بسم الله الرحمن الرحیم

بسمه تعالی

دانشکده علوم پایه

تأییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

اعضای هیئت داوران نسخهٔ نهایی پایان‌نامه خانم/آقای **مرضیه سادات حافظی** رشته :**فیزیک** تحت عنوان: «ساخت و بهینه سازی سلول خورشیدی حساس شده با رنگینه با استفاده از کامپوزیت نانو سیم های Zno/ نانو ذرات Tio2 » از نظر فرم و محتوا بررسی نموده و آن را برای اخذ درجهٔ کارشناسی‌ارشد مورد تأیید قرار دادند.

اعضای هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتررسول ملک فر	دانشیار	۱۵/۷/۹۰
۲- استاد مشاور	دکتراسماعیل ساعی ور	دانشیار	
۳- استاد ناظر داخلی	دکتر احمد مشاعی	استادیار	
٤- استاد ناظرخارجی	دکتر حمید لطیفی	استاد	
٥-نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر احمد مشاعی	استادیار	

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی – پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته

است که در سال در دانشکده دانشگاه تربیت

مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای

دکتر و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر

از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب **مرضیه سادات حافظی** دانشجوی رشته **فیزیک** مقطع **کارشناسی ارشد**

تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی:

مرضیه سادات حافظی

تاریخ و امضا: ۹۱/۹/۱۰

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب **مرضیه سادات حافظی** دانشجوی رشته **فیزیک** ورودی سال تحصیلی **۱۳۷۸** مقطع **کارشناسی ارشد** دانشکده **علوم‌پایه** متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا:... .....

تاریخ: ..... ۹۱/۹/۱.....

دانشکده : علوم پایه

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته: فیزیک

گرایش: اتمی مولکولی

عنوان پایان نامه:

ساخت و بهینه سازی سلول خورشیدی حساس شده با رنگینه با استفاده از کامپوزیت

نانوسیم‌های ZnO/نانوذرات TiO_2

نام دانشجو:

مرضیه سادات حافظی

استاد راهنما:

دکتر رسول ملک فر

استاد مشاور

دکتر اسماعیل ساعی‌ور ایرانی‌زاد

تیر ۹۰

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

که همواره راهنمایی هایشان روشنگر راهم

و دعاهایشان بدرقه راهم بوده است،

و تقدیم به یار همیشه مهربانم

خواهر خوبم.

تشکر و قدردانی

به نام او که خالق دنیای شگفت‌انگیزی است که عمر را به فهمیدن ذره‌ای ناچیز از آن سپری می‌کنیم، تا راهی جهت معرفت بیشتر به ذات پاکش بیابیم. سپاس و ستایش بیکران به درگاه پروردگاری که رحمت و لطف بی‌پایانش را درک نتوان کرد. شکر خداوندی را که توفیق صرف عمر در راه کسب علم را به من داد.

تشکر واژه کوچکی برای قدردانی از والدین و خانواده‌ام به خاطر صبوری‌هایشان در این سال‌ها می‌باشد. دعای خیرشان همیشه بدرقه راهم بوده و امیدوارم خداوند اجر بی‌پایان و سعادت جاوید به ایشان عنایت فرماید.

در این مجال مایلم که مراتب سپاس و قدردانی خود را از جناب آقای دکتر رسول ملک‌فر که در مقام استاد راهنما از هیچ کمک و کوششی دریغ ننمودند، ابراز نمایم. همچنین از جناب آقای دکتر اسماعیل ساعی‌ور ایرانی‌زاد که زحمت مشاوره این پایان نامه را تقبل فرمودند، بسیار سپاس‌گزارم.

همچنین، از سرکار خانم شبنم دادگستر که همکار اصلی من در این پژوهش بوده‌اند، و نیز سرکار خانم محبوبه کریمی و جناب آقای دکتر مسعود رحمان کمال تشکر را دارم.

خداوند را شاکرم که به من فرصت همراهی با دوستانی چون روشنک کلانتری، نوریه فتح الله بیگی، آنیتا توکلی، ضحی توکلی، رویا محمودخانی، مژگان علی‌عسگری، ندا معززی و امیر حسین‌مردی را داد که هر یک به طریقی مرا یاری نموده‌اند.

