مقارنة بين فاصل الجريان العابر والفواصل التقليدية

أ. فوزي أبوعجيلة شهران، أ. زياد حسن سلمان
قسم الهندسة المدنية – كلية الهندسة
جامعة المرقب

الملخص:

تهدف هذه الدراسة للمقارنة بين أداء وكفاءه الفواصل الهيدروليكية التقليدية والفواصل الحديثة من نوع الجريان العابر ورفع الانتاجية وخفض التكلفة. تستخدم الفواصل الهيدروليكية عادة للتصنيف الحجمي للجسيمات وللتركيز بالجاذبية للمعادن والفحم، حيث تعتمد طريقة الفصل على السقوط الحر للجسيمات في وعاء يسمى (Teeter – chamber) يوجد به تيار مائي صاعد من أسفل الجهاز وبسرعة ثابتة، وعندما تسقط فيه الجسيمات ونتيجة للاختلاف في الكثافات والحجم فإنها تكون بسرعات مختلفة، وتضبط سرعة الماء بحيث تكون وسطية بين سرعات الجسيمات، والجسيم الذي تكون له سرعة أعلى من سرعة الماء فإنه يستقر إلى أسفل،

بينما الجسيمات التي لها سرعة أقل من تيارالماء الصاعد فإنها تخرج مع الماء من أعلى الجهاز على شكل طافٍ، لسوء الحظ، فإن كفاءة هذه العمليات ضعيفة بسبب فقر تصميم المعدات، وللتغيرات الناشئة من محتويات التغذية، للمساعدة في التغلب على هذه المشاكل ثم الاستعانة ببرامج صناعية لتطوير جيل جديدٍ من الفواصل الهيدروليكية التي تكون أكثر كفاءة وأقل تكلفة من ناحية التشغيل والصيانة، وأكثر أنواع المتخذ بهذا الصدد والموعود به هو الفاصل ذو الجريان العابر، الذي تم الآن اختباره في المواقع الصناعية. البيانات المتحصل عليها تم استخدامها لتوضيح التحسينات في الأداء الكامن الذي يمكن إدراكه من خلال التطبيق العملي لهذا الفاصل العالي الكفاءة.

مقدمة:

تصنيف الأحجام الهيدروليكي: الفواصل الهيدروليكية تستخدم بكثرة في معالجة المعادن صناعيًا لغرض تصنيف الجسيمات الدقيقة اعتمادًا على الحجم والشكل والكثافة بالرغم من وجود أنواع كثيرة من الأجهزة . ولكن من الأجهزة التي نالت شهرة واسعة في السنوات الأخيرة هو الفاصل الهيدروليكي ذو الطبقة العالقة (Teeter - bed) ، والتصميم التقليدي له يحتوي على وعاء بقمة مفتوحة يتوارد إليه الماء النقي من خلال سلسلة من أنابيب التوزيع المتباعدة بعضها عن البعض بفتحات متساوية وعبر قاعدة الخلية، خلال العملية يتم ضخ الجسيمات الصلبة من الجزء العلوي من الفاصل حيث تبدأ الجسيمات في الاستقرار إلى القاع، الجريان الصاعد من الماء النقي (تيار الماء الصاعد) سيكون طبقة عالقة من الجسيمات، الفترات الفاصلة الصغيرة من خلال الطبقة ستكون سرعات السائل المتذبذبة العالية التي ستتحمل اختراق الجزيئات المستقرة الصغيرة وكنتيجة لذلك فإن الجسيمات الخفيفة الصغيرة ستتجمع في القسم العلوي من

الفاصل وسيتم حملها وبشكل مرئي فوق قمة الجهاز إلى عملية الغسيل، أما الجسيمات الثقيلة والكبيرة والتي تسقط بمعدل أسرع من جريان التيار الصاعد للماء المرتفع بشكل واضح فتمر من خلال الطبقة العالقة التي يتم تصريفها إلى أسفل عن طريق فتحة سفلية[1].

