تولید پلاستیک‌های زیستی از ضایعات سیب‌زمینی و الیاف خرما

هوشنگ افضلی گروه [1] و حسام عمرانی‌فرد [2]*

[1] پژوهشگر بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

[2] دکتری مکانیک بیوسیستم دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از پلاستیک‌های زیستی یا پلاستیک‌های با منشاء گیاهی، مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. پلاستیک‌های زیستی می‌توانند جایگزین مناسبی برای پلاستیک‌های معمول در بسته‌بندی مواد غذایی و محصولات کشاورزی باشند. پلاستیک‌های زیستی نشاسته‌ای به لحاظ کاربردی، ۵۰ درصد از بازار پلاستیک‌های زیستی را به خود اختصاص داده‌اند. سیب‌زمینی از محصولات حاوی نشاسته است که از آن می‌توان در ساخت پلاستیک‌های زیستی نشاسته‌ای استفاده کرد. استحکام کششی پایین این پلاستیک‌های زیستی استفاده از آنها را محدود کرده است. برای بهبود خصوصیات کششی و استحکام پلاستیک‌های زیستی می‌توان از الیاف طبیعی/ مصنوعی و مواد پرکننده استفاده کرد. الیاف خرما یکی از موادی است که برای افزایش استحکام کششی این پلاستیک‌های زیستی قابل استفاده است. در این مقاله به روش تهیه پلاستیک‌های زیستی از ضایعات سیب‌زمینی و الیاف خرما پرداخته شده است.

واژگان کلیدی: الیاف خرما، پلاستیک، پلاستیک زیستی، سیب‌زمینی، ضایعات، نشاسته

* نگارندهٔ مسئول: hooshangafzali@yahoo.com

بیان مسئله

مقدار تولید سیب‌زمینی کشور در سال ۱۳۹۹، بیش از ۵ میلیون و ٦۰۰ هزار تن بوده است (احمدی و همکاران، ١٤٠٠). بر طبق گزارش دفتر کاهش ضایعات محصولات کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی، از ٦۰ محصول زراعی و باغی مورد مطالعه، حدود ۹۰ درصد از ضایعات مربوط به ۲۰ محصول کشاورزی است. سیب‌زمینی بعد از گندم و گوجه‌فرنگی در رده سوم قرار دارد. از سوی دیگر، بخش عظیمی از دنیای امروز را پلاستیک‌ها اشغال کرده‌اند. هر ساله ۲۰۰ میلیون تن مواد پلاستیکی با رشد سالیانه ۵ درصد در جهان تولید می‌شود. در هر دقیقه ۱۲ کیسه پلاستیکی به طبیعت وارد شده که تنها ۹ درصد از آنها بازیافت می‌شوند. تجزیه پلاستیک‌ها به ۵۰۰ سال زمان نیاز دارد. پلاستیک‌های زیستی می‌توانند در مدت ٤ تا ٦ ماه تجزیه شوند. این پلاستیک‌ها در محیط به‌خوبی تجزیه شده و دارای کاربردهای وسیعی در کشاورزی و صنایع غذایی هستند. از کاربردهای پلاستیک‌های زیستی می‌توان به تولید ظرف‌های بسته‌بندی میوه، گوشت، تخم‌مرغ، محصولات لبنی، تولید گلدان‌های تجزیه-شونده و لوله‌های آبیاری اشاره کرد (سورنتینو و همکاران، ۲۰۰۷). پلاستیک‌های نشاسته‌ای حدود ۵۰ درصد از بازار پلاستیک‌های تجدیدپذیر را تشکیل می‌دهند (سالمورال و همکاران، ۲۰۰۰). پلاستیک‌های زیستی در واقع پلاستیک‌هایی هستند که از توده‌های زیستی مانند روغن، نشاسته ذرت و ... تولید می‌شوند. کارخانه شفر فرانسه سالانه ۲۵۰ میلیون کیسه زباله از سیب‌زمینی تولید می‌کند. بر اساس آمارهای وبگاه پلاستیک زیستی اروپا، سالانه ۷۲٤ تن پلاستیک زیستی تولید شده که این رقم در سال ۲۰۱۵ میلادی به ۱۷۱۰ میلیون تن در سال رسید. این افزایش تولید نشان‌دهنده گرایش جهانی به تولید این گونه پلاستیک‌ها است. میزان ضایعات سیب‌زمینی در مراحل مختلف برداشت و پس از برداشت، ۲۵ درصد گزارش شده که ۱۵ درصد آن مربوط به مرحله پس از برداشت است. هر ساله حدود ۸۰ هزار تن سیب‌زمینی ضایع شده که به‌دلیل عدم دانش و فن‌آوری مناسب از دسترس خارج می‌شود.

