



K. N. Toosi University of Technology

Faculty of Mechanical Engineering

Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirements for the Degree of Bachelor of Science (B.Sc)
in Mechanical Engineering.

Development of polypropylene composites using treated date palm fibers as filler

By:

Sina Taghizadeh

Supervisor:

Dr. Mohammad Ravandi

Summer 2021



۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی مکانیک

پروژه کارشناسی

توسعهٔ کامپوزیت پلی‌پروپیلن با پرکنندهٔ الیاف خردشده و فرآوری شدهٔ نخل خرما

نگارش:

سینا تقی زاده

استاد راهنما:

دکتر محمد راوندی

حق طبع، نشر و مالکیت نتایج

- ۱- حق چاپ و تکثیر این پروژه متعلق به نویسنده و استاد/استادان راهنمای آن می‌باشد. هرگونه تصویربرداری از کل یا بخشی از پروژه تنها با موافقت نویسنده یا استاد/استادان راهنمای یا کتابخانه دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد.
- ۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.
- ۳- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود پروژه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

تشکر و قدردانی

از جناب آقای دکتر محمد راوندی عزیز بابت پیگیری‌ها و راهنمایی‌های دقیق و کارآمدشان و از جناب آقای دکتر سهیل داریوشی عزیز بابت مشاوره‌ها و همراهی کامل و تمام وقت ایشان در طول پروژه، کمال تشکر و قدردانی را دارم و بدون یاری‌ها و رهنماوهای این دو بزرگوار، به سرانجام رساندن این پروژه هرگز محقق نمی‌گشت.

همچنین از جناب آقای مهندس فرجزاده که همواره راهنمای بندۀ بودند و سرکار خانم حسینی که مسئولیت تهییه لوازم موردنیاز در کارگاه را بر عهده داشتند نیز سپاسگزارم.
در انتها نیز از تمام کسانی که سهم هر چند کوچکی در به ثمر رسیدن این پروژه داشته‌اند، بسیار تشکر و قدردانی می‌نمایم.

چکیده

ما در این پژوهش ابتدا با بیان کلیاتی پیرامون کامپوزیت‌های الیاف طبیعی، اشاره نمودیم که الیاف نخل خرما به عنوان عضوی از خانواده‌ی الیاف طبیعی گیاهی می‌توانند پس از گذراندن فرآوری‌هایی برای بهبود خواص شان به عنوان تقویت کننده یا پرکننده در کاربردهایی همچون صنایع خودروسازی و یا تجهیزات ورزشی موثر واقع شوند. در ادامه با بهره‌گیری از پژوهش‌های پیشین انجام شده و انجام کارهای تجربی جدید توانستیم به یک فرآیند منسجم و دقیق برای فرآوری و خردایش الیاف خرما دست یابیم. سپس به ساخت نمونه‌ها با درصدهای جرمی بالاتری الیاف خرما با روش قالب‌گیری فشاری ادامه دادیم و دریافتیم تا حدود ۶۰ درصد جرمی استفاده از الیاف خرما برای این نوع پلیمر قابل اجرا است. در نهایت با انجام تست‌های خمش و مقایسه‌ی استحکام و مدول الاستیسیته‌ی خمشی نمونه‌ها با یکدیگر و با پلیمر اولیه، دریافتیم که درصد بهینه‌ی الیاف برای لطمه نزدن به استحکام خمشی پلیمر اولیه، ۲۰ درصد می‌باشد و در درصدهای بالاتر مزیت‌های اقتصادی استفاده از الیاف ارزان به جای پلیمر اولیه می‌تواند در بسیاری موارد همچنان این کامپوزیت‌ها را به صرفه‌تر از کامپوزیت‌های دیگر و یا پلیمر خالص اولیه‌اش نماید.

کلمات کلیدی : الیاف نخل خرما، کامپوزیت‌های پرشده، فرآوری الیاف طبیعی، فرآیند قالب‌گیری

فشاری

فهرست مطالب

عنوان	صفحة
فهرست جداول	۵
فهرست اشکال	ذ
فصل ۱ - مقدمه	۱
۱-۱ - تعریف مواد کامپوزیت	۱
۱-۱-۱ - کامپوزیت‌های الیافی	۱
۱-۲-۱ - کامپوزیت‌های پرشده	۲
۲-۱ - کامپوزیت‌های الیاف طبیعی	۲
۲-۲-۱ - الیاف طبیعی	۳
۲-۲-۲ - فرآوری الیاف طبیعی	۷
۳-۱ - الیاف نخل خرما	۷
۳-۲ - پلیپروپیلن	۱۰
۴-۱ - فرآیند قالب‌گیری فشاری	۱۰
فصل ۲ - فرآیند ساخت	۱۳
۱-۲ - تهیی موارد نیاز	۱۳
۲-۲ - طراحی فرآیند فرآوری و خردایش الیاف	۱۳
۱-۲-۲ - طرح‌ریزی مراحل خردایش و فرآوری الیاف (شماره ۱)	۱۴
۲-۲-۲ - پیاده‌سازی مراحل خردایش و فرآوری الیاف (شماره ۱)	۱۵
۳-۲ - ساخت کامپوزیت شماره ۱	۱۹
۱-۳-۲ - آماده‌سازی پلیپروپیلن برای ساخت	۱۹
۲-۳-۲ - ترکیب الیاف و پلیمر با نسبت مشخص	۲۰
۳-۳-۲ - استفاده از دستگاه پرس برای پخت کامپوزیت	۲۲
۴-۳-۲ - آنالیز نمونه‌ی اول ساخته شده	۲۴
۴-۴ - فرآیند نهایی خردایش و فرآوری الیاف نخل خرما	۲۶

۲۷.....	-۵-۲ ساخت نمونه‌ها با درصد جرمی بالاتر
۳۰	-۱-۵-۲ آنالیز نمونه‌های با درصدهای جرمی بالاتر
۳۰.....	-۶-۲ ساخت نمونه‌های هیبرید الیاف خرما و شیشه
۳۴.....	-۳ فصل نتایج، بحث و اظهارنظر
۳۴.....	-۱-۳ نامگذاری نمونه‌ها
۳۵.....	-۲-۳ تست نمونه‌ها
۳۵.....	-۱-۲-۳ تست خمین
۴۱.....	-۳-۳ نتایج تست خمین
۴۱.....	-۱-۳-۳ نتایج تست تحت روش A
۴۹.....	-۲-۳-۳ نتایج تست تحت روش B
۵۸.....	-۴ فصل نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۵۸.....	-۱-۴ نتیجه‌گیری
۵۹.....	-۲-۴ پیشنهادات
۶۰	فهرست منابع

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱. خواص برخی از الیاف طبیعی و مصنوعی [2]	۸
جدول ۱-۲. ترکیب شیمیایی برخی الیاف طبیعی	۹
جدول ۳-۱ . معرفی نمونه ها	۳۵
جدول ۳-۲ . مقادیر استحکام و مدول الاستیسیتهی خمثی نمونهها تحت روش A	۴۶
جدول ۳-۳ . مقادیر استحکام و مدول الاستیسیتهی خمثی نمونهها تحت روش B	۵۴

فهرست اشکال

عنوان	صفحة
شكل ۱-۱ . تقسیم‌بندی الیاف طبیعی	۳
شكل ۱-۲ . مقایسه‌ی میزان مصرف انواع الیاف [6]	۳
شكل ۱-۳ . جذب رطوبت الیاف و از بین رفتن چسبندگی بین الیاف و ماتریس[7]	۵
شكل ۱-۴ . واکنش انجام شده در اثر فرآوری قلیایی [6]	۶
شكل ۱-۵ . استفاده از الیاف طبیعی در صنعت خودروسازی	۶
شكل ۱-۶ . ساختار الیاف گیاهی [12]	۹
شكل ۱-۷ . شماتیک یک دستگاه پرس هیدرولیکی	۱۱
شكل ۲-۱ . پودر پلیپروپیلن خردباری شده از شرکت پتروشیمی جم	۱۳
شكل ۲-۲ . الیاف نخل خرمای تهیه شده از دزفول	۱۳
شكل ۲-۳ . آسیاب استفاده شده برای خردایش الیاف	۱۵
شكل ۲-۴ . نمونه‌ی الیاف خام قبل از فرآیند آسیاب	۱۶
شكل ۲-۵ . نمونه‌ی الیاف خام پس از فرایند آسیاب	۱۶
شكل ۲-۶ . انتخاب مش با گرید ۵۰ و شست و شوی الیاف	۱۷
شكل ۲-۷ . الیاف پس از چندین بار شست و شو	۱۷
شكل ۲-۸ . محلول ۳درصد جرمی سدیم هیدروکسید	۱۸
شكل ۲-۹ . محلول سدیم هیدروکسید حاوی الیاف پس از یک روز	۱۸
شكل ۲-۱۰ . الیاف خردشده و فرآوری شده پس از خروج از آون	۱۹
شكل ۲-۱۱ . قالب مورد استفاده‌ی ما در فرآیند قالب‌گیری فشاری	۲۱
شكل ۲-۱۲ . ترکیب الیاف خردشده و پودر پلیمر با درصد جرمی مذکور	۲۲
شكل ۲-۱۳ . دستگاه پرس ۱۵ تن مورد استفاده برای پخت کامپوزیت	۲۳
شكل ۲-۱۴ . ریختن ترکیب در قالب	۲۴
شكل ۲-۱۵ . نمونه‌ی شماره‌ی ۱	۲۴
شكل ۲-۱۶ . نمونه‌ی شماره‌ی ۲ با ۱۰ درصد جرمی الیاف نخل خرما	۲۵
شكل ۲-۱۷ . تصویر زیر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی ۱۰ درصد جرمی	۲۶
شكل ۲-۱۸ . نمونه‌ی ۱۵ درصد جرمی الیاف	۲۸
شكل ۲-۱۹ . نمونه‌ی ۲۰ درصد جرمی الیاف	۲۸

..... ۲۸	شکل ۲-۲۰ . نمونه‌ی ۳۰ درصد جرمی الیاف
..... ۲۹ شکل ۲-۲۱ . نمونه‌ی ۴۰ درصد جرمی الیاف
..... ۲۹ شکل ۲-۲۲ . نمونه‌ی ۵۰ درصد جرمی الیاف
..... ۲۹ شکل ۲-۲۳ . نمونه‌ی ۶۰ درصد جرمی الیاف
..... ۳۰ شکل ۲-۲۴ . الیاف شیشه‌ی خرد شده
..... ۳۱ شکل ۲-۲۵ . ترکیب ۴۰ درصد خرما و ۱۰ درصد شیشه
..... ۳۱ شکل ۲-۲۶ . نمونه‌ی هیبرید الیاف خرما و شیشه‌ی خردشده
..... ۳۲ شکل ۲-۲۷ . الیاف شیشه‌ی رووینگ پس از رشته‌رشته شدن
..... ۳۲ شکل ۲-۲۸ . الیاف رووینگ شیشه خام
..... ۳۲ شکل ۲-۲۹ . نمونه‌ی هیبرید الیاف خرما و شیشه‌ی رووینگ
..... ۳۶ شکل ۳-۱ . نمونه‌های ۲۰ درصد جرمی برای تست خمث
..... ۳۶ شکل ۳-۲ . نمونه‌های ۳۰ درصد جرمی برای تست خمث
..... ۳۶ شکل ۳-۳ . نمونه‌های ۱۰ درصد جرمی برای تست خمث
..... ۳۶ شکل ۳-۴ . نمونه‌های ۱۵ درصد جرمی برای تست خمث
..... ۳۶ شکل ۳-۵ . نمونه‌های ۴۰ درصد جرمی برای تست خمث
..... ۳۶ شکل ۳-۶ . نمونه‌های ۵۰ درصد جرمی برای تست خمث
..... ۳۷ شکل ۳-۷ . نمونه‌های هیبرید با شیشه‌ی خردشده جرمی برای تست خمث
..... ۳۷ شکل ۳-۸ . نمونه‌ی هیبرید با شیشه‌ی رووینگ آماده شده برای برش
..... ۳۷ شکل ۳-۹ . نمونه‌های ۶۰ درصد جرمی برای تست خمث
..... ۳۷ شکل ۳-۱۰ . نمونه‌های پلی‌پروپیلن خالص بریده شده برای تست خمث
..... ۳۹ شکل ۳-۱۱ . دستگاه تست خمث سه نقطه‌ای مورد استفاده
..... ۴۰ شکل ۳-۱۲ . نمونه قبل از حرکت کراس‌هد
..... ۴۰ شکل ۳-۱۳ . نمونه پس از 2.5mm انحراف
..... ۴۱ شکل ۳-۱۴ . نمونه پس از 6mm انحراف و شکست در سطح خارجی
..... ۴۱ شکل ۳-۱۵ . نمونه‌ی ۱۰ درصد جرمی پس از تست به روش A
..... ۴۱ شکل ۳-۱۶ . پلی‌پروپیلن خالص پس از تست به روش A
..... ۴۲ شکل ۳-۱۷ . نمونه‌ی ۵۰ درصد جرمی پس از تست به روش A
..... ۴۲ شکل ۳-۱۸ . نمونه‌ی ۴۰ درصد جرمی پس از تست به روش A
..... ۴۲ شکل ۳-۱۹ . نمونه‌ی ۳۰ درصد جرمی پس از تست به روش A

..... ۴۲	شکل ۳-۲۰ . نمونه‌ی ۲۰ درصد جرمی پس از تست به روش A
..... ۴۲ شکل ۳-۲۱ . نمونه‌ی ۱۵ درصد جرمی پس از تست به روش A
..... ۴۳ شکل ۳-۲۲ . نمونه‌ی هیبرید خرما و شیشه‌ی رووینگ پس از تست به روش A
..... ۴۳ شکل ۳-۲۳ . نمونه‌ی هیبرید خرما و شیشه‌ی خردشده پس از تست به روش A
..... ۴۳ شکل ۳-۲۴ . نمونه‌ی ۰۰ عدرصد جرمی پس از تست به روش A
..... ۴۴ شکل ۳-۲۵ . منحنی نیرو-تغییرمکان تمام نمونه‌ها تحت روش A
..... ۴۵ شکل ۳-۲۶ . نمودار تنش-کرنش نمونه‌ها تحت روش A
..... ۴۶ شکل ۳-۲۷ . مقایسه‌ی استحکام خمثی نمونه‌ها تحت روش A
..... ۴۸ شکل ۳-۲۸ . مقایسه‌ی مدول الاستیسیته‌ی خمثی نمونه‌ها تحت روش A
..... ۴۹ شکل ۳-۲۹ . پلیپروپیلن خالص پس از تست به روش B
..... ۴۹ شکل ۳-۳۰ . نمونه‌ی ۱۰ درصد جرمی پس از تست به روش B
..... ۵۰ شکل ۳-۳۱ . نمونه‌ی ۴۰ درصد جرمی پس از تست به روش B
..... ۵۰ شکل ۳-۳۲ . نمونه‌ی ۳۰ درصد جرمی پس از تست به روش B
..... ۵۰ شکل ۳-۳۳ . نمونه‌ی ۲۰ درصد جرمی پس از تست به روش B
..... ۵۰ شکل ۳-۳۴ . نمونه‌ی ۱۵ درصد جرمی پس از تست به روش B
..... ۵۱ شکل ۳-۳۵ . نمونه‌ی هیبرید خرما و شیشه‌ی رووینگ پس از تست به روش B
..... ۵۱ شکل ۳-۳۶ . نمونه‌ی هیبرید خرما و شیشه‌ی خردشده پس از تست به روش B
..... ۵۱ شکل ۳-۳۷ . نمونه‌ی ۰۰ عدرصد جرمی پس از تست به روش B
..... ۵۱ شکل ۳-۳۸ . نمونه‌ی ۵۰ درصد جرمی پس از تست به روش B
..... ۵۲ شکل ۳-۳۹ . تصویر میکروسکوپی قسمت میانی نمونه‌ی ۱۰ درصد
..... ۵۲ شکل ۳-۴۰ . تصویر میکروسکوپی ترک ایجاد شده در نمونه‌ی ۲۰ درصد
..... ۵۳ شکل ۳-۴۱ . منحنی نیرو-تغییر مکان نمونه‌ها تحت روش B
..... ۵۳ شکل ۳-۴۲ . نمودار تنش-کرنش نمونه‌ها تحت روش B
..... ۵۴ شکل ۳-۴۳ . مقایسه‌ی استحکام خمثی نمونه‌ها تحت روش B
..... ۵۵ شکل ۳-۴۴ . مقایسه‌ی مدول الاستیسیته‌ی خمثی نمونه‌ها تحت روش B

فصل ۱

مقدمه

فصل ۱ - مقدمه

۱-۱- تعریف مواد کامپوزیت

تعریف متنوعی برای مواد کامپوزیتی وجود دارد. طبق تعریف انجمن فلزات آمریکا^۱، کامپوزیت به موادی اطلاق می‌شود که از ترکیب ماکروسکوپی دو یا چند ماده مجزا ساخته شده باشند به طوریکه سطح مشترک مشخصی بین آن‌ها وجود داشته باشد.

