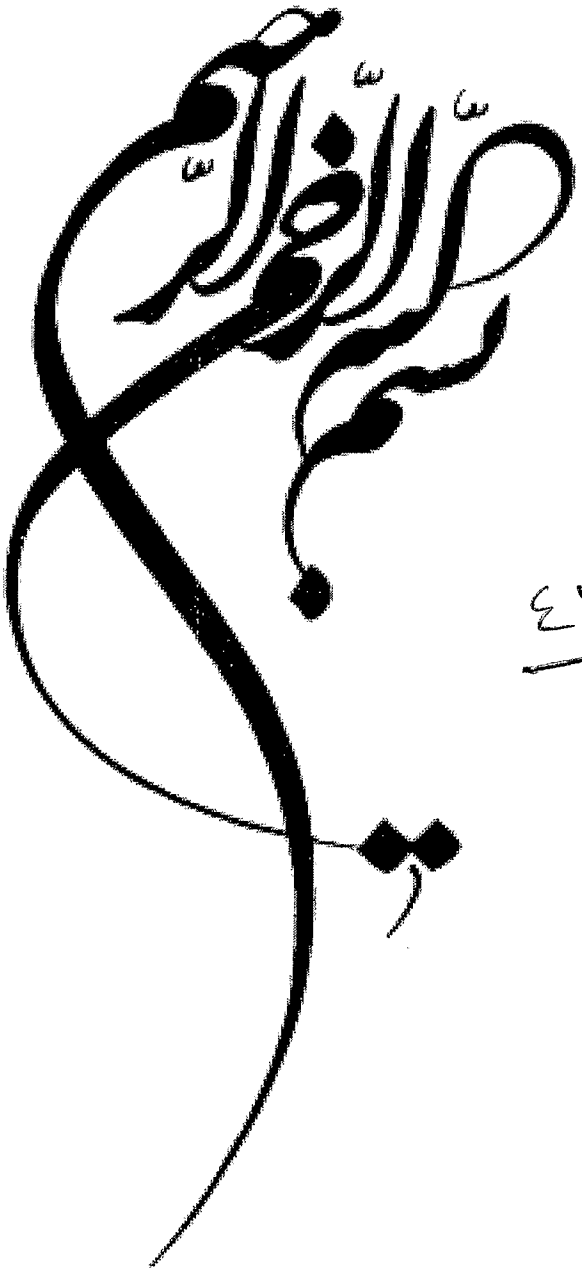
سود تا نشر می باشد
دکتر محمود رزاقی کلاته خنا
۸۷/۲/۲۹



۴۳۲۹

۹۹۰۹۶

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد

مطالعه تأثیر پرکننده بر بهبود کارایی لاستیک سیلیکون به عنوان محرک الکتریکی

نفیسه غروی

استاد راهنما

دکتر مهدی رزاقی کاشانی

استاد مشاور

دکتر نادره گلشن ابراهیمی

۱۵/۲۵ ۸۲۸۷

زمستان ۸۶

۹۹۰۹۶

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان

خانم نفیسه غروی پایان نامه ۹ واحدی خود را **با عنوان مطالعه تاثیر پرکننده ها بر بهبود کارائی لاستیک سیلیکون به عنوان محرک الکتریکی** در تاریخ ۱۳۸٦/۱۲/۱۱ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی - پلیمر پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر مهدی رزاقی کاشانی	استادیار	
استاد مشاور	دکتر نادره گلشن ابراهیمی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر مهرداد کوکبی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر ناصر محمدی	استاد	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر مهرداد کوکبی	دانشیار	

۱۳۸۷

۹۹۰۹٦

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 رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت 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 شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب دانشجوی رشته مقطع

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

نام و نام خانوادگی:

تاریخ و امضا: ۸۷/۶/۲۶

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

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی 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 هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

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

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

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

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی

امضاء

کلیه حقوق اعم از چاپ و تکثیر، نسخه بـرداری، ترجمـه و اقتبـاس و ... از پایـان نامـه کارشناسی ارشد برای دانشگاه تربیت مدرس محفوظ است. نقل مطالـب بـا ذکـر مآخـذ بلامانع است.

