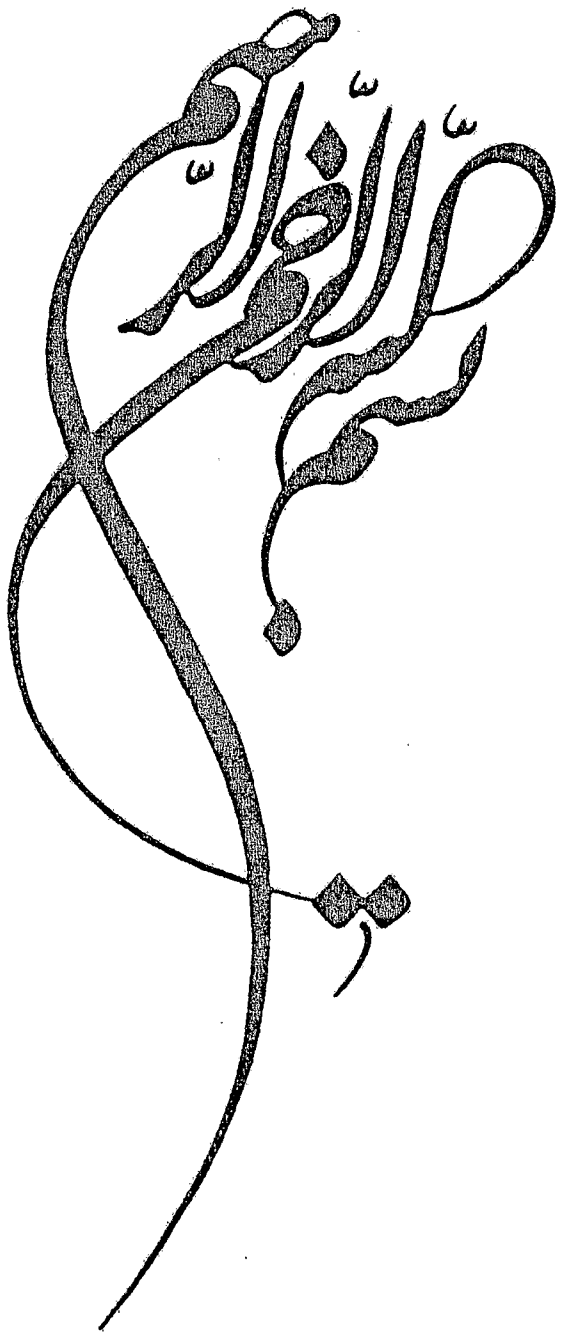
٨٧١١/١٠٠٠٨١
٨٧١٩٤٢




١٠٧٧٦٩

دانشگاه تربیت مدرس
TARBIAT MODARES UNIVERSITY

دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی

**گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ**

**پایان نامه دوره کارشناسی ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ**

# ارزیابی غیر مخرب مواد مرکب چوب- پلاستیک با روش اولتراسونیک

نگارش

**سارا بهجتی**

۱۳۸۷/۹/۱۲

استاد راهنما

**دکتر سعید کاظمی نجفی**

استاد مشاور

**دکتر قنبر ابراهیمی**

**مهر ۱۳۸۷**

۱۰۷۷۶۹

## تأییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

اعضای هیئت داوران نسخه نهائی پایان نامه خانم سارا بهجتی
تحت عنوان: : ارزیابی غیرمخرب مواد مرکب چوب – پلاستیک باروش اولتراسونیک

را از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی‌ارشد پیشنهاد می‌کنند.

| اعضای هیأت داوران | نام و نام خانوادگی | رتبه علمی | امضا |
|---|---|---|---|
| ۱- استاد راهنما | دکترسعید کاظمی نجفی | دانشیار | |
| ۲- استاد مشاور | دکترقنبر ابراهیمی | استاد | |
| ۳-نماینده‌شورای‌تحصیلات‌تکمیلی | دکتربهبود محبی | استادیار | |
| ۴- استاد ناظر | دکترمهران روح نیا | استادیار | |
| ۵- استاد ناظر | دکتربهبود محبی | استادیار | |

**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 هیئت علمی، دانشجویان، دانش آموختگاه و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی 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 بهره برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

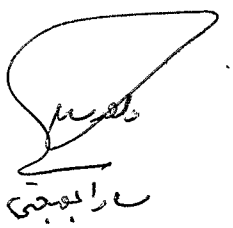
**ماده ۲-** انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه / رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی می‌باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما نویسنده مسئول مقاله باشند.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی به صورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان نامه / 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 آیین نامه‌های مصوب انجام شود.

