

## شناسایی و اولویت‌بندی عامل‌های تاثیرگذار بر مصرف تولیدات چوبی صنوبرهای رویشگاه‌های مختلف ایران در صنعت کاغذسازی

### چکیده

همگام با افزایش جمعیت، تقاضا برای مصرف چوب نیز در حال افزایش است. تامین این نیاز از دیر باز معطوف به جنگل‌های طبیعی بوده است. با این حال، جنگل‌ها در ایران به دلایل عدیده با کاهش تولید روبرو شده و کشت درختان تند رشد (صنوبر، اکالیپتوس، پائولونیا) به‌عنوان راه حلی جایگزین معرفی شده است. یکی از صنایع پر مصرف چوب، صنعت کاغذسازی است که سالیانه به منابع فراوان ماده اولیه چوبی نیاز دارد. این صنعت با رویکرد مصرف چوب صنوبر، می‌تواند به فعالیت‌های تولیدی ادامه دهد. این پژوهش با هدف ارزیابی خواص کاربردی چوب صنوبر با نمونه‌گیری به روش آزمون غیرمخرب در صنعت تولید کاغذ انجام شد. رویشگاه‌های صنوبر در مناطقی از کشور که زراعت صنوبر رواج گسترده ای دارند، انتخاب شدند. جانمایی تولیدات رویشگاه‌های مختلف در صنعت کاغذ سازی، به روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در نرم افزار Expertchoice 11 انجام گردید. علاوه بر این، برای مطالعات میدانی این پژوهش، پرسشنامه‌ها برای کارشناسان و اساتید دانشگاه‌ها با تخصص ویژه در این صنعت تنظیم و ارسال گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که از میان پنج شاخص اصلی تاثیرگذار در صنعت تولید خمیر و کاغذ، ویژگی‌های مورفولوژی فیبر با درجه وزنی ۰/۴۳، نخستین اولویت می‌باشد. جانمایی تولیدات با درجات وزنی آنها به ترتیب رویشگاه‌های ساری (۰/۲۴)، فومن (۰/۲۳)، لشت‌نشاء (۰/۱۸)، ابهر (۰/۱۷) و زنجان (۰/۱۶) را به عنوان رویشگاه‌های برتر تعیین کرد.

**واژگان کلیدی:** زراعت چوب، بیومتری الیاف، آزمون غیر مخرب، تحلیل سلسله مراتبی، جانمایی چوب صنوبرها.

ابراهیم لشکربلوکی<sup>۱</sup>  
کامبیز پورطهماسی<sup>۲\*</sup>  
رضا اولادی<sup>۳</sup>  
محسن کلاگری<sup>۴</sup>  
حسن علیزاده<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

<sup>۲</sup> استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

<sup>۳</sup> استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

<sup>۴</sup> عضو هیات علمی موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع

<sup>۵</sup> دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

مسئول مکاتبات:

[pourtahmasi@ut.ac.ir](mailto:pourtahmasi@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۸/۱۱

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۲/۰۱

### مقدمه

با توجه به افزایش جمعیت، تقاضا برای مصرف چوب با اهداف گوناگونی که برای آن متصور است در حال افزایش است. تاکنون جنگل‌ها نقش عمده‌ای در تأمین این نیاز

ایفا کردند تا جایی که به دلیل برداشت خارج از ظرفیت تولیدی آن‌ها، استمرار این روند غیرممکن شده است. جایگاه و اهمیت عرضه پایدار مواد اولیه فراتر از تضمین حیات یک فعالیت تولیدی، به یکی از مزیت‌های رقابتی

برای حضور پیروزمندانه در بازارهای بین‌المللی بدل گشته است [۱]. کشور ایران، به دلیل عدم برخورداری کافی از عرصه‌های جنگلی با قابلیت تجارتي مفید، به‌طور مضاعف در تأمین مواد اولیه مناسب برای صنایع چوبی کشور، در تنگنای جدی قرار دارد. از این‌رو، همواره در برابر این پرسش قرار می‌گیریم که منطقی‌ترین راه تأمین مواد اولیه مناسب صنایع چوبی کشور کدامند؟ فزاینده‌ی مصرف چوب و کاهش توان تولیدی آن از عرصه‌های جنگلی سبب کمبود مواد اولیه چوبی گردیده که راه برون‌رفت از این نیاز فراوان به چوب، با کشت درختان تند رشد، تحت عنوان زراعت چوب است. درختان خانواده بیدیان به علت رشد زیاد، تطابق‌پذیری با اقلیم‌های متفاوت زیستی و تکثیر آسان، در بیش از هفتاد کشور کشت‌شده‌اند [۲]. صنوبرها نقش کلیدی در زراعت چوب در اقلیم معتدله بازی می‌کنند [۳]. امروزه، چوب صنوبر ماده اولیه مناسبی برای تولیدات مختلف چوبی نظیر تولید خمیر کاغذ است [۴]. همچنین ویژگی ژنتیکی و سرشت اکولوژیکی صنوبرها آن‌ها را قادر به تولید دوره‌های متنوع و متفاوت می‌سازد [۵] که در صنایع مختلف دارای راندمان تولیدی بیشتر و کیفیت برتر هستند. آن‌ها می‌توانند در بستر خاک‌ها و مکان‌های متفاوت و در نظام‌های مختلف تولیدی استفاده شوند [۶]. تنوع گونه و کلن‌های مختلف صنوبر که در اقلیم‌های متفاوت در پهنه جغرافیایی ایران کاشته و بهره‌برداری می‌شوند چه‌بسا دارای ویژگی‌های آناتومی، فیزیکی و مکانیکی چوب متفاوتی باشند. از سوی دیگر، صنعت چوب و کاغذ به‌عنوان بازار هدف صنوبر کاری بسیار گسترده بوده و تولیدات متنوع و متفاوتی را در برمی‌گیرد که هریک از شاخه‌های آن نیاز به مواد اولیه‌ای با ویژگی‌های خاص و متفاوت از دیگری دارند. از این‌رو، شناسایی ویژگی‌های مهم چوب‌های تولیدشده در صنوبر کاری‌های عمده و تجاری کشور و دانستن اینکه در هر یک از صنایع، کدام ویژگی ماده اولیه چوبی مهم‌تر است، می‌تواند به مصرف بهینه چوب صنوبر و افزایش بهره‌وری کارخانه‌های صنایع چوب و کاغذ کمک شایانی نماید. بنابراین، تعیین و جانمایی تولیدات چوبی رویشگاه‌های مختلف صنوبر در صنایع چوبی کشور هدف نهایی این پژوهش بود. از میان صنایع چوبی شاخص کشور، صنعت

