

## خواص حرارتی و رنگسنجی چندسازه کاه گندم رنگبری شده/ پلی اتیلن سبک

### چکیده

این پژوهش، با هدف تعیین خواص حرارتی و رنگسنجی چندسازه کاه گندم رنگبری شده/ پلی اتیلن انجام شد. برای این منظور، ابتدا کاه گندم با استفاده از روش‌های مختلف رنگبری طبیعی و شیمیایی رنگبری شد. سپس، کاه گندم رنگبری شده و پلی اتیلن با نسبت وزنی ۴۰ به ۶۰ با یکدیگر در یک اکسترودر دو ماریچچه ناهمسوگرد در دمای ۱۴۵ درجه سانتی‌گراد مخلوط شدند. سازگار کننده مالٹیک‌دار نیز به میزان ۱۰٪ (وزنی از پلی اتیلن) در تهیه چندسازه به کار گرفته شد. آزمون‌های رنگسنجی و گرمایی روی نمونه‌های ساخته‌شده انجام و نتایج آن با نمونه تهیه‌شده از پلیمر خالص مقایسه شد. نتایج نشان داد که کمترین میزان روشنایی در نمونه‌هایی مشاهده شد که فرایند رنگبری بر کاه گندم آن‌ها انجام نشده است. چندسازه حاصل از خمیر رنگبری شده با آنزیم زایلاناز و پراکسید هیدروژن ۱٪، بیشترین مقدار روشنایی بعد از پلی اتیلن خالص دارد. خواص گرمایی نمونه‌ها با استفاده از آزمون گرماسنجی روبشی تفاضلی نشان داد که چندسازه رنگبری شده با آنزیم و پراکسید هیدروژن ۱٪، در مقایسه با سایر تیمارها از دمای ذوب بالاتری برخوردار است. بالاترین دمای تجزیه در چندسازه بدون رنگبری برابر ۴۲۴/۷۶ درجه سانتی‌گراد و کمترین آن مربوط به چندسازه رنگبری شده برابر ۳۵۴/۲۳ درجه سانتی‌گراد است.

**واژگان کلیدی:** چندسازه، رنگبری، تغییر رنگ، خواص گرمایی.

بهجت تاج‌الدین<sup>\*۱</sup>  
هادی انصاری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> عضو هیئت علمی (استادیار)، مهندسی بسته‌بندی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج

<sup>۲</sup> دانش‌آموخته رشته صنایع غذایی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

مسئول مکاتبات:

[behjat.tajeddin@yahoo.com](mailto:behjat.tajeddin@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۷/۱۶

### مقدمه

پیدایش پلاستیک‌ها نقش مهمی را در تغییر شکل زندگی مردم ایفا کرده است و مقدار مصرف آن با رشد جمعیت و فناوری، همواره در حال افزایش است. به‌طور کلی، پلیمرها که عمدتاً از مشتقات نفتی تولید می‌شوند، به علت قیمت ارزان و خواص تبدیل‌پذیری و شکل‌پذیری آسان، به‌طور وسیعی در صنایع بسته‌بندی اغلب تحت عنوان مواد یک‌بارمصرف، استفاده می‌شوند؛ اما در کنار فواید چشمگیر آن‌ها، مشکلاتی نیز وجود دارد که محدودیت منابع نفتی و

سوختهای فسیلی، هزینه بالای بازیافت و ضایعات فراوان آن‌ها و همچنین انباشت زباله‌های پلاستیکی به‌عنوان عامل غیرقابل کنترل و تهدیدکننده محیط‌زیست و سلامت انسان، از جمله این مشکلات است. تولید و استفاده از پلیمرهای طبیعی یا نسبتاً طبیعی نقطه عطفی در کاهش آلودگی محیط‌زیست و کاهش تهدیدها و خطرات سلامت انسان تلقی می‌شود [۱-۲]. از این رو، پلیمرهای زیستی یا طبیعی، جایگزین مناسبی برای پلیمرهای ساختگی به شمار می‌روند، اگرچه دارای ضعف در مواردی مثل استحکام

سایر مواد رنگ‌بر به کار می‌رود. به عنوان نمونه، Ragauskas و همکاران (۱۹۹۳)، بر نحوه عملکرد آنزیم زایلاناز به عنوان پیش‌تیمار برای رنگ‌بری با سایر مواد رنگ‌بر بدون کلر آزمایشاتی انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که این آنزیم از طریق از بین بردن کمپلکس کربوهیدرات و لیگنین باعث در دسترس شدن لیگنین برای سایر مواد رنگ‌بر می‌شود و همچنین از بین رفتن مقدار جزئی لیگنین را باعث می‌گردد، در نتیجه روشنایی خمیر کاغذ افزایش می‌یابد [۱۳]. کارخانه‌های متعددی در سطح جهان، از آنزیم زایلاناز در فرایند رنگ‌بری استفاده می‌کنند. در کاربرد آنزیم زایلاناز، تنظیم pH اپتیمم برای فعالیت آنزیم و موقعیت مناسب برای افزودن آنزیم به خمیر، حائز اهمیت است. مقدار آنزیم مورد نیاز برای هر تن خمیر حدود ۰/۱ لیتر است [۱۴]. نحوه عملکرد آنزیم زایلاناز برای رنگ‌بری خمیر حاصل از کاه گندم با استفاده از چهار توالی رنگ‌بری و تحت شرایط مختلف انجام شد [۱۵].

با توجه به موارد بالا، در این تحقیق، چندسازه حاصل از کاه گندم رنگ‌بری شده/پلیاتیلن سبک تولید شد و برای مقایسه بهتر، خمیر کاه گندم نیز به عنوان تیماری دیگر به کار رفت. خواص رنگسنجی چندسازه حاصل مطالعه گردید. از آنجایی که از یک طرف خواص حرارتی یکی از شاخص‌های مهم ارزیابی کیفیت مواد اولیه بسته‌بندی است و از طرف دیگر، ممکن است حرارت بر رنگ تأثیرگذار باشد، خواص حرارتی چندسازه نیز مورد توجه قرار گرفت.

مقالات متعددی در مورد مطالعه خواص و رفتار حرارتی چندسازه‌های طبیعی وجود دارد. به عنوان مثال، Averous و Le Digabel (۲۰۰۶)، چندسازه زیست‌تخریب‌پذیری را با حضور شبکه پلیمری پلی بوتیلن آدیپات کو ترفتالات و پرکننده مواد لیگنوسلولزی کاه گندم تهیه و رفتار حرارتی و مکانیکی آن را بررسی کردند. نتایج معلوم کرد که دمای تخریب پرکننده‌ها به اندازه کافی بالا است تا با دمای فرآیندهایی مثل اکستروژن<sup>۲</sup> و تزریق<sup>۳</sup> سازگار باشد. علاوه بر این، با افزایش ماده پرکننده، دمای تخریب حرارتی افزایش می‌یابد [۱۶]. Rudnik (۲۰۰۷)،

پایداری حرارتی، بازدارندگی در برابر رطوبت و غیره هستند که بایستی اصلاح شوند [۷-۳].