در واقع محققین مواد با خواص گوناگون را بایکدیگر ترکیب می‌کنند تا به موادی با خواص و ویژگی‌های مطلوب نظر خود تحت عنوان کامپوزیت دست یابند.

کامپوزیت‌ها از یک بخش پیوسته (ماتریس) که در داخلش یک یا چند بخش غیرپیوسته (تقویت‌کننده) وجود دارد، تشکیل می‌شوند. با توجه به ابعاد و هندسه‌ی بخش غیرپیوسته‌ی آن، تقسیم‌بندی کامپوزیت‌ها صورت می‌گیرد که تقسیم‌بندی زیر نمونه‌ای آن می‌باشد:

- کامپوزیت‌های الیافی
- کامپوزیت‌های لایه‌ای
- کامپوزیت‌های ذره‌ای
- کامپوزیت‌های پولکی یا پوسته‌ای
- کامپوزیت‌های پرشده

در این پژوهش ما به سراغ کامپوزیت‌های پرشده و الیافی رفتئايم.

۱-۱-۱ - کامپوزیت‌های الیافی

این نوع کامپوزیت خود به دو نوع کامپوزیت‌ها با الیاف بلند (پیوسته) و کوتاه (غیرپیوسته) تقسیم‌بندی می‌شود.

زمانی که الیاف غیرپیوسته باشند و کوتاه‌تر از چند میلیمتر باشند به آنها الیاف کوتاه می‌گویند. این دست از کامپوزیت‌ها به دلیل قیمت کم، عملیات ساده و خواص مکانیکی بهتر نسبت به ماتریس خالص‌شان، در صنایع مختلفی از جمله اتومبیل‌ها، خودروهای تجاری، اقلام مصرفی بادوام، لوازم ورزشی و صنایع الکتریک بسیار کاربرد دارند [1].

در ساخت یا استفاده از کامپوزیت‌های الیاف کوتاه، توجه به طول بحرانی الیاف بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

¹ ASM International

۱-۱-۱- طول بحرانی الیاف

اگر الیاف از یک طولی کوتاه تر باشند نمی‌توانند حداکثر نقش تقویت کنندگی خود را ایفا کنند این طول، طول بحرانی آنها نامیده می‌شود. بنابراین اگر طول الیاف بزرگتر یا مساوی طول بحرانی آنها باشد، می‌توانند اثر مناسبی بر تقویت استحکام ماتریس، به شرط وجود چسبندگی مناسب با ماتریس، داشته باشند [2]. این طول بحرانی (Lc) از معادله (۱-۱) حصول می‌یابد:

$$lc = R_f \times \sigma_f^u / T \quad (1-1)$$

که در آن R_f شعاع الیاف، σ_f^u استحکام کششی الیاف و T نیز تنفس برشی واسطه‌ای در وجه مشترک می‌باشد [1].

۲-۱- کامپوزیت‌های پرشده

در این نوع کامپوزیت‌ها فاز تقویت کننده شکل مشخصی ندارد و عموماً به سبب دستیابی به خواص غیرمکانیکی همچون اصلاح ضرایب گرمایی، الکتریسیته و ... تولید می‌شوند ولی بیشترین کاربرد این کامپوزیت‌ها در کاهش قیمت محصول می‌باشد. برخی مطالعات نشان داده‌اند که می‌توان از الیاف خرما به عنوان یک پرکننده‌ی موثر در پلیمر‌های گرمانترم و گرماسخت استفاده نمود [3].

۲- کامپوزیت‌های الیاف طبیعی

کامپوزیت‌های الیاف طبیعی گونه‌ای از کامپوزیت‌های الیافی می‌باشند که به جای استفاده از الیاف مصنوعی مانند شیشه و کربن، از الیاف طبیعی مانند کتف و کتان در آنها استفاده می‌شود. دلیل روی آوردن به این الیاف مشکلات زیست محیطی، هزینه‌ی بالای الیاف مصنوعی و همچنین کاهش منابع الیاف مصنوعی روی زمین می‌باشد [4, 5].

اولین استفاده از این نوع کامپوزیت‌های الیاف طبیعی نیز مربوط به سال ۱۹۳۰ میلادی می‌باشد که هنری فورد^۱، موسس شرکت خودروسازی فورد، از الیاف طبیعی شاهدانه^۲ در ساخت پنل‌های بدنه‌ی یکی از خودروهایش استفاده کرد [3].

در ادامه به بررسی بیشتر الیاف طبیعی می‌پردازیم.

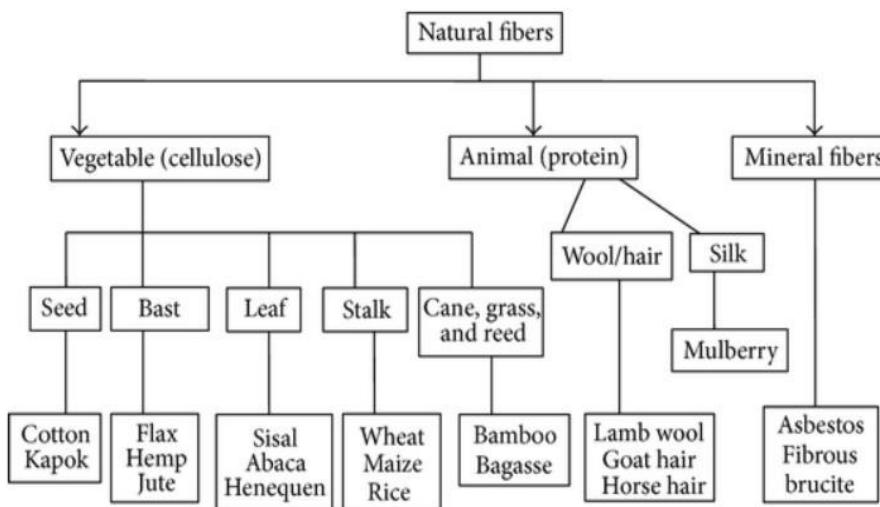
¹ Henry Ford

² Hemp

۱-۲-۱- الیاف طبیعی

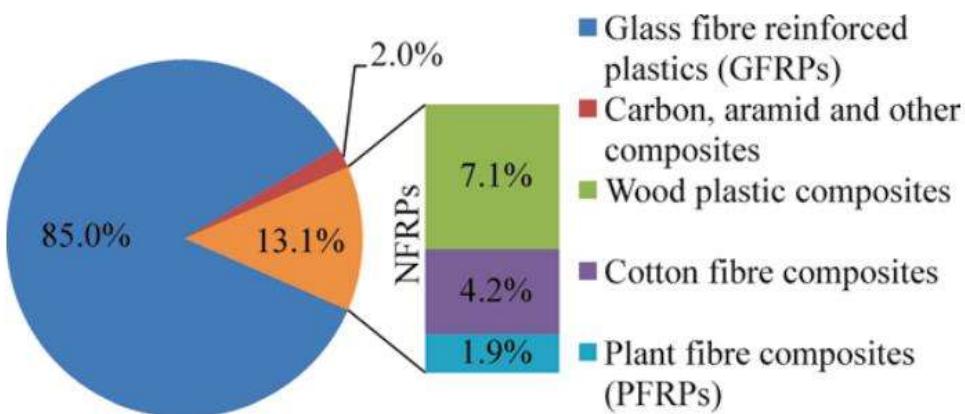
الیاف طبیعی به طور کلی به سه دسته‌ی الیاف گیاهی، حیوانی و معنی مطابق شکل ۱-۱

تقسیم‌بندی می‌شوند.^۱



شکل ۱-۱ . تقسیم‌بندی الیاف طبیعی

بخش اعظم استفاده از این الیاف مربوط به الیاف گیاهی یا به بیان دقیق‌تر الیاف سلولزی می‌باشد. به طوریکه مطابق آماری که در سال ۲۰۱۰ منتشر شده است مطابق شکل ۱-۲ حدود ۱۳ درصد کل الیاف تولیدی، الیاف طبیعی بوده اند که ۷ درصد آن‌ها را چوب، ^۲ ۴ درصد آن را الیاف کتان ^۲ و ۲ درصد مابقی آن را نیز سایر الیاف گیاهی تشکیل داده‌اند [6].



شکل ۱-۲ . مقایسه‌ی میزان مصرف انواع الیاف [6]

^۱ <https://www.aplustopper.com/wp-content/uploads/2016/09/Natural-Fibres.jpg>

^۲ Cotton

در پژوهش دیگری که در سال ۲۰۱۹ انجام شده است آمده است که علاوه بر الیاف کتان^۱، کنف^۲ و چتایی^۳(جوت) نیز به دلیل خواص مکانیکی بسیار رایح هستند [3].

۱-۱-۲-۱- ویژگی های الیاف طبیعی

الیاف طبیعی نیز همانند همهٔ مواد دیگر یکسری مزایا و معایب دارند.

مزیت های استفاده از الیاف طبیعی شامل:

- چگالی کم
- ارزان بودن
- زیست تخریب پذیری
- غیر سمی
- عایق حرارتی [7]
- خاصیت دمپ کنندگی
- قابلیت سوزاندن در انتهای عمر [3]
- انرژی مصرفی برای تولید بسیار کمتر از الیاف مصنوعی مثل شیشه و کربن [8]

همچنین از جمله عیوب این الیاف می‌توان موارد زیر را برشمرد:

- چسبندگی^۴ ضعیف با پلیمر [7]
- جذب رطوبت زیاد [5]
- فرسایش در اثر مجاورت با هوا [3]
- تجزیه در دماهای بالا (از همی سلولز شروع می‌شود) [8]
- ناهمگنی [4]

۱-۱-۲-۲- مشکل جذب رطوبت در الیاف طبیعی

همانطور که در بخش قبل بیان شد یکی از اساسی‌ترین مشکلات در الیاف طبیعی تمایل آن‌ها به جذب رطوبت می‌باشد.

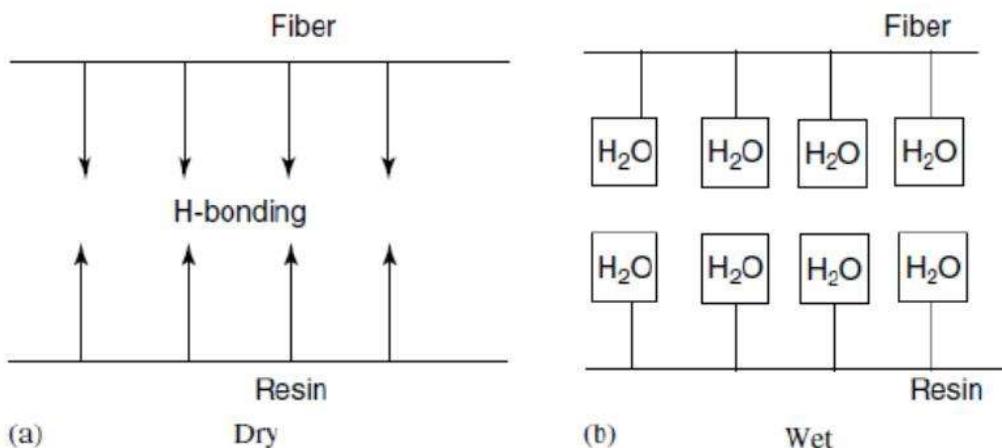
¹ flax

² hemp

³ jute

⁴ adhesion

برقراری پیوند با آب به سبب وجود گروه هیدروکسیل (OH) متصل به الیاف خصوصا سلولز الیاف می باشد. بنابراین هرچه سلولز در الیاف بیشتر باشد علارغم اینکه استحکام و مدول خمشی، چقرمگی شکست و استحکام ضربه افزایش میابد جذب رطوبت هم در آنها بیشتر می شود.



شکل ۱-۳ . جذب رطوبت الیاف و از بین رفتن چسبندگی بین الیاف و ماتریس [7]

جذب رطوبت از این جهت مشکل ساز است که آب جذب شده توسط الیاف به عنوان جداکننده بین ماتریس و الیاف عمل کرده و چسبندگی بین آن دو از بین می رود (شکل ۱-۳). همچنین این خاصیت می تواند منجر به ورم کردن این الیاف در محیط های مرطوب و انقباض آنها در محیط های خشک شود [7]. برای حل این مشکل اساسی، محققین دو مسیر را دنبال می کنند:

۱. افروden موادی به ترکیب کامپوزیت در حین ساخت.

۱.۱. افروden n-SiC: علاوه بر کاهش جذب آب باعث بهبود خواص مکانیکی نیز می شود [7].

۱.۲. افروden NanoClay: علاوه بر کاهش جذب آب، یک محیط نفوذناپذیر در مقابل جریان آب ایجاد می کند تا آب مجبور شود از مسیر دیگری حرکت کند و بدین ترتیب زمان بیشتری برای نفوذ نیاز داشته باشد [7].

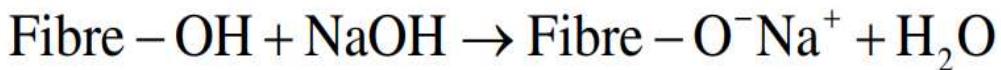
۱.۳. افروden Maleic anhydride-grafted polypropylene MAPP: افروden ۳درصد (MAPP) باعث ایجاد چسبندگی بهتر بین الیاف و ماتریس می شود و استحکام خمشی و کششی را بهبود می بخشد ولی اثری بر سفتی ندارد [9].

۲. اصلاح شیمیایی الیاف قبل از فرایند ساخت.

پرکاربردترین روش در این بخش فرآوری قلیایی^۱ می باشد که عموما با سدیم هیدروکسید (NaOH) صورت می گیرد شکل ۴-۱. نحوه کار این روش به این صورت است که ما گروه هیدروکسیل متصل

¹ Alkaline Treatment

به الیاف که زمینه‌ی جذب رطوبت را فراهم می‌کرد را با گروه دیگری که مستعد جذب رطوبت نیست جایگزین می‌کنیم [6].



شکل ۴-۱. واکنش انجام شده در اثر فرآوری قلبایی [6]

ما نیز در این پژوهش مسیر دوم را پی گرفتیم و طبق تحقیقات پیشین خود از محلول ۳درصد جرمی سدیم هیدروکسید در آب برای این منظور استفاده نمودیم که در فصل بعدی به طور مفصل در این زمینه صحبت خواهد شد.

۳-۱-۲-۱- کاربردهای الیاف طبیعی

همانطورکه شروع استفاده از این الیاف در صنایع خودروسازی بود؛ امروزه نیز بیشترین استفاده‌ی این الیاف در صنایع خودروسازی می‌باشد.

الیافی همچون سیسال، کنف و کتان بسیار در قطعات داخلی خودرو مثل پشتی صندلی، پنلهای بدنه، داشبورد و ... (شکل ۱-۵) مورد استفاده هستند. به عنوان مثال شرکت مرسدس بنز در یکی از مدل‌هایش از الیاف نارگیل برای صندلی و در یکی دیگر از مدل‌هایش از الیاف کتان و سیسال به منظور تقویت سازی پنلهای در ش بهره‌جسته است. همچنین به دلیل خاصیت دمپ‌کنندگی ارتعاشات و سبکی در الیاف طبیعی، از این الیاف بسیار در ساختمان‌ها و صنایع ساخت‌وساز جهت مقاوم‌سازی در مقابل طوفان و زلزله بهره گرفته می‌شود [3].



همچنین در تجهیزات ورزشی همچون راکت تنیس، فریم دوچرخه و ... نیز به همان دلیل سبکی و دمپ‌کنندگی ارتعاشات مورد توجه می‌باشند [8].

۱

شکل ۱-۵ . استفاده از الیاف طبیعی در صنعت خودروسازی

۱-۲-۲- فرآوری الیاف طبیعی

همانطور که پیشتر اشاره نمودیم؛ الیاف طبیعی علارغم ارزان تر و راحت الوصول تر بودن نسبت به الیاف مصنوعی، دارای عیوبی نیز بودند که مهترین آن ها ناهمگنی، تمایل به جذب رطوبت و اتصال ضعیف با پلیمر بودند.

از این رو نمی‌توان این الیاف را به محض دستیابی وارد پروسه‌ی ساخت نمود و لازم است فرآیندهایی جهت بهبود این خواص و از بین بردن یا کاهش نقص‌های آن ها انجام داد، تا بدین ترتیب یک فرآوری روی الیاف صورت پذیرد و عملکرد آن ها در داخل ماتریس به بهترین حالت ممکن درآید.

هدف از فرآوری از بین بردن گرد و غبار و مواد مومی و صمغی متصل به دیواره الیاف و همچنین کاهش لیگنین و همی‌سلولز و افزایش نسبی سلولز الیاف می‌باشد تا بدین ترتیب ناپیوستگی بین الیاف و زمینه کاهش یابد و فرآیند اتصال با پلیمر بهتر صورت پذیرد [10], [11].

فرآوری‌ها به دو صورت فیزیکی و شیمیایی انجام می‌شوند:

در فرآوری فیزیکی کارهایی همچون خردایش، شستن، الک‌کردن و رطوبت‌گیری انجام می‌شود و در فرآوری شیمیایی انجام فرآوری‌های قلیایی با مواد مختلفی مثل NaOH و HCl و KOH در دستور کار قرار می‌گیرد. پس از انجام تمام این فرآیندها می‌توان الیاف را با پلیمر ترکیب نموده و ساخت کامپوزیت را شروع نمود. هدف اصلی این پژوهش رسیدن به یک فرآیند مناسب و معقول برای خردایش و فرآوری الیاف خرما و ساخت کامپوزیت‌های با درصدهای جرمی متفاوت با این الیاف خردشده و فرآوری شده می‌باشد.

