توليد خميركاغذ كرافت از دو رقم تندرشد صنوبر گونه ارومريكن

سعيد مهدوي*[١]، حسين كرمانيان[٢]، اميد رمضاني[٢] و صفدر مولوي[٣]
[١] استاديار مؤسسه تحقيقات جنگل‌ها و مراتع كشور، بخش تحقيقات علوم چوب و فرآورده‌هاي آن، ايران
[٢] استاديار دانشكده فناوري‌هاي نوين، دانشگاه شهيد بهشتي، ايران
[٣] فارغ‌التحصيل رشته خمير و كاغذ دانشكده فناوري‌هاي نوين، مقطع تحصيلی كارشناسی ارشد, دانشگاه شهيد بهشتي، ايران
(تاريخ دريافت: ٨٩/٨/١٠، تاريخ تصويب: ٩٠/٥/١٢)

چكيده

بر اساس نتايج طرح تحقيقاتي بررسي سازگاري ارقام مختلف صنوبر در كرج، دو رقم تندرشد صنوبر شامل رقم‌هاي ورني‌روبنسيز و كاستانزو گونه ارومريكن[١] انتخاب شدند. نمونه‌برداري از ارتفاع برابر سينه ٣ پايه درخت ١٢ ساله از هر رقم انجام شد. بين ميانگين طول، پهنا و ضخامت خرده‌چوب‌ها اختلاف معني‌داري وجود نداشت. عوامل متغير پخت كرافت شامل زمان پخت در ٥ سطح (١٥ تا ٧٥ دقيقه) و ميزان مواد شيميايي در ٢ سطح (قليائيت فعال ١٨% با سولفيديته ٢٣% و ٢٠% با ٢٥%) بوده‌اند. با توجه به بازده قابل قبول، عدد كاپا و وازده خميركاغذ، زمان پخت ٤٥ دقيقه، قليائيت فعال ١٨% با سولفيديته ٢٣% به عنوان شرايط بهينه توليد خميركاغذ براي ساخت كاغذ دست‌ساز انتخاب شدند. رفتار پالايش‌پذيري الياف خميركاغذ تهيه شده از دو رقم براي رسيدن به درجه رواني ٤٠٠ ميلي‌ليتر استاندارد كانادايي نشان داد كه اختلاف بين دو شاخص براي خميركاغذ از اين دو رقم معني‌دار نيست. طبقه‌بندي الياف خميركاغذ به دست آمده با استفاده از دستگاه بوئرمك‌نت[٢] رقم كاستانزو را با شاخص طول الياف بيشتر و نرمه كمتر، نشان داد. مقايسه آماري ويژگي‌هاي دو رقم از نظر ميزان توليد چوب و نيز خمير و كاغذ دست ساز نشان داد كه رقم كاستانزو در شاخص مقاومت به تركيدن و ميانگين طول الياف خميركاغذ و رقم ورني‌روبنسيس در ميزان رويش و شاخص مقاومت به پاره شدن برتر است و در ساير ويژگي‌ها بين آنها تفاوت معني‌داري وجود ندارد.

واژه‌هاي كليدي: صنوبر، خميركاغذ كرافت، بازده، عدد كاپا، طبقه‌بندي الياف، مقاومت‌هاي كاغذ.

* نويسنده مسئول: تلفن: ٠٢٦ ٣٤٧٧٠٨١٠ فاكس: ٠٢٦ ٣٦٧٧١٥١٦ E-mail: smahdavi@rifr-ac.ir

[1] *P.e. vernirubensis & P.e. costanzo*
[2] Bauer McNett Classifier

مقدمه

برنامه‌هاي اصلاحي صنوبر در ايران تا كنون بر روي سرعت رشد، سازگاري و مقاوم بودن اين درخت تمركز داشته است. درختان اصلاح شده با سرعت رشد عالي، فرم مناسب تنه و سازگاري بهتر كه ممكن است براي ساخت كاغذ مورد استفاده قرار گيرند، مي‌توانند داراي كيفيت پائين‌تري نسبت به ارقام اصلاح نشده باشند (Norouzi, 2008). امروزه با گسترش علم ژنتيک، توليد ارقامي از درختان تند رشد كه پتانسيل استفاده از چوب آنها در توليد الياف و صنعت كاغذ مطرح است، رو به افزايش است. در اين راستا، صنوبر به عنوان بهترين گونه چوبي تند رشدي كه مي‌تواند بخشي از نياز واحدهاي كاغذسازي را تأمين كند مطرح است. در كشور سالانه در حدود دو ميليون مترمكعب چوب صنوبر توليد مي‌شود كه معادل ٤٠ درصد كل چوب مصرفي است. اين گونه درختي به دليل سازگاري زياد و رشد سريع، براي رفع نياز كشور به چوب مناسب است و به اعتقاد كارشناسان با گسترش صنوبركاري در كشور، نه تنها از واردات چوب كه بيش از يک ميليون متر مكعب در سال است بي‌نياز مي‌شويم، بلكه مي‌توانيم در رديف صادركنندگان چوب در دنيا قرار گيريم (Gorgi bahri et al., 2007). به دليل ويژگي‌هاي مطلوب‌تر، از صنوبرهاي دورگ[1] مي‌توان به عنوان جايگزين خوبي براي توليد خميركاغذ نسبت به صنوبرهاي بومي و نيز گونه‌هاي جنگلي استفاده كرد. اين ويژگي‌ها شامل: توليد حداكثر چوب، توليد جوان چوب با جرم مخصوص پايه‌ي زياد براي توليد حداكثر ميزان خمير كاغذ، الياف بلندتر و مقاومت‌هاي بهتر كاغذ، مقاوم بودن نسبت به پوسيدگي و حشرات، سازگاري مناسب با شرايط آب و هوايي و پاسخ مناسب نسبت به عمليات جنگلداري هستند (Taghiyari, 2008).

