



دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده مهندسی و علم مواد، گروه الکتروسرامیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مواد

رسوب‌دهی الکتروفوریتیک نانوذرات TiO_2 به منظور ساخت فتوآند

نانوساختار در سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگینه

بوسیله:

مهديه سلمانى

استاد راهنما:

دکتر علی مشرقی

آبان ماه ۱۳۹۲



بسمه تعالی

رسوب‌دهی الکتروفورتیک نانوذرات TiO_2 به منظور ساخت فتوآند
نانوساختار در سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگینه

پایان نامه ارائه شده به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی

توسط:

مهديه سلمانی

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

گروه الکتروسرامیک، دانشکده مهندسی و علم مواد

دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر علی مشرقی، استادیار مهندسی و علم مواد، دانشگاه صنعتی شیراز (استاد راهنما).....

دکتر هومان شکراللهی، استادیار مهندسی و علم مواد، دانشگاه صنعتی شیراز (استاد مشاور).....

دکتر مرتضی علیزاده، استادیار مهندسی و علم مواد، دانشگاه صنعتی شیراز (استاد داور).....

مدیر امور آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه :

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

اینجانبمهدیه سلمانیدانشجوی رشته مهندسی مواد-الکتروسرامیکمقطع تحصیلی کارشناسی ارشد به شماره دانشجویی ۹۰۱۶۴۰۰۲ تأیید می نماید کلیه نتایج این پایان نامه ، بدون هیچگونه دخل و تصرف ، حاصل مستقیم پژوهش صورت گرفته توسط اینجانب است. در مورد اقتباس مستقیم و غیر مستقیم از سایر آثار علمی، اعم از کتاب، مقاله، پایان نامه با رعایت امانت و اخلاق علمی، مشخصات کامل منبع مذکور درج شده است.

در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص مقامات ذی صلاح دانشگاه صنعتی شیراز، مطابق قوانین و مقررات مربوط و آئین نامه های آموزشی، پژوهشی و انضباطی عمل خواهد شد و اینجانب حق هرگونه اعتراض و تجدیدنظر را، نسبت به رأی صادره، از خود ساقط می کند. همچنین، هرگونه مسئولیت ناشی از تخلف نسبت به صحت و اصالت نتایج مندرج در پایان نامه/رساله در برابر اشخاص ذی نفع (اعم از حقیقی و حقوقی) و مراجع ذی صلاح (اعم از اداری و قضایی) متوجه اینجانب خواهد بود و دانشگاه صنعتی شیراز هیچ گونه مسئولیتی در این زمینه نخواهند داشت.

تبصره ۱- کلیه حقوق مادی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تبصره ۲- اینجانب تعهد می نماید بدون اخذ مجوز از دانشگاه صنعتی شیراز دستاوردهای این پایان نامه/رساله را منتشر نکند و یا در اختیار دیگران قرار ندهد.

نام و نام خانوادگی دانشجو:

تاریخ و امضاء

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج پایان‌نامه متعلق به دانشگاه و انتشار نتایج نیز تابع مقررات دانشگاهی است و با موافقت استاد راهنما به شرح زیر، بلامانع است:

- بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.
- بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.
- بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما:

تاریخ:

امضا:

تقدیم به

مادر و پدری از جنس

زیبایی

و

خواهری از رنگ پرواز

سپاسگزاری:

به نام پروردگار یکتا
سپاس آن بی‌همتایی که مانند همیشه با الطاف بی‌پایانش در انجام و به پایان رساندن این رساله مرا یاری نمود.
او را سپاس می‌گویم که مرا لایق آموختن گردانید.
رهنمودهای بی‌دریغ و ارزنده اساتید بزرگوام که هدایت این رساله را به‌عهده داشتند مرا بر آن می‌دارد که با
این جملات کوتاه و ناکافی سپاسگزاری خود را از این بزرگواران بیان کنم.