چکیده

در این پژوهش فوتوآندهای متفاوتی بر مبنای نانوسیم‌های اکسیدروی، کامپوزیت نانوسیم‌های اکسیدروی/نانوذرات اکسیدتیتانیوم، نانوسیم‌های رشد یافته در جهت عمود بر سطح و کامپوزیت نانوسیم‌های عمود بر سطح/نانوذرات اکسیدتیتانیوم جهت ساخت سلول خورشیدی حساس شده با رنگینه مورد استفاده قرار گرفتند. به منظور تولید نانوسیم‌های اکسیدروی و نانوذرات اکسیدتیتانیوم از روش‌های شیمیایی مانند سل-ژل و گرمابی بهره گرفته شد. طیف‌سنجی پراش پرتو X، رامان، فوتولومینسانس و UV/Vis/NIR و تصویربرداری الکترونی روبشی جهت بررسی ساختار بلوری و مورفولوژی نانوسیم‌های اکسیدروی و نانوذرات اکسیدتیتانیوم تولید شده مورد استفاده قرار گرفتند. برای مشخصه‌یابی سلول‌های ساخته شده تحت نور شبیه‌سازی شده خورشید (AM۱/۵) از دستگاه پتانسیواستات AuotoLab استفاده گردید.

طیف‌سنجی رامان و فوتولومینسانس وجود نقص‌های بلوری داخل ساختار نانوسیم‌های اکسیدروی را نشان دادند. نتایج حاصل از مشخصه‌یابی جریان-ولتاژ، I-V، نشان داد که سلول‌های ساخته شده بر مبنای نانوسیم‌های رشدیافته در جهت عمود بر سطح زیرلایه عملکرد بهتری نسبت به سلول‌های بر مبنای نانوسیم‌های بدون جهت دارند. همچنین استفاده از نانوذرات اکسیدتیتانیوم بازده سلول را ارتقا بخشید. در بهترین حالت،فیل‌فاکتور و بازده به ترتیب در حدود ۰/۶۷ و ۰/۴۲ برای سلول ساخته شده بر مبنای کامپوزیت نانوسیم‌های عمودی اکسیدروی/نانوذرات اکسیدتیتانیوم به دست آمد.

کلمات کلیدی: سلول خورشیدی حساس شده با رنگینه، نانوسیم‌های اکسیدروی، نانوذرات اکسیدتیتانیوم

فهرست مطالب

عنوان صفحه

۱- سلول خورشیدی حساس شده با رنگینه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- سلول‌های خورشیدی ۲

۱-۳- سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگینه ۵

۱-۳-۱- ساختار DSSC ۵

۲- اجزاء و عملکرد آند ۱۰

۲-۱- مقدمه ۱۱

۲-۲- رنگینه ۱۱

۲-۳- لایه نیمه رسانا با گاف انرژی پهن ۱۵

۲-۳-۱- اکسیدتیتانیوم ۱۶

۲-۳-۲- اکسید روی ۱۹

۲-۳-۲-۱- ساختار بلوری اکسیدروی ۱۹

۲-۳-۲-۲- خواص الکتریکی اکسید روی ۲۰

۲-۳-۲-۳- خواص اپتیکی ۲۱

۲-۳-۲-۴- نانوساختارهای اکسیدروی ۲۱

۲-۳-۲-۵- نانوسیم‌های اکسیدروی ۲۲

۲-۳-۲-۶- روشهای ساخت نانوسیم‌های اکسیدروی ۲۳

۲-۳-۲-۷- رشد نانوسیم‌های اکسیدروی به روش گرمابی ۲۴

۲-۳-۲-۸- خصوصیات نانوسیم‌های اکسیدروی ۲۵

۲-۴- انتقال الکترون در سلول ۲۶

۲-۵- ترازهای انرژی در نیمه‌رسانا و الکترولیت ۲۹

۲-۶- بازده سلول خورشیدی حساس شده با رنگینه و عوامل موثر بر آن ۳۲

۲-۶-۲- روش‌های بهبود عملکرد سلول ۳۳

۳- روش‌های مشخصه‌یابی در سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگینه ۳۸

