نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۷، شماره ۱، بهار ۱۳۹۲
ص۱۱۹-۱۳۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۳/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۳۰

بررسی اثر درصد خشکی خمیر خروجی از پرس دوقلو بر آلودگی پساب با استفاده از مدل ریاضی

❖ **ولی‌الله مهدی‌پور روشن*؛** رئیس واحد تولید خمیر شرکت چوب و کاغذ مازندران و مدرس دانشگاه پیام نور ساری، ساری، ایران.
❖ **عبدالحمید اشراق‌نیای جهرمی؛** دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.

چکیده

در صنعت کاغذسازی، برای بازیافت مواد محلول حاصل از فرایند تبدیل چوب به خمیرکاغذ، از پرس استفاده می‌شود که کارایی آن نقش بسزایی در جلوگیری از هدررفت منابع و آلودگی پساب دارد. این تحقیق برای نشان‌دادن اثر درصد خشکی خمیر خروجی از پرس دوقلو بر کارایی شست‌وشو با استفاده از مدل ریاضی و برمبنای الگوی شبیه‌سازی آنالیز مهندسی سیستم، صورت گرفته و براساس آن عملکرد پرس بررسی شده است. نتایج تحقیق نشان داد که در یک مقدار تولید ثابت برمبنای اطلاعات شرکت چوب و کاغذ مازندران، کارایی شست‌وشوی پرس دوقلو رابطهٔ مستقیم با درصد خشکی خمیر خروجی از پرس دارد؛ به‌طوری که افزایش حدود ۱۰ درصد خشکی خمیر خروجی باعث افزایش ۱۰ درصد کارایی شست‌وشو و هم‌زمان باعث کاهش حدود ۳۵ درصد مواد بازیافت‌نشده می‌شود که این موضوع نشان‌دهندهٔ کاهش بار آلودگی پساب است.

واژگان کلیدی: آلودگی پساب، پرس دوقلو، درصد خشکی خمیر، کارایی شست‌وشو، مدل ریاضی.

* نویسندهٔ مسئول تلفن: ۰۹۱۱۳۱۱۰۰۶۵
Email: mehdpur@yahoo.com

مقدمه

در صنعت کاغذ و در فرایند تولید خمیرکاغذ از روش‌های شیمیایی، مکانیکی، و نیمه‌شیمیایی استفاده می‌شود [۱]. در تمامی این فرایندهای تولیدی، برای جداسازی مواد استخراجی، لیگنین، و مواد شیمیایی حاصل از فرایند تولید خمیر (تمامی مواد آلی و غیرآلی موجود در خمیر)، آن را با هدف ارسال آن به واحد بازیافت و تولید مجدد مادهٔ پخت، شست‌وشو می‌دهند. هرچه میزان کارایی شست‌وشو بیشتر باشد، میزان بازیابی مواد بیشتر و آلودگی پساب تولیدی کمتر می‌شود و علاوه بر آن، مصرف مواد در مراحل بعد برای رنگ‌بری[1] کمتر خواهد بود [۲] (شکل ۱).

برای این کار استفاده از دستگاه شست‌وشو، نظیر پرس، متداول است. از دستگاه‌های مورد استفاده در این فرایند، دستگاه پرس دوقلو[2] است. عملکرد این دستگاه در بازیابی بیشتر مواد مصرفی و کاهش آلودگی نقش مهمی دارد [۱]. در فرایند شست‌وشوی خمیر، عدم بازیافت مواد در خمیر باعث هدررفت آن‌ها و ایجاد بار آلودگی از نظر میزان مواد آلی و غیرآلی در خمیر می‌شود و در نهایت مقدار بار آلودگی پساب (COD)[3] افزایش می‌یابد [۳، ۴].

هدف از این تحقیق تعیین پارامترهای مؤثر بر این عملیات با استفاده از مدل ریاضی و پاسخ به سؤالات زیر است:

ـ درصد خشکی خمیر خروجی پرس چه اثری بر کارایی شست‌وشو دارد؟

ـ چه رابطه‌ای بین کارایی شست‌وشوی پرس با مقدار مواد بازیافتی وجود دارد؟

ـ کارایی شست‌وشو چه اثری بر میزان آلودگی پساب دارد؟

برای رسیدن به این اهداف، از مدل ریاضی و با استفاده از «آنالیز مهندسی سیستم»[4] دستگاه پرس دوقلو شبیه‌سازی می‌شود و تمامی پارامترهای مؤثر بر عملکرد این دستگاه در مسیر ورودی و خروجی آن شناسایی می‌شود و در نهایت، یک فرمول کلی برای کارایی این تجهیز محاسبه خواهد شد و با استفاده از آن عوامل تأثیرگذار بر آن مشخص و نمودارهای آن‌ها با استفاده از اطلاعات موجود ترسیم می‌شود [۵].

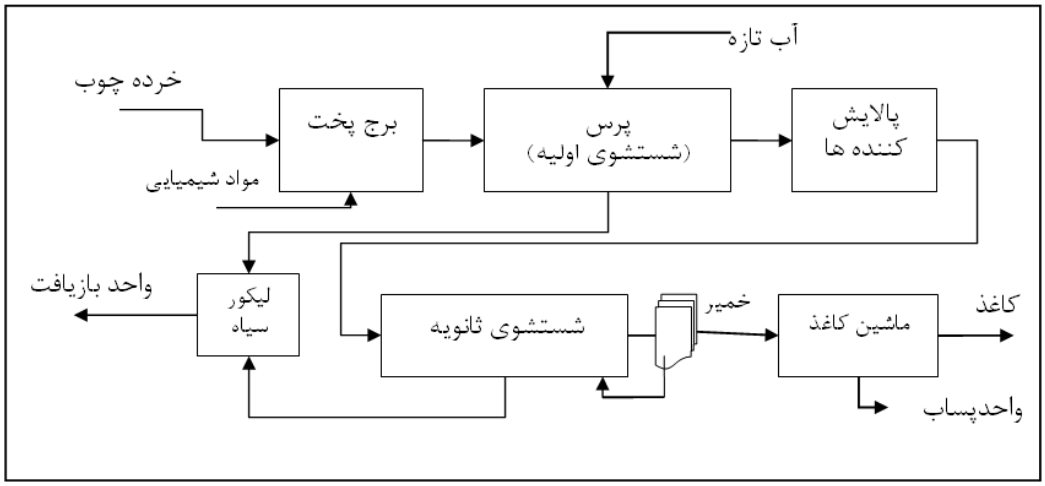
در رابطه با این موضوع، تحقیق و مطالعاتی انجام شده است که هرکدام به مسائلی در این زمینه پرداخته‌اند و تقریباً در رابطه با کارایی شست‌وشوی خمیر هستند.

