نشریه علمی (فصلنامه) «انرژی ایران»
دوره ۲۳، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، صفحه ۱۶۲ – ۱۳۹

راه‌کارهای نوین افزایش بهره‌وری انرژی در صنعت خمیر و کاغذ

[۱] فاطمه اسدی، [۲] محمد هادی آریائی منفرد *

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۱/۲۲

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹/۶/۲۸

کلمات کلیدی:
انرژی، صنعت کاغذ و خمیرکاغذ، فن‌آوری‌های نوظهور انرژی، انتشار دی اکسید کربن، استراتژی‌های مدیریت انرژی

چکیده

فعالیت‌های تمدن بشر از آغاز تاریخ در مقیاس جهانی، بار فراوانی به محیط زیست تحمیل کرده است. بدین سبب است که تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان انرژی باید در مورد نقشی که انرژی برای دست‌یابی به توسعه پایدار بر عهده دارد، عمیقاً فکر کنند. در این زمینه حفظ محیط زیست زمین که قابل جایگزینی نیست، باید دقیقاً مدنظر قرار گیرد. افزایش قیمت انرژی و نوسانات بازار، صنایع را به سوی استفاده از سیستم‌های مدیریت انرژی به‌منظور رقابت قابل اطمینان سوق داده است. صنعت کاغذ و خمیرکاغذ نیز از این قاعده مستثنی نیست، زیرا میزان تقاضا و تولید کاغذ و مقوا به‌طور قابل‌توجهی در مقیاس جهانی در حال افزایش است، که این عوامل منجر به افزایش مصرف انرژی و تولید گازهای گلخانه‌ای نظیرCO_2 می‌شود. در این راستا، با مرور پژوهش‌های قبلی و ادغام آن‌ها با دیدگاه‌های کارشناسان، روش‌های جدیدی برای انتخاب مناسب‌ترین فن‌آوری‌ها در بخش‌های مختلف کارخانه خمیر و کاغذسازی ارائه شده است.

۱. دانشجوی دکتری مهندسی صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
asadi_fatemeh66@yahoo.com
۲. استادیار گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران (نویسنده مسئول) hadiaryaie@gmail.com

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

۱. مقدمه

تقاضا و تولید کاغذ و مقوا در مقیاس جهانی در حال افزایش است. انتظار می‌رود که تولید سالانه کاغذ و مقوا از حدود ۳۶۵ میلیون تن در سال ۲۰۰۶ تا بین ۷۰۰ میلیون تن (برآورد کم) و ۹۰۰ میلیون تن (برآورد بالا) در سال ۲۰۵۰ رشد یابد. کشورهای چین، هند و آسیا بزرگ‌ترین سهم از این رشد را دارند(آژانس بین‌المللی انرژی،2009). در سال‌های اخیر، صنعت کاغذ و خمیرکاغذ تغییرات زیادی پیدا کرده است و محصولات کاملا متفاوتی با استفاده از فن‌آوری‌های جدید ساخته می‌شود. این امر می‌تواند به علت ظهور چالش‌ها و محدودیت‌هایی مانند کمبود مواد خام، مصرف انرژی (سوخت‌های فسیلی، برق، و غیره)، مدیریت آلاینده‌های حاصله، مسائل زیست‌محیطی، الزامات قانونی جاری و استراتژی‌های تولید پاک باشد(کمالی و دیگران،۲۰۱۵). در واقع، علاوه بر موارد ذکر شده، مسائل مربوط به فن‌آوری‌ها و روش های تولید و همچنین تولید پاک نیز در نظر گرفته می‌شود(یو و دیگران،۲۰۱۶). تولید پاک عبارت‌است‌از: به‌کارگیری یک برنامه مداوم و پیشگیرانه‌ی زیست‌محیطی در انجام پروسه‌ها، تولید محصولات و خدمات، به‌منظور افزایش بهره‌وری‌های سازگار با محیط‌زیست و کاهش خطر برای انسان و محیط‌زیست(عباسی و دیگران،۲۰۰۴). روش‌های تولید پاک به‌طور عمده به دو دسته تقسیم می‌شوند: دسته اول شامل بهبود و اصلاح روش‌ها و فن‌آوری‌های موجود. دسته دوم، شامل تولیدات کاملا جدید و نوآورانه از نظر عملکرد-های زیست محیطی(زارکوویچ و دیگران،۲۰۱۱). کارشناسان و فعالان در این صنعت، توجه زیادی به بهینه‌سازی مصرف انرژی کرده‌اند و همیشه تمایل به استفاده از فرآیندهایی با مصرف انرژی پایین‌تر بوده است. بنابراین، برنامه‌ریزی در مورد انرژی یک موضوع کلیدی به‌منظور پیدا کردن جایگزین مناسب برای انرژی و فن‌آوری‌های مربوط به آن است (شیرازی و دیگران،۲۰۱۷). در این راستا، انجام بازرسی انرژی گام اولیه در جهت بهبود مصرف انرژی در سطح کارخانه و حصول اطمینان از تولید پاک است (بوهرب و دیگران،۲۰۱۷). حسابرسی انرژی به‌طور دقیق به‌معنی، توصیف ویژگی‌های بهره‌برداری از طریق برنامه-های کاربردی است و راه‌هایی در جهت صرفه‌جویی در انرژی، شناسایی و اقدامات مربوط به دست‌یابی به این برنامه‌ها به‌همراه سودآوری اقتصادی آن‌ها پیشنهاد می‌کند (بوهرب و دیگران،۲۰۱۷).

در حال حاضر، تعداد ۱۲ کارخانه بزرگ فعال و تعداد زیادی واحدهای کوچک صنعتی کاغذ و خمیر کاغذ در سطح کشور وجود دارد. این صنایع طی سال ۱۳۸۵ بیش از ۵۱۷ میلیون کیلووات ساعت انرژی

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

الکتریکی معادل ۹۱۲۰۰۰ بشکه نفت خام و ۸۰۰ میلیون مگاژول انرژی فسیلی معادل ۱۳۰۰۰۰۰ بشکه نفت خام مصرف نمودند که در حدود ۱/۶ درصد مصرف برق و ۱/۷ مصرف سوخت بخش صنعت کشور را به خود اختصاص دادند.

تاکنون اقدامات مفیدی در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی در کشور به انجام رسیده است که از جمله آن می‌توان به فعالیت‌های سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) و سازمان گسترش و نوسازی صنایع اشاره کرد. تدوین استانداردها و معیارهای مصرف انرژی، بهینه‌سازی انرژی در صنایع، اجرای طرح‌های صرفه‌جویی و ممیزی انرژی در کارخانه‌ها از جمله این اقدامات بوده است (آریایی و دیگران،۲۰۱۸).

در این مقاله با مرور پژوهش‌های قبلی و ادغام آن‌ها با دیدگاه‌های کارشناسان، به جمع‌آوری اطلاعاتی در زمینه استفاده از فن‌آوری‌های نوظهور در صنعت کاغذ و خمیرکاغذ و بررسی مسائل مربوط به آن‌ها نظیر، صرفه‌جویی در انرژی، محیط زیست، هزینه‌ها و وضعیت تجاری‌سازی این فن آوری‌ها، به‌منظور کاهش مصرف انرژی و انتشار گاز CO_2 پرداخته شده است.

در ادامه به‌شرح تحولات اخیر و فن‌آوری‌های جدید به‌منظور بهبود بهره‌وری انرژی در مراحل مختلف فرآیند خمیر و کاغذسازی در صنعت کاغذ و خمیرکاغذ می‌پردازیم.

۲. فن‌آوری‌های نوظهور بهره‌وری انرژی

در یک کارخانه کاغذسازی می‌توان با به‌کار بستن فن‌آوری‌های نوین، مصرف انرژی را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد . جدول ۱ فن‌آوری‌های نوظهور ارائه شده در این مقاله را نشان می‌دهد (کونگ و دیگران،۲۰۱۶).

