۶- انواع سلول‌های فتوولتائیک ۱۳

۱-۷- تاریخچه و معرفی سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگ ۱۴

۱-۸- ساختار سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگ ۱۵

۱-۸-۱- شیشه‌ی پوشانده‌شده با اکسید رسانای شفاف ۱۵

۱-۸-۲- فوتوالکترود نیمه هادی متخلخل ۱۶

۱-۸-۳- رنگ‌های حساس کننده به نور یا فوتوسنسیتایزر ۱۶

۱-۸-۴- الکترولیت ریداکس ۱۸

۱-۸-۵- الکترود شمارنده (کاتد) ۱۹

۱-۸-۶- مواد آب‌بندی ۱۹

۱-۸-۷- ساز و کار سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگ ۱۹

۱-۹- نمونه‌هایی از مطالعات انجام شده در زمینه کاربرد نانو ساختارها در سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ ۲۱

۱-۹-۱- فوتوالکترود ساخته شده از نانوذرات ۲۲

۱-۹-۲-فوتوالکترود ساخته شده از ساختار هسته – پوسته ۲۳

۱-۹-۳-فوتوالکترود ساخته شده از نانوساختارهای یک بعدی ۲۵
۱-۹-۴- فوتوالکترود ساخته شده از نانوساختارهای سه بعدی ۲۸
۱-۹-۵- ساخت و توصیف سلول خورشیدی حساس به رنگ با استفاده از نانو الیاف و نانو میله‌های دی اکسید تیتانیوم در فاز روتایل ۳۱
۱-۹-۶- بهبود خواص فتوولتائیک الکترود دی اکسید تیتانیوم با استفاده از ذرات کادمیم سولفید و رنگ N719..... ۳۱
۱-۹-۷- افزایش بازده سلول خورشیدی حساس به رنگ با استفاده از لایه هافنیم اکسید..... ۳۲
۱-۹-۸- تأثیر ضخامت لایه دی اکسید تیتانیوم بر بازده سلول خورشیدی حساس به رنگ و بهبود خصوصیات با استفاده از گرافن ۳۲
۱-۱۰- دی اکسید تیتانیوم..... ۳۳
۱-۱۱- طراحی آزمایش..... ۳۴
۱-۱۱-۱- روش تاگوچی..... ۳۶
۱-۱۲- جمع بندی و هدف از پژوهش حاضر ۳۸
فصل دوم مواد، تجهیزات و روش آزمایش..... ۳۹
۲-۱-مشخصات مواد مصرفی..... ۳۹
۲-۲-تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده..... ۴۳
۲-۳- نرم افزارهای مورد استفاده..... ۴۵
۲-۴- تولید نانو الیاف ۴۶
۲-۴-۱- تهیه محلول‌های پلیمری..... ۴۶
۲-۴-۲- شرایط الکتروریسی نانو الیاف و شرایط جمع آوری نمونه..... ۴۷
۲-۴-۳- زمان الکتروریسی..... ۴۸
۲-۵- مراحل ساخت سلول خورشیدی حساس به رنگ ۴۸
۲-۵-۱- آماده سازی آند و کاتد..... ۴۸
۲-۵-۲- مجتمع سازی سلول خورشیدی..... ۵۵
۲-۶- میکروسکوپ الکترونی روبشی ۵۶
۲-۷- طیفFTI R..... ۵۶
۲-۸- طراحی آزمایش‌ها به کمک الگوریتم تاگوچی ۵۷
فصل سوم نتایج و بحث..... ۵۹
۳-۱- بررسی ریز ساختار نانو الیاف..... ۵۹

۳-۲- بررسی ریز ساختار نانو میله‌ها ۶۲
۳-۳- بررسی حذف پلی وینیل پیرولیدون ۶۴
۳-۴- تعیین ضخامت لایه آندی ۶۶
۳-۵- تعیین ریز ساختار مربوط به لایه آندی نانو کامپوزیتی ۶۷
۳-۶- مشخصه یابی سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ ۶۷
۳-۶-۱- تعیین مساحت لایه آندی در سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ ۶۸
۳-۶-۲- نتایج آزمون فتوولتایی ۶۹
۳-۷- آزمایش‌های طراحی شده توسط الگوریتم تاگوچی ۷۲
۳-۸- پارامتر های مؤثر بر بازده سلول خورشیدی حساس به رنگ ۷۲
۳-۸-۱-اثر مقدار نیترات نقره در محلول الکتروریسی ۷۲
۳-۸-۲- اثر درصد وزنی نانو میله به نانو ذره ۷۴
۳-۸-۳- اثر ضخامت لایه آندی ۷۵
۳-۹- بررسی تأثیر پارامتر ها بر بازده سلول خورشیدی حساس به رنگ ۷۶
۳-۱۰- رتبه بندی عوامل مؤثر بر بازده سلول خورشیدی حساس به رنگ ۷۷
۳-۱۱- پیش بینی بازده سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ ۷۸
۳-۱۲-مدل سازی مدار درونی سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ ۷۸
فصل چهارم نتیجه گیری و پیشنهادات ۸۵
۴-۱- نتیجه گیری ۸۵
۴-۲- پیشنهادات ۸۶
منابع ۹۱