۳-۲-۱- الیاف نخل خرما

طبق آمار منتشر شده در سال ۱۴۰۷ ایران با تولید سالانه ۱۹۲۰۲۰۰۰ تن خرما، سومین کشور تولیدکننده‌ی بزرگ خرما در جهان می‌باشد.^۱

بخش بسیار مهمی از این نخل‌های خرما که تحت عنوان لیف خرما یا لیف نخیلات شناخته می‌شوند و در فاصله‌ی بین دمبرگ‌ها و خود تنه‌ی نخل قرار دارند؛ به سبب ذخیره‌ی رطوبت در خودشان، محل مناسبی برای رشد و تخم گذاری حشرات می‌باشند لذا برای نخل مضر هستند و سالانه باید این درختان هرس شده و این بخش جدا شود.^۲

پس از هرس نخل‌ها این بخش بسیار مهم تحت عنوان ضایعات شناخته شده و بخش اعظم آن سوزانده می‌شود. این در حالی است پژوهش‌های زیادی صورت گرفته است که نشان می‌دهد که می‌توان این بخش ها را جدا کرده و از آن‌ها به عنوان تقویت کننده و یا پرکننده در کامپوزیت‌ها استفاده کرد [2]. لازم به ذکر است که الیاف خرما بالاترین نسبت سفتی به قیمت را بین الیاف طبیعی دارند [2].

¹ Wikipedia

² www.sabzkavoshan.com

جدول ۱-۱ خواص برخی الیاف طبیعی را به همراه الیاف نخل خرما نشان می‌دهد:

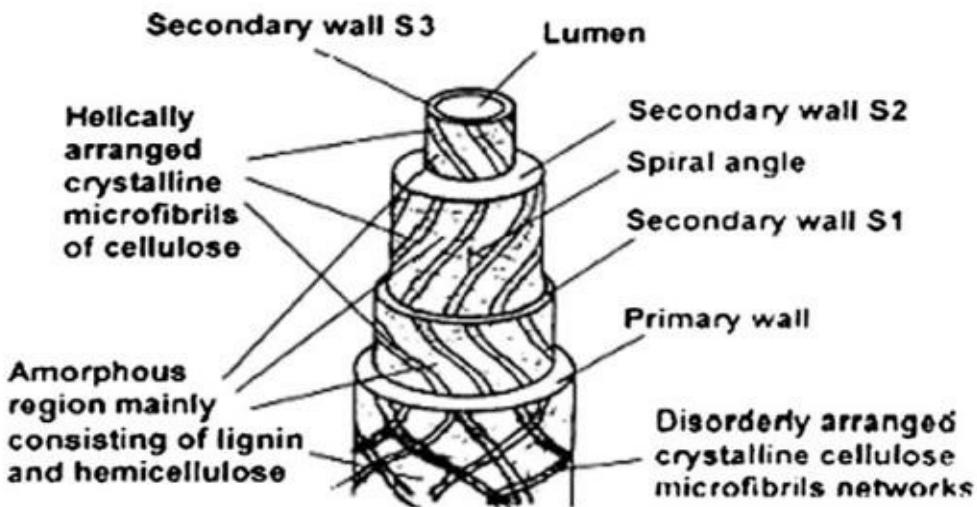
جدول ۱-۱. خواص برخی از الیاف طبیعی و مصنوعی [2]

لیف	چگالی (g/cm ³)	مقاومت کششی (MPa)	مدول یانگ (GPa)	کرنش٪
پنبه	1.5-1.6	287-597	5.5-12.6	7.0-8.0
جوت	1.3	393-773	26.5	1.5-1.8
خرما	0.9-1.2	170-275	5-12	2-19
کتان	1.5	345-1035	27.6	2.7-32
شاهدانه	-	690	-	1.6
رامی ^۲	-	400-938	61.4-128	3.6-3.8
سیسال	1.5	511-635	9.4-22	2.0-2.5
نارگیل	1.2	175	4-6	30.0
ویسکوز	-	593	11	11.4
شیشه-ای	2.5	2000-3500	70	2.5
شیشه-اس	2.5	4570	86	2.8
آرامید	1.4	3000-3150	63.0-67.0	3.3-3.7
کربن	1.4	4000	230-240	1.4-1.8

از جدول ۱-۱ مشاهده می‌شود که چگالی الیاف خرما نسبت به سایر الیاف کمتر بوده که این موجب سبکی کامپوزیت نهايی ساخته شده به کمک آن خواهد بود و اين يك مزيت محسوب می‌گردد. همچنین مشاهده می‌شود که مقاومت کششی و مدول یانگ الیاف خرما نسبت به سایر الیاف طبیعی (به جز نارگیل) کمتر است لذا برای مقاصدی همچون استحکام بخشی خيلي نمی‌تواند اثرگذار باشد. ولی به عنوان يك پرکننده‌ی سبک و ارزان بسیار می‌تواند موثر واقع شود و در صورت ترکیب با مواد گران قیمت دیگر در کسرهای وزنی و حجمی بالا، قیمت نهايی محصولات را به طور چشم‌گیری کاهش دهد.

۱-۳-۲-۱ - ترکیب شیمیایی الیاف نخل خرما

ساختار کلیه‌ی الیاف گیاهی به صورت شکل ۱-۶ می‌باشد [12]:



شکل ۱-۶ . ساختار الیاف گیاهی [12]

الیاف خرما همانند همه‌ی الیاف گیاهی دیگر از سه بخش اصلی سلولز، لیگنین و همیسلولز تشکیل می‌گردد. همانطورکه در شکل ۱-۶ نیز مشاهده می‌شود، خود الیاف طبیعی نیز به نوعی یک کامپوزیت الیافی هستند به طوریکه الیاف سلولزی، که دارای ساختار کریستالی نیز می‌باشند، درون ماتریس لیگنین، که ساختار آمورف دارد، به صورت مارپیچی قرار گرفته‌اند و همانطورکه قبل نیز اشاره شد؛ هر چه سلولز این الیاف بیشتر باشد استحکام آن‌ها نیز بیشتر خواهد بود.

در جدول ۱-۲ ترکیب شیمیایی الیاف خرما در کنار چند مورد الیاف طبیعی دیگر آورده شده است [13]:

جدول ۱-۲. ترکیب شیمیایی برخی الیاف طبیعی

نوع الیاف	درصد نسبی سلولز (%)	درصد نسبی لیگنین (%)	درصد نسبی همیسلولز (%)	درصد نسبی رطوبت (%)
الیاف نخل خرما	5	18	20	46
الیاف چتایی	12.6	13.6_20.4	12_13	61_71.5
الیاف کتان	10	18.6_20.6	2.2	71
الیاف سیسال	11	10_14.2	8_11	67.78

در این جدول نیز مشاهده می‌شود که الیاف خرما مقدار سلولز کمتری نسبت به الیاف دیگر (به جز نارگیل) دارند که همین موضوع موجب کاهش استحکام آن‌ها در مقابل الیاف دیگر می‌باشد.

۱-۳-پلی پروپیلن

پلی پروپیلن یک پلیمر ترموپلاستیک پایه نفتی است.

مطابق [14] مدول یانگ پلی پروپیلن حدود 1.3 GPa می باشد و در جدول ۱-۱ نیز مشاهده کردیم که مدول یانگ الیاف نخل خرما در حدود ۵ تا ۱۲ گیگا پاسکال بود؛ لذا از آنجاییکه مدول الیاف نخل بالاتر از مدول پلیمر است؛ می توان نتیجه گرفت که به لحاظ تئوری امکان تقویت سازی مکانیکی پلی پروپیلن با الیاف نخل خرما وجود خواهد داشت.

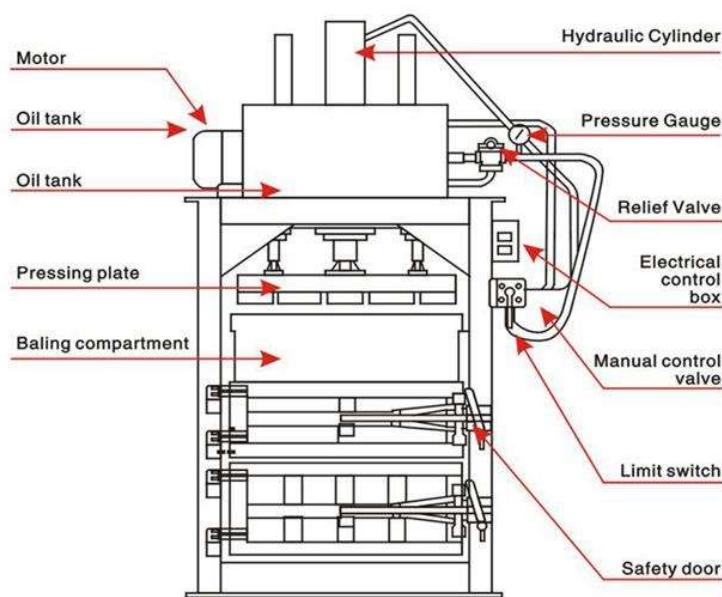
۱-۴-فرآیند قالب‌گیری فشاری

در حین فرآیند ساخت، انتخاب نوع فرآیند ساخت و تنظیم پارامترهای آن حائز اهمیت فراوان می باشد؛ چرا که نوع فرآیند ساخت مستقیما بر ساختار ماده اثر می گذارد و با تغییر ساختار ماده، ویژگی های آن ماده دستخوش تغییر خواهند شد و با تغییر ویژگی ها نیز کار کرد و کاربرد ماده دچار دگرگونی خواهد شد.

در ساخت کامپوزیت های الیاف طبیعی نیز، فرآیند ساخت یکی از اساسی ترین نقش ها را دارد. برای ساخت این نوع مواد فرآیند های مختلفی استفاده می شود که پر کاربرد ترین آنها قالب‌گیری فشاری^۱ و قالب‌گیری تزریقی^۲ می باشند. راه اول در صنایع برای تولید انبوه مرسوم تر است [15]. برای ساخت به این روش نیازمند یک دستگاه پرس می باشیم که مواد مورد نظر را بین فک های آن قرار داده و با بستن فک ها، نمونه را برای مدتی مشخص و از پیش تعریف شده، تحت فشار و دمای مدنظر خود قرار دهیم.

¹ Compression Molding

² Injection Molding



شکل ۱-۷ . شماتیک یک دستگاه پرس هیدرولیکی

سه پارامتر اصلی این فرآیند فشار، دما و زمان می‌باشند. با تغییر هریک از این پارامتر کیفیت محصول خروجی تغییر پیدا خواهد کرد. با توجه به مشخصات فیزیکی الیاف و پلیمر این پارامترها مشخص می‌شوند تا در نهایت مقادیر بهینه برای این سه فاکتور به دست آیند [16].

^۱<https://www.machinemfg.com/wp-content/uploads/2018/05/Hydraulic-Press-Structure-Diagram.png>

فصل ۲

فرآیند ساخت

فصل ۲- فرآیند ساخت

در این بخش کل پروسه‌ی عملیاتی پژوهش را به تفصیل بیان خواهیم کرد.

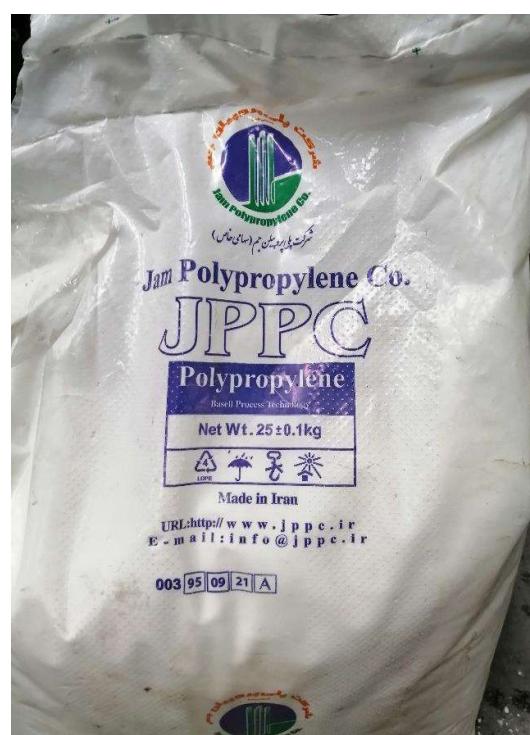
۱-۱- تهییه موارد نیاز

اولین مرحله در فرآیند ساخت محصول، تهییه موارد نیاز می‌باشد.

ما الیاف نخل خرما را از شهر دزفول تهییه نمودیم و پودر پلی‌پروپیلن را تحت نام Jampilen HP550J از شرکت پتروشیمی جم خریداری نمودیم. تصاویر این دو در شکل ۱-۲ و شکل ۲-۲ آورده شده است.



شکل ۲-۲ . الیاف نخل خرمایی تهییه شده از دزفول



شکل ۲-۱ . پودر پلی‌پروپیلن خریداری شده از شرکت پتروشیمی جم

۲-۱- طراحی فرآیند فرآوری و خردایش الیاف

همانطور که در بخش مقدمه بدان اشاره شد، الیاف طبیعی را نمی‌توان مستقیماً وارد پروسه‌ی ساخت نمود و بایستی در طی یکسری از فرآیندهای از پیش تعیین شده و در یک چهارچوب درست و معنی‌دار، عملیات خردایش و فرآوری روی این الیاف خام صورت پذیرد تا آماده‌ی استفاده در فرآیند قالب‌گیری فشاری شوند.

لذا ما با توجه به تحقیقات پیشین انجام شده که بخشی از آن‌ها در مقدمه نیز ذکر شدند، فرآیند زیر را طراحی نمودیم تا با فیدبکی که در حین پروسه‌ی فرآوری و خردایش، در حین ساخت و یا پس از ساخت از آن می‌گیریم به مرور فرآیند را بهینه‌تر کرده تا درنهایت به فرآیند نهایی دست یابیم. فرآیند اولی که برای این منظور تهیه شد در ادامه بیان خواهد شد.

۱-۲-۲ - طرح‌ریزی مراحل فرآیند خردایش و فرآوری الیاف (شماره ۱)

این فرآیند در ۸ مرحله طرح‌ریزی گردید که در زیر پس از هر مرحله، هدف از آن مرحله ذکر شده است:^۱

۱. خردایش کامل الیاف خام:

در این مرحله الیاف را که به صورت پیوسته بودند با کمک آسیاب خانگی خرد می‌کنیم. هدف از این کار ایجاد امکان ساخت با روش قالب گیری فشاری بود؛ چراکه ما در این فرآیند کنترلی بر روی جهتگیری الیاف نداریم و درصورت پیوسته بودن الیاف، نتایج مطلوب ما نخواهند بود.

۲. شستشوی الیاف با آب:

در این مرحله الیاف خرد شده را چندین مرحله با آب می‌شوییم. هدف از این کار جدا کردن گرد و خاک موجود اولیه در الیاف بود.

۳. عبور از صافی:

در این مرحله باید به روش آزمون و خطای گرید مناسب صافی را بیابیم و با کمک آن عمل آبکشی الیاف خرد شده را انجام دهیم.

هدف از این مرحله نیز آبکشی الیاف بود.

۴. فرآوری قلیایی:

در این مرحله باید الیاف را به مدت ۲۴ ساعت در محلول ۳ درصد سدیم هیدروکسید قرار دهیم [17]. هدف از این مرحله نیز جدا کردن وکس و چربی و لیگنین‌ها برای خالص سازی سلولز بود. همچنین ایجاد شدن حفراتی روی سطح الیاف برای برقراری چسبندگی بهتر با پلیمر نیز از دیگر اهدافی بود که در این مرحله دنبال می‌شد.

۵. عبور از صافی:

همانند مرحله ۳.

۶. شستشو با آب:

^۱ لازم به ذکر است که این فرآیند ذکر شده در این قسمت یک طرح‌ریزی اولیه بوده و صرفا جهت آشنایی خواننده با پروسه‌ی انجام پروژه مطرح گردیده است چراکه در حین اجرا تغییراتی در آن پدید آمده است که در ادامه ذکر خواهد شد. با این این فرآیند نهایی نبوده و مورد تایید برای اجرا نمی‌باشد.

هدف این کار نیز تمیز شدن سطح الیاف از محلول قلیایی استفاده شده در مرحله‌ی قبل بود.

۷. عبور از صافی:

همانند مرحله‌ی ۳.

۸. گذاشتن در آون در دما و زمان مشخص:

در این مرحله الیاف را در آون با دمای ۹۰ درجه به مدت ۲ ساعت قرار می‌دهیم [16].

هدف از این مرحله نیز خارج شدن رطوبت از الیاف بود.

پس از اتمام این ۸ مرحله، الیاف خرد شده و فرآوری شده آماده‌ی ترکیب با پلیمر و قرار گرفتن در زیر دستگاه پرس برای ساخت خواهند بود.

پس از طراحی فرآیند شماره‌ی ۱ به سراغ انجام فرآیند رفتیم.

