

## تأثیر پیش‌هیدرولیز بر روی لیگنین زدایی چوب ممرز

عبدالرحیم محب علیان<sup>۱</sup>، احمد جهان لثیاری<sup>۲\*</sup>، آژنگ تاج‌دینی<sup>۲</sup> و شادمان پورموسی<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج، ایران

۲\* - نویسنده مسئول، استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، ایران، پست الکترونیک: latibari.aj@gmail.com

۳- دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج، ایران

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: شهریور ۱۳۹۷

### چکیده

در این تحقیق تأثیر پیش‌هیدرولیز قلیایی خرده چوب ممرز در هیدروکسید سدیم با غلظت‌های ۵، ۷/۵ و ۱۰ درصد (بر مبنای وزن خشک چوب) در دو دمای ۶۰ و ۹۰ درجه سانتی‌گراد مطالعه شده است. خرده چوب پیش‌فرآوری شده و خرده چوب شاهد با فرایند سودا و در شرایط ثابت به خمیرکاغذ تبدیل شده است. مقدار همی سلولزهای خارج شده و هیدروکسید سدیم مصرف شده پس از پیش‌هیدرولیز قلیایی و بازده، درجه روانی، عددکاپا و مقاومت‌های خمیرکاغذ سودا ساخته شده از خرده چوب پیش‌هیدرولیز شده و شاهد اندازه‌گیری شده است. تأثیر غلظت هیدروکسید سدیم و دمای پیش‌هیدرولیز خرده‌چوب بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده تجزیه و تحلیل آماری شده است. پیش‌هیدرولیز قلیایی تا ۴/۲ درصد همی سلولزها (مبنای وزن خشک چوب) را از خرده چوب ممرز خارج کرده است؛ همچنین بر روی لیگنین زدایی چوب ممرز پیش‌هیدرولیز شده تأثیر مثبت داشته و بازده کل، وازده پخت و عددکاپای خمیرکاغذ سودا کاهش یافته است که دلیل آن ضعیف شدن پیوند بین کربوهیدرات‌ها و لیگنین در چوب می‌باشد. مقاومت در برابر کشش خمیرکاغذ سودا از خرده چوب پیش‌هیدرولیز شده کاهش یافته و با زیاد شدن غلظت هیدروکسید سدیم مقدار آن کاهش یافته و کمتر از نمونه شاهد اندازه‌گیری شده است. مقاومت در برابر پاره شدن خمیرکاغذ از خرده چوب‌های پیش‌فرآوری شده نیز به میزان جزئی کاهش یافته ولی تأثیر عوامل مورد بررسی بر آن معنی‌دار نشده است. علت آن حذف بخشی از همی سلولزها و ضعیف شدن الیاف در مرحله جداسازی الیاف و بریده شدن آنها بوده است.

واژه‌های کلیدی: ممرز، پیش‌هیدرولیز، مقاومت، بازده، عددکاپا، همی سلولز

### مقدمه

افزوده تولید کرد. یکی از مهمترین مراحل در این فرایند، استخراج همی سلولزها از چوب است که می‌تواند ماده اولیه ساخت موادی با ارزش افزوده زیادتر مانند مواد شیمیایی و سوخت زیستی باشد. روش‌های مختلفی برای استخراج همی سلولزها وجود دارد. از آن جمله می‌توان به استخراج قلیایی، استفاده از اسیدهای ضعیف و آب داغ اشاره کرد. در استخراج همی سلولزها از یک قلیایی رقیق یا اسید رقیق استفاده می‌گردد.

در سال‌های اخیر، پیدا کردن روشی برای ایجاد درآمد جانبی از تولید خمیرکاغذ در کارخانه‌های کاغذسازی ضروری شده است. یکی از راه‌های افزایش درآمد، استفاده از پسماندهای تولید خمیرکاغذ در تولید محصولات مانند سوخت‌های زیستی است. در این سازوکار از ترکیبی از فرایندهای مختلف استفاده می‌شود و متناسب با نوع فرایند و ماده اولیه، می‌توان طیف وسیعی از محصولات با ارزش

فورفورال تبدیل می‌شود. دمای حداکثر مهم‌ترین مسئله برای خارج کردن همی سلولزها بوده و دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد مؤثرترین است.

Liu و همکاران (۲۰۱۱) چوب سپیدار را قبل از خمیر کاغذسازی مکانیکی توسط هیدروکسید سدیم در معرض استخراج قلیایی قرار دادند و تأثیر سه فاکتور؛ مقدار قلیایی، دمای واکنش و زمان را بر روی سه عامل، بازده پیش استخراج، زایلان استخراج شده و مقدار سلولز اندازه‌گیری کردند. دما-زمان و میزان قلیایی-زمان تأثیر نسبتاً زیادی بر بازده استخراج زایلان داشته و بازده استخراج زایلان در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، بار قلیایی ۵/۶۸ درصد و زمان ماندگاری ۳۵ دقیقه در حدود ۲۲/۵۵٪ بود. به این معنی که در حدود ۳۷/۳ کیلوگرم زایلان را می‌توان از یک تن خرده‌چوب سپیدار خارج کرد.

Jeong و همکاران (۲۰۱۰) بهینه‌سازی پیش‌فراوری به‌وسیله اسید ضعیف را برای استخراج همی سلولزها از کاه و کلش کلزا مطالعه کرده و تأثیر غلظت اسید، دما و زمان واکنش را اندازه‌گیری کردند. شرایط بهینه شامل ۱/۷۶ درصد اسیدسولفوریک، دمای ۱۵۲/۶ درجه سانتی‌گراد و زمان واکنش ۲۱ دقیقه تعیین گردید. در این شرایط ۸۵/۵ درصد از کل قندها طی فرایند پیش‌هیدرولیز اسیدی استخراج شدند.