۳-۱- مقدمه ۳۹

۳-۲- شبیه‌ساز نور خورشید ۳۹

۳-۳- منحنی ولتاژ- جریان ۴۰

۳-۴- اندازه‌گیری بازده تبدیل فوتون فرودی به جریان IPCE ۴۴

۳-۵- اندازه‌گیری امپدانس DSSC ۴۵

۳-۵-۲- تعیین پارامترهای انتقال الکترون ۴۹

۳-۵-۳- شیوه تعیین/تخمین پارامترهای انتقال الکترون ۵۰

۴- ساخت سلول خورشیدی حساس شده با رنگینه با استفاده از فوتوآند بر مبنای کامپوزیت نانوسیم‌های ZnO/نانوذرات TiO_2 ..... ۵۲

۴-۱- مقدمه ۵۳

۴-۲- رشد نانوسیم‌های اکسیدروی ۵۳

۴-۲-۱- آماده‌سازی زیرلایه‌ها ۵۳

۴-۲-۲- تهیه محلول جهت ایجاد لایه نانوذره‌ای از اکسیدروی ۵۴

۴-۲-۳- تهیه محلول حاوی کاتیون Zn^{+2} جهت رشد نانوسیم‌های اکسیدروی- رشد نانوسیم‌های اکسیدروی ۵۵

۴-۲-۴- بررسی خواص اپتیکی نانوسیم‌های رشد یافته به روش گرمابی ۶۰
۴-۳- سنتز نانوذرات اکسیدتیتانیوم به روش گرمابی ۶۳
۴-۳-۱- تهیه محلول ۵ درصد وزنی از نانوذرات اکسیدتیانیوم ۶۵
۴-۴- تهیه کامپوزیت نانوسیم‌های اکسیدروی/نانوذرات اکسیدتیتانیوم ۶۵
۴-۵- ساخت سلول خورشیدی با استفاده از نانوسیم‌های اکسیدروی و کامپوزیت نانوسیم‌های اکسیدروی/نانوذرات اکسیدتیتانیوم ۶۶
۴-۵-۱- آماده‌سازی فوتوآند.....۶۶
۴-۵-۲- آماده‌سازی کاتد ۶۸
۴-۵-۳- آماده سازی الکترولیت ۶۸
۴-۶- بستن سلول..... ۶۸
۴-۶-۱- مشخصه‌یابی سلول- نمودار I-V..... ۶۹
۴-۶-۲- محاسبه پارامترهای سلول ۷۲
۴-۶-۳- مشخصه‌یابی سلول- اندازه‌گیری EIS سلول با فوتوآند بر مبنای کامپوزیت نانوسیم‌های اکسیدروی/نانوذرات اکسیدتیتانیوم ۷۳
۵- ساخت سلول خورشیدی حساس شده با رنگینه با استفاده از فوتوآند بر مبنای کامپوزیت نانوسیم‌های عمود بر سطح ZnO/نانوذرات TiO_2 ..... ۷۶
۵-۱- مقدمه ۷۷
۵-۲- رشد نانوسیم‌های اکسیدروی عمود بر سطح زیرلایه..... ۷۷
۵-۳- تهیه کامپوزیت نانوسیم‌های عمودی اکسیدروی/نانوذرات اکسیدتیتانیوم..... ۷۹

۵-۴- ساخت سلول خورشیدی با استفاده از نانوسیم‌های عمودی اکسیدروی و کامپوزیت نانوسیم‌های عمودی اکسیدروی/نانوذرات اکسیدتیتانیوم ۷۹

