بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای امیر عبداللهی پایان نامه ٦ واحدی خود را با عنوان بررسی خواص مکانیکی و ریز ساختار فوم کامپوزیت ترموپلاستیکی با بکارگیری پودر لاستیک بازیافتی (WGRT/ABS) در تاریخ ۱۳۹۰/٤/۱۵ 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 مکانیک - ساخت وتولید پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر امیر حسین بهروش	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر محمد گلزار	استادیار	
استاد ناظر	دکتر مجتبی قدسی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر طاهر ازدست	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر مجتبی قدسی	استادیار	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه /رساله مورد تأیید است.

امضای استاد راهنما

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 **مهندسی مکانیک – ساخت و تولید** است که در سال **۱۳۹۰** در دانشکده **فنی مهندسی** دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی **جناب آقای دکتر امیر حسین بهروش،** مشاوره جناب **آقای دکتر محمد گلزار** 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 **امیر عبدالهی** دانشجوی رشته **مهندسی مکانیک – ساخت و تولید** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: امیر عبدالهی

تاریخ و امضا: ۹۰/۱۰/۱۸

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 ٤- 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 ٥- این آیین‌نامه در ٥ ماده و یک تبصره در تاریخ۸۷/٤/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/٤/۲۳ 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 امیر عبدالهی دانشجوی رشته مهندسی مکانیک-ساخت و تولید ورودی سال تحصیلی ۱۳۸۷ مقطع کارشناسی ارشد دانشکده فنی مهندسی 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: ۹۰/۱۲/۱۸

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان پایان نامه

بررسی خواص مکانیکی و ریزساختار فوم کامپوزیت ترموپلاستیکی با بکار گیری پودر لاستیک بازیافتی(ABS/WGRT)

نام دانشجو:

امیر عبدالهی

استاد راهنما :

دکتر امیر حسین بهروش

استاد مشاور :

دکتر محمد گلزار

تیرماه ۹۰

تقدیر و تشکر

پس از سپاس از خداوند متعال، از آقای دکتر امیر حسین بهروش، استاد راهنمای این پروژه که با رهنمودهای ارزشمند خویش همواره مرا یاری نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

چکیده

فوم‌های میکروسلولی را در واقع می‌توان کامپوزیتی از زمینه پلیمری و حباب‌های گازی به حساب آورد. یک قطعه فوم‌شده با روش میکروسلولی می‌تواند خواصی بهبود یافته از قبیل عایق بودن، عمر خستگی، افزایش نسبت استحکام به وزن و ضربه‌پذیری نسبت به پلیمر فوم‌نشده داشته باشد. توسعه روزافزون در مخلوط سازی و ایجاد ترکیبات، به معرفی ترموپلاستیک الاستومرها[1] مبتنی بر ترکیبات لاستیک و پلاستیک[2] به علت داشتن خواص الاستومری و قابلیت تولید آسان آنها با هزینه های کم، منجر شده است. این ترکیب از دو نقطه نظر، یکی دفع ضایعات و دیگری کاهش هزینه های تولید بسیار مورد اهمیت است. در این تحقیق به بررسی خواص فیزیکی - مکانیکی و ریز ساختار فوم کامپوزیت "پلیمر *ABS* و پودر لاستیک بازیافتی[3] " پرداخته شده است. مورفولوژی سلول، دانسیته و اندازه سلولی، بارگذاری عامل جفت کننده[4] و فشار تزریق با تغییر در میزان درصد پودر لاستیک بازیافتی به جهت بررسی استحکام کششی، استحکام خمشی و مقاومت به ضربه قطعات فوم شده مورد بررسی قرار گرفته اند. پارامترهای متغیر این تحقیق عبارتند از: درصدهای وزنی مختلف پودر لاستیک بازیافتی (۲۰٪ ، ۳۰٪ و ۴۰٪) و فشار تزریق (۳۰ ، ۵۰ و ۷۰ مگاپاسکال) و درصد وزنی عامل جفت کننده (۰، ۲.۵ و ۵ درصد). به علت تجربی بودن تحقیق، از روش *Full factorial* برای ارزیابی دقیق نتایج استفاده شده است. نمونه های تولید شده تحت آزمون‌های مکانیکی خمش، کشش و ضربه و نیز آزمون فیزیکی چگالی قرار گرفتند. همچنین از میکروسکوپ الکترونی[5] برای بررسی دقیق ساختار میکروسکوپی نمونه های فوم کامپوزیت *ABS/WGRT* استفاده شد. دانسیته وزنی قطعات فوم کامپوزیت *ABS/WGRT* با افزایش درصد وزنی پودر لاستیک بازیافتی در زمینه پلیمری، کاهش یافته است. نتایج حاکی از آن هستند که عامل فرآیندی فشار تزریق و نیز افزایش پودر لاستیک بازیافتی بر ایجاد ساختار مناسب بسیار موثرند. قطعات دارای ۲.۵ درصد عامل جفت کننده با ۲۰ درصد وزنی پودر لاستیک بازیافتی در فشار تزریق ۷۰ مگا پاسکال، دارای ساختاری با تعداد سلول بیشتر و ریزتر که مطلوب قطعات فوم شده می باشد، هستند. با وجود اینکه استحکام‌خمشی و استحکام‌کششی قطعات فوم کامپوزیت *ABS/WGRT* کمتر از قطعات فوم‌نشده این کامپوزیت است، اما نتایج استحکام کششی و خمشی ویژه، استفاده از فوم کامپوزیت *ABS/WGRT* را در حالت ۲۰ درصد وزنی از پودر لاستیک بازیافتی مطلوب تر از کامپوزیت فوم نشده آن می داند.