۲-۲-۲ - پیاده‌سازی مراحل فرآیند خردایش و فرآوری الیاف (شماره‌ی ۱)

مرحله‌ی اول) خردایش کامل الیاف خام

برای این منظور از یک آسیاب خانگی استفاده نمودیم که تصویر آن در شکل ۲-۳ آمده است.



شکل ۲-۳ . آسیاب استفاده شده برای خردایش الیاف

الیاف پس از حدود ۱۰ دقیقه آسیاب شدن به طول‌هایی در حدود ۶ میلیمتر رسیدند.

شکل ۲-۴ و شکل ۲-۵ این الیاف را قبل و بعد از آسیاب نشان می‌دهد.



شکل ۲-۵ . نمونه‌ی الیاف خام پس از فرآیند آسیاب



شکل ۲-۴ . نمونه‌ی الیاف خام قبل از فرآیند آسیاب

مرحله‌ی دوم) شست و شو با آب

در این مرحله الیاف خرد شده را داخل ظرف آبی ریخته و هم زدیم تا گرد و خاک و ذرات اضافی متصل به آن در آب حل شود و از الیاف جدا شود.

مرحله‌ی سوم) صافی

برای آبکشی و شست و شوی چندباره‌ی الیاف جهت جدا شدن کامل گرد و خاک آن نیاز به یک صافی با گرید مشخصی داشتیم؛ به طوریکه الیاف در بالای صافی به دام بیفتدند و گل و لای و ذرات اضافی از لابه‌لای آن عبور کند.

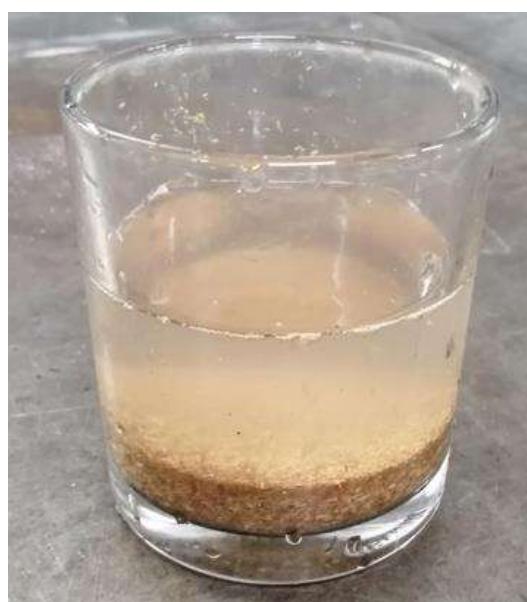
برای این منظور دو مش^۱ موجود در کارگاه را با گریدهای ۵۰ و ۳۲۵ مورد بررسی و آزمون قرار دادیم و درنهایت مش با گرید ۵۰ که در شکل ۲-۶ مشاهده می‌کنید را به عنوان مش نهایی برای هدف خود برگزیدیم.

^۱ mesh



شکل ۲-۶ . انتخاب مش با گرید ۵۰ و شست و شوی الیاف

همچنین در این مرحله دریافتیم که مراحل ۲ و ۳ را می توانیم در قالب یک مرحله به انجام برسانیم. به این صورت که الیاف خرد شده را پس از آسیاب مستقیما وارد مش کنیم و عمل شست و شو را در داخل خود مش به انجام برسانیم. شکل ۲-۷ الیاف را پس از شست و شو نشان می دهد.



شکل ۲-۷ . الیاف پس از چندین بار شست و شو

مرحله‌ی چهارم) فرآوری قلیایی

در این مرحله به کمک ترازی دیجیتال یک محلول ۳درصد جرمی سدیم هیدروکسید را تهیه کردیم. محلول تهیه شده‌ی ما در این قسمت حاوی ۱۰۰ میلی‌گرم آب مقطر و ۳ میلی‌گرم سدیم هیدروکسید بود و سپس الیاف را وارد محلول کرده و به مدت یک روز (۲۴ ساعت) صبر کردیم.



شکل ۲-۱ . محلول ۳درصد جرمی سدیم هیدروکسید

مرحله‌ی پنجم) صافی

در این مرحله که ۲۴ ساعت بعد از قرار داده شدن الیاف در محلول سدیم هیدروکسید است؛ الیاف را به کمک صافی از محلول جدا کرده و شستشو دادیم تا محلول سدیم هیدروکسید روی الیاف باقی نماند. شکل ۲-۹ الیاف را در این محلول پس از یک روز نشان می‌دهد.



شکل ۲-۹ . محلول سدیم هیدروکسید حاوی الیاف پس از یک روز

لذا بدین ترتیب مراحل ۶ و ۷ نیز در ضمن این مرحله انجام می‌شوند و می‌توان در استراتژی نهایی آن‌ها را در قالب یک مرحله ادغام نمود.

مرحله‌ی هشتم) گذاشتن در آون در دما و زمان مشخص

حال این الیاف خردشده و فرآوری شده را در داخل یک آون با دمای ۹۰ درجه‌ی سلسیوس به مدت ۲ ساعت نگه‌داری کردیم تا رطوبت موجود درون یا روی سطح الیاف از آن خارج شود. شکل ۲-۱۰ الیاف را پس از خروج از آون نمایش می‌دهد.



شکل ۲-۱۰ . الیاف خردشده و فرآوری شده پس از خروج از آون

بنابراین انجام فرآیند طرح‌ریزی شده‌ی شماره ۱ در این قسمت به پایان رسید.
لذا فرآیند ساخت را پی گرفته و به کامپوزیت نهایی می‌رسیم.

۲-۳- ساخت کامپوزیت شماره‌ی ۱

حال که الیاف آماده شده است، به سراغ آماده‌سازی پلی‌پروپیلن می‌رویم.

۱-۳-۲ - آماده‌سازی پلی‌پروپیلن برای ساخت

تنها فرآیند لازم برای آماده‌سازی پلی‌پروپیلن رطوبت‌گیری از آن می‌باشد که طبق [16] باید پودر پلی‌پروپیلن را به مدت یک ساعت در یک آون با دمای ۹۰ درجه نگه‌داری کنیم.

در ادامه باید پلیمر و الیاف را با نسبت مورد نظر خود ترکیب نموده و برای پخت زیر دستگاه پرس قرار دهیم.

۲-۳-۲ - ترکیب الیاف و پلیمر با نسبت مشخص

در این قسمت ابتدا باید تعیین کنیم که میخواهیم نمونه‌ی مدنظر ما چند درصد جرمی الیاف داشته باشد. ما برای شروع نمونه‌ی ۱۰ درصد جرمی را انتخاب میکنیم. حال باید محاسبه کنیم که چند گرم پلیپروپیلن را با چند گرم الیاف ترکیب کنیم تا نمونه‌ی ۱۰ درصد جرمی مدنظر ما ایجاد شود.

ابتدا چگالی پلیپروپیلن را از کاتالوگ آن میباییم [18]:

$$\rho_{pp} = 0.9 \text{ gr/cm}^3$$

سپس چگالی الیاف را باید بیابیم. برای چگالی الیاف خرما داده‌های متغیری وجود دارد که طبق جدول ۱-۱ بین بازه‌ی ۰.۹ تا ۱.۲ در تغییر هستند لذا یک روش وجود دارد که ما مقدار میانگین آن را که 1.05 gr/cm^3 میشود را در نظر بگیریم.

$$\rho_{dp} = 1.05 \text{ gr/cm}^3$$

بنابراین برای یافتن چگالی کامپوزیت باید از قانون مخلوط‌ها مطابق معادله (۲-۱) استفاده نماییم.

$$\rho_c = \frac{1}{\frac{\rho_f}{W_f} + \frac{\rho_m}{W_m}} \quad (2-1)$$

بدین ترتیب برای این حالت که کسر وزنی الیاف ۰.۱ و کسر وزنی پلیمر ۰.۹ بوده است چگالی کامپوزیت به صورت زیر خواهد بود:

$$\rho_c = 0.913 \text{ gr/cm}^3$$

ولی ما در این پژوهش به این شیوه عمل نکرده‌ایم و چگالی الیاف خرما را مطابق مقالات [16] و [17] برابر مقدار ثابت 0.9 gr/cm^3 قرار دادیم لذا چگالی پلیمر و الیاف خرما هردو برابر مقدار 0.9 gr/cm^3 شدند.

بنابراین به دلیل برابر بودن این دو مقدار در همه‌ی حالات چگالی کامپوزیت ساخته شده برابر همین مقدار خواهد بود.

$$\rho_c = 0.9 \text{ gr/cm}^3$$

حال با محاسبه‌ی حجم قالب میتوانیم جرم ترکیب را بیابیم.

تصویر قالب مورد استفاده‌ی ما در شکل ۲-۱۱ آمده است:



شکل ۲-۱۱ . قالب مورد استفاده‌ی ما در فرآیند قالب‌گیری فشاری

این قالب تقریباً یک مکعب مستطیل به ابعاد $70 \times 74 \times 2$ میلیمتر می‌باشد. لذا برای محاسبه‌ی حجم آن طول، عرض و ارتفاع آن مطابق معادله (۲-۲) را درهم ضرب می‌کنیم:

$$V_{mold} = \text{length} \times \text{width} \times \text{thickness} \quad (2-2)$$

$$V_{mold} = 70 \times 74 \times 2 = 10360 \text{ mm}^3 = 10.36 \text{ cm}^3 \quad \text{در نتیجه}$$

در ادامه با ضرب حجم قالب در چگالی الیاف و پلیمر، که یکسان هستند، جرم ترکیب طبق معادله (۲-۳) حصول می‌یابد:

$$Mc = V_{mold} \times \rho_c \quad (2-3)$$

$$Mc = 10.36 \times 0.9 = 9.3 \text{ gr} \quad \text{در نتیجه:}$$

لذا برای نمونه‌ی ما که ۱۰ درصد جرمی الیاف خواهد داشت جرم الیاف و پلیمر به صورت زیر حاصل می‌گردد:

$$Mdp = 9.3 \times 0.1 = 0.93 \text{ gr}$$

$$Mpp = 9.3 \times 0.9 = 8.37 \text{ gr}$$

بنابراین با استفاده از ترازوی دیجیتال این مقادیر از مواد را جدا کرده و باهم ترکیب می‌کنیم. سپس با کمک یک قاشق ترکیب را کاملا هم می‌زنیم تا الیاف به طور کامل در پودر پلیمر پخش شوند و در هیچ نقطه‌ای تجمع الیاف یا پلیمر نداشته باشیم.



شکل ۲-۱۲ . ترکیب الیاف خردشده و پودر پلیمر با درصد جرمی مذکور

پس از این ترکیب کامل دو جزء نوبت به استفاده از دستگاه پرس برای پخت کامپوزیت می‌رسد.

۳-۳-۲ - استفاده از دستگاه پرس برای پخت کامپوزیت

دستگاه موسوم به دستگاه قالب گیری فشاری در کارگاه، یک پرس ۱۵ تن بود که تصویر آن در

شکل ۲-۱۳ آمده است.



شکل ۲-۱۳ . دستگاه پرس ۵ اتن مورد استفاده برای پخت کامپوزیت

برای این منظور ابتدا قالب را تمیز می‌کنیم. سپس برای اینکه اتصال بین نمونه و قالب رخ ندهد از یک سری پارچه‌های نسوز استفاده می‌کنیم و آن‌ها را روی هردو کفه‌ی قالب می‌چسبانیم. سپس ترکیب را وارد قالب می‌کنیم (شکل ۲-۱۴).



شکل ۲-۱۴ . ریختن ترکیب در قالب

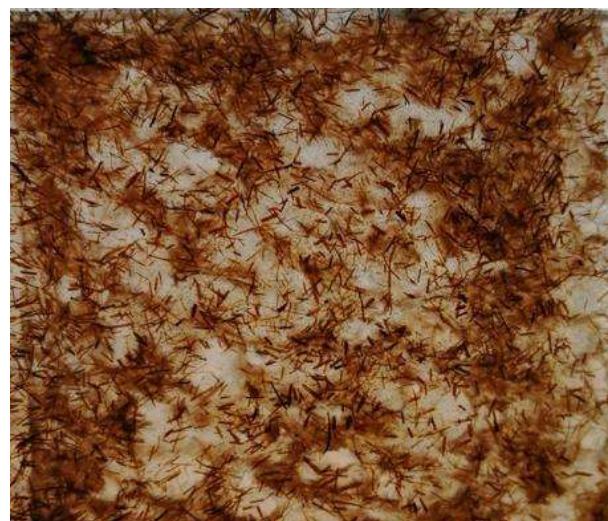
درنهایت صفحات زیرین و رویی قالب را روی هم گذاشته و مجموعه را بین دو فک دستگاه پرس قرار می‌دهیم.

برای استفاده از دستگاه پرس همانطورکه در مقدمه ذکر شد به سه پارامتر دما، فشار و زمان نیازمند هستیم و با تغییر هرکدام، در ساختار محصول تغییر ایجاد خواهد شد و ویژگی‌ها و کارکرد آن با حالت‌های دیگر متفاوت خواهد بود.

دما و زمان را مطابق مقاله‌ی [16] که به بررسی دقیق این مورد پرداخته بود برابر ۱۸۰ درجه‌ی سلسیوس و ۲۵ دقیقه قرار می‌دهیم و فشار را نیز در حدود ۵۰ بار تنظیم می‌کنیم.

۴-۳-۲ - آنالیز نمونه‌ی اول ساخته شده

تصویر نمونه‌ی اولیه‌ی ساخته شده با این فرآیند به صورت شکل ۲-۱۵ شد:

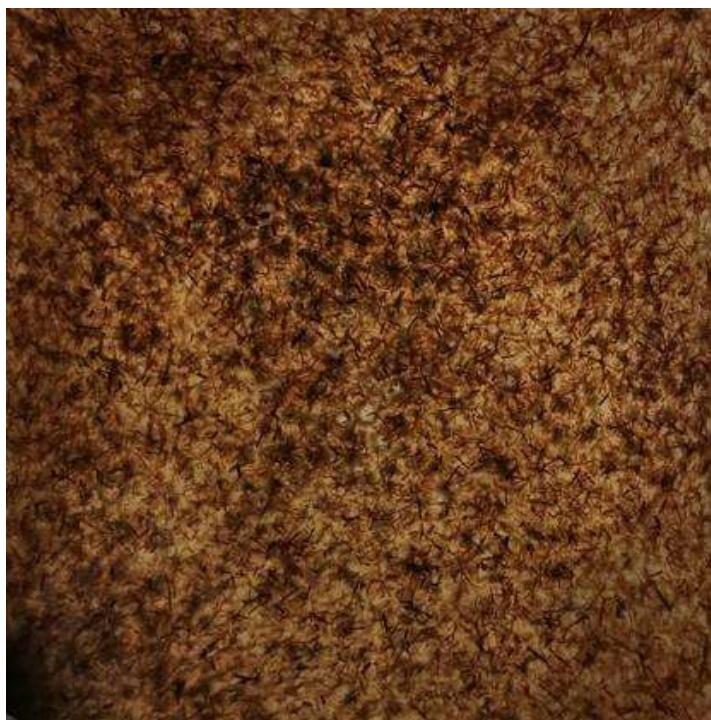


شکل ۲-۱۵ . نمونه‌ی شماره‌ی ۱

همانطور که مشاهده می شود توزیع الیاف در نمونه و همچنین توزیع طول الیاف در آن یکنواخت نیست و تجمع الیاف را در آن شاهد هستیم.

برای حل ۲ مشکل بالا تصمیم گرفتیم طول الیاف را کوتاهتر نماییم تا سایز آن نزدیک به پودر پلیپروپیلن شده و راحت‌تر باهم ترکیب شوند. برای کوتاهتر شدن طول الیاف با آسیاب نیاز بود الیاف تردتر باشند تا تیغه‌های آسیاب بتوانند آن‌ها را برش دهند لذا تصمیم بر این شد که الیاف خام را قبل از خردایش، که مرحله‌ی اول استراتژی نخست بود، به مدت دو ساعت در آون با دمای 90°C قرار دهیم تا رطوبت آن‌ها گرفته شده و راحت‌تر خرد شوند.

بدین ترتیب نتیجه موفقیت‌آمیز بود و با انجام این کار طول الیاف پس از خردایش به طول حدود ۱ الی ۲ میلیمتر رسیدند و نمونه‌ی ساخته شده با استفاده از آن‌ها توزیع بسیار یکنواخت‌تری را داشت. تصویر این نمونه را در شکل ۲-۱۶ مشاهده می‌کنیم.



شکل ۲-۱۶ . نمونه‌ی شماره‌ی ۲ با $100\times$ درصد جرمی الیاف نخل خرما

برای بررسی بیشتر این نمونه را زیر میکروسکوپ نیز قرار داده و تصویر دقیق‌تری از آن بدست آورده‌یم. این تصویر در شکل ۲-۱۷ نشان داده شده است. مشاهده می‌کنیم که توزیع طول الیاف، پراکندگی الیاف و چسبندگی با پلیمر در این نمونه کاملاً مناسب می‌باشد همچنین حبابی نیز در آن مشاهده نمی‌گردد.



