

Investigation the Properties of Acrylated Epoxidized Soy Oil-Wheat Straw Particle Board

A. Shakeri^{1*}, T. Tabrsa², and M. Tasoji²

1. Department of Chemistry, Golestan University, P.O. Box: 115, Gorgan, Iran

2. Department of Chemistry, Wood and Paper Sciences, Agriculture and Natural Resource of Gorgan University, P.O. Box: 376, Gorgan, Iran

Received 14 July 2009, accepted 3 May 2010

ABSTRACT

The acrylated epoxidized soy oil (AESO) was synthesized from epoxidized soy oil and its properties were investigated. Wheat straw particle boards were produced by the synthesized resin with 8% and 13% contents based on straws weight at three pressing times: 8, 10 and 12 min. Boards' modulus of rupture, modulus of elasticity, internal bonding, minimum degree of thickness change and water absorption were investigated. The swelling and water absorption results showed that the highest amounts of boards' modulus of rupture, modulus of elasticity and internal bonding with board samples of lowest thickness belong to boards made from 13% resin content with 12 minute pressing time; and these amounts were in range of EN particleboard standard and the produced particleboard which totally compete with wood particleboard. The AESO-wheat straw particleboard due to its non-formaldehyde emission and bio-based structure can substitute wood particleboard effectively.

Key Words:

acrylated epoxidised
soy oil,
wheat straw,
straw particleboard,
internal bonding,
thickness swelling

(*)To whom correspondence should be addressed.

E-mail: a.shakeri@gu.ac.ir

بررسی خواص تخته خرده حاصل از روغن سویای اپوکسی دار شده آکرلیکی - کاه گندم

علی رضا شاکری*^۱، تقی طبرسا^۲، محمد تسوجی^۲

۱- گرگان، دانشگاه گلستان، گروه شیمی، صندوق پستی ۱۱۵

۲- گرگان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گروه صنایع چوب و کاغذ، صندوق پستی ۳۷۶

دریافت: ۸۷۴/۲۳، پذیرش: ۸۹۲/۱۳

چکیده

در این پژوهش با استفاده از روغن سویای اپوکسی دار شده، رزین اپوکسی سویای آکرلیکی (AESO) تولید و خواص آن بررسی شد. با استفاده از این رزین در دو سطح ۸ و ۱۳ درصد وزنی و در سه زمان پرس ۸، ۱۰ و ۱۲ min، تخته خرده ساخته شد. استحکام خمشی، مدول کشسانی خمشی، چسبندگی داخلی، واکنشیدگی ضخامت و جذب آب تخته‌های حاصل بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد، بیشترین مقدار استحکام خمشی، مدول کشسانی خمشی و چسبندگی داخلی و هم‌چنین کمترین مقدار واکنشیدگی ضخامت و جذب آب مربوط به تخته خرده کاه ساخته شده با مقدار رزین مصرفی ۱۳ درصد وزنی و زمان پرس ۱۲ min است که مقادیر مزبور کاملاً با استاندارد اروپایی تخته خرده چوب مطابقت دارد و محصول یاد شده قابل رقابت کامل با تخته خرده چوب است. هم‌چنین، تخته حاصل به لحاظ عدم تولید فرمالدهید و ساختار طبیعی آن نیز جای‌گزین مناسبی برای تخته خرده چوب است.

واژه‌های کلیدی

روغن سویای اپوکسی دار شده

آکرلیکی،

کاه گندم،

تخته خرده کاه،

چسبندگی داخلی،

واکنشیدگی ضخامت

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:

مقدمه

Rogers و همکاران، از پروتئین سویا، رزینی تولید کردند که بدون فرمالدهید در اثر ترکیب با ماده ۳،۱ دی‌کلرو-۲- پروپانول و ایجاد پیوند عرضی سخت می‌شود. از رزین حاصل برای ساخت تخته لایه استفاده شد و مقاومت برشی آن اندازه‌گیری شد. آزمون ورقه‌ای شدن نیز انجام شد که تخته‌های حاصل در اثر شرایط رطوبتی اعمال شده، ورقه ورقه نشدند [۵].

Dweib و همکاران، تخته‌هایی از ترکیب روغن سویا با الیاف بازیافتی سلولوزی تهیه کردند. این تخته‌ها برای استفاده در بام مناسب بوده و محصولاتی کاملاً طبیعی هستند. روغن سویا در قالب ترکیب رزین اپوکسی سویای آکریلیکی AESO مورد استفاده قرار گرفت. برای ساخت صفحات از روش قالب‌گیری انتقال رزین به کمک حلال (VARTM) و برای بهبود خواص جذب آب محصول نهایی، از پوشش‌های پلی‌استر و بتونه ضد آب استفاده شد [۶].

در این پژوهش، استفاده از رزین طبیعی AESO به عنوان چسب بر پایه روغن برای اتصال ذرات کاه گندم در تهیه تخته خرده بررسی و برخی از خواص آن اندازه‌گیری شد. هم‌چنین، مقدار رزین و زمان پرس برای استفاده از رزین AESO در ساخت تخته خرده از کاه گندم نیز ارزیابی شد.

تجربی

مواد و روش‌ها

کاه گندم از مزارع کشاورزی استان گلستان به شکل خرد شده تهیه و سپس با الک (مش ۲۰)، به ابعاد طولی در حدود ۲ تا ۵ mm الک شد. کاه‌ها برای رسیدن به رطوبت ۲٪ در گرم‌خانه در دمای 103°C به مدت ۸ تا ۱۰ h قرار گرفتند. روغن سویای اپوکسی‌دار شده از شرکت Sajo O & F Corporation کره با چگالی 0.982 g/cm^3 و وزن مولکولی در حدود 1000 g/mol تهیه شد. از آکریلیک اسید با چگالی 1.05 g/cm^3 برای ساخت AESO و برای سرعت بخشیدن به واکنش آکریل‌دار شدن از ۴،۱- دی‌آزوبی‌سیکلو [۲،۲،۲] اکتان با دمای ذوب 158°C -۱۵۵ محصول شرکت Merck آلمان به عنوان کاتالیزور استفاده شد. برای جلوگیری از پلیمر شدن آکریلیک اسید طی فرایند ساخت سویای آکریلیکی نیز از هیدروکینون $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2$ خریداری شده از شرکت داروسازی سپیداج استفاده شد. از بنزوئیل پروکسید شرکت آکرس به عنوان آغازگر واکنش پلیمر شدن رادیکالی و برای کاهش گرانی AESO از استیرن محصول شرکت Merck استفاده شد.

