



دانشگاه گواران و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیستم و دوم، شماره سوم، ۱۳۹۴

<http://jwfst.gau.ac.ir>

## بررسی راندمان شستشوی خمیر کاغذ در پرس دوقلو با استفاده از تحلیل سیستم

\*ولی‌اله مهدی‌پور روشن

رئیس کارخانه تولید خمیر کاغذ شرکت چوب و کاغذ مازندران، مدرس دانشگاه پیام‌نور ساری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۲/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۳۱

### چکیده

**سابقه و هدف:** استفاده از پرس در فرآیند تبدیل چوب به خمیر کاغذ، برای بازیافت مواد حاصل از پخت، متداول است که راندمان آن نقش به‌سزایی در جلوگیری از هدر رفت منابع دارد. این تحقیق به‌منظور نشان دادن عوامل مؤثر بر راندمان شستشوی خمیر در پرس دوقلو با استفاده از مدل ریاضی و بر مبنای الگوی شبیه‌سازی تحلیل مهندسی سیستم، صورت گرفته است.

**مواد و روش‌ها:** براساس الگوی شبیه‌سازی تحلیل مهندسی سیستم، عملکرد پرس دوقلو با استفاده از اطلاعات فرآیند تولید شرکت چوب و کاغذ مازندران، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج تحقیق نشان داد که در یک مقدار تولید ثابت، راندمان شستشوی پرس دوقلو، رابطه مستقیم با مقدار آب تازه و درصد خشکی خمیر خروجی از پرس و رابطه معکوس با درصد خشکی خمیر رقیق شده به پرس دارد.

**نتیجه‌گیری:** غلظت مواد محلول ورودی به پرس اثری بر راندمان ندارد، ولی بر مقدار مواد محلول بازیافتی مؤثر است.

**واژه‌های کلیدی:** پرس دوقلو، راندمان شستشو، درصد خشکی خمیر، مواد محلول

\*مسئول مکاتبه: [mehdpur@yahoo.com](mailto:mehdpur@yahoo.com)

## مقدمه

در فرآیند تولید خمیر کاغذ جهت جداسازی مواد استخراجی، لیگنین و مواد شیمیایی حاصل از فرآیند پخت، با هدف ارسال آن به واحد بازیافت و تولید مجدد ماده پخت، آن را شستشوی می‌دهند. هرچه میزان شستشوی بیشتر باشد میزان بازیابی مواد بیشتر است و علاوه بر آن مصرف مواد در مراحل بعد جهت سفیدسازی<sup>۱</sup> کمتر خواهد بود (۹). برای این منظور استفاده از دستگاه پرس متداول است. یکی از انواع دستگاه‌های مورد استفاده در این فرآیند، دستگاه پرس دوقلو<sup>۲</sup> می‌باشد. عملکرد این تجهیز در بازیابی بیشتر مواد مصرفی نقش مهمی دارد (۱۱). در فرآیند شستشوی خمیر استفاده از آب تازه متداول است و هرچه این آب تازه بیشتر باشد میزان شستشو بیشتر می‌شود ولی میزان محلول‌رسانی به واحد بازیافت را افزایش می‌دهد و انرژی زیادی برای جداسازی مواد موجود در آن در تبخیر کننده‌ها مصرف می‌شود که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست و باید حد بهینه‌ای داشته باشد. از طرفی عدم بازیافت مواد در خمیر باعث هدر رفت آن‌ها و افزایش بار آلودگی پساب (COD<sup>۳</sup>) می‌شود (۱). بنابراین اگر بتوان عوامل مؤثر بر این فرآیند را شناسایی نمود، می‌توان این مقادیر را بهینه نمود و در نتیجه با کمترین هزینه کارآیی و سپس بهره‌وری سیستم را افزایش داد.

هدف تحقیق حاضر این است که پارامترهای مؤثر بر کارایی شستشوی پرس دوقلو، نظیر اثر غلظت مواد موجود در محلول خروجی پخت، اثر درصد خشکی خمیر خروجی پرس دوقلو، اثر میزان آب رقیق‌سازی تازه را با استفاده از مدل ریاضی مشخص نماید.

برای رسیدن به این اهداف، با استفاده از "تحلیل مهندسی سیستم"<sup>۴</sup> پرس دوقلو شبیه‌سازی شده و تمامی پارامترهای مؤثر بر عملکرد این تجهیز در مسیر ورودی و خروجی آن شناسایی می‌گردند (۲). در نهایت یک فرمول کلی برای راندمان این تجهیز محاسبه خواهد شد و با استفاده از آن عوامل تأثیرگذار بر روی آن مشخص و نمودارهای آن‌ها با استفاده از اطلاعات موجود ترسیم می‌شود.

در راستای این موضوع، تحقیق و مطالعاتی انجام شده است که هریک به مسائلی در این باره پرداخته‌اند که تقریباً در ارتباط با راندمان شستشوی خمیر می‌باشد.

- 1- Bleaching
- 2- TwinRollpress
- 3- Chemical oxygen demand (COD)
- 4- System Engineering Analysis

اثر پرس دوقلو بر کاهش بار آلودگی خمیر در این پژوهش بررسی شد (۸). این بررسی نشان داده است که با افزایش ۱۰ درصد خشکی خمیر در خروجی پرس، مقدار بار آلودگی به میزان ۳۰ درصد کاهش می‌یابد. در مطالعه دیگر بررسی اثر شستشو در سفید کردن خمیر کرافت توسط سیلان پا (۲۰۰۵) انجام شد. وی در مطالعه خود به این نتیجه رسیده است که مقدار COD (کم یا زیاد بودن) پارامتر خوبی برای اندازه‌گیری راندمان شستشوی (بالا یا پایین بودن) در خمیر برای عملیات سفیدسازی<sup>۱</sup> می‌باشد (۱۰).

