

## بررسی قابلیت اشباع خرده چوب‌ها در فرآیند خمیرسازی APMP<sup>۱</sup> (سودای سرد)<sup>۲</sup>

سید احمد میرشکرایی<sup>۳</sup> اصغر انوری<sup>۴</sup>

### چکیده

فرایند خمیرسازی شیمیایی - مکانیکی پروکسید در محیط قلیایی یا فرایند سودای سرد (APMP)، شامل هشت مرحله است. دو مرحله مهم از مراحل هشت‌گانه، مراحل پی در پی بخاردهی و اشباع خرده چوب‌ها از محلول محتوی قلیا، پروکسید هیدروژن و ترکیبات تثبیت‌کننده پروکسید است که نقشی تعیین‌کننده در موفقیت‌آمیز بودن مراحل بعدی، یعنی لیفی کردن خرده چوب‌ها و پالایش خمیر حاصل دارد. در اشباع خرده چوب‌ها، عوامل متعددی تأثیرگذارند که می‌توان به گونه چوبی، نوع چوب، ابعاد خرده چوب‌ها، غلظت مایع اشباع‌کننده، درجه حرارت و طول مدت اشباع اشاره کرد. در این تحقیق، با استفاده از محلول اشباع‌کننده محتوی هیدروکسید سدیم، اثر هر یک از عوامل بر اشباع خرده چوب‌ها، و در مواردی اثر متقابل و همزمان دو عامل بر اشباع خرده چوب‌ها بررسی شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که از این نظر، چوب صنوبر، مناسب‌ترین چوب برای تبدیل به خمیر شیمیایی مکانیکی با استفاده از فرایند APMP است.

**واژه‌های کلیدی:** فرایند سودای سرد، نفوذپذیری، وزن مخصوص چوب، محلول اشباع‌کننده و خمیرسازی شیمیایی - مکانیکی.

۱- Alkaline Peroxide Mechanical Pulping

۲- تاریخ دریافت: ۷۸/۶/۱۶، تاریخ پذیرش نهایی: ۷۹/۱۱/۲۴

۳- دانشیار دانشگاه پیام نور

۴- کارشناس ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ

## مقدمه

در دهه‌های اخیر، تولید خمیرکاغذهای مکانیکی، بویژه خمیر کاغذهای مکانیکی با تیمار شیمیایی (خمیرکاغذهای شیمیایی - مکانیکی)، به دلیل مزایای متعددی از قبیل موارد زیر، بشدت مورد توجه قرار گرفته‌اند (۱، ۲ و ۵):

۱- بازده زیاد

۲- قابلیت استفاده از پهن‌برگان سریع‌الرشد

۳- عدم نیاز به دایجسترهای پیچیده مورد استفاده در

فرایندهای شیمیایی

۴- بهسازی رنگ خمیر کاغذ

۵- آلودگی‌های زیست‌محیطی کمتر

۶- خواص مطلوب مقاومتی خمیر کاغذ تهیه‌شده

۷- قابل مصرف بودن خمیرکاغذ در پرمصرف‌ترین

کاربردها (کاغذ روزنامه، کاغذ چاپ و تحریر)

۸- قیمت تمام شده کمتر

کشور ما ایران که با فقدان منابع جنگلی سوزنی‌برگ و کمبود منابع جنگلی پهن‌برگ روبه‌روست، بر آن شده است تا با کشت مصنوعی پهن‌برگان سریع‌الرشد از قبیل انواع صنوبر در مناطق مستعد (مانند استان‌های غرب کشور) و با استفاده از روش‌های خمیرسازی پربازده (از جمله روش خمیرکاغذسازی شیمیایی - مکانیکی)، نسبت به تولید خمیرهای پربازده اقدام کند. امید می‌رود که با استفاده از روش‌های خمیرسازی پربازده مبتنی بر صنوبرها به‌عنوان منابع چوبی پهن‌برگ مناسب، از مشکل روزافزون کمبود کاغذ و تبعات فرهنگی، اقتصادی و اجتماعی آن تا حدی کاسته شود.

شکل‌های متعدد و متنوعی از روش‌های خمیرکاغذسازی مکانیکی و شیمیایی - مکانیکی، از نظر مزایا و معایب آنها، مورد توجه محققان واقع شده و تحقیقات دامنه‌دار و مداومی در مورد آنها به اجرا درآمده است (۱ و ۵). در این میان، روش خمیرکاغذسازی شیمیایی - مکانیکی پروکسید در محیط قلیایی یا سودای سرد (APMP) از نظر بازده زیاد (۹۰-۸۵٪) و مقدار مصرف انرژی مقبول و اقتصادی بودن، و نیز مناسب بودن برای گونه‌های پهن‌برگ، جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده است (۲ و ۵).

با توجه به منابع موجود و قابل گسترش صنوبرهای دست کاشت در ایران، لزوم اجرای آزمایشگاهی روش APMP و ارزیابی نتایج حاصل از نظر کاربردی و قابلیت تأسیس کارخانه‌های خمیرکاغذ مبتنی بر روش APMP احساس می‌شود.

خوشبختانه سرانجام شرایط مناسب برای انجام برخی از آزمایش‌ها فراهم شد و بخش‌هایی از روش خمیر کاغذسازی شیمیایی - مکانیکی APMP، در مورد دو گونه جنگلی توسکا و ممرز و یک گونه دست کاشت صنوبر به اجرا درآمد (جدول ۱) و در مورد صنوبر، نتایج مطلوب و رضایت‌بخشی حاصل شد (۲).

جدول ۱- وزن مخصوص چوب‌های مورد استفاده

گونه	علامت	وزن مخصوص $g/cm^3$
صنوبر	$S_1$	۴۱-۴۶٪
توسکا	$S_2$	۴۹٪
ممرز	$S_3$	۷۹٪

به‌طور کلی، فرایند خمیر کاغذسازی APMP از نظر فنی شامل هفت بخش به شرح زیر است:

۱- آماده‌سازی خرده‌چوب

۲- دریافت خرده‌چوب‌ها و شستشوی آنها

۳- مرحله اول بخاردهی و آماس‌دهی و اشباع خرده‌چوب‌ها

۴- مرحله دوم بخاردهی و آماس‌دهی و اشباع خرده‌چوب‌ها

۵- مرحله اول پالایش خرده‌چوب‌ها و تبدیل آنها به خمیر و آبگیری

۶- مرحله دوم پالایش

۷- مرحله صاف کردن و تغلیظ خمیر تا غلظت موردنظر

## مواد و روش‌ها

به دلیل گستردگی موضوع، در تحقیق حاضر، صرفاً اثر چند عامل مختلف، یعنی ضخامت خرده‌چوب‌ها، درجه حرارت،

غلظت مایع اشباع‌کننده (محلول سود)، مدت اشباع، گونه و نوع خرده‌چوب‌ها (چوب‌درون و چوب‌برون)، بر اشباع خرده‌چوب‌ها در چهار تیمار مورد مطالعه قرار گرفته است

(جدول ۲).

محلول اشباع‌کننده نیز صرفاً محتوی سود است تا قابلیت اشباع خرده‌چوب‌ها در شرایط مختلف، تعیین گردد.