دسته بزرگی از پلیمرهای زیستی، چندسازه‌های طبیعی<sup>۱</sup> هستند که از الیاف طبیعی یا ذرات گیاهی (به عنوان مواد پرکننده) و پلیمرهای غیر قابل تجزیه مشتق شده از مواد نفتی نظیر پلی پروپیلن و پلی اتیلن (به عنوان شبکه پلیمری یا ماده زمینه) به دست می‌آیند. این چندسازه‌ها، توجه فراوانی را برای کاهش مشکلات ناشی از تجمع ضایعات مواد پلاستیکی در محیط زیست به خود جلب کرده‌اند. اخیراً، از کاه گندم به عنوان یک ماده پرکننده طبیعی در تهیه چندسازه‌های طبیعی استفاده می‌کنند. به عنوان مثال، گرجانی و امیدوار (۲۰۰۶)، خواص مکانیکی چندسازه پلی اتیلن بازیافتی/ کاه گندم ساخته شده با ۳۰، ۱۵ و ۴۰٪ آرد کاه گندم دانه ریز (مش ۲۵ تا ۴۰) و دانه درشت (مش ۱۲ تا ۲۵) به عنوان تقویت کننده را با استفاده از ۲٪ مالئیک انیدرید به عنوان سازگار کننده بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزایش درصد آرد کاه گندم تا سطح ۳۰٪ مقاومت کششی و خمشی را افزایش داده و تا سطح ۴۰٪ موجب بهبود مدول الاستیسیته کششی چندسازه شده است و بهترین مقاومت مکانیکی در چندسازه حاصل از ۳۰٪ آرد کاه گندم و ۷۰٪ پلی اتیلن سنگین بازیافتی مشاهده گردید [۸]. همین‌طور Tajeddin (۲۰۱۳)، چندسازه پلی اتیلن/ کاه گندم را تهیه کرد [۹]. به هر حال چنین چندسازه‌هایی که دارای کاه هستند، بوی تند و رنگ متفاوت با پلیمرهای ساختگی معمولی دارند. از این رو طی مطالعه‌ای، Tajeddin (۲۰۱۴) با استفاده از روش‌های مختلف رنگ‌بری طبیعی و شیمیایی، کاه گندم را رنگ‌بری کرد و آن را در ترکیب چندسازه به کار گرفت [۱۰].

در برخی از صنایع از جمله در صنعت کاغذسازی، از خمیر کاه گندم استفاده می‌شود. به طور کلی، خمیرسازی فرآیندی است که طی آن پیوندهای درونی ساختار چوب می‌شکند و چوب یا دیگر مواد خام لیگنوسلولزی به یک توده‌ی لیفی تبدیل می‌گردد [۱۱]. روش معمول برای تهیه خمیر از مواد لیگنوسلولزی چون کاه و فنون رنگ‌بری خمیر حاصل، استفاده از روش‌های پخت سودا و پخت سولفیت برای تولید خمیر و استفاده از توالی‌های کلردار و استخراج قلیایی می‌باشد [۱۲]. یکی از روش‌های رنگ‌بری، استفاده از آنزیم زایلاناز است که به عنوان پیش‌تیمار برای رنگ‌بری با

<sup>1</sup> Biocomposites

<sup>2</sup> Extrusion

<sup>3</sup> Injection moulding

رنگ‌سنجی از شاخص‌های مهم ارزیابی کیفیت مواد بسته‌بندی است، از این‌رو، در این مقاله، خواص حرارتی و رنگ‌سنجی چندسازه‌های حاصل از کاه گندم و خمیر کاه گندم رنگ‌بری شده/ پلی‌اتیلن سبک و مقایسه آن‌ها با LDPE خالص برای کاربرد در صنعت بسته‌بندی بررسی می‌شود.

## مواد و روش‌ها

### مواد

کاه گندم رقم پیش‌تاز از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (کرج) تهیه شد و پودر آن با مش ۴۰ در آزمایشگاه به دست آمد. پلی‌اتیلن سبک (LDPE) از شرکت پتروشیمی بندر امام خمینی با چگالی  $0.92 \text{ g/cm}^3$  و شاخص جریان مذاب  $2 \text{ g/10 min}$  تهیه گردید. پلی‌اتیلن مالئیک‌دار شده (MAPE) به‌عنوان ماده سازگار کننده از شرکت پیام‌هورا خریداری شد. آنزیم زایلاناز حاصل از قارچ *Thermomyces lanuginosus* با قدرت فعالیت آنزیم  $250 \text{ U/g}$  از شرکت سیگما آلدریج تهیه گردید. مواد شیمیایی پراکسید هیدروژن ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )، دی‌تیونات سدیم ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ )، محلول یک نرمال هیدروکسید سدیم و سولفیت قلیایی محصول مرک<sup>۳</sup> آلمان نیز به کار گرفته شدند.

### روش‌ها

#### رنگ‌بری

یک گرم پودر کاه گندم با ۵۰ میلی‌لیتر از محلول پراکسید هیدروژن ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) (در سطوح مختلف ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ درصد) در داخل بشر ریخته شد. از آنجایی که در pH برابر ۱/۵، بالاترین میزان رنگ‌بری با  $\text{H}_2\text{O}_2$  وجود دارد [۲۱]، برای رسیدن به pH برابر ۱/۵، از محلول یک نرمال NaOH استفاده شد. پس از تنظیم pH، بشر درون حمام آب گرم در دمای  $80^\circ\text{C}$  به مدت ۲ ساعت قرار داده شد. سپس، کاه گندم با استفاده از کاغذ صافی و شستشو با آب مقطر صاف گردید و برای خشک شدن در آون قرار داده شد. پس از خشک شدن، توسط آسیاب آزمایشگاهی

خواص حرارتی چندسازه‌های طبیعی حاصل از شبکه نشاسته اصلاح‌شده‌ی غنی با مقدار ۴۰-۰٪ وزنی الیاف سبزیجات طبیعی (کتان و سلولز) را با استفاده از روش DSC بررسی کرد. نتایج منحنی DSC نشان داد که به‌طور کلی، وجود الیاف طبیعی در شبکه نشاسته اصلاح‌شده، باعث افزایش دمای انتقال شیشه‌ای می‌شود. تخریب دمایی چندسازه طبیعی شبکه نشاسته اصلاح‌شده حاوی سلولز در سه مرحله اتفاق افتاد اما فرآیند تخریب چندسازه حاوی کتان در دو مرحله صورت گرفت. افزایش در مقاومت حرارتی نمونه‌ها برای هر دو چندسازه حاوی کتان و سلولز مشاهده گردید [۱۷]. رفتار حرارتی چندسازه‌های گرمانرم (HDPE و PP) پر شده با آرد کاه گندم (WF) با استفاده از روش‌های DSC و TG توسط Karakus و Mengeloglu (۲۰۰۸) بررسی شد. نتایج نشان داد که حضور WF در شبکه گرمانرم، دمای تخریب ( $T_m$ ) چندسازه را کاهش می‌دهد. دو پیک اصلی تجزیه (یکی برای WF و دیگری برای گرمانرم) مشاهده شد. مقاومت حرارتی کاه گندم پایین‌تر از PP است و با افزایش ماده پرکننده (۱۰، ۲۰، ۲۵ و ۳۰٪ وزنی) در چندسازه، مقاومت حرارتی کم می‌شود [۱۸]. خواص مکانیکی، مقاومت حرارتی و رفتار ویسکوالاستیک چندسازه‌های PP/کاه گندم/PP-g-MA را Farsi (۲۰۱۲) ارزیابی کرد. نتایج کار او نشان داد که مقاومت حرارتی کاه گندم پایین‌تر از PP است و با افزایش ماده پرکننده (۱۰، ۲۰، ۲۵ و ۳۰٪ وزنی) در چندسازه، مقاومت حرارتی کاهش می‌یابد [۱۹]. پلی‌استر غیراشباع (UP) با مقدار ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰٪ حجمی خاکستر نخل روغنی (OPA) با هدف بهبود خواص مکانیکی و حرارتی چندسازه حاصل، توسط Ibrahim و همکاران (۲۰۱۲) ترکیب شد. همان‌طور که مقدار پرکننده OPA افزایش می‌یافت، مقاومت حرارتی چندسازه نیز زیاد می‌شد [۲۰]. در مطالعه تأثیر اندازه و مقدار ذرات پوسته هسته آرگان (NA) روی خواص مکانیکی و حرارتی چندسازه NA/PP توسط Essabir و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از DTA<sup>۲</sup> مشخص شد که با افزایش مقدار ذرات از ۱۰، ۱۵، ۲۰ تا ۲۵ وزنی میزان ذره، مقاومت حرارتی چندسازه‌ها نسبت به PP خالص ( $258^\circ\text{C}$ )، از  $256^\circ\text{C}$  تا  $230^\circ\text{C}$  اندکی کاهش می‌یابد [۲۱]. به‌طور کلی در صنعت بسته‌بندی، خواص حرارتی و