الدراسات الهيدروليكية تشير إلى أن ظروف الجريان الهادئ غير الهائج يجب تواجدها في الفاصل ذي الطبقة العالقة لإدامة الكفاءة العالية، وجود الاضطراب أو التغيرات في ظروف الجريان ممكن أن ينتج عنها اختلاف مواقع الجسيمات غير المحبذة (تداخل في المسارات بين الجسيمات الصغيرة والكبيرة) ، وعلى أثر ذلك سيحدث نقص في كفاءة الفصل. لسوء الحظ، فإن الفواصل الحالية الهيدروليكية تستخدم نظام الحقن في التغذية الذي فيه يتم التوزيع المباشر إلى حجرة الفصل الرئيسية، هذه الأنظمة النموذجية البسيطة للتغذية تحتوي على أنبوب رأسي ينتهي تقريبًا في ثلث المسافة في جسم الفاصل الرئيسي [2].

أنبوب التصريف عادة ما يكون مزود بصفيحة توزيع لتوقف سرعة الجريان ولتخترق التغذية أو التوريد. ولكن هذا سيؤدي إلى إحداث الاضطراب من خلال الفاصل ومن شأنه أن يضر بكفاءة الفصل، وهناك مشكلة أخرى مع نظام التغذية بالحقن هو عدم الاستمرارية في سرعة الجريان والذي يتولد بسبب الماء الإضافي الذي يدخل مع تغذية الجسيمات الصلبة ويعزي سببه للجريان الفائض تحت نقطة التغذية، إن معدل جريان الماء سيحدث حتمًا فقط بواسطة معدل جريان الماء المسال (fluidization)، هذه الحالة هي مفضلة؛ لأنها تسمح للمُشغل بأن يتحكم بشكل دقيق بعملية الفصل للحجم بواسطة التعديل لمعدل جريان التسييل (fluidization)، بالرغم من أنه يكون أعلى من نقطة التغذية بالحقن، فإن معدل الجريان هو مجموع كل من مياه التغذية ومعدلات الجريان للمياه (fluidization) وكنتيجة لذلك، فإن سرعة المياه الصاعدة الكلية ستكون أعلى من نقطة التغذية بالحقن، وعند معدلات التغذية العالية سيكون

حجم الماء الداخل مع تغذية (slurry) أكبر من حجم الجريان للمياه المتميعة، وإن عدم الاستمرارية المتولدة من مياه التغذية غالبًا ما تنتج عنها مواجهة ثانوية من الأجزاء الصلبة المتميعة، التي تختلف بشكل غير قابل للتحكم طالما المحتوى من الجسيمات الصلبة للتغذية سيكون متغيرًا أيضًا.

إن الجريان المتزايد المتغير سيؤثر تأثيرًا شديدًا في أداء الفصل بواسطة زيادة في نقطة الفصل وانخفاض الكفاءة (سيزيد من الجسيمات الوسطية) ويحدد من سعة. صيانة المعدات هو أيضًا يعتبر موضوعًا مهم في تصميم الفاصل الهيدروليكي. في تصاميم جهاز الفصل بالطبقة العالقة تستخدم سلسلة من الأنابيب الفرعية الموجودة في قاعدة منطقة الفصل، هذه الأنابيب يتم تعرجها بفترات منتظمة مع عدد كبير من الثقوب الصغيرة الأقطار، والمياه النقية يتم حقنها من خلال هذه الثقوب، وفوق المقطع العرضي الكامل للفاصل [2].

معدلات جريان الماء الكبيرة المشتركة مع أقطار الثقب الصغيرة للحقن ستترك الجهاز وتكون معرضة للانسداد أو الانغلاق بسبب الملوثات المتواجدة في ماء التشغيل، وعندما تصبح عدة فتحات مغلقة فإن منطقة ميتة ستحدث في حجرة التمييع ناتجة عنها خسارة في الأداء في هذه المساحة بالذات، كنتيجة لذلك فإن الفواصل ذات الطبقة العالقة ستمتلك جريان تصميم ملازم والذي سيحدد كلا من السعة والكفاءة للفاصل.

