

## تجزیه وزن سنجی حرارتی چندسازه ساخته شده از پرکننده لیگنوسلولزی و پلی پروپیلن\*

محمد فارسی<sup>1</sup>، علی جوانمرد<sup>2</sup>

### چکیده

در این مطالعه تحلیل حرارتی چندسازه های حاصل از پرکننده های لیگنوسلولزی و پلی پروپیلن مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور پودر راش و کاه گندم انتخاب و به صورت جداگانه و با نسبت های وزنی 0، 10، 20، 25 و 30 درصد با پلی پروپیلن مخلوط شدند. سپس نمونه های آزمونی به روش قالب گیری تزریقی ساخته شدند. جهت تحلیل حرارتی نمونه ها از آزمون تجزیه وزن سنجی حرارتی استفاده گردید. نتایج نشان داد که ثبات حرارتی پلی- پروپیلن خالص از ترکیبات لیگنوسلولزی بیشتر است و ترکیبات لیگنوسلولزی در دمای حدود 150 تا 450 °C دچار تخریب حرارتی شدند. همچنین در بین دو نوع ماده لیگنوسلولزی، پودر راش نسبت به کاه گندم دارای ثبات حرارتی بیشتر، اما مقدار خاکستر کمتری بود. هر قدر میزان ترکیبات لیگنوسلولزی در چندسازه افزایش یافت، ثبات حرارتی چندسازه ها کاهش و میزان خاکستر به جامانده از آنها بیشتر شد. همچنین دمای تخریب چندسازه ها در بین دمای تخریب پرکننده لیگنوسلولزی و پلی پروپیلن قرار گرفت. این نتایج به روشنی نشان داد که ثبات حرارتی کمتر پرکننده لیگنوسلولزی توسط پلیمر زمینه جبران می شود. چندسازه حاوی پودر راش در مقایسه با چندسازه حاوی کاه گندم دارای ثبات حرارتی بیشتر و خاکستر کمتر بود.

**واژه های کلیدی:** چندسازه طبیعی، پلی پروپیلن، کاه گندم، پودر راش، تجزیه وزن سنجی حرارتی، دمای تخریب، ثبات حرارتی

---

\* این تحقیق با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری انجام شده است.

1- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری، مسوول مکاتبات [mfarsi2008@gmail.com](mailto:mfarsi2008@gmail.com)

2- مسوول دفتر ارتباط با صنعت و جامعه دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری

## مقدمه

چندسازه‌ها فرآورده‌هایی هستند که از ترکیب دو یا چند جزو جهت دستیابی به خصوصیات مطلوب تولید می‌شوند، به گونه‌ای که رسیدن به این خصوصیات با هر کدام از این اجزا به تنهایی امکان‌پذیر نیست [2]. چندسازه‌ها دارای انواع متفاوتی هستند که مهمترین آنها چندسازه‌های پلیمری می‌باشد. امروزه با افزایش قیمت پلیمرها، این ترکیبات با الیاف یا پودر طبیعی مخلوط و چندسازه الیاف - پلیمر را می‌سازند. تلاش سال‌های اخیر پژوهشگران در کاهش زیان‌های زیست محیطی نیز موجب توجه هر چه بیشتر به این گونه مواد شده است [1]. اکثریت پلیمرهای مورد استفاده در ساخت چند سازه‌ها از نوع گرمانرم بوده و شامل پلی‌پروپیلن (PP)<sup>1</sup>، پلی‌اتیلن (PE)<sup>2</sup>، پلی‌وینیل کلراید (PVC)<sup>3</sup> و پلی‌استایرن (PS)<sup>4</sup> می‌باشد. در بین این پلیمرها پلی‌پروپیلن به لحاظ کاربرد، بیشتر مورد توجه است. مزایای استفاده از پلی‌پروپیلن به عنوان ماده زمینه، دمای نسبتاً پایین ذوب و سازگاری آن با الیاف طبیعی، خصوصیات مکانیکی مطلوب و قیمت پایین آن است. نوعاً تحقیقات انجام شده در مورد چندسازه‌های الیاف - پلیمر به خصوصیات مکانیکی منتهی می‌شود؛ درحالی‌که چندسازه‌ها در سطوح تجاری با دمای بالای 200°C تولید می‌شوند و اکثر ترکیبات لیگنوسلولزی در این دما تجزیه شده و خاصیت خود را از دست می‌دهند. لذا به نظر می‌رسد افزودن ترکیبات لیگنوسلولزی به پلیمرهای مصنوعی ثبات حرارتی چندسازه‌ها را کاهش خواهد داد. بنابراین بررسی چگونگی اتفاقات حاصل در این دما و پیدا کردن دمای شروع این اتفاقات از نظر کاربردی مهم و ضروری است.