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

جدول ۱. فن‌آوری‌های جدید در صنعت کاغذ و خمیرکاغذ (کونگ و دیگران،۲۰۱۶)

نام فن آوری	ذخیره انرژی	کاهش انتشار CO_2
فن آوری‌های جدید در بخش پیش‌تیمار		
۱- پیش‌تیمار با مایکروویو	✓	✓
۲- پیش‌تیمار با اسید اگزالیک	✓	✓
۳- پیش‌تیمار زیستی	✓	✓
فن آوری‌های جدید در بخش خمیرسازی		
۱- نظارت استفاده بر لیکور سبز در خمیرسازی	✓	✓
۲- غلظت غشا لیکور سیاه	✓	✓
۳- بازیابی گرمای دیگ پخت با فشار مضاعف	✓	✓
۴- چرخه شستشوی بخار	✓	✓
۵- تفکیک کاغذ بازیافتی	✓	✓
۶- جوهرزدایی با استفاده از سورفاکتانت	✓	✓
فن آوری‌های جدید در کاغذسازی		
۱- فن آوری Aq-vane	✓	✓
۲- تشکیل ورق خشک	✓	✓
۳- خشک کردن ناگهانی(ضربه‌ای) در فرایند پرس تر	✓	✓
۴- پرکننده‌های لیفی جدید	✓	✓

۳. فن آوری‌های جدید در بخش پیش‌تیمار مواد اولیه

فن‌آوری پیش‌تیمار مواد اولیه (تراشه‌های چوب)، قبل از فرآیند خمیرسازی به منظور بهبود بهره‌وری پخت اعمال می‌شود(کونگ و دیگران،۲۰۱۶).

پیش‌تیمار با مایکروویو: در خمیرسازی شیمیایی متداول، مقدار زیادی از انرژی و مواد شیمیایی، برای انجام واکنش‌های شیمیایی در خرده چوب‌ها، به‌منظور شکستن پیوندهای کووالانسی بین الیاف مصرف می‌شود. فن آوری پیش‌تیمار مایکروویو، نفوذپذیری را که توسط ریزساختار سلولی در خرده‌چوب‌ها کنترل می‌شود، تغییر داده، به‌طوری‌که مواد شیمیایی خمیرسازی می‌تواند به‌راحتی به‌درون خرده‌چوب‌ها

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

منتقل شود و این امر در نهایت باعث کاهش مصرف انرژی و مواد شیمیایی موردنیاز فرآیند پخت می‌گردد (وزارت انرژی ایالات متحده،۲۰۰۵).

فن آوری پیش‌تیمار مایکروویو، مقدار انرژی موردنیاز برای پخت شیمیایی را کاهش می‌دهد که این عامل خود منجر به کاهش فاکتور H می‌شود، این در حالی‌است که هنوز خمیرتولیدی دارای کیفیت قابل قبولی است (کمپر،۲۰۰۶). فن آوری تیمار با مایکروویو همچنین اجازه می‌دهد تا مواد شیمیایی پخت، به‌راحتی به‌داخل قسمت‌های بزرگ‌تر و مختلف خرده‌چوب‌ها نفوذ کنند(برنامه فن‌آوری‌های صنعتی،۲۰۱۱).

همچنین این فن آوری می‌تواند مصرف آهک را نیز در کوره پخت کاهش دهد، زیرا مواد شیمیایی کمتری در فرایند پخت مورد استفاده قرار می‌گیرند (کونگ و دیگران،۲۰۱۶).

این پیش‌تیمار به‌طور خلاصه دارای ویژگی‌های زیر می‌باشد: کاهش مصرف انرژی در خمیرسازی شیمیایی و کوره‌های آهک، کاهش انرژی موردنیاز برای تغلیظ لیکور سیاه، کاهش مواد شیمیایی پخت و فاکتور H تا نزدیک به ۴۰ درصد، بهبود بازده و توان عملیاتی تا نزدیک به ۴۰ درصد در کارخانجات خمیر کرافت موجود، افزایش توان عملیاتی دیگ بخار. از معایب پیش‌تیمار با مایکروویو آن است که پیش‌تیمار با ماکروویو مصرف برق را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد و همچنین ممکن است موجب آسیب احتمالی به الیاف خمیر و از دست رفتن مقاومت کاغذ شود(کونگ و دیگران،۲۰۱۶).

پیش‌تیمار با اسید اگزالیک[1](OA) در حال حاضر حدود ۲۵ درصد از خمیر کاغذ تولیدی در جهان، توسط خمیرسازی مکانیکی انجام می‌شود. پخت مکانیکی به‌شدت وابسته به انرژی الکتریکی می‌باشد. به‌عنوان مثال، در یک کارخانه تولیدکننده خمیرمکانیکی، برای تولید حدود ۳۰۰ تن خمیر در روز، هزینه‌های برق مصرفی در حدود ۱۰ میلیون دلار درسال است. در نهایت کاغذ تولید شده نیز دارای مقاومت کمتری در مقایسه با کاغذ تولید شده از فرایندهای پخت شیمیایی است. این معایب استفاده از خمیر مکانیکی را در بسیاری از رده‌های کاغذ محدود می‌سازد. در بسیاری از موارد، خمیرشیمیایی کرافت را به‌منظور افزایش مقاومت کاغذ با خمیر مکانیکی مخلوط می‌کنند (جدول ۲). با این حال، خمیر شیمیایی گران قیمت است و استفاده زیاد از آن نیز سبب افزایش مقادیر آلودگی‌های هوا و آب خواهد شد (اسوانی و دیگران،۲۰۰۳).

1. Oxalic acid

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

جدول۲. ویژگی‌های کاغذ دست‌ساز بدون تیمار و با تیمار اگزالیک اسید TMP ترکیب شده با خمیر کرافت

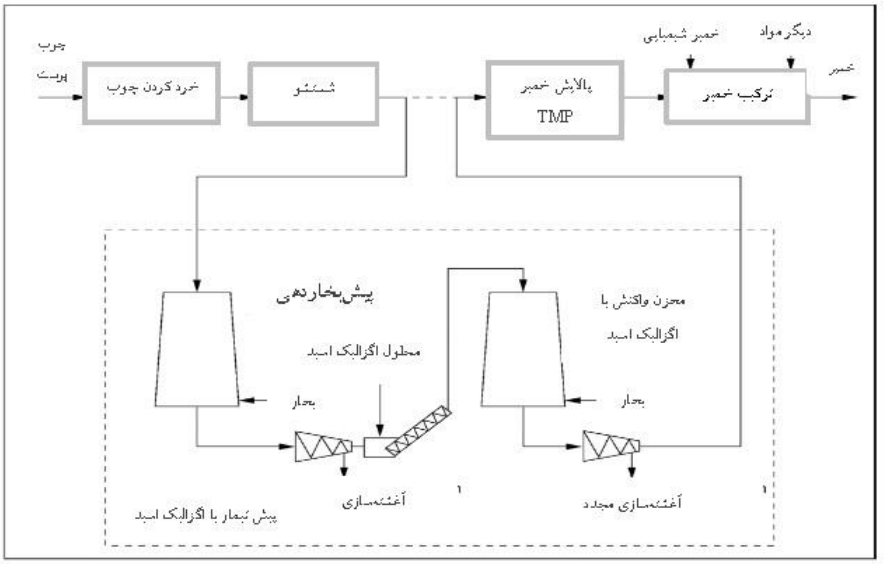
	۵۰ درصد بدون OA/۵۰درصد کرافت	۶۰درصد واکنش‌یافته با OA/۴۰ درصد کرافت
شاخص مقاومت کششی	۴۲/۴	۴۳/۶
شاخص مقاومت به پارگی	۹/۷۷	۱۰/۰۷
شاخص مقاومت به ترکیدن	۲/۶۸	۲/۷۱
حجم ویژه	۱/۶۳	۱/۷۲
ضریب پراکندگی(m^2/kg)	۴۵/۷	۵۰/۴
مات(%)	۸۹/۲	۹۱/۲
درجه روشنایی(ایزو.٪/بدون رنگبری)	۶۵/۹	۶۳/۳

مأخذ: (کونگ و دیگران،۲۰۱۶)

پیش‌تیمار شیمیایی با OA، مصرف مواد شیمیایی سفیدکننده را افزایش می‌دهد و به‌این‌طریق بازده روشنایی را کاهش می‌دهد(کونگ و دیگران،۲۰۱۶).

فرآیند جدید پیش‌تیمار با OA اتصالات داخلی را در ساختار الیاف چوب تغییر می‌دهد که این امر سبب می‌شود تا به‌طور قابل توجهی رفتار خرده‌چوب‌ها در حین عملیات پالایش در خمیرسازی مکانیکی متفاوت شود (اسوانی و دیگران،۲۰۰۳).