فهرست شکل ها

شکل ۱- **۱**: شماتیک یک اتصال **P-N** [۶] ۱۰

شکل ۱- **۲**: مدار الکتریکی معادل یک سلول خورشیدی [۱۵] ۱۱

شکل ۱- **۳**: نمودار شدت جریان- ولتاژ ۱۲

شکل ۱- **٤**: ساختارهای مولکولی مهم‌ترین رنگ‌های حساس به نور [۲۳]. ۱۷

شکل ۱- **٥**: نحوه عملکرد دقیق یک سلول خورشیدی حساس به رنگ [۴۲] ۲۰

شکل ۱- **٦**: (**a**) روش اول (**b**) روش دوم (**c**) رابطه بین ولتاژ مدار باز با نقطه ایزو الکتریک پوسته [۴۴] ۲۳

شکل ۱- **۷**: (**a**) مورفولوژی نانولوله‌های دی اکسید تیتانیوم (**b**) مکانیزم رشد این نانولوله‌ها (**c**) حالت پشت به نور (**d**) حالت رو به نور[۵۶] ۲۶

شکل ۱- **۸**: (**a**) اکسید روی چهارپایه [۶۵](**b**) نانوساختارهای گل مانند[۶۶] (**c**) نانوساختارهای جنگل مانند[۶۷] (**d**) نانوسیم های شاخه دار [۶۸](**e**) نانوسیم های سلول عصبی[۶۹] ۲۹

شکل ۱- **۹**: (**a**) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (**b**) تصویر شماتیک از دانه‌های اکسید روی[۷۰] ۲۹

شکل ۱- **۱۰**: (**a**) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (**b**) تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری دانه‌های دی اکسید تیتانیوم (**c**) شماتیک نفوذ الکترولیت در فوتوالکترود[۷۱] ۳۰

شکل ۲- **۱**: ساختار مولکولی رنگ **N719**[۷۳] ۴۱

شکل ۲- **۲**: نمایی از سیستم تغذیه ده نازله ۴۳

شکل ۲- **۳**: نمایی از میکروسکوپ الکترونی روبشی ۴۴

شکل ۲- **٤**: نمایی از کوره حرارت دهی ۴۵

شکل ۲- **٥**: محلول‌های الکتروریسی الف) با نیترات نقره ب) بدون نیترات نقره ۴۷

شکل ۲- **٦**: نمایی از دستگاه الکتروریسی ۴۷

شکل ۲- **۷**: مشخص نمودن سمت رسانای شیشه ۴۹

شکل ۲- **۸**: نمایی از شست و شوی شیشه‌ها در حمام اولترا سونیک ۵۰

شکل ۲- **۹**: نمودار دما بر حسب زمان در عملیات حرارتی ۵۱

شکل ۲- **۱۰**: نحوه قرار گیری چسب اسکاچ و خمیر ۵۲

شکل ۲- **۱۱**: شیشه‌های لایه نشانی شده قبل از عملیات حرارتی ۵۲

شکل ۲- **۱۲**: نمودار عملیات حرارتی ۵۳

شکل ۲- **۱۳**: شیشه‌های لایه نشانی شده بعد از عملیات حرارتی ۵۳

شکل ۲- **۱٤**: آند آماده شده بعد از قرار دادن در رنگ ۵۴

شکل ۲- **۱٥**: نمایی از یک سلول مجتمع شده ۵۵

شکل ۳- ۱: ریز ساختار و توزیع قطری نانوالیاف (a)با ۰/۱۲ درصد نیترات نقره در محلول الکتروریسی (b)با ۰/۲۴ درصد نیترات نقره در محلول الکتروریسی ۶۰

شکل ۳- ۲: ریز ساختار و توزیع قطری نانوالیاف (c)با ۰/۳۶ درصد نیترات نقره در محلول الکتروریسی (d)بدون نیترات نقره ۶۱
شکل ۳- ۳: ریز ساختار و توزیع قطری نانومیله ها (a)با ۰/۱۲ درصد نیترات نقره در محلول الکتروریسی (b)با ۰/۲۴ درصد نیترات نقره در محلول الکتروریسی ۶۲
شکل ۳- ۴: ریز ساختار و توزیع قطری نانومیله ها (c)با ۰/۳۶ درصد نیترات نقره در محلول الکتروریسی (d)بدون نیترات نقره ۶۳
شکل ۳- ۵: ساختار شیمیایی پلی وینیل پیرولیدون ۶۴
شکل ۳- ۶: طیف **FTIR** نانوالیاف کامپوزیتی **TiO2/PVP** ۶۵
شکل ۳- ۷: طیف **FTIR** نانو میله‌های **TiO2** ۶۵
شکل ۳- ۹: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از لایه نشانی تک لایه ۶۶
شکل ۳- ۱۰: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از لایه نشانی تک لایه ۶۶
شکل ۳- ۱۱: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی لایه آندی ۶۷
شکل ۳- ۱۲: نحوه محاسبه مساحت سلول نمونه ۳ ..... ۶۸
شکل ۳- ۱۳: نمودار چگالی جریان بر حسب ولتاژ اعمالی برای سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ یک لایه ۷۰
شکل ۳- ۱۴: نمودار چگالی توان بر حسب ولتاژ اعمالی برای سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ یک لایه ۷۰
شکل ۳- ۱۵: نمودار چگالی جریان بر حسب ولتاژ اعمالی سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ دو لایه ۷۱
شکل ۳- ۱۶: نمودار چگالی توان بر حسب ولتاژ اعمالی برای سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ دو لایه ۷۱
شکل ۳- **۱۷**:تاثیر مقدار نیترات نقره در محلول الکتروریسی ۷۳
شکل ۳- **۱۸**: تاثیر درصد وزنی نانو میله به نانو ذره در خمیر لایه نشانی ۷۵
شکل ۳- **۱۹**:تاثیر ضخامت لایه آندی ۷۶
شکل ۳- **۲۰**: شماتیک یک سلول خورشیدی حساس به رنگ[۸۹] ۷۹
شکل ۳- ۲۱: مدار معادل مرجع برای مدل سازی سلول خورشیدی حساس به رنگ[۹۰] ۸۰
شکل ۳- ۲۲: نمودار مقاومت مجازی به مقاومت حقیقی سلول‌ها ۸۱
شکل ۳- ۲۳: عناصر مدار معادل سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ ۸۱

