



"مقاله مروری"

استفاده از روغن‌های گیاهی برای چسب‌های پلی‌اورتان

مانی جبّاری^{۱*}، میترا جبّاری^۲

^۱ کارشناس ارشد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران

^۲ کارشناس ارشد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

* نویسنده مسئول مکاتبات: mani.jabbari.mp@gmail.com

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۱۱، پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۹/۱۱)

چکیده

چسب‌های مبتنی بر پتروشیمی کنونی از طریق انتشار ترکیبات آلی فرار قابل توجه در طول تولید، بر محیط زیست تأثیر منفی می‌گذارند که موجب آلودگی هوا و تغییرات آب و هوایی می‌شود. استفاده از روغن‌های گیاهی به عنوان یک منبع تجدیدپذیر، برای تولید چسب‌های پلی‌اورتان، راه امیدوار کننده‌ای برای بهبود پایداری و کاهش اثرات زیست‌محیطی ارائه می‌دهد. استفاده از پلی‌اورتان‌های مشتق شده از روغن‌های گیاهی نوید جایگزینی طولانی مدت را می‌دهد و در عین حال خواص چسبندگی را حفظ یا بهبود می‌بخشد. این کیفیت باعث می‌شود که این چسب‌ها برای استفاده گسترده در بخش‌های مختلف از جمله ساخت و ساز، خودرو سازی، بسته‌بندی، نساجی و صنایع کفش مناسب باشند. هدف از این بررسی، پرداختن به چالش‌های زیست‌محیطی تولید پلی‌اورتان معمولی و ترویج شیوه‌های پایدار است. این مطالعه با بررسی روغن‌های گیاهی به عنوان اصلاح‌کننده‌های طبیعی، به توسعه مواد و فرآیندهای سازگار با محیط‌زیست کمک می‌کند و با اهداف پایداری گسترده‌تر همسو می‌شود. تحقیق و توسعه بیش‌تر در این زمینه برای غلبه بر چالش‌ها و تحقق پتانسیل کامل پلی‌اورتان‌های مبتنی بر روغن‌های گیاهی در کاربردهای مختلف صنعتی، کلیدی است.

واژه‌های کلیدی: چسب‌های زیستی، شیمی آلی، کربن‌زدایی، محیط زیست

مقدمه

چسب‌های سنتی، معمولاً از منابع پتروشیمی به دست می‌آیند و با انتشار ترکیبات آلی فرار، منجر به آلودگی هوا و نوسانات آب و هوایی می‌شوند. وجود ترکیبات آلی فرار، نه تنها کیفیت هوا را خراب می‌کند، بلکه باعث اثرات منفی بر سلامت انسان می‌شود، مانند تحریک تنفسی، حسی و در دراز مدت، می‌تواند سرطان‌زا باشد (۱ و ۲). در نتیجه، رسیدگی به این مشکلات زیست‌محیطی از طریق پیشرفت جایگزین‌های سبزتر در حال حاضر حیاتی‌تر از همیشه است (۳). در پاسخ به این موضوع، دانشمندان و صنایع، رویکردهای جدیدی را برای ایجاد چسب‌های سازگار با محیط زیست آغاز کرده‌اند که هم‌زمان پایدار و کارآمد هستند (۴ و ۵). یک رویکرد خوش‌بینانه برای پرداختن به اثرات زیست محیطی چسب‌های پلی-اورتان (PUAs)^۱ استفاده از روغن‌های گیاهی به عنوان ماده اولیه برای تولید آن‌ها است. جایگزینی مواد مبتنی بر پتروشیمی با روغن‌های گیاهی، می‌تواند وابستگی به سوخت‌های فسیلی را کاهش دهد و در عین حال ردپای کربن مرتبط با استفاده و تولید این چسب‌ها را به حداقل برساند (۶).

اهمیت استفاده از پلی‌اورتان‌های سازگار با محیط زیست ساخته شده از روغن‌های گیاهی را می‌توان به ظرفیت آن‌ها برای ارائه یک جایگزین پایدار در حالی که خواص چسب را حفظ یا افزایش داد، نسبت داد (۷ و ۸). این نوع چسب‌ها، دارای ویژگی‌های سودمندی مانند استحکام باندی فوق‌العاده، چکش‌خواری و طول عمر هستند که آن‌ها را برای استفاده در بخش‌های مختلف مناسب می‌کند (۹).

انواع عمده چسب پلی‌اورتان

روش‌ها و طبقه‌بندی‌های زیادی برای تمایز چسب‌ها وجود دارد، ۱-چسب‌های واکنشی ۲-چسب‌های مبتنی بر حلال ۳-چسب‌های مبتنی بر آب ۴-چسب‌های ذوب داغ (۱۱ و ۱۰).

چسب‌های واکنشی: از دو نوع تشکیل شده‌اند: یک جزئی یا دو جزئی. چسب‌های یک جزئی شامل پری پلیمرهای با وزن مولکولی طولانی با پایان ایزوسیانات هستند که از پلی‌ال‌ها و دی‌ایزوسیانات‌ها ساخته شده‌اند. ویژگی بارز آن‌ها واکنش احتمالی با رطوبت محیط است. گروه‌های ایزوسیانات آزاد با رطوبت واکنش می‌دهند و پیوندهای اوره ایجاد می‌کنند. چسب‌های دو جزئی از مواد با وزن مولکولی کم تشکیل شده‌اند، که پلی‌ال‌ها و دی‌ایزوسیانات‌ها هستند. اجزاء قبل از استفاده مستقیماً مخلوط شده و به پلی‌اورتان پخته می‌شوند. عمر این چسب‌ها به نوع واکنش دهنده‌ها و مقدار کاتالیزور بستگی دارد (۱۲). چسب‌های مبتنی بر حلال شامل پلیمرهای با وزن مولکولی بالا با پایانه هیدروکسی هستند. آن‌ها از واکنش یک پلی‌استر با دی‌ایزوسیانات ساخته می‌شوند و سپس پلیمر در یک حلال حل می‌شود (۱۳). چسب‌های پایه آب پلیمرهای پلی‌اورتان با وزن مولکولی بالا هستند که در آب پراکنده می‌شوند. مکانیسم پخت مانند سیستم‌های مبتنی بر حلال است، اما ماده تبخیر شده آب است. مزیت قابل توجهی از نظر محیط زیست و سلامت انسان وجود دارد. این ویژگی‌های سازگار با محیط زیست آن‌ها را به انتخابی ارجح تبدیل می‌کند و به کاهش انتشار ترکیبات آلی فرار کمک می‌کند و محیط کاری ایمن‌تر و سالم‌تر را

¹ Polyurethanes

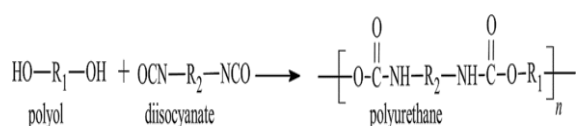
هم برای انسان و هم برای اکوسیستم ایجاد می‌کند (۱۴). چسب‌های ذوب داغ نیاز به پخت دو مرحله‌ای دارند. اولین مرحله استفاده از مایعات مذاب و جامد شدن است. مرحله دوم سخت شدن از طریق واکنش گروه‌های ایزوسیانات با رطوبت اتمسفر است. چسب‌های مذاب داغ بر پایه پلیمرهای منتهی به ایزوسیانات هستند و می‌توانند از پلی‌استرهای با وزن مولکولی بالا یا پلی‌اتر با ایزوسیانات‌ها فرموله شوند (۱۴-۱۲ و ۱۱).

