DOI: 10.22092/irn.2022.126674

دیدگاه

آینده‌نگری در صنعت چوب

رضا جزایری [۱*]، محمدباقر رضایی [۲]، سعید مهدوی [۳] و صدیقه نظری [۴]

مقدمه

آینده‌نگری یکی از مقولات مهم در تدوین راهبردهای مناسب برای بخش‌های مختلف اقتصادی ازجمله صنعت است. بر مبنای آینده‌نگری دقیق و درست می‌توان برنامه‌های درازمدت را به‌صورت کارآمد پی‌ریزی کرد. برای پیش‌بینی روندهای بلندمدت در مقایسه با روندهای کوتاه‌مدت، تحلیل‌های اقتصادی متفاوتی وجود دارد. از آغاز قرن بیست و یکم، صنعت چوب در مقیاس جهانی شاهد تحولات چشمگیری بوده است، بازار جهانی صنعت چوب روند متفاوتی را نسبت به آنچه که در قرن بیستم بود، نشان می‌دهد. در مسیر تحولات مشاهده می‌شود، کشورهایی که بیشترین سهم را در بازار جهانی محصولات چوبی سنتی داشتند به‌تدریج با کاهش سهم خود روبه‌رو بودند، ولی با رشد تولید فراورده‌های نسل دوم چوب همراه شده‌اند. در این رابطه اقتصادهای نوظهور به سهم بیشتری در تولید محصولات چوبی سنتی نظیر خمیر کاغذ و کاغذ دست یافته‌اند. بر مبنای تحولات موصوف، پیش‌بینی‌هایی در تولید محصولات نسل اول و دوم چوب برای دهه‌های آتی انجام شده است. براساس تجزیه‌وتحلیل‌های حاصل از آن می‌توان آینده‌نگری را به تناسب توان بالقوه و ظرفیت‌های کشور در صنعت چوب انجام داد تا نقاط ضعف و قوت موجود به همراه فرصت‌های بالقوه شناسایی شوند. نوشتار پیش‌رو نگاهی به سیر تحولات صنعت چوب داشته و به بررسی اهداف درازمدت جهانی آن پرداخته است.

شکل ۱- ساختمان چوبی Mjøstårnet در نروژ

بحث و مرور مطالعات

چوب یکی از مواد اولیه صنعتی به‌شمار می‌رود که سابقه دیرینه در پاسخ به نیازهای بشر داشته است. از ابتدای انقلاب صنعتی و هم‌زمان با توسعه جوامع صنعتی و رشد جمعیت، مصرف چوب افزایش یافت. کاهش سطح جنگل‌ها در جهان سبب شد تا نگاه جدیدی به استفاده درست و کارآمد از انواع مواد اولیه چوبی ایجاد شود و تولید محصولات جدیدی با عنوان چندسازه‌های چوبی گسترش یابد. چندسازه به مخلوطی از دو تا چند ماده مختلف گفته می‌شود، این مواد خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خود را حفظ می‌کنند و در یکدیگر حل نمی‌شوند، به‌طوری‌که مرز مشخصی را با یکدیگر تشکیل می‌دهند. درمجموع این مخلوط، که از ترکیب یک ماده زمینه و یک ماده تقویت‌کننده به دست می‌آید، با توجه به برخی معیارها خواص بهتری از هر یک از اجزای تشکیل‌دهنده خود دارد (Verma و همکاران،

۱*- نویسنده مسئول، محقق بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
پست الکترونیک: jazayeri@rifr-ac.ir
۲- استاد پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
۳- دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
۴- کارشناس بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۲۰۱۲). اصولاً هدف از تهیه چندسازه‌ها، تولید ماده‌ای ترکیبی با استحکام و خواص مکانیکی برتر از خواص هر یک از اجزای تشکیل‌دهنده به‌تنهایی است (Verma و همکاران، ۲۰۱۲) که در تمام صنایع مرتبط به مواد دنبال می‌شود. چوب، خود یک چندسازه طبیعی (بیوکامپوزیت) متشکل از سلولز، همی‌سلولز، لیگنین و مواد استخراجی است، از نگاه دیگر به‌دلیل تأثیر فضاهای خالی یعنی تخلخل در خواص آن، بخشی از چندسازه نیز تلقی می‌شود. در این چندسازه طبیعی سلولز و لیگنین به‌ترتیب به‌عنوان مواد زمینه و تقویت‌کننده عمل می‌کنند. چندسازه‌ها به‌دلیل داشتن خواص مناسب، گستره کاربردی وسیعی بین مواد مختلف دارند. چندسازه لایه‌ای چوب متشکل از چوب (ماده زمینه) و چسب (ماده تقویت‌کننده)، ماده‌ای با ویژگی‌های برتر از مواد سازنده آن است. ارزش چندسازه‌های خرده‌ای چوب مانند تخته‌خرده‌چوب و تخته‌فیبر نیمه‌سنگین به این موضوع مرتبط است که محصولی با استفاده از چوب‌های کم‌ارزش‌تر (نسبت به چوب به‌کاررفته در محصولات چوب ماسیو و لایه‌ای) تولید می‌شود و حتی از منابع لیگنوسلولزی مناسب غیرچوبی نیز می‌توان بهره برد. مواد پلاستیکی، که به‌دلیل خواص مناسب، تنوع و قیمت پایین یکی از مواد با ارزش در صنعت هستند (Pilla, 2011)، چندسازه‌های چوبی جدیدی را با عنوان چوب‌پلاستیک و چوب‌پلیمر ابداع و عرضه کردند. ماده چوبی مورد استفاده در چوب‌پلاستیک، مشابه فراورده‌های خرده‌ای اما به‌صورت آرد چوب است، بنابراین حتی می‌توان از خاک‌اره در تولید آن استفاده کرد، ولی برای تولید چوب‌پلیمر، چوب ماسیو به کار می‌رود. اولین استفاده چوب در ساخت‌وساز ساختمان بود، اما کاهش سطح جنگل‌ها باعث شد در بسیاری از نقاط جهان، مواد دیگری جایگزین چوب شوند و حتی به‌عنوان راهکاری برای کاهش فشار بهره‌برداری از جنگل‌ها مطرح و دنبال شود، اما کشورهایی با سرانه بالای جنگل همچنان از آن به‌عنوان ماده‌ای مناسب در صنعت ساختمان استفاده می‌کنند، اصولاً چوب ارزان‌تر از سایر مصالح ساختمانی است، به‌علاوه ساخت‌وساز با چوب هم ازنظر حمل‌ونقل و هم مونتاژ قطعات با صرف حرارتی بودن، مقاومت بالا در عین سبکی، مقاوم در برابر بلایای طبیعی مانند زلزله و ارزانی، موضوع دیگری که باعث رویکرد مجدد به آن در ساختمان‌سازی شد، بحث انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌عنوان معضل محیط‌زیستی بود، درواقع استفاده از چوب از زمان آماده‌سازی تا ساخت سازه با صرف انرژی بسیار کمتری نسبت به سایر مواد منجر به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. از سوی دیگر، چوب عاملی برای ذخیره‌سازی کربن از گازهای گلخانه‌ای طی فرایند فتوسنتز به‌شمار می‌رود. به‌عبارت‌دیگر، ساختمان‌های چوبی با نگهداری کربن در بافت چوب به ذخیره کربن و تراز کربن جو نیز کمک می‌کنند.

گزارش Adhikari و Ozarska (۲۰۱۸) نشان می‌دهد، چوب و فراوری آن به‌عنوان ماده ساختمانی در مقایسه با سایر مصالح ساختمانی تا چه اندازه باعث کاهش مصرف انرژی و درنتیجه کم‌شدن گازهای گلخانه‌ای در هوا می‌شود.

در این گزارش با استناد به نتایج تحقیق Williamson و همکاران (۲۰۰۱) مشاهده می‌شود، فرایند تولید اکثر مصالح ساختمانی مانند فولاد، بتن و آلومینیوم با صرف مقادیر هنگفت انرژی همراه بوده، حال آن که برای ساخت محصولات چوبی به انرژی بسیار کمتری نیاز است. در این رابطه جدول ۱ نشان می‌دهد، فرایند تولید اکثر مواد ساختمانی در مقایسه با چوب و فراورده‌های آن منجر به انتشار بسیار زیاد گازهای گلخانه‌ای می‌شود که ناشی از مصرف به مراتب بالاتر انرژی است. نتایج مطالعات همچنین نشان می‌دهد، محصولات چوبی دارای ارزش خالص ذخیره‌سازی کربن هستند، به این معنی که کربن ذخیره‌شده در آنها در جریان فرایند فتوسنتز بسیار بیشتر از کربن منتشرشده بر اثر مصرف انرژی است که برای فراوری آنها استفاده می‌شود. این موضوع سبب گسترش تولید فراورده‌های لایه‌ای مهندسی‌شده چوب، یکی از محصولات نسل دوم چوبی، شده است که پیش‌بینی می‌شود در آینده نیز نرخ رشد بالایی خواهند داشت.

جدول ۱- مقایسه انتشار کربن از مصالح ساختمانی و کربن ذخیره‌شده در آنها

ماده	تخته چوبی	فولاد	سیمان	آلومینیوم
انتشار کربن (Kg/m^3)	۱۵	۵۳۲۰	۱۲۰	۲۲۰۰۰
کربن ذخیره‌شده (Kg/m^3)	۲۵۰	۰	۰	۰

هزینه و انرژی کمتری انجام می‌شود. با پیشرفت‌های فناوری به‌ویژه در فراورده‌های لایه‌ای چوب نظیر گلولم و تخته‌لایه متقاطع (CLT)، صنعت ساختمان چوبی به سازه‌های بلندمرتبه گسترش یافت. نمونه‌ای از یک سازه بلندمرتبه چوبی در شکل ۱ مشاهده می‌شود. این ساختمان ۱۸ طبقه به‌عنوان بلندترین ساختمان تمام‌چوبی جهان در کشور نروژ ساخته شد. این ساختمان مختلط اداری، هتلی و مسکونی، اکنون سومین ساختمان بلند نروژ و مرتفع‌ترین ساختمان چندمنظوره این کشور است. علاوه‌بر مزایای چوب به‌عنوان یک ماده ساختمانی ازجمله عایق

همچنین گزارش APA (۲۰۱۷) نشان می‌دهد، آلودگی آب توسط فولاد و سیمان به‌ترتیب ۳۰۰ و ۲۲۵ درصد بیشتر از چوب است. ازاین‌رو استفاده از چوب در صنعت ساختمان انتخاب عاقلانه و هوشمندانه‌تری است.