کلید واژه ها : پودر لاستیک بازیافتی- عامل جفت کننده - فشار تزریق- محصولات با ارزش افزوده

---

[1] *TPEs*
[2] *Plastic-Rubber*
[3] *WGRT*
[4] *ABSgMA*
[5] *SEM*

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول : مقدمه	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۱-۲ الاستومر ها	۲
۱-۳ تاریخچه الاستومرها	۳
۱-۴ اهمیت الاستومرها و بررسی خواص آنها	۴
۱-۵ انواع الاستومرها	۶
۱-۵-۱ لاستیک طبیعی	۷
۱-۵-۲ الاستومر پلی ایزوپرن	۸
۱-۵-۳ الاستومر بوتادی ان	۸
۱-۵-۴ الاستومر استایرن - بوتادی ان	۸
۱-۶ ترموپلاستیک الاستومرها	۹
۱-۷ اهمیت ترموپلاستیک الاستومرها	۹
۱-۸ صنعت تولید لاستیک و فرآیند تولید تایر	۱۱
۱-۸-۱ اهمیت بازیافت تایرهای لاستیکی فرسوده	۱۳
۱-۸-۲ فرآیند بازیافت تایرهای لاستیکی فرسوده	۱۶
۱-۸-۳ پودر لاستیک بازیافتی، مزایا و بررسی بازار آن	۱۸
۱-۹ کاربردهایی از کامپوزیت ترموپلاستیک ها- پودر لاستیک بازیافتی	۲۰
۱-۱۰ فرآیندهای تولید کامپوزیت های ترموپلاستیک	۲۲
فصل دوم : ادبیات تحقیق و بیان مساله	۲۵
۲-۱ مقدمه	۲۶
۲-۲ معرفی فوم ها	۲۶
۲-۲-۱ ساختار، خواص و کاربرد فوم ها	۲۸
۲-۲-۲ فوم های سنتی و میکروسلولی تزریقی	۲۹
۲-۲-۲-۱ فوم های سنتی تزریقی	۳۰
۲-۲-۲-۲ فوم های میکروسلولی تزریقی	۳۰
۲-۲-۲-۳ مزایا و معایب فوم های میکروسلولی	۳۵
۲-۳ عوامل پف زا	۳۷

۲-۴ مراحل تولید فو م میکروسلولی ۴۰
۲-۵ بیشینه پژوهش ۴۳
۲-۵-۱ بیشینه ای از پژوهش های صورت گرفته کامپوزیت ترموپلاستیک و پودر لاستیک بازیافتی ۴۳
۲-۵-۲ بیشینه پژوهش فوم های ترموپلاستیک- پودر لاستیک بازیافتی ۴۷
۲-۶ فوم کامپوزیتهای پلیمری ۵۳
۲-۶-۱ بررسی ساختار فوم کامپوزیت ترموپلاستیک- پودر لاستیک بازیافتی..... ۵۳
۲-۶-۲ خصوصیات مکانیکی..... ۵۹
۲-۶-۲-۱ استحکام کششی..... ۵۹
۲-۶-۲-۲ استحکام و مدول خمشی..... ۶۱
۲-۶-۲-۳ مقاومت به ضربه ۶۲
۲-۷ بیان مساله، فرضیات و اهداف..... ۶۲
فصل سوم : مواد، تجهیزات و روشها ۶۵
۳-۱ مقدمه ۶۶
۳-۲ مواد اولیه مورد استفاده ۶۷
۳-۲-۱ پودر لاستیک بازیافتی..... ۶۷
۳-۲-۲ پلاستیک (زمینه پلیمری)..... ۷۱
۳-۲-۳ عامل جفت کننده ABSgMA..... ۷۴
۳-۳ تجهیزات مورد استفاده ۷۶
۳-۳-۱ دستگاه خردکن ۷۶
۳-۳-۲تجهیزات مربوط به فرآیند قالبگیری تزریقی محصول فوم کامپوزیت ABS/WGRT..... ۷۷
۳-۳-۳ تجهیزات ورود عامل فیزیکی پف زا به درون سیستم و شیوه کنترل آن ۷۸
۳-۳-۴ شرح کلی، نقشه قطعات و دستور العمل نصب نازل ۸۲
۳-۳-۵ تابلوی کنترل و تجهیزات نصب شده جهت تنظیم فشار و اندازه تزریق..... ۸۲
۳-۴ تجهیزات کنترل دمای قالب و قالب تزریق استفاده شده ۸۴
۳-۵ پارامترهای ثابت و متغیر فرآیند تولید قطعات..... ۸۵
۳-۵-۱ متغیرهای مستقل ۸۶
۳-۵-۲ متغیر های ثابت فرض شده ۸۸
۳-۵-۳ راه اندازی اولیه دستگاه و تولید قطعات آزمایشی فوم شده ۸۸
۳-۶ نحوه تعیین چگالی و بررسی ساختار قطعات ۹۲
۳-۷ نحوه انجام آزمایش های مکانیکی، ابعادی و فیزیکی ۹۶