بازار تحت طیف گسترده‌ای از چسب‌ها است که بسیاری از آن‌ها مصنوعی و مبتنی بر سوخت فسیلی هستند. با این حال، کاهش منابع سوخت فسیلی و تمرکز بر مواد پایدار منجر به افزایش علاقه، به یک جایگزین سازگار با محیط زیست شده است: چسب‌های بر پایه روغن گیاهی (۱۹-۱۵)، لیگنین (۲۱ و ۲۰)، تانن (۲۲)، پروتئین (۲۳) و نشاسته (۲۵ و ۲۴). لیگنین و تانن از مواد مختلف تجدیدپذیر در حال حاضر نیز به عنوان مواد خام برای ساخت پلی‌اورتان در حال توسعه هستند (۲۱ و ۲۰). با این حال، پلی‌اورتان‌های مبتنی بر لیگنین، به دلیل ساختار آروماتیک سفت و سخت لیگنین، شکنندگی بالاتری از خود نشان می‌دهند که انعطاف پذیری و شکل پذیری ماتریس پلیمری حاصل را محدود می‌کند (۲۰). پلی‌اورتان بر پایه روغن گیاهی، به دلیل ساختار آلیفاتیک خود می‌تواند بر شکنندگی غلبه کنند، که در مقایسه با ساختار معطر لیگنین، انعطاف پذیری و کشش بیش‌تری را فراهم می‌کند و در نتیجه ماتریس پلیمری انعطاف پذیرتر و کم‌تر شکننده تر است (۲۷ و ۲۶). پلی‌اورتان بر پایه لیگنین و تانن، اغلب از مقاومت ضعیف در برابر آب به دلیل ماهیت آبدوست گروه‌های

هیدروکسیل لیگنین رنج می‌برند، که می‌تواند کاربرد آن‌ها را در محیط‌هایی با قرار گرفتن در معرض رطوبت زیاد محدود کند (۲۱). از سوی دیگر، پلی‌اورتان‌های مبتنی بر روغن نباتی، عموماً آبگریزی و مقاومت در برابر آب بهتری را در مقایسه با لیگنین نشان می‌دهند و آن‌ها را برای کاربردهایی که نیاز به خواص مانع رطوبت دارند، مناسب‌تر می‌سازند (۲۸ و ۲۷). تری‌گلیسیریدهای موجود در این روغن‌ها، برای ایجاد چسب‌های بر پایه پلی‌اورتان که کیفیت مناسبی برای کاربردهای متنوع دارند، تحت تغییرات شیمیایی قرار می‌گیرند (۵). چسب‌های بر پایه روغن گیاهی، ویژگی‌های چشمگیری را نشان می‌دهند و آن‌ها را برای کاربردهای مختلف صنعتی جذاب می‌کند. همچنین در مقایسه با چسب‌های سنتی که از سوخت‌های فسیلی نشأت می‌گیرند، تجزیه‌پذیری زیستی افزایش یافته‌ای را نشان می‌دهند (۲۹). استفاده از مواد منشا گیاهی اتکا به منابع تجدیدناپذیر را کاهش می‌دهد (۴).

مواد اولیه برای چسب‌های پلی‌اورتان

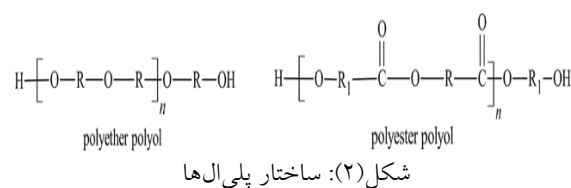
پلی‌اورتان‌ها از واکنش پلی‌ال با ایزوسیانات تشکیل می‌شوند (شکل ۱). گروه‌های ایزوسیانات با گروه‌های هیدروکسیل پلی‌ال واکنش می‌دهند تا یک پیوند اورتان بین مولکول‌های پلی‌ال ایجاد کنند. این واکنش معمولاً در حضور یک کاتالیزور انجام می‌شود (۱۱).



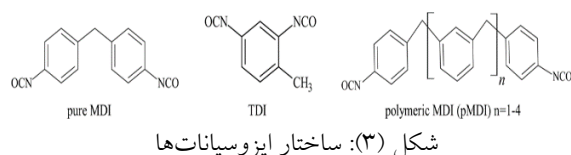
شکل (۱): واکنش بین پلی‌ال و دی‌ایزوسیانات

دو نوع رایج از چسب‌های پلی‌اورتان تجاری وجود دارد: سخت و انعطاف‌پذیر. محصولات سفت و سخت

پلی اورتان بر پایه پلی‌ال‌های پلی‌استر و اورتان‌های انعطاف‌پذیر بر پایه پلی‌ال‌های پلی‌اتر ساخته شده‌اند (۱۴). پلی‌ال‌های پلی‌اتری تجاری معمولاً از طریق پلیمریزاسیون حلقه باز مونومرهای اپوکسید مانند اکسید پروپیلن و اکسید اتیلن تولید می‌شوند. پلی‌ال‌های پلی‌استر، عموماً از واکنش بین اسیدهای آلی و الکل‌ها تهیه می‌شوند. انتخاب مونومرها برای پلی‌ال‌های پلی‌استر در مقایسه با پلی‌ال‌های پلی‌اتر متنوع‌تر است (شکل ۲). نمونه‌هایی از اسیدهای آلی قابل استفاده عبارتند از اسید آدیپیک، اسید فتالیک و اسید ترفتالیک و نمونه‌هایی از الکل‌های قابل استفاده شامل اتیلن گلیکول، پروپیلن گلیکول و ۱،۴-بوتان‌دیول (۳۰).



دی‌ایزوسیانات‌های آروماتیک، مانند متیلن دی‌فنیل دی‌فنیل دی‌ایزوسیانات (MDI^۲) و تولوئن دی‌ایزوسیانات (TDI^۳)، به دلیل واکنش‌پذیری بالا و توانایی اتصال عرضی با پلی‌ال‌ها (شکل ۳) معمولاً در تولید چسب‌های پلی‌یورتان استفاده می‌شوند.



متیلن دی‌فنیل دی‌ایزوسیانات پلیمری، اغلب در تولید چسب‌ها استفاده می‌شود و نوعی از متیلن دی‌فنیل دی‌ایزوسیانات است که از مخلوطی از ایزومرهای متیلن دی‌فنیل دی‌ایزوسیانات با وزن مولکولی بالاتر تشکیل شده است. پلیمری متیلن دی‌فنیل دی‌ایزوسیانات مزایای خاصی را نسبت به متیلن دی‌فنیل دی‌ایزوسیانات مونومری در کاربردهای چسب پلی‌اورتان ارائه می‌دهد و معمولاً ویسکوزیته بالاتری دارد (۱۰). همچنین وزن مولکولی بالاتر متیلن دی‌فنیل دی‌ایزوسیانات پلیمری، می‌تواند منجر به بهبود خواص مکانیکی و همچنین مقاومت در برابر تخریب شیمیایی و حرارتی در چسب را افزایش دهد (۱۲). متیلن دی‌فنیل دی‌ایزوسیانات پلیمری، معمولاً هزینه کم‌تری نسبت به متیلن دی‌فنیل دی‌ایزوسیانات خالص و نقطه انجماد پایین‌تری دارد (مایعات در دمای اتاق). به همین دلیل تمایل کم‌تری به دimer شدن دارد و در نتیجه محصول پایدارتری نسبت به متیلن دی‌فنیل دی‌ایزوسیانات خالص و مشتقات می‌دهد (۱۱). از نوع دی‌ایزوسیانات پلیمری، در مواردی استفاده می‌شود که رنگ چسب نهایی مهم نیست. علاوه بر ایزوسیانات‌های آروماتیک، ایزوسیانات‌های آلیفاتیک نیز در چسب‌های پلی‌اورتان استفاده می‌شوند (۱۳). ایزوسیانات‌های آلیفاتیک، مزایای خاصی نسبت به ایزوسیانات‌های آروماتیک در کاربردهای خاص دارند. آن‌ها معمولاً مقاومت بهتری در برابر نور UV و هوا دارند، که آن‌ها را برای کاربردهای خارج از منزل که ثبات رنگ و دوام مهم هستند، مناسب می‌کند. برخی از ایزوسیانات‌های آلیفاتیک که معمولاً در چسب‌های

^۲ Methylene Diphenyl Diisocyanate

^۳ Toluene Diisocyanate

پلی‌اورتان استفاده می‌شوند عبارتند از هگزامتیلن دی-ایزوسیانات (^۴HDI)، ایزوفورون دی‌ایزوسیانات (^۵IPDI) و سیکلوهگزان دی‌ایزوسیانات (^۶H12MDI) (۳۱).