علاوه‌بر موارد مطرح‌شده، عایق‌بودن چوب در مقایسه با سیمان و فولاد سبب کاهش هدررفت انرژی می‌شود و درنتیجه در طول زمان کاهش بیشتر انتشار گازهای گلخانه‌ای را به همراه خواهد داشت. درمجموع، صنعت ساختمان یکی از بزرگ‌ترین بازارهای

چندسازه‌های چوبی به‌شمار می‌آید. استفاده از چندسازه‌های الیاف طبیعی به‌عنوان جایگزین مناسب آهن و شیشه در ساخت‌وساز و بخش‌های داخل ساختمان در حال گسترش است. در ساخت اجزای دیگر ساختمانی مانند پارتیشن‌ها، سقف‌های کاذب، حصارها، نرده‌ها، کف‌ها و نمای دیوارها به‌خوبی می‌توان از انواع چندسازه‌های چوبی استفاده کرد. چندسازه‌های بر پایه الیاف طبیعی در مقایسه با الیاف شیشه و آهن بسیار ارزان‌تر و سبک‌تر هستند. چندسازه‌های الیاف طبیعی مورد استفاده در ساختمان را می‌توان با انواع فرایندهای شکل‌دهی به‌سهولت تولید کرد. این الیاف به‌راحتی می‌توانند به‌صورت پروفیل‌های پالتروژنی به‌کاررفته در ساخت قاب‌ها شکل داده شوند.

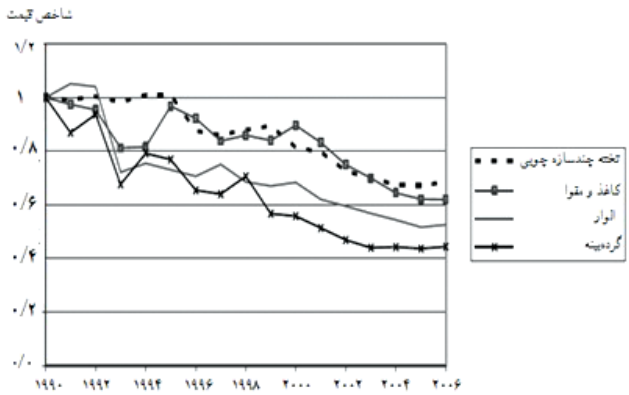
بنابراین با بروز چالش‌های محیط‌زیستی و تغییرات آب‌وهوایی، جنبه‌های مثبت دیگری از چوب، به‌عنوان یک ماده صنعتی، آشکار شده است. از طرفی صنعت چوب همچون سایر صنایع به ملاحظات محیط‌زیستی و بهبود فرایندها نیاز دارد.

ازنظر Adhikari و Ozarska (۲۰۱۸)، منابع اصلی آثار محیط‌زیستی محصولات چوبی را می‌توان به آثار فیزیکی فراوری چوب، مصرف انرژی و تولید گازهای گلخانه‌ای تقسیم کرد. در این خصوص استفاده از مواد کم‌خطر، بهبود فرایند تولید، ارتقای کارکرد ماشین‌آلات، بهبود بهره‌وری انرژی به‌ویژه در سیستم‌های کاهنده رطوبت (چوب‌خشک‌کنی‌ها) به همراه مدیریت پسماندها و سایت‌های صنعتی یکپارچه از راهکارهای سازگاری هرچه بیشتر صنعت چوب و کاغذ با الزامات محیط‌زیستی به شمار می‌آیند. اینکه اصلاح چه مراحلی از فرایند تولید ممکن است به‌طور چشمگیری به کاهش آثار منفی محیط‌زیستی محصولات کمک کند و منجر به شناسایی فرصت‌های بالقوه شود اهمیت دارد. به‌عنوان‌مثال در کارخانه کاغذسازی بخش خشک‌کن کاغذ، بیشترین میزان انرژی (حدود ۷۰درصد) را مصرف می‌کند، بنابراین بهبود و ارتقای عملکرد تجهیزات مربوط به این بخش، تأثیر بسزایی در کاهش مصرف انرژی و اثر کربن خواهد داشت، در اینجا می‌توان نقش تکنولوژی را در جایگزینی و نوسازی ماشین‌های خشک‌کن مشاهده کرد. مثال دیگر، استفاده هرچه بیشتر از منابع چوبی و غیرچوبی برای تولید خمیر کاغذ است که از درصد لیگنین کمتری برخوردارند یا خواص مکانیکی بهتری دارد. این بدان معنی است که خمیر کاغذ با مصرف کمتر مواد آلاینده شیمیایی، همچنین انرژی همراه می‌شود. با افزایش خواص مکانیکی می‌توان گرماژ (گرم بر مترمربع) کاغذ را کاهش داد که نتیجه آن بهره‌وری بیشتر انرژی و مواد است. چالش فراراه کاهش گرماژ کاغذ فراوری‌شده از الیاف متوسط، حفظ کیفیت محصول است که برای برطرف‌سازی مشکل، استفاده از پرکننده‌های الیافی پیشرفته یکی از راهکارهای مؤثر پیش‌رو محسوب می‌شود. با توجه به تقاضای فزاینده انرژی در بخش‌های مختلف صنعتی، یک استراتژی ضروری، توسعه سایت‌های صنعتی بسیار یکپارچه خواهد بود. چنین سایت‌هایی به کاهش مصرف انرژی و منابع کمک می‌کنند. درواقع هر کارخانه در انتقال ماده اولیه به‌صورت مکمل کارخانه دیگر عمل می‌کند و در مجموعه یک سایت صنعتی یکپارچه، هر واحد تولیدی به‌صورت بخشی از واحد تولیدی کلان فعالیت می‌کند. به‌عنوان‌مثال، کارخانه‌های چوب‌بری مقادیر زیادی پسماند زیست‌توده را به سایر کارخانه‌ها مانند کارخانه خمیر کاغذ و نیروگاه‌های حرارتی و برق ترکیبی (CHP) عرضه می‌کنند. واحد خمیر کاغذ، مقادیر زیادی پسماند را به پالایشگاه زیستی ارسال می‌کند که بخشی از محصولات پالایش‌شده سوخت زیستی است که هم می‌تواند در نیروگاه استفاده شود و هم به مصارف حمل‌ونقل برسد و بخش عمده آن نیز به خارج سایت صادر شود (Anderson & Toffolo, 2013). بنابراین، اگر این نیروگاه‌ها کارکرد ترکیبی داشته باشند، مصرف انرژی و ماده اولیه را به‌وسیله زنجیره تأمین ماده اولیه کاهش می‌دهند و به کاهش آثار مخرب محیط‌زیستی نیز کمک می‌کنند. درواقع یک سایت صنعتی یکپارچه در این رابطه، به‌صورت یک خط تولید تشکیل می‌شود. بنابراین، لزوم شناسایی بخش صنعت چوب به‌عنوان بخشی از رویکرد یکپارچه توسعه پایدار برای کمک به تضمین هدف گسترده پایداری محیط‌زیستی روشن می‌شود. این خود در مسیر گسترش و ارتقای انرژی‌های تجدیدپذیر به‌شمار می‌رود. در این رابطه با توجه به حداقل رسیدن آثار نامطلوب محیط‌زیستی، سیاست‌های فراگیر و حمایت نهادی باید انجام شود تا بهبود کارکردها تحقق یابد. معیار سیاست مناسب برای به حداقل رساندن آثار نامطلوب محیط‌زیستی و افزایش کارکرد، همکاری بیشتر با سایر ذی‌نفعان است (Loxton *et al.*, 2013).

علاوه‌بر اقدامات یادشده برای به حداقل رساندن آثار منفی محیط‌زیستی ناشی از فرایند تولید، برخی دیگر از عوامل اجتماعی، اکولوژیکی و اقتصادی نیز باید در نظر گرفته شوند، به‌عنوان‌مثال، برای به دست آوردن عرضه پایدار برای چوب خام از جنگل، مدیریت کارآمد و پایدار تشویق شود. علاوه‌براین به این نکته اشاره شد که صنعت چوب باید انگیزه لازم را برای حمایت از تلاش‌های بخش دولتی و خصوصی در زمینه کاشت و مدیریت ایجاد کند تا هماهنگی بین آنها ایجاد و به فعالیت مردم عادی کمک شود. تأمین مواد اولیه صنعت به علاقه و ظرفیت اجتماعی نیز نیاز دارد تا به دنبال آن واحدهای صنعتی طراحی و راه‌اندازی شوند. همچنین، هماهنگی و همکاری مناسب بین افراد مختلف و ذی‌نفعان نیز برای موفقیت صنعت بسیار مهم است. این کار مشترک نه‌تنها به تولید محصولات چوبی با کیفیت کمک می‌کند، بلکه هم‌زمان آثار سوء محیط‌زیستی آنها را نیز کاهش می‌دهد.

