بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای **علی محمد حق شناس** پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان مطالعه تحلیلی و تجربی بر روی اکستروژن فوم کامپوزیت چوب پلاستیک بهینه سازی وزن، هزینه و استحکام** در تاریخ ۱۳۸۹/۳/۹ 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 ناظر	دکتر محمد گلزار	استادیار	
استاد ناظر	دکتر محمدحسین صادقی	استاد	
استاد ناظر	دکتر طاهر ازدست	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر محمد گلزار	استادیار	

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

امضای استاد راهنما:

آیین نامه چاپ پایان‌نامه‌های 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 تعهد 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 نگارنده علی‌محمد حقشناس گرگابی در رشته مهندسی مکانیک – ساخت و تولید است که در سال ۸۹ در دانشکده فنی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر امیرحسین بهروش 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 علی‌محمد حق‌شناس گرگابی 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: علی‌محمد حق‌شناس گرگابی

تاریخ و امضا:

۹۰/۴/۲۳

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.

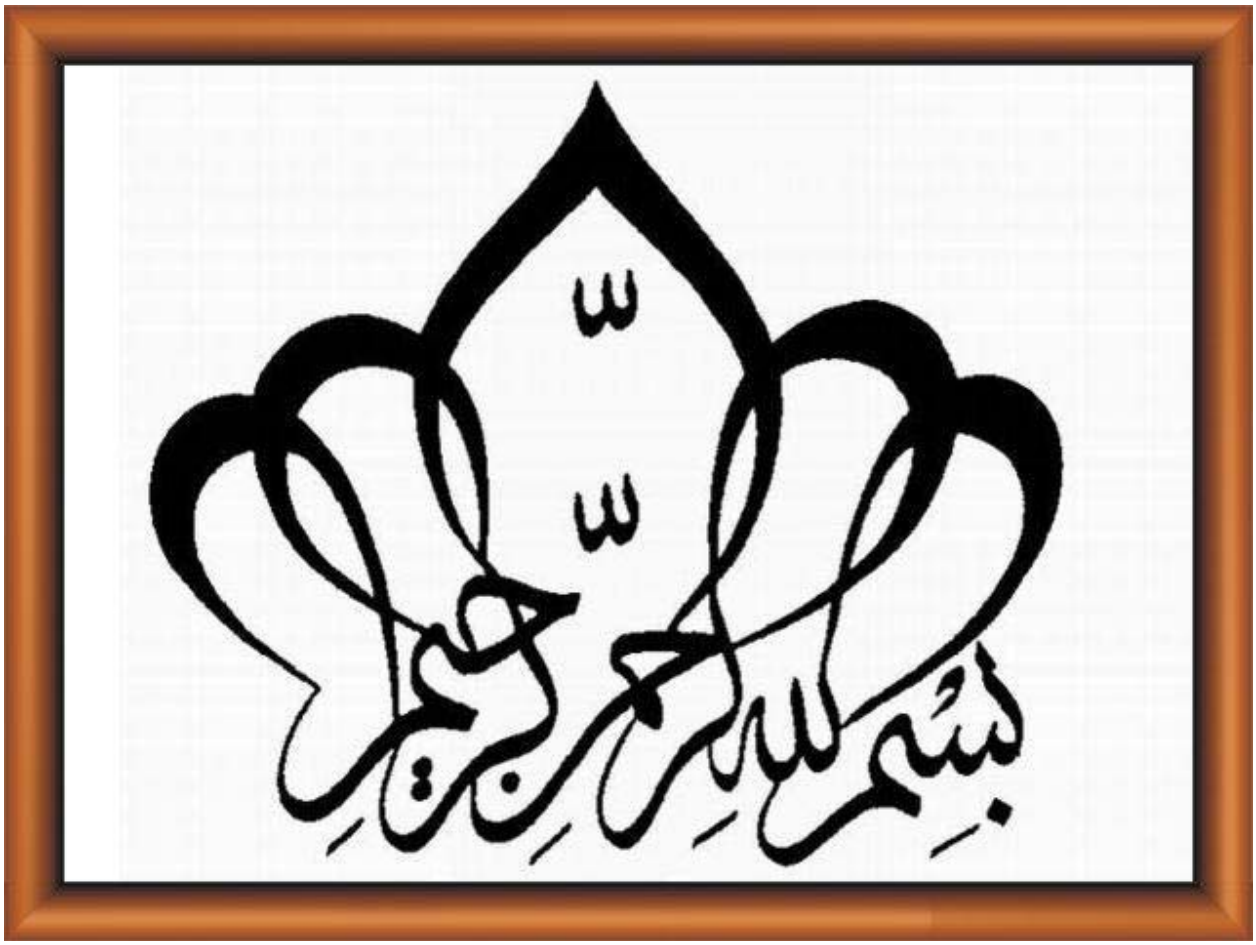
ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