با تشکر از یاوران همیشگی‌ام

مادرم

و

پدرم

و خواهرم و برادرانم

با تشکر از مشوقان واقعی راه علم

استاد ارجمند جناب آقای دکتر مشرقی،

استاد گرانقدر جناب آقای دکتر علیزاده

استاد گرامی جناب آقای دکتر شکرالهی

جناب آقای دکتر سلطانی راد بخاطر راهنمایی و مساعدت ایشان برای تست های فراصوت

جناب آقای مهندس چمن باز

و همچنین از بنیاد ملی نخبگان و معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری بخاطر حمایت های مالی این

پژوهش سپاسگذاری و قدردانی می‌گردد.

چکیده

رسوب‌دهی الکتروفوریتیک نانوذرات TiO_2 به منظور ساخت فتوآند نانوساختار در سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگینه

به وسیله‌ی:

مهدیه سلمانی

این پژوهش با هدف ساخت لایه‌های نانومتخلخل TiO_2 با روش رسوب‌دهی الکتروفوریتیک و استفاده از آن به عنوان فتوآند در سلول خورشیدی حساس شده با رنگینه انجام شد. فتوآند نیمه‌هادی حساس شده با رنگینه، نقش مهمی در تبدیل فوتون‌ها به انرژی الکتریکی ایفا می‌کند. به منظور رسیدن به سلول‌هایی با بازدهی بالا، تهیه الکتروود با مساحت سطحی بالا که به جذب رنگینه کافی منتهی شود، الزامی است. یک روش موثر برای کنترل تخلخل، مساحت سطحیو چگالی فیلم، روش رسوب‌دهی الکتروفوریتیک است. در این پژوهش یک سوسپانسیون پایدار از نانوذرات TiO_2 ساخته شد و از آن برای لایه نشانی با روش الکتروفوریتیک استفاده گردید. در ساخت سوسپانسیون از ایزوپروپیل الکل، نانوذرات TiO_2 ، استیل استون، استون و آب استفاده شد. پس از لایه نشانی نانوذرات TiO_2 روی سطح شیشه شفاف رسانا با روش الکتروفوریتیک و عملیات حرارتی، پوشش ساخته شده به عنوان فیلم فتوآند سلول خورشیدی حساس شده با رنگینه مورد استفاده قرار گرفت. از رنگینه مرکروکروم برای حساس کردن پوشش TiO_2 استفاده شد. منحنی ولتاژ-جریان سلول خورشیدی حاصل تحت تابش نور لامپ زنون اندازه‌گیری و محاسبه گردید. سلول ساخته شده با فتوآندی که تحت ولتاژ ۳۰ ولت و به مدت ۸ دقیقه الکتروفوریتیک گردید، بهترین عملکرد را از خود نشان داد. ضخامت لایه نانومتخلخل TiO_2 این فتوآند ۱۳ میکرومتر بود. چگالی جریان مدار کوتاه، ولتاژ مدار باز و بازده

این سلول به ترتیب ۰/۹۳ میلی آمپر بر سانتی متر مربع، ۴۵۵ میلی ولت و ۰/۱۸٪ برای این سلول مشاهده گردید.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	۱. مقدمه..... ۱
۲	۱-۱- پیشگفتار..... ۲
۴	۲. مرور ببر تحقیقا نگذشته ۴
۵	۲-۱- ضرور توجو داستفادهاز انرژیهایجدید..... ۵
۶	۲-۱-۱- اهمیتانرژ یخورشیدی..... ۶
۶	۲-۱-۲- موقعیتکشور ایراناز نظر میز اندر یافتانرژ یخورشیدی..... ۶
۷	۲-۲- تاریخچهسلولهایفتوولتائیک..... ۷
۹	۲-۳- سلولهایخورشید یحساسشدهبارنگینه..... ۹
۹	۲-۳-۱- پیشینهتاریخی..... ۹
۱۰	۲-۳-۲- معرفیسلولهایخورشید یحساسشدهبارنگینه..... ۱۰
۱۱	۲-۴- ساختار و اصول عملکرد سلولخورشید یحساسشدهبارنگینه..... ۱۱
۱۴	۲-۴-۱- فرایندتزریقالکترون در ونیمه رسانا..... ۱۴
۱۴	۲-۴-۲- بازترکیبالکترون..... ۱۴
۱۵	۲-۴-۳- باز تولید رنگینهاکسید شده..... ۱۵
۱۶	۲-۴-۴- بازترکیبالکترون هایتزریقشدهها جفت رود و کسالکترو لیت..... ۱۶
۱۶	۲-۴-۵- احیاء جزء اهداکنندهالکترون درالکترو لیتتوسطالکترو دشمارنده..... ۱۶
۱۷	۲-۵- اجزاءمختلفسلولخورشید یحساسشدهبارنگینه..... ۱۷