در تحقیقی با عنوان «طرح‌های بهینه‌سازی فاضلاب در شرکت چوب و کاغذ مازندران» به اثرهای پرس دوقلو در کاهش بار آلودگی پساب پرداخته شد و نشان داده شد که با افزایش ۱۰ درصد خشکی خمیر در خروجی پرس دوقلوی خمیر قهوه‌ای (NSSC)، مقدار COD در پساب خروجی شرکت به میزان بیش از ۲۰ درصد کاهش می‌یابد [۶].

سیلان‌پا در مطالعهٔ خود با عنوان «بررسی اثر شست‌وشوی در رنگبری خمیر کرافت»، به این نتیجه رسیده است که مقدار COD (کم یا زیادبودن) پارامتر خوبی برای اندازه‌گیری کارایی شست‌وشوی خمیر برای عملیات رنگ‌بری است [۲].

در مطالعهٔ دیگر با عنوان «فناوری جدید برای شست‌وشوی خمیرهای شیمیایی»، با بررسی اثر پرس در شست‌وشوی خمیر و جداسازی مواد آلی و غیرآلی محلول در خمیر با استفاده از آب تازه این نتیجه حاصل شده است که با فناوری پرس جدید کارایی شست‌وشو به ۹۵ درصد خواهد رسید [۷].

1. Bleaching
2. Twin Roll press
3.Chemical Oxygen Demand (COD)
4. System Engineering Analysis



شکل ۱. شمای دورهٔ تولید و شست‌وشوی خمیر و کاغذ

پاچکو و همکاران در بررسی خود در مقاله‌ای با عنوان «تعیین پارامترهای اساسی مؤثر فیلترنمودن در شست‌وشوی خمیر» با استفاده از مدل ریاضی آثار تمامی پارامترهای متغیر ورودی و خروجی به دستگاه فیلتر دوار[1] را تعیین و در نهایت رابطهٔ کارایی شست‌وشوی فیلتر دوار را مشخص کردند [۸].

محققان دیگری در مقیاس آزمایشگاهی با استفاده از مدل ریاضی عملکرد شست‌وشوی خمیر در فیلتر دوار را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که کارایی شست‌وشو، به میزان آب، نسبت جابه‌جایی،[2] و موارد دیگر بستگی دارد [۹].

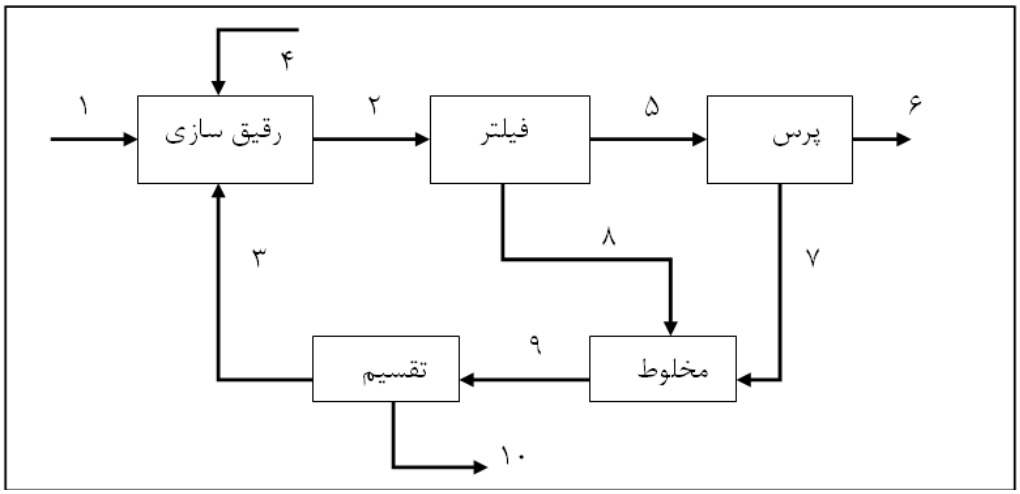
با توجه به اینکه تا کنون تحقیقی مطابق با این مطالعه انجام نگرفته است، این تحقیق می‌تواند کمک زیادی به شناسایی پارامترهای مؤثر بر کارایی شست‌وشوی پرس دوقلو و کنترل آلودگی پساب در صنایع چوب و کاغذ مازندران کند.

مواد و روش‌ها

برای تهیهٔ مدل ریاضی لازم است ابتدا مدل پرس دوقلو شبیه‌سازی شود و اتفاقات انجام‌شده در این دستگاه در مدل نشان داده شود. به‌طور کلی، همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده شده، خمیر قبل از ورود به پرس دوقلو ابتدا با آب رقیق می‌شود و سپس به داخل پرس هدایت می‌گردد و عملیات جداسازی آب و خمیر در آن اتفاق می‌افتد و هرکدام از خروجی خود خارج می‌شوند [۸]. شبیه‌سازی این عملیات در شکل ۲ نشان داده شده است.

براساس شکل شبیه‌سازی‌شده محلول خمیر از خط ۱ وارد منطقهٔ رقیق‌سازی می‌شود و پس از تنظیم درصد خشکی آن به مقدار تعیین‌شده و با استفاده از آب‌های رقیق‌سازی (خط ۴ و ۳) از خط ۲ به قسمت فیلتر پرس وارد می‌شود که بخشی از آب از روزنه‌های سطح رول پرس عبور می‌کند و سپس محلول باقی‌مانده از خط ۵ وارد منطقهٔ پرس و آبگیری می‌شود. در این منطقه، با توجه به فاصلهٔ تنظیمی بین دو رول، حداکثر فشار به محلول خمیر وارد می‌شود و خمیر شسته‌شده از خط ۶ برای انجام مراحل بعدی خارج می‌گردد و آب از خط ۷ خارج می‌شود. آب‌های خارج‌شده از خطوط ۸ و ۷ که حاوی مواد آلی و غیرآلی‌اند پس از ترکیب در منطقهٔ مخلوط، از خط ۹ خارج و وارد منطقهٔ تقسیم می‌شوند. در این منطقه، بخشی از آب جدا می‌شود و مجدداً برای رقیق‌سازی از طریق خط ۳ وارد قسمت رقیق‌سازی می‌شود و باقی‌ماندهٔ آب برای بازیابی مواد موجود در آن به واحد بازیافت ارسال می‌گردد.