Adhikari و Ozarska (۲۰۱۸) به مطالعات بسیاری اشاره کردند که با هدف شناسایی آثار محیط‌زیستی محصولات چوبی انجام شده بود. همچنین مطالعات ارزیابی جامعی را به‌ویژه برای موارد مبتنی بر روش ارزیابی چرخه عمر (LCA) ارائه می‌دهند. ارزیابی LCA (Life Cycle As-

sessment) یک ارزیابی تعادل اکولوژیکی است که آثار محیط‌زیستی یک محصول را در تمام مراحل از تهیه مواد اولیه تا فراوری مواد، تولید، توزیع، کاربرد در مدت زمان مصرف، نگهداری، تبدیل به پسماند و فرایند بازیافت ارزیابی می‌کند. اهداف LCA مقایسه گستره‌ای از آثار محیط‌زیستی مرتبط با محصولات و خدمات و کمی‌سازی تمامی نهاده‌ها و خروجی‌های جریان مواد، همچنین ارزیابی این مسئله است که چگونه جریان این مواد می‌تواند بر محیط تأثیر گذارد. این اطلاعات برای بهبود فرایندها، پشتیبانی از سیاست‌ها و ارائه مبانی مناسب برای اتخاذ تصمیم‌های آگاهانه ارائه شده است. عبارت چرخه عمر نیز به این مسئله اشاره می‌کند که یک ارزیابی آگاهانه و کل‌نگر، نیازمند ارزیابی تولید مواد خام، توزیع، کاربرد و مسئله پسماند است که در آن باید به همه جابه‌جایی‌های ضروری یا ایجادشده در مراحل فرایند تولید و مصرف محصولات توجه شود. در چند دهه گذشته تحولات ساختاری قابل‌توجهی در صنعت



نمودار ۱- روند شاخص قیمت محصولات چوبی از ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۶
(FAO ،2007)

چوب رخ داده است. در نمودار ۱ طبق گزارش Jonsson و همکاران (۲۰۱۱) و با استناد به گزارش FAO در سال ۲۰۰۷، مشاهده می‌شود، چگونه شاخص قیمت فراورده‌های سنتی چوبی در قاره اروپا از سال ۱۹۹۰تا سال ۲۰۰۶ با نرخ کاهشی همراه بوده است، جنگل‌کاری با گونه‌های تند رشد، پیشرفت فناوری، توسعه اتوماسیون، بهره‌وری انرژی، ICT و مدیریت عوامل اثرگذار بوده‌اند. بنابراین غفلت از پیشرفت‌هایی که به کاهش قیمت‌ها منتج می‌شود باعث دورماندن از رقابت جهانی در تولید محصول خواهد شد.

از مفاد گزارش‌های یادشده می‌توان به این نتیجه رسید که افزایش بهره‌وری انرژی و بهبود فرایندها در صنعت، موضوع بسیار مهمی به‌شمار می‌آید. بخشی از الزامات به نوسازی و بهبود کارکرد تجهیزات مرتبط است، در این خصوص بسیار مهم است که هر کشوری بتواند به مرور زمان خطوط تولید را به روز کند و تنها به خارج از مرزها متکی نباشد، چرا که پس از استهلاک تجهیزات، که ممکن است گریبان‌گیر بخش عمده‌ای از صنایع شود که از امکان مالی لازم نیز برخوردار نباشند، از نوسازی و رقابت‌پذیری باز خواهند ماند. مطالعه و ارزیابی تجربه کشورهای موفق مانند چین نشان می‌دهد، برای رسیدن به این هدف بهتر است چه روندی را دنبال کرد و در هر مرحله تا چه حد می‌توان به‌صورت سنجیده پیش رفت. این موضوع به همراه مسائل مرتبط با تحقق اهدافی نظیر سایت‌های صنعتی یکپارچه مطرح‌شده به موضوعات نهادی، اقتصادی و مدیریتی ارتباط بسیار زیادی دارد.

در رابطه با محصولات کاغذی در جهان، تحولاتی به‌ویژه از اواخر قرن قبلی رخ داده است. گزارش Hetemäki و Hurmekoski (۲۰۱۴)، روند تغییرات تولید و مصرف انواع محصولات کاغذی را تا سال ۲۰۲۰ ارائه و تا سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی کرده است (جدول ۲).

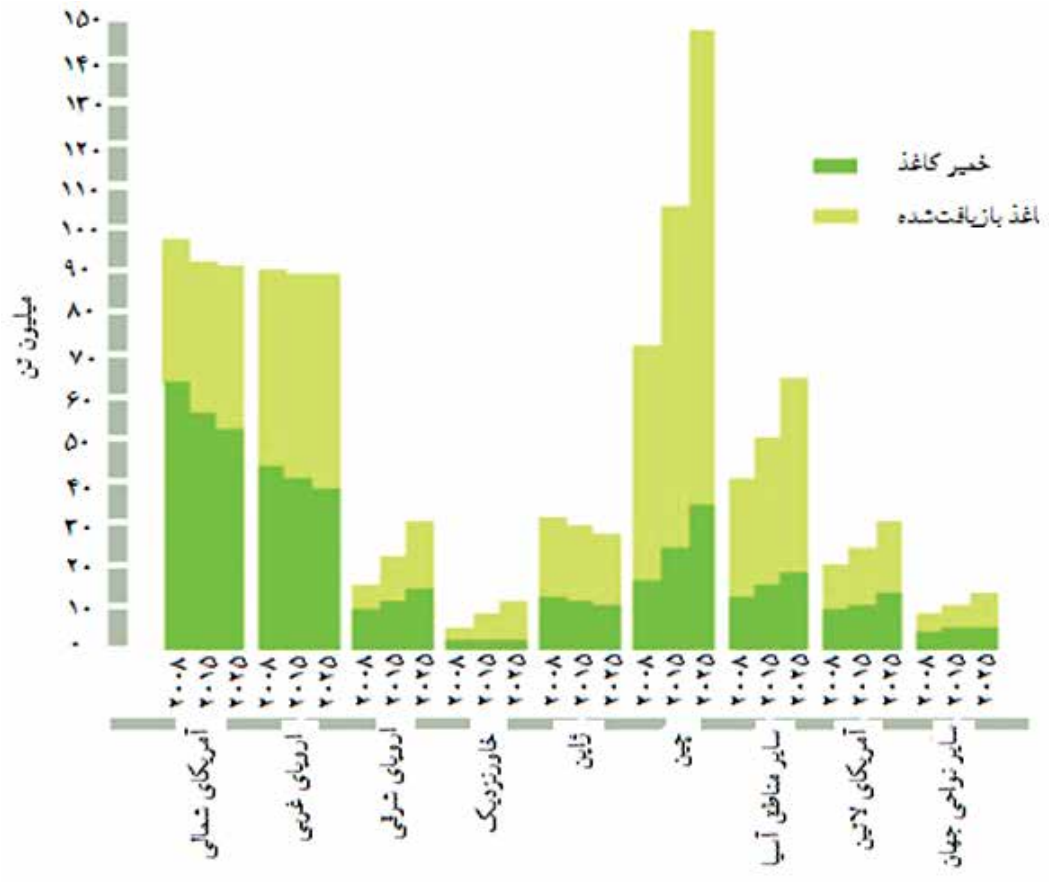
این جدول نشان می‌دهد تولید محصولات در اروپای غربی تا سال ۲۰۳۰ تغییری نمی‌کند، اما مصرف آنها با کاهش روبه‌رو خواهد بود و مازاد مصرف نیز صادر خواهد شد. در اروپای شرقی به‌عنوان منطقه کمتر توسعه‌یافته اروپا، نه‌تنها مصرف و تولید بلکه واردات نیز افزایش خواهد یافت. امریکای شمالی کاهش تولید و مصرف را در اندازه بالایی تجربه خواهد کرد، ضمن آنکه صادرات آن به حدود دو برابر خواهد رسید. بیشترین نرخ تولید و مصرف در قاره آسیا (بیشتر در خاور دور) و کمترین آن در قاره آفریقا مشاهده خواهد شد. طبق پیش‌بینی‌ها، منطقه آمریکای جنوبی نیز شاهد افزایش دو برابری تولید و مصرف خواهد بود. Indufor (۲۰۱۲)، تحلیلی را روی سطح اراضی جنگل‌کاری صنعتی در سال ۲۰۱۲ ارائه و تا سال ۲۰۵۰ پیش‌بینی کرد. او در این گزارش، سطح اراضی را برای قاره‌های آمریکای شمالی، آسیا، آمریکای لاتین، آفریقا، اقیانوسیه و اروپا به‌ترتیب ۱۲/۸، ۱۷/۷، ۱۲/۸، ۵، ۳/۷ و ۲ میلیون هکتار برآورد کرد. همچنین پیش‌بینی کرد سطح اراضی موصوف در آمریکای شمالی و اروپا تا سال ۲۰۵۰ تغییری نمی‌کند، حال آنکه در آسیا و آمریکای لاتین به بیش از دو برابر خواهد رسید. البته این موضوع بیشتر به چین و سایر مناطق خاور دور به استثنای ژاپن مرتبط است. ازنظر جلیلی و همکاران (۱۳۸۶) جنگل‌های دست‌کاشت، شامل ۵/۴ درصد از سطح جنگل‌های جهان، تأمین‌کننده ۳۵ درصد چوب صنعتی هستند. آنها همچنین یادآور شدند، اگرچه توسعه جنگل‌های دست‌کاشت کم‌هزینه‌تر از زراعت چوب است، اما بیشتر مناسب مناطق دارای اکوسیستم جنگلی است، هرچند که زراعت چوب، تولید در هکتار بیشتری دارد. همچنین مقایسه تولید و مصرف مواد سلولزی در سطح قاره‌ها نشان می‌دهد، توان تولید اکوسیستم‌های جنگلی، جمعیت و درآمد سرانه، عوامل اصلی تولید و مصرف چوب صنعتی است. در نمودار ۲ مشاهده می‌شود، در آمریکای شمالی، اروپای غربی و ژاپن، مناطق سه‌گانه توسعه‌یافته جهان، تولید محصولات کاغذی با استفاده از خمیر کاغذ دست اول از سال ۲۰۰۸ به‌صورت پلکانی کاهش یافته، ولی استفاده از کاغذهای بازیافتی در آمریکای شمالی و اروپای

مناطق		۲۰۰۰	۲۰۱۲	۲۰۲۰	۲۰۳۰
اروپای غربی	مصرف	۸۱	۷۲	۷۱	۶۵
	تولید	۸۹	۸۷	۹۰	۸۹
	صادرات	۸	۱۵	۲۱	۲۴
اروپای شرقی	مصرف	۱۳	۲۵	۳۵	۴۵
	تولید	۱۳	۲۰	۲۵	۳۱
	واردات	۰	۵	۱۰	۱۴
آسیا	مصرف	۱۰۹	۱۷۷	۲۳۴	۳۰۳
	تولید	۹۶	۱۷۵	۲۳۶	۳۰۹
	واردات	۱۳	۲	-۲	-۶