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]



شکل ۱. طرحی از فرآیند اگزالیک اسید و ارتباط آن با خط TMP (اسوانی و دیگران،۲۰۰۳).

پیش‌تیمار شیمیایی با OA، به میزان زیادی می‌تواند مصرف انرژی را کاهش دهد، درحالی‌که اثر نامطلوبی نیز، بر کاغذ نهایی تولید شده ندارد، چه‌بسا تحت شرایط بهینه‌سازی شده، حتی می‌تواند مقاومت و روشنایی کاغذ را نیز بهبود بخشد (لی و دیگران،۲۰۱۱). این پیش‌تیمار شیمیایی در خمیرسازی مکانیکی به شیوه‌ای مشابه پیش‌تیمار شیمیایی به‌روش متداول انجام می‌گیرد (اسوانی و دیگران،۲۰۰۳). در انواع مختلف خرده‌چوب، با استفاده از ۰/۰۵ تا ۶ درصد از محلول رقیق OA، می‌توان برق مورد استفاده در پخت مکانیکی را ۲۰ تا ۳۰ درصد کاهش داد (اختر و دیگران،۲۰۰۷). آزمایشی درمقیاس پایلوت، در نیروگاه شرکت Andritz در اسپرینگفیلد ایالات متحده، با استفاده از پیش‌تیمار شیمیایی با OA انجام گرفت، نتایج کاهش ۲۵ درصدی انرژی پخت مکانیکی را نشان داد که سبب می‌شود به‌کارگیری این فن آوری از نظر مالی نیز جذاب باشد. جدول ۳ نتایج را برای سه دور پالایش با CSF برابر ۴۰، برای این آزمایش را ارائه می‌دهد (اسوانی و دیگران،۲۰۰۳).

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

جدول ۳. نتایج پالایش TMP در درجه‌روانی ۴۰(اسوانی و دیگران، ۲۰۰۳)

	OAواکنش نیافته با	OAواکنش‌یافته با
درجه روان (ml)	۴۰	۴۰
انرژی پالایش (kW·h/t)	۳/۰۹۴	۳/۰۲۷
شاخص مقاومت کششی(N·m/g)	۲۸/۵	۳۱/۶
شاخص مقاومت به پارگی(mN·m2/g)	۶/۲	۷/۸
شاخص مقاومت به ترکیدن(kPa·m2/g)	۱/۴۹	۱/۹۱
بالک (Cm3/g)	۲/۶۴	۲/۵۸
ضریب پراکندگی (m2/kg)	۶۵/۷	۶۵/۹
درجه روشنایی(ایزو.٪بدون رنگبری)	۵۳/۴	۵۲/۲
درصد خرده چوب نپخته (%)	۰/۴۰	۰/۱۸
درصد نرمه(از میان مش ۲۰۰)	۴۱/۶	۳۷/۳

فن‌آوری پیش‌تیمار شیمیایی با OA، همچنین منجر به حذف همی‌سلولوزها گشته که می‌تواند به تولید مواد شیمیایی با ارزشی، مانند اتانول سلولزی منجر شود(کونگ و دیگران،۲۰۱۶).

این پیش‌تیمار به‌طور خلاصه دارای ویژگی‌های زیر می‌باشد: کاهش مصرف انرژی در خمیرسازی مکانیکی، در مقایسه با انرژی مصرفی بدون پیش‌تیمار با OA، نزدیک به ۲۰ تا ۳۰ درصد، کاهش مقدار رزین تا نزدیک به ۳۰ درصد پیش از پخت، افزایش بهبود استحکام کاغذ و بهبود بازده آبگیری.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

جدول ۴. ویژگی‌های کاغذ دست‌ساز بدون تیمار و با تیمار اگزالیک اسید ترکیب شده با خمیر کرافت

	۵۰درصد تیمار نشده/ ۵۰درصد کرافت	۶۰درصد تیمار شده با ۴۰/OA درصد کرافت
شاخص مقاومت کششی ($N \cdot m/g$)	۴۲/۴	۴۳/۶
شاخص مقاومت به پارگی ($mN \cdot m_2/g$)	۹/۷۷	۱۰/۰۷
شاخص مقاومت به ترکیدن ($kPa \cdot m^2/g$)	۲/۶۸	۲/۷۱
بالک (Cm^3/g)	۱/۶۳	۱/۷۲
ضریب پراکندگی (m^2/kg)	۴۵/۷	۵۰/۴
ماتی (٪)	۸۹/۲	۹۱/۲
درجه روشنایی(ایزو٪/بدون رنگبری)	۶۵/۹	۶۳/۳

مأخذ: اسوانی و دیگران، ۲۰۰۳

پیش‌تیمار زیستی: فن‌آوری زیستی برای تأمین و افزایش کیفیت مواد اولیه صنایع خمیر و کاغذ، کاهش هزینه‌های تولید و معرفی محصولاتی جدید با ارزش افزوده زیاد، دارای پتانسیل مناسبی است. فن‌آوری‌های آنزیمی جدید قادرند مشکلات زیست‌محیطی را کاهش و ویژگی‌های الیاف را بهبود بخشند. از آنجا که صنایع خمیر و کاغذ دارای تجهیزات بسیار تخصصی و از نوع سرمایه‌بر می‌باشد، بسیار مهم است که فن‌آوری‌های جدید پیشنهادی، قابلیت کاهش هزینه‌ها و یا تطابق آسان با فرآیندهای طراحی شده موجود را داشته باشند(حماسی، ۲۰۰۵). استفاده از آنزیم‌ها در صنایع خمیر و کاغذ در سال ۱۹۸۶ آغاز شد (دیمانر و دیگران،۲۰۱۱). روش تیمار آنزیمی جهت کنترل قیر، نخستین نمونه موفقیت‌آمیز از استفاده آنزیم‌ها در فرآیندهای خمیر و کاغذ می‌باشد. تمامی آنزیم‌ها زیست تخریب‌پذیر بوده و توسط تخمیر مواد طبیعی به وجود می‌آیند و اغلب در صنعت به‌عنوان کاتالیزگرهای طبیعی محسوب می‌شوند (دشتبانی خضری و دیگران،۲۰۱۴). پیش‌تیمار زیستی به‌منظور کاهش مصرف انرژی در خمیرسازی مکانیکی، از طریق اصلاح دیواره سلولی الیاف و تغییر آن انجام می‌شود و در نهایت بازده پالایش بدون به خطر افتادن کیفیت خمیر افزایش می‌یابد(وایفر، ۲۰۰۸). دو فن‌آوری پیش‌تیمار بیولوژیکی (زیستی) که در خرده‌چوب‌ها در پخت مکانیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند، پیش‌تیمار قارچی و پیش‌تیمار آنزیمی هستند (کونگ و دیگران،۲۰۱۶).

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

از ویژگی‌های پیش–تیمار قارچی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: صرفه‌جویی در انرژی پالایش بین ۲۵ تا ۴۰ درصد، افزایش طول عمر ریفاینر، بهبود کیفیت و مقاومت کاغذ وکاهش مقدار قیر (کونگ و دیگران،۲۰۱۶ و اسکات و دیگران،۱۹۹۸).

از ویژگی‌های پیش‌تیمار آنزیمی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: پیش‌تیمار آنزیمی خرده‌چوب‌های سوزنی‌برگان، با استفاده از سلولاز و مخلوط سلولاز، احتمالا استفاده از انرژی پالایش را تا ۲۰ درصد کاهش می‌دهد، پیش‌تیمار آنزیمی خرده‌چوب‌ها (با آنزیم زایلاناز)، موجب صرفه‌جویی در انرژی فرایند پالایش، تا میزان ۲۶ درصد می‌شود، پیش‌تیمار آنزیمی خرده‌چوب‌ها (با آنزیم پکتیناز) موجب صرفه‌جویی در انرژی فرایند پالایش، تا میزان ۲۰ درصد می‌شود، پیش‌تیمار زیستی مصرف مواد شیمیایی رنگبری‌کننده را افزایش می‌دهد. از آنجاکه پیش‌تیمار بیولوژیکی شامل یک عملیات اضافی مانند عملیات تعمیر و نگهداری است، هزینه را نیز افزایش می‌دهد (کونگ و دیگران،۲۰۱۶).