**ماده ۴-** ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین المللی 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 هر گونه تخلف از مفاد این دستورالعمل از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.



## آیین نامه چاپ پایان نامه (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، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلا به طور کتبی به ((دفتر نشر آثار علمی)) 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 در رشته علوم و صنایع چوب و کاغذ است که در سال ۱۳۸۷ در دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر سعید کاظمی نجفی و مشاوره جناب آقای دکتر قنبر ابراهیمی از آن دفاع شده است.))

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به ((دفتر نشر آثار علمی)) دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تادیه 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 شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب سارا بهجتی دانشجوی رشته علوم و صنایع چوب و کاغذ مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی: سارا بهجتی

تاریخ و امضا:

تقدیم به آنان که مرا پرورش دادند و به من هنر زندگي کردن آموختند

پدر و مادرم

تقدیم به رنگ، روح و لطف زندگیم

همسرصبور و مهربانم

**تقدیر و سپاس**

خدا را سپاس می‌گویم که به من توان و پشتکار بخشید تا این مرحله از مراحل زندگی را با وجود تمام سختی‌ها و دشواری‌ها پشت سر گذارم. او که به عنوان اولین معلم بشر به من آموخت که از هر سختی همچون دستاوردی برای نیل به اهداف متعالی‌تر استفاده نمایم.

در این راه از کمک و مساعدت‌های فکری و علمی بندگان مهربانش سود جستم و اکنون لازم می‌دانم که از تمامی آنان که هر یک به نحوی در اجرای این پایان‌نامه مرا یاری نموده‌اند تشکر و قدردانی نمایم.

از استاد راهنمای عزیزم **جناب آقای دکتر سعید کاظمی نجفی**، به پاس تمامی محبت‌هایشان در طول تحصیلم در این دانشکده، تشکر می‌کنم. معلم علم و اخلاقی که به سرانجام رسیدن این تحقیق مرهون زحمات و ژرف‌نگری ایشان است.

از **جناب آقای دکتر قنبر ابراهیمی** استاد مشاور محترم که بودن در محضر ایشان افتخار بزرگی برایم بود و از راهنمایی‌های اندیشمندانه این استاد گرامی کمال استفاده را بردم.

از اساتید بزرگوار **جناب آقای دکتر بهبود محبی** و **دکتر مهران روح‌نیا** که زحمت داوری این پایان‌نامه را به عهده داشته‌اند.

از نماینده محترم تحصیلات تکمیلی **جناب آقای دکتر بهبود محبی**

از همکلاسی و برادر بسیار ساعی و مهربانم **جناب آقای مهندس قطبی‌فر** که در تمامی مراحل انجام این تحقیق از کمک و راهنمایی‌های ارزنده ایشان بهره‌مند بودم کمال سپاس و تشکر را دارم و برایشان سلامتی، کامیابی و موفقیت روزافزونی را آرزو میکنم.

**آقای مهندس کردی**، همسر دلسوزم که در راه اجرای پایان‌نامه از مساعدت‌های فکری و روحی دریغ نکردند.

از **جناب آقای بهزاد حسینی** مسئول آزمایشگاه صنایع چوب و **جناب آقای کرمانشاهی** مسئول کارگاه صنایع چوب که در مراحل ساخت و انجام آزمایشات مرا یاری نمودند تشکر می‌نمایم.

همچنین از دوستان عزیز و گرامی‌ام **خانم مهندس احمدلو** و **مهندس دشتی** که در مراحل مختلف این پژوهش مرا یاری نمودند تشکر و قدردانی می‌کنم.

در پایان برای تمامی عزیزان از درگاه خداوند متعال بهروزی و موفقیت آرزومندم.

