

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده فیزیک

گرایش حالت جامد

مطالعه نیمرساناهای آلی و فولرین (C_{60}) به منظور استفاده از آنها در
سلولهای خورشیدی

دانشجو :

کمیل الهی نسب

اساتید راهنما :

دکتر حمید هراتی زاده

دکتر محمد ابراهیم قاضی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

تیر ۱۳۸۸

تعهد نامه

اینجانب کمیل الهی نسب دانشجوی دوره کارشناسی ارشد فیزیک - حالت جامد دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مطالعه نیمرساناهای آلی و فولرین (C₆₀) به منظور استفاده از آنها در سلولهای خورشیدی تحت راهنمایی دکتر حمید هراتی زاده و دکتر محمد ابراهیم قاضی 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 درج در پایان نامه تا کنون 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 بدست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیر گذار 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 افزارها و تجهیزات ساخته شده) 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.

تقدیم به

پدر بزرگوار و مادر عزیزم به جهت مهربانی ها، زحمات، دلگرمی ها و دعاهایشان. و تقدیم به برادرم که در تمامی مراحل انجام این اثر یاریم نمود.

تشکر و قدردانی

بعد از سپاس پروردگار، بر خود وظیفه می دانم تا از تلاشها و رهنمودهای اساتید گرامی، جناب آقای دکتر هراتی زاده و جناب آقای دکتر قاضی صمیمانه تشکر نمایم. همچنین از زحمات بی دریغ استاد گرانقدر جناب آقای دکتر ازئیان صمیمانه سپاسگزارم. در ضمن از اساتید محترم جناب آقای دکتر حسامی و جناب آقای دکتر ابویی که زحمت داوری این پایان نامه را تقبل نمودند متشکرم.

در پایان از زحمات بی منت جناب آقای رضا مسکنی مسئول محترم آزمایشگاه حالت جامد دانشگاه صنعتی شاهرود ممنون و سپاسگزارم. همچنین از زحمات بی شائبه دوستان عزیزم، آقایان علیرضا بی آرام، موسی نخعی، سعید صالح و محمد توکلی و همه عزیزانی که به هر طریق ممکن، در انجام این کار یاریم کردند کمال تشکر را دارم.

چکیده

امروزه بیشتر از هفتاد درصد انرژی مصرفی جهان، از سوخت های فسیلی تأمین می شود. این سوخت ها نه تنها باعث تولید مقادیر زیادی از آلودگی می شوند، بلکه تا ۵۰ سال آینده نیز به اتمام خواهند رسید. بنابراین ما به گسترش منابع انرژی تجدید پذیر، از قبیل انرژی خورشیدی، نیازمندیم. انرژی خورشیدی یکی از کاندید های انرژی پایدار و پاک می باشد. سلول های خورشیدی قطعات نیم رسانایی هستند که مستقیماً انرژی تابشی خورشید را به انرژی الکتریکی تبدیل می کنند. در حال حاضر، سلول های خورشیدی معدنی به صورت صنعتی و با بازدهی بالا تولید می گردند، اما هزینه تولید آن ها بسیار بالاست. بنابراین در دو دهه اخیر انواع جدید مواد از قبیل نیم رساناهای آلی توجه بسیاری را به خود جلب کرده اند. هزینه تولید پایین، انعطاف پذیری، وزن پایین و امکان ساخت در مساحت بزرگ از جمله مزایای سلولهای خورشیدی آلی می باشد.