پلی‌ال‌ها و ایزوسیانات‌ها به راحتی در دمای اتاق واکنش نشان می‌دهند. سرعت واکنش به حلال، دما و حضور کاتالیزورها بستگی دارد. کاتالیزورها می‌توانند بطور قابل توجهی این واکنش‌ها را تسریع کنند و در برخی موارد می‌توانند ترتیب واکنش‌پذیری را تغییر دهند (۳۲). خواص چسب را می‌توان با افزودن حلال‌های آلی خشک مانند اتیل استات، استون و متیل اتیل کتون تغییر داد (۱۱-۱۳). همچنین چسب‌های پلی‌اورتان، می‌توانند از نرم کننده‌ها برای کاهش ویسکوزیته، بهبود عملکرد در دماهای پایین و نرم شدن استفاده کنند. از نظر تجاری، محبوب‌ترین آن‌ها فتالات، بنزوات، فسفات‌ها و روغن‌های معطر هستند. نرم کننده‌ها باید با دقت استفاده شوند، زیرا چسبندگی بطور کلی با افزایش سطح نرم کننده‌ها کاهش می‌یابد (۱۲-۱۴).

پرکننده‌ها در چسب‌ها برای بهبود خواص فیزیکی، کنترل رئولوژی و کاهش هزینه‌ها استفاده می‌شوند. رایج‌ترین پرکننده‌های پلی‌اورتان کربنات کلسیم، تالک، سیلیس، خاک رس و سولفات باریم هستند. کربنات کلسیم، خاک رس، تالک و سولفات برای بهبود اقتصادی فرمول چسب استفاده می‌شود (۳۳ - ۱۱). مشتقات روغن کرچک^۷ را می‌توان به عنوان غلیظ کننده در کاربردهای مختلف استفاده کرد. یکی از

مشتقات رایج که به عنوان اصلاح کننده رئولوژی استفاده می‌شود، روغن کرچک هیدروژنه میکرونیزه (موم کرچک) است (۳۴). مشکل اصلی استفاده از پرکننده‌ها با پیش پلیمرهای اورتان، میزان رطوبت مرتبط با پرکننده‌ها است. پرکننده‌ها، معمولاً باید قبل از استفاده با پیش پلیمرهای اورتان یا ایزوسیانات‌ها خشک شوند. باید از پرکننده‌های هیگروسکوپیک اجتناب شود، زیرا رطوبت موجود در پرکننده، می‌تواند ماندگاری محصول نهایی را کاهش دهد (۱۱). برای جلوگیری از این مشکلات از عوامل خشک کننده استفاده می‌شود. عوامل خشک کننده متداول عبارتند از مواد خشک کننده مانند سیلیکاژل، کلرید کلسیم (۱۳).

مسائل زیست محیطی تولید چسب‌های پلی‌اورتان تولید پلیمرهای پلی‌اورتان مشتق شده از مواد اولیه زیستی، در سال‌های اخیر بدلیل افزایش نگرانی‌ها در مورد قیمت نفت، گرم شدن کره زمین و مسائل زیست محیطی مانند مدیریت ضایعات، توجه قابل توجهی پیدا کرده است. یکی از دلایل نیاز به تنوع در مواد اولیه است. پلیمرهای مبتنی بر پتروشیمی، مانند آنهایی که از نفت خام به دست می‌آیند، انتخاب غالب برای طیف وسیعی از کاربردها بوده‌اند. با این حال، اتکا صرفاً به مواد اولیه سوخت فسیلی، خطرات متعددی را در زمینه کمبود مواد خام به همراه دارد. مواد اولیه زیستی، با استفاده از منابع تجدیدپذیر مانند زیست توده گیاهی، ضایعات کشاورزی و روغن‌های گیاهی جایگزینی را ارائه می‌دهند. این تنوع، وابستگی به ذخایر محدود

^۴ Hexamethylene Diisocyanate

^۵ Isophorone Diisocyanate

^۶ Cyclohexane Diisocyanate

^۷ Castor Oil

سوخت فسیلی را کاهش می‌دهد و پایداری و کاهش ردپای کربن را ارتقا می‌دهد (۳۶ و ۳۵). بسترهای تجدیدپذیر برای تولید پلی‌اورتان، می‌توانند اثرات زیست محیطی مرتبط با پلیمرهای سنتی، مبتنی بر پتروشیمی را به میزان قابل توجهی کاهش دهند. این پلیمرها با استفاده از ذخایر تجدیدپذیر می‌توانند انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش داده و به کاهش تغییرات آب و هوایی کمک کنند (۳۷).

چسب‌های ساخته شده از روغن گیاهی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و مصرف انرژی را در طول تولید کاهش می‌دهند زیرا به دمای پردازش پایین‌تر و زمان پخت کوتاه‌تر نیاز دارند (۳۹ و ۳۸). این چسب‌ها بطور خودبخودی تحت تجزیه بیولوژیکی قرار می‌گیرند و در نتیجه طی چند ماه تا سال، اجزای آن‌ها به مواد بی‌ضرر تجزیه می‌شوند. سرعت تخریب، بستگی به فرمول خاص چسب و شرایط حاکم دارد (۴۱ و ۴۰).

ارزیابی چرخه حیات (LCA^۹) معمولاً برای ارزیابی اثرات مواد مبتنی بر زیست در مقایسه با معادل‌های پتروشیمی آنها برای ارائه پاسخ عددی و تأیید ادعاهای محیطی استفاده می‌شود. تجزیه و تحلیل چرخه حیات نشان می‌دهد که، استفاده از روغن کلزا به عنوان یک ماده خام پایه زیستی برای تولید پلی‌ال منجر به کاهش قابل توجهی در اثرات زیست محیطی در مقایسه با استفاده از پلی‌ال‌های پتروشیمی می‌شود. این مزایا شامل مصرف کمتر انرژی غیرقابل تجدید، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و کاهش مصرف آب است

(۴۲). پلی‌ال‌های مبتنی بر روغن بذر از منابع فسیلی کم‌تری استفاده می‌کنند و می‌توانند انتشار گازهای گلخانه‌ای بسیار پایینی ایجاد کنند. این روغن‌ها تأثیر هوای منطقه‌ای را کاهش می‌دهند و سطوح کم‌تری از اکسیدهای گوگرد و نیتروژن را منتشر می‌کنند (۴۳). پلیمرهای غیرپتروشیمی، می‌توانند با ایجاد امکان تولید موادی که بازیافت شوند، کمپوست شوند یا پس از استفاده بطور ایمن به طبیعت بازگردانده شوند و به توسعه اقتصاد کمک کنند (۴۴).

