بررسي رنگبري خمير كاغذ سودا از كاه گندم با روش كاملاً بدون كلر (TCF)

سحاب حجازي*[۱]، احمد جهان‌لتيباري[۲]، رودلف پات[۳]، اُتار كردزاخيا[۴]، داود پارساپژوه[۵] و اولريكه چيرنر[۶]
[۱] دانشجوي دوره دكتري علوم و صنايع چوب و كاغذ، دانشكده منابع طبيعي دانشگاه تهران، ايران
[۲] استاديار دانشگاه آزاد اسلامي‌واحد كرج، ايران
[۳] استاد كرسي خمير كاغذ دانشگاه هامبورگ،آلمان
[۴] محقق ارشد انستيتوي شيمي و تكنولوژي شيمي‌چوب، مركز فدرال تحقيقات جنگل و چوب، آلمان
[۵] استاد گروه علوم و صنايع چوب و كاغذ، دانشكده منابع طبيعي دانشگاه تهران، ايران
[۶] دانشيار دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه مينه سوتا
(تاريخ دريافت ۸۳/۱۲/۱۹، تاريخ تصويب ۸۴/۵/۱۵)

چكيده

صنعت خمير كاغذ از پسماندهاي كشاورزي در سطح جهان با چالش‌هاي جدي مواجه است. كاربرد توالي‌هاي كلردار براي رنگبري خمير كاغذهاي شيميايي از پسماندهاي كشاورزي، علاوه بر آلودگي‌هاي شديد زيست‌محيطي، دستيابي به سيستم بسته كارخانه‌اي را غيرممكن ساخته است. در اين تحقيق، استفاده از توالي كاملاً بدون كلر (O/Q/OP) بر خمير كاغذ سوداي كاه گندم بررسي شد. در مرحله ليگنين‌زدايي با اكسيژن (O)، از زمان در دو سطح ۹۰ و ۱۵۰ دقيقه، مقدار هيدروكسيد سديم بين ۱ تا ۴/۵ درصد و درصد خشكي بين ۸ تا ۱۶درصد (با تغييرات ۲ درصد) استفاده شد. مرحله رنگبري با پروكسيد هيدروژن تقويت شده با اكسيژن (OP) در دو مرحله انجام شد. در مرحله اول، مقدار پروكسيد هيدروژن بين ۱ تا ٤ درصد متغير بود و در بخش دوم، با ثابت نگه داشتن مقدار پروكسيد هيدروژن در مقدار ٤ درصد اثر مواد افزودني DTPMPA، $MgSO_4$ و $Na_2Si_2O_3$ در دو زمان ۹۰ و ۱۲۰ دقيقه ارزيابي شد. نتايج تجزيه و تحليل آماري نشان مي‌دهد كه در مرحله ليگنين‌زدايي با اكسيژن، تاثير درصد هيدروكسيد سديم، درجه حرارت و درصد خشكي بر عدد كاپا، گرانروي و درجه روشني در سطح ۱ درصد معني‌دار است و با استفاده از ۱ درصد هيدروكسيد سديم در زمان ۹۰ دقيقه تقريباً ٤۳ درصد ليگنين‌زدايي حاصل مي‌شود. در مرحله OP نيز نتايج حاصل حاكي از تاثير معني‌دار درصد پروكسيد هيدروژن، درجه حرارت و تركيبات مختلف مواد افزودني است كه در اين ميان نقش سيليكات سديم در حصول درجه روشني بالاتر از ۸۰ (ISO%) و كاهش شديد پروكسيد هيدروژن مصرف شده بارز است و مقدار افزودن اين تركيب نيز بايد حداقل ۲ درصد باشد. اندازه‌گيري مقاومت‌هاي مكانيكي خمير كاغذ رنگبري‌نشده و رنگبري‌شده نشان مي‌دهد كه عمليات رنگبري به صورت بسيار گزينش‌پذير انجام شده است و مقاومت‌هاي حاصله برتر از مقاومت‌هاي خمير كاغذ رنگبري‌شده با توالي CEH است. به طور كلي نتايج اين تحقيق نشان مي‌دهد كه با استفاده از فرايند رنگبري كاملاً بدون كلر O/Q/OP مي‌توان از يک سو درجه روشني و ويژگي‌هاي مقاومتي بيشتري را در مقايسه با توالي CEH به‌دست آورد و از سوي ديگر، مقدار AOX را به صفر رساند كه از لحاظ زيست‌محيطي اهميت زيادي دارد.

واژه‌هاي كليدي: كاه گندم، خمير كاغذ سودا، رنگبري TCF، ليگنين‌زدايي با اكسيژن، رنگبري با پروكسيد هيدروژن

نويسنده مسئول: تلفن: ۰۲۶۱-۲۲۲۳۰۴۴ فاكس: ۰۲۶۱-۲۲۴۹۳۱۱ E-mail:s.hedjazi@nrf.ut.ac.ir

مقدمه

توسعه موفق فرايندهاي خمير كاغذسازي با استفاده از پسماندهاي كشاورزي، نيازمند نوعي از فناوري است كه قادر باشد از پتانسيل خمير كاغذسازي انواع پسماندهاي كشاورزي به‌طور كامل بهره‌برداري كند؛ بدين معنا كه گزينش‌پذيري در فرايندهاي خمير كاغذسازي و رنگبري بايد در سطح مطلوبي قرار داشته باشد تا بتوان خمير كاغذهايي با بازده زياد و ويژگي‌هاي مقاومتي خوب توليد كرد و رنگبري اين نوع خمير كاغذها بايد با استفاده از توالي‌هاي كاملاً بدون كلر (TCF)[1] انجام شود. اين مسئله علاوه بر غلبه بر آلودگي‌هاي زيست‌محيطي، بسته شدن سيستم آب واحد رنگبري و به روش كامل‌تر بسته شدن كل سيستم آب كارخانه را بسيار تسهيل مي‌كند. بسته شدن سيستم آب كارخانه خمير كاغذ، بازيابي كارآمد مواد شيميايي پخت را موجب مي‌شود كه از نظر فني و اقتصادي اهميت زيادي دارند.

متاسفانه بايد اذعان داشت كه درحال حاضر در ايران و بيشتر كشورهاي توليدكننده خمير كاغذ شيميايي از پسماندهاي كشاورزي، براي رنگبري از فناوري قديمي‌شامل توالي رنگبري CEH استفاده مي‌شود. اين توالي سنتي رنگبري، علاوه بر اينكه حصول سيستم بسته را در كارخانه خمير كاغذ غيرممكن مي‌سازد، منشا توليد مواد سرطان‌زا، سمي و خطرناک ديوكسين‌ها و فوران‌ها است كه از جمله آلاينده‌هاي آلي پايدار (POPs)[2] محسوب مي‌شوند و از طرق مختلف قادر به ورود به چرخه زندگي و زنجيره غذايي انسان مي‌باشند.

دولت جمهوري اسلامي‌ايران از امضاكنندگان سند نهايي كنوانسيوني در سال ۲۰۰۱ ميلادي در كشور سوئد است كه خواهان حذف ديوكسين‌ها و فوران‌ها در منبع توليد و كاهش مقدار AOX[3]، BOD[4]، COD[5]، TOC[6]، TSS[7] و رنگ پساب كارخانه‌هاي خمير كاغذ فعلي يا در حال احداث ايران و ساير كشورهاي استفاده‌كننده از توالي‌هاي رنگبري كلردار تا سطح مصوب استاندارد جهاني شده است. تحقق اين اهداف مستلزم به‌كارگيري توالي‌هاي مدرن رنگبري ECF[8] يا TCF است. از نظر زيست‌محيطي، بار پساب ECF و TCF تقريباً با هم برابرند. اما در حال حاضر يكي از بزرگ‌ترين چالش‌هاي صنعت خمير كاغذ، بستن سيكل گردش آب كارخانه است كه اين مسئله با استفاده از فناوري TCF سهل‌الوصول‌تر است.

در اين تحقيق، استفاده از فناوري رنگبري TCF بر خمير كاغذ حاصل از يكي از مهم‌ترين پسماندهاي كشاورزي ايران با استفاده از متداول‌ترين فرايند خمير كاغذسازي از پسماندهاي كشاورزي (فرايند سودا) بررسي شد.

ميسرا (۱۹۸۰) گزارش كرده است كه خمير كاغذ سوداي كاه گندم براي رنگبري در مقايسه با خمير كاغذ سوداي باگاس به نسبت مقاوم‌تر است و براي رسيدن به درجه روشني ۸۰ (%ISO) در توالي CEH، ۱۰-۸ درصد كلر مصرف مي‌كند كه فوق‌العاده زياد است و آلايندگي زيادي دارد.

