

عنوان	فهرست مطالب	صفحه
فصل اول: مقدمه ای بر مقره‌های الکتریکی و چالش‌ها.....		۱.....
۱- معرفی مقره.....		۲.....
۱-۱- مقره‌های مورد استفاده در خطوط انتقال نیرو.....		۲.....
۲-۱- انواع مقره‌ها.....		۲.....
۱-۲-۱- مقره‌های سرامیکی.....		۳.....
۲-۲-۱- مقره‌های شیشه ای.....		۴.....
۳-۲-۱- مقره‌های کامپوزیت پلاستیکی.....		۵.....
۴-۲-۱- مقره‌های خطوط هوایی.....		۵.....
۱-۴-۲-۱- مقره‌های سوزنی (میخی).....		۵.....
۲-۴-۲-۱- مقره‌های آویزی در خطوط هوایی (بشقابی).....		۶.....
۵-۲-۱- مقره‌های اتکایی.....		۶.....
۶-۲-۱- مقره‌های عبوری یا بوشینگ‌ها.....		۷.....
۳-۱- اجزای مقره.....		۹.....
۴-۱- شکست الکتریکی در مقره‌ها.....		۱۰.....
۱-۴-۱- سوراخ شدن مقره (شکست الکتریکی داخل بدنه مقره).....		۱۰.....
۲-۴-۱- جرقه سطحی مقره.....		۱۰.....
۵-۱- آلودگی بر روی سطح مقره‌ها.....		۱۱.....
۱-۵-۱- انواع آلودگی بر روی سطح مقره‌ها.....		۱۱.....
۶-۱- پدیده کرونا.....		۱۱.....
۷-۱- روش‌های برطرف کردن آلودگی‌ها از سطح مقره‌ها و جلوگیری از تخلیه الکتریکی.....		۱۴.....
۱-۷-۱- شست و شوی مقره‌ها با استفاده از آب.....		۱۴.....
۲-۷-۱- تمیز کردن دستی سطح مقره‌ها.....		۱۵.....
۳-۷-۱- تمیز کردن سطح مقره‌ها با استفاده از ساینده‌ها و یخ خشک.....		۱۵.....
۴-۷-۱- تغییر طراحی مقره و چترک افزایش دهنده ی فاصله خزشی.....		۱۵.....
۵-۷-۱- استفاده از سیم پیچ.....		۱۷.....
۶-۷-۱- استفاده از مقره‌های کامپوزیت پلیمری.....		۱۹.....
۷-۷-۱- استفاده از پوشش بر روی سطوح مقره‌های سرامیکی و شیشه‌ای.....		۲۳.....
۱-۷-۷-۱- استفاده از پوشش‌های متحرک مانند پوشش‌های گریسی و روغن سیلیکون.....		۲۳.....
۲-۷-۷-۱- استفاده از پوشش‌های پلیمری بر روی سطح مقره.....		۲۵.....
۸-۱- مروری بر مطالعات صورت گرفته در زمینه انواع ماتریس‌های پلیمری به‌عنوان پوشش سطح مقره‌ها.....		۲۷.....
فصل دوم: نانو پوشش‌های آب‌گریز و خود تمیز شونده.....		۳۰.....
۱-۲- معرفی پوشش‌های سیلیکون-رابر.....		۳۱.....
۲-۲- ساختار شیمیایی رزین‌های سیلیکونی.....		۳۳.....
۳-۲- تهیه رزین‌های سیلیکونی.....		۳۵.....
۴-۲- انواع رزین‌های سیلیکونی.....		۳۷.....

۳۸	۵-۲- خواص شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی رزین‌های سیلیکونی.....
۳۹	۱-۵-۲- محدوده وسیع دمای کاربری.....
۳۹	۲-۵-۲- مقاومت حرارتی.....
۳۹	۳-۵-۲- مقاومت جوّی.....
۴۰	۴-۵-۲- مقاومت شیمیایی.....
۴۱	۵-۵-۲- خاصیت آب‌گریزی و بازایی آب‌گریزی.....
۴۳	۶-۵-۲- خواص الکتریکی.....
۴۴	۷-۵-۲- گرانروی رزین‌های سیلیکونی.....
۴۵	۶-۲- پخت رزین‌های سیلیکونی.....
۴۶	۷-۲- مقاومت جوّی و ارزیابی تخریب پوشش‌های سیلیکون-رابر در فضای بیرونی.....
۴۶	۱-۷-۲- انواع تخریب‌های محتمل در پوشش‌های پلیمری.....
۴۷	۱-۱-۷-۲- تخریب اکسیداسیون.....
۴۸	۲-۱-۷-۲- تخریب هیدرولیز.....
۴۸	۳-۱-۷-۲- تخریب ترمولیز.....
۴۹	۴-۱-۷-۲- تخریب پیرولیز.....
۴۹	۵-۱-۷-۲- تخریب فتولیز.....
۴۹	۶-۱-۷-۲- تخریب سلولیز.....
۴۹	۷-۱-۷-۲- تخریب بیولوژیکی.....
۵۰	۲-۷-۲- پایدارکننده‌های پوشش‌های سیلیکون-رابر در برابر تابش نور فرابنفش.....
۵۶	۸-۲- کاربرد رزین‌های سیلیکونی.....
۵۷	۱-۸-۲- پوشش‌دهی مقره‌ها با استفاده از مواد سیلیکون-رابر.....
۵۸	۹-۲- روش‌های ارزیابی عملکرد مقره‌های پوشش‌دهی شده با رزین سیلیکون-رابر.....
۵۸	۱-۹-۲- آزمون‌های تعیین‌کننده کارایی پوشش‌های سیلیکون-رابر مورد استفاده در مقره‌ها.....
۵۹	۲-۹-۲- روش‌های ارزیابی عملکرد مقره‌های الکتریکی.....
۶۲	۱۰-۲- بررسی رفتار آب‌گریزی پوشش‌های سیلیکون-رابر.....
۶۲	۱-۱۰-۲- بررسی رفتار آب‌گریزی.....
۶۲	۱-۱۰-۲- پدیده آب‌گریزی و قوانین حاکم بر آن.....
۶۲	۱-۱-۱۰-۲- نظریه‌های اساسی در مورد قابلیت تر شدن سطوح جامد ایدئال (صاف).....
۶۳	۲-۱-۱۰-۲- نظریه‌های اساسی در مورد قابلیت تر شدن سطح غیر هموار و زبر.....
۶۶	۲-۱۰-۲- پوشش‌های فوق آب‌گریز و خودتمیزشونده.....
۶۸	۳-۱۰-۲- روش‌های اندازه‌گیری خاصیت آب‌گریزی و فوق آب‌گریزی سطوح.....
۷۲	۴-۱۰-۲- روش‌های مختلف فوق آب‌گریز کردن سطح.....
۷۲	۱-۴-۱۰-۲- پوشش‌های پلیمری آب‌گریز.....
۷۶	۲-۴-۱۰-۲- زبرکردن سطوح با استفاده از مواد آلی و معدنی.....
۷۶	۱-۲-۴-۱۰-۲- مواد بر پایه سیلیکا.....
۷۷	۳-۴-۱۰-۲- اچ کردن سطح با پلاسما و لیتوگرافی.....
۷۸	۴-۴-۱۰-۲- روش سل-ژل.....