تحلیل حرارتی<sup>5</sup> چندسازه روشی است که جهت درک رابطه میان ساختار و خصوصیات چندسازه و تسلط کامل بر تکنولوژی ساخت آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد [3]. دمای ساخت چندسازه الیاف - پلیمر علاوه بر دمای ذوب ماده زمینه به دمای تجزیه حرارتی ترکیبات لیگنوسلولزی نیز بستگی دارد. یکی از روش‌های مورد قبول جهت مطالعه خصوصیات حرارتی چندسازه‌ها تجزیه وزن سنجی حرارتی (TGA)<sup>6</sup> بوده که شامل اندازه‌گیری فیزیکی کاهش وزن در اثر اعمال حرارت می‌باشد. این تکنیک جهت بررسی تجزیه و ثبات حرارتی تحت شرایط متفاوت مورد استفاده قرار می‌گیرد و روند فرآیندهای فیزیکی-شیمیایی رخ داده در ترکیبات پلیمری را مورد بررسی قرار می‌دهد. تغییر جرم مواد شدیداً به شرایطی مانند شکل، طبیعت و جرم نمونه، شکل فیزیکی و فشار اتمسفر و همچنین نرخ اسکن دمایی نمونه‌ها بستگی دارد.

پژوهش‌های رودنیک<sup>7</sup> (2007) حاکی از آن است که در ترکیبات لیگنوسلولزی دو نوع فرآیند افت مشخص دیده می‌شود. نوع اول در دمای حدود 100 °C مربوط به از دست دادن رطوبت الیاف طبیعی است و به فرآیند آب-زدایی معروف است. نوع دوم مربوط به تجزیه حرارتی ترکیبات سلولز، همی سلولز و لیگنین موجود در الیاف طبیعی است [8].

<sup>1</sup> Polypropylene

<sup>2</sup> Polyethylene

<sup>3</sup> Poly Vinyl Chloride

<sup>4</sup> Polystyrene

<sup>5</sup> Thermal Analysis

<sup>6</sup> Thermo Gravimetric Analysis

<sup>7</sup> Rudnik

لی و ونگ<sup>1</sup> (2006)، یام و همکاران<sup>2</sup> (1990) و صاحب و جوگ<sup>3</sup> (1990) تجزیه حرارتی ترکیبات لیگنوسلولزی را در سه دامنه دمایی گزارش نمودند. در دامنه دمایی حدود 250 تا 300°C ترکیبات با وزن مولکولی پایین مانند همی سلولز، در دامنه دمایی 300 تا 400°C سلولز و در دامنه دمایی 400 تا 420°C لیگنین تخریب می-شود [5، 9 و 12].

هان و همکاران<sup>4</sup> (2008) دمای تخریب تقریباً مشابهی برای الیاف طبیعی گزارش کردند. همچنین دمای تخریب پلی پروپیلن خالص در این پژوهش 430 تا 470°C گزارش شده است که از دمای تجزیه الیاف طبیعی بالاتر است و حاکی از ثبات حرارتی بیشتر پلی پروپیلن نسبت به ترکیبات لیگنوسلولزی است. در این گزارش با توجه به دمای شروع ذوب پلی پروپیلن و تجزیه حرارتی ترکیبات لیگنوسلولزی، درجه حرارت معمول جهت اختلاط پلی-پروپیلن و الیاف طبیعی حدود 200°C تشخیص داده شده است [4].

سینگها و تاکور<sup>5</sup> (2009) ولوز و همکاران<sup>6</sup> (2008) در بررسی خصوصیات حرارتی چندسازه الیاف-پلیمر دریافتند که منحنی تجزیه حرارتی چندسازه در طی تخریب حرارتی دارای دو منطقه افت مشخص می باشد و دمای تخریب چندسازه ها بین دمای تجزیه حرارتی ماده زمینه و الیاف طبیعی قرار دارد. این مساله حاکی از آن است که افزودن ترکیبات لیگنوسلولزی به پلیمرهای مصنوعی تأثیر معنی داری بر روی ثبات حرارتی چندسازه ها دارد و به-دلیل دمای تخریب حرارتی کمتر ترکیبات لیگنوسلولزی نسبت به ماده زمینه، دمای تخریب حرارتی چندسازه توسط این ترکیبات محدود می شود. لذا الیاف طبیعی تعیین کننده تخریب و ثبات حرارتی چندسازه های الیاف-پلیمر هستند. این نکته در مطالعات سینگ و همکاران<sup>7</sup> (2008) نیز مورد اشاره قرار گرفت [6، 10 و 11].

پنگ و همکاران<sup>8</sup> (2005) در مطالعات انجام شده بر روی خصوصیات حرارتی چندسازه های طبیعی دریافتند که با اضافه شدن الیاف طبیعی به پلیمرهای مصنوعی ثبات حرارتی چندسازه ها کاهش می یابد [7]. یانگ و همکاران<sup>9</sup> (2004) از مقادیر متفاوت سبوس برنج در زمینه پلیمرهای مصنوعی استفاده نموده و چندسازه های حاصل را مورد آزمون حرارتی قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که هر چقدر میزان ترکیبات لیگنوسلولزی افزایش یافت، در دمای زیر 300°C، ثبات حرارتی چندسازه کاهش و در دمای بالای 500°C میزان خاکستر حاصل افزایش یافت [13].