کاغذسازی بیشترین نیاز به مواد فیبری متعارف چوبی را دارد. همچنین در آینده، مواد خام برای صنایع تولید خمیر کاغذ به‌طور فزاینده‌ای از درختان تند رشد (صنوبر کاری) عرضه و مورد استفاده قرار خواهد گرفت [۷]. از این‌رو، در این پژوهش تلاش شده تا نخست ویژگی‌های مهم کاربردی چوب‌های صنوبر تولیدشده در قطب‌های صنوبر کاری کشور شناسایی شوند. سپس، کیفیت مواد اولیه صنعت کاغذسازی با کمک متخصصان این صنعت اولویت‌بندی گردد و در پایان با تجمیع داده‌های حاصل از دو گام نخست، مناسب‌ترین صنوبرهای موجود در بازار برای این صنعت معرفی گردند. برای این کار، از روش «تحلیل سلسله مراتبی (AHP)» بهره گرفته شد. با آنکه این روش تاکنون در ایران برای تعیین محل بهینه احداث کارخانه کاغذ فلوتینگ در استان مازندران [۸] و همچنین اولویت‌بندی نحوه تأمین مواد اولیه از واردات یا منابع داخلی [۹] مورد استفاده قرار گرفته ولی پژوهش کنونی نخستین پژوهش در ایران به هدف اصلاح فله فروشی چوب با کمک این شیوه است. چون تولیدات چوبی صنوبر کاری‌ها بدون ارزش‌گذاری کاربردی آن‌ها در بازار عرضه و مصرف می‌شود. از این‌رو، با فرضیه تولیدات چوبی صنوبر کاری‌ها را می‌توان اولویت‌بندی نمود و مصرف بهینه آن‌ها را در صنایع چوبی کشور مکان‌یابی و جانمایی کرد» تحقیق انجام و نتایج آن ارائه گردید. نتایج این پژوهش می‌تواند چوب‌های صنوبر موجود در بازار را که تاکنون بدون تمایز و تنها بر اساس حجم توسط صنایع سلولزی خریداری می‌شوند، برای صاحبان صنایع درجه‌بندی کرده و با این کار صنوبر کاران را نیز به تولید چوب‌های باکیفیت برتر و هدفمند ترغیب سازد.

## مواد و روش‌ها

### انتخاب قطب کشت صنوبرهای ایران

برای انجام این پژوهش سه قطب زراعت چوب در ایران (استان‌های گیلان، مازندران و زنجان) و از هر استان یک یا دو رویشگاه انتخاب شدند. در هر رویشگاه گونه / کلنی از صنوبر که بیشترین حجم تولیدی و تجاری را شامل می‌شد برگزیده شد. بر این اساس، از درختان چهار گونه صنوبر شامل گونه‌های صنوبر تبریزی

شده‌اند. (euramericana) از استان مازندران برگزیده شدند. موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی رویشگاه‌های مورد بررسی در جداول ۱ و ۲ آمده است.

(Populus nigra L.) و کبوده (سپیدار)، (Populus alba L.) از استان زنجان، دو کلن از گونه دلتوئیدس (Populus deltoides 69/55 و Populus deltoides 77/51) از استان گیلان و گونه دو رگاور امریکن (P.)

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی رویشگاه‌های صنوبر مورد مطالعه و نمونه‌گیری

استان	رویشگاه صنوبر	گونه/کلن صنوبر	سطح صنوبرکاری (هکتار) <sup>۱</sup>	تولید در هکتار سالیانه <sup>۲</sup>	ویژگی‌های جغرافیایی <sup>۳</sup>		ویژگی‌های اقلیمی <sup>۴</sup>			
					عرض شمالی	طول شرقی	ارتفاع (متر)	دما (°C)	بارندگی (mm)	نوع اقلیم
مازندران	ساری	<i>P. eur.</i>	۱۵۰۰۰	۱۹/۵	۵۳°-۰۱'-۴۸"	۳۶°-۱۹'-۴۸"	۱۳۲	۱۴/۷	۸۴۷	مرطوب
زنجان	زنجان	<i>P. alba</i>	۵۸۰۰	۱۵/۵	۴۰°-۰۳'-۰۸"	۳۹°-۵۰'-۲۶"	۱۵۸۰	۱۳	۲۵۰	خشک
زنجان	ابهر	<i>P. nigra</i>		۱۷/۴	۴۰°-۰۲'-۵۲"	۳۹°-۵۹'-۳۴"	۱۵۴۶	۱۱	۲۹۸	خشک
گیلان	لشت نشاء	<i>P.d.69.55</i>	۴۵۰۰۰	۲۹/۱	۴۹°-۵۲'-۴۵"	۳۷°-۲۳'-۰۴"	-۹	۱۷/۵	۱۴۶۹	خیلی مرطوب
گیلان	فومن	<i>P.d.77.51</i>		۲۴/۱۳	۴۹°-۱۵'-۳۵"	۳۷°-۰۳'-۵۰"	۱۰	۱۶/۵	۱۲۶۰/۱	خیلی مرطوب

۱- برنامه راهبردی زراعت چوب موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور

۲- با اندازه‌گیری قطر (برابرسینه) و ارتفاع درختان هر منطقه، تولید در هکتار بر اساس مترمکعب در هکتار در سال محاسبه گردید.

۳- ویژگی جغرافیایی رویشگاه با دستگاه GPS اندازه‌گیری شد.

۴- ویژگی اقلیمی از سایت هواشناسی مناطق استخراج گردید.

شدند. این نمونه‌ها با تقریب خوبی معرف ویژگی‌های چوب کل درخت می‌باشند [۱۰]. ویژگی‌های مورد بررسی شامل بیومتری الیاف و وزن مخصوص چوب بود. برای اندازه‌گیری بیومتری الیاف، نمونه کوچکی به طول ۰/۵ سانتی‌متر از بخش بیرونی مغزی تهیه شد. علاوه بر این، برای اندازه‌گیری وزن مخصوص چوب، نمونه‌های کوچکی به طول ۲ سانتی‌متر از همین بخش تهیه شدند [۱۱].