۵-۴-۱- مشخصه‌یابی سلول- نمودار I-V..... ۸۰

۵-۴-۲- محاسبه پارامترهای مربوط به سلول ۸۱

۶- جمع‌بندی ـ پیشنهادها ۸۳

۶-۱- جمع‌بندی..... ۸۴

۶-۲- پیشنهادها..... ۸۵

Abstract:.....90

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱طیف انرژی الکترومغناطیسی خورشید برای AM0، AM1.5G وAM1.5D ۳
شکل ۱-۲ مقایسه ساختار نوار انرژی پلاتین با طلا و نقره و سیلیکون ۶
شکل ۱-۳ شماتیکی از اجزای DSSC ۸
شکل ۱-۴ نمودار انرژی درDSSC ۹
شکل ۲-۱ساختار $cis\text{-}Ru(4,4'\text{-}dicarboxy\text{-}2,2'\text{-}bipyridine)_2(NCS)_2$ معروف به N3 ..... ۱۳
شکل ۲-۲ حالت‌های مختلف اتصال گروه کربوکسیل به اتم فلز نیمه‌رسانا ۱۳
شکل ۲-۳ ساختار مولکولی رنگینه با نام تجاری N719..... ۱۵
شکل ۲-۴ شماتیکی از انتقال بار در فصل مشترک الکترولیت/رنگینه/اکسیدتیتانیوم. دو مسیر بازترکیب وجود دارد: R1 از اکسیدتیتانیوم به I_3^-، و R2 از اکسیدتیتانیوم به کاتیون رنگینه. الکترون‌ها می‌توانند از نوار رسانش به محل تله‌های عمیق منتقل شوند. ۱۹
شکل ۲-۵ نمایش شماتیک ساختار بلوری ورتزایت ZnO(سمت چپ)- تصویر شبکه ZnO در طول جهت $[11\bar{2}0]$ ۲۰
شکل ۲-۶ نمایش نمودار حالت سینتیک عملکرد DSSC. فرآیندهای رو به جلوی جذب نور، تزریق الکترون، احیاء رنگینه و انتقال بار با پیکان‌های آبی نشان داده شده‌اند. مسیرهای اتلافی رقیب شامل واهلش حالت تحریکی به حالت پایه و بازترکیب الکترون با کاتیون‌های رنگینه و زوج اکسایش-کاهش اکسیدکننده با پیکان‌های مشکی نشان داده شده‌اند. ۲۷
شکل۲-۷ تراز فرمی در لایه نیمه رسانای TiO_2 و الکترولیت بر پایه I^-/I_3^- ۳۱
شکل ۳-۱ شماتیکی از شبیه‌ساز نور خورشید ۴۰
شکل ۳-۲ منحنی I-V معمولا بین ولتاژ مدار اتصال کوتاه (بار و توان صفر) و مدارباز (بار بینهایت و توان صفر) اندازه‌گیری می‌شود. نقطه بیشینه توان بین این نقاط پیدا می‌شود. ۴۱

شکل ۳-۳ مدار معادل سلول خورشیدی حساس شده با رنگینه ۴۳
شکل ۳-۴ نمودار I-V سلول خورشیدی. R_s مقاومت سری و R_{sh} مقاومت موازی می‌باشد. ۴۳
شکل ۳-۶ مسیرهای واکنش در الکترود اکسید تیتانیوم سلول خورشیدی حساس شده با رنگینه در مدل کرن و همکارانش. ۴۷
شکل ۳-۷ مثالی از نمودار EIS سلول خورشیدی حساس شده با رنگینه. نمودار پیوسته از محاسبات به‌دست آمده است. نمودار نقطه‌چین حاصل اندازه‌گیری می‌باشد. ۴۹
شکل ۴-۱ تصویر SEM از لایه دانه‌دار تشکیل شده بر روی شیشه ۵۵
شکل ۴-۲ نانوسیم‌های رشد یافته بر روی زیرلایه دانه‌دار شده به روش اول. ۵۶
شکل ۴-۳ نانوسیم‌های رشدیافته بر روی زیرلایه‌های دانه‌دار شده به روش دوم. الف زمان رشد: ۶ ساعت، ب زمان رشد: ۸ ساعت، پ زمان رشد: ۱۲ ساعت..... ۵۸
شکل ۴-۴ تصویر SEM نانوسیم‌های رشد یافته به روش گرمابی بر روی زیرلایه FTO. ۵۹
شکل ۴-۵ تصویر SEM نانوذرات اکسیدتیتانیوم تولید شده به روش گرمابی ۶۴
شکل ۴-۶ تصویر مساحت سطح ایجاد شده از لایه کامپوزیتی نانوسیم‌های اکسیدروی/نانوذرات اکسیدتیتانیوم ۶۶
شکل ۴-۷ تصویر لایه نیمه‌رسانا پس از جذب رنگینه ۶۷
شکل ۴-۸ الف شماتیکی از اجزای داخلی سلول ب تصویر سلول آماده شده ۶۹
شکل ۴-۹ دستگاه شبیه‌ساز نور خورشید ساخت شرکت Luzchem ۷۰
شکل ۴-۱۰ مقایسه طیف شبیه‌سازی شده نور خورشید توسط دستگاه شبیه‌ساز نور خورشید مدل SolSim-164 و طیف استاندارد AM1.5..... ۷۰
شکل ۵-۱ تصویر SEM نانوسیم‌های رشد یافته بر روی شیشه با جهت‌گیری عمود بر سطح زیرلایه. تصویر الصاقی سطح مقطع عرضی نمونه را نشان می‌دهد. ۷۸