الیاف گیاهی در تمام اجزای گیاهان وجود داشته و از جمله موادی زیستی است که می‌تواند به عنوان ماده تحکیم‌دهنده یا پرکننده در ساختار پلاستیک‌های زیستی نشاسته‌ای مورد استفاده قرار گیرد. الیاف روی تنه خرما و محل اتصال برگ‌ها، مقدار زیادی مواد سلولزی دارد که قسمت عمده آن جزء ضایعات کشاورزی محسوب می‌شود (افضلی‌گروه و همکاران، ۱۳۹۲). الیاف خرما دارای درصد سلولز نسبتاً مناسب بوده و از پتانسیل بالایی برای استفاده در کامپوزیت‌ها برخوردار است (اوچی، ٢٠١٦). بهبود خصوصیات کششی پلاستیک‌های زیستی تحکیم‌یافته با الیاف، به میزان استحکام و کشش الیاف و همچنین به میزان چسبندگی نوع الیاف بستگی دارد (غفارزاده و غضنفری، ۲۰۱۰).

معرفی دستورالعمل

از ضایعات سیب‌زمینی و الیاف خرما می‌توان پلاستیک سازگار با محیط‌زیست تولید کرد. برای ساخت پلاستیک زیستی از ۷۰ درصد وزنی آرد سیب‌زمینی به همراه ۳۰ درصد وزنی روان‌کننده گلیسرول استفاده می‌شود. برای بهبود خصوصیات کششی، استحکام‌بخشی و کاهش استفاده از نشاسته در تولید پلاستیک زیستی از الیاف خرما به میزان حداقل ۱ و حداکثر ٤ درصد وزنی

به‌صورت موازی و هم‌جهت با جریان کشش یا به‌صورت شبکه‌ای بر حسب نیاز استفاده می‌شود. الیاف‌ها پس از خیساندن به مدت ۲ ساعت در آب مقطر، داخل فر با دمای ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ٤٨ ساعت قرار داده شده تا خشک شوند (افضلی‌گروه و همکاران، ۱۳۹۲). پس از مخلوط کردن مواد و تهیه خمیر با استفاده از یک دستگاه جک هیدرولیکی و قالب به مدت ۷ دقیقه تحت فشار ۱۰ مگاپاسکال قرار می‌گیرد. سپس محصول در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس قالب‌گیری می‌شود. مراحل ساخت پلاستیک زیستی به شرح زیر است:

تهیه آرد سیب‌زمینی

ابتدا سیب‌زمینی، شسته و سپس آب‌پز می‌شود. سیب‌زمینی پخته‌شده بعد از پوست‌کندن، کوبیده شده و روی یک ورق آلومینیومی پهن می‌شود. پوره حاصله در داخل فر با دمای ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ٤٨ ساعت قرار داده شده تا خشک شود. سپس پوره خشک، آسیاب شده و برای یکنواختی دانه‌بندی از الک با مش ۸۰ عبور داده می‌شود.

استفاده از روان‌کننده

در ساخت پلاستیک‌های نشاسته‌ای به‌طور معمول از یک یا چند روان‌کننده (گلیسرول، ۱و۲- بوتان دیول، ۱و۳- بوتان دیول، پلی‌اتیلن گلیگول، صمغ گیاه سورگوم، سوربیتول) استفاده می‌شود. گلیسرول، در دسترس‌تر و دارای قیمت کمتری بوده و در پلاستیک‌های حاصل، خصوصیات مکانیکی و حرارتی قابل قبولی را ارائه می‌دهد (سینگ و موهانتی، ۲۰۰۷).

