جامعة دمشق - كلية العلوم
قسم الكيمياء

الجمعية الكيميائية السورية
فرع دمشق

دورة

إعادة تدوير الورق

شركة الشرق للصناعات الورقية

إعداد

الدكتور جمال قنبرية
الكيميائي عامر نشاوي

مدرجات كلية العلوم
شباط ٢٠١٥

موسم قسم الكيمياء العلمي

دعماً لبناء وترسيخ الفكر التطبيقي الصناعي لأبناءنا الطلبة في كلية العلوم، وتطبيقاً لشعار (ربط الجامعة بالمجتمع) ، فقد دأب قسم الكيمياء منذ سنتين على عقد دورات علمية مهنية على أيدي مدربين من قلب عالم الصناعة، بما يضمن رفع السوية العلمية والفكر الصناعي للطالب بعيد تخرجه ونيله شهادته التي نهل من علومها أربع سنوات على مقاعد الدراسة النظرية والمخبرية.

لذا فقد وجد القسم أنه من الأنسب التنسيق مع الجمعية الكيميائية السورية كشريك يتحمل عبء الشؤون الإدارية والتنظيمية للدورات المراد عقدها مجاناً، بينما يغطي القسم الإشراف على السوية العلمية لمناهج هذه الدورات، وهكذا بدأ موسم قسم الكيمياء العلمي الأول، وتبعته المواسم الثلاثة وفق البرنامج التالي:

الأسابيع العلمية لقسم الكيمياء					
الموسم	عنوان الدورة	التاريخ	المدرب	المنهاج	عدد المشاركين
الأول	تقنيات العمليات الصباغية	١٥-٢٠١٣/٩/١٩	ك. بلال الرفاعي	كراسة خاصة	٨٩
	دورة عملية على جهاز الكروماتوغرافيا HPLC	٩/٨ حتى ٢٠١٣/١٠/٢٤	ك. يامن السلكا	كراسة خاصة	١٢٣
الثاني	تقنيات العمليات الصباغية	٢٣-٢٠١٤/٢/٢٨	ك. بلال الرفاعي	كراسة خاصة	٥٧
	دورة عملية على جهاز الكروماتوغرافيا HPLC	١/٥ حتى ٢٠١٤/٢/٢٣	ك. يامن السلكا	كراسة خاصة	٩٤
	تحليل الأغذية	٢-٢٠١٤/٣/٦	ك. يحيى الخالد	كتاب: الطرق الأساسية في تحليل الأغذية والمياه	٢٢٣
الثالث	المواد الفعالة سطحيا وصناعة المنظفات	٧-٢٠١٤/٩/١١	ك. بلال الرفاعي	كراسة خاصة	٤٣٠
	دورة عملية على جهاز الكروماتوغرافيا HPLC	١٤-٢٠١٤/٩/٢٥	ك. يامن السلكا	كراسة خاصة	١٠٥
الرابع	تقنيات العمليات الصباغية	٢٣-٢٠١٥/٢/٢٦	ك. بلال الرفاعي	كراسة خاصة	١٤٦
	دورة عملية على جهاز الكروماتوغرافيا HPLC	١٦-٢٠١٥/٢/٢٢	ك. يامن السلكا	كراسة خاصة	٥٠
	تحليل المنظفات صناعة الصابون	٢١-٢٠١٥/٢/٢٦	ك. يحيى الخالد ك. عبد الرحمن الحفار	كراسة خاصة	٣٤٠
	إعادة تدوير الورق	١-٢٠١٥/٣/٢	د. جمال قنبرية المهندس إياد يوسف	كراسة خاصة	٥٦

يتمنى قسم الكيمياء من كل الأخوة الصناعيين أن يتكرموا بشيءٍ من خبراتهم عسى أن نشارك جميعاً في بناء الصرح العلمي القوي لبلدنا الحبيب وأجيالنا الصاعدة.

وهنا لا بد لنا من أن نقدم جزيل شكرنا وتقديرنا لعمادة كلية العلوم ممثلة بشخص السيد عميد الكلية الأستاذ الدكتور عزات قاسم على دعمه المتواصل للقسم من حيث تأمين الموافقات الرسمية من رئاسة الجامعة ممثلة برئيسها الأسبق الأستاذ الدكتور عامر ماردیني، ورئيسها الحالي الأستاذ الدكتور حسان الكردي على تكرمهما بالموافقة على عقد هذه الدورات، واستغلال مدرجات الكلية وتجهيزاتها أيام العطل الرسمية.

كما يشكر القسم كل الزملاء أعضاء القسم المشاركين في التدقيق العلمي على محتوى مناهج هذه الدورات وصولاً للسوية العلمية المرموقة التي ينتظرها جميعنا.

كما يقدر عالياً الجهود المبذولة والاستثنائية للجمعية الكيميائية السورية ممثلة بشخص نائب رئيس الجمعية الأستاذة الدكتورة ملك الجبة، وأمين سر الجمعية الكيميائي يامن السلكا.

ومن الجدير بالذكر هنا تنوع سويات المشاركين ما بين السنوات الأولى حتى حملة شهادات الدراسة العليا، ومن داخل وخارج كلية العلوم وجامعة دمشق.

الأستاذ الدكتور محمد جمال الخطيب

رئيس قسم الكيمياء

المحتوى

صناعة الورق وتدويره

المقدمة ٥

١- الألياف السيليلوزية

مقدمة ٦
السيليلوز ٦
مصادر السيليلوز ٧
التحليل الكيميائي للخشب ٧
طرائق الاستحصال ٨
القياسات المقبولة ٨
االطريقة الميكانيكية ٨
الطريقة الكيميائية – الميكانيكية ٩
الطريقة الكيميائية ٩
الطريقة نصف الكيماوية ١٠
الجانب البيئي ١١
النتيجة ١١

٢- صناعة الورق

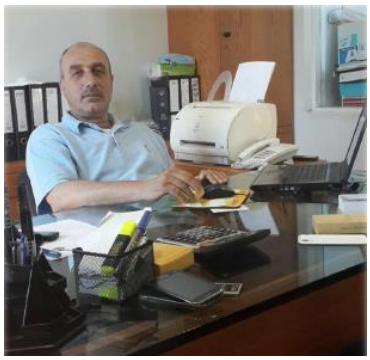
المقدمة ١١
قسم تحضير العجينة ١٢
عامل مسطع ١٢
منعمات الورق ١٢
مضادات التبلل ١٢
الأصبغة ١٢
قواعد اصطناع الأصبغة ١٣
آلة الورق ١٣
قسم القص النهائي ١٤
الجانب البيئي ١٥
الخاتمة ١٥

٣- تدوير الورق

المقدمة ١٥
أنواع النفايات الورقية ١٥
أنواع الأوساخ المرافقة للنفايات ١٦
العجن ١٦
تدوير الورق ١٧
التصفية الأولية ١٧
السيكلون (المرشح الإعصاري) ١٨
المصفاة الدقيقة ١٨
وحدة إزالة الأحبار ١٨
هدف خفض الكثافة ١٨
مرحلة التصفية ما قبل النهائية ١٩
التصفية النهائية الدقيقة ٢٠
مرحلة الغسيل ٢٠
التبييض ٢١
مرحلة الغسيل النهائية ٢١
وحدة معالجة المياه ٢٢

٤- الجانب البيئي

صناعة الورق وتدويره



الكيميائي عامر أكرم نشاوي
من مواليد دمشق عام ١٩٦٦
درس في مدارس دمشق،
مجاز من جامعة دمشق، كلية العلوم، شعبة الكيمياء التطبيقية
مدير فني في شركة الشرق لصناعة الورق منذ عام ١٩٩٣م
عضو جمعية صناع الورق العالمية في الولايات المتحدة منذ عام ١٩٩٧
Technical Associations of Pulp & Paper Industry: TAPPI
عضو معهد إدارة المشاريع الأمريكية منذ عام ٢٠٠٨: *Project Management Institute: PMI*

المقدمة:

تم استعمال الورق قديماً لتوثيق وتدوين وتبادل المعلومات، وكانت الحضارة الصينية السباقة في صناعة واستخدام الورق، فعرفت مبادئ تحضيره من الألياف السيليلوزية غير المعالجة من بقايا سيقان نبات الأرز.

أما الحضارات الأخرى فكانت تعتمد على أوراق النباتات الضخمة كالبردي في مصر، والحلفا في الشمال الأفريقي، أو أنها اعتمدت جلود بعض الحيوانات.