از اینرو ما در این تحقیق، فیزیک و خواص نیم رساناهای آلی را به منظور استفاده در سلول های خورشیدی مورد مطالعه قرار داده ایم. در این پایان نامه چند نمونه سلول خورشیدی آلی دولایه ای متشکل از فتالوسیانین مس (CuPc)، به عنوان پذیرنده حفره، و فولرین (C₆₀)، به عنوان پذیرنده الکترون، با ساختار های ناهمگون ITO/CuPc(20nm)/C₆₀(40nm)/BCP(8nm)/Al(80nm) و ITO/CuPc(20nm)/C₆₀(40nm)/Al(80nm) با استفاده از روش تبخیر حرارتی در خلاء بالا، ساخته شدند. نمودار های جریان-ولتاژ سلول ها با استفاده از شبیه ساز خورشیدی تحت تابش استاندارد AM1.5 اندازه گیری شد. با استفاده از BCP به عنوان یک لایه سد کننده اکسیتون (EBL) در فصل مشترک ماده آلی/فلز، چگالی جریان مدار کوتاه سلول افزایش و در نتیجه عملکرد سلول بهبود یافت. در نهایت، طیف جذب لایه های نازک به کار رفته در سلول ها و همچنین طیف جذب خود سلول اندازه گیری شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مشاهده کردیم که در سیستم های دو لایه ای CuPc/C₆₀، در تمام محدوده طیف مرئی، CuPc و C₆₀ دارای طیف های جذب مکمل می باشند. همچنین دریافتیم که با افزایش ضخامت لایه و خلوص ماده، مقدار جذب افزایش می یابد. با استفاده از پراش پرتوی X، ساختار لایه ها مورد بررسی قرار گرفت.

واژگان کلیدی: نیم رساناهای آلی، فتالوسیانین مس (CuPc)، فولرین (C₆₀)، سلول های خورشیدی آلی، لایه های

نازک، تبخیر حرارتی، پیوندگاه p-n آلی

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

- ۱- کمیل الهی نسب، رسول اژئیان، حمید هراتی زاده، محمد ابراهیم قاضی، موسی نخعی بدر آبادی، محمد توکلی، سعید صالح اردستانی " نقش لایه سد کننده اکسایتون *BCP* در بهبود عملکرد سلول های خورشیدی آلی با پیوند ناهمگون *CuPc/C60* " کنفرانس فیزیک ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان (۱۳۸۸)

فهرست مطالب

۱	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱ انرژی
۳	۲-۱ اثرات مخرب سوخت های فسیلی
۳	۳-۱ محدودیت های موجود در منابع انرژی متداول (تجدید ناپذیر)
۴	۴-۱ انرژی های تجدید پذیر
۶	۱-۴-۱ انرژی خورشیدی
۷	۵-۱ انرژی خورشیدی و مزیت های آن بر سایر انرژی ها
۸	۱-۵-۱ نحوه توزیع تابش خورشید بر سطح زمین
۹	۲-۵-۱ تابش انرژی خورشید در ایران
۹	۶-۱ کاربرد های انرژی خورشیدی
۱۰	۱-۶-۱ استفاده از انرژی حرارتی خورشید
۱۰	۲-۶-۱ فوتولتائیک
۱۰	۷-۱ سلول های خورشیدی
۱۱	۱-۷-۱ ویژگی های سلول های خورشیدی
۱۱	۲-۷-۱ کاربرد های سلول های خورشیدی
۱۲	۸-۱ توجیه اقتصادی در ساخت سلول های خورشیدی
۱۳	۹-۱ هدف از انجام پایان نامه
۱۵	فصل دوم: مطالعه نیمرساناهای آلی
۱۶	۱-۲ مقدمه
۱۶	۲-۲ نیمرسانا
۱۸	۳-۲ تعادل گرمایی در نیمرسانا
۱۹	۴-۲ تراز فرمی