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: علی‌محمد حق‌شناس گرگابی

امضاء

۹۰/۴/۲۳


بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی مکانیک

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مکانیک- ساخت و تولید

بررسی تجربی اکستروژن فوم کامپوزیت چوب پلاستیک با ملاحظه استحکام ویژه و هزینه

علی‌محمد حقشناس

استاد راهنما:
دکتر امیرحسین بهروش

خرداد ۸۹

تقدیم به پدر و مادرم

که تمام زندگیشان را سرمایه ی زندگیم کردند.

و تقدیم به همسر مهربانم

که نگاه مهربان او همواره بدرقه راه من بوده است.

و خواهر و برادرهایم

که همیشه مشوق و حامی من بوده اند.

تشکر و قدردانی:

از زحمات بی‌شائبه‌ی جناب دکتر امیرحسین بهروش استاد راهنمای گرامی‌ام که از آغاز تا پایان کار با حمایت‌ها و دقت‌نظر خود موجب به نتیجه رسیدن این کار تحقیقی شدند سپاسگزاری می‌کنم.

همچنین از راهنمایی‌ها و حمایت‌های دکتر ازدست، مهندس شاهی، دریاباری، قاسمی، ذوالفقاری، رضاوند، احمدزی، سوری، محمودی، لطفی، نظری و شکوری که در همه مراحل اجرای کار، یاریگر بنده بودند قدردانی می‌نمایم.

چکیده

در تحقیق حاضر به بررسی اثر پارامترهای فرآیند اکستروژن بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی فوم کامپوزیت چوب پلاستیک پرداخته شده است. کاربرد کامپوزیت های چوب پلاستیک به عنوان جایگزین مناسب برای چوب و یا پلاستیک، روند رو به رشدی دارد. این کامپوزیت ها در مقایسه با چوب در مقابل تهدیدات محیطی همچون رطوبت، جذب آب و حشرات مقاوم تر و فرآیند پذیرترند. اگرچه وزن بالا، نقاط اتصال، میخ و پیچ کردن و استحکام به ضربه پایین کاربرد آنها را در خیلی از موارد، محدود کرده است . هدف اصلی از انجام این تحقیق استفاده از فناوری فوم برای کاهش وزن و هزینه با حفظ استحکام *WPC* بوده است. متغیرهای مستقل آزمایشات درصد چوب (۳۰،۴۵ و ۶۰٪)، قطر قالب(*mm* ۱۵،۲۵و ۳۵) و عامل فومزا (آزودیکربونامید) (۰و۱٪) است. تنها برای قطر قالب *mm* ۲۵ وجود خنککار اصطکاکی نیز به متغیرهای مستقل افزوده شده است. متغیرهای وابسته استحکام، هزینه (برواحد حجم)، چگالی، استحکام ویژه و استحکام ویژه به هزینه هستند که تاثیرات متغیرهای مستقل بر روی آنها بصورت تجربی و نظری بررسی شده است. برای طراحی آزمایش از روش رویه سطح پاسخ *Central Composite Design (CCD)* استفاده شده است. برای بیان ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته بصورت مدل ریاضی از نرم‌افزار *Design-Expert 8.0.1* استفاده شده است. نمونه های مناسب تولید شده تحت آزمون‌های مکانیکی خمش و آزمون فیزیکی چگالی قرار گرفتند. با استفاده از این فناوری چگالی و استحکام ویژه به هزینه برای *WPCF* نسبت به *WPC* به ترتیب حداکثر ۱۹٪ و حداکثر ۱۸٪ کاهش یافته است. استحکام ویژه *WPCF* نسبت به *WPC* حداکثر ۲۱٪ افزایش یافته است.