كان طريق الحرير السبب الأهم لتعرف العالم على صناعة الورق، جنباً إلى جنب مع تطور علوم الكيمياء، واكتشاف مواد كيماوية وطرائق استحصال جديدة، فغدت جذوع الأشجار إحدى المصادر الأساسية لاستحصال الألياف السيليلوزية.

أضحى القطع الجائر للأشجار والغابات السمة الرائدة حالياً، فعُقدت ندوات ومؤتمرات دولية في المجال البيئي، وأصدرت الدول المتقدمة قوانين وتشريعات تنظم هذه العملية، وأنشئت وزارات للبيئة وهيئات لحماية الغابات اشترطت زرع شجرة بدل كل شجرة تُقطع سواءً أكان استعمالها لصناعة الورق أو للصناعات الخشبية (المفروشات، البيوت الخشبية... إلخ).

يستعمل الورق في مجالاتٍ عدة، نجد منها: (المجلات والجرائد، العملات الورقية، ورق الجدران، ورق الكتابة والطباعة، ورق الزينة، صناديق التغليف السمراء أو البيضاء.... إلخ).

نشأت فكرة إعادة التدوير في جميع المجالات نتيجة تطور القوانين البيئية، وأضحت إعادة تدوير النفايات والمعادن والبلاستيك والزجاج والورق وغيرها شائعة، وأصبحت حاجةً ملحة للتخفيف من النفايات المطروحة بعد أن كانت ترمى وتدفن (Land fill) فتعطلت مساحات شاسعة، علاوة عن أضرارها البيئية السيئة.

وتدوير الورق هو العنوان العريض لدورتنا هذه، وللوصول لفكرة تدوير الورق، لذا سننطلق من عدة أسئلة مثل:

١. هل كل أنواع الورق قابلة للتدوير ؟
٢. هل يمكن تدوير الورق بدون معالجة؟
٣. هل يمكن استخدام أي نوع من النفايات الورقية من خلال عملية تصنيع الورق ؟

٤. هل يمكن استخدام المدور كاملاً أم بنسب ؟
٥. ما هي الإجراءات والأدوات المساعدة على عملية تدوير ناجحة ؟

لذا سيتم التطرق للتعريف بماهية المادة الأولية (السيليلوز) وطرق استحصاله، وطرائق تصنيع الورق وصولاً لتقنيات إعادة تدوير الورق، لذا سيتم توزيع المحاضرات وفق البرنامج:

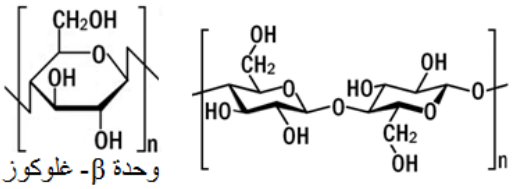
الألياف السيليلوزية – صناعة الورق – إعادة تدوير الورق – الجانب البيئي – الخاتمة

١ـ الألياف السيليلوزية

مقدمة: تشكل الألياف السيليلوزية على اختلاف مصادرها المادة الأولية المستخدمة لصناعة الورق، وتشترك بصفاتها الكيميائية (من حيث الصيغة أو الشكل الكيميائي، وخصوصاً من ناحية طول اللبف وقطره)، وتختلف بصفاتها الفيزيائية من حيث مواصفات الليف المستحصل بحسب مصدره:

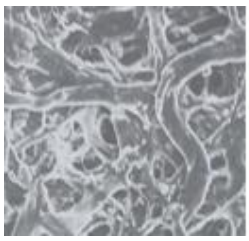
١. لا خشبي: سيقان النباتات.
٢. خشبي: جذوع الأشجار.

١ـ١ـ السيليلوز: بوليمير خطي مؤلف من آلاف المونوميرات، وله الصيغة الكيماوية:



وحدة β- غلوكوز

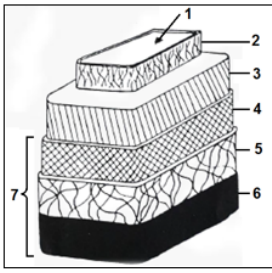
الصيغة العامة للسيللوز : لاحظ التناوب في توضع زمرتي الهيدروكسيل الثانويتين



ويكتسب السيليلوز شحنة سالبة عند غمره بالماء، وهو غير حلول بالماء، وطول تيلته بين (0.7-10 mm)، ويشبه الأنبوب المفرغ الحاوي على ثنايا.

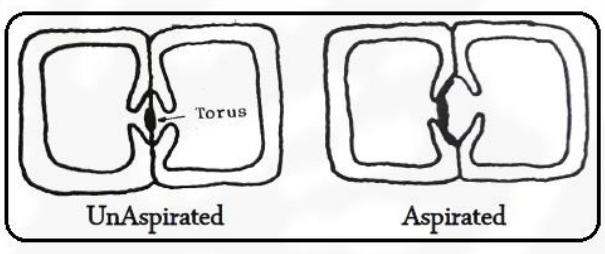
يتألف الليف السيليلوزي من ثلاثة جدران أساسية S_1, S_2, S_3، وجدار أولي تبلغ سماكته بين (0.7-1.2 µm).

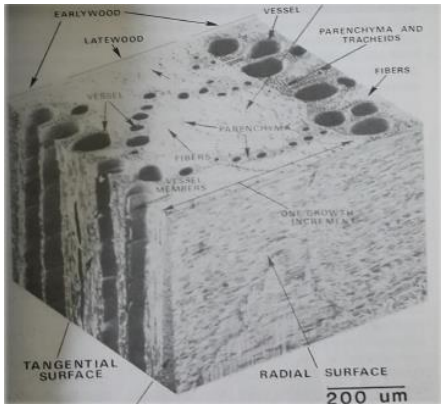
ويوجد فوق الجدران الليغنين والبيكتين الذي يربط الألياف السيليلوزية ببعضها كما كملاط الأسمنت في البناء:



١- الليومين
٢- الطبقة S_3: الجدار الثانوي بثخن (0.07-0.1 µm)
٣- الطبقة S_2: الجدار الثانوي بثخن (0.5-8 µm)
٤- الطبقة S_1: الجدار الثانوي بثخن (0.1-0.2 µm)
٥- جدار الخلية الأولي بثخن (0.03-1.0 µm)
٦- الغشاء المتوسط: ملاط الليغنين والبكتين
٧- ينحل إثر عمليات القصر والطبخ

وعلى العموم ليست كل الأشجار صالحة كمصدر سيليلوزي لصناعة الورق، إذ تزرع أشجار (المتنفسة Aspirated) خصيصاً لهذه الصناعة لسهولة تخلل سائل تحلل الليغنين والبيكتين من خلالها أثناء عملية استخلاص السيليلوز.





١-٢- مصادر السيليلوز:

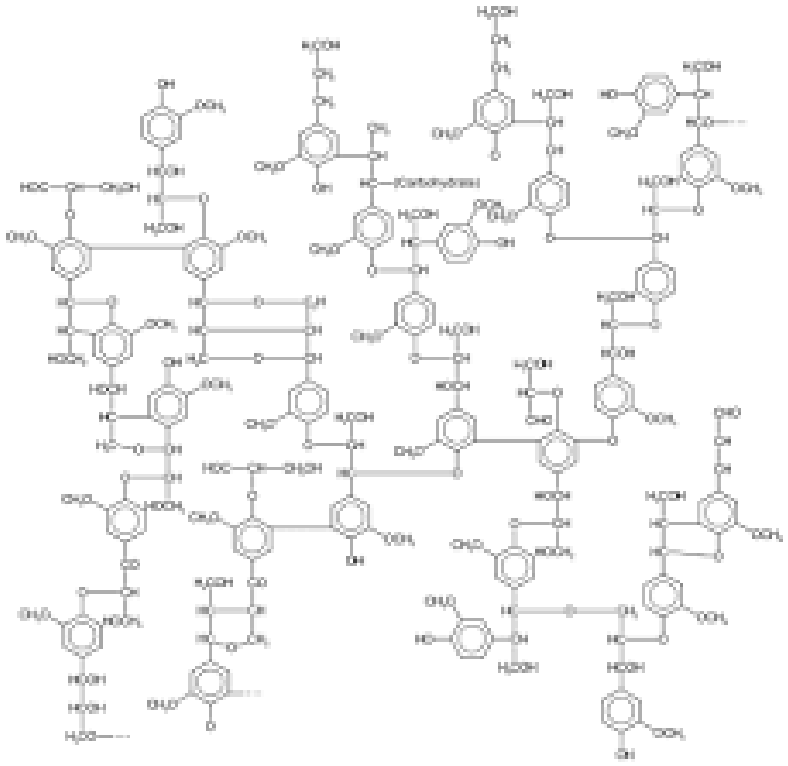
١-٢-١- المصادر الخشبية: جذوع أشجار: الصنوبر، التنوب، الحور، الكينا، السنديان، الدلب.