- ۲-۵-۱- زیر لایه ۱۷
- ۲-۵-۲- فتوالکتروود ۱۹
- ۲-۵-۳- رنگین‌ه‌حساس‌بهنور ۲۰
- ۲-۵-۴- الکترولیتاکسایشی - کاهشی ۲۱
- ۲-۵-۵- الکترو دشمارنده ۲۲
- ۲-۶-۱- روشرسوبدهیالکتروفورتیک ۲۲
- ۲-۶-۱- ضرورتاستفادهاز روشرسوبدهیالکتروفورتیک ۲۲
- ۲-۶-۲- معرفیروشرسوبدهیالکتروفورتیک ۲۳
- ۲-۶-۳- لایهدوگانه‌یالکتریکی، پتانسیلز تاو تحر کالکتروفورتیکی ۲۵
- ۲-۶-۴- نیروهاییکهباعثته‌نشینشدندراتدر سوسپانسیونمی شوند ۲۷
- ۲-۶-۵- پارامترهایموثر بر فرایندرسوبدهیالکتروفورتیک ۲۸
- ۲-۶-۵-۱- پارامترهایمریوطبهسوسپانسیون ۲۸
- ۲-۶-۵-۲- پارامترهایمریوطبهفرایند ۳۰
- ۲-۶-۶-۱- سرعتتشکیلرسوبدرفرایندرسوبدهیالکتروفورتیک ۳۱
- ۲-۶-۷- مکانیزم‌هایفرایندرسوبدهیالکتروفورتیک ۳۲
- ۲-۶-۷-۱- انعقاددر اثر تجمعدرات ۳۲
- ۲-۶-۷-۲- مکانیزمخنثیشدنبار ذره ۳۲
- ۲-۶-۷-۳- مکانیزمانعقادالکتروشیمیاییذره ۳۲
- ۲-۶-۷-۴- مکانیزم‌عواجوناز کشدنلایه‌یدوگانه‌یالکتریکی ۳۳

- ۷-۲- پارامترهای مهم در منحنی مشخصه جریان-ولتاژ سلول خورشیدی ۳۴
- ۷-۲-۱- جریان مدار کوتاه ۳۵
- ۷-۲-۲- ولتاژ مدار باز ۳۵
- ۷-۲-۳- ولتاژ و جریان بیشینه ۳۶
- ۷-۲-۴- ضریب رشدگی (انباشت) ۳۶
- ۷-۲-۵- بازده تبدیل توان ۳۶
- ۷-۲-۶- استانداردهای تابش خورشید ۳۷
- ۸-۲- اهداف پروژه ۳۸
- ۹-۲- دلایلی استفاده از مواد بکاررفته در آزمایش ۳۸
- ۹-۲-۱- نانوذرات TiO_2 ۳۸
- ۹-۲-۲- الکل (اتانول، ایزوپروپیل الکل) ۳۸
- ۹-۲-۳- استیل استون ۳۹
- ۹-۲-۴- استون ۳۹
- ۹-۲-۵- ید ۳۹
- ۹-۲-۶- FTO ۴۰
- ۹-۲-۷- هگزاکلروپلاتینیک اسید ۴۰
- ۹-۲-۸- یدید لیتیم ۴۰
- ۹-۲-۹- رنگینه های مرکرومومو N719 ۴۰
۳. روش آزمایش ۴۱