منابع روغن‌های گیاهی برای پلی‌اورتان‌ها

روغن‌های گیاهی مختلف منابع تجدیدپذیری هستند که در طول ساخت مواد خام برای چسب‌های پلی‌اورتان مورد استفاده قرار می‌گیرند و می‌توانند به‌طور موفقیت‌آمیز و گسترده به‌عنوان یک ماده جایگزین پتروشیمی مورد استفاده قرار گیرند (۴۵). جهات زیادی برای ساخت روغن گیاهی بر پایه پلی‌ال‌ها شرح داده شده است، از جمله واکنش‌های شیمیایی مانند اپوکسیداسیون^۹، ترانس استریفیکاسیون^{۱۰}، ازونولیز^{۱۱}، واکنش جفت شدن تیول-ان^{۱۲}، هیدروفرمیل‌اسیون^{۱۳} و اکسیداسیون فتوشیمیایی^{۱۴}. شایان ذکر است که از همین نوع واکنش‌های شیمیایی می‌توان برای فرآوری ضایعات روغن‌های گیاهی و ضایعات صنایع کشاورزی و غذایی استفاده کرد (۴۵ و ۴۴).

همچنین، نرم‌کننده‌های زیستی را می‌توان عمدتاً از روغن‌های گیاهی، محصولات کشاورزی و ضایعات

^۹ Epoxidation

^{۱۰} Trans Esterification

^{۱۱} Ozonolysis

^{۱۲} Thiol-Ene Coupling

^{۱۳} Hydroformylation

^{۱۴} Photochemical Oxidation

^۸ Life Cycle Assessment

مزایای چسب‌های بر پایه روغن‌های گیاهی

چسب‌های بر پایه روغن گیاهی، مزایای قابل توجهی دارند که عمدتاً به منشا تجدیدپذیر آنها مرتبط است. این چسب‌ها از روغن‌های گیاهی مانند روغن سویا (۶۱-۵۸)، روغن کرچک (۶۳ و ۶۲)، دانه کتان (۶۴-۱۸) و غیره به دست می‌آیند که آنها را از چسب‌های بر پایه نفت متمایز می‌کند که به منابع سوخت فسیلی تجدیدناپذیر متکی که با کاهش مواجه هستند. در مقابل، روغن‌های گیاهی مورد استفاده برای تولید این چسب‌ها را می‌توان به طور مداوم از طریق شیوه‌های کشاورزی پایدار دوباره جایگزین کرد، بنابراین آنها را به عنوان یک راه حل پایدار از نظر زیست محیطی قرار داد.

مسلماً مهمترین مزیت چسب‌های بر پایه روغن گیاهی، ردپای اکولوژیکی آنهاست. تولید آنها وابستگی به منابع تجدیدناپذیر را کاهش و به فرآیند تولید سازگار با محیط زیست کمک می‌کند (۶۵-۵). علاوه بر این، این چسب‌ها دارای کیفیت‌های مطلوب زیست تخریب‌پذیری، سمیت کم و تطبیق‌پذیری بالایی هستند که آنها را به گزینه‌ای جذاب برای کاربردهای مختلف در صنایع تبدیل می‌کند. همچنین فرصت‌های فوق العاده‌ای را برای نوآوری در فناوری چسب ارائه می‌دهند. این شایستگی‌ها در مجموع چسب‌های بر پایه روغن گیاهی را به یک جایگزین مناسب و پایدار برای فرمول‌های چسب معمولی تبدیل می‌کنند.

مطالعات متعدد نشان داده‌اند که چسب‌های بر پایه روغن گیاهی عملکرد و ویژگی‌های مشابه و در برخی موارد برتر از آنالوگ‌های بر پایه نفت معمولی دارند.

بدست آورد. مسیرهای اصلی تبدیل شامل، واکنش‌های شیمیایی زیر است: ترانس استری شدن (۴۷ و ۴۸)، هیدروژناسیون (۵۰ و ۴۹) و اپوکسیداسیون (۵۲ و ۵۱). برخی از روغن‌های گیاهی را می‌توان مستقیماً با درصدهای معینی به پلیمرها اضافه کرد تا خواص آنها افزایش یابد (۵۳).

محققان بر خواص برتر پلی‌اورتان‌ها بر پایه سویا در مقایسه با همتایان مبتنی بر نفت تأکید کردند که محصولات انعطاف‌پذیری و کشش بیشتری را ارائه می‌دهند (۵۴). محققین خواص مفید پلی‌ال‌های روغن کلزا را در مطالعه خود بیان کردند. پوشش‌های پلی‌اورتان پایدار هیدرولیتیکی و حداقل جذب آب را نشان و همچنین خواص فیزیکی و مکانیکی قابل قبولی را نشان دادند که الزامات پوشش‌های پلی‌اورتان دو جزئی را مطابق با استانداردها برآورده کردند (۵۵). محققان استفاده از روغن بذر کتان را به عنوان یک اصلاح کننده طبیعی در فوم‌های پلی‌اورتان سفت و سخت ذکر کردند که می‌تواند منجر به بهبود استحکام مکانیکی، مورفولوژی کف، خواص حرارتی و خواص واکنشی شود که بطور بالقوه بر خواص مقاومت در برابر آتش تأثیر می‌گذارد (۵۶). گزارش شده است که از گیاه غیر خوراکی جاتروفا^{۱۵}، محصولاتی با تجزیه‌پذیری زیستی بهبود یافته در مقایسه با پلی‌ال‌های سنتی مبتنی بر نفت تولید می‌کنند. علاوه بر این، روغن جاتروفا را می‌توان از نظر شیمیایی اصلاح کرد تا سازگاری با سایر پلیمرها و مواد افزودنی را بهبود بخشد، بنابراین عملکرد و خواص کلی فوم پلی‌اورتان حاصل را افزایش می‌دهد (۵۷).

¹⁵ *Jatropha curcas*

آن‌ها دارای خواص چسبندگی قوی، انعطاف پذیری عالی و سازگاری عالی با بسترهای مختلف هستند (۱۷، ۲۳، ۳۸، ۶۶، ۶۷، ۶۸). خاصیت ارتجاعی ذاتی چسب‌های بر پایه روغن گیاهی، آن‌ها را برای کاربردهایی که نیاز به ازدیاد طول و استحکام زیاد اتصال دارند، مانند ساخت و ساز (۷۲-۶۹)، خودرو (۷۳)، بسته‌بندی (۷۴)، منسوجات (۷۵-۶۶)، کفش (۷۶-۷۴) و صنایع الکترونیک (۱۷) مناسب می‌کند. خواص مکانیکی این چسب‌ها را می‌توان با اصلاح پارامترهای آزمایشی، انتخاب روغن گیاهی یا ترکیب مواد افزودنی تنظیم کرد، بنابراین امکان طراحی چسب‌های مخصوص با کاربردهای خاص را فراهم می‌کند (۷۷-۵۸). به عنوان مثال، محققان گزارش کردند که از طریق انتخاب دقیق منبع روغن و دمای پخت، چقرمگی چسب حاصل را می‌توان افزایش داد و ماده ای با مقاومت بالا در برابر تنش‌های حرارتی و مکانیکی تولید کرد (۱۸).