شکل ۲-۱۷ . تصویر زیر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی ۱۰ درصد جرمی

بدین ترتیب طراحی فرآیند خردایش و فرآوری الیاف به اتمام رسید و به سراغ ساخت نمونه‌هایی رفتیم که درون شان درصد جرمی بالاتری الیاف نخل خرما وجود داشت. در حین ساخت نمونه‌های با درصد بالاتر، این فرآیند گاهی دستخوش تغییراتی قرار گرفت و بهینه‌تر شد. نسخه‌ی نهایی این فرآیند را در ادامه خواهیم آورد.

۴-۱- فرآیند نهایی خردایش و فرآوری الیاف نخل خرما

این فرآیند در ۶ مرحله نهایی شده و به صورت زیر باید انجام شود:

۱. Heat treatment:

گذاشتن الیاف خام و خرد نشده به مدت حداقل ۱ ساعت در آون با دمای ۹۰ درجه‌ی سلسیوس برای خروج رطوبت اولیه‌ی آن‌ها به منظور تردتر شدن و آمادگی بهتر برای خردایش.

۲. خردایش:

گذاشتن الیاف در آسیاب بلا فاصله پس از خروج از آون. در این مرحله طول الیاف باید به کمتر از ۳ میلیمتر برسد.

۳. شست و شوی الیاف:

در این مرحله باید از یک مش با گرید ۵۰ استفاده گردد و الیاف خرد شده را به داخل آن ریخته و با آب شست و شو دهیم. این مرحله باید تا جایی ادامه پیدا کند که هیچ گرد و غباری روی الیاف باقی نماند باشد به طوریکه وقتی الیاف را در داخل ظرفی با دیواره‌ی شفاف می‌ریزیم تمام الیاف در انتهای ظرف تهشین شده و سطح آب روی آن زلال باشد.

۴. فرآوری قلیایی:

در این مرحله باید یک محلول ۳ درصد جرمی سدیم هیدروکسید تهیه کنیم و الیاف را به مدت ۲۴ ساعت درون آن قرار دهیم.

۵. شستشوی الیاف:

توضیحات همانند مرحله ۳ می باشد.^۱

۶. Heat treatment :

در این مرحله همانند مرحله اول الیاف را به مدت ۲ ساعت داخل آون با دمای ۹۰ درجه قرار می دهیم. بهتر است هر نیم ساعت یکبار الیاف هم زده شوند تا رطوبت گیری بهتر انجام شود. بدین ترتیب پس از این ۶ مرحله این الیاف طبیعی آماده استفاده در فرآیند ساخت کامپوزیت خواهد بود.

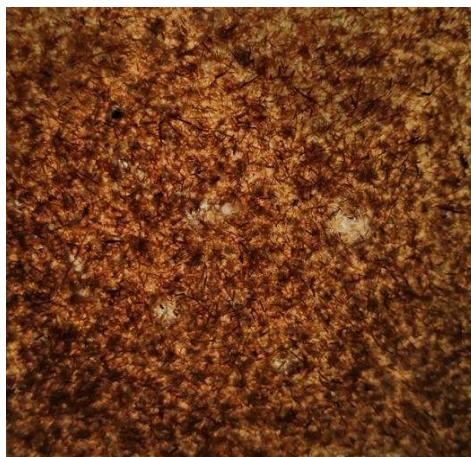
۵-۵- ساخت نمونه ها با درصد جرمی بالاتر

پس از ساخت نمونه‌ی ۱۰ درصد جرمی الیاف و رسیدن به فرآیند نهایی خردایش و فرآوری الیاف، شروع به افزایش کسر وزنی الیاف در پلیمر کردیم تا ببینیم تا چه درصدی می‌توانیم الیاف را اضافه کنیم و همچنان کامپوزیت ما حالت پایدار داشته باشد و مواردی همچون بیرون زدگی الیاف یا ترک سراسری قابل مشاهده به سبب تردی بیش از حد در آن نداشته باشیم.

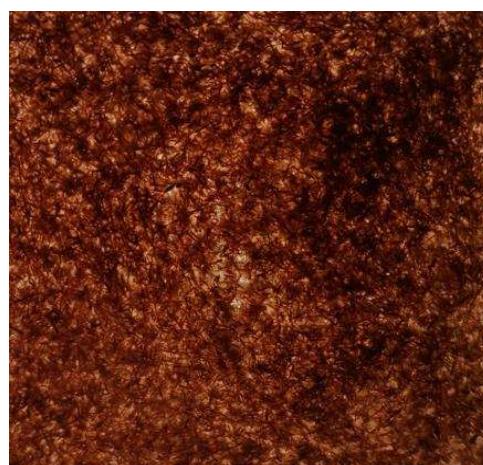
لذا به مرور الیاف را خردایش و فرآوری کرده و نمونه‌های ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد جرمی الیاف نخل خرما را ساختیم.

در شکل‌های زیر (شکل ۲-۱۸، شکل ۲-۱۹، شکل ۲-۲۱، شکل ۲-۲۲، شکل ۲-۲۳ و شکل ۲-۲۰) این نمونه‌ها را در کنار تصاویر آن‌ها زیر میکروسکوپ نوری آن‌ها آورده‌ایم.

^۱ در این مرحله باید توجه کنیم که محلول سدیم هیدروکسید با فلز روی مش واکنش ندهد و آن را خراب کند. میتوان به مرور با اضافه کردن آب به درون محلول، درصد سدیم هیدروکسید آن را کاهش داد و سپس از مش استفاده نمود.



شکل ۲-۱۸ . نمونه‌ی ۱۵ درصد جرمی الیاف



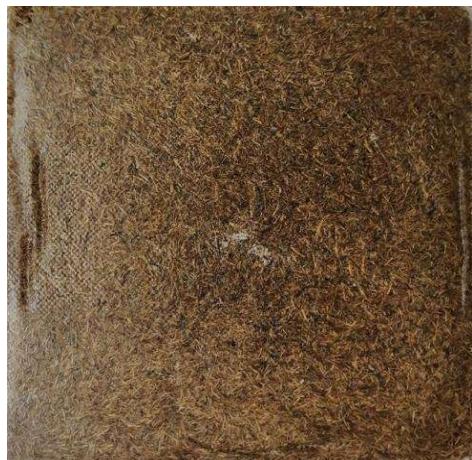
شکل ۲-۱۹ . نمونه‌ی ۱۹ درصد جرمی الیاف



شکل ۲-۲۰ . نمونه‌ی ۲۰ درصد جرمی الیاف



شکل ۲-۲۱ . نمونه‌ی ۴۰ درصد جرمی الیاف



شکل ۲-۲۲ . نمونه‌ی ۵۰ درصد جرمی الیاف



شکل ۲-۲۳ . نمونه‌ی ۶۰ درصد جرمی الیاف

۱-۵-۲ - آنالیز نمونه‌های با درصدهای جرمی بالاتر

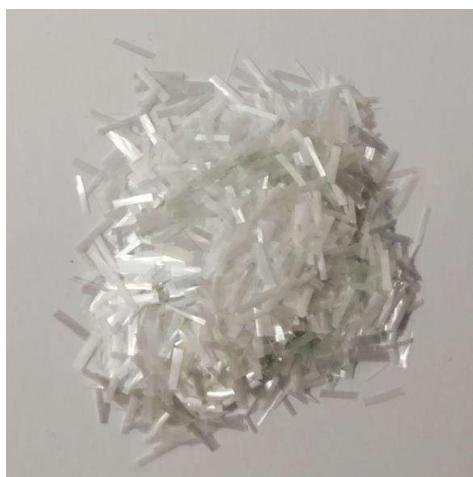
همانطور که مشاهده می‌شود پایداری و کیفیت سطح نمونه‌ها قابل قبول بوده و تا نمونه‌ی ۵۰ درصد هیچ نقصی در نمونه‌ها قابل مشاهده نیست.^۱ مشاهده می‌شود که در شکل ۲-۲۳ نمونه‌ی ۶۰ درصد جرمی، در برخی گوشه‌های نمونه پلیمر روی سطح را به طور کامل نپوشانده است و فقط وظیفه‌ی چسباندن الیاف به یکدیگر را در آن قسمت‌ها انجام داده است. بنابراین چون سطح نمونه در گوشه‌ها باز می‌باشد لذا در صورتی که این نمونه در معرض رطوبت قرار بگیرد این رطوبت می‌تواند به داخل الیاف نفوذ کرده و مشکلاتی که در بخش مقدمه به آن‌ها اشاره شد را برای نمونه ایجاد کند. البته همچنان بخش‌های وسط نمونه کاملاً توسط پلیمر پوشانده شده‌اند و قابل استفاده می‌باشند؛ کما اینکه در تست‌هایی که در فصل بعد به آن‌ها خواهیم پرداخت مشاهده خواهیم کرد که این نمونه نیز عملکرد قابل قبولی از خود نشان داده است.

۶-۲- ساخت نمونه‌های هیبرید الیاف خرما و شیشه

پس از رسیدن به حالت اشباع در ساخت نمونه‌های پلی‌پروپیلن و الیاف خرما، به سراغ هیبرید این الیاف با الیاف شیشه‌ی خرد شده رفتیم.

برای این منظور دو نوع الیاف شیشه‌ی مختلف را برای این کار مورد بررسی قرار دادیم.
نمونه‌ی اول:

در این نمونه از الیاف شیشه‌ی خرد شده^۲ با طول ۵ میلیمتر استفاده کردیم. (شکل ۲-۲۴)



شکل ۲-۲۴ . الیاف شیشه‌ی خرد شده

^۱ در قسمت وسط نمونه‌های ۳۰ درصد و ۴۰ درصد بخشی از پارچه‌ی نسوز قالب جدا شده و به آن‌ها چسبیده است که مشکلی برای نمونه ایجاد نمی‌کند.

² chopped glass fiber

لذا پس از خردایش و فرآوری الیاف خرما مطابق حالت‌های قبل، این الیاف را با الیاف شیشه‌ی خرد شده و پلیمر ترکیب کرده (شکل ۲-۲۵) و نمونه‌ی هیبرید ۴۰ درصد الیاف خرما و ۱۰ درصد شیشه را ساختیم.



شکل ۲-۲۵ . ترکیب ۴۰ درصد خرما و ۱۰ درصد شیشه

تصویر نمونه‌ی ساخته شده در شکل ۲-۲۶ آمده است.



شکل ۲-۲۶ . نمونه‌ی هیبرید الیاف خرما و شیشه‌ی خرد شده

نمونه‌ی دوم:

در نمونه‌ی دوم به جای استفاده از الیاف شیشه‌ی خرد شده از الیاف شیشه‌ی رووینگ^۱ در شکل ۲-۲۸ بهره جستیم.

¹ Roving



شکل ۲-۲۷ . الیاف شیشه‌ی رووینگ پس از رشته‌رشته شدن



شکل ۲-۲۸ . الیاف رووینگ شیشه خام

این الیاف رووینگ را رشته‌رشته کرده و به صورت شکل ۲-۲۷ در آوردیم تا در حین ترکیب شدن با الیاف به صورت یک فاز جدا مشخص نباشد و به‌سبب هندسه‌ی مشابه، ترکیب بهتری با الیاف نخل برقرار کند. تصویر نمونه‌ی ساخته شده با این روش نیز در شکل ۲-۲۹ آورده شده است. مشاهده می‌کنیم که الیاف شیشه برخلاف نمونه‌ی قبل تا حد زیادی قابل مشاهده نیستند و ترکیب بهتری با الیاف نخل برقرار کرده‌اند.



شکل ۲-۲۹ . نمونه‌ی هیبرید الیاف خرما و شیشه‌ی رووینگ

فصل ٣

نتائج، بحث و اظهار نظر

فصل ۳ - نتایج، بحث و اظهارنظر

در این فصل ضمن بیان نتایج تست‌های انجام شده در انتهای پژوهش، به بحث و اظهارنظر در مورد آن‌ها خواهیم پرداخت.

۱-۳- نام‌گذاری نمونه‌ها

لازم است برای ارجاع دادن بهتر به نمونه‌ها و مقایسه‌ی آن‌ها با یکدیگر و یا نمونه‌های ساخته‌شده در پژوهش‌های بعدی، آن‌ها را طبق استاندارد معنی‌داری نام‌گذاری کرده و این نام را بر روی نمونه‌ی ساخته‌شده نیز درج نماییم.

استانداردی که ما برای این منظور تدوین نموده‌ایم به این صورت است که در نمونه‌های پلیپروپیلن و الیاف خرما پس از ذکر نام Date Palm که به صورت اختصاری DP ذکر شده است، درصد جرمی این الیاف خرما در کامپوزیت را ذکر نموده‌ایم.

همچنین برای دو نمونه‌ی هیبرید خرما و شیشه، پس از ذکر مورد بالا برای الیاف خرمایی به کار رفته در آن، با حروف اختصاری CG^۱ و RG^۲ نوع الیاف شیشه‌ی استفاده شده در آن را نیز به همراه درصد جرمی استفاده شده آورده‌ایم.

نام‌گذاری صورت گرفته برای نمونه‌های ساخته‌شده در این پژوهش در جدول ۱-۳ آورده شده است.

¹ Chopped glass

² Roving glass

جدول ۱-۳ . معرفی نمونه ها

نمونه ها	مشخصات نمونه ها
pp	پلی پروپیلن خالص بدون تقویت سازی
DP10	پلی پروپیلن تقویت شده با 10 درصد جرمی الیاف نخل خرما
DP15	پلی پروپیلن تقویت شده با 15 درصد جرمی الیاف نخل خرما
DP20	پلی پروپیلن تقویت شده با 20 درصد جرمی الیاف نخل خرما
DP30	پلی پروپیلن تقویت شده با 30 درصد جرمی الیاف نخل خرما
DP40	پلی پروپیلن تقویت شده با 40 درصد جرمی الیاف نخل خرما
DP50	پلی پروپیلن تقویت شده با 50 درصد جرمی الیاف نخل خرما
DP60	پلی پروپیلن تقویت شده با 60 درصد جرمی الیاف نخل خرما
DP40CG10	پلی پروپیلن تقویت شده با 40 درصد جرمی الیاف نخل خرما و 10 درصد جرمی الیاف شیشه‌ی خرد شده
DP35RG10	پلی پروپیلن تقویت شده با 35 درصد جرمی الیاف نخل خرما و 10 درصد جرمی الیاف شیشه‌ی رووبینگ

۲-۳- تست نمونه‌ها

جهت بررسی و مقایسه‌ی کامپوزیت‌های ساخته شده با یکدیگر و با پلی‌پروپیلن خالص اولیه، لازم است تست‌های مختلفی رو این نمونه‌ها انجام دهیم.

در ابتدا تصمیم داشتیم تست‌های کشش و خمش روی نمونه‌ها انجام دهیم؛ ولی با توجه به ابعاد کوچک نمونه‌های ساخته شده از انجام تست کشش بازماندیم؛ چرا که طول نمونه‌های ما پس از برش لبه‌های کناری به حدود عسانتری متر می‌رسیدند و فک‌های دستگاه کشش ما نیز حدود ۵ سانتی از نمونه را درگیر می‌کردند؛ لذا فقط ۱ سانتی‌متر از نمونه، آزاد باقی می‌ماند که برای انجام تست کشش مطابق استاندار [19] D3039 غیراستاندار و غیرکارآمد بود.

بنابراین در اینجا فقط به انجام تست خمش بسنده کردیم و انجام تست کشش این نمونه‌ها را به محققین بعدی واگذار می‌کنیم.

۱-۲-۳- تست خمش

ما برای تست خمش مطابق استاندار D790 [20]، که استانداردی برای تست خمش سه نقطه‌ای تیرهای پلیمری مستطیلی تقویت شده می‌باشد، عمل نمودیم.

۳-۱-۲-۱- ابعاد نمونه‌ی استاندارد برای تست خمس

مطابق این استاندارد، پهنه‌ی استاندار برای نمونه‌ی ما که حدود ضخامت ۲ میلیمتری داشت برابر ۱۲.۷ میلیمتر بیان شده بود که ما آن را حدود ۱۲.۵ میلیمتر درنظر گرفتیم. همچنین فاصله‌ی بین دو تکیه گاه (span) باید ۱۶ از برابر ضخامت نمونه‌ی ما بیشتر می‌بود که آن را نیز برابر ۳۷ میلیمتر در نظر گرفتیم. طبق استاندارد برای هر نمونه باید ۵ بار تست انجام می‌شد و میانگین آن‌ها لحظه‌ی گردید؛ ولی ما به دلیل کوچکی نمونه‌هایمان به دو نمونه از هر نوع کامپوزیت ساخته شده بسته نمودیم.