<sup>1</sup> Nut-shells of Argan

<sup>2</sup> Differential Thermal Analysis

<sup>3</sup> Merck

آنزیم، در حمام آب گرم در دمای  $65^{\circ}\text{C}$  به مدت سه ساعت قرار گرفت و محتویات داخل بشر در طول آزمایش هم زده شد. پس از صاف کردن محتویات بشر، خمیر جدا شده با آب مقطر شسته و سپس درون آون در دمای  $65^{\circ}\text{C}$  به مدت ۵ ساعت خشک گردید. سپس، خمیر کاه گندم پیش‌رنگ‌بری شده با آنزیم زایلاناز در یک توالی رنگ‌بری با استفاده از  $\text{H}_2\text{O}_2$  (در سطوح مختلف ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ درصد) رنگ‌بری شد. برای این کار، ۶ گرم خمیر خشک شده پیش‌رنگ‌بری شده با آنزیم با اضافه شدن سطوح مختلف  $\text{H}_2\text{O}_2$ ، با آب مقطر به حجم ۳۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. با استفاده از محلول یک نرمال  $\text{NaOH}$ ، pH در  $11/5$  تنظیم و بشر حاوی مواد در حمام آب گرم در دمای  $80^{\circ}\text{C}$  به مدت ۲ ساعت قرار گرفت. سپس با آب صاف و شسته شد. خمیر در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  در آون به مدت ۶ ساعت خشک گردید.

جدول ۱، تیمارهای مورد مطالعه برای رنگ‌بری این تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول ۱- تیمارهای مورد مطالعه برای رنگ‌بری

ردیف	تیمار
۱	رنگ‌بری پودر کاه گندم با سطوح مختلف $\text{H}_2\text{O}_2$
۲	رنگ‌بری پودر کاه گندم با سطوح مختلف دی تیونات سدیم
۳	پیش‌رنگ‌بری خمیر حاصل از پخت سودا با آنزیم زایلاناز و رنگ‌بری با سطوح مختلف $\text{H}_2\text{O}_2$
۴	پیش‌رنگ‌بری خمیر حاصل از پخت سولفیت با آنزیم زایلاناز و رنگ‌بری با سطوح مختلف $\text{H}_2\text{O}_2$

### ساخت چندسازه

برای ساخت چندسازه، کاه گندم (به صورت آرد و یا خمیر رنگ‌بری شده) با پلی‌اتیلن سبک به نسبت وزنی ۴۰ به ۶۰ [۹، ۲۳] به همراه MAPE در سطح ۱۰٪ (وزنی پلی‌اتیلن) با استفاده از اکسترودر دو پیچه ناهمسوگرد (مدل Dr.Collin، ساخت آلمان) با سرعت ۶۰ rpm، در دمای  $145^{\circ}\text{C}$  مخلوط شدند. سپس چندسازه بی‌شکل حاصل با آسیاب چکشی (مدل Weiser (WS)-LS 200/200، ساخت اتریش) به صورت گرانول درآمد. در نهایت نمونه‌های آزمونی با استفاده از دستگاه پرس هیدرولیکی در  $160^{\circ}\text{C}$  و فشار ۲۵Mpa ساخته شد.

### آزمون رنگ‌سنجی

برای انجام این آزمون از دستگاه رنگ‌سنج Konica Minolta (مدل CR-400، ساخت ژاپن)، استفاده شد. در این آزمون شاخص‌های  $L^*$ ،  $a^*$ ،  $b^*$  اندازه‌گیری و گزارش شد.  $L^*$  شاخص سفیدی یا روشنایی، از مقدار  $L=100$  که نشانگر رنگ سفید و انعکاس کامل نور است تا مقدار  $L=0$  که بیانگر رنگ سیاه است را در برمی‌گیرد.  $a^*$  شاخص قرمزی-سبزی و  $b^*$  شاخص زردی-آبی است. تفاوت رنگ کلی یا شاخص  $\Delta E^*$ ، با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

## آزمون حرارتی

برای اندازه‌گیری خواص گرمایی چندسازه از آزمون گرماسنجی روبشی تفاضلی (DSC)<sup>۱</sup>، به‌عنوان یکی از روش‌های کاربردی در مطالعه تغییرات حرارتی پلیمرها، استفاده شد. برای انجام این کار و مطابق استاندارد ASTM D3417 [۲۴]، از دستگاه DSC (مدل Mettler Toledo، ساخت سوئیس) استفاده شد. ابتدا دستگاه از نظر دما و آنتالپی با ایندیوم (T<sub>m.onset</sub>=156.6°C, H=28.45J/g) کالیبره شد و ظرف کوچک خالی به‌عنوان معرف در محفظه قرار گرفت. سپس نمونه‌هایی با وزن ۲-۳ میلی‌گرم از هر ترکیب در کپسول‌های آلومینیومی (Crucible) دربندی شده و در مخزن دستگاه قرار گرفتند. رفتار حرارتی در درجه حرارت از ۳۰- تا ۴۵۰°C با نرخ حرارتی<sup>۲</sup> برابر ۵°C/min، تحت جریان گاز ازت با مقدار جریان<sup>۳</sup> ۶ l/h بررسی شد.

**آزمون آماری:** تجزیه و تحلیل آماری، بر اساس تجزیه واریانس یک‌طرفه داده‌ها مطابق طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SAS<sup>۴</sup> و رسم نمودارها با نرم‌افزار اکسل<sup>۵</sup> انجام شد. مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت.

## نتایج و بحث

### رنگ‌سنجی

نتایج حاصل از آزمون رنگ‌سنجی برای تیمار کاه گندم رنگ‌بری شده با سطوح مختلف H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>، در جدول ۲ نشان داده شده است.

مطابق جدول ۲، در ازای مصرف مقادیر بیشتر H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>، روشنایی افزایش پیدا می‌کند طوری که از عدد ۷۳/۲۷ برای نمونه شاهد (کاه گندم رنگ‌بری نشده) به عدد ۸۷/۸۱ برای کاه گندم رنگ‌بری شده با H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ۵٪ می‌رسد. دلیل این امر را می‌توان به حذف گروه‌های رنگ‌ساز موجود در لیگنین نسبت داد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین شاخص‌های رنگ‌سنجی a، b، L در تیمارهای

مختلف با اطمینان ۹۹ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد.

تغییرات L\*، a\*، b\* به ازای مصرف سطوح مختلف دی‌تیونات سدیم در جدول ۳ مشاهده می‌شود. با افزایش مقدار مصرف دی‌تیونات سدیم، میزان روشنایی نمونه یا شاخص L تغییر چندانی نمی‌کند طوری که در مقایسه با جدول ۲، با مصرف چهار درصد دی‌تیونات سدیم، مقدار روشنایی یا درخشندگی به مقدار ۳/۷۶ واحد نسبت به کاه گندم رنگ‌بری نشده (نمونه شاهد) افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که در کاه رنگ‌بری شده با دی‌تیونات سدیم، شاخص‌های L و b در سطح ۱٪ و برای شاخص a در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود دارد. همچنین، مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بین کاه گندم رنگ‌بری شده با سطوح مختلف دی‌تیونات سدیم برای شاخص L و تیمار شاهد (کاه گندم بدون رنگ‌بری)، اختلاف معنی‌داری وجود دارد. تیمار کاه گندم رنگ‌بری شده با دی‌تیونات سدیم ۴٪ بیشترین میزان روشنایی و تیمار کاه گندم رنگ‌بری شده با دی‌تیونات سدیم ۱٪ کمترین میزان روشنایی را دارا می‌باشند. بین تیمارهای کاه گندم رنگ‌بری شده با دی‌تیونات سدیم ۲٪ و ۳٪، اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

تغییرات L\*، a\*، b\* خمیر حاصل از پخت سولفیت و خمیر پیش‌رنگ‌بری شده با سطوح مختلف آنزیم زایلاناز در جدول ۴ مشاهده می‌شود.