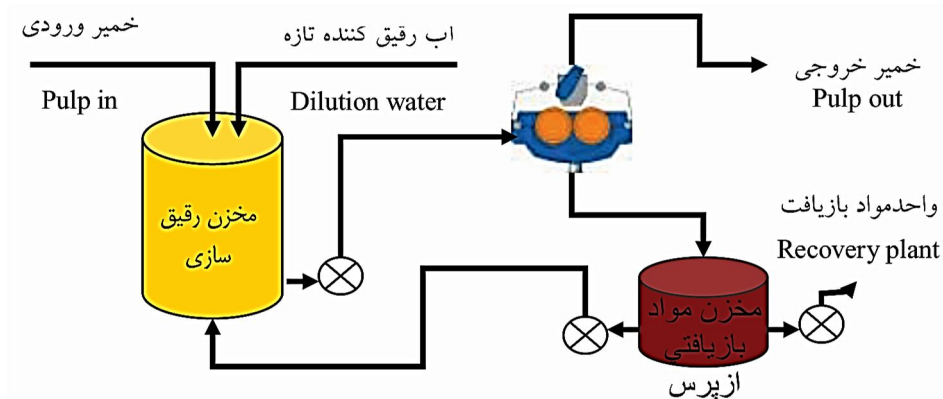
برین تسون و همکاران (۲۰۰۲) در بررسی نقش تکنولوژی جدید برای شستشوی خمیرهای شیمیایی، با بررسی اثر پرس در شستشوی خمیر و جداسازی مواد آلی و غیرآلی محلول در خمیر با استفاده از آب تازه نتیجه گرفته است که با تکنولوژی پرس جدید راندمان شستشوی به ۹۵ درصد خواهد رسید (۳). پارامترهای اساسی مؤثر در شستشوی خمیر در فیلتر با استفاده از مدل ریاضی مشخص و بررسی شده است (۹). در این بررسی، اثرات تمامی پارامترهای متغیر ورودی و خروجی به دستگاه درام فیلتر<sup>۲</sup> را تعیین نمودند و در نهایت رابطه راندمان شستشوی درام فیلتر را مشخص نمودند که بیانگر وابسته بودن راندمان شستشو به غلظت مواد ورودی و خروجی و مقدار آب شستشو می‌باشد. در سطح آزمایشگاه با استفاده از مدل ریاضی به عملکرد شستشوی خمیر در درام فیلتر پرداخته شد (۷). نتایج بررسی نشان می‌دهد که راندمان شستشو به میزان آب، نسبت جابه‌جایی<sup>۳</sup> و موارد دیگر بستگی دارد.

بنابراین استفاده از مدل ریاضی جهت تعیین راندمان شستشو در فرآیند خمیرسازی مهم است.

## مواد و روش‌ها

همان‌گونه در شکل ۱ نشان داده شده است، خمیر قبل از ورود به پرس دوقلو ابتدا با آب رقیق شده و سپس به داخل پرس هدایت می‌گردد و عملیات جداسازی آب و خمیر در آن اتفاق افتاده و هر کدام از خروجی خود خارج می‌گردند (۶). شبیه‌سازی این عملیات در شکل ۲ نشان داده شده است.

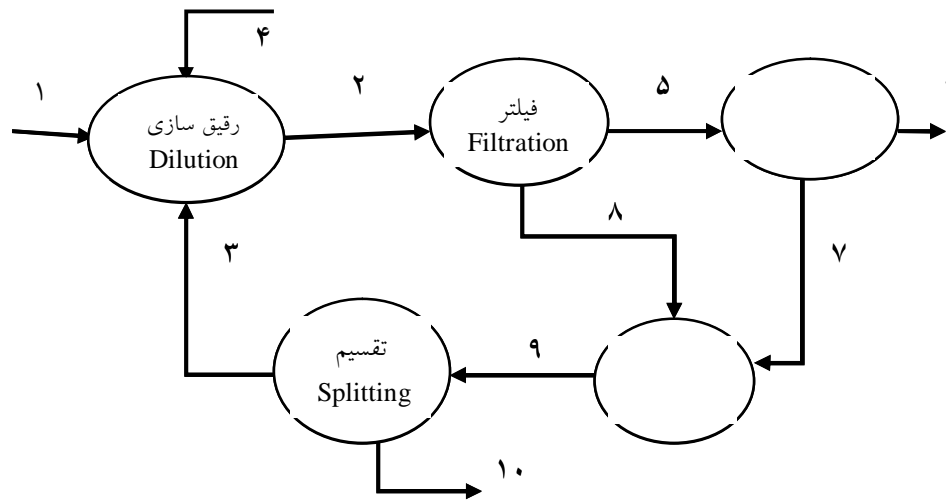
- 
- 1- Bleaching
  - 2- Rotary drum vacuum filter
  - 3- Displacement ratio



شکل ۱- شمای سیکل شستشوی خمیر در پرس دوقلوخط تولید خمیر NSSC شرکت Metso

Figure 1. Perspective of pulp washing in Twin roll press of Metso NSSC line.

بر اساس شکل شبیه‌سازی شده محلول خمیر از نقطه ۱ وارد منطقه رقیق‌سازی شده و پس از تنظیم درصد خشکی آن به مقدار تعیین شده از نقطه ۲ به قسمت فیلتر پرس وارد می‌شود که بخشی از آب از روزنه‌های سطح رول پرس عبور می‌کند و سپس محلول باقی‌مانده از نقطه ۴ وارد منطقه پرس و آبگیری می‌شود، در این منطقه با توجه به فاصله تنظیمی بین دو رول حداکثر فشار به محلول خمیر وارد شده و خمیر شسته شده از نقطه ۶ برای انجام مراحل بعدی خارج می‌گردد و آب از نقطه ۷ خارج می‌شود. آب‌های خارج شده از نقاط ۸ و ۷ که حاوی مواد آلی و غیرآلی هستند پس از ترکیب در منطقه مخلوط، از نقطه ۹ خارج می‌گردند و وارد منطقه تقسیم می‌شوند. در این منطقه بخشی از آب جدا شده مجدداً جهت رقیق‌سازی از نقطه ۳ وارد قسمت رقیق‌سازی می‌شود و باقیمانده آب برای بازیابی مواد موجود در آن به واحد بازیافت ارسال می‌گردد.



شکل ۲- مدل شبیه‌سازی سیکل شستشوی خمیر در پرس دوقلو.

Figure 2. Simulated operations in Twin roll press.