واژه‌های کلیدی

فوم کامپوزیت چوب پلاستیک، چوب پلاستیک، فوم، طراحی آزمایش، تحلیل تغییرات، سطح پاسخ، چگالی سلولی، *WPC* ،اکستروژن، فومزای شیمیایی، *Azodicarbonamide*، *DOE*

نمادها

استحکام ویژه	*SS*
استحکام ویژه به هزینه	*SSC*
استحکام خمشی به هزینه	*SC*
چوب پلاستیک	*WPC*
فوم چوب پلاستیک	*WPCF*
طراحی مرکب مرکزی	*CCD*
طراحی آزمایش	*DOE*
چگالی	ρ

فهرست

فصل ۱ مقدمه ۱

۱-۱- کامپوزیت چوب پلاستیک ۲

۱-۲- فوم ۲

۱-۳- روشهای تولید فوم ترموپلاستیک ۴

۱-۴- فوم کامپوزیت چوب پلاستیک ۵

۱-۵- روشهای تولید فوم کامپوزیت چوب پلاستیک ۶

۱-۵-۱- تولید فوم چوب پلاستیک در فرآیند بستهای *(batch)* ۶

۱-۵-۲- فوم کردن چوب پلاستیک در فرایند اکستروژن ۷

۱-۵-۳- فوم کردن چوب پلاستیک در فرایند تزریق ۷

۱-۵-۴- تکنولوژی نوین کشش برای تولید فوم کامپوزیت چوب پلاستیک ۸

۱-۶- نگاهی بر تحول فوم چوب پلاستیک از دیدگاه ثبت اختراعها ۱۰

۱-۷- پژوهشهای انجام شده در آزمایشگاه گروه تکنوپلاست ۱۲

۱-۸- کاربردهای کامپوزیت چوب پلاستیک ۱۳

۱-۸-۱- کاربرد حمل و نقل ۱۳

۱-۸-۲- کاربردهای صنعتی ۱۳

۱-۸-۳- کاربردهای ساختمانی ۱۴

۱-۹- بازار کامپوزیت چوب-پلاستیک ۱۷

۱-۱۰- اهداف و انگیزه های تحقیق ۱۹

۱-۱۱- مروری بر پایان نامه ۲۰

فصل ۲ فوم کامپوزیت چوب پلاستیک فرایند و مواد ۲۰
۲-۱- مقدمه ۲۲
۲-۲- فوم کردن چوب پلاستیک به کمک عامل فومزای شیمیایی در اکستروژن ۲۲
۲-۲-۱- اکستروژن دو مرحله ای *WPCF* به کمک *CBAS* ۲۲
۲-۲-۲- اکستروژن تک مرحله ای*WPCF* به کمک *CBAs* ۲۴
۲-۳- تغییرات چگالی با تغییرات دما و نوع عامل فومزا ۲۵
۲-۴- تحقیقات آزمایشگاهی در مورد *WPCF* به کمک *CFAs* ۲۶
۲-۵- مواد اولیه ۲۹
۲-۵-۱- چوب ۲۹
۲-۵-۲- سازگارکننده *Coupling Agent* ۳۲
۲-۶- عوامل فومزای شیمیایی ۳۴
۲-۶-۱- عوامل فومزای شیمیایی *Chemical Foaming Agents* ۳۴
۲-۶-۲- روانکارها ۳۷
۲-۶-۳- نانو مواد ۳۷
۲-۶-۴- جوانه زا *Nucleating Agents* ۳۷
۲-۷- راهبرد تولید ۳۸
فصل ۳ مواد اولیه ، تجهیزات و روش کار ۴۱
۳-۱- مواد اولیه ۴۲
۳-۱-۱- پلیمر ۴۲
۳-۲- اکسترودر ۴۶