این پژوهش با هدف بررسی خصوصیات حرارتی چندسازه پر شده با ترکیبات لیگنوسلولزی و اندازه گیری دمای شروع تخریب چندسازه ها انجام شد. بدین منظور از متغیرهای نوع ترکیبات لیگنوسلولزی (پودر راش و کاه گندم) و میزان پرکننده (0، 10، 20، 25 و 30 درصد وزنی) جهت ساخت چندسازه ها استفاده شد و آزمون تجزیه وزن سنجی

<sup>1</sup> Lee et al.

<sup>2</sup> Yam et al.

<sup>3</sup> Saheb and Joge

<sup>4</sup> Han et al.

<sup>5</sup> Singha and Thakur

<sup>6</sup> Luz et al.

<sup>7</sup> Singh et al.

<sup>8</sup> Pang et al.

<sup>9</sup> Yang et al.

حرارتی و همچنین نمودارهای تجزیه حرارتی مربوطه جهت تحلیل حرارتی و تعیین دمای تخریب و ثبات حرارتی آنها به کار گرفته شد.

## مواد و روش ها

### مواد

پلی پروپیلن (PP) با نام تجاری V30S محصول شرکت بازرگانی پتروشیمی اراک (شاخص جریان مذاب 18g/10min و دانسیته 0/92 g/cm<sup>3</sup>) به عنوان ماده زمینه و کاه گندم و پودر راش به عنوان پرکننده لیگنوسلولزی به ترتیب از مزارع گندم و چوب بری شهرستان ساری تهیه شد. ابعاد ذرات لیگنوسلولزی 80 مش بود. همچنین از مالئیک انیدرید پیوند شده با پلی پروپیلن (MA-g-PP)<sup>1</sup> با نام تجاری PRIEX 20070 محصول شرکت Solvay (شاخص جریان مذاب 64 g/10min و میزان مالئیک انیدرید 0/1 درصد وزنی) به عنوان عامل جفت کننده استفاده شد.

### روش ها

#### تهیه چند سازه

قبل از تهیه نمونه‌ها ترکیبات لیگنوسلولزی در آون آزمایشگاهی با دمای  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  به مدت 24 ساعت خشک و جهت جلوگیری از جذب مجدد رطوبت، پس از وزن شدن بر اساس درصد‌های مورد نظر در این پژوهش، در کیسه‌های پلاستیکی بسته‌بندی و کدگذاری شدند. قبل از عمل اختلاط میزان رطوبت ترکیبات لیگنوسلولزی حدود 3 درصد بوده است. عمل اختلاط توسط دستگاه مخلوط کن HAAKE (مدل SYS90 ساخت کشور آمریکا) در دمای  $190^\circ\text{C}$  و با سرعت 60 دور در دقیقه انجام شد. نخست پلی پروپیلن به دستگاه اضافه و پس از گذشت 2 دقیقه و ذوب پلی پروپیلن، عامل جفت کننده به میزان ثابت 3 درصد وزنی به آن اضافه و پس از حدود 4 دقیقه ترکیبات لیگنوسلولزی با توجه به نسبت‌های جدول 1 به آن اضافه شد. کل زمان اختلاط در حدود 12 دقیقه بود. سپس آمیزه تولید شده توسط دستگاه خردکن نیمه صنعتی (مدل WGLS,200/2 ساخت شرکت WIESER) آسیاب و به دستگاه قالب‌گیری تزریقی (مدل ایمن ماشین ساخت کشور ایران) منتقل شد و نمونه‌های آزمون با فشار نازل 10MPa و دمای  $180^\circ\text{C}$  ساخته شدند. جهت اندازه‌گیری تغییرات وزنی پلی پروپیلن، پرکننده‌های لیگنوسلولزی و چندسازه‌های حاصل در اثر حرارت، از دستگاه تحلیل گر وزن سنج حرارتی موجود در پژوهشگاه پلیمر (مدل TGA-PL, LT102 ساخت کشور انگلستان) استفاده شد. بدین منظور مطابق با آیین نامه E1131 استاندارد ASTM، حداقل 10 میلی‌گرم از نمونه داخل کفه پلاتینی دستگاه قرار گرفت و نمونه‌ها در محیط نیتروژنی با نرخ ثابت  $10^\circ\text{C}/\text{min}$  از دمای محیط تا  $900^\circ\text{C}$  حرارت داده شدند. در طی دوره دمایی اعمال شده، کاهش وزن و دماهای مختلف تخریب به صورت تابعی از دمای اعمال شده ثبت و نمودار تخریب حرارتی مربوط رسم گردید.