مقادیر شاخص L در جدول ۴ نشان می‌دهد خمیر حاصل از پخت سولفیت دارای مقدار روشنایی ۷۰/۸۳ است که به میزان ۲/۴۴ واحد تیره‌تر از کاه گندم خام (جدول ۲) با مقدار روشنایی برابر ۷۳/۲۷ است که ممکن است به دلیل خروج لیگنین و در نتیجه حذف گروه‌های رنگی یا رنگ‌ساز موجود در لیگنین باشد. لیگنین، پلیمری بی‌شکل است که در ساختار خود دارای گروه‌های فعال مانند گروه‌های فنولی، هیدروکسیلی، پیوندهای دوگانه و گروه‌های کربونیلی است که نقش زیادی در ایجاد بو و رنگ دارند [۲۵]. با مصرف ۵ واحد آنزیم، مقدار روشنایی تغییر چندانی نداشته است و تا حدود ۰/۳ واحد افزایش نشان داده است ولی با مصرف ۱۰ و ۲۰ واحد آنزیم، مقدار روشنایی خمیر به ترتیب ۱/۸۹ و ۲/۱۴ واحد افزایش نشان داده است که با توجه به مقدار تفاوت کمی که وجود دارد می‌توان گفت که مصرف ۱۰

<sup>1</sup> Differential Scanning Calorimetry

<sup>2</sup> Scanning rate

<sup>3</sup> Flow rate

<sup>4</sup> Statistical Analysis System

<sup>5</sup> Excel

واحد آنزیم برای پیش رنگبری به صرفه تر باشد. نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس خمیر رنگبری شده با  $H_2O_2$  نشان داد که در شاخص های رنگی در سطح ۱ درصد تفاوت معنی داری وجود دارد.

جدول ۲- میانگین تغییرات  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  کاه گندم به ازای مصرف مقادیر مختلف  $H_2O_2$

$\Delta E$	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	تیمار
۰/۳۵	۷۳/۲۷	۱/۴۶	۲۰/۳۳	-۰/۰۷	-۰/۰۳	-۰/۳۴	کاه گندم رنگبری نشده (نمونه شاهد)
۵/۹۹	۷۵/۷۷	-۳/۸۹	۲۱/۳۴	۲/۴۹	-۵/۳۵	۱/۰۱	کاه گندم رنگبری شده با $H_2O_2$ ۱٪
۸/۲۰	۷۸/۴۹	-۴/۱۲	۱۷/۳۵	۵/۲۲	-۵/۵۸	-۲/۹۸	کاه گندم رنگبری شده با $H_2O_2$ ۲٪
۱۲/۲۴	۸۳/۲۰	-۳/۶۵	۱۵/۲۹	۹/۹۲	-۵/۱۱	-۵/۰۴	کاه گندم رنگبری شده با $H_2O_2$ ۳٪
۱۵/۷۳	۸۷/۰۲	-۲/۷۴	۱۴/۱۴	۱۳/۶۷	-۴/۲۳	-۶/۵۴	کاه گندم رنگبری شده با $H_2O_2$ ۴٪
۱۶/۵۲	۸۷/۸۱	-۲/۸۰	۱۳/۷۴	۱۴/۵۴	-۴/۲۶	-۶/۵۹	کاه گندم رنگبری شده با $H_2O_2$ ۵٪

جدول ۳- میانگین تغییرات  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  کاه گندم به ازای مصرف مقادیر مختلف دی تیونات سدیم

$\Delta E$	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	تیمارها
۱/۹۷	۷۵/۱۶	۱/۲۹	۱۹/۸۰	۱/۸۹	-۰/۱۲	-۰/۵۳	کاه رنگبری شده با دی تیونات سدیم ۱٪
۲/۹۳	۷۶/۰۳	۱/۲۴	۱۹/۴۳	۲/۷۵	-۰/۲۲	-۰/۹۸	کاه رنگبری شده با دی تیونات سدیم ۲٪
۳/۲۳	۷۶/۲۰	۱/۱۶	۱۸/۹۶	۲/۹۲	-۰/۲۹	-۱/۳۶	کاه رنگبری شده با دی تیونات سدیم ۳٪
۴/۰۵	۷۷/۰۳	۱/۱۶	۱۸/۸۲	۳/۷۶	-۰/۲۹	-۱/۴۸	کاه رنگبری شده با دی تیونات سدیم ۴٪

جدول ۴- میانگین تغییرات  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  خمیر حاصل از پخت سولفیت و خمیر پیش رنگبری شده با سطوح مختلف آنزیم زایلاناز

$\Delta E$	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	تیمارها
۴/۳۹	۷۰/۸۳	-۱/۹۵	۲۱/۶۳	-۲/۴۴	۳/۴۱	۱/۲۹	خمیر حاصل از پخت سولفیت
۱/۷۰	۷۱/۱۴	-۱/۵۱	۲۰	۰/۳۰	۰/۴۳	-۱/۶۲	خمیر پیش رنگبری شده با 5Uxylanase
۳/۲۶	۷۲/۷۳	-۱/۵۷	۱۹	۱/۸۹	۰/۳۸	-۲/۶۳	خمیر پیش رنگبری شده با 10Uxylanase
۲/۷۲	۷۲/۹۸	-۱/۵۶	۱۹/۹۹	۲/۱۴	۰/۳۹	-۱/۶۴	خمیر پیش رنگبری شده با 20Uxylanase

ممکن است به دلیل تخریب تمامی گروه های رنگ ساز موجود در خمیر باشد [۲۵]. به طور کلی، رنگبری با  $H_2O_2$  بر خمیر کاه تأثیر بیشتری نسبت به رنگبری روی کاه گندم داشته است بطوریکه با مصرف یک درصد  $H_2O_2$  مقدار روشنایی خمیر به ۸۳/۱۷ رسیده است ولی در مورد کاه گندم این مقدار ۷۵/۷۷ است که دلیل آن ممکن است تخریب گروه های رنگ ساز طی پخت سولفیت برای تولید خمیر و همچنین دسترسی راحت تر  $H_2O_2$  به گروه های

در رنگبری خمیر حاصل از روش پخت سولفیت با سطوح مختلف  $H_2O_2$ ، با توجه به جدول ۵، می توان نتیجه گرفت که از نظر شاخص  $L^*$ ، به ازای مصرف مقادیر بیشتر  $H_2O_2$ ، افزایش روشنایی تا میزان ۳٪  $H_2O_2$  با یک سیر صعودی انجام شده است ولی با مصرف مقادیر بالاتر  $H_2O_2$  در روشنایی و رنگبری خمیر، تغییر ناچیزی حاصل شده است؛ بنابراین، مصرف  $H_2O_2$  تا یک حد آستانه قادر به افزایش روشنایی و سفیدی خمیر کاه گندم می شود که

نشان داد که شاخص روشنایی در تیمارهای مربوطه و شاهد در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری دارند.