جدول ۲- فاکتورهای مورد مطالعه به‌طور جداگانه یا به‌عنوان تابعی از یکدیگر در گونه‌های مورد آزمایش

فاکتور		گونه		نوع چوب			دما		ضخامت خرده‌چوب‌ها			غلظت محلول			مدت اشباع		
						(C°)		(mm)			سود (%)			(min)			
صنوبر	توسکا	چوب‌درون	چوب‌برون	دمای محیط	۵۰-۶۰	۱۰۰	۳	۶	۹	۰	۳	۷	۳۰	۶۰	۹۰		
محرز																	

### الف- نمونه‌های چوب به‌کار رفته

نمونه‌ها از سه گونهٔ محرز، توسکا و صنوبر تهیه شدند. طول هر نمونه در جهت طول تنهٔ درخت، عرض آن در جهت مماسی و ضخامت آن (ضخامت خرده‌چوب‌ها) در جهت شعاعی بود. طول و عرض خرده‌چوب‌ها ثابت و به ترتیب ۲۵ و ۱۵ میلی‌متر ولی ضخامت آنها متغیر در نظر گرفته شد (۳، ۶ و ۹ میلی‌متر).

وزن یک سری نمونه با رطوبت تعادل (برای مثال، درون چوب صنوبر به ضخامت ۳ میلی‌متر) تقریباً ۱۰۰ کیلوگرم بوده و هر آزمایش با چهار تکرار انجام شده است.

طرز تهیه خرده‌چوب‌ها بدین ترتیب بود که پس از پوست‌کنی، گرده‌بینی به ابعاد موردنظر (با استفاده از ارهٔ نواری) برش داده شد. درون چوب و برون چوب از هم جدا شده و خرده‌چوب‌های مربوط به‌صورت جداگانه تهیه گردید. سپس نمونه‌ها در دمای معمولی به رطوبت تعادل رسانده شده و مدت دو هفته به‌صورت تله در آورده شدند. برای جلوگیری از کپک زدن خرده‌چوب‌ها، گاهی آنها با دست جابه‌جا شدند.

بدین ترتیب، شش سری خرده‌چوب با رطوبت تعادل به‌دست آمد، آنگاه در کیسه‌های پلاستیکی ریخته شده و در پلاستیک‌ها بسته شدند تا رطوبت تغییر نکنند. در آزمایش‌ها از این نمونه‌ها استفاده شد و تأثیر عوامل مختلف بر اشباع خرده‌چوب‌ها به‌وسیلهٔ محلول سود، مورد مطالعه قرار گرفت.

### ب- مواد شیمیایی مورد مصرف

در فرایند خمیرکاغذسازی شیمیایی - مکانیکی سودای سرد (APMP)، مواد شیمیایی موردنیاز برای تهیهٔ محلول اشباع خرده‌چوب‌ها عبارتند از:

۱- محلول سود سوزآور (NaOH)

۲- آب اکسیژنه ( $H_2O_2$ )

۳- مواد تثبیت‌کننده پروکسید ( $Na_2SiO_3$ ،  $MgSO_4$  و

(DTPA)

محلول سود سوزآور، با متورم ساختن خرده‌چوب‌ها، پیوندها و اتصال‌های بین الیاف را سست می‌کند و لیفی کردن مکانیکی چوب را آسان می‌سازد.

آب اکسیژنه به‌عنوان یک عامل تعدیل‌کنندهٔ رنگ، از طریق اکسایش برخی از گروه‌های رنگ‌ساز لیگنین عمل می‌کند و نتیجهٔ تأثیر آن، بهبود رنگ خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی است.

مواد تثبیت‌کننده، از طریق جذب یون‌های فلزات واسطه و تثبیت نسبی pH، اولاً از تجزیهٔ زودهنگام  $H_2O_2$  جلوگیری می‌کنند، ثانیاً به ثبات نسبی رنگ خمیرکاغذ پس از تولید و تبدیل به کاغذ، کمک می‌کنند.

در این تحقیق، نظر به اینکه صرفاً بررسی قابلیت محلول سود در اشباع و متورم ساختن خرده‌چوب‌ها موردنظر بوده، از آب و محلول هیدروکسید سدیم به غلظت‌های ۳ و ۷ درصد به‌عنوان مایع اشباع‌کننده استفاده شده است.

محلول سود مورد نیاز است.

برای مثال، برای تهیه یک محلول ۳ درصد سود، ۶ گرم سود جامد را در آب مقطر حل کرده به حجم ۲۰۰ ml می‌رسانیم. در ضمن اشباع، خرده‌چوب‌ها باید با وسیله مناسبی، مثلاً یک توری فلزی، در عمق ظرف نگه داشته شوند. بسته به آزمایش، دمای لیکور، قبل از اختلاط با خرده‌چوب‌ها باید در دمای معمولی، ۶۰-۵۰ یا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردد.

نسبت حجم لیکور به وزن چوب  $(\frac{L}{W})$ ، با احتساب رطوبت تعادل چوب (تقریباً ۱۲٪) تعیین می‌شود. برای مثال، ۱۰ گرم خرده‌چوب، در واقع،  $10 - 1/2 = 8/8g$  ماده خشک لیگنو سلولزی است. پس، در این آزمایش‌ها، نسبت فوق  $\frac{L}{W} = \frac{200}{8/8}$  است. در طی اشباع، دما باید ثابت باشد. پس از پایان زمان اشباع، خرده‌چوب‌ها را صاف کرده، در دسیکاتور خشک نموده، وزن آنها را تعیین می‌کنیم (ترازوی حساس ۰/۰۰۱ گرم). بدین ترتیب، درصد جذب مایع اشباع‌کننده یا درصد اشباع خرده‌چوب‌ها به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$X = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100$$

$X$  = درصد اشباع خرده‌چوب‌ها

$W_1$  = وزن اولیه خرده‌چوب‌ها

$W_2$  = وزن خرده‌چوب‌ها پس از اشباع

### نتایج

با توجه به تعداد پارامترها و انجام آزمایش‌ها در ۴ تکرار، تعداد کل آزمایش‌های انجام شده ۱۹۴۴ است:

$$3 \times 3 \times 3 \times 2 \times 3 \times 3 \times 4 = 1944$$

نتایج آزمایش‌های انجام شده در مورد چوب‌درون در جدول ۳ آمده است. همچنین، در شکل‌های ۱، ۲ و ۳ تغییر درصد اشباع ( $X$ ) چوب درون سه گونه مورد آزمایش، (صنوبر، توسکا و ممرز)، به عنوان تابعی از متغیرهای مختلف رسم شده است. در شکل‌های مذکور، محور عمودی دستگاه مختصات، درصد اشباع‌پذیری و محور افقی، ضخامت خرده‌چوب‌ها و درصد ماده شیمیایی مایع اشباع‌کننده است.

### ج- گونه چوبی

آزمایش‌های انجام شده بر روی گونه‌های صنوبر، توسکا و ممرز نشان داد که عوامل مختلف بر فرایند اشباع خرده‌چوب‌ها و در نتیجه تولید خمیرکاغذ تأثیر معنی‌داری دارند که این مسئله ناشی از تفاوت‌های آشکار و قابل توجه در وزن مخصوص چوب این سه گونه مهم صنعتی است (جدول ۱). آزمایش‌های انجام شده بیانگر آن است که در واقع، وزن مخصوص، یکی از عوامل تعیین کننده در فرایند APMP است.

### د- ضخامت خرده چوب

به منظور بررسی و تعیین اثر ضخامت خرده‌چوب‌ها بر اشباع آنها به وسیله لیکور قلیایی، خرده‌چوب‌هایی با سه ضخامت ۳ (th<sub>۳</sub>)، ۶ (th<sub>۶</sub>) و ۹ میلی متر (th<sub>۹</sub>) مورد آزمایش قرار گرفتند.