١-٢-٢- المصادر اللاخشبية: سيقان الأرز والقمح، الحلفاء، بامبو الذرة، القنب، الباكاز، البردي، قصب السكر، القطن.

ولايستخدم القطن لاستحصال الألياف السيليلوزية إلا بحالاتٍ خاصة جداً كما في بعض العملات الورقية، بسبب البنية البلورية للألياف السيليلوزية التي تجعلها مقاومة لعملية الاستحصال وبالتالي لكلفة تقنية عالية، علاوة عن تيلته الطويلة نسبياً والتي لا تعطي ورقاً جيداً.

١-٣- التحليل الكيميائي للخشب:

م	%	المادة		ملاحظات
١	٥٠-٤٠	سيليلوز	*Cellulose*	وهي المادة الغاية التي يستفاد منها
٢	٢,٥-٢	هيمي سيليلوز	*Hemicellulose*	بوليمرات سكرية بيضاء لابلورية، تملأ ما بين الألياف
	٣٠-٥	كسيلان	*Xylans*	
٣	٨-١	اكستراكتيف	*Extractives*	مزيج مجموعة بوليميرات (خفيفة إلى عالية الوزن النوعي)، تمنح اللون والرائحة ومقاومة التحلل (حلولة بالمحلات العضوية أو الماء)
٤	٠,٤-٠,٢	رماد	*Ash*	عناصر لا عضوية (معدنية)
٥	٣٥-١٨	ليغنين	*Lignin*	بوليمير معقد يتابط طولياً وعرضياً أساسه فينيل البروبان



الليغنين

١-٤- طرائق الاستحصال: تهدف عملية تفكيك الألياف السيليلوزية المترابطة مع بعضها بملاط الليغنين والبكتين، اللذان يكسبان جذوع الأشجار أو سيقان النباتات القساوة، ويمنحهما اللون البني القاتم، وتتم هذه العملية في معامل تصنيع عجينة الورق. ولا يستخم لحاء الأشجار لارتفاع نسبة الليغنين.

ترسل الأشجار بعد قصها وتجريدها من الأغصان إلى المعمل حيث يتم تقطيعها لشرائح زمن ثم طحنها وفرزها بحسب أقطار القطع المناسبة.

تُحوَّل الأقطار الصغيرة جدا (الناعمة) واللحاء لصناعات أخرى مثل صناعة الخشب المضغوط MDF. في حين يعاد تدوير القطع الكبيرة للحصول على القطع بقياسات مناسبة، ويرسل اللحاء أحياناً لتوليد بخار الماء.

القياسات المقبولة:

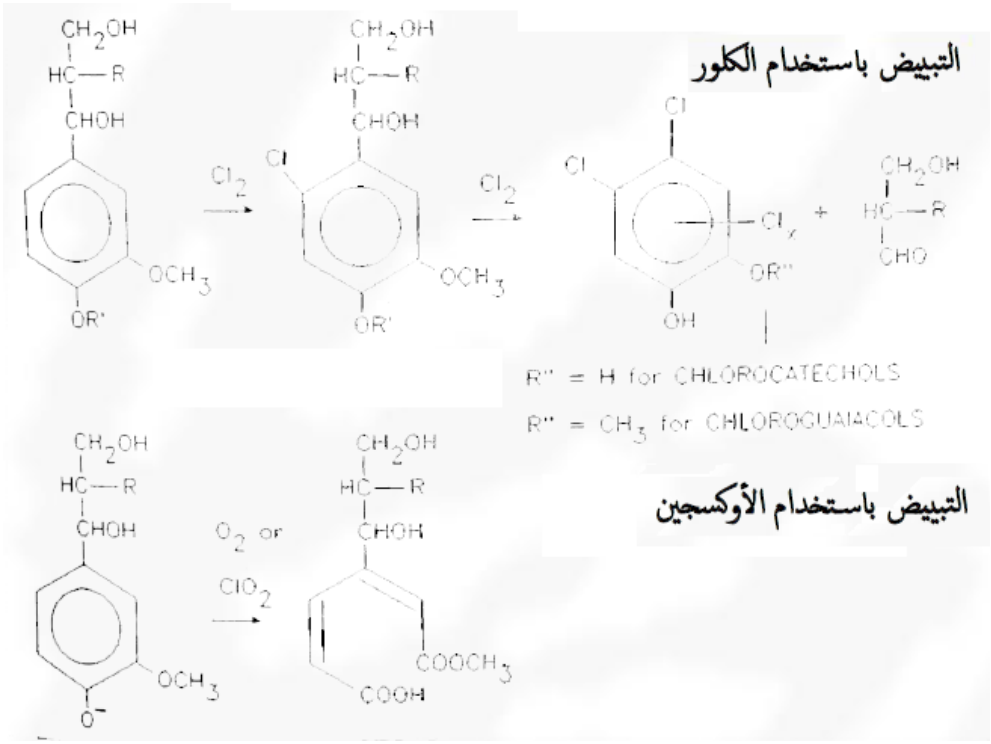
١-٤-١- االطريقة الميكانيكية Mechanical pulping: تنتج العجينة الميكانيكية وتستخدم لإنتاج الورق الميكانيكي المستخدم في صناعة ورق الجرائد والكتب والمجلات السمراء، وتستخدم لصنعها عادةً الأشجار الفاتحة اللون لعدم إزالة الليغنين والبخار (الليغنين: الملتصق بجدار السيليلوز)، ويتم تفريق الألياف السيليلوزية المترابطة بأحجار الطحن بوجود الماء.

١-٤-٢- الطريقة الكيميائية – الميكانيكية Chemi-Mechanical: نفس الطريقة الميكانيكية بفارق إضافة هيدروكسيد الصوديوم NaOH أو سلفيت الصوديوم $NaHSO_3$ بشكلٍ معتدل.

وتهدف هذه الطريقة لإضفاء المزيد من القوة للألياف السيليلوزية المستخلصة، وبالتالي عند تصنيع الورق، ما يعني مواصفات فيزيائية أفضل: مقاومته للثني، وتعدد مرات الاستعمال، والعمر الأطول. ويستخدم في ورق الجرائد والكتب والمجلات الجيدة النوعية.

١-٤-٣- الطريقة الكيميائية: تنسب للعالم كرافت Kratt الذي وضعها، وتقوم على التحرر الكامل من الليغنين Delignification، وتعتمد بصورة أساسية على مهضمات (خزانات معدنية صلبة للطبخ Digesters) تعمل بشروط من الضغط والحرارة العاليين للوصول حتى نقطة تحرر الألياف Fiber liberation point، وهي النقطة التي تتحرر عندها الألياف من الليغنين دون أن يبدأ تأثير الوسط المائي على الألياف نفسه (جدرانه)، وبعد التحرر والخروج من المهضمات تبدأ عملية الغسيل والتنقية، ومن ثم يتم التبييض باستعمال الكلور الحر الذي يقوم بتكسير الروابط المضاعفة لليغنين.

أو ببهيدروسلفيت التوتياء ZnS_2O_4 العالي السمية، والذي تم استبداله بمركبات صوديومية مثل Ethlene Di Tetra Amine، ومن ثم تطورت عملية التبييض بالماء الأكسجيني لاستبدال الكلور الحر بالأكسجين الفعال.



ويمكننا تطبيق طريقة كرافت الكيميائية بوسطين مختلفين:

١-٤-٣-١- في الوسط القلوي pH: 13-14: ويتم بمزيج هيدروكسيد الصوديوم مع الزرنيخ* (NaOH & Na_2S) بتركيز ١٥-٢٥%، وتستعمل العجينة الناتجة بهذه الطريقة:

أ- غير مبيضة: صناعة ورق الاسمنت وورق التغليف والكرتون الخفيف (١٢٠ غ/ م^2).

ب- مبيضة: تصنيع ورق الكتابة والطباعة.

* الزرنيخ: الاسم التجاري المتداول في الصناعة لكبريت الصوديوم.

١-٤-٣-٢- في الوسط الحمضي pH: 1.5-5: يتم تطبيق هذه الطريقة بمزيج من حمض الكبريتي وبعض الأيونات (HSO_3^- & Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, NH_4^+ + H_2SO_3).