فهرست نمودارها

نمودار ۴-۱ طیف پراش پرتو ایکس نانوسیم‌های رشد یافته به روش گرمابی ۶۰
نمودار ۴-۲ طیف رامان نانوسیم‌های رشد یافته به روش گرمابی در دمای اتاق..... ۶۱
نمودار ۴-۳ طیف فوتولومینسانس نانوسیم‌های رشد یافته بر روی زیرلایه بدون نانوذرات اکسیدروی
نمودار الصاقی طیف فوتولومینسانس نانوسیم‌های رشدیافته به روش گرمابی رانشان می‌دهد ۶۱
نمودار ۴-۴ طیف جذبی فرابنفش نانوسیم‌های اکسیدروی ۶۲
نمودار ۴-۵ طیف پراش پرتو ایکس نانوذرات اکسیدتیتانیوم..... ۶۵
نمودار ۴-۶ نمودار I-V مربوط به سلول‌های ساخته شده از فوتوآند بر مبنای نانوسیم‌های اکسیدروی (W0)، کامپوزیت نانوسیم‌های اکسیدروی/نانوذرات اکسیدتیتانیوم‌یک بار لایه نشانی TiO_2 (W1)، کامپوزیت نانوسیم‌های اکسیدروی/نانوذرات اکسیدتیتانیوم‌سه بار لایه نشانی TiO_2 (W3)..... ۷۱
نمودار ۴-۷ نمودار EIS مربوط به سلول ساخته شده از فوتوآند بر مبنای کامپوزیت نانوسیم‌های اکسیدروی/نانوذرات اکسیدتیتانیوم (یک بار لایه‌نشانی)..... ۷۴
نمودار ۵-۱ طیف فوتولومینسانس نانوسیم‌های رشدیافته در جهت عمود بر سطح..... ۷۸
نمودار ۵-۲ نمودار I-V مربوط به سلول‌های ساخته شده با فوتوآند بر مبنای نانوسیم‌های عمودی اکسیدروی و کامپوزیت نانوسیم‌های عمودی اکسیدروی/نانوذرات اکسیدتیتانیوم ۸۰

فهرست جدول‌ها

جدول ۴-۱پارامترهای اصلی به‌دست آمده از نمودار I-V سلول‌های با فوتوآند بر مبنای نانوسیم‌های اکسیدروی و کامپوزیت نانوسیم‌های اکسیدروی/نانوذرات اکسیدتیتانیوم ۷۲

جدول ۴-۲پارامترهای به‌دست آمده از تطابق نمودار تجربی و محاسباتی EIS برای سلول ساخته شده از فوتوآند بر مبنای کامپوزیت نانوسیم‌های اکسیدروی/نانوذرات اکسیدتیتانیوم ۷۵

جدول ۵-۱ پارامترهای مربوط به سلول‌های با فوتوآند بر مبنای نانوسیم‌های عمودی اکسیدروی و کامپوزیت نانوسیم‌های عمودی اکسیدروی/نانوذرات اکسیدتیتانیوم ۸۱