پارامترهای لازم جهت مدل ریاضی برای هر یک از خطوط جریان شکل ۲ به صورت ذیل تعریف می‌گردد:

نام پارامتر	شرح پارامتر	واحد پارامتر
M <sub>pi</sub>	مقدار تن الیاف (خمیر) در خط i	\BDTP
M <sub>wi</sub>	مقدار متر مکعب آب در خط i	M <sup>3</sup>
C <sub>pi</sub>	غلظت محلول خمیر (درصد خشکی) در خط i	درصد
W <sub>pi</sub>	مقدار آب به تن خمیر در خط i	M <sup>3</sup> /BDTP
X <sub>si</sub>	مقدار مواد محلول به مقدار آب محلول در خط i	Kg/Kg

در تمامی خطوط مقدار آب به ازای تن خمیر W<sub>pi</sub> از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$W_{pi} = (1 - C_{pi}) / C_{pi} \quad (1)$$

با توجه به مواد موجود در مناطق شکل ۲ شامل الیاف (خمیر)، آب و مواد محلول، موازنه جرم برای هر یک از مناطق فوق برحسب پارامترهای تعریف شده مشخص می‌شود:  
برای منطقه رقیق‌سازی:

$$M_{p2} = M_{p1} + M_p \quad \text{موازنه الیاف (خمیر):} \quad (۲)$$

$M_p$  مقدار خمیری است که احتمالاً همراه خطوط ۳ و ۴ وارد منطقه رقیق‌سازی می‌شوند.

$$M_{p2} \cdot W_{p2} = M_{p1} \cdot W_{p1} + M_{w3} + M_{w4} \quad \text{موازنه آب:} \quad (۳)$$

$$M_{p2} \cdot W_{p2} \cdot X_{s2} = M_{p1} \cdot W_{p1} \cdot X_{s1} + M_{w3} \cdot X_{s3} + M_{w4} \cdot X_{s4} \quad \text{موازنه مواد محلول:} \quad (۴)$$

برای منطقه فیلتر:

$$M_{p5} = M_{p2} - M_p \quad \text{موازنه الیاف (خمیر):} \quad (۵)$$

$M_p$  مقدار خمیری است که احتمالاً همراه خط ۸ از منطقه فیلتر خارج می‌شود.

$$M_{p5} \cdot W_{p5} = M_{p2} \cdot W_{p2} - M_{w8} \quad \text{موازنه آب:} \quad (۶)$$

$$M_{p5} \cdot W_{p5} \cdot X_{s5} = M_{p2} \cdot W_{p2} \cdot X_{s2} - M_{w8} \cdot X_{s8} \quad \text{موازنه مواد محلول} \quad (۷)$$

به همین روش موازنه جرم برای دیگر مناطق، نظیر منطقه پرس، منطقه مخلوط و منطقه تقسیم مشخص می‌گردد.

طبق تعریف کارآیی، برای راندمان شستشوی پرس با هدف بازیابی مواد محلول خواهیم داشت:

$$Y = \frac{M_{w10} \cdot X_{s10}}{M_{p1} \cdot W_{p1} \cdot X_{s1} + M_{w4} \cdot X_{s4}} \quad (۸)$$

حال با در نظر گرفتن این‌که در عمل مقدار خمیر (الیاف) در خطوط آب بسیار ناچیز است، بنابراین  $M_p$  در این خطوط صفر می‌شود و در نتیجه، خواهیم داشت:

$$Y = \frac{(M_{p1}(W_{p1} - W_{p6}) + M_{w4}) \cdot X_{s10}}{M_{p1} \cdot W_{p1} \cdot X_{s1} + M_{w4} \cdot X_{s4}} \quad (۹)$$

این رابطه نشان می‌دهد که راندمان شستشوی به میزان آب رقیق‌سازی  $Mw4$  بستگی زیادی دارد و هر چه این مقدار بیشتر باشد راندمان به ۱۰۰ درصد نزدیکتر می‌شود. برای رقیق‌سازی از آب برگشتی هم می‌توان استفاده نمود. بنابراین باید بین مقدار آب رقیق‌سازی  $Mw4$  و مقدار آب برگشتی  $Mw3$  تناسبی برقرار نمود تا هم راندمان بالا باشد و هم مقدار آب ارسالی به واحد بازیافت کمتر باشد. کمترین راندمان وقتی است که آب رقیق‌سازی صفر باشد (با ثابت بودن بقیه پارامترها) یعنی مقدار آب برگشتی حداکثر است و عمل رقیق‌سازی توسط آن انجام می‌شود. برای رابطه بین این دو آب طبق معادله ۳ خواهیم داشت:

$$Mp1(Wp2 - Wp1) = Mw3 + Mw4 \quad (10)$$

از طرفی برای مقدار آب ارسالی به واحد بازیافت رابطه زیر برقرار خواهد بود:

$$Mw10 = Mp1(Wp1 - Wp6) + Mw4 \quad (11)$$

برای مواد محلول در خط بازیافت خواهیم داشت:

$$Xs10 = \frac{Mp1.Wp1.Xs1 + Mw4.Xs4}{Mp1.Wp1 + Mw4} \quad (12)$$

رابطه فوق نشان می‌دهد که مقدار مواد محلول در خط بازیافت فقط به مقدار مواد محلول ورودی و آب رقیق‌سازی بستگی دارد. یعنی این‌که برای افزایش آن باید استفاده از آب تازه خودداری نمود و از آب‌های بازیافتی از مراحل جلوتر استفاده شود. از طرفی مواد محلول همان مواد استخراجی، لیگنین و مواد شیمیایی حاصل از پخت چوب می‌باشد که مقدار آن بستگی به راندمان پخت خمیر، نوع گونه چوب و مقدار مواد شیمیایی پخت (لیکور پخت) به ازای خرده چوب مصرفی بستگی دارد. با استفاده از رابطه ۱۱ و ۱۲ می‌توان مقدار مواد محلول بازیافتی ( $Qs$ ) را حساب نمود؛ یعنی:

$$Qs = Mw10 . Xs10 \quad (13)$$

از طرفی دیگر مقدار موادی که بازیافت نمی‌شود ( $Q_p$ ) مقدار مواد محلول بازیافت نشده) و همراه خمیر به مراحل قبل هدایت می‌شود، از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$Q_p = p_6 \cdot W_{p6} \cdot X_{s6} \quad (14)$$

به دلیل این که مقدار آب رقیق‌سازی نقش مهمی در این فرآیند دارد لذا تعیین مقدار آن مهم است چرا که مقدار رقیق‌سازی دو محدودیت دارد که یکی از آن‌ها به خاطر ظرفیت تبخیر کننده‌های واحد بازیافت می‌باشد (محدودیت  $Mw_{10}$ ) و دیگری محدودیتی که سازنده تجهیز برای درصد خشکی خمیر ورودی به پرس دوقلو در نظر گرفته است (محدودیت  $Cp_2$ ). درصد خشکی خمیر پس از رقیق‌سازی بر اساس کارخانه تولید کننده دستگاه پرس دوقلو کمی متفاوت است و معمولاً بین ۴-۶ درصد می‌باشد (در بعضی مدارک ۳-۱۰ درصد می‌باشد). به همین منظور براساس نسبت  $Mw_3/Mw_4$  به بررسی مدل پرداخته شد تا بتوان هر دو محدودیت را پوشش داد.