وتتميز العجينة الناتجة بلون بني خفيف (أشقر) قبل التبييض، وتكون قابليتها للتبييض أعلى من عجينة الوسط القلوي ولكن أضعف تماسكاً، لذا يمكننا استعمالها في صناعة ورق الجرائد العالي الجودة بدون تبييض. وإن تمت عملية التبييض فلورق السجائر أو للمناديل الورقية أو الورق المطلي للطباعة الفاخرة.

وبعد الحصول على الألياف السيليلوزية بأيٍ من الطرائق السابقة ترسل إلى مصنع الورق إن كان بجوار مصنع العجينة عندما تكون رطبة. وعلى شكل أطباق مجففة في بالات بالشحن لمصانع الورق البعيدة.

١-٤-٤- الطريقة نصف الكيماوية Neutral Sulfte Semi – Chemical (NSSC): لا يتحرر الليغنين بشكلٍ كامل هنا، إذ يتبقى منه جزء على جدران الألياف، ويتم تطبيقها عند pH: 7 أي في وسط معتدل بمزيج من كربونات وكبريتيت الصوديوم Na_2CO_3 & Na_2SO_3، وتستعمل العجينة الناتجة في صناعة صناديق التغليف لمتانتها العالية وقابليتها الطلي أو القولبة لذا لا يتم تبييضها.

١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢	١٣	١٤
حمضي						معتدل	قلوي						

مع تطور القوانين البيئية الصادرة والمطبقة في دول العالم، فإن الاهتمام بمعالجة المياه الناتجة عن عملية صناعة العجينة أو الغازات المتطايرة قد بلغت تطوراً مهماً اقتضى معالجة المياه المطروحة بمراحل خاصة لاحتوائها على بوليميرات متعددة ومعقدة، وعالية السمية حيث يتم تحللها لإنتاج مركباتٍ جديدة تستعمل كوقود، أو لترسيبها كأملاح، أو لإعادة تصنيعها كمادة أولية عند تطبيق محلول تحلل الليغنين في سائل الطبخ. ومن ثم طرح مياه صرف وفق المواصفات التي يفرضها بلد المصنع.

وكذلك الحال بالنسبة للغازات العادمة، إذ يتم وضع مرشحات خاصة لتنقيتها قبل طرحها في الجو، لذا تستخدم مراجل خاصة بمعالجة الغازات. ويتوزع المرجل بين عدة مراحل:

المرحلة ١- تحويل الأملاح الصوديومية Conversion of sodium salt:

$$2\ NaOH + CO_2 \rightarrow NaCO_3 + H_2O$$

المرحلة ٢- تخفيف معدلات المواد الأولية المستخدمة في تحضير محاليل الطبخ Reduction of chemical makeup:

$$Na_2SO_4 + 4C \rightarrow Na_2S + 4CO$$

المرحلة ٣- قسم الأكسدة Oxidation zone:

$$CO + 1/2\ O_2 \rightarrow CO_2$$
$$H_2 + 1/2\ O_2 \rightarrow H_2O$$
$$Na_2S + 2\ O_2 \rightarrow Na_2SO_4$$
$$H_2S + 11/2\ O_2 \rightarrow SO_2 + H_2O$$

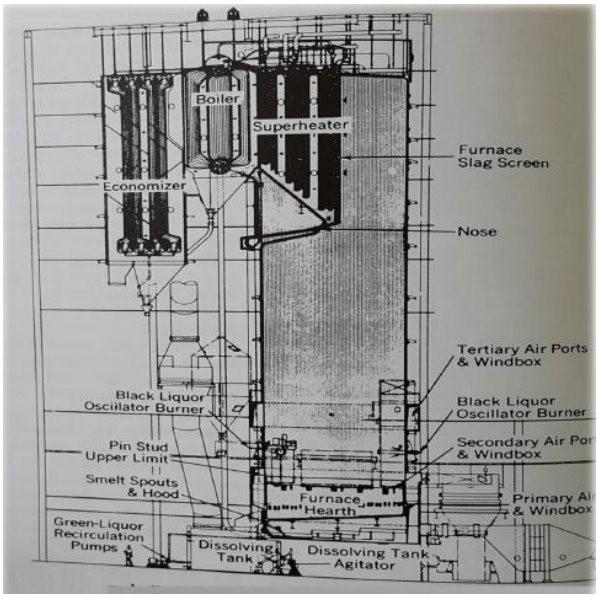
المرحلة ٤- مرحلة التجفيف:

$$Organic \rightarrow C + CO + H_2$$
$$2\ NaOH + CO_2 \rightarrow NaCO_3 + H_2O$$

المرحلة ٥- مرحلة الإرجاع:

$$Organic \rightarrow C + CO + H_2$$
$$2\ C + O_2 \rightarrow 2CO$$
$$Na_2SO_4 + 4C \rightarrow Na_2S + 4CO$$
$$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$$

١-٥- الجانب البيئي:



١-٦- النتيجة: نستنتج مما سبق أنه يتوفر في الأسواق عجائن سيليلوزية مختلفة الاستخدامات باختلاف أنواع الورق المصنعة.

٢- صناعة الورق

المقدمة: بعد الاستعراض السابق لعملية تصنيع عجينة الورق يتم إرسالها لمعامل تصنيع الورق، وتهدف مصانع الورق لتشكيل العجينة بصورة متجانسة، وعلى شكل رولو، وإضفاء المواصفات الفيزيائية المطلوبة لكل منتج. ولا يعني اختلاف أنواع الورق اختلاف مبدأ تشكيل الورق في المصنع، إذ تشترك جميع المصانع بما يلي:

٢-١- قسم تحضير العجينة Stock preparation: نبدأ بإعادة عجن وترطيب أطباق السيليلوز الجافة، ومباعدة الألياف المتراصة فيزيائياً نتيجة الضغط والتجفيف (لاقتصادية أجور الشحن خلال عملية تجفيف عجينة السيليلوز)، ويتم في هذه المرحلة ضبط كثافة أو تركيز العجينة (Slurry) والتي تعني نسبة المواد الصلبة من السيليلوز للماء، وتكون عادة بحدود ٥ أو ٩ أو ١٣% بحسب الطاقة الإنتاجية اليومية للآلة ونوعية الورق المراد إنتاجه.

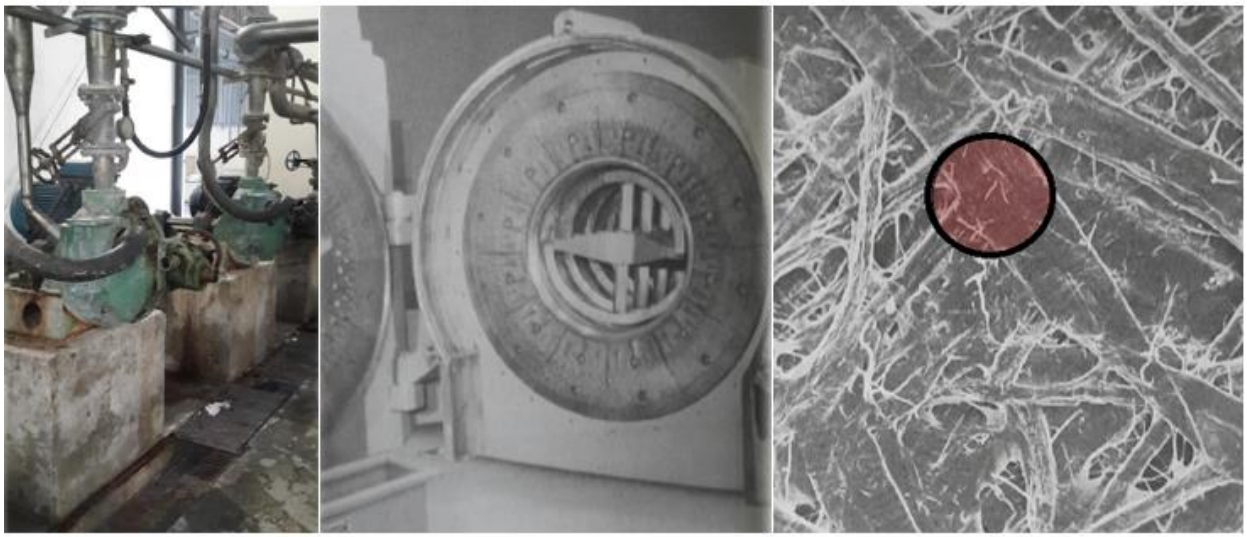
٢-١- قسم تحضير العجينة:

٢-١- قسم تحضير العجينة: ترسل العجينة لمرحلة الترشيح وتصفية الشوائب الصلبة المرافقة للعجينة الجافة نتيجة عمليات الشحن والخزن وشروطهما، أو لعدم مراعاة قواعد النظافة في مصنع الورق.