٤. فن آوری‌های نوین در خمیرسازی

نظارت استفاده بر لیکور سبز در خمیرسازی: لیکورسبز به‌طور طبیعی سرشار از یون‌های هیدروسولفید است که می‌تواند موجب سرعت بخشیدن به خمیرسازی و ارائه یک محصول با ارزش بالا شود(کونگ و دیگران،۲۰۱۶). به‌طورکلی، لیکور سبز در خمیرسازی شیمیایی برای واکنش با آهک (CaO) در یک فرآیند به نام قلیایی‌سازی به‌کار می‌رود که به تولید کربنات‌کلسیم ($CaCO_3$) و احیای لیکور سفید که (مخلوطی از $NaOH$ و Na_2S) می‌انجامد (ناقوی و دیگران،۲۰۱۰). نظارت استفاده بر لیکور سبز در خمیرسازی، به‌معنای استفاده مجدد از لیکور سبز برای پیش‌تیمار خرده‌چوب‌ها قبل از پخت کرافت است. در پروسه پخت کرافت متداول، تمام لیکورسبز، برای احیای لیکور سفید استفاده می‌شود، اما در فن آوری پخت جدید، ۲۰ تا ۳۰ درصد از لیکور سبز از پروسه قلیایی‌سازی، برای پیش‌تیمار خمیر قبل از پخت، در دایجستر مصرف می‌شود. در نتیجه، با این روش، نه‌تنها بار کوره آهک، بلکه مصرف انرژی در دیگ پخت را نیز می‌توان کاهش داد (لوسیا، ۲۰۰۶). این روش ساده و آسان است و نیاز به سرمایه‌گذاری کمی دارد.

از ویژگی‌های فن آوری جدید نظارت استفاده بر لیکور سبز در خمیرسازی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود(کونگ و دیگران،۲۰۱۶): کاهش مصرف انرژی تا ۲۵ درصد، کاهش مصرف قلیایی موثر در دیگ پخت تا بیش از ۵۰ درصد، کاهش بار کوره آهک تا ۳۰ درصد، که به نوبه خود باعث

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

کاهش مصرف سوخت کوره آهک می‌شود، کاهش فاکتور H تا نزدیک به ۳۰ درصد، افزایش بازده خمیرسازی نزدیک ۱ تا ۳ درصد، افزایش مقاومت کاغذ(افزایش ۱۰ درصدی در استحکام پارگی) و همچنین توانایی رنگبری بیشتر.

غلظت غشا لیکور سیاه: اگرچه میزان آب مصرفی در صنعت کاغذ و خمیر کاغذ در دهه‌های گذشته کاهش یافته است و مقدار آن، در محدوده ۱۰ تا ۴۰ لیتر به ازای هر کیلوگرم کاغذ تولید شده رسیده است، ولی همچنان این مقدار مصرف نیز بسیار زیاد می‌باشد. در صنعت کاغذ، وجود آب برای بسیاری ازعملیات‌های واحدهای مختلف، به‌ویژه برای انحلال لیگنین، شستشوی خمیر و نیز برای آماده‌سازی موادشیمیایی ضروری است (پیزیچینی و دیگران،۲۰۰۵).

استفاده از فرآیندهای فیلتراسیون غشایی راه کار نوینی برای کاهش مصرف آب در این فرآیندهاست. انواع متداول این فن‌آوری در صنعت کاغذ و خمیرکاغذ شامل موارد زیر می‌باشد: میکروفیلتراسیون (MF)، اولترافیلتراسیون (UF)، نانوفیلتراسیون (NF)، اسمز معکوس (RO) (پیزیچینی و دیگران،۲۰۰۵ و جانسون و دیگران، ۱۹۸۵ و دیلارد،۱۹۹۸).

در این فن‌آوری از گرادیان فشار برای جدا کردن جریان مایع از طریق یک غشاء متخلخل و یا نیمه تراوا استفاده می‌شود. فن آوری فرآیندهای غشایی دارای طیف گسترده‌ای از قابلیت جداسازی در سطح مولکولی است. غشاهای UF از سال ۱۹۸۰ برای جدا سازی رنگ، BOD، COD و AOX از فاضلاب‌ها عملیاتی شده‌اند. این فن آوری جدید، سبب صرفه جویی انرژی درصنعت خمیرکاغذ ایالات متحده تا حدود ۱۱۶ PJ در سال شده است (کونگ و دیگران،۲۰۱۶).

از ویژگی‌های فن آوری جدید غلظت غشا لیکور سیاه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود (کونگ و دیگران،۲۰۱۶ و جانسون و دیگران، ۱۹۸۵ و دیلارد،۱۹۹۸): کاهش هزینه انرژی برای تبخیر لیکور سیاه، کاهش ظرفیت تبخیر، کاهش درصد مواد معدنی تبخیرشده و در نتیجه رسوب کمتر، نفوذ بهتر غلظت قلیایی فعال برای بهبود تشکیل لیکور، از بین بردن تنگناها دیگ بازیابی بخار

بازیابی گرمای دیگ پخت با فشار مضاعف[1]: دیگ بازیابی بخار به‌طور گسترده‌ای در صنعت کاغذ و خمیرکاغذ برای برای بازیابی برخی مواد شیمیایی از لیکور سیاه و سفید، تولید برق از طریق یک

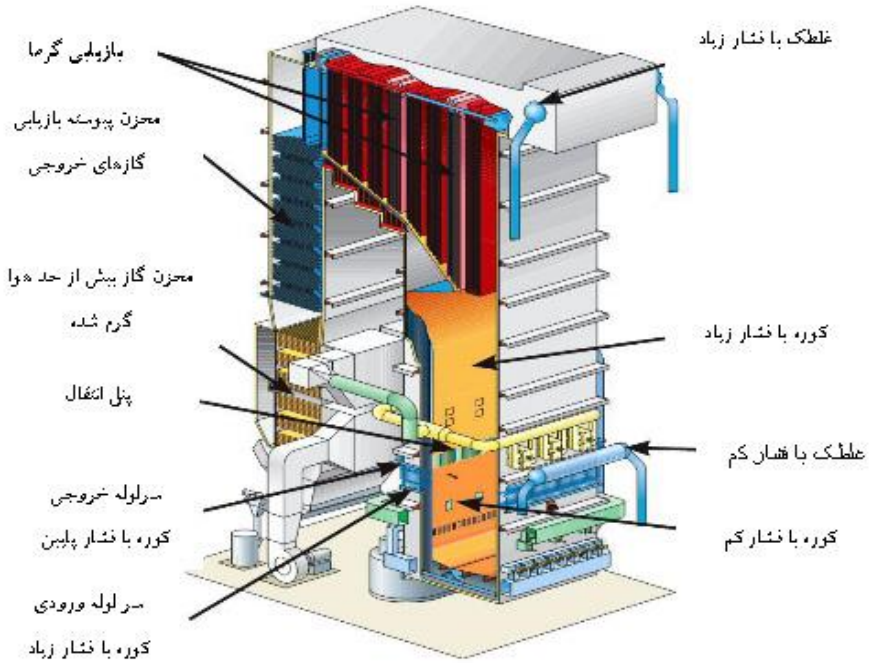
1. Dual-pressure reheat recovery boiler

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

توربین بخار و تولید بخار فرایند در کارخانه استفاده می‌شود. در دیگ بازیابی، از گرما برای تولید بخار با فشار بالا استفاده می‌شود که در نهایت، برای تولید برق در یک توربین مورد استفاده قرار می‌گیرد. با پیشرفت و توسعه فناوری‌های جدید، دیگ بخار نیز با بسیاری از ویژگی‌های جدید تکامل یافته است (کونگ،۲۰۱۴ و مناکلی و دیگران،۲۰۰۸). دیگ پخت بازیابی گرما با فشار زیاد (دوبل)، به‌عنوان ترکیبی از یک دیگ پخت بازیابی کلاسیک و یک دیگ بخار ابزار بحرانی کلاسیک طراحی شده است. این دیگ متشکل از یک کوره در پایین و یک کوره در قسمت بالا است(شکل ۲) (هیکس و دیگران،۲۰۰۹). کوره پایینی در دمای پایین‌تر برای جلوگیری یا کاهش خوردگی لوله‌های کوره تحتانی عمل می‌کند. کوره پایینی می‌تواند به‌همراه یک جریان کم فشار طبیعی، مولد بخار سیستم شود. کوره‌های بالا، در دما و فشار بالاتری عمل می‌کند که این کار اجازه می‌دهد که چرخه‌ی بازیابی گرمای بخار با بازده بالاتری فعالیت کند (پیزیچینی و دیگران،۲۰۰۵).