1. Rotary drum vacuum filter
2. Displacement ratio



شکل ۲. مدل شبیه‌سازی دورهٔ شست‌وشوی خمیر در پرس دوقلو

پارامترهای لازم برای ایجاد مدل ریاضی برای هریک از خطوط جریان شکل ۲ به‌صورت ذیل تعریف می‌شود:

Mpi: مقدار تن الیاف (خمیر خشک) در خط i (BDTP)،[1] Mwi: مقدار متر مکعب آب در خط i (M³)، Cpi: غلظت خمیر (درصد خشکی) در خط i (٪)، Wpi: مقدار آب به تن خمیر در خط i (M³/BDTP)، و Xsi: مقدار مواد محلول به مقدار آب محلول در خط i (Kg/Kg) است.

در تمامی خطوط مقدار آب به‌ازای تن خمیر (Wpi) از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$Wpi = (1 - Cpi)/Cpi \quad (۱)$$

حال با توجه به تعریف، پارامترهای لازم موازنهٔ جرم را برای هریک از مناطق شکل ۳ می‌نویسیم:

ـ برای منطقهٔ رقیق‌سازی:

(۲) موازنهٔ الیاف (خمیر): $Mp2 = Mp1 + Mp$

Mp مقدار خمیری است که همراه خطوط ۳ و ۴ وارد منطقهٔ رقیق‌سازی می‌شود.

(۳) موازنه آب:

$$Mp2 .Wp2 = (Mp1.Wp1) + Mw3 + Mw4$$

(۴) موازنهٔ مواد محلول

$$Mp2.Wp2.Xs2 = (Mp1.Wp1.Xs1) + (Mw3.Xs3 + Mw4.Xs4)$$

ـ برای منطقهٔ فیلتر:

(۵) موازنهٔ الیاف (خمیر): $Mp5 = (Mp2 - Mp)$

Mp مقدار خمیری است که همراه خط ۸ از منطقهٔ فیلتر خارج می‌شود.

(۶) موازنهٔ آب:

$$(Mp5.Wp5) = (Mp2.Wp2) - Mw8$$

(۷) موازنهٔ مواد محلول:

$$(Mp5.Wp5.Xs5) = (Mp2.Wp2.Xs2) - (Mw8.Xs8)$$

ـ برای منطقهٔ پرس:

(۸) موازنهٔ الیاف (خمیر): $Mp6 = (Mp5 - Mp)$

Mp مقدار خمیری است که همراه خط ۷ از منطقهٔ پرس خارج می‌شود.

(۹) موازنهٔ آب:

$$(Mp6.Wp6) = (Mp5.Wp5) - Mw7$$

(۱۰) موازنهٔ مواد محلول:

$$(Mp6.Wp6.Xs6) = (Mp5.Wp2.Xs5) - (Mw7.Xs7)$$

ـ برای منطقهٔ مخلوط:

(۱۱) موازنهٔ الیاف (خمیر): $Mp9 = Mp8 + Mp7$

Mpi مقدار خمیری است که همراه خطوط در منطقهٔ مخلوط وجود دارد.

(۱۲) موازنهٔ آب: $Mw9 = Mw7 + Mw8$

(۱۳) موازنهٔ مواد محلول:

$$(Mw9.Xs9) = (Mw7.Xs7) + (Mw8.Xs8)$$

1. Bond Dry Ton Pulp

ـ برای منطقهٔ تقسیم:

(۱۴) موازنهٔ الیاف (خمیر)

$$Mp10= (Mp9 – Mp3) :$$

Mpi مقدار خمیری است که همراه خطوط در منطقهٔ تقسیم وجود دارد.

(۱۵) موازنهٔ آب: $Mw10= (Mw9 – Mw3)$

(۱۶) موازنهٔ مواد محلول:

$$(Mw10.Xs10)= (Mw9. Xs9) – (Mw3.Xs3)$$

در عمل، مقدار خمیر (الیاف) در خطوط آب ۳، ۴، ۷، ۸، و ۹ بسیار ناچیز بود و در نتیجه، Mp در این خطوط عملاً صفر خواهد بود. بنابراین، با لحاظ این موضوع، از معادله‌های ۲، ۵، ۸، ۱۱، و ۱۴ خواهیم داشت:

$$Mp1= Mp2= Mp5= Mp6 \qquad (۱۷)$$

از طرف دیگر، مقدار Xs2 به‌دلیل اینکه در قسمت فیلتر، ورودی جدیدی نداریم بدون تغییر می‌ماند و از خط ۵ و ۸ خارج می‌شود، یعنی:

$$Xs2 = Xs5 = Xs8 \qquad (۱۸)$$

و همین موضوع را برای مناطق دیگر داریم، یعنی:

$$Xs5 = Xs6 = Xs7 \qquad (۱۹)$$

$$Xs7 = Xs9 = Xs8 \qquad (۲۰)$$

$$Xs9 = Xs10 = Xs3 \qquad (۲۱)$$

برای کارایی شست‌وشوی پرس با هدف بازیابی مواد محلول خواهیم داشت:

(۲۲)

$$Y = \frac{(Mw_{10} \times Xs_{10})}{(Mp_1 \times Wp_1 \times Xs_1) + (Mw_4 \times Xs_4)}$$

حال با درنظرگرفتن معادلات ۱۷ تا ۲۱ و معادلات قبلی، معادلهٔ کارایی به‌صورت ذیل خلاصه می‌شود:

(۲۳)

$$Y = \frac{\{[Mp_1(Wp_1 - Wp_6)] + Mw_4\} \times Xs_{10}}{(Mp_1 \times Wp_1 \times Xs_1) + (Mw_4 \times Xs_4)}$$

رابطهٔ ۲۳ نشان می‌دهد که کارایی شست‌وشو به میزان آب رقیق‌سازی Mw4 بستگی زیادی دارد و هرچه این مقدار بیشتر باشد کارایی به ۱۰۰ درصد نزدیک‌تر می‌شود. علاوه بر این، این رابطه نشان می‌دهد که با افزایش درصد خشکی خمیر خروجی از پرس (کاهش Wp6) کارایی شست‌وشو افزایش می‌یابد. همچنین، این رابطه نشان می‌دهد تغییر حجم تولید (Mp1.Wp1) و تغییر مقدار مواد محلول تولیدی (Xs1) (که به مقدار تولید، کارایی پخت، و نسبت لیکور پخت مصرفی به خرده‌چوب بستگی دارد) به‌دلیل اثر متقابل بر صورت و مخرج کسر تأثیر چشمگیری بر کارایی ندارند (رابطهٔ ۲۶). این موضوع را می‌توان با اعداد فرضی بررسی کرد.