فصل چهارم : نتایج و بحث ۱۰۳
۴-۱ مقدمه ۱۰۴
۴-۲ دانسیته وزنی ۱۰۷
۴-۲-۱ بررسی تغییرات فشار تزریق و درصد وزنی عامل جفت کننده بر روی دانسیته وزنی ۱۱۱
۴-۳ بررسی ساختار..... ۱۱۳
۴-۳-۱ ضخامت پوسته فوم نشده ۱۱۴
۴-۳-۲ چگالی سلولی..... ۱۱۷
۴-۳-۲- اندازه سلولی..... ۱۱۹
۴-۴ استحکام کششی..... ۱۲۳
۴-۴-۱ بررسی تغییرات فشار تزریق و درصد وزنی عامل جفت کننده بر روی استحکام کششی نمونه های فوم شده..... ۱۲۷
۴-۴-۲ استحکام کششی نسبی و استحکام کششی ویژه نسبی..... ۱۳۰
۴-۵ استحکام خمشی و مدول خمشی..... ۱۳۷
۴-۵-۱ بررسی تغییرات فشار تزریق و درصد وزنی عامل جفت کننده بر روی استحکام خمشی نمونه های فوم شده..... ۱۴۰
۴-۵-۲ استحکام خمشی نسبی و استحکام خمشی ویژه نسبی..... ۱۴۲
۴-۶ مقاومت به ضربه..... ۱۴۳
۴-۶-۱- بررسی تغییرات فشار تزریق و درصد وزنی عامل جفت کننده بر روی استحکام خمشی نمونه های فوم شده..... ۱۴۶
۴-۶-۲ استحکام به ضربه نسبی و استحکام به ضربه ویژه نسبی..... ۱۴۸
فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۵۰
۵-۱ نتیجه گیری..... ۱۵۱
۵-۲ پیشنهادات..... ۱۵۲
پیوست..... ۱۵۴
مراجع..... ۱۵۵

فهرست شکل ها

شکل ۱-۱: شماتیکی از فرآیند ولکانیزاسیون ۴

شکل ۱-۲: تصویر زمینه ترموپلاستیک و ذرات لاستیک ۱۰

شکل ۱-۳: شماتیک فرآیند تولید تایر ۱۳

شکل ۱-۴: تصویری از زباله های تایر ها و دفن کردن و سوزاندن آنها ۱۶

شکل ۱-۵: تصویری از مراحل تولید پودر لاستیک بازیافتی ۱۸

شکل ۱-۶: تصویر نمونه ای از محصولات تولید شده از پودر لاستیک بازیافتی ۲۱

شکل ۱-۷: تصویر نمونه ای از محصولات کاربردی تولید شده از پودر لاستیک بازیافتی ۲۲

شکل ۱-۸: شماتیک فرآیند اکستروژن پلاستیک ۲۳

شکل ۱-۹: تصویر یک نمونه از دستگاه اکستروژن پلاستیک و برخی از نمونه های تولید شده ۲۴

شکل ۱-۱۰: نمونه ای از یک دستگاه تزریق ۲۴

شکل ۱-۱۱: شماتیک فرآیند قالبگیری فشاری ۲۴

شکل۲-۱: تصاویری از برش عرضی فوم های PVC الف) سخت ب)ساختاری(با پوسته فوقانی) ۲۸

شکل ۲-۲: نمایی از سیستم تولید فوم های میکروسلولی به روش توده ای ۳۱

شکل ۲-۳: نمودار حلالیت- دما-فشار ۳۲

شکل ۲-۴: الف)توزیع چگالی در قطعه فوم میکروسلولی تزریقی ب)ساختار ساندویچی فوم میکروسلولی ۳۳

شکل ۲-۵: سیکل فرآیند تزریق ۳۴

شکل ۲-۶: نمودار دما – زمان و فشار - زمان در یک سیکل قالب گیری تزریقی ۳۵

شکل ۲-۷: مقایسه تولید یک قطعه تزریق شده با روش قالب‌گیری مرسوم و روش تزریق فوم میکروسلولی ۳۶

شکل ۲-۸: دیاگرام فشار – دما و منطقه فوق بحرانی ۳۸

شکل ۲-۹: شماتیک مراحل تولید فوم میکروسلولی ۴۰

شکل ۲-۱۰: مراحل تولید فوم میکروسلولی به کمک دستگاه قالبگیری تزریقی ۴۲

شکل ۲-۱۱: نازل تزریق فوم میکروسلولی ۴۳

شکل ۲-۱۲: تشکیل محلول پلیمر/ گاز و استفاده از یک استاتیک میکسر ۵۲

شکل ۲-۱۳: تصاویر SEM در قطعات فوم اکسترود شده PP/WGRT با نمایش درصد های وزنی متفاوت از پودر لاستیک بازیافتی ۵۵