۸۱	فصل سوم: نانو کامپوزیت‌های سیلیکون-رابری
۸۲	۳-۱- نانو کامپوزیت‌های سیلیکون-رابری
۱۴۹	۳-۲- مروری بر مطالعات انجام‌شده
۱۵۴	فصل چهارم: ساخت آزمایشگاهی
۱۵۵	۴-۱- سنتز و اصلاح سطحی نانوذرات سیلیکا
۱۵۶	۴-۱-۱- فرایند تولید سیلیکات سدیم به روش خشک
۱۵۷	۴-۱-۲- روش رسوب‌گذاری
۱۵۷	۴-۱-۲-۱- سولفوریک اسید
۱۵۹	۴-۱-۲-۲- هیدروکلریک اسید
۱۶۰	۴-۱-۳- روش سل-ژل
۱۶۱	۴-۱-۳-۱- اتیل استات
۱۶۲	۴-۱-۳-۲- فاقد سورفکتانت
۱۶۳	۴-۱-۳-۳- آمونیاک
۱۶۳	۴-۱-۴- روش طراحی ترکیب مرکزی
۱۶۴	۴-۱-۵- روش پیشنهادی در این پروژه
۱۶۴	۴-۲- ساخت پوشش‌های سیلیکون رابری
۱۶۸	۴-۲-۱- نانو کامپوزیت‌های سیلیکون رابری
۱۶۹	۴-۲-۱-۱- روش پراکندگی فیزیکی
۱۶۹	۴-۲-۱-۲- روش پراکندگی شیمیایی
۱۷۰	۴-۲-۲- کامپوزیت سیلیکون رابر و نانو سیلیکا
۱۷۱	۴-۲-۲-۱- اصلاح سطح نانو ذرات سیلیکا
۱۷۱	۴-۲-۲-۱-۱- اصلاح سطح توسط واکنش شیمیایی
۱۷۱	۴-۲-۲-۱-۲- اصلاح سطح توسط یک اصلاح‌کننده غیر واکنش‌پذیر
۱۷۲	۴-۲-۳- ساخت کامپوزیت RTV1/SiO <sub>2</sub>
۱۷۲	۴-۳- دستگاه‌ها و تجهیزات لازم جهت ارزیابی عملکرد نانو پوشش
۱۷۲	۴-۳-۱- بررسی رزین پخت‌نشده
۱۷۲	۴-۳-۱-۱- چگالی
۱۷۳	۴-۳-۱-۲- ویسکوزیته
۱۷۴	۴-۳-۲- بررسی رزین پخت‌شده
۱۷۴	۴-۳-۲-۱- خواص مکانیکی
۱۷۴	۴-۳-۲-۳-۱- سختی سنجی
۱۷۵	۴-۳-۲-۳-۲- استحکام کششی
۱۷۵	۴-۳-۲-۳-۳- استحکام پارگی
۱۷۷	۴-۳-۲-۳-۴- خواص الکتریکی
۱۷۷	۴-۳-۲-۳-۴-۱- استحکام دی‌الکتریک
۱۷۷	۴-۳-۲-۳-۴-۲- ثابت دی‌الکتریک
۱۷۷	۴-۳-۲-۳-۴-۳- مقاومت حجمی

۱۷۸	..... مقاومت سطحی	۴-۲-۲-۳-۴
۱۷۸	..... آزمون ترکیب	۵-۲-۲-۳-۴
۱۷۹	..... بررسی کیفیت پوشش	۳-۳-۴
۱۷۹	..... آزمون یکنواختی	۱-۳-۳-۴
۱۷۹	..... آزمون اشتعال افقی روکش مفره کامپوزیتی	۲-۳-۳-۴
۱۷۹	..... بررسی ریزساختاری پوشش	۴-۳-۴
۱۷۹	..... میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM	۱-۴-۳-۴
۱۸۰	..... میکروسکپ نیروی اتمی AFM	۲-۴-۳-۴
۱۸۰	..... بررسی شیمیایی پوشش	۵-۳-۴
۱۸۰	..... آنالیز طیف‌سنجی FT-IR	۱-۵-۳-۴
۱۸۱	..... بررسی چسبندگی پوشش	۶-۳-۴
۱۸۱	..... آزمون آب جوش	۱-۶-۳-۴
۱۸۱	..... بررسی آب‌گریزی پوشش استاتیک و دینامیک	۷-۳-۴
۱۸۱	..... آب‌گریزی	۱-۷-۳-۴
۱۸۱	..... تعیین زاویه تماس استاتیک و دینامیک	۲-۷-۳-۴
۱۸۴	<b>فصل پنجم: بررسی خواص پوشش‌های آب‌گریز</b>	
۱۸۵	..... خواص مکانیکی	۱-۵
۱۸۵	..... سختی	۱-۱-۵
۱۸۶	..... استحکام کششی	۲-۱-۵
۱۹۲	..... استحکام پارگی	۳-۱-۵
۱۹۳	..... خواص الکتریکی	۲-۵
۱۹۳	..... استحکام دی‌الکتریک، ثابت دی‌الکتریک و ضریب تلفات عایقی	۱-۲-۵
۱۹۷	..... مقاومت حجمی	۲-۲-۵
۱۹۹	..... مقاومت سطحی	۳-۲-۵
۲۰۰	..... مقاومت به فرسایش و خوردگی سطح شیب‌دار	۳-۵
۲۰۲	..... اشتعال افقی	۴-۵
۲۰۴	..... بررسی ریزساختاری پوشش	۵-۵
۲۰۴	..... SEM	۱-۵-۵
۲۰۴	..... میکروسکوپ نوری	۲-۵-۵
۲۰۶	..... AFM	۳-۵-۵
۲۰۸	..... زبری‌سنجی	۴-۵-۵
۲۱۰	..... بررسی آب‌گریزی پوشش	۶-۵
۲۱۰	..... زاویه تماس	۱-۶-۵
۲۱۳	..... تعیین کلاس آب‌گریزی روکش (روش اسپری)	۲-۶-۵
۲۱۴	..... آزمون‌های پیرسازی RTVI	۷-۵
۲۱۴	..... آزمون غوطه‌وری در آب (سختی آب جوش)	۱-۷-۵
۲۱۵	..... آزمون جذب آب	۲-۷-۵

۲۱۸	..... ۳-۷-۵- آزمون انتقال آب‌گریزی
۲۲۳	..... ۴-۷-۵- آزمون پیرسازی تحت اشعه فرابنفش (UV)
۲۲۴	..... ۱-۴-۷-۵- خواص مکانیکی
۲۲۴	..... ۱-۴-۷-۵- ۱- زبری‌سنجی
۲۲۶	..... ۲-۱-۴-۸-۵- سختی
۲۲۷	..... ۳-۱-۴-۷-۵- استحکام کششی
۲۳۰	..... ۴-۱-۴-۷-۵- استحکام پارگی
۲۳۱	..... ۲-۴-۷-۵- بررسی آب‌گریزی
۲۳۱	..... ۱-۲-۴-۷-۵- زاویه تماس
۲۳۴	..... ۳-۴-۷-۵- بررسی میکروسکوپی
۲۳۴	..... AFM - ۱-۳-۴-۷-۵
۲۳۷	..... ۴-۴-۷-۵- خواص الکتریکی
۲۳۷	..... ۱-۴-۴-۷-۵- استحکام دی‌الکتریک، ثابت دی‌الکتریک و ضریب تلفات عایقی
۲۳۹	..... ۲-۴-۴-۷-۵- مقاومت حجمی
۲۴۰	..... ۳-۴-۴-۷-۵- مقاومت سطحی
۲۴۳	..... <b>فصل ششم: تجربه اجرای پایلوت</b>
۲۴۴	..... ۱-۶- آماده سازی مفره‌های پوشش داده‌شده
۲۴۴	..... ۱-۱-۶- شست و شو با آب جهت رفع آلودگی‌ها
۲۴۴	..... ۲-۱-۶- تهیه نانو پوشش
۲۴۴	..... ۳-۱-۶- اعمال پوشش
۲۴۶	..... ۲-۶- ارزیابی مفره‌های پوشش داده‌شده
۲۴۶	..... ۱-۲-۶- آزمون آب‌گریزی
۲۵۰	..... ۲-۲-۶- آزمون الکتریکی
۲۵۰	..... ۱-۲-۲-۶- جریان نشستی خشک
۲۵۱	..... ۲-۲-۲-۶- جریان نشستی مرطوب
۲۵۲	..... ۳-۲-۲-۶- ولتاژ شکست
۲۵۴	..... ۳-۶- آزمون مه نمکی
۲۵۵	..... ۴-۶- ارزیابی مفره‌های پوشش داده‌شده در پست (آزمون محیطی)
۲۵۵	..... ۱-۴-۶- پست رضوان مشهد
۲۶۰	..... ۲-۴-۶- پست مشیریه
۲۸۲	..... مراجع