- ۲۰.....۵-نیمرسانای تحت تابش
- ۲۱.....۶-نیمرسانای آلی
- ۲۲.....۱-۶-۲ منشأ خاصیت رسانندگی در نیمرساناهای آلی
- ۲۵.....۲-۶-۲ تولید اکسیتون در نیمرساناهای آلی
- ۲۶.....۳-۶-۲ طبقه بندی کلی نیمرساناهای آلی
- ۲۷.....۷-۲ ویژگی های نیمرساناهای آلی و تفاوت آن با نیمرساناهای معدنی
- ۲۷.....۱-۷-۲ نیروهای بین مولکولی ضعیف
- ۲۷.....۲-۷-۲ انرژی بستگی اکسیتون بالا
- ۲۸.....۳-۷-۲ ضریب جذب بالا در نیمرساناهای آلی
- ۲۹.....۴-۷-۲ طول پخش (انتشار) اکسیتون کوتاه
- ۳۰.....۵-۷-۲ تحرک پذیری پایین حامل های بار
- ۳۰.....۶-۷-۲ شباهت نیمرساناهای آلی به مولکول های گاز
- ۳۱.....۸-۲ مکانیزم انتقال بار در نیمرساناهای آلی (پلیمرهای مضاعف)
- ۳۳.....۹-۲ آرایش در نیمرساناهای آلی
- ۳۵..... فصل سوم: سلول های خورشیدی آلی**
- ۳۶.....۱-۳ تاریخچه سلول های خورشیدی
- ۳۸.....۲-۳ سلول های خورشیدی معدنی
- ۳۸.....۳-۳ سلول های خورشیدی آلی
- ۴۰.....۴-۳ مراحل تولید انرژی در سلول های فوتوولتائیک آلی
- ۴۰.....۱-۴-۳ جذب نور و تشکیل اکسیتون
- ۴۲.....۲-۴-۳ انتشار اکسیتون به طرف پیوندگاه
- ۴۳.....۳-۴-۳ تجزیه اکسیتون و تولید حامل های بار آزاد
- ۴۶.....۴-۴-۳ انتقال حامل ها به سمت الکتروود ها و جمع آوری آن ها
- ۴۶.....۵-۳ ساختار های مختلف سلول های خورشیدی آلی
- ۴۷.....۱-۵-۳ سلول های تک لایه ای

۴۷	..... سلول های دو لایه ای
۴۹	..... سلول های مخلوطی
۵۰	..... سلول های لایه در لایه
۵۱	..... سلول های پی در پی
۵۳	..... p-i-n های سلول
۵۳	..... تعیین ضخامت بهینه برای لایه های آلی
۵۴	..... معادلات اساسی حاکم بر سلول های خورشیدی آلی
۵۵	..... مشخصه های نمودار جریان - ولتاژ
۵۷	..... پارامتر های مهم در سلول های خورشیدی آلی
۵۷	..... بازدهی تبدیل توان
۵۷	..... بازدهی کوانتومی
۵۸	..... چگالی جریان مدار کوتاه
۵۹	..... ولتاژ مدار باز
۵۹	..... مقاومت سری
۶۰	..... الکتروود ها
۶۰	..... انتخاب الکتروود ها
۶۰	..... اتصال الکتروود- نیمرسانا
۶۴	..... بهینه سازی و افزایش بازدهی سلول های خورشیدی
۶۵	..... لایه سد کننده اکسیتون
۶۶	..... استاندارد های تابش خورشید
۶۷	فصل چهارم: فصل مشترک، آنالیز سطح و لایه های نازک
۶۸	..... ۱-۴ تعریف و اهمیت فصل مشترک و فیزیک سطح
۶۹	..... ۲-۴ روش های تحلیل سطح
۷۰	..... ۱-۲-۴ میکروسکوپ الکترون روبشی (SEM) و روش های میکرو پراب