شکل ۲-۱۴: بررسی دمای اشباع بر مورفولوژی سلولی درتصاویر SEM در فوم PP-g-MA/WGRT به روش توده ای ۵۸

شکل ۲-۱۵: رابطه مقاومت کششی و ضخامت پوسته فوم میکروسلولی ترکیبPP/WGRT ۶۰

شکل ۲-۱۶: رابطه بین کاهش وزن و مقاومت کششی برای فوم میکروسلولی ترکیب PP/WGRT ۶۱

شکل ۳-۱: تصویر نمونه ای از پودر لاستیک بازیافتی تهیه شده..... ۶۷
شکل ۳-۲: تصویر SEM از پودر لاستیک بازیافتی بکار رفته، با دو خط شاخص 50µm و 200µm ۶۸
شکل ۳-۳: تصویر دستگاه TGA مدل Pl-TGA ساخت شرکت Polymer Laboratories انگلیس حداکثر دمای کوره ۸۰۰ و حداقل ۲۵ درجه سانتیگراد..... ۶۹
شکل ۳-۴: نمودار TGA نمونه پودر لاستیک بازیافتی..... ۷۰
شکل ۳-۵: گزارش نتیجه آزمون دانسیته نمونه پودر لاستیک بازیافتی صادره توسط مرکز متالوژی رازی..... ۷۱
شکل ۳-۶: فرمول مولکولی و ساختارپلیمر ABS..... ۷۱
شکل ۳-۷: شرکت های تولید کننده داخلی و خارجی گرانول ABS..... ۷۲
شکل ۳-۸: گرانول ABS از نوع بی رنگ باگرید SAMSUNG SD0150 ..... ۷۳
شکل ۳-۹: مشخصات فیزیکی ABS SD0150(NR)..... ۷۴
شکل ۳-۱۰: بیشترین درجه پیوند ایجاد شده مابین پلیمر ABS و دی کومیل پراکسید و مالئیک انیدرید. ۷۵
شکل ۳-۱۱: شماتیک آرایش رادیکال های کربن کربن در دی کومیل پراکسید..... ۷۵
شکل ۳-۱۲: شماتیک آرایش مولکولی اسید چندظرفیتی مالئیک انیدرید..... ۷۶
شکل ۳-۱۳: تصویری از عامل جفت کننده ABSgMA تولید شده..... ۷۶
شکل ۳-۱۴: دستگاه آسیاب..... ۷۷
شکل ۳-۱۵: دستگاه تزریق استفاده شده جهت تولید قطعات فومی..... ۷۷
شکل ۳-۱۶: شماتیک کلی دستگاه تزریق معمولی که با نصب تجهیزات لازم، توانایی تولید قطعات فوم‌میکروسلولی را دارد..... ۷۸
شکل ۳-۱۷: تجهیزات تزریق گاز به درون سیلندر..... ۷۹
شکل ۳-۱۸: رگلاتور فشار بالا و کپسول گاز نیتروژن..... ۸۰
شکل ۳-۱۹: (الف) نقشه انفجاری شیر یکطرفه (ب) شیر یکطرفه نصب شده بر روی سیلندر دستگاه تزریق ۸۰
شکل ۳-۲۰: مدار آماده شده جهت تعیین میزان دبی گاز و تعیین میزان مقاومت لازم شیر تنظیم‌کننده جریان..... ۸۱
شکل ۳-۲۱: مدل برش خورده و نمونه ساخته شده و نصب شده برروی دستگاه تزریق..... ۸۲
شکل ۳-۲۲: تابلوی کنترل..... ۸۳
شکل ۳-۲۳: انکودر و نشان‌دهنده خط‌کش دیجیتال نصب‌شده برروی دستگاه تزریق و تابلو کنترل..... ۸۳
شکل ۳-۲۴: الف) سنسور غیرتماسی قطع حرکت خطی ماردون ب) فشارسنج نصب‌شده در پشت جک تزریق..... ۸۴
شکل ۳-۲۵: الف) نیمه ثابت قالب بسته شده روی دستگاه ب) نیمه متحرک قالب بسته‌شده روی دستگاه. ۸۵
شکل ۳-۲۶: الف) دستگاه گرم‌کن روغن که روغن داغ را توسط شیلنگهای رابط در دو نیمه قالب به