تركيز الكثافة الهيدروليكية (Hydraulic density concentration)

إضافة إلى تطبيقات تحديد أحجام الجسيمات فإن فواصل الطبقة –العالقة (teeter-bed) هي أيضا مستخدمة بكثرة لتفصل المعادن المختلفة القائمة أساسا على الاختلافات في كثافة الجسيمات، في هذه الحالة، فإن الجسيمات العالية الكثافة ستستقر ضد التيار الصاعد من الماء

ستنشئ طبقة من الجسيمات العالقة والمفصولة والمميزة استنادا للكتلة، هذه الطبقة من الجسيمات ستكون لها كثافة واضحة أكثر وأعلى بكثير من المياه النقية؛ لأن سرعة استقرار الجسيمة ستكون مسحوبة بواسطة الفرق بالكثافة ما بين الطور السائل والصلب (الكثافة المؤثرة)، سرعة الاستقرار للجسيم تنخفض بالزيادة في الكثافة الظاهرة للطبقة–العالقة، هذه الكثافة الصناعية ستفرض قوة على الجسيمات المنخفضة الكثافة وتسبب لها الجريان الفائض في الفاصل، بينما الجسيمات العالية الكثافة ستسبب الجريان الهابط [5].

هناك بعض الأمثلة المعروفة لتطبيقات الطبقة –العالقة القائم على أساس الكثافة، ويتضمن فصل الفحم عن الصخر وفصل السيليكا (الرمل) عن خام الحديد أو السيليكا عن المعادن الثقيلة المختلفة (الزركون)، وهذه البيانات تشير إلى أن التركيز الكفؤ ممكن تنفيذه فقط إذا كانت الجسيمات في مدى من الأحجام 0.074 مم وحتى عدد مليمترات، وإذا كانت نسبة حجم الجسيمات (هي النسبة بين أكبر وأصغر حجم) فهي أقل تقريبًا من (4:1) عمليًا، فإن الجسيمات الخفيفة والكبيرة سوف تميل للتجمع عند السطح من الطبقة –العالقة؛ لأن سرعة المياه سوف تكون غير كافية لتنقل هذه الجسيمات الكبيرة إلى حوض الغسيل المائي والجريان الفائض، وستستمر الجسيمات الكبيرة لتتجمع عند سطح الطبقة –العالقة حتى تجبر الكتلة فعلها عليهم في الطبقة–العالقة، بينما هم وبشكل واضح سيتعرضون لتغيير المواقع الواضح في الناتج العالي–الكثافة، هذا سيديم عدم الكفاءة التي يُمكن تصحيحها جزئيًا بواسطة زيادة سرعة المياه النقية لتجبر الجسيمات الصلبة الرديئة بالاتجاه إلى ناتج الجريان الفائض. إن وهذا الفعل هو ضار لعملية التصنيف؛ لأنه يسبب في جريان الجسيمات الصلبة العالية الكثافة والصغيرة إلى المصّول المائي ذو الجريان الفائض، وبسبب هذه المعطيات القصيرة، فإن كفاءة الفصل المحصلة والمستخدمة للفواصل الطبقة–العالقة هي غالبًا ما تعتبر ضعيفة حسب القياسات الصناعية، وفي

حالات كثيرة فإن المكون القيم يتم إعادة تشغيله في دوائر الصقل للحصول على جودة المنتج المطلوبة، والمشكلة هي أن أجهزة الفصل الطبقة –العالقة تكون غير فعالة بشكل ملازم عند استخدامها في معاملة الجسيمات التي لها توزيع حجمي واسع من الأحجام أو توزيع ضيق من الكثافة.