۴۲	۱-۳- مقدمه
۴۲	۲-۳- مواد مورد استفاده
۴۳	۳-۳- دستگاه‌های مورد استفاده
۴۳	۱-۳-۳- دستگاه تمیز کننده فراسوت
۴۴	۲-۳-۳- دستگاه همزن فراسوت
۴۵	۳-۳-۳- دستگاه شبیه ساز نور خورشید
۴۶	۴-۳-۳- کوره‌های الکتریکی
۴۷	۵-۳-۳- ترازو
۴۷	۶-۳-۳- همزن مغناطیسی
۴۸	۷-۳-۳- منبع تغذیه DC
۴۸	۸-۳-۳- ریزسنج
۴۸	۹-۳-۳- pH متر
۴۹	۱۰-۳-۳- مولتی‌متر
۴۹	۱۱-۳-۳- دستگاه پولیش
۵۰	۱۲-۳-۳- میکروسکوپ نوری
۵۰	۴-۳- ساخت سلول خورشید حساس شده با رنگینه
۵۱	۱-۴-۳- ساخت فتوآند
۵۱	۱-۱-۴-۳- ساخت پوشش نانو متخلخل TiO_2
۵۶	۲-۱-۴-۳- حساس کردن پوشش نانو متخلخل TiO_2 با رنگینه

- ۳-۴-۲- ساخت الکتروود شمارنده ۵۶
- ۳-۴-۳- تهیه یالکترو لیت مناسب ۵۷
- ۳-۴-۴- مونتاژ سلول خورشید یحساس شده بارنگینه ۵۷
- ۳-۵- بررسی خواص فتوولتائیک سلول خورشید یحساس شده بارنگینه ۵۸
- ۳-۶- بررسی های دیگر ۵۸
- ۳-۶-۱- بررسی اثرولتاژ اعمالی بر روی خواص پوشش تشکیل شده ۵۸
- ۳-۶-۲- بررسی اثر زمان انجامواکنش بر روی خواص پوشش تشکیل شده ۵۹
- ۳-۶-۳- بررسی تاثیر مقدار یرمختلفاً بر روی خواص میکروساختار یپوشش تشکیل شده ۵۹
- ۳-۶-۴- بررسی تاثیر مقدار ید بر روی pH و رن گسوسپانسیون خواص پوشش تشکیل شده ۶۰

۴. نتایج و تحلیل آنها ۶۱

- ۴-۱- بررسی دلا یلمناسب نبودن سوسپانسیون های ساخته شده ۶۲
- ۴-۱-۱- سوسپانسیون شماره ۱ ۶۲
- ۴-۱-۲- سوسپانسیون شماره ۳ ۶۲
- ۴-۲- بررسی اثر ید بر pH سوسپانسیون پوشش تشکیل شده ۶۲
- ۴-۲-۱- اثر ید بر pH سوسپانسیون ۶۲
- ۴-۲-۲- اثر ید بر مورفولوژی و ضخامت پوشش تشکیل شده ۶۳
- ۴-۳- بررسی اثر آبر روی رسانا یی سوسپانسیون سوبتشکیل شده ۶۶
- ۴-۴- رسوب دهی الکترو فور تیکنانو ذرات TiO_2 ۶۹
- ۴-۴-۱- مکانیزم ایجاد رسوب نانوذرات TiO_2 ۶۹