مناطق		۲۰۰۰	۲۰۱۲	۲۰۲۰	۲۰۳۰
آمریکای شمالی	مصرف	۱۰۱	۷۸	۶۳	۴۲
	تولید	۱۰۷	۸۵	۷۳	۵۵
	صادرات	۶	۷	۱۰	۱۳
آمریکای لاتین	مصرف	۱۹	۲۸	۳۵	۴۳
	تولید	۱۵	۲۱	۲۶	۳۱
	واردات	۴	۷	۹	۱۲
آفریقا	مصرف	۵	۹	۱۱	۱۵
	تولید	۳	۴	۵	۶
	واردات	۲	۵	۶	۹

جدول ۲- روند تغییرات جهانی و پیش‌بینی تولید محصولات کاغذی (میلیون تن)

غربی روندی تقریباً ثابت داشته است. در مقابل تولید محصولات کاغذی و استفاده از کاغذهای بازیافتی در سایر مناطق به‌ویژه چین و آسیا (بیشتر مربوط به هندوستان و منطقه خاور دور) روند پلکانی و افزایشی داشته است. بدین ترتیب تولید عمده جهانی خمیر کاغذ و محصولات کاغذی به‌تدریج از مناطق توسعه‌یافته آمریکای شمالی و اروپای غربی به مناطقی با نرخ بالای توسعه اقتصادی نظیر چین و هندوستان تغییر جهت داده است. نمودار ۲ نشان می‌دهد، استفاده از کاغذ بازیافتی برای تولید محصولات کاغذی تا چه حد اهمیت دارد. با توجه به راهبرد کاهش مصرف انرژی، تولید محصولات کاغذی با استفاده از کاغذ بازیافتی به انرژی کمتری نیاز دارد.



نمودار ۲- روند تولید محصولات کاغذی از خمیر کاغذ و کاغذ بازیافتی در جهان (Poyry Inc, 2015)

در نمودار ۳ روند کاهشی و افزایشی تولید کاغذ گرافیکی در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه جهان تا سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی می‌شود. شایان ذکر است کاغذهای گرافیکی (کاغذ روزنامه، کاغذ چاپ و تحریر) بیشترین تأثیر منفی تولید را از گسترش رسانه‌های دیجیتالی به‌ویژه در کشورهای توسعه‌یافته داشته‌اند که پیش‌بینی می‌شود این روند تا سال ۲۰۳۰ ادامه یابد.

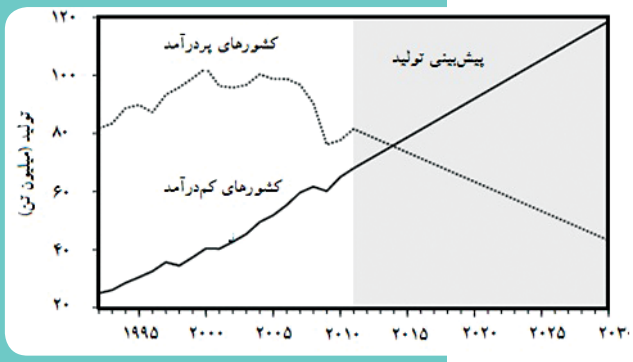
نمودار ۴ روند تغییرات سهم تولید جهانی محصولات کاغذی را برای سه منطقه جهان نمایش داده است. مشاهده می‌شود طی دو دهه آمریکای شمالی تا حد زیادی سهم خود را در تولید جهانی از دست داده، درحالی‌که سهم قاره آسیا به بیش از سه برابر افزایش یافته است و طبق پیش‌بینی‌های یادشده این روند ادامه خواهد یافت.

کشورهای در حال توسعه به‌ویژه کشوری مانند چین با وجود برخورداری از فناوری‌های پیشرفته دیجیتالی، روند افزایشی را تجربه می‌کنند، درواقع این کشور از یک سو به‌دلیل جمعیت بسیار زیاد، هنوز به سطح مصرف سرانه کشورهای توسعه‌یافته دست نیافته است و از سوی دیگر بخش زیادی از تولید را به صادرات اختصاص داده است. جلیلی و همکاران (۱۳۸۶) گزارش کردند، مصرف سرانه کاغذ در ایالات متحده آمریکا ۳۰۰ کیلوگرم و در هندوستان ۵/۳ کیلوگرم است، ازنظر آنها میزان آگاهی پیرامون مسائل بهداشتی، سطح دانش و رقابت‌پذیری از عوامل اساسی به‌شمار می‌رود.

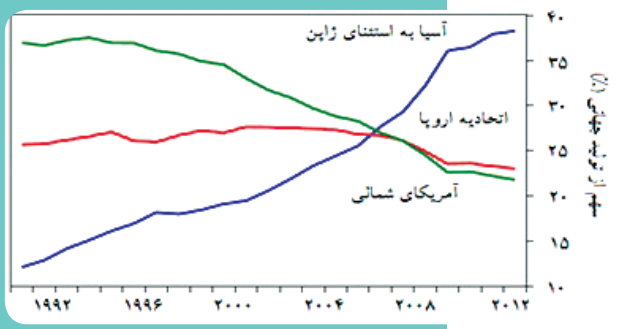
Hetemäki و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که تولید خمیر کاغذ و کاغذ در اروپا با شیبی ثابت از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳ کاهش یافت که نمودار ۵ آن را نشان میدهد. مطابق نمودار موصوف این روند کاهشی از سال ۲۰۱۳ به بعد نیز تداوم دارد. در رابطه با بسیاری از محصولات چوبی، وضعیت با محصولات سنتی چوب و کاغذ متفاوت است. این نمودار نشان می‌دهد، درحالی‌که تولید محصولات معمولی چوب و کاغذ از ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ در اروپا کاهش یافته است، تولید محصولات مهندسی‌شده چوبی، که در ردیف محصولات نسل دوم چوبی هستند، با افزایش روبه‌رو بوده است.

نمودار ۶ مربوط به یکی از محصولات مهندسی‌شده چوبی است. این محصول، تیرهای چوبی لایه‌ای متقاطع (CLT) cross-lami-nated timber است.

نمودار بالا طبق گزارش Hetemäki و Hurmekoski (۲۰۱۶) نشان می‌دهد، درحالی‌که شاخص تولید ناخالص ملی GDP از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۴ روند ثابتی داشته، تولید فراورده CLT در میان سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۴ دارای روند تصاعدی بوده است. علی‌رغم رکود اقتصادی و ساخت‌وساز، تولید CLT طی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ در اروپا سالانه حدود ۱۵ درصد رشد داشت. CLT یکی از محصولات مهندسی‌شده چوب به‌شمار می‌رود که کاربردهای بسیاری در سازه‌های پیشرفته چوبی نظیر ساختمان‌های چندطبقه چوبی دارد. محصولات مهندسی‌شده چوب ازجمله فراورده‌های

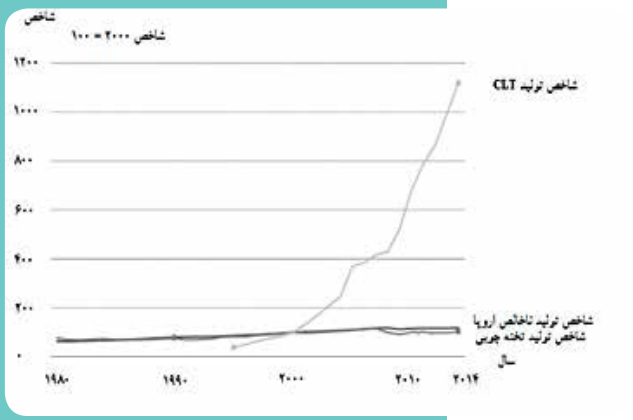


نمودار ۳- روند تولید کاغذ گرافیکی در جهان و پیش‌بینی تا سال ۲۰۳۰ (RISI., 2013b)



نمودار ۴- روند تغییرات سهم تولید جهانی محصولات کاغذی سه منطقه جهان (RISI, 2013a)

نمودار ۵- مقایسه روند تغییرات تولید دو نوع محصول چوبی در اروپا (Het-emäki, 2014)

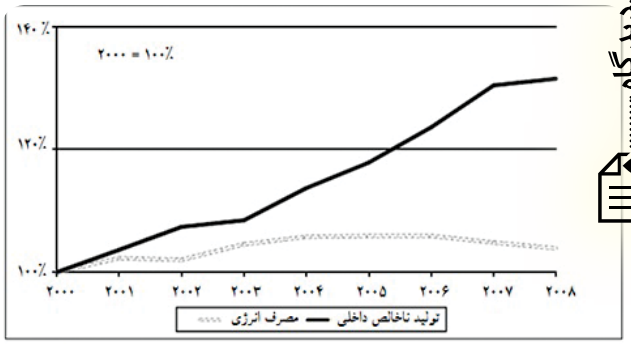


نمودار ۶- مقایسه روند تغییرات شاخص تولید تخته چوبی معمولی و CLT در اروپا (Hetemaki & Hurmekoski, 2016)

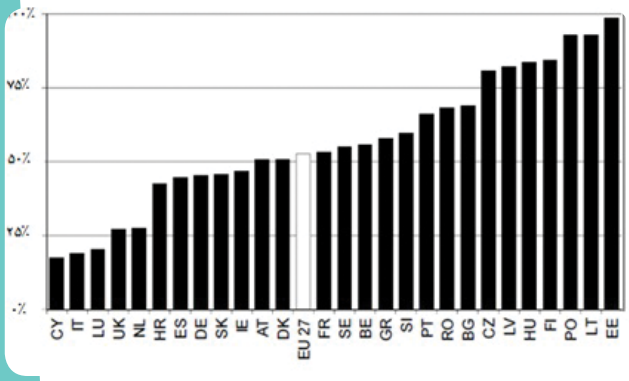
شکل ۲- استفاده از فراورده‌های لایه‌ای متقاطع CLT (الف) و گلولم (ب) در ساخت‌وساز

نسل دوم چوبی هستند که باید در تدوین راهبرد صنعت چوب مورد توجه ویژه قرار گیرند. این محصولات می‌توانند در ایران نیز، به‌عنوان کشوری با منابع محدود جنگلی، به افزایش کیفیت، استحکام محصول و گسترش کاربردها با استفاده از ظرفیت‌های موجود کمک اساسی کنند. در شکل ۲ استفاده از فراورده‌های لایه‌ای گلولم و CLT به‌عنوان محصولات مهندسی‌شده چوب مشاهده می‌شود.