(Ghasemi et al., 2001) در يك بررسي در قالب يك طرح پژوهشي عنوان كرده‌اند كه رقم‌هاي دلتوئيدس با آن‌كه تندرشد مي‌باشند و در مناطق شمالي كشور به ويژه گيلان، نتايج مثبتي داده‌اند، در شرايط نيمه‌خشک، مثل كرج، چندان موفق نبوده‌اند، زيرا نياز آبي زيادي دارند و در مقابل نوسانات آبياري، حساس‌اند. مقايسه بين رقم‌هاي مختلف در اين تحقيق نشان داد كه صنوبرهاي اورامريكن و نيگرا[2]، نوسانات آبياري را بهتر تحمل مي‌كنند و سازگاري بهتري دارند. ايشان مقايسه‌اي بين دو رقم صنوبر كاستانزو و ورني‌روبنسيس از نظر ويژگي‌هاي رويشي انجام داده‌اند. در اين مقايسه، رقم ورني‌روبنسيس به لحاظ وضعيت انحناء تنه، تراكم شاخه، طول درخت، قطر برابر سينه و حجم رويش بهتر از رقم كاستانزو ارزيابي شد.

(Rabiee et al., 2008) ويژگي‌هاي آناتومي و جرم مخصوص دو رقم را بررسي كرده‌اند. ابعاد الياف رقم كاستانزو به استثناء ضخامت ديواره سلولي بيشتر از رقم ورني‌روبنسيس گزارش شده است. به جز ضريب رانكل، ساير ضرايب كاغذسازي رقم كاستانزو بيشتر بوده است. (Francis et al., 2004) مقايسه‌اي بين خميركاغذ كرافت تهيه شده از چوب يك صنوبر دورگ (دلتوئيدس* نيگرا) و صنوبر لرزان[3] انجام دادند. ورق‌هاي تهيه شده از صنوبر دورگ در شاخص كششي برابر با صنوبر لرزان داراي ۷۵% ميزان جذب انرژي كششي بيشتر بودند. عكس‌هاي تهيه شده توسط ميكروسكوپ روبشي حاكي از لهيده شدن[4] بهتر الياف و سطح اتصال بيشتر الياف در ورقه تهيه شده از صنوبر دورگ بوده است.

(Nazarnejad et al., 1996) تحقيقي را با هدف شناخت و مقايسه خصوصيات آناتوميكي، فيزيكي، شيميايي، خميركاغذ CMP دو گونه صنوبر دلتوئيدس و اروامريكن از منطقه صفرابسته استان گيلان انجام دادند. نتايج نشان داد كه از نظر طول الياف و درصد سلولز گونه تاج بسته اورامريكن نسبت به گونه تاج باز دلتوئيدس

[1] *Hybrid*

[2] *P. nigra* and *P. euroamericana*.

[3] Aspen (*P. tremuloides)*

[4] Collapse

وضعيت بهتري دارد، اما درصد ليگنين دلتوئيدس به مراتب كمتر است. همچنين دامنه بازده و درجه رواني براي خميركاغذ گونه اروامريكن بهتر از دلتوئيدس بوده است و مقاومت‌هاي مكانيكي كاغذ گونه اورامريكن بيشتر از دلتوئيدس بوده‌اند. در بررسي خواص نوري، گونه اورامريكن داراي روشني بيشتر و ماتي كمتري نسبت به گونه دلتوئيدس مي‌باشد. (Balatinez et al., 2001) درتحقيقي به بررسي استفاده از چوب صنوبر به عنوان دورنماي صنعت خمير وكاغذ براي آينده پرداختند. سرعت رشد در دوره برداشت كوتاه‌مدت عاملي منفي براي طول الياف اين چوب‌ها ذكر شده است. صنوبرهاي دورگ در مقايسه با صنوبر لرزان داراي سهم قابل توجهي از نرمه‌هاي كوچك‌تر از ٠/٢ ميليمتر بوده و ليگنين بيشتري دارند. لذا استفاده از خميركاغذ كرافت ارقام دورگ صنوبر براي ساخت كاغذ، به صورت اختلاط با خمير الياف بلند سوزني‌برگان توصيه شده است. علت اين موضوع بهبود مقاومت‌هاي كاغذ و افزايش قابليت گذر[1] ماشين كاغذ ذكر شده است. (Francis et al., 2006) بررسي را بر روي ويژگي‌هاي كاغذسازي ٢٢ رقم بومي و دورگ صنوبر انجام دادند. ارقام صنوبر دورگ كراندن[2] به دليل دارا بودن بهترين رويش ساليانه، جرم مخصوص پايه، زاويه ميكروفيبريل، مقدار سلولز و بازده بعد از پخت و رنگبري به عنوان برترين صنوبر دورگ معرفي شدند. et (MacLeod al., 2007) در مورد ١٠ عامل مهم مؤثر بر بازده خميركاغذ كرافت بحث نموده‌اند. در اين خصوص، ايشان نوع چوب و كيفيت خرده‌چوب، شرايط پخت شامل: مقدار قلياييت، سولفيديته، درجه‌حرارت و عدد كاپاي مورد نظر و نيز تجهيزات خميرسازي را مهم ذكر نموده‌اند.

هدف از انجام اين تحقيق مقايسه و ارزيابي دو رقم موفق صنوبر از نظر ويژگي‌هاي چوب آنها براي توليد خميركاغذ كرافت مي‌باشد.

مواد و روش‌ها

براي انجام اين تحقيق، بر اساس نتايج يك طرح پژوهشي سازگاري ارقام مختلف صنوبر (Ghasemi et al., 2002) و با توجه به موفقيت نسبي گونه اروميريكن صنوبر در شرايط آب و هوايي نيمه خشك شهر كرج، دو رقم ورني‌روبنسيس و كاستانزو از اين گونه انتخاب شدند. گرده‌بينه‌هاي يك متري از ارتفاع برابر سينه ٣ درخت ١٢ ساله از هر رقم صنوبر كه با فاصله كاشت٤×٤ متر در سه قطعه (سه تكرار) كاشته شده بودند، تهيه شد. چوب‌ها پس از پوست‌كني با دست، به وسيله يك خردكن آزمايشگاهي از نوع پالمن[3] به خرده‌چوب تبديل شدند. ميانگين ابعاد خرده‌چوب‌هاي قابل قبول پس از الك، به صورت دستي اندازه‌گيري شد و ميانگين وزني طول خرده‌چوب‌ها بر اساس دستورالعمل UM-5 تاپي[4] تعيين شد. خرده‌چوب‌ها توسط آب سرد شستشو شده تا خاكه‌هاي چوب و گرد و غبار از روي آن‌ها زدوده شود. سپس هوا خشك شده و پس از اندازه‌گيري ميزان رطوبت بر اساس دستورالعمل UM-10 تاپي، به منظورعدم تبادل رطوبتي، در داخل كيسه‌هاي پلاستيكي قرار گرفتند. براي پخت كرافت از يك ديگ پخت آزمايشگاهي گردان[5] استفاده شد. پس از انجام پخت‌هاي مقدماتي، پخت خرده چوب‌ها با در نظر گرفتن عوامل ثابت و متغير به شرح زير انجام شد:

- عوامل ثابت شامل: دماي پخت١٧٠درجه سلسيوس و نسبت مايع پخت به چوب ٥ به ١
- عوامل متغير شامل: نمونه چوب (دو رقم صنوبر)، قليائيت فعال٢٠% با سولفيديته ٢٥% به عنوان تيمار "الف"

[1] Runnability
[2] Crandon *(P. alba×P. grandidentata)*
[3] Pallmann
[4] TAPPI Useful Methods, 1991
[5] Rotary digester

و قلیائیت فعال ۱۸% با سولفیدیته ۲۳% به عنوان تیمار "ب" و مدت زمان پخت ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ دقیقه پس از اتمام زمان هر پخت، خرده چوب‌ها را از دیگ پخت خارج نموده و براي خارج کردن مایع پخت، شستشو شدند. جداکردن الیاف خرده‌چوب‌ها به وسیله یک دستگاه دفیبراتور[1] که تیغه آن به منظورعدم ایجاد برش برروي الیاف اصلاح شده بود، انجام شد. براي جداکردن وازده‌ها[2] از دو الک ۱۸ و۲۰۰ مش به ترتیب در بالا و پایین استفاده شد. پس از جداسازي وازده، بازده قابل قبول تعیین شد. براي تعیین عدد کاپا نیز از استاندارد تاپي (UM-246) استفاده شد. اندازه‌گیري درجه‌رواني خمیرکاغذ بر اساس استاندارد اسکن (C۱۹:۶۵) و پالایش خمیرکاغذها توسط يك دستگاه کوبنده آزمایشگاهي پي اف آي[3] و براساس دستورالعمل شماره T248sp- 00 استاندارد تاپي تا رسیدن به درجه رواني ۴۰۰ میلي‌لیتر استاندارد کانادایي انجام شد. شاخص پالایش‌پذیري براي خمیرکاغذ کرافت تهیه شده از دو رقم، بر مبناي تعداد دور کوبنده و درجه‌رواني خمیرکاغذ محاسبه شد. براي تعیین پراکنش طولي الیاف خمیرکاغذ، از يك دستگاه طبقه‌بندي الیاف استفاده شد و براي امکان مقایسه طول الیاف خمیرکاغذ تهیه شده از دو رقم صنوبر، شاخص طول الیاف با توجه به درصد الیاف باقیمانده در پشت هر غربال و اندازه غربال محاسبه شد. با توجه به ویژگي‌هاي ظاهري خمیرهاي کرافت تهیه شده و نیز بازده قابل قبول و عددکاپاي آنها، براي ساخت کاغذهاي دست‌ساز از خمیرکاغذهاي تهیه شده با اعمال قلیائیت فعال ۱۸ درصد، سولفیدیته ۲۳ درصد و زمان پخت ۴۵ دقیقه استفاده شد. براي ساخت کاغذ دست‌ساز از استاندارد اسکن (M ۵:۶۷) استفاده شد. از این روش براي تهیه ورق‌هاي کاغذ مربع شکل با جرم پایه ۶۰ گرم بر مترمربع استفاده شد. مشروط کردن ورق‌ها و اندازه‌گیری ویژگي‌هاي فیزیکي و مکانیکي آنها بر اساس روش‌هاي استاندارد تاپي و ایزو به شرح جدول ۱ انجام شدند.

جدول ۱- آزمون‌هاي مورداستفاده براي اندازه‌گیري ویژگي‌هاي خمیرکاغذ کرافت ۵ رقم صنوبر

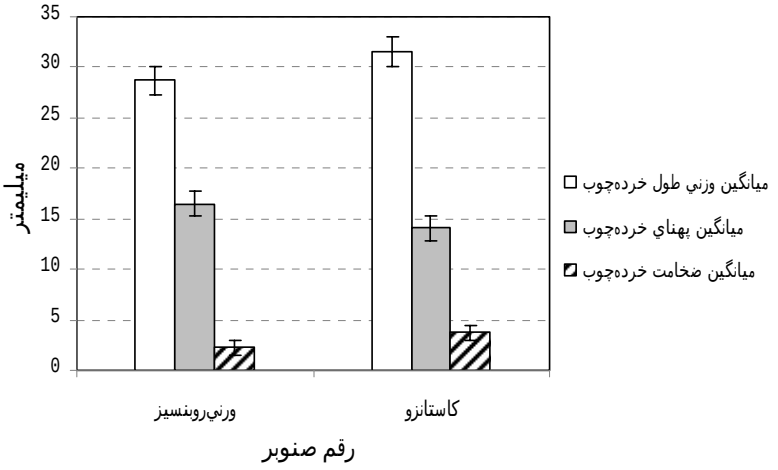
نام آزمون	شماره آزمون
مشروط کردن ورق	ISO 187-1990
جرم پایه	TAPPI,(T410 om-02)
ضخامت	ISO 534- 2005
دانسیته و حجیمي	ISO 536- 1995
طبقه بندي الیاف خمیرکاغذ	T233cm-TAPPI,()06
مقاومت در برابر ترکیدن	ISO 2758- 2001
مقاومت در برابر پاره شدن	ISO 536- 1995
مقاومت در برابر کشش	ISO 1924/2-2008

نتایج

- ابعادخرده چوب‌ها

میانگین طول، پهنا و ضخامت خرده چوب‌ها براي رقم‌هاي مورد مطالعه در نمودار ۱ نشان داده شده است. پس از محاسبه میانگین حسابي[4] طول خرده‌چوب‌ها، میانگین وزني[5] آنها محاسبه شد. در این خصوص، رقم کاستانزو داراي میانگین وزني طول خرده‌چوب بیشتر، ضخامت خرده‌چوب بیشتر و پهناي خرده‌چوب کمتري از رقم ورني‌روبنسیز مي‌باشد، لیکن این تفاوت‌ها به لحاظ آماري معني‌دار نیست.