سرينيوازا رائو و مهشوري (۱۹۸۷) مشخص كردند كه در مورد كاه گندم توالي رنگبري CEH با كمترين مصرف كلر در مقايسه با توالي CHH و HH خمير كاغذهايي با بيشترين مقاومت را توليد مي‌كند. توالي رنگبري HH ضعيف‌ترين خمير كاغذها را در اختيار قرار مي‌دهد.

لي و همكاران (۲۰۰۰) در مطالعه‌اي با هدف مقايسه پايداري پروكسيد هيدروژن در محلول‌هاي كربنات سديم در مقايسه با سود سوزآور در شرايط pH، درجه حرارت و مقاومت يوني برابر و با اعمال سه عامل پايدارکننده پروكسيد هيدروژن (سولفات منيزيم، سيليكات سديم و دي اتيلن تري آمين پنتا استيک اسيد)، نتيجه گرفتند كه پروكسيد هيدروژن در مايع كربنات سديم خيلي سريع تر از مايع سود سوزآور تجزيه مي‌شود و اين اثر مربوط به حضور

۱- Total Chlorine Free
۲- Persistent Organic Pollutants
۳- Adsorbable Organic Halogen
۴- Biochemical Oxygen Demand
۵- Chemical Oxygen Demand
۶- Total Organic Carbon
۷- Total Suspended Solids
۸- Elemental Chlorine Free

مقدار اندكي يون‌هاي فلزات واسطه كاتاليزكننده در اين محلول‌ها نيست. آنها دريافتند كه آنيون كربنات در تجزيه پروكسيد هيدروژن نقش دارد.

جيمنز و همكاران (۲۰۰۰) در مطالعه رنگبري خمير كاغذ كاه گندم با استفاده از آنزيم (كارتازيم) در توالي اكسيژن – پروكسيد هيدروژن دريافتند كه تيمار با آنزيم موجب كاهش معني‌داري (۷/۱ درصد) در بازده خمير كاغذ مي‌شود كه نشان‌دهنده اثر تخريبي آنزيم‌ها بر همي‌سلولزهاست. كاهش بازده در تيمار XO (آنزيم – اكسيژن) ۹/۲ درصد و در خمير كاغذ رنگبري‌شده با توالي XOP، ۲۵/۸ درصد و براي توالي OP، ۹/۸ درصد بود. از سوي ديگر، خمير كاغذ رنگبري‌شده با توالي XOP درجه روشني ۷۵/۵ (ISO%) يعني ۱۱ واحد بيشتر از خمير كاغذ رنگبري‌شده با توالي OP (۶۴/۷، ISO%) را دارا بود. خواص كاغذهاي دست‌ساز براي خمير كاغذ تيمارشده با توالي XOP در تمام موارد به استثناي شاخص پارگي برتر بودند.

ون و همكاران (۲۰۰۲) مطالعه‌اي را به‌منظور بهبود رنگبري خمير كاغذ سوداي كاه گندم انجام دادند. نتيجه تحقيق آنان نشان داد كه افزودن پروكسيد هيدروژن در مرحله استخراج قليايي توالي CEH، درجه روشني نهايي را افزايش مي‌دهد، همچنين موجب كاهش مصرف هيپوكلريت براي حصول درجه روشني موردنظر مي‌شود. در اين حالت گرانروي نهايي و ويژگي‌هاي مقاومتي خمير كاغذ نيز بهبود مي‌يابد. نتايج تحقيق آنان نشان داد كه در صورت جايگزيني كامل هيپوكلريت با پروكسيد هيدروژن (توالي CP)، براي حصول اثر بهينه پروكسيد، زمان ماندگاري خمير كاغذ در مرحله P بايد برابر با زمان ماندگاري مراحل E و H در توالي سنتي باشد. دماي ۸۰ درجه سانتيگراد بهترين نتيجه را در مرحله P داشته و با تزريق ۴ درصد پروكسيد هيدروژن، درجه سفيدي برابر با ۷۸ درصد ISO حاصل آمده است. مقدار AOX در اين حالت ۵۰ درصد كاهش داشته است و ويژگي‌هاي مقاومتي خمير كاغذ به‌طور معني‌داري تحت تاثير واقع نشده‌اند.

پات و كردزاخيا (۲۰۰۰ و ۲۰۰۱) تحقيقات متعددي بر رنگبري كاملاً بدون كلر (TCF) خمير كاغذهاي مختلف از گونه‌هاي چوبي متفاوت انجام دادند كه تمامي‌حاكي از نتايج بسيار خوب و موفقيت در حصول سيستم بسته است.

مواد و روشها

مواد اوليه

مواد اوليه اين تحقيق از كاه گندم نوع چمران از مزرعه آموزشي دانشگاه فردوسي مشهد واقع در استان خراسان رضوي انتخاب شد. ابتدا برگ و خاشاک نمونه‌ها جدا شده، سپس براي سهولت انجام آزمايش‌ها و عمليات پخت كاه به قطعاتي به طول سه تا پنج سانتيمتر خرد شد. براي انجام آزمايش‌ها كليه نمونه‌ها به انستيتوي شيميچوب و تكنولوژي شيميچوب دانشگاه هامبورگ[1] و مركز فدرال تحقيقات چوب و كاغذ آلمان (BFH)[2] منتقل شدند.

انجام آزمايش‌هاي پخت

عمليات پخت در ديگ پخت آزمايشگاهي چرخان ۱۵ ليتري صورت گرفت. براي هر پخت از ۳۰۰ گرم ماده اوليه بر مبناي وزن خشك استفاده شد. فرايند اصلي پخت فرايند سودا انتخاب شده است. زمان رسيدن به درجه حرارت پخت و زمان پخت در كليه آزمايش‌ها ۶۰ دقيقه ثابت نگه داشته شد. عوامل متغير در اين فرايند شامل درصد قليايیت در سه سطح ۱۵، ۱۶ و ۱۸ درصد (بر مبناي NaOH)، درجه حرارت (۱۶۰، ۱۶۵ و ۱۷۰ درجه سانتيگراد) و نسبت مايع پخت به كاه در حد ٤ به ۶،۱ به ۱ و ۸ به ۱ بود كه پس از انجام پيش‌آزمايش‌ها تعيين شدند.

بعد از هر پخت، خمير كاغذ خارج شده از ديگ پخت شسته شده و در ليفي‌كننده آزمايشگاهي از يكديگر جدا شدند. در نهايت توسط غربال آزمايشگاهي با اندازه الك ۰/۱۵ ميلي‌متر، الياف قابل قبول از وازده‌هاي الك (تراشه‌ها) جدا شدند. بعد از اين مرحله، از خمير كاغذ

۱- Zentrum Holzwirtschaft – Holzchemie -

۲- Bundesforschungsanstalt Für Forst-und Holzwirtschaft, Institut Für Chemie und chemische Technologie des Holzes

آبگيري شد و پس از باز كردن الياف، خمير كاغذ براي عمليات بعدي در كيسه پلي اتيلني در سردخانه و در دماي ۵ درجه سانتيگراد نگهداري شد.

آزمايش‌هاي رنگبري

پس از ارزيابي ويژگي‌هاي خمير كاغذ، خمير كاغذ بهينه انتخاب و از اين خمير كاغذ براي ارزيابي توالي‌هاي رنگبري TCF استفاده شد. در اين تحقيق، از توالي O/Q/OP استفاده شد. شرح عمليات رنگبري به‌صورت زير است:

ليگنين‌زدايي با اكسيژن (**O**)

عمليات ليگنين‌زدايي با اكسيژن در اتوكلاوهاي ۲۰۰ ميلي‌ليتري و شارژهاي بزرگ در اتوكلاوهاي ۲ ليتري صورت گرفت. اين اتوكلاوها كه پوشش داخلي آنها از تفلون است، تحت چرخش در حمام روغن سيليكون حرارت‌دهي مي‌شدند. نمونه خمير كاغذ ابتدا در كيسه پلي اتيلني با محلول هيدروكسيد سديم در درصد خشكي مورد نظر مخلوط شده و پس از اندازه‌گيري pH به اتوكلاو رنگبري منتقل و پس از بسته شدن در اتوكلاو اكسيژن با فشار ۰/٦ مگاپاسكال تزريق شدند. پس از پايان عمليات ليگنين‌زدايي با اكسيژن، بار ديگر pH اندازه‌گيري شد. مدت زمان ليگنين‌زدايي با اكسيژن در ۲ سطح (۹۰ و ۱۵۰ دقيقه) و مقدار NaOH براي زمان ۹۰ دقيقه در ۸ سطح (۱ تا ۴/۵ درصد بر مبناي وزن كاملاً خشک خمير كاغذ) و براي زمان ۱۵۰ دقيقه در ۴ سطح (۱ تا ۴ درصد بر مبناي وزن كاملاً خشک خمير كاغذ) انتخاب شد.