#### اندازه‌گیری بیومتری الیاف

برای اندازه‌گیری خواص بیومتری الیاف چوبی، نمونه‌های تهیه‌شده در لوله‌آزمایش حاوی محلول فرانکلین (مخلوط اسید استیک و آب اکسیژنه به نسبت یک‌به‌یک) قرار گرفته و به مدت ۲۴ ساعت در دمای  $60 \pm 5$  درجه سانتی‌گراد در کوره حرارت دیدند تا الیاف واپری شوند [۱۱]. پس از خارج نمودن لوله‌های آزمایش از کوره، محلول فرانکلین با آب مقطر جایگزین شده و پس از چند بار شستشوی نمونه‌ها با آب مقطر و تکاندن آن‌ها (لوله‌آزمایش)، الیاف چوب از یکدیگر جدا شدند. برای رنگ‌آمیزی الیاف از محلول سافرانین با غلظت ۰/۵ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر روی استفاده شد. فیبرهای رنگ-

- ۱- برنامه راهبردی زراعت چوب موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور
- ۲- با اندازه‌گیری قطر (برابرسینه) و ارتفاع درختان هر منطقه، تولید در هکتار بر اساس مترمکعب در هکتار در سال محاسبه گردید.
- ۳- ویژگی جغرافیایی رویشگاه با دستگاه GPS اندازه‌گیری شد.
- ۴- ویژگی اقلیمی از سایت هواشناسی مناطق استخراج گردید.

#### روش تحقیق

##### تهیه نمونه‌های چوبی و آماده‌سازی آن‌ها

برای برآورد بهتر کیفیت چوب، نمونه‌گیری‌ها از درختان سرپا و با استفاده از مته سن سنج انجام گرفت. در هر رویشگاه تعداد ۲۰ اصله درخت صنوبر انتخاب شدند. با ابزار مته سن سنج در ارتفاع برابرسینه (۱/۳۰ متر) درختان، مغزی‌هایی به بلندی نصف اندازه قطری درختان از آن‌ها استخراج و در محفظه‌های مخصوص نگهداری نمونه‌ها قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری ویژگی‌های کیفی چوب، نمونه‌هایی کوچک از قسمت بیرونی هر مغزی تهیه

بر مبنای خواص کاربردی صنایع شاخص چوب که در این تحقیق پیش بینی شده است، انجام شد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی روش اولویت‌بندی تصمیم‌گیری بر مبنای ارزیابی‌های مقایسات جفتی عناصر تصمیم‌گیری است تا بهترین تصمیم‌گیری محقق گردد؛ بنابراین، در این تحقیق بر اساس فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مراحل زیر انجام می‌شود:

- ۱- مطالعات میدانی برای شناسایی و تعیین شاخصه-های اثرگذار بر اساس ارائه پرسشنامه به اساتید و خبرگان در صنعت تولید خمیر و کاغذ
- ۲- تدوین و ارسال پرسشنامه برای پنج نفر از کارشناسان و اساتید دانشگاه با تخصص ویژه در صنعت و تولید کاغذ جهت مقایسه دوبه‌دو هریک از مشخصه‌های تعیین‌شده
- ۳- ثبت داده‌های به‌دست‌آمده بر اساس نظر کارشناسان در نرم‌افزار اکسپرت چویس
- ۴- محاسبه میانگین هندسی داده‌ها و نرخ ناسازگاری
- ۵- برآورد مدل در فرآیند سلسله مراتبی به‌منظور مشخص کردن جهت استفاده از چوب آلات رویشگاه‌های صنوبر و اختصاص آن‌ها در صنعت کاغذسازی.

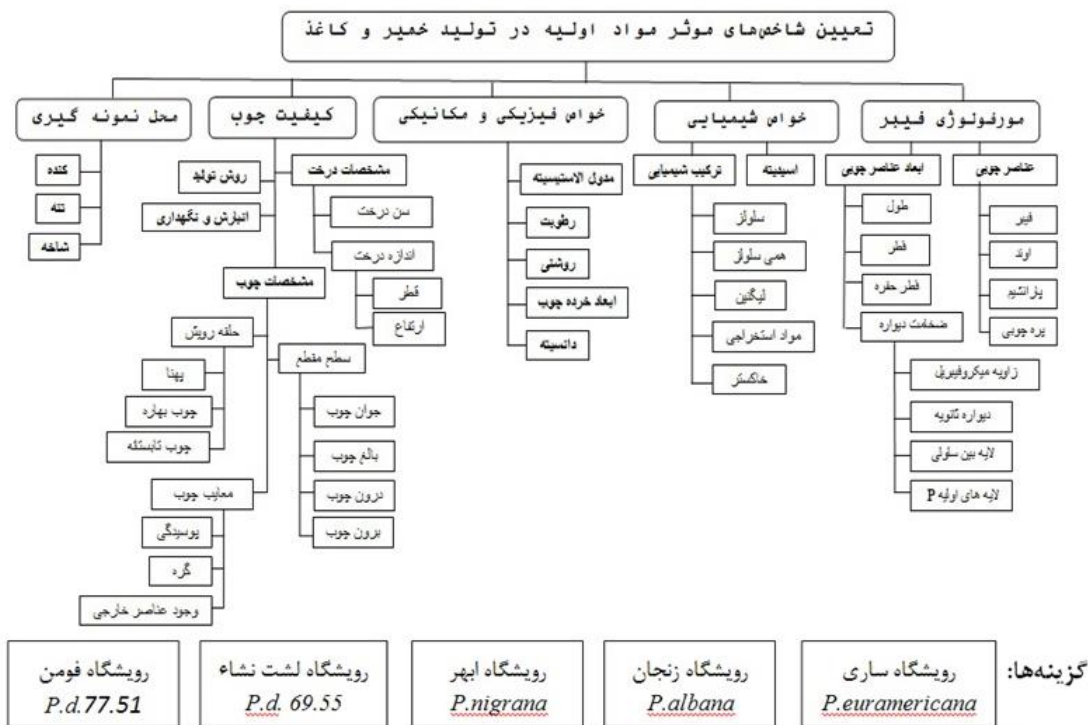
آمیزی شده روی لام میکروسکوپی تثبیت‌شده و آماده عکس‌برداری شدند. الیاف رنگ‌آمیزی و تثبیت‌شده روی لام میکروسکوپی با دوربین دیجیتالی سونی ۸/۱ مگا پیکسل در زیر عدسی شیئی میکروسکوپ Olympus CX31 با درشت‌نمایی 40X و 4X تصویربرداری شدند. تصاویر به نرم‌افزار ImageJ، منتقل‌شده و توسط آن با بررسی دستکم ۳۰ فیبر ویژگی‌های زیر اندازه‌گیری شدند: طول فیبر، پهنای فیبر، قطر حفره سلولی و ضخامت دیواره فیبر میانگینی از هر ویژگی برای هر رویشگاه گزارش شد.