در اینجا به روندهای کوتاه‌مدت چند محصول چندسازه چوبی اشاره می‌شود. برای مثال پیش‌بینی می‌شود، ارزش بازار جهانی چندسازه چوب‌پلاستیک (WPC) با نرخ رشد حدود ۱۳/۲درصد به حدود ۹/۷ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۵ برسد. در این رابطه برخی از روندها که بازار شاهد آن بوده است عبارتند از: افزایش تقاضا برای چوب‌پلاستیک در بازارهای نوظهور، افزایش مصرف مواد خام قابل بازیافت و پیشرفت‌های اخیر در فراوری چندسازه چوب‌پلاستیک. بازار براساس نوع محصول به پلی‌وینیل کلراید (PVC)، پلی‌پروپیلن (PP)، پلی‌اتیلن (PE) و سایر محصولات طبقه‌بندی می‌شود. بخش محصولات دیگر بیشتر به اکریلونیتریل بوتادین استایرن (ABS)، پلی‌استایرن و پلی‌لاکتیک‌اسید دسته‌بندی می‌شوند. از سوی دیگر انتظار می‌رود، بازار جهانی محصولات چوبی با نرخ رشد سالانه ۷ درصد از ۶۲۴/۲ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۰، به ۶۶۶/۳ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۱ و به ۸۶۶/۳ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۵ برسد. همچنین، پیش‌بینی نرخ رشد سالانه جهانی تخته‌فیبر با دانسیته متوسط (MDF) حدود ۳/۵ درصد تا سال ۲۰۲۷ است. بنابراین، نرخ رشد سالانه جهانی بازار چوب‌پلاستیک حدود دو برابر مجموع محصولات چوبی و سه‌ونیم برابر تخته‌فیبر نیمه‌سنگین در کوتاه‌مدت ارزیابی می‌شود. کشور ایران این فرصت را دارد که با استفاده از پسماندهای کشاورزی نظیر کاه گندم و صنعت چوب گام‌هایی را در مسیر تولید این محصول بردارد. نتایج تحقیقات نشان داده است، اگرچه کاه گندم برای تولید مواردی مانند چندسازه‌های چوبی نظیر تخته نئوپان و تخته MDF چندان مناسب نیست، اما می‌توان از آن برای تولید چوب‌پلاستیک استفاده کرد. نقطه قوت دیگر در ایران، ارزانی مواد پلاستیکی است. در سال‌های اخیر، استفاده از پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر به‌طور چشمگیری در حال رشد بوده است. ایده تولید پلاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر از اواخر دهه ۸۰ میلادی مطرح شد، واژه «زیست‌تخریب‌پذیر» بدین معناست که ساختار یک ماده می‌تواند توسط میکروارگانیسم‌های موجود در طبیعت شکسته و به مواد ساده‌تری تبدیل شود و درنتیجه برای همیشه در طبیعت باقی نماند. یکی از این مواد پلاستیکی زیست‌تخریب‌پذیر، پلی‌لاکتیک‌اسید (PLA) است که از منابع تجدیدپذیر به دست می‌آید و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۵ نرخ رشد سالانه ۱۷/۴درصد را ثبت کند. ویژگی‌های PLA ازنظر استحکام کششی و انعطاف‌پذیری بهتر از پلاستیک‌های تولیدشده معمولی نفت‌پایه است. افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان درمورد نیاز به بازیافت، پایداری و راه‌حل‌های بسته‌بندی سبز، تولیدکنندگان را به سمت بسته‌بندی سازگار با محیط‌زیست سوق داده است.



نمودار ۷– مقایسه روند تغییرات شاخص تولید ناخالص ملی و مصرف انرژی (Steierer, 2010a)



نمودار ۸– مقایسه درصد استفاده از چوب به‌عنوان انرژی تجدیدپذیر در کشورهای اروپایی (Steierer, 2010a)

این یکی از عوامل مهمی است که بر رشد بازار پلی‌لاکتیک‌اسید در سطح جهانی تأثیر گذاشته است. Avella و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند، با استفاده از ساقه کنف و پلی‌لاکتیک‌اسید می‌توان چندسازه چوب‌پلاستیک با ویژگی‌های خوب مکانیکی تولید کرد. بنابراین، می‌توان مشاهده کرد پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر نه‌تنها در محصولات مربوط به بسته‌بندی کاغذ، بلکه در آینده در چندسازه‌های چوبی کاربرد خواهند داشت.

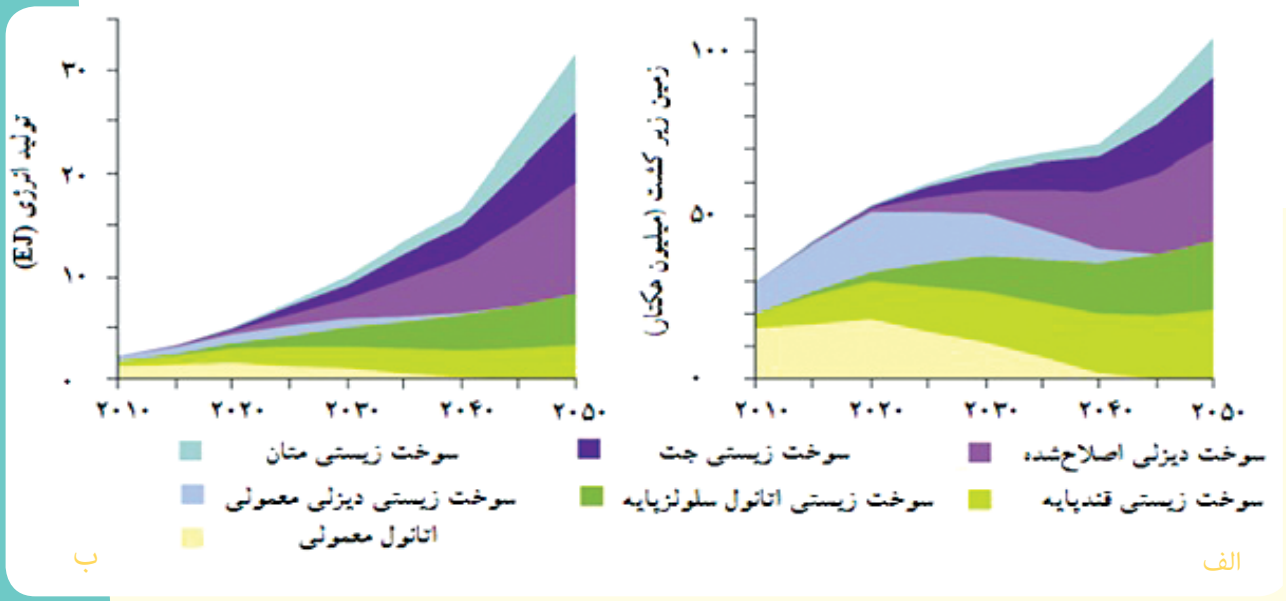
موضوع مهم دیگری که مورد توجه راهبردهای جهانی است، ظرفیت استفاده از چوب به‌عنوان منبع تولید انرژی است.

در دوران جدید، توسعه اقتصادی لزوماً با صرف انرژی رابطه مستقیم ندارد، همان طور که نمودار ۷ نشان می‌دهد با وجود روند افزایشی شاخص تولید ناخالص ملی در اتحادیه اروپا از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸، شاخص مصرف انرژی از روند ثابتی برخوردار بوده است. درواقع آنچه که تولید ناخالص ملی را افزایش داده است، با استفاده بهینه از مواد و انرژی، مدیریت و توسعه دانش و فناوری ارتباط دارد.

گزارش Steierer, 2010a مطابق نمودار ۸ نشان می‌دهد به طور میانگین از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۸، سهم انرژی حاصل از چوب در اتحادیه اروپا، ۵۰ درصد انرژی حاصل از منابع تجدیدپذیر را به خود اختصاص داده است، البته در این میان کشورهایی مانند لهستان، لیتوانی و فنلاند دارای درصد بیشتری از تولید انرژی چوب‌پایه بوده‌اند.

ذکر این نکته لازم است که استفاده از چوب در نیروگاه‌های حرارتی و با استفاده از فناوری‌های روز انجام می‌شود، ضمن آنکه بخشی از مواد اولیه لازم از پالایشگاه‌های زیستی، که پسماندهای خمیرکاغذسازی را پالایش می‌کنند، حاصل می‌شود. Hannien و همکاران (۲۰۱۴) به کوشش‌هایی اشاره نمودند که برای تهیه سوخت‌های زیستی چوب‌پایه از آغاز قرن بیست و یکم شدت یافته است. سوخت زیستی به‌عنوان منبع تجدیدپذیر و یکی از انرژی‌های جایگزین، با آلایندگی و انتشار بسیار کمتر گازهای گلخانه‌ای در مقایسه با نفت، مورد توجه قرار داشته است.