رنگ‌ساز و دلیل اصلی، خارج شدن مقدار زیادی لیگنین طی عمل پخت باشد. نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس خمیر کاه گندم پیش‌رنگبری شده با آنزیم زایلاناز

جدول ۵- میانگین تغییرات  $L a b$  خمیر کاه‌گندم حاصل از پخت سولفیت و رنگ‌بری با درصدهای مختلف  $H_2O_2$

تیمارها	$\Delta b^*$	$\Delta a^*$	$\Delta L^*$	$b^*$	$a^*$	$L^*$	$\Delta E$
خمیر سولفیت و رنگ‌بری با ۱٪ $H_2O_2$	-۵/۳۶	-۱/۸۴	۱۲/۳۳	۱۶/۵۳	-۳/۶۹	۸۳/۱۶	۱۳/۵۷
خمیر سولفیت و رنگ‌بری با ۲٪ $H_2O_2$	-۹/۰۱	-۱/۲۳	۱۴/۳۸	۱۲/۶۲	-۳/۱۸	۸۵/۲۲	۱۷/۰۱
خمیر سولفیت و رنگ‌بری با ۳٪ $H_2O_2$	-۱۰/۰۹	-۰/۸۷	۱۶/۱۱	۱۱/۵۳	-۲/۸۳	۸۷/۱۱	۱۹/۰۳
خمیر سولفیت و رنگ‌بری با ۴٪ $H_2O_2$	-۱۲/۳۹	-۰/۳۹	۱۶/۷۰	۹/۲۴	-۲/۳۵	۸۷/۵۴	۲۰/۸۰

۶، می‌توان نتیجه گرفت که با مصرف آنزیم زایلاناز و یک درصد  $H_2O_2$ ، مقدار روشنایی در رنگ‌بری خمیر با آنزیم و  $H_2O_2$  بیشتر شده است. نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس خمیر پیش‌رنگبری شده با آنزیم زایلاناز و در ادامه رنگ‌بری اصلی با  $H_2O_2$  نشان داد که شاخص‌های رنگی کلیه تیمارها در سطح ۱ درصد اختلاف معنی داری دارد. از مقایسه میانگین برای شاخص روشنایی معلوم شد که با مصرف ۱۰ واحد آنزیم و ۱٪  $H_2O_2$  می‌توان به روشنایی بیشتری رسید که در نتیجه مصرف ماده شیمیایی رنگ‌بر کاهش پیدا می‌کند.

جدول ۶، نتایج شاخص‌های رنگ مربوط به خمیر پیش‌رنگبری شده با آنزیم زایلاناز و سپس رنگ‌بری شده با سطوح مختلف  $H_2O_2$  را نشان می‌دهد. از مقادیر به‌دست‌آمده شاخص روشنایی می‌توان نتیجه گرفت که با مصرف ۱۰ و ۲۰ واحد آنزیم زایلاناز قبل از رنگ‌بری اصلی با  $H_2O_2$ ، مصرف ماده شیمیایی رنگ‌بر کاهش می‌یابد و با مصرف ۵ واحد آنزیم تغییر چندانی در شاخص‌های رنگ‌بری به‌خصوص روشنایی ایجاد نمی‌شود. از مقایسه میانگین روشنایی خمیر حاصل از پخت سولفیت و رنگ‌بری با یک درصد  $H_2O_2$  (جدول ۵) و خمیر رنگ‌بری شده با ۱۰ واحد آنزیم زایلاناز و در ادامه ۱٪  $H_2O_2$  (جدول

جدول ۶- میانگین تغییرات شاخص‌های رنگی خمیر رنگ‌بری شده با زایلاناز و در ادامه  $H_2O_2$  (در مقایسه با خمیر اولیه)

تیمارها	$\Delta b^*$	$\Delta a^*$	$\Delta L^*$	$b^*$	$a^*$	$L^*$	$\Delta E$
خمیر رنگ‌بری با ۵Uxylanase و ۱٪ $H_2O_2$	-۶/۶۴	-۱/۷۶	۱۳/۳۱	۱۴/۹۸	-۳/۷۱	۸۴/۱۵	۱۴/۹۸
خمیر رنگ‌بری با ۵Uxylanase و ۲٪ $H_2O_2$	-۸/۸۴	-۱/۴۷	۱۶/۳۱	۱۲/۷۸	-۳/۴۲	۸۷/۱۵	۱۸/۶۱
خمیر رنگ‌بری با ۵Uxylanase و ۳٪ $H_2O_2$	-۹/۸۰	-۱/۱۴	۱۶/۴۴	۱۱/۸۲	-۳/۱	۸۷/۲۷	۱۹/۱۷
خمیر رنگ‌بری با ۱۰Uxylanase و ۱٪ $H_2O_2$	-۹/۴۸	-۱/۰۵	۱۶/۹۵	۱۲/۴۸	-۳	۸۷/۷۹	۱۹/۴۵
خمیر رنگ‌بری با ۱۰Uxylanase و ۲٪ $H_2O_2$	-۹/۹۹	-۱/۱۳	۱۷/۰۱	۱۱/۶۳	-۳/۰۸	۸۷/۹۱	۱۹/۷۶
خمیر رنگ‌بری با ۱۰Uxylanase و ۳٪ $H_2O_2$	-۹/۹۳	-۰/۹۹	۱۷/۰۱	۱۱/۷	-۲/۹۵	۸۷/۸۵	۱۹/۷۲
خمیر رنگ‌بری با ۲۰Uxylanase و ۱٪ $H_2O_2$	-۹/۵۶	-۱	۱۷/۰۳	۱۲/۰۷	-۲/۹۵	۸۷/۸۶	۱۹/۵۵
خمیر رنگ‌بری با ۲۰Uxylanase و ۲٪ $H_2O_2$	-۹/۸۲	-۱/۰۶	۱۷/۰۲	۱۱/۸۱	-۳/۰۱	۸۷/۸۶	۱۹/۶۸
خمیر رنگ‌بری با ۲۰Uxylanase و ۳٪ $H_2O_2$	-۹/۹۹	-۱/۱۱	۱۷/۱۶	۱۱/۶۳	-۳/۰۶	۸۷/۹۹	۱۹/۸۹

اصلی با دو توالی  $B_1$  (هیپوکلریت ۲٪ با زمان ۱ ساعت + استخراج قلیایی + هیپوکلریت ۱/۵٪ با زمان ۲ ساعت) و  $B_2$  (هیپوکلریت ۲٪ با زمان ۲ ساعت + استخراج قلیایی +

در مطالعه امکان استفاده از آنزیم زایلاناز (در مقادیر ۵۰، ۱۰۰ و ۱۰۰ واحد و سطوح زمانی ۱۲، ۱۶، ۲۰ ساعت) در پیش‌رنگ‌بری خمیر کاغذ کرافت راش و سپس رنگ‌بری

درصد اختلاف معنی‌داری دارد. تیمار خمیر رنگ‌بری شده دارای بیشترین میزان روشنایی و تیمار کاه رنگ‌بری نشده دارای کمترین میزان روشنایی است؛ بنابراین، با تهیه چندسازه با خمیر رنگ‌بری شده می‌توان به بالاترین روشنایی رسید.

### خواص گرمایی

نتیجه حاصل از رفتار حرارتی چندسازه‌ها و مقایسه آن با شاهد بر اساس منحنی DSC نشان داد که دو پیک مجزای گرماگیر برای تمام نمونه‌ها وجود دارد که پیک اول نشان‌دهنده دمای ذوب ( $T_m$ ) و پیک دوم نشان‌دهنده دمای تخریب ( $T_d$ ) است. اعداد این دو دما برای هر یک از چندسازه‌های تولیدی در جدول ۷ مشاهده می‌شوند. علاوه بر این دو دما، تغییر آنتالپی<sup>۱</sup> ( $\Delta H$ ) برای هر یک از این نقاط در جدول ۷ قید شده است. معمولاً بسته به هدف پژوهش، گزینه‌های موردنظر هنگام تجزیه و تحلیل در تنظیم<sup>۲</sup> دستگاه انتخاب می‌شوند. به‌عنوان مثال، تغییر آنتالپی به صورت  $\Delta H$  نرمالایز شده و با واحد ژول بر واحد جرم بیان می‌گردد [۲۶]. از آنجایی که در واکنش گرماگیر، تغییرات آنتالپی مثبت است، همان‌طور که نتایج نیز نشان می‌دهد در تمام موارد (برای تمام تیمارها)، با افزایش دما، تغییرات آنتالپی رو به افزایش است.