۳-۳- خنککار اصطکاکی *Heat Exchanger* ۴۷
۳-۴- قالب ۵۰
۳-۵- خشک کن ۵۴
۳-۶- متغیرهای ثابت فرض شده ۵۵
۳-۷- متغیرهای مستقل ۵۵
۳-۷-۱- تعیین راهبرد طراحی ۵۶
۳-۷-۲- تعریف و تعیین سطح برای متغیرهای مستقل ۶۰
۳-۷-۳- طراحی آزمایش ۶۰
۳-۷-۴- روش آزمایش ۶۲
۳-۸- متغیرهای وابسته ۶۲
۳-۹- استخراج مدل مناسب ۶۳
۳-۱۰- تحلیل تغییرات *ANOVA* ۶۶
فصل ۴ نتایج آزمایشها و بحث ۶۸
۴-۱- مقدمه ۶۹
۴-۲- ۱انتخاب عامل فومزا ۷۰
۴-۲-۱- مقایسه عوامل فومزای شیمیایی به کمک کاتالوگ شرکتهای تولید کننده..... ۷۱
۴-۲-۲- مقایسه و تحلیل حرارتی عوامل فومزای تهیه شده ۷۳
۴-۲-۳- انتخاب نهایی عامل فومزا ۸۱
۴-۳- متغیرهای وابسته ۸۲
۴-۳-۱- فشار ۸۲

۴-۳-۲- اندازه سلول ۸۴
۴-۳-۳- چگالی سلولی ۸۵
۴-۳-۴- چگالی و چگالی نسبی ۹۱
۴-۳-۵- استحکام خمشی ۱۰۲
۴-۳-۶- هزینه ۱۱۰
۴-۳-۷- استحکام ویژه SS ۱۲۵
۴-۳-۸- استحکام ویژه به هزینه SSC ۱۳۶
۴-۴- تحلیل تاثیر خنککار اصطکاکی بر مورفولوژی سلولی ۱۴۴
فصل ۵ نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۴۹
۵-۱- نتیجه گیری ۱۵۱
۵-۲- پیشنهادات ۱۵۴
فصل ۶ مراجع ۱۵۵
فصل ۷ پیوست ۱۶۳
۷-۱- کاتالوگ عوامل فومزای شیمیایی ۱۶۳
۷-۲- جداول تحلیل تغییرات و تحلیل رگرسیون مدل ۱۶۵
۷-۲-۱- فشار ۱۶۵
۷-۲-۲- چگالی ۱۶۶
۷-۲-۳- استحکام خمشی ۱۶۸
۷-۲-۴- هزینه ۱۶۹
۷-۲-۵- هزینه (بر واحد جرم) WPC ۱۶۹

۷-۲-۶- استحکام ویژه ۱۷۰
۷-۲-۷- استحکام ویژه به هزینه ۱۷۱

فهرست اشکال

شکل (۱-۱) :مراحل تولید فوم ۳

شکل (۱-۲) :تصویر میکروسکوپی نمونه کشیده شده ۹

شکل (۱-۳) : تصویر شماتیک فرایند کشش برای تولید *WPCF* ۹

شکل (۱-۴) :تصویری از محصولات *WPCF* با استفاده از *CBAs* از شرکت *Clariant* ۱۱

شکل (۲-۱) : چیدمان اکستروژن دو مرحله ای *WPCF* به کمک *CBAS* ۲۳

شکل (۲-۲) : فرایند تک مرحله ای تولید *WPCF* به کمک *CFAs* ۲۴

شکل (۲-۳) : فرایند تک مرحله ای تولید *WPCF* به کمک *CFAs* ۲۵

شکل (۲-۴) : تاثیر نوع عامل فومزا و دمای قالب بر چگالی *WPCF* ۲۶

شکل (۲-۵) : ساختار فومی چوب ۲۹

شکل (۲-۶) : اجزای تشکیل دهنده چوب ۳۰

شکل (۲-۷) : نمودار *TGA* انجام شده در محیط آرگون با سرعت *10°C/min* بر پودر چوب خشک . ۳۱