علاوه بر این، استفاده از چسب‌های بر پایه روغن گیاهی تأثیر اقتصادی مطلوبی دارد. روغن‌های گیاهی، ارزان‌تر از همتایان نفتی خود هستند (۷۸). علاوه بر این، استفاده از ضایعات کشاورزی، مانند روغن‌های گیاهی، اقتصادهای محلی را نیز به حرکت در می‌آورد و با ارائه راه‌های درآمد بالقوه برای کشاورزان، از توسعه روستایی حمایت می‌کند (۷۹-۳۱). چسب‌های بر پایه روغن گیاهی در مقایسه با چسب‌های سنتی، فراریت و سمیت کم‌تری از خود نشان می‌دهند که منجر به محیط‌های کاری ایمن‌تر می‌شود (۸۱ و ۸۰). ماهیت غیر سمی و قابلیت بازیافت آن‌ها جذابیت آن‌ها را از نظر بهداشت، ایمنی و محیط زیست بیش‌تر می‌کند. در نتیجه، مزایای چسب‌های بر پایه روغن

گیاهی فراتر از پایداری زیست محیطی به عرصه‌هایی با عملکرد برتر، دوام اقتصادی، سلامت و ایمنی و توسعه منطقه‌ای گسترش می‌یابد. مزایای کلی آن‌ها بطور منحصر به فرد، آن‌ها را به عنوان یک جایگزین پایدار و جذاب برای فناوری چسب قرار می‌دهد.

از معایب مربوط به استفاده از روغن‌های پایه زیستی
- روغن‌های پایه زیستی، معمولاً از محصولات کشاورزی به دست می‌آیند. تولید آن‌ها به دلیل در دسترس بودن زمین مناسب، منابع آبی و شرایط آب و هوایی مناسب محدود است. در نتیجه، ممکن است با تولید مواد غذایی رقابت کند و منجر به نگرانی در مورد امنیت غذایی و افزایش قیمت کالاهای کشاورزی شود (۸۳ و ۸۲).

- کشت محصولات زراعی برای روغن‌های پایه زیستی، می‌تواند منجر به افزایش فشار بر منابع زمین شود. جنگل‌زدایی نه تنها تنوع زیستی را کاهش می‌دهد، بلکه مقادیر قابل توجهی دی اکسید کربن را در جو آزاد و تغییرات آب و هوایی را تشدید می‌کند (۸۳).

- تولید روغن زیستی به آب برای آبیاری نیاز دارد و افزایش تقاضا برای آب می‌تواند منابع آب محلی را تحت فشار قرار دهد که می‌تواند منجر به درگیری بر سر استفاده از آب در بین نیازهای کشاورزی، جوامع محلی و اکوسیستم‌ها شود (۸۴-۸۲).

- در حالی که روغن‌های پایه زیستی اغلب دوستدار محیط زیست نسبت به سوخت‌های فسیلی در نظر گرفته می‌شوند، در حالی که تولید و فرآوری آن‌ها همچنان می‌تواند باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای شود (۸۵-۸۳).

- کشت فشرده محصولات روغنی با پایه زیستی، می‌تواند منجر به فرسایش خاک، کاهش مواد مغذی و کاهش کیفیت خاک شود. بدون اعمال مدیریت مناسب، کشت مداوم محصولات دانه‌های روغنی می‌تواند حاصلخیزی خاک را کاهش داده و به تخریب زمین کمک کند (۸۷و۸۶).

بطور خلاصه، استفاده از چسب‌های بر پایه روغن گیاهی، مزایای متعددی مانند تجدیدپذیری، زیست تخریب‌پذیری و کاهش سمیت را به همراه دارد و آن‌ها را به گزینه‌ای جذاب برای محیط زیست در صنعت چسب تبدیل می‌کند. با این وجود، موانع قابل توجه برای اجرای گسترده آن‌ها شامل افزایش هزینه‌ها و نگرانی‌های عملکردی است که نیاز به توجه دارند. اکتشاف مداوم برای اصلاح کارایی آن‌ها، به حداقل رساندن مخارج تولید و تقویت مزیت رقابتی آن‌ها در صنایع مختلف بسیار مهم است.

نتیجه‌گیری

روغن‌های گیاهی در شیمی پلی‌اورتان، مزایای مالی و زیست‌محیطی قابل‌توجهی را ارائه می‌دهد که به حفاظت از محیط زیست و پایداری تولید کمک می‌کند. در دسترس بودن منابع طبیعی تجدیدپذیر، برخلاف منابع پتروشیمی، عملاً نامحدود است، که منجر به افزایش انتشارات تحقیقاتی با تمرکز بر توسعه پلی‌ال‌های مبتنی بر زیست می‌شود. در حالی که بسیاری از تحقیقات موجود بر واکنش‌های مرسوم برای پلی‌ال‌های جدید مبتنی بر زیست متمرکز است، راه‌حل‌های مقرون‌به‌صرفه همچنان در اولویت هستند. بسیار مهم است که بدانیم تولید و فرآوری روغن‌های پایه زیستی می‌تواند به انتشار گازهای گلخانه‌ای در طول چرخه زندگی آن‌ها کمک کند، که از مراحل

مختلفی مانند تغییرات کاربری زمین، شیوه‌های کشاورزی و نیازهای انرژی ناشی می‌شود. یک رویکرد نوآورانه استفاده از روغن‌های گیاهی به عنوان اصلاح‌کننده‌های طبیعی در محصولات ساختمانی بدون اصلاح شیمیایی است که نویدبخش کاهش ردپای کربن است. این استراتژی که از روغن‌های گیاهی به شکل کمتر فرآوری شده استفاده می‌کند، می‌تواند مزایای زیست محیطی را به حداکثر برساند. در حالی که روغن‌های گیاهی یک جایگزین تجدیدپذیر هستند، کشت، فرآوری و استفاده از آن‌ها ممکن است، همچنان چالش‌های زیست‌محیطی ایجاد کند. پرداختن به مبادلات بالقوه مرتبط با پلی‌اورتان‌های مبتنی بر روغن گیاهی برای تصمیم‌گیری آگاهانه ضروری است. بررسی روغن‌ها به عنوان اصلاح‌کننده‌های طبیعی فرصت‌های جدیدی را برای بهبود عملکرد زیست محیطی چسب‌های پلی‌اورتان ارائه می‌دهد. ادغام مطالعات ارزیابی چرخه عمر در ارزیابی‌ها می‌تواند درک جامعی از عملکرد زیست محیطی آن‌ها در طول چرخه زندگی آن‌ها ارائه دهد.

منابع

- [1] Bernstein, J.A., Alexis, N., Bacchus, H., Bernstein, I.L., Fritz, P., Horner, E., Li, N., Mason, S., Nel, A., and Oullette, J., 2008, The Health Effects of Nonindustrial Indoor Air Pollution. *J. Allergy Clin. Immunol.* 121, 585–591.
- [2] Ghaffarianhoseini, A., Al Waer, H., Omran, H., Ghaffarianhoseini, A., Alalouch, C., Clements-Croome, D., and Tookey, J., 2018, Sick Building Syndrome: Are We Doing Enough? *Archit. Sci. Rev.* 61, 99–121.
- [3] Gogoi, S., and Karak, N., 2014, Biobased Biodegradable Waterborne Hyperbranched Polyurethane as an Ecofriendly Sustainable Material. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 2, 2730–2738.