فن‌آوری‌های جدید بازیابی گرما، انرژی الکتریکی بیشتری از چرخه بخار کارخانه خمیر تولید می‌کنند. این فن آوری می‌تواند قدرت تولید در دیگ بخار بازیابی در کارخانجات خمیر را بین ۳۰ تا ۱۳۰ درصد افزایش دهد (کونگ، ۲۰۱۴).

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]



شکل ۲. طرحی از دیگ پخت بازیابی گرما با فشار زیاد (دوبل) (کونگ،۲۰۱۴).

از ویژگی‌های فن آوری جدید بازیابی گرمای دیگ پخت با فشار مضاعف می‌توان به موارد زیر اشاره نمود (کونگ،۲۰۱۴ و گراوس و دیگران، ۲۰۰۷): بهبود بازده چرخه بخار، افزایش تولید برق برای ورودی سوخت‌های مشابه، انتشار کمتر گازهای گلخانه‌ای به‌دلیل بازده بالاتر و کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی، بازگشت کوتاه سرمایه‌گذاری.

چرخه شستشوی بخار[1]: شستشوی خمیر از رایج‌ترین عملیات واحد پخت و رنگبری است. هدف کلی از شستشوی خمیر، به حداکثر رساندن بازیابی مواد شیمیایی معدنی و مواد آلی حل شده در خمیر است که می‌تواند به‌عنوان سوخت، به‌منظور به‌حداقل رساندن استفاده از آب تازه و تولید خمیر تمیز و بدون هیچ‌گونه آسیبی به محیط زیست به‌کار گرفته شود (کونگ،۲۰۱۴ و گولیچسن،۲۰۰۰).

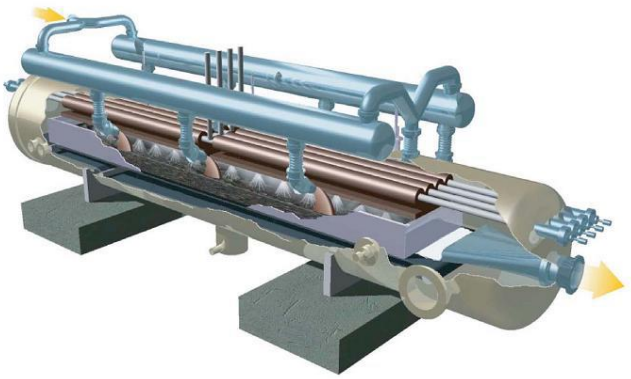
1. Steam cycle washing

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

شستشوی موثر، برای به حداکثر رساندن بازگشت لیکور پخت در پروسه بازیابی شیمیایی و به‌حداقل رساندن هزینه تبخیر بخار به‌عنوان یک عامل حیاتی به‌حساب می‌آید. فن‌آوری‌های شستشو متنوعی در طول ۵۰ سال گذشته توسعه یافته‌اند، ازجمله شستشوی درام، شستشوی پرسی، شستشوی جابجایی، شستشوی تسمه‌ای، شستشو استخراجی(کونگ،۲۰۱۴).

امروزه شستشوی درام چرخشی، متداول‌ترین فن آوری شستشو با فاکتور رقت ۳ تا ۴ تن آب در هر تن خمیر خشک در کارخانجات خمیرسازی است. مقدار آب موردنیاز برای شستشو در این فن آوری بین ۲/۵ تا ۳ تن به ازای هر تن خمیر خشک است که این مقدار در سیستم‌های قدیمی نزدیک به ۱۲تا ۱۳ تن به ازای هر تن خمیر خشک بوده است، یعنی کاهش مصرفی بین ۷۰تا ۷۵ درصد. این فن آوری از آب کمتری در مقایسه با سیستم شستشوی معمولی استفاده می‌کند. درنتیجه، به انرژی کمتری برای پمپاژ، غربال کردن و عملیات تبخیر نیاز است(کونگ و دیگران،۲۰۱۶ و کونگ،۲۰۱۴).

شکل ۳ طرحی از این دستگاه را نشان می‌دهد.



شکل ۳- یک دستگاه چرخه شستشوی بخار (کونگ،۲۰۱۴).

از ویژگی‌های فن آوری جدید چرخه شستشوی بخار می‌توان به موارد زیر اشاره نمود(کونگ و دیگران،۲۰۱۶ و کونگ،۲۰۱۴): کاهش مصرف سوخت و بخار به طور کلی تا ۴۰ درصد، کاهش بار تبخیر تا ۵۰ درصد، کاهش پساب کارخانه و استفاده از آب شیرین تا ۴۵ درصد، افزایش عملکرد الیاف بین ۱ تا ۲ درصد، کاهش مصرف مواد شیمیایی رنگبر.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

تفکیک کاغذ بازیافتی: تفکیک کاغذ بازیافتی یک مفهوم جدید نیست، اما تنها تعداد کمی از کارخانه‌های تولید کاغذ بازیافتی از این فن‌آوری در فرایند جوهرزدایی استفاده می‌کنند. هدف از تفکیک، بهبود کیفیت خمیر جوهرزدایی شده[1] (DIP) از طریق جداسازی الیاف بلند از الیاف کوتاه و نرمه‌ها، با توجه به معیارهای تعریف شده مانند اندازه یا شکل آن‌ها می‌باشد(کونگ و دیگران،۲۰۱۶ و کونگ،۲۰۱۴). تفکیک می‌تواند هم به‌وسیله‌ی غربال‌های فشاری و هم تمیزکننده‌های گریز از مرکز انجام شود. فن آوری تفکیک در طول چرخه‌ی خمیرکاغذ بازیافتی، ذرات جوهر را از مجاورت الیاف حذف کرده و در نتیجه مانع رسوب مجدد آن‌ها به درون الیاف می‌شود. ذرات جوهر باید برای به‌حداقل رساندن غلظت جوهر که پس از پخت باقی مانده است حذف شوند. لازم است ذرات جوهر قبل از اینکه فرایند دفیبره شدن کامل شود ازخمیر جدا شوند (کونگ و دیگران،۲۰۱۶ و کمپاینن و دیگران،۲۰۱۰). نیاز به انرژی برای انجام این فن‌آوری بسیار کمتر از سیستم متداول جوهرزدایی چندمرحله‌ای به‌وسیله‌ی شناورسازی است. با این‌حال، هنگامی که از این سیستم استفاده می‌شود، به مواد شیمیایی رنگبری‌کننده اضافی برای جبران کاهش ظرفیت شناورسازی نیاز است. این فناوری دارای هزینه سرمایه ۱۳ تا ۲۲ درصد کمتر در مقایسه با خطوط DIP سنتی است. با استفاده از این فن‌آوری مصرف برق تا میزان ۱۱تا ۱۳ درصد و استفاده از انرژی حرارتی تا ۴۰ درصد کاهش می‌یابد (کونگ و دیگران،۲۰۱۶).

از ویژگی‌های فن آوری جدید تفکیک کاغذ بازیافتی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: کاهش مصرف انرژی، بهبود راندمان جدا شدن جوهر، کاهش مصرف فیبر دست‌نخورده، افزایش تولید DIP، بهبود کیفیت خمیر (کونگ و دیگران،۲۰۱۶ و کونگ، ۲۰۱۴ و کمپاینن و دیگران،۲۰۱۰).