سارا بهجتی

## چکیده:

دراین تحقیق انتشار موج اولتراسونیک در مواد مرکب پلی پروپیلن-آرد چوب مورد بررسی قرار گرفت و اثر پارامترهای مختلف نظیر مقادیر پرکننده سلولزی (آرد چوب)، سازگارکننده، مقدار الیاف شیشه، طول نمونه و دانسیته روی سرعت موج اولتراسونیک مطالعه گردید. بدین منظور مواد مرکب چوب-پلاستیک با درصدهای مختلف آرد چوب، سازگارکننده (MAPP) و الیاف شیشه با استفاده از دستگاه اکسترودر دو مارپیچ ناهمسوگرد ساخته شدند. سرعت موج طولی اولتراسونیک با روش عبوری و به وسیله دستگاه سیلواتست (فرکانس ۱۶ KHz) در نمونه‌های مورد آزمون اندازه‌گیری شد. همچنین سرعت موج اولتراسونیک در مواد تشکیل دهنده مواد مرکب پلی پروپیلن-آرد چوب یعنی چوب و پلی پروپیلن اندازه‌گیری شد و با سرعت موج در مواد مرکب چوب-پلاستیک مقایسه شد. ارتباط بین سرعت موج اولتراسونیک و مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد در اثر کاهش طول نمونه‌های چوب و مواد مرکب پلی پروپیلن-آرد چوب، سرعت موج اولتراسونیک در آنها افزایش می‌یابد. با افزایش میزان آرد چوب، سرعت موج اولتراسونیک کاهش و با افزایش مقدار الیاف شیشه و سازگارکننده (تا ۲ درصد) و همچنین افزایش دانسیته سرعت موج افزایش می یابد. مقایسه بین سرعت موج در مواد مرکب پلی پروپیلن-آرد چوب و سرعت موج در چوب و پلی پروپیلن نشان می دهد که سرعت موج اولتراسونیک در مواد مرکب پلی پروپیلن-آرد چوب بیشتر متاثر از فاز پیوسته (پلی‌پروپیلن) است. بین سرعت موج اولتراسونیک با مدول الاستیسیته استاتیکی و مدول گسیختگی همبستگی وجود دارد و ضریب تعیین آنها به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۴۹ می‌باشد.



**واژگان کلیدی:** ارزیابی غیرمخرب، مواد مرکب پلی پروپیلن-آرد چوب، سرعت امواج اولتراسونیک، الیاف شیشه، MAPP

# فهرست مطالب


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| **فصل اول: مقدمه و هدف** | |
| ۱-۱ مقدمه | ۲ |
| ۱-۱-۱ مواد مرکب چوب پلاستیک | ۲ |
| ۱-۱-۲ روش اولتراسونیک | ۴ |
| ۱-۲ هدف | ۷ |
| ۱-۳ فرضیه‌ها | ۸ |
| **فصل دوم: سابقه تحقیق** | |
| ۲ مروری بر مطالعات گذشته | ۱۰ |
| **فصل سوم: مواد و روشها** | |
| ۳ مواد و روشها | ۱۸ |
| ۳-۱ مواد | ۱۸ |
| ۳-۲ روشها | ۱۹ |
| ۳-۲-۱ ساخت نمونه های آزمونی | ۱۹ |
| ۳-۲-۲ روش اولتراسونیک | ۲۱ |
| ۳-۲-۳ آزمون خمش استاتیکی | ۲۳ |
| ۳-۲-۴ بررسی سرعت موج در مواد مرکب چوب-پلاستیک مورد مطالعه | ۲۴ |
| ۳-۲-۵ اندازه‌گیری سرعت موج در چوب | ۲۴ |
| ۳-۳ پردازش آماری داده‌ها | ۲۵ |
| **فصل چهارم: نتایج و بحث** | |
| ۴ نتایج و بحث | ۲۷ |