### ه- نوع چوب

نظر به اشباع‌پذیری متفاوت چوب‌درون و چوب‌برون، دو نوع خرده‌چوب تهیه شده از چوب‌درون ( $K_1$ ) و چوب‌برون ( $K_2$ ) آزمایش شدند.

### و- درجه حرارت تیمار

خرده‌چوب‌ها در سه دمای معمولی ( $T_1$ )، ۶۰-۵۰ ( $T_2$ ) و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد ( $T_3$ ) مورد آزمایش واقع شدند و نتایج حاصل، همزمان با تغییر سایر متغیرها مورد بررسی قرار گرفت.

### ز- مدت اشباع

عامل زمان (طول مدت اشباع) می‌تواند تأثیر معنی‌داری بر تورم خرده‌چوب‌ها و تسهیل لیفی شدن آنها در پالاینده و نیز تأثیر آب اکسیژنه بر گروه‌های رنگ‌ساز خمیر داشته باشد. به منظور بررسی و تعیین میزان این تأثیر، آزمایش‌ها در سه زمان ۳۰ ( $P_1$ )، ۶۰ ( $P_2$ ) و ۹۰ دقیقه ( $P_3$ ) انجام شدند.

### ح- روش اشباع خرده‌چوب‌ها و اندازه‌گیری درصد اشباع

برای هر بار آزمایش، حدود ۱۰ گرم خرده‌چوب وزن شده در یک بشر ۲۵۰ سی سی، محتوی ۲۰۰ cm<sup>۳</sup> محلول سود (لیکور، محلول اشباع‌کننده خرده‌چوب‌ها) ریخته می‌شود. در واقع، به ازای هر یک گرم خرده‌چوب با رطوبت تعادل، ۲۰ cm<sup>۳</sup>

جدول ۳- درصد اشباع پذیری خرده چوبها در شرایط مختلف (گونه صنوبر، نوع: چوب درون)

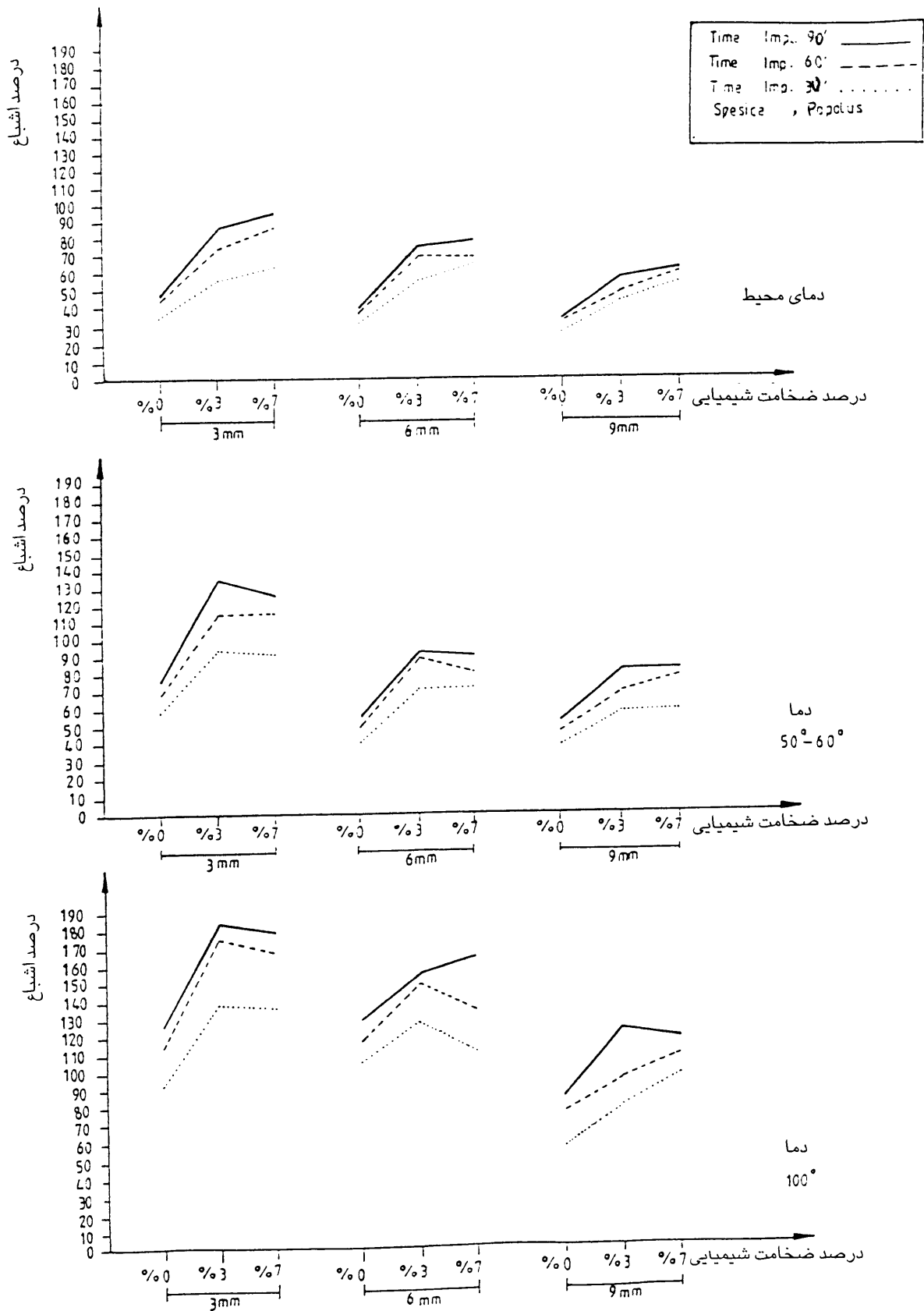
درصد اشباع، $\bar{X}$ (میانگین چهار تکرار)			مدت اشباع (دقیقه)	مقدار سود (درصد)	دما (سانتی گراد)
۹mm	۶mm	۳mm			
۲۵/۸	۳۰/۷	۳۴/۱	۳۰	۰	محیط
۳۱/۷	۳۷/۰	۴۳/۲	۶۰	۰	محیط
۳۳/۹۵	۳۹/۶	۴۷/۱	۹۰	۰	محیط
۳۹/۱	۵۰/۵	۵۴/۶	۳۰	۳	محیط
۴۶/۳	۶۵/۷	۷۱/۸	۶۰	۳	محیط
۵۴/۳	۷۲/۴	۸۵/۰	۹۰	۳	محیط
۴۹/۲	۶۲/۸	۶۰/۹	۳۰	۷	محیط
۵۳/۳	۶۸/۴	۸۴/۵	۶۰	۷	محیط
۵۵/۹	۷۴/۵	۹۶/۵	۹۰	۷	محیط
۳۷/۵	۳۸/۸	۵۹/۸	۳۰	۰	۶۰-۵۰
۴۴/۴	۴۶/۴	۶۹/۹	۶۰	۰	۶۰-۵۰
۵۰/۳	۵۵/۶	۷۷/۷	۹۰	۰	۶۰-۵۰
۵۳/۷	۶۵/۴	۹۴/۸	۳۰	۳	۶۰-۵۰
۶۶/۵۵	۸۴/۰۵	۱۱۸/۲	۶۰	۳	۶۰-۵۰
۸۰/۲	۸۷/۳	۱۳۶/۵	۹۰	۳	۶۰-۵۰
۵۴/۰۵	۶۹/۷	۹۱/۷	۳۰	۷	۶۰-۵۰
۷۳/۸۵	۷۷/۵	۱۱۶	۶۰	۷	۶۰-۵۰
۷۹/۴	۸۷/۸	۱۲۷/۷	۹۰	۷	۶۰-۵۰
۵۴/۹۵	۱۰۴	۹۳/۵	۳۰	۰	۱۰۰
۷۴/۶۵	۱۲۷/۶	۱۱۳/۵	۶۰	۰	۱۰۰
۸۰/۹۸	۱۳۸/۰	۱۲۵	۹۰	۰	۱۰۰
۷۳/۷	۱۰۲/۴	۱۳۸/۲	۳۰	۳	۱۰۰
۸۹/۲	۱۲۲	۱۷۸/۲	۶۰	۳	۱۰۰
۱۱۶	۱۴۹/۵	۱۸۲/۷	۹۰	۳	۱۰۰
۷۰	۱۰۷/۰	۱۳۸	۳۰	۷	۱۰۰
۹۳	۱۲۹/۰	۱۶۴	۶۰	۷	۱۰۰
۱۱۳	۱۵۹/۳	۱۸۲	۹۰	۷	۱۰۰