از طرف دیگر توانایی پرس‌های دوقلو برای افزایش درصد خشکی خروجی خمیر از پرس نیز محدودیت دارد. (محدودیت  $Cp_6$ ) که معمولاً بین ۲۸-۳۵ درصد است (با تغییرات در تجهیز تا درصد خشکی ۴۰ درصد قابل افزایش است).

به دلیل ثابت بودن سرعت تولید و راندمان پخت (درصد خروج لیگنین)، معمولاً مقدار تولید ( $Mp_1$ )، درصد خشکی خمیر (یا  $Wp_1$ )، مقدار مواد محلول ورودی ( $Xs_1$ )، مقدار مواد محلول در آب رقیق کننده ( $Xs_4$ ) ثابت هستند و فقط درصد خشکی خمیر پس از رقیق‌سازی (یا  $Wp_2$ ) و درصد خشکی خمیر خروجی از پرس (یا  $Wp_6$ ) تغییر می‌کنند.

برای محاسبه و تعیین روابط بین متغیرها، پارامترها را با استفاده از روابط فوق برحسب نسبت متفاوت  $Mw_3/Mw_4$  محاسبه می‌گردند.

برای تبدیل درصد خشکی خمیر ( $Cp_i$ ) به مقدار آب موجود در خمیر ( $Wp_i$ ) از رابطه ۱ استفاده می‌شود.

## نتایج

برای تطبیق مدل به دست آمده لازم است بر اساس اطلاعات تولیدی تجهیز، نمودارهای واقعی آن‌ها نیز ترسیم گردد. بر این اساس از اطلاعات پرس دوقلوی موجود در خط تولید شرکت چوب و



کاغذ مازندران جهت محاسبه روابط استفاده شده است. اطلاعات جمع‌آوری شده بر اساس نتایج آزمایشگاهی و فرآیند تولید به این شرح است:

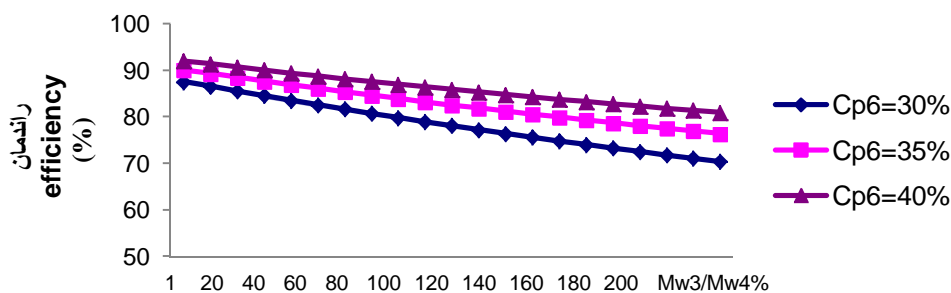
$$Mp1=234 \text{ BDTP}, Cp1=30\% (Wp1=2/333 \text{ M3/BDTP}), Xs1=0/16 \text{ Kg/Kg} \quad (15)$$

$$Cp2=4-6\% (Wp2=24-15/667 \text{ M3/BDTP}), Xs4=0/02 \text{ Kg/Kg} \quad (16)$$

$$Cp6=30-40\% (Wp6=2/333-1/5 \text{ M3/BDTP}), MW10 < 2500 \text{ Kg/Kg} \quad (17)$$

با استفاده از معادلات ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۳ و ۱۴ محاسبات لازم انجام گردید و نتایج حاصل از اطلاعات فوق با نسبت متفاوت  $Mw3/Mw4$  برای پارامترهای مختلف مؤثر بر راندمان شستشو پرس در نمودارهای ۳ تا ۱۰ نشان داده شده‌اند.

اثر تغییر درصد خشکی خمیر بر پارامترهای شستشو: نتایج حاصل نشان می‌دهد که در شرایط تولید ثابت و با درصد خشکی خمیر رقیق شده ۵ درصد، کاهش مقدار آب رقیق‌سازی (افزایش نسبت  $Mw3/Mw4$ ) باعث کاهش راندمان شستشو می‌شود. همچنین این نتایج نشان می‌دهد که افزایش درصد خشکی خمیر خروجی از پرس باعث افزایش راندمان می‌شود (شکل ۳). به‌طور متوسط هر درصد افزایش خشکی خمیر باعث افزایش راندمان شستشو می‌گردد، به‌طوری که این افزایش درصد با افزایش نسبت  $Mw3/Mw4$  بیشتر خواهد بود و در نسبت‌های بیش از ۱۵ درصد، افزایش هر درصد خشکی خمیر باعث افزایش بیش از همان اندازه راندمان شستشو می‌گردد.

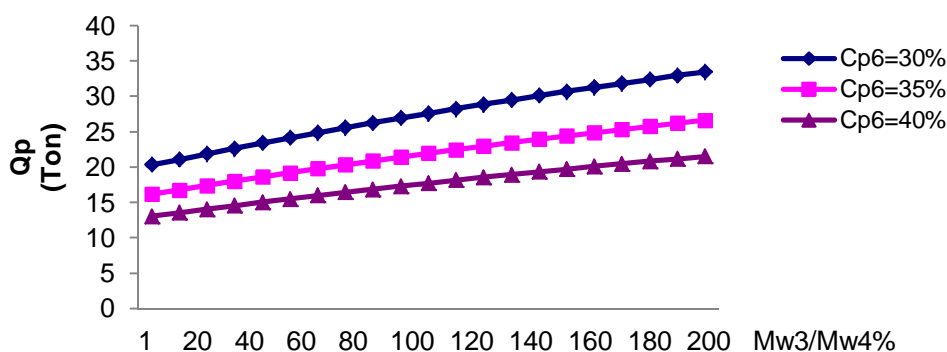


شکل ۳- تغییرات راندمان شستشو با درصد خشکی خمیر خروجی.

Figure 3. Efficiency changes of washing with the consistency of outlet pulp.

نتایج نشان می‌دهد که افزایش درصد خشکی از ۳۰ درصد به ۴۰ درصد باعث افزایش بیش از ۱۰ درصد راندمان می‌شود. علاوه بر آن با افزایش درصد خشکی خمیر خروجی مقدار بازیافت مواد نیز افزایش می‌یابد به طوری که تغییر درصد خشکی از ۳۰ درصد به ۴۰ درصد باعث افزایش ۱۱ درصد مواد بازیافتی می‌شود.