Jahan و همکاران (۲۰۱۲) اثر پیش‌هیدرولیز بر ویژگی‌های خمیرکاغذ سودا - آنتراکینون از ساقه ذرت و Garcia و همکاران (۲۰۱۱)، اثر پیش‌هیدرولیز را بر ویژگی‌های خمیرکاغذ سودا - آنتراکینون از چوب پالونیا بررسی کرده‌اند.

با توجه به اهمیت استفاده از پسماندهای خمیرکاغذ در تولید محصولات جانبی و تأثیر فراوری شیمیایی بر ویژگی‌های خمیرکاغذ، تأثیر پیش‌هیدرولیز قلیایی و تغییر مقدار قلیایی و دما بر ویژگی‌های خمیرکاغذ سودا از چوب ممرز و مقدار همی سلولزهای خارج شده بررسی شده است.

Garrote و همکاران (۲۰۰۲) خودهیدرولیز چوب اکالیپتوس و سینتیک تخریب همی سلولزها در راکتور ناپیوسته را در دمای حداکثر ۲۲۴ درجه سانتی‌گراد و زمان ماندگاری ۵۶ دقیقه مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که تا ۹۰/۴٪ از زایلوز در زمان پیش‌هیدرولیز حذف می‌شود و مقداری لیگنین‌زدایی (تا ۱۳/۸٪ لیگنین) نیز انجام می‌شود. درحالی‌که فقط مقدار خیلی ناچیزی از سلولز خارج می‌گردد.

Yoon و همکاران (۲۰۱۱) استخراج قلیایی همی سلولزها از مخلوط خرده‌چوب‌هایی از گونه‌های پهن‌برگ را در مقادیر مختلف مواد شیمیایی، زمان (۱۱۰-۴۵ دقیقه) و دمای (۱۶۰-۱۲۵ درجه سانتی‌گراد) مورد مطالعه قرار دادند. در غلظت زیادتر قلیایی (۱۰٪ و ۲۰٪ هیدروکسید سدیم) محلول خارج شده شدت قلیایی بوده و حدود ۱۷ تا ۴۰ درصد از چوب حل شده است. همچنین بازده پخت کرافت ۵ تا ۷ درصد کمتر از پخت شاهد بوده است. Yoon و همکاران (۲۰۰۸) پیش‌استخراج چوب کاج تدا توسط آب گرم را در دماهای ۱۶۰، ۱۷۰، ۱۸۰ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد و زمان‌های مختلف مورد مطالعه قرار دادند.

Watson و همکاران (۲۰۱۰) خرده‌چوب چند گونه پهن‌برگ را با استفاده از مایع پخت سبز کرافت در مقادیر مختلف قلیایی (۲، ۴ و ۶ درصد وزن خشک چوب، مینا اکسیدسدیم)، در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ماندگاری ۱ تا ۲ ساعت مورد استخراج قرار داده و بعد تأثیر آن را بر بازده خمیرکاغذ کرافت اندازه‌گیری کرده‌اند.

Li و همکاران (۲۰۱۰)، تأثیر پارامترهای مختلف پیش‌هیدرولیز شامل دما، زمان، اسیتیک اسید، نوع چوب بر پیش‌هیدرولیز مخلوطی از خرده‌های چوب پهن‌برگ (سپیدار، توس و افرا) را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که پیش‌هیدرولیز فرایندی دینامیکی می‌باشد. به این معنی که با افزایش زمان، همی سلولزهای بیشتری حذف می‌شود و مقدار همی سلولزهای تبدیل شده به مونوساکارید افزایش یافته و مقداری از قند زایلوز هم به

## مواد و روش‌ها

### مواد اولیه

چوب ممرز به صورت یک گرده‌بینه یک متری با قطر ۴۰ سانتیمتر از مناطق شمالی ایران تهیه و به مرکز تحقیقاتی البرز انتقال یافت. گرده‌بینه پس از پوست‌کنی، توسط اهر نواری بریده شده و بعد توسط خردکن آزمایشگاهی به خرده‌چوب تبدیل شد. خرده‌چوب‌ها به آزمایشگاه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج انتقال یافتند. ابتدا خرده‌چوب‌های ریزودرشت جداسازی شده و خرده‌چوب قابل قبول داخل کیسه پلاستیکی ریخته شده و در مقابل رطوبت عایق‌سازی شد و برای این آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند. میانگین طول، پهنا و ضخامت خرده‌چوب‌ها به ترتیب ۲۴، ۹/۰۵ و ۳/۱۴ میلی‌متر اندازه‌گیری گردید.