شکل (۲-۸) : سازگار کننده الیاف چوب و پلیمر *PE* و *PP* ۳۲

شکل (۲-۹) : الف- مدول الاستیسیته ب- استحکام خمشی ج- استحکام کششی ۳۳

شکل (۲-۱۰) :تغییرات *Vf* به ازای تغییرات عامل فومزا و سازگارکننده در *WPCF* تولید شده با *CFAs* با پلیمر *HDPE* ۳۴

شکل (۲-۱۱) : چگونگی عملکرد جوانهزای فعال غیرفعال ۳۸

شکل (۲-۱۲) : چیدمان استفاده شده برای تولید *WPCF* در ثبت اختراعها ۴۰

شکل (۳-۱) : منحنی *DSC* بدست آمده از ترکیب *HDPE* و *LDPE* ۴۳

شکل (۳-۲) : تاثیر نوع پلیمر بر چگالی عایق فوم کابل به کمک عامل فومزای گرماگیر ۴۴

شکل (۳-۳): نتایج DTA انجام شده بر $EX3$, $5620EA$ انجام شده در محیط آرگون ۴۵
شکل (۳-۴) : اکسترودر دو مارپیچ استفاده شده ۴۶
شکل (۳-۵) : تصویر شماتیک اکسترودر استفاده شده ۴۶
شکل (۳-۶) : تاثیر دما بر انبساط پلیمر ۴۷
شکل (۳-۷) : نمایی از سیستم خنک کننده طراحی شده الف) قطعات، ب) کل مجموعه ۴۸
شکل (۳-۸) : نحوه اتصال سیستم خنک کننده ساخته شده به قالب و تجهیزات اکسترودر ۴۸
شکل (۳-۹) : کالیبراتورهای ساخته شده برای قطر mm ۱۵ الف)برنجی ب)فولادی ۴۸
شکل (۳-۱۰) : اجزای تشکیل دهنده خنککار اصطکاکی ۴۹
شکل (۳-۱۱) : مشخصات هندسی اینسرت ۵۱
شکل (۳-۱۲) :قالبهای استفاده شده برای فوم ترموپلاستیک با چگالی بالا ۵۲
شکل (۳-۱۳) :طراحی قالب برای تولید $WPCF$ به روش شیمیایی ۵۳
شکل (۳-۱۴) : مواد خارج شده از اکسترودر قبل از قالب که تبدیل به فوم شده است. ۵۴
شکل (۳-۱۵) : خشک کن ۵۴
شکل (۳-۱۶) : فلوچارت روشهای طراحی آزمایش ۵۷
شکل (۳-۱۷) : تمرکز روش رویه پاسخ کامپوزیت مرکزی بر روی نقاط میانی ۵۸
شکل (۳-۱۸) : روش CCD دومتغیری الف)نقاط رئوس و مرکز ب)نقاط محوری ج)کل نقاط ۵۹
شکل (۳-۱۹): روش CCD به سبک مرکز وجه برای دو متغیر مستقل ۵۹
شکل (۳-۲۰) : نحوه استخراج مدل به کمک رگرسیون ۶۴
شکل (۳-۲۱) : انعکاس منحنی سه بعدی روی دو بعد به کمک خطوط هم تراز ۶۵
شکل (۴-۱): دستگاههای استفاده شده برای آنالیزهای حرارتی ۷۴

شکل (۴-۲) : تحلیل *DTA* و*TGA* انجام شده بر عامل فومزای *AC-K* با نرخ *10°C/min*در محیط آرگون ۷۷

شکل (۴-۳) : نتایج *DTA* و *TGA* انجام شده بر *Azodicarbonamide* با نام تجاری *AC-K* به همراه فعالساز اکسید روی به مقدار ۵۰٪ وزنی عامل فومزا، در محیط آرگون با نرخ *10°c/min* ۷۷

شکل (۴-۴) : نتایج *DTA* و *TGA* انجام شده بر , *BS-6-A* انجام شده در محیط آرگون با نرخ *10°c/min* ۷۸

شکل (۴-۵) : نتایج *DTA* و *TGA* انجام شده بر *BS-108* انجام شده در محیط آرگون با نرخ *10°c/min* ۷۸