جدول 1- سطوح عوامل متغیر و علایم مربوط به آنها

نوع ترکیبات لیگنوسلولزی	میزان ترکیبات لیگنوسلولزی (درصد)
----------------------------	-------------------------------------

<sup>1</sup> Maleic Anhydride grafted Polypropylene

A=0	کاه گندم <sup>1</sup> (S) پودر راش <sup>2</sup> (W)
B=10	
C=20	
D=25	
E=30	

### ترکیبات شیمیایی مواد لیگنوسلولزی

ترکیب شیمیایی کاه گندم در مقایسه با پودر راش با توجه به آیین نامه‌های TAPPI اندازه‌گیری شده است (جدول 2). از نظر مقدار ترکیب شیمیایی، شباهت زیادی بین پودر راش و کاه گندم دیده می‌شود.

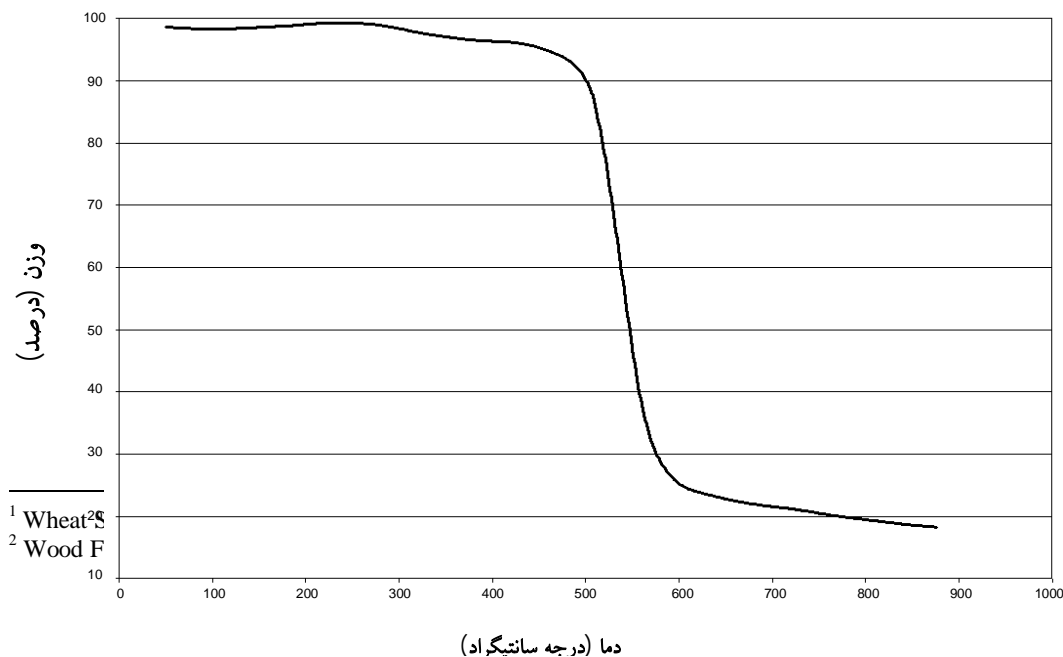
جدول 2- میزان هولوسلولز و لیگنین کاه گندم و پودر راش

الیاف	سلولز (درصد)	همی سلولز (درصد)	لیگنین (درصد)	سایر (درصد)
کاه گندم	36	29	20	15
پودر راش	41	30	25	4

### نتایج

#### تجزیه وزن‌سنجی حرارتی پلی‌پروپیلن

شکل 1 تجزیه وزن‌سنجی حرارتی پلی‌پروپیلن خالص را نشان می‌دهد. منحنی تجزیه حرارتی پلی‌پروپیلن در دمای حدود 260 °C دچار افت مختصری شد. تخریب اصلی پلی‌پروپیلن خالص در دمای حدود 450 °C آغاز شد که در واقع نقطه عطف منحنی بوده و نشان دهنده ثبات حرارتی پلی‌پروپیلن تا این دما است. در این نقطه کاهش وزن اصلی در پلی‌پروپیلن اتفاق افتاد و شیب منحنی تغییر نمود. در این مرحله حدود 70 درصد از وزن پلی‌پروپیلن کاهش یافت. دمای تخریب نهایی پلی‌پروپیلن حدود 600 °C می‌باشد که در این دما تبدیل به خاکستر می‌شود.