۷۲	.....۳-۴ فناوری خلاء در علم سطح کاربردی
۷۳	.....۱-۳-۴ پمپ های چرخشی
۷۵	.....۲-۳-۴ پمپ های پخشی (دیفیوژن)
۷۶	.....۴-۴ لایه های نازک
۷۷	.....۱-۴-۴ بررسی نحوه تشکیل لایه های نازک
۷۸	.....۲-۴-۴ روش های مختلف تولید (لایه نشانی) لایه های نازک
۷۹	.....۳-۴-۴ روش فیزیکی انباشت بخار (PVD)
۸۱	.....۴-۴-۴ تحلیل و بررسی مکانیزم تبخیر و تصعید
۸۳	.....۵-۴-۴ روش های اندازه گیری و بازرسی ضخامت لایه های نازک
۸۴	.....۱-۵-۴-۴ روش نوسانگر بلور کوارتز
۸۸	فصل پنجم: آزمایشات و یافته ها
۸۹	.....۱-۵ مقدمه
۸۹	.....۲-۵ دستگاه های استفاده شده در انجام آزمایشات
۸۹	.....۱-۲-۵ دستگاه لایه نشانی تبخیر حرارتی
۹۱	.....۲-۲-۵ دستگاه لرزشی فراصوت
۹۲	.....۳-۵ مواد استفاده شده در ساخت سلول های خورشیدی
۹۲	.....۱-۳-۵ نیم رساناهای آلی بخشنده و پذیرنده
۹۲	.....۱-۱-۳-۵ فتالوسیانین مس
۹۴	.....۲-۱-۳-۵ فولرین C ₆₀
۹۵	.....۲-۳-۵ ماده استفاده شده در لایه EBL
۹۵	.....۳-۳-۵ الکتروود ها
۹۶	.....۱-۳-۳-۵ الکتروود شفاف ITO
۹۷	.....۲-۳-۳-۵ الکتروود کاتد
۹۷	.....۴-۵ انجام آزمایش
۹۷	.....۱-۴-۵ برش و سونش شیمیایی زیر لایه های پوشش داده شده با ITO

۹۸	.....۲-۴-۵ تمیز کردن و خشک کردن زیر لایه ها
۹۸	.....۳-۴-۵ لایه نشانی توسط دستگاه PVD
۹۹	.....۱-۳-۴-۵ سلول سری اول
۱۰۳	.....۲-۳-۴-۵ سلول سری دوم
۱۰۴	.....۳-۳-۴-۵ ساخت دو سلول به منظور بررسی تأثیر لایه EBL
۱۱۱	.....۴-۴-۵ اندازه گیری طیف جذب اپتیکی لایه ها در ناحیه ماوراء بنفش مرئی
۱۱۲	.....۱-۴-۴-۵ طیف سنجی لایه ها به کمک دستگاه طیف سنج UV-Vis
۱۱۴	.....۲-۴-۴-۵ تجزیه و تحلیل طیف جذب لایه ها به کمک طیف خورشید
۱۱۵	.....۵-۴-۵ اندازه گیری طیف جذب اپتیکی سلول خورشیدی ساخته شده
۱۱۶	.....۶-۴-۵ وابستگی میزان جذب یک لایه آلی به ضخامت آن و خلوص ماده
۱۱۸	.....۷-۴-۵ اندازه گیری پراش پرتوی X (XRD) لایه ها
۱۲۳	.....فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۲۴	.....۱-۶ مقدمه
۱۲۵	.....۲-۶ نتایج به دست آمده از ساخت سلول ها
۱۲۵	.....۱-۲-۶ لایه نشانی C ₆₀
۱۲۵	.....۲-۲-۶ لایه نشانی آلومینیوم
۱۲۶	.....۳-۲-۶ شدت نور تابشی
۱۲۶	.....۴-۲-۶ بهینه سازی سلول ساخته شده
۱۲۷	.....۳-۶ نتایج حاصل از اندازه گیری طیف جذب لایه ها
۱۲۷	.....۴-۶ اندازه گیری نقش پراش پرتوی X
۱۲۸	.....۵-۶ پیشنهادات
۱۳۰	.....مراجع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: مصرف سالیانه انرژی در جهان بر حسب زمان (بین سالهای ۲۰۰۰-۱۷۶۵)..... ۲
- شکل ۱-۲: مقدار تابش سالیانه انرژی خورشید بر هر متر مربع از سطح زمین..... ۸
- شکل ۱-۳: توزیع تابش سالیانه انرژی خورشید بر هر متر مربع از سطح زمین در ایران..... ۹
- شکل ۱-۲: طرحی شماتیک از نوارهای انرژی..... ۱۷
- شکل ۲-۲: طرحی شماتیک از پیوند های سیگما و پی..... ۲۲
- شکل ۳-۲: ساختار شیمیایی ترانس پلی استیلن (سمت چپ) و تشکیل پیوند های π ناجایگزیده از اوربیتال های P_z در امتداد زنجیر پلیمر (سمت راست)..... ۲۳
- شکل ۲-۴: طول مضاعف شدگی، که در این محدوده الکترون در اوربیتال π غیر جایگزیده بوده و باعث تولید یک ابر الکترونی بسیار متحرک می شود..... ۲۹
- شکل ۱-۳: فرآیند های لازم برای تولید انرژی در سلول های فوتوولتائیک آلی دو لایه ای..... ۴۰
- شکل ۲-۳: طرح شماتیک از جذب نور و تشکیل الکترون و حفره..... ۴۱
- شکل ۳-۳: نمایی از یک سلول آلی با ساختار دو لایه ای..... ۴۸
- شکل ۳-۴: یک سلول مخلوطی، مشاهده می شود که نواحی پیوندگاه در حجم این سلول پخش شده است..... ۴۹
- شکل ۳-۵: سلول لایه در لایه، نفوذ نواحی بخشنده و پذیرنده باعث افزایش نواحی تجزیه اکسیتون شده است..... ۵۱
- شکل ۳-۶: روش ساخت یک سلول لایه در لایه..... ۵۱
- شکل ۳-۷: ساختار یک سلول پی در پی با بازدهی $5/7\%$ ۵۲
- شکل ۳-۸: یک نمونه سلول خورشیدی p-i-n..... ۵۳
- شکل ۳-۹: مشخصه های نمودار جریان- ولتاژ یک سلول خورشیدی نوعی..... ۵۶
- شکل ۳-۱۰: چهار مرحله اساسی در تولید فوتوجریان در اثر تابش نور..... ۵۸
- شکل ۳-۱۱: نمودار ساده شده نوار های انرژی قبل و بعد از تماس در پیوندگاه نیمرسانا / فلز برای یک سلول دو لایه ای (الف) قبل از تماس و (ب) بعد از تماس..... ۶۱