مرحله كي ليت كردن (**Q**)

براي عمليات كي ليت كردن و خارج كردن فلزات واسطه، خمير كاغذهاي مورد نظر براي رنگبري در درصد خشكي سه درصد با اسيد سولفوريك تا مقدار pH برابر با ۵/۵-۵ اسيدي شدند. سپس ۰/۲ درصد DTPA (دي اتيلن تري آمين پنتا استيك اسيد) به‌عنوان كمپلكس‌ساز اضافه شد. مرحله كي ليت كردن در كيسه‌هاي سر بسته پلي‌اتيلني در حمام بخار و در دماي ٦۰ درجه سانتيگراد به مدت ۳۰ دقيقه انجام شد.

مرحله رنگبري با پروكسيد تقويت‌شده با اكسيژن (**OP**)

اين مرحله از نظر نحوه اجرا مشابه مرحله ليگنين‌زدايي با اكسيژن (O) است، با اين تفاوت كه علاوه بر اكسيژن، در اين مرحله از پروكسيد هيدروژن نيز استفاده مي‌شود. علاوه بر پروكسيد هيدروژن، متناسب با شرايط هر نوع خمير كاغذ مورد رنگبري از سولفات منيزيم ($MgSO_4$)، سيليكات سديم ($Na_2Si_2O_3$) و DTPMPA (دي اتيلن تري آمين پنتا متيلن فسفونيك اسيد) به‌عنوان مواد افزودني استفاده شده است. پس از مرحله OP، از پساب براي اندازه‌گيري مقدار پروكسيد هيدروژن باقيمانده نمونه‌برداري شده است.

رنگبري در دو مرحله و در هر مرحله با تغيير بعضي از عوامل مؤثر انجام گرفته است. در مرحله اول همه تاثير تغيير مقدار پروكسيد هيدروژن (۱ تا ٤ درصد) و هيدروكسيد سديم (۱/۲۵، ۱/۷۵، ۲/۲۵ و ۲/۷۵ درصد) و در مرحله دوم با ثابت نگه داشتن مقدار پروكسيد هيدروژن در مقدار ٤ درصد و هيدروكسيد سديم در مقدار ۲/۷۵ درصد تاثير ماده كي‌ليت‌كننده (۰ و ۰/۰۵ درصد)، $MgSO_4$ (۰، ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۴ درصد)، $Na_2Si_2O_3$ (۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ و ۳درصد) و زمان ۹۰ و ۱۲۰ دقيقه ارزيابي شد.

آناليز خمير كاغذ

آناليز خمير كاغذ بر اساس استانداردهاي زير صورت گرفت:

- تعيين وزن خشك خمير كاغذ در اتو و در داماي ۱۰۵ درجه سانتيگراد بر اساس استاندارد Zellcheming-Vorschrift IV/٤۲/٦۷؛
- تعيين بازده از طريق محاسبه نسبت وزن خشك بعد از هر تيمار به وزن خشك قبل از تيمار؛
- اندازه‌گيري عدد كاپا براي خمير كاغذهاي رنگبري‌نشده بر اساس استاندارد Zellcheming-Vorschrift /۳۷/۸۰ IV؛

ـ انـدازه‌گيـري عـدد ميكروكاپـا بـراي خميـر كاغـذهاي رنگبري‌شده بر اساس استاندارد TAPPI UM ٢٤٦؛

ـ انـدازه‌گيـري مقـدار گرانـروي بـر اسـاس استاندارد Zellcheming-Vorschrift IV/٣٦/٦١؛

ـ اندازه‌گيري مقدار فلزات واسطه خمير كاغذ با استفاده از طيـف سـنج جـذب اتمـي(AAS)[1] سـاخت كارخانـه Perkin Elmer؛

ـ تعيـين درجـه سـفيدي ISO بـا فتـومتر Elrepho 2000, DATACOLOR GmbH، بر اساس استاندارد Zellcheming-Vorschrift V/١٩/٦٣؛

ـ اندازه‌گيري مقدار ماتي با فتومتر Elrepho 2000، بـر اساس استاندارد Zellcheming-Vorschrift V /١/٦٦؛

ـ اندازه‌گيري ضـريب پخـش نـور بـا فتـومتر Elrepho 2000، بر اساس استاندارد SCAN C ٢٧:٧٦؛

ـ پالايش خمير كاغذ در پالايشـگر آزمايشـگاهي Jokro-Mühle بـه مـدت ٠، ٢، ٤، ٦ و ٨ دقيقـه و سـپس انـدازه‌گيـري درجـه روانـي بـر اسـاس اسـتاندارد Zellcheming-Vorschrift V/٣/٦٢؛

ـ تهيه كاغذ آزمايشگاهي با ماشين كاغذساز آزمايشـگاهي كارخانـه Frank و بـر اسـاس اسـتاندارد Zellcheming-Vorschrift V /٨/٧٦؛

ـ اندازه‌گيري وزن كاغذ آزمايشگاهي و ضخامت آن بر اساس استاندارد Zellcheming-Vorschrift V /١٢/٥٧؛

ـ اندازه‌گيري طول پاره شدن و مقاومت به تركيدن بر اساس استاندارد Zellcheming-Vorschrift V /١٢/٥٧؛

ـ تعيين مقاومت به پاره شدن بـر اسـاس اسـتاندارد ١٢٨ DIN ٥٣.

طرح آماري: تجزيه و تحليل آماري اين تحقيق با استفاده از روش تجزيه واريانس يكطرفه[2] و گروه‌بندي ميانگين‌هـا از طريق آزمون دانكن انجام شده است.

١- Atomic Absorption Spectroscopy

٢- One way classification ANOVA

نتايج

به دليل اينكه هدف اصلي اين تحقيق ارزيابي كاربرد فرايند رنگبري TCF بر خمير كاغذ سودا از كاه گندم بود، ازاين‌رو در جدول ۱ فقط به ارائه نتايج پخت‌هاي انجام شده براي رسيدن به خمير كاغذ مناسب رنگبري اكتفا مي‌شود.

جدول ۱- ويژگي‌هاي خمير كاغذ سودا از كاه گندم*

قليايیت (%)	نسبت مايع پخت/كاه	درجه حرارت (سانتيگراد)	بازده بعد از پخت (%)	بازده بعد از غربال (%)	وازده (%)	عدد كاپا	گرانروي (ml/g)	درجه روشني (%ISO)
۱۵	۱/۴	۱۶۰	۴۸/۵	۴۳/۹	۴/۶	۲۴/۳	۹۳۴	۲۳
		۱۶۵	۴۹/۸	۴۴/۹	۴/۹	۲۴/۵	۸۸۶	۱۹/۴
		۱۷۰	۵۱/۸	۴۶/۷	۵/۱	۳۰	۹۰۹	۲۴/۶
۱۶	۱/۴	۱۶۰	۵۲/۴	۴۶/۸	۵/۶	۲۵	۸۸۱	۲۴/۶
		۱۶۵	۵۲	۴۹/۴	۲/۶	۲۴/۵	۹۲۵	۲۵
		۱۷۰	۵۰/۹	۴۷/۷	۳/۱	۲۴/۵	۹۲۴	۲۴/۱
	۱/۶	۱۶۰	۴۶/۱	۴۲/۹	۳/۲	۱۷/۸	۹۷۴	۲۹/۶
		۱۶۵	۴۶/۵	۴۴/۴	۲/۱	۱۶/۴	۹۷۳	۲۷/۲
	۱/۸	۱۶۰	۴۹/۱	۴۵/۶	۳/۵	۱۶/۹	۹۵۸	۲۷/۶
		۱۶۵	۴۵/۲	۴۲/۷	۲/۴	۱۷/۶	۹۸۸	۲۷/۷
۱۸	۱/۶	۱۶۰	۴۷	۴۴/۸	۲/۲	۱۵/۶	۹۷۵	۳۳/۷
۱۶**	۱/۶	۱۶۰	۴۷/۹	۴۵	۲/۹	۱۶/۹	۹۳۹	۲۸/۹

* به استثناي پخت منتخب براي رنگبري، در كليه پخت‌ها زمان رسيدن به درجه حرارت پخت و زمان پخت ۶۰ دقيقه ثابت در نظر گرفته شده است.