### پیش‌هیدرولیز خرده‌چوب

پس از آزمایش‌های اولیه پیش‌هیدرولیز، استفاده از ۵، ۷/۵ و ۱۰ درصد NaOH (بر مبنای وزن خشک خرده‌چوب)، در دو دمای ۶۰ و ۹۰ درجه سانتی‌گراد، زمان ۱۲۰ دقیقه و مقدار مایع پیش‌فراوری به وزن خشک چوب (L/W) ۱۰ برای پیش‌هیدرولیز خرده‌چوب ممرز انتخاب شد. ابتدا ۱۵۰ گرم خرده‌چوب ممرز (بر مبنای وزن خشک) انتخاب شده و توسط روش‌های انتخابی پیش‌هیدرولیز مورد فراوری قرار گرفت. پس از اتمام مرحله پیش‌فراوری، محتویات کیسه روی الک با اندازه سوراخ ۲۰۰ مش ریخته شد تا مایع پیش‌فراوری زهکشی گردد. حجم مایع پیش‌فراوری اندازه‌گیری شده و برای محاسبه میزان همی سلولزهای استخراج شده و قلیابیت باقی‌مانده در ظرفی جداگانه نگاه‌داری شد. خرده‌چوب فراوری شده توزین شده و دو سوم آن برای تولید خمیرکاغذ و یک سوم باقیمانده برای بررسی تأثیر پیش‌هیدرولیز بر روی چوب مورداستفاده قرار گرفتند.

### استخراج همی سلولزها

بعد از انجام تیمار پیش‌هیدرولیز روی ۱۵۰ گرم چوب

(وزن خشک)، مایع پیش‌فراوری جمع‌آوری شده و حجم آن اندازه‌گیری شد. سپس با اضافه کردن اسیدسولفوریک pH آن را به ۵ رسانده و بعد به مدت ۵ روز در دمای پایین برای ته‌نشین شدن نگهداری گردید. ۳۰ میلی‌لیتر از محلول را برداشته و به نسبت ۱ به ۶ با متانول ۹۷٪ آزمایشگاهی مخلوط گردید. سپس در فالكون‌ها ریخته شده و سانتریفیوژ شد. بعد از جدا شدن همی سلولزها، آن را در بشرهایی که از قبل تمیز و وزن شده بودند ریخته و تا خشک شدن در محیطی استریل در دمای آزمایشگاه نگهداری شد. پس از آن وزن همی سلولزها تعیین گردید.

### تهیه خمیر کاغذ

دو سوم از خرده‌چوب پیش‌هیدرولیز شده (مبنا ۱۰۰ گرم خرده‌چوب خشک اولیه) به همراه مایع پخت سودا داخل دیگ پخت قرار گرفته و عملیات پخت انجام شد. شرایط پخت سودا شامل هیدروکسیدسدیم ۲۰ درصد (بر مبنای وزن خشک خرده‌چوب)، دمای پخت ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد، زمان پخت ۹۰ دقیقه پس از رسیدن به دمای پخت و نسبت مایع پخت به وزن خشک خرده‌چوب ۸ به ۱ به‌طور ثابت انتخاب شد. بعد از پخت، مایع پخت سیاه جداسازی شد.

سپس جداسازی الیاف خرده‌چوب‌های پخته شده انجام شد و الیاف جداسازی شده با استفاده از دو غربال با اندازه سوراخ‌های ۱۴ مش و ۲۰۰ مش به دو بخش وازده و قابل قبول تفکیک شدند. بخشی از الیاف که بر روی غربال ۱۴ مش باقی مانده است به‌عنوان وازده و الیاف عبور کرده از غربال ۱۴ مش و باقی‌مانده بر روی غربال ۲۰۰ مش قابل قبول تلقی می‌شوند. بازده کل خمیرکاغذ مجموع بخش وازده و قابل قبول است.

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های خمیرکاغذ از دستورالعمل‌های آیین‌نامه TAPPI؛ شامل عددکاپا T 236 om 06؛ درجه روانی T227 om-04؛ کاغذ دست‌ساز T205 sp-06؛ مقاومت در برابر پارگی شدن T414 om-04 و مقاومت در برابر کشش T493 om-06 استفاده شده است (TAPPI, ۲۰۰۸).

## طرح آماری

برای تجزیه و تحلیل داده‌های بازده کل و وازده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی و برای سایر ویژگی‌ها از طرح کامل تصادفی استفاده شده است. در صورت معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها، برای گروه‌بندی میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد.

## نتایج

همی سلولزهای خارج شده و میزان هیدروکسیدسدیم باقی مانده پس از پیش‌هیدرولیز و ویژگی‌های خمیرکاغذ سودا شامل بازده کل، وازده، شاخص‌های مقاومت به پاره شدن و کشش در شکل‌های ۱ تا ۵ آورده شده است. هریک از مقادیر مربوط به ویژگی‌های بعد از پیش‌هیدرولیز میانگین سه اندازه‌گیری و هریک از مقادیر مربوط به ویژگی‌های

خمیرکاغذ میانگین چهار اندازه‌گیری است. مقادیر اندازه‌گیری شده با خمیرکاغذ شاهد (چوب ممرز بدون پیش‌هیدرولیز) مقایسه شده‌اند. به منظور مشخص کردن تأثیر عوامل پیش‌هیدرولیز مورد بررسی بر همی سلولزهای خارج شده و میزان هیدروکسیدسدیم باقی مانده پس از پیش‌هیدرولیز و ویژگی‌های خمیرکاغذ سودا ساخته شده از این خرده‌چوب، تجزیه و تحلیل آماری نتایج انجام شده است (جدول ۱). در صورتی که تأثیر عوامل مورد بررسی بر ویژگی‌ها معنی‌دار شده باشد، گروه‌بندی میانگین‌ها انجام شده و نتیجه آن بر روی شکل‌های مربوطه نشان داده شده است. اثر متقابل عوامل مورد بررسی بر ویژگی‌ها در سطح اعتماد آماری ۹۵٪ گروه‌بندی گردیده است.