ادامه جدول ۳- (گونه توسکا، نوع: چوب درون)

درصد اشباع، $\bar{X}$ (میانگین چهار تکرار)			مدت اشباع (دقیقه)	مقدار سود (درصد)	دما (سانتی‌گراد)
۹mm	۶mm	۳mm			
۲۸/۲	۲۶/۹۸	۳۵/۱۲	۳۰	۰	محیط
۴۷/۴	۴۷/۲	۴۶/۹	۶۰	۰	محیط
۴۶/۹۸	۵۱/۶	۵۵/۶	۹۰	۰	محیط
۵۸/۹	۶۱/۴	۶۸/۲	۳۰	۳	محیط
۶۴/۳	۷۲/۸	۸۲/۹۵	۶۰	۳	محیط
۷۳/۸	۷۵/۹	۹۲/۹۸	۹۰	۳	محیط
۵۷/۶	۶۳/۷	۵۸/۶	۳۰	۷	محیط
۷۲/۱	۶۸/۰	۸۰/۳	۶۰	۷	محیط
۷۲/۷	۸۱/۹	۸۰/۳	۹۰	۷	محیط
۴۶/۹	۵۰/۴	۶۱/۸	۳۰	۰	۶۰-۵۰
۵۸/۶	۵۶/۳	۷۲/۹	۶۰	۰	۶۰-۵۰
۶۶/۱	۶۲/۵	۷۵/۲	۹۰	۰	۶۰-۵۰
۶۶/۹۵	۶۵/۲	۸۸/۹	۳۰	۳	۶۰-۵۰
۷۲/۸	۸۰/۱	۱۰۱/۱۳	۶۰	۳	۶۰-۵۰
۷۸/۹۵	۸۷/۲	۱۰۴/۳	۹۰	۳	۶۰-۵۰
۶۳/۹۸	۷۵/۲	۸۰/۹	۳۰	۷	۶۰-۵۰
۷۷/۴	۸۳/۶	۹۵/۹	۶۰	۷	۶۰-۵۰
۸۱/۹۵	۹۲/۶	۱۱۱	۹۰	۷	۶۰-۵۰
۸۱/۰۳	۷۳/۱	۸۷/۲	۳۰	۰	۱۰۰
۱۱۲/۴	۹۷/۷	۱۰۹/۳	۶۰	۰	۱۰۰
۱۱۷/۵	۱۰۲/۷	۱۲۲	۹۰	۰	۱۰۰
۹۰/۹	۱۰۵/۳	۱۱۵/۳	۳۰	۳	۱۰۰
۱۲۴/۳	۱۱۹/۸	۱۴۲/۳	۶۰	۳	۱۰۰
۱۱۶	۱۲۴/۸	۱۳۹/۵	۹۰	۳	۱۰۰
۸۹/۸	۹۱/۷	۱۱۱/۸	۳۰	۷	۱۰۰
۱۱۶/۱	۱۰۱/۲	۱۲۳/۸	۶۰	۷	۱۰۰
۹۵/۶	۱۱۷/۳	۱۴۵/۵	۹۰	۷	۱۰۰

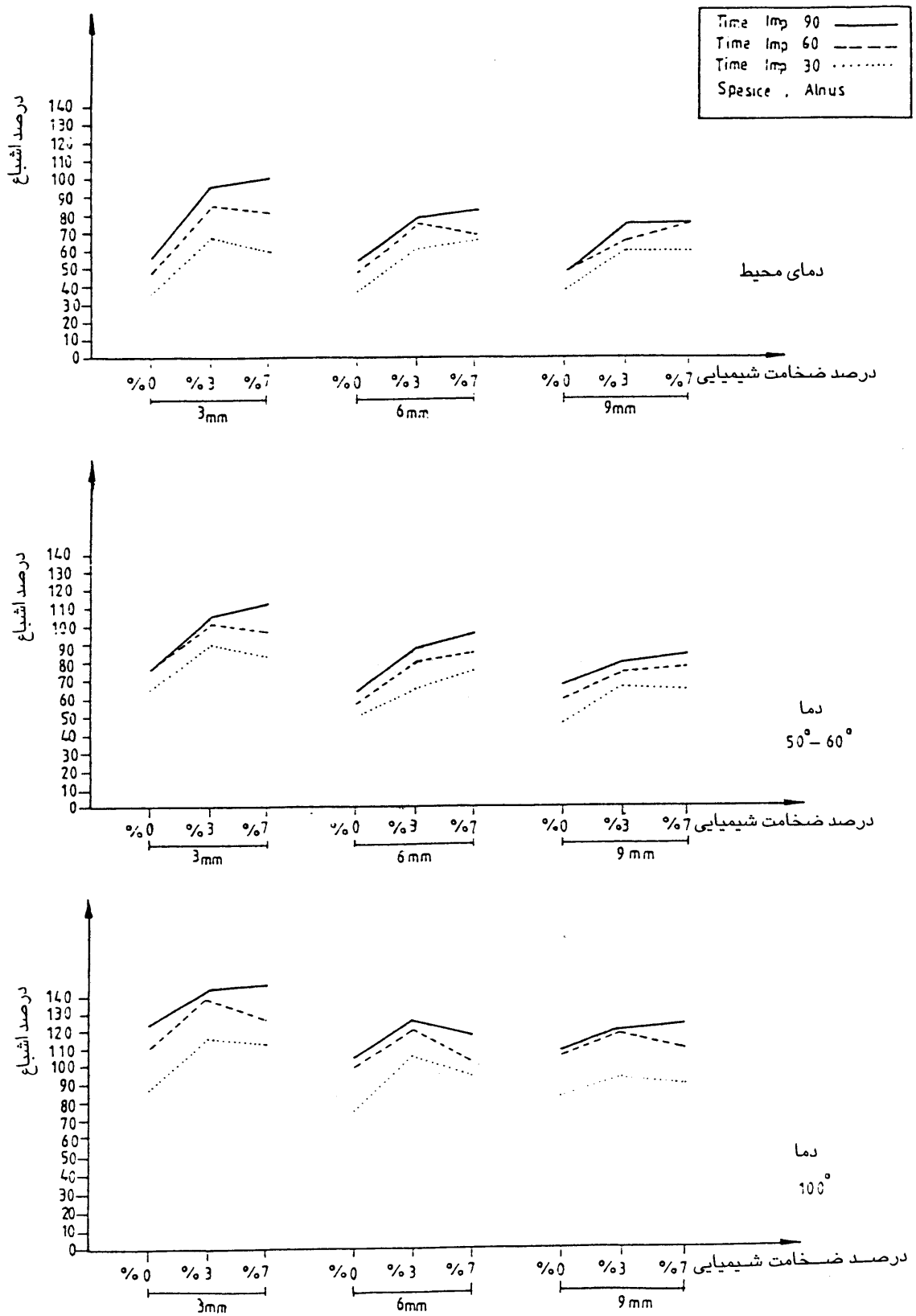
ادامه جدول ۳- (گونه ممرز، نوع: چوب درون)