- [16] Chen, Q., Xu, X., Zhang, X., Xu, Z., Liu, Y., Huan, S., Li, Z., Bai, L., and Gu, J., 2023, Valorization of Isocyanates Using Castor Oil-Based Protective Strategies: Performance and Comparison as Waterborne Adhesive Additives, *Ind. Crops Prod*, 195, 116392.
- [17] Xu, C., Jia, X., Du, J., Zhou, F., Liu, B., Deng, Y., and Huai, X., 2023, Ultra-Strong and Solvent-Free Castor Oil-Based Polyurethane Thermally Conductive Structural Adhesives for Heat Management, *Ind. Crops Prod*, 194, 116181.
- [18] Zhang, W., Wang, T., Zheng, Z., Quirino, R.L., Xie, F., Li, Y., and Zhang, C., 2023, Plant Oil-Based Non-Isocyanate Waterborne Poly(Hydroxyl Urethane)S. *Chem. Eng. J*, 452, 138965.
- [19] Tenorio-Alfonso, A., Sánchez, M.C., and Franco, J.M., 2022, Impact of the Processing Method on the Properties of Castor Oil/Cellulose Acetate Polyurethane Adhesives for Bonding Wood, *Int. J. Adhes. Adhes*, 116, 3453.
- [20] Handika, S.O., Lubis, M.A.R., Sari, R.K., Laksana, R.P.B., Antov, P., Savov, V., Gajtanska, M., and Iswanto, A.H., 2021, Enhancing Thermal and Mechanical Properties of Ramie Fiber via Impregnation by Lignin-Based Polyurethane Resin. *Materials*, 14, 6850.
- [21] Iswanto, A.H., Lubis, M.A.R., Sutiawan, J., Al-Edrus, S.S.O., Lee, S.H., Antov, P., Kristak, L., Reh, R., Mardawati, E., and Santoso, A., 2023, Latest Advancements in the Development of High-Performance Lignin and Tannin-Based Non-Isocyanate Polyurethane Adhesive for Wood Composites, *Polymers*, 15, 3864.
- [22] Sari, R.A.L., Lubis, M.A.R., Sari, R.K., Kristak, L., Iswanto, A.H., Mardawati, E., Fatriasari, W., Lee, S.H., Reh, R., and Sedliacik, J., 2023, Properties of Plywood Bonded with Formaldehyde-Free Adhesive Based on Poly(Vinyl Alcohol)-Tannin-Hexamine at Different Formulations and Cold-Pressing Times, *J. Compos. Sci*, 7, 113.
- [23] Xiao, X., Dong, Y., Tang, Z., Shi, S., and Gu, L., 2023, Degradable, Anticorrosive, and Fluorescent Waterborne Polyurethanes from Vegetable Oil Internal Emulsifiers for Adhesives and Strain Sen Sor, *Ind. Crops Prod*, 200, 116865.
- [4] Blasco, M.P.C., Limiñana, M.Á.P., Silvestre, C.R., Calpena, E.O., and Aís, F.A., 2022, Sustainable Reactive Polyurethane Hot Melt Adhesives Based on Vegetable Polyols for Footwear Industry. *Polymers*, 14, 284.
- [5] Gadhave, R.V., Mahanwar, P.A., and Gadekar, P.T., 2017, Bio-Renewable Sources for Synthesis of Eco-Friendly Polyurethane Adhesives— Review. *Open J. Polym. Chem*, 07, 57–75.
- [6] Erickson, B., Nelson, J.E., and Winters, P., 2012, Perspective on Opportunities in Industrial Biotechnology in Renewable Chemicals. *Biotechnol. J.*, 7, 176–185.
- [7] Kemoni, A., and Piotrowska, M., 2020, Polyurethane Recycling and Disposal: Methods and Prospects. *Polymers*, 12, 1752.
- [8] Gomez, J.C., Zakaria, R., Aung, M.M., Mokhtar, M.N., and Yunus, R., 2021, Synthesis and Characterization of Polyurethanes from Residual Palm Oil with High Poly-Unsaturated Fatty Acid Oils as Additive, *Polymers*, 13, 4214.
- [9] Maulana, S., Wibowo, E.S., Mardawati, E., Iswanto, A.H., Papadopoulos, A., and Lubis, M.A.R., 2024, Eco-Friendly and High-Performance Bio-Polyurethane Adhesives from Vegetable Oils: A Review., *Polymers*, 16, 1613.
- [10] Szycher, M., 2012, *Szycher's Handbook of Polyurethanes*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA,
- [11] Oertel, G., 1993, *Polyurethane Handbook*, 2nd ed.; Carl Hanser: Munich, Germany, pp. 594–602.
- [12] Edward, M.P., 2007, *Handbook of Adhesives and Sealants*, 2nd ed.; McGraw-Hill Professional: New York, NY, USA, pp. 403–410.
- [13] Wirpsza, Z., 1991, *Poliuretany Chemia Technologia Zastosowanie*; Wydawnictwa Naukowo-Techniczne: Warsaw, Poland.
- [14] David, J., 2003. *Dunn Adhesives and Sealants—Technology, Applications and Markets*; Rapra Technology Limited: Shrewsbury, UK.
- [15] Du, L., Liu, Z., Ye, Z., Hao, X., Ou, R., Liu, T., and Wang, Q., 2023, Dynamic Cross-Linked Polyurethane Hot-Melt Adhesive with High Biomass Content and High Adhesive Strength Simultaneousl, *Eur. Polym. J.*, 182, 111732.

- 2016, Bio-Based Polyurethane Prepared from Kraft Lignin and Modified Castor Oil, *Express Polym. Lett*, 10, 927–940.
- [36] Alhanish, A., and Abu Ghali, M., 2021, Developments of Biobased Plasticizers for Compostable Polymers in the Green Packaging Applications: A Review, *Biotechnol. Prog.*, 37, e3210.
- [37] Mori, R., 2023, Replacing All Petroleum-Based Chemical Products with Natural Biomass-Based Chemical Products: A Tutorial Review, *RSC Sustain*, 1, 179–212.
- [38] Malik, M., and Kaur, R., 2018, Mechanical and Thermal Properties of Castor Oil-Based Polyurethane Adhesive: Effect of TiO₂ Filler, *Adv. Polym. Technol.*, 37, 24–30.
- [39] Cui, S., Liu, Z., and Li, Y., 2017, Bio-Polyols Synthesized from Crude Glycerol and Applications on Polyurethane Wood Adhesives, *Ind. Crops Prod.*, 108, 798–805.
- [40] Tenorio-Alfonso, A., Sánchez, M.C., and Franco, J.M., 2017, Preparation, Characterization and Mechanical Properties of Bio-Based Polyurethane Adhesives from Isocyanate-Functionalized Cellulose Acetate and Castor Oil for Bonding Wood. *Polymers*, 9, 132.
- [41] Orgilés-Calpena, E., Arán-Aís, F., Torró-Palau, A.M., and Orgilés-Barceló, C., 2016, Novel Polyurethane Reactive Hot Melt Adhesives Based on Polycarbonate Polyols Derived from CO₂ for the Footwear Industry, *Int. J. Adhes. Adhes.*, 70, 218–224.
- [42] Fridrihsone, A., Romagnoli, F., Kirsanovs, V., and Cabulis, U., 2020, Life Cycle Assessment of Vegetable Oil Based Polyols for Polyurethane Production, *J. Clean. Prod.*, 266, 121403.
- [43] Helling, R.K., and Russell, D.A., 2009, Use of Life Cycle Assessment to Characterize the Environmental Impacts of Polyol Production Options., *Green Chem.*, 11, 380–389.
- [44] Lligadas, G., Ronda, J.C., Galià, M., and Cádiz, V., 2010, Plant Oils as Platform Chemicals for Polyurethane Synthesis: Current State of the Art, *Biomacromolecules*, 11, 2825–2835.
- [45] Kaikade, D.S., and Sabnis, A.S., 2023, Polyurethane Foams from Vegetable Oil-Based Polyols: A Review, *Polym. Bull.*, 80, 2239–2261.
- [24] Lubis, M.A.R., Yadav, S.M., and Park, B.D., 2021, Modification of Oxidized Starch Polymer with Nanoclay for Enhanced Adhesion and Free Formaldehyde Emission of Plywood, *J. Polym. Environ.*, 29, 2993–3003.
- [25] Tian, W., Wang, X., Ye, Y., Wu, W., Wang, Y., Jiang, S., Wang, J., and Han, X., 2023, Recent Progress of Biomass in Conventional Wood Adhesives: A Review, *Green Chem.*, 25, 10304–10337.
- [26] Tabasum, S., Zia, K.M., Parveen, B., and Shahid, M., 2022, Polyurethane Dispersions Prepared from Vegetable Oil and Their Application as Textile Finishes, *Text. Res. J.*, 92, 4639–4651.
- [27] Wang, X., Nayanathara, R.M.O., Leng, W., Caldon, E.B., Liu, L., Advincula, R.C., Zhang, Z., and Zhang, X., 2022, Corrosion-Resistant Polyurethane Coatings from Structure-Homogenized Biorefinery Lignin through Fractionation and Oxypropylation, *J. Agric. Food Res.*, 10, 100452.
- [28] Kachel, M., Krawczuk, A., Krajewska, M., Parafiniuk, S., Guz, T., Rza, K., and Matwijczuk, A., 2023, Comparative Analysis of Vegetable and Mineral Oil-Based Antiadhesive/Hydrophobic Liquids and Their Impact on Wood Properties, *Materials*, 16, 4975.
- [29] Zaia, U.J., Cortez-Barbosa, J., Morales, E.A.M., Lahr, F.A.R., Do Nascimento, M.F., and De Araujo, V.A., 2015, Production of Particleboards with Bamboo (*Dendrocalamus giganteus*) Reinforcement. *BioResources*, 10, 1424–1433.
- [30] Ionescu, M., 2005, Chemistry and Technology of Polyols for Polyurethanes; Rapra Technology Limited: Shrewsbury, UK.
- [31] Pizzi, A., and Mittal, K.L., 2003, Handbook of Adhesive Technology, Revised and Expanded; CRC Press: Boca Raton, FL, USA.
- [32] Bandel, A., 1995, Gluing Wood; Catas: San Giovanni al Natisone, Italy.
- [33] Henrique Savelsberg, J.R., 2021, European Adhesives and Sealants Market—2021–2026; FEICA, Smithers: Akron, OH, USA.
- [34] Arkema Technical Paper: Crayvallac Antisettle CVP; Arkema: Colombes, France, 2023.
- [35] Tavares, L.B., Boas, C.V., Schleider, G.R., Nacas, A.M., Rosa, D.S., and Santos, D.J.,