شکل (۴-۶) : نتایج *DTA* انجام شده بر *AC-K* به همراه فعالساز اکسید روی و بدون آن، در محیط آرگون با نرخ *10°c/min* ۷۹

شکل (۴-۷) : نتایج *DTA* انجام شده بر *AC150* و*AC410* در محیط آرگون با نرخ *10°c/min*..... ۸۰

شکل (۴-۸) : نتایج *DTA* انجام شده بر *AC150* و*AC410* در محیط آرگون با نرخ *10°c/min*..... ۸۱

شکل (۴-۹) :نمودار دو بعدی فشار *WPCF* و *WPC* به ازای تغییرات درصد وزنی چوب، قطر قالب و بدون خنککار اصطکاکی ۸۲

شکل (۴-۱۰) : تغییرات اندازه سلول به ازای تغییرات قطر و درصد چوب ۸۵

شکل (۴-۱۱) : تغییرات چگالی سلولی به ازای تغییرات قطر و درصد چوب..... ۸۶

شکل (۴-۱۲) : محصول *WPCF* تولید شده با ۳۰٪چوب و قطر قالب *mm* ۳۵ ..... ۸۸

شکل (۴-۱۳) : محصولات آزمایشی *WPCF* تولید شده با ۱۰٪ چوب و قطر *15mm* ۸۹

شکل (۴-۱۴) : نمونه *WPCF* و *WPC* تولید شده و آماده شده برای آزمایش خمش به قطر*25mm* ۹۰

شکل (۴-۱۵) : نمونه *WPCF* و *WPC* تولید شده و آماده شده برای آزمایش خمش به قطر*35mm* ۹۰

شکل (۴-۱۶) : نمونه های *WPCF* و *WPC* تولید شده و آماده شده برای آزمایش خمش به قطر *15mm* ۹۱

شکل (۴-۱۷) : تغییرات چگالی *WPC* به ازای تغییرات قطر قالب و خنککار اصطکاکی ۹۳

شکل (۴-۱۸) : نمودار دو بعدی چگالی*WPC* به ازای تغییرات درصد وزنی چوب، قطر قالب و بدون خنککار اصطکاکی ۹۴

شکل (۴-۱۹) : تغییرات چگالی *WPCF* به ازای تغییرات قطر قالب و خنککار اصطکاکی ۹۵

شکل (۴-۲۰): نمودار دو بعدی چگالی*WPCF* به ازای تغییرات درصد وزنی چوب، قطر قالب و بدون خنککار اصطکاکی ۹۶

شکل (۴-۲۱) : چگالی نظری بدست آمده برای *WPCF* با توجه به چگالی متغیر پلیمر فوم شده و تغییرات درصد وزنی چوب ۹۸

شکل (۴-۲۲) : بررسی تغییرات چگالی پلیمر فوم شده برای *WPCF* با تغییرات درصد وزنی چوب و قطر قالب ۹۹

شکل (۴-۲۳) : تغییرات چگالی نسبی به ازای تغییرات قطر قالب و خنککار اصطکاکی ۱۰۰

شکل (۴-۲۴) : نمودار دو بعدی چگالی*WPCF* به ازای تغییرات درصد وزنی چوب، قطر قالب و بدون خنککار اصطکاکی ۱۰۱

شکل (۴-۲۵) : دستگاه آزمایش خمش استفاده شده ۱۰۳

شکل (۴-۲۶) : تغییرات استحکام خمشی*WPC* به ازای تغییرات درصد وزنی چوب، قطر قالب و بدون خنککار اصطکاکی ۱۰۴

شکل (۴-۲۷) :تغییرات استحکام خمشی*WPC* به ازای تغییرات درصد وزنی چوب، قطر قالب و خنککار اصطکاکی ۱۰۵

شکل (۴-۲۸): تغییرات استحکام خمشی *WPCF* به ازای تغییرات درصد وزنی چوب، قطر قالب و بدون خنککار اصطکاکی ۱۰۷

شکل (۴-۲۹) :تغییرات استحکام خمشی *WPCF* به ازای تغییرات درصد وزنی چوب، قطر قالب و خنککار اصطکاکی ۱۰۸