- ۲-۴-۴- بررسی اثر ولتاژ اعمالی بر روی ضخامت ووزن سوبت تشکیل شده بر روی پوشش ۷۱
- ۱-۲-۴-۴- بررسی وزن سوبت تشکیل شده به ولتاژ اعمالی در زمان ثابت ۷۱
- ۲-۲-۴-۴- بررسی اثر ولتاژ اعمالی بر ضخامت پوشش های تشکیل شده ۷۲
- ۳-۴-۴- بررسی اثر زمان انجام واکنش بر روی ضخامت ووزن سوبت تشکیل شده بر روی سطح ۷۳
- ۱-۳-۴-۴- بررسی اثر مدت زمان فرایند الکتروفور تیکبروزن سوبت تشکیل شده ۷۴
- ۲-۳-۴-۴- بررسی اثر مدت زمان فرایند الکتروفور تیکبر ضخامت فیلم های تشکیل شده ۷۵
- ۵-۴-۴- بررسی خواص فتوولتائیک سلول خورشیدی حساس شده به بارنگینه ۷۶
- ۱-۵-۴-۴- بررسی اثر مدت زمان فرایند الکتروفور تیکبر خواص فتوولتائیک سلول ۷۶
- ۱-۱-۵-۴-۴- بررسی خواص میکروساختار پوشش ها ۸۱
- ۲-۵-۴-۴- بررسی اثر ولتاژ اعمالی بر خواص فتوولتائیک سلول ۸۴
- ۳-۵-۴-۴- بررسی اثر رنگینه بر خواص فتوولتائیک سلول ۸۶
- ۴-۵-۴-۴-
 بررسی اثر ماندگاری الکترو لیت سلول خورشیدی حساس شده به بارنگینه با گذشت زمان بر خواص فتوولتائیک سلول
 ل ۸۹
۵. نتیجه گیری و پیشنهادات ۹۲
- ۱-۵- جمع بندی و نتیجه گیری ۹۳
- ۲-۵- پیشنهادات ۹۵

فهرست جداول

صفحه

عنوان و شماره

جدول ۱-۳- مواد بکاررفته برای ساخت سوسپانسیون در روش الکتروفور تیک.....	۴۲
جدول ۲-۳- مواد مورد استفاده برای ساخت سلول خورشیدی حساس شده با رنگینه.....	۴۳
جدول ۳-۳- مقادیر بکاررفته در سوسپانسیون ۱.....	۵۱
جدول ۴-۳- مقادیر بکاربرده در سوسپانسیون ۲.....	۵۳
جدول ۵-۳- مقادیر بهینه مواد مورد استفاده در ساخت سوسپانسیون.....	۵۴
جدول ۶-۳- مشخصات نمونه های آماد شده در ولتاژ متغیر و زمان ثابت ۱ ، ۳ و ۸ دقیقه.....	۵۸
جدول ۷-۳- مشخصات نمونه های آماد شده در ولتاژ ثابت ۱۰ و ۳۰ ولت و زمان متغیر.....	۵۹
جدول ۸-۳- سوسپانسیون ۷ با مقادیر مختلف آب.....	۵۹
جدول ۹-۳- سوسپانسیونها با مقادیر مختلفید.....	۶۰
جدول ۱-۴- مشخصات الکتريکي سلول خورشیدی حاوی فتوآند ساخت شده در زمان ۱ ، ۳، ۸ و ۱۲ دقیقه.....	۸۳
جدول ۲-۴- مشخصات الکتريکي سلول خورشیدی حاوی فتوآند ساخت شده در ولتاژ ۱۰ و ۳۰ ولت.....	۸۶
جدول ۳-۴- بازده، ضریب پیرشوندگی، ولتاژ مدار باز و جریان اتصال کوتاه و سلول خورشیدی حاوی رنگینه مرکرومومو	
N719.....	۸۸