جدول ۱- تجزیه و تحلیل آماری تأثیر عوامل متغیر بر هیدرولیز قلیایی چوب ممرز و ویژگی‌های خمیرکاغذ سودا از آن (مقدار F و سطح معنی‌داری)

ویژگی متغیر	قلیایی باقیمانده	همی سلولز جدا شده	بازده کل	وازده	عدد کاپا	درجه روانی	مقاومت به کشش	مقاومت به پاره شدن
دما	ns <sup>۳</sup> /۱۹	** <sup>۲۰</sup> /۹۴	** <sup>۴۸</sup> /۹۰	ns <sup>۲</sup> /۳۳	ns <sup>۲</sup> /۵۳	ns <sup>۲</sup>	* <sup>۵</sup> /۸۲	ns <sup>۰</sup> /۰۶
قلیایی	** <sup>۷</sup> /۷۶	ns <sup>۲</sup> /۶۶	** <sup>۳۶</sup> /۷۶	** <sup>۵۰</sup> /۲۲	** <sup>۶</sup> /۳۷	** <sup>۱۶</sup>	** <sup>۲۳</sup> /۹۶	ns <sup>۱</sup> /۰۲
دما*قلیایی	ns <sup>۰</sup> /۱	ns <sup>۰</sup> /۴۲	** <sup>۱۸</sup> /۸۲	ns <sup>۲</sup> /۰۳	ns <sup>۲</sup> /۳۰	ns <sup>۲</sup>	ns <sup>۲</sup> /۴۵	ns <sup>۰</sup> /۵۶

ns: معنی‌دار نیست، \*: معنی‌داری در سطح ۹۵٪، \*\*: معنی‌داری در سطح ۹۹٪

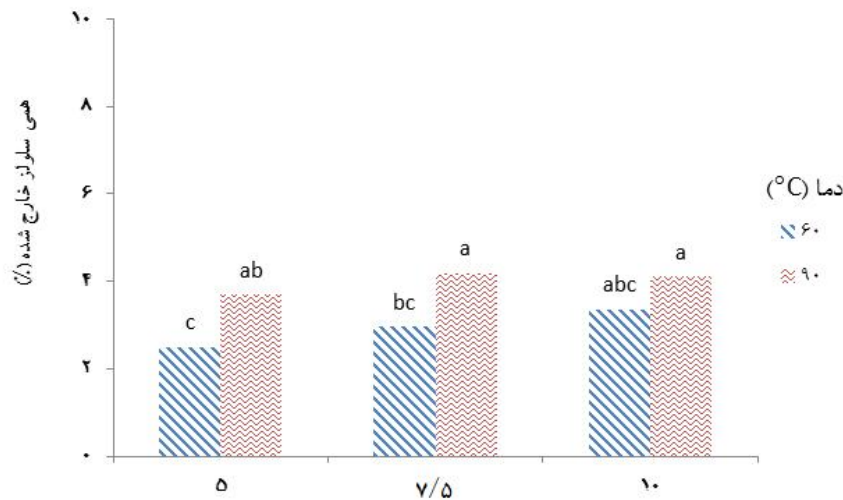
همی سلولزهای خارج شده و هیدروکسیدسدیم مصرف شده در پیش‌هیدرولیز

اثر مستقل غلظت هیدروکسید سدیم بر مقدار همی سلولزهای خارج شده از چوب هیدرولیز شده معنی‌دار نشده است. ولی تأثیر دما بر مقدار همی سلولزهای خارج شده در سطح اعتماد آماری ۹۹٪ معنی‌دار شده و میانگین‌ها در دو گروه مجزا قرار گرفته‌اند (جدول ۱). در اثر زیاد شدن دمای پیش‌هیدرولیز، مقدار زیادتری همی سلولز خارج شده است. اثر متقابل دو عامل مورد بررسی بر مقدار

همی سلولزهای خارج شده در سطح اعتماد آماری ۹۵٪ گروه‌بندی شده است (شکل ۱).

اثر مستقل غلظت هیدروکسید سدیم بر روی مقدار هیدروکسیدسدیم مصرف شده در پیش‌هیدرولیز در سطح اعتماد آماری ۹۹٪ معنی‌دار شده و مقادیر اندازه‌گیری شده در سه گروه مجزا قرار گرفته‌اند. بیشترین مقدار هیدروکسید سدیم مصرف شده مربوط به غلظت ۱۰٪ به مقدار حدود ۴/۲٪ و کمترین آن مربوط به غلظت ۵٪ می‌باشد. مصرف هیدروکسید سدیم در پیش‌هیدرولیز با غلظت آن در مرحله

پیش‌هیدرولیز رابطه مستقیم دارد و با افزایش غلظت، مقدار بیشتری هیدروکسید سدیم مصرف می‌شود.