از طرفی، باید توجه کرد که افزایش زیاد آب رقیق‌سازی هرچند باعث افزایش کارایی شست‌وشو می‌شود، به‌دلیل افزایش حجم جریان مواد ارسالی به واحد بازیافت، باعث افزایش هزینهٔ بخار مصرفی در تبخیرکننده‌ها می‌شود. از آنجا که برای رقیق‌سازی می‌توان از آب برگشتی هم استفاده کرد، بنابراین، باید بین مقدار آب رقیق‌سازی (Mw4) و مقدار آب برگشتی Mw3 تناسب برقرار کرد تا هم کارایی زیاد باشد و هم مقدار آب ارسالی کمتر شود. کمترین کارایی وقتی است که آب رقیق‌سازی صفر باشد (با ثابت‌بودن بقیهٔ پارامترها)، یعنی مقدار آب برگشتی حداکثر باشد و عمل رقیق‌سازی با آن انجام شود. برای نوشتن رابطهٔ بین این دو آب طبق معادلهٔ ۳ و با درنظرگرفتن معادلهٔ ۱۷ داریم:

$$Mp1.(Wp2 - Wp1)= (Mw3+ Mw4) \qquad (۲۴)$$

از طرفی برای مقدار آب ارسالی به واحد بازیافت رابطهٔ زیر را داریم:

$$Mw10= [Mp1(Wp1-Wp6)]+Mw4 \qquad (۲۵)$$

برای مواد محلول در خط بازیافت طبق معادلهٔ ۱۶و با لحاظ معادلات دیگر خواهیم داشت:

(۲۶)

$$Xs10 = \frac{(Mp1 \times Wp1 \times Xs1) + (Mw4 \times Xs4)}{[(Mp1 \times Wp1) + Mw4]}$$

رابطهٔ ۲۶ نشان می‌دهد مقدار مواد محلول در خط بازیافت فقط به مقدار مواد محلول ورودی و آب رقیق‌سازی بستگی دارد؛ یعنی برای افزایش آن نباید از آب تازه استفاده کرد، بلکه باید از آب‌های بازیافتی از مراحل جلوتر استفاده کرد. همچنین، این رابطه نشان می‌دهد که غلظت مواد محلول بازیافتی به مقدار تولید خمیر و درصد خشکی و مواد محلول تولیدی (ورودی) بستگی دارد. به همین سبب، تغییر مقادیر مذکور تأثیری بر کارایی شست‌وشو ندارد. از طرفی، می‌دانیم که مواد محلول همان مواد استخراجی، لیگنین، و مواد شیمیایی حاصل از پخت چوب است (عناصر تشکیل‌دهندهٔ COD) که مقدار آن به کارایی پخت خمیر، نوع گونهٔ چوب، و مقدار مواد شیمیایی پخت (لیکور پخت) به‌ازای خرده‌چوب مصرفی بستگی دارد. با استفاده از رابطهٔ ۲۵ و ۲۶ می‌توان مقدار مواد محلول بازیافتی (Qs) را محاسبه کرد؛ یعنی:

$$Qs = (Mw10.Xs10) \qquad (۲۷)$$

از طرف دیگر، مقدار موادی که بازیافت نمی‌شود (Qp مقدار مواد محلول بازیافت‌نشده) و همراه خمیر به مراحل بعد هدایت می‌شود و باعث افزایش آلودگی پساب می‌شود، از رابطهٔ زیر محاسبه می‌گردد:

$$Qp = (Mp6 .Wp6.Xs6) \qquad (۲۸)$$

که در آن Xs10= Xs6 و Mp1 =Mp6 است.

البته شایان ذکر است که تمامی این مواد به پساب هدایت نمی‌شود، زیرا بخشی از آن‌ها در مراحل بعدی در تجهیزاتی نظیر فیلتر دوار[1] بازیافت می‌شود و به‌عنوان آب رقیق‌کننده در این مرحله استفاده می‌شود.

همان‌طور که معادلهٔ ۲۳ نشان می‌دهد، کارایی شست‌وشو به مقدار تولید، درصد خشکی وارد به مرحلهٔ شست‌وشو، درصد خشکی خمیر خروجی از پرس، مقدار آب رقیق‌سازی، مقدار مواد محلول در خمیر تولیدی، مقدار مواد محلول در آب بازیافتی، و مقدار مواد محلول در آب رقیق‌سازی بستگی دارد. و چون مقدار آب رقیق‌سازی نقش مهمی در این فرایند دارد، بنابراین، تعیین مقدار آن مهم است، زیرا مقدار رقیق‌سازی دو محدویت دارد که یکی از آن‌ها به‌سبب ظرفیت تبخیرکننده‌های واحد بازیافت است (محدودیت Mw10) و دیگری محدودیتی که سازندهٔ تجهیز برای درصد خشکی خمیر ورودی به پرس دوقلو در نظر گرفته است (محدویت Cp2). درصد خشکی خمیر پس از رقیق‌سازی براساس کارخانهٔ تولیدکنندهٔ دستگاه پرس دوقلو کمی متفاوت است و معمولاً بین ۴ـ۶ درصد است (در بعضی مدارک ۳ـ۱۰ درصد). به همین دلیل، نسبت Mw3/Mw4 مقدار ثابتی است 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 (محدویت Cp6). این محدودیت معمولاً بین ۲۸ـ۳۵ درصد است. (با تغییرات در تجهیز تا درصد خشکی ۴۰ درصد قابل افزایش است.)