استفاده از روغن‌های تری‌گلیسیرید طبیعی برای تهیه چسب و مواد کامپوزیتی در چند سال گذشته مورد توجه پژوهش‌گران و صنایع قرار گرفته است. این محصولات، مزایای اقتصادی و زیست محیطی نسبت به مواد پایه نفتی دارند و از این رو، منبع جای‌گزینی خوبی برای چسب‌های بر پایه نفت هستند [۱،۲]. روغن‌های تری‌گلیسیرید، استر هستند و از یک مولکول گلیسرول به همراه ۳ مولکول اسید چرب تشکیل شده، در آب نامحلول‌اند و از منابع حیوانی یا گیاهی به دست می‌آیند. اغلب روغن‌ها از اسیدهای چربی تشکیل شده‌اند که تعداد کربن‌های آنها بین ۱۴ تا ۲۰ کربن در طول به همراه ۰ تا ۳ پیوند دوگانه به ازای هر اسید چرب است [۳]. در ساختار اسیدهای چرب، گروه‌هایی چون اپوکسی، هیدروکسیل یا پیوند سه‌گانه نیز می‌تواند وجود داشته باشد. از عوامل مهمی که بر ویژگی‌های روغن و اسید چرب اثرگذار است، درجه سیرندگی است. از آن‌جا که خواص فیزیکی تری‌گلیسیریدها بسته به نوع اسیدهای چرب آنها متفاوت است، انتخاب تری‌گلیسیرید مناسب برای دستیابی به پلیمری با خواص مورد نظر حایز اهمیت است [۴]. تبدیل تری‌گلیسیرید به مونوگلیسیریدها از راه واکنش گلیکول‌کافت روشی برای تهیه این پلیمر است. مونوگلیسیریدها به دلیل قیمت کم و انعطاف‌پذیری خوب به عنوان پوشش‌های سطحی به کار می‌روند که به طور معمول به آنها رزین‌های آلکید گفته می‌شود. در چنین حالتی، پیوندهای دوگانه موجود در مونوگلیسیرید برای ایجاد پوشش سطحی، وارد واکنش می‌شوند. هم‌چنین، مونوگلیسیریدها به واسطه گروه‌های الکلی موجود در ساختار آنها از راه واکنش‌های تراکمی با یک کومونومر مثل دی‌اسید، اپوکسی یا انیدرید، نیز پلیمر می‌شوند. گروه‌های مالئیک نیمه‌استر به چنین مونوگلیسیریدهایی متصل و باعث ایجاد اتصال عرضی از راه واکنش پلیمر شدن رادیکالی می‌شوند. واکنش تری‌گلیسیرید اپوکسی‌دار با آکریلیک اسید باعث وارد شدن گروه‌های آکریلیک به ساختار تری‌گلیسیرید می‌شود. هم‌چنین، واکنش تری‌گلیسیرید هیدروکسیل‌دار با مالئیک انیدرید باعث ورود مالئیک نیمه‌استر و استرها به ساختار تری‌گلیسیرید می‌شود. چنین مونومرهایی در مرحله بعد مانند اغلب رزین‌های وینیل‌استر با حلال واکنش‌گر ترکیب شده و به وسیله پلیمر شدن رادیکالی سبب ایجاد اتصال عرضی می‌شوند. از رزین‌های طبیعی برای تولید چسب‌های حساس به فشار، الاستومرها و کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف سنتزی و طبیعی استفاده می‌شود. بیشترین روغنی که برای ساخت کامپوزیت‌های بادوام و مقاوم مصرف می‌شود، روغن سویاست [۱-۴].

تعیین گروه‌های اپوکسی

۰/۳ تا ۰/۵ g روغن سویای اپوکسی دار شده داخل ارلن ریخته و ۱۰ mL کلروبنزن و ۱ mL از محلول واکنش گر کریستال ویولت به آن اضافه شد. عمل تیتراژ کردن به وسیله هیدروبرمیک اسید ۱ N که با استیک اسید به حجم رسیده انجام شد تا محلول به رنگ آبی - سبز تبدیل شود و سپس بر اساس معادله (۱) مقدار گروه‌های اپوکسی محاسبه شد:

$$\% \text{epoxy} = \frac{V \times N \times 1.6}{W_m} \quad (1)$$

که در این معادله، V حجم محلول تیتراژ کننده مصرف شده، N نرمالیه هیدروبرمیک اسید و W_m وزن روغن اپوکسی مورد استفاده بر حسب گرم است [V]. طبق معادله (۱) مقدار گروه‌های اپوکسی بر اساس درصد وزنی به دست می‌آید.

روش ساخت اپوکسی سویای آکریلیکی

در ابتدا روغن سویای اپوکسی دار شده داخل بشر ریخته شد. در بشر دیگر، آکریلیک اسید ریخته و به آن هیدروکینون و کاتالیزور اضافه شد. با استفاده از هم‌زن مغناطیسی، بشر محتوی آکریلیک اسید و هیدروکینون و کاتالیزور هم زده شد تا ماده‌ای نسبتاً همگن حاصل شود. سپس، این ترکیب به بشر حاوی روغن سویای اپوکسی دار شده اضافه و سپس به داخل حمام آب گرم انتقال داده شد. عمل هم زدن به مدت ۱۳ h با هم‌زن مکانیکی ادامه یافت. در نهایت محصولی عسلی شکل تولید شد.

برای تعیین ساختار AESO از روش طیف‌سنجی FTIR و $^1\text{H NMR}$ استفاده شد. گرانروی رزین مزبور بر اساس روش گرانروی سنجی (بروکفیلد) طبق استاندارد ASTM D1084 با دستگاه RPM 12 VISCO STAR-R معین شد. چگالی رزین با استفاده از کاپ فولاد زنگ‌نزن ۵۰ mL طبق استاندارد ASTM D1475 معین شد. متوسط وزن مولکولی (\bar{M}_w) به وسیله آزمون رنگ‌نگاری ژل تراوایی (GPC) طبق استاندارد ASTM D 6579-06 معین شد، هم‌چنین، زمان انعقاد رزین طبق استاندارد DIN 6945 اندازه‌گیری شد.

ساخت تخته

تخته‌های مورد نظر با چگالی 1.2 g/cm^3 و در ابعاد $1 \times 30 \times 30 \text{ cm}$ ساخته شدند. ابتدا مقدار وزن مواد اولیه مورد نیاز برای ساخت تخته خرده کاه معین شد. سپس مقدار کاه گندم مورد نظر، با در نظر گرفتن رطوبت و نیز رزین بر اساس وزن خشک کاه وزن شد. پس از آماده کردن کاه و توزین رزین، کاه‌ها داخل دستگاه چسب‌زن قرار گرفته و رزین نیز با استفاده از پیستوله و چسب‌زن روی کاه‌ها افشاندن شد. سپس،

کاه‌های چسب خورده در قالب ریخته و پیش پرس شدند و در نهایت نمونه در داخل پرس قرار داده شد.