### اندازه‌گیری وزن مخصوص

وزن مخصوص چوب درختان صنوبر در دو حالت متداول یعنی وزن مخصوص تر (برآورد تولید چوب برای تولیدکنندگان) و وزن مخصوص خشک (برآورد مقدار کمی حقیقی چوب برای مصرف‌کنندگان) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن تر، روش اندازه‌گیری مبتنی بر وزن کردن نمونه‌های کوچک تهیه‌شده با ترازوی دیجیتالی با دقت یک‌هزارم گرم بوده است. سپس با غوطه‌ورسازی همان نمونه‌ها در آب مقطر حجم نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. سرانجام با استفاده از روابط محاسباتی استاندارد ( $D = \frac{M}{V}$ ) وزن مخصوص تر نمونه‌ها حاصل شد. در این معادله  $D$ ،  $M$ ،  $V$  به ترتیب وزن مخصوص، وزن و حجم نمونه چوبی است. برای اندازه‌گیری وزن مخصوص خشک نمونه‌ها، آن‌ها را در کوره با دمای  $2 \pm 100$  درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت حرارت داده شدند. سپس نمونه‌ها به روشی که بیان گردید وزن و حجم خشک آن‌ها به‌دست‌آمده و با روابط محاسباتی استاندارد ( $D = \frac{M}{V}$ ) وزن مخصوص خشک نمونه‌ها تهیه شد [۱۲].

### فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

برای تصمیم‌سازی بهینه و تعیین مناسب‌ترین قابلیت کاربردی گونه‌های صنوبر رویشگاه‌های مختلف، با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در نرم‌افزار اکسپرت چویس (Expert choice) به‌صورت جداگانه بر مبنای شاخص‌های اصلی برای صنعت کاغذسازی بر اساس نظر کارشناسان و خبرگان این صنعت قابلیت سنجی شده و ارزش وزنی آن‌ها تعیین گردید. بدین ترتیب مدل‌سازی



شکل ۱- درختواره شاخص‌ها و زیر شاخص‌های مؤثر مواد اولیه و گزینه‌ها در صنعت تولید خمیر و کاغذ

### نتایج و بحث

مختلف و اولویت‌های متفاوتی بودند. نتایج به دست آمده بر مبنای اولویت‌های شاخص‌های اصلی (مورفولوژی فیبر، خواص شیمیایی چوب، خواص فیزیکی و مکانیکی چوب، کیفیت چوب و محل نمونه‌گیری از درختان) به شرح زیر به دست آمد (شکل ۲):

پس از مطالعات انجام شده، تعداد پنج شاخص اصلی و ۳۹ زیر شاخص در صنعت کاغذسازی برآورد و تعیین شدند. نتایج نشان داد که هر یک از شاخص‌های اصلی (۵ عامل) و زیر شاخص‌ها (۳۹ عامل) دارای درجه وزنی

شاخص‌های اصلی	مورفولوژی فیبر	خواص شیمیایی چوب	خواص فیزیکی و مکانیکی چوب	کیفیت چوب	محل نمونه‌گیری
مورفولوژی فیبر	۱/۷۱۸	۶/۵۱۷	۴/۷۴۲	۴/۷۲۳	۴/۷۲۳
خواص شیمیایی چوب	۵/۱۴۳	۵/۱۶۴	۱/۰۸۴	۱/۵۸۴	۴/۶۷۷
خواص فیزیکی و مکانیکی چوب	۰/۳۳۶	۰/۰۸۵	۰/۰۷۷	۱/۲۰۱	۱/۵۸۴
کیفیت چوب	۰/۴۳۸	۰/۰۶۴	۰/۰۶۴	۰/۰۶۴	۱/۲۰۱
محل نمونه‌گیری	۰/۳۳۶	۰/۰۸۵	۰/۰۷۷	۰/۰۶۴	۱/۲۰۱

شکل ۲- میانگین هندسی ماتریس مقایسه‌ای زوجی شاخص‌ها (قسمت فوقانی) و اولویت‌بندی آن‌ها (قسمت زیرین) در صنعت تولید خمیر و کاغذسازی

بیشترین فاصله را با اولویت‌های بعد از خود دارد. این نتیجه یادآوری می‌کند که در تولید کاغذ علاوه بر مورفولوژی فیبر که نقش کلیدی و مؤثرتری در تولید خمیر و کاغذسازی دارد، درعین حال نبایستی به خواص شیمیایی چوب که سلولز، لیگنین و دیگر مشتقات شیمیایی چوب را شامل می‌شود از نظر دور داشت. نرخ ناسازگاری در این اولویت‌بندی ۰/۰۱ برآورد گردید.

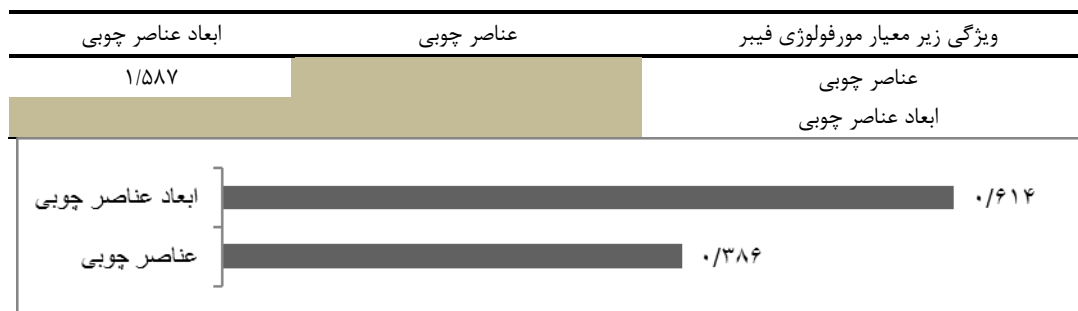
چنانکه دیده می‌شود (شکل ۲)، در بین پنج شاخص اصلی عامل مورفولوژی فیبر چوب (ماده اولیه) با درجه وزنی (۰/۴۳۸) و خواص فیزیکی و مکانیکی آن با درجه وزنی (۰/۰۶۴) به ترتیب دارای بیشترین و کمترین اولویت بودند. سایر شاخص‌ها درجه وزنی و اولویت آن‌ها در بین آن‌ها قرار داد. اما ویژگی شیمیایی ماده اولیه دارای دومین اولویت بوده که کمترین فاصله را با اولویت نخست و