گردش در می‌آورد و ب) نشان دهنده‌های دمای دو نیمه قالب..... ۸۵
شکل ۳-۲۷: ترکیب نمودن پودر لاستیک بازیافتی،زمینه پلیمری ABS و عامل جفت کننده با مقادیر اشاره شده درجدول ۳-۴ برای تولید قطعات فوم..... ۸۹
شکل ۳-۲۸: دمای نواحی مختلف..... ۹۰
شکل ۳-۲۹: قطعاتی که از نظر ابعادی دارای مشکل بوده و پر نشده اند..... ۹۰
شکل ۳-۳۰: نمونه تولید شده آزمایشی قطعات فوم شده..... ۹۱
شکل ۳-۳۱: چند نمونه از محصولات فوم کامپوزیت WGRT-ABS تولید شده..... ۹۲
شکل ۳-۳۲: نمونه بریده شده و سه قطعه دمبلی شکل آماده شده جهت آزمون استحکام کششی از هر قطعه..... ۹۳
شکل ۳-۳۳: ترازوی دقیق با قدرت تشخیص 0.0001، به نام AND GR200..... ۹۳
شکل ۳- ۳۴: اندازه گیری دانسیته قطعات فوم شده و قطعات فوم نشده به روش ارشمیدس..... ۹۴
شکل ۳-۳۵: دو نمونه از تصاویر SEM نمونه‌ها..... ۹۴
شکل ۳-۳۶: یک نمونه تصویر SEM که توسط نرم افزار Measurement باز شده است (خط شاخص 500µm)..... ۹۵
شکل ۳-۳۷: نحوه اندازه برداری از سلول ها توسط نرم افزار Measurement (خط شاخص 500µm)..... ۹۶
شکل۳-۳۸: محلهای درنظر گرفته‌شده برای آزمایشهای استحکام‌خمشی،کششی و ضربه در تمام قطعات فوم شده و فوم نشده..... ۹۷
شکل۳-۳۹: قطعات بریده‌شده و آماده انجام آزمایش خمش..... ۹۷
شکل۳-۴۰: دستگاه اندازه‌گیری استحکام‌خمشی و استحکام کششی..... ۹۸
شکل۳-۴۱: یک نمونه از نمودارهای حاصل‌شده از اندازه‌گیری استحکام‌خمشی قطعات فوم شده..... ۹۸
شکل۳-۴۲: نمونه لازم برای انجام آزمایش استحکام‌کششی..... ۹۹
شکل۳-۴۳: نمونه لازم برای انجام آزمایش مقاومت به ضربه..... ۹۹
شکل۳-۴۴: آماده‌سازی نمونه‌ها برای SEM..... ۱۰۰
شکل۳-۴۵: نمونه‌های بریده‌شده و آماده انجام آزمایشهای تعیین استحکام‌کششی و مقاومت به ضربه و نیز آزمایش استحکام خمشی..... ۱۰۰
شکل۳-۴۶: یک نمونه از نمودارهای حاصل‌شده از آزمایش تعیین استحکام‌کششی قطعات فوم شده..... ۱۰۱
شکل۳-۴۷: دستگاه GOTECH – ۷.۵ ژول مقاومت به ضربه..... ۱۰۱
شکل۳-۴۸: نحوه قرار دادن قطعات در دستگاه آزمون ضربه..... ۱۰۲
شکل۳-۴۹: قطعات آماده تصویربرداری توسط میکروسکوپ‌الکترونی..... ۱۰۲
شکل۳-۵۰: قطعات آماده تصویربرداری توسط میکروسکوپ‌الکترونی فوم شده و فوم نشده..... ۱۰۲