حمد و سپاس به درگاه پروردگار متعال

با تشکر از

جناب آقای دکتر رزاقی کاشانی استاد راهنمای دلسوزم که همواره با صبر و روی گشاده مرا راهنمایی نموده است.

سرکار خانم گلشن ابراهیمی استاد مشاور مهربانم

جناب آقای دکتر کوکبی

جناب آقای اسماعیلی مهربان که همچون پدری برای من قابل احترامند.

آقایان صلواتیان، ابراهیمی و افتخاری به دلیل مساعدت‌های فراوانشان

دوستان بسیار خوب و دوست داشتنی من در آزمایشگاه، خانم‌ها پاشایی، ثمنی، پیدایش و آقایان امیرشقاقی، رستگار و کرمانی

همچنین تشکر مخصوص از پدرم که مشوق من برای حضور در این مقطع بود و مادرم که در نهایت صبر بهترین شرایط را برای پیشرفت هر چه بیشتر من در این راه فراهم نمودند.

تشکری ویژه نیز از همسر مهربانم که با تشویق‌های همیشگی و صبرش مرا در این راه یاری نمود.

من این پایان نامه را به تمامی اعضای خانواده‌ام که از صمیمی قلب دوستشان دارم، تقدیم می‌کنم. می‌دانم که در این لحظه شادی آن‌ها به خاطر این موفقیت حتی بیشتر از خود من است.

مادر صبور و مهربانم

پدر بزرگوار و دلسوزم

همسر و همراه همیشگیم

برادر و خواهر عزیزم

این طرح با استفاده از حمایت مالی طرح تحقیقات اساسی بخش صنعت و معدن وزارت صنایع و معادن طی قرارداد شماره ٤٥٠/١٠١٥٩٧٢ مورخ ٨٤/١٢/٢٧ اجرا و به پایان رسیده است. ضمناً از جناب آقای شاهوردی مدیر محترم طرح و همکاران ارجمندشان به پاس حمایت‌های دلسوزانه تشکر و قدردانی می‌شود.

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر پرکننده بر روی افزایش کارایی محرک‌های الکترومکانیکی بر پایه لاستیک سیلیکون است. این محرک‌های منعطف که در صنعت روباتیک کاربرد فراوانی دارند، تحت ولتاژهای بالا تحریک می‌شوند که این نقطه ضعف آن ها به شمار می‌آید. از آن جا که میزان تنش یا کرنش ناشی از تحریک در آن‌ها با ضریب دی‌الکتریک رابطه مستقیم دارد، با افزایش ضریب دی-الکتریک می‌توان در ولتاژ پایین‌تر به میزان تحریک و کارایی بیشتری دست یافت. رویکرد این تحقیق برای افزایش ضریب دی‌الکتریک، افزودن پرکننده است. به این منظور از دو پرکننده متفاوت استفاده شده که عبارتند از: مونتموریلونیت اصلاح شده و پودر سرامیک PZT.

خواص مکانیکی آمیزه‌های لاستیک سیلیکون و پرکننده که به دو روش محلولی و مذاب تهیه شده اند، با آزمون کشش و خواص الکتریکی با اندازه گیری ضریب دی‌الکتریک بررسی شده است. نتایج گویای آن است که ساختار در میان لایه ای و از هم‌گسیخته در روش اختلاط محلولی و مذاب مونتموریلونیت اصلاح شده در لاستیک سیلیکون علاوه بر تقویت خواص مکانیکی، باعث افزایش میزان پلاریزاسیون دی‌الکتریک و در نتیجه بهبود خواص الکتریکی شده است. اما پودر سرامیک تأثیر مثبتی بر خواص مکانیکی نداشته ولی به دلیل وجود دوقطبی‌های دائم در ساختارش سبب افزایش قابل توجه پلاریزاسیون دی‌الکتریک و در نتیجه ضریب دی‌الکتریک شده است. بیشترین ضریب دی-الکتریک را آمیزه حاوی ۱۰ درصد وزنی پودر سرامیکی دارد که به روش مذاب مخلوط شده است.