الفواصل الهيدروليكية الجديدة (New hydraulic separators):

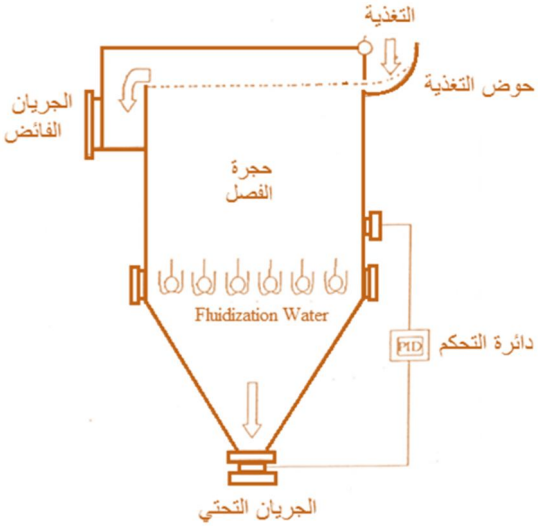
من المناقشة السابقة، أصبح واضحًا بأن تحسينات التصميم هي المطلوبة لتصحيح عدم الكفاءات ذات العلاقة مع الفواصل الهيدروليكية التقليدية، كاستجابة لذلك تم استحداث جيل جديد من فواصل الطبقة–العالقة، حيث إن هذه التقنيات الحديثة والمعروفة حاليًا بالمصنف الجريان العابر (CrossFlow Separator)، لها تصميم نادر لتحسين أداء عمليات الفصل (كفاءة الفصل الانتاجية) ولتخفيض تكاليف التشغيل (استهلاك القدرة، استخدام الماء وكميات المضفات)[3].

فاصل الجريان العابر(Cross Flow Separator):

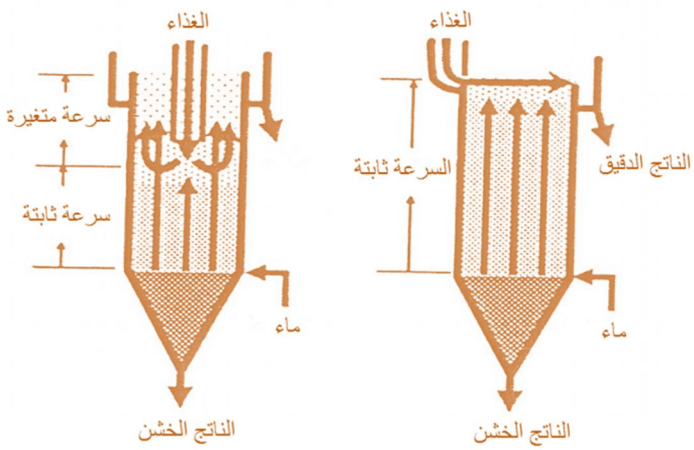
الشكل(1) يوضح لنا مخطط مصنف الجريان العابر، وعند مقارنته مع المصنف الهيدروليكي التقليدي، نلاحظ أن تصميم فاصل الجريان العابر يستخدم نظام تسليم للتغذية محسن الذي يقدم وبعناية التغذية عبر القمة من الفاصل وعلى نقيض الحقن للغذاء، وعند سرعة عالية وبشكل مباشر في الطبقة–لعالقة، وكما تم ذكره سابقًا، فإن كمية التغذية العالية ستصنع خليطًا هائجًا أو مضطربا له صدم ضار على أداء الفاصل، في نظام تسليم التغذية الجديد تكون سرعة التغذية مخفضة باستخدام صندوق التحويل أو الانتقال، إن الهدف من هذا الصندوق هو لتحقيق أمرين، أولهما: هو أن صندوق الانتقال يزيد من مساحة الجريان وعلى عرض كامل من الفاصل وهذا ما يقلل من سرعة الغذاء والاضطربات إلى الحد الأدنى، الأمر الثاني هو المظهر