## فهرست شکل‌ها

### صفحه

#### فصل اول:

- شکل ۱-۱-۱- نمایشی از انواع مختلف مقره‌های مورد استفاده در خطوط انتقال نیرو..... ۲
- شکل ۱-۱-۲- دستگاه مخلوط کن اجزای سازنده (راست) و روش ساخت، خراطی و شکل دهی مقره‌های سرامیکی (چپ)..... ۳
- شکل ۱-۱-۳- نمایشی از مقره‌های شیشه‌ای..... ۴
- شکل ۱-۱-۴- نمونه‌هایی از مقره‌های هوایی..... ۵
- شکل ۱-۱-۵- مقره بشقابی (راست) و سوزنی (چپ)..... ۶
- شکل ۱-۱-۶- نمونه‌هایی از مقره اتکایی به همراه نقشه صنعتی نمونه..... ۷
- شکل ۱-۱-۷- مقره پوشینگ به همراه نقشه صنعتی..... ۷
- شکل ۱-۱-۸- تصاویری از استفاده از مقره‌ها در نیروگاه‌ها و مراکز توزیع قدرت..... ۸
- شکل ۱-۱-۹- تصویری از نصب موازی مقره‌ها..... ۹
- شکل ۱-۱-۱۰- اجزای سازنده مقره..... ۹
- شکل ۱-۱-۱۱- جرقه‌های سطحی بر روی سطح مقره..... ۱۰
- شکل ۱-۱-۱۲- مراحل پدیده کرونا با حضور قطره آب و ترشوندگی در سطح..... ۱۲
- شکل ۱-۱-۱۳- شبیه‌سازی پدیده کرونا و تمرکز ولتاژ در قسمت اتصالی مقره..... ۱۳
- شکل ۱-۱-۱۴- شست و شوی دستی سطح مقره‌ها (راست) و شست و شو با استفاده از بالگرد (چپ)..... ۱۵
- شکل ۱-۱-۱۵- (سمت چپ) HVCE و (سمت راست) نمونه‌ای از WA HVCE..... ۱۶
- شکل ۱-۱-۱۶- نحوه افزایش فاصله خزشی در حضور باران با HVBS..... ۱۷
- شکل ۱-۱-۱۷- نمونه‌هایی از RRGs پرسلانی و پلیمری..... ۱۷
- شکل ۱-۱-۱۸- تصویری از توزیع میدان الکتریکی اطراف مقره..... ۱۸
- شکل ۱-۱-۱۹- نمایشی از انواع سیم‌پیچ‌های مورد استفاده برای تضعیف میدان الکتریکی مقره‌ها. راست: سیم‌پیچ‌های متصل به مقره و چپ: سیم‌پیچ‌های جدا از مقره..... ۱۸
- شکل ۱-۱-۲۰- نمونه‌هایی از مقره‌های کامپوزیت پلیمری و سرامیکی مورد استفاده در صنایع تولید و توزیع برق..... ۲۳
- شکل ۱-۱-۲۱- دستگاه اکستروژن مورد استفاده برای تهیه مقره‌های کامپوزیت پلیمری..... ۲۳
- شکل ۱-۱-۲۲- نحوه اعمال پوشش گریسی به شکل اسپری بر روی سطح مقره‌ها..... ۲۴
- شکل ۱-۱-۲۳- نمایشی از مشکلات و سختی‌های مراحل پاک‌سازی دستی و تعویض قطعات مقره‌های آلوده..... ۲۵
- شکل ۱-۱-۲۴- نمونه‌هایی از اجرای پوشش پلیمری بر روی سطح مقره..... ۲۶
- شکل ۱-۱-۲۵- تصویری از مقره‌های پوشش داده‌شده با رزین سیلیکون-رابر و EPDM..... ۲۶
- شکل ۱-۱-۲۶- ساختار شیمیایی کوپلیمر سیلیکون-EPR..... ۲۷

#### فصل دوم:

- شکل ۲-۱- نمایشی از نحوه اسپری کردن پوشش‌های سیلیکون-رابر بر روی سطح مقره‌ها قبل از نصب مقره (چپ) و در حین کاربری (راست)..... ۳۲
- شکل ۲-۲- مقره‌های پوشش داده‌شده با رزین سیلیکون-رابر به روش غوطه‌وری..... ۳۳
- شکل ۲-۳- ساختار شیمیایی الیگوسیلوکسان شاخه ای (راست) و قفس مانند (چپ) با گروه‌های R=CH<sub>3</sub>, OH, H..... ۳۴
- شکل ۲-۴- ساختارهای شیمیایی مهم‌ترین رزین‌های سیلیکونی مورد استفاده در صنایع شیمیایی مختلف..... ۳۴

- شکل ۲-۵- ساختار مارپیچ زنجیره سیلوکسانی ..... ۳۵
- شکل ۲-۶- تقسیم‌بندی رزین‌های سیلیکونی بر اساس تعداد اجزا و نوع پخت ..... ۳۸
- شکل ۲-۷- مهم‌ترین خواص رزین‌های سیلیکونی ..... ۳۹
- شکل ۲-۸- تصویری از آزمون شعله‌پذیری نمونه‌های سیلیکون-رابر ..... ۴۰
- شکل ۲-۹- نمایی از نحوه بازیابی خاصیت آب‌گریزی بر روی سطح آب‌گریز سیلیکون-رابر ..... ۴۲
- شکل ۲-۱۰- کپسوله کردن ذرات آلودگی توسط مولکول‌های LMW ..... ۴۳
- شکل ۲-۱۱- نمایی از رزین سیلیکونی قبل از پخت (راست) و محدوده‌های گرانشی آن قبل و بعد از پخت (چپ) ..... ۴۵
- شکل ۲-۱۲- تصویر شماتیک مکانیزم اکسیداسیون پلیمرها ..... ۴۸
- شکل ۲-۱۳- نمونه‌هایی از ترکیبات آنتیاکسیدان‌های اولیه پر کاربرد ..... ۵۳
- شکل ۲-۱۴- واکنش آریلامین با رادیکال مرکز-اکسیژن ..... ۵۳
- شکل ۲-۱۵- نمونه‌هایی از آنتیاکسیدان‌های چندعاملی ..... ۵۴
- شکل ۲-۱۶- تصویر شماتیک تتومریسم ..... ۵۴
- شکل ۲-۱۷- نمونه‌هایی از پایدارکننده‌های نوری جاذب نور ماورابنفش ..... ۵۵
- شکل ۲-۱۸- مکانیزم دوباره تولید پایدارکننده‌های نوری HALS ..... ۵۵
- شکل ۲-۱۹- نمونه‌هایی از ترکیبات پایدارکننده نوری HALS ..... ۵۶
- شکل ۲-۲۰- انواع و اقسام مفره‌های ساخته‌شده با رزین‌های سیلیکونی ..... ۵۸
- شکل ۲-۲۱- سه کشش سطحی جامد-مایع (SLY)، بخار-مایع (LVY) و بخار-جامد (SVY) در سامانه قطره-سطح ..... ۶۳
- شکل ۲-۲۲- نفوذ یک قطره مایع به ساختار میخ مانند (حالت وزنل) و (ب) یک قطره مایع بر روی ساختار میخ مانند (حالت کسی-باکستر) ..... ۶۴
- شکل ۲-۲۳- اثر خودتمیزشوندگی برگ لوتوس ..... ۶۸
- شکل ۲-۲۴- محاسبه زاویه تماس استاتیک قطره آب با استفاده از نرم‌افزار و تقسیم‌بندی انواع سطوح بر اساس زاویه تماس ..... ۶۹
- شکل ۲-۲۵- زاویه تماس پیشرو هنگام گذاشتن قطره بر روی سطح (چپ) و زاویه تماس پسرونده (راست) ..... ۷۰
- شکل ۲-۲۶- شکل قطره روی سطح صاف و شیب‌دار ..... ۷۰
- شکل ۲-۲۷- کلاس‌بندی‌های مختلف آب‌گریزی سطح ..... ۷۲
- شکل ۲-۲۸- استحکام دی‌الکتریک (چپ) و مقاومت حجمی (راست) نمونه‌های اپوکسی و اپوکسی حاوی نانو و میکرو ذرات سیلیکا ..... ۷۴
- شکل ۲-۲۹- مدول اتلاف نمونه‌های اپوکسی خالص، اپوکسی حاوی میکرو و نانو ذرات سیلیکا ..... ۷۵
- فصل سوم:
- شکل ۳-۱- نمونه‌هایی از سطح مفره‌های پوشش داده‌شده با رزین‌های سیلیکون-رابر در رنگ‌های مختلف ..... ۸۳
- شکل ۳-۲- از سمت چپ به راست، تصویر SEM سطح PTFE اصلاح‌نشده با زاویه تماس  $113^\circ$ ، سطح PTFE اچ شده با پلاسما اکسیژن به مدت ۱۵ دقیقه با زاویه تماس  $150^\circ$ ، سطح پلیبوتادین اصلاح‌نشده و سطح پلیبوتادین اچ شده با پلاسما  $SF_6$  به مدت ۱۰ دقیقه ..... ۸۵
- شکل ۳-۳- تغییر در زاویه تماس استاتیک به‌عنوان تابع زمان غوطه‌وری ..... ۸۵
- شکل ۳-۴- آنالیز شیمیایی نمونه‌های غوطه‌ور شده در محلول با هدایت  $30 \mu s.m$  ..... ۸۶
- شکل ۳-۵- زاویه تماس (چپ) و زاویه لغزش (راست) پوشش فوق آب‌گریز سیلیکون-رابر RTV با افزودن افزودنی‌های فوق آب‌گریز شامل ذرات فلئورینه‌شده و نانوذرات سیلیکا ..... ۸۸