[1] Defibrator
[2] Reject
[3] PFI-Mill
[4] Arithmetic average
[5] Weighted average



شكل ١- مقايسه دو رقم صنوبر از نظر ابعاد خرده‌چوب‌هاي مورد استفاده براي توليد خميركاغذ كرافت

- ويژگي‌هاي خميركاغذ

نتايج مربوط به ميانگين ويژگي‌هاي خميركاغذ كرافت تهيه شده شامل: بازده قابل قبول، وازده و عدد كاپاي خميركاغذ براي هر رقم در جدول ٢ آورده شده است. با توجه به ميانگين بازده در خميركاغذهاي به دست آمده، مدت زمان پخت ۴۵ دقيقه در هر دو تيمار پخت مناسب‌تر به نظر رسيد. از طرف ديگر، با در نظر گرفتن مصرف كمتر مواد شيميايي در پخت، از خميركاغذ به دست آمده طي تيمار "ب" پخت يعني اعمال زمان پخت ۴۵ دقيقه، قليائيت فعال ١٨% با سولفيديته ٢٣% براي ساخت كاغذ دست‌ساز استفاده شد. تجزيه واريانس نتايج به دست آمده مربوط به بازده قابل قبول، عدد كاپا و مقدار وازده خميركاغذهاي تهيه شده در زمان پخت ۴۵ دقيقه نشان داد كه اختلاف معني‌داري بين دو رقم با اعمال تيمار "ب" پخت وجود ندارد و هر دو رقم در يک گروه قرار مي‌گيرند.

جدول ٢- ميانگين بازده قابل قبول خميركاغذ كرافت تهيه شده از دو رقم صنوبر در پنج زمان پخت و دو تيمار شيميايي

رقم	تيمار شيميايي	١۵ دقيقه	٣٠دقيقه	۴۵دقيقه	۶٠ دقيقه	٧۵دقيقه	ميانگين	انحراف از معيار
ورني‌روبنسيز	الف	۴۵/٧٩[1]	۴٩/٨	۵١/٣	۴٧/٣٢	۴۶/۴٢	۴٨/١٣	٢/٣۴
كاستانزو	الف	۴٩/٢۶	۴٩/۵	۵٣/١٣	۵٢/٧٣	۴٩/١٨	۵٠/٧۶	١/٩٩
ورني‌روبنسيز	ب	۴٧/١٠	۵٠/۴٨	۵٣/۶۵	۵٢/٢۴	۴٧/٩٨	۵٠/٢٩	٢/٧٧
كاستانزو	ب	۴٩/٣٧	۵٠/٣٩	۵٢/٧	۵٠/۵٠	۴٧/٠٨	۵٠/٠١	٢/٠۴
ميانگين		۴٧/٨٨	۵٠/٠۴	۵٢/٧٠	۵٠/٧٠	۴٧/۶٧		

[1] هريك از اعداد ذكر شده ميانگين ٢ تا ٣ تكرار پخت مي‌باشد.

جدول ۳- ميانگين عدد كاپاي خميركاغذ كرافت تهيه شده از دو رقم صنوبر در پنج زمان پخت و دو تيمار شيميايي

رقم	تيمار شيميايي	۱۵ دقيقه	۳۰دقيقه	۴۵دقيقه	۶۰ دقيقه	۷۵دقيقه	ميانگين	انحراف از معيار
ورني‌روبنسيز	الف	۱۹/۱۹	۱۶/۸۶	۱۶/۱۰	۱۴/۲۶	۱۳/۷۲	۱۶/۰۳	۲/۱۹
كاستانزو	الف	۱۹/۲۰	۱۶/۵۷	۱۶/۱۰	۱۴/۶۶	۱۲/۷۸	۱۵/۸۶	۲/۳۸
ورني‌روبنسيز	ب	۲۵/۱۷	۲۱/۳۴	۱۷/۱۲	۱۶/۰۲	۱۵/۵۶	۱۹/۰۴	۴/۱۲
كاستانزو	ب	۳۶/۱۵	۲۱/۶۵	۱۸/۵۵	۱۵/۹۷	۱۴/۷۸	۲۱/۴۲	۳/۶۵
ميانگين		۲۴/۹۳	۱۹/۱۰	۱۶/۹۷	۱۵/۲۳	۱۴/۲۱		

[1] هريك از اعداد ذكر شده ميانگين ۳ تكرار اندازه‌گيري مي‌باشد.

- پالايش‌پذيري

با توجه به اينكه براي تأمين ويژگي‌هاي مناسب در هر نوع كاغذ به خميركاغذي با درجه رواني مشخصي نياز است، پس از تعيين درجه‌رواني اوليه خميرها، با استفاده از كوبنده آزمايشگاهي، خميركاغذ تا درجه رواني حدود ۴۰۰ ميلي ليتر استاندارد كانادايي پالايش شد. نتايج مربوط به درجه رواني اوليه خميرهاي كاغذ و درجه رواني نهايي خميركاغذهاي مورد استفاده براي تهيه كاغذ دست‌ساز در جدول ۴ آورده شده است. شاخص پالايش‌پذيري (تعداد دور لازم براي كاهش يك ميلي‌ليتر درجه رواني خميركاغذ) رقم كاستانزو نسبت به ورني‌روبنسيز كمتر است ولي اختلاف بين آنها معني‌دار نيست. به عبارت بهتر، مقدار مصرف انرژي براي رسيدن به درجه‌رواني نهايي خميركاغذ دو رقم تقريبا"مشابه است.

جدول ۴- مقايسه درجه رواني و شاخص پالايش پذيري خمير كاغذهاي دو رقم صنوبر

رقم	درجه رواني اوليه (ميلي ليتراستاندارد كانادايي)	تعداد دور	درجه رواني نهايي (ميلي ليتراستاندارد كانادايي)	ميانگين شاخص پالايش پذيري	سطح معني‌داري
كاستانزو	۶۵۴	۱۴۵۰۰	۴۱۰	۵۵/۲۱	۰/۴۸ n.s.
	//	۱۵۵۰۰	۳۵۰		
ورني‌روبنسيز	۶۵۴	۱۳۰۰۰	۴۲۲	۵۳/۱۰	
	//	۱۴۰۰۰	۳۷۵		

n.s. اختلاف معني‌دار نيست.