شکل ۳ - درجه وزنی و اولویت‌بندی گزینه (رویشگاه) بر مبنای اهداف کلی در صنعت تولید خمیر و کاغذسازی

دست آمد. آن‌ها به ترتیب عبارت‌اند از: رویشگاه ساری با گونه *P.eurameriana* و درجه وزنی ۰/۲۴۰، فومن با کلن *P.d. 77.51* و درجه وزنی ۰/۲۳۶، لشت نشاء با گونه *P.d. 69.55* و درجه وزنی ۰/۱۸۲، ابهر با گونه *P.nigra* و درجه وزنی ۰/۱۷۴ و زنجان با گونه *P.alba* و درجه وزنی ۰/۱۶۸. نرخ ناسازگاری گزینه‌ها (رویشگاه‌ها) ۰/۰۱ برآورد گردید (شکل ۳).

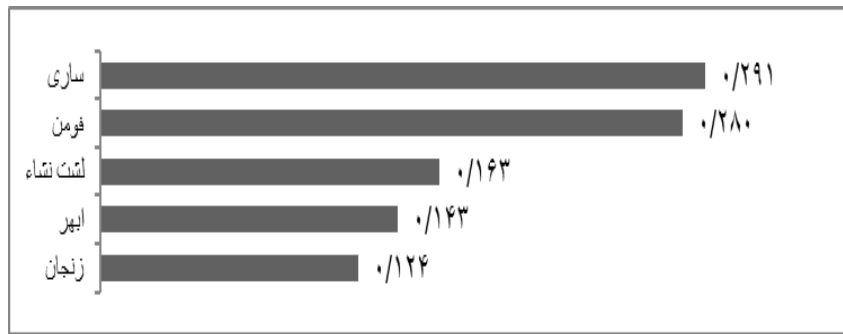
در اولویت‌بندی گزینه‌ها (چوب تولیدی رویشگاه‌های صنوبر) بر اساس ویژگی ساختاری و عنصری شناسایی شده چوب آلات در صنعت کاغذی و در انطباق با شاخص‌های هدف برای مصرف در این صنعت توسط خبرگان و اساتید دانشگاه ویژگی‌های درختان پنج رویشگاه این پژوهش (ابه‌ر، زنجان، ساری، فومن و لشت نشاء) اندازه‌گیری شده و میانگین هندسی ماتریس‌ها (درجه وزنی) اولویت‌های به



شکل ۴ - میانگین هندسی ماتریس مقایسه‌ای زوجی زیر شاخص‌های اصلی مورفولوژی فیبر (قسمت فوقانی) و اولویت‌بندی آن‌ها (قسمت زیرین) در صنعت تولید خمیر و کاغذسازی

(مورفولوژی فیبر) گردیده است (شکل ۴). در پالایش الیاف، وجود چوب آغاز و پایان بی‌تأثیر نیست؛ زیرا ضخامت دیواره سلولی فیبر در چوب پایان (تابستانه) موجب کاهش قابل‌توجهی در پالایش فیبرها نسبت به چوب آغاز (بهاره) در فرآیند تولید کاغذ می‌گردد [۱۵].

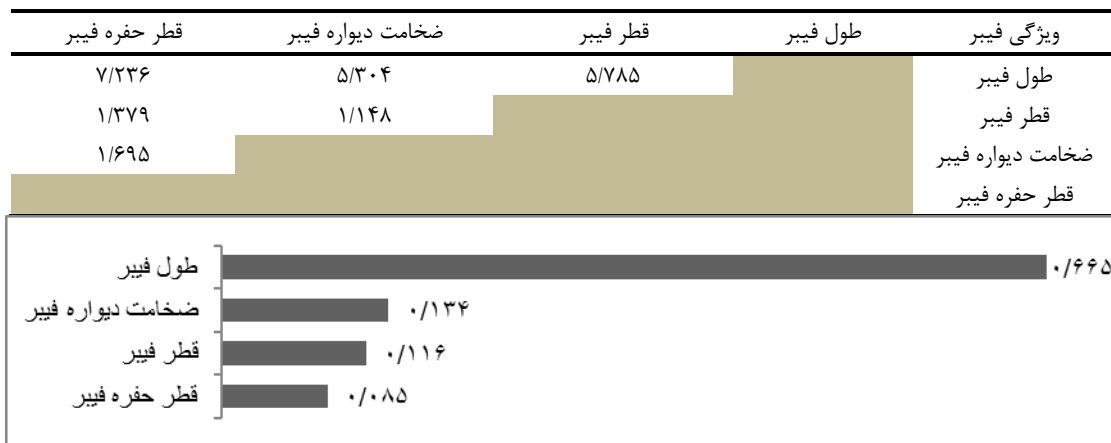
چنانکه اشاره شد، اولویت نخست مورفولوژی فیبر تحت تأثیر زیر معیارهای مختص به خود است که دو عامل مهم عناصر چوبی و ابعاد آن‌ها در برتری آن بسیار اثرگذار عمل کردند. اولویت برتر ابعاد عناصر چوبی با درجه وزنی بالاتر (۰/۶۱۴) سبب اولویت برتر خویش و شاخص اصلی



شکل ۵ - درجه وزنی و اولویت‌بندی گزینه (رویشگاه) بر مبنای شاخص اصلی مورفولوژی فیبر در صنعت تولید خمیر و کاغذسازی

گزینه و رویشگاه‌های فومن (۰/۲۸۰)، لشت نشاء (۰/۱۶۳)، ابهر (۰/۱۴۳) و زنجان (۰/۱۲۴) گزینه‌های بعدی شناخته شدند (شکل ۵).

