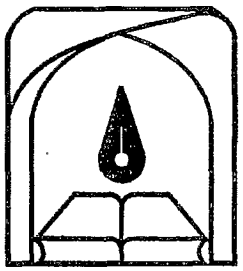
۴۹۲۷

۱۱۱۹۹۹

۸۷/۱۱/۱۰۸۶/۲۵
۸۸/۲/۱



دانشکده فنی مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک- ساخت و تولید

# بررسی اثر فشار دای بر روی خواص مکانیکی کامپوزیت چوب-پلاستیک در فرآیند اکستروژن

احسان شکوری

اطلاعات و مدارک علمی ایران

استاد راهنما:
دکتر امیرحسین بهروش

استاد مشاور:
دکتر محمد گلزار

۱۳۸۸/۱/۱۸

پاییز ۱۳۸۷

۱۱۱۹۹۹

بسمه تعالی

# تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

**آقای احسان شکوری** پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان بررسی تاثیر فشار بر خواص مکانیکی کامپوزیت چوب- پلاستیك در فرآیند اکستروژن دو ماردونه** در تاریخ ۱۳۸۷/۹/۲۳ 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 یوسف حجت | استادیار | |
| استاد ناظر | دکتر طاهر ازدست | استادیار | |
| مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی) | دکتر محمدحسین صادقی | دانشیار | |

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 احسان شکوری در رشته مهندسی مکانیک (ساخت و تولید) است که در سال ۱۳۸۷ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر امیر حسین بهروش و 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 می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت 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 احسان شکوری دانشجوی رشته مهندسی مکانیک (ساخت و تولید) مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی: احسان شکوری

تاریخ و امضا: ۹۲/۱۱/۲۷

**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، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عنوان‌های پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

**ماده ۱-** حقوق مادی و معنوی پایان‌نامه‌ها/ 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 پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی یا ارائه در مجامع علمی می‌باید به نام دانشگاه بوده و **استاد راهنما** و **نویسنده** مسئول مقاله باشند.

**تبصره:** در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی به صورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود، باید نام دانشگاه درج شود.

**ماده ۳-** انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و براساس آیین‌نامه‌های مصوب انجام شود.

**ماده ۴-** ثبت اختراع و تدوین دانش فنی یا ارائه 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 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 رسید و از تاریخ تصویب لازم‌الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.

تقدیم به:

**پدر دلسوز و مادر فداکارم**

# تشکر و قدردانی

بر خود لازم می‌دانم که از استاد راهنمای ارجمند، جناب آقای **دکتر امیرحسین بهروش**، که در تمامی مراحل تحقیق با راهنمایی‌ها و دقت نظر خود مرا یاری دادند، صمیمانه سپاسگذاری نمایم. همچنین از استاد مشاور پروژه، جناب آقای **دکتر محمد گلزار** که همواره راهنمایی و مساعدت ایشان شامل حال اینجانب بوده است، کمال تشکر را دارم.

ضمن آنکه از زحمات بی‌دریغ دوستان گرامی‌ام آقایان **مهندس ذوالفقاری، قاسمی، احمدزی، سوری، محمودی و سلیمانی‌مهر** تقدیر ویژه می‌نمایم. امید است که این تلاش ناچیز، پاسخی باشد به زحمات این بزرگواران.

# چکیده

در این تحقیق، به بررسی اثر فشار دای اکستروژن بر روی خواص مکانیکی کامپوزیت چوب-پلاستیک پرداخته شده است. خواص مکانیکی محصول نهایی، بطور مستقیم بر انتخاب اندازه دستگاه اکستروژن و در نهایت بر روی هزینه سرمایه‌گذاری بر روی سیستم تولید، تاثیر دارد. در تحقیق حاضر، تغییر فشار مطلوب از طریق تغییر قطر خروجی دای صورت گرفته و مقدار فشار در هر حالت اندازه‌گیری شده است. با انجام تست‌های کشش و خمش، مقدار استحکام کششی و خمشی نمونه‌های تولیدی اندازه‌گیری گردیده و چگالی نمونه‌ها آزمایش شده است. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش فشار دای اکستروژن، اجزای کامپوزیت به میزان بیشتری به یکدیگر فشرده شده و چگالی محصول افزایش یافته و در نتیجه استحکام کششی و خمشی کامپوزیت ارتقا می‌یابد.