شکل ۴-۱: تشکیل پوسته فوم‌نشده با ضخامتهای متفاوت در قطعات تولیدی..... ۱۰۵
شکل ۴-۲: ساختار های مختلف سلولی در قطعات تولیدی متفاوت..... ۱۰۶
شکل ۴-۳: (الف) نمودار دانسیته وزنی میانگین کل قطعات فوم شده در مقادیر وزنی ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد پودر لاستیک بازیافتی(ب) نمودار میله ای مقایسه دانسیته وزنی میانگین کل نمونه‌های فوم شده و فوم نشده (ج)مقایسه دانسیته تئوری و تجربی نمونه های کامپوزیت فوم نشده ABS/WGRT..... ۱۰۸
شکل ۴-۴: (الف) اثر تغییرات درصد وزنی ABSgMA، بر دانسیته وزنی میانگین کل قطعات فوم شده در WGRT 20%(ب) اثر تغییرات درصد وزنی ABSgMA بر دانسیته وزنی میانگین کل قطعات فوم شده در WGRT 30%(ج) اثر تغییرات درصد وزنی ABSgMA، بر دانسیته میانگین کل قطعات فوم شده در WGRT 40%..... ۱۱۲
شکل ۴-۵: نمودار میانگین ضخامت پوسته فوم نشده (میکرومتر) نمونه های فوم شده در درصد های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ پودر لاستیک بازیافتی در فشار تزریق ۳۰، ۵۰ و ۷۰ مگاپاسکال..... ۱۱۴
شکل ۴-۶: (الف) اثر تغییرات درصد وزنی ABSgMA، بر ضخامت پوسته فوم نشده قطعات فوم شده در WGRT 20%(ب) اثر تغییرات درصد وزنی ABSgMa، بر قطعات فوم شده در WGRT 30% (ج) اثر تغییرات درصد وزنی ABSgMA، بر ضخامت پوسته فوم نشده قطعات فوم شده در WGRT 40% ۱۱۶
شکل ۴-۷: (الف) تغییرات میانگین چگالی سلولی نمونه‌های فوم شده در ۲۰،۳۰ و ۴۰ درصد وزنی پودر لاستیک بازیافتی با درصد وزنی متفاوت عامل جفت کننده (ب) تغییرات میانگین چگالی سلولی نمونه‌های فوم شده در ۲۰،۳۰ و ۴۰ درصد وزنی پودر لاستیک بازیافتی در فشار تزریق مختلف..... ۱۱۸
شکل ۴-۸: (الف) تغییرات میانگین اندازه سلولی نمونه‌های فوم شده با درصد های وزنی ۰، ۲.۵ و ۵ عامل جفت کننده و فشار تزریق ۳۰، ۵۰ و ۷۰ مگاپاسکال در ۲۰ درصد وزنی پودر لاستیک بازیافتی (ب) تغییرات میانگین اندازه سلولی نمونه‌های فوم شده با درصد های وزنی ۰، ۲.۵ و ۵ عامل جفت کننده و فشار تزریق ۳۰، ۵۰ و ۷۰ مگاپاسکال در ۳۰ درصد وزنی پودر لاستیک بازیافتی (ج) تغییرات میانگین اندازه سلولی نمونه‌های فوم شده با درصد های وزنی ۰، ۲.۵ و ۵ عامل جفت کننده و فشار تزریق ۳۰، ۵۰ و ۷۰ مگاپاسکال در ۴۰ درصد وزنی پودر لاستیک بازیافتی..... ۱۲۰
شکل ۴-۹: نمودار درصد تعداد اندازه سلول ها در درصدهای وزنی۲۰، ۳۰ و ۴۰ پودر لاستیک بازیافتی..... ۱۲۱
شکل ۴-۱۰: نمودار درصد تعداد اندازه سلول ها در درصد وزنی۲۰ پودر لاستیک بازیافتی با درصد های وزنی ۰، ۲.۵ و ۵ عامل جفت کننده..... ۱۲۲
شکل ۴-۱۱: تصویر SEM مربوط به گروه C با ۴۰ درصد وزنی پودر لاستیک بازیافتی (ترکیب شدن سلول ها)..... ۱۲۳
شکل ۴-۱۲: (الف) نمودار میله ای میانگین حداکثر استحکام‌کششی نمونه‌های فوم شده با افزایش مقدار پودر لاستیک بازیافتی (ب) و (ج) نمودار میله ای میانگین حداکثر استحکام‌کششی نمونه‌های فوم نشده و

فوم شده..... ۱۲۵
شکل ۴-۱۳: پیوند در زمینه پلیمری و پودر لاستیک بازیافتی..... ۱۲۸
شکل ۴-۱۴: (الف) اثر تغییرات فشار تزریق و درصد وزنی ABSgMA، بر حداکثر استحکام‌کششی قطعات فوم شده در WGRT 20%(ب) اثر تغییرات فشار تزریق و درصد وزنی ABSgMA، بر حداکثر استحکام‌کششی قطعات فوم شده در WGRT 30%(ج) اثر تغییرات فشار تزریق و درصد وزنی ABSgMA، بر حداکثر استحکام‌کششی قطعات فوم شده در WGRT 40%..... ۱۲۹
شکل ۴-۱۵: استحکام کششی نسبی برای تعدادی از فومهای میکروسلولی..... ۱۳۱
شکل ۴-۱۶: (الف) مقایسه نتایج استحکام نسبی بر حسب چگالی نسبی با خط $\mathbf{T} = (\boldsymbol{\phi})^2$ (ب)مقایسه استحکام کششی ویژه نسبی بر حسب چگالی نسبی برای برخی از مواد..... ۱۳۲
شکل ۴-۱۷: (الف)تغییرات استحکام کششی ویژه نسبی به ازای تغییرات درصد وزنی پودر لاستیک بازیافتی و درصد وزنی عامل جفت کننده ABSgMA(ب) استحکام‌کششی نسبی به چگالی‌نسبی قطعات. خطوط معیار طراحی $(\boldsymbol{y = x^2})$ وخط ۵۰ درصد $(\boldsymbol{y = x})$ نیز جهت مقایسه در شکل ترسیم شده‌اند..... ۱۳۳
شکل ۴-۱۸: منحنی تنش-کرنش برای پلیمر فوم شده و پلیمر فوم نشده..... ۱۳۴
شکل ۴-۱۹: (الف) مقایسه درصد ازدیاد طول قطعات فوم شده و فوم نشده (ب) سطح زیر منحنی نمودار تنش-کرنش(ج) برآورد تقریبی سطح زیر منحنی تنش کرنش قطعات فوم شده وفوم نشده..... ۱۳۵
شکل ۴-۲۰: (الف)مقایسه منحنی تنش-کرنش برای کامپوزیت فوم شده و فوم نشده در ۲۰ درصد وزنی از پودر لاستیک بازیافتی(ب)مقایسه منحنی تنش-کرنش برای کامپوزیت فوم شده و فوم نشده در ۳۰ درصد وزنی از پودر لاستیک بازیافتی (ج)مقایسه منحنی تنش-کرنش برای کامپوزیت فوم شده و فوم نشده در ۴۰ درصد وزنی از پودر لاستیک بازیافتی..... ۱۳۶
شکل ۴-۲۱: نمودار میله ای میانگین حداکثر استحکام‌خمشی نمونه‌های فوم در درصد های مختلف پودر لاستیک بازیافتی و فشار تزریق های مختلف..... ۱۳۸
شکل ۴-۲۲: (الف) مقایسه نمودار میله ای میانگین حداکثر استحکام‌خمشی نمونه‌های فوم شده و فوم نشده .(ب) مقایسه نمودار میله ای مدول‌خمشی نمونه‌های فوم شده و فوم نشده..... ۱۳۹
شکل ۴-۲۳: (الف) اثر تغییرات فشار تزریق و درصد وزنی ABSgMA، بر حداکثر استحکام‌خمشی قطعات فوم شده در WGRT 20%(ب) اثر تغییرات فشار تزریق و درصد وزنی ABSgMA، بر حداکثر استحکام‌خمشی قطعات فوم شده در WGRT 30%(ج) اثر تغییرات فشار تزریق و درصد وزنی ABSgMA، بر حداکثر استحکام‌خمشی قطعات فوم شده در WGRT 40%..... ۱۴۱
شکل ۴-۲۴: (الف)تغییرات استحکام خمشی ویژه نسبی به ازای تغییرات درصد وزنی پودر لاستیک بازیافتی و درصد وزنی عامل جفت کننده ABSgMA(ب)استحکام خمشی نسبی به دانسیته نسبی..... ۱۴۳
شکل ۴-۲۵: نمودار میله ای میانگین حداکثر استحکام‌به ضربه نمونه‌های فوم شده..... ۱۴۵