دمای پرس 200°C و از دوره پرس سه مرحله‌ای استفاده شد:

۱- فشار ۳۰ bar به مدت ۶۰ درصد کل زمان پرس،

۲- فشار ۱۵ bar به مدت ۲۰ درصد کل زمان پرس و

۳- فشار ۱۰ bar به مدت ۲۰ درصد کل زمان پرس.

برای اتصال عرضی بیشتر و پخت کامل رزین AESO، تخته خرده‌های حاصل از رزین AESO بلافاصله پس از پرس داخل گرم‌خانه در دمای 150°C به مدت ۲ h قرار گرفتند. در مرحله آخر، تمام تخته‌ها به مدت ۲ هفته در شرایط رطوبت نسبی ۶۵-۶۰ درصد و دمای 25°C -۲۰ نگه‌داری شدند. در نهایت، تخته‌ها کناره‌بری شده و نمونه‌های آزمون از آنها تهیه شد. برای تعیین چگالی تخته‌ها از استاندارد EN-323 استفاده شد.

ابعاد نمونه‌های این آزمون $10 \times 50 \times 50 \text{ mm}$ بود. برای تهیه نمونه‌های آزمون خمش از استاندارد EN-310 استفاده شد. استحکام خمشی و مدول کشسانی خمشی با استفاده از داده‌های دستگاه اندازه‌گیری شد. برای تهیه نمونه‌های آزمون چسبندگی داخلی از استاندارد EN-319 استفاده شد. برای این آزمایش نمونه‌های تهیه شده با ابعاد $50 \times 50 \text{ mm}$ به وسیله چسب گرمانرم به صفحات فلزی به ابعاد $65 \times 50 \text{ mm}$ چسبانده شد. پس از سرد شدن چسب، آزمایش کشش عمود بر سطح انجام شد که معرف چسبندگی داخلی تخته‌هاست. نتایج این آزمایش به طور خودکار روی رایانه متصل به دستگاه بر اساس معادله (۲) به دست آمد:

$$IB = P/A \quad (2)$$

که در آن، P بار گسیختگی (N)، A سطح نمونه (mm^2) و IB چسبندگی داخلی (MPa) است.

تعیین مقدار واکنش‌دهی ضخامت و جذب آب

برای انجام این آزمایش از نمونه‌هایی با ابعاد $10 \times 50 \times 50 \text{ mm}$ استفاده شد. روی دو سطح هر نمونه قطر آنها رسم شد و محل برخورد آنها به عنوان یکی از نقاط اندازه‌گیری علامت‌گذاری و چهار نقطه دیگر روی قطر نمونه علامت‌گذاری شد. در مجموع، ۵ نقطه برای آزمایش اندازه‌گیری شد [۸]. اندازه‌گیری وزن نمونه‌ها با ترازوی دقیق آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۱ g تعیین و اندازه‌گیری ضخامت نمونه‌ها پیش از غوطه‌وری آنها در آب به وسیله کولیس رقمی با دقت ۰/۰۱ mm انجام شد. سپس، نمونه‌ها به حالت افقی در آب در دمای محیط قرار داده

تکرار به دست آمد که این مقدار نشان دهنده ۴/۶ - ۴/۱ حلقه اپوکسی به ازای هر تری گلیسیرید است [۹]. مطابق طرح ۱ آکریلیک اسید با روغن سویای اپوکسی دار شده واکنش می دهد.

همان طور که در طرح ۱ مشخص است، با اضافه شدن آکریلیک اسید به ترکیب روغن سویای اپوکسی دار شده، در محل گروه‌های اپوکسی، گروه‌های آکریلیکی قرار می‌گیرند و باعث شاخه‌دار شدن ترکیب می‌شوند. این عمل در آماده کردن ماده برای پلیمر شدن و ایجاد پیوند عرضی نقش مؤثری دارد. مشخصات رزین آکریلیکی در جدول ۱ آمده است.

تغییر شکل ظاهری روغن اپوکسی دار از مایع زرد رنگ به عسلی، افزایش چگالی از ۱ به ۱/۲۵ g/cm^۳ و هم چنین افزایش گرانی از ۳۵۰ به ۱۵۶۱۰ cP حاکی از انجام واکنش بین گروه‌های اپوکسی با آکریلیک اسید است و در واقع گروه‌های آویزان آکریلیکی و هیدروکسیل سبب آثار متقابل بین زنجیرها با ایجاد پیوند هیدروژنی شده و منجر به این تغییرات می‌شوند. طیف ^۱H NMR رزین آکریلیکی شده در شکل ۱ نشان داده شده است، همان طور که در شکل مشخص است، طیف هیدروژن‌های مربوط به گروه‌های اپوکسی که جابه‌جایی شیمیایی آن در حدود ۳ ppm است، حذف و طیف هیدروژن‌های گروه‌های آکریلیکی در ۶/۵ تا ۵/۸ ppm مشخص است. این امر نشان از وقوع واکنش آکریل‌دار شدن و تبدیل روغن سویای اپوکسی دار شده به اپوکسی سویای آکریلیکی دارد [۱۰، ۱۱].

با بررسی طیف‌های زیرقرمز AESO با روغن سویای اپوکسی دار

شدند. مقدار جذب آب بر اساس معادله (۳) و واکنشیدگی ضخامت نمونه‌ها بر اساس معادله (۴) پس از ۲۴ h غوطه‌وری در آب محاسبه شد:

$$W_A = \frac{M_h - M_o}{M_o} \times 100 \quad (3)$$

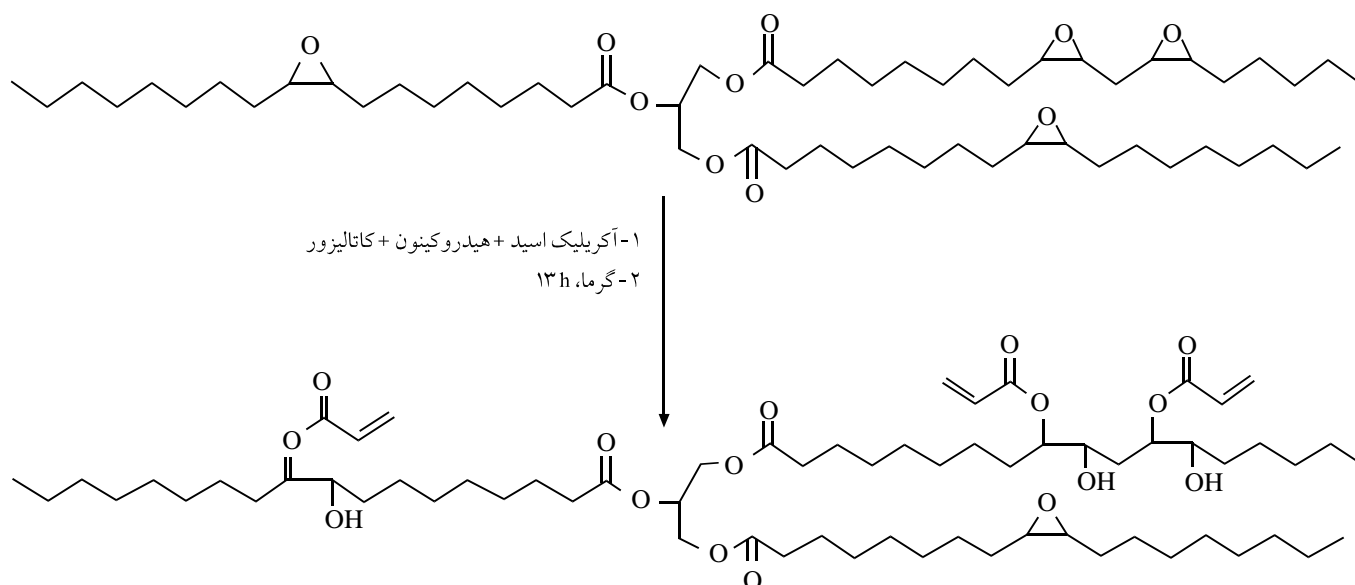
$$T_S = \frac{T_h - T_o}{T_o} \times 100 \quad (4)$$

W_A مقدار جذب آب (%)، M_o وزن اولیه نمونه (g)، M_h وزن (g) نمونه پس از جذب آب در زمان t (h)، T_o ضخامت اولیه (mm)، T_h ضخامت (mm) پس از مدت زمان t و T_S واکنشیدگی ضخامت (%). است.

تجزیه و تحلیل آماری نیز با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از جدول تجزیه واریانس و گروه‌بندی دانکن به کمک نرم‌افزار SPSS انجام شد. بدین ترتیب، آثار مستقل و متقابل هر یک از عوامل متغیر بر خواص مورد مطالعه در سطح ۹۵ درصد اعتماد تجزیه و تحلیل شد.

نتایج و بحث

مقدار گروه‌های اپوکسی روغن سویای خریداری شده براساس معادله (۱) اندازه‌گیری شد و مقدار میانگین آن ۶/۵ درصد وزنی پس از سه مرتبه



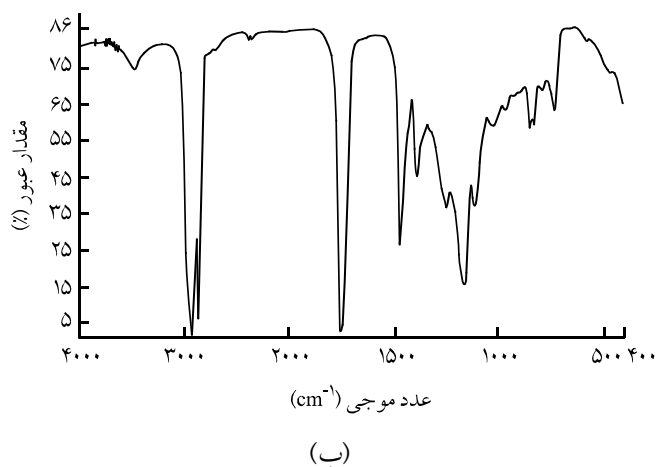
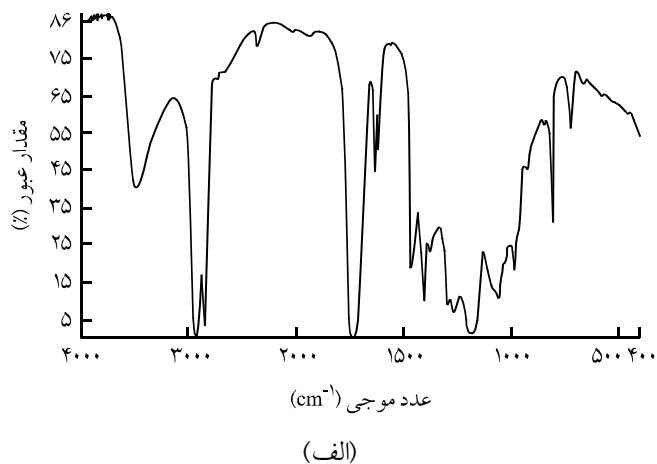
طرح ۱ - فرایند تبدیل روغن سویای اپوکسی دار به اپوکسی سویای آکریلیکی.

جدول ۱ - مشخصات اپوکسی سویای آکریلیکی تولید شده.

مقدار	مشخصه
عسلی	شکل ظاهری
15610 ± 10	گرانروی (cP)
1.725 ± 0.02	چگالی (g/cm^3)
130 ± 0.7	وزن مولکولی (g/mol)
156 ± 2	زمان انعقاد رزین (s)

چسبندگی داخلی در شکل ۳ اثر مستقل مقدار رزین بر چسبندگی داخلی تخته های ساخته شده دیده می شود. همان طور که در شکل ۳ مشخص است، اثر مستقل مقدار رزین بر چسبندگی داخلی تخته های ساخته شده در سطح ۹۵ درصد معنی دار بود. با افزایش رزین از سطح ۸ به ۱۳ درصد مقدار چسبندگی داخلی به طور معنی داری افزایش یافت. سطح ذرات کاه با لایه غیرقطبی از جنس موم پوشیده شده است [۱۲، ۱۳]. رزین AESO به دلیل داشتن ساختار روغنی و غیرقطبی، با سطح ذرات کاه سازگار بوده و روی آن به خوبی پخش می شود و می تواند اتصال خوبی با ذرات کاه ایجاد کند. بنابراین، با افزایش مقدار آن، چسبندگی داخلی تخته های حاصل افزایش می یابد [۱].

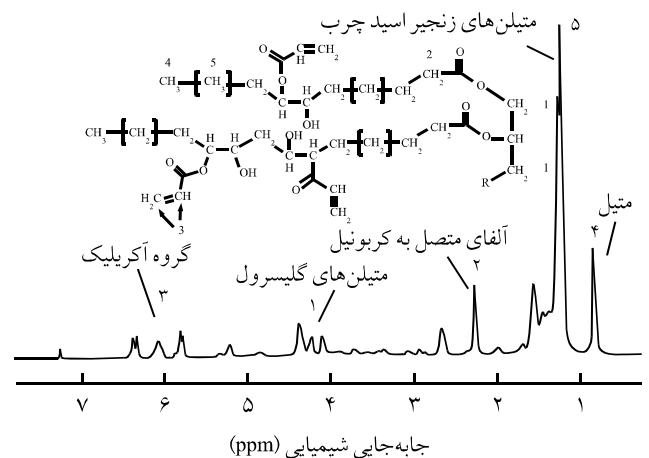
با توجه به شکل ۴ افزایش زمان پرس، باعث افزایش معنی دار چسبندگی داخلی می شود. بهبود چسبندگی داخلی با افزایش زمان پرس می تواند به دلیل پخت کامل تر رزین در زمان های پرس بیشتر



شکل ۲ - طیف FTIR: (الف) AESO و (ب) روغن سویای اپوکسی دار.