همچنین کلیه آمیزه‌ها به استثنای آمیزه‌های حاصل از اختلاط محلولی لاستیک سیلیکون با پودر سرامیک که خواص مکانیکی بسیار ضعیفی داشتند، در کرنشی ثابت تحت تحریک الکترومکانیکی قرار گرفتند. نتایج نشان‌دهنده افزایش کارایی در آمیزه‌های حاوی پرکننده است که شامل عامل‌هایی نظیر تنش تحریک، چگالی انرژی الاستیک و بازدهی است. این نتایج در اثر افزایش ضریب دی-الکتریک حاصل شده است و به طور مشابه آمیزه حاوی ۱۰ درصد وزنی پودر سرامیک بالاترین میزان کارایی را دارد. از دیگر عامل‌های کارایی، سرعت پاسخ به تحریک است که برای مقایسه آن در نمونه‌های مختلف یک زمان مشخصه تحریک تعریف شده و مطابق رابطه محاسبه شده است. آمیزه-های حاوی مونتموریلونیت اصلاح شده به دلیل محدود کردن تحرک زنجیره‌های موجود در بین صفحات سیلیکاتی، زمان تحریک کمتری دارند ولی افزودن پودر سرامیک به لاستیک سیلیکون سبب افزایش زمان تحریک می‌شود.

واژگان کلیدی : نانوکامپوزیت‌های سیلیکونی، کامپوزیت لاستیک سیلیکون _ سرامیک، الاستومرهای دی‌الکتریک، محرک‌های الکترومکانیکی

فهرست موضوعی

عنوان — شماره صفحه

فصل اول : نظری ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ دی الکتریسیته ۳

۱-۲-۱ خازن ۳

۱-۲-۲ پلاریزه شدن مواد دی‌الکتریک ٦

۱-۲-۳ تنش ماکسول ۱۱

۱-۲-٤ الکترواستریکشن ۱٤

۱-۳ الاستیسیته ۱۵

۱-۳-۱ تغییر شکل‌های بزرگ ۱۵

۱-٤ محرک‌های بر پایه الاستومرهای دی‌الکتریک ۱۷

۱-۵ پرکننده‌های مورد استفاده برای تقویت خواص الکتریکی ومکانیکی الاستومر دی‌الکتریک. ۲۷