در شرایط ثابت تولیدی، به‌دلیل ثابت‌بودن سرعت تولید و کارایی پخت (درصد خروج لیگنین)، معمولاً مقدار تولید (Mp1)، درصد خشکی خمیر (یا Wp1)، مقدار مواد محلول ورودی (Xs1)، و مقدار مواد محلول در آب رقیق‌کننده (Xs4) ثابت‌اند و فقط درصد خشکی خمیر پس از رقیق‌سازی (یاWp2) و درصد خشکی خمیر خروجی از پرس (یاWp6) تغییر می‌کنند.

با استفاده از معادلات ۲۳ تا ۲۸ تغییرات کارایی شست‌وشوی خمیر در پرس دوقلو، مقدار جریان بازیافتی، و موارد دیگر برحسب نسبت ثابت Mw3/Mw4بر اثر تغییر درصد خشکی خمیر در خروجی پرس به‌دست می‌آید.

1. Rotary drum vacuum filter

برای محاسبه و تعیین روابط بین متغیرها لازم است مقدار تولید خمیر (Mp1)، درصد خشکی خمیر (یا Wp1)، مقدار مواد محلول ورودی (Xs1)، درصد خشکی خمیر پس از رقیق‌سازی (یا Wp2)، درصد خشکی خمیر خروجی از پرس (یا Wp6)، و مقدار مواد محلول در آب رقیق‌کننده (Xs4) را داشته باشیم. بر این اساس، از اطلاعات تجهیز فوق در خط تولید شرکت چوب و کاغذ مازندران برای محاسبهٔ این روابط استفاده شده است. اطلاعات جمع‌آوری‌شده براساس نتایج آزمایشگاهی و فرایند تولید به شرح ذیل است:

Mp1= 234 BDTP (NSSC process pulp from Mixing hard wood),

Cp1= 32.3% (Wp1=2.096 M3/BDTP), Xs1=0.172 Kg/Kg

Cp2= 5.4% (Wp2= 17.519 M3/BDTP), Xs4=0.02 Kg/Kg, Xs6=0.062 Kg/Kg

Cp6= 28-40% (Wp6=2.571 -1.5 M^3/BDTP), Mw4= 1289 M^3, Mw3=2320 M^3

برای تبدیل درصد خشکی خمیر (Cpi) به مقدار آب موجود در خمیر (Wpi) از رابطهٔ ۱ استفاده می‌شود.

برای بررسی اثر این تغییر درصد خشکی بر بار آلودگی مقدار COD و رنگ خمیر خروجی اندازه‌گیری و ثبت شد.

نتایج

با استفاده از معادلات ۲۳ تا ۲۸ محاسبات لازم انجام شد و نتایج حاصل از اطلاعات به‌دست‌آمده با نسبت متفاوت درصد خشکی خمیر خروجی از پرس برای پارامتر مؤثر بر کارایی شست‌وشوی پرس در نمودارهای ۳ تا ۶ نشان داده شده‌اند.

اثر تغییر درصد خشکی خمیر بر کارایی شست‌وشو

نتایج حاصل نشان می‌دهد (شکل ۳) در شرایطی که مقدار تولید و درصد خشکی خمیر رقیق‌شده ثابت باشند، افزایش درصد خشکی خمیر خروجی از پرس باعث افزایش کارایی شست‌وشو می‌شود.

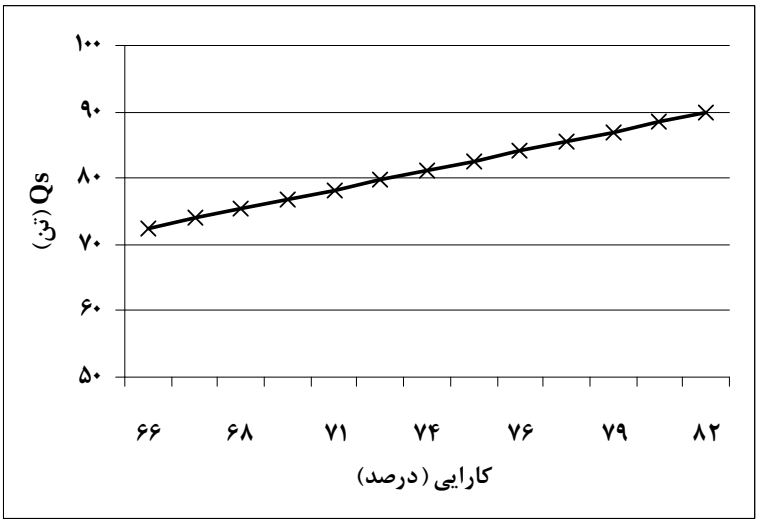
نتایج نشان می‌دهد با افزایش درصد خشکی از ۳۰ درصد به ۴۰ درصد کارایی شست‌وشو کمی بیش از ۱۰ درصد افزایش می‌یابد. بنابراین، می‌توان گفت که افزایش درصد خشکی خمیر خروجی از پرس معادل افزایش کارایی شست‌وشو است.

شکل ۳. نمودار تغییرات کارایی شست‌وشو با درصد خشکی خمیر خروجی

اثر تغییر درصد خشکی خمیر بر مقدار مواد بازیافتی

همچنین، نتایج بررسی نشان می‌دهد (شکل ۴) با افزایش درصد خشکی خمیر خروجی، یعنی همان افزایش کارایی شست‌وشو (شکل ۵) مقدار بازیافت مواد نیز افزایش می‌یابد؛ به‌طوری که با تغییر درصد خشکی از ۳۰ درصد به ۴۰ درصد مقدار مواد بازیافتی ۱۵ درصد افزایش می‌یابد.