شکل ۴-۲۶: مقایسه نمودار میله ای میانگین حداکثر استحکام‌به ضربه نمونه‌های فوم شده و فوم نشده..... ۱۴۶
شکل ۴-۲۷: (الف) اثر تغییرات فشار تزریق و درصد وزنی ABSgMA، بر حداکثر استحکام‌مقاومت به ضربه قطعات فوم شده در WGRT 20%(ب) اثر تغییرات فشار تزریق و درصد وزنی ABSgMA، بر حداکثر استحکام‌مقاومت به ضربه قطعات فوم شده در WGRT 30%(ج) اثر تغییرات فشار تزریق و درصد وزنی ABSgMA، بر حداکثر استحکام‌مقاومت به ضربه قطعات فوم شده در WGRT 40%..... ۱۴۷
شکل ۴-۲۸: (الف) تغییرات استحکام به ضربه ویژه نسبی به ازای تغییرات درصد وزنی پودر لاستیک بازیافتی(ب) میانگین مقاومت به ضربه نسبی در برابر چگالی‌نسبی قطعات (خطوط معیار طراحی و مستقیم جهت مقایسه رسم شده‌اند)..... ۱۴۹
شکل ۴-۲۹: نحوه شروع شکاف ها و تبدیل شدن به ترک بحرانی..... ۱۴۹

فهرست جداول

جدول ۱-۱ درصد ترکیبات اجزای لاستیک طبیعی ۷

جدول ۱-۲ جدول طبقه بندی اندازه مش های پودر لاستیک بازیافتی موجود در بازار ۱۹

جدول ۱-۳ قیمت پودر لاستیک بازیافتی بر اساس اندازه مش ها در بازار خارجی بر حسب دلار بر تن ۱۹

جدول ۱-۴ قیمت پودر لاستیک بازیافتی بر اساس اندازه مش ها در بازار داخلی بر حسب تومان بر کیلوگرم ۱۹

جدول ۲-۱ بیشترین میزان انحلال در 200°C و فشار 27 MPa ۳۸

جدول ۳-۱ درصد مواد در پودر لاستیک بازیافتی تهیه شده ۶۸

جدول ۳-۲ انواع گرید های ABS ۷۳

جدول ۳-۴ پارامترهای متغیر برای تولید قطعات فوم شده ۸۶

جدول ۳-۵ نامگذاری قطعات فوم تولید شده ۸۷

جدول ۳-۶ پارامترهای ثابت فرآیند در مرحله دوم تولید قطعات فوم ۸۸

جدول ۳-۷ قطعات فوم نشده در هر گروه جهت مقایسه با قطعات فوم شده ۹۲

جدول ۴-۱ دانسیته وزنی میانگین کل قطعات فوم شده ۱۰۷

جدول ۴-۲ دانسیته وزنی میانگین کل قطعات فوم نشده در مقادیر وزنی ۲۰،۳۰ و۴۰ درصد پودر لاستیک بازیافتی در فشار تزریق 50 MPa ۱۱۱