فهرست جداول

جدول ۲- ۱: مشخصات پلیمر مورد استفاده ۴۰
جدول ۲- ۲: مشخصات حلال‌های مورد استفاده ۴۰
جدول ۲- ۳: مشخصات نیترات نقره ۴۰
جدول ۲- ۴: مشخصات تیتانیوم ایزوپروپوکساید ۴۰
جدول ۲- ۵: خصوصیات اسید نیتریک ۴۱
جدول ۲- ۶: خواص اتیلن گلیکول ۴۱
جدول ۲- ۷-پارامتر های الکتریکی و اپتیکی شیشه‌های رسانای مورد استفاده ۴۲
جدول ۲- ۸: خصوصیات ترپینئول ۴۲
جدول ۲- ۹- طراحی آزمایشات به روش تاگوجی ۵۸
جدول ۳- ۱: مساحت لایه‌های آندی ۶۸
جدول ۳- ۳: خصوصیات و بازده سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ ۷۲
جدول ۳- ۴: آنالیز واریانس برای SN Ratio برای بازده سلول خورشیدی ۷۶
جدول ۳- ۵: آنالیز واریانس برای Mean برای بازده سلول خورشیدی ۷۷
جدول ۳- ۶ :شاخص Delta برای رتبه بندی مشخصه‌ها ۷۷
جدول ۳- ۷: مقایسه مقاومت های الکتریکی موجود در مدار معادل درونی سلول های خورشیدی دو لایه ۸۲
جدول ۳- ۸: پارامتر های مربوط به سلول‌های خورشیدی ۸۳

چکیده

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های بشر، جایگزینی منابع تجدید پذیر انرژی به جای استفاده از سوخت‌های فسیلی برای تولید برق است. خورشید به عنوان منبعی پایان‌ناپذیر می‌تواند راه‌حلی برای مشکل انرژی در آینده باشد. عنصری که از آن برای تولید برق از نور خورشید استفاده می‌شود، سلول خورشیدی نامیده می‌شود. یکی از انواع سلول‌های خورشیدی، سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ می‌باشد. مهم‌ترین مزیت این سلول‌ها در مقایسه با سلول‌های خورشیدی معدنی هزینه‌ی پایین تولید است ولی این سلول‌ها بازده پایین تری نشان می‌دهند که لازم است بهبود یابد. اجزای سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ شامل لایه فوتوآند، الکترولیت ردوکس و الکترود کاتنر است. اساس استفاده از نانوساختارها در سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ بر تولید لایه فوتوآند با تخلخل بالا استوار است. فوتوآند ساخته‌شده از نانومواد می‌تواند ناحیه وسیع تری برای جذب رنگ داشته باشد، بنابراین می‌تواند نور بیشتری جذب کند که باعث افزایش بازده سلول خورشیدی می‌گردد. هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر مشخصه‌های لایه فوتوآند بر روی بازده سلول خورشیدی حساس به رنگ است. بدین منظور در ابتدا با استفاده از محلول پلی وینیل پیرولیدون در حلال اتانول و اسید استیک و ماده اولیه تیتانیوم ایزوپروپوکساید و نیترات نقره نانو الیاف کامپوزیتی تیتانیوم دی اکسید/ پلی وینیل پیرولیدون / نقره تولید شدند. در ادامه با حذف پلیمر پلی وینیل پیرولیدون در اثر عملیات حرارتی، نانو الیاف تیتانیوم دی‌اکسید دوپه شده با نانوذرات نقره حاصل شد. در نهایت تحت عملیات مکانیکی نانو میله‌های تیتانیوم دی‌اکسید دوپه شده با نانوذرات نقره جهت استفاده در لایه فوتوآند سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ آماده شد و با استفاده از خمیر نانوذرات دی اکسید تیتانیوم و نانو میله‌های دی اکسید تیتانیوم / نانوذرات نقره سلول خورشیدی ساخته شد. با استفاده از جدول آرایه‌های متعامد تاگوچی بر اساس تعداد عوامل و سطوح هر کدام، سلول‌های خورشیدی ساخته شد و بازده هر کدام از آن‌ها با استفاده از نتایج حاصل از مشخصه یابی جریان / ولتاژ به دست آمد. نتایج حاصله نشان داد که تمامی عوامل مورد بررسی تأثیر معناداری بر بازده سلول خورشیدی داشتند. مشخصه‌های درصد وزنی نانومیله به نانو ذره دی اکسید تیتانیوم، ضخامت لایه آندی و درصد نیترات نقره موجود در محلول الکتروریسی به ترتیب دارای رتبه‌های اول تا سوم اثرگذاری بر بازده سلول خورشیدی هستند. در بین عوامل و سطوح تعیین‌شده در این تحقیق، سلول خورشیدی با ۰/۳۶ درصد نیترات نقره در محلول الکتروریسی و ۲۵ درصد وزنی نانومیله به نانوذره دی اکسید تیتانیوم و ضخامت ۲/۸۱ میکرومتر بیش‌ترین بازده را نتیجه می‌دهد.