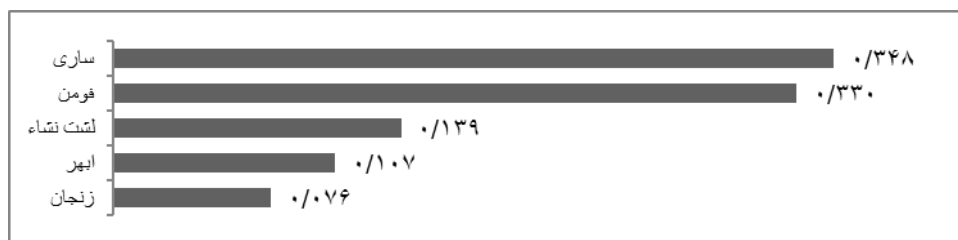
نتایج نشان داد که درجه وزنی اولویت رویشگاه‌ها بر مبنای داده‌های مورفولوژی فیبر چوب درختان، رویشگاه ساری با درجه وزنی اولویت (۰/۲۹۱) به‌عنوان نخستین



شکل ۶ - میانگین هندسی ماتریس مقایسه‌ای زوجی زیر شاخص‌های ابعاد عناصر چوبی (قسمت فوقانی) و اولویت‌بندی آن‌ها (قسمت زیرین) در صنعت تولید خمیر و کاغذسازی

به شیوه آبیاری قطره‌ای پرورش داده می‌شوند دارای وزن مخصوص بیشتر، راندمان محصول بالاتر و طول الیاف اندکی بلندتر هستند [۱۳]. این برجستگی ویژه و اثرگذاری نمایان طول فیبر شایستگی ویژه‌ای در این صنعت به آن می‌بخشد. همچنان که میانگین هندسی ماتریس مقایسه‌ای عناصر چوبی (شکل ۶) و درختواره عوامل تأثیرگذار (شکل ۱) نشان می‌دهند، طول فیبر بیشترین و برجسته‌ترین اولویت را در صنعت کاغذسازی داراست. نرخ ناسازگاری در این اولویت‌بندی ۰/۰۰۱۵۱ برآورد گردید.

زیر شاخص ابعاد عناصر چوبی در بین تمامی زیر شاخص‌های مؤثر در صنعت کاغذسازی اولویت نمایان‌تری را با درجه وزنی (۰/۶۶۵) دارا است (شکل ۶). در صنعت کاغذسازی ساختار بیومتریکی فیبر (طول، قطر، قطر حفره و ضخامت دیواره) نقش بارزی ایفا می‌نماید. در همین راستا اگرچه قطر حفره فیبر دارای کمترین ارزش وزنی (۰/۰۸۵) در مقایسه با طول فیبر است ولی این ویژگی شرایط بهتر مایع پخت را در فیبر برای تولید کاغذ به روش شیمیایی فراهم می‌آورد [۷]. همچنین بیومتری درختان پرورش‌یافته در مناطق خشک‌تر با اقلیم گرم‌تر که



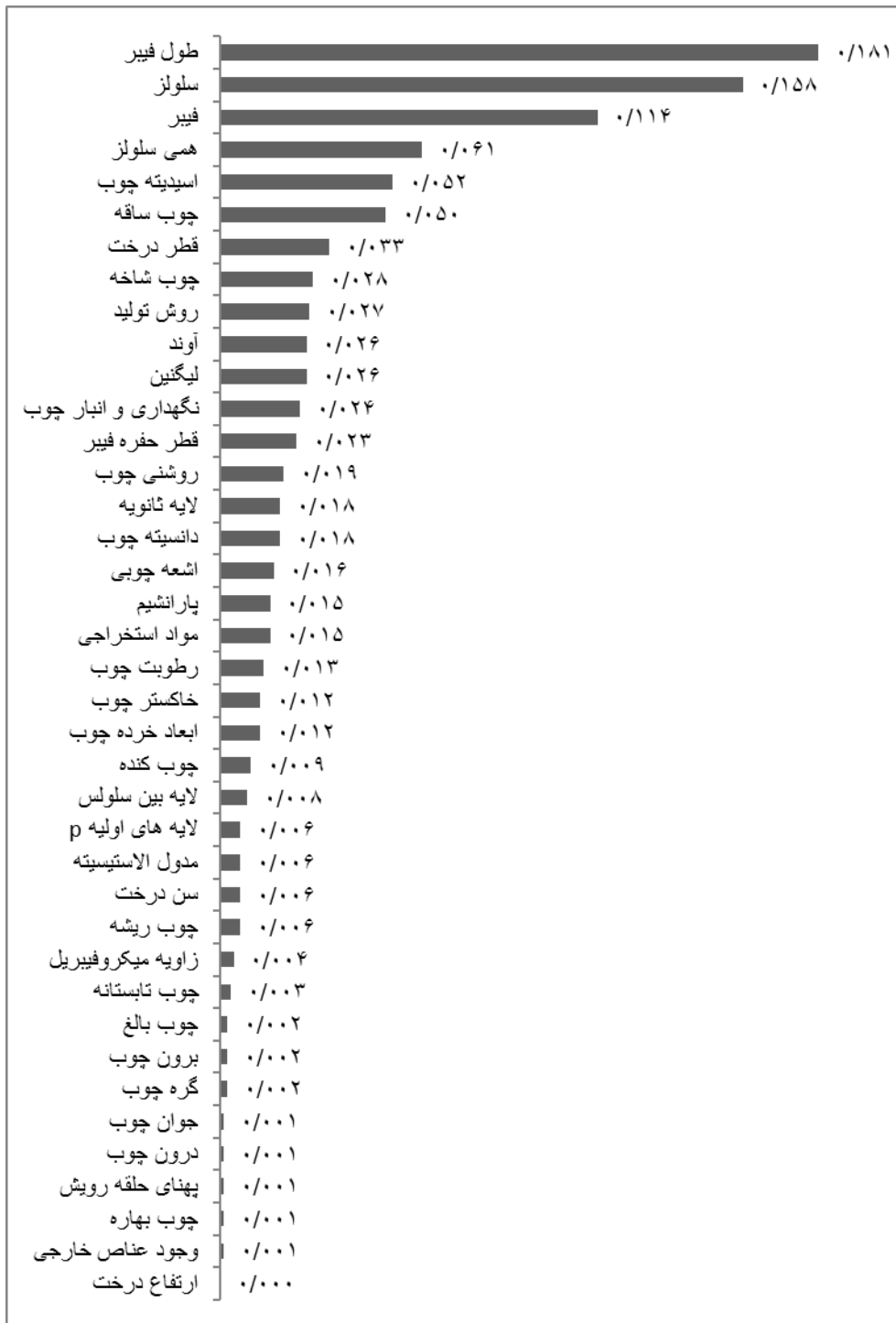
شکل ۷- درجه وزنی و اولویت‌بندی گزینه (رویشگاه) بر مبنای زیر شاخص ابعاد عناصر چوبی در صنعت تولید خمیر و کاغذسازی