شکل ٤. نمودار تغییرات مواد بازیافتی با درصد خشکی خمیر خروجی



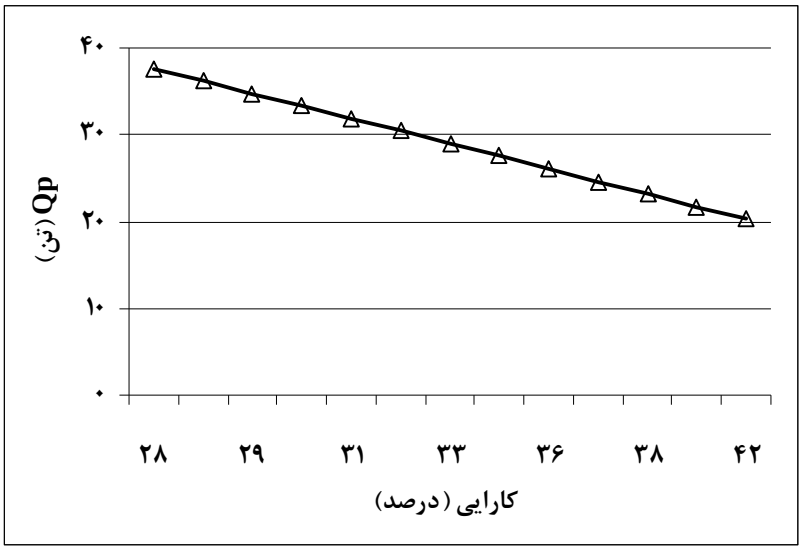
شکل ۵. نمودار تغییرات مواد بازیافتی با درصد کارایی شست‌وشو

اثر تغییر درصد خشکی خمیر بر مقدار مواد بازیافت‌نشده

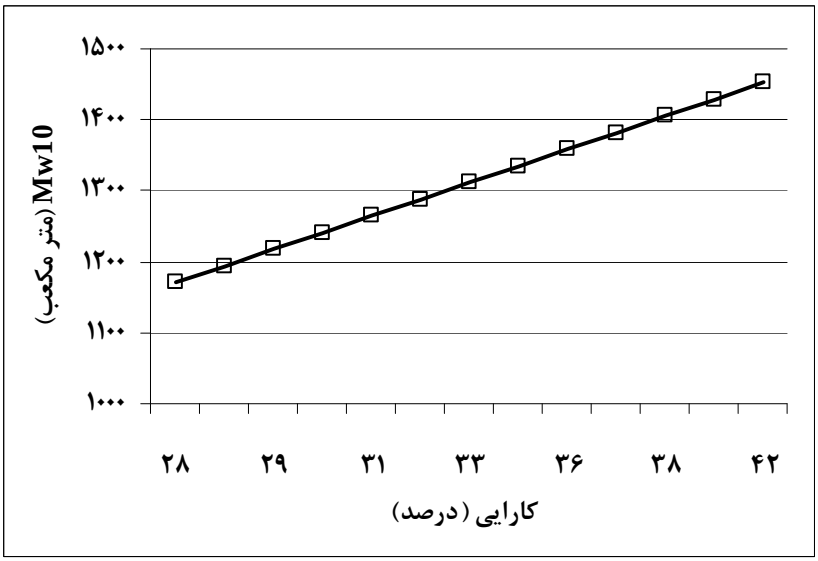
مقدار مواد بازیافت‌نشده با کاهش کارایی (کاهش درصد خشکی خمیر خروجی) افزایش می‌یابد. همچنین، تغییرات مقدار مواد بازیافت‌نشده در درصد خشکی خمیر خروجیِ کمتر (مثلاً ۳۰ درصد) بیشتر از هنگامی است که درصد خشکی خمیر خروجی زیادتر (مثلاً۴۰ درصد) است (شکل ۶). این بدان معنی است که اثر افزایش درصد خشکی خمیر

خروجی از پرس بر مقدار مواد بازیافت‌نشده نسبت به مقدار بازیافت مواد بیشتر است؛ به‌طوری که افزایش ۱۰ درصد خشکی خمیر (از ۳۰ درصد به ۴۰ درصد) باعث کاهش حدود ۳۵ درصد مواد بازیافت‌نشده می‌شود که این موضوع اهمیت اثر افزایش درصد خشکی خمیر خروجی در کاهش آلودگی پساب را نشان می‌دهد.

به‌عبارت دیگر، افزایش کارایی شست‌وشوی ناشی از افزایش درصد خشکی خمیر خروجی پرس باعث می‌شود از حجم مواد بازیافت‌نشده در خمیر و ارسال به مراحل بعد جلوگیری شود و متعاقب آن از بار آلودگی ناشی از این مواد کاسته شود. این آلودگی‌ها همراه جریان مواد بازیافتی به واحد بازیافت ارسال می‌شوند. شکل ۷ تغییرات مقدار جریان بازیافتی بر اثر افزایش درصد خشکی خروجی پرس را نشان می‌دهد که درصد تغییرات آن مانند درصد مواد بازیافتی است.



شکل ٦. نمودار تغییرات مواد بازیافت‌نشده با درصد خشکی خمیر خروجی



شکل ۷. نمودار تغییرات جریان مواد بازیافتی با درصد خشکی خمیر خروجی

اثر تغییر درصد خشکی خمیر بر بار آلودگی

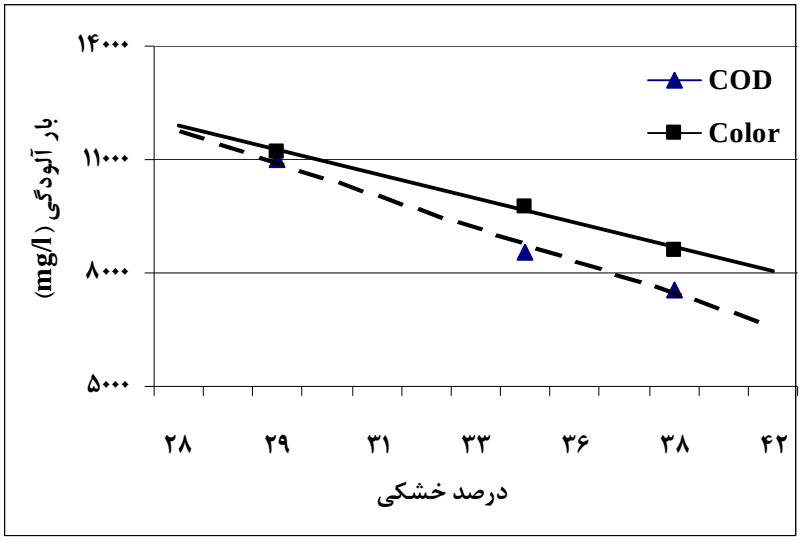
نتایج شکل ۵ نشان می‌دهد مقدار مواد بازیافت‌نشده با کاهش کارایی افزایش می‌یابد (در شرایط ثابت تولید) و چون مواد بازیافت‌نشده منابع آلودگی، یعنی CODو رنگ پساب‌اند، انتظار می‌رود بر اثر این تغییر، مقدار بار آلودگی نیز کاهش یابد.