کلمات کلیدی: سلول خورشیدی حساس به رنگ، نانومیله های دی اکسید تیتانیوم، نانوذرات نقره، روش طراحی آزمایشات تاگوچی

فصل اول
کلیات

۱-۱-منابع مورد استفاده در تولید الکتریسیته

مهم‌ترین روش تولید الکتریسیته استفاده از سوخت‌های فسیلی است. از مهم‌ترین محدودیت‌های و معایب کاربرد سوخت‌های فسیلی می‌توان به آلوده سازی محیط زیست، ایجاد باران‌های اسیدی، اثرات زیان‌آور گازهای سمی بر روی سلامتی انسان‌ها، بالا آمدن آب دریاها و افزایش دمای کره زمین اشاره کرد [۱].

افزون بر این‌ها باید توجه داشت که این منابع محدود به آیندگان نیز تعلق دارد و کاربرد بی‌رویه آن‌ها مجاز نیست. سوزاندن نفت بدترین نوع استفاده از این ماده حیاتی است. انواع مواد پلاستیک شیمیایی، کودهای کشاورزی، گازهای صنعتی و نظایر این‌ها، نمونه‌هایی از مشتقات نفت هستند. استفاده از این ماده در صنایع دیگر مانند پتروشیمی ارزش افزوده بسیار بیشتری دارد [۲].

امروزه برخی از کشورهای جهان، به ویژه کشورهای فاقد سوخت‌های فسیلی، از انرژی هسته‌ای بهره می‌گیرند. در حال حاضر، انرژی هسته‌ای ۱۷ درصد نیروی برق جهان را تأمین می‌کند [۲]. انرژی هسته‌ای هیچ گاز یا فلز سمی بر محیط زیست نمی‌افزاید و برخلاف سدهای هیدرو الکتریکی اکوسیستم منطقه را تغییر نمی‌دهد. نیروگاه هسته‌ای اثر گلخانه‌ای ندارد و باعث باران اسیدی نمی‌شود. مساحت نیروگاه هسته‌ای در مقایسه با نیروگاه‌هایی مثل زغال‌سنگ بسیار کمتر است. استفاده از نیروگاه هسته‌ای مانع از بین رفتن سوخت فسیلی می‌شود. در انگلیس هم اکنون ۱۶

نیروگاه برق هسته‌ای فعال است که یک چهارم برق مورد نیاز این کشور را تأمین می‌کند؛ اما انرژی هسته‌ای زیان‌هایی نیز به دنبال دارد. باقی مانده سوخت هسته‌ای (زباله هسته‌ای) برای هزاران سال باقی می‌ماند. نیروگاه‌هایی که به پایان عمر خود می‌رسند بایستی به دقت مورد حفاظت قرار گیرند. کودکانی که در نزدیکی نیروگاه هسته‌ای هستند، به مقدار زیادی در معرض خطر سرطان می‌باشند .تأسیس نیروگاه هسته‌ای بسیار گران و پر هزینه است. مردم عموماً از نیروگاه هسته‌ای می‌ترسند. منابع اورانیوم محدود هستند. در ضمن منابع اورانیوم قابل بازیافت نمی‌باشند. هزینه دفن زباله‌های هسته‌ای بسیار زیاد است و خطر نشت مواد پرتوزا از این زباله‌ها بسیار زیاد است [۳].

انرژی‌های تجدید پذیر به طور کلی انرژی‌هایی هستند که از منابعی که در طول حیات انسان تجدید می‌شوند مانند نور خورشید، باد، جزر و مد، امواج و حرارت زمین گرمایی به‌دست می‌آیند. در سال‌های اخیر با توجه به این که منابع انرژی تجدید ناپذیر رو به اتمام هستند منابع تجدید پذیر مورد توجه قرار گرفته‌اند. دست کم ۳۰ کشور در حال حاضر بیشتر از ۲۰ درصد از انرژی مصرفی‌شان را از انرژی‌های تجدید پذیر به‌دست می‌آورند و پیش بینی می‌شود که این مقدار افزایش یابد به عنوان مثال استفاده از انرژی بادی، با نرخ ۳۰٪ در سال در حال رشد است [۴]. منابع انرژی تجدید پذیر در مناطق وسیع جغرافیایی وجود دارند درحالی‌که منابع انرژی تجدید ناپذیر تنها در چند کشور متمرکز شده است. استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر، امنیت انرژی، کاهش تغییرات آب و هوا و منافع اقتصادی را در بر دارد [۴].

امروزه مهم‌ترین منابع انرژی تجدید پذیر شامل انرژی باد، انرژی برق آبی، انرژی خورشیدی، انرژی زیست توده، انرژی سوخت‌های زیستی و انرژی زمین گرمایی است. انرژی باد را می‌توان برای راه‌اندازی پره‌های توربین بادی مورد استفاده قرار داد. بر اساس گزارش انجمن آمریکایی نیرو و انرژی باد تا پایان سال ۲۰۰۴، ۳۰ ایالت در آمریکا قادر به تولید برق در حدود ۶۷۴۰ مگاوات می‌باشند که تقریباً برق ۱/۶ میلیون خانه را تأمین می‌کند [۴].