۱-٦ کاربرد محرک‌های برپایه الاستومرهای دی‌الکتریک ۳۲

۱-۷ نقاط قوت و ضعف تحقیقات صورت گرفته ۳٤

فصل دوم : مبانی مدل‌سازی مورد استفاده ۳٦

۲-۱ مقدمه ۳۷

۲-۲-۱ مدل مونی ـ ریولین ۳۸

۲-۲-۲ مدل یئو ٤۰

۲-۲-۳ مدل آگدن ٤۰

۲-۲-٤ مدل جنت ٤۱

۲-۳ مدل‌سازی رابطه بین تنش و کرنش تحریک ٤۲

۲-۳-۱ مدل‌سازی فیلم صفحه‌ای تک لایه با نیروی ثابت ٤۲

فصل سوم : تجربی ٤٦

۳-۱ مقدمه ٤۷

۳-۲ مواد ٤۷

عنوان | شماره صفحه

۳-۴ روش‌ها ۵۰
۳-۴-۱ تهیه نمونه‌ها ۵۰
۳-۴-۱-۱ آمیزه‌های محلولی بر پایه سیلیکون مایع RTV ۵۰
۳-۴-۱-۲ آمیزه‌های مذاب بر پایه لاستیک سیلیکون جامد HTV ۵۱
۳-۴-۱-۲ روش تهیه الکترود ۵۲
۳-۴-۲ آزمون‌های انجام شده ۵۲
۳-۴-۲-۱-۱ آزمون پراکنش اشعه ایکس ۵۲
۳-۴-۲-۱-۲ آزمون میکروسکوپ الکترونی ۵۳
۳-۴-۲-۱-۳ آزمون تعیین توزیع اندازه ذرات پودر سرامیک ۵۳
۳-۴-۲-۲ آزمون‌های تعیین خواص مکانیکی نمونه‌ها ۵۳
۳-۴-۲-۲-۱ آزمون کشش ۵۳
۳-۴-۲-۲-۲ آزمون سختی ۵٤
۳-۴-۲-۳ آزمون تعیین خواص الکتریکی نمونه‌ها ۵٤
۳-۴-۲-۴ جمع آوری مجموعه اندازه گیری تحریک الکترومکانیکی ۵۵
۳-۴-۲-۵ آزمون تحریک الکترومکانیکی ۵۷

فصل چهارم : نتایج و بحث ۵۹
۴-۱ مقدمه ٦۰
۴-۲ ساختار آمیزه‌های سیلیکونی ٦۰
۴-۲-۱ تعیین ریزساختار نانوکامپوزیت‌های حاوی مونتموریلونیت اصلاح شده ٦۰
۴-۲-۲ آزمون میکروسکوپ الکترونی ٦۳
۴-۲-۳ توزیع اندازه ذرات پودر سرامیک PZT ٦۹
۴-۳ رفتار مکانیکی آمیزه‌های سیلیکونی ۷۰
۴-۳-۱ بررسی رفتار آمیزه‌های سیلیکونی تحت کشش ۷۱
۴-۳-۱-۱ رفتار مکانیکی آمیزه‌های سیلیکونی بر پایه لاستیک سیلیکون RTV ۷۱
۴-۳-۱-۲ رفتار مکانیکی آمیزه‌های سیلیکونی بر پایه لاستیک سیلیکون HTV ۷٤
۴-۳-۲ ثوابت مدل‌های الاستیک غیرخطی ۷۷

عنوان | شماره صفحه

۴-۳-۲-۱ ثوابت مدل‌ها برای آمیزه‌های بر پایه لاستیک سیلیکون RTV ۷۷
۴-۳-۲-۲ ثوابت مدل‌ها برای آمیزههای بر پایه لاستیک سیلیکون HTV ۷۸
۴-۴ رفتار الکتریکی آمیزه‌های سیلیکونی ۸۰
۴-۴-۱ رفتار الکتریکی آمیزه‌های سیلیکونی مخلوط شده به روش محلولی ۸۰
۴-۴-۲ رفتار الکتریکی آمیزه‌های سیلیکونی مخلوط شده به روش مذاب ۸۳
۴-۴-۳ رفتار الکتریکی آمیزه‌های سیلیکونی تحت جریان مستقیم ۸۷
۴-۵ رفتار تحریک الکترومکانیکی محرک‌های بر پایه لاستیک سیلیکون ۸۸
۴-۵-۱ تأثیر پرکننده بر تنش تحریک در آمیزه‌های سیلیکونی ۹۰
۴-۵-۱-۱ تأثیر مونتموریلونیت اصلاح شده بر تنش تحریک آمیزه‌های سیلیکونی ۹۰
۴-۵-۱-۲ تأثیر پودر سرامیک PZT بر تنش تحریک آمیزه‌های سیلیکونی ۹۲
۴-۵-۲ تأثیر پرکننده بر کارایی عمومی تحریک در آمیزه‌های سیلیکونی ۹۳
۴-۵-۳ تأثیر پرکننده بر زمان تحریک در آمیزه‌های سیلیکونی ۹۶
۴-۵-۴ تأثیر پرکننده بر کرنش تحریک آمیزه‌های سیلیکونی ۹۹
نتیجه گیری نهایی ۱۰۲
پیشنهادها برای تحقیقات آتی ۱۰۵
مراجع ۱۰۷
واژه نامه ۱۱٤
ضمیمه الف ۱۲٦
ضمیمه ب ۱۳۵