- شکل ۳-۶- زاویه تماس (چپ) و زاویه لغزش (راست) پوشش فوق آب‌گریز سیلیکون-رابر RTV با افزودن افزودنی‌های فوق آب‌گریز شامل نانوکلسیم کربنات ( $\text{CaCO}_3$  (NC)) و دانه‌های شیشه‌ای اصلاح‌شده (G) ..... ۸۸
- شکل ۳-۷- زاویه تماس (چپ) و زاویه لغزش (راست) پوشش فوق آب‌گریز سیلیکون-رابر RTV با افزودن مخلوط افزودنی‌های فوق آب‌گریز نانوسیلیکا و نانوکربنات در درصد های مختلف ..... ۸۸
- شکل ۳-۸- زاویه تماس پوشش فوق آب‌گریز سیلیکون-رابر RTV با افزودن مخلوط افزودنی‌های فوق آب‌گریز ذره فلئورینه‌شده و نانوکربنات در درصد های مختلف ..... ۸۹
- شکل ۳-۹- زاویه تماس (چپ) و زاویه لغزش (راست) پوشش فوق آب‌گریز سیلیکون-رابر RTV با افزودن مخلوط افزودنی‌های فوق آب‌گریز نانوسیلیکا و دانه‌های شیشه‌ای اصلاح‌شده در درصد های مختلف ..... ۸۹
- شکل ۳-۱۰- زاویه تماس (چپ) و زاویه لغزش (راست) پوشش فوق آب‌گریز سیلیکون-رابر RTV با افزودن مخلوط افزودنی‌های فوق آب‌گریز ذرات فلئورینه‌شده و دانه‌های شیشه‌ای اصلاح‌شده در درصد های مختلف ..... ۹۰
- شکل ۳-۱۱- زاویه تماس (چپ) و زاویه لغزش (راست) پوشش فوق آب‌گریز سیلیکون-رابر RTV با افزودن مخلوط افزودنی‌های فوق آب‌گریز ذرات فلئورینه‌شده و ATH در درصد های مختلف ..... ۹۰
- شکل ۳-۱۲- تأثیر افزودن افزودنی‌های فوق آب‌گریز ذرات فلئورینه‌شده و ذرات سیلیکا در درصد های مختلف بر روی زاویه تماس (چپ) و زاویه لغزش (راست) پوشش فوق آب‌گریز فلئوروپلیورتان و سیلیکون-رابر ..... ۹۰
- شکل ۳-۱۳- تأثیر افزودن افزودنی‌های فوق آب‌گریز دانه‌های شیشه‌ای اصلاح‌شده و نانوذرات کلسیم کربنات در درصد های مختلف بر روی زاویه تماس (چپ) و زاویه لغزش (راست) پوشش فوق آب‌گریز فلئوروپلیورتان و سیلیکون-رابر RTV ..... ۹۱
- شکل ۳-۱۴- مقره‌های شیشه‌ای پوشش داده‌شده با پوشش‌های PDMS/نانوسیلیکای اصلاح‌شده (بالا چپ) و یا پوشش سیلیکون-رابر RTV (بالا راست) و (c): ساختار شیمیایی رزین سیلیکون-رابر و (d): ساختار شیمیایی سیلیکا ..... ۹۳
- شکل ۳-۱۵- تصویر قطره آب بر روی سطح پوشش هیبریدی PDMS/نانوسیلیکای اصلاح‌شده و سیلیکون-رابر ..... ۹۴
- شکل ۳-۱۶- جریان آب بر روی سطح پوشش هیبریدی PDMS/نانوسیلیکای اصلاح‌شده (چپ) و سیلیکون-رابر تنها (راست) ..... ۹۴
- شکل ۳-۱۷- تصویر FE-SEM پوشش هیبریدی مختلف ..... ۹۵
- شکل ۳-۱۸- تغییرات در (a) مقاومت سطحی و (b) زاویه تماس مخلوط PDMS/EVA با PDMS های مختلف: با نسبت وزنی‌های مختلف ..... ۹۷
- شکل ۳-۱۹- نمودار تنش-کرنش کامپوزی‌های PDMS/EVA با غلظت‌های مختلف نانوسیلیکا ..... ۹۸
- شکل ۳-۲۰- تصاویر FE-SEM (a): نانوسیلیکا، (b): ، (c): ، (d): ، (e): ، (f): ..... ۹۹
- شکل ۳-۲۱- درصد نسبت اتمی سیلیس به کربن با افزایش غلظت نانوفیلر ..... ۹۹
- شکل ۳-۲۲- تغییرات در (a): ثابت دی‌الکتریک ( $\epsilon'$ ) و (b): اتلاف دی‌الکتریک ( $\epsilon''$ ) در مقابل فرکانس با محتوای نانوسیلیکای متفاوت ..... ۱۰۰
- شکل ۳-۲۳- تغییر در (a): مقاومت سطحی و (b): زاویه تماس با تغییر غلظت نانوسیلیکا ..... ۱۰۱
- شکل ۳-۲۴- تغییر ولتاژ الکتریکی ترکیب با تغییر غلظت نانوسیلیکا ..... ۱۰۱
- شکل ۳-۲۵- منحنی تنش-کرنش و (b): سختی نانوکامپوزیت‌های حاوی ۶phr نانوسیلیکا در معرض انواع آزمون‌های پیرشدگی ..... ۱۰۲
- شکل ۳-۲۶- نمایی از مکانیسم ایجاد اتصالات عرضی و تخریب (a): PDMS و (b): EVA تحت تابش نور فرابنفش ..... ۱۰۳
- شکل ۳-۲۷- تغییر (a) ثابت دی‌الکتریک در فرکانس ۵۰ هرتز (b) اتلاف دی‌الکتریک در فرکانس ۵۰ هرتز و (c) مقاومت سطحی تحت شرایط شتاب‌یافته مختلف ..... ۱۰۴