ويتم بهذه المرحلة إضفاء المواصفات الفيزيائية للورق بإمراره على مطاحن دوارة ذات أقراص معدنية (ديسكات) ذات شكل معين Refiner للتأثير على الجدار الأولي السيليلوزي S_1، أي تقشير الجدار لإنتاج أذرع ترابط، ويتم التحكم بقوة الضغط على المطاحن تداركاً لتقطع الألياف كونها ستفقد كثيراً من المواصفات الفيزيائية للورق المنتج.

HDC

٢-١- قسم تحضير العجينة Refiner:



تتم إضافة:

أ- عامل مسطع Optical agent: تكون العجينة الواردة بدرجة بياض بحدود ٨٨%، لذا يتم رفعها حتى ٩٢-١٠٠% بحسب نوعية ومواصفات المنتج المطلوبة ما بين ورق كتابة أم طباعة. وهو سائل حمضي حلول بالماء Diaminostilpene disulphonic acid.

أما في حالة ورق الكتابة والوصول إلى درجة البياض ١٠٠% فتتم إضافة مسحوق ثاني أكسيد التيتانيوم TiO_2 غير الحلول بالماء في مرحلة تشكيل الورق.

ب- منعمات الورق Softinig agent: تضاف للمحارم الورقية، وتكون عادة من مركبات استرات الحموض الدسمة $R\text{-}CO\text{-}OCH_3$ الحلولة بالماء، وذات القدرة على الارتباط بالورق بروابط كهربائية.

ج- مضادات التبلل Wet strength: مثل:

- بولي الأميد ثنائي الأمين: $H_2N\text{-}CH_2\text{-}\ CH_2\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}NH_2$

- بولي أكريل أميد: $CH_2\text{-}CH\text{-}CO\text{-}NH_2$

- ستيرين – اكريلات: $C_{10}H_{10}, C_8H_8, C_7H_{12}O_2$

يتم بعدها تجميع العجينة الجاهزة للتشكيل في خزان تزويد آلة الورق بالعجينة.

د- الأصبغة: وتضاف للورق المراد تلوينه:

Classifications of dyes تصنيف الأصبغة	
Based on origin of dyes	Natural or synthetic dyes, Organic or Inorganic
Based on the dyeing process	Acid dyes, Basic dyes, Direct or substantive dyes, Vat dyes, Reactive dyes, Disperse dyes, Azo dyes, Sulphur dyes, Fluorescent brightening agent
Based on chromophore	Acridined dyes, Anthraquinone dyes, Aryl methane dyes, Azo dyes, Cyanine dyes, Diazoonium dyes, Nitroso dyes, Phthalocyanine dyes, Quinonciimine dyes (Azine dyes, Indophenols, Thiazine), Thiazole dyes, Xanthate dyes
Based on application	Food, Cosmetics & drug dyes, Laser dyes, Leather dyes, Solvent dyes, Contrast dyes, Carbine dyes
Based on color index	Color index recognizes 26 types of dyes by chemical classification

د- قواعد اصطناع الأصبغة Chromophon in Important Class of Dyes:

الكروموفور Chromophore	فئة الصباغ	
-N=N-	Azo	أصبغة الآزو
$-NO_2$	Nitro	أصبغة النترو
-NO (or =N-OH)	Nitroso	أصبغة النتروزو
=c=c=	Ethylene	الايتيلين
=C=O	Carbonyl group	زمرة الكربونيل
=C=NH, -HC=N-	Carbon nitrogen group	زمرة كربون- نيتروجين
=C=S, ⩾C-S-S-C⩽	Carbon sulphur group	زمرة كربون - كبريت

٢-٢- آلة الورق Paper machine: إن العمل الرئيس لآلة الورق هو تشكيل الورق على الطاولة على شكل طبق مستمر ومتجانس، والبدء بتشكيل الورق بحسب الوزن الغرامي (الغراماج: وزن المتر المربع من الورق غ/م^2) المطلوب.

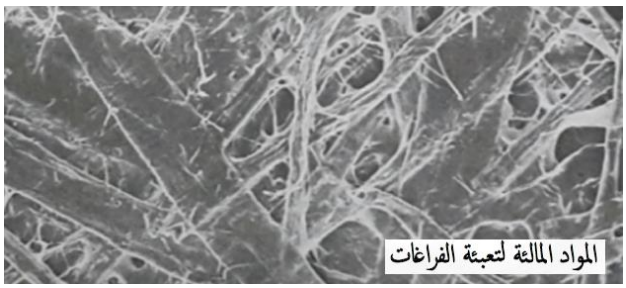
ويتم تجفيف الورق بالاعتماد على مضخات التفريغ (الفاكيوم)، ومن ثم بتماسه بأسطوانات مسخنة على البخار الداخل عليها، ويتم استرجاع البخار المتكاثف الساخن لإعادة استعماله كماء تعويض في المرجل، مما يؤدي للتخفيف من استهلاك الوقود وبالتالي انبعاث غازات الاحتراق العادمة. في حين يتم تجفيف الوجه الآخر بالهواء الساخن.

وتمر العجينة أثناء انتقالها من خزان التجميع إلى آلة تشكيل الورق بعدة مراحل تصفية، ليتم تشكيلها بكثافاتٍ منخفضة (٢%) حيث يكون تشكيل وتجانس الورق أفضل، ويكون الماء الوسيط الحامل بضخه بكمياتٍ كبيرة إلى سطح التشكيل، ويعاد استخدامه عدة مرات بجمعه في خزان خاص بالاعتماد على مضخة عالية الاستطاعة.

وتتم أثناء عملية التشكيل إضافة بعض المواد المالئة مثل كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ أو ثاني أكسيد التيتانيوم TiO_2 لتعزيز درجة البياض، ومواد مالئة كالجير الصيني (الكاؤولين: $Al_2Si_2O_5(OH)_4$) لورق الكتابة والطباعة كمادة مانعة لتشرب الحبر أثناء الكتابة. وأخير يمر الورق على أسطوانات صقل للحصول على ملمس ناعم.

ترتبط الألياف السيليلوزية بروابط هيدروجينية تمنح الورق مقاومة الشد والقطع، وكما ذكرنا عند التأثير على الجدار الأولي للألياف عن طريق Refiner لتزداد نقاط ارتباط الألياف عند التشكيل مما يرفع من مقاومة الشد.

ويتم التحكم بالمواصفات الفيزيائية الأخرى مثل مقاومة تشرب الحبر والثني والبلل وقابلية الطباعة بنسب الكيمياويات المذكورة آنفاً بحسب الحاجة.



وتنتج آلات الورق أنواع المنتجات: محارم ورقية صحية: ١٥ ÷ ٤٠ غ/م^3، ورق كتابة وطباعة ٦٠ ÷ ٨٠ غ/م^3، أطباق كرتون: ١٢٠ ÷ ٢٠٠ غ/م^3

٢-٣- قسم القص النهائي Rewinder: يتم في القسم تشكيل المنتج النهائي بقص الرولو المنتج في آلة تشكيل الورق، إما على شكل رولو أو أطباق. أو بتشكيل المنتج بعدة طبقات كما في المحارم الورقية، ويقص بالمقاسات المناسبة ليتم بيعه ويتم التغليف والتجميع.

وتستخدم بعض الآليات لعمليات التخزين للإقلال من مساحات التخزين:

٢-٤- الجانب البيئي: تتطلب صناعة الورق كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية لتطبيق عمليات العجن والطحن والنقل والتشكيل والصقل والتجهيز النهائي، وكميات أخرى من الماء والوقود لتوليد البخار والهواء الساخن.

وتم خلال القرن الماضي الإقلال من استهلاك الطاقة الكهربائية بتطوير تقنيات الطحن وحوض العجن والضخ، وبإدخال محسنات للوقود واستخدام حراقات عالية الكفاءة للوصول لاحتراقٍ كامل، واستعادة الماء لتدويرة مرة ثانية وثالثة بنزع الألياف المتبقية في الماء باستخدام فاصل صلب/ ماء Dissolved Air Floatation باستخدام أملاح البولي اكريليت كمعادل لشحنات الألياف المبعثرة بالماء مع المخثرات لتجميعها.

ويتم ضخ الهواء على شكل فقاعات بأقطار ميكرونية لتعويم الألياف بهدف إعادة استخدام الماء وتدويره علاوةً عن إعادة استخدام القسم المستعاد من الألياف Sludge.