** ويژگي‌هاي مخلوط سه پخت كه براي رنگبري با زمان رسيدن به درجه حرارت پخت ۹۰ دقيقه و زمان پخت ۹۰ دقيقه انجام گرفته است.

مرحله ليگنين‌زدايي با اكسيژن (O)

نتايج عمليات ليگنين‌زدايي با اكسيژن در جدول ۲ خلاصه شده است. نتايج تجزيه و تحليل آماري نشان مي‌دهد كه تغيير درصد هيدروكسيد سديم در زمان ۹۰ و ۱۵۰ دقيقه بر درجه روشني (شكل ۱)، عدد كاپا و گرانروي (شكل ۲) در سطح ۱ درصد معني‌دار شده است (جدول ۳). در دو زمان ۹۰ و ۱۵۰ دقيقه در اثر افزايش درصد هيدروكسيد سديم از ۱ تا ٤ درصد عدد كاپا كم شده و درجه روشني افزايش يافته است. درحالي‌كه تغييرات گرانروي از روند مشخصي پيروي نمي‌كند. همان‌طور كه از شكل ۱ و گروه‌بندي ميانگين‌ها به روش دانكن مشخص است، تغيير در درصد هيدروكسيد سديم در سطوح ۱ و ۲ درصد بين دو زمان ۹۰ و ۱۵۰ دقيقه بر درجه روشني از نظر آماري در سطح ۱ درصد معني‌دار نيست و اختلاف بين اين دو زمان از سطح ۳ درصد هيدروكسيد سديم آغاز مي‌شود. همان‌طور كه جدول ٤ نشان مي‌دهد، تغيير درصد خشكي در مرحله ليگنين‌زدايي با اكسيژن در سطح ۱ درصد معني‌دار شده است. در گروه‌بندي ميانگين‌ها به روش دانكن مشخص شده كه بيشترين درجه روشني در درصد خشكي ١٦حاصل شده است (گروه A) و به ترتيب درجه روشني در درصد خشكي‌هاي ١٤، ١٢، ١٠ و ٨ قرار گرفته‌اند. از نظر عدد كاپا، كمترين عدد كاپا در درصد خشكي ١٦حاصل شده است. به طور كلي نتايج مطلوب از

عمليات ليگنين‌زدايي در درصد خشكي ۱۶ ناشي از حـذف نسبي فاز مايع و سهولت انتقال جرم از فـاز گـازي بـه فـاز جامد است.

شكل ۲ تاثير درصد هيدروكسيد سديم و زمان را بر عـدد كاپا و گرانروي خمير كاغذ سـودا از كـاه گنـدم در مرحلـه ليگنين‌زدايي بـا اكسـيژن در درجـه حـرارت $98^{\circ}c$ نشـان مي‌دهد. همان‌طور كه مشاهده مي‌شود، بـا افـزايش درجـه حرارت گزينش‌پذيري مرحله ليگنين‌زدايي بـا اكسـيژن بـه شدت كاهش يافته است. اگرچه افزايش درجـه حـرارت در هر يک از سطوح مقدار هيدروكسيد سديم به كـاهش عـدد كاپا منجر شده است، اما اين مسئله موجب تخريـب سـلولز خمير كاغذ و كاهش گرانروي شده است و در نهايت كاهش مقاومت‌هاي خمير كاغذ را به دنبال دارد.

جدول ۲- ويژگي‌هاي خمير كاغذ سودا پس از ليگنين‌زدايي با اكسيژن از كاه گندم*

زمان (دقيقه)	هيدروكسيد سديم (%)	درصد خشكي (%)	درجه روشني (%ISO)	عدد كاپا	گرانروي (ml/g)
۹۰	۱/۵	۱۰	۳۷/۵	۸/۵	۹۴۷
	۲/۵	۱۰	۳۹/۳	۷/۸	۹۱۸
	۳/۵	۱۰	۴۰	۷/۶	۹۱۹
	۴/۵	۱۰	۴۲/۲	۷/۴	۸۹۶
	۲/۵	۸	۴۰/۵	۸/۵	۹۴۲
	۲/۵	۱۲	۴۱/۳	۷/۷	۹۰۹
	۲/۵	۱۴	۴۳/۸	۷/۵	۹۵۲
	۲/۵	۱۶	۴۶/۴	۷	۸۸۷
۹۰**	۲/۵	۱۰	۳۷/۳	۹/۱	۹۲۳

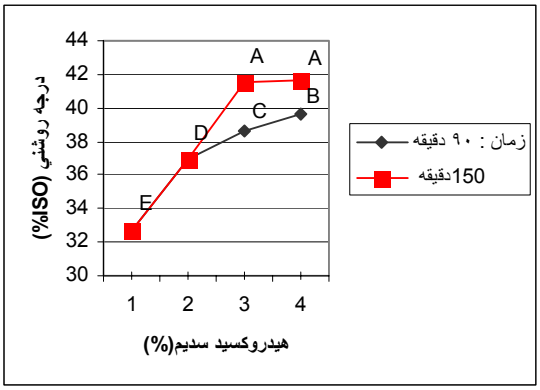
* در كليه آزمايش‌ها درجه حرارت به مقدار $98^{\circ}c$ و فشار اكسيژن **۰/۶MPa** ثابت در نظر گرفته شده است.

** خمير كاغذ انتخاب شده براي رنگبري با مرحله **OP**

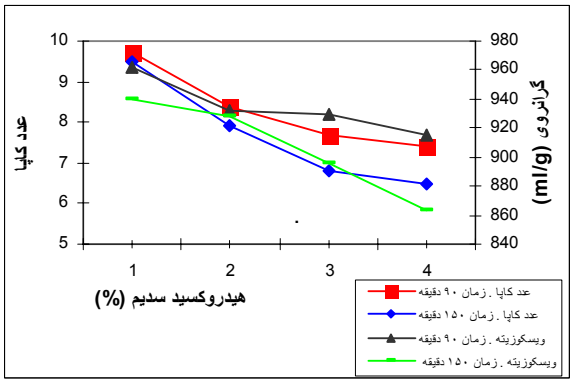
جدول ۳- خلاصه جدول تجزيه واريانس مربوط به مقايسه ميانگين‌ها بين تيمارهاي با درصد هيدروكسيد سديم (۴-۱ درصد) و زمان متغير (۱۵۰-۹۰ دقيقه)

پارامتر	منبع	DF	Anova SS	Mean Square	Pr > F	نتيجه
درجه روشني	A	۱	۶/۲۵	۶/۲۵	۰/۰۰۰۱	**
	B	۳	۱۵۹/۲۱	۵۳/۰۷	۰/۰۰۰۱	**
	A*B	۳	۶/۵۷	۲/۱۹	۰/۰۰۰۱	**
عدد كاپا	A	۱	۱/۵۶۲۵	۱/۵۶۲۵	۰/۰۰۰۱	**
	B	۳	۱۶/۹۸۷۵	۵/۶۶۲۵	۰/۰۰۰۱	**
	A*B	۳	۰/۳۴۷۵	۰/۱۱۵۸۳۳۳۳	۰/۰۰۰۳	**
گرانروي	A	۱	۳۰۸۰/۲۵	۳۰۸۰/۲۵	۰/۰۰۰۱	**
	B	۳	۸۳۰۶/۷۵	۲۷۶۸/۹۱۶۶۶۷	۰/۰۰۰۱	**
	A*B	۳	۱۲۱۲/۷۵	۴۰۴/۲۴	۰/۰۰۰۱	**

** در سطح يک درصد معني دار **A**= درصد هيدروكسيد سديم (۴-۱ درصد) **B**= زمان (۹۰ و ۱۵۰ دقيقه)



شكل ۱- تاثير مقدار هيدروكسيد سديم و زمان بر درجه روشني خمير كاغذ سوداي كاه گندم در مرحله ليگنين‌زدايي با اكسيژن



شكل ۲- تاثير درصد هيدروكسيد سديم و زمان بر عدد كاپا و گرانروي خمير كاغذ سوداي كاه گندم در مرحله ليگنين‌زدايي با اكسيژن در دماي ۹۸ درجه سانتيگراد

با توجه به نتايج مرحله ليگنين‌زدايي با اكسيژن، خمير كاغذ حاصله با شرايط درجه حرارت $98^{\circ}c$، زمان ۹۰ دقيقه و هيدروكسيد سديم ۲/۵ درصد (جدول ۲)، براي ورود به مرحله بعدي آزمايش‌هاي رنگبري انتخاب شده است.