- شکل ۳- ۲۸- تغییر زاویه تماس آب برای نمونه‌های تحت شرایط مختلف پیرشدگی..... ۱۰۵
- شکل ۳- ۲۹- تصویر قطرات آب بر روی سطوح مختلف؛ (a): نمونه تازه، (b): نمونه ی قرار گرفته در آب جوشان، (c): نمونه قرار گرفته تحت حرارت، (d): نمونه تحت تابش نور فرابنفش قرار گرفته..... ۱۰۵
- شکل ۳- ۳۰- تصاویر SEM نمونه‌ها پس از قرار گرفتن در معرض آزمون‌های پیر شدن. (a): آب جوشان، (b): حرارت و (c): تابش نور فرابنفش..... ۱۰۵
- شکل ۳- ۳۱- تصاویر AFM نمونه‌ها پس از قرار گرفتن در معرض آزمون‌های پیر شدن. (a): نمونه سالم، (b): آب جوشان، (c): حرارت و (d): تابش نور فرابنفش..... ۱۰۶
- شکل ۳- ۳۲- تأثیر اعمال میکرو سیلیکا و R106 و R8200 نانوسیلیکا بر روی استحکام کششی، درصد ازدیاد طول در نقطه شکست و استحکام کششی در ۱۰۰ درصد ازدیاد طول و همچنین مقاومت به پارگی نمونه‌ها ..... ۱۰۷
- شکل ۳- ۳۳- نمایی از آزمون سنجش مقاومت پوشش در برابر تابش نور فرابنفش..... ۱۰۹
- شکل ۳- ۳۴- تصاویر SEM سطح مفره. (a): نمونه بدون اصلاح (NF)، (b): F25، (c): F40 و (d): F55..... ۱۱۱
- شکل ۳- ۳۵- زاویه تماس قطره آب ۵ میکرولیتری بر روی سطوح NF، F25، F40 و F55..... ۱۱۲
- شکل ۳- ۳۶- مراحل آماده‌سازی نانوکامپوزیت باریوم تیتانات در پوشش سیلیکون-رابر..... ۱۱۳
- شکل ۳- ۳۷- تصویر شماتیک از اجزای دستگاه سطح شیدار برای بررسی ترکیب و فرسایش..... ۱۱۳
- شکل ۳- ۳۸- نمایی از آزمون تخلیه بار سطحی با استفاده از سیستم الکترودی (b) IEC..... ۱۱۴
- شکل ۳- ۳۹- تصاویر نمونه‌های (a): سیلیکون-رابر خالص و (b): سیلیکون-رابر حاوی تیتانات باریوم بعد از آزمون IPT..... ۱۱۵
- شکل ۳- ۴۰- تصاویر SEM نمونه‌های (a): پوشش‌های سیلیکون-رابر خالص قبل از آزمون IPT، (b): پوشش‌های سیلیکون-رابر خالص بعد از IPT، (c): پوشش‌های سیلیکون-رابر حاوی نانوذرات باریوم تیتانات قبل از آزمون IPT و (d): پوشش‌های سیلیکون-رابر حاوی نانوذرات باریوم تیتانات بعد از IPT..... ۱۱۶
- شکل ۳- ۴۱- وزن از دست‌رفته نمونه‌های سیلیکون-رابر خالص و حاوی درصد‌های مختلف تیتانات باریوم در اثر آزمون IPT..... ۱۱۶
- شکل ۳- ۴۲- تصاویر گرفته‌شده با دوربین دیجیتال از سطح تخریب‌شده نمونه‌های (a): سیلیکون-رابر خالص و (b): سیلیکون-رابر حاوی نانوذرات باریوم تیتانات بعد از ۱۸ ساعت..... ۱۱۷
- شکل ۳- ۴۳- پروفایل زبری سطح نمونه‌های (a): سیلیکون-رابر خالص و (b): سیلیکون-رابر حاوی نانوذرات باریوم تیتانات..... ۱۱۷
- شکل ۳- ۴۴- تصاویر توپوگرافی ۳ بعدی سطح (a): پوشش یک‌لایه فوق آب‌گریز و (b): پوشش سه لایه فوق آب‌گریز..... ۱۱۹
- شکل ۳- ۴۵- اثر تعداد لایه‌ها بر پایداری پوشش‌های فوق آب‌گریز (a)، (b) تک‌لایه، (c)، (d) سه‌لایه..... ۱۱۹
- شکل ۳- ۴۶- (a): استحکام کششی، (b): درصد ازدیاد طول در نقطه ی شکست و (c): سختی نمونه‌ها در درصد‌های مختلف نانو ذرات..... ۱۲۰
- شکل ۳- ۴۷- تصاویر SEM نمونه‌های (a): سیلیکون-رابر خالص و (b): سیلیکون-رابر حاوی FR-DOMt-3..... ۱۲۱
- شکل ۳- ۴۸- تصاویر TEM نمونه‌های سیلیکون-رابر حاوی FR-DOMt-3 با بزرگ‌نمایی (a): 100,000، (b): 500,000 و (c): 1,000,000 برابر..... ۱۲۱
- شکل ۳- ۴۹- ارتباط بین زمان آزمون ترکیب و غلظت‌های مختلف نانوذرات  $TiO_2$  و  $Al_2O_3$  در مخلوط SiR/EPDM..... ۱۲۳
- شکل ۳- ۵۰- تصویر SEM دیسپرسیون نانوذرات  $TiO_2$  با درصد حجمی (a): ۰٪، (b): ۱٪، (c): ۲٪، (d): ۳٪، (e): ۴٪ و (f): ۵٪ در SiR/EPDM..... ۱۲۳
- شکل ۳- ۵۱- ساختار شیمیایی سیلیکون-رابر ND42 و D-60..... ۱۲۵

- شکل ۳-۵۲- آماده‌سازی سیلیکون-رابر پخت‌شونده در دمای اتاق (RTV-1)..... ۱۲۵
- شکل ۳-۵۳- خواص مکانیکی سیلیکون-رابر RTV-1 حاوی ذرات SiO<sub>2</sub> مختلف (A): استحکام کششی، (B): درصد ازدیاد طول در نقطه شکست، (C): استحکام برشی و (D): سختی shore A..... ۱۲۶
- شکل ۳-۵۴- مقاومت حجمی سیلیکون-رابر RTV-1 حاوی درصد‌های مختلف ذرات SiO<sub>2</sub>..... ۱۲۷
- شکل ۳-۵۵- نحوه کار دستگاه آزمون تخلیه بار کرونا متناوب به صورت شماتیک..... ۱۲۸
- شکل ۳-۵۶- تصویر TEM نمونه ی NC..... ۱۲۸
- شکل ۳-۵۷- کاهش زاویه تماس آب بر روی سطح نمونه به دلیل تخلیه بار کرونا..... ۱۲۹
- شکل ۳-۵۸- تصاویر SEM نمونه‌ها بعد از ۹۶ ساعت در معرض‌گذاری در مقابل تخلیه بار کرونا..... ۱۳۱
- شکل ۳-۵۹- مورفولوژی سطح پوشش حاوی ۱۰٪ نانوسیلیکا..... ۱۳۳
- شکل ۳-۶۰- مورفولوژی سطح پوشش حاوی ۲۰٪ نانوسیلیکا..... ۱۳۳
- شکل ۳-۶۱- مورفولوژی سطح پوشش حاوی ۳۰٪ نانوسیلیکا..... ۱۳۳
- شکل ۳-۶۲- آنالیز مورفولوژی پوشش‌های RTV حاوی SiO<sub>2</sub> توسط پروفایل‌سنج نوری. (a): مورفولوژی سطح و (b): تغییرات عمق..... ۱۳۴
- شکل ۳-۶۳- اندازه‌گیری زاویه تماس آب بر روی سطح پوشش سیلیکونی حاوی ۳۰ درصد وزنی نانوسیلیکا..... ۱۳۴
- شکل ۳-۶۴- تصویر SEM سیلیکون-رابرهای حاوی (a): ۵ درصد فیلر SiO<sub>2</sub>، (b): ۵ درصد فیلر ZnO و (c): ۵ درصد مخلوط فیلرهای ZnO + SiO<sub>2</sub>..... ۱۳۵
- شکل ۳-۶۵- تصویر شماتیک آزمون سطح شیب‌دار..... ۱۳۶
- شکل ۳-۶۶- (a): جریان آلودگی، (b): شروع قوس خشک و (c): تشکیل نقاط داغ..... ۱۳۶
- شکل ۳-۶۷- (a): پروفایل جریان نشتی قبل از تشکیل قوس خشک و (b): بعد از تشکیل قوس خشک..... ۱۳۶
- شکل ۳-۶۸- تصویر نمونه‌های سیلیکون-رابرهای حاوی (a): بدون فیلر، (b): ۵ درصد فیلر SiO<sub>2</sub>، (c): ۵ درصد فیلر ZnO و (d): ۵ درصد مخلوط فیلرهای ZnO + SiO<sub>2</sub>..... ۱۳۷
- شکل ۳-۶۹- مقادیر زاویه تماس آب بر روی سطوح نمونه‌های مختلف..... ۱۳۸
- شکل ۳-۷۰- خواص مکانیکی نمونه‌های سیلیکون-رابرهای بدون فیلر، حاوی ۵ درصد فیلر SiO<sub>2</sub>، ۵ درصد فیلر ZnO و ۵ درصد مخلوط فیلرهای ZnO + SiO<sub>2</sub>..... ۱۳۹
- شکل ۳-۷۱- تصاویر FE-SEM سطح (الف) فوق آب‌گریز و (ب) سطح RTV سیلیکون-رابر..... ۱۴۰
- شکل ۳-۷۲- طیف EDS سطح (الف) فوق آب‌گریز و (ب) سطح RTV سیلیکون-رابر..... ۱۴۱
- شکل ۳-۷۳- تصاویر AFM و منحنی‌های زبری مقطع کناری (الف-ج) سطح فوق آب‌گریز و (ب-د) سطح RTV سیلیکون-رابر..... ۱۴۲
- شکل ۳-۷۴- زاویه تماس قطره آب بر روی سطح (الف، ج) فوق آب‌گریز و (ب، د) RTV سیلیکون-رابر..... ۱۴۲
- شکل ۳-۷۵- عکس‌های متوالی از قطره آب ۱۰ μl که در حال لغزش روی (الف) سطح فوق آب‌گریز و (ب) سطح RTV سیلیکون-رابر است..... ۱۴۳
- شکل ۳-۷۶- شماتیکی از دستگاه مورد استفاده برای سنجش رفتار الکترو هیدرودینامیکی قطره آب..... ۱۴۴
- شکل ۳-۷۷- رفتار الکترو هیدرودینامیکی قطرات آب بر روی سطح RTV سیلیکون-رابر..... ۱۴۵
- شکل ۳-۷۸- رفتار الکترو هیدرودینامیکی قطرات آب بر روی سطح فوق آب‌گریز..... ۱۴۶
- شکل ۳-۷۹- شبیه‌سازی میدان الکتریکی اطراف قطره آب بر روی سطح فوق آب‌گریز..... ۱۴۷
- شکل ۳-۸۰- اثر خودتمییزشوندگی سطح فوق آب‌گریز برای ذرات محلول آب (KMnO<sub>4</sub>)..... ۱۴۸
- شکل ۳-۸۱- اثر خودتمییزشوندگی سطح فوق آب‌گریز برای ذرات غیر محلول آب (ذرات شن و ماسه)..... ۱۴۸