الفريد في قابليته أي الصندوق للتغذية المماسية للفاصل، إن الحوض الذي يقع عند القمة من الفاصل يمرر وبنعومة التغذية العابر أفقيًا والى المصول المائي للفصل ذي الجريان الفائض، وعند المقارنة مع الأنظمة التقليدية، فإن نظام تقديم التغذية يضمن بأن التغييرات في التغذية تكون بخواص، على سبيل المثال المحتوى من الجسيمات الصلبة، بحيث لا تؤدي إلى صدام أو إلحاق الضرر بكفاءة الفاصل. في الجريان العابر فإن سرعة المياه الصاعدة تبقى ثانية عند خروجها من حجرة الفاصل في كل الأوقات، بينما تكون السرعة في مصنف تقليدي بشكل عام متزايدة أعلى من نقطة إضافة التغذية كما في الشكل(2)، حيث يتم وضع صفيحة غاطسة عند نهاية التصريف من مقدم التغذية لمنع التدوير للجسيمات الصلبة مباشرة إلى المصول المائي ذي الجريان الفائض، وهناك ميزة أخرى في التصميم مصنف الجريان العابر هو نظام توزيع الماء المحسن، والشيء الجديد المتطور هو دمج صفيحة لتوزيع الماء عبر قاعدة الفاصل، في هذا التصميم سيتم إمرار الماء عبر الصفيحة وخلال سلسلة من الثقوب ذات الأقطار الكبيرة (أكبر من 12.5 مم) مع أنه لا يحبذ وجود مثل هذه الفواصل ولكن هذه الفتحات تقع على فترات متباعدة (نموذجيًا أكبر من 150 مم) وتخدم ببساطة لإمرار الماء، بينما تتم عملية إنتشار الماء بواسطة الصفيحة الحاجزة هذه [4].

إن هذا التطوير يَحِدْ من المشاكل ذات العلاقة بانسداد أنبوب التوزيع، إن الاستخدام المشترك لنظام حقن التغذية المحسن ونظام توزيع المياه المبسط يجعله ممكنا لزيادة كفاءة الفصل وسعة الانتاجية بينما يحدد من المشاكل الميكانيكية ذات العلاقة مع التصميمات التقليدية، وبسبب سعة الانتاجية العالية فإن متطلبات التشغيل لوحدات القدرة ستكون أقل، واستهلاك المياه أيضًا والصيانة ستكون أقل أيضا لطريقة الجريان العابر عند العمل مع الطن الواحد من المادة المركزة.



شكل (1) مخطط توضيحي لجهاز تصنيف الجريان العابر



أ – الجريان العابر ب– المصنف التقليدي

شكل(2) سرعات جريان المياه عند المصنفات (الفواصل)

اختبارات الجريان العابر (Cross flow testing)

أولاً: اختبارات المقياس – الدليل (Pilot – scale tests)

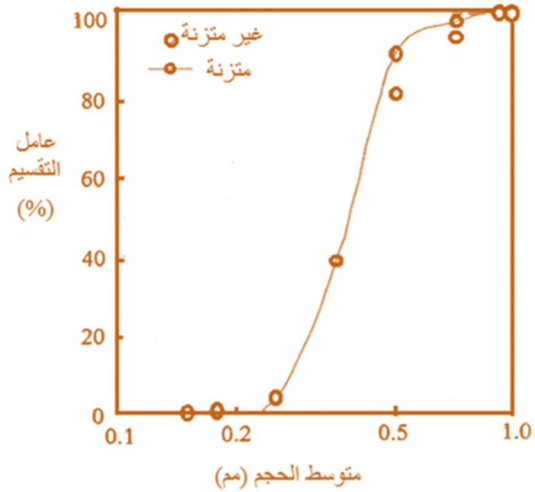
تم إجراء برنامج اختبار على الموقع وفي منشأة صناعية للفوسفات لتقييم المنافع الكامنة للفاصل ذي الجريان العابر في تصنيف الجسيمات وتم تركيب وحدة مقياس– الدليل 0.6×0.6 م لغرض التقسيم لمنشأة التغذية 150×16 مش لدوائر الطفو الموجودة في تصنيفات للأحجام المتقاربة [3].