نتایج این بررسی، نشان می‌دهد که مقدار مواد بازیافت نشده با کاهش راندمان افزایش می‌یابد و این تغییرات افزایش مقدار مواد بازیافت نشده در درصد خشکی خمیر خروجی پایین‌تر (مثلاً ۳۰ درصد) بیشتر از مقدار آن در درصد خشکی خمیر خروجی بالاتر (مثلاً ۴۰ درصد) است (شکل ۴). با کاهش راندمان در اثر افزایش آب برگشتی، مقدار جریان بازیافتی و ارسال به تبخیر کننده‌ها کاهش می‌یابد. این بررسی نشان می‌دهد هرچند افزایش درصد خشکی خمیر خروجی از پرس باعث افزایش جریان بازیافتی می‌شود ولی چندان قابل ملاحظه نمی‌باشد.

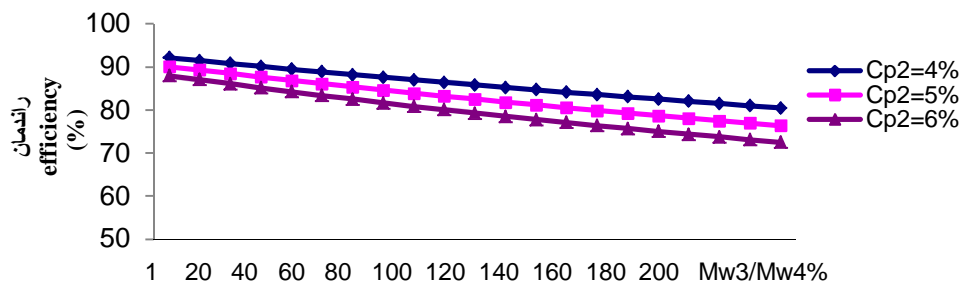


شکل ۴- تغییرات مواد بازیافت نشده با درصد خشکی خمیر خروجی.

Figure 4. Changes of amount of non-recovered materials with outlet pulp consistency.

اثر تغییر درصد خشکی خمیر رقیق شده بر پارامترهای شستشو: نتایج حاصل نشان می‌دهد (شکل ۵) که در شرایط ثابت تولید و با درصد خشکی خمیر خروجی ۳۵ درصد، کاهش مقدار آب رقیق‌سازی (افزایش نسبت Mw3/Mw4) باعث کاهش راندمان شستشو می‌شود. همچنین این نتایج نشان می‌دهد که با کاهش درصد خشکی خمیر رقیق شده، راندمان شستشو افزایش می‌یابد. به‌طور متوسط این افزایش درصد با افزایش نسبت Mw3/Mw4 بیشتر خواهد بود. به طوری که در نسبت‌های

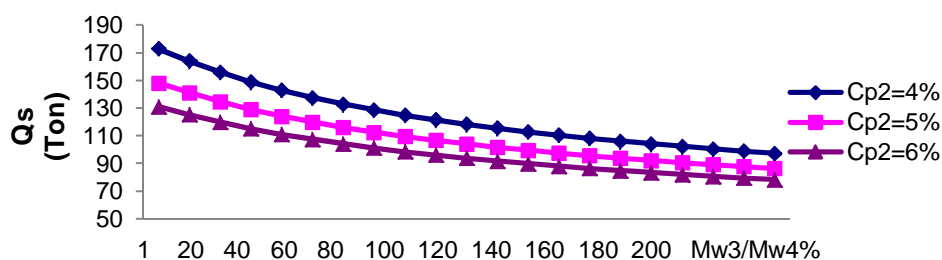
بیش از ۱۵۰ درصد، کاهش هر درصد خشکی خمیر باعث افزایش تقریباً ۴ درصد راندمان شستشو می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد که کاهش درصد خشکی از ۶ درصد به ۴ درصد باعث افزایش حدود ۸ درصد راندمان می‌شود.



شکل ۵- تغییرات راندمان شستشو با درصد خشکی خمیر رقیق شده.

Figure 5. Efficiency changes of washing with the consistency of inlet pulp.

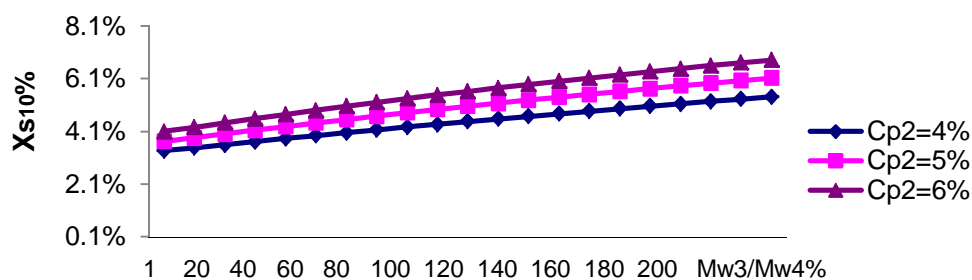
همچنین نتایج بررسی نشان می‌دهد که با افزایش نسبت  $Mw3/Mw4$  و کاهش راندمان شستشو، مقدار مواد بازیافتی نیز کاهش می‌یابد (شکل ۶). ولی در این حالت با کاهش درصد خشکی خمیر رقیق شده، مقدار بازیافت مواد، افزایش می‌یابد به طوری که تغییر درصد خشکی از ۶ درصد به ۴ درصد باعث افزایش حداقل ۱۱ درصد مقدار مواد بازیافت می‌شود (طبق شکل ۶ در یک نسبت ثابت  $Mw3/Mw4$  با کاهش درصد خشکی خمیر رقیق شده، مقدار مواد بازیافتی افزایش می‌یابد) این افزایش در نسبت‌های کمتر  $Mw3/Mw4$  (کاهش سهم آب برگشتی) بیشتر خواهد بود و حتی باعث افزایش حدود ۳۰ درصد مقدار مواد بازیافتی می‌شود.



شکل ۶- تغییرات مواد بازیافتی با درصد خشکی خمیر رقیق شده.

Figure 6. Changes of recovery materials with inlet pulp's consistency.