ساخت دستگاه پرس

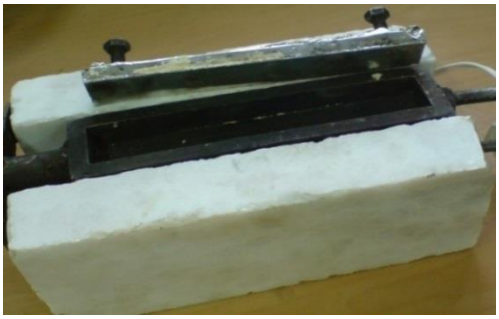
برای تهیه پلاستیک زیستی با استفاده از فرآیند قالب‌گیری فشاری، نیاز به یک دستگاه جک هیدرولیکی است. برای ساخت جک هیدرولیکی، با استفاده از تیرآهن نمره ١٤ چارچوبی به ابعاد ۷۵ ×۵۰ سانتی‌متر طوری جوش داده می‌شود که جک هیدرولیکی در وسط آن قرار گیرد (شکل ۱).

شکل ۱- دستگاه جک برای ایجاد فشار

با استفاده از پدال موجود روی جک، فشار هیدرولیکی تولیدی باعث بالارفتن پیستون جک می‌شود. ادامه پدال‌زدن تا رسیدن به قالب، سبب تحت فشار قراردادن و ایجاد پرس می‌شود. برای سنجش فشار نیز یک مانومتر فشارسنج به پیچ محل خروج هوا (منفذ افت فشار جک) متصل می‌شود. برای این کار، یک پیچ به شکل پیچ خروج هوای جک تراش داده می‌شود، با این تفاوت که یک سوراخ سرتاسری با دقت بالا با استفاده از دستگاه تراش در آن ایجاد می‌شود. انتهای این سوراخ به ورودی مانومتر فشارسنج جوش داده می‌شود. به این ترتیب، روغن موجود در جک به پشت فشارسنج جاری شده و فشار هیدرولیکی ایجادشده در جک، مستقیماً به فشارسنج منتقل گشته و میزان فشار هیدرولیکی را نشان می‌دهد.

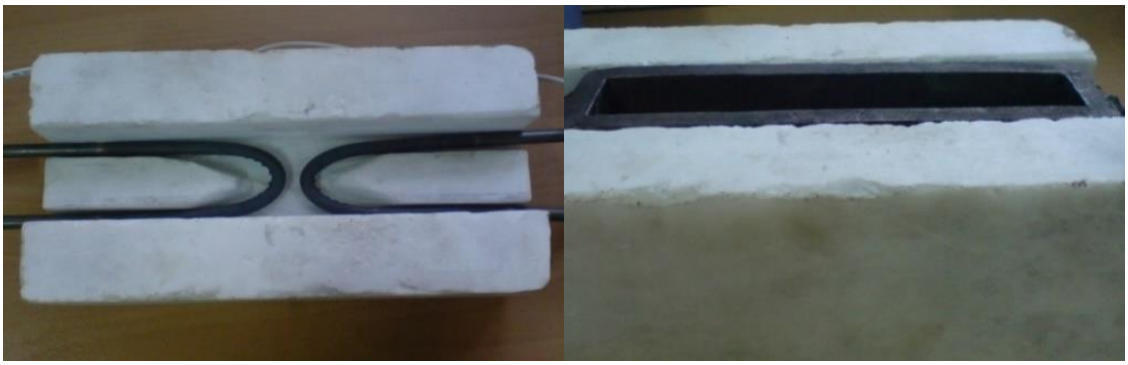
ساخت قالب

برای ساخت پلاستیک زیستی با استفاده از فرآیند قالب‌گیری فشاری، نیاز به یک قالب است. قالبی به شکل مکعب مستطیل، در ابعاد ۲۵×۳۵×۱۸۵ میلی‌متر از جنس تسمه فولادی با ضخامت ۱۰ میلی‌متر باید ساخته شود. برای این منظور، بایستی قسمت نرگی قالب با دقت بالایی ساخته شده و برای خروج آسان آن از داخل مادگی، دو پیچ به آن جوش داده شود (شکل ۲).