جدول ٤- خلاصه جدول تجزيه واريانس مربوط به مقايسه ميانگين‌ها بين تيمارهاي با درصد خشكي متفاوت

پارامتر	DF	Anova SS	Mean Square	Pr > F	نتيجه
درجه روشني	۴	۶۴/۵۸۴	۱۶/۱۴۶	۰/۰۰۰۱	**
عدد كاپا	۴	۲/۳۶	۰/۵۹	۰/۰۰۰۱	**
گرانروي	۴	۵۴۱۸/۴	۱۳۵۴/۶	۰/۰۰۰۱	**

** در سطح يک درصد معني دار

ـ مرحله كي‌ليت‌كردن (Q)

هدف اصلي مرحله كي‌ليت‌كردن، خروج فلزات واسطه مانند منگنز، آهن و مس از خمير كاغذ است. اين فلزات مي‌توانند موجب تجزيه پروكسيد هيدروژن در مراحل رنگبري با پروكسيد هيدروژن شوند و در نتيجه كارايي عمليات رنگبري را كاهش دهند. در بين اين فلزات واسطه، به‌ويژه منگنز مخرب‌ترين اثر را دارد. جدول ۵ مقدار فلزات واسطه قبل و بعد از مرحله كي‌ليت‌كردن را نشان مي‌دهد. همان‌طور كه مشاهده مي‌شود، پس از مرحله كي‌ليت‌كردن مقدار فلزات واسطه به شدت كاهش يافته است، در عين حال مقدار فلزات قليايي خاكي نيز دستخوش كاهش شده است. مرحله كي‌ليت‌كردن علاوه بر هدف اصلي موجب افزايش درجه روشني خمير كاغذ بدون تحت تاثير قرار گرفتن ساير پارامترهاي آن مانند عدد كاپا و گرانروي مي‌شود (شكل ۱۱).

جدول ۵- تاثير مرحله كي‌ليت‌كردن بر كاهش فلزات واسطه

مرحله	مس (ppm)	آهن (ppm)	منگنز (ppm)	منيزيم (ppm)	كلسيم (ppm)
قبل از كي‌ليت‌كردن	۱۶۳	۱۱۳	۸۵	۲۵۳۷	۲۹۵۳
بعد از كي‌ليت‌كردن	۷	۸۵	۳	۵۴۰	۸۵۳

مرحله رنگبري با پروكسيد هيدروژن تقويت‌شده با اكسيژن (**OP**)

هدف اصلي مرحله رنگبري با پروكسيد هيدروژن، افزايش درجه روشني خمير كاغذ است، اما به علت بالا بودن عدد كاپاي خمير كاغذ اين تحقيق از مرحله رنگبري با پروكسيد هيدروژن تقويت شده با اكسيژن استفاده شده تا هر دو اثر كاهش ليگنين خمير كاغذ و افزايش درجه روشني به صورت همزمان حاصل شود. نتايج اين مرحله در جدول (٦) خلاصه شده است. به‌علاوه جدول ۷ نشان مي‌دهد كه تغيير درصد پروكسيد هيدروژن بين ۱ تا ٤ درصد در زمان ۹۰ دقيقه در سطح ۱ درصد بر عدد كاپا، درجه روشني، گرانروي و مقدار پروكسيد هيدروژن مصرف شده اثر معني‌دار دارد. از گروه‌بندي ميانگين‌ها مشخص شده است كه درجه روشني حاصل از مصرف ٤ درصد پروكسيد هيدروژن بيشترين مقدار را داشته و در گروه A قرار مي‌گيرد و روند در مورد ساير سطوح پروكسيد هيدروژن در شكل ۳ نشان داده شده است. به‌طور كلي، همان‌طور كه جدول (٦) نشان مي‌دهد، حصول درجه روشني بيش از ۸۰ (%ISO) با استفاده از افزودنيهاي متداول مرحله OP يعني $MgSO_4$ و DTPMPA محقق نگرديده است، بنابراين در آزمايش‌هاي بخش دوم با استفاده از ۴ درصد پروكسيد هيدروژن، اثر تغيير مقدار افزودني‌هاي مذكور و افزودن سيليكات سديم بررسي شده است.

جدول ۶- ويژگي‌هاي خمير كاغذ سوداي كاه گندم رنگبري‌شده با مرحله پروكسيد هيدروژن تقويت شده با اكسيژن*

زمان (دقيقه)	هيدروكسيد سديم (%)	پروكسيد هيدروژن (%)	DTPMPA (%)	سولفات منيزيم (%)	سيليكات سديم (%)	درجه روشني (%ISO)	عدد كاپا	گرانروي (ml/g)	پروكسيد هيدروژن مصرف شده (%)
۹۰	۱/۲۵	۱	۰/۰۵	۰/۱	-	۶۵/۲	۵/۷	۹۶۷	۸۰/۱
	۱/۷۵	۲	۰/۰۵	۰/۱	-	۷۳/۶	۴/۸	۸۹۴	۸۶/۲
	۲/۲۵	۳	۰/۰۵	۰/۱	-	۷۷/۱	۴/۴	۸۸۲	۷۶/۵
	۲/۷۵	۴	۰/۰۵	۰/۱	-	۷۹/۸	۴/۱	۸۴۳	۷۸/۹
	۲/۷۵	۴	-	۰/۲	-	۷۷/۷	۴/۲	۸۸۷	۷۷/۴
	۲/۷۵	۴	۰/۰۵	۰/۲	-	۷۹/۷	۴/۱	۸۸۱	۷۸/۲
	۲/۷۵	۴	-	۰/۴	-	۷۷/۵	۴/۲	۸۸۰	۷۳/۶
	۲/۷۵	۴	۰/۰۵	۰/۴	-	۷۹/۴	۴/۳	۸۹۳	۷۲
	۲/۷۵	۴	-	-	۲	۸۱/۶	۴	۷۸۴	۷۴/۷
	۲/۷۵	۴	-	۰/۱	۲	۸۲/۱	۳/۸	۷۸۹	۷۲/۸
	۲/۷۵	۴	۰/۰۵	-	۲	۸۰/۸	۳/۹	۷۳۵	۷۴/۷
	۲/۷۵	۴	۰/۰۵	۰/۱	۲	۸۱/۱	۳/۹	۷۶۰	۶۴/۸
	۲/۷۵	۴	-	-	۰/۵	۷۸/۱	۳/۹	۷۹۸	۹۶/۵
	۲/۷۵	۴	-	-	۱	۷۸/۴	۴	۷۶۷	۹۵/۴
	۲/۷۵	۴	-	-	۱/۵	۷۹/۸	۳/۹	۷۳۷	۸۸/۱
	۲/۷۵	۴	-	-	۳	۸۲/۶	۳/۸	۷۳۳	۶۷/۴
	۲/۷۵	۴	۰/۰۵	۰/۱	-	۸۱/۸	۳/۷	۷۸۲	۸۴/۷
۱۲۰	۲/۷۵	۴	-	۰/۲	-	۷۹/۷	۳/۸	۸۱۶	۸۳/۱
	۲/۷۵	۴	-	-	۲	۸۳	۳/۷	۷۵۵	۷۶/۶
	۲/۷۵	۴	-	۰/۱	۲	۸۲/۴	۳/۳	۷۲۵	۸۲/۷
۱۲۰ **	۲/۷۵	۴	۰/۰۵	۰/۱	-	۸۰/۶	۳/۶	۷۵۲	۹۱/۶
۱۲۰ ***	۲/۷۵	۴	-	-	۲	۸۱/۶	۳/۷	۷۶۶	۸۱/۲

* در كليه آزمايش‌ها درجه حرارت و فشار اكسيژن به ترتيب ۹۸ درجه سانتيگراد و **۰/۶MPa** ثابت در نظر گرفته شده اند. درجه روشني خمير كاغذ بعد از مرحله كي‌ليت‌كردن ۴۵/۶ (**%ISO**) است.

** خمير كاغذ رنگبري‌شده نهايي با توالي $\mathbf{O/Q/OP_1}$ منتخب براي اندازه‌گيري ويژگي‌هاي مقاومتي و نوري

*** خمير كاغذ رنگبري‌شده نهايي با توالي $\mathbf{O/Q/OP_2}$ منتخب براي اندازه‌گيري ويژگي‌هاي مقاومتي و نوري

همان‌طور كه جدول ۸ نشان مي‌دهد، اثـر افـزودن درصـد سـيليكات سـديم بـر درجـه روشـني، گرانـروي و مقـدار پروكسيد هيدروژن مصرف‌شده در مرحله OP در سـطح ۱ درصد معني‌دار است. بـا افـزودن سـيليكات سـديم، درجـه روشني به ۸۱/۱ (ISO%) افزايش يافتـه و مقـدار مصـرف پروكسيد هيدروژن به ٦٤/٨ كاهش يافته است كـه اهميـت زيادي دارد.