درصد اشباع، $\bar{X}$ (میانگین چهار تکرار)			مدت اشباع (دقیقه)	مقدار سود (درصد)	دما (سانتی گراد)
۹mm	۶mm	۳mm			
۹/۹۸	۱۶/۱	۱۷/۷	۳۰	۰	محیط
۱۳/۱	۲۰/۸	۲۱/۴	۶۰	۰	محیط
۱۴/۶	۲۳/۶	۲۵/۷	۹۰	۰	محیط
۲۱/۸	۳۱/۲	۳۵/۶	۳۰	۳	محیط
۲۶/۵	۳۷/۵	۳۷/۳	۶۰	۳	محیط
۳۲/۲	۴۴/۶	۵۵/۲	۹۰	۳	محیط
۲۴/۳	۳۳/۵	۴۰/۹۵	۳۰	۷	محیط
۲۷/۶	۳۸/۸	۴۷/۹	۶۰	۷	محیط
۳۲/۲	۴۴/۵	۵۶/۰	۹۰	۷	محیط
۱۹/۸	۲۵/۳	۲۹/۵	۳۰	۰	۶۰-۵۰
۲۴/۵	۲۹/۹	۳۵/۵	۶۰	۰	۶۰-۵۰
۲۹/۸	۳۳/۹	۴۰/۲	۹۰	۰	۶۰-۵۰
۲۷/۹	۳۴/۸	۵۱/۳	۳۰	۳	۶۰-۵۰
۳۶/۴	۴۵/۶	۶۴/۵	۶۰	۳	۶۰-۵۰
۴۲/۳	۵۳/۳	۷۰/۵	۹۰	۳	۶۰-۵۰
۲۹/۳	۳۵/۶	۵۵/۹	۳۰	۷	۶۰-۵۰
۳۷/۱	۴۶/۳	۶۲/۱	۶۰	۷	۶۰-۵۰
۴۳/۷	۵۶/۸	۷۱/۸	۹۰	۷	۶۰-۵۰
۳۲/۷	۴۲/۹	۵۶/۸	۳۰	۰	۱۰۰
۵۳/۸	۶۱/۶	۷۵/۱	۶۰	۰	۱۰۰
۵۸/۶	۶۷/۶	۸۰/۱	۹۰	۰	۱۰۰
۴۴/۰	۵۶/۱	۷۵/۳	۳۰	۳	۱۰۰
۵۴/۰	۶۳/۵	۸۵/۷	۶۰	۳	۱۰۰
۵۶/۰	۷۳/۲	۸۷/۳	۹۰	۳	۱۰۰
۳۸/۰	۵۱/۶	۶۶/۴	۳۰	۷	۱۰۰
۴۵/۰	۵۹/۵	۷۷/۴	۶۰	۷	۱۰۰
۵۴/۰	۷۴/۳	۸۳/۹۵	۹۰	۷	۱۰۰