اختبارات المقارنة كانت منفذة باستخدام مصنف تقليدي من المقياس–الدليل بحيث يمكن إجراء التحسينات في أداء الأحجام وتصنيفها وتمديها، الجدول(1)، يعطينا مختصرا لظروف التشغيل التي تم اختبارها في كل مصنف لكل اختبار تم تجميع عينات من التغذية وللجريان الفائض والجريان التحتي، العينات أجري عليها تحليل منخلي وكانت النتائج كتلة متوازنة مستخدمة طريقة مجموع التربيعات (Sum-of-least-Squares)، البيانات للكتلة المتوازنة بشكل فقير وتعتبر غير واقعية ومحددة من التحليل [4].

جدول (1) ظروف اختبار المقياس– الدليل للجريان العابر.

متغير الاختبار	التقليدي	الجريان العابر
معدل التغذية (طن لكل ساعة/قدم^2)	9–2	7–1
النسبة المادة الصلبة (%)	40–15	50–15
معدل جريان الماء (جم/دقيقة)	190	90–40

إن بيانات الكتلة المتوازنة تم استخدامها لغرض إنشاء منحنيات التقسيم، الشكل(4) يوضح مثالا على منحى التقسيم المتحصل عليه باستخدام الفاصل ذي الجريان العابر.



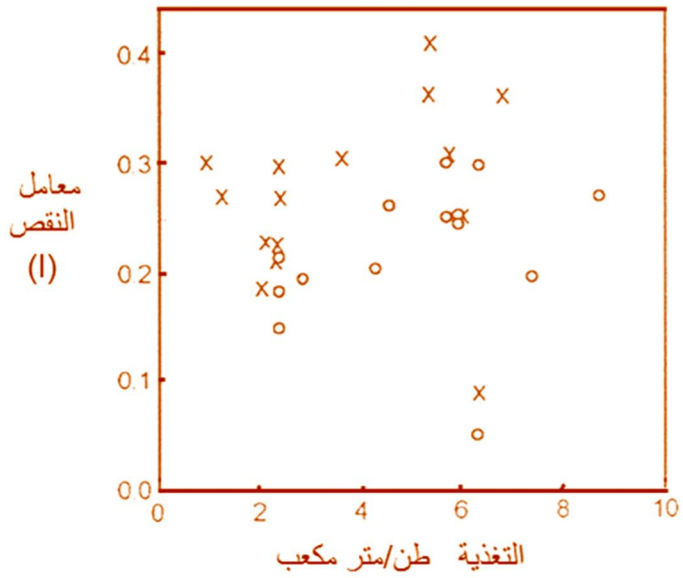
شكل(4) منحنى التقسيم للجريان العابر.

إن رقم التقسيم يمثل الكمية المسترجعة من المواد الصلبة إلى الغذاء في الجيران التحتي (الفوق القياسي) للناتج لكل صنف حجمي، منحنيات التقسيم استخدمت لحساب النقص (I) لكل اختبار، إن النقص هو رقم بلا وحدات (أبعاد) يستخدم بشكل معروف لحساب كفاءة عملية التصنيف الحجمي الكمي، الرقم الأخفض يمثل منحنيًا أفضل وفصل أفضل، بينما الخط الرأسي يمثل الفصل التام، يتم حساب النقص I من المعادلة التالية [2]:

$$I = \frac{(d_{75} - d_{25})}{2d_{50}} \qquad (1)$$

حيث إن d_{25} ، d_{50} ، d_{75} هم أحجام الجسيمات على التوافق لعوامل التقسيم للنسب 25%، 50% ، 75% على التوالي.