نمونه‌های برش داده شده مطابق استاندارد در شکل‌های زیر آورده شده‌اند:



شکل ۳-۳ . نمونه‌های ۰۱ درصد جرمی برای تست خمس



شکل ۳-۴ . نمونه‌های ۱۵ درصد جرمی برای تست خمس



شکل ۳-۱ . نمونه‌های ۰۲۰ درصد جرمی برای تست خمس



شکل ۳-۲ . نمونه‌های ۰۳۰ درصد جرمی برای تست خمس



شکل ۳-۵ . نمونه‌های ۰۴۰ درصد جرمی برای تست خمس



شکل ۳-۶ . نمونه‌های ۰۵۰ درصد جرمی برای تست خمس



شکل ۳-۹ . نمونه‌های عذرصد جرمی برای تست خمش



شکل ۳-۱۰ . نمونه‌ی هیبرید با شیشه‌ی رووینگ آماده شده برای برش



شکل ۳-۱۱ . نمونه‌های پلی پروپیلن خالص بریده شده برای تست خمش

۳-۱-۲-۳- سرعت کراس‌هد^۱ برای تست خمش

برای محاسبه‌ی سرعت حرکت کراس‌هد (R) برای تست خمش مطابق استاندارد از معادله (۳-۱)

باید استفاده نماییم.

$$R = Z \times \frac{L^2}{6d} \quad (3-1)$$

که در آن Z نرخ کرنش، L طول span و d نیز ضخامت نمونه است.
برای محاسبه‌ی نرخ کرنش Z، استاندارد مذکور ۲ عدد را پیشنهاد کرده است که یک عدد برای نمونه‌هایی است که در انحنای کم می‌شکند و تحت عنوان روش A تقسیم‌بندی می‌گردند و عدد دیگر برای نمونه‌هایی می‌باشد که در انحنای زیاد می‌شکند و تحت عنوان روش B بیان می‌شوند.
از آنجاییکه پیمیر خالص تحت انحنای زیاد می‌شکند و هرچه درصد الیاف را در آن بیشتر کنیم، نمونه ترددتر شده و تحت انحنای کوچکتری خواهد شکست [۱۰]؛ لذا ما هردو روش A و B را برای همه‌ی نمونه‌ها یکبار انجام خواهیم داد تا در انتهای یک مقایسه‌ای هم روی تفاوت این دو روش بر روی عملکرد نمونه داشته باشیم.

سرعت کراس‌هد در حالت روش A :

در این حالت $Z = 0.01$ می‌باشد. لذا برای نمونه‌ی ما سرعت برابر 0.85mm/min بدست می‌آید.^۲

سرعت کراس‌هد در حالت روش B :

در این حالت $Z = 0.1$ می‌شود فلذًا سرعت کراس‌هد برابر 8.5mm/min خواهد بود.

۳-۱-۲-۴- زمان توقف تست

مطابق استاندار، تست زمانی باید متوقف شود که یکی از دو رویداد زیر رخ دهد:

۱ - شکست در سطح خارجی نمونه مشاهده گردد.

۲ - کرنش در سطح خارجی به 0.05mm/mm برسد.

این حالت متناسب با انحرافی (D) است که از معادله (۳-۲) بدست می‌آید:

$$D = \frac{0.05L^2}{6d} \quad (3-2)$$

^۱ Crosshead

^۲ ما به دلیل دقیق دستگاه تست خمش این سرعت را 1mm/min در نظر گرفتیم.

که برای ابعاد نمونه‌های ما این مقدار برابر 5.7mm بdst می‌آید که ما برای حالت A، تست را پس 5.5mm متوقف کردیم. در حالت B نیز به دلیل سرعت بالای حرکت کراس‌هد، تست را تا نزولی شدن منحنی تنش کرنش و ایجاد ترک در سطح خارجی نمونه‌ها ادامه دادیم.

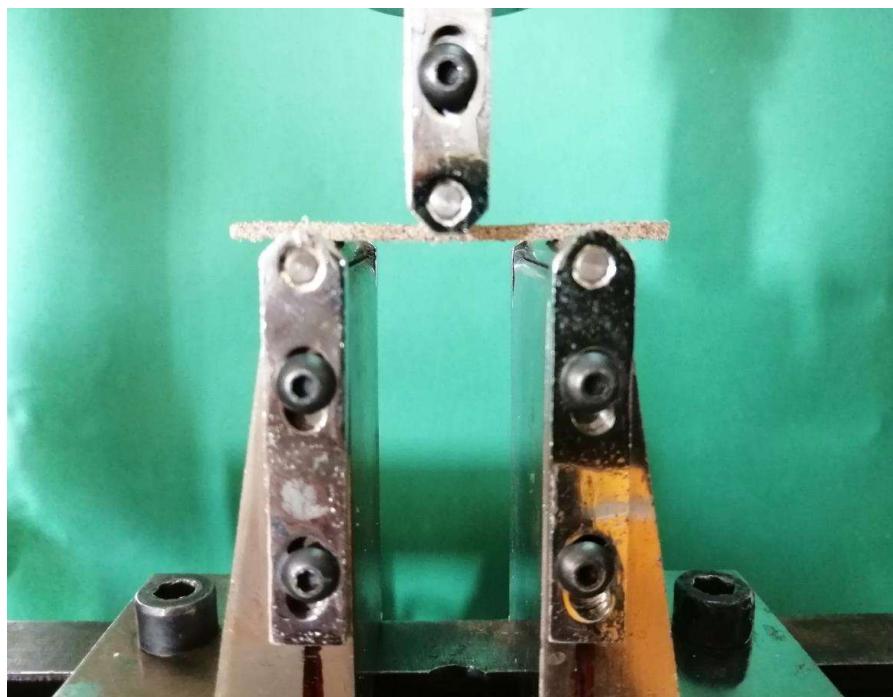
۴-۱-۲-۳- انجام تست خمش

تصاویر دستگاه تست خمش مورد استفاده‌ی ما مطابق شکل ۳-۱۱ می‌باشد.

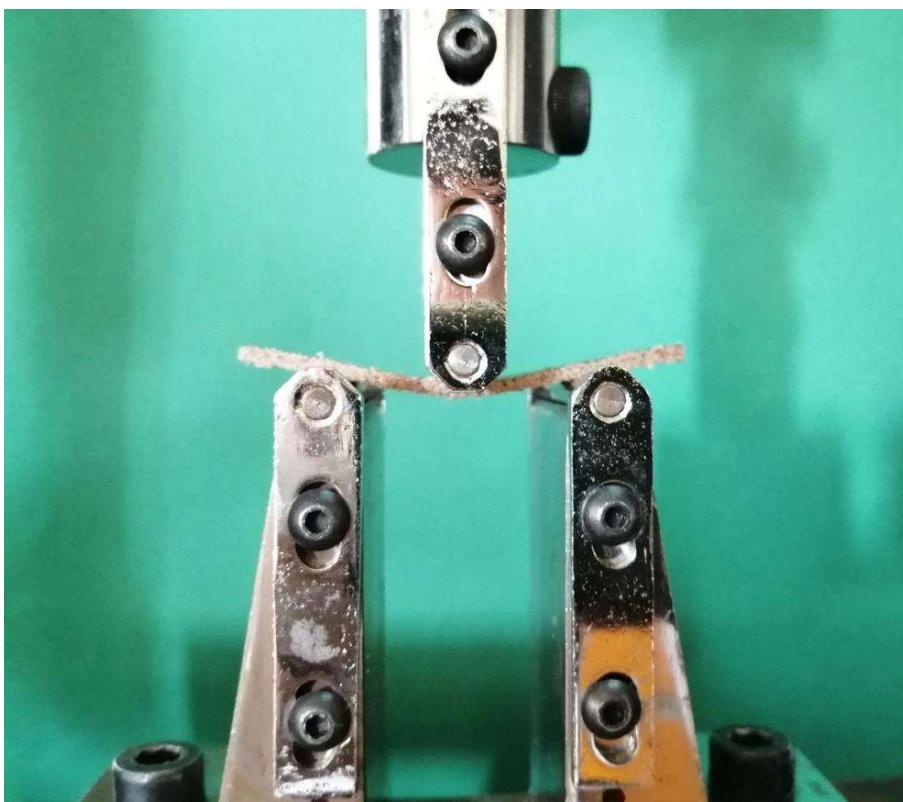


شکل ۳-۱۱. دستگاه تست خمش سه نقطه‌ای مورد استفاده

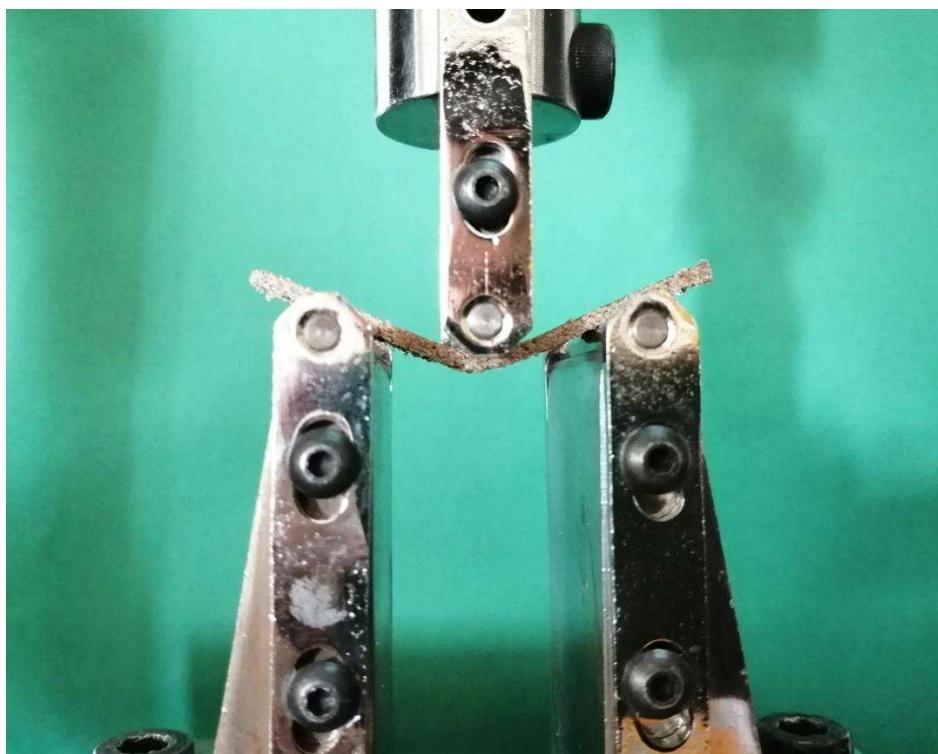
تصاویر نمونه‌ی ۵۰ درصد جرمی الیاف خرما در حین تست خمش در سه حالت مختلف به عنوان نمونه در شکل ۳-۱۲ ، شکل ۳-۱۳ و شکل ۳-۱۴ آورده شده است.



شکل ۳-۱۲ . نمونه قبیل از حرکت کراس هد



شکل ۳-۱۳ . نمونه پس از ۲.۵mm انحراف



شکل ۱۴-۳ . نمونه پس از ۶mm انحراف و شکست در سطح خارجی

۳-۳-۳- نتایج تست خمش

۱-۳-۳ - نتایج تست تحت روش A

در ادامه تصاویر نمونه‌ها پس از اجرای تست خمش سه نقطه‌ای به روش A را می‌آوریم:



شکل ۱۵-۳ . پلیپروپیلن خالص پس از تست به روش A



شکل ۱۶-۳ . نمونهی ۱۰ ادرصد جرمی پس از تست به روش A



شکل ۳-۲۱ . نمونه‌ی ۱۵ درصد جرمی پس از تست به روش A



شکل ۳-۲۰ . نمونه‌ی ۲۰ درصد جرمی پس از تست به روش A



شکل ۳-۱۹ . نمونه‌ی ۳۰ درصد جرمی پس از تست به روش A



شکل ۳-۱۸ . نمونه‌ی ۴۰ درصد جرمی پس از تست به روش A



شکل ۳-۱۷ . نمونه‌ی ۵۰ درصد جرمی پس از تست به روش A



شکل ۳-۲۴ . نمونه‌ی درصد جرمی پس از تست به روش A



شکل ۳-۲۳ . نمونه‌ی هیبرید خرما و شیشه‌ی خردشده پس از تست به روش A



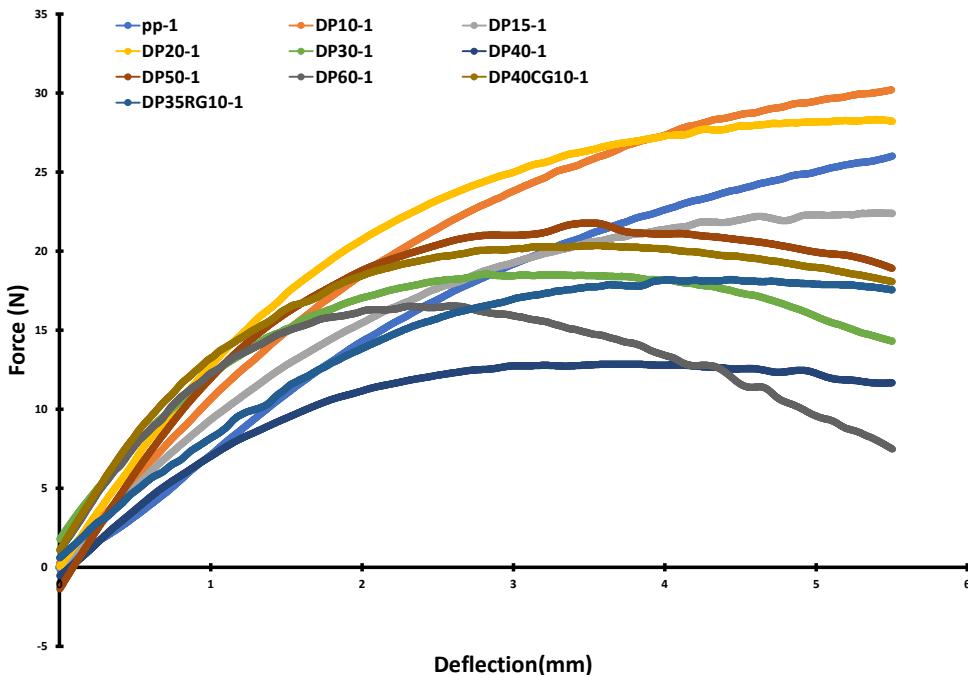
شکل ۳-۲۲ . نمونه‌ی هیبرید خرما و شیشه‌ی رووینگ پس از تست به روش A

همانطورکه مشاهده می‌شود نمونه‌های پلیپروپیلن خالص شکل ۳-۱۶ و کامپوزیت ده درصد جرمی خرما شکل ۳-۱۵ پس از تست کاملاً به حالت اولیه‌ی خود برگشته‌اند. نمونه‌های ۱۵ درصد شکل ۳-۲۱ و ۲۰ درصد شکل ۳-۲۰ هم همانند دو نمونه‌ی قبل به حالت اولیه‌ی خود برگشته‌اند با این تفاوت که رنگ آن‌ها در قسمت وسط تغییر کرده‌اند و به رنگ سفید درآمده است که این موضوع نشان از وقوع پدیده‌ی crazing در این نمونه‌ها دارد.

در بقیه‌ی نمونه‌ها از ۳۰ درصد جرمی به بعد، ترک ایجاد شده است که این موضوع نشان از تردتر شدن کامپوزیت با افزایش درصد الیاف خرما در آن دارد.

همچنین جالب توجه است که نمونه هیبرید خرما و شیشه‌ی رووینگ شکل ۳-۲۲، برخلاف نمونه‌ی هیبرید خرما و شیشه‌ی خردشده شکل ۳-۲۳، علارغم درصد بالای الیاف در آن، ترک برنداشته است و فقط دچار پدیده‌ی crazing گشته است.

منحنی نیرو_تغییرمکان تمام نمونه ها برای روش A پس از نوسان گیری در نمودار شکل ۳-۲۵ آورده شده است:



شکل ۳-۲۵. منحنی نیرو_تغییرمکان تمام نمونه‌ها تحت روش A

از آنجاییکه این نمونه‌های تست شده به مقدار اندکی با یکدیگر در ابعاد تفاوت داشته‌اند که این تفاوت ناشی از دقت کم دستگاه برش بوده است؛ لذا نمی‌توان صرفاً به نمودار نیرو_تغییرمکان اکتفا نمود. بنابراین برای مقایسه‌ی نمونه‌ها با یکدیگر لازم است که نمودارهای تنش-کرنش این نمونه‌ها را نیز بدست آوریم تا با کمک آن، استحکام خمشی و مدول خمشی را در هریک از نمونه‌ها بدست آورده و با یکدیگر مقایسه نماییم. چرا که در محاسبه‌ی نمودار تنش-کرنش، ابعاد نمونه‌ها نیز وارد محاسبات شده و نتایج بدست آمده دقیق و قابل استناد خواهند بود.

برای این منظور قبل از اجرای تست، ابعاد دقیق نمونه‌ها را با کولیس دیجیتال با دقت 0.01mm اندازه‌گیری نمودیم و در محاسبات از آن‌ها استفاده خواهیم نمود.

برای محاسبه‌ی تنش خمشی طبق استاندارد باید از معادله (۳-۳) بهره ببریم:

$$\sigma_f = \left(\frac{3PL}{2bd^2} \right) \left[1 + 6\left(\frac{D}{L}\right)^2 - 4\left(\frac{d}{L}\right)\left(\frac{D}{L}\right) \right] \quad (3-3)$$

که در آن σ_f تنش خمشی در نقطه‌ی میانی نمونه و در سطح خارجی آن، P نیروی مذکور، L فاصله‌ی بین تکیه‌گاه‌ها، b پهنای نمونه و d نیز ضخامت نمونه می‌باشند.