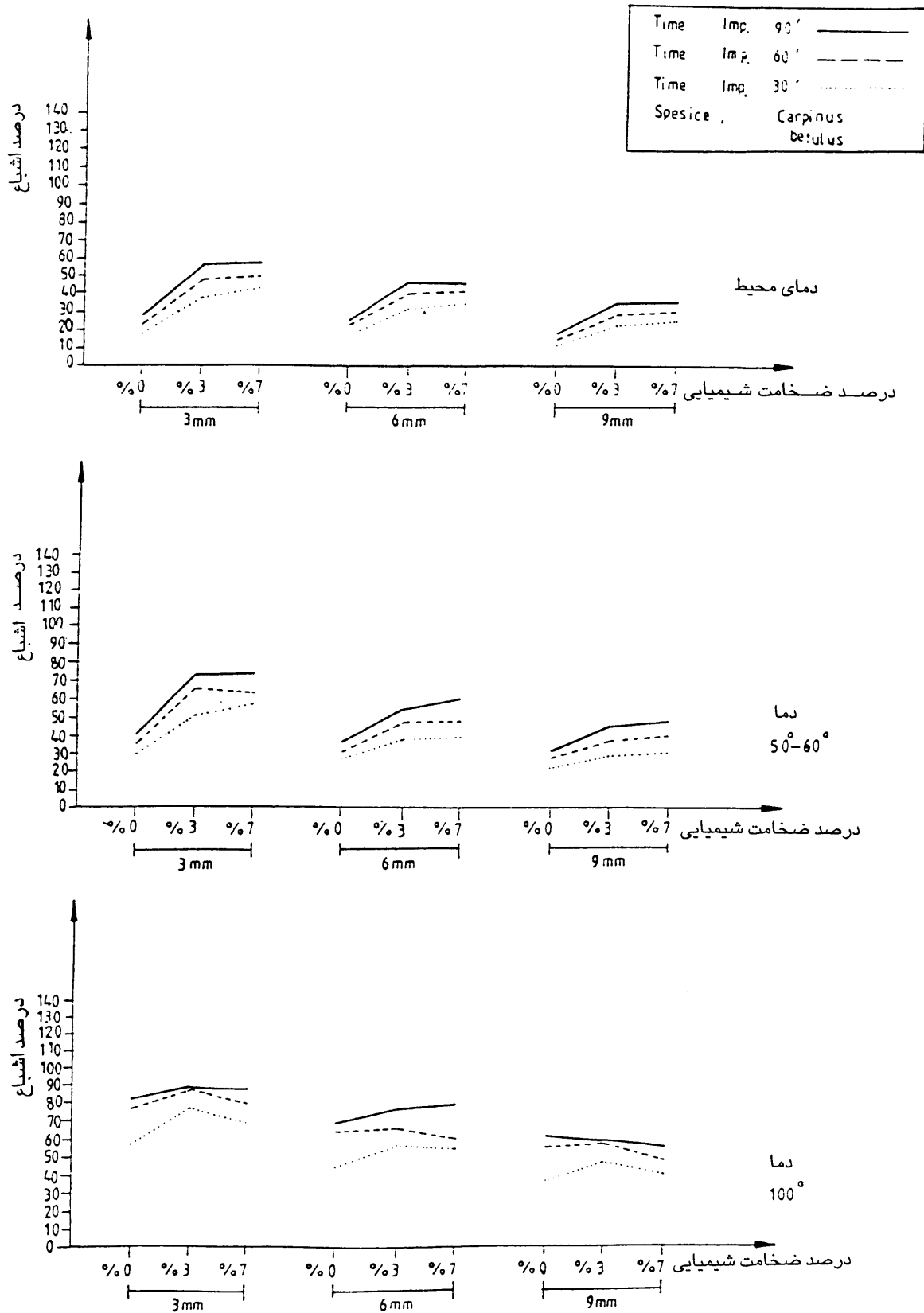


شکل ۱- تغییر درصد اشباع چوب درون گونه صنوبر





شکل ۲- تغییر درصد اشباع چوب درون گونه توسکا



شکل ۳- تغییر درصد اشباع چوب‌درون گونه ممزن

## محاسبات

درصدهای اشباع محاسبه شده خرد چوبها (X)، باید با استفاده از یک مدل آماری مناسب تجزیه و تحلیل شود. با توجه به داشتن ۷ فاکتور متغیر (۶ فاکتور ذکر شده به اضافه فاکتور تکرار)، برای تجزیه و تحلیل آماری، لازم است از آزمایش فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی استفاده شود تا نتایج مطلوب به دست آید. به این منظور و به دلیل داشتن داده‌های زیاد (۱۹۴۴ داده)، از برنامه آماری رایانه‌ای MSTAT-C استفاده شد.

فاکتورهای دخالت کننده در این محاسبه آماری عبارتند از:

۱- تکرار (R)

۲- گونه (S)

۳- ضخامت خرد چوبها (th)

۴- نوع چوب (K)

۵- دمای مایع اشباع کننده (T)

۶- غلظت درصد محلول اشباع کننده (M)

۷- طول مدت اشباع (P)

۸- درصد اشباع خرد چوبها (X)

بر اساس برون داد این محاسبات، جدول‌های تجزیه واریانس تنظیم شدند تا میزان تأثیر هر یک از فاکتورها بر اشباع پذیری مشخص شود.

برای تعیین بالاترین اندازه صفت برای هر فاکتور، از آزمون مقایسه میانگینها استفاده شد. برای مقایسه میانگینها از برنامه‌های آماری زیر استفاده شد:

Tukey's Honesty Significant Test

Duncan's Multiple Range Test

در هر جدول تجزیه واریانس، برای مقایسه میانگینها، علاوه بر مقایسه سطوح مختلف فاکتورها، آثار متقابل آنها نیز بررسی شد. با توجه به اینکه تفسیر و تحلیل اثرهای متقابل بیش از دو فاکتور مشکل و گاهی ناممکن بود، اغلب آثار متقابل دو فاکتور بررسی گردید (جدول ۴).

جدول ۴- فاکتورهای ساده و دوگانه مطالعه شده در تجزیه واریانس و مقایسه میانگینها

فاکتور ۲	فاکتور ۱	ردیف
	گونه چوبی	۱
	ضخامت خرد چوب	۲
گونه	ضخامت خرد چوب	۳
	نوع چوب	۴
گونه	نوع چوب	۵
ضخامت خرد چوب	نوع چوب	۶
	درجه حرارت	۷
گونه	درجه حرارت	۸
درجه حرارت	ضخامت خرد چوب	۹
درجه حرارت	نوع چوب	۱۰

فاکتورها در جدول ۶ آورده شده است.

خلاصه نتایج تجزیه واریانس برای مقایسه سطوح فاکتورها در جدول ۵ و خلاصه نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل

جدول ۵- خلاصه نتایج جدول های تجزیه واریانس برای مقایسه سطوح فاکتورها

ردیف	فاکتور ۱	توضیح
۱	گونه چوبی	**
۲	ضخامت خرده چوب	**
۳	نوع چوب	NS
۴	درجه حرارت مایع اشباع	**
۵	درصد مواد شیمیایی (غلظت)	**
۶	زمان اشباع	**

NS: معنی دار نیست، \*\*: معنی در سطح ۱٪

جدول ۶- خلاصه نتایج جدول های تجزیه واریانس برای مقایسه اثر متقابل فاکتورها

ردیف	فاکتور ۱	توضیح
۱	اثر متقابل گونه چوبی با ضخامت خرده چوب	**
۲	اثر متقابل گونه چوبی با نوع چوب	**
۳	اثر متقابل گونه چوبی با درجه حرارت مایع پخت	**
۴	اثر متقابل گونه چوبی با درصد مواد شیمیایی	**
۵	اثر متقابل گونه چوبی با زمان اشباع	*
۶	اثر متقابل ضخامت خرده چوب با نوع چوب	NS
۷	اثر متقابل ضخامت خرده چوب با درجه حرارت	**
۸	اثر متقابل ضخامت خرده چوب با درصد مواد شیمیایی	**
۹	اثر متقابل ضخامت خرده چوب با زمان اشباع	NS
۱۰	اثر متقابل نوع چوب با درجه حرارت	NS
۱۱	اثر متقابل نوع چوب با درصد مواد شیمیایی	NS
۱۲	اثر متقابل نوع چوب با زمان اشباع	NS
۱۳	اثر متقابل درجه حرارت مایع با درصد مواد شیمیایی	**
۱۴	اثر متقابل درجه حرارت مایع اشباع با زمان اشباع	**
۱۵	اثر متقابل درصد مواد شیمیایی با زمان اشباع	NS

NS: معنی دار نیست، \*\* معنی در سطح ۱٪ و \* معنی در سطح ۵٪

## بحث و نتیجه گیری

۱- گونه چوبی: اشباع پذیری گونه چوبی صنوبر (وزن مخصوص ۰/۴۳) بیشتر از گونه توسکا (وزن مخصوص ۰/۴۹) و گونه توسکا بیشتر از گونه ممرز (وزن مخصوص ۰/۷۹) است.

۲- ضخامت خرده چوب: اشباع پذیری خرده چوب ها با

الف- تفسیر خلاصه نتایج جدول های تجزیه واریانس برای مقایسه سطوح فاکتورها  
با توجه به جدول های تجزیه واریانس به دست آمده از برنامه آماری مورد استفاده، می توان گفت:

اشباع پذیری یکسان و بیشتر از سایرین را دارد و گونه ممرز در غلظت ۰ درصد ماده شیمیایی، پایین ترین درصد اشباع پذیری را داراست.

۵- اثر متقابل گونه چوبی با زمان اشباع: گونه صنوبر در زمان اشباع ۹۰ دقیقه بیشترین اشباع پذیری را دارد.

۶- اثر متقابل ضخامت خرده چوب با نوع چوب: درون چوب با ضخامت خرده چوب ۲ میلی متر و برون چوب با ضخامت خرده چوب ۳ میلی متر بیشترین اشباع پذیری را نسبت به سایرین دارند. در نتیجه، بین درون چوب و برون چوب اختلاف معنی داری وجود ندارد. همچنین اثر متقابل خرده چوب و نوع چوب معنی دار نیست.

۷- اثر متقابل ضخامت خرده چوب با درجه حرارت: ضخامت خرده چوب ۳ میلی متر در دمای لیکور ۱۰۰ درجه سانتی گراد بالاترین اشباع پذیری را دارد و ضخامت خرده چوب ۹ میلی متر با دمای لیکور محیط کمترین اشباع را سبب می شود.

۸- اثر متقابل ضخامت خرده چوب با درصد ماده شیمیایی (سود): ضخامت خرده چوب های ۲ میلی متر در غلظت لیکورهای ۳ و ۷ درصد ماده شیمیایی، اشباع پذیری یکسان و بیشتری از سایر موارد دارند.