دهد [۱۳]؛ بنابراین، مصرف محصولات چوبی در دوره‌های بهره‌برداری کوتاه‌مدت در این صنعت مورد تردید قرار می‌گیرند. نرخ ناسازگاری ۰/۰۲ برآورد گردید. به علت فقدان منابع پژوهشی مشابه و همگرا، مقایسه نتایج این تحقیق با دستاورد دیگران امکان‌پذیر نشد. تنها گزارش موجود در مورد تأمین مواد اولیه کارخانه کاغذسازی ولی با رویکردی کاملاً « متفاوت است. تأمین مواد اولیه با رویکرد اولویت-های منافع، فرصت‌ها، هزینه‌ها و چالش‌ها در سه منبع مواد اولیه { منابع جنگلی داخلی، منابع غیر جنگلی (صنوبر و پسماندهای کشاورزی) و واردات چوب } اولویت‌بندی شدند. در این تصمیم‌گیری معیارها به مطلوب و نامطلوب تقسیم‌شده و معیارهای مطلوب به‌عنوان منافع و معیارهای نامطلوب به‌عنوان هزینه در نظر گرفته شدند. همان‌طور که سنتز نهایی نشان داد، گزینه تأمین مواد اولیه از خارج برای صنعت کاغذسازی دارای بالاترین اولویت است. با توجه به مزایای تصمیم‌گیری، عرضه خارجی دارای بالاترین اولویت و عرضه داخلی و ترکیبی از عرضه داخلی و خارجی به ترتیب دارای اولویت دوم و سوم بودند. در تصمیم‌گیری کلان مانند تهیه مواد اولیه برای کارخانه کاغذسازی فرصت‌هایی مانند حفاظت از محیط‌زیست، رشد اقتصادی منطقه، کاهش نرخ جنگل‌زدایی، افزایش کیفیت محصول، دسترسی به استانداردها، ... افزایش خواهد داشت و هزینه‌هایی مانند ذخیره‌سازی مواد اولیه کاهش داشته است. تصمیم‌گیری نهایی که موارد فوق را لحاظ نماید خرید مواد اولیه از خارج است [۹].

نتایج ابعاد عناصر چوبی در درختان رویشگاه و انطباق آن با اولویت‌های تعیین‌شده در این زیرشاخص‌ها، رویشگاه ساری بر مبنای ابعاد عناصر چوبی مانند طول فیبر، به‌عنوان گزینه نخست با درجه وزنی (۰/۳۴۸) انتخاب گردید. رویشگاه‌های فومن (۰/۳۳۰)، رویشگاه لشت نشاء (۰/۱۳۹)، رویشگاه ابهر (۰/۱۰۷) و رویشگاه زنجان (۰/۰۷۶) به ترتیب در اولویت دوم تا پنجم قرار گرفتند (شکل ۷). نرخ ناسازگاری ۰/۰۲ برآورد گردید.

اولویت‌بندی نهایی شاخص‌های مؤثر در صنعت کاغذسازی شامل طول فیبر، سلولز و فیبر چوب می‌باشند که درجه وزنی آن‌ها به ترتیب ۰/۱۸۱، ۰/۱۵۸ و ۰/۱۱۴ به‌دست‌آمده است. این ویژگی‌ها در دو گروه شاخص اصلی مورفولوژی فیبر و ویژگی شیمیایی قرار دارند؛ و کمترین اولویت مربوط به وجود عناصر خارجی و ارتفاع درخت است که دارای پایین‌ترین اولویت‌ها هستند (شکل ۸). گونه‌های چوبی به دلیل چوب درونی شدن که ناشی از افزایش مقدار مواد استخراجی در آن است در نتایج تولید خمیر اثرگذار هستند. برون‌چوب نسبت به درون‌چوب دارای مواد استخراجی کمتری هستند [۱۴]. در مواردی ممکن است برخی ویژگی‌ها مانند سن و اندازه درخت که بیانگر پتانسیل تولید بیشتر و ماده اولیه فراوان‌تری هستند در تعیین اولویت تأثیرگذار باشند؛ زیرا افزایش سن درختان برخی خواص مانند طول فیبر، شاخص کششی و پارگی کاغذ را افزایش می‌دهد. چون با افزایش آن درصد جوان‌چوب در درختان تند رشد کاهش می‌یابد. این موضوع زمان برداشت مطلوب درختان را مهم جلوه می‌-





شکل ۸ - اولویت بندی نهایی شاخص های تأثیرگذار در صنعت خمیر و کاغذ

### نتیجه گیری

نتایج، مصرف چوب صنوبر را برای صنعت کاغذسازی، گونه های اورآمریکن در رویشگاه ساری را پیشنهاد می کند؛ زیرا اقلیم مناسب، رطوبت کافی و راندمان مطلوب تولید

چوب در آن رویشگاه و توسعه صنوبر کاری با کلن هایی از گونه اورآمریکن موجب استمرار فعالیت تولیدی این صنعت می گردد. کاغذ محصولی استراتژیک شناخته می شود که بستر مساعد بالندگی فرهنگی، تعالی اجتماعی و پیشرفت اقتصادی را فراهم می کند. نتایج این تحقیق اذعان دارد

زراعی، توان تولید جنگلی و پسماندها، محصول چوبی صنوبر از ارقام دورگه اورآمریکن است؛ زیرا طول فیبر گونه اورآمریکن در رویشگاه ساری به‌عنوان نخستین مطلوبیت و اولویت در این صنعت انتخاب شد. برابر گزارش‌ها، در آینده تلاش‌ها به سمتی هدایت خواهد شد که اصلاح و بهبود کیفی خواص چوب درختان از جمله وزن مخصوص، طول فیبر، زاویه میکروفیبریل و حتی پارامترهای شیمیایی آن را هدف قرار دهد [۱۶]. اصلاح ویژگی‌های یادشده موجب افزایش راندمان و بهبود کیفیت محصول کاغذ خواهد شد.