فصل چهارم:

- شکل ۴-۱- روش‌های مختلف سنتز نانوذرات سیلیکا از آب شیشه ..... ۱۵۷
- شکل ۴-۲- آماده‌سازی سیلیکا ..... ۱۶۰
- شکل ۴-۳- مکانیزم تشکیل میسل ..... ۱۶۱
- شکل ۴-۴- دیاگرام شماتیک دو روش برای سنتز سیلیکای کروی ..... ۱۶۲
- شکل ۴-۵- فلوجارت آزمایش برای سنتز پودر خلوص بالای نانو سیلیکا ..... ۱۶۲
- شکل ۴-۶- شماتیک روش سنتز قلیایی نانوذرات سیلیکا ..... ۱۶۳
- شکل ۴-۷- شماتیک اصلاح سطح نانو ذرات سیلیکا ..... ۱۷۱
- شکل ۴-۸- ظرف استاندارد مورد استفاده برای اندازه‌گیری چگالی با استفاده از روش پیکنومتری ..... ۱۷۳
- شکل ۴-۹- روش اندازه‌گیری ویسکوزیته ..... ۱۷۳
- شکل ۴-۱۰- ویژگی‌های دستگاه برای آزمایش سختی با روش A ..... ۱۷۴
- شکل ۴-۱۱- ویژگی‌های دستگاه برای آزمون سختی با روش D ..... ۱۷۵
- شکل ۴-۱۲- ابعاد نمونه برای آزمون استحکام پارگی در روش A ..... ۱۷۶
- شکل ۴-۱۳- زاویه نمونه برای آزمون استحکام پارگی در روش B ..... ۱۷۶
- شکل ۴-۱۴- ابعاد نمونه برای آزمون استحکام پارگی در روش C ..... ۱۷۶
- شکل ۴-۱۵- ولتاژهای مختلف اعمالی به نمونه برای تست استحکام دی الکتریک ..... ۱۷۷
- شکل ۴-۱۶- سمت چپ: زاویه تماس پیشرو هنگام گذاشتن قطره بر روی سطح، سمت راست: زاویه پس‌رونده ..... ۱۸۲
- فصل پنجم:

- شکل ۵-۱- نتایج سختی Shore A برای نمونه‌های خالص و کامپوزیتی RTV1 نوع WACKER و CSL ..... ۱۸۵
- شکل ۵-۲- مقایسه نتایج سختی Shore A برای نمونه‌های خالص و کامپوزیتی RTV1 نوع WACKER یک هفته و ۶ هفته پس از ساخت ..... ۱۸۶
- شکل ۵-۳- تغییرات استحکام کششی نمونه‌های خالص و کامپوزیتی RTV1 نوع WACKER ..... ۱۸۸
- شکل ۵-۴- تغییرات کرنش شکست برای نمونه‌های خالص و کامپوزیتی RTV1 نوع WACKER ..... ۱۸۸
- شکل ۵-۵- نمودار تنش-کرنش برای نمونه‌های خالص و کامپوزیتی RTV1 نوع WACKER ..... ۱۸۹
- شکل ۵-۶- تغییرات مدول الاستیک برای نمونه‌های خالص و کامپوزیتی RTV1 نوع WACKER ..... ۱۸۹
- شکل ۵-۷- نمودار تنش-کرنش برای نمونه‌های خالص و کامپوزیتی RTV1 نوع CSL ..... ۱۹۰
- شکل ۵-۸- تغییرات کرنش شکست برای نمونه‌های خالص و کامپوزیتی RTV1 نوع CSL و مقایسه آن با نوع WACKER ..... ۱۹۱
- شکل ۵-۹- تغییرات استحکام کششی نمونه‌های خالص و کامپوزیتی RTV1 نوع CSL و مقایسه آن با نوع WACKER ..... ۱۹۱
- شکل ۵-۱۰- تغییرات مدول الاستیک برای نمونه‌های خالص و کامپوزیتی RTV1 نوع CSL و مقایسه آن با نوع WACKER ..... ۱۹۱
- شکل ۵-۱۱- قالب استاندارد تست پارگی ..... ۱۹۲
- شکل ۵-۱۲- نتایج استحکام پارگی برای کامپوزیت‌های RC و RW ..... ۱۹۳
- شکل ۵-۱۳- دستگاه اندازه‌گیری استحکام دی‌الکتریک موجود در پژوهشگاه نیرو ..... ۱۹۴
- شکل ۵-۱۴- دستگاه اندازه‌گیری ضریب اتلاف موجود در پژوهشگاه نیرو ..... ۱۹۴
- شکل ۵-۱۵- مقایسه اتلاف دی‌الکتریک و ثابت دی‌الکتریک در نمونه‌ها ..... ۱۹۵

- شکل ۵-۱۶- روند تغییرات اتلاف دی‌الکتریک در نمونه‌ها ..... ۱۹۵
- شکل ۵-۱۷- روند تغییرات ثابت دی‌الکتریک در نمونه‌ها ..... ۱۹۵
- شکل ۵-۱۸- روند تغییرات استحکام دی‌الکتریک در نمونه‌ها ..... ۱۹۶
- شکل ۵-۱۹- دستگاه اندازه‌گیری مقاومت حجمی و سطحی موجود در پژوهشگاه نیرو ..... ۱۹۸
- شکل ۵-۲۰- مقایسه مقاومت حجمی نمونه‌ها ..... ۱۹۸
- شکل ۵-۲۱- نمودار تغییرات مقاومت حجمی (الف) محاسبه شده و (ب) اندازه‌گیری شده نمونه‌ها ..... ۱۹۹
- شکل ۵-۲۲- مقایسه مقاومت سطحی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده برای نمونه‌های کامپوزیتی و RTV خالص ..... ۲۰۰
- شکل ۵-۲۳- تغییرات مقاومت سطحی (الف) اندازه‌گیری شده و (ب) محاسبه شده در نمونه‌های RTV خالص و کامپوزیتی ..... ۲۰۰
- شکل ۵-۲۴- دستگاه آزمون ترکیب موجود در پژوهشگاه نیرو ..... ۲۰۱
- شکل ۵-۲۵- تصویر نمونه‌ها پس از تست ترکیب ..... ۲۰۲
- شکل ۵-۲۶- نتایج مقاومت به فرسایش و خوردگی سطح شیب‌دار نمونه‌ها ..... ۲۰۲
- شکل ۵-۲۷- تصویر نمونه‌های RTV1 در آزمون اشتعال افقی ..... ۲۰۳
- شکل ۵-۲۸- نتایج آزمون اشتعال افقی نمونه‌های RTV1 ..... ۲۰۴
- شکل ۵-۲۹- تصاویر FESEM مربوط به نمونه‌های RTV1: (a) نمونه s0، (ب) نمونه s1، (ج) نمونه s3 و (د) نمونه s5 ..... ۲۰۵
- شکل ۵-۳۰- تصاویر میکروسکوپ نوری برای (الف) نمونه s0، (ب) نمونه s1، (ج) نمونه s3 و (د) نمونه s5 ..... ۲۰۶
- شکل ۵-۳۱- نمودار تغییرات زبری نمونه‌ها با افزودن نانوذره سیلیس ..... ۲۰۸
- شکل ۵-۳۲- دستگاه TR-100 برای آزمون زبری سنجی در پژوهشگاه رنگ ..... ۲۰۹
- شکل ۵-۳۳- نتایج آزمون زبری سنجی ..... ۲۰۹
- شکل ۵-۳۴- نتایج تست زاویه تماس (الف) خالص (ب) یک درصد (ج) ۳ درصد و (د) ۵ درصد SiO2 ..... ۲۱۱
- شکل ۵-۳۵- نتایج تغییرات زاویه تماس میانگین برای نمونه‌های خالص و کامپوزیتی RTV1 ..... ۲۱۱
- شکل ۵-۳۶- نتایج تست هیستریزس زاویه تماس (الف) خالص (ب) یک درصد (ج) ۳ درصد و (د) ۵ درصد SiO2 ..... ۲۱۲
- شکل ۵-۳۷- نتایج اندازه‌گیری هیستریزس زاویه تماس برای نمونه‌های خالص و کامپوزیتی RTV1 ..... ۲۱۲
- شکل ۵-۳۸- زاویه تماس در نمونه خالص HTV ..... ۲۱۳
- شکل ۵-۳۹- نتایج تست آب‌گریزی برای نمونه‌های خالص و کامپوزیتی ..... ۲۱۴
- شکل ۵-۴۰- نتایج تست سختی آزمون غوطه‌وری در آب (سختی آب جوش) ..... ۲۱۵
- شکل ۵-۴۱- نتایج تست جذب آب در آب جوش به مدت ۲ ساعت ..... ۲۱۷
- شکل ۵-۴۲- تغییرات وزن نمونه‌ها قبل (wt) و بعد (wo) از غوطه‌وری در آب جوش به مدت ۲ ساعت ..... ۲۱۸
- شکل ۵-۴۳- نمونه آماده شده برای آزمون انتقال آب‌گریزی ..... ۲۱۹
- شکل ۵-۴۴- محل قرارگیری قطره آب روی سطح نمونه ..... ۲۱۹
- شکل ۵-۴۵- نمونه‌ها در لحظه اول آزمون انتقال آب‌گریزی ..... ۲۲۰
- شکل ۵-۴۶- زاویه تماس ایستای نمونه‌ها در بازه‌های زمانی ۸ ساعته ..... ۲۲۰
- شکل ۵-۴۷- نمایی از نحوه انتقال خاصیت آب‌گریزی بر روی سطح آب‌گریز سیلیکون رابر ..... ۲۲۲
- شکل ۵-۴۸- دستگاه تست پیرسازی تحت اشعه فرابنفش موجود در پژوهشگاه نیرو ..... ۲۲۳
- شکل ۵-۴۹- نمونه‌ها پس از تست UV ..... ۲۲۴
- شکل ۵-۵۰- شماتیک نمونه‌های پلیمری ..... ۲۲۵
- شکل ۵-۵۱- نتایج زبری سنجی قبل و بعد از پیرسازی (الف) فاکتور R<sub>A</sub> و (ب) R<sub>Z</sub> ..... ۲۲۶