عنوان | صفحه


۴-۱ تاثیر مقدار آرد چوب بر دانسیته، مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی ۲۷
۴-۲ بررسی سرعت موج اولتراسونیک در مواد مرکب چوب-پلاستیک ۲۸
۴-۲-۱ اثر طول نمونه ۲۸
۴-۲-۲ اثر مقدار آرد چوب ۲۹
۴-۲-۳ سرعت موج اولتراسونیک در مواد مرکب هیبرید ۳۰
۴-۲-۴ اثر دانسیته ۳۴
۴-۲-۵ اثر سازگارکننده در مواد مرکب حاوی ۱۵٪ الیاف شیشه ۳۵
۴-۳ سرعت موج اولتراسونیک در پلی‌پروپیلن و چوب نراد ۳۷
۴-۴ مقایسه سرعت موج اولتراسونیک در مواد مرکب چوب‌پلاستیک و مواد تشکیل دهنده آن ۳۹
۴-۵ رابطه بین سرعت موج اولتراسونیک و مدول الاستیسیته استاتیک ۳۹
۴-۶ رابطه بین سرعت موج اولتراسونیک و مدول گسیختگی ۴۰

**فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها**

۵-۱ نتیجه‌گیری ۴۳
۵-۲ پیشنهادها ۴۶
**منابع** ۴۷

# فهرست جداول

**عنوان** **صفحه**


جدول ۳-۱ درصد وزنی اجزای تشکیل دهنده ترکیبات مختلف مواد مرکب هیبریدی پلی - پروپیلن، آردچوب و الیاف شیشه ۱۹

جدول ۳-۲ درصد وزنی اجزای تشکیل دهنده ترکیبات مختلف مواد مرکب پلی‌پروپیلن و آرد چوب ۲۰

جدول ۳-۳ شرایط فرایندی مورد استفاده در اکسترودر برای ساخت مواد مرکب پلی‌پروپیلن وآردچوب ۲۱

جدول۳-۴ مشخصات وسیله مورد استفاده برای اندازه‌گیری سرعت امواج طولی اولتراسونیک ۲۱

جدول۴-۱ تجزیه واریانس بین مقدار آرد چوب و دانسیته، مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی ۲۷

جدول۴-۲ مقادیر دانسیته، مدول الاستیسیته استاتیک و مدول گسیختگی در تیمارهای مختلف ۲۷

جدول۴-۳ تجزیه واریانس سرعت موج اولتراسونیک در طول‌های مختلف چوب-پلاستیک ۲۸

جدول۴-۴ تجزیه واریانس مقادیر سرعت موج اولتراسونیک در تیمارهای ۳ گانه ۲۹

جدول۴-۵ تجزیه واریانس مقادیر سرعت موج اولتراسونیک در تیمارهای ۸ گانه ۳۱

جدول۴-۶ تجزیه واریانس مقادیر دانسیته در تیمارهای ۸ گانه ۳۴

جدول۴-۷ سرعت موج اولتراسونیک در پلی‌پروپیلن و جهات مختلف چوب ۳۷

جدول۴-۸ تجزیه واریانس طول نمونه‌های چوب ۳۷

# فهرست اشکال

**عنوان** **صفحه**


شکل۱-۱ روش انعکاسی اولتراسونیک ۵
شکل۱-۲ روش عبوری اولتراسونیک ۶
شکل۳-۱ دستگاه اکسترودر ۲۰
شکل۳-۲ دستگاه سیلواتست ۲۲
شکل۳-۳ مته Conic ۲۲
شکل۳-۴ دستگاه DARTEC ۲۳
شکل ۴-۱ رابطه رگرسیونی سرعت موج اولتراسونیک و طول مواد مرکب چوب-پلاستیک ۲۹
شکل ۴-۲ اثر مقدار آرد چوب روی سرعت موج اولتراسونیک ۳۰
شکل۴-۳ اثر مستقل الیاف شیشه روی سرعت موج اولتراسونیک ۳۲
شکل۴-۴ اثر مستقل سازگارکننده روی سرعت موج اولتراسونیک ۳۳
شکل۴-۵ اثر متقابل سازگارکننده و الیاف شیشه روی سرعت موج اولتراسونیک ۳۳
شکل۴-۶ اثر دانسیته روی سرعت موج اولتراسونیک ۳۵
شکل۴-۷ اثر سازگارکننده روی سرعت موج اولتراسونیک در نمونه‌های دارای ۱۵ درصد الیاف شیشه ۳۶
شکل۴-۸ اثر طول روی سرعت موج اولتراسونیک در نمونه‌های چوب ۳۸
شکل۴-۹- رابطه رگرسیونی سرعت موج اولتراسونیک و طول نمونه‌های چوب ۳۸
شکل۴-۱۰ مقایسه سرعت موج اولتراسونیک و مدول الاستیسیته استاتیک ۴۰
شکل۴-۱۱ مقایسه سرعت موج اولتراسونیک و مدول گسیختگی ۴۱