فهرست جدول ها

عنوان | شماره صفحه

جدول ۳-۱ مشخصات مواد مورد استفاده در تحقیق..... ٤٧

جدول ۳-۲ تجهیزات و دستگاه های مورد استفاده در طی تحقیق..... ٤٨

جدول ۴-۱ تنش و کرنش نهایی و سختی لاستیک سیلیکون RTV و آمیزه‌های آن..... ۷۳

جدول ۴-۲ تنش و کرنش نهایی و سختی لاستیک سیلیکون HTV و آمیزه‌های آن ۷٦

جدول ۴-۳ ثوابت آمیزه‌های بر پایه لاستیک سیلیکون RTV براساس مدل یئو..... ۷۷

جدول ۴-۴ ثوابت آمیزه‌های بر پایه لاستیک سیلیکون RTV براساس مدل آگدن..... ۷۷

جدول ۴-۵ ثوابت آمیزه‌های بر پایه لاستیک سیلیکون RTV براساس مدل جنت..... ۷۸

جدول ۴-۶ ثوابت آمیزه‌های بر پایه لاستیک سیلیکون HTV براساس مدل یئو..... ۷۸

جدول ۴-۷ ثوابت آمیزه‌های بر پایه لاستیک سیلیکون HTV براساس مدل آگدن..... ۷۹

جدول ۴-۸ آمیزه‌های بر پایه لاستیک سیلیکون HTV براساس مدل جنت ۷۹

جدول ۴-۹ ضرایب دی‌الکتریک ساکن نانوکامپوزیتهای حاوی OMMT..... ۸۷

جدول ۴-۱۰ ضرایب دی‌الکتریک ساکن آمیزه‌های حاوی پودر سرامیک PZT..... ۸۷

جدول ۴-۱۱ زمان‌های مشخصه تحریک در آمیزه‌های حاوی OMMT ۹۸

جدول ۴-۱۲ زمان‌های مشخصه تحریک در آمیزه‌های حاوی پودر سرامیک PZT..... ۹۹

فهرست شکل ها

عنوان — شماره صفحه

شکل ۱-۱ انواع بارهای بوجود آمده در اثر اعمال میدان الکتریکی بر خازن[۵] ۵
شکل ۱-۲ انواع پلاریزه شدن‌های دی‌الکتریک [۵]..... ۸
شکل ۱-۳ رفتار بردار جابه‌جایی دی‌الکتریک و ضریب دی‌الکتریک ماده دی‌الکتریک ۱۰
شکل ۱-۴ محرک بر پایه الاستومر دی‌الکتریک قبل و بعد از اعمال میدان الکتریکی ۱۲
شکل ۱-۵ ساختار زنجیره پلی دی متیل سیلوکسان ۱۸
شکل ۱-۶ تغییرات تنش ماکسول با شدت میدان الکتریکی برای لاستیک سیلیکون..... ۲۱
شکل ۱-۷ الف) تنش و ب) کرنش تحریک آمیزه‌های سیلیکونی در شدت میدان‌های مختلف ۲۲
شکل ۱-۸ ضرایب دی‌الکتریک آمیزه سیلیکون با پودر سرامیک PMN-PT ۲۴
شکل ۱-۹ تغییرات کرنش تحریک شعاعی چسب اکریلیک با زمان..... ۲۵
شکل ۱-۱۰ ساختار لایه‌های سیلیکاتی مونتموریلونیت..... ۲۸
شکل ۱-۱۱ خاک رس و نحوه اصلاح آن..... ۲۹
شکل ۱-۱۲ ساختار بلور پروسکایت..... ۳۰
شکل ۱-۱۳ ساختار بلور سرامیک PZT..... ۳۱
شکل ۱-۱۴ الاستومر دی‌الکتریک تاخورده به عنوان ماهیچه مصنوعی..... ۳۲
شکل ۱-۱۵ الاستومر دی الکتریک رول شده به عنوان پای روبات..... ۳۳
شکل ۱-۱۶ الاستومر دیالکتریک رول شده به عنوان ماهیچه مصنوعی چشم ۳۳
شکل ۱-۱۷ الاستومر دی الکتریک دیافراگمی به عنوان پمپ ۳۴
شکل۲-۱ تغییر شکل به صورت برش خالص..... ۳۸
شکل ۲-۲ محرک بر پایه الاستومر دی‌الکتریک تحت نیروی ثابت..... ۴۳
شکل ۳-۱ فک‌های برشی فولادی با وزن زیاد ۵۶
شکل ۳-۲ فک‌های برشی آلومینیومی با وزن کم طراحی شده برای اعمال پیش کرنش ۵۶
شکل ۴-۱ نتایج پراکنش اشعه ایکس در نانوکامپوزیت‌ها ۶۲
شکل ۴-۲ نتایج SEM آمیزه سیلیکون RTV و OMMT با بزرگنمایی ۲۰۰۰..... ۶۳
شکل ۴-۳ نتایج SEM آمیزه سیلیکون HTV و OMMT با بزرگنمایی ۲۰۰۰ ..... ۶۴
شکل ۴-۴ نتایج SEM آمیزه سیلیکون RTV و OMMT با بزرگنمایی ۱۵۰۰۰ ..... ۶۵