جوهرزدایی با استفاده از سورفاکتانت: اسپری سورفاکتانت یک فن آوری جدید برای انواع مختلف از کاغذهای بازیافتی است که باعث بهبود حذف جوهر، کاهش استفاده از مواد شیمیایی و از دست رفتن فیبر و آب در طول فرایند جوهرزدایی می‌شود(کونگ،۲۰۱۴ و ژائو و دیگران،۲۰۰۴). درنتیجه این فن آوری سبب کاهش هزینه‌های عملیاتی نیز می‌شود. این فن آوری، فرایند حذف جوهر را از طریق جذب بر روی سطح ذرات جوهر و کاهش ویژگی‌های آبگریزی آن‌ها افزایش می‌دهد، به‌طوری که آن‌ها به‌راحتی می‌توانند از هم جدا شده و از سوسپانسیون خمیر حذف شوند. استفاده از سورفاکتانت کنترل

1. Deinked pulp

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

فرآیند را نیز از طریق، جلوگیری از حل شدن عامل فوم ساز در حجم عمده‌ای از مخلوط خمیر بهبود می‌بخشد. این فن آوری در یک کارخانه تولید روزنامه (۱۰۰درصد الیاف ثانویه) به انجام رسید و نتایج به‌دست آمده کاهش بیش از ۵۰ درصدی در از دست رفتن الیاف را بدون کوچک‌ترین تاثیر منفی در کیفیت خمیر نهایی نشان داد.

از ویژگی‌های فن آوری جدید جوهرزدایی با استفاده از سورفاکتانت می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: کاهش از دست رفتن فیبر تا ۵۰ درصد، افزایش بازده DIP تا ۳/۵ درصد، بهبود بازده جوهرزدایی، کاهش استفاده از آب و مواد شیمیایی در جوهرزدایی (۳۸۰ لیتر در دقیقه صرفه جویی در آب و ۱۰درصد صرفه جویی در مواد شیمیایی به اثبات رسید)، کاهش شکل‌گیری بد کاغذ، بهبود کیفیت کاغذ، نیاز به هزینه سرمایه‌گذاری کم و کم‌ترین تجهیزات.

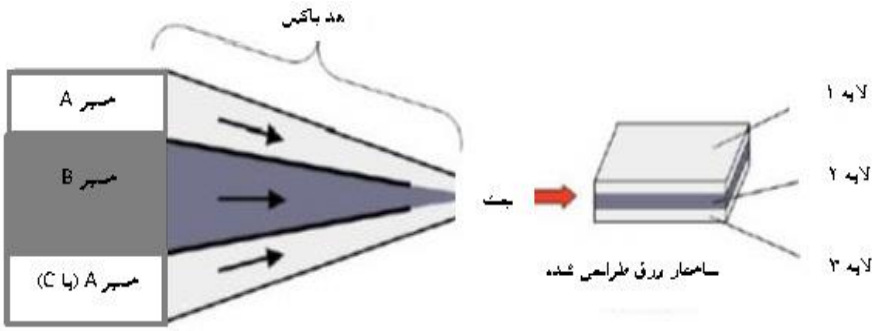
۵. فن آوری‌های جدید در کاغذسازی

فن آوری Aq-vane: جهش عظیم دیگری که در کاغذسازی به وقوع پیوسته است مربوط به تشکیل لایه‌ای، به منظور کاهش مصرف انرژی، بهبود ویژگی‌های محصولات و احتمالا توسعه محصولات کاملا جدید است(سودربرگ و دیگران،۲۰۰۴). فن آوری Aq-vane برای تولید کاغذ چند لایه و مقوا مورد استفاده قرار می‌گیرد. فن آوری Aq-vane، قادر به تولید کاغذ چندلایه و مقوا تنها با استفاده از یک هدباکس است، که باعث کاهش پیچیدگی و همچنین کاهش مصرف انرژی و مصرف مواداولیه می‌شود(سودربرگ،۲۰۰۶).

آزمایش فن آوری Aq-vane، در سه نوع کاغذ تولید شده توسط دستگاه Euro FEX نشان داد که، با استفاده از این فن آوری، درصد استفاده از مواد پرکننده در کاغذ از ۳۵ درصد به ۴۵ درصد افزایش و مصرف انرژی نیز تا ۱۶ درصد کاهش یافت.

این فن آوری را می‌توان تقریبا در هر نوع کاغذ با هرگراماژی به‌کار برد(سودربرگ و دیگران،۲۰۰۴).

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]



شکل ۳. طرح شماتیک از یک هدباکس برای تشکیل طبقه‌ای و پیش‌بینی ساختار ورق طراحی شده (سودربرگ و دیگران،۲۰۰۴)

از ویژگی‌های فن آوری جدید Aq-vane می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: کاهش استفاده از مواداولیه فیبری، کاهش مصرف انرژی به‌دلیل مصرف کمتر مواد اولیه فیبری، بهبود خواص کاغذ با خلوص لایه بالاتر، بهبود زبری سطح و سفتی خمشی، کاهش هزینه‌های عملیاتی (سودربرگ،۲۰۰۸ و سودربرگ،۲۰۰۶).

تشکیل ورق خشک: در فرایندهای کاغذسازی متداول، از فوردرینیر و دو توری شکل‌گیری، به‌طور گسترده‌ای برای تولید کاغذ نازک و چندلایه یا مقوا استفاده می‌شود. بهرحال، هم فوردرینیر و هم دو توری شکل‌گیری جزء فن آوری تولید کاغذهای با غلظت واستحکام کم می‌باشند. در این فن آوری، مواد شیمیایی زیادی باید برای افزایش ماندگاری فرنیش خمیر بر روی شبکه کاغذ به‌کار گرفته شوند(کونگ،۲۰۱۴).

اصل مهم در تشکیل ورق خشک، تولید کاغذ بدون اضافه‌کردن آب است که این عمل مستلزم ایجاد سطح بالایی از جریان هوای آشفته برای تولید محصولات کاغذی است(مارتین و دیگران،۲۰۰۰). در این روش، الیاف در هوا معلق شده و کاغذ در این سوسپانسیون تشکیل می‌شود(دی بیر و دیگران،۱۹۹۸).

این فن آوری در مقایسه با دیگر فرایندهای تشکیل ورق خشک، دارای نرخ تولید بالاتر و کنترل بهتر جریان هوا می‌باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

یک خط تولید ورق خشک متداول از چهار واحد زیر تشکیل می‌شود: آماده‌سازی الیاف، تشکیل شبکه، استحکام شبکه و مرحله پایانی(جیانگ،۱۹۹۷).

تعداد کمی از کارخانه‌ها از این روش استفاده می‌کنند، اما در همین تعداد نیز صرفه جویی قابل توجهی در انرژی مشاهده شده است(مارتین و دیگران،۲۰۰۰). در آلمان در سال ۱۹۹۷، ماشین کاغذ تشکیل ورقه خشک جدیدی با ظرفیت ۲۵۰۰۰ تن در شروع به‌کار کرد که اولین مورد از استفاده از این فناوری به‌حساب می‌آید(کونگ،۲۰۱۴ و مارتین و دیگران، ۲۰۰۰).

گنجایش نصب این فن‌آوری در سراسر جهان در حدود ۳۵۰۰۰۰ تن بر سال بوده و این مقدار به سرعت در حال رشد است.

در طول چند سال آینده انتظار می‌رود، ایجاد ظرفیت مازاد جدید نزدیک به ۱۲۰۰۰۰ تن / سال باشد که عمدتا در شمال امریکا است. تخمین زده می‌شود که با به‌کارگیری این فن آوری، مصرف انرژی در بخش خشک‌کن کاهش می‌یابد. از آنجاکه هیچ آبی در این فن آوری استفاده نمی‌شود، نیازی به تصفیه-خانه فاضلاب و پساب که بخشی از عملیات معمول در کارخانه کاغذ است وجود نخواهد داشت(کونگ و دیگران،۲۰۱۶). از معایب این فن آوری می‌توان به افزایش مصرف برق در تشکیل کاغذ، کاهش یکنواختی در ضخامت کاغذ، مقاومت پایین‌تر ورق، و کاهش صافی اشاره نمود. عیب دیگر این فن آوری، سرعت پایین آن برای تولید درجات مختلف کاغذهای استاندارد در مقایسه با فن آوری‌های مرسوم است. این فن آوری اغلب مورد استفاده برای تولید محصولات مراقبت شخصی پوشک بچه، محصولات بی‌اختیاری بزرگسالان و غیره) و برخی از محصولات تخصصی نظیر(محصولات پزشکی، حوله گرم و غیره) است(کونگ،۲۰۱۴ و مارتین و دیگران، ۲۰۰۰).

از ویژگی‌های فن آوری جدید تشکیل ورق خشک می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: کاهش مصرف انرژی در بخش خشک‌کن تا ۵۰ درصد، افزایش مصرف برق از ۱۵۰ به ۲۵۰ کیلووات ساعت / تن کاغذ، تولید محصولات کاغذی نرم‌تر (کونگ و دیگران،۲۰۱۶ و مارتین و دیگران، ۲۰۰۰).