- شکل ۵-۵۲- نتایج آزمون سختی قبل و بعد از پیرسازی ..... ۲۲۷
- شکل ۵-۵۳- نمودار تنش- کرنش برای نمونه‌های خالص و کامپوزیتی بعد از پیرسازی ..... ۲۲۸
- شکل ۵-۵۴- تغییرات استحکام کششی نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی ..... ۲۲۹
- شکل ۵-۵۵- تغییرات کرنش شکست نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی ..... ۲۲۹
- شکل ۵-۵۶- تغییرات مدول الاستیک برای نمونه‌های خالص و کامپوزیتی بعد از پیرسازی ..... ۲۳۰
- شکل ۵-۵۷- تغییرات استحکام پارگی نمونه‌ها پس از پیرسازی ..... ۲۳۱
- شکل ۵-۵۸- تغییرات زاویه تماس میانگین نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی ..... ۲۳۳
- شکل ۵-۵۹- نتایج تست زاویه تماس الف-خالص ب- یک درصد  $\text{SiO}_2$  ج) ۳ درصد  $\text{SiO}_2$  و د) ۵ درصد  $\text{SiO}_2$  ..... ۲۳۳
- شکل ۵-۶۰- نتایج تغییرات هیستریزیک زاویه تماس نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی ..... ۲۳۳
- شکل ۵-۶۱- نتایج تست هیستریزیک زاویه تماس الف) خالص ب) ۱ درصد ج) ۳ درصد و د) ۵ درصد  $\text{SiO}_2$  ..... ۲۳۴
- شکل ۵-۶۲- نمودار تغییرات زبری نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی الف) فاکتور RA و ب) RZ ..... ۲۳۵
- شکل ۵-۶۳- روند تغییرات اتلاف دی‌الکتریک در نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی ..... ۲۳۸
- شکل ۵-۶۴- روند تغییرات ثابت دی‌الکتریک در نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی ..... ۲۳۸
- شکل ۵-۶۵- روند تغییرات استحکام دی‌الکتریک در نمونه‌ها ..... ۲۳۹
- شکل ۵-۶۶- مقایسه مقاومت حجمی اندازه‌گیری شده نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی ..... ۲۴۰
- شکل ۵-۶۷- مقایسه مقاومت حجمی محاسبه شده نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی ..... ۲۴۰
- شکل ۵-۶۸- مقایسه مقاومت سطحی محاسبه شده برای نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی ..... ۲۴۱
- شکل ۵-۶۹- مقایسه مقاومت سطحی اندازه‌گیری شده برای نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی ..... ۲۴۱
- فصل ششم:
- شکل ۶-۱- الف) نازل گان با قطر ۱/۸ میلی متر و ب) گان مورد استفاده برای اسپری ..... ۲۴۵
- شکل ۶-۲- تجهیزات مورد نیاز برای پوشش دهی مقره: گان، محفظه ماده پوشش، پمپ باد و پایه نگه‌دارنده مقره ..... ۲۴۵
- شکل ۶-۳- تصویر یک مقره پوشش داده شده ..... ۲۴۶
- شکل ۶-۴- تصویر مقره‌های آماده شده از نمای داخلی و خارجی ..... ۲۴۶
- شکل ۶-۵- کلاس‌های آب‌گریزی ..... ۲۴۷
- شکل ۶-۶- زاویه تماس در نمونه پوششی S3 ..... ۲۴۹
- شکل ۶-۷- مقره نصب شده برای انجام آزمون الکتریکی ..... ۲۵۰
- شکل ۶-۸- نتایج جریان نشتی خشک نمونه‌ها ..... ۲۵۱
- شکل ۶-۹- نتایج جریان نشتی مرطوب نمونه‌ها ..... ۲۵۲
- شکل ۶-۱۰- محل انجام آزمون‌های الکتریکی-آزمایشگاه فشار قوی پژوهشگاه نیرو ..... ۲۵۳
- شکل ۶-۱۱- نتایج ولتاژ شکست نمونه‌ها ..... ۲۵۴
- شکل ۶-۱۲- مقره‌ها در محفظه مه نمکی ..... ۲۵۴
- شکل ۶-۱۳- نتایج آزمون مه نمکی ..... ۲۵۵
- شکل ۶-۱۴- موقعیت مکانی پست ۶۳ کیلوولت رضوان مشهد و مجاورت آن با کارخانه سیمان مشهد ..... ۲۵۶
- شکل ۶-۱۵- همسایگی پست ۶۳ کیلوولت رضوان مشهد با کارخانه سیمان مشهد ..... ۲۵۶
- شکل ۶-۱۶- اندازه‌گیری مقاومت دو سر تجهیز به وسیله میگر ..... ۲۵۷
- شکل ۶-۱۷- شست و شو مقره‌ها ..... ۲۵۸
- شکل ۶-۱۸- وجود سیمان و آسیب‌های سطحی ناشی از جرقه روی مقره ..... ۲۵۸

- شکل ۶- ۱۹- مقره‌های پوشش داده شده و یکنواختی پوشش‌دهی سطح آنها..... ۲۵۹
- شکل ۶- ۲۰- روند تغییرات مقاومت دو سر تجهیزات در شرایط مختلف..... ۲۶۰
- شکل ۶- ۲۱- محل قرارگیری پست مشیریه در نزدیکی کارخانه سیمان تهران و معدن سیمان در کوه بی‌بی شهربانو..... ۲۶۱
- شکل ۶- ۲۲- تصویری از فاصله پست مشیریه تا معدن سیمان در کوه بی‌بی شهربانو..... ۲۶۱
- شکل ۶- ۲۳- محل انتخابی برای انجام تست پایلوت پوشش بر سطح برقگیر در خط سعیدیه پست مشیریه..... ۲۶۲
- شکل ۶- ۲۴- سطح تمیزکاری شده عایق بر اساس پروتکل‌های مرسوم و اثراتی از باقی ماندن گرد و غبارهای سیمانی سخت‌شده بر روی سطح عایقی حتی پس از شستشوی اولیه..... ۲۶۳
- شکل ۶- ۲۵- نانوپوشش ضد گرد و غبار اعمال شده بر سطح برقگیر در خط سعیدیه پست مشیریه..... ۲۶۳
- شکل ۶- ۲۶- مراحل آماده‌سازی مخلوط نانو پوشش رزین پایه و افزودنی‌های نانومتری و حلال با نسبت‌های مشخص، فیلتراسیون و اعمال نانوپوشش به وسیله پیستوله با روزنه خروجی مناسب و با فشار بهینه‌سازی شده باد کمپوسور..... ۲۶۴