نمودار ۹–ب، روند تولید سوخت زیستی را از سال ۲۰۱۰



نمودار ۹– مقایسه روند تغییرات تولید دو نوع محصول چوبی در اروپا (IEA. 2011a)

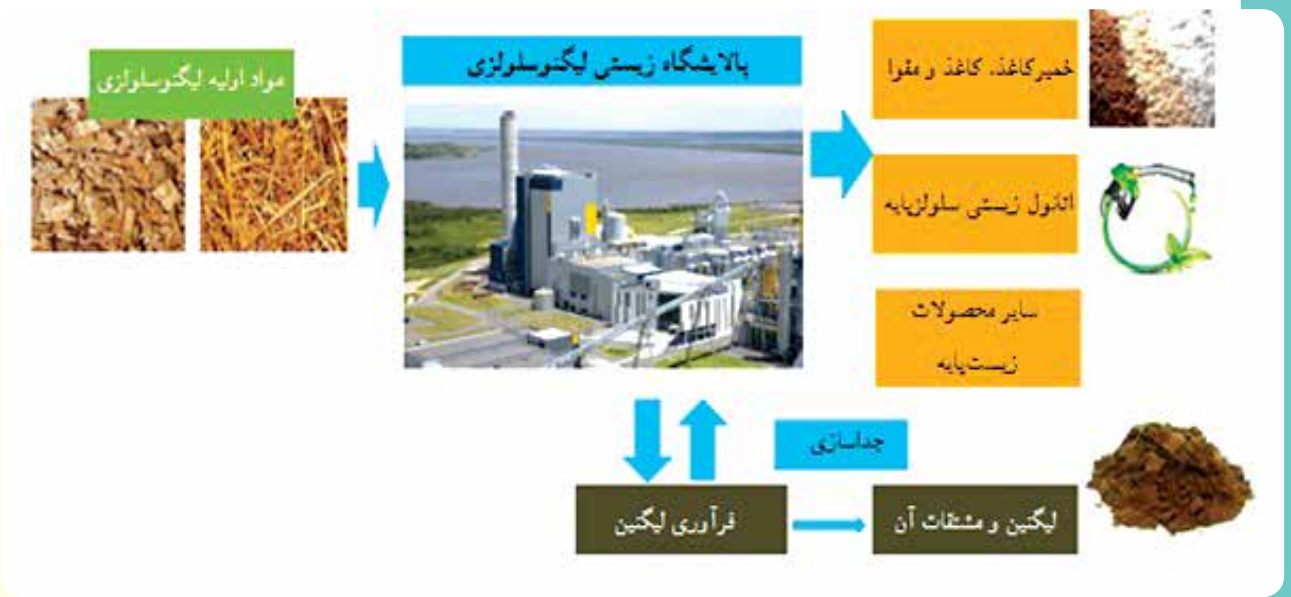
ارائه و تا سال ۲۰۵۰ از منابع مختلف پیش‌بینی می‌کند. سهم مواد سلولزی برای تولید اتانول به رنگ سبز تیره نشان داده شده است که همچون نیشکر با روند افزایشی همراه خواهد بود. نمودار ۹–الف نیز نشان می‌دهد، با وجود آنکه مواد سلولزی سهم به‌نسبت بیشتری در تولید اتانول خواهند داشت، اما سطح اراضی مربوطه نسبت به نیشکر کمتر خواهد بود.

پالایشگاه زیستی لیگنوسلولزپایه موضوع مهمی به‌شمار می‌آید که علاوه‌بر سوخت زیستی، مواد شیمیایی نظیر مواد پلیمری از آن حاصل می‌شود و به‌عنوان جایگزین محصولات نفت‌پایه مطرح شده است.

شکل ۳ یک پالایشگاه زیستی لیگنوسلولزپایه را به‌صورت سایت صنعتی یکپارچه با کارخانه خمیر کاغذ نشان می‌دهد که علاوه‌بر تولید خمیر کاغذ و کاغذ، از سلولز برای تولید اتانول نیز استفاده می‌کند. درنتیجه تولید اتانول از سلولز، مقدار قابل‌توجهی لیگنین به دست می‌آید که می‌تواند برای تولید فراورده‌های با ارزش افزوده بالا نظیر مواد پلاستیکی فراوری شود. لیگنوسولفونات که پسماند حاصل از تبدیل شیمیایی ماده لیگنوسلولزی به خمیر کاغذ بوده نیز، بدین منظور قابل استفاده است.

همان طور که مشاهده می‌شود، صنعت چوب طی چند دهه گذشته دستخوش دو نوع تحول شده است، یکی در رابطه با محصولات نسل اول و دیگری در خصوص ظهور و توسعه فراورده‌های نسل دوم این صنعت. تجزیه‌وتحلیل‌های مرتبط با تغییرات کوتاه‌مدت تجاری متفاوت از تغییرات ساختاری بلندمدت است.

Hetemäki و Hurmekoski (۲۰۱۶)، به پارامترهایی اشاره می‌کنند که باید در تجزیه‌وتحلیل‌های کوتاه‌مدت و درازمدت اقتصادی استفاده شوند. تولید ناخالص داخلی و قیمت محصول دو متغیر اصلی هستند که از آنها در تجزیه‌وتحلیل کوتاه‌مدت برای ارزیابی چرخه تجاری استفاده می‌شود. عوامل ایجاد تغییرات ساختاری بلندمدت یا جایگزینی در بازارهای نهایی مصرف، می‌توانند مستقل از این دو متغیر اصلی تولید باشند. تولید ناخالص داخلی و قیمت ممکن است برای تجزیه‌وتحلیل کوتاه‌مدت که تلاش می‌کند تغییرات چرخه تجاری را به تصویر بکشد، خوب عمل کنند، اما برای پیش‌بینی‌های بلندمدت، عوامل ساختاری مانند افزایش سن، شهرنشینی، فناوری اطلاعات دیجیتال و محیط سازمانی مهم‌تر هستند. بنابراین، ممکن است لازم باشد از مدل‌های جداگانه برای عوامل ساختاری بلندمدت (با استفاده از داده‌های مقطعی و طولی) و عوامل چرخه تجاری کوتاه‌مدت (با استفاده از داده‌های سری زمانی، بیشتر با فرکانس بالا) استفاده شود. مواردی وجود دارد که مدل‌های اقتصادسنجی سنتی برای آنها مناسب نیستند، مانند تجزیه‌وتحلیل بازارهای نوظهور یا بازارهای تخصصی که یا هیچگونه اطلاعاتی برای آنها وجود ندارد یا اطلاعات بسیار کمی برای آنها وجود دارد، یا بازارهای محصولات فعلی که به ساختار جدیدی تغییر ماهیت داده‌اند. رشد حجم بازار CLT در مقایسه با رشد تولید ناخالص داخلی (نمودار ۷) نشان می‌دهد زمانی که بازارهای خاص با همان مدل مورد استفاده برای بازار محصولات سنتی چوب تحلیل شود، کشش تولید ناخالص داخلی برای بازار CLT چندین مرتبه بالاتر خواهد بود. بااین‌حال، احتمالاً تفسیر صحیح این است که تغییرات تولید ناخالص داخلی تأثیر کمی بر نرخ رشد تولید CLT در دوره موردنظر (۲۰۱۵–۱۹۹۰) داشته و مدل، متغیرهای مهم مربوط به الگوهای جایگزینی را وارد نکرده است. مشکل سهم بازار ناپایدار در آغاز چرخه عمر محصول، مشابه مشکل بازارهای روبه‌افول است، زیرا پیش‌بینی میان رشد تولید ناخالص داخلی و افزایش مصرف با مبانی نظری مطابقت ندارد. در این ارتباط، رویکردهای کیفی و کمی



شکل ۳– پالایشگاه زیستی یکپارچه با کارخانه خمیر کاغذ (Manninen, 2017)

بالقوه نظیر رویکردهای مشارکتی و توصیفی برای تکمیل تحلیل اقتصادسنجی سنتی با هدف بررسی بازارهای نوظهور یا در حال تغییر پیشنهاد شده است. بازار محصولات چوبی از آغاز قرن بیست و یکم، بر اثر تغییرات ساختاری، بسیار متفاوت از قرن بیستم بوده است. برای مثال بازار فراورده‌هایی نظیر خمیر کاغذ و کاغذ گرافیکی در دوره زمانی ۲۰۱۴-۲۰۰۰، الگوهای بسیار متفاوتی را در مقایسه با دوره زمانی ۱۹۹۹-۱۹۸۵ نشان داده است. در سطح جهانی هنوز محرک‌های سنتی تولید و مصرف محصولات چوبی، رشد تولید ناخالص ملی و جمعیت از الگوهای قرن بیستم پیروی می‌کند. به‌علاوه نوآوری‌های ارائه‌شده به همراه پیشرفت تکنولوژی منتج به عرضه نسل دوم محصولات چوبی شده است. این محصولات شامل مواد نانو حاصل از خمیر کاغذ، فراورده‌های شیمیایی لیگنین‌پایه و سوخت‌های زیستی است. در این خصوص اتکای تحلیل به تصویر جهانی، الگوهایی را که تحولات چشمگیر ساختاری بر مبنای آنها در سطح کشوری و منطقه‌ای رخ داده است، ازنظر دور می‌سازد. بخش صنعت چوب در مقیاس جهانی افت تولید برخی محصولات چوبی و ظهور سایر محصولات را تجربه کرده است. از ابتدای این قرن، اقتصادهای نوظهور با رشد سریع در تولید محصولات سنتی چوب روبه‌رو بوده‌اند. یکی از عوامل، رقابت جهانی و تولید این گونه محصولات در مناطقی بوده که با حداقل هزینه همراه است. عامل دیگر این نکته است که هنوز کشورهای در حال توسعه حتی در مناطق دارای رشد سریع اقتصادی به حداکثر ظرفیت تولید برای پاسخ به نیازهای سرانه خود نرسیده‌اند. درنتیجه تولید محصولات سنتی چوب به‌تدریج به مناطق در حال توسعه منتقل می‌شود. از طرف دیگر چالش‌های محیط‌زیستی نظیر تغییرات اقلیمی و گسترش تکنولوژی به تداوم این وضعیت، همچنین سوق‌دادن صنعت چوب به سمت تولیدات نسل دوم در دهه‌های آینده خواهد انجامید. نتیجه چنین روندهایی پیوستگی واحدهای صنعتی چوب و شکل‌گیری سایت‌های یکپارچه، تنوع‌بخشی در محصولات واحدهای تولید خمیر کاغذ با جهت‌گیری ادغام با پالایشگاه‌های زیستی خواهد بود. همچنین باید، تنوع در فراورده‌های مهندسی‌شده چوب را با طیف وسیعی از محصولات ساختمانی در نظر داشت. البته سرعت و مقیاس تولید چنین فراورده‌هایی باید در اسناد چشم‌انداز و راهبردی به‌دقت توسط پیش‌بینی‌های واقع‌بینانه مبتنی بر اقتصادسنجی برای هر کشوری تعیین شود.