شکل ۱- گروه‌بندی دانکن اثر متقابل دما و غلظت هیدروکسید سدیم بر همی سلولزهای خارج شده از چوب ممرز پیش‌فراوری شده ( $\alpha=0/05$ )

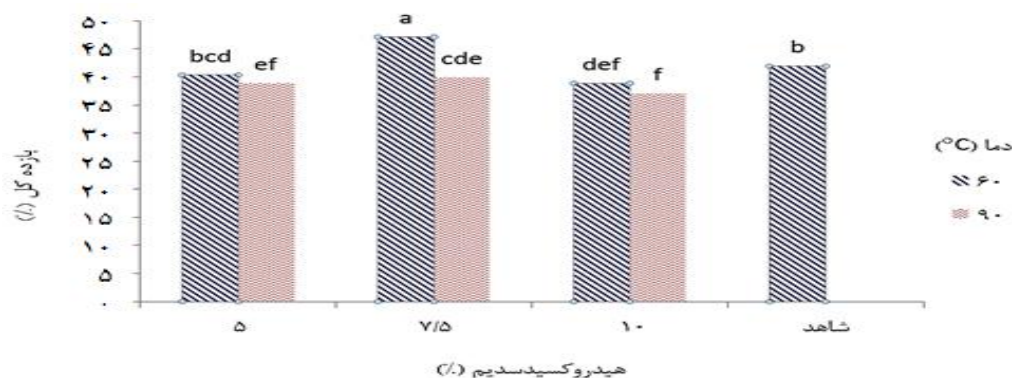
۹۹٪ معنی‌دار شده و میانگین‌ها در سه گروه قرار گرفته‌اند. زیاده‌ترین مقدار میانگین در اثر پخت خرده چوب‌های فراوری شده با ۵٪ هیدروکسید سدیم (۴۳/۹۰٪) و کمترین آن مربوط به غلظت هیدروکسید سدیم ۱۰٪ (۳۹/۱۳٪) است. بازده کل خمیرکاغذ شاهد به میزان ۴۱/۹٪ با بازده کل خمیرکاغذ تهیه شده از خرده چوب فراوری شده با ۱۰٪ هیدروکسید سدیم در یک گروه قرار دارند.

با توجه به جدول ۱، اثر متقابل دما و غلظت هیدروکسید سدیم بر بازده کل خمیرکاغذ از چوب پیش‌هیدرولیز شده در سطح اعتماد آماری ۹۹٪ دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد. مقادیر اندازه‌گیری شده در ۷ گروه دسته‌بندی قرار دارند. بیشترین میانگین مربوط به نمونه از چوب فراوری شده با ۷/۵٪ هیدروکسید سدیم و دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و کمترین آن به غلظت هیدروکسید سدیم ۱۰٪ و دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد تعلق دارد؛ از این رو با افزایش دما و غلظت بازده کل کاهش می‌یابد (شکل ۲). بازده کل خمیرکاغذ نمونه شاهد به میزان ۴۱/۹٪ اندازه‌گیری شده است.

تأثیر متقابل دو عامل مورد بررسی بر مقدار هیدروکسید سدیم مصرف شده در سطح اعتماد آماری ۹۵٪ معنی‌دار شده و بیشترین مقدار آن مربوط به اثر متقابل دو عامل ۵٪ هیدروکسید سدیم و دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و کمترین آن مربوط به اثر متقابل دو عامل ۱۰٪ هیدروکسید سدیم و دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد است.

#### ویژگی‌های خمیرکاغذ

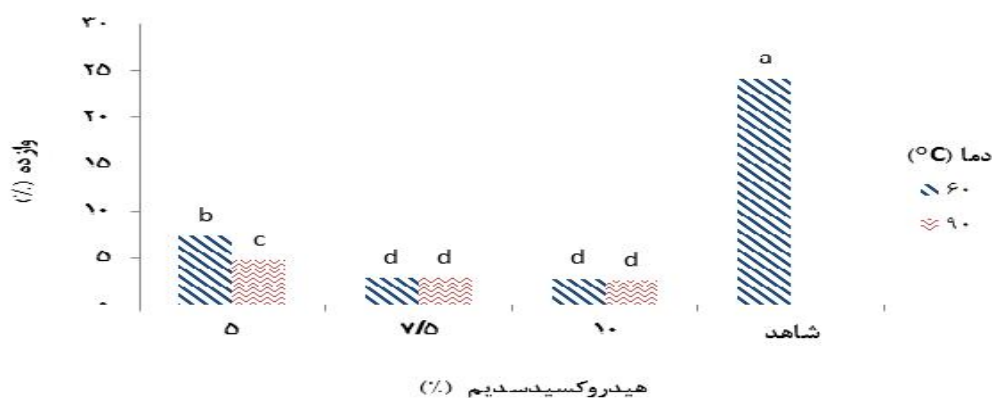
تجزیه و تحلیل آماری تأثیر عوامل مورد بررسی بر بازده کل خمیرکاغذ از چوب پیش‌فراوری شده، در جدول ۱ نشان داده شده است. اثر مستقل دمای پیش‌هیدرولیز بر مقدار بازده کل خمیرکاغذ ساخته شده از چوب پیش‌هیدرولیز شده در سطح اعتماد آماری ۹۹٪ دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد. مقادیر اندازه‌گیری شده در دو گروه متفاوت دسته‌بندی شده‌اند. بیشترین میانگین مربوط به دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و کمترین آن مربوط به دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (جدول ۱). تأثیر مستقل غلظت هیدروکسید سدیم بر بازده کل نیز در سطح اعتماد آماری



شکل ۲- گروه‌بندی دانکن اثر متقابل دما و غلظت هیدروکسید سدیم بر روی بازده کل خمیر ساخته شده از چوب ممرز پیش‌هیدرولیز شده ( $\alpha=0/05$ )

نشده است. اثر متقابل دما و غلظت هیدروکسید سدیم نیز بر مقدار بازده خمیرکاغذ بعد از پخت معنی‌دار نشده است. بیشترین میانگین بازده مربوط به نمونه شاهد (بیش از ۲۰٪) و کمترین آن مربوط به غلظت هیدروکسید سدیم ۱۰٪ و دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد است. از این رو با افزایش دما و غلظت هیدروکسید سدیم بازده کمتر می‌شود (شکل ۳).