(شکل ۲)، انجام واکنش بین گروه های اپوکسی با آکریلیک اسید قابل مطالعه است. در طیف های مربوط به AESO در مقایسه با روغن سویای اپوکسی دار، شدت قله 3472 cm^{-1} که مربوط به ارتعاش کششی پیوند O-H است، به مقدار زیادی افزایش یافته است. هم چنین، شدت قله 1161 cm^{-1} مربوط به ارتعاش حلقه اپوکسی کاهش یافته است و قله های مربوط به پیوند $C=CH_2$ نیز در طول موج 1620 و 1600 cm^{-1} ظاهر شده اند که نشان دهنده پیوند آکریلیک روی زنجیر روغن سویای اپوکسی دار است.

از آن جا که گرانروی رزین در دمای محیط زیاد است، برای کاهش گرانروی آن از استیرین استفاده شد. این عمل کمک می کند تا رزین به خوبی روی ذرات کاه افشاند و عمل پراکندگی آن به خوبی انجام شود. مقدار استیرین مصرف شده برای کاهش گرانروی رزین، ۳۳ درصد وزنی رزین بود که با افزودن آن گرانروی رزین به کمتر از ۲۰۰ cP کاهش یافت پس از کاهش گرانروی، رزین در مجاورت آغازگر بنزوئیل پروکسید (۵) درصد وزنی رزین AESO و استیرین) در اثر گرما پلیمر شد.



شکل ۱ - طیف 1H NMR مربوط به رزین اپوکسی سویای آکریلیکی.

جدول ۲ - ویژگی های تخته خرده حاصل از رزین AESO - کاه گندم و مقایسه آن با استاندارد اروپایی [۱۴].

IB (MPa)	استحکام خمشی (MPa)	مدول خمشی (MPa)	T _g (۲۴ h) (%)	خواص
۰/۵۵	۱۸۷۷	۱۴۴۷/۵۷	۱۵/۵۴	تخته بارزین AESO
۰/۴	۱۷	۲۳۰۰	۱۶	EN 312-4 *

* استاندارد اروپایی تخته خرده چوب.

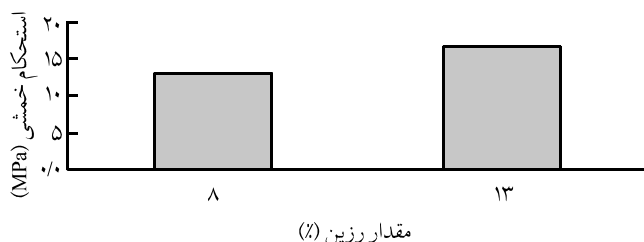
ولی، در ۸ درصد مقدار رزین فقط در ۱۲ min زمان پرس نتایج آن قابل رقابت خواهد بود.

استحکام خمشی

در شکل ۶ اثر مستقل مقدار رزین بر استحکام خمشی تخته های حاصل دیده می شود. افزایش رزین نیز باعث افزایش مقدار استحکام خمشی شده و هم چنین افزایش زمان پرس نیز باعث بهبود استحکام خمشی می شود. لایه مومی سطح کاه می تواند دلیل اصلی و عمده کاهش مقاومت های فیزیکی و مکانیکی در تخته های حاصل از چسب های قطبی مثل اوره فرمالدهید با کاه گندم باشد [۱۲، ۱۳]. اما، استفاده از چسب روغنی سازگار با لایه غیرقطبی سطح کاه می تواند اثر بسزایی بر بهبود استحکام خمشی داشته باشد.

به دلیل سازگاری رزین غیرقطبی AESO با سطح غیرقطبی ذرات کاه گندم، کیفیت اتصال بین این نوع رزین و ذرات کاه باعث افزایش استحکام خمشی می شود. افزایش مقدار رزین اثر معنی داری بر افزایش استحکام خمشی دارد. چون با ازدیاد مقدار رزین سطح تماس بین رزین و ذرات کاه افزایش می یابد و باعث بهبود کیفیت اتصال می شود. در واقع، با افزایش مقدار رزین امکان دربرگیری ذرات کاه به وسیله رزین افزایش یافته و باعث بهبود استحکام خمشی می شود [۱۲].

در شکل ۷ اثر مستقل زمان پرس بر استحکام خمشی تخته های



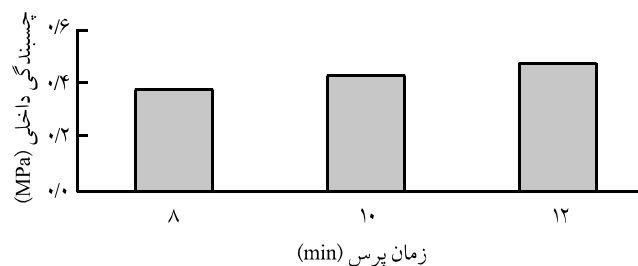
شکل ۶ - اثر مستقل مقدار رزین بر استحکام خمشی.



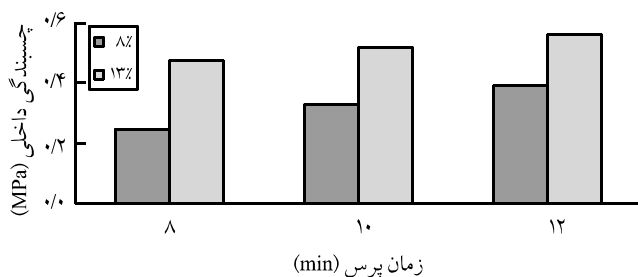
شکل ۳ - اثر مستقل مقدار رزین بر چسبندگی داخلی.

باشد. نفوذپذیری کم ذرات کاه و کند بودن انتقال گرما از سطح به مغز نمونه باعث می شود که گرما در زمان های کم پرس به خوبی منتقل نشود و اتصالات عرضی کافی در رزین ایجاد نشود. با افزایش زمان پرس، پخت و اتصالات عرضی رزین بهبود یافته و کامل تر می شود.

در شکل ۵ مقایسه کلی بین چسبندگی داخلی تخته های ساخته شده از رزین AESO در دو سطح مقدار رزین و سه سطح زمان پرس مشاهده می شود. همان طور که در شکل دیده می شود، با افزایش زمان پرس و هم چنین مقدار رزین، چسبندگی داخلی نیز افزایش می یابد. با توجه به استاندارد اروپایی تخته خرده چوب (جدول ۲) که مقدار چسبندگی داخلی برای آن ۰/۴ MPa گزارش شده است، مشخص می شود که در تمام زمان های پرس با ۱۳ درصد رزین، چسبندگی داخلی بیشتر است.