هیدرو الکتریسیته به معنی انرژی الکتریکی است که از جریان آب روی سدها به دست می‌آید. سیستم های استخراج انرژی جنبشی از دریاها و اقیانوس‌ها یا نیروی جزر و مدی نیز برای تولید انرژی می‌توانند استفاده شوند. چین بزرگ‌ترین تولید کننده انرژی برق آبی است؛ اما ساخت سدهای آبی تأثیر ژرفی بر اکوسیستم دارد و از طرف دیگر سدها بر روی میزان آب رودخانه در پایین‌دست نیز اثر می‌گذارند که روی حیات وحش تأثیرگذار است [۴].

به صورت مستقیم یا غیر مستقیم خورشید تقریبا عامل پیدایش همه منابع انرژی روی زمین است. سوخت‌های فسیلی عمده که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند در واقع انرژی خورشید را ذخیره کرده‌اند. گرمای ناشی از خورشید هم چنین باد را به حرکت در می‌آورد که از دیگر منابع انرژی است. تنها منابعی که از انرژی خورشید ایجاد نمی‌شوند، انرژی زمین گرمایی، جزر و مد اقیانوس‌ها و شکافت هسته ای است. انرژی خورشیدی انرژی ایجاد شده از نور خورشید است. نور خورشید ممکن است برای ایجاد الکتریسیته، گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها و گرم کردن آب استفاده شود. تا سال ۲۰۰۱ ژاپن قادر بود تا سقف ۶۷۱ مگاوات نیروی خورشیدی را در شرایط بهینه تولید کند و در دهه اول سال ۲۰۰۰ آلمان با ۲۰۶/۶ مگاوات نیروی خورشیدی تولید شده دومین کشور در جهان بود [۴].

انرژی زمین گرمایی به انرژی گفته می‌شود که به وسیله حرارت درون زمین ایجاد شده باشد. لغت زمین گرمایی به معنای گرمایی است که از درون زمین آمده باشد. منبع زمین گرمایی می‌تواند الکتریسیته تولید کند. در سال ۱۹۹۹ بیش از ۸۰۰۰ مگا وات الکتریسیته به وسیله حدود ۲۵۰ نیروگاه زمین گرمایی در بیش از ۲۲ کشور سراسر دنیا تولید شد. یک نیروگاه زمین گرمایی معمولاً برق بیشتری از نیروگاه با سوخت فسیلی هم وسعت (اندازه) تولید می‌کند. یکی از مشکلات عمده در رابطه با توسعه انرژی زمین گرمایی، استحصال زمین است. از آن جا که این نیروگاه‌ها تنها می‌توانند در نزدیکی و یا بر روی مخازن زمین گرمایی ساخته شوند شرکت‌های برق بایستی قادر به خرید و یا اجاره این زمین‌ها باشند [۴].

زیست توده شامل همه‌ی موادی در طبیعت است که در گذشته نزدیک جاندار بوده، از موجودات زنده به عمل آمده و یا زائدات و ضایعات آن‌ها می‌باشند. منشاء منابع فسیلی نیز منابع زیست توده می‌باشد ولی تفاوت آن‌ها در این است که منابع فسیلی از منابع زیست توده که در گذشته بسیار دور زنده بودند و تحت شرایط فشار و دمای خاص حاصل شده‌اند (ده‌ها میلیون سال پیش). زیست توده در تولید الکتریسیته کاربرد نداشته و می‌توان از آن برای تولید گرما یا تولید سوخت‌های زیستی برای حمل و نقل استفاده نمود [۴]. با این حال به گفته آژانس محیط زیست اروپا، سوخت‌های زیستی مشکل گرم شدن زمین را حل نمی‌کند [۵].

۱-۲- جایگاه انرژی‌های تجدید پذیر در تولید برق

در سال ۲۰۱۱ مجموع سرمایه‌گذاری‌ها در زمینه‌ی استفاده از منابع تجدید پذیر انرژی در سطح دنیا به ۲۶۰ میلیارد دلار رسید. افزایش سرمایه‌گذاری در این زمینه، سهم این انرژی‌ها را در تولید برق از ۲ درصد در سال ۲۰۰۰ به ۷/۳ درصد در سال ۲۰۱۲ رسانده است؛ به عبارت دیگر، سهم انرژی‌های تجدید پذیر طی ۱۰ سال، بیش از ۳ برابر شده و ظرفیت تولید برق تجدید پذیر در دنیا از کل ظرفیت نصب‌شده‌ی نیروگاهی به ۳۹۰ هزار مگاوات رسیده است [۴].

در میان انواع منابع تجدید پذیر انرژی، فنّاوری توربین‌های باد بیش‌ترین سهم را به خود اختصاص داده است. در این مدت، سهم انرژی باد که در سال ۲۰۰۰ کمتر از ۰/۵ درصد بوده، با رشدی نمایی در سال ۲۰۱۰ به ۴/۶ درصد رسیده است. با رشد فنّاوری توربین‌های بادی و کاهش قیمت تمام‌شده‌ی آن‌ها طی این دوره‌ی ۱۰ ساله، ظرفیت نیروگاه‌های بادی نصب‌شده در جهان، به طور متوسط سالانه ۲۸ درصد رشد داشته و به بیش از ۱۰ برابر افزایش یافته است [۴].