مطالعات سایر محققین نشان می‌دهد که وجود الیاف یا ذرات طبیعی در ساختار چندسازه بر خواص حرارتی آن مؤثر است. Averous و Le Digabel (۲۰۰۶)، نتیجه گرفتند که با افزایش مقدار کاه گندم، دمای تخریب حرارتی چندسازه پلی بوتیلن آدیپات کو ترفتالات/کاه گندم افزایش می‌یابد [۱۶]. حضور آرد کاه گندم، دمای تخریب ( $T_m$ ) چندسازه‌های HDPE/کاه گندم و PP/کاه گندم را نسبت به پلیمر گرمانرم خالص کاهش می‌دهد [۱۸]. فارسی (۲۰۱۲) مقاومت حرارتی کاه گندم را پایین‌تر از PP دانست و اظهار کرد که با افزایش کاه گندم در چندسازه، مقاومت حرارتی کاهش می‌یابد [۱۹]. برعکس، Ibrahim و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند که با افزایش مقدار خاکستر نخل روغنی (OPA) در چندسازه پلی‌استر غیراشباع (UP)/OPA، مقاومت حرارتی چندسازه

هیپوکلوئیت ۱/۵٪ (با زمان ۲ ساعت)، Enayati و همکاران (۲۰۰۶) به این نتیجه رسیدند که نمونه‌های تیمار شده با آنزیم که با توالی B<sub>2</sub> رنگ‌بری شده‌اند، نسبت به نمونه‌های رنگ‌بری شده با توالی B<sub>1</sub>، درصد درجه روشنی بالاتر و درجه زردی کمتری دارند. صرف‌نظر از نوع توالی رنگ‌بری، نمونه‌های دارای مقدار آنزیم ۲۵ واحد و زمان تأثیر ۱۶ ساعت، بالاترین درجه روشنی و پایین‌ترین درجه زردی را به خود اختصاص داده‌اند که به‌عنوان تیمار بهینه آنزیمی پیشنهاد شده است [۲۲].

پس از به دست آوردن نتایج رنگسنجی مربوط به تیمارهای مختلف رنگ‌بری، بهترین نتایج آن از نظر شاخص روشنایی، یعنی کاه گندم رنگ‌بری‌شده با پراکسید هیدروژن ۴٪ (WS(B)) و خمیر کاه گندم رنگ‌بری‌شده با ۱۰ واحد آنزیم زایلاناز و پراکسید هیدروژن ۱٪ (PULP(B)) برای تهیه چندسازه به کار گرفته شد. پلی‌اتیلن خالص (LDPE) به‌عنوان شاهد و کاه گندم بدون رنگ‌بری (WS) نیز برای مقایسه بهتر نتایج مربوط به خواص رنگسنجی و حرارتی استفاده شدند؛ بنابراین، تیمارهای چندسازه مورد مطالعه برای خواص رنگسنجی و حرارتی، دارای فرمول‌های زیر از نظر میزان پلی‌اتیلن، کاه گندم و ماده سازگار کننده هستند.

1:LDPE

2:60%LDPE+40%WS + 10%MAPE

3:60%LDPE+40%WS(B) + 10%MAPE

4:60%LDPE+40%PULP(B) + 10%MAPE

شکل ۱، تأثیر رنگ‌بری تیمارهای مختلف بر روشنایی چندسازه را نشان می‌دهد. چندسازه حاصل از کاه گندم بدون رنگ‌بری (تیمار ۲)، کمترین میزان روشنایی یا L را دارد ولی در چندسازه حاصل از کاه گندم رنگ‌بری شده با H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ۴٪ (تیمار ۳) و چندسازه حاصل از خمیر رنگ‌بری شده با H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ۱٪ (تیمار ۴) روشنایی بالاتری در مقایسه با پلی‌اتیلن خالص دارد. در چندسازه حاصل از خمیر رنگ‌بری شده با آنزیم و H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>، شاخص‌های Lab مقادیر قابل قبول‌تری را نشان می‌دهد که همان‌طور که در بالا گفته شد ممکن است به دلیل استخراج لیگنین و همی سلولز در طی فرآیند تولید خمیر و رنگ‌بری باشد. نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نیز نشان داد که شاخص‌های رنگی کلیه تیمارها در سطح ۱

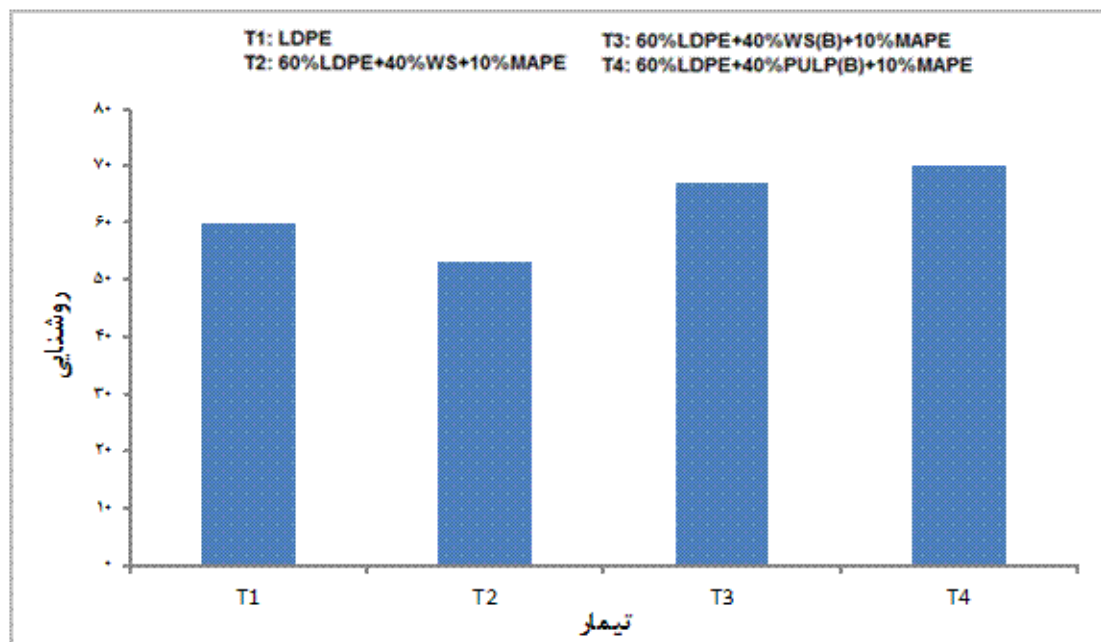
<sup>1</sup> Enthalpy

<sup>2</sup> Setting



چندسازه NA/PP را نسبت به PP خالص نشان دادند [۲۱].

نیز زیاد می‌شود [۲۰]. Essabir و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهش خود، کاهش بسیار اندک در مقاومت حرارتی



شکل ۱- تأثیر رنگ‌بری کاه گندم بر روشنایی تیمارهای چندسازه تولیدی

این تحقیق، دمای تخریب ( $T_m$ ) را افزایش می‌دهد و موجب افزایش مقاومت حرارتی می‌گردد. از طرف دیگر، از آنجایی که حساسیت دمایی و جذب رطوبت از خواص فیزیکی مهم مواد لیگنوسولوزی به حساب می‌آیند، گفته شده است که همی سلولز عامل اصلی جذب و تخریب حرارتی است [۲۸]؛ بنابراین به دلیل استخراج لیگنین و همی سلولز طی فرآیند تولید خمیر، عامل حساس به تخریب حرارتی حذف می‌شود.

همچنین، برای مشاهده بهتر رفتار حرارتی چندسازه‌ها و مقایسه آن با شاهد، نمودار همپوشانی<sup>۱</sup> آن‌ها ترسیم شد که در شکل ۲ نمایش داده شده است. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد، محور افقی بیانگر میزان درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد) و زمان (دقیقه) و محور عمودی نشانگر میزان جریان گرمایی<sup>۲</sup> (وات بر گرم) هستند.