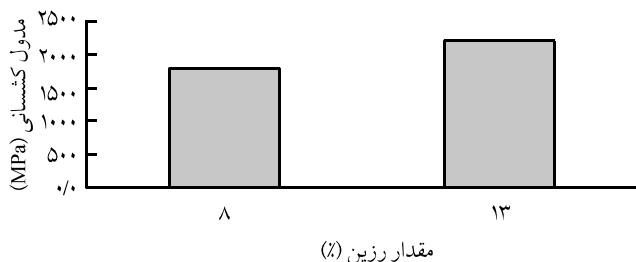


شکل ۴ - اثر مستقل زمان پرس بر چسبندگی داخلی.

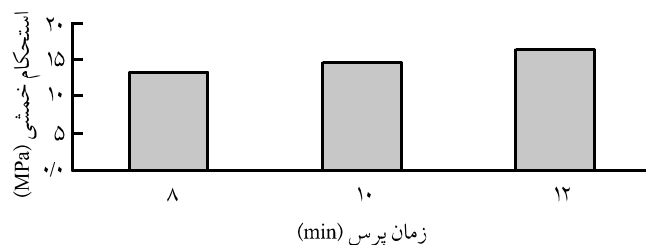


شکل ۵ - مقایسه بین چسبندگی داخلی تخته های ساخته شده از رزین

AESO.



شکل ۹- اثر مستقل مقدار رزین بر مدول کشسانی خمشی.



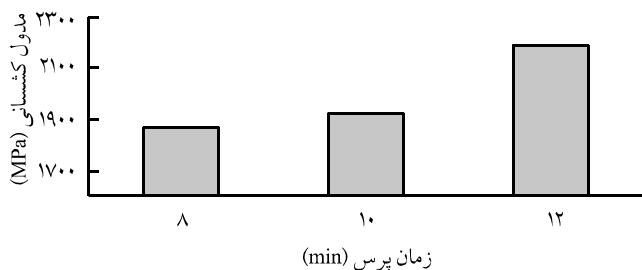
شکل ۷- اثر مستقل زمان پرس بر استحکام خمشی.

مقدار ۱۳ درصد رزین و زمان پرس ۱۲ min بهترین نمونه از لحاظ استحکام کششی است. زیرا، با به کار بردن ۱۳ درصد رزین سطح تماس بین رزین و ذرات افزایش می یابد. هم چنین، در زمان پرس ۱۲ min اتصالات عرضی رزین AESO کامل تر شده است.

مدول کشسانی خمشی

افزایش رزین باعث ازدیاد مقدار مدول کشسانی خمشی و هم چنین افزایش زمان پرس نیز باعث بهبود مدول کشسانی می شود. در شکل ۹ اثر مستقل مقدار رزین بر مدول کشسانی خمشی تخته حاصل از رزین AESO دیده می شود.

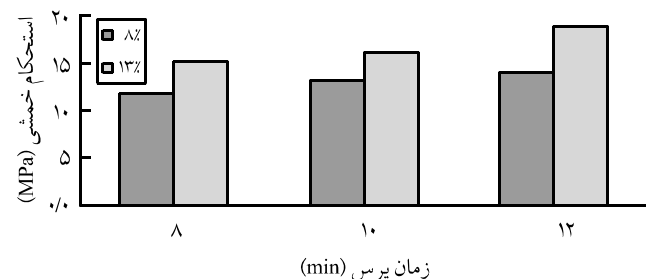
همان طور که در شکل ۹ مشخص است، افزایش مقدار رزین اثر معنی داری بر افزایش مدول کشسانی خمشی دارد. چون با ازدیاد مقدار رزین سطح تماس بین رزین و ذرات کاه افزایش یافته و باعث بهبود کیفیت اتصال می شود [۱۲]. در شکل ۱۰ اثر مستقل زمان پرس بر مدول کشسانی خمشی تخته های حاصل از رزین AESO قابل مشاهده است. همان طور که در شکل ۱۰ مشاهده می شود، بین زمان پرس ۸ min و ۱۰ min و ۱۲ min اختلاف معنی داری وجود دارد. دلیل این موضوع می تواند به پخت رزین ارتباط داشته باشد. از آن جا که مدول کشسانی خمشی را مقدار خم پذیری در محدوده کشسان تعریف می کنند، بنابراین مدول کشسانی خمشی نیز مانند استحکام خمشی بی ارتباط با ویژگی سطح تخته نیست. از آن جا که سطح نمونه به طور



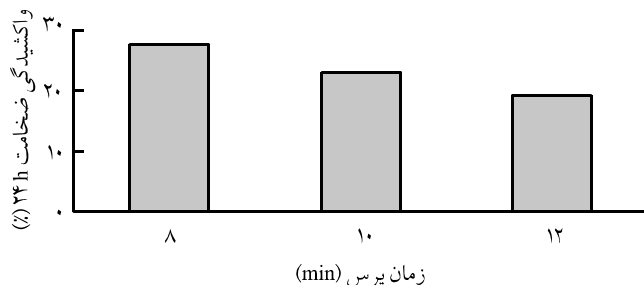
شکل ۱۰- اثر مستقل زمان پرس بر مدول کشسانی خمشی.

حاصل از هر سه نوع رزین قابل مشاهده است. همان طور که در این شکل مشاهده می شود، بین زمان های پرس ۸، ۱۰ و ۱۲ min اختلاف معنی داری وجود دارد. دلیل این موضوع می تواند به اتصالات عرضی رزین ارتباط داشته باشد. استحکام خمشی ارتباط زیادی به کیفیت اتصال موجود در سطح تخته دارد. از آن جا که سطح نمونه به طور مستقیم در معرض گرمای پرس است، با افزایش زمان پرس، زمان قرارگیری سطح تخته در معرض گرما نیز افزایش می یابد. بنابراین از زمان ۸ به ۱۲ min اتصالات عرضی رزین در سطح نمونه کامل تر می شود و افزایش استحکام خمشی حاصل می شود.