اثر مستقل غلظت هیدروکسید سدیم بر مقدار بازده خمیرکاغذ بعد از پخت سودا در سطح اعتماد آماری ۹۹٪ معنی‌دار شده و میانگین‌ها در سه گروه مجزا دسته‌بندی شده‌اند. بیشترین میانگین بازده مربوط به نمونه شاهد و کمتر آن مربوط به غلظت هیدروکسید سدیم ۱۰٪ می‌باشد. البته اثر دمای پیش‌هیدرولیز بر میزان بازده بعد از پخت معنی‌دار



شکل ۳- گروه‌بندی دانکن اثر متقابل دما و غلظت هیدروکسید سدیم بر مقدار بازده خمیر ساخته شده از چوب ممرز پیش‌هیدرولیز شده ( $\alpha=0/05$ )

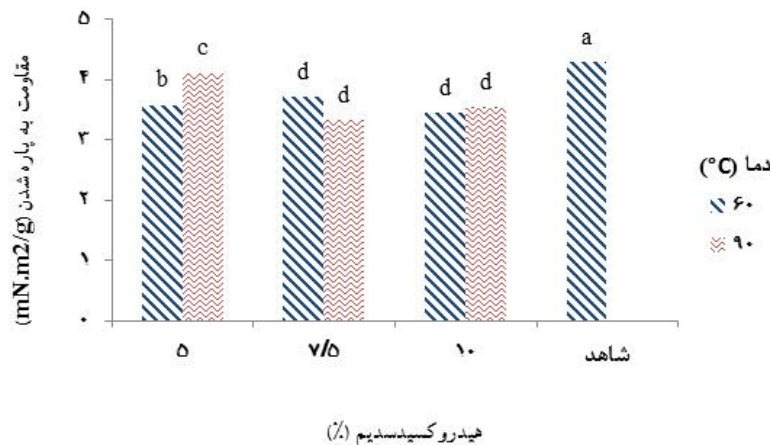
سدیم بر مقدار عددکاپای خمیرکاغذ از چوب پیش‌هیدرولیز شده در سطح اعتماد آماری ۹۹٪ معنی‌دار شده است و مقادیر اندازه‌گیری شده در چهار گروه مجزا دسته‌بندی شده‌اند. بیشترین مقدار عددکاپا مربوط به خمیرکاغذ از

تجزیه و تحلیل آماری تأثیر عوامل مورد بررسی بر عددکاپای خمیرکاغذ از چوب پیش‌فراوری شده در جدول ۱ نشان داده شده است. تأثیر مستقل دمای پیش‌فراوری بر عددکاپای معنی‌دار نشده و اثر مستقل غلظت هیدروکسید

اندازه‌گیری شده در سه گروه مجزا دسته‌بندی شده‌اند. بیشترین شاخص مقاومت به کشش خمیرکاغذ ساخته شده از چوب ممرز پیش‌هیدرولیز شده با ۵٪ هیدروکسیدسدیم و کمترین آن مربوط به خمیرکاغذ شاهد است. دمای بیش‌هیدرولیز بر شاخص مقاومت به کشش خمیرکاغذ در سطح اعتماد آماری ۹۵٪ معنی‌دار شده و میانگین‌ها در دو گروه قرار دارند. شاخص مقاومت به کشش خمیرکاغذ از خرده چوب پیش‌فرآوری شده در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر از دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد است.

چوب ممرز پیش‌هیدرولیز شده با غلظت ۵٪ و کمترین آن مربوط به نمونه شاهد می‌باشد. اثر متقابل دو عامل مورد بررسی بر عددکاپای خمیرکاغذ معنی‌دار نشده است. اثر مستقل و متقابل عوامل مورد بررسی بر شاخص مقاومت به پاره شدن خمیرکاغذ سودا از چوب ممرز پیش‌هیدرولیز شده معنی‌دار نشده است (شکل ۴).

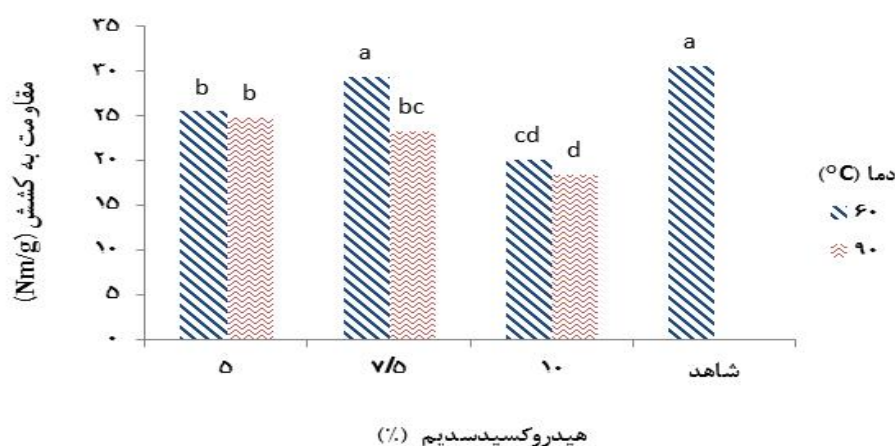
اثر مستقل غلظت هیدروکسید سدیم بر شاخص مقاومت به کشش خمیرکاغذ سودا از چوب ممرز پیش‌هیدرولیز شده در سطح اعتماد آماری ۹۹٪ معنی‌دار شده و مقادیر



شکل ۴- گروه‌بندی دانکن اثر متقابل دما و غلظت هیدروکسید سدیم بر شاخص مقاومت به پاره شدن خمیرکاغذ ساخته شده از چوب ممرز پیش‌هیدرولیز شده

خمیرکاغذ در سطح اعتماد آماری ۹۵٪ در شکل ۵ نشان داده شده است.