علاوه بر تحقیق اثر فشار بر روی خواص مکانیکی، به مطالعه تئوری فشار دای در فرآیند اکستروژن کامپوزیت چوب-پلاستیک نیز پرداخته شده است. با استفاده از روابط جریان غیر نیوتنی و روابط اکستروژن گرم، مقادیر فشار تئوری محاسبه گردیده و بین فشارهای تئوری و تجربی مقایسه به عمل آمده است. نتایج نشان می‌دهند که فشار دای در فرآیند اکستروژن چوب-پلاستیک مابین حالت‌های جریان مذاب غیر نیوتنی و اکستروژن گرم قرار دارد و با در نظر گرفتن ضریب تصحیح، فشار تئوری حاصل از روابط اکستروژن گرم با فشار تجربی مطابقت پیدا می‌کند.



**واژه‌های کلیدی:** کامپوزیت چوب-پلاستیک، اکستروژن، دای، فشار، خواص مکانیکی

# علائم اختصاری

A, B, C = coefficients

$d_1$ = die inlet diameter

$d_2$ = die outlet diameter

K = correction coefficient

k = power law coefficient

$L_1$, $L_C$, $L_2$ = insert lengths

L = effective length

n = power law coefficient

$P_0$ = initial pressure

$P_{Die}$ = die pressure

$P_{Extrusion}$ = extrusion pressure

Q = volume flow rate

$r_1$ = die inlet radius

$r_2$ = die outlet radius

$\alpha$ = insert angle

$\mu$ = friction coefficient

$\dot{\gamma}$ = shear rate

$\tau$ = shear stress

$\tau_y$ = yield shear stress

$\sigma_y$ = yield strength

فهرست مطالب | شماره صفحه


●فصل اول: **مقدمه** ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ اهداف پایان نامه ۴