شکل ۳-۱۲: نمودار های وسایل D/A با اتصال الکترودها (a) موقعیت قبل از تماس، بعد از اتصال سطوح فرمی (خطوط نقطه چین) یکی می شوند و خمیدگی نوار ها رخ می دهد. (b) شکل گیری یک تماس مسدود کننده برای حفره ها (ITO/D) و برای الکترون ها (A/Al). (c) شکل گیری یک تماس غیر مسدود کننده (اهمی) برای حفره ها (Au/D) و برای الکترون ها (A/Ca)..... ۶۳

شکل ۳-۱۳: نمایی از استاندارد های تابش خورشید..... ۶۶

شکل ۴-۱: نمایی از سطح مقطع پمپ چرخشی بازو دار لغزنده تک مرحله ای ۷۴

شکل ۴-۲: طرحی از چگونگی عملکرد پمپ پخشی ۷۶

شکل ۴-۳: الف) تعیین جهت برش AT در کوارتز ب) نگهدارنده بلور : I- بوش ورودی، S- نشت بند، Cr- بلور، C- خنک کننده..... ۸۵

شکل ۴-۴: نمایی از یک سرد کن آبی برای نوسانگر بلوری ۸۶

شکل ۵-۱: نمای کلی از دستگاه لایه نشانی PVD..... ۹۰

شکل ۵-۲: دو نمونه بوته تنگستنی و مولیبدنی (از راست به چپ) ۹۱

شکل ۵-۳: دو نمونه دستگاه لرزشی فرا صوت ۹۱

شکل ۵-۴: ساختار مولکولی CuPc..... ۹۳

شکل ۵-۵: ساختار مولکولی فولرین C_{۶۰}..... ۹۴

شکل ۵-۶: ساختار مولکولی BCP..... ۹۵

شکل ۵-۷: طرحی از ساختار لایه ای سلول ساخته شده ۱۰۰

شکل ۵-۸: تصویری از سلول خورشیدی ساخته شده که از طریق چسب نقره به مدار متصل شده است..... ۱۰۱