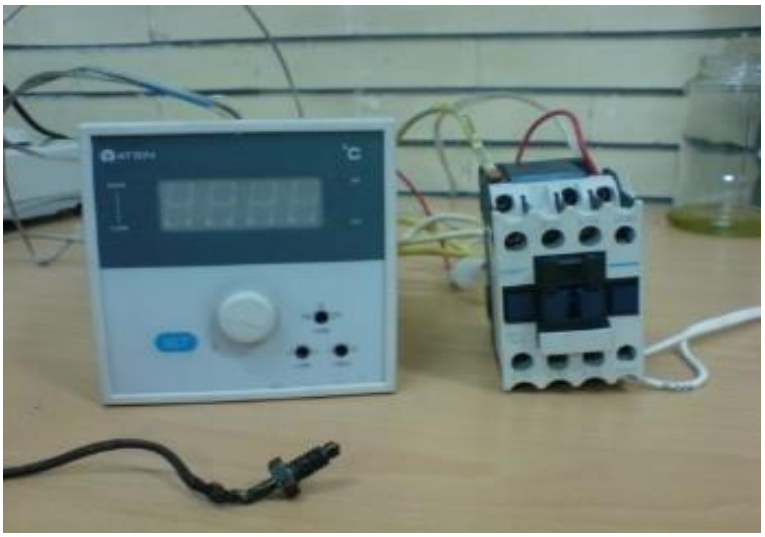
شکل ۲- مجموعه قالب و سنگ زیرین

برای ثابت نگهداشتن دما در حین فرآیند قالب‌گیری، می‌توان از المنت لوله‌ای U شکل استفاده کرد. با توجه به ابعاد قالب، برای قراردادن المنت زیر قالب از سنگی که با دقت بالا تراشیده شده، استفاده می‌شود. در داخل سنگ و زیر محل قرارگیری قالب، شیارهایی متناسب با دو المنت، تعبیه شده تا المنت‌ها در داخل شیار قرار گرفته و در حین فرآیند قالب‌گیری، فشار به سنگ منتقل شود. با عایق‌بندی دور تا دور سنگ و قالب با استفاده از پشم شیشه، کاهش دما و تلفات گرمایی به حداقل می‌رسد. در شکل ۳ المنت‌ها و چگونگی قرارگیری قالب در داخل سنگ زیرین نشان داده شده است.



شکل ۳- المنت‌های لوله‌ای تعبیه‌شده در سنگ زیرین و چگونگی قرارگیری قالب در داخل سنگ

برای ثابت نگه‌داشتن دما از یک مدار کلید قطع و وصل جریان استفاده می‌شود. این مجموعه دارای یک تنظیم‌کننده و یک حسگر الکتریکی تشخیص دما است. حسگر، دما را به‌صورت لحظه‌ای به واحد تنظیم‌کننده انتقال می‌دهد تا به هنگام رسیدن دمای مجموعه به دمای تنظیم‌شده، اتصال برق منتهی به المنت‌ها را قطع کرده و در هنگام کاهش دما آن را مجدداً وصل کند (شکل ٤).



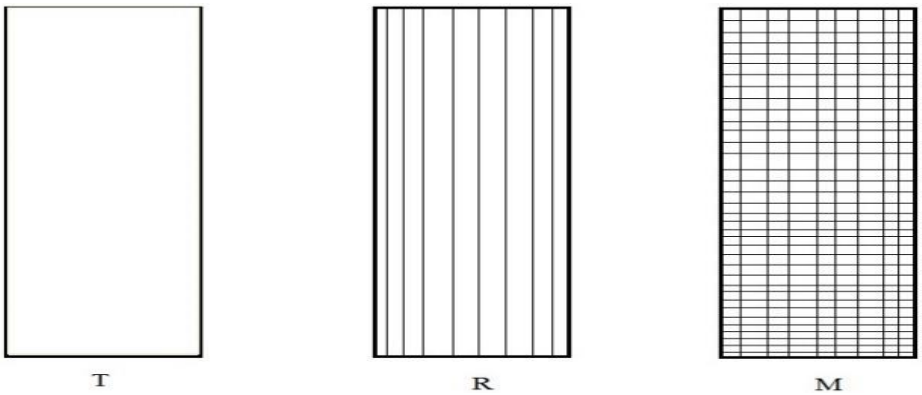
شکل ٤- حسگر سنجش دما و مدار کلید قطع و وصل جریان الکتریکی