فصل اول

۱- سلول خورشیدی حساس شده با رنگینه

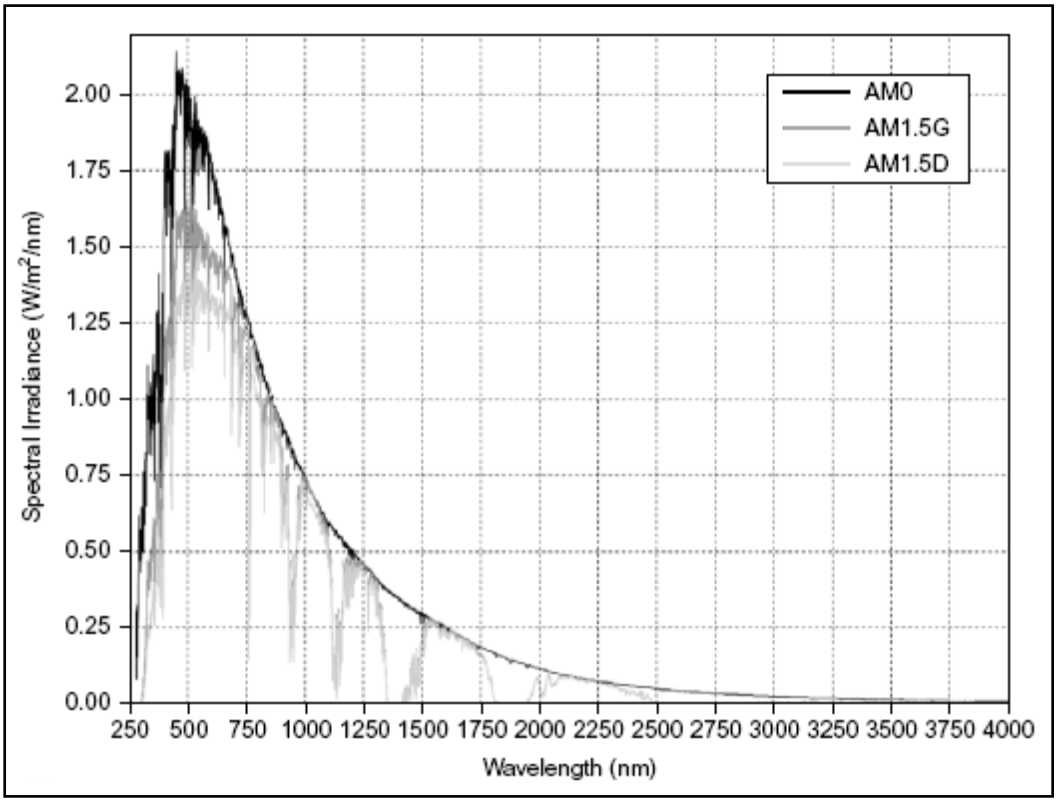
۱-۱- مقدمه

انرژی، مخصوصا انرژی الکتریکی یکی از ضروریات زندگی بشر امروز است. دسترسی بـه انـرژی ارزان و سهل‌الوصول نقش بسیار حیاتی در توسعه اقتصادی جوامـع صـنعتی دارد. بـا رشـد جمعیـت جهـان و پیشرفت‌های شگرف در فناوری‌های مختلف، نیاز به الکتریسیته رو به افزایش اسـت. طبـق گزارشـی از آزمایشگاه انرژی‌های تجدیدپذیر آمریکا مصرف سالیانه انـرژی الکتریکـی جهـان از میـزان کنـونی ۱۰ تراوات به ۳۰ تراوات در سال ۲۰۵۰ خواهد رسید [۱]. بـا توجـه بـه محـدودیت منـابع سـوخت‌هـای فسیلی و نگرانی‌های روزافزون در مورد آلـودگی هـوا وگـرم شـدن زمـین، نیـاز بـه اسـتفاده از منـابع تجدیدپذیر و دوست‌دار محیط زیست بیش از پیش احساس می گردد. انرژی تجدیدپـذیر مـی‌توانـد از منابع بسیاری ماننـد هیدروالکتریسـیته (۰/۵ تـراوات)، جریانهـای اقیانوسـی و جـزر و مـد(۲تـراوات)، زمین‌گرمایی(۱۲تراوات)، باد(۳تراوات)، و خورشید(۱۲۰۰۰۰تراوات) تامین گردد [۲]. از این بـین، نـور خورشید به دلیل انرژی پتانسیل بالا و دسترس‌پذیری در اغلب نقاط ، مناسب‌ترین گزینه می‌باشـد. بـا پوشش تنها ۰/۱٪ از سطح زمین با تاسیسات فوتوولتاییک با بـازده تبـدیل تـوان۱۰٪ مـی‌تـوان نیـاز کنونی تمام دنیا به انرژی را فراهم نمود [۳].