- پراكنش اندازه الياف خمير كاغذ

جدول ۵ نتايج مربوط به پراكنش اندازه الياف خميركاغذ كرافت تهيه شده از دو رقم صنوبر را نشان مي‌دهد. مقايسه آماري دو رقم حاكي از وجود اختلاف معني‌داري بين دو رقم در سطح ۹۹% احتمال مي‌باشد و ميانگين طول الياف خميركاغذ كرافت رقم كاستانزو بيشتر مي‌باشد. در عوض، رقم ورني‌روبنسيز داراي مقدار نرمه بيشتري است.

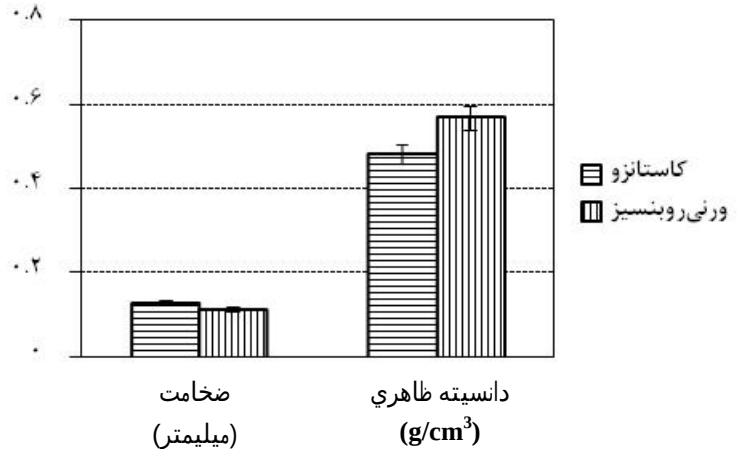
جدول٥- نتايج مربوط به پراكنش و شاخص طول الياف خميركاغذ كرافت تهيه شده از ٥ رقم صنوبر

رقم	١٤	٣٠	٥٠	١٠٠	٢٠٠	نرمه ٢٠٠<	شاخص طول الياف	سطح معني‌داري
كاستانزو	٠/٨٨	٢٧/٠٩	٣٢/٠٩	٢٤/٩٢	١/٠٣	١٣/٩٩	٠/٣٤٩	٠/٠٠٠**
ورني‌روبنسيز	٠	٠/٠٣	٤١/٠٤	٢٤/٢١	٧/٠٧	٢٧/٦٥	٠/٢١٦	

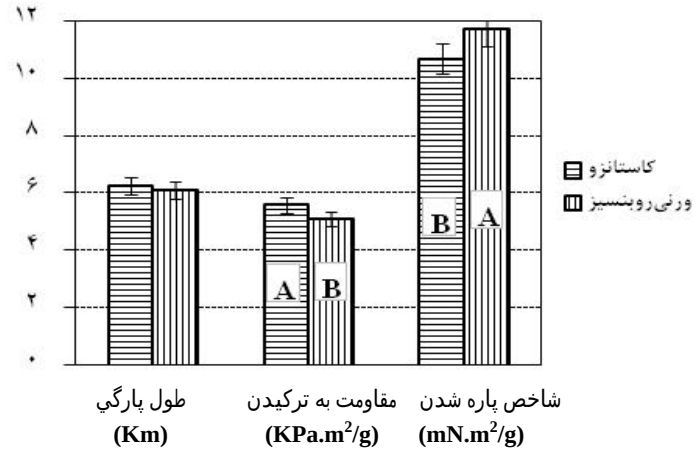
** اختلاف با احتمال ٩٩% معني‌دار است.

- ويژگي‌هاي كاغذ دست‌ساز

مقايسه ويژگي‌هاي فيزيكي و مقاومتي كاغذهاي دست‌ساز تهيه شده از خميركاغذ كرافت دو رقم صنوبر در شكل‌هاي ٧ و ٨ قابل مشاهده است. بين ميانگين ضخامت، دانسيته ظاهري و طول پارگي كاغذها اختلاف معني‌داري وجود ندارد، در حالي كه بين شاخص تركيدن و شاخص پاره‌شدن كاغذها اختلاف معني‌داري در سطح احتمال ٩٩% وجود دارد و دو رقم صنوبر از اين نظر در دو گروه مختلف A و B قرار مي‌گيرند.



شكل٢- مقايسه ميانگين ويژگي‌هاي فيزيكي كاغذ دست‌ساز دو رقم صنوبر



شكل٣- مقايسه ميانگين مقاومت‌هاي كاغذ دست‌ساز دو رقم صنوبر و گروه‌بندي ميانگين‌ها

بحث و نتيجه‌گيري

ابعاد خرده‌چوب‌ها

كوتاه شدن بيش از حد طول خرده‌چوب‌ها طي فرآيند خردكردن چوب منجر به بريده شدن و كوتاه شدن بيشتر الياف و در نتيجه ايجاد خواص مقاومتي ضعيف‌تر به ويژه شاخص مقاومت به پاره‌شدن كاغذ ساخته شده مي‌شود. زياد بودن طول خرده‌چوب‌ها فرآيند نفوذ مايع پخت به درون چوب را تحت تأثير قرار داده و مي‌تواند منجر به پخت ناقص خرده‌چوب‌ها شود. با توجه به اين مسئله، در تهية خرده‌چوب‌ها علاوه بر ضخامت كه عامل مهم در نفوذ مايع پخت به داخل چوب مي‌باشد، محدوده معيني براي طول خرده‌چوب‌ها در نظر گرفته مي‌شود كه حدوداً" بين ۱۲ تا ۳۰ ميلي‌متر مي‌باشد و بسته به گونه‌هاي سوزني‌برگ و پهن‌برگ و فرآيندهاي مختلف متغير مي‌باشد (Lindholm et al., 1999). ضخامت خرده‌چوبها دريک محدوده ۸-۲ ميلي‌متري تأثير معني‌داري در بازده خميركاغذ كرافت ندارند، اما خرده‌چوب‌هاي كمتر از ۲ ميلي‌متر به علت توليد نرمه زياد بازده و بزرگتر از ۸ ميلي‌متر به علت توليد وازده بيشتر، بازده بعد ازالک كمتري دارند (Croy, 2002).