فراوان‌ترین و مطلوب‌ترین ماده اولیه برای آن، چوب صنوبرهایی هستند که بلندترین الیاف را دارا باشند. ویژگی درون ساختاری چوب صنوبر (قابلیت اصلاح‌پذیری ژنتیکی) و انعطاف‌پذیری تکنولوژیکی صنایع کاغذ، موجب درهم‌آمیختگی و همسویی زراعت چوب و صنعت کاغذ شده است. اولویت‌های مؤثر تعیین‌شده خبرگان صنعت کاغذسازی برای تصمیم‌گیری در مورد مصرف چوب صنوبر در این صنعت، راهکار مطمئنی را برای تولیدکنندگان چوب صنوبر می‌گشاید که مطلوب‌ترین محصول چوبی برای مصرف کاغذسازی در شرایط موجود قابلیت‌های

## منابع

- [1] FrahaniZanjirani, R. Rezapour, Sh. and Kaedar, L., 2011. Supply chain sustainability and raw material management: concepts and process, IGI Global, Hershy, USA, pp. 215.
- [2] Ball J, Carle J. and Lungo A. Del., 2008. Contribution of poplars and willow to sustainable forestry and rural development. Forest Resources Division, FAO Forestry Department, Rome.
- [3] Verani, S. and Speradio, G., 2008. International poplar commission thematic papers. FAO- Forestry department. October, 2008.
- [4] Francis, R.C., Hanna R.B., Shina, S.J., Brown A.F. and Riemenschneider D.E., 2006. Papermaking characteristics of tree Populus clones growing in the north-central United States. Biomass and Bioenergy 30:803-808.
- [5] Veljanovski V. and Constable C.P., 2013. Molecular cloning and biochemical characterization of two UDP-glycosyltransferases from poplar. Center for forest biology and department of biology, university of Victoria, Canada.
- [6] Pellegrino, E., Di Bene, C., Tozzini, C. and Benari, E., 2011. Impact on soil quality of a 10 year old short rotation coppice poplar stand compared with intensive agricultural and uncultivated systems in a Mediterranean area. Agriculture, ecosystems and environment 140: 245-254.
- [7] Mahdavi, S., Kermanian, H., Ramazani, O. and Molavi, S., 2013. Assessment of five successful poplar clones for kraft pulp production considering technical and economic aspects. Cellulose chemistry and technology, 47(3- 4), 267- 275.
- [8] Barimani, A., Ghasemian, A., Azizi, M. and Zabizadeh, S.M., 2014. Optimized locating of fluting paper plant from agricultural residues using AHP (based on benefit and cost approach. International Journal of Lignocellulosic Products,1 (2): 104-120.
- [9] Azizi, M., 2005. Decision making for raw material Procurement in Paper making factory. ISAHP 2005, Honolulu, Hawaii, July 8-10, 2005. Pages:11.
- [10] Lashkarbolouki, E., Pourtahmasi, K., Oladi, R. and Klagari, M., 2015. Evaluation of surface sampling method for estimating wood quality (fiber length and density) in poplar trees. Journal of Forest and Wood Product. 68(3), 503-515.
- [11] Chave, J., 2005. Measuring wood density for tropical forest trees. A field manual for the CTFS sites. Wood density measurement protocol. Universite Paul Sabatier 31000 Toulouse, France.
- [12] Ding, W.D., Koubaa, A. and Chaala, A., 2013. Mechanical properties of MMA- hardened hybrid poplar

wood. *Industrial Crops and Products* 46:304-310.

- [13] Goyal, G. C., Fisher, J. J., Krohn, M. J., Packwood, R. E. and Olson, J., 2000. Variability in pulping and characteristics of hybrid poplar trees due to their genetic makeup, environmental, factor, and tree ages. Potlatch Corporation Corporate R&D Center.
- [14] Lourenco, A., Baptista, J. and Pereira, H., 2008. The influence of heartwood on the pulping properties of *Acacia melanoxylon* wood. *Japan wood research society. J. Wood Sci*,54: 464 – 469.
- [15] Reme, Ph. A., 2000. Some effects of wood characteristics and the pulping process on mechanical pulp fibers. Norwegian university of Science and Technology.
- [16] Wimmer, R., Downes, G.M., Evans, R., Rasmussen, G. and French, J., 2002. Direct effects of wood characteristics on pulp and handsheet properties of *Eucalyptus globules*. *Holzforschung* 56: 244- 252.

## Recognition and rating of effecting indexes on the consumption of pulp and paper industry production from different poplar plantation sites in Iran

### Abstract

In line with the population growth, the need for wood consumption increases. For a long time, this need was supplied by natural forests. However, forest harvesting in Iran has decrease for many reasons and plantation of the fast growing trees (e.g. poplar, eucalypt, and paulownia) has been introduced as an alternative. One of the most demanding industries is pulp and paper which needs considerable amounts of raw wood materials, each year. This industry can continue its production by using poplar wood. This research was conducted with the aim of assessing the practical characteristics of poplar wood in paper production industry by using a nondestructive test method. Poplar's plantation sites were selected in areas of country that poplar trees were planted widely. Analytic hierarchy process (AHP) in Expert choice 11 software was performed for locating the production of different sites in pulp and paper industry. Moreover, for field studies of this research, the questionnaires were prepared and sent to experts and university professors with experiences in this industry. The results showed that among the five main indices influencing in pulp and paper production, fiber morphological features are the first priority with weighting value of 0.43. Production allocations with their weighting values determined Sari (0.24), Fouman (0.23), Lashtnasha (0.18), Abhar (0.17), and Zanjan (0.16), as superior plantation sites, respectively.

**Keywords:** wood plantation, wood fibers biometry, nondestructive test, analytic hierarchy process, locating poplars wood.

E. Lashkarbolouki<sup>1</sup>  
K. Pourtahmasi<sup>2\*</sup>  
R. Oladi<sup>3</sup>  
R. Kalagari<sup>4</sup>  
H. Alizadeh<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Ph.D student, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>2</sup> Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>4</sup> Associate Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran

<sup>5</sup> Ph.D student, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Corresponding author:  
[pourtahmasi@ut.ac.ir](mailto:pourtahmasi@ut.ac.ir)

Received: 2015/11/02  
Accepted: 2016/04/20