۹- اثر متقابل ضخامت خرده چوب با زمان اشباع: خرده چوب های با ضخامت ۳ میلی متر در زمان اشباع ۹۰ دقیقه، بیشترین اشباع پذیری را دارند. اثر متقابل این دو فاکتور معنی دار نیست.

۱۰- اثر متقابل نوع چوب با درجه حرارت: درون چوب در دمای لیکور ۱۰۰ درجه سانتی گراد و برون چوب در همان دمای لیکور، اشباع پذیری یکسان دارند که نسبت به موارد دیگر بیشتر است. پس، اثر متقابل نوع چوب و درجه حرارت معنی دار نیست.

۱۱- اثر متقابل نوع چوب با درصد ماده شیمیایی (سود): اشباع پذیری درون چوب با غلظت لیکورهای ۳ و ۷ درصد ماده شیمیایی، با اشباع پذیری برون چوب با برابر و بیشتر از سایر موارد است. در نتیجه، اثر متقابل نوع چوب و درصد مواد شیمیایی معنی دار نیست.

۱۲- اثر متقابل نوع چوب با زمان اشباع: درون چوب و

ضخامت ۲mm بیشتر از ضخامت ۶mm و ضخامت ۶mm بیشتر از ضخامت ۹mm است.

۳- نوع چوب: نوع چوب از لحاظ درون چوب یا برون چوب بودن در اشباع پذیری تأثیر معنی داری ندارد.

۴- درجه حرارت مایع اشباع: دمای مایع اشباع ۱۰۰ درجه سانتی گراد موجب بالاترین اشباع پذیری خرده چوب ها می شود و دمای ۶۰-۵۰ درجه سانتی گراد و دمای محیط، به ترتیب در مراحل بعدی قرار دارند.

۵- درصد ماده شیمیایی (غلظت): غلظت لیکورهای ۳ سود و ۷ درصد سود، اشباع یکسانی را موجب می شوند و در مرتبه بالاتری نسبت به صفر درصد سود قرار دارند.

۶- زمان اشباع: مدت زمان اشباع ۹۰ دقیقه بالاترین اشباع پذیری را سبب می شود و پس از آن زمان های ۶۰ دقیقه و ۳۰ دقیقه قرار دارند.

ب- تفسیر خلاصه نتایج جدول های تجزیه واریانس برای مقایسه اثر متقابل فاکتورها

۱- اثر متقابل گونه چوبی با ضخامت خرده چوب: میزان اشباع پذیری گونه صنوبر با ضخامت ۲ میلی متر برتر از سایر گونه ها و ضخامت ها است و بعد از آن، گونه صنوبر با ضخامت ۶ میلی متر و توسکا با ضخامت ۳ میلی متر در درجه دوم اشباع پذیری قرار دارند.

۲- اثر متقابل گونه چوبی با نوع چوب: گونه صنوبر با نوع برون چوب و درون چوب و توسکا با نوع چوب درون چوب توأماً اشباع پذیری بیشتری نسبت به سایر گونه ها و نوع چوبها دارند.

۳- اثر متقابل گونه چوبی با درجه حرارت مایع اشباع: گونه های چوبی در دمای لیکور ۱۰۰ درجه سانتی گراد بیشترین اشباع پذیری را دارند و گونه ممرز با دمای محیط، کمترین درصد اشباع پذیری را دارد. شایان ذکر است که گونه صنوبر در دمای لیکور محیط و توسکا در دمای لیکور محیط و ممرز در دمای لیکور ۱۰۰ درجه سانتی گراد اشباع پذیری یکسان دارند.

۴- اثر متقابل گونه چوبی با درصد ماده شیمیایی (سود): گونه های صنوبر با غلظت های ۳ و ۷ درصد ماده شیمیایی

اشباع‌پذیری کم می‌شود. علت را چنین می‌توان بیان کرد که چون اندازه‌گیری میزان اشباع‌پذیری براساس وزنی است، افزایش غلظت مایع اشباع‌کننده به ۷٪ و افزایش درجه حرارت به ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، سبب می‌شود تا حدودی لیگنین‌زدایی صورت بگیرد و مقداری از لیگنین لایه بین‌سلولی در محلول اشباع، غوطه‌ور شود. از آنجا که هنگام اندازه‌گیری وزن خرده‌چوب‌ها بعد از اشباع، خرده‌چوب‌ها از محلول خارج می‌شوند و بعد از قراردادن در دسیکاتور، فقط خرده‌چوب‌ها وزن می‌شوند، به دلیل خروج مقداری از لیگنین خرده‌چوب‌ها، مقداری کاهش وزن خواهیم داشت که در اینجا به صورت کاهش ظاهری اشباع‌پذیری مشاهده می‌گردد.

- همان روندهای افزایش یا کاهش اشباع‌پذیری خرده‌چوب‌های گونه صنوبر که بر اثر تغییر عوامل مؤثر در اشباع صورت می‌گرفت، در گونه‌های توسکا و ممرز هم مشاهده می‌شود. ولی با توجه به اینکه وزن مخصوص گونه صنوبر کمتر از توسکا و توسکا کمتر از ممرز است، مقدار اشباع‌پذیری در صنوبر بیشتر از توسکا و در توسکا بیشتر از ممرز است.

در جمع‌بندی نهایی و با تلفیق نتایج حاصل از جدول ۳ و نمودارها، می‌توان نتیجه گرفت که از بین سه گونه پهن‌برگ استفاده شده در آزمایش اشباع‌پذیری خرده‌چوب‌ها، گونه صنوبر اشباع‌پذیری بیشتری نسبت به دو گونه دیگر دارد. گونه توسکا در درجه دوم واقع شده و گونه ممرز در درجه آخر قرار دارد. علت این امر را می‌توان در وزن مخصوص آنها جستجو کرد. هر قدر وزن مخصوص چوبی کمتر باشد، میزان تخلخل آن بیشتر و نفوذ مایع اشباع در آن در زمان کمتری امکان‌پذیر خواهد بود و درصد اشباع بالاتری خواهد داشت. در نتیجه، می‌توان گفت اشباع‌پذیری خرده‌چوب‌ها با وزن مخصوص آنها رابطه عکس دارد.

عوامل متعدد دیگری بر اشباع خرده‌چوب‌ها مؤثرند. از جمله می‌توان گفت که ضخامت خرده‌چوب ۳ میلی‌متر در درجه حرارت مایع اشباع ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، و زمان اشباع ۹۰ دقیقه، بالاترین اشباع را سبب می‌شود. درحالی‌که بین درون‌چوب و برون‌چوب، اختلاف معنی‌داری در اشباع‌پذیری

برون‌چوب اشباع، به طور یکسان بیشترین اشباع‌پذیری را نسبت به سایرین دارند. پس، اثر متقابل نوع چوب و زمان اشباع معنی‌دار نیست.

۱۳- اثر متقابل درجه حرارت مایع اشباع با درصد ماده شیمیایی: لیکور اشباع با ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و با غلظت ۳ درصد سود از نظر اشباع خرده‌چوب‌ها برابر با لیکور اشباع با ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و غلظت ۷ درصد سود بوده و برتر از سایر شرایط است. در نتیجه، اختلاف اشباع‌کنندگی لیکورها با غلظت‌های ۳ و ۷ درصد ماده شیمیایی معنی‌دار نیست.