با توجه به محاسبه ميانگين ابعاد خرده چوب هاي دو رقم صنوبر و مقايسه آنها با موارد فوق، مي‌توان گفت كه اين دو رقم از اين نظر در محدوده نسبتا" مناسبي قرار دارند. مقايسه آماري بين ابعاد خرده‌چوب‌هاي دو رقم مورد بررسي نشان داد كه اختلاف بين آنها معني‌دار نيست و اين اختلافات نمي‌تواند تأثير قابل‌توجهي بر ويژگي‌هاي خميركاغذ حاصله بگذارد. از سوي ديگر، تفاوت بين ابعاد خرده‌چوب‌ها را نيز مي‌توان به رطوبت اوليه متفاوت و دانسيته اين گونه‌ها نسبت داد كه طي فرآيند خرد شدن منجر به توليد ذراتي با اندازه متفاوت مي‌شود (Kamarei et al., 2009).

بازده و عدد كاپا

مقايسه شكل‌هاي ۲ و ۳ نشان مي‌دهد كه با تغيير تيمار شيميايي الف به ب و ملايم‌تر شدن اين شرايط، بازده پخت رقم كاستانزو نسبت به ورني‌روبنسيز بهبود پيدا مي‌كند. از طرف ديگر، اختلاف معني‌داري بين بازده خميركاغذ دو رقم صنوبر در پخت ۴۵ دقيقه وجود ندارد و بيشترين بازده در اين زمان پخت حاصل شده است. يكي از دلايل افزايش بازده مي تواند كمتر بودن درصد وازده خميركاغذ باشد كه نشان مي‌دهد پخت به خوبي صورت گرفته است. همچنين وجود تفاوت در جرم مخصوص، ريخت‌شناسي[1] الياف و تركيب شيميايي دو رقم (Rabiee et al.,2008) نيز مي‌تواند به عنوان دلايل احتمالي تغييرات بازده مطرح باشد. (Joon, 2000) بازده پخت خميركاغذ كرافت تهيه شده از صنوبرهاي دورگ را ۵۴/۶ درصد گزارش نموده است كه استفاده از قليائيت فعال كمتر و نيز ساير عوامل ذكر شده مؤثر بر بازده پخت كرافت (MacLeod et al., 2007) مي‌تواند از دلايل آن باشد. مقدار بازده به دست آمده با اعمال شرايط پخت: قليائيت فعال ۱۶ درصد، دماي پخت ۱۷۰درجه سانتي‌گراد و مدت زمان پخت ۹۰ دقيقه، با بازده‌هاي تحقيق حاضر تقريبا" يكي است. همچنين مي‌توان گفت با توجه به اين كه تأثير مدت زمان پخت و قليائيت فعال در يک راستا مي باشند، مقدار قليائيت فعال بيشتر در اين تحقيق با كاهش زمان پخت تا حدودي جبران شده است. مقايسه نتايج بدست آمده به نتايج(Francis et al., 2006) كه بازده صنوبرهاي دورگ[2] را براي فرآيند كرافت بين ۵۷/۱% تا ۵۳/۶% و اعداد كاپا را بين ۱۸/۴ تا ۱۳/۷ گزارش نموده است، نيز شبيه است.

[1] Morphology
[2] *P. alba ×P. grandidentata*, *P. deltoides×P. maximowiczii*

پالايش‌پذيري

جزء اساسي كاغذ الياف مي باشند، كه ويژگي‌هاي كاغذ نيز به آنها وابسته است. خواص مرفولوژيک الياف، نقش اصلي را براي مناسب بودن چوب يك گونه يا ديگر مواد اوليه توليد خمير و كاغذ دارد. ضريب انعطاف‌پذيري، ضريب لاغري و نسبت طول به ضخامت الياف[1] بالاتر و كمتر بودن ضريب رانكل مي‌تواند رفتار الياف را در كوبنده توجيه كند (Nasir, 2002). تفاوت بين شاخص پالايش‌پذيري دو رقم معني‌دار نيست ولي خميركاغذ كرافت رقم كاستانزو براي رسيدن به درجه‌رواني موردنظر، نياز بيشتري به پالايش دارد. الياف صنوبر به دليل انعطاف‌پذيري زياد، در زير تيغه‌هاي كوبنده لغزيده و در نتيجه براي پالايش آنها به انرژي نسبتا" بيشتري نياز مي‌باشد. صلبيت بيشتر الياف در رقم ورني‌روبنسيز، به دليل ضخيم‌تر بودن ديواره سلولي و ضريب رانكل، احتمالا" باعث كاهش اين لغزش و در نتيجه پالايش‌پذيري آسان‌تر آن شده است.

شاخص طول الياف

شاخص طول الياف خميركاغذ كرافت رقم كاستانزو(جدول ۵) بيشتر از رقم ورني‌روبنسيز مي‌باشد. الياف اوليه بلندتر (Rabiee, et al., 2008) و انعطاف‌پذيري بيشتر الياف اين رقم مي‌تواند از دلايل كاهش مقدار شكسته شدن الياف و توليد نرمه در حين توليد خميركاغذ و افزايش اين شاخص باشد. از طرف ديگر، نظريه تأثير منفي سرعت رشد درخت (جدول۱) بر طول الياف آن (Balatinez et al., 2001) در مقايسه دو رقم مورد بررسي قابل مشاهده است.