جدول ۷- خلاصه جدول تجزيه واريانس مربوط به مقايسه ميانگين‌ها بين تيمارهاي با درصد متغير پروكسيد هيدروژن

پارامتر	DF	Anova SS	Mean Square	Pr > F	نتيجه
درجه روشني	۳	۲۴۳/۸۹۵	۸۱/۲۹۸۳۳۳۳	۰/۰۰۰۱	**
عدد كاپا	۳	۲/۹	۰/۹۶۶۶۶۶۶۷	۰/۰۰۰۱	**
گرانروي	۳	۱۶۰۹۸	۵۳۶۶	۰/۰۰۰۱	**
پروكسيد هيدروژن مصرف شده	۳	۱۰۲/۳۷۵	۳۴/۱۲۵	۰/۰۰۰۱	**

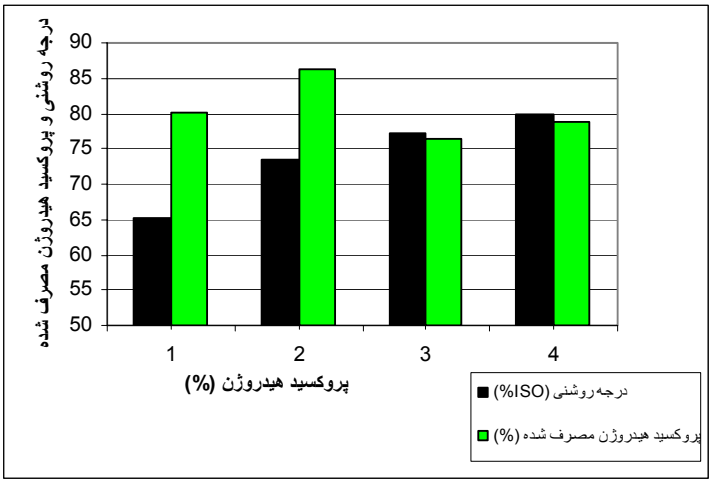
** در سطح يک درصد معني دار

جدول ۸- خلاصه جدول تجزيه واريانس مربوط به مقايسه ميانگين‌ها بين تيمارهاي با و بدون سيليكات سديم

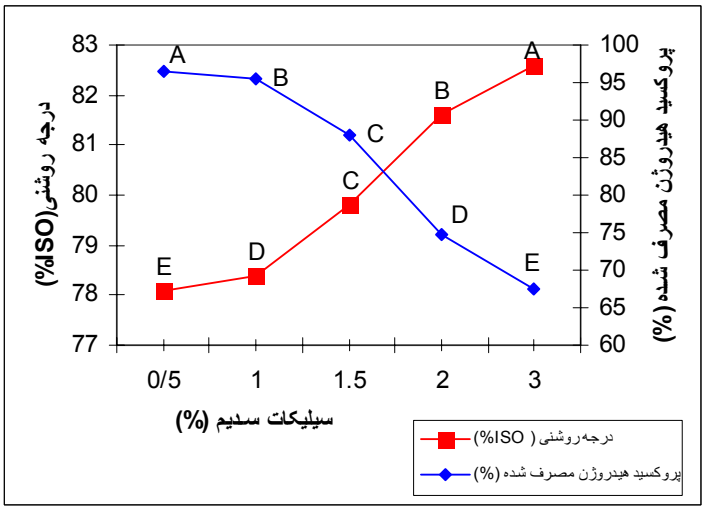
پارامتر	DF	Anova SS	Mean Square	Pr > F	نتيجه
درجه روشني	۱	۱/۶۹	۱/۶۹	۰/۰۲۹	**
عدد كاپا	۱	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۱۰۵۶	ns
گرانروي	۱	۶۸۸۹	۶۸۸۹	۰/۰۰۰۱	**
پروكسيد هيدروژن مصرف شده	۱	۱۹۸/۸۱	۱۹۸/۸۱	۰/۰۰۰۱پ	**

** در سطح يک درصد معني دار

ns معني دار نيست



شكل ۳- تاثير درصد پروكسيد هيدروژن بر افزايش درجه روشني و مقدار پروكسيد هيدروژن مصرف‌شده در مرحله **OP**



شكل ٤- تاثير درصد سيليكات سديم بر درجه روشني و مقدار پروكسيد هيدروژن مصرف شده در مرحله **OP**
(پروكسيد هيدروژن ۴%، هيدروكسيد سديم ۲/۷۵% و زمان ۹۰ دقيقه)

شكل ٤ اثر افـزودن درصـد سـيليكات سـديم در سـطوح مختلف را نشان مي‌دهد كه از نظر آماري نيز الگويي مشـابه جدول ۸ حاصل آمده است. نتيجه تجزيه و تحليـل آمـاري نشـان داده اسـت كـه اثـر افـزودن نسـبت‌هـاي مختلـف $MgSO_4$ به تنهايي (۰/۱، ۰/۲ و ۰/۴) بر عدد كاپا و درجه روشني در سطح ۱ درصد معني‌دار نيست و فقـط تـاثير آن بر گرانروي و مقدار مصـرف پروكسـيد هيـدروژن معنـي‌دار است (جدول ۹). با توجه به نتايج حاصـل از مرحلـه OP از دو توالي براي رنگبري نهـايي خميـر كاغـذ بعـد از مرحلـه O/Q استفاده شده كه شـرايط و نتـايج حاصـل از ايـن دو توالي در جدول ۶ خلاصه شده است.

جدول ۹- خلاصه جدول تجزيه واريانس مربوط به مقايسه ميانگين‌ها بين تيمارهاي با درصد سولفات منيزيم متغير

پارامتر	DF	Anova SS	Mean Square	Pr > F	نتيجه
درجه روشني	۲	۰/۱۷۳۳۳۳۳۳	۰/۰۸۶۶۶۶۶۷	۰/۰۲۲۵	#
عدد كاپا	۲	۰/۰۵۳۳۳۳۳۳	۰/۰۲۶۶۶۶۶۷	۰/۳۶۱۷	ns
گرانروي	۲	۲۷۲۵/۳۳۳۳۳	۱۳۶۲/۶۶۶۶۶۷	۰/۰۰۰۱	**
پروكسيد هيدروژن مصرف شده	۲	۵۷/۶۹۳۳۳۳۳	۲۸/۸۴۶۶۶۶۶۷	۰/۰۰۰۱	**

** در سطح يک درصد معني دار ns معني دار نيست # در سطح پنج درصد معني دار

ـ مقاومت‌هاي مكانيكي و ويژگي‌هاي نوري

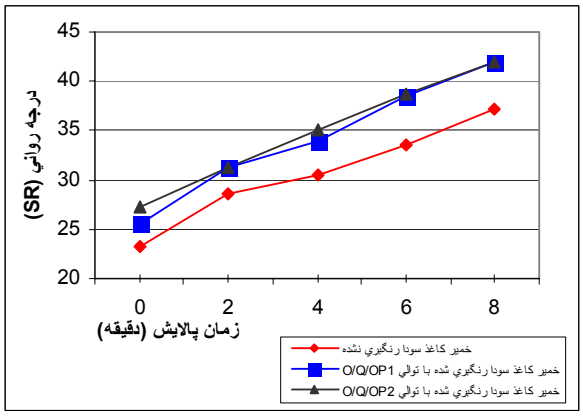
نتايج اندازه‌گيري مقاومـت‌هـاي مكـانيكي و ويژگـي‌هـاي نوري خمير كاغذ رنگبري‌نشده و رنگبري‌شـده بـا دو تـوالي $O/Q/OP_1$ و $O/Q/OP_2$ در شـكل‌هـاي ۵ تـا ۱۰ نشـان داده شده است. تجزيه و تحليل آماري ويژگي‌هاي مكانيكي و نوري خمير كاغذ رنگبري‌نشده و شده بر خمير كاغذ بعـد از ۸ دقيقه پالايش انجام گرفته كه انعكاس‌دهنده كلي روند تغييرات در هر زمان پالايش است. همان‌طور كه جدول ۱۰ نشان مي‌دهد، تاثير عمليات رنگبري بر درجه روانـي، طـول پاره شدن، شاخص كشش، شاخص تركيدن، ماتي و ضريب پخش نور در سطح ۱ درصد معني‌دار شده، درحالي‌كـه اثـر رنگبـري بـر شـاخص پـاره شـدن معنـي‌دار نبـوده اسـت.

همان‌طور كه شكل‌ها نشان مي‌دهند، مقاومت‌هاي مكانيكي در اثر رنگبري كاهش يافته‌اند، اما اين كاهش به نسبت كم بوده و حاكي از گزينش‌پذير بودن عمليات رنگبري است. گروه‌بندي ميانگين‌ها به روش دانكن نشان مي‌دهد كه از نظر درجه رواني، طول پاره شدن، شاخص تركيدن و ضريب پخش نور، تفاوتي بين خمير كاغذ رنگبري‌شده با دو توالي $O/Q/OP_1$ و $O/Q/OP_2$ وجود ندارد، اما اين دو كاغذ از نظر شاخص كشش و ماتي با هم اختلاف دارند و در دو گروه مجزا قرار مي‌گيرند.