وحدة معالجة المياه الملوثة

المياه العادمة Sludge

ماء نظيف رائق

الخاتمة: تتم صناعة الورق ابتداءً من السيليلوز كمادة أولية وحيدة سواءً أكانت العجينة مبيضة أو غير مبيضة، وتتم إضافة المحسنات الكيميائية (مواد عضوية) لتحسين خواصه الفيزيائية بحسب المواصفات المطلوبة.

كما تضاف محسنات لاعضوية (Ash) كالمواد المالئة والمواد المبيضة والتي قد تصل نسبتها حتى ١٨-٢٧% وزناً.

٣- تدوير الورق

المقدمة: تصل كميات الورق المنتجة عالمياً وعلى مختلف النوعيات لملايين الأطنان، ما يعني ازدياد معدلات الفضلات الورقية المطروحة. وبالتالي ازدياد الحاجة لإعادة تدوير هذه النفايات الورقية بهدف الحصول على السيليلوز النقي لعمليات تصنيع الورق الجديدة بتخليصه من الشوائب المرافقة للحد من معدلات التلوث البيئي، وخفض معدلات قطع الغابات، والتخفيف من انبعاث ملوثات عمليات التصنيع. تبعتها في الدول الراقية توزيع الحاويات الخاصة بالمنتجات الورقية المستهلكة لسهولة جمعها وإعادة تصنيعها. إلى جانب حاويات خاصة بالمخلفات الزجاجية وللمعدنية وللمخلفات الأخرى كبقايا الطعام. ويتم تجميع كل نوع من القمامة في أماكن خاصة لإرسالها للمعامل المختصة لإعادة تدويرها.

٣-١- أنواع النفايات الورقية:

١. جرائد مطبوعة أو غير مطبوعة من ورق فيزيائي.
٢. صناديق تغليف سمراء Old Corragating Container: OCC مطبوعة أو غير مطبوعة.

٣. صناديق تغليف مصنعة من عجينة ورق مبيضة: علب أدوية، علب سجائر، علب مختلفة مطبوعة أو غير مطبوعة ، أو ملونة.
٤. كتب ودفاتر وورق طباعة كومبيوتر مطبوعة أو غير مطبوعة، أو ملونة.
٥. مجلات فاخرة أو عادية.

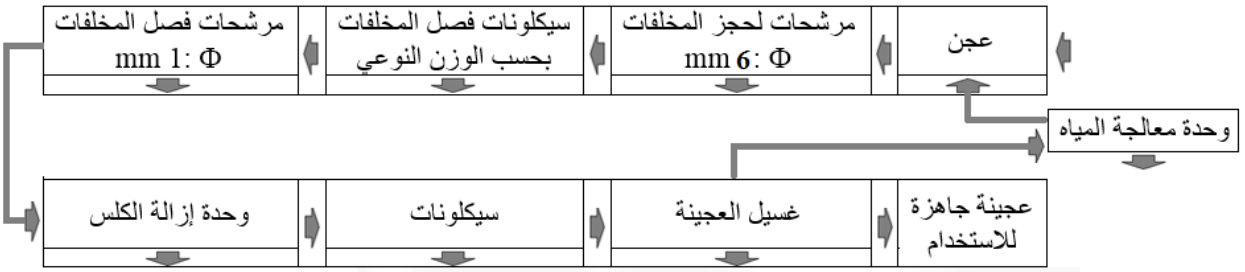
٣-٢- أنواع الأوساخ المرافقة للنفايات:

١. حجارة وأتربة وقطع خشبية غير حلولة بالماء
٢. خرزات معدنية غير حلولة بالماء
٣. أحبار طباعة منوعة ما بين حلول وغير حلول بالماء.
٤. صموغ عمليات التجليد تتوزع فيما بين حلول وغير حلول.
٥. الأملاح المعدنية (Ash) المستخدمة في عمليات التبييض والصقل لتحقيق المواصفات الفيزيائية المطلوبة، وتعزيز جمالية الورق وغير الحلولة بالماء.
٦. شحوم وزيوت غيرحلولة من لوازم عمليات الطباعة أو من خلال مرحلة جمع النفايات.
٧. قطع بلاستيكية منوعة من عمليات التجليد ومطاط غير حلولة بالماء أو من مرحلة جمع النفايات.
٨. رطوبة.

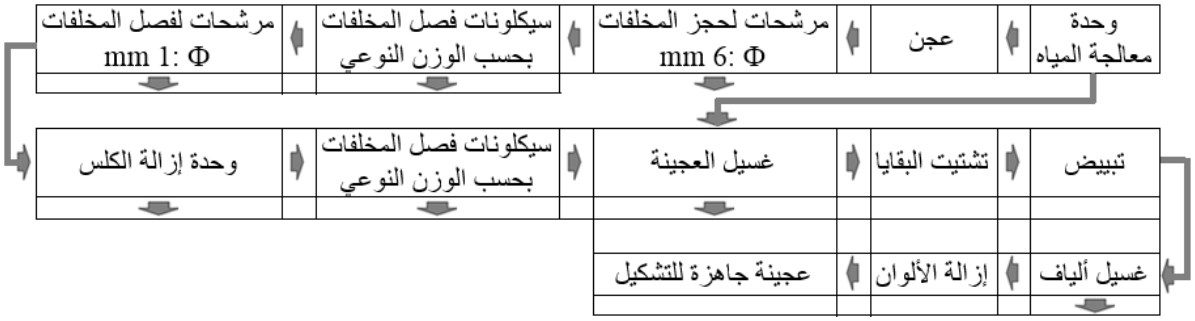
نماذج من أنواع الأوساخ المرافقة للنفايات

والهدف الأساسي من عمليات التدوير الحصول على الألياف السيليلوزية نقية خالية من جميع الشوائب التي قد ترافقها سواءً من مراحل التصنيع أو بالتجميع والتخزين. وتعتبر معظم الأوساخ التي أوردناها غير حلولة بالماء كحال السيليلوز، وبالتالي تتطلب تقنيات عالية الأداء لفصلها.

٣-٣-١- عجينة الورق غير المبيضة:



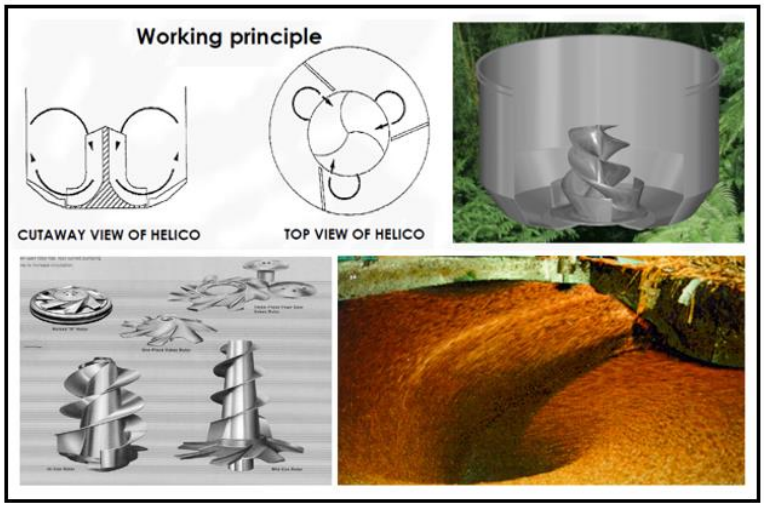
٣-٣-٢- عجينة مبيضة:



العجن: يتم العجن بكثافة عالية (١٥%) بسبب الاحتكاك العالي وعدم التجزئة:

٣-٣- تدوير الورق: يتم أثناء عملية العجن نزع الأحبار بأكبر أقطار وكميات ممكنة، وكذلك الحال بالنسبة للبلاستيك والخرزات، كما تتحرر الصموغ، مما يؤدي لتراجع ارتباط الألياف فيما بينها، والتي تعتمد على إضافة مواد مقاومة للبلل يمكنها تشكيل طبقات بلاستيكية ترفع من ترابط الألياف، لذا تتم معالجة العجينة على الشكل:

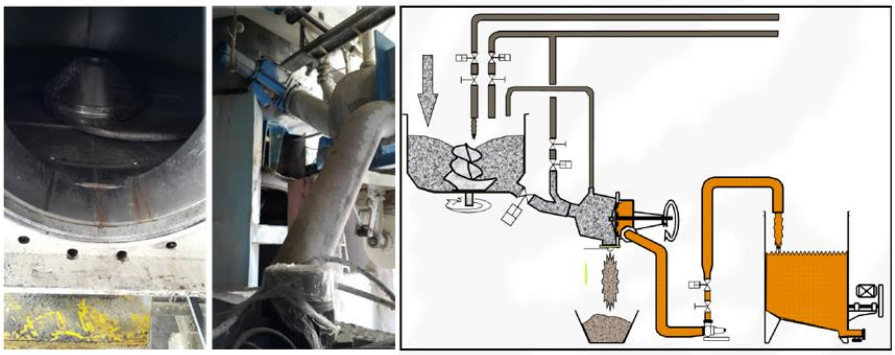
- رفع درجة الحرارة حتى ٦٠°م.
- إضافة هيدروكسيد الصوديوم حتى pH: 12 لتنتبج الألياف السيليلوزية وبالتالي تختفي ثناياها مما يسهل إزلة الأحبار، علاوة عن تكسر الطبقة البلاستيكية المقاومة للبلل بتكسر روابطها بالوسط القلوي.
- إضافة الماء الأكسجيني لقصر الألياف السيليلوزية وبالتالي رفع درجة البياض.
- إضافة سيليكات الصوديوم كمثبت لضبط آلية وسرعة تفكك الماء الأكسجيني.