برای تعیین اثر درصد خشکی خمیر خروجی بر آن (یا به عبارت دیگر اثر کارایی شست‌وشوی پرس بر بار آلودگی) با انجام تست عملی و ثبت نتایج حاصل به بررسی موضوع پرداخته شد. بدین‌ترتیب، نتایج حاصل از تغییرات COD و رنگ بر اثر تغییر درصد خشکی خمیر خروجی پرس در سه حالت ۳۰ درصد، ۳۵ درصد، و ۴۰ درصد اندازه‌گیری شد (در یک شرایط ثابت تولیدی) و با روش درون‌یابی نمودار تغییرات آن مشخص شد. شکل ۸ نتایج حاصل را نشان می‌دهد. همان‌طور که انتظار می‌رفت با افزایش کارایی (معادل افزایش درصد خشکی خمیر خروجی) مقدار COD و رنگ خمیر کاهش یافت؛ به‌طوری که با افزایش درصد خشکی از ۳۰ درصد به ۴۰ درصد در حدود ۳۰ درصد مقدار COD و حدود ۲۰ درصد مقدار رنگ کاهش یافته است.

برای مشخص‌کردن اثر آن بر پساب با هماهنگی واحدهای تولیدی شرایط تولید خمیر برای یک هفته یکنواخت نگه داشته شد و پارامترهای مؤثر بر بار آلودگی، شامل COD و رنگ و سدیم کل در واحدهای خمیرسازی (معروف به ۴۰۰) و کاغذسازی (معروف به ۶۰۰) و واحد تصفیهٔ پساب (معروف به ۲۱۵) اندازه‌گیری شد و نتایج قبل (جدول ۱) و بعد از تغییرات ثبت گردید (جدول ۲). پس از اندازه‌گیری نتایج در مدت یک هفته با میانگین‌گیری از نتایج حاصل متوسط مقادیر میزان آلودگی مشخص شد و در نمودار نشان داده شده است.

نتایج نشان می‌دهد به‌طور کلی، با افزایش درصد خشکی خمیر از ۳۰ درصد به ۴۰ درصد در پرس دوقلو میزان بار آلودگی در واحد ۶۰۰ (ماشین کاغذ) حدود ۴۰ درصد کاهش یافته است. این بهبودی در واحد تصفیهٔ پساب در حدود ۲۰ درصد بوده است و چون انباشت بار آلودگی در واحد ۶۰۰ از قبل وجود داشته و در طول یک هفته از حجم آن کاسته نمی‌شود، بنابراین، در نهایت می‌توان انتظار داشت این میزان آلودگی در واحد تصفیهٔ فاضلاب به میزان بیش از ۳۰ درصد کاهش یابد.

نمودار مقایسه‌ای و میزان بهبود آن‌ها براساس نتایج حاصل، در شکل ۹ ارائه شده است.



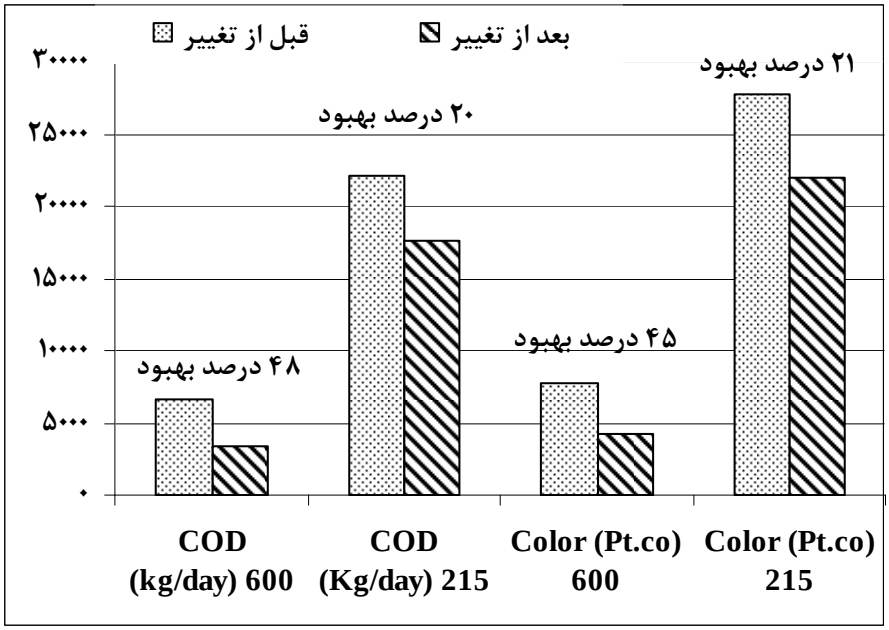
شکل ۸. نمودار تغییرات بار آلودگی با درصد خشکی خمیر خروجی

جدول ۱. نتایج شاهد قبل از تغییر درصد خشکی خمیر

روز	Na+ (Mg/l) واحد خمیرسازی	COD (Kg/d) واحد کاغذسازی	COD (Kg/d) واحد تصفیهٔ پساب	Color (Pt.co) واحد کاغذسازی	Color (Pt.co) واحد تصفیهٔ پساب
۱	۱/۳	۶۱۵۵	۱۹۶۱۷	۶۰۱۶	۲۲۶۸۶
۲	۱/۳	۶۸۱۹	۲۵۷۳۴	۶۵۶۱	۲۲۵۴۸
۳	۱/۶	۷۷۱۱	۲۲۴۵۰	۱۳۰۸۹	۲۳۰۲۶
۴	۱/۴	۵۵۵۵	۱۹۶۵۲	۴۵۹۷	۲۷۷۰۱
۵	۱/۵	۶۴۷۴	۱۹۲۹۵	۸۹۹۷	۳۰۱۱۷
۶	۱/۵	۷۵۸۹	۲۲۷۶۵	۷۸۳۶	۳۲۱۸۳
۷	۱/۶	۶۳۳۴	۲۵۳۶۷	۶۷۲۸	۳۲۷۸۶
میانگین	۱/۴۶	۶۶۶۲	۲۲۱۲۶	۷۶۸۹	۲۷۷۰۸