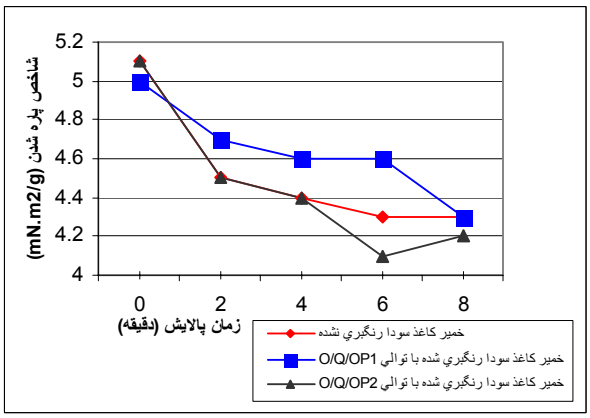
جدول ۱۰- خلاصه جدول تجزيه واريانس مربوط به مقايسه ميانگين‌ها از نظر ويژگي‌هاي مقاومتي و نوري بين تيمارهاي رنگبري‌نشده و رنگبري‌شده

پارامتر	DF	Anova SS	Mean Square	Pr > F	نتيجه
درجه رواني	۲	۳۰/۷۲	۱۵/۳۶	۰/۰۰۰۱	**
طول پارگي	۲	۱/۴۹۳۳۳۳۳۳	۰/۷۴۶۶۶۶۶۷	۰/۰۰۱	**
شاخص كشش	۲	۱۳۵/۶۹۳۳۳۳	۶۷/۸۴۶۶۶۶۷	۰/۰۰۰۱	**
شاخص پارگي	۲	۰/۰۱۳۳۳۳۳۳	۰/۰۰۶۶۶۶۶۷	۰/۳۸۵۲	ns
شاخص تركيدن	۲	۰/۷۶	۰/۳۸	۰/۰۰۲۷	**
ماتي	۲	۷۵۶/۶۹۳۳۳۳	۳۷۸/۳۴۶۶۶۶۷	۰/۰۰۰۱	**
ضريب پخش نور	۲	۰/۵۲	۰/۲۶	۰/۰۰۴۷	**

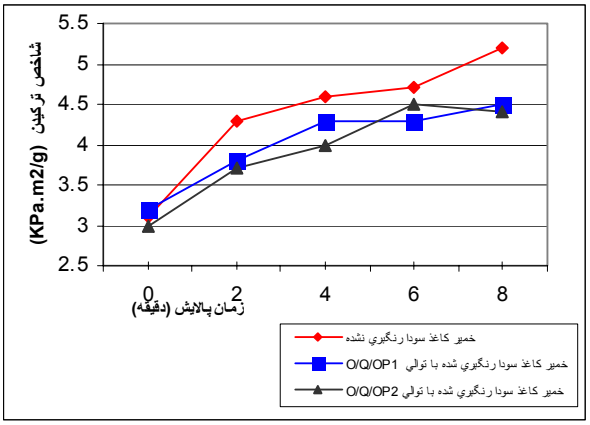
** در سطح يک درصد معني دار



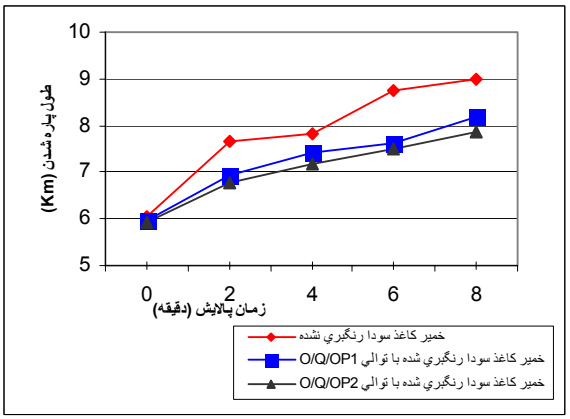
شكل ۵- تاثير زمان پالايش بر درجه رواني خمير كاغذ سوداي رنگبري‌نشده و رنگبري‌شده با توالي **TCF** از كاه گندم



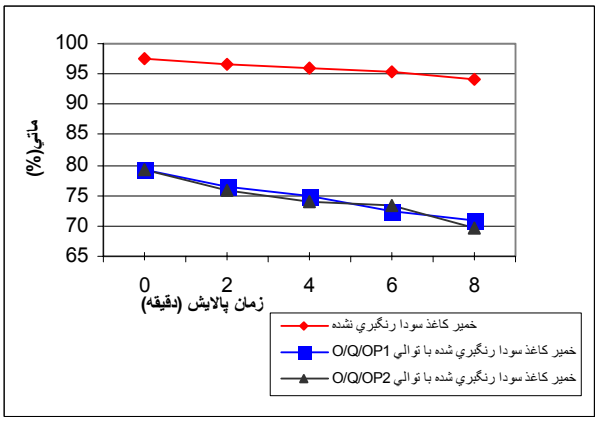
شكل ٦- تاثير زمان پالايش بر شاخص پارگي خمير كاغذ سوداي رنگبري‌نشده و رنگبري‌شده با توالي **TCF** از كاه گندم



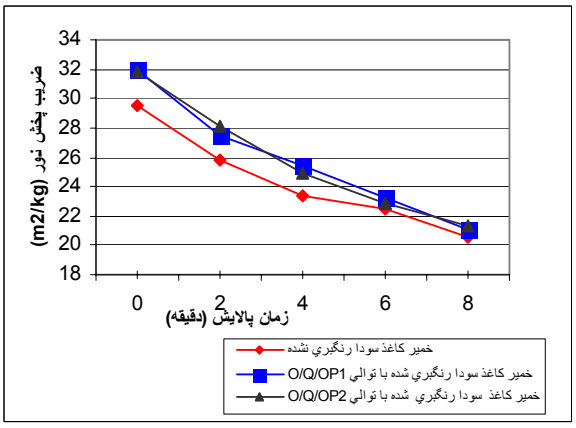
شكل ۷- تاثير زمان پالايش بر شاخص تركيدن خمير كاغذ سوداي رنگبري‌نشده و رنگبري‌شده با توالي **TCF** از كاه گندم



شكل ۸- تاثير زمان پالايش بر طول پاره شدن خمير كاغذ سوداي رنگبري‌نشده و رنگبري‌شده با توالي **TCF** از كاه گندم



شكل ۹- تاثير زمان پالايش بر ماتي خمير كاغذ سوداي رنگبري‌نشده و رنگبري‌شده با توالي **TCF** از كاه گندم



شكل ۱۰- تاثير پالايش بر ضريب پخش نور خمير كاغذ سوداي رنگبري‌نشده و رنگبري‌شده با توالي **TCF** از كاه گندم

بحث

براي كم كردن بار آلودگي زيست‌محيطي صنايع خمير كاغذ از پسماندهاي كشاورزي و بستن سيكل گردش آب واحد رنگبري اين صنايع و در نهايت تحقق بخشيدن به مفهوم Closed Mill يا MIM[1]، بايد از توالي‌هاي رنگبري TCF استفاده شود. به‌ويژه توالي‌هاي رنگبري TCF استفاده‌كننده از فقط اكسيژن و پروكسيد هيدروژن به پروفيل‌هاي كم و بيش همگن pH و درجه حرارت منجر مي‌شود و در نتيجه امكان شست‌وشوي جريان معكوس را فراهم مي‌آورند. اين دو نكته از ضروريات مهم براي راهبري يک واحد رنگبري در سيستم بسته است.

در جدول ۱۱، نتايج حاصل از توالي مرجع CEH با توالي‌هاي استفاده شده در اين تحقيق مقايسه شده است. همان‌طور كه مشخص است اين توالي‌ها منجر به حصول درجه روشني بيشتر و ويژگي‌هاي مقاومتي برتري در مقايسه با توالي CEH شده‌اند. با عنايت به اينكه مقدار

۱- Minimum Impact Mill

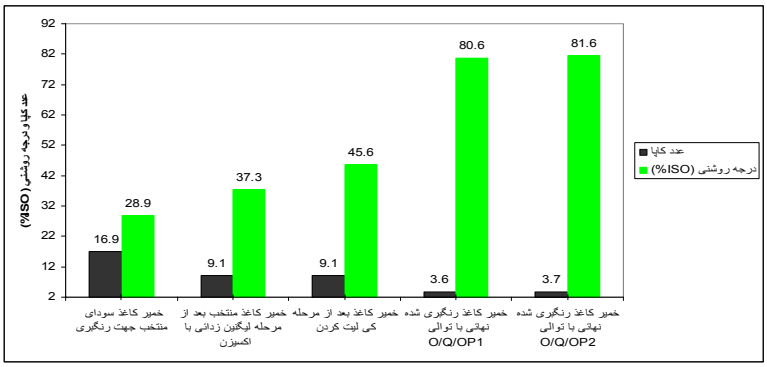
AOX و آلودگي‌هاي زيست‌محيطي صفر است و دستيابي به سيستم بسته امكان‌پذير شده است كه به‌خصوص براي كشورهاي كم آب مانند ايران اهميت بسيار زيادي دارد.