تأثیر متقابل دو عامل بر شاخص مقاومت به کشش معنی‌دار نشده است. ولی گروه‌بندی دانکن تأثیر متقابل دو عامل مورد بررسی بر شاخص مقاومت به کشش



شکل ۵- گروه‌بندی دانکن اثر متقابل دما و غلظت هیدروکسید سدیم بر شاخص مقاومت به کشش خمیر کاغذ

ساخته شده از چوب ممرز پیش‌هیدرولیز شده ( $\alpha=0/05$ )

## بحث

سعی شده است با اعمال پیش‌هیدرولیز قلیایی بتوان لیگنین زدایی چوب ممرز را تسهیل کرده و از فرایند سودا که آلاینده‌گی کمتری دارد استفاده کرد. در اثر پیش‌هیدرولیز قلیایی، در زمان کوتاه‌تر پخت (در مقایسه با فرایند کرافت) به بازده حدود ۴۰٪ و بازده کمتر از ۳٪ از خرده چوب ممرز دست یافته‌اند. بازده کل خمیر کاغذ سودا از چوب ممرز بدون پیش‌هیدرولیز نیز حدود ۴۰٪ می‌باشد. ولی بازده قابل قبول فقط ۱۷/۷٪ و بازده آن بیش از ۲۰٪ اندازه‌گیری شده است که مؤید عدم نفوذ کافی مایع پخت سودا به داخل خرده چوب و لیگنین زدایی کامل‌تر است.

در اثر پیش‌هیدرولیز چوب ممرز و خارج شدن همی سلولزها و بخش کمی از لیگنین و همچنین گسیخته شدن پیوند بین کربوهیدرات‌ها و لیگنین و پیوندهای داخلی الیاف، ساختمان الیاف ضعیف‌تر شده و مقاومت به پاره شدن خمیر کاغذ سودا از چوب پیش‌هیدرولیز شده به میزان کمی کاهش یافته است (Travaini, et al., 2016). در نقطه مقابل، در اثر خارج شدن همی سلولزها و کم شدن قابلیت تشکیل پیوند بین الیاف، مقاومت به کشش خمیر کاغذ سودا از چوب پیش‌هیدرولیز شده کاهش یافته است (Ormsby, et al., 2012).

نتایج این پژوهش نشان داده است که می‌توان از طریق

در اثر هیدرولیز قلیایی چوب، بخشی از همی سلولزها و به‌ویژه زایلان‌ها که آسان‌تر هیدرولیز می‌شوند تخریب شده و از چوب خارج می‌شوند و سلولز که در مقابل هیدرولیز قلیایی مقاوم‌تر است باقی می‌ماند (Jeong, et al., 2010; Liu, et al., 2011; Garcia, et al., 2011). در این بررسی تا حدود ۴/۲٪ از وزن خرده چوب ممرز اولیه به صورت همی سلولزها خارج شده است. البته هیدرولیز و تخریب همی سلولزها در دمای بالاتر شدیدتر خواهد بود. در صورت استفاده از هیدروکسیدسدیم زیادتر، جذب آن توسط چوب زیادتر شده، در نتیجه آن میزان هیدرولیز همی سلولزها زیاد می‌شود. هیدرولیز قلیایی چوب و تخریب همی سلولزها به گسیخته شدن پیوند بین کربوهیدرات‌ها و لیگنین می‌انجامد. از این رو در اثر این پدیده، لیگنین زدایی چوب ممرز آسان‌تر شده و افزایش می‌یابد و عددکاپای خمیر کاغذ سودا از این چوب کمتر می‌شود. البته هرچه شدت هیدرولیز قلیایی زیادتر می‌شود (هیدروکسید سدیم زیادتر و دمای بالاتر) بازده کل، بازده قابل قبول و بازده کمتر می‌شود. اصولاً پخت سودای چوب ممرز که دانسیته زیادتری دارد مشکل می‌باشد؛ در نتیجه از فرایند کرافت برای تبدیل خرده چوب ممرز به خمیر کاغذ استفاده می‌شود. ولی در این بررسی،