۱۴- اثر متقابل درجه حرارت مایع اشباع با زمان اشباع: لیکور اشباع در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و ۹۰ دقیقه بیشترین اشباع‌پذیری خرده‌چوب‌ها را سبب می‌شود.

۱۵- اثر متقابل درصد ماده شیمیایی با زمان اشباع: درصد ماده‌های شیمیایی ۳ و ۷ درصد در طی ۹۰ دقیقه، اثر یکسان بر اشباع‌پذیری دارند و نسبت به بقیه بالاترند.

### منحنی‌های اشباع‌پذیری خرده‌چوب‌ها

شکل‌های ۱، ۲ و ۳ منحنی‌های اشباع‌پذیری خرده‌چوب‌های سه گونه مورد آزمایش است که در بخش نتایج آورده شد. با بررسی این منحنی‌ها، نکات مهمی به شرح زیر قابل استنباط است:

- در هر سه دستگاه مختصات، با افزایش ضخامت خرده‌چوب، میزان اشباع‌پذیری خرده‌چوب‌های گونه صنوبر کم می‌شود.

- وقتی میزان درصد اشباع‌پذیری را در خصوص افزایش درجه حرارت اشباع بررسی می‌کنیم، مشاهده می‌شود که هر قدر درجه حرارت مایع اشباع بیشتر می‌شود، میزان اشباع‌پذیری خرده‌چوب‌ها افزایش بیشتری می‌یابد.

- افزایش غلظت مواد شیمیایی (NaOH) مایع اشباع از ۰ به ۳ درصد تأثیر بر اشباع‌پذیری خرده‌چوب‌ها دارد. ولی افزایش همان غلظت از ۳ به ۷ درصد، تأثیر چندانی بر اشباع‌پذیری خرده‌چوب‌ها نشان نمی‌دهد.

- در ضخامت ۳ میلی‌متر خرده‌چوب‌ها، با افزایش غلظت مواد شیمیایی مایع اشباع از ۳ به ۷ درصد مشاهده می‌شود که در ماه‌های ۵۰ تا ۶۰ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، میزان

با کاهش ضخامت خرده‌چوب‌ها، سرعت تبدیل خرده‌چوب به خمیر افزایش می‌یابد و پس‌زده‌های مرحله غربال کاهش می‌یابد. با استفاده از خرده‌چوب‌های با ضخامت کم، مصرف قلیا تا حدی کمتر و میزان حفظ کربوهیدرات‌ها بهتر می‌شود.

- خرده‌چوب‌هایی که در مایع اشباع، به صورت چسبیده به هم باقی می‌مانند، درصد کمتری از مایع اشباع را به خود خواهند گرفت. بنابراین به هم‌زدن خرده‌چوب‌ها، می‌تواند عامل مؤثری در اشباع‌پذیری بیشتر خرده‌چوب‌ها باشد. به هم‌زدن خرده‌چوب‌ها دو نتیجه دارد:

الف- غلظت مواد شیمیایی لیکور در تمام نقاط لیکور ثابت می‌ماند.

ب- سطح تماس خرده‌چوب‌ها با محلول اشباع‌کننده افزایش می‌یابد.

۳- دو نیروی پیش‌برنده واکنش‌ها در فرایندهای اشباع‌پذیری خرده‌چوب‌ها، غلظت قلیا و دمای مایع اشباع است. غلظت قلیا با توجه به تعدادی عوامل محدودکننده (از قبیل از بین رفتن کربوهیدرات‌ها، افزایش واکنش‌های تراکمی و تخریب فلزات تجهیزات خمیرسازی)، تقریباً محدود و ثابت است. ولی می‌توان درجه حرارت مایع اشباع را تا حدودی بالا برد و درصد اشباع‌پذیری خرده‌چوب‌ها را تا میزان حداقل ۲ برابر افزایش داد. این پدیده در طی آزمایش‌های انجام شده در این طرح به وضوح ثابت می‌شود.

دیده نمی‌شود. همچنین، بین درصد مواد شیمیایی با غلظت‌های ۳ و ۷ درصد، اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. در کل می‌توان گفت که مهمترین عامل مؤثر در اشباع‌پذیری خرده‌چوب‌ها، بعد از وزن مخصوص، ضخامت خرده‌چوب‌ها است.

اگر در شرایط حداقل ضخامت خرده‌چوب و حداکثر درجه حرارت لیکور و حداکثر زمان اشباع و بالاترین درصد غلظت لیکور، از گونه صنوبر با کمترین وزن مخصوص استفاده شود، بالاترین درصد اشباع را خواهیم داشت. عوامل فوق اثر متقابل بر همدیگر نیز دارند که به بررسی آماری دقیق‌تری نیاز دارد.

در پایان با توجه به نتایج به‌دست آمده پیشنهادهای زیر ارائه می‌گردد.

برای افزایش کیفیت خمیر حاصل از فرایند سودای سرد (APMP) و همچنین افزایش بازده فرایند، پیشنهادهای زیر برای مرحله اشباع خرده‌چوب‌ها که یکی از دو مرحله مهم در این فرایند خمیرسازی است، ارائه می‌شود:

- یک عامل مهم در اشباع خرده‌چوب‌ها - با توجه به تحقیقات انجام شده - ضخامت خرده‌چوب‌هاست. طی تحقیقات و آزمایش‌های انجام شده در این طرح، به این نتیجه می‌رسیم که بهترین ضخامت برای خرده‌چوب‌ها ۲ میلی‌متر است، زیرا در این ضخامت، بیشترین درصد اشباع‌پذیری مشاهده می‌شود.

## منابع

- انوری، اصغر، ۱۳۷۷. بررسی قابلیت اشباع خرده‌چوب‌ها در فرایند خمیرسازی APMP (سودای سرد)، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.
- Area, M.C., O.M. Barboza, & J.L. Valade, 1997. Bleaching of Eucalyptus Grandis chemimechanical Pulps, Tappi Journal, Vol. 80(3): 141-145.
- Biermann, C.J. 1996. Pulping and Papermaking, Second Ed., Academic Press, California, USA.
- McGovern, J.N. & Wegner, T.H. August, 1991. Papermaking Properties of Aspen Ultrahigh-Yield Mechanical Pulps, Tappi Journal, Vol. 64 (4): 157-161.
- Smook, G.A. 1992. Handbook for pulp and Paper Technologists, Angus Wilde Publications Inc., Second Ed., Vancouver, B.C., Canada, 4 pp.

## A Study of The Saturability of Chips In APMP (Cold Soda) Pulping Process

S. A. Mirshokraei<sup>1</sup>      A. Anvari<sup>2</sup>

### Abstract

Alkaline peroxide mechanical pulping or cold soda process, includes eight steps. Two critical steps are cumulative steaming and impregnating of the chips by a liquor containing sodium hydroxide, hydrogen peroxide, and stabilizing compounds, this having a determining effect on successful subsequent defibrating and refining steps. In impregnating and saturating the chips, many parameters, including wood species, wood kind, chips dimensions, liquor concentration, temperature, and the duration of impregnation are involved. In this study, by using a solution of sodium hydroxide, as impregnating liquor, the simultaneous effect of different parameters on impregnation, has been studied. The results show that, poplar wood is the most suitable for producing APMP mechanical pulp.

**Keywords:** Cold soda process, Impregnation, Wood specific gravity, Impregnating liquor, Poplar  
Chemi-mechanical pulping

---

1- Assoc. prof., University of Payam-e-Noor

2- Senior expert, Wood and Paper Sciences and Technology