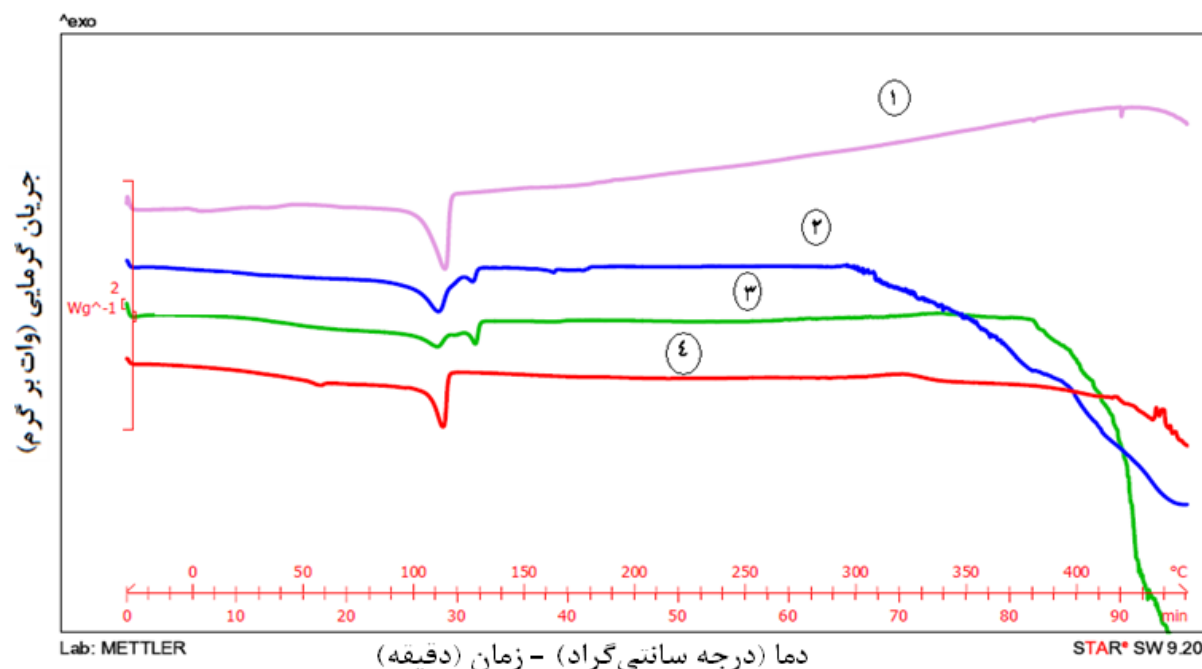
نتایج رفتار حرارتی چندسازه‌های حاصل در این مطالعه نشان داد که دمای ذوب کلیه تیمارها، غیر از چندسازه حاصل از خمیر رنگ‌بری شده با آنزیم و یک درصد  $H_2O_2$  بالاترین نقطه ذوب را دارد. این نتیجه با یافته Chuah و Tajeddin (۲۰۱۰)، مبنی بر این که نقطه ذوب تمامی تیمارهای حاوی پلی اتیلن/سلولز تقریباً مشابه شاهد (پلی اتیلن) است، مطابقت دارد [۲۶]. بالاترین دمای تخریب مربوط به چندسازه حاصل از پودر کاه گندم بدون رنگ‌بری ( $424/76^\circ C$ ) و کمترین مربوط به چندسازه حاصل از خمیر رنگ‌بری شده ( $354/23^\circ C$ ) است. دلیل آن را می‌توان به استخراج لیگنین و همی سلولز طی فرآیند تولید خمیر و رنگ‌بری نسبت داد که در نتیجه سلولز باقی می‌ماند. سلولز در برابر دماهای بالا برای ذوب پلاستیک از خود مقاومت نشان می‌دهد. نتایج بررسی سایر محققین دلالت بر افزایش مقاومت حرارتی چندسازه‌های مبتنی بر سلولز دارد [۲۷]. به‌هرحال، برخلاف نتیجه Mengeloglu و Karakus [۱۸]، حضور کاه گندم در چندسازه حاصل از

<sup>۱</sup> Overlap

<sup>۲</sup> Heat flow

جدول ۷- دمای ذوب و تخریب (°C) نمونه‌های حاصل از منحنی DSC

نمونه	دمای ذوب (°C)	تغییر آنتالپی نرمالایز شده (J/g)	دمای تجزیه (°C)	تغییر آنتالپی نرمالایز شده (J/g)
کاه گندم	۷۶/۳۶	-۱۴۰/۵۶	۳۸۰/۱۷	-۳۵/۹۲
پلی اتیلن خالص	۱۱۱/۸۱	-۷۸/۱۷	۳۵۴/۹۲	۶/۴۱
چندسازه خمیرکاه گندم رنگ‌بری شده	۱۲۶/۶۹	-۲/۹۸	۳۵۴/۲۳	۷۰/۹۰
چندسازه کاه گندم رنگ‌بری شده	۱۱۰/۵۰	-۱۱/۷۰	۳۸۰/۲۷	۱/۴۰
چندسازه کاه گندم بدون رنگ‌بری	۱۱۰/۵۸	-۲۸/۷۵	۴۲۴/۷۶	۴۳/۹۶



شکل ۲- منحنی‌های DSC چندسازه‌های مورد مطالعه

(۱- LDPE خالص، ۲- خمیر کاه رنگ‌بری شده، ۳- پودر کاه رنگ‌بری شده و ۴- پودر کاه بدون رنگ‌بری)

### نتیجه‌گیری

چندسازه‌های حاصل از ترکیبات لیگنوسلولزی مانند کاه گندم و پلیمرهای گرمانرمی مثل پلی‌اتیلن، به‌منظور کاربرد در صنعت بسته‌بندی، از نظر رنگ و بو قابل‌مقایسه با پلیمر گرمانرم نیستند. از این‌رو، در این تحقیق کاه گندم مورد استفاده (به‌صورت پودر و خمیر) از طریق روش‌های شیمیایی و طبیعی رنگ‌بری شد و شاخص‌های رنگ‌سنجی

به‌ویژه روشنایی (L) که مهم‌ترین شاخص در رنگ‌بری است، برای تیمارهای مختلف بررسی گردید. نتایج نشان داد که کاه گندم رنگ‌بری شده با  $4\% \text{H}_2\text{O}_2$  و خمیرکاه-گندم رنگ‌بری شده با ۱۰ واحد آنزیم زایلاناز و  $1\% \text{H}_2\text{O}_2$  دارای بهترین شاخص روشنایی هستند؛ بنابراین، این دو تیمار با پلی‌اتیلن خالص ترکیب و در تهیه چندسازه به کار گرفته شد. سپس خواص رنگ‌سنجی و حرارتی این

(پلی اتیلن خالص) و کلیه تیمارها بالاتر است. بالاترین دمای تجزیه مربوط به چندسازه کاه گندم بدون رنگ‌بری و کمترین مربوط به چندسازه خمیرکاه گندم رنگ‌بری شده است؛ بنابراین، بسته به نوع کاربرد چندسازه در صنعت بسته‌بندی، در شرایطی که رنگ روشن‌تری مورد نظر است، به جای استفاده مستقیم از کاه گندم، می‌توان از کاه رنگ‌بری شده یا خمیر آن در تولید چندسازه بهره گرفت.

چندسازه‌ها مطالعه گردید. نتایج معلوم کرد که چندسازه کاه گندم بدون رنگ‌بری، کمترین میزان L را دارد ولی در چندسازه حاصل از کاه گندم رنگ‌بری شده با  $4\% \text{H}_2\text{O}_2$  و چندسازه تولیدشده با خمیر رنگ‌بری شده با آنزیم زایلاناز و  $1\% \text{H}_2\text{O}_2$ ، روشنایی حتی از پلی اتیلن سبک نیز بالاتر رفته است.