باستخدام هذه الغاية فإن نتائج الاختبار تم تحليلها لمقارنة الأداء لكل فاصل. هذه النتـــائج التي تم مقارنتها في الشكل (5) يوضح النقص لكل وحدة كدالة لمعدل التغذية الجافة.



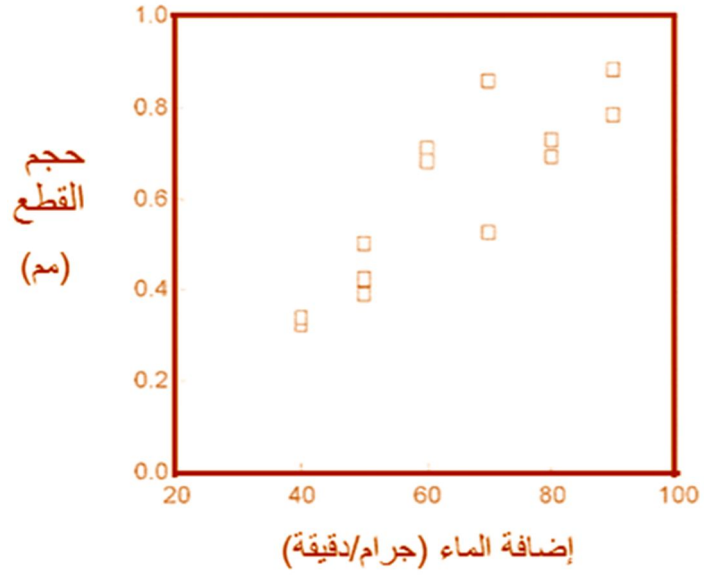
شكل (5) محنى يوضح النقص مقابل معدل تغذية الأجسام الصلبة السطحية

نتائج الاختبار تشير إلى أن وحدة الجريان العابر محتويا ومنجزا لمعدل أعلى من الكفاءة (نقص أقل).

ومن نتائج الاختبار أن الكفاءة المنخفضة مرتبطة مع المصنف التقليدي كانت بســبب أن الجسيمات الوسطية تتحرك مع الفائض مع الضخ العالي والمضطرب في الجــزء العلــوي مــن الفاصل التقليدي، من ناحية أخرى فإن الفاصل ذي المهد التــوقفي للجريــان العــابر المتــزاحم الجسيمات يديم مناطق جريان طبقي منتظم وبحيث إن كمية الجسيمات الوسطية تم تقليلها.

إنه من المهم ملاحظة التصميم الفريد من نوعه للجريان العابر بأنه يجعله ممكنا للتحكم بدقة في حجم الجسيمات وحجم قطعها (إن حجم القطع يعرف على أنه حجم الجسيمات الموافقة ل 50% على منحني التقسيم وتعتبر بذلك بأنها حجم الفصل للاختبار المعطى).

من المذكور أعلاه فإن التغيرات في خواص التغذية (مثل محتوى الجسيمات الصلبة) سوف لا تؤثر في حجم القطع طالما إن سرعة الماء الصاعد تبقى ثابتة خلال الخروج من الوحدة، كنتيجة لذلك فإن حجم أو قياس القطع للحجم سيتم السيطرة عليه بشكل مضمون بواسطة معدل جريان الماء الصاعد، بالواقع فإن البيانات في الشكل(6)، تعطي علاقة خطية تقريبا وموجودة ما بين معدل الجريان وحجم قطع الجسيمات كنتيجة وعند تعديل الحجم على الخط من منتجات الجريان الفائض والجريان التحتي ممكن التنفيذ من خلال التحكم البسيط في جريان الماء لمصنف الجريان العابر[1].