از نظر هزينه بايد بيان داشت كه به‌طور معمول هزينه‌هاي سرمايه‌گذاري و راهبري واحد رنگبري TCF از واحد رنگبري CEH بيشتر است، اما به علت كم بودن بارز بار آلودگي پساب واحد رنگبري TCF، در احداث تاسيسات تصفيه پساب در كارخانه خمير كاغذ به‌شدت صرفه‌جويي صورت خواهد گرفت كه هزينه‌هاي سرمايه‌گذاري و راهبري واحد رنگبري TCF را تا حدود زيادي همپوشاني مي‌كند. از سوي ديگر، ذكر اين نكته نيز ضروري است كه در مورد واحد رنگبري CEH هزينه تصفيه پساب به اندازه‌اي گزاف است كه اغلب پساب واحد رنگبري CEH بدون هيچ‌گونه تصفيه‌اي به رودخانه‌ها تخليه مي‌شود كه آلودگي‌هاي زيست‌محيطي زيادي را به همراه دارد.

جدول ۱۱- مقايسه ويژگي‌هاي خمير كاغذ رنگبري‌شده با توالي‌هاي **CEH** و **O/Q/OP**

توالي رنگبري	درجه روشني (%**ISO**)	عدد كاپا	گرانروي (**ml/g**)	درجه رواني (SR°)	شاخص پارگي **mN**) (**m^2/g**	شاخص كشش (**Nm/g**)	شاخص تركيدن **kPa**) (**m^2/g**	ضريب پخش نور (**m^2/kg**)	**COD** (**kg/t**)	**AOX** (**kg/t**)
CEH*	۷۷/۵	۰/۶	۷۵۶	۴۴	۳/۹	۷۳/۶	۴/۴	۱۹/۸	۱۳۶	۴/۸
O/Q/OP1	۸۰/۶	۳/۶	۷۵۲	۴۲	۴/۳	۸۰/۲	۴/۵	۲۱/۱	۹۳/۶	-
O/Q/OP2	۸۱/۶	۳/۷	۷۶۶	۴۲	۴/۲	۷۷	۴/۴	۲۱/۳	۹۵/۳	-

* داده‌ها بر اساس منبع شماره ۱۱



شكل ۱۱- چگونگي تغيير عدد كاپا و درجه روشني بعد از پخت و در مراحل مختلف توالي **TCF** خمير كاغذ سوداي كاه گندم

در شكل ۱۱، چگونگي تغييرات عدد كاپا و درجه روشني در مراحل مختلف از خمير كاغذ رنگبري‌نشده تا رنگبري‌شده با دو توالي $O/Q/OP_1$ و $O/Q/OP_2$ نشان داده شده كه حاكي از توانايي فوق‌العاده اين توالي‌ها در رنگبري خمير كاغذ سودا از كاه گندم است. نتايج اين تحقيق نشان مي‌دهد كه توالي O/Q/OP با برتري‌هاي تكنولوژيكي و زيست‌محيطي مي‌تواند در مقياس جهاني در كشورهاي استفاده‌كننده از پسماندهاي كشاورزي جايگزين خوبي براي توالي سنتي CEH باشد.

منابع

۱- حجازي، سحاب، ۱۳۸۰. شيمي و تكنولوژي ليگنين‌زدايي با اكسيژن، سمينار دوره دكتري، دانشكده منابع طبيعـي دانشـگاه تهران، ۱۹۵ صفحه.

۲- حجازي، سحاب و احمد جهان لتيباري، ۱۳۸۰. رنگبري بيولوژيكي (Biobleaching)، فناوري جديـدي بـراي كـاهش بـار زيست‌محيطي كارخانجات رنگبري خمير كاغذ، منتشر نشده.

3- Jimens Luis, Enrique Navarro, Juan C. Garcia and Ildefons pere, 2000. Bleaching of wheat straw pulp with enzymes in an oxygen-hydrogen peroxide sequence. Tappi Journal, Vol. 83, No. 1.

4- KORDSACHIA, O. Die Zellstoffindustrie in Mitteleuropa - Entwicklungsmöglichkeiten und Alternativen, 2001. Ipw International Paperworld - Das Papier 55 (4), pp. 73-79.

5- Lee Herbert H.B., Ah-Hyung Park (Alyssa) and Colin W. Oloman 2000. Stability of hydrogen peroxide in sodium corbonate solutions. Tappi Journal, Vol. 83, No. 8.

6- Misra D.K., 1987. Cereal straw, in pulp and paper manufacture, Vol. 3, Tappi press.

7- Pan George X. and Gordon J. Leary, 2000. Alkaline proxide mechanical pulping of wheat straw, part 2: Significance of peroxide stahilization to the brightening of wheat straw, Tappi Journal, Vol. 83, No. 7.

8- PATT, R. und O. KORDSACHIA, Entwicklungsperspektiven der Zellstoffindustrie in Deutschland, 2000. Mitteilungen der BFH Hamburg, Nr. 200: 10. Hamburger Forst- und Holztagung, pp. 50-60.

9- PATT, R. und O. KORDSACHIA, Developments in pulping and bleaching, 2001. 6th Braz. Symp. Chem. Lignins Wood Components Vol VII, pp. 61-70.

10- Srinivaso Rao Y. and Subhash Maheshwari, 1987. Bleaching characteristics of wheat straw pulp. In Tappi nonwood plant fibre series, No. 17.

11- Wäne Gerd, Christian blom and Zhang Hua, 2002. Improved bleaching of wheat straw pulp. In proceeding of 4th international non-wood fiber pulping and paper making conference, Beijing, China, pp. 289-300.

Investigation on TCF Bleaching of Wheat Straw Soda Pulp

S. Hedjazi[*1], A. Jahan Latibari[2], R. Patt[3], O. Kordsachia[4], D. Parsapajouh[5] and U. Tschirner[6]

[1] Ph.D. Student, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R. Iran

[2] Assistant professor, Islamic Azad University, Karadj, I.R.Iran.

[3] Professor, Zentrum Holzwirtschaft (ZHW), Hamburg University, Germany

[4] Senior Researcher, Federal Research Center for Forest and Forest Products, Institute of Wood Chemistry, Hamburg, Germany

[5] Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R. Iran

[6] Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Minnesota University

(Received 9 March 2005, Accepted 6 August 2005)

Abstract

Pulp and paper production from non-wood fiber especially from agricultural residues, is accompanied by serious global challenges. Utilization of CEH bleaching sequence on non-wood chemical pulps not only causes serious environmental concerns, but also reduces the possibility of closed mill water circulation. Therefore the application of TCF bleaching (O/Q/OP sequence) on wheat straw soda pulp was investigated. Two application periods (90 and 150 minutes), sodium hydroxide variation of between 1-4.5% and consistency of 8, 10, 12, 14 and 16% were investigated in oxygen delignification stage. Bleaching with H_2O_2/O_2 was studied in two stages. In stage 1, the influence of H_2O_2 variation (1-4%) and in stage 2, the application of DTPMPA, $MgSO_4$, $Na_2Si_2O_3$ along with two time periods of 90 and 120 minutes were studied at a constant charge of 4% H_2O_2. Statistical analysis revealed that the effect of NaOH, temperature and consistency in oxygen delignification on kappa number, viscosity and brightness was significant at 1% level, and an application of one percent NaOH for 90 minutes caused 43% reduction in lignin content. The effect of H_2O_2 charge, temperature and various additives in OP stage is statistically significant. The results of this stage indicate that if sodium silicate is applied, brightness can reach values higher than 80 %ISO while the use up of H_2O_2 being significantly reduced. The application of this compound must be at a minimum level of 2%. Strength properties of unbleached and TCF bleached pulps indicate that TCF bleaching was conducted selectively and the strength of TCF bleached pulp is superior to CEH bleached one. Finally the results indicate that the brightness and strength properties of O/Q/OP bleached wheat straw soda pulp are superior to CEH while the AOX of bleaching effluent is also kept at zero level.

Keywords: Wheat straw, Soda pulp, TCF bleaching, Oxygen delignification, Hydrogen peroxide bleaching

* Corresponding author: Tel: 0261-2223044 , Fax: 0261-2249311 E-mail: s.hedjazi@nrf.ut.ac.ir