نتیجه‌گیری

هسته راهبرد درازمدت جهانی صنعت چوب عبارت است از، دستیابی به بالاترین ارزش افزوده از منابع فیبری اولیه، پسماند و بازیافت، درواقع راهبردها با هدف افزایش ارزش افزوده و توسعه محصولات جدید چوب‌پایه بر کاهش معضلات محیط‌زیستی مانند کاهش آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای استوار هستند. در اینجا مقولات متنوعی مطرح می‌شود که شامل حداقل‌سازی استفاده از مواد اولیه و انرژی به همراه حداکثرسازی راندمان تولید است، بنابراین ضروری است تکنولوژی‌های جدید همخوان با ایجاد توازن در سیستم و تکامل اکولوژی صنعتی با استفاده از مدل‌های جدید تجاری و همزیستی فعالیت‌های صنعتی توسعه یابند. بهینه‌سازی مصرف انرژی و استفاده از مواد اولیه به‌ویژه پسماند و جریان مواد اهمیت بسزایی دارد، بنابراین، اتصال مراکز و دنبال‌کردن اتحاد استراتژیک با سایر صنایع هدف بنیادین محسوب می‌شود. توسعه علم و فناوری امکان کارکرد بهتر ماشین را فراهم آورده است، نوسازی تجهیزات نیز یکی از ارکان اصلی به شمار می‌رود که امکان بهینه‌سازی مصرف ماده و انرژی را در کنار توسعه و معرفی محصولات جدید فراهم می‌کند. به‌علاوه اینکه مسئله رقابت را نباید از نظر دور داشت، چرا که استفاده از تجهیزات قدیمی سبب غیراقتصادی‌شدن تولید محصول و درنتیجه حذف از بازار خواهد شد. مورد مهم دیگر، استفاده از فناوری‌های جدید برای ارائه راه‌حل‌های کارآمدتر در مسیر ورود محصولات جدید در بخش صنعت چوب است که پیش‌بینی می‌شود بسیاری از محصولات نفت‌پایه جای خود را به محصولات زیست‌پایه به‌عنوان منابع تجدیدپذیر دهند. موضوع مهم دیگر نقش شالوده نهادهای اجتماعی و اقتصادی به‌عنوان زیرساخت اصلی در تحقق اهداف یادشده است.

وضعیت ایران

اگرچه صنعت چوب یکی از بخش‌های اشتغال‌زای اقتصادی محسوب می‌شود و در این زمینه ایران نیروی انسانی لازم را در اختیار دارد، اما با توجه به محل تأمین ماده اولیه این بخش از صنعت یعنی منابع طبیعی، با چالش‌هایی روبه‌روست چراکه جنگل‌های کشور پاسخگوی نیازهای رو به رشد نیست. گزینه‌هایی نظیر استفاده از پسماندهای محصولات کشاورزی، یا زراعت چوب با گونه‌های تند رشد مطرح شده، اما این نیز خود درگیر چالش‌های دیگری است. کمبود آب کشور چالشی است که موانع اساسی را فراراه زراعت چوب قرار می‌دهد. در این رابطه بخش اعظم آب کشور برای تولید محصولات کشاورزی به مصرف می‌رسد که با بهره‌وری پایین آب نیز همراه است. از سوی دیگر، بخش کشاورزی هنوز ساختار سنتی خود را حفظ کرده و بیشتر متکی به محصولات زودبازده است. واگذاری اراضی برای زراعت چوب نیز با چالش‌های حقوقی روبه‌روست که باید به آن توجه کرد.

در کوتاه‌مدت و با توجه به واردات محصولات چوبی به‌ویژه تولیدات کاغذی باید از منابع موجود استفاده بهینه کرد. برای مثال گزارش‌هایی نشان می‌دهند، با استفاده از گونه غیرچوبی کنف می‌توان در این رابطه بهره‌وری را افزایش داد. Kaldor و همکاران (۱۹۹۰)، عملکرد کنف را حدود دو برابر گونه تند رشد کاج با بازده مشابه برای تولید خمیر کاغذ

برآورد کردند و سرمایه‌گذاری تولید خمیر کاغذ کرافت از ساقه کنف را در مقایسه با چوب به‌دلیل مقیاس کوچک‌تر، اقتصادی‌تر ارزیابی کردند، همچنین نشان دادند هزینه تأمین الیاف از کنف در مقایسه با کاج جنوبی ۸۶ تا ۹۰ درصد کمتر است. بنابراین، آینده بسیار خوبی را برای تولید خمیر کاغذ و کاغذ با کیفیت بالا از کنف در نقاط مختلف دنیا، به‌ویژه نقاطی با مصرف روبه‌رشد کاغذ، منابع جنگلی تخریب‌شده، هزینه زیاد تأمین انرژی و اعتبارات محدود برای سرمایه‌گذاری، پیش‌بینی کردند. مهدوی و حبیبی (۱۳۹۲)، کارکرد تولید چوب کنف را با یک درخت تند رشد مثل صنوبر مقایسه کردند و نشان دادند عملکرد تولید کنف با چوب صنوبر در بهترین شرایط رشد مشابه است. این در حالی است که حداقل زمان لازم برای قطع گونه تند رشد صنوبر حدود ۸ تا ۱۰ سال و برای کنف تنها ۵ تا ۶ ماه است. نتیجه تحقیق دهقانی‌فیروزآبادی و همکاران (۱۳۸۷) نشان داد، ویژگی‌های کاغذ ساخته‌شده از باگاس و کنف به مراتب بهتر از خمیر کاغذ الیاف‌بلند وارداتی و باگاس بود. بنابراین، ازنظر آنها کنف می‌تواند جایگزین خمیر کاغذ وارداتی شود. درصد کمتر لیگنین کنف (حدود نصف لیگنین چوب صنوبر) عاملی به حساب می‌آید که می‌تواند بهره‌وری انرژی را ارتقا دهد و به کاهش هزینه تولید بیانجامد که عامل مهمی در رقابت با محصول خارجی محسوب می‌شود. کاهش گرماژ کاغذ با استفاده از پرکننده‌های تقویت‌کننده، چنان که Adhikari و Ozarska (۲۰۱۸) برای کاهش مصرف ماده اولیه سلولزی و انرژی صرف‌شده در تولید کاغذ اشاره کردند، می‌تواند راهکار دیگری به حساب آید. همچنین، می‌توان به گزارش جلیلی و همکاران (۱۳۸۶) اشاره کرد که از بازیافت محصولات کاغذی به‌عنوان راهکاری کارا یاد کردند و نشان دادند چنانچه ۳۰ درصد از پسماندهای کاغذ در ایران بازیافت شود، حدود ۳۶۰ میلیون دلار ارزش افزوده حاصل خواهد شد. در این خصوص استفاده از کاغذ بازیافتی نیز با بهره‌وری بیشتر انرژی است. صمصامی و همکاران (۱۴۰۰)، اثر نرخ ارز را بر واردات کاغذ، مطالعه و ارزیابی کردند و نشان دادند افزایش یک درصد ارز حاصل از افزایش درآمدهای نفتی باعث ارتقای ۰/۷۸ درصد واردات محصولات کاغذی می‌شود. درنتیجه فراورده‌های کاغذی در ایران نسبت به نرخ ارز کم‌کشش بوده که نشان‌دهنده نبود زیرساخت‌های مناسب تولیدی این محصولات در ایران است. درنهایت، با توجه به فقدان شرایط مناسب برای افزایش تولید فراورده‌های کاغذی در کشور، غیرقابل انکار بودن نیاز کشور به واردات آن، همچنین با در نظر گرفتن محدودیت ارز در کشور و کم‌کشش‌بودن تابع تقاضای انواع محصولات کاغذی به نرخ ارز، نه می‌توان تولید این صنعت را به میزان دلخواه افزایش داد و نه می‌توان به میزان لازم این محصولات را وارد کرد. همچنین، چون ایران جزو کشورهای در حال توسعه محسوب می‌شود و رشد تقاضای روزافزون برای انواع محصولات این صنعت را دارد، پس به‌عنوان توصیه راهبردی برای مدیریت صحیح تقاضای فراورده‌های کاغذی با شرایط یادشده می‌توان توجه اصولی به امر بازیافت را مطرح کرد.

ازآنجایی‌که یکی از راهبردهای جهانی استفاده از منابع فیبری به‌صورتی است که تولید محصول با حداکثر بازده و بهره‌وری مواد و انرژی همراه شود، شایسته مطالعه و ارزیابی اقتصادی و فنی است که با در نظر گرفتن ساختار کشاورزی کشور و ملاحظات محیط‌زیستی تعیین شود، استفاده از کدامیک از منابع چوبی و غیرچوبی بیشترین توجیه را برای تولید محصولی مانند خمیر کاغذ و کاغذ، که سالانه وارداتی در حدود یک‌ونیم میلیارد دلار را به خود اختصاص می‌دهد، دارد. نوسازی و ارتقای کارکردی تجهیزات کارخانه‌ای، اهمیت ویژه‌ای دارد که با استنتاج از نمودار ۱ باعث می‌شود واحد تولیدی امکان ماندگاری را در بازار محصول به دست آورد. با پیشرفت تکنولوژی و ارتقای اتوماسیون به همراه بهبود مدیریت، تولید محصول، با کیفیت بالاتر و هزینه کمتر همراه می‌شود. بنابراین، باید امکانات کشور برای ایفای نقش در این مسیر تقویت شود.