شکل ۵-۹: نمودار جریان - ولتاژ سلول سری اول تحت تابش لامپ تنگستنی ۱۰۱

شکل ۵-۱۰: تصویر میکروسکوپ الکترونی که نشان دهنده تغییر رنگ و اندازه ذرات C_{۶۰} پس از تبخیر شدن می باشد..... ۱۰۲

شکل ۵-۱۱: نمونه ای از بوته سبدی (تنگستنی) ساخته شده ۱۰۴

شکل ۵-۱۲: تصویری از دو سلول الف (سمت چپ) و ب (سمت راست)..... ۱۰۵

شکل ۵-۱۳: مقایسه توزیع طیف انرژی لامپ های هالوژن و Metal Halide با خورشید ۱۰۶

- شکل ۵-۱۴: شبیه ساز خورشیدی ساخته شده از لامپ Metal Halide ۱۰۶
- شکل ۵-۱۵: نمودار جریان-ولتاژ برای سلول الف (بدون BCP) ۱۰۷
- شکل ۵-۱۶: نمودار جریان-ولتاژ برای سلول ب (با استفاده از BCP) ۱۰۷
- شکل ۵-۱۷: نمودار تراز های انرژی سلول و تشکیل حالت های نقص در گاف انرژی BCP ۱۰۹
- شکل ۵-۱۸: نمودار I-V سلول «ب» تحت روشنایی پس از گذشت سه روز ۱۱۱
- شکل ۵-۱۹: طیف جذب لایه CuPc با ضخامت ۲۰ nm ۱۱۲
- شکل ۵-۲۰: طیف جذب لایه C₆₀ (خلوص ۹۸٪) با ضخامت ۴۰ nm ۱۱۳
- شکل ۵-۲۱: منحنی های جذب اندازه گیری شده برای سه لایه CuPc، C₆₀ و BCP توسط چان و همکارانش ۱۱۳
- شکل ۵-۲۲: توزیع شدت طیف خورشید تحت شرایط تابش استاندارد AM1/5 ۱۱۴
- شکل ۵-۲۳: طیف جذب سلول بدون الکتروود آلومینیوم با ساختار
ITO/CuPc(20nm)/C60(40nm)/BCP(8nm) ۱۱۶
- شکل ۵-۲۴: طیف جذب لایه CuPc با ضخامت ۱۱۰ nm ۱۱۷
- شکل ۵-۲۵: طیف جذب لایه C₆₀ (خلوص ۹۹/۵٪) با ضخامت ۴۰ nm ۱۱۸
- شکل ۵-۲۶: طرحی ساده از (a) ساختار مولکولی CuPc، (b) مدلی از CuPc در حالت روی هم چیده شده، (c) CuPc نوع α ، (d) CuPc نوع β ۱۱۹
- شکل ۵-۲۷: نقش پراش پرتوی X برای لایه CuPc (۱۱۰ nm) ۱۲۰
- شکل ۵-۲۸: نقش پراش پرتوی X برای لایه ITO پوشش داده شده بر روی لایه شیشه ای ۱۲۱
- شکل ۵-۲۹: نقش پراش پرتوی X برای سلول بدون الکتروود آلومینیوم با ساختار
ITO/CuPc(20nm)/C60(40nm)/BCP(8nm) ۱۲۱