ويژگي‌هاي كاغذهاي دست‌ساز

علاوه بر متغيرهاي فرآيندي، خواص ذاتي الياف مانند قطر فيبر، ضخامت ديواره و قطر حفره سلولي نيز نقش عمده‌اي در شكل‌گيري ورق كاغذ و درنتيجه ضخامت آن دارند. كاغذ حاصله از الياف با ديواره نازک، فشرده‌تر و سنگين‌تر (داراي دانسيته بيشتر) مي‌باشد (Mirshokraei, 2003). بين ضخامت و دانسيته ظاهري كاغذهاي دو رقم، اختلاف معني‌داري وجود ندارد اما انتظار مي‌رفت كه بر خلاف نتايج به‌دست آمده، كاغذهاي رقم كاستانزو به دليل ديواره نازك‌تر و ضريب رانكل كمتر، ضخامت كمتر و دانسيته بيشتري داشته باشند. Ferancis et al., (2004) معتقدند كه ديواره نازك الياف به تنهايي نمي‌تواند رفتار الياف را در ورق كاغذ توجيه كند و عوامل ديگري مثل طول الياف و زاويه ميكروفيبريل‌ها در لايه S_2 نيز مؤثرند. علاوه بر اين، مقدار نرمه (<۲۰۰) رقم ورني‌روبنسيز در مقايسه با رقم كاستانزو حدود دو برابر است كه اين موضوع نيز مي‌تواند در كاهش ضخامت و افزايش دانسيته اين رقم مؤثر باشد. در ميزان طول پارگي اختلاف معني‌داري بين كاغذهاي دست ساز ساخته شده از دو رقم وجود ندارد. مقاومت در برابر تركيدن كاغذ عمدتاً متأثر از طول و اتصال بين الياف است. اگرچه با افزايش طول فيبر، مقاومت در برابر تركيدن نيز افزايش مي‌يابد، اين مقاومت بيشتر به اتصال الياف بستگي دارد. مقاومت به تركيدن به ميزان پيوند بين الياف بستگي دارد. هر چه مقدار ضريب طول به عرض الياف (ضريب لاغري يا درهم رفتگي) بالاتر برود، انعطاف پذيري الياف بيشتر شده و در نتيجه شانس شكل‌گيري اتصالات بهتر الياف در كاغذ افزايش مي يابد. برعكس، افزايش در سفتي الياف، كاهش در اتصال فيبرها را به دنبال خواهد داشت هرچقدر الياف انعطاف پذيري و همچنين قابليت فشردگي بيشتري داشته باشند، به دليل ايجاد پيوند هيدروژني بيشتر پيوند بين الياف افزايش مي‌يابد و در نتيجه مقاومت كاغذ افزايش مي يابد. وجود تفاوت معني دار بين

[1] L/T

مقاومت به ترکیدن کاغذهاي دست‌ساز ساخته شده از خمیرکاغذ دو رقم صنوبر مي‌تواند ناشي از بیشتر بودن میانگین شاخص طول الیاف خمیرکاغذ کاستانزو باشد که باعث افزایش مقاومت به ترکیدن آن شده است. علي‌رغم میانگین طول الیاف و شاخص طول الیاف کمتر در رقم ورني‌روبنسیز، مقاومت به پاره‌شدن کاغذ آن نسبت به رقم کاستانزو به طور معني‌داري بیشتر است و بر اساس آزمون دانکن، دو رقم در دو گروه مختلف جاي مي‌گیرند. مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج (Francis, et al., 2006) ، حاکي از بالاتر بودن مقاومت به پاره‌شدن کاغذهاي تهیه شده از دو رقم صنوبر است که احتمالا" مي‌تواند ناشي از وجود تفاوت در دانسیته، ابعاد الیاف، ترکیب شیمیایي، بازده و درجه رواني خمیرکاغذ و زاویه میکروفیبریل باشد. (Tabet & Abdul Aziz, 2010) همبستگي بین جرم‌مخصوص چوب با مقاومت به پارگي را مثبت گزارش نموده‌اند. (Via et al., 2004) اثر افزایش طول الیاف و کاهش زبري را بر انعطاف‌پذیري و لهیده شدن الیاف مثبت ارزیابي کرده‌اند. به عقیده آنها افزایش در زبري الیاف[1]، اثر منفي در شاخص مقاومت به کشش، دانسیته ظاهري، مقاومت به ترکیدن و طول پارگي کاغذ و اثر مثبت بر روي پارگي دارد. همانطور که (Rabiee, et al., 2008) گزارش نموده‌اند، میانگین طول و زبري الیاف در چوب رقم کاستانزو به ترتیب بیشتر و کمتر از رقم ورني‌روبنسیز است که به تبع آن در خمیرکاغذ این دو رقم نیز چنین مي‌باشد و موجب مي‌شود به غیر از مقاومت به پارگي، سایر مقاومت‌ها در کاغذ رقم کاستانزو بیشتر باشد. مقایسه نتایج به دست آمده با مقاومت‌هاي مجاز استانداردهاي ملي ایران ۲۸۷۵ و ۳۰۵۴ نشان مي‌دهد که صنوبرهاي مورد مطالعه از مقاومت‌هاي نسبتا" خوبي برخوردارند و مي‌توان از خمیرکاغذ این رقم‌ها در تولید این محصولات استفاده کرد. برنامه‌ریزي‌ها و تلاش‌هایي که در راستاي تولید هر چه بیشتر چوب صورت مي گیرد ضمن معرفي ارقام پر محصول و مقاوم براي مناطق آب و هوائي مختلف، باید به کوتاه نمودن زمان بهره برداري و بالا بردن کیفیت چوب نیز منجر شوند. به عبارت دیگر باید بتوان حداکثر تولید را با کیفیت مطلوب در حداقل زمان در واحد سطح به دست آورد، تا بخشي از نیازهاي چوبي جامعه از این طریق برطرف گردد. این بررسي نشان داد که رقم ورني‌روبنسیز از نظر مقاومت به پارگي کاغذ و نیز میزان تولید چوب (۲۷/۴۵ مترمکعب در هکتار در سال) به دلیل افزایش سوددهي و برگشت سریع‌تر سرمایه نسبت به رقم کاستانزو برتر است.