عنوان | شماره صفحه

شکل ۴-۵ نتایج SEM آمیزه سیلیکون HTV و OMMT با بزرگنمایی ۱۵۰۰۰ ..... ٦٥
شکل ۴-۶ نتایج SEM آمیزه سیلیکون RTV و PZT با بزرگنمایی ۲۰۰۰ ..... ٦٦
شکل ۴-۷ نتایج SEM آمیزه سیلیکون RTV و PZT با بزرگنمایی ۱۵۰۰۰ ..... ٦٦
شکل ۴-۸ نتایج SEM آمیزه سیلیکون HTV و PZT با بزرگنمایی ۲۰۰۰ ..... ٦٧
شکل ۴-۹ نتایج SEM آمیزه سیلیکون HTV و PZT با بزرگنمایی ۱۵۰۰۰ ..... ٦٨
شکل ۴-۱۰ توزیع اندازه ذرات پودر سرامیک PZT ٧٠
شکل۴-۱۱ تصویر میکروسکوپ الکترونی ذرات سرامیک PZT پس از اصلاح ٧٠
شکل ۴-۱۲ منحنی تنش ـ کرنش آمیزه‌های لاستیک سیلیکون RTV ٧٢
شکل ۴-۱۳ منحنی تنش– کرنش آمیزه‌های لاستیک سیلیکون HTV ٧٥
شکل ۴-۱۴ ضرایب دی‌الکتریک ترکیب سیلیکون RTV با OMMT ٨١
شکل ۴-۱۵ ضرایب دی‌الکتریک ترکیب سیلیکون HTV با OMMT ٨٤
شکل ۴-۱۶ ضرایب دی‌الکتریک ترکیب لاستیک سیلیکون HTV با PZT ٨٦
شکل ۴-۱۷ تنش تحریک در آمیزه‌های لاستیک سیلیکونRTV وOMMT ٩١
شکل ۴-۱۸ تنش تحریک در آمیزه‌های لاستیک سیلیکونHTV وOMMT ٩١
شکل ۴-۱۹ تنش تحریک در آمیزه‌های لاستیک سیلیکون HTV و PZT ٩٢
شکل ۴-۲۰ نحوه محاسبه انرژی مکانیکی تولیدی در اثر تحریک الکتریکی ٩٣
شکل ۴-۲۱ مقایسه درصد تغییرات کارایی آمیزه‌های لاستیک سیلیکون RTV با OMMT ٩٥
شکل ۴-۲۲ مقایسه درصد تغییرات کارایی آمیزه‌های لاستیک سیلیکون HTV با OMMT ٩٥
شکل ۴-۲۳ مقایسه درصد تغییرات کارایی آمیزه‌های لاستیک سیلیکون HTV با PZT ٩٦
شکل ۴-۲۴ تأثیر OMMT بر سرعت پاسخ آمیزه‌های بر پایه لاستیک سیلیکون RTV ٩٧
شکل ۴-۲۵ تأثیر OMMT بر سرعت پاسخ آمیزه‌های بر پایه لاستیک سیلیکون HTV ٩٧
شکل ۴-۲۷ میزان کرنش تحریک در آمیزه‌های لاستیک سیلیکونRTV وOMMT ١٠٠
شکل ۴-۲۸ میزان کرنش تحریک در آمیزه‌های لاستیک سیلیکونHTV و OMMT ١٠٠
شکل ۴-۲۹ میزان کرنش تحریک در آمیزه‌های لاستیک سیلیکون HTV و PZT ١٠١