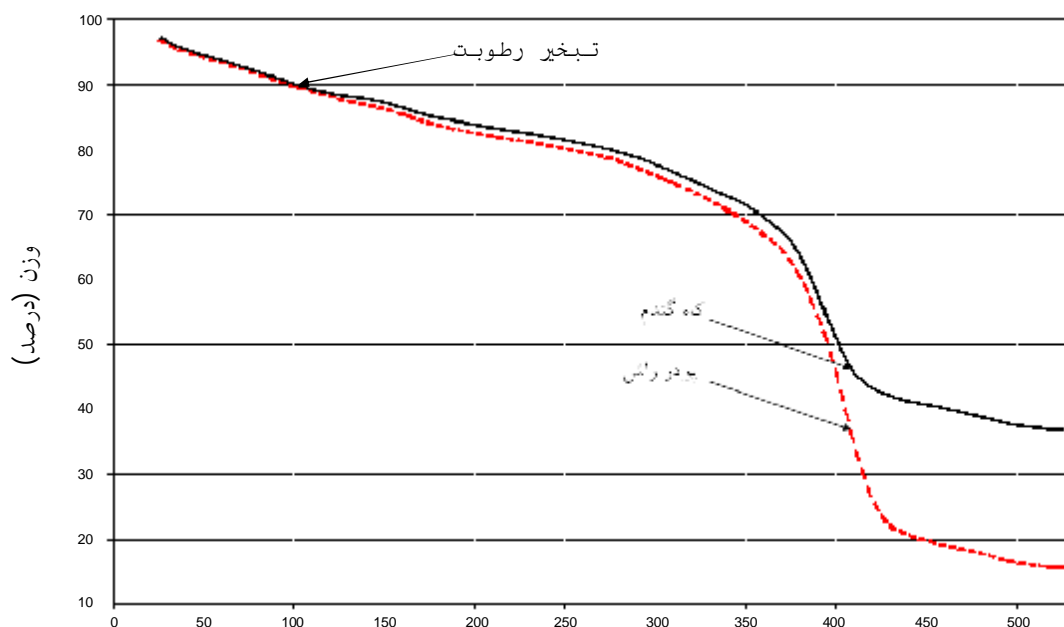


شکل ۱- نمودار تجزیه وزن سنجی حرارتی پلی پروپیلن خالص با نرخ دمایی  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$

### تجزیه وزن سنجی حرارتی پرکننده‌های لیگنوسلولزی

شکل ۲ تجزیه وزن سنجی حرارتی پودر راش و کاه گندم را نشان می‌دهد. با افزایش دما، وزن ترکیبات لیگنوسلولزی دچار کاهش می‌شود. منحنی وزن سنجی حرارتی پرکننده لیگنوسلولزی نشان می‌دهد که این کاهش وزن در دو مرحله اصلی اتفاق می‌افتد. اولین مرحله کاهش وزن با شیب ملایم و در نزدیکی دمای  $100^{\circ}\text{C}$  بوده که مربوط به تبخیر تدریجی رطوبت جذب شده توسط ترکیبات طبیعی است. میزان رطوبت ترکیبات لیگنوسلولزی قبل از آزمون حرارتی حدود ۱۲ درصد بوده است. با تبخیر رطوبت کاهش حدود ۵ درصدی در مقدار وزن ترکیبات لیگنوسلولزی مشاهده گردید.

دومین افت مشخص وزنی در دمای بین  $150^{\circ}\text{C}$  الی  $450^{\circ}\text{C}$  اتفاق افتاد که مربوط به تخریب سه ترکیب اصلی ساختمانی مواد لیگنوسلولزی است. پرکننده های لیگنوسلولزی از سلولز، همی سلولز و لیگنین تشکیل شده‌اند. معمولاً سلولز و همی سلولز در دامنه دمایی  $150^{\circ}\text{C}$  تا  $500^{\circ}\text{C}$  دچار تخریب می‌شوند، به گونه‌ای که در دامنه دمای  $150^{\circ}\text{C}$  تا  $350^{\circ}\text{C}$  همی سلولز، در دمای حدود  $275^{\circ}\text{C}$  تا  $350^{\circ}\text{C}$  سلولز و در دمای  $250^{\circ}\text{C}$  تا  $500^{\circ}\text{C}$  لیگنین تخریب خواهد شد [4، 5، 9 و 12]. پس از تخریب کامل ترکیبات لیگنوسلولزی در دمای حدود  $480^{\circ}\text{C}$  و تشکیل خاکستر، جرم باقی‌مانده از کاه گندم بیشتر از پودر راش می‌باشد. همان‌گونه که از تجزیه شیمیایی اجزای تشکیل دهنده آنها در جدول ۲ مشخص می‌گردد، میزان ترکیبات باقی‌مانده پس از کسر سلولز، همی سلولز و لیگنین کاه گندم بیشتر از پودر راش بوده است. این مقدار بیشتر به ترکیبات معدنی خصوصاً سیلیس موجود در پرکننده زراعی مربوط است [12]. دمای تخریب نهایی کاه گندم حدود  $412^{\circ}\text{C}$  و پودر راش حدود  $435^{\circ}\text{C}$  می‌باشد. کاهش وزن پرکننده های لیگنوسلولزی پس از تخریب نهایی در جدول ۳ آمده است.