فهرست جداول

جدول ۳-۱: چند نمونه از الکتروود های شفاف استفاده شده در سلول های خورشیدی آلی ۶۲

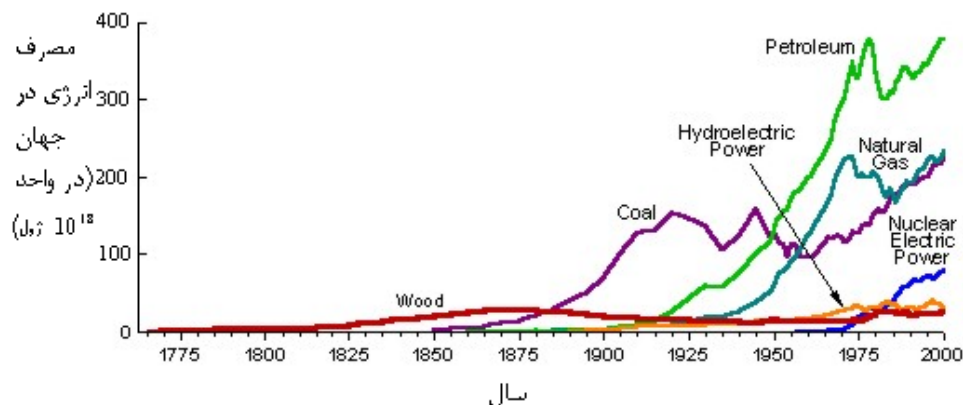
فصل اول

مقدمه

۱-۱ انرژی

با افزایش جمعیت جهان در ۱۵۰ سال اخیر و تقاضای بیشتر انرژی برای زندگی راحتتر، مصرف انرژی نیز روز به روز در حال افزایش است. به گونه ای که بر اساس پیش بینی های انجام شده تقاضای جهانی انرژی تا سال ۲۰۵۰ به بیش از دو برابر مصرف فعلی خواهد رسید (یعنی از $10^{12} \times 13$ وات به $10^{12} \times 30$ وات افزایش خواهد یافت)، و تا اواخر قرن اخیر نرخ مصرف سه برابر نیز خواهد شد ($10^{12} \times 50$ وات) [۱]. بنابراین باتوجه به رشد نجومی نرخ مصرف انرژی و محدود بودن منابع متداول انرژی در آینده ای نزدیک با بحران کمبود انرژی مواجه خواهیم شد، به گونه ای که بر اساس تحقیقات انجام شده این ذخایر تا ۵۰ سال آینده تمام خواهد شد.

در جهان کنونی منابع فراوان انرژی وجود دارد که متداول ترین آنها زغال سنگ، نفت، گاز طبیعی و انرژی هسته ای (در ۵۰ سال اخیر) می باشند. که بیش از ۸۰ درصد از کل مصرف جهانی انرژی از سوختهای فسیلی (نفت، گاز و زغال سنگ) تأمین می شود. سوخت های فسیلی علاوه بر مزایای فراوانشان، گاز های آلوده کننده ای را (در اثر سوختن) وارد محیط زیست می کنند که اثرات مخربی را بر روی پدیده های زیست محیطی می گذارد. در شکل ۱-۱ نمودار مصرف انرژی جهان در بازه زمانی ۱۷۶۵-۲۰۰۰ میلادی نشان داده شده است.



شکل (۱-۱): مصرف سالیانه انرژی در جهان بر حسب زمان (بین سالهای ۱۷۶۵-۲۰۰۰) [۲]

۱-۲ اثرات مخرب سوخت های فسیلی

عمده نیاز بشر به انرژی با سوختن سوخت های فسیلی مانند زغال سنگ، نفت و گاز تأمین می گردد. به دنبال افزایش مصرف سوخت های فسیلی به ویژه در جوامع صنعتی و شهرهای بزرگ، گازهای سمی و پسماند های حاصل از احتراق این سوخت ها به طور محسوسی افزایش یافته، که اثرات مخرب زیادی را بر محیط زیست گذاشته است. از مهمترین این آثار می توان به مواردی چون انتشار CO₂ و آلودگی هوا، باران های اسیدی، اثر گلخانه ای و گرم شدن زمین اشاره نمود. تغییرات آب و هوایی در جو به علت ترکیبات حاصله از CO₂، در سال ۱۸۹۶ توسط شیمیدان سوئدی اسونت آرنهوس^۱ کشف شد [۳]. همچنین او به درستی پیش بینی کرد که با دو برابر شدن میزان CO₂، اثرات گلخانه ای باعث افزایش ۵ درجه ای دمای زمین خواهد شد.