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

خشک کردن ناگهانی(ضربه‌ای) در فرایند پرس تر[1]: خشک کردن ناگهانی، یک فن آوری جدید است که در آن آب در کاغذتر به‌وسیله‌ی ترکیبی از فشار و گرمای شدید حذف می‌شود و این عمل باعث بهبود آبگیری مکانیکی کاغذ وکاهش مقدار آبی که باید در بخش خشک‌کن از آن خارج شود، شده است(ماتیا و دیگران،۲۰۱۶). هنگامی‌که از این فن آوری استفاده می‌شود، مقدار مواد جامد موجود در شبکه کاغذ برای ورود به بخش خشک‌کن می‌تواند به بالاتر از ۶۵ درصد برسد، درحالی‌که این مقدار در بخش پرس معمولی تنها در حدود ۴۰ درصد است. این فن آوری، ترکیبی از پرس و خشک‌کردن است. شبکه کاغذ در ماشین کاغذ، درحالی‌که تحت فشار قرار دارد در معرض یک گرمای ناگهانی شدید نیز قرار می‌گیرد. این روش سبب افزایش ناگهانی دمای سطح شبکه الیاف در مقایسه با روش متداول می‌شود(کونگ،۲۰۱۴). بخار تولید شده در سطح داغ شبکه الیاف سبب هل‌دادن آب از منافذ ریز فشرده شده و در نهایت بخار تولیدی می‌توانند آزادانه از طریق این کانال جریان یابد. خشک‌کردن ناگهانی می‌تواند سرعت خشک شدن کاغذ را نزدیک به ۵۰ تا۵۰۰ دفعه نسبت به فن‌آوری خشک‌کردن معمولی افزایش دهد. علاوه براین، این فن آوری بهره‌وری و کیفیت کاغذ را نیز بهبود می‌بخشد، برای مثال صافی و مقاومت کاغذ افزایش می‌یابد(دی بیر و دیگران،۱۹۹۸). فن‌آوری خشک‌کردن ناگهانی(ضربه‌ای) برای اولین‌بار در سال ۱۹۸۰ توسط IPST[2] با همکاری شرکت بیلویت توسعه داده شد. این فن آوری را می‌توان به یک دستگاه موجود اضافه کرد و یا به یک ماشین جدید انتقال داد. برای ماشین‌های جدید، اندازه و هزینه یک ماشین کاغذ با خشک‌کن ضربه‌ای کمتر از یک ماشین معمولی است(کونگ،۲۰۱۴).

از ویژگی‌های فن آوری جدید خشک کردن ناگهانی(ضربه‌ای) در فرایند پرس‌تر می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: کاهش تبخیر آب در بخش خشک‌کن، ۱۷۵تا ۳۵۰ کیلوگرم آب به‌ازای هر تن کاغذ، کاهش مصرف بخار برای خشک‌کردن در محدوده ۰/۴۴ تا ۰/۹ گیگاژول به‌ازای هر تن کاغذ که برابر با کاهش ۱۰تا ۲۵ درصدی در مصرف بخار است، افزایش سرعت خشک شدن تا نزدیک به ۵۰ تا ۵۰۰ دفعه، افزایش بهره‌وری تا ۲۰ درصد، بهبود خواص کاغذ، مانند صافی، مقاومت و سفتی، کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری (کونگ،۲۰۱۴).

1. Impulse drying in wet pressing process
2. International Conference on Power Systems Transients

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

پرکننده‌های لیفی جدید: پرکننده‌های معدنی معمولا به‌منظور کاهش هزینه تولید و مصرف انرژی به‌جای الیاف چوب در تولید محصولات کاغذی استفاده می‌شوند. استفاده از پرکننده‌ها فقط تا حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد در تولید یک محصول محدود می‌شود به‌دلیل اینکه استفاده بیش ازحد از آن‌ها باعث کاهش مقاومت و کیفیت کاغذ می‌شود. اگر پرکننده معدنی بیش از درصد مورد نظر در کاغذ مورد استفاده قرار بگیرد، می‌تواند خواص کاغذ را کاهش دهد. شرکت بین المللی [1](GRI)، با همکاری چندین شریک بزرگ صنعتی، برای غلبه بر این مشکلات از یک پرکننده فیبری جدید استفاده نمودند (کونگ و دیگران،۲۰۱۶ و کونگ،۲۰۱۴). اساس این پرکننده‌های فیبری کلسیم و سیلیس می‌باشد که می‌تواند جایگزین بیش از ۴۰ درصد از خمیر در کاغذسازی شود، درعین‌حال قادر به حفظ خواص کاغذ و کاهش مصرف انرژی است. صرفه‌جویی در انرژی با استفاده از پرکننده‌های فیبری جدید، به‌دلیل افزایش در درصد مواد جامد در ورق است که این اتفاق، سبب کاهش انرژی خشک‌کردن می‌باشد. بر اساس گزارش-ها، استفاده از این پرکننده‌های فیبری می‌تواند موجب صرفه‌جویی انرژی تا ۲۵ درصد و کاهش هزینه‌ها تا نزدیک ۱۰ تا ۵۰ دلار بر حسب تن کاغذ تولیدی شود (کونگ،۲۰۱۴). از دیگر مزایای استفاده از این پرکننده‌ها می‌توان به جایگزین کردن آن‌ها به‌جای پرکننده‌های گران مانند TiO_2 و سیلیس اشاره نمود. این پرکننده‌های فیبری، همچنین منجربه نگه‌داری بهتر الیاف، مواد افزودنی و نرمه‌های خمیر می‌شوند که درنتیجه به میزان قابل‌توجهی موجب کاهش COD و BOD در کارخانه می‌شود. پرکننده‌های فیبری می‌توانند در تمام محصولات کاغذ و مقوا استفاده شوند(کونگ و دیگران،۲۰۱۶).

از ویژگی‌های فن آوری جدید پرکننده‌های لیفی جدید می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: کاهش انرژی مصرفی تا ۲۵ درصد، جایگزینی پرکننده گران مانند TiO_2 و سیلیس، افزایش ماده جامد در وب کاغذ، بهبود نگه‌داری / افزایش نرخ زهکشی آب، بهبود خواص نوری کاغذ مانند (روشنایی، شفافیت،کیفیت چاپ)، کاهش BOD، COD و کدورت آب در کارخانه، ایجاد درآمد بیشتر از تولید محصولات جدید (کونگ و دیگران،۲۰۱۶ و کونگ،۲۰۱۴).

1. Global Reporting Initiative

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

٦. نتیجه‌گیری

به وضوح مشخص گردیده این انرژی است که امکان توسعه و پیشرفت اقتصادی را فراهم می‌کند. در این میان باید سعی نمود چرخه نابهنجاری که به شکل رشد اقتصادی، استفاده از انرژی و مشکلات زیست محیطی رشد یافته است، از میان برود. تمامی فن‌آوری‌های بهره‌وری انرژی ارائه شده در این مقاله می‌توانند، جایگزین مناسبی برای تولیدات متداول و قدیمی کاغذ و خمیرکاغذ می‌باشند که علاوه‌بر مزایایی که در مورد هر کدام از آن‌ها بیان شد می‌توان از آن‌ها در تولید مواد شیمیایی باارزش بهره برد، به‌عنوان مثال، در تولید مواد شیمیایی جدید، در صنعت موادغذایی، رنگ، پلاستیک، دارویی.