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲ - اتصال دو نیمه رسانا p و n و ایجاد منطقه تهی از بار	۸
شکل ۲-۲ - طرحواره های باز یک سلول خورشید حساس شده به بار نگینه	۱۱
شکل ۳-۲ - زمان و نحوه انتقال الکترون در قسمت های مختلف سلول خورشید حساس شده به بار نگینه	۱۳
شکل ۴-۲ - چیدمان یک سلول خورشید حساس شده به بار نگینه	۱۷
شکل ۵-۲ - رنگینه تجاری N719 که باز یک زنجیر هکر بنی، یک هسته فلزیو چند سر آزاد	
OH تشکیل شده است	۲۱
شکل ۶-۲ - شماتیک یاز فرایند رسوب دهی الکترو فور تیک	۲۴
شکل ۷-۲ - فرایند الکترو فور تیک آند یو کاتدی	۲۴
شکل ۸-۲ -	
نمایش شماتیک لایه یهیدو گانه و افت پتانسیل در امتداد لایه یهیدو گانه، بار سطحی، لایه یه استر نولایه یهینفوذی و یون های	
باز مخالف	۲۶
شکل ۹-۲ -	
توزیع ولتاژ در امتداد پیل الکترو شیمیایی با غلظت یون نیبالا، تقریباً تمام یافت ولتاژ در امتداد پیل در دو لایه یه بسیار	
از کنز دیکد و الکترو در خمیده	۳۱
شکل ۱۰-۲ - نمایش شماتیک یاز مکانیزمر سو بنایشیاز اعوجاج و ناز کشدن لایه یهیدو گانه الکترو تریکی	۳۴
شکل ۱۱-۲ - استانداردها ی تابش خورشید	۳۷
شکل ۱-۳ - دستگاه لرز شیفر اصو تمور داستفاده در اینپژ وهش	۴۴
شکل ۲-۳ - دستگاه همز نفر اصو تمور داستفاده در اینپژ وهش	۴۵
شکل ۳-۳ - دستگاه شبیه ساز نور خورشید تمور داستفاده در اینپژ وهش	۴۵

- شکل ۳-۴ - شمایاز الف) آونب) کور همور داستفاده در اینپژوهش ۴۶
- شکل ۳-۵ - ترازومور داستفاده در اینپژوهش ۴۷
- شکل ۳-۶ - همزنمغناطیسی مور داستفاده در اینپژوهش ۴۷
- شکل ۳-۷ - منبع تغذیه مور داستفاده در اینپژوهش ۴۸
- شکل ۳-۸ - ریزسنج مور داستفاده در اینپژوهش ۴۸
- شکل ۳-۹ - pH متر مور داستفاده در اینپژوهش ۴۹
- شکل ۳-۱۰ - مولتی متر مور داستفاده در اینپژوهش ۴۹
- شکل ۳-۱۱ - دستگاہ پولیش مور داستفاده در اینپژوهش ۵۰
- شکل ۳-۱۲ - شمایاز میکروسکوپ نوری ۵۰
- شکل ۳-۱۳ - شمایکسلو لخورشید یحساس شده بارنگینهاز نمایمجاور و اجزای آن ۵۷
- شکل ۴-۱ - تغییرات pH بر حسب غلظتید در محلول ۶۳
- شکل ۴-۲ - تصاویر ماکروسکوپیکر فته شده از سطح پوشش تشکیل شده الف) بدونید، ب) ید کم (غلظتید: ۲۵ میلیگرم بر لیتر)، ج) ید بهینه (غلظتید: ۸۵ میلیگرم بر لیتر)، د) ید زیاد (غلظتید: ۱۸۰ میلیگرم بر لیتر)، ه) ید خیلی زیاد (غلظتید: ۴۰۰ میلیگرم بر لیتر) ۶۴
- شکل ۴-۳ - تصاویر میکروسکوپ نوری پوشش TiO_2 الف) بدونید، ب) ید کم، ج) ید بهینه، د) ید زیاد، ه) ید خیلی زیاد ۶۵
- شکل ۴-۴ - تغییرات ضخامت پوشش بر حسب غلظتید در محلول ۶۶
- شکل ۴-۵ - تصاویر ماکروسکوپیکر فته شده از سطح پوشش TiO_2 الف) بدون آب، ب) آب بهینه (۳ میلیلیتر بر لیتر)، ج) آب زیاد (۴۰ میلیلیتر بر لیتر)، د) آب خیلی زیاد (۸۰ میلیلیتر بر لیتر) ۶۸
- شکل ۴-۶ - تصاویر میکروسکوپ نوری پوشش TiO_2 الف) بدون آب، ب) آب بهینه، ج) آب زیاد، د) آب خیلی زیاد ۶۹
- شکل ۴-۷ - تغییرات توزنر سوبتشکیل شده بر حسب ولتاژ اعمالی ۷۲