۱-۳ ساختار پایان نامه ۵

●فصل دوم: **کامپوزیت چوب-پلاستیک و روش‌های فرآیندی** ۶

۲-۱ معرفی کامپوزیت چوب-پلاستیک ۷

۲-۲ مزایای کامپوزیت چوب-پلاستیک ۱۰

۲-۳ تاریخچه استفاده از کامپوزیت چوب-پلاستیک ۱۲

۲-۴ تحقیقات انجام شده ۱۴

۲-۵ کاربردهای کامپوزیت چوب-پلاستیک ۱۶

۲-۶ خواص کامپوزیت چوب-پلاستیک ۲۱

۲-۶-۱ مقاومت در برابر آتش ۲۱

۲-۶-۲ سازگاری با محیط زیست ۲۲

۲-۶-۳ خواص مکانیکی ۲۲

۲-۶-۴ پایداری در برابر رطوبت ۲۴

۲-۶-۵ رنگ و شرایط ظاهری ۲۵

۲-۶-۶ سایر موارد ۲۶

**۲-۷ استانداردهای موجود ۲۸**

**۲-۸ آینده کامپوزیت چوب-پلاستیک ۲۹**

**۲-۹ روش‌های تولید ۳۱**

**۲-۱۰ فرآیندهای مورد استفاده در تولید ۳۴**

۲-۱۰-۱ فرآیند اکستروژن ۳۴

۲-۱۰-۱-۱ اکسترودر تک ماردونه ۳۶

۲-۱۰-۱-۲ اکسترودر دو ماردونه ۳۷

۲-۱۰-۲ فرآیند تزریق ۳۸

**۲-۱۱ چالش‌ها و نکات قابل توجه در تولید کامپوزیت چوب-پلاستیک ۴۰**

**۲-۱۲ چکیده‌ای از برخی از پژوهش‌های مرتبط با موضوع تحقیق ۴۴**

۲-۱۲-۱ فشار در فرآیند اکستروژن ۴۴

۲-۱۲-۲ خواص مکانیکی کامپوزیت چوب-پلاستیک و مواد پلیمری در فرآیند اکستروژن ۴۵

۲-۱۲-۳ مجموعه تحقیقات صورت گرفته در دانشگاه تربیت مدرس ۴۷

•فصل سوم: **مواد، تجهیزات و روش آزمایش** ۴۹

۳-۱ مواد اولیه و تجهیزات مورد استفاده ۵۰

۳-۲ طراحی دای اکستروژن برای کامپوزیت چوب-پلاستیک ۵۲

۳-۳ اکستروژن کامپوزیت چوب-پلاستیک و تولید محصول ۵۴

۳-۴ اجرای تست‌های کشش و خمش و اندازه‌گیری چگالی ۶۰

•فصل چهارم: **نتایج تحقیق و بحث** ۶۲

۴-۱ نتایج تجربی اندازه‌گیری فشار ۶۳

۴-۲ نتایج تست‌های کشش و خمش ۶۴

۴-۳ مطالعه تئوری فشار اکستروژن ۶۹

۴-۳-۱ بررسی حالت‌های ممکن ۶۹

۴-۳-۱-۱ حالت اول ۶۹

۴-۳-۱-۲ حالت دوم ۷۰

۴-۳-۱-۳ حالت سوم ۷۱

۴-۳-۲ تخمین مقادیر اولیه ۷۱

۴-۳-۲-۱ تعیین ضرایب قانون توان ۷۱

۴-۳-۲-۲ تخمین فشار دستگاه ۷۲

۴-۳-۲-۳ تخمین استحکام تسلیم اولیه ۷۳

۴-۳-۳ نتایج محاسبه تئوری فشار ۷۵

**•فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات** ۷۸

۵-۱ نتیجه‌گیری ۷۹

۵-۲ پیشنهادات برای تحقیقات آینده ۸۰

**•منابع و مراجع** ۸۱

**•پیوست** ۸۸

نتایج تست کشش ۸۹

نتایج تست خمش ۹۹

نتایج اندازه‌گیری چگالی ۱۰۴

●جدول ۲-۱: افزودنی‌های WPC و تاثیرات آنها [۲۱] ۲۳

●جدول ۳-۱: مشخصات هندسی دای ۵۴

●جدول ۳-۲: شرایط فرآیندی آزمایش ۵۹

●جدول ۴-۱: مقادیر فشار تجربی ۶۳

●جدول ۴-۲: نتایج تست [کشش] ۶۴

●جدول ۴-۳: نتایج تست [خمش] ۶۵

●جدول ۴-۴: مقدار استحکام کششی مواد پلیمری [60] ۶۶

●جدول ۴-۵: مقدار استحکام خمشی مواد پلیمری [60] ۶۶

●جدول ۴-۶: خواص مکانیکی WPC [۶۱] ۶۷

●جدول ۴-۷: نتایج اندازه‌گیری [چگالی] ۶۸

●جدول ۴-۸: مقادیر استحکام تسلیم برای طول‌های موثر دای ۷۵

●جدول ۴-۹: مقایسه فشار تجربی فرآیند اکستروژن با نتایج تئوری جریان غیر نیوتنی و اکستروژن گرم ۷۶

●جدول ۴-۱۰: ضرایب تصحیح بدست آمده برای استحکام تسلیم ۷۶

●جدول ۴-۱۱: مقایسه فشار تجربی فرآیند اکستروژن با نتایج تئوری اکستروژن گرم تصحیح شده ۷۷

●شکل ۱-۱: مقایسه میزان استفاده از چوب در برابر الیاف طبیعی در تولید کامپوزیت چوب-پلاستیک [3] ۳