## فهرست جدول‌ها

### صفحه

#### فصل اول:

- جدول ۱-۱- تقسیم‌بندی مناطق از لحاظ آلودگی مضر بر ولتاژ شکست مفره‌ها ..... ۱۱  
 جدول ۱-۲- مروری بر مطالعات صورت گرفته در زمینه‌ی انواع ماتریس‌های پلیمری به‌عنوان پوشش سطح مفره‌ها ..... ۲۷

#### فصل دوم:

- جدول ۲-۱- مقاومت به حلال رزین‌های سیلیکونی و مقایسه‌ی مقاومت آنها به حلال در مقابل دیگر رزین‌ها و رابرها بر اساس درصد تغییر حجم رابر در اثر غوطه‌وری به مدت ۱۶۸ ساعت در حلال موردنظر ..... ۴۱  
 جدول ۲-۲- خواص الکتریکی پوشش سیلیکون-رابر در رطوبت نسبی ۸۵٪ در دمای ۸۵ °C و مدت معین ..... ۴۴  
 جدول ۲-۳- آزمون‌های موجود برای تعیین طول عمر و پیر شدن ..... ۶۱  
 جدول ۲-۴- کلاس‌بندی آب‌گریزی مواد ..... ۷۱  
 جدول ۲-۵- خلاصه‌ای از مواد پلیمری آلی و غیر آلی، ویژگی‌ها و نحوه‌ی ساخت پوشش‌های آب‌گریز ..... ۷۵  
 جدول ۲-۶- خلاصه‌ای از مواد افزودنی غیر آلی، ویژگی‌ها و نحوه‌ی ساخت پوشش‌های آب‌گریز ..... ۷۶  
 جدول ۲-۷- خلاصه‌ای از مواد هیبریدی، ویژگی‌ها و نحوه‌ی ساخت پوشش‌های آب‌گریز ..... ۷۹

#### فصل سوم:

- جدول ۳-۱- هیستریزس زاویه‌ی تماس پوشش‌های تهیه‌شده ..... ۸۶  
 جدول ۳-۲- ترکیبات مورد استفاده در فرمولاسیون پوشش‌های سیلیکون-رابر اصلاح‌شده ..... ۹۲  
 جدول ۳-۳- ترکیب درصد اجزای مورد استفاده در ساخت نمونه‌ها ..... ۹۸  
 جدول ۳-۴- نتایج مشاهدات حاصل از آزمون ترکیب و فرسایش بر روی نمونه‌های حاوی نانوذرات MgO ..... ۱۰۹  
 جدول ۳-۵- نتایج مشاهدات حاصل از آزمون ترکیب و فرسایش بر روی نمونه‌های حاوی نانوذرات ZnO ..... ۱۱۰  
 جدول ۳-۶- مقادیر انرژی آزاد محاسبه‌شده از طریق زاویه‌ی تماس آب بر روی سطح مفره‌های پوشش داده‌شده ..... ۱۱۲  
 جدول ۳-۷- پارامتر زبری سطح نمونه‌های (a): سیلیکون-رابر خالص و (b): سیلیکون-رابر حاوی نانوذرات باریوم تیتانات ..... ۱۱۷  
 جدول ۳-۸- ترکیب درصد و نتایج زمان بهینه‌ی پخت برای هر نانو کامپوزیت ..... ۱۲۲  
 جدول ۳-۹- استحکام دی‌الکتریک (kV/mm) کامپوزیت‌های EPDM، SiR و اپوکسی ..... ۱۲۴  
 جدول ۳-۱۰- ویژگی نانو و میکروذرات سیلیکا ..... ۱۲۷  
 جدول ۳-۱۱- ترکیب درصد کامپوزیت‌های حاوی میکرو و نانوسیلیکا ..... ۱۲۷  
 جدول ۳-۱۲- مشخصات میکرو و نانوذرات سیلیکا ..... ۱۳۰  
 جدول ۳-۱۳- ترکیب درصد اجزای تشکیل‌دهنده‌ی پوشش‌ها ..... ۱۳۰  
 جدول ۳-۱۴- نتایج آزمون ترکیب نمونه‌های S1، S2 و S3 ..... ۱۳۱  
 جدول ۳-۱۵- جریان نشتی در نقاط مختلف ..... ۱۳۷  
 جدول ۳-۱۶- بررسی نمونه‌های Track شده ..... ۱۳۷  
 جدول ۳-۱۷- خواص مکانیکی نمونه‌ها ..... ۱۳۸

#### فصل چهارم:

- جدول ۴-۱- ترکیب شیمیایی نمونه‌های ساخته‌شده ..... ۱۷۲  
 جدول ۴-۲- روش‌های مختلف اندازه‌گیری ویسکوزیته ..... ۱۷۳

- جدول ۴-۳- آزمون‌های ماده پلیمری پخت‌نشده..... ۱۸۳
- جدول ۴-۴- آزمون‌های ماده پلیمری پخت‌شده..... ۱۸۳

فصل پنجم:

- جدول ۵-۱- نتایج آزمون تنش-کرنش برای نمونه‌های خالص و کامپوزیتی RTV1 نوع WACKER..... ۱۸۸
- جدول ۵-۲- نتایج آزمون تنش-کرنش برای نمونه‌های خالص و کامپوزیتی RTV1 نوع CSL..... ۱۹۰
- جدول ۵-۳- نتایج تست پارگی..... ۱۹۲
- جدول ۵-۴- مقادیر ضریب تلفات عایقی، ظرفیت خازنی و عدد دی‌الکتریک نمونه‌ها..... ۱۹۴
- جدول ۵-۵- نتایج آزمون مقاومت حجمی..... ۱۹۸
- جدول ۵-۶- نتایج آزمون اندازه‌گیری مقاومت سطحی..... ۲۰۰
- جدول ۵-۷- نتایج آزمون اشتعال افقی نمونه‌های RTV1..... ۲۰۴
- جدول ۵-۸- تصویر AFM نمونه‌ها در مقیاس‌های مختلف..... ۲۰۷
- جدول ۵-۹- نتایج عددی میانگین زبری سنجی نمونه‌ها..... ۲۰۸
- جدول ۵-۱۰- نتایج عددی آزمون غوطه‌وری در آب..... ۲۱۵
- جدول ۵-۱۱- تصاویر قطرات آب روی سطح نمونه‌ها در بازه‌های زمانی ۸ ساعته..... ۲۲۱
- جدول ۵-۱۲- سیکل ۱ متد A..... ۲۲۳
- جدول ۵-۱۳- نتایج آزمون تنش-کرنش برای نمونه‌های خالص و کامپوزیتی بعد از پیرسازی..... ۲۲۹
- جدول ۵-۱۴- نتایج تست پارگی بعد از پیرسازی..... ۲۳۰
- جدول ۵-۱۵- نتایج عددی میانگین زبری سنجی نمونه‌ها..... ۲۳۵
- جدول ۵-۱۶- تصویر AFM نمونه‌ها در مقیاس‌های مختلف بعد از پیرسازی..... ۲۳۶
- جدول ۵-۱۷- مقادیر ضریب تلفات عایقی، ظرفیت خازنی و عدد دی‌الکتریک نمونه‌ها پس از پیرسازی..... ۲۳۷
- جدول ۵-۱۸- نتایج آزمون مقاومت حجمی بعد از پیرسازی..... ۲۳۹
- جدول ۵-۱۹- نتایج آزمون اندازه‌گیری مقاومت سطحی بعد از پیرسازی..... ۲۴۰

فصل ششم:

- جدول ۶-۱- ترکیب شیمیایی نمونه‌های ساخته‌شده..... ۲۴۵
- جدول ۶-۲- نتایج آزمون آب‌گریزی نمونه‌ها..... ۲۴۸
- جدول ۶-۳- نتایج آزمون جریان نشستی خشک..... ۲۵۱
- جدول ۶-۴- نتایج آزمون جریان نشستی مرطوب..... ۲۵۲
- جدول ۶-۵- نتایج آزمون ولتاژ شکست..... ۲۵۳
- جدول ۶-۶- نتایج آزمون مه نمکی..... ۲۵۵
- جدول ۶-۷- مقاومت دو سر تجهیزات پوشش داده‌شده..... ۲۵۹