ساخت پلاستیک زیستی و تحکیم‌دهی

در محل پاجوش نخل خرما، الیاف به‌هم تنیده‌ای وجود دارد که طول هر رشته آن بین ۳۰ تا ۹۰ سانتی‌متر است. این الیاف بسیار محکم بوده و می‌توان برای افزایش استحکام کششی پلاستیک زیستی از آن استفاده کرد (شکل ۵).

شکل ٥- الیاف خرما در محل پاجوش

از این الیاف با ١ تا ٤ درصد وزنی به‌صورت موازی و هم‌جهت با جریان کشش یا ١ درصد وزنی ولی شبکه‌ای استفاده می‌شود. در شکل ٦، طرح‌واره‌ای از وضعیت قرارگیری الیاف در حالت‌های مختلف استحکام‌بخشی به نمونه‌های پلاستیک زیستی، نشان داده شده است. برای تمایز بهتر استحکام‌بخشی با الیاف شبکه‌ای، نسبت به حالت تحکیم‌دهی با الیاف موازی (R)، از این نمونه با نام مسلح (M) یاد شده است. روش تهیه نمونه‌های تحکیم‌یافته، همانند روش مورداستفاده در شکل‌دهی پلاستیک‌های زیستی است. البته در تهیه نمونه‌های تحکیم‌یافته، در هنگام ریختن مواد در داخل قالب، الیاف خرما نیز به‌صورت موازی و هم‌جهت با جریان کشش و با اندازه حداقل ١ و حداکثر ٤ درصد وزنی، اضافه می‌شود. سپس عملیات شکل‌دهی با استفاده از فرآیند قالب‌گیری فشاری تحت فشار ١٠ مگا پاسکال و دمای ١٢٠ درجه سلسیوس، به مدت ٧ دقیقه انجام می‌شود. میزان بهبود خصوصیات پلاستیک‌های زیستی تحکیم‌یافته با الیاف، به نوع الیاف به‌کار رفته، میزان چسبندگی الیاف و مواد پلیمری، اندازه و جهت الیاف و همچنین درصد الیاف استفاده‌شده بستگی دارد.

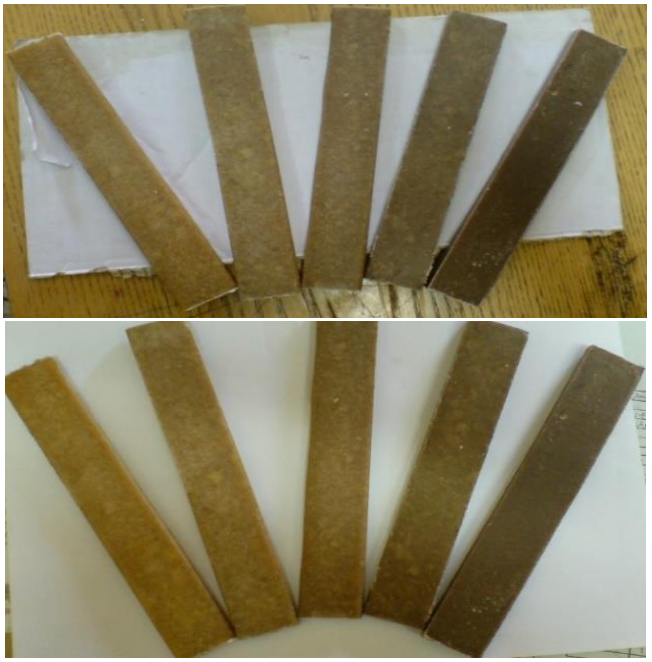


شکل ٦- طرح‌واره‌ای از وضعیت قرارگیری الیاف در حالت‌های مختلف تحکیم‌دهی به نمونه‌های پلاستیک زیستی