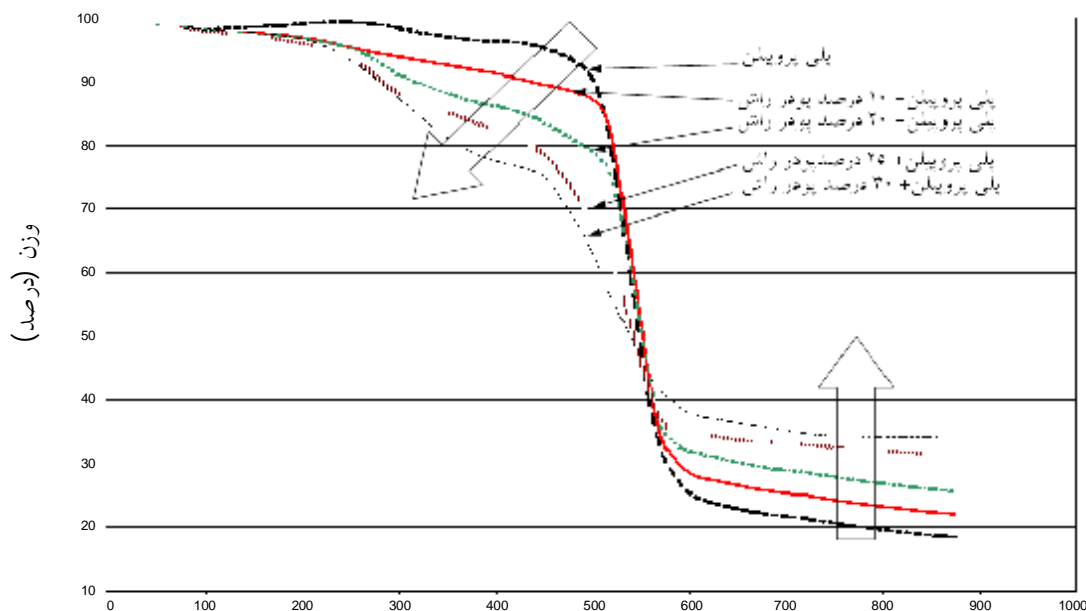
شکل 2- نمودار تجزیه وزن سنجی حرارتی پرکننده های لیگنوسلولزی با نرخ دمایی  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$

جدول 3- میزان وزن باقی مانده پرکننده های لیگنوسلولزی پس از تخریب کامل حرارتی

وزن باقی مانده (%)	پرکننده لیگنوسلولزی
37	کاه گندم
16	پودر راش

### تجزیه وزن سنجی حرارتی چندسازه الیاف-پلیمر

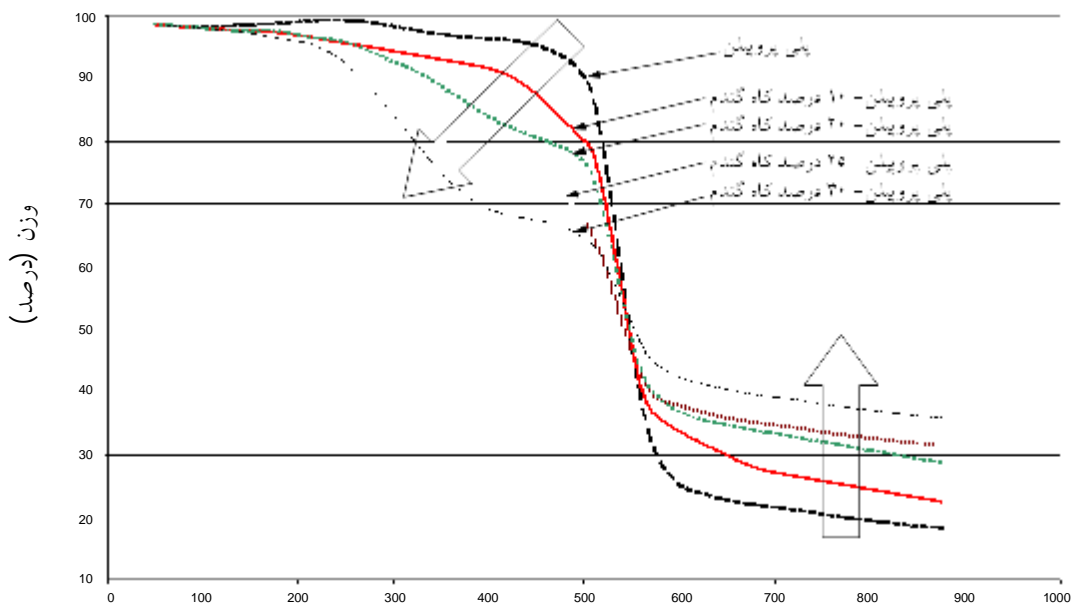
شکل های 3 و 4 نمودارهای تجزیه وزن سنجی پلی پروپیلن خالص و چندسازه های حاوی مقادیر متفاوت پودر راش و کاه گندم را نشان می دهند. همان گونه که مشاهده می گردد، با اضافه شدن پرکننده های لیگنوسلولزی دمای تخریب حرارتی چندسازه ها تحت تأثیر قرار می گیرند [11]. تخریب حرارتی چندسازه ها در مراحل اولیه بسیار ناچیز و شبیه هم می باشد. با افزایش دما و خصوصاً دمای بالای  $200^{\circ}\text{C}$  افت مشخص و محسوسی در چندسازه های مختلف دیده می شود. چندسازه های حاوی پرکننده های لیگنوسلولزی در اکثریت موارد (بجز چندسازه حاوی 10 درصد پودر راش) دارای دمای تخریب کمتری نسبت به پلی پروپیلن خالص می باشند. در برخی از موارد تا حد  $50^{\circ}\text{C}$  کاهش در دمای تخریب حرارتی مشاهده گردید. هر چقدر میزان پرکننده های موجود در چندسازه افزایش می یابد، میزان کاهش دمای تخریب نیز بیشتر می گردد و چندسازه در دمای پایین تری تجزیه می شود. لذا با افزودن ترکیبات لیگنوسلولزی به پلی پروپیلن، ثبات حرارتی چندسازه ها کاهش یافت. این مساله در شکل های مربوطه با پیکان به سمت پایین مشخص شده است. بیشترین افت، در چندسازه حاصل از پلی پروپیلن و 30 درصد پرکننده های لیگنوسلولزی مشاهده می گردد.