لذا در این فرمول با گذاشتن بزرگترین نیروی موجود روی نمودار نیرو-تغییرمکان و ابعاد وسط نمونه، به استحکام خمشی در وسط نمونه خواهیم رسید که می‌تواند معیار مناسبی برای مقایسه‌ی ما باشد. برای محاسبه‌ی کرنش خمشی نیز استاندارد رابطه‌ی (۳-۴) را پیشنهاد می‌کند:

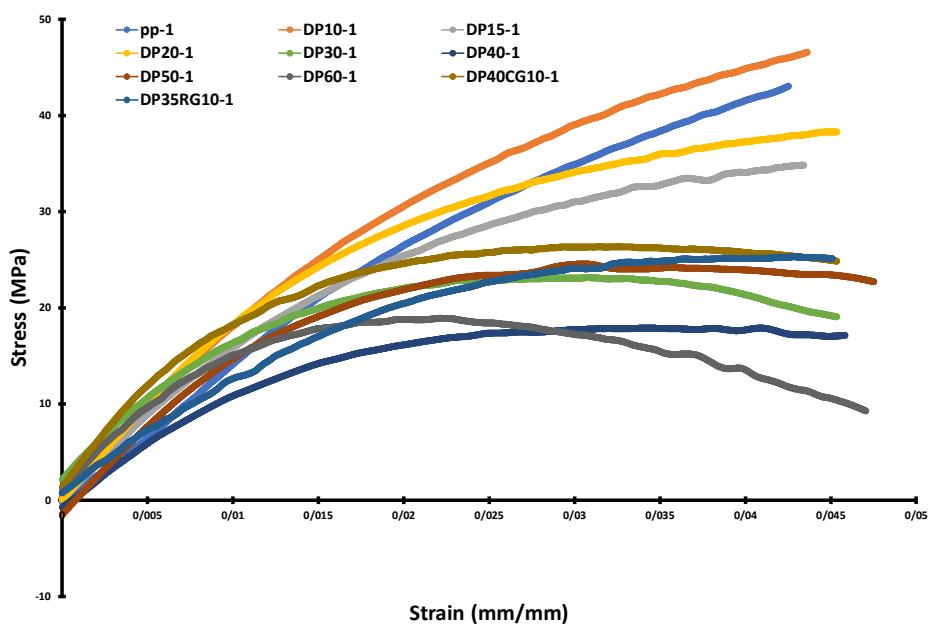
$$\varepsilon_f = \frac{6Dd}{L^2} \quad (3-4)$$

برای مدول الاستیسیته‌ی خمشی نیز طبق استاندارد باید از معادله (۳-۵) بهره ببریم:

$$E_b = \frac{L^3 m}{4bd^3} \quad (3-5)$$

که در آن m شیب خط مماس بر قسمت خطی منحنی نیرو-تغییرمکان بوده و بقیه‌ی پارامترها مشابه معادله (۳-۳) می‌باشند.

لازم به ذکر است که برای یافتن m چون برخی نمودارها مطابق شکل ۳-۲۵ قسمت خطی مشخصی ندارند، لذا ما برای همه‌ی آن‌ها شیب خط مماس بر منحنی را تا مقدار انحراف ۰.۶mm که مطابق استاندارد متناسب با کرنش حدود ۰.۵ درصد در سطح خارجی نمونه بود یافتیم. منحنی تنش-کرنش خمشی نمونه‌ها تحت روش A در شکل ۳-۲۶ آورده شده است.



شکل ۳-۲۶ . نمودار تنش-کرنش نمونه‌ها تحت روش A

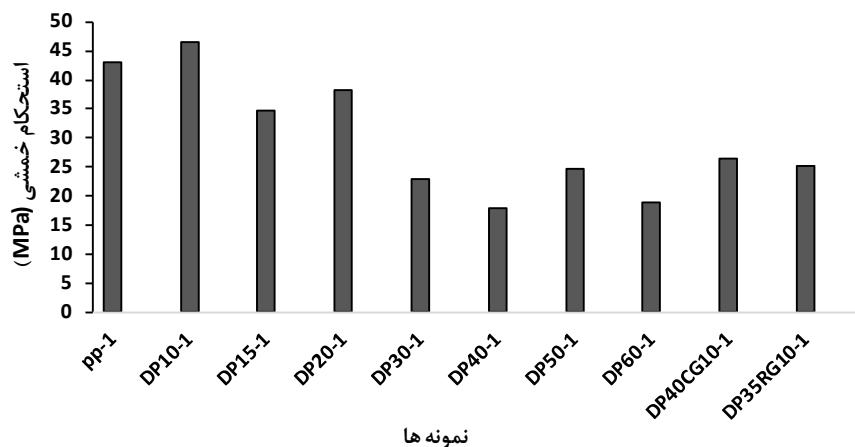
نتایج استحکام خمشی و مدول الاستیسیته‌ی خمشی برای هر نمونه در جدول ۳-۲ نشان داده شده است.

جدول ۳-۲ . مقادیر استحکام و مدول الاستیسیته‌ی خمشی نمونه‌ها تحت روش A

نمونه‌ها	ضخامت(mm)	پهنای(mm)	استحکام خمشی(MPa)	مدول الاستیسیته‌ی خمشی(MPa)
pp-1	1.76	11.92	43.05	1263.36
DP10-1	1.81	12.12	46.59	1944.97
DP15-1	1.8	12.15	34.75	1795.52
DP20-1	1.88	12.76	38.26	2010.12
DP30-1	1.88	12.99	22.87	1705.16
DP40-1	1.9	11.54	17.83	1372.59
DP50-1	1.97	13.11	24.57	1837.25
DP60-1	1.95	12.94	18.92	1725.57
DP40CG10-1	1.88	12.58	26.32	2180.91
DP35RG10-1	1.87	12.23	25.09	1313.19

۱-۱-۳-۳ - آنالیز استحکام خمشی

برای مقایسه‌ی بهتر بین استحکام خمشی نمونه‌ها آن‌ها را در نمودار میله‌ای شکل ۳-۲۷ نیز نشان می‌دهیم.



شکل ۳-۲۷. مقایسه‌ی استحکام خمشی نمونه‌ها تحت روش A

همانطور که در نمودار شکل ۳-۲۷ مشاهده می‌شود سه نمونه‌ی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد جرمی الیاف خرما، استحکام‌های بالا و نزدیک پلیپروپیلن خالص دارند و نمونه‌ی ۱۰ درصد حتی استحکامی بالاتر از پلیمر خالص را برای خود ثبت کرده است و استحکام پلیمر را حدود ۸ درصد افزایش داده است و این یک نتیجه‌ی فوق العاده است چرا که در این حالت هم پلیمر کمتری مصرف نموده‌ایم و هم استحکام نهایی کامپوزیت افزایش داشته است.^۱

سایر نمونه‌های ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد هم با این که استحکام را به حدود نصف کاهش داده اند اما از این جهت که تا حد زیادی توانسته‌اند در مصرف پلیمر صرفه‌جویی نمایند و آن را با یک ماده‌ی فوق العاده ارزان جایگزین کنند، همچنان بسیار ارزشمند و در مصارفی که استحکام‌های بالایی مورد نیاز نیست، بسیار کارآمدتر و به صرفه‌تر خواهد بود.

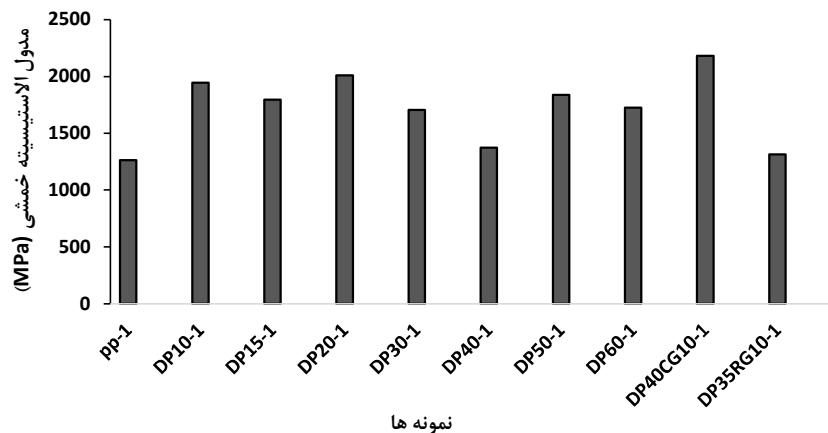
دلیل کاهش نسبتاً زیاد استحکام در این نمونه‌های با درصد بالا الیاف خرما هم می‌تواند این باشد که به سبب افزایش تراکم الیاف، پلیمر به خوبی توانسته بین آن‌ها نفوذ کند و درنتیجه‌ی آن یکپارچگی کامپوزیت تاحدی کاهش یافته است.

در رابطه با دو نمونه‌ی هیبرید شیشه هم مشاهده می‌کنیم که استحکام آن‌ها تا حدودی نسبت به حالت بدون الیاف شیشه (برای مثال نمونه‌ی ۴۰ درصد جرمی الیاف خرما بدون الیاف شیشه) نسبتاً بهبود داشته است ولی نسبت به پلیمر اولیه همچنان ضعیفتر عمل نموده است که این موضوع می‌تواند ناشی از عواملی همچون کم بودن درصد الیاف شیشه، زیاد بودن درصد الیاف خرما، عدم سازگاری الیاف خرما با الیاف شیشه جهت بهبود استحکام خمی و یا سایر عوامل دیگری باشد که خارج از موضوع این پژوهش بوده و ما صرفاً به عنوان یک ایده‌ی جدید این موضوع را مطرح کردیم تا مقدمه‌ای باشد بر بررسی‌های دقیق‌تر و موشکافانه‌تر محققین بعدی.

^۱ لازم به ذکر است که برای بررسی دقیق‌تر این موضوع باید حداقل ۵ نمونه، مشابه روش بالا تست شوند و میانگین آن‌ها لحاظ شود تا بتوان صحت ادعای بالا را به صورت قابل اعتمادتری ثابت کرد.

۳-۱-۲- آنالیز مدول الاستیسیته خمثی

برای مقایسه بیترین مدول الاستیسیته خمثی نمونه‌ها آن‌ها را در نمودار میله‌ای شکل ۳-۲۸ نیز نشان می‌دهیم.



شکل ۳-۲۸. مقایسه می‌مدول الاستیسیته خمثی نمونه‌ها تحت روش A

همانطورکه در نمودار شکل ۳-۲۸ مشاهده می‌شود مدول الاستیسیته خمثی تمامی نمونه‌ها از مدول الاستیسیته خمثی پلیپروپیلن خالص بیشتر شده است که این یک نتیجه‌ی فوق العاده است، چرا که در این حالات هم پلیمر مصنوعی کمتری مصرف نموده‌ایم که باعث هزینه‌ی کمتر می‌شود و هم مدول خمثی محصول مان در نهایت بهتر گشته است.

در مورد نمونه‌ی ۴۰ درصد جرمی الیاف خرما مشخصا در فرآیند نمونه اشکالاتی وجود داشته است چرا که هم استحکام خمثی و هم مدول الاستیسیته خمثی آن بسیار کمتر و غیرسازگار با نمونه‌های قبل و بعد از خود است؛ بنابراین آن را در آنالیز خود در نظر نمی‌گیریم.

نکته‌ی جالب توجه در مدول الاستیسیته خمثی، نمونه‌ی هیبرید الیاف خرما و شیشه‌ی خرد شده^۱ می‌باشد که مدول الاستیسیته را به مقدار ۷۳ درصد نسبت به پلیمر خالص اولیه بهبود بخشیده است. ولی نمونه‌ی هیبرید الیاف خرما و شیشه‌ی رووینگ فقط ۴ درصد تقویت سازی داشته است.

^۱ DP40CG10-1

-۳-۲- نتایج تست تحت روش B

همانطور که در ابتدا نیز ذکر شد؛ در این حالت سرعت حرکت کراس هد 8.5mm/min در نظر گرفته شد و تست نیز پس از شکست نمونه‌ها و نزولی شدن منحنی نیرو-تغییرمکان آن‌ها متوقف شد. تصاویر نمونه‌ها پس از تست به روش B را در ادامه می‌آوریم:



شکل ۳-۲۹ . پلیپروپیلن خالص پس از تست به روش B



شکل ۳-۳۰ . نمونه‌ی ۱۰ ادرصد جرمی پس از تست به روش B



شکل ۳-۳۴ . نمونه‌ی ۱۵ درصد جرمی پس از تست به روش B



شکل ۳-۳۳ . نمونه‌ی ۲۰ درصد جرمی پس از تست به روش B



شکل ۳-۳۲ . نمونه‌ی ۳۰ درصد جرمی پس از تست به روش B



شکل ۳-۳۱ . نمونه‌ی ۴۰ درصد جرمی پس از تست به روش B



شکل ۳-۳۸ . نمونه‌ی ۵۰ درصد جرمی پس از تست به روش B



شکل ۳-۳۷ . نمونه‌ی ۶۰ درصد جرمی پس از تست به روش B



شکل ۳-۳۶ . نمونه‌ی هیبرید خرما و شیشه‌ی خردشده پس از تست به روش B



شکل ۳-۳۵ . نمونه‌ی هیبرید خرما و شیشه‌ی رووینگ پس از تست به روش B

همانطورکه مشاهده می‌شود در این حالت به جز دو نمونه‌ی پلی‌پروپیلن خالص و کامپوزیت ۱۵درصد الیاف خرما که دچار پدیده‌ی crazing گشته‌اند؛ سایر نمونه‌های ۱۵درصد به بالا همگی دچار

ترک سراسری گشته و شکسته‌اند. تصویر میکروسکوپی قسمت میانی نمونه‌ی ۱۰ درصد که دچار پدیده‌ی crazing گشته است را در شکل ۳-۳۹ آورده‌ایم.



شکل ۳-۳۹ . تصویر میکروسکوپی قسمت میانی نمونه‌ی ۱۰ درصد

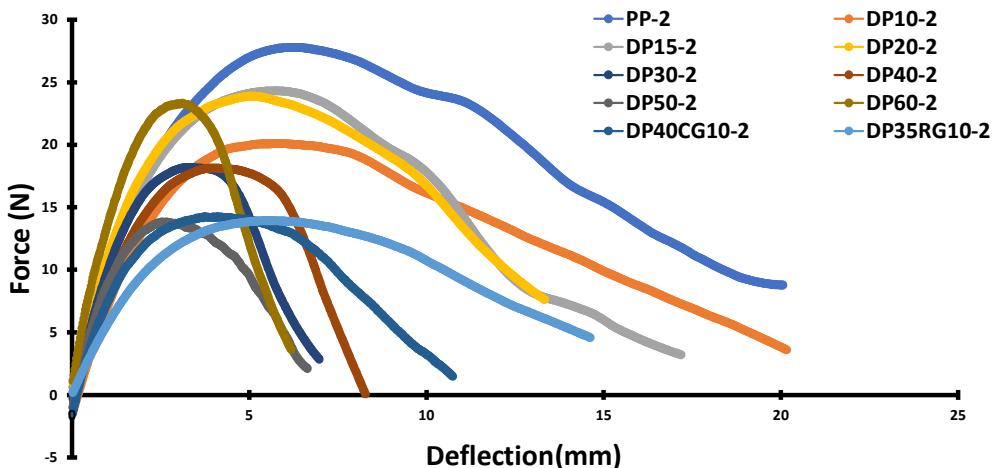
تصویر میکروسکوپی ترک ایجاد شده در نمونه‌ی ۲۰ درصد جرمی نیز به عنوان نمونه در شکل ۳-۴۰ آورده شده است:



شکل ۳-۴۰ . تصویر میکروسکوپی ترک ایجاد شده در نمونه‌ی ۲۰ درصد

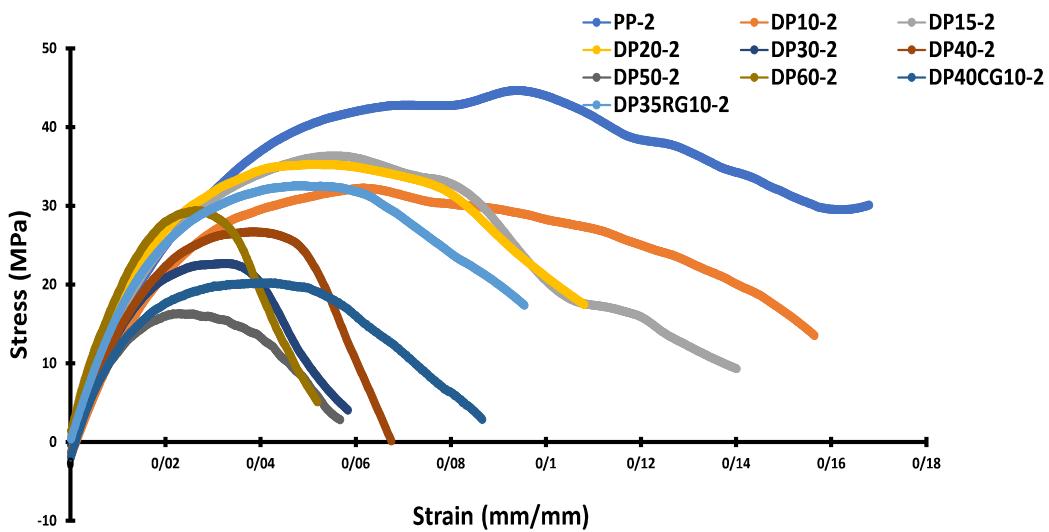
در اینجا نیز نمونه‌ی هیبرید الیاف خرما و شیشه‌ی رووینگ (شکل ۳-۳۵) جالب توجه است که برخلاف بقیه‌ی نمونه‌ها که ترک سراسری درون‌شان ایجاد شده است؛ این نمونه ظاهرا تا حد زیادی در مقابل انتشار ترک مقاومت کرده و ترک کوچکتری که به یک انتهایش نیز نرسیده است، روی سطحش ایجاد گشته است. در حالت A نیز برخلاف بقیه‌ی نمونه‌های درصد بالا که ترک خورده بودند؛ روی این نمونه ترکی مشاهده نمی‌شد و فقط دچار پدیده‌ی crazing گشته بود.