[1] Coarseness

References

- Ahmadi, N., Mohebi, B., and Behrooz, R., 2009. Influence of Chemi-Mechanical pulp (CMP) Acetylation on Paper Properties, Tarbiat Modares University, Faculty of Natural Resources, M.Sc. Thesis in Wood and PaperSciences. 56 pp.
- Balatinez, J., Kretschmann, D.E. and Leclercq, A. 2001. Achievements in the utilization of poplarwood - guideposts for the future. The Forestry Chronicle. Vol. 77(2): 265-269.
- Croy, T. 2002. Kraft Pulping of Individual Chip Thickness Fractions. Pulping Process & Product Quality Conference Proceedings, pp. 125-127.
- Ferancis, R.C., Brown A.F., Hanna, R.B., and Kamdem, D.P. 2004. The DN 30 hybrid poplar—a fiber source for high strength hardwood pulps, TAPPI J. 3(2):3-4.
- Ferancis, R.C., Brown A.F., Bosshert R.P., Balch S.E., and Waite D.M. 2007. Additional Hybrid Poplars with Papermaking Properties Superior Aspen, Empire State Paper Research Institute. SUNY College of Environmental Science and Forestry, Syracuse, New York 13210. 5 p.
- Francis, R.C. Hanna, R.B. Shin S.-J. Brown, A.F. and Riemenschneider, D.E. 2006. Papermaking characteristics of three populous clones grown in the north-central; United States a Faculty of Paper Science and Engineering, SUNY College of Environmental Science and Forestry (SUNY-ESF), Biomass and energy 30(8-9): 803-808.
- Ghasemi, R., jalili, A., Akbarinia, M. and Modirrahmati, A. 2001. Investigation on phonology of different poplar clones in mother collection of Alborz Research CENTER, Forest and Poplar Research Journal. 6: 18-24.
- Gorgi Bahri, Y. Hemati, A. and Mahdavi, R. 2007. Effect of medium and high thinning on *P. taeda* in Gillan, Forest and Poplar Research Journal,15: 217-239.
- Aghajani, M., Jahan Latibari, A., Pezeshkian, SH., Dorudi, M., and Salimi, A., 1987. Specification of bleached Kraft paper, Institute of Standards and Industrial Research of Iran, First edition, No. 2875.
- Vosoughi, F., Izadyar, S., Badri Kouhi, M., Heidari, K., Khooban, M., and Razavian, A., 1996. Liner paper – specification and methods of test, Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Second edition, No. 3054.
- Joon, A., 2000. High yield of hybrid poplar wood by integrating steam explosion process as a pre stage to alkali, MSc. Thesis, Faculty of Forestry, University of Toronto, Toronto, Canada. 88 p.
- Kamarei, M., Hamzeh, Y., Mahdavi, S., Azadfallah, M. and Hejazi, S., 2011. The effect of surfactants on CMP pulps of poplar, Journal of forest and wood products. 64(3). 231- 238.
- Lindholm, C. A., & Kurdin, J. A., 1999. Chemimechanical Pulping, Papermaking Science and Technology, Book 5: Mechanical Pulping. Finland. Fapet Oy. 321 p.
- MacLeod, M. 2007. The top ten factors in Kraft pulp yield, Paperi ja Puu – Paper and Timber, 89 (4):1-7.
- Mirshokraei, A., 2003. Handbook of Pulp and Paper Technology, Payam Noor University, Vol. 1, 354 p.
- Nasir, G.M. 2002. Fiber Morphology in Relation to Suitability for Pulp and Paper, Forest Products Research, Pakistan Forest Institute, Peshawar, 3 p.
- Nazarnejad, N. and Resalati, H., Jahan Latibari, A., Hosseinzadeh, A., and Talaeipour, M. 1996. Investigation on high yield CMP pulping of *P.deltoieds* and *P. Euromericana*, Journal of Pajoohesh va Sazandeghi**,** 36: 32-34.
- Noruzi, A. 2008. Problems against Iranian wood and paper industries developing. The first Iranian conference on supplying raw materials and development of wood & paper industries, Gorgan University, 16 p.
- Rabiee, S., Varshoei, A. and Mahdavi, S., 2008. Comparative study on morphological and chemical properties of five poplar clones, M.Sc. Thesis, Islamic Azad University, Chaloos Branch. 77 pp.
- Tabet, T. A. and Abdul Aziz, F.H. 2010. Influence of Microfibril Angle on Thermal and Dynamic-Mechanical Properties of *Acacia mangium* Wood Using X-Ray Diffraction and Dynamic-Mechanical Test, Proceedings of the World Congress on Engineering, Vol. II, London, U.K, pp. 1004-1009.
- Via, B.K., Stine, M., Shupe, T.F., So, C.L. & Groom, L. 2004. Genetic improvement of fiber length and coarseness based on paper product performance and material variability- A review, IAWA Journal.25 (4): 401–414.

Kraft Pulping of Two Fast Growing *Populus euramericana* Clones

S. Mahdavi[*1], H. Kermanian[2], O. Rameani[2] and S. Molavi[3]

[1] Assistant prof., Wood and Forest Product Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, I.R. Iran

[2] Assistant prof., Department of pulp and paper, Energy and New Technology Faculty, Zirab Branch, Beheshti University, I.R. Iran

[3] Graduated in Master of Science of Wood and Paper Science and Technology, I.R. Iran

(Received: 01 November 2010, Accepted: 03 August 2011)

Abstract

Based on the results of field experiments on poplar clones in Karaj, two fast-growing Clones of *Populus euramericana* i.e. *P.e. vernirubensis & P.e. costanzo* were selected for pulping investigation. Three trees from each clone at the age of 12 years were selected and samples were cut at the breast height. Average length, width and thickness of the chips showed no significant difference. Kraft pulping variables including five pulping times (15 to 75 min.) and two chemical charges (18 % AA at 23 % Sulfidity and 20 % AA at 25 % Sulfidity) were applied. The accepted yield, kappa number and rejects measurement of pulps showed that the optimal pulping condition is cooking time 45 min and AA 18% at 23% Sulfidity. The pulps from the two clones showed no significant difference in pulp beatability to target freeness of 400 ml CSF. Bauer McNett fiber classification test showed that *P.e. costanzo* provides higher fiber length and lower fines content. Statistical comparison of wood production, pulp and handsheet properties of the two clones indicated that *P*.e. *costanzo* is superior clone in burst strength index and average fiber length, whereas *P.e. vernirubensis* is more suitable in terms of growth rate and tear strength index. Significant differences were not observed between clones in other properties.

Keywords: Populus, kraft pulp, screen yield, kappa number., fiber classification, paper strengths

*Corresponding author: Tel: +98 26 36770810 Fax: +98 26 36771516 E-mail: smahdavi@rifr-ac.ir