- شکل ۴-۸- تغییرات ضخامت بر حسب ولتاژ اعمالی..... ۷۳
- شکل ۴-۹- تغییرات وزن سوبت تشکیل شده به زمان انجام واکنش..... ۷۵
- شکل ۴-۱۰- تغییرات ضخامت بر حسب ولتاژ اعمالی..... ۷۶
- شکل ۴-۱۱- تغییرات جریان بر حسب ولتاژ سلول حاوی فتوآند ساخت هیدرولتاژ ۳۰ و لتوزمان ۱ دقیقه..... ۷۷
- شکل ۴-۱۲- تغییرات جریان بر حسب ولتاژ سلول حاوی فتوآند ساخت هیدرولتاژ ۳۰ و لتوزمان ۳ دقیقه..... ۷۸
- شکل ۴-۱۳- تغییرات جریان بر حسب ولتاژ سلول حاوی فتوآند ساخت هیدرولتاژ ۳۰ و لتوزمان ۸ دقیقه..... ۷۹
- شکل ۴-۱۴- تغییرات جریان بر حسب ولتاژ سلول حاوی فتوآند ساخت هیدرولتاژ ۳۰ و لتوزمان ۱۲ دقیقه..... ۸۰
- شکل ۴-۱۵- تغییرات جریان بر حسب ولتاژ سلول حاوی فتوآند زمان ۱، ۳، ۸ و ۱۲ دقیقه..... ۸۰
- شکل ۴-۱۶- تصاویر میکروسکوپی گرفته شده از سطح پوشش تشکیل شده (الف) زمان ۱ دقیقه، (ب) زمان ۳ دقیقه، (ج) زمان ۸ دقیقه، (د) زمان ۱۲ دقیقه..... ۸۲
- شکل ۴-۱۷- فتوآند ساخت هیدرولتاژ ۵ و لتوزمان ۳ دقیقه..... ۸۴
- شکل ۴-۱۸- تغییرات جریان بر حسب ولتاژ سلول حاوی فتوآند ساخت هیدرولتاژ ۱۰ و لتوزمان ۳ دقیقه..... ۸۵
- شکل ۴-۱۹- تغییرات جریان بر حسب ولتاژ سلول حاوی فتوآند ساخت هیدرولتاژ ۱۰ و ۳۰ ولت..... ۸۶
- شکل ۴-۲۰- تغییرات جریان بر حسب ولتاژ سلول حاوی فتوآند ساخت هیدرولتاژ ۳۰ و لتوزمان ۳ دقیقه در رنگینهم کرومومو N719..... ۸۷
- شکل ۴-۲۱- ساختار و ترکیب شیمیایی رنگینهم کرومومو N719..... ۸۹

شکل ۴-۲۲ - تغییرات جریان بر حسب ولتاژ سلول حاوی فتوآند ساخت هیدروکسیل و ولتاژ ۱۰ ولت و زمان ۳ دقیقه در رنگین همر کروم در لحظه اول و ۲۰ ساعت بعد..... ۹۰

شکل ۴-۲۳ - تغییرات جریان بر حسب ولتاژ سلول حاوی فتوآند ساخت هیدروکسیل و ولتاژ ۳۰ ولت و زمان ۳ دقیقه در رنگین همر N719 در لحظه اول، ۲ ساعت و ۲۰ ساعت بعد..... ۹۱