انرژی خورشیدی که در سال ۲۰۰۰ سهم ناچیزی در تولید برق داشت، در سال ۲۰۰۷ از انرژی زمین گرمایی و پس از آن، از انرژی زیست‌توده پیشی گرفته است و پس از انرژی بادی، در جایگاه دوم قرار دارد. بررسی روند رشد فنّاوری تولید برق خورشیدی نشان می‌دهد استفاده از آن با رشدی مشابه انرژی باد در حال گسترش است. البته قیمت تمام‌شده‌ی بالاتر نسبت به انرژی باد، استفاده از آن را همچنان در اولویت پایین‌تری قرار می‌دهد. در مقایسه با نیروگاه‌های باد، نیروگاه‌های خورشیدی هزینه‌ی تمام‌شده‌ی بالاتری دارند که به طور متوسط ۲ تا ۳ برابر نیروگاه‌های بادی است. کشورهای آلمان، اسپانیا، ژاپن، ایتالیا و آمریکا کشورهای پیشتاز در این زمینه محسوب می‌شوند. پس از این دو فنّاوری، انرژی زیست‌توده با سهم ۱ درصد از کل تولید برق قرار دارد و چالش مهم پیش روی این فنّاوری،

نیاز به غلات و دانه‌های روغنی در تأمین نیازهای غذایی کشورهای مختلف است. کشورهای آمریکا، برزیل، آلمان، اسپانیا و هند بیش‌ترین سهم تولید برق را با استفاده از زیست‌توده به خود اختصاص داده‌اند [۴].

سهم انرژی زمین‌گرمایی در تولید برق، به علت وجود محدودیت در مناطق قابل احداث و هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری، از ۰/۲ درصد تجاوز نمی‌کند. این فنّاوری نیز مشابه فنّاوری تولید برق با انرژی زیست‌توده، در سال‌های اخیر، رشد چندانی نداشته است و البته کشورهای آمریکا، فیلیپین، اندونزی، مکزیک و ایتالیا در این زمینه پیشرو هستند [۴].

ظرفیت عملیاتی سیستم های فتوولتائیک در آخر سال ۲۰۱۱ در حدود ۱۰ برابر میزان کل نصب شده جهانی در ۵ سال قبل بوده است و بدین وسیله به طور متوسط نرخ رشد سالانه ۵۸ درصدی را در بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ به ارمغان آورده است. سهم بازار تین فیلم از ۱۶٪ در سال ۲۰۱۰ به ۱۵٪ در سال ۲۰۱۱ افت داشته است [۶].

بار دیگر اتحادیه اروپا به خاطر وجود کشورهای آلمان و ایتالیا بازار سیستم های فتوولتائیک را در دست خود گرفت. این دو کشور با هم ۵۷٪ از ظرفیت عملیاتی جدید را در سال ۲۰۱۱ به خود اختصاص دادند. اتحادیه اروپا تقریباً ۱۷ گیگاوات ظرفیت نصب شده داشته است. مجموع ظرفیت نصب شده سیستم های فتوولتائیک تا انتهای سال ۲۰۱۱ در اتحادیه اروپا ۵۱ گیگاوات بوده که این میزان در حدود سه چهارم از کل ظرفیت نصب شده جهانی می‌باشد. این میزان تقاضای برق بیش از ۱۵ میلیون خانوار اروپائی را پاسخ گو خواهد بود. در کشور آلمان کل ظرفیت نصب شده به میزان ۸/۲۴ گیگاوات رسیده که میزان ۳/۱٪ از برق تولیدی کشور آلمان را به خود اختصاص می‌دهد (در سال ۲۰۱۰ این میزان ۱/۹٪ بوده است). ایتالیا رکورد جدیدی را ثبت نموده است، ۹/۳ گیگاوات سیستم فتوولتائیک وارد شبکه نمود که تا پایان سال ۲۰۱۲ به میزان ۱۲/۸ گیگاوات رسید [۶].

از دیگر بازارهای برتر در اروپا می‌توان به بلژیک (نزدیک ۱ گیگاوات)، انگلستان (۰/۹ گیگاوات)، یونان (بیشتر از ۰/۴ گیگاوات)، اسپانیا (نزدیک به ۰/۴ گیگاوات که از مقام دوم جهانی به مقام چهارمی نزول کرد)، اسلوواکی (۰/۳ گیگاوات) اشاره نمود [۶].

۱-۲-۱- جایگاه انرژی‌های تجدید پذیر در تولید برق در ایران

سوخت اصلی که در بیشتر نیروگاه‌های کشور مصرف می‌شود، گاز طبیعی است و سوخت جایگزین آن برای نیروگاه‌های بخار، نفت کوره و برای نیروگاه‌های گازی و چرخه ترکیبی، گازوئیل است [۷].

در سالیان اخیر، تلاش‌هایی در زمینه‌ی تولید برق از انرژی‌های تجدید پذیر انجام شده است، اما باوجود گذشت بیش از ده سال از آغاز توسعه‌ی این فنّاوری‌ها در کشور، روند رشد بسیار کند بوده است؛ به نحوی که مجموع ظرفیت تولید برق از انرژی‌های تجدید پذیر در سبد تولید برق کشور از ۲۰۰ مگاوات فراتر نمی‌رود و به نیروگاه بادی منجیل و نیروگاه بادی بینالود محدود می‌شود [۷]. علاوه بر این، توربین‌های استفاده‌شده در این نیروگاه‌ها، فاصله‌ی زیادی با توربین‌های تجاری روز دنیا دارند. در حالی که ظرفیت توربین‌های نصب‌شده در کشور کمتر از یک مگاوات است، میانگین ظرفیت توربین‌های نصب‌شده در دنیا تا سال ۲۰۱۰ به حدود دو مگاوات رسیده است [۸].