شکل 3- نمودار تجزیه وزن سنجی حرارتی چندسازه حاصل از پلی پروپیلن و پودر راش

دمای متوسط تخریب اصلی و نهایی چندسازه‌های حاوی مقادیر مختلف پرکننده لیگنوسلولزی در مقایسه با پلی پروپیلن خالص در جدول 4 آمده است. دمای تخریب چندسازه با درصد‌های مختلف ترکیبات لیگنوسلولزی در بین دمای تخریب ترکیبات لیگنوسلولزی و پلی پروپیلن خالص قرار دارد [11]. در حدود دمای  $580^{\circ}\text{C}$  همه چندسازه‌ها دچار تخریب نهایی شده و تبدیل به خاکستر می‌شوند. میزان خاکستر باقی‌مانده در چندسازه‌هایی که حاوی مقادیر بیشتری از پرکننده هستند، بالاتر از سایر چندسازه‌هاست. این مساله در شکل‌های مربوط با فلش به سمت بالا مشخص شده است.





شکل 4- نمودار تجزیه وزن سنجی حرارتی چندسازه حاصل از پلی پروپیلن و کاه گندم  
دما (درجه سانتیگراد)

جدول 4- متوسط دمای اصلی و نهایی تخریب پلی پروپیلن، ترکیبات لیگنوسلولزی و چندسازه حاصل

نوع ماده	دمای تخریب اولیه (°C)	دمای تخریب نهایی (°C)
پلی پروپیلن	450	600
چندسازه ها	420	580
ترکیبات لیگنوسلولزی	350	450

میزان جرم باقی مانده چندسازه های حاوی کاه گندم، بالاتر از چندسازه حاوی پودر راش می باشد [13]. وزن باقی مانده چندسازه های حاصل از درصد های مختلف پودر راش و کاه گندم پس از تخریب نهایی، در جدول 5 آمده است.

جدول 5- میزان وزن باقی مانده چندسازه های حاوی درصد های مختلف پرکننده پس از تخریب نهایی

وزن باقیمانده (%)	میزان پرکننده لیگنوسلولزی (%)			
	30	25	20	10
چندسازه حاوی کاه گندم	37	32	29	23
چندسازه حاوی پودر راش	34	31	26	22

## بحث و نتیجه گیری

1- دمای تخریب حرارتی پلی پروپیلن حدود  $450^{\circ}\text{C}$  و دمای تشکیل خاکستر آن حدود  $600^{\circ}\text{C}$  بود. هان و همکاران (2008) در پژوهش خود بر روی پلی پروپیلن خالص، تخریب این ماده پلیمری را در دامنه دمایی 430 تا  $470^{\circ}\text{C}$  و لوز و همکاران (2008) دمای  $450/5^{\circ}\text{C}$  را گزارش نمودند که با تحقیقات انجام شده در این پژوهش نیز همخوانی دارد.

2- با افزایش دما، وزن پرکننده‌های لیگنوسلولزی کاهش یافت. در نمودار وزن سنجی حرارتی پرکننده‌های لیگنوسلولزی، دو افت مشخص دیده شد. اولین کاهش وزن در حدود دمای  $100^{\circ}\text{C}$  مربوط به تبخیر رطوبت از الیاف و دومین افت در دمای حدود 150 تا  $450^{\circ}\text{C}$  که مربوط به تخریب سلولز، همی سلولز و لیگنین می‌باشد. این نتایج با تحقیقات رودنیک (2007)، یانگ و همکاران (2004)، یام و همکاران (1990) و صاحب و جوگ (1990) مطابقت دارد.

3- خاکستر حاصل از کاه گندم بیشتر از پودر راش بود. این مقدار بیشتر احتمالاً به میزان بیشتر ترکیبات معدنی موجود در ترکیبات زراعی و به خصوص سیلیس موجود در این ترکیبات لیگنوسلولزی مربوط است و در تحقیقات یانگ و همکاران (2004) نیز به آن اشاره شده است.