در درازمدت با توجه به تحولات جهانی ضروری است راهبردها و برنامه‌ها تدوین شوند. بدیهی است هر کشوری شرایط و پتانسیل‌های خود را دارد، بخش‌های اقتصادی و صنعتی کشور معضلات مشترکی دارند، بنابراین، در وهله نخست نیازمند اصلاحات ساختاری مشترک و مرتبط با ساختار کلان کشور هستند. زمانی که تحولات آینده جهانی پیش‌بینی می‌شود، باید شرایط کشور ازنظر مدیران ارشد در نظر گرفته شود. به‌عنوان‌مثال وقتی که نوسازی بخش کلیدی نظیر صنعت نفت تحقق نیافته است، موضوعاتی مانند پالایش زیستی ممکن است ازنظر سیاست‌گذاران کلان کشور جزو اولویت‌ها به‌شمار نرود. بااین‌حال زمانی که موضوع از جنبه دیگری ارزیابی شود، پالایش زیستی اهمیت خواهد یافت. گزارش سال ۲۰۱۶ بانک جهانی و مؤسسه سنجش و ارزیابی سلامت دانشگاه واشنگتن نشان می‌دهد، دیرکرد اجرای کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی مانند بنزین، خسارت‌های مالی بسیار بیشتری را نسبت به سرمایه‌های لازم برای افزایش سهم انرژی‌های سبز به دنبال خواهد داشت. طبق گزارش مرکز تغییرات اقلیم و محیط‌زیست کانادا، ایران نهمین کشور تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای جهان در سال ۲۰۲۰ بوده است، همچنین براساس گزارش IQAir ، ایران بیست و هفتمین کشور آلوده جهان در سال ۲۰۱۹ بود. همچنین Ritchie و Roser (۲۰۱۹)، گزارش کردند، میزان مرگ‌ومیر ناشی از استنشاق هوای آلوده در ایران از سال ۲۰۱۲ میلادی از مرز میانگین جهانی گذشت و نسبت به آن، روندی رو به افزایش دارد. بادامچی‌زاده و همکاران (۱۴۰۰) به ضرورت به‌کارگیری بیواتانول به‌صورت ترکیبی با بنزین برای کاهش مصرف سوخت فسیلی اشاره کردند و نشان دادند، پسماندهای کشاورزی به‌ویژه موارد دارای میزان سلولز و همی‌سلولز بالاتر گزینه مناسبی در این مسیر هستند. همچنین ضمن اشاره به واحدهای تولیدکننده بیواتانول کشور، نتیجه‌گیری کردند از هر لحاظ، قابلیت به‌کارگیری بیواتانول نسل دوم (با استفاده از پسماندهای کشاورزی) برای وسایل نقلیه بنزین‌سوز در کشور وجود دارد، اما همه چیز وابسته به اتخاذ تصمیم‌های دولتی و سرمایه‌گذاری در این بخش پربازده و سودده خواهد بود.

بنابراین ضروری است، تا آنجایی که امکان دارد به تناسب پتانسیل کشور در مسیر تحولات جهانی، زیرساخت‌هایی را ایجاد کرد و گام‌های مؤثری را برداشت. به‌هرحال در کشور مقادیر زیادی منابع

پسماند چه به‌صورت ضایعات کشاورزی و چه سلولزی به جای می‌ماند، بنابراین می‌توان مقوله سایت‌های صنعتی یکپارچه را برای پالایش زیستی در آینده صنعت چوب کشور در نظر داشت. بدیهی است که تدوین راهبردها به مطالعات دقیقی نیاز دارد و ضرورت دارد ارزیابی‌های واقع‌بینانه و همه‌جانبه‌ای انجام شود.

منابع

بادامچی‌زاده، ش.، لتیباری، ا.ج.، تاج‌دینی، آ.، پورموسی، ش. و لشگری، ا.، ۱۴۰۰. امکان‌سنجی استفاده از ضایعات لیگنوسلولزی برای تولید بیواتانول در ایران (کاربرد مدل سریزمانی آریما). تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۳۴(۴): ۳۴۰-۳۵۵.

دهقانی‌فیروزآبادی، م.ر.، سعید مهدوی، س. و توسلی، ا.، ۱۳۸۷. بررسی امکان استفاده از خمیر سودای پوست کنف به جای خمیر الیاف بلند وارداتی در بهبود کیفیت کاغذ حاصل از خمیر سودای باگاس. تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۲۳(۲): ۶۵۳-۶۴۲.

جلیلی، ع.، عراقی، م.ک.، حسین‌خانی، ح.، کنشلو، هـ.، فخریان، ع.، حبیبی ،م.ر.، عر ب‌تبار فیروزجایی، ح.ا.، نوربخش ،ا.، معلمی، م.، مجدطاهری، ز.، عباس‌عظیمی، ر. و قاسمی، م.ح.، ۱۳۸۶. راهبرد تأمین راهبرد تأمین پایدار مواد لیگنوسلولزی ایران. مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران، ۱۶۵ صفحه.

صمصامی، ح.، عباسقلی‌نژاداسبقی، ر. و خان‌زاده، م.، ۱۴۰۰. بررسی تأثیر نرخ ارز بر واردات فراورده‌های کاغذی در ایران. تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۳۴(۴): ۳۶۷-۳۵۶.

مهدوی، س. و حبیبی، م.ر.، ۱۳۹۲. تأثیر اختلاط پوست و مغز کنف بر خمیر کاغذسازی به روش سودا و مقاومت‌های کاغذ. تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۲۸(۴): ۶۵۳-۶۴۲.

Adhikari., S. and Ozarska., B., 2018. Minimizing environmental impacts of timber products through the production process “From Sawmill to Final Products”. Environmental Systems Research, 7: 6.

Anderson, J-O., Toffolo, A., 2013. Improving energy efficiency of sawmill industrial sites by integration with pellet and CHP plants, Appl Energy, 111:791–800.

APA, 2017. Sustainable building, sustainable future. APA, Washington D.C.

Avella , M., Buzarovska, A., Emanuela Errico, M., Gentile, G. and Grozdanov, A., 2009. Eco-Challenges of Bio-Based Polymer Composites. Materials, 2: 911-925.

Canada Centre Environment and Climate Change., 2020. GLOBAL GREENHOUSE GAS EMISSIONS CANADIAN ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY INDICATORS, Her Majesty the Queen in Right of Canada, represented by the Minister of Environment and Climate Change.

FAO. 2007. State of the World’s forests 2007. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, Italy.

Hänninen, R., Hetemäki, L., Hurmekoski, E., Mutanen, A., Näyhä, A., Forsström, J., Viitanen, J. and Koljonen, T., 2014. European Forest Industry and Forest Bioenergy Outlook up to 2050: A Synthesis, Cleen Oy, Helsinki, Finland, Research report no: D 1.1.1, 167p.

Hetemäki, L. and Hurmekoski, E., 2014. Forest products market outlook, Future of the European Forest- Based Sector: Structural Changes Towards Bioeconomy, European Forest Insitute (Finland), What Science Can Tell Us: 15-33.

Hetemäki, L., Hoen, H.F. and Schwarzbauer, F., 2014. Conclusions and policy implications, Future of the European Forest-Based Sector: Structural Changes Towards Bioeconomy, European Forest Insitute (Finland), What Science Can Tell Us: 95-108.

Hetemäki, L. and Hurmekoski, E., 2016. Forest Products Markets under Change: Review and Research Implications. Curr Forestry Rep., 2:177–188.

IEA., 2011a. Technology Roadmap. Biofuels for Transport. Available at: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/biofuels_roadmap.pdf

INDUFOR, 2012. A12-06869 Current and Future Plantations (ID 11914).

IQAir., 2019. World Air Quality Report, Greenpeace, Amsterdam, Netherlands, 35p.

Jonsson, R., Egnell, G. and Baudin., A., 2011. Swedish Forest Sector Outlook, Future Forests Working Report. Available at: https://www.researchgate.net/publication/336346090

Kaldor, F., Karlgren, C. and Verwest, H.,1990. Kenaf- A Fast Growing Fiber Source for Papermaking Tappi, 73(11): 205-209.

Loxton, E.A., Schirmer, J., Kanowski, P., 2013. Designing, implementing and monitoring social impact mitigation strategies: lessons from forest industry structural adjustment packages. Environ Impact Assess Rev 42:105–115.

Manninen, J., 2017. The role of industrial biorefineries in a low carbon economy, VTT IEA Bioenergy & IETS workshop, on 'The role of industrial biorefineries in a low carbon economy', Gothenburg, 16 May 2017, 15p.

Päivinen, R., Lindner, M., Rosén, K., Lexer, M., 2012. A con cept for assessing sustainability impacts of forestry-wood chains. Eur J For Res 131:7–19.

Pilla, S., 2011. Bioplastics and biocomposites engineering application. Scrivener Publishers, USA, 590p.

Poyry Inc. World fibre outlook up to 2030. Vantaa, Finland; 2015.

Ritchie, H. and Roser, M., 2019. "Outdoor Air Pollution". Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: 'https://ourworldindata.org/outdoor-air-pollution' [Online Resource]

RISI., 2013a. North American Graphic Paper. 15-Year Forecast.

RISI., 2013b. European Graphic Paper. 15-Year Forecast. Vol. 13(3).

Steierer, F., 2010a. Energy use. In EUwood - Real potential for changes in growth and use of EU Forests (EUwood methodology report). (Editor Mantau, U.). EUwood, Hamburg, Germany.

Verma, D., Gope, P.C., Maheshwari, M.K. and Sharma, R.K., 2012. Bagasse Fiber Composites-A Review. J. Mater. Environ. Sci. 3(6) : 1079-1092.

Williamson, T.J., Olweny, M., Moosmayer, V., Pullen, S.F. and Bennetts, H., 2001. Environmentally friendly housing using timber-principles. Forest and Wood Products Research and Development Corporation, Austalia.

World Bank Group and IHME., 2016. The cost of air pollution: Strengthening the Economic Case for Action, The World Bank and Institute for Health Metrics and Evaluation University of Washington, Seattle, http://databank.worldbank.org/data.