نتایج حاصل از رفتار حرارتی چندسازه‌ها در منحنی DSC نیز نشان داد که دمای ذوب چندسازه خمیرکاه گندم رنگ‌بری شده با آنزیم و  $1\% \text{H}_2\text{O}_2$ ، نسبت به شاهد

## منابع

- [1] Espert, A., Vilaplana, F. and Karlsson, S., 2004. Comparison of water absorption in natural cellulosic fibres from wood and one-year crops in polypropylene composites and its influence on their mechanical properties. *Composites: Part A, Applied science and manufacturing*, 35(11):1267-1276.
- [2] Tajeddin, B., Russly, A.R. and Chuah A.L., 2010. The effect of polyethylene glycol on the characteristics of kenaf cellulose/low density polyethylene biocomposites. *International Journal of Biological Macromolecules*, 47: 292-297.
- [3] Anderson, E. and Lux, B., 1986. Potential applications of composite materials and associated technology in developing countries. Translated to Persian by Dorodiani, S. (1994), Tehran: Nashr Daneshgahi publication. (In Persian).
- [4] Chandra, R. and Rustgi, R., 1998. Biodegradable polymers Program Polymer science. *Progress in polymer science* 23: 1273- 1335.
- [5] Khatibi, R., 2009. Investigate of mechanical & physical properties of wood plastic composite based on HDPE and cornstalk flours. Msc. dissertation, Islamic Azad University, Science & Research Unit, Tehran. (In Persian).
- [6] Mohanty, A.K., Misra, M., Drzal, L.T., Selke, S.E., Harte, B.R. and Hinrichsen, G., 2005. Natural fibers, biopolymers, and biocomposites: an introduction. In *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites* (Mohanty, A.K., et al., Eds.), pp. 1- 36. CRC Press.
- [7] Selke, S.E., 2000. Plastics recycling and biodegradable plastics. In *Modern plastics handbook* (Harper, C.A., Ed.), pp. 12.11- 12.108. McGraw – Hill Education publisher.
- [8] Gorjani, F. and Omidvar, A., 2006. Investigation on manufacturing process and mechanical properties wheat straw / recycled polyethylene composite. *Pajouhesh & Sazandegi*, 72: 84-88. (In Persian).
- [9] Tajeddi, B., 2013. Feasibility study of producing of wheat straw - polyethylene biodegradable composites, as a packaging food material and study its various features. Final report of project, No. 42840, Agricultural Engineering Research Institute. (In Persian).
- [10] Tajeddin, B., 2014. Investigation of the possibility of eliminating the natural flavor (color and smell) of wheat straw/LDPE biocomposite for packaging application. Final report of project, No. 45874, Agricultural Engineering Research Institute. (In Persian).
- [11] Smook, G.A., 2008. Pulp and paper technology (Mirshokraee, S.A., translator to Persian). Yyzh publication. (In Farsi)
- [12] Ebrahimi Majdar, R., 2008. An investigate on the possibility of xylanase enzyme use for prebleaching of beech kraft pulp. Msc. dissertation, University of Tehran, Karaj. (In Persian).

- [13] Ragauskas, A.J., Poll, K.M. and Cesternino, A.J., 1993. Effect of xylanase pretreatment procedures for nonchlorine bleaching. Institute of Paper Science Atlanta, Georgia. Ipst Technical Paper Series, No. 482.
- [14] Tolan, J. S., Olsan, D. and Dines, R. E., 1995. Survey of xylanase enzyme usage in bleaching in Canada. Pulp and paper Canada, 96:107-110.
- [15] Zhao, J., Li, X.Z. and Qu, Y.B., 2005. Application of enzymes in producing bleached pulp from wheat straw. Bioresource Technology, 97: 1470–1476.
- [16] Averous, L. and Le Digabel, F., 2006. Properties of biocomposites based on lignocellulosic fillers. Carbohydrate Polymer, 66: 480-493.
- [17] Rudnik, E. 2007. Thermal properties of biocomposites. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 88(2): 495-498.
- [18] Mengeloglu, F. and Karakus, K., 2008. Thermal degradation, mechanical properties and morphology of wheat straw flour filled recycled thermoplastic composites. Sensors, 8: 500-519.
- [19] Farsi, M., 2012. Some of the mechanical and thermal properties of wheat straw filled-PP composites. Fibers and Polymers, 13(4): 515-521.
- [20] Ibrahim, M.S., Sapuan, S.M. and Faieza, A.A., 2012. Mechanical and thermal properties of composites from unsaturated polyester filled with oil palm ash. Journal of Mechanical Engineering and Sciences (JMES), 2: 133-147.
- [21] Essabir, H., Hilali, E., Elgharad, A., El Minor, H., Imad, A., Elamraoui, A. and Al Gaoudi, O., 2013. Mechanical and thermal properties of bio-composites based on polypropylene reinforced with Nut-shells of Argan particles. Materials & Design, 49: 442–448.
- [21] Leask, R. A., 1987. Pulp and paper manufacture, 2. Tappi press.
- [22] Enayati, A.A., Ebrahimi Majdar, R., Resalati, H. and Parsapajoh, D., 2006. An investigate on the possibility of xylanase enzyme use for prebleaching of beech kraft pulp. Iranian Journal of the Natural Resources, 59(3): 715-725. (In Farsi)
- [23] Lewin, K.C., Harun, J., Tahir, P.M., Yussof, M.N.M. and Dahlam, K.Z.M., 2000. Properties of rubber wood fiber/polypropylene composites blended at different fiber content and fiber size fractions. Journal of Tropical Forest Product, 6(1): 21-27.
- [24] ASTM D3417, 2004. Standard test method for enthalpies of fusion and crystallization of polymers by differential scanning calorimetry (DSC).
- [25] Westman, M.P., Laddha, S.G., Fifield, L.S., Kafentzis, T.A. and Simmons, K.L., 2010. Natural fiber composites: a review. Prepared for the U.S. Department of Energy under Contract DE-AC05-76RL01830, PNNL-19220.
- [26] Tajeddin, B. and Chuah A.L., 2010. Thermal properties of high density polyethylene- kenaf cellulose composites. Polymer & Polymer composites, 18(5): 195-199.
- [27] Peelman, N., Ragaert, P., Ragaert, K., De Meulenaer, B., Devlieghere, F. and Cardon, L., 2015. Heat resistance of new biobased polymeric materials, focusing on starch, cellulose, PLA, and PHA. Journal of Applied Polymer Science, 132 (48): 42305- 42320.
- [28] Saheb, D.N. and Jog, J.P., 1999. Natural fiber polymer composites, a review. Advances in Polymer Technology, 18(4): 351-363.

## Thermal and colorimetry properties of bleached wheat straw/LDPE biocomposites

### Abstract

This research was done to study the thermal and colorimetric properties of bleached wheat straw/polyethylene biocomposites. Thus, wheat straw was bleached using different natural and/or chemical bleaching methods. The bleached wheat straw and the pure polyethylene were then mixed in ratio of 40 to 60 by twin screw extruder at 145OC. Maleic anhydride polyethylene was also applied in %10 of polyethylene weight. Thermal and colorimetric properties of treatments were evaluated and compared to control sample (pure polyethylene). The results showed that the unbleached wheat straw composite had the lowest lightness value. Biocomposites containing bleached wheat straw pulp with xylanase and hydrogen peroxide 1% had the highest lightness value after pure polyethylene. The results of the thermal behavior of the composites from DSC curves showed that the melting temperature of bleached wheat straw pulp with xylanase and hydrogen peroxide 1% composite was higher than pure polyethylene and the others. The maximum and the minimum decomposition temperature of the composites belonged to the unbleached wheat straw (424.76°C) and the bleached wheat straw pulp (354.23°C), respectively.

**Key words:** biocomposite, bleaching, colorimetric properties, thermal properties.

**B. Tajeddin<sup>1\*</sup>**

**H. Ansari<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Asistant Professor., Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extention Organization, Karaj, Iran

<sup>2</sup> Msc. Student, Food Science Engineering Department, University of Tehran, Karaj

Corresponding author:

[behjat.tajeddin@yahoo.com](mailto:behjat.tajeddin@yahoo.com)

Received: 2015/05/16

Accepted: 2016/05/05