# فصل اول

# مقدمه، هدف و فرضیه ها

## ۱-۱ مقدمه

### ۱-۱-۱ مواد مرکب چوب-پلاستیک

مواد مرکب چوب-پلاستیک[1] که به اختصار WPC نامیده می‌شوند، گروه نسبتا جدیدی از مواد مرکب هستند که تولید و مصرف آنها به‌سرعت روبه گسترش می‌باشد. درساخت این مواد محدوده وسیعی از پلیمرها مانند پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، پلی‌ونیل‌کلراید، پلی استر و.... به همراه پرکننده‌ها یا تقویت‌کننده‌های طبیعی و لیگنوسلولزی شامل آرد و الیاف چوب، الیاف کتان، کنف، بامبو، کاه و ... مورد استفاده قرار می‌گیرند (Bledzki و Gassan، ۱۹۹۹).

با توجه به ویژگی‌های بسیار خوب مواد مرکب چوب پلاستیک (حمیدی نیا، ۱۳۸۳) و (Bledzki و همکاران، ۱۹۹۸) این مواد کاربردهای مختلفی پیدا کرده‌اند (Clemons، ۲۰۰۲) و استفاده از آنها به‌سرعت رو به افزایش و گسترش می‌باشد. تجارت مواد مرکب چوب-پلاستیک از سال ۱۹۹۸ رشد ۲۵ درصدی داشته است. تقاضا برای تولید مواد مرکب چوب- پلاستیک در آمریکای شمالی و اروپا از ۵۰۰۰۰ تن در سال ۱۹۹۵ به ۷۰۰۰۰ تن در سال ۲۰۰۲ رسیده است. پیش بینی شده است که WPC ها تا سال ۲۰۱۰ حدود ۱۴ درصد در سال رشد داشته باشند. تجارت WPC ها بیشترین رشد را در بخش‌های مختلف صنعت پلاستیک داشته است (Morton و Rossi، ۲۰۰۳). این مواد کاربردهای زیادی دارند و می‌توانند به راحتی در بیشتر موارد جایگزین تولیدات چوبی و پلاستیکی شوند.

با توجه به رشد روز افزون مواد مرکب چوب-پلاستیک، نحوه بررسی و تحلیل خواص فیزیکی و مکانیکی با اهداف تحقیقاتی و کنترل کیفی نیز مورد توجه بوده است. به علت جدید بودن ماده مرکب چوب-پلاستیک خصوصیات این ماده عمدتا با استفاده از روشهای استاتیکی[2] مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا بسته به این‌که درصد پلاستیک بیشتر باشد یا درصد پرکننده

[1] Wood plastic composites
[2] Static methods

لیگنوسلولزی، بیشتر از استاندارد های مربوط به پلاستیک و یا مواد مرکب چوبی مانند استانداردهای ASTM D256, ASTM D1037 و ASTM D570 استفاده می‌شده است. در سال ۲۰۰۴ برای اولین بار آیین نامه D7031 را استاندارد ASTM تحت عنوان ارزیابی خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات چوب و پلاستیک منتشر کرد و امروزه از این استاندارد در ارزیابی محصولات چوب پلاستیک استفاده می شود.

روش‌های استاتیکی روش‌هایی مخرب و وقت‌گیر و هزینه‌بر می‌باشند که در آنها امکان ارزیابی همه محصولات وجود ندارد و با آزمایش بر روی بخشی از محصول باید نتیجه را با استفاده از روش-های آماری به کل مواد تعمیم داد که این خود سبب عدم قطعیت در روند ارزیابی‌ها می شود.