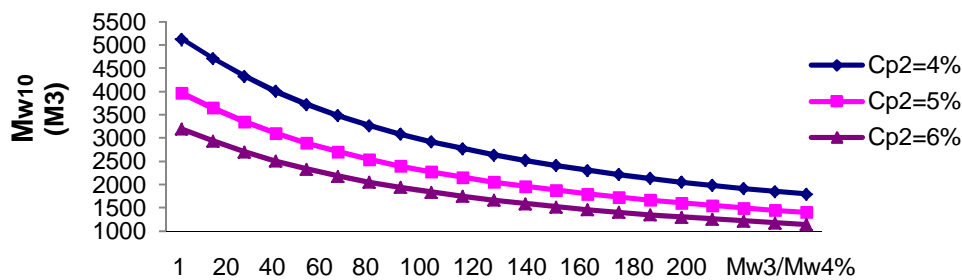
برای ثابت ماندن مواد محلول بازیافتی کافی است که درصد خشکی خمیر رقیق شده کاهش یابد (شکل ۷). ادامه این بررسی، نشان می‌دهد که مقدار مواد بازیافت نشده با کاهش راندمان افزایش می‌یابد و این تغییرات افزایش مقدار مواد بازیافت نشده در مقادیر خشکی خمیر رقیق شده پائین‌تر (مثلاً ۴ درصد) کمتر از مقدار آن در درصد خشکی خمیر رقیق شده بالاتر (مثلاً ۶ درصد) است.



شکل ۷- تغییرات مواد محلول بازیافتی با درصد خشکی خمیر رقیق شده.

Figure 7. Changes of concentration of soluble materials with inlet pulp's consistency.

این بدان معنی است که با کاهش درصد خشکی خمیر رقیق شده، مقدار مواد بازیافت نشده کاهش می‌یابد به طوری که کاهش ۲ درصد خشکی خمیر رقیق شده باعث کاهش حدود ۲۰ درصد مواد بازیافت نشده می‌شود.



شکل ۸- تغییرات مقدار جریان بازیافتی با درصد خشکی خمیر رقیق شده.

Figure 8. Changes of recovery flow with inlet pulp's consistency.

همان‌گونه که شکل ۸ نشان می‌دهد با کاهش راندمان در اثر افزایش آب برگشتی، مقدار جریان بازیافتی و ارسال به تبخیر کننده‌ها به شدت کاهش می‌یابد و این تغییرات در خشکی پائین‌تر بیشتر

است. در اثر تغییر درصد خشکی خمیر رقیق شده، تغییرات جریان بازیافتی بسیار زیاد می‌باشد به طوری که در اثر تغییر درصد خشکی از ۶ درصد به ۴ درصد، مقدار جریان بازیافتی حداقل به میزان دو برابر افزایش می‌یابد.

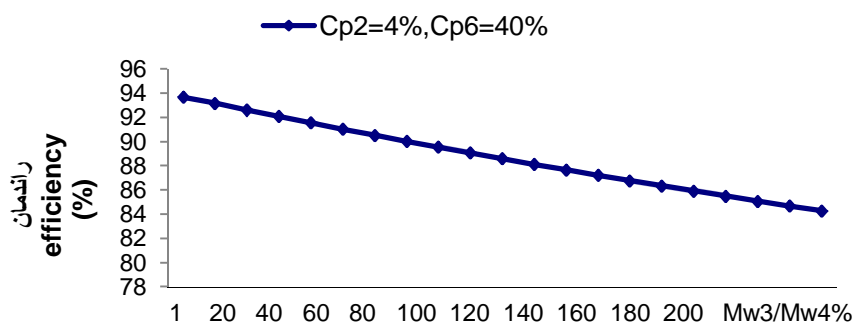
**اثر تغییر مواد محلول ورودی بر پارامترهای شستشو:** همان‌طوری که گفته شد در شرایط تولید ثابت و یکنواخت معمولاً پارامترهای ورودی، نظیر غلظت مواد محلول ورودی ثابت هستند. در بعضی از موارد به دلیل تغییرات مواد اولیه (چوب و مواد شیمیایی پخت) و دمای پخت، راندمان پخت تغییر می‌کند و در برخی از موارد به جهت تغییر پارامترهای مقاومتی خمیر، تغییر راندمان پخت انجام می‌شود (مقدار تولید ثابت است)، لذا در این صورت پارامترهای ورودی کمی دچار نوسان می‌شود که مهمترین آن‌ها تغییر مواد محلول ورودی  $X_{S1}$  است.

بررسی که بر مبنای مدل به دست آمده، انجام گردید نشان می‌دهد تغییر غلظت مواد محلول ورودی اثری بر راندمان شستشو ندارد ولی بر مقدار مواد محلول بازیافتی و بازیافت نشده مؤثر است.

**اثر محدودیت پارامترهای شستشو:** در بررسی بالا، نشان داده شد که بالاترین راندمان شستشوی در درصد خشکی کم خمیر رقیق شده و در درصد خشکی زیاد خمیر خروجی، ایجاد می‌گردد.

این بررسی نشان می‌دهد حداکثر راندمان مورد انتظار ۹۴ درصد خواهد بود و آن زمانی است که آب رقیق‌سازی حداکثر باشد. در این شرایط مواد و جریان بازیافتی حداکثر می‌باشد (شکل ۹).

با توجه به این‌که در این فرآیند محدودیت ارسال جریان بازیافتی جهت واحد بازیافت وجود دارد (جریان باید کمتر از ۲۵۰۰ مترمکعب باشد) طبق شکل ۸ حداقل نسبت رقیق‌سازی باید در حدود ۱۵۰ درصد و یا بالاتر باشد، لذا با اعمال این محدودیت در شکل ۹ مشخص می‌شود که حداکثر راندمان مورد انتظار در این فرآیند ۸۷ درصد خواهد بود و حداقل آن نیز در حدود ۸۴ درصد خواهد شد.



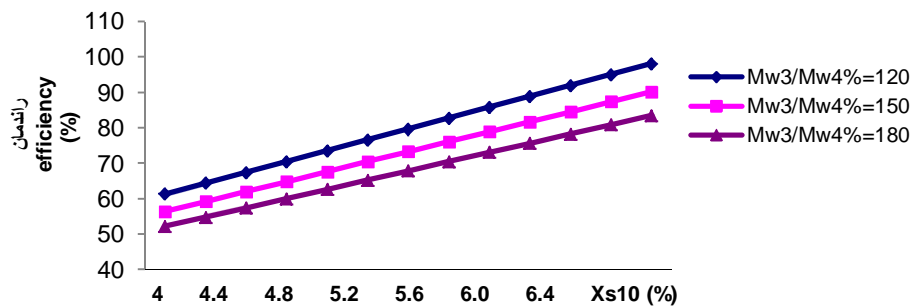
شکل ۹- تغییرات راندمان شستشو به نسبت رقیق‌سازی.

Figure 9. Efficiency changes of washing with ratio of dilution.

نتایج این بررسی نشان می‌دهد که بهترین شرایط در نسبت  $Mw3/Mw4$  بین ۱۵۰ درصد تا ۲۰۰ درصد ایجاد می‌شود و نقطه ایده‌آل آن در مقدار ۱۸۰ درصد است، که حداکثر راندمان در این وضعیت می‌تواند حدود ۸۴ درصد باشد.