ترتبط الأحبار بروابط كهربائية بالألياف اليليلوزية، ومع ازدياد زمن العجن عن الحد الأعظمي ستصير الأحبار العائدة من هجرتها من الألياف للارتباط بها مجدداً أكبر.

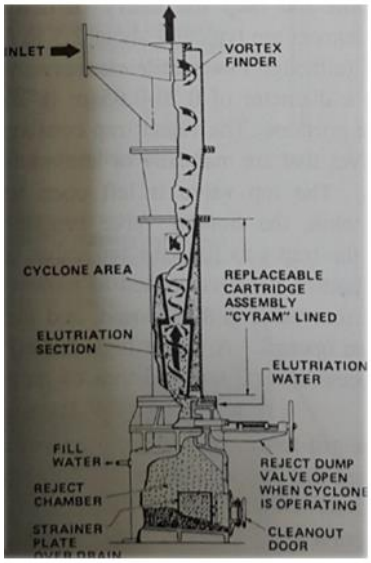
التصفية الأولية: مصفاة مثقبة بثقوب بحدود Φ :6 mm عند مرور العجين من خلالها بعد إنهاء عملية العجن إلى خزان التجميع، ليتم حجز الشوائب الأكبر قطراً.

وتبدأ عملية غسيل العجينة بعد طرح المخلفات المحجوزة وتفرغ وتغسل لاستقبال دفعة جديدة من العجينة. وترافق عملية تفريغ العجينة تمديدها بالماء لخفض كثافتها حتى ٥% ليصار إلى الاعتماد على مضخاتٍ أرخص سعراً من تلك المضخات المهيأة لنقل العجائن العالية الكثافة واللزوجة.



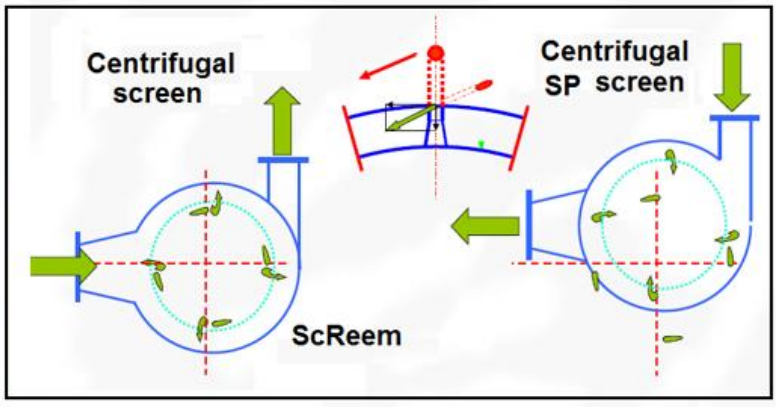
السيكلون (المرشح الإعصاري): تستخدم السيكليونات لفصل المواد العالية الوزن النوعي والأكبر من السيليلوز، ويتم فيها فصل المعادن والحجارة، ويتم تجميع الأوساخ في حجرة تنظيف خاصة بشكل دوري عند امتلائها.

وتعتمد على دخول الماء من الأسفل والأعلى بطريقة دوامية، ما يسبب تشكل إعصار بسبب سرعات الدوران العالية يتسبب بترسب المواد العالية الوزن النوعي لتخرج العجينة النقية من مخرج خاص:



المصفاة الدقيقة: مصفاة ذات أقطار ثقوب دقيقة (بحدود 1.6 mm) بما يسمح بمرور السيليلوز والأحبار والأتربة الناعمة وقطع البلاستيك الدقيقة.

ويفترض أن تسمح هذه المصفاة بمرور السيليلوز لمصفاةٍ أخرى ذات شقوق تتسبب بسرعات مرور دون الأولى بحيث تتمكن من حجز بعض الأوساخ. وفي حين يستعاد السيليلوز لتحويله لخط الإنتاج، يتم تجميع المقبول من المصفاتين لتدخل مرحلة التعويم بإضافة مولدات الرغوة. مثل بعض أصناف الصابون Soap والعوامل الفعالة سطحياً من المنظفات Detergent ذوات أطوال سلاسل دون المستخدمة منزلياً كي تتولد فقاعات أصغر قطراً وحجماً، وتعمل هذه المواد على إزالة الارتباط بين الألياف والحبر.



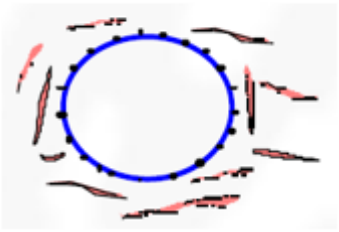
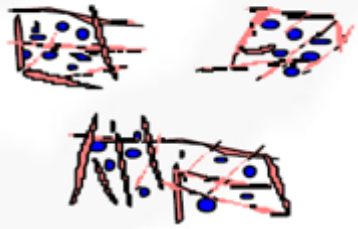
وحدة إزالة الأحبار: حجرة عند مدخل سائل العجينة الممدد (حيث تصل الكثافة حتى ١%)، يتم فيها ضخ الهواء بوجود الصابون والمنظفات لتتشكل فقاعات صغيرة قادرة على حمل جزيئات الحبر وبعض الألياف السيليلوزية.

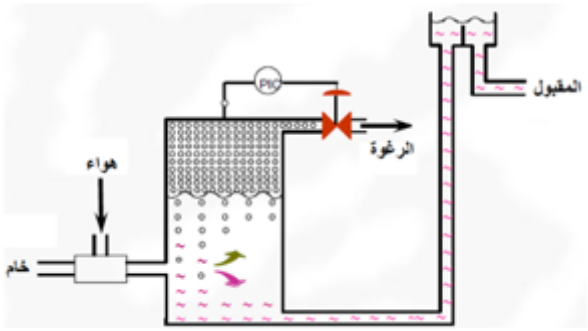
هدف خفض الكثافة:

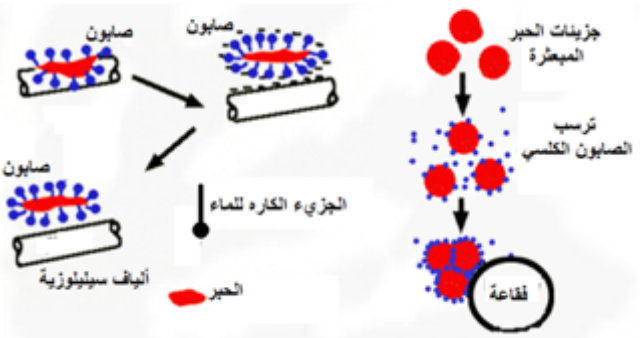
١. إفساح المجال لتشكل الفقاعات.

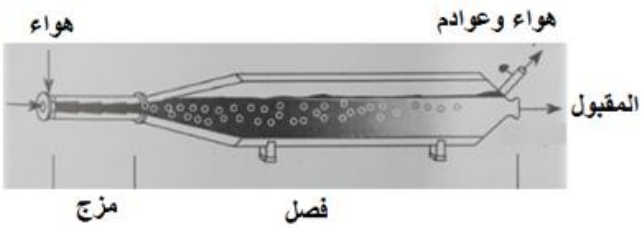
٢. منح الفقاعات حرية الحركة.

وتتم إزالة القسم الأكبر من الحبر في هذه المرحلة إضافة لبعض الكلس (Ash). ويبقى جزء من الألياف السيليلوزية متابعاً رحلته. ويتم تجميع منتجات وحدة إزالة الأحبار في خزان تجميع السيليلوز للإقلال من الهدر.