امروزه طیف وسیعی ازانواع پلیمر، پرکننده، تقویت‌کننده و سازگارکننده‌ها با فرمولاسیون متعدد و پیچیده برای ساخت انواع مواد مرکب چوب-پلاستیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. با افزایش قابل ملاحظه حجم تولید و استفاده روزافزون و فراگیر مواد مرکب چوب-پلاستیک، لزوم ارزیابی سریع، ارزان، دقیق، درون خطی[1] و البته، غیر مخرب این مواد نیز ضروری به نظر می‌رسد، که این امر کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

مواد مرکب چوب-پلاستیک از یک سو شباهت‌هایی با مواد مرکب چوبی دارند و از سوی دیگر نیز شباهت‌هایی با ترموپلاستیک‌های تقویت‌شده فیبری دارند. اگرچه گزارشات بسیار محدودی درباره ارزیابی غیر مخرب مواد چوب-پلاستیک وجود دارد ولی منابع زیادی درباره ارزیابی غیر مخرب مواد مرکب چوبی و مواد مرکب تقویت شده فیبری وجود دارد. از بین انواع روش‌های غیر-مخرب برای ارزیابی این دو دسته از مواد، ارزیابی غیرمخرب با روش اولتراسونیک[2] به‌طور قابل ملاحظه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است و به نظر می‌رسد که روش مناسبی برای ارزیابی

[1] on line
[2] Ultrasonic technique

غیرمخرب مواد مرکب چوب-پلاستیک باشد. به همین منظور در این تحقیق استفاده از این روش در ارزیابی مواد مرکب چوب- پلاستیک مورد توجه قرار گرفته است.

### ۱-۱-۲ روش اولتراسونیک

در ارزیابی اولتراسونیکی، امواج اولتراسونیک در داخل مواد ارسال می‌شود و بر اساس ویژگی‌های امواج خروجی وضعیت مواد مورد شناسایی قرار می‌گیرد. امواج اولتراسونیک امواج ارتعاشی ساده‌ای هستند که دارای فرکانس بالاتر از فرکانس دامنه شنوایی انسان هستند و معمولا بـه فرکـانس‌هـای بالای ۲۰KHz اطلاق می‌شوند. بیشترین دامنه‌ای که در عمل برای شناسایی معایب مورد اسـتفاده قرار می‌گیرد، اولتراسونیک با فرکانس ۲۰ KHz تا ۲۰ MHz می‌باشد. به دلیل این‌که چـوب و مـواد مرکب چوبی تضعیف کننده امواج اولتراسونیک هستند، بایستی از امـواج اولتراسـونیک بـا فرکـانس پایین در ارزیابی این مواد استفاده کرد. چون WPC ها امواج اولتراسونیک با فرکانس بالا را به‌شدت تضعیف می‌کنند.

انواع اصلی امواج اولتراسونیک، طولی، عرضی (برشی) و سطحی می‌باشند. امواج طولی که به علت ایجاد نیروهای فشاری، امواج فشاری نامیده می‌شوند، می‌توانند در جامدات، مایعات و گازها انتشار یابند و بیشترین کاربرد را در آزمون غیرمخرب مواد دارند. ارزیابی امواج عرضی کلا به جامدات محدود شده است. چون انتشار در مایعات تنها در انواع خیلی ویسکوز اتفاق می‌افتد. انواع متعدد از امواج سطحی وجود دارند که از بین آنها موج Ray leigh اغلب بیشترین استفاده را در آزمون غیرمخرب دارد (Bozhang و Pellerin، ۱۹۹۶).