فصل اول

نظری

۱-۱ مقدمه

پلیمرهای فعال الکتریکی از جمله پراهمیت‌ترین مواد هوشمند می‌شوند که به دو دسته الکترونی (یا خشک) و یونی (یا تر) تقسیم می‌گردند. الاستومرهای دی‌الکتریک از دسته پلیمرهای فعال الکتریکی الکترونی تعلق داشته و برخلاف گروه یونی، در میدان‌های الکتریکی بالا عمل می‌نماید که این نقطه ضعف آن‌ها به شمار می آید. الاستومرهای دی‌الکتریک اولین بار در سال ۱۹۹۰ میلادی توسط گروه تحقیقاتی پروفسور پرلین[1] در مرکز تحقیقات SRI در آمریکا مورد استفاده قرار گرفتند [۱]. این مواد با سختی[2] کم، انعطاف‌پذیری و فرایندپذیری بالا، مقاومت در برابر شکست دی‌الکتریک زیاد و کارایی عمومی خوبی به عنوان محرک هستند. بنابراین الاستومرهای دی‌الکتریک از آن جهت که در فرایند تحریک الکتریکی کارایی عمومی خوبی در مقایسه با سایر انواع محرک‌ها از جمله محرک‌های سرامیکی دارند، بسیار مورد توجهند. کارایی به عواملی از قبیل فشار تحریک و میزان کرنش تحریک، بازدهی انرژی (درصد تبدیل انرژی الکتریکی اعمالی به کار مکانیکی)، چگالی انرژی الاستیک (مقدار انرژی مکانیکی تولید شده در واحد حجم) و سرعت پاسخ‌دهی به تحریک اطلاق می‌شود. مشکل این مواد پایین بودن نسبی ضریب دی‌الکتریک آن‌ها و تحریک تحت ولتاژهای بالاست. بنابراین توجه بسیار زیادی به نحوه افزایش ضریب دی‌الکتریک این مواد به واسطه ترکیب آن‌ها با مواد دارای ضریب دی الکتریک بالا معطوف است، چرا که جایگزین مناسبی برای سایر محرک‌ها به حساب می آیند.

تحقیق در زمینه ترکیب سیلیکون با پرکننده‌ها به منظور افزایش ضریب دی‌الکتریک برای حصول محرکی بهتر موضوعی است که اخیراً توسط گروه‌های تحقیقاتی مورد توجه قرار گرفته است [۳، ۲]. در این تحقیق نیز به بررسی تأثیر دو پرکننده از خانواده‌های مختلف، خاک رس و سرامیک، بر روی رفتار تحریک الکترومکانیکی این مواد پرداخته شده است.

---

[1]. Perline
[2]. Stiffness

در این فصل ابتدا به رفتار سیلیکون به عنوان ماده‌ای دی‌الکتریک پرداخته می‌شود و سپس بـه عنـوان یک لاستیک به بررسی الاستیسیتی آن پرداخته خواهد شد. سپس مروری بـر کارهـای انجـام شـده و تحقیقات صورت گرفته بعلاوه کاربرد این محرک‌ها ذکر خواهد شد.