(T: تحکیم‌نیافته، R: تحکیم‌یافته با الیاف موازی و هم‌جهت با جریان کشش، M: مسلح‌شده با الیاف شبکه‌ای)

اضافه‌کردن مواد افزودنی و قالب‌گیری

پس از قراردادن الیاف خرما طبق حالت‌های مختلف تحکیم‌دهی، ۷۰ درصد آرد سیب‌زمینی با ۳۰ درصد گلیسرول کاملاً مخلوط شده و در داخل قالب ریخته و به سرعت زیر جک قرار می‌گیرد. قالب نیز هم‌زمان تا دماهای مورد نظر گرم می‌شود. برای جلوگیری از کاهش دما در حین عملیات، از دو المنت لوله‌ای U شکل تعبیه‌شده در داخل سنگ زیر قالب استفاده می‌شود. درجه حرارت در حین گرم‌کردن و عملیات پرس، با دستگاه حسگر الکتریکی تشخیص دما[1] اندازه‌گیری می‌شود. از یک سوئیچ فرمان‌گیرنده نیز برای قطع و وصل جریان به المنت‌ها استفاده می‌شود. در حین عملیات، مدار فرمان حسگر سنجش دما، روی دمای مورد نظر تنظیم شده و مواد به مدت ۷ دقیقه تحت فشاری برابر با ۱۰ مگا پاسکال قرار می‌گیرد. سپس پلاستیک زیستی از داخل قالب خارج و به مدت ۲٤ ساعت در دمای محیط قرار داده می‌شود.



شکل ۷- پلاستیک زیستی از ضایعات سیب‌زمینی و الیاف خرما

توصیه ترویجی (جمع‌بندی)

از ضایعات سیب‌زمینی می‌توان در تولید پلاستیک‌های زیستی و از الیاف خرما برای استحکام‌بخشی به آن استفاده کرد. استفاده از یک درصد الیاف خرما سبب می‌شود تا این پلاستیک‌ها حداکثر کشسانی و حداقل استحکام را داشته باشند. برای افزایش میزان استحکام این پلاستیک‌ها، بایستی درصد الیاف، ٤ درصد باشد و در دمای حداکثر ۱۲۰ درجه سلسیوس قالب‌گیری شوند. با توجه به نوع کاربرد پلاستیک‌های زیستی این پلاستیک‌ها کاربردهای زیادی دارند.

[1] Thermocouple

فهرست منابع

۱- احمدی، کریم، حمیدرضا عبادزاده، فرشاد حاتمی، شهریار محمدنیا افروزی، الهام اسفندیاری‌پور و رضا عباس طاقانی. ١٤٠٠. *آمارنامهٔ کشاورزی سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸*. جلد اول: محصولات زراعی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.

۲- افضلی‌گروه، هوشنگ، حسام عمرانی‌فرد، علی‌اصغر رجبعلی‌پور، لادن شفیعی و احمد غضنفری‌فرد. ۱۳۹۲. *ساخت و ارزیابی عملکرد زیست‌پلاستیک ساخته‌شده از ضایعات سیب‌زمینی و الیاف خرما*. کرج: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. گزارش نهایی، شماره ثبت ٤٤٧٤٩٤.

3. Ghafarzadeh, H. and A. Ghazanfari. 2010. Comparing four methods for purifying date fibers for reinforcement purposes in bio composites. *Separate Science and Engineering*, 2: 105-114.

4. Ochi, S. 2016. Development of high strength biodegradable composites using Manila hemp fiber and starch-based biodegradable resin. *Composite*, 37: 1879–1883.

5. Salmoral, E.M., M.E. Gonzalez and M.P. Mariscal. 2000. Biodegradable plastic made from bean products. *Industrial Crops and Products*, 11: 217–225.

6. Singh, S. and A.K. Mohanty. 2007. Wood fiber reinforced bacterial bioplastic composites: Fabrication and performance evaluation. *Composite Science and Technology*, 67 (9): 1753–1763.

7. Sorrentino, A., G. Gorrasi and V. Vittoria. 2007. Potential perspectives of bio nanocomposites for food packaging applications. *Trends in Food Science and Technology*, 18: 84-95.