- [56] Członka, S., Bertino, M.F., Kos'ny, J., Strąkowska, A., Masłowski, M., and Strzelec, K., 2018, Linseed Oil as a Natural Modifier of Rigid Polyurethane Foams, *Ind. Crops Prod.* 115, 40–51.
- [57] Jabar, J.M., 2022, Production of Sustainable Rigid Polyurethane Foam from Chemically Modified Underutilized *Jatropha curcas* L. Seed Oil: Influence of Polyol Chemical Structure on Properties of Polymer, *Curr. Res. Green Sustain. Chem.* 5, 100331.
- [58] Pang, H., Ma, C., and Zhang, S., 2022, Conversion of Soybean Oil Extraction Wastes into High-Performance Wood Adhesives Based on Mussel-Inspired Cation- π Interactions, *Int. J. Biol. Macromol.* 209, 83–92.
- [59] Acik, G., Kamaci, M., Altinkok, C., Karabulut, H.R.F., and Tasdelen, M.A., 2018, Synthesis and Properties of Soybean Oil-Based Biodegradable Polyurethane Films, *Prog. Org. Coat.* 123, 261–266.
- [60] Feng, Y., Yang, Z., Liang, H., Yang, Z., Yuan, T., Luo, Y., Li, P., and Zhang, C., 2017, A Solvent Free and Scalable Method to Prepare Soybean Oil Based Polyols by ThiolEne PhotoClick Reaction and Biobased Polyurethanes Therefrom. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 5, 7365–7373.
- [61] Alagi, P., Choi, Y.J., Seog, J., and Hong, S.C., 2016, Efficient and Quantitative Chemical Transformation of Vegetable Oils to Polyols through a ThiolEne Reaction for Thermoplastic Polyurethanes, *Ind. Crops Prod.* 87, 78–88.
- [62] Moghadam, P.N., Yarmohamadi, M., Hasanzadeh, R., and Nuri, S., 2016, Preparation of Polyurethane Wood Adhesives by Polyols Formulated with Polyester Polyols Based on Castor Oil., *Int. J. Adhes. Adhes.* 68, 273–282.
- [63] Tenorio-Alfonso, A., Sánchez, M.C., and Franco, J.M., 2019, Synthesis and Mechanical Properties of Bio Sourced Polyurethane Adhesives Obtained from Castor Oil and MDI-Modified Cellulose Acetate: Influence of Cellulose Acetate Modification, *Int. J. Adhes. Adhes.* 95, 102404.
- [64] Bähr, M., and Mülhaupt, R., 2012, Linseed and Soybean Oil-Based Polyurethanes Prepared via the Non-Isocyanate Route and Catalytic Carbon Dioxide Conversion, *Green Chem.* 14, 483–489.
- [46] Nohra, B., Candy, L., Blanco, J.F., Guerin, C., Raoul, Y., and Mouloungui, Z., 2013, From Petrochemical Polyurethanes to Biobased Polyhydroxyurethanes, *Macromolecules*, 46, 3771–3792.
- [47] Joshi, J.R., Bhandari, K.K., Patel, J.V., and Karve, M., 2023, Chemical Modification of Waste Cooking Oil for the Biolubricant Production Through Transesterification Process, *J. Indian Chem. Soc.* 100, 100909.
- [48] Fukuda, H., Kondo, A., and Noda, H., 2001, Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils, *J. Biosci. Bioeng.* 92, 405–416.
- [49] Shomchoam, B., and Yoosuk, B., 2014, Eco-Friendly Lubricant by Partial Hydrogenation of Palm Oil over Pd/-Al₂O₃ Catalyst, *Ind. Crops Prod.* 62, 395–399.
- [50] Fernández, M.B., Sánchez, M.J.F., Tonetto, G.M., and Damiani, D.E., 2009, Hydrogenation of Sunflower Oil over Different Palladium Supported Catalysts: Activity and Selectivity, *Chem. Eng. J.* 155, 941–949.
- [51] Mudhaffar, B., and Salimon, J., 2010, Epoxidation of Vegetable Oils and Fatty Acids: Catalysts, Methods and Advantages, *J. Appl. Sci.* 10, 1545–1553.
- [52] Hassan, A.A., Abbas, A., Rasheed, T., Bilal, M., Iqbal, H.M.N., and Wang, S., 2019, Development, Influencing Parameters and Interactions of Bioplasticizers: An Environmentally Friendlier Alternative to Petro Industry-Based Sources, *Sci. Total Environ.* 682, 394–404.
- [53] Sovtic', N., Predrag, K.S., Bera, O.J., Pavlic'evic', J.M., Govedarica, O.M., Jovic'ic', M.C., and Govedarica, D.D., 2020, A Review of Environmentally Friendly Rubber Production Using Different Vegetable Oils, *Polym. Eng. Sci.* 60, 1097–1117.
- [54] Orgilés-Calpena, E., Arán-Aís, F., Torró-Palau, A.M., and Orgilés-Barceló, C., 2014, Synthesis and Characterisation of Potentially Biodegradable Polyurethane Adhesives from Soybased Polyols., *Polym. Renew. Resour.* 5, 99–113.
- [55] Fridrihsone-Girone, A., Stirna, U., Misa'ne, M., Lazdin, a, B., and Deme, L., 2016, Spray-Applied 100% Volatile Organic Compounds Free Two Component Polyurethane Coatings Based on Rapeseed Oil Polyols, *Prog. Org. Coat.* 94, 90–97.