4- هر چقدر میزان ترکیبات لیگنوسلولزی چندسازه‌ها بیشتر شد، کاهش وزن آنها نیز بیشتر و دمای تخریب اصلی آنها کاهش یافت. بیشترین افت در چندسازه‌های حاوی 30 درصد پودر راش دیده شد. این مساله نشان از کاهش ثبات حرارتی چندسازه‌های حاوی پرکننده‌های لیگنوسلولزی نسبت به پلی پروپیلن خالص است که در تحقیقات لوز و همکاران (2008)، لی و ونگ (2006)، یانگ و همکاران (2004) و پنگ و همکاران (2005) به آن اشاره شده است.

5- دمای تخریب اصلی چندسازه‌های ساخته شده از پرکننده‌های لیگنوسلولزی در حدود  $420^{\circ}\text{C}$  بوده که مابین دمای تخریب حرارتی ترکیبات لیگنوسلولزی (حدود  $350^{\circ}\text{C}$ ) و پلی پروپیلن (حدود  $450^{\circ}\text{C}$ ) قرار داشت. این بدان معنی است که ثبات حرارتی کمتر پرکننده‌های لیگنوسلولزی در دمای زیر  $400^{\circ}\text{C}$  ممکن است توسط پلیمر زمینه جبران گردد. این نتایج در تحقیقات سینگ و تاکور (2009)، لوز و همکاران (2008) و لی و ونگ (2006) نیز دیده می‌شود.

6- ثبات حرارتی چندسازه‌های حاوی پودر راش نسبت به چندسازه‌های حاوی کاه گندم بیشتر و خاکستر آن کمتر می‌باشد. این نکته با تحقیقات یانگ و همکاران (2004) همخوانی دارد.

## منابع

- 1- حسینی، س. ک، ابراهیمی ق. و شاکری ع، 1382. بررسی ویژگی‌های مکانیکی و ریخت‌شناسی چندسازه-های الیاف سلولزی-پلی‌پروپیلن اصلاح شده با الاستومر، مجله منابع طبیعی ایران، جلد 57، شماره 1: ص 121-132.
- 2-Bengtsson M., 2005, Silane Crosslinked Wood-Thermoplastic Composites, Ph.D thesis, Norwegian University of Science and Technology, Department of Engineering Design and Materials, PP: 125.
- 3-Brown M.E., 1988, Introduction to thermal analysis techniques and applications. London: Chapman and Hall, PP: 250.
- 4-Han, Y.H., Han, S.O. Cho, D. and H. Kim, 2008, Dynamic Mechanical Properties of Natural Fiber/Polymer Biocomposites:The Effect of Fiber Treatment with Electron Beam, journal of Macromolecular Research, 16(3), PP: 253-260.
- 5-Lee, S.H. and S. Wang, 2006, Biodegradable polymers/bamboo fiber biocomposite with bio-based coupling agent, Journal of Composites: Part A, 37, PP: 80-91.
- 6-Luz S.M., Tio J. D., Rocha G.J.M., Goncalves A.R. and A.P. Del'Arco. , 2008, Cellulose and cellulignin from sugarcane bagasse reinforced polypropylene composites: Effect of acetylation on mechanical and thermal properties, journal of Composites: Part A, 39, PP: 1362-1369.
- 7- Pang Y., Yoon S.b., Seo T.M., Han S.O. and D. Chao, 2005, Effect of electron beam irradiation on the interfacial and thermal properties of henequen/phenolic biocomposites, journal of adhesion and interface, 6(4), PP: 12-17
- 8- Rudnik, E., 2007, Thermal properties of biocomposites, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 88 (2), PP: 495-498.
- 9- Saheb, D.N. and J.P. Jog, 1999, Natural Fiber Polymer Composites: A Review, journal of Advances in Polymer Technology, 18( 4), PP: 351-363.
- 10-Singha, A.S. and V.K. Thakur, 2009, Study of mechanical properties of Urea- formaldehyde thermoses reinforced by pine needle powder, journal of bioresources, 4(1), PP: 292-308
- 11-Singh, S., Mohanty, A. K., Sugie, T. and Y. Takai, 2008, Renewable resource based biocomposites from natural fiber and polyhydroxybutyrate-co-valerate (PHBV) bioplastic, journal of Composites: Part A, 39, PP: 875-886.
- 12-Yam, K.L., Gogi, B.K., Lai, C.C. and S.E selk, 1990, Composites from Compounding Wood Fibers with Recycled High Density Polyethylene, Journal of Polymer Engineering Science ,30(11), pp: 693-699.
- 13-Yang, H.S., Kim, H.S., Kim, H.J. and H.J. Park, 2004, Thermogravimetric analysis of Rice Husk Flour Filled Thermoplastic Polymer Composites, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 76, pp: 395-404.