●شکل ۲-۱: نمونه‌ای از گرانول تولید شده کامپوزیت چوب-پلاستیک از پودر چوب و PE [6] ۸

●شکل ۲-۲: نمونه‌ای از کاربرد کامپوزیت چوب-پلاستیک در صنعت خودرو [15] ۱۶

●شکل ۲-۳: نمونه‌هایی از پالت‌های ساخته شده از کامپوزیت چوب-پلاستیک [16] ۱۷

●شکل ۲-۴: نمونه‌هایی از ابزار کشاورزی ساخته شده با استفاده از کامپوزیت چوب-پلاستیک [17] ۱۷

●شکل ۲-۵: استفاده از کامپوزیت چوب-پلاستیک برای کفپوش خارجی [2] ۱۸

●شکل ۲-۶: نمونه‌ای از کفپوش داخلی ساختمان تولید شده با استفاده از کامپوزیت چوب-پلاستیک [4] ۱۸

●شکل ۲-۷: نمونه‌ای از کاربرد کامپوزیت چوب-پلاستیک در دکوراسیون داخلی ساختمان [۱۹] ۱۹

●شکل ۲-۸: نمونه‌ای از در و چارچوب ساخته شده از کامپوزیت چوب-پلاستیک [۱۹] ۱۹

●شکل ۲-۹: نمونه‌ای از کاربرد این کامپوزیت در ساخت حصار و نرده [2] ۲۰

●شکل ۲-۱۰: نمونه‌ای از صندلی‌های تولید شده از کامپوزیت چوب-پلاستیک [20] ۲۰

●شکل ۲-۱۱: مقایسه میزان جذب رطوبت در کامپوزیت چوب-پلاستیک حاصل از روش‌های مختلف تولید [9] ۲۴

●شکل ۲-۱۲: کامپوزیت چوب-پلاستیک تولید شده در رنگ‌های مختلف [15] ۲۵

●شکل ۲-۱۳: استفاده از کامپوزیت چوب-پلاستیک به جای چوب در ساخت ایوان، با ظاهری کاملاً مشابه چوب [23] ۲۶

●شکل ۲-۱۴: خواص مختلف کامپوزیت چوب-پلاستیک [5] ۲۷

●شکل ۲-۱۵: نمونه‌هایی از قطعات تولید شده به روش قالبگیری تزریقی [20] ۲۹

●شکل ۲-۱۶: روش‌های موجود در تولید کامپوزیت چوب-پلاستیک [26] ۳۲

●شکل ۲-۱۷: شمای کلی یک اکسترودر دو ماردونه برای تولید کامپوزیت چوب-پلاستیک [27] ۳۳

●شکل ۲-۱۸: شمای کلی از ماردون مخروطی مورد استفاده برای تولید کامپوزیت چوب-پلاستیک [27] ۳۳

●شکل ۲-۱۹: نوعی صندلی چوب-پلاستیکی [28] ۳۴

●شکل ۲-۲۰: برخی پروفیل‌های چوب-پلاستیکی [21] ۳۵

●شکل ۲-۲۱: قسمت‌های مختلف یک دستگاه اکسترودر [21] ۳۶

●شکل ۲-۲۲: اکسترودر تک‌ماردونه به همراه قسمت‌های مختلف آن [21] ۳۷

●شکل ۲-۲۳: اکسترودر دوماردونه به همراه قسمت‌های مختلف آن [21] ۳۷

●شکل ۲-۲۴: شماتیکی از یک دستگاه تزریق [21] ۳۹

●شکل ۲-۲۵: محدوده دمای عملیاتی ترموپلاستیک‌های متداول در تولید کامپوزیت چوب-پلاستیک [30] ۴۱