	تعويم عادي	تعويم ميكروي
		
AIM:	Elimination of ink particles & stickies from fibers. Selective fixing / Flotation	Clarifioation of process water
Consistency:	8 to 15 g/lit	2-5 g/lit
Air %:	200 to 250 %	1.5 to 3%
Chemistry:	Soap & Surfactants	Coogulant & Flocculant







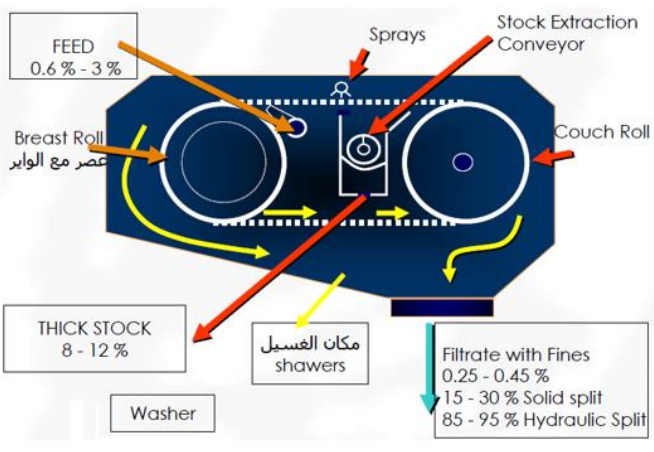
ماكسيل

مرحلة التصفية ما قبل النهائية: تمر العجينة على مجموعة من المرشحات الإعصارية (السيكلونات) بكثافة منخفضة بهدف إزالة الأتربة ومعظم الكلس (Ash).

التصفية النهائية الدقيقة: تمرر العجينة المصفاة والقادمة من المرحلة السابقة على مصفاةٍ غاية في الدقة بفتحاتٍ طولية بعرض 0.18 mm فيتم حجز أغلب الشوائب والأوساخ المرافقة.

ملاحظة: تعتمد طابعات الحواسب (Leaser print) على أحبار تتوضع على الألياف السيليلوزية عند درجات حرارة عالية أثناء عملية الطباعة، ما يؤدي لاحتراق أجزاء من الألياف المطبوعة، ولا يمكننا التخلص من هذه النقاط السوداء في وحدة نزع الأحبار كونها جزء من الألياف المحترقة.

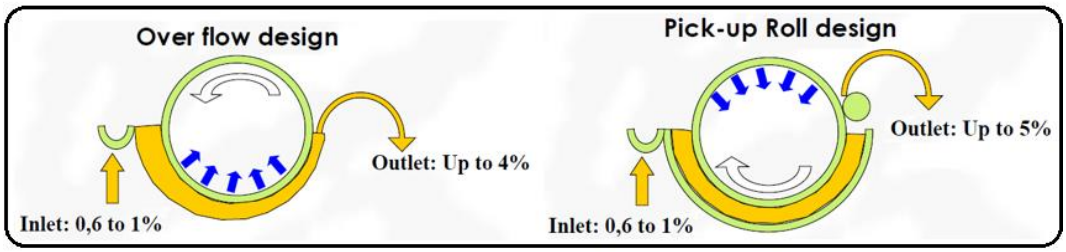
مرحلة الغسيل: يتم ضخ العجينة على آلة تشبه آلة الورق، فيتجمع السيليلوز بين سير ناقل بلاستيكي مثقب بثقوب ميكروية تسمح بمرور الماء دون السيليلوز، تتبعها أسطوانات عصير، ويسلط عليها مرشات مائية لغسيل العجينة المتجمعة، ومن ثم يتم فصل الماء بالقوة النابذة ليحمل معه بعضاً من بواقي الأحبار والكلس المتبقيان، فترتفع الكثافة في هذه الحالة حتى ٣٠%، فتنقل عبر الناقل الحلزوني إلى المطحنة لتفتيت بقايا الحبر إلى أجزاءٍ صغيرة جداً تكاد تكون غير مرئية بالعين المجردة، وترفع درجات حرارتها في النواقل الحلزونية حتى ١٢٠°م لتسهيل عملية التبييض.



التبييض: تنقل العجينة بعد خروجها من المشتت بناقل حلزوني إلى خزان التبييض، فيضاف الماء الأكسجيني H_2O_2 لرفع درجة البياض مع سيليكات الصوديوم التي تعمل مثبتاً لضبط سرعة وتوجه تفكك الماء الأكسجيني، فترتفع درجة البياض من ٥٥% حتى ٧٠%.

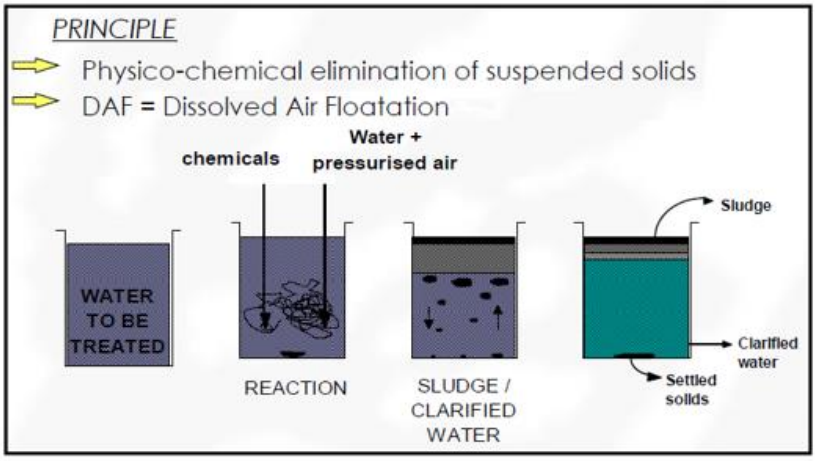
مرحلة الغسيل النهائية Alrum filter: تخرج العجينة من خزان التبييض بكثافة ٢٢% تقريباً، ويتم خفضها حتى ١% لتُضَخ لأسطوانة (سلندر) مثبت عليها شبك معدني دقيق، وتسلط عليها مرذذات ماء نظيف لغسل العجينة وإزالة أكبر كمية من بواقي الأحبار، وترتفع الكثافة بنهاية هذه العملية حتى ٤%، فترسل لخزان تجميع العجينة الجاهزة، ويتم ضخ مواد مرجعة مثل بيسلفيت الصوديوم لإزالة أي تلون للألياف السيليلوزية التي قد تتواجد في المواد الأولية. ويُعدَّل وسط العجينة (pH: 7) أثناء تطبيق عملية الغسيل.

ويعود السبب في تراجع درجة البياض عند إضافة الماء الأكسجيني لوجود جزيئات حبر دقيقة في مياه التصنيع، والتي تلتصق مرة أخرى بالألياف السيليلوزية. ويتم استخدام العجينة الجاهزة في آلة التصنيع بإرسالها لخزان العجينة المزود لآلة تشكيل الورق.



خزان تبييض نزع الألوان Airum filter

٣-٤- وحدة معالجة المياه: تعتمد هذه الوحدة على DAF لتقليل المياه المستخدمة في عمليات المعالجة. حيث يتم تخليص من جزء كبير من الأحبار والشوارد المعدنية والكلس، وليعاد استخدامه من جديد في عمليات الإنتاج.



٤- الجانب البيئي

يتم إنشاء وحدة مستقلة لمعالجة المياه بأحد جوانب المعمل بهدف معالجة جميع المياه المطروحة من عمليات الإنتاج، والتي لم تعالج بوحدات معالجة المياه المرتبطة بخطوط الإنتاج. ولطرح مياه عادمة تتوافق مع المواصفات البيئية حتى لا يكون لصناعة الورق أو إعادة تدويره آثار ضارة بالصحة العامة.

يتم تجميع المياه في خزان خاص لترسل لمصافي ومرشحات دقيقة جداً، وليضاف لها مركبات البولي الكتروليت كمعادل لشحنات الألياف المبعثرة بالماء، وجزيئات الأحبار وبعض المخثرات لتجميعها.

افتتاح الدورة رسمياً: رئيس قسم الكيمياء الأستاذ الدكتور محمد جمال الخطيب
ونائب رئيس الجمعية الكيميائية السورية الأستاذة الدكتورة ملك الجبة

الدكتور جمال قنبرية والمحاضرة الافتتاحية

جانب من حضور افتتاح الدورة

الدورة من قاعة السيمينار في قسم الكيمياء