انرژی خورشیدی یکی از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر و از مهم‌ترین آن‌هامی‌باشد. میزان تابش انرژی خورشیدی در نقاط مختلف جهان متغیر بوده و در کمربند خورشیدی زمین بیش‌ترین مقدار را داراست. کشور ایران نیز در نواحی پرتابش واقع است و مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از تجهیزات خورشیدی در ایران مناسب بوده و می‌تواند بخشی از انرژی مورد نیاز کشور را تأمین نماید [۶].

ایران کشوری است که به گفته متخصصان با وجود ۳۰۰ روز آفتابی در بیش از دو سوم آن و متوسط تابش ۵/۵-۴/۵ کیلووات ساعت بر متر مربع در روز یکی از کشورهای با پتانسیل بالا در زمینه انرژی خورشیدی معرفی شده است. برخی از کارشناسان انرژی خورشیدی گام را فراتر نهاده و در حالتی آرمانی ادعا می‌کنند که ایران در صورت تجهیز مساحت بیابانی خود به سامانه‌های دریافت انرژی تابشی می‌تواند انرژی مورد نیاز بخش‌های گسترده‌ای از منطقه را نیز تأمین و در زمینه انرژی برق فعال شود. مساحت ایران تقریبا ۱۶۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع یعنی $۱/۶\times۱۰^{۱۲}$ متر مربع است میزان تابش روزانه انرژی خورشید در ایران برابر با $۵/۵\times۱/۶\times۱۰^{۱۲}$ کیلو وات ساعت است. در واقع میزان کل تابش خورشید در طول روز برای ایران تقریباً ۹۰۰۰۰۰۰۰۰۰ مگاوات ساعت است. اگر تنها از ۱٪ مساحت ایران انرژی خورشیدی را جذب کنیم و راندمان سیستم دریافت انرژی تنها ۱۰٪ باشد باز هم می‌توانیم ۹۰۰۰۰۰۰ مگاوات ساعت انرژی از خورشید دریافت کنیم [۶].

۱-۳-انرژی خورشیدی

انرژی که از طریق خورشید به زمین می‌رسد ۱۰۰۰۰ برابر انرژی مورد نیاز انسان است .مصرف انرژی در سال ۲۰۵۰ یعنی سال ۱۴۲۹ خورشیدی (۳۶ سال دیگر) ۵۰ تا ۳۰۰ درصد بیشتر از مصرف امروزی آن خواهد بود. با این وجود اگر تنها ۰/۱ درصد از سطح زمین با مبدل‌های انرژی خورشیدی با بازده ۱۰ ٪ پوشیده شوند برای تأمین انرژی مورد نیاز بشر کافی است [۹و۱۰].

در مرکز خورشید هر ثانیه ۷۰۰ تن هیدروژن به انرژی تبدیل می‌شود. انرژی تولیدشده در سطح خورشید بعد از ۸ دقیقه به سطح زمین می‌رسد. خورشید، در سرتاسر طیف الکترومغناطیسی از امواج رادیویی گرفته تا پرتوهای X و پرتوهای کیهانی تابش می‌کند، اما بیشتر انرژی آن در محدوده‌ی فرابنفش، مرئی و فروسرخ خارج می‌شود. طول موج‌هایی که از نور خورشید به زمین می‌رسد شامل۴۷ درصد فرو سرخ [۱](همان بخش حرارت زای نور خورشید می‌باشد که نامرئی است)، ۴۶ درصد نور مرئی [۲](شدت زیاد این قسمت از طیف خورشیدی باعث خستگی چشم و کاهش تمرکز خواهد شد) و ۷ درصد فرابنفش[۳] (به علت دارا بودن انرژی بالا، قدرت نفوذ و تخریب بالایی دارد.) است. از این رو سلول‌های خورشیدی باید در ناحیه فرو سرخ و نور مرئی که نزدیک به ۹۳٪ نور تابشی را شامل می‌شوند جذب بالایی داشته باشند. نور تابشی توسط جذب اتمسفری و موقعیت خورشید تحت تاثیر قرار می‌گیرد. محدوده‌ی طیف فرابنفش اغلب توسط لایه‌ی اوزون و محدوده‌ی طیف فروسرخ توسط آب و دی اکسیدکربن

1- Infra-Red, IR
2- Visible Light
3- Ultra Violet, UV

(CO_2) موجود در اتمسفر زمین جذب می‌شود و طیف تابشی AM 1.5 نزدیک‌ترین‌طیف تابشی به نور خورشید در محدوده مرئی‌است [۶].

زمانی که آسمان صاف و خورشید درست بالای سطح زمین باشد، کمترین طول مسیر[1] و بیش‌ترین تابش حاصل خواهد شد. طول مسیر را توده هوا[2] (AM) نیز می‌گویند و از رابطه‌ی ۱-۱ به دست می‌آید که در آن θ زاویه تراز خورشید است.

$$AM=\frac{1}{\cos\theta} \qquad (۱-۱)$$

اگر زاویه‌ی θ برابر $۴۸/۲^{\circ}$ باشد در آن صورت وضعیت AM1.5 حاصل می‌گردد که استاندارد پیشنهاد شده توسط CEC می‌باشد. اگر زاویه θ برابر صفر درجه باشد در آن صورت خورشید در سمت الراس[3] بوده و وضعیت AM1 بوجود می‌آید [۱۱].