●شکل ۳-۱: دستگاه خشک کن ۵۰

●شکل ۳-۲: دستگاه اکسترودر دو ماردونه ۵۱

●شکل ۳-۳: طرح شماتیک دستگاه اکستروژن ۵۱

●شکل ۳-۴: دای و اینسرت‌های داخلی آن ۵۲

●شکل ۳-۵: دای مونتاژ شده ۵۳

● شکل ۳-۶: طرح شماتیک اینسرت ۵۳
● شکل ۳-۷: تعدادی از محصولات نامناسب ۵۵
● شکل ۳-۸: محصولات با کیفیت مناسب ۵۷
● شکل ۳-۹: دای و سیستم اندازه‌گیری فشار ۵۸
● شکل ۳-۱۰: نمونه‌های اصلی آزمایش ۵۹
● شکل ۳-۱۱: دستگاه کشش ۵۰ تنی. ۶۰
● شکل ۳-۱۲ دستگاه تست کشش Zwick 1494. ۶۰
● شکل ۳-۱۳: دستگاه تست Instron 5500R جهت انجام تست خمش ۶۰
● شکل ۳-۱۴: نمونه‌های انتخاب شده برای اندازه‌گیری چگالی ۶۱
● شکل ۴-۱: نمودار فشار فرآیند بر حسب قطر خروجی دای ۶۳
● شکل ۴-۲: نمودار استحکام کششی بر حسب فشار فرآیند ۶۴
● شکل ۴-۳: نمودار استحکام خمشی بر حسب فشار فرآیند ۶۵
● شکل ۴-۴: نمودار چگالی بر حسب فشار فرآیند ۶۸
● شکل ۴-۵: فشارهای بخش‌های مختلف اینسرت ۶۹
● شکل ۴-۶: نتایج تست رئولوژی مواد [۵۸] ۷۲
● شکل ۴-۷: استخراج معادله فشار- تغییر قطر ۷۳
● شکل ۴-۸: استخراج معادله استحکام تسلیم- تغییر قطر ۷۴

●شکل ۴-۹: مقایسه فشارهای تئوری و تجربی ۷۷

فصل اول:

# مقدمه

## ۱-۱ مقدمه

سابقه استفاده از چوب به عنوان مواد پرکننده[1] در پلیمرها، به حدود ۹۰ سال گذشته باز می‌گردد. امروزه بعد از گذشت این دوران آماده‌سازی، ترکیب چوب و پلاستیک مورد توجه خاصی قرار گرفته است [1].

با قطع یک درخت و تبدیل آن به الوار، تیر یا کُنده برای کاربرد در ساخت محصولات و سازه‌های چوبی، تنها حدود ۵۰٪ از این درخت قابل استفاده مفید بوده و مابقی آن به صورت ضایعات به هدر خواهد رفت. این موضوع در حالی است که از ترکیب این ضایعات با مواد پلاستیکی، می‌توان کامپوزیتی تولید نمود که در فضای باز (بدون هیچگونه محافظت و نگهداری خاص)، عمر مفیدی بیش از ۲۰ سال داشته و با توجه به قابل بازیافت بودن این کامپوزیت، آسیبی نیز به محیط زیست وارد نمی‌شود [1].

با وجود رشد چشمگیر کاربرد این کامپوزیت در اروپا، بیش از ۸۵٪ مصرف کامپوزیت چوب-پلاستیک، مربوط به آمریکای شمالی بوده و اروپا به عنوان دومین بازار بزرگ برای آن مطرح می‌باشد [2] و هنوز فاصله زیادی از نظر مصرف بین این دو بازار مصرف وجود دارد.

در حدود ۹۰٪ این کامپوزیت، از ترکیب پودر و یا الیاف چوب با مواد پلیمری تولید شده و فایبرهای طبیعی از قبیل کنف و یا کتان، تنها ۱۰٪ را به خود اختصاص می‌دهند [3]. در اروپا بیشتر از الیاف طبیعی استفاده می‌شود، در حالیکه در آمریکا با توجه به منابع عظیم چوب قابل دسترس، بیشتر الیاف چوبی مورد توجه هستند [2]. شکل ۱-۱ میزان استفاده از چوب نسبت به سایر الیاف طبیعی را در سال ۲۰۰۱ نشان می‌دهد.

---

۱ Filler