شکل (۴-۳۰) :تغییرات استحکام خمشی نسبی به ازای تغییرات درصد وزنی چوب، قطر قالب و خنککار اصطکاکی ۱۰۹

شکل (۴-۳۱) : تغییرات استحکام نسبی برای قطر قالب *mm*۲۵ و وجود خنککار اصطکاکی..... ۱۱۰

شکل (۴-۳۲) : تغییرات هزینه (بر واحد حجم) *WPC* به ازای تغییرات درصد وزنی چوب، قطر قالب و بدون خنککار اصطکاکی ۱۱۳

شکل (۴-۳۳) : تغییرات هزینه (بر واحد حجم) *WPC* به ازای تغییرات درصد وزنی چوب، قطر قالب و خنککار اصطکاکی ۱۱۴

شکل (۴-۳۴) : تغییرات هزینه (بر واحد حجم) *WPCF* به ازای تغییرات درصد وزنی چوب، قطر قالب و خنککار اصطکاکی ۱۱۵

شکل (۴-۳۵) : تغییرات هزینه (بر واحد حجم) *WPCF* به ازای تغییرات درصد وزنی چوب، قطر قالب و بدون خنککار اصطکاکی ۱۱۶

شکل (۴-۳۶) : هزینه (بر واحد حجم) نظری بدست آمده برای *WPCF* با توجه به چگالی متغیر پلیمر فوم شده و و تغییرات درصد وزنی چوب..... ۱۱۷

شکل (۴-۳۷) : بررسی تغییرات هزینه (بر واحد حجم) *WPCF* با تغییرات چگالی پلیمر فوم شده،درصد وزنی چوب و قطر قالب ۱۱۸

شکل (۴-۳۸) : بررسی تغییرات هزینه (بر واحد حجم) *WPCF* با تغییرات چگالی پلیمر فوم شده ودرصد وزنی چوب با نسبت قیمت پلاستیک به چوب ۱۳ ..... ۱۲۱

شکل (۴-۳۹) : بررسی تغییرات هزینه (بر واحد حجم) *WPCF* با تغییرات چگالی پلیمر فوم شده ۱۲۲

شکل (۴-۴۰) : بررسی تغییرات هزینه (بر واحد حجم) *WPCF* با تغییرات چگالی پلیمر فوم شده ودرصد وزنی چوب ۱۲۲

شکل (۴-۴۱) : تغییرات هزینه نسبی (بر واحد حجم) به ازای تغییرات درصد وزنی چوب، قطر قالب و خنککار اصطکاکی ۱۲۴

شکل (۴-۴۲): مقطع مستطیلی تحت بار خمشی ۱۲۵

شکل (۴-۴۳) : تغییرات استحکام ویژه *WPC* به ازای تغییرات درصد وزنی چوب، قطر قالب و خنککار اصطکاکی ۱۳۰

شکل (۴-۴۴) : تغییرات استحکام ویژه *WPC* به ازای تغییرات درصد وزنی چوب، قطر قالب و بدون خنککار اصطکاکی ۱۳۱

شکل (۴-۴۵) :تغییرات استحکام ویژه *WPCF* به ازای تغییرات درصد وزنی چوب، قطر قالب و خنککار اصطکاکی ۱۳۲

شکل (۴-۴۶) : تغییرات استحکام ویژه *WPCF* به ازای تغییرات درصد وزنی چوب، قطر قالب و بدون خنککار اصطکاکی ۱۳۳

شکل (۴-۴۷) :تغییرات استحکام ویژه نسبی به ازای تغییرات درصد وزنی چوب، قطر قالب و خنککار اصطکاکی ۱۳۴

شکل (۴-۴۸): تغییرات استحکام ویژه به هزینه *WPC* به ازای تغییرات درصد وزنی چوب، قطر قالب و خنککار اصطکاکی ۱۳۸

شکل (۴-۴۹) : تغییرات استحکام ویژه *WPC* به ازای تغییرات درصد وزنی چوب، قطر قالب و بدون خنککار اصطکاکی ۱۳۹