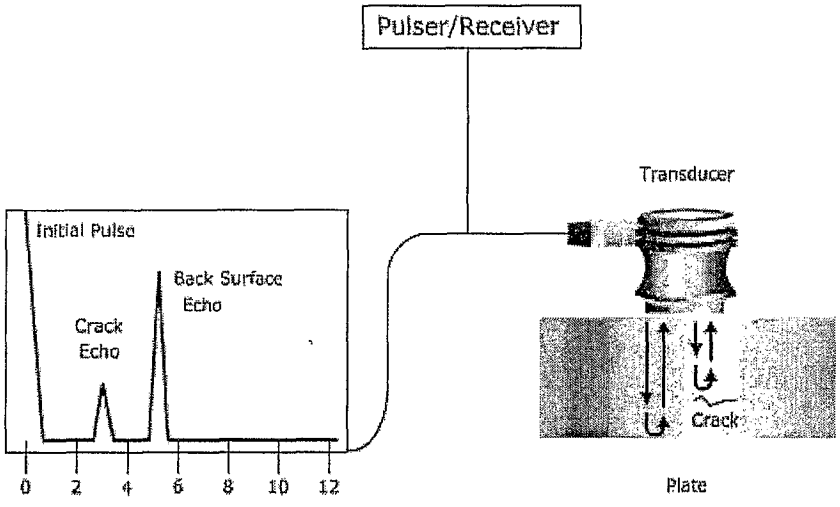
خواص انتشار موج اولتراسونیک مستقیما به خواص الاستیک محیط و اندازه نسبی ماده تحت بررسی مربوط می‌شود. سرعت انواع مختلف موج به وسیله مدول الاستیسیته، دانسیته و ضرایب پواسون ماده‌ای که در آن منتشر می‌شود تحت تاثیر قرار می‌گیرد (کاظمی نجفی، ۱۳۷۸). سرعت موج طولی اولتراسونیک (V) با رابطه زیر محاسبه می شود:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \qquad ۱-۱$$

که $E$ مدول الاستیته و ρ دانسیته می باشد. همچنین سرعت امواج اولتراسونیک که معمولا بر حسب متر بر ثانیه (m/s) بیان می‌شود با رابطه زیر به فرکانس f (Hz) و طول موج λ (m) مربوط می‌شود(۱-۲).

$$V=f\lambda \qquad ۱-۲$$

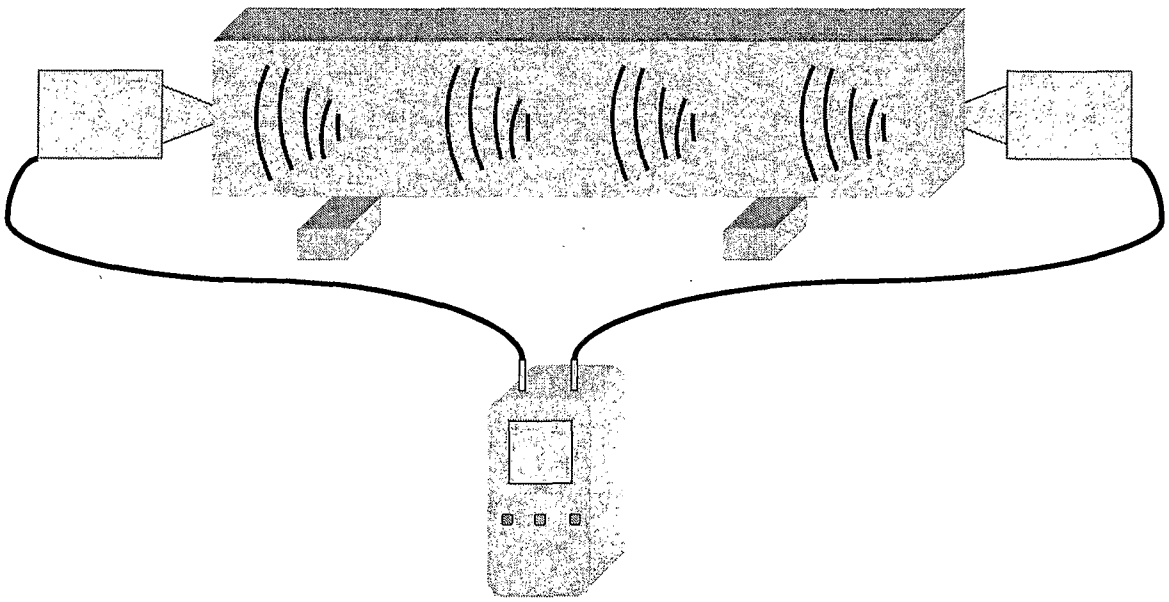
دو روش مرسوم ارزیابی اولتراسونیکی مواد وجود دارد. روش اول روش انعکاسی[1] است که فقط از یک مبدل[2] استفاده می‌شود که نقش گیرنده و فرستنده را ایفا می‌کند(شکل ۱-۱).