۱-۲- سلول‌های خورشیدی

اساس فناوری فوتوولتاییک تبدیل انرژی فوتون‌ها به انرژی الکتریکی می‌باشد. سـلول‌هـای خورشـیدی سامانه‌های فوتوولتاییکی هستند که فوتون‌های مورد نیاز خود را از نور خورشید تامین می‌نمایند. توان

دریافتی از خورشید به متغیرهایی مانند ارتفاع، فصل سال، ساعت روز، زاویه تابش، طول موج و ... بستگی دارد. یک طیف استاندارد معمول برای نور خورشید که در سطح زمین قابل دستیابی است در شکل۱-۱ نشان داده شده است. این طیف توان فرودی بر واحد سطح در بازه طول موجی به پهنای ۱ nm که هر طول موج در مرکز آن است را نشان می‌دهد. در این شکل، طیف AM0 بر اساس استاندارد ASTM[1]، E 490 بوده و در کاربردهای ماهواره‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. طیف



شکل۱-۱ طیف انرژی الکترومغناطیسی خورشید برای AM0، AM1.5G وAM1.5D [۴]

AM1.5G براساس استاندارد G173 بوده و کاربردهای زمینی دارد. این طیف شامل نور مستقیم و پراکنده خورشید می‌باشد. انتگرال این طیف بر روی طول موج معادل $۱۰۰۰ W/m^2$ است. طیف AM1.5D نیز براساس استاندارد G173 بوده و کاربردهای زمینی دارد ولی تنها شامل نور مستقیم خورشید است. انتگرال این طیف بر روی طول موج معادل $۸۸۸ W/m^2$ می‌باشد [۴].

[1] American Society for Testing and Materials

باتوجه به اینکه نور دریافتی از خورشید به عوامل زیادی بستگی دارد برای بررسی عملکرد و مقایسه سلول‌های خورشیدی به یک طیف فرودی استاندارد نیاز است. برای این منظور از شبیه‌ساز نور خورشید استفاده می‌گردد. در این رابطه در فصل سوم توضیحات بیشتری داده خواهد شد. در طراحی سلول‌های خورشیدی باید به این نکته توجه داشت، که ناحیه طیفی قابل جذب توسط سلول تا حد امکان با طیف استاندارد خورشید، به خصوص در ناحیه مرئی طیف الکترومغناطیس که بیشترین شدت در آن مشاهده می‌شود، همپوشانی داشته باشد.

سلول‌های خورشیدی را می‌توان به سه نسل تقسیم کرد. نسل اول عمدتا از قطعات سیلیکونی تک اتصال(اتصال p-n) با خلوص بسیار بالا ساخته می‌شوند. در اتصال p-n بازترکیب در محل نقایص به سهولت رخ داده، استفاده از مواد بدون نقص را ضروری می‌نمایند. هزینه بالای سلول‌های بر مبنای اتصال p-n نتیجه‌ای از خلوص بالای مورد نیاز برای نیمه‌رساناها و فرآیندهای ساخت پرهزینه در دمای بالا و فشار پایین می‌باشد. در حال حاضر قطعات بر مبنای سیلیکون با بازده حدود ۱۵-۲۵٪ برای نمونه‌های تجاری، بازار سلول‌های خورشیدی را در اختیار دارند. به دلیل فرآیندهای پرهزینه ساخت و محدودیت شاکلی-کویسر[1] که حداکثر بازده نظری ۳۰٪ را برای این نوع از سلول‌ها پیش بینی می‌نماید [۵] نسل‌های بعدی سلول‌های خورشیدی مورد بررسی قرار گرفته‌اند [۶; ۴]. نسل دوم سلول‌های خورشیدی از نیمه‌رساناهای غیرآلی، با نیاز کمتر به فرآیندهای آماده‌سازی بهره می‌گیرند، بنابراین هزینه‌های ساخت بسیار پایین‌تر است. این نیمه‌رساناها معمولا به صورت فیلم‌های بس‌بلوری به کار می‌روند و بازده این سلول‌ها از نسل اول بسیار پایین‌تر است. مواد مورد استفاده در نسل دوم شامل CdTe، Copper Indium Gallium Selenide(CIGS)، سیلیکون بی‌شکل و ... می‌باشد. این نوع سلول‌ها اخیرا وارد بازار شده‌اند ولی بازده آنها هنوز بسیار پایین‌تر از سلول‌های نسل اول می‌باشد. از طرف دیگر مواد مصرفی در سلول‌های نسل دوم در طبیعت کمیابند و هزینه تهیه آنها مانعی برسرراه تجاری شدن این نوع سلول‌ها می‌باشد. در نهایت سلول‌هایی که شامل مولکول‌های آلی

[1] Schockley-Queisser