شكل(6) العلاقة بين قياس القطع مقابل معدل الماء المتميع

ثانيًا: اختبارات المقياس الكامل (Full-scale tests)

على ضوء النتائج المشجعة المتحصل عليها باستخدام مقياس – كامل للجريان العابر في المنشأة الصناعية المستفيدة، كان مصلحا باستخدام نظام التغذية بالجريان العابر، النتائج المتحصل عليها من الوحدة تم مقارنتها مع تلك النتائج المحصل عليها من المصنفات ذات المقياس الكامل التقليدية التي تعمل بالتوازي مع نظام الجريان العابر عند المنشأة بسبب التقلبات في التغذية لوحدة الطن (أي بالطن) للمنشأة، إن نتائج الاختبار أخبرت عن معدل من سبعة مجموعات من التجارب المتواصلة على العديد من الأجسام الصلبة الجافة بمعدلات تغذية من 1.15 وحتى 1.63 طن/ ساعة (دورة)، في كل اختبار هناك عينات ممثلة من للتغذية للفرق القياسي وتحت القياسي من الأجسام الصلبة التي تم تجميعها ووضعها لتحليل التصفية، بيانات الحجم المتحصل عليها الناتجة تم استخدامها لإنشاء منحنيات التقسيم لكل من وحدات الجريان العابر والتقليدي، وإن نقاط البيانات سوف يتم تطبيقها باستخدام التقسيم التجريبية في الدالة المعطاة [3]:

$$p = \frac{\exp\{\alpha\,(d / d_{50})\} - 1}{\exp\{\alpha\,(d / d_{50})\} - \exp\{\alpha\} - 2} \qquad (1)\,(2)$$

حيث:

P : عامل التقسيم

D : حجم الجسيمات

d_{50} : هو نقطة قطع قياس الجزئية (المعرفة عند p=50%)

α : هو العامل الذي يعكس الحدة (sharpness) لفصل القياس (المعرف بالميل عند p=50%).

نلاحظ بأنه عند وجود قيمة كبيرة من α سيؤثر ذلك إلى الحدة الأكثر (أكثر كفاءة) في حصل قياس الجزئية، النتائج العائدة للمقارنة للجانب بالجانب لكل من مصنفات الجريان العابر والتقليدي تم ارفاقها في الجدول(2) حيث توضح بيانات الاختبار بأن الجريان العابر يخفض من قياس القطع للجزئية من 729 ميكرون إلى 362 ميكرون، بينما يبقى أو يديم على تغذية المار في نفس الوقت فإن الجريان العابر جزئيًا قد حسن من كفاءة وضع القياسات (α كانت قد ازدادت من 3.4 وحتى8.1) في الواقع فإن كمية الأجسام الصلبة الخشنة المتغيرة أو المختلفة المواقع (شبكة 35 مش) في الناتج الناعم مع الجريان الفائض قد تم تخفيضها لأكثر من خمسة أضعاف من 9% وإلى 1.7%) إن هذه النتائج المذهلة توضح الأداء الأقصى لفاصل الجريان العابر في تطبيقات التصنيف الصناعي

جدول(2) مقارنة بين المصنف التقليدي والجريان العابر.

متغير الاختبار	التقليدي	الجريان العابر
حجم الجسيمات (ميكرون)	729	362
قيمة ألفا (α)	3.4	8.1
الحجم الاوسط الأكبر من 35 مش	%9	%1.7

الخلاصة:

تستخدم الفواصل الهيدروليكية في معالجة المعادن والفحم لغرض تصنيف، أو رفع محتوى الجسيمات استنادا إلى حجمها أو لشكلها أو كثافتها، والتصميمات الحالية غير كفؤة بشكل مثالي معروف، وينشأ عن ذلك فقد لمصادر المواد القيمة، كاستجابة لهذه المشكلة، تم تطوير جيل جديدٍ من الفواصل الهيدروليكية المعروفة كمصنف بالجريان العابر، وتم تطويره على

أساس المعرفة للعمليات الهندسية الأساسية للسماح لهذه التطورات في الاستخدامات الصناعية، تم اتخاذ