- Jeong T.-S., Um B.-H., Kim J.-S. and Oh K.-K., 2010. Optimizing dilute-acid pretreatment of rapeseed straw for extraction of hemicellulose. *Appl. Biochem Biotechnol*, 161 : 22-33
- Li H., Saeed A. , Jahan M.S. , Ni Y. and Van Heiningen A., 2010. Hemicellulose removal from hardwood chips in the pre-hydrolysis step of Kraft-Based dissolving pulp production process. *Journal of wood chemistry and technology*, 30 : 48-60
- Liu W., Yuan Z., Mao C. and Li K., 2011. Removal of Hemicellulose by NaOH pre-extraction from aspen chips prior to mechanical pulping. *BioResources*, 6(3) : 3469-3480
- Ormsby, R., Kastner, J.R. and Miller, J., 2012. Hemicellulose hydrolysis using solid acid catalysts generated from biochar. *Catalysis Today* 190: 89-97.
- Tappi standards and suggested methods, 2008: Tappi press, Atlanta, GA. USA.
- Travaini, R., Martin-Juarez, J., Lorenzo-Hernando, A. and Bolado-Rodriguez, S., 2016. Ozonolysis: An advantageous pretreatment for lignocellulosic biomass revisited. *Bioresource Technology* 199:2-12.
- Vena, P.F., Gorgens, J.F. and Rypstra, T., 2010. Hemicelluloses extraction from giant bamboo prior to kraft and soda/AQ pulping to produce paper pulps, value-added biopolymer and bioethanol. *Cellulose Chemistry and Technology* 44(4-6):153-163.
- Watson, S. L., Hutto, D., Genco, J. M., Van Walsum, G. and Van Heiningen A., 2010. Pre-extraction of Hemicellulose from hardwood chips using an alkaline wood pulping solution followed by kraft pulping of the extracted wood chips. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 49: 12638-12645
- Yoon S.-H. and Sefik M. and Van Heiningen A., 2011. Near-neutral pre-extraction of hemicellulose and subsequent Kraft pulping of southern mixed hardwoods. *TAPPI Journal*, January 2011, Jan: 7-15
- پیش‌هیدرولیز چوب ممرز، بخشی از همی سلولزها را خارج کرده و لیگنین زدایی را آسان کرد. از این رو به تبع آن آلاینده‌گی فرایند پخت ناشی از وجود گوگرد را کاهش داد. این نکته یکی از مزیت‌های پیش‌هیدرولیز قلیایی است. مزیت دیگر پیش‌هیدرولیز قلیایی در واقع خارج کردن بخشی از همی سلولزها به صورت قندهای با وزن مولکول کم و استفاده از آنها در تولید مواد شیمیایی و سوخت زیستی می‌باشد. البته توأم با چنین مزیت‌هایی همواره عیب‌هایی نیز وجود خواهد داشت. از مهمترین ضعف پیش‌هیدرولیز می‌توان به کم شدن بازده خمیرکاغذ از مقدار معینی چوب و کم شدن مقاومت‌های خمیرکاغذ از چوب پیش‌هیدرولیز اشاره کرد. ضعف دیگر پیش‌هیدرولیز در واقع پیچیده‌تر شدن و طولانی شدن (دو مرحله مجزا پیش‌هیدرولیز و پخت به جای یک مرحله پخت) فرایند بوده که به تجهیزات سرمایه‌گذاری زیادتر نیاز دارد. بنابراین در تداوم مطالعات پیش‌هیدرولیز چوب باید تأثیر دو ضعف بالا را ارزیابی کرد.

#### منابع مورد استفاده

- Garrote, G. and Parajo, J.C, 2002. Non-isothermal autohydrolysis of eucalyptus wood. *Wood Sci.*, , 36,111-123.
- Garcia, J.C., Zamudio, M.A.M., Perez, A., Feria, M.J., Gomide, J.L., Colodette, J.L. and Lopez, F., 2011: Soda/AQ pulping of Paulownia wood after hydrolysis treatment. *BioResources*, 6(2): 971-986.
- Jahan, M.S. and Rahman, M.M., 2012: Effect of pre-treatment on the soda-anthraquinone pulping of corn stalks and *Saccharium spontaneus* (kash). *Carbohydrate Polymer*, 88:583-566.

## The influence of pre-hydrolysis on the delignification of Hornbeam wood

A.M. Alian<sup>1</sup>, A.J. Latibari<sup>2\*</sup>, A. Tajdini<sup>3</sup> and Sh. Pourmouzi<sup>3</sup>

1-Pulp and Paper Specialist, Wood and Paper Science and Technology Department, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

2\*-Corresponding author, Professor, Pulp and Paper Specialist, Wood and Paper Science and Technology Department, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran, latibari.aj@gmail.com

3-Associate Professor, Pulp and Paper Specialist, Wood and Paper Science and Technology Department, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

Received: May, 2018

Accepted: Sep., 2018

### Abstract

In this research, the influence of two temperatures (60 and 90°C) and three dosages of sodium hydroxide (5, 7.5 and 10%, based on the dry weight) on hornbeam wood chips alkaline pre-hydrolysis and soda pulping was studied. Soda pulping of both pre-hydrolyzed and control chips were conducted applying constant pulping variables. The effect of pre-hydrolysis on hemicelluloses removal and sodium hydroxide consumption and pulp characteristic including total yield, reject, pulp freeness, kappa number, and pulp strengths were measured and statically analyzed. In case the effect of variable on measured property was statistically significant, then Duncan multiple range grouping of the measured property was arranged. The result revealed that pre-hydrolysis removed almost 4.2% (based on dry wood) of hemicelluloses of the wood and pre-hydrolysis demonstrated easier soda pulping delignification, due to weakening the lignin-carbohydrate bonds and both total yield, reject and kappa number were reduced. Tensile strength index of the pulp produced using pre-hydrolyzed chips was lower and as the dosage of sodium hydroxide increases, the tensile strength index was reduced initiated from the removal of hemicelluloses which is also lower than control pulp, Tear strength index of the soda pulp from pre-hydrolyzed chips was mildly reduced which is anticipated to be the consequence of fiber weakening and fiber breaking during cooked chips defibration. The effect of pre-hydrolysis variables on tear strength was not statistically significant. Based on the result of this study, hornbeam wood can be a potential source of bio-refining based on lignocellulosic material.

**Keywords:** Hornbeam, pre-hydrolysis, strength, yield, kappa number, hemicelluloses