اثر تغییرات غلظت مواد بازیافتی بر راندمان شستشو: با توجه به محدودیت‌های موجود برای شستشوی خمیر به جهت مقدار جریان و درصد خشکی، بیان گردید که بهترین شرایط در نسبت‌های بین ۱۵۰ درصد تا ۲۰۰ درصد است حال اگر فرآیند تولید ثابت باشد و نسبت رقیق‌سازی هم در این محدوده باشد در این صورت، همان‌طوری که شکل ۷ نشان می‌دهد، با تغییر درصد خشکی خمیر رقیق شده غلظت مواد محلول بازیافتی تغییر می‌یابد که شکل ۱۰ این تغییرات را نشان می‌دهد.

این نمودار نشان می‌دهد که در یک غلظت ثابت جهت افزایش راندمان باید نسبت  $Mw3/Mw4$  کاهش یابد و همچنین در یک راندمان ثابت با افزایش نسبت  $Mw3/Mw4$  غلظت مواد محلول بازیافتی افزایش می‌یابد.



شکل ۱۰- تغییرات مواد محلول بازیافتی با راندمان شستشو.

Figure 10. Changes of concentration of soluble materials with washing efficiency.

با تعیین این موارد می‌توان مقدار مواد بازیافتی، مقدار جریان بازیافتی و موارد دیگر را به دست آورد.

تطبيق شرایط در عمل: براساس نتایج فرآیند تولید در شرکت چوب و کاغذ مازندران اطلاعات ذیل در شرایط کنونی واحد وجود دارد:

$$Mp1=234 \text{ BDTP}, Cp1=32/3\% (Wp1=2/096 \text{ M3/BDTP}), Xs1=0/172 \text{ Kg/Kg} \quad (18)$$

$$Cp2=5/4\% (Wp2=17/519 \text{ M3/BDTP}), Xs4=0/02 \text{ Kg/Kg} \quad (19)$$

$$Cp6=35/3\% (Wp6=1/833 \text{ M3/BDTP}), Xs6=0/06 \text{ Kg/Kg} \quad (20)$$

وقتی اطلاعات فوق در مدل قرار می‌گیرد نشان می‌دهد که نسبت  $Mw3/Mw4$  برابر ۱۸۰ می‌باشد و بر این اساس نتایج جدول ۱ حاصل می‌گردد که نشان می‌دهد راندمان شستشو در حدود ۷۶ درصد می‌باشد.

اگر در شرایط فوق یعنی با ثابت بودن غلظت مواد محلول بازیافتی، راندمان شستشو بخواهد افزایش یابد، طبق شکل ۱۰ باید نسبت  $Mw3/Mw4$  از حد کنونی به مقدار پائین‌تر کاهش یابد. از طرفی با توجه به محدودیت فرآیند حداقل نسبت مناسب ۱۵۰ می‌باشد. همچنین طبق شکل ۴ و ۹ برای ثابت بودن غلظت مواد محلول بازیافتی، با کاهش نسبت، باید درصد خشکی خمیر رقیق شده افزایش یابد (یعنی  $Cp2=6\%$ ) و جهت کاهش مواد بازیافت نشده، باید درصد خشکی خمیر خروجی افزایش یابد (یعنی  $Cp6=40\%$ ) با اطلاعات جدید نتایج فرآیند در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- نتایج حاصل از اطلاعات خط تولید در وضعیت اولیه و پس از بهبود.

Table 1. The results of the production line in before and after the improvement.

Y	Qp	Qs	Mw4	Mw3	Mw10	Xs10	مقادیر Results
75.9%	30409 Kg	83700 Kg	1289 M3	2320 M3	1350 M3	0.620Kg/Kg	اولیه Before change
79.6%	22599 Kg	90770 Kg	1319 M3	1979 M3	1464 M3	0.620Kg/Kg	پس از بهبود After change

این جدول نشان می‌دهد که با این تغییر اندک پارامترهای شستشو، علاوه بر این که راندمان شستشو به میزان ۴ درصد افزایش یافت، باعث کاهش ۲۵/۷ درصد مواد محلول بازیافت نشده (Qp)، گردید که می‌تواند سهم زیادی در کاهش بار آلودگی پساب و مصرف مواد داشته باشد.

### بحث و نتیجه‌گیری

اثر مقدار آب رقیق‌سازی تازه بر راندمان شستشو: همان طوری که رابطه ۱۰ نشان می‌دهد راندمان شستشوی به میزان آب رقیق‌سازی بستگی زیادی دارد و هر چه این مقدار بیشتر باشد راندمان به ۱۰۰ درصد نزدیکتر می‌شود. از طرفی افزایش زیاد آب رقیق‌سازی باعث افزایش حجم جریان ارسالی به واحد بازیافت می‌شود؛ این افزایش باعث بالا رفتن هزینه بخار مصرفی در تبخیر کننده‌ها می‌گردد. از آنجایی که برای رقیق‌سازی از آب برگشتی هم می‌توان استفاده نمود، لذا باید بین مقدار آب رقیق‌سازی تازه و مقدار آب برگشتی تناسبی برقرار نمود تا هم راندمان بالا باشد و هم مقدار آب ارسالی کمتر باشد. کمترین راندمان وقتی است که آب رقیق‌سازی تازه صفر شود (با ثابت بودن بقیه پارامترها). بر این اساس، مقدار آب برگشتی حداکثر است و عمل رقیق‌سازی توسط آن انجام می‌شود. آب رقیق‌سازی می‌تواند راندمان شستشو را با ثابت بودن شرایط تولید، به میزان بیش از ۱۰ درصد تغییر دهد. علاوه بر این، افزایش آب تازه و نیز افزایش راندمان، باعث افزایش مقدار مواد بازیافتی می‌گردد. این موضوع می‌تواند مقدار بازیافت مواد را تا میزان ۵۰ درصد افزایش دهد ولی جریان بازیافتی به این ترتیب زیاد خواهد شد، در حالی که محدودیت موردنظر در فرآیند تولید را باید رعایت نمود. برین تسون و همکاران (۲۰۰۲) در تحقیقات خود نشان داده‌اند که با افزایش آب تازه، راندمان شستشو در پرس افزایش می‌یابد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.