در شکل ۸ مقایسه کلی بین استحکام خمشی تخته های ساخته شده از رزین AESO در دو سطح مقدار رزین و سه سطح زمان پرس مشاهده می شود. همان طور که در این شکل دیده می شود، با بیشتر شدن زمان پرس و هم چنین مقدار رزین، استحکام خمشی نیز افزایش می یابد. با توجه به استاندارد اروپایی تخته خرده چوب (جدول ۲) که مقدار استحکام خمشی را ۱۷ MPa گزارش کرده است، مشخص شد که در زمان پرس ۱۲ min با ۱۳ درصد رزین استحکام خمشی از مقدار استاندارد بیشتر است. اما، با ۸ درصد مقدار رزین در تمام زمان های پرس مقدار آن از مقدار استاندارد اروپایی تخته خرده چوب کمتر است. همان طور که در شکل ۸ مشاهده می شود، تخته های ساخته شده با



شکل ۸- مقایسه بین استحکام خمشی تخته های ساخته شده از رزین AESO.

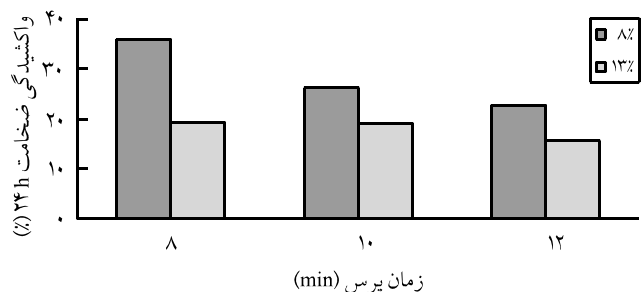


شکل ۱۳ - اثر مستقل زمان پرس بر واکشیدگی ضخامت ۲۴ h تخته‌های ساخته شده از رزین AESO.

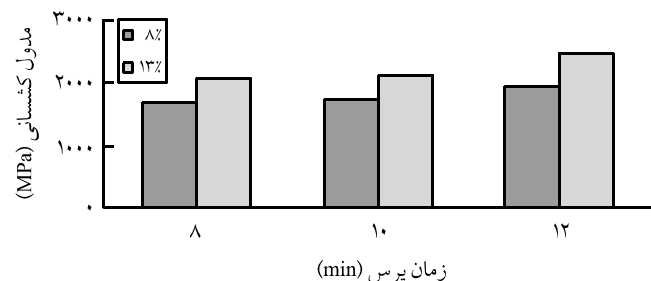
نتایج، با افزایش مقدار رزین میزان واکشیدگی ضخامت از ۲۸/۲۴ به ۱۷/۰۱ درصد کاهش می‌یابد. رزین AESO به دلیل ساختار غیرقطبی و هم‌چنین سازگاری با سطح ذرات کاه گندم، اتصال خوبی با این ذرات ایجاد می‌کند. با افزایش مقدار رزین، سطح تماس بین رزین و ذرات کاه گندم بیشتر شده و باعث بهبود کیفیت اتصال می‌شود و اتصال محکم بین ذرات و رزین باعث کاهش واکشیدگی ضخامت می‌شود.

در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود، با افزایش زمان پرس واکشیدگی ضخامت سیر نزولی دارد. با افزایش زمان پرس، پخت رزین کامل‌تر شده و اتصالات عرضی ایجاد شده بهبود می‌یابند. بهبود اتصال باعث کاهش واکشیدگی ضخامت می‌شود.

در شکل ۱۴ مقایسه کلی بین واکشیدگی ضخامت ۲۴ h تخته‌های ساخته شده از رزین AESO در دو سطح مقدار رزین و سه سطح زمان پرس مشاهده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد، با افزایش زمان پرس و هم‌چنین مقدار رزین، واکشیدگی ضخامت ۲۴ h کاهش می‌یابد و در تمام زمان‌های پرس با ۸ درصد مقدار رزین، مقدار واکشیدگی ضخامت تخته خرده حاصل از مقدار استاندارد آن که ۱۶ درصد برای ۲۴ h غوطه‌وری



شکل ۱۴ - مقایسه بین واکشیدگی ضخامت ۲۴ h تخته‌های ساخته شده از رزین AESO.



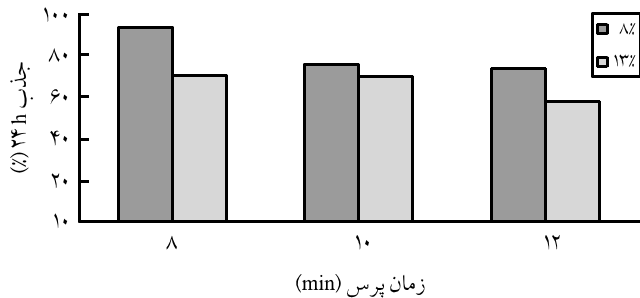
شکل ۱۱ - مقایسه بین مدول کشسانی تخته‌های ساخته شده از رزین AESO.

مستقیم در معرض گرمای پرس است، با افزایش زمان پرس، زمان قرارگیری سطح تخته در معرض گرما نیز افزایش می‌یابد. بنابراین، از زمان ۸ به ۱۲ min پخت رزین در سطح نمونه کامل‌تر شده و افزایش مدول کشسانی خمشی حاصل می‌شود. در شکل ۱۱ مقایسه کلی بین مدول کشسانی خمشی تخته‌های ساخته شده از رزین AESO در دو سطح مقدار رزین و سه سطح زمان پرس مشاهده می‌شود. همان‌طور که دیده می‌شود، با افزایش زمان پرس و هم‌چنین مقدار رزین مدول کشسانی خمشی نیز افزایش می‌یابد. با توجه به استاندارد اروپایی تخته خرده چوب (جدول ۲) که مقدار مدول کشسانی خمشی را ۲۳۰۰ MPa گزارش کرده است و مطابق شکل ۱۱، تمام تخته‌های ساخته شده از مقدار ۸ درصد رزین در تمام زمان‌های پرس، مدول کشسانی خمشی کمتری از مقدار استاندارد اروپا را دارند و تنها تخته‌های ساخته شده با مقدار ۱۳ درصد رزین و زمان پرس ۱۲ min مدول کشسانی قابل رقابت با مقدار استاندارد را دارند.

شکل ۱۲ اثر مستقل مقدار رزین بر مقدار واکشیدگی ضخامت ۲۴ h تخته‌ها را در دو سطح ۸ و ۱۳ درصد مقدار رزین نشان می‌دهد. طبق



شکل ۱۲ - اثر مستقل مقدار رزین بر واکشیدگی ضخامت ۲۴ h تخته‌های ساخته شده از رزین AESO.



شکل ۱۷ - مقایسه بین جذب آب ۲۴ h تخته های ساخته شده از رزین AESO.