**شکل ۱-۱ روش انعکاسی اولتراسونیک**

روش دوم روش عبوری[1] است و برای موادی که تضعیف کننده موج هستند (مواد متخلخل ومواد چوبی) کاربرد دارد. در این روش از دو مبدل استفاده می‌شود که یکی نقش فرستنده و دیگری دریافت کننده امواج را بر عهده دارند (شکل ۱-۲).

[1] Pulse – echo method
[2] Transducer



**شکل ۱-۲ روش عبوری اولتراسونیک**

برای توسعه یک روش تکنولوژیک و موثر غیرمخرب با استفاده از امواج اولتراسونیک در ارزیابی خواص مواد، در ابتدا لازم است درک مناسبی از نحوه انتشار امواج در مواد مورد نظر وجود داشته باشد. با شناخت پدیده انتشار امواج اولتراسونیک در مواد می‌توان به روابط بین خواص فیزیکی و مکانیکی مورد نظر با یک پارامتر اولتراسونیکی مناسب پی برد و یا در شناسایی معایب از آنها استفاده کرد. با توجه به این‌که مواد مرکب چوب-پلاستیک با روش‌های مختلف تولید می‌شوند و در ساخت آنها از انواع پلاستیک‌ها (خام و بازیافتی) با درصدهای مختلف، انواع پرکننده‌ها با شکل‌های مختلف (آرد یا الیاف) و درصدهای متفاوت و یا به صورت هیبرید با پرکننده‌های مصنوعی، انواع سازگارکننده و غیره استفاده می‌شود، بنابراین مطالعه نحوه تاثیرگذاری این عوامل بر سرعت اولتراسونیک به منظور توسعه یک روش موثر و کارآمد تکنولوژیک در ارزیابی غیر مخرب مواد مرکب چوب-پلاستیک با استفاده از روش اولتراسونیک ضروری به نظر می‌رسد.

---

[1] Through transmission method

## ۱-۲ هدف:

هدف از این مطالعه بررسی انتشار امواج طولی اولتراسونیکی در مواد مرکب چوب-پلاستیک می باشد و طی آن سعی می‌شود به سوالات زیر پاسخ داده شود:

۱- درصدهای مختلف آرد چوب چه تاثیری بر سرعت اولتراسونیک مواد مرکب چوب-پلاستیک دارد؟

۲- تقویت مواد مرکب چوب-پلاستیک با الیاف شیشه چه تاثیری بر سرعت اولتراسونیک خواهد گذاشت؟

۳- سازگار کننده چه تاثیری بر سرعت اولتراسونیک مواد مرکب چوب-پلاستیک دارد؟

۴- رابطه بین سرعت اولتراسونیک و خواص خمشی مواد مرکب چوب-پلاستیک چگونه است؟

۵- چه تفاوتی بین سرعت موج اولتراسونیک در مواد مرکب چوب-پلاستیک با مواد تشکیل دهنده آن یعنی چوب و پلاستیک وجود دارد؟

## ۱-۳ فرضیه‌ها

با توجه به سوالات تحقیق مطرح شده پاسخ‌های فرضی زیر به عنوان فرضیه‌های تحقیق در نظر گرفته شدند:

۱- با افزایش درصد آرد چوب و الیاف شیشه، سرعت موج اولتراسونیک در مواد مرکب چوب-پلاستیک زیاد می‌شود.

۲- استفاده از سازگار کننده سرعت موج اولتراسونیک را در مواد مرکب چوب-پلاستیک افزایش می‌دهد.

۳- سرعت موج اولتراسونیک در مواد مرکب چوب-پلاستیک بیشتر از پلاستیک و کمتر از جهت طولی چوب است.

۴- همبستگی بین سرعت اولتراسونیک و مقاومت خمشی در مواد مرکب چوب-پلاستیک مورد مطالعه، معنی‌دار است.