با این تفاصیل می‌توان بیان نمود که هیبرید نمودن الیاف نخل و شیشه‌ی رووینگ تا حد زیادی می‌تواند در مقابل تشکیل یا انتشار ترک مقاومت نماید که به دلیل خارج از موضوع بودن، بررسی دقیق‌تر صحت و سقم این موضوع و تحقیقات بیشتر در این زمینه به محققین بعدی واگذار می‌شود. منحنی نیرو-تغییر مکان تمام نمونه‌ها برای روش B پس از نوسان‌گیری در نمودار شکل ۳-۴۱ آورده شده است:



شکل ۳-۴۱. منحنی نیرو-تغییر مکان نمونه‌ها تحت روش B

به همان دلیل مطرح شده در قسمت A در این قسمت نیز باید به سراغ منحنی تنش-کرنش رفته و سپس استحکام خمشی و مدول الاستیسیته‌ی خمشی نمونه‌ها را یافته و با یکدیگر مقایسه نماییم. همانند قسمت A در اینجا نیز ابعاد نمونه‌ها را پیش از تست با کولیس دیجیتال اندازه‌گیری نموده‌ایم. نمودار تنش-کرنش نمونه‌ها تحت تست به روش B در شکل ۳-۴۲ آورده شده است:



شکل ۳-۴۲ . نمودار تنش-کرنش نمونه‌ها تحت روش B

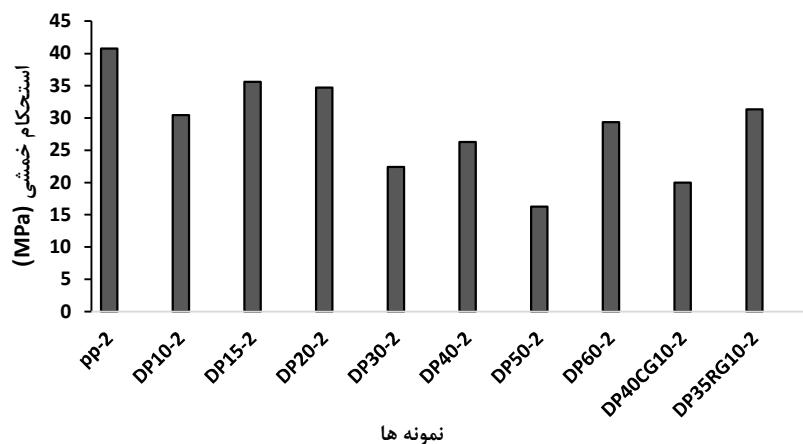
مقادیر استحکام و مدول الاستیسیته خمی نمونه‌ها تحت روش B در جدول ۳-۳ آورده شده است:

جدول ۳-۳ . مقادیر استحکام و مدول الاستیسیته خمی نمونه‌ها تحت روش B

نمونه ها	ضخامت(mm)	پهنای(mm)	استحکام خمی(MPa)	مدول الاستیسیته خمی(MPa)
pp-2	1.91	11.79	40.80	1519.81
DP10-2	1.78	12.93	30.45	1542.64
DP15-2	1.86	12.22	35.58	1674.58
DP20-2	1.85	12.11	34.72	1759.72
DP30-2	1.91	12.67	22.45	1571.89
DP40-2	1.86	11.58	26.32	1691.58
DP50-2	1.95	12.59	16.28	1360.31
DP60-2	1.92	12.25	29.37	1941.67
DP40CG10-2	1.84	12.3	19.99	1610.09
DP35RG10-2	1.49	12.37	31.32	1787.82

۱-۲-۳-۳ - آنالیز استحکام خمی

برای مقایسه بین استحکام خمی نمونه‌ها آن‌ها در نمودار میله‌ای شکل ۳-۴۳ نیز نشان می‌دهیم.



شکل ۳-۴۳ . مقایسه بین استحکام خمی نمونه ها تحت روش B

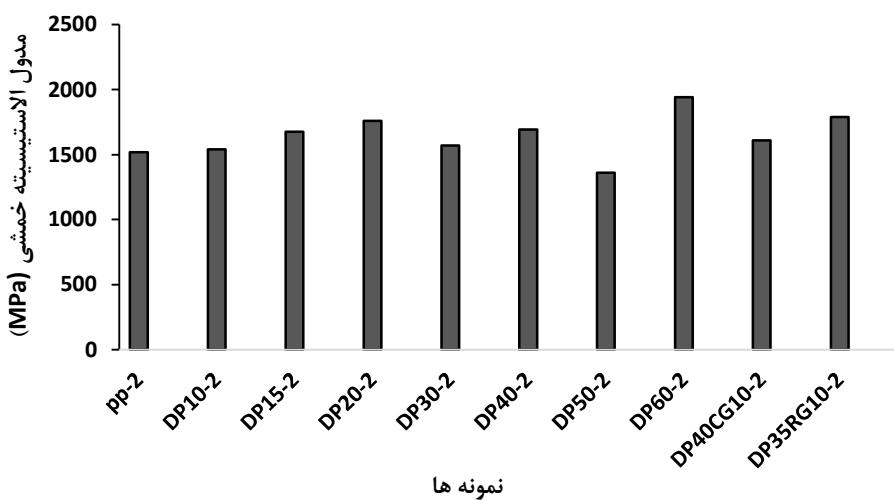
همانطور که در نمودار شکل ۳-۴۳ مشاهده می‌شود بالاترین استحکام مربوط به پلیپروپیلن خالص می‌باشد و سایر نمونه‌ها دارای استحکام کمتری نسبت به آن می‌باشند.

در اینجا نیز همانند روش A نمونه‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد الیاف خرما نشنهایی به مراتب نزدیک به تنش پلیمر خالص اولیه دارند و برای مقاصدی که استحکام و اقتصادی بودن قطعه باهم مدنظر هستند، می‌توانند بسیار مورد استفاده قرار گیرند. اما نمونه‌های ۳۰ درصد به بالا مثل نمونه‌های حالت A دچار کاهش استحکام گشته‌اند اما نکته‌ی جالب توجه این است که این کاهش نسبت به روش A کمتر بوده و حتی مشاهده می‌کنیم که نمونه‌ی ۶۰ درصد استحکام بالا و نزدیک نمونه‌ی ۱۰ درصد دارد. از این مورد می‌توانیم نتیجه بگیریم که نمونه‌های با درصد الیاف بالاتر، ترددتر شده و تحت روش B (بارگذاری با سرعت بالا) استحکام بالاتری را ثبت خواهند کرد.

نمونه‌ی هیبرید شیشه‌ی رووینگ هم استحکام نسبتاً بالایی را به ثبت رسانده است.

۳-۲-۲-۲- آنالیز مدول الاستیسیته‌ی خمشی

برای مقایسه‌ی بهتر بین مدول الاستیسیته‌ی خمشی نمونه‌ها آن‌ها را در نمودار میله‌ای شکل ۳-۴۴ نیز نشان می‌دهیم.



شکل ۳-۴۴. مقایسه‌ی مدول الاستیسیته‌ی خمشی نمونه‌ها تحت روش B

مطابق نمودار شکل ۳-۴۴ مشاهده می‌کنیم مدول خمشی تمامی نمونه‌ها نسبت به پلیمر خالص اولیه افزایش یافته است ولی این افزایش به میزان کمتری نسبت به حالت A بوده است. همچنین مشاهده می‌کنیم که مدول الاستیسیته‌ی خمشی تقریباً تمامی کامپوزیت‌های ساخته شده از مدول خمشی آنها در حالت A کمتر شده است؛ ولی مدول خمشی پلیمر خالص نسبت به حالت A افزایش داشته است.

همچنین همانند حالت A در اینجا نیز مدول الاستیسیته خمثی نمونه‌های ۳۰ درصد الیاف به بالا علارغم کاهش نسبی در استحکام، در مدول الاستیسیته خمثی افزایش یافته‌اند به طوریکه نمونه‌ی ۶۰ درصد جرمی مدول الاستیسیته خمثی پلیمر خالص را به میزان ۲۸ درصد افزایش داده است.

همچنین مشاهده می‌کنیم نمونه‌ی هیبرید الیاف خرما و شیشه‌ی خرد شده^۱ برخلاف حالت قبل، مدول الاستیسیته خمثی را افزایش زیادی نداده که می‌تواند ناشی از عیوبی که در این بخش از نمونه در حین ساخت ایجاد گردیده است باشد.

^۱ DP40CG10-2

فصل ۴

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

فصل ۴ - نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱- نتیجه‌گیری

در این پژوهش ابتدا به فرآیندی مناسب برای خردایش و فرآوری الیاف نخل خرما دست یافتیم. با استفاده از این فرآیند نمونه‌های پلیپروپیلن با درصدهای مختلف الیاف نخل خرما را ساختیم. مشاهده نمودیم تا نمونه‌ی ۵۰ درصد جرمی الیاف خرما، ترکیب پلیمر با الیاف خرما به خوبی و به طور کامل صورت می‌پذیرد و در نمونه‌های با درصد بالاتر الیاف خرما، این الیاف در گوشه‌های نمونه بدون روکش پلیمری باقی می‌مانند.

در مرحله‌ی بعدی به ترکیب الیاف خرما و شیشه پرداختیم و دو نمونه‌ی هیبرید الیاف نخل و شیشه را با استفاده از الیاف شیشه‌ی خردشده و الیاف شیشه‌ی رووینگ ساختیم. در این دو نمونه نیز ترکیب الیاف نخل و شیشه و پلیمر به خوبی صورت گرفت.

پس از ساخت نمونه‌ها، آن‌ها را مورد تست خمش سه نقطه‌ای قرار دادیم. این تست را تحت دو روش مختلف با سرعت‌های بالا و پایین اعمال نیرو مطابق استاندارد انجام دادیم. با استفاده از نتایج تست‌ها، استحکام و مدول الاستیسیته‌ی خمشی تمام نمونه‌ها را بدست آورده و با یکدیگر و با پلیپروپیلن خالص مورد مقایسه قرار دادیم. مشاهده کردیم که در هر دو روش استحکام خمشی نمونه‌ها تا حدود ۲۰ درصد جرمی الیاف خرما تا حد زیادی نزدیک به پلیپروپیلن خالص می‌باشد و در درصدهای بالاتر الیاف خرما این استحکام کاهش نسبی پیدا می‌کند ولی همچنان به دلیل مزیت‌های اقتصادی می‌تواند با سایر مواد موجود رقابت کند. در مدول الاستیسیته‌ی خمشی نیز مشاهده کردیم که تمامی نمونه‌های ساخته شده مقدار بالاتری را برای این خاصیت به ثبت رسانند. این مورد مزیت استفاده از الیاف نخل خرما را به عنوان پرکننده و تقویت کننده در کامپوزیت‌های پلیمری به خوبی نشان می‌دهد؛ چرا که در این موارد هم پلیمر مصنوعی کمتری مصرف گردیده است و هم مدول خمشی نمونه افزایش یافته است در عین حال هزینه‌ی کمتری نیز مصرف گردیده است.

در مورد نمونه‌های هیبرید الیاف خرما و شیشه هم مشاهده نمودیم که ترکیب الیاف خرما و شیشه‌ی خرد شده، حتی با درصد کم شیشه، بسیار می‌تواند بر مدول خمشی نمونه‌ها در بارگذاری با سرعت پایین موثر باشد ولی در ترکیب الیاف خرما و شیشه‌ی رووینگ این تقویت‌سازی به مقدار کمتری صورت می‌گیرد.

۴- پیشنهادات

با توجه به تست‌های انجام شده و نتایج به دست آمده از آن، برای ادامه پژوهش بر روی کامپوزیت‌های پرشده با الیاف نخل خرما پیشنهادهایی به شرح ذیل برای محققین آتی ارائه می‌شود:

- ساخت کامپوزیت‌های پرشده با الیاف خردشده و فرآوری شدهی خرما در مقیاس بزرگ‌تر و انجام تست‌های کشش و ضربه بر روی آن‌ها
- ساخت تعداد بیشتری نمونه و انجام مجدد تست خمش بر روی آن‌ها برای رسیدن به نتایج دقیق‌تر در این زمینه
- مطالعه‌ی بیشتر در مورد هیبرید نمودن الیاف خرما و شیشه و ساخت این نمونه‌ها با درصدهای مختلف و بررسی نتایج
- بررسی دقیق‌تر انتشار ترک در نمونه‌های هیبرید الیاف خرما و شیشه‌ی رووینگ
- بررسی نتیجه‌ی ترکیب نمودن الیاف خرما با الیاف طبیعی دیگر در تقویت‌سازی پلیمرهای گرمانرم

فهرست منابع

- [1] S.-Y. F. B. L. Y.-W. Mai, "Major factors affecting the performance of short fibre reinforced polymers," in *Science and Engineering of Short Fibre-Reinforced Polymer Composites*, Woodhead Publishing, July 2009, pp. 29,36.
- [2] M. S. Ahmadi, "Tensile and flexural properties of epoxy-date palm fiber composites, In Persian," *Journal of Science and Technology of Composites*, pp. 69-78, January 2018.
- [3] A. Lotfi, "Natural fiber-reinforced composites: A review on material, manufacturing," April 28, 2019.
- [۴] ح. غ. زارع، "روش خالص سازی الیاف خرما،" علوم و تکنولوژی پلیمر، ۱۳۸۹.
- [۵] ا. ز. م. آباد، "بررسی و توزیع تنش و کرنش در الیاف خرما با اجزامحدود،" مهندسی بیوسیستم/یران، ۱۳۹۰.
- [6] M. S. Salit, "Manufacturing of Natural Fibre Reinforced Polymer Composites," Springer International Publishing, 2015, pp. 17-43.
- [7] C. W. Nguong, "A Review on Natural Fibre Reinforced Polymer Composites," *International Journal of Materials and Metallurgical Engineering*, pp. 52-59, 2013.
- [8] P. Mallick, "Fiber-reinforced composites : materials, manufacturing, and design," CRC Press, November 19, 2007, pp. 25,26.
- [9] A. C. KARMAKER, "Injection Molding of Polypropylene Reinforced with Short Jute Fibers," 1996.
- [10] H. G. Zare, "Investigating Some Characteristics of Biocomposites Prepared from Chemically Purified Date Palm Fibers," *IRANIAN JOURNAL OF POLYMER SCIENCE AND TECHNOLOGY (PERSIAN)*, pp. 467-474, 2011.
- [11] L.Ghali, "Effect of pre-treatment of lufa fibres on structural properties," *Materials Letters*, pp. 61-63, January 15, 2009.
- [12] M. j. john, "Review Biofibres and biocomposites," *Carbohydrate Polymers*, vol. 71, no. 3, pp. 343-364, February 8, 2008.
- [13] S. Dixit, "Natural Fibre Reinforced Polymer Composite Materials - A Review," *Journal of Cleaner Production*, vol. 66, pp. 347-354, March 1, 2014.
- [14] T. Mohamed, "Predictable Models and Experimental Measurements for Electric Properties of Polypropylene Nanocomposite Films," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 6, pp. 120-129, February 1, 2016.
- [15] H. D. H. J, "Natural-fiber-reinforced polymer composites in automotive applications," *JOM*, vol. 58, no. 11, pp. 80-86, 2006.

- [16] P. F. Khosroshahi, "Manufacturing of a Thermoplastic Based Composite Reinforced with Treated Date Palm Tree Fibers," 2020.
- [17] AL-Oqla, "Natural Fiber Reinforced Polymer Composites in Industrial Applications: Feasibility of Date Palm Fibers for Sustainable Automotive Industry," *Journal of Cleaner Production*, vol. 66, pp. 347-354, March 1, 2014.
- [18] "Jam Petrochemical Company Catalog," 2019.
- [19] ASTM, Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials.
- [20] ASTM, Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials.



K. N. Toosi University of Technology

Faculty of Mechanical Engineering

Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirements for the Degree of Bachelor of Science (B.Sc)
in Mechanical Engineering.

Development of polypropylene composites using treated date palm fibers as filler

By:

Sina Taghizadeh

Supervisor:

Dr. Mohammad Ravandi

Summer 2021