جدول ۴-۳ نتایج میانگین ضخامت پوسته فوم نشده، میانگین اندازه سلولی و میانگین چگالی سلولی قطعات فوم شده در مقادیر وزنی ۲۰،۳۰ و۴۰ درصد پودر لاستیک بازیافتی ۱۱۵

جدول ۴-۴ میانگین حداکثر استحکام‌کششی نمونه‌های فوم شده ۱۲۴

جدول ۴-۵ میانگین حداکثر استحکام‌کششی نمونه‌های فوم نشده ۱۲۵

جدول ۴-۶ مقادیر استحکام کششی نسبی و استحکام کششی ویژه ۱۳۱

جدول ۴-۷ میانگین حداکثر استحکام‌خمشی و مدول خمشی نمونه‌های فوم شده ۱۳۷

جدول ۴-۸ میانگین حداکثر استحکام‌خمشی و مدول خمشی نمونه‌های فوم نشده ۱۳۸

جدول۴-۹استحکام خمشی ویژه نسبی و استحکام خمشی نسبی نمونه های فوم کامپوزیتABS/WGRT ۱۴۲

جدول ۴-۱۰ نتایج مقاومت به ضربه نمونه های فوم شده کامپوزیت ABS/WGRT ۱۴۳

جدول ۴-۱۱ نتایج مقاومت به ضربه نمونه های فوم نشده ۱۴۵

جدول ۴-۱۲ مقادیر استحکام به ضربه ویژه نسبی و استحکام به ضربه نسبی نمونه های فوم کامپوزیت ABS/WGRT ۱۴۸

نمادها

پودر لاستیک بازیافتی	WGRT
کامپوزیت ای بی اس- پودر لاستیک بازیافتی	ABS/WGRT
عامل جفت کننده	ABSgMa
آنالیز حرارتی گرماوزن سنجی	TGA
عامل فوم زای شیمیایی	CBA
عامل فوم زای فیزیکی	FBA
استحکام ویژه نسبی	RSS

فصل اول : مقدمه

۱-۱- مقدمه

افزایش روز افزون ضایعات پلیمری یکی از مسایل مهم زیست محیطی دنیاست که توجه زیادی را به خود معطوف کرده است. تنها ۸ تا ۱۲ درصد از این ضایعات، پلاستیک ها هستند و مابقی الاستومرها می باشند. افزایش لاستیک های مستعمل در سالهای اخیر مشکلات زیادی را در سطح جهان به وجود آورده است. در بسیاری از موارد لاستیک های غیر مستعمل روی هم انباشته شده و به شکل کوهی از زباله، مناظر زشتی را بوجود آورده و خطر آتش سوزی را نیر همراه دارند. دوده های سیاه و مضر در اثر سوختن حتی یک حلقه لاستیک، مناطق بسیار وسیعی را آلوده کرده و محیط زیست را به مخاطره می اندازد. این دوده ها، هیدروکربن های نسوخته هستند و گازهای سمی را وارد محیط می کنند. تایرها دارای سولفور، آهن ها و فلزات دیگر هستند که در فضا و شرایط نامناسب باعث آزادشدن مواد و گازهای خطرناک می شوند. اخیراً به وسیله ماشین های جدید و پر قدرت، لاستیک های کهنه آسیاب شده و پس از ذوب به لاستیکهای جدیدی تبدیل می شوند. در کشورهای صنعتی از لاستیک های فرسوده به عنوان سوخت جایگزین در صنایعی چون سیمان استفاده می شود. برخلاف دیگر مواد زاید جامد، تایرهای زاید را نمی توان بدون انجام عملیات مقدماتی دفن کرد، از طرف دیگر تایرهایی که در طبیعت رها می شوند. خطرات جدی برای محیط زیست و سلامت انسان ها را به همراه دارند. استفاده های جدید از تایرهای فرسوده راه حل بسیار جالب ومناسبی برای کاهش ضایعات، کاهش قیمت ها و افزایش کیفیت و ایمنی محیط زندگی است. کاهش قیمت محصولات وامنیت طرح های عمومی از دیگر مزایای بازیافت تایرهای فرسوده است. اگر ضایعات لاستیکها را با آسفالت خیابانها مخلوط کنند، روکش با دوامی برای سطح جاده ها و باند فرودگاهها بوجود می آید. روکش مخلوط شده از لاستیک های بازیافتی در آسفالت خیابان به سادگی ترک نخورده و موجب صرفه جویی میلیونها دلار در بازسازی، لکه گیری و جلوگیری از آسفالت دوباره خیابان ها می گردد[1].

۱-۲- الاستومر ها[1]

الاستومر که در فرهنگ عامیانه با نام "لاستیک" شناخته می شود، پلیمری است که قابلیت ارتجاعی زیادی دارد زیرا این گروه از اعضای خانواده پلیمر ها، از مولکولهای دراز زنجیر گونه تشکیل شده اند. این زنجیره ها بصورت نامنظم، پیچ خورده و به هم تابیده هستند. از این رو، انعطاف پذیری بالایی را به ماده داده، امکان تغییر شکل زیادی را فراهم می کنند.

[1] *Elastomers*