۱-۳ محدودیت های موجود در منابع انرژی متداول (تجدید نا پذیر)

در این بخش، منابع فسیلی انرژی (نفت، گاز و زغال سنگ) و انرژی هسته ای جزء منابع متداول انرژی^۲ دسته بندی شده اند.

سوخت های فسیلی نتیجه فرآیند فتوسنتز بوده و در طول سالیان دراز تولید می شوند، بنابراین شکل گیری اینگونه سوخت ها از نظر زمین شناسی رویدادی است، که تنها یک بار رخ می دهد. مثلاً بیشتر از ۱۰۰ میلیون سال زمان لازم است تا سوخت های فسیلی موجود دوباره تولید شوند، پس باید به آنها به عنوان ذخایر محدود نگریست و مفهوم تجدیدپذیر^۳ را نمی توان به آنها اطلاق کرد.

استفاده از انرژی هسته ای تفاوت های بنیادینی با دیگر انرژی ها دارد. پسماندهای هسته ای با رادیواکتیویته بالا نیمه عمری در حدود چندین هزار سال دارند (برای مثال نیمه عمر پلوتونیوم

^۱Svante Arrhenius

^۲ Conventional sources of energy

^۳ Renewable

۱۲۵۰۰ سال است) و حداقل باید در طول این مدت بطور کامل محافظت شوند. بنابراین، برپایی نیروگاه های هسته ای به دلیل موارد امنیتی (به منظور جلوگیری از نشت مواد رادیواکتیو) بسیار پرهزینه اند. بنابراین رآکتورهای هسته ای به سیستم های ایمنی بسیار قوی برای جلوگیری از شرایط فوق بحرانی نیازمندند. در غیر این صورت امکان فاجعه زیست محیطی مانند آنچه در چرنوبیل شوروی سابق روی داد دور از انتظار نیست [۴]. همچنین سوخت های هسته ای منابع تجدید پذیری نیستند (محدود بودن منابع اورانیوم جهان).

علاوه بر فاجعه های زیست محیطی در اثر استفاده از سوخت های فسیلی، این منابع محدود بوده و دیر یا زود به اتمام می رسند. طبق برآوردهای انجام شده میزان استخراج نفت طی ۱۰ الی ۲۰ سال آینده رو به کاهش می گذارد [۵]. بنابراین به دلیل حساسیت هایی که در زمینه مسائل زیست محیطی و کاهش وابستگی به انرژی سوخته های فسیلی وجود دارد، و همچنین نیاز جدی آینده به انرژی های پایان ناپذیر، جهت گیری مصرف انرژی جهان به سمت انرژی های تجدید پذیر خواهد بود.

۱-۴ انرژی های تجدید پذیر

بشر از دیرباز با بکارگیری انرژی های فراوان و در دسترس طبیعت، در پی گشودن دریچه ای تازه به روی خویش بود تا از این رهگذر، بتواند افزون بر آسانتر کردن کارها، فعالیت های خود را با کمترین هزینه و بالاترین سرعت به انجام رساند و گامی برای آسایش بیشتر بردارد. نخستین انرژی بکاررفته توسط بشر، انرژی خورشید بود. انسان از نور و گرمای آفتاب بهره های فراوان می برد؛ تا آنجا که این انرژی جزئی جدایی ناپذیر از فرآیند برخی صنایع گشت و حتی امروزه نیز جایگاه خود را از دست نداده است. مردمانی که به جریان های آزاد آب دسترسی داشتند یا در سرزمین های بادخیز می زیستند، از این انرژی حرکتی استفاده می کردند و با تبدیل و مهار آن، بر توان خویش جهت انجام کارهای بزرگتر و دشوارتر، می افزودند. انرژی دیگری که در گذشته با آن آشنا بوده و از آن باری