علاوه بر اثرات مثبت بیان شده در این مطالعه در زمینه استفاده از فن‌آوری‌های جدید بهره‌وری انرژی، این احتمال وجود دارد که برای توسعه و رشد صنعت کاغذ و خمیر کاغذ، تنها فن‌آوری‌های اشاره شده به تنهایی قادر به برطرف کردن تمامی مسائل و مشکلات پیش‌روی این صنعت نباشند و به‌منظور کاستن از این مشکلات باید مجموعه‌ای از این عوامل که در ارتباط با یکدیگر می‌باشند بکار گرفته شوند. به عنوان مثال، نظارت استفاده بر استفاده از لیکور سبز، چرخه شستشوی بخار، تفکیک کاغذهای بازیافتی و جوهرزدایی به‌وسیله استفاده از اسپری سورفاکتانت در کنار یکدیگر، به‌طور بسیار موثری در کاهش انتشار آلودگی‌ها وزباله‌های فرایندی به طبیعت نقش دارند. تشکیل کاغذ با مقاومت و سازگاری بالا، یکی از راه‌حل‌های جذاب برای کاهش چشم‌گیر در مصرف آب و انرژی در فرایند کاغذسازی می‌باشد. فن‌آوری‌های مذکور می‌تواند به شناسایی پروژه‌های جدید تحقیقاتی و توسعه‌ای در صنعت کاغذ و خمیرکاغذ کمک شایانی نموده و تحول عظیمی در بازار این به‌وجود آورد.

منابع

[1] Abbasi, G.Y., and Abbassi, B.E. (2004). Environmental assessment for paper and cardboard industry in Jordan -a cleaner production concept. J. Clean. Prod. 12, 321e326.

[2]Akhtar, M., et al. (2007). Method for Producing Pulp (Patent No.: US 7306698 B2).

[3] Aryaie Monfared, Mohammad Hadi, Dashtbani Khezri, Vaziri, & Vahid. (2018). The importance of energy and ways to improve its consumption in the pulp and paper industries. Journal of Conservation and Exploitation of Natural Resources, 6 (2), 15-27.

[4] Boharb, A., et al. (2017). Energy conservation potential of an energy audit within the pulp and paper industry in Morocco. Journal of Cleaner Production, 149, 569-581.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

[5] Compere, A.L. (2006). Increasing Yield and Quality of Low-temperature, Low-alkali Kraft Cooks with Microwave Pretreatment. DOE Industrial Technologies Program, Atlanta, Georgia.

[6]Dashtbani khezri, R. et al. (2014). "Investigation on Detrimental Aspects of Pitch Types and Their Biological Control Alternatives in Pulp and Paper Industries". Journal of conservation and exploitation of natural resources, 2(1), 1-20.

[7] de Beer, J., et al. (1998). "Long-term energy-efficiency improvements in the paper and board industry". Energy 23 (1): 21-42.

[8] Delozier, G., et al. (2005). "Laboratory- and mill scale study of surfactant spray flotation deinking". TAPPI 88 (10): 25-30.

[9]Demuner, B.J., et al. (2011). Technology prospecting on enzymes for the pulp and paper Industry. Journal of technology management and innovation, 6: 148-158.

[10] Dillard, D.S. (1998). "Membrane Technology Applications in the Pulp and Paper Industry. National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement, Inc". (NCASI), Research Triangle Park, NC. Technical Bulletin No. 763.

[11] Graves, J.K., et al. (2007). "Dual Pressure Recovery Boiler. Babcock & Wilcox Power Generation Group, Inc".

[12] Gullichsen, J. (2000). Chapter 2, Fiber Line Operation. In Chemical Pulping, Book 6 B, Papermaking Science and Technology, edited by J. Gullichsen and C.-J. Fogelholm: Fapet Oy, Helsinki, Finland.

[13] Hemmasi, A.H. (2005). Application of biotechnology in pulp and paper industry. Tehran, Journal of Agricultural Sciences, 11(1): 105-118. (In Persian)

[14] Hicks, T.E., et al. (2009). "Recovery boiler reheat steam cycle". In: 2009 TAPPI Engineering, Pulping & Environmental Conference, Memphis, Tennessee.

[15] International Energy Agency (IEA). (2009). Energy Technology Transitions for Industry e Strategies for the Next Industrial Revolution (Paris, France).

[16] Industrial Technologies Progarm (ITP). (2011). "IMPACTS: Industrial Technologies Program: Summary of Program Results for CY 2009". U.S. Department of Energy, Washington, D.C.

[17] Jiang, B. (1997). "Experimental Investigation of a Batch, Fluidizing Drying Forming Process". Master Thesis, Department of Chemical Engineering, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada.

[18] Jönsson, A. S., and Wimmerstedt, R. (1985). The application of membrane technology in the pulp and paper industry. Desalination, 53(1-3), 181-196.

[19] Kamali, M., and Khodaparast, Z. (2015). Review on recent developments on pulp and paper mill wastewater treatment. Ecotoxicol. Environ. Saf. 114, 326–342. doi: 10.1016/j.ecoenv.2014.05.005.

[20] Kemppainen, K., et al. (2010). "Benefits of Fractionation during pulping in Deinking". Paper presented at the 2010 TAPPI Peers Conference and 9th Research Forum on Recycling, Norfolk, Virginia, USA.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

[21] Kong, L., et al. (2016). Assessment of emerging energy-efficiency technologies for the pulp and paper industry: a technical review. Journal of Cleaner Production, 122, 5-28.
[22] Kong, L. (2014). Emerging Energy-efficiency and Greenhouse Gas Mitigation Technologies for the Pulp and Paper Industry.
[23] Li, X., et al. (2011). Oxalic acid pretreatment of rice straw particles and loblolly pine chips: release of hemicellulosic carbohydrates. Tappi. 94, 41e45.
[24] Lucia, L.A. (2006). Highly Energy Efficient Directed Green Liquor Utilization (D-GLU) Pulping. DOE Industrial Technologies Program, Atlanta, Georgia.
[25] Martin, N., E. Worrell, M. Ruth, L. Price, R. N. Elliott, A. M. Shipley, and J. Thorne. (2000). Emerging energy-efficient industrial technologies. Berkeley, Carlifornia: Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL-46990.
[26] MATTIA, D., & GUIDO, T. (2016). Potential of impulse drying technology for molded pulp products manufacture.
[27] Monacelli, J. E., et al. (2008). "Enhanced steam cycle utilizing a dual pressure recovery boiler with reheat". Patent No.: US20090241860.
[28] Naqvi, M., Yan, J., Dahlquist, E. (2010). Black liquor gasification integrated in pulp and paper mills: a critical review. Bioresour. Technol. 101, 8001e8015.
[29] Pizzichini, M., Russo, C., & Di Meo, C. (2005). Purification of pulp and paper wastewater, with membrane technology, for water reuse in a closed loop. Desalination, 178(1-3), 351-359.
[30] Scott, G.M., et al. (1998). New technology for papermaking: commercializing biopulping. TAPPI 81, 153e157.
[31] Shirazi, B. and Akhundzadeh, M. (2017). "Technology selection and evaluation in Iran's pulp and paper industry using 2-filterd fuzzy decision making method". Journal of Cleaner Production, 142, 3028-3043.
[32] Soderberg, D. (2008). "A New Technique for Stratified Forming". Paper presented at the 2008 TAPPI PaperCon Conference, Dallas, Texas, USA.
[33] Soderberg, D. (2006). "Potential of new stratification technique", Deliverable D4.2.2, ECOTARGET Publishable Final Activity Report.
[34] Söderberg, D., Lucisano, M. F., & STFI-Packforsk, A. B. (2004). "Aq-vanes: a new technology for stratified forming. ATIP." Association technique de l'industrie papetière, 58(6), 17-19.
[35] Swaney, R., Akhtar, M., Horn, E., Lentz, M., Klungness, J., & Sabourin, M. (2003). Oxalic acid pretreatment for mechanical pulping greatly improves paper strength while maintaining scattering power and reducing shives and triglycerides.
[36] U.S. Department of Energy (U.S. DOE). (2005). Forest Products Industry of the Future: Quarterly Status Reports.
[37] Yu, C., Shi, L., Wang, Y., Chang, Y., Cheng, B. (2016). "The eco-efficiency of pulp and paper industry in China: An assessment based on slacks-based measure and Malmquist-Luenberger index." J. Clean. Prod. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.03.153.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]

[38] Viforr, S. (2008). "Enzymatic Pre-treatment of Wood Chips for Energy Reductions at Mechanical Pulp Production e a Review." Deliverable 1.1.11, ECOTARGET 500345.
[39] Zarkovic, D.B., et al. (2011). "Conservation of resources in the pulp and paper industry derived from cleaner production approach." Resour. Conserv. Recycl. 55, 1139–1145. doi: 10.1016/j.resconrec.2011.07.003.
[40] Zhao, Y., et al. (2004). "Roles of Surfactants in Flotation Deinking." Progress in Paper Recycling 14 (1): 41-45.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-11]