جدول ۲. نتایج حاصل بعد از تغییر درصد خشکی خمیر

روز	Na+ (Mg/l) واحد خمیرسازی	COD (Kg/d) واحد کاغذسازی	COD (Kg/d) واحد تصفیهٔ پساب	Color (Pt.co) واحد کاغذسازی	Color (Pt.co) واحد تصفیهٔ پساب
۱	۱/۲	۲۸۷۰	۱۸۲۸۶	۳۳۳۷	۲۵۳۱۱
۲	۰/۹۵	۲۸۳۸	۱۷۷۶۸	۳۸۳۶	۱۹۶۸۶
۳	۱	۵۵۷۹	۲۳۷۵۲	۶۳۶۲	۲۴۳۸۳
۴	۱/۰۵	۲۵۶۰	۱۹۵۶۵	۳۳۱۶	۲۳۲۶۱
۵	۰/۹۵	۲۹۵۰	۱۴۷۹۰	۴۲۷۸	۲۲۲۶۸
۶	۰/۹۳	۳۹۸۰	۱۵۰۸۹	۴۲۳۵	۱۹۲۵۹
۷	۰/۹۵	۳۳۸۱	۱۴۳۱۰	۴۴۴۱	۱۹۵۹۰
میانگین	۱/۰	۳۴۴۵	۱۷۶۵۱	۴۲۵۸	۲۱۹۶۸



شکل ۹. تغییرات ایجادشده بر اثر تغییر درصد خشکی بر بار آلودگی پساب

بحث و نتیجه‌گیری

اثر تغییر درصد خشکی خمیر خروجی بر کارایی شست‌وشو

رابطهٔ ۲۳ نشان می‌دهد با افزایش درصد خشکی خمیر خروجی از پرس، کارایی شست‌وشو نیز افزایش می‌یابد. شکل‌های ۳، ۴، و ۶ نشان می‌دهند افزایش ۱۰ درصد خشکی خمیر خروجی از پرس، باعث افزایش بیش از ۱۰ درصد کارایی شست‌وشو و افزایش ۱۵ درصد مقدار مواد بازیافتی و باعث کاهش حدود ۳۵ درصد مواد بازیافت‌نشده می‌شود که این موضوع اهمیت اثر افزایش درصد خشکی خمیر خروجی در کاهش بار آلودگی پساب را نشان می‌دهد.

اثر تغییر کارایی شست‌وشو بر مقدار مواد بازیافتی

رابطهٔ ۲۷ با درنظرگرفتن معادله‌های ۲۵ و ۲۶ نشان می‌دهد مقدار مواد محلول در خط بازیافت فقط به مقدار مواد محلول ورودی و آب رقیق‌سازی بستگی دارد، یعنی برای افزایش آن نباید از آب تازه استفاده کرد، بلکه باید از آب‌های بازیافتی از مراحل جلوتر استفاده کرد.

همان‌طور که شکل ۵ نشان می‌دهد با افزایش کارایی شست‌وشو، مقدار مواد محلول بازیافتی افزایش می‌یابد؛ به‌طوری که افزایش ۱ درصد کارایی باعث افزایش ۱/۵ درصد مواد بازیافتی می‌شود.

اثر تغییر درصد خشکی خمیر بر بار آلودگی

همان‌طور که شکل ۸ نشان می‌دهد تغییر درصد خشکی خمیر خروجی باعث کاهش بار آلودگی خمیر می‌شود، به‌طوری که افزایش ۱۰ درصد درصد خشکی خمیر باعث کاهش حدود ۳۰ درصد COD و کاهش حدود ۲۰ درصد رنگ می‌گردد. همچنین، این کاهش بار آلودگی در خمیر باعث کاهش حدود۴۰ درصد بار آلودگی واحد ماشین کاغذ می‌شود و متعاقب آن بار آلودگی پساب واحد تصفیه کاهش می‌یابد (شکل ۹).

در این تحقیق نشان داده شد که افزایش کارایی شست‌وشو باعث کاهش مواد محلول در خمیر می‌شود و این مواد نیز عامل تولید COD هستند. در نتیجه، مقدار COD کاهش می‌یابد که این مطلب با مطالعهٔ سیلان‌پا مطابقت دارد.

تحقیق مهدی‌پور نشان داده با افزایش درصد خشکی خمیر خروجی از پرس دوقلو، مقدار بار آلودگی کاهش می‌یابد که با این مطالعه مطابقت دارد، زیرا در این تحقیق نشان داده شد که افزایش درصد خشکی خمیر باعث افزایش کارایی شست‌وشو و متعاقب آن باعث کاهش مواد محلول در خمیر خروجی (مواد محلول بازیافت‌نشده) می‌شود و چون عامل تولید بار آلودگی پساب است، کاهش آن باعث بهبود پساب می‌شود.

References

[1]. MirShokraei, S.A. (2002). Handbook for Pulp & Paper Technologists, Payam Noor Publication. 1, 67-168.

[2]. 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 (20/02/2013).

[3]. 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.

[4]. Arora, S., Dhaliwal, SS., and Kukreja, K. (2008). Mathematical modelling of the washing zone of an industrial rotary vacuum washer. Indian Journal of Chemical Technology, 15, 332-340.

[5]. Bahill, A.T., and Dean F.F. (2009). What is systems engineering? A consensus of senior systems engineers, systems and industrial engineering University of Arizona, Jan 15, 2009, http://www.sie.arizona.edu/sysengr/whatis/whatis.html (12/01/2013).

[6]. Mehdipour, V. (2003). Plans of effluent optimization in M.W.P.I, 1st National Conference of Processing and Use of Cellulose Material, Tehran University, 485-493.

[7]. Bryntesson, J., Dahllöf, H., Pettersson, E., and Ragnar, M. (2002). New compact technology for washing of chemical pulp. Tappsa Journal, October, 2002, http://www.tappsa.co.za/archive/APPW2002/Title/New_compact_technology_for_was/new_compact_technology_for_was.html (12/01/2013).

[8]. Pacheco, C., Paiva, J., and Reynol, A. (2006). Diagnostic of brown stock washing using basic filtration parameters. Tappsa Jornal, July, 2006, http://www.tappsa.co.za/archive2/Journal_papers/Diagnostic_of_brownstock_washi/diagnostic_of_brownstock_washi.html (12/01/2013).

[9]. 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.