اثر تغییر درصد خشکی خمیر خروجی بر راندمان شستشو: رابطه ۱۰ نشان می‌دهد که با افزایش درصد خشکی خمیر خروجی از پرس، راندمان شستشو نیز افزایش می‌یابد. شکل ۳ که این اثر را نشان می‌دهد. افزایش ۱۰ درصد خشکی خمیر خروجی از پرس، باعث افزایش بیش از ۱۰ درصد راندمان شستشو می‌گردد. همچنین افزایش درصد خشکی خمیر خروجی، باعث افزایش مواد بازیافتی و کاهش مواد بازیافت نشده می‌گردد، به طوری که افزایش ۱۰ درصد خشکی خمیر خروجی، باعث افزایش ۱۱ درصد مقدار مواد بازیافتی و باعث کاهش حدود ۵۰ درصد مواد بازیافت نشده می‌شود. این موضوع اهمیت بازیافت مواد را نشان می‌دهد (شکل ۴) که با نتیجه تحقیق مهدی‌پور (۲۰۰۳) مطابقت دارد. در این تحقیق نشان داده شد که افزایش درصد خشکی خمیر باعث افزایش راندمان شستشو و سپس باعث کاهش مواد محلول در خمیر خروجی (مواد محلول بازیافت نشده) می‌گردد و سهم مواد بازیافت شده نیز افزایش می‌یابد.

اثر تغییر درصد خشکی خمیر رقیق شده بر راندمان شستشو: طبق معادله ۱۱ افزایش یا کاهش نسبت مقدار آب رقیق‌سازی می‌تواند باعث تغییر درصد خشکی خمیر رقیق گردد. چون این تغییر بر معادله ۱۰ (راندمان شستشو) مؤثر است هرگونه تغییر در درصد خشکی خمیر رقیق شده بر پارامترهای شستشو مؤثر است. شکل ۵ نشان می‌دهد که با کاهش درصد خشکی خمیر رقیق شده، راندمان شستشو نیز افزایش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که به ازای کاهش هر درصد خشکی خمیر باعث افزایش تقریباً ۴ درصد راندمان شستشو می‌گردد. همچنین با کاهش درصد خشکی خمیر رقیق شده، مقدار بازیافت مواد افزایش می‌یابد به طوری که کاهش هر یک درصد خشکی خمیر باعث افزایش حداقل ۱۰ درصد مقدار مواد بازیافت می‌شود (با ثابت بودن نسبت آب رقیق‌سازی) در ضمن این موضوع باعث کاهش مواد محلول بازیافت نشده هم می‌گردد (شکل ۶).

همان‌طوری که شکل ۸ نشان می‌دهد کاهش درصد خشکی خمیر رقیق شده باعث افزایش جریان بازیافتی خواهد شد که باید به آن به‌عنوان یک محدودیت توجه نمود.

اثر تغییر غلظت مواد محلول ورودی بر راندمان شستشو: معادله ۱۰ و ۱۳ نشان می‌دهد که تغییر غلظت مواد محلول ورودی اثری بر راندمان شستشو ندارد. ولی این تغییر باعث کاهش یا افزایش مقدار مواد محلول بازیافتی و بازیافت نشده می‌گردد.

## منابع

1. Arora, S., Dhaliwal, S.S., and Kukreja, K. 2008. Mathematical modeling of the washing zone of an industrial rotary vacuum washer. *Indian Journal of Chemical Technology*, 15: 332-340.
2. Bahill, A.T., and Briggs, C. 2001. The systems engineering started in the middle process: a consensus of system engineers and project managers, *Systems Engineering*, 4(2): 156-167.
3. Bryntesson, J., Dahllöf, H., Pettersson, E., and Ragnar, M. 2002. New compact technology for washing of chemical pulp. Tappsa Conference "African pulp and Paper week 2002". Durban, South Africa, 8–11 October.
4. Crotogino, R.H., Poirier, N.A., and Trinh, D.T. 1987. The principles of pulp washing, *Tappi Journal*, 70(6): 95-103.
5. Kopra, R., Kari, E., Harinen, M., Tirri, T., and Dahl, O. 2011. Optimization of wash water usage in brown stock washing. *Tappi Journal*, 10(9): 27-32.
6. K.S.H. 1993. "Process Design Criteria", Sari Paper and Board Complex, MWPI-Site Technical Document Center.
7. Kukreja, V.K., and Ray, A.K. 2009. Mathematical modeling of rotary vacuum washer used for pulp washing: A case study of a lab scale washer. *Cellulose Chemistry and Technology*, 43(1-3): 25-36.
8. Mehdipour, V. 2003. Plans of Effluent optimization in M.W.P.I., Proceedings of the National Conference of processing and use of cellulose material, Tehran University, Pp: 485-493.
9. Pacheco, C., Paiva, J., and Reynol, A. 2006. Diagnostic of brown stock washing using basic filtration parameters. *Tappsa Journal*, Durban, South Africa, July, [http://tappsa.co.za/archive2/Journal\\_papers/journal\\_papers.html](http://tappsa.co.za/archive2/Journal_papers/journal_papers.html) 2006.
10. Sillanpää, M. 2005. Studies on washing in kraft pulp bleaching, Faculty of Technology, University of Oulu, Finland, <http://jultika.oulu.fi/Record/isbn951-42-7877-1>
11. Smook, G. 2002. *Handbook for Pulp and Paper Technologists*, Third Edition, 425p.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Wood & Forest Science and Technology*, Vol. 22 (3), 2015  
<http://jwfst.gau.ac.ir>

## **Investigation the efficiency of pulp washing in Twin Roll Press by System Engineering Analysis**

**\*V. Mehdipour Roshan**

Pulp Mill Manager of MWPI and Instructor of Sari Payam Noor University, Sari

Received: 05/17/2012 ; Accepted: 06/21/2015

### **Abstract**

**Background and objective:** In the paper industry, Twin roll press machines are utilized in order to recover the dissolved materials which come out from the process of transforming wood into pulp and efficiency has a considerable role in wasting resources. This study was performed for the purpose of showing the effective factors on efficiency by using a mathematical model based on the pattern of simulating the System Engineering Analysis.

**Materials and methods:** according to the pattern of simulating the System Engineering Analysis, the Press function was analyzed. The information of the equipment in MWPI's production line was used to calculate.

**Results:** The results showed that in a fixed amount of production, the efficiency of washing the twin roll press has a direct relationship with the amount of fresh water and an indirect relationship with the dry percentage of diluted pulp (pulp consistency) in the related Press.

**Conclusion:** The current research showed that the concentration of soluble materials entering into the Presses has no effect on efficiency, but it is effective in the amount of recovered solution.

**Keywords:** Twin Roll Press, Washing Efficiency, Pulp Consistency, Soluble Materials

---

\*Corresponding author: mehdipur@yahoo.com