۱-۳-۱- کاربردهای انرژی خورشیدی

در عصر حاضر از انرژی خورشیدی توسط سیستم های مختلف و برای مقاصد متفاوت استفاده و بهره گیری می‌شود که عبارت‌اند از:

۱- استفاده از انرژی حرارتی خورشید برای مصارف خانگی، صنعتی و نیروگاهی

این بخش از کاربردهای انرژی خورشیدی شامل دو گروه نیروگاهی و غیر نیروگاهی است. تأسیساتی که با استفاده از آن‌ها انرژی حرارتی خورشید به الکتریسیته تبدیل می‌شود نیروگاه حرارتی خورشیدی نامیده می‌شود که شامل نیروگاه‌های حرارتی از نوع سهموی خطی، نیروگاه‌های حرارتی از نوع دریافت کننده مرکزی و نیروگاه‌های حرارتی از نوع شلجمی بشقابی و دود کش‌های خورشیدی یا برج نیرو است [۶]. کاربردهای غیر نیروگاهی از انرژی حرارتی خورشید شامل موارد متعددی است که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: آبگرمکن و حمام خورشیدی، سرمایش و گرمایش خورشیدی، آب شیرین کن خورشیدی، خشک کن خورشیدی، اجاق خورشیدی، کوره خورشیدی و خانه‌های خورشیدی [۶].

۲- تبدیل مستقیم پرتوهای خورشید به الکتریسیته به وسیله تجهیزاتی به نام فتوولتائیک

کاربردهای فتوولتائیک شامل موارد زیر است:

- مصارف فضانوردی و تأمین انرژی مورد نیاز ماهواره‌ها جهت ارسال پیام

1- Path Length
2- Air Mass

۳ - نقطه‌ای در آسمان که دقیقاً بالای سر آدمی است(لغت‌نامه دهخدا)

- روشنایی خورشیدی
- انرژی مورد نیاز واحدهای مسکونی در مناطق دوردست
- سیستم پمپاژ خورشیدی
- سیستم تغذیه کننده ایستگاه‌های مخابراتی و زلزله نگار که اغلب در مکان‌های فاقد شبکه سراسری قرار دارند.
- ماشین حساب، ساعت، رادیو، ضبط صوت و دیگر وسایلی که با باتری خشک کار می‌کنند.
- نیروگاه‌های فتوولتائیک
- یخچال‌های خورشیدی
- سیستم تغذیه کننده قابل حمل [۶].

۱-۳-۲- مزایای نیروگاه‌های خورشیدی

نیروگاه‌های خورشیدی که انرژی خورشید را به برق تبدیل می‌کنند می‌توانند در آینده مشکل برق به خصوص در دوران اتمام ذخایر نفت و گاز را حل نمایند. چند مورد از مزایای این نیروگاه‌ها به شرح زیر است:

أ. تولید برق بدون مصرف سوخت: نیروگاه‌های خورشیدی نیاز به سوخت ندارند و برخلاف نیروگاه‌های فسیلی که قیمت برق تولیدی آن‌ها تابع قیمت نفت بوده و همیشه در حال تغییر است، در نیروگاه‌های خورشیدی این نوسان وجود نداشته و می‌توان بهای برق مصرفی را برای مدت طولانی ثابت نگه داشت [۶].

ب. عدم احتیاج به آب زیاد: نیروگاه‌های متداول تولید برق، جهت احداث و بهره‌برداری، نیازمند ذخایر سطحی و زیرسطحی آب هستند. علاوه بر این، خشک‌سالی و مشکل تأمین آب، باعث کاهش ظرفیت در دسترس نیروگاه‌های برق‌آبی در سال‌های اخیر شده است، در حالی که نیروگاه‌های خورشیدی از مصرف آب بی‌نیاز هستند [۶].

ج. عدم آلودگی محیط زیست: نیروگاه‌های خورشیدی ضمن تولید برق هیچ گونه آلودگی در هوا نداشته و مواد سمی و مضر تولید نمی‌کنند در صورتی که نیروگاه‌های فسیلی هوا و محیط اطراف خود را با مصرف نفت، گاز و یا زغال سنگ آلوده کرده و نیروگاه‌های اتمی با تولید زباله‌های هسته ای خود که بسیار خطرناک هستند محیط زندگی را آلوده و مشکلات زیادی را برای ساکنان کره زمین به وجود می‌آورند [۶].

د. امکان تأمین شبکه‌های کوچک و ناحیه‌ای : نیروگاه‌های خورشیدی می‌توانند با تولید برق به شبکه سراسری برق نیرو برسانند. از طرفی این نیروگاه‌ها امکان تأمین شبکه‌های کوچک و ناحیه‌ای را داشته که در این صورت احتیاج به تأسیس خطوط فشارقوی طولانی جهت انتقال برق را ندارند و نیاز به هزینه زیاد احداث شبکه‌های انتقال ندارند [۶].

ه. استهلاک کم و عمر زیاد: نیروگاه‌های خورشیدی به دلایل فنی و نداشتن استهلاک زیاد دارای عمر طولانی هستند، درحالی‌که عمر نیروگاه‌های فسیلی بین ۱۵ تا ۳۰ سال محاسبه شده است [۶].