- [74] Mekewi, M.A., Ramadan, A.M., ElDarse, F.M., Abdel Rehim, M.H., Mosa, N.A., and Ibrahim, M.A., 2017, Preparation and Characterization of Polyurethane Plasticizer for Flexible Packaging Applications: Natural Oils Affirmed Access, Egypt. J. Pet, 26, 9–15.
- [75] Sidra; Tabasum, S., Zia, K.M., Parveen, B., Hussain, M.T., 2021, A Novel Water Borne Green Textile Polyurethane Dispersions Finishes from Cotton (*Gossypium arboreum*) Seed Oil Based Polyol Used in Modification of Cellulosic Fabrics, Carbohydr. Polym. Technol. Appl, 2, 100170.
- [76] De Ponte, C., Liscio, M.C., and Sospiro, P., 2023, State of the Art on the Nexus between Sustainability, Fashion Industry and Sustainable Business Model, Sustain. Chem. Pharm, 32, 100968.
- [77] Lu, Y., Zhang, P., Fan, M., Jiang, P., Bao, Y., Gao, X., and Xia, J., 2019, Dual Bond Synergy Enhancement to Mechanical and Thermal Properties of Castor Oil-Based Waterborne Polyurethane Composites, Polymer, 182, 121832.
- [78] Kaur, R., Singh, P., Tanwar, S., Varshney, G., and Yadav, S., 2022, Assessment of Bio-Based Polyurethanes: Perspective on Applications and Bio-Degradation, Macromol, 2, 284–314.
- [79] Purwanto, E., Riadi, L., Nathania Tamara, I., and Mellisha Ika, K., 2014, The Optimization of Ozonolysis Reaction for Synthesis of Biopolyol from Used Palm Cooking Oil. ASEAN J. Chem. Eng, 14, 49711.
- [80] Bizet, B., Grau, É., Cramail, H., and Asua, J.M., 2020, Water-Based Non-Isocyanate Polyurethane-Ureas (NIPUUs), Polym. Chem. 11, 3786–3799.
- [81] Khatoon, H., Iqbal, S., Irfan, M., Darda, A., and Rawat, N.K., 2021, A Review on the Production, Properties and Applications of Non- Isocyanate Polyurethane: A Greener Perspective, Prog. Org. Coat, 154, 106124.
- [82] Searchinger, T., Heimlich, R., Houghton, R.A., Dong, F., Elobeid, A., Fabiosa, J., Tokgoz, S., Hayes, D., and Yu, T.H., 2008, Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change. Science, 319, 1238–1240.
- [83] Popp, J., Lakner, Z., Harangi-Rákos, M., and Fári, M., 2014, The Effect of Bioenergy
- [65] Abbas, Z., 2020, Bio-Based Polyurethane Adhesives: A Review Bio Based Polyurethane Adhesives: A Review, Dep. Appl. Chem. Gov. Coll. Univ. Faisalabad, 2, 28–30.
- [66] Santan, H.D., James, C., Fratini, E., Martínez, I., Valencia, C., Sánchez, M.C., and Franco, J.M., 2018, Structure-Property Relationships in Solvent Free Adhesives Derived from Castor Oil., Ind. Crops Prod, 121, 90–98.
- [67] Gama, N., Ferreira, A., and Barros-Timmons, A., 2019, Cure and Performance of Castor Oil Polyurethane Adhesive., Int. J. Adhes. Adhes, 95, 102413.
- [68] Jasiu-nas, L., Peck, G., Bridžiuvienė, D., and Miknius, L., 2020, Mechanical, Thermal Properties and Stability of High Renewable Content Liquefied Residual Biomass Derived Bio-Polyurethane Wood Adhesives, Int. J. Adhes. Adhes, 101, 102618.
- [69] Fiorelli, J., Curtolo, D.D., Barrero, N.G., Savastano, H., de Jesus Agnolon Pallone, E.M., and Johnson, R., 2012, Particulate Composite Based on Coconut Fiber and Castor Oil Polyurethane Adhesive: An Eco-Efficient Product, Ind. Crops Prod, 40, 69–75.
- [70] Cravo, J.C.M., de Lucca Sartori, D., Mármol, G., Schmidt, G.M., de Carvalho Balieiro, J.C., and Fiorelli, J., 2017, Effect of Density and Resin on the Mechanical, Physical and Thermal Performance of Particleboards Based on Cement Packaging, Constr. Build. Mater, 151, 414–421.
- [71] Gava, M., Müzel, S.D., de Lima, L.R., Cortez-Barbosa, J., Garcia, J.N., Ferreira, B.S., Filho, H.J.S., Bernardes, M.S., and De Araujo, V.A., 2015, Production of Particleboards from Hevea Brasiliensis Clones and Castor Oil-Based Polyurethane Resin, BioResources, 10, 6896–6905.
- [72] Sugahara, E.S., da Silva, S.A.M., Buzo, A.L.S.C., de Campos, C.I., Morales, E.A.M., Ferreira, B.S., dos Anjos Azambuja, M., Lahr, F.A.R., and Christoforo, A.L., 2019, High-Density Particleboard Made from Agro-Industrial Waste and Different Adhesives, BioResources, 14, 5162–5170.
- [73] Zain, N.M., Roslin, E.N., and Ahmad, S., 2016, Preliminary Study on Bio-Based Polyurethane Adhesive/Aluminum Laminated Composites for Automotive Applications, Int. J. Adhes. Adhes, 71, 1–9.

- Expansion: Food, Energy, and Environment. *Renew. Sustain. Energy Rev*, 32, 559–578.
- [84] Hoekstra, A.Y., and Mekonnen, M.M., 2012, The Water Footprint of Humanity. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 109, 3232–3237.
- [85] Hosseinzadeh-Bandbafha, H, Aghbashlo, M., and Tabatabaei, M., 2021, Life Cycle Assessment of Bioenergy Product Systems: A Critical Review. *E-Prime—Adv. Electr. Eng. Electron. Energy*, 1, 100015.
- [86] Lal, R., 2004, Soil Carbon Sequestration to Mitigate Climate Change. *Geoderma*, 123, 1–22.
- [87] Ozlu, E., Arriaga, F.J., Bilen, S., Gozukara, G., and Babur, E., 2022, Carbon Footprint Management by Agricultural Practices. *Biology*, 11, 1453.

“Review article”

Using vegetable oils for polyurethane adhesives**Mani Jabari^{1*}, Mitra Jabari²**¹Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Birjand University, Iran²Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

*Corresponding author: mani.jabbari.mp@gmail.com

(Received: 1 September 2024, Accepted: 1 December 2024)

Abstract

Current petrochemical-based adhesives have a negative impact on the environment through the release of significant volatile organic compounds during production, which contributes to air pollution and climate change. Using vegetable oils as a renewable resource to produce polyurethane adhesives offers a promising way to improve sustainability and reduce environmental impacts. The use of polyurethanes derived from vegetable oils promises long-term replacement while maintaining or improving adhesive properties. This quality makes these adhesives suitable for wide use in various sectors such as construction, automotive, packaging, textile and shoe industries. The purpose of this review is to address the environmental challenges of conventional polyurethane production and promote sustainable practices. By examining vegetable oils as natural modifiers, this study contributes to the development of environmentally friendly materials and processes and aligns with broader sustainability goals. Further research and development in this field is key to overcome the challenges and realize the full potential of vegetable oil-based polyurethanes in various industrial applications.

Conflict of interest: None declared.**Keywords:** Bioadhesives, Organic Chemistry, Decarbonization, Environment