۱-۲ دی الکتریسیته

محرک‌های بر پایه الاستومرهای دی‌الکتریک در واقع خازن‌هایی هستند که در آن یک لایه الاستومر دی الکتریک منعطف در بین دو الکترود منعطف قرار گرفته است. لایه دی‌الکتریک تحت تأثیر میدان الکتریکی، انرژی الکتریکی حاصله را به انرژی مکانیکی تبدیل می کند. در این قسمت رفتار عمـومی این محرک‌ها و خواص آن‌ها به عنوان خازن و همچنین چگونگی تبدیل انرژی الکتریکی به مکانیکی در آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۲-۱ خازن

هنگامی که خازنی با صفحاتی به مساحت A تحت تـأثیر میـدان الکتریکـی قـرار مـی گیـرد، بـار الکتریکی q_o به میزان مساوی و با بار مخالف بر روی صفحات خازن تجمع می‌یابد. در ایـن حالـت خازن اختلاف پتانسیلی معادل V_o خواهد داشت.

$$V_o = \frac{q_o}{C_o} \qquad (۱-۱)$$

C_o ظرفیت خازن در خلأ است. چنانچه لایـه دی الکتریـک بـین صـفحات وارد شـود در حـالی‌کـه اختلاف پتانسیل به میزان V_o باقی بماند، مقدا بار ذخیره شده بر روی صفحات به q افزایش یافتـه و ظرفیت ذخیره‌سازی خازن افزون می گردد. نسبت دو بـار مـذکور نـشان‌دهنـده میـزان ضـریب دی-الکتریک نسبی[1] ماده دی‌الکتریک خواهد بود [۴].

$$\varepsilon_r = \frac{q}{q_o} = \frac{C}{C_o} \quad ; \quad C = \varepsilon_o \varepsilon_r \frac{A}{d} \qquad (۱-۲)$$

[1]. Relative Dielectric Constant

C ظرفیت خازنی با لایه دی‌الکتریک به ضخامت d و صفحات الکترود بـه مـساحت A اسـت. ε_o ضریب نفوذدهی خلأ[1] و ε_r ضـریب دی‌الکتریـک نـسبی مـاده دی‌الکتریـک. ایـن ضـریب در مـواد همگن کمیتی اسکالر است ولی برای مواد غیرهمگن تنسور است [۵]. هنگامی که خازن تحت تـأثیر میدان الکتریکی قرار می گیرد، بخشی از جریان را به صورت انرژی الکتریکی در خود ذخیره می‌سازد و بخشی از آن را تلف می‌کند. این انرژی ذخیره‌ای است که قابلیت تبدیل به انرژی مکانیکی را داشته و بخش اتلافی در واقع نشانگر میزان رسـانایی دی‌الکتریـک[2] و دیگـر سـازوکارهای اتلافـی اسـت. بنابراین حالت مطلوب بیشینه ذخیره انرژی الکتریکـی و کمینـه اتـلاف آن اسـت. سـازوکار اتلافـی مذکور را می توان به جای تفکیک جریان به دو جزء به صورت ضریب دی‌الکتریک نـسبی مخـتلط[3] بیان کرد [۵-۷].

$$\varepsilon^*_r = \varepsilon'_r - i\varepsilon''_r \qquad (۱-۳)$$

ε' ضریب دی‌الکتریک نسبی ذخیره ای[4] و ε'' ضریب دی‌الکتریک اتلافی[5] نامیده می شوند. نسبت بخش ذخیره ای به اتلافی را عامل اتلاف[6] می گویند.

$$Tan\delta = \frac{\varepsilon''_r}{\varepsilon'_r} \qquad (۱-۴)$$

ولتاژ خازنی که دارای لایه دی‌الکتریک است عبارتست از :

$$V = \frac{q_o}{\varepsilon_r C_o} = \frac{q_1}{C_o} \qquad (۱-۵)$$

که $q_1 = q_o/\varepsilon_r$ بیانگر میزان بار آزاد[7] موجود بر روی صـفحات خـازن اسـت. در واقـع لایـه دی-الکتریک بواسطه دوقطبی‌هایی از ساختارش که در مجاورت صفحات خازن واقعند بخشی از بارهـای

---

1. Vacuum Dielectric Permittivity
2. Dielectric Conductivity
3. Complex Relative Dielectric Constant
4. Relative Storage Dielectric Constant
5. Relative Loss Dielectric Constant
6. Dissipation Factor
7. Free Charge