مقدار رزین، جذب آب ۲۴ h نیز کاهش می یابد. با توجه به شکل ۱۷، در مقدار رزین ۸ درصد اختلاف زیادی بین جذب آب تخته ها در زمان های پرس ۱۰ و ۱۲ min وجود ندارد و بیشترین مقدار جذب آب را تخته خرده حاصل از ۸ درصد رزین با ۸ min زمان پرس دارد. دلیل افزایش جذب آب این نمونه نیز می تواند به دلیل عدم پخت کامل رزین AESO در زمان ۸ min باشد. از آن جا که مقدار رزین نیز در کمترین سطح است، سطح تماس بین رزین و ذرات کاه نیز کم بوده و ایجاد خلل و فرج باعث افزایش جذب آب شده است.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش می توان به طور کلی نتیجه گیری کرد که خواص تخته خرده کاه ساخته شده از رزین AESO با مقدار ۱۳ درصد رزین و زمان پرس ۱۲ min بهترین نمونه است. زیرا، با به کار بردن ۱۳ درصد رزین سطح تماس بین رزین و ذرات افزایش یافته و هم چنین در زمان پرس ۱۲ min پخت رزین AESO کامل تر می شود و خواص حاصل از این تخته با استاندارد اروپایی تخته خرده چوب به کار رفته در شرایط خشک زیر بارگذاری (EN 312-4) تطابق دارد و کاملاً با تخته خرده چوب قابل رقابت است. هم چنین باید توجه داشت، به دلیل استفاده از رزین روغنی طبیعی و هم چنین کاه گندم به عنوان مواد اولیه، این تخته، ماده کاملاً طبیعی است و مشکل زیست محیطی ندارد. از طرف دیگر، نبود ترکیب فرمالدهید در ساختار رزین روغنی AESO نیز از دیگر مزایای آن به شمار می آید. این رزین بدون انتشار کمترین گاز فرمالدهید می تواند خود تحولی بزرگ در صنعت تخته خرده چوب باشد.



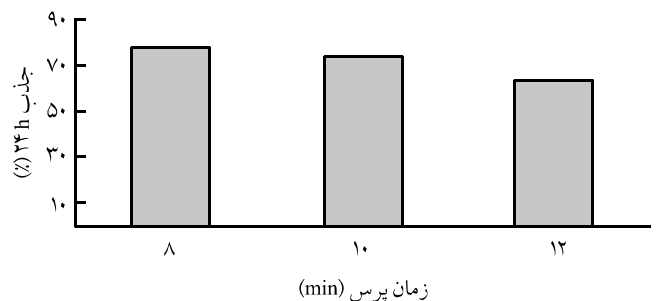
شکل ۱۵ - اثر مستقل مقدار رزین بر جذب آب ۲۴ h تخته های ساخته شده از رزین AESO.

در آب گزارش شده، بیشتر است و تنها مقدار واکنشیدگی ضخامت تخته خرده حاصل از ۱۳ درصد رزین با ۱۲ min زمان پرس، با مقدار ۱۵/۵۴ درصد قابل رقابت با استاندارد اروپایی است.

با توجه به شکل ۱۵ اثر مستقل مقدار رزین بر جذب آب تخته های حاصل پس از ۲۴ h غوطه وری در آب معنی دار است. با افزایش مقدار رزین، سطح تماس بین رزین و ذرات کاه گندم بیشتر شده و باعث بهبود کیفیت اتصال می شود و اتصال محکم بین ذرات و رزین باعث کاهش جذب آب می شود.

در شکل ۱۶ مشاهده می شود، با افزایش زمان پرس جذب آب، سیر نزولی دارد. اثر مستقل زمان پرس بر جذب آب ۲۴ h تخته های ساخته شده از رزین AESO در سطح ۹۵ درصد معنی دار بوده و با افزایش زمان پرس در سه سطح ۸، ۱۰ و ۱۲ min جذب آب ۲۴ h به طور معنی داری کاهش می یابد. دلیل آن می تواند بهبود پخت رزین در زمان های بیشتر پرس باشد.

در شکل ۱۷ مقایسه کلی بین جذب آب ۲۴ h تخته های ساخته شده از رزین AESO در دو سطح مقدار رزین و سه سطح زمان پرس مشاهده می شود. همان طور که دیده می شود، با افزایش زمان پرس و هم چنین



شکل ۱۶ - اثر مستقل زمان پرس بر جذب آب ۲۴ h تخته های ساخته شده از رزین AESO.

مراجع

1. Wool R.P. and Khot S., *Bio-based Resins and Natural Fibers*, ASM Handbook 21, Ohio, USA, 184-192, 2001,
2. Campanella A., La Scala J.J., and Wool R.P., Fatty Acid-based Monomer as a Replacement for Styrene in the Production of Triglyceride-based Polymers, *12th Annual Green Chemistry and Engineering Conference*, Washington, 25-27 Jun, 2008.
3. Wool R.P., Kusefoglul S., Palmese G., Khot S., and Zhao R., High Modulus Polymers and Composites from Plant Oils, *US Pat. 6121398*, 2000.
4. Lu J. and Wool R.P., Sheet Molding Compound Resins from Soybean Oil: Thickening Behavior and Mechanical Properties, *Polym. Eng. Sci.*, **47**, 1469-1479, 2007.
5. Rogers J., Xinglian G., and Li K., Soy-based Adhesives with 1, 3-Dichloro-2-Propanol as a Curing Agent, *Wood Fiber Sci.*, **36**, 186-194, 2004.
6. Dweib M.A., Hu B., Shenton H.W., and Wool R.P., Bio-based Composite Roof Structure: Manufacturing and Processing Issues, *Compos. Struct.*, **74**, 379-388, 2006.
7. Official and Recommended Practices of the American Oil Chemists Society, 5th ed., AOCS, Champaign, IL, 1997 (Method Cd 9-57).
8. Particleboards and Fibreboards-Determination of Swelling in Thickness after Immersion in Water, TS-EN317, 1999.
9. Wool R.P. and Sun X.S., *Bio-based Polymers and Composites*, Elsevier, 620, 2005.
10. Thielemans W., McAninch I.M., Barron V., Blau W.J., and Wool R.P., Impure Carbon Nanotubes as Reinforcements for Acrylated Epoxidized Soy Oil Composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, **98**, 1325-1338, 2005.
11. Lu J., Khot S., and Wool R.P., New Sheet Compound Resins from Soybean Oil: I. Synthesis and Characterization, *Polym. J.*, **46**, 71-80, 2005.
12. Boquillon N., Gerard E., and Uwe S., Properties of Wheat Straw Particle Boards Bonded with Different Types of Resin: *J. Wood Sci.*, **50**, 230-235, 2004
13. Zhang Y., Lu X., Pizzi A., and Delmotte L., Wheat Straw Particleboard Bonding Improvements by Enzyme Pretreatment, *Holz als Roh- und Werkstoff*, **61**, 49-54, 2003.
14. European Standard CEN, Particleboards-Specifications-Part3: Requirements for Boards for Interior Fitments (including furniture) for Use in Dry Conditions, EN 312-4, European Committee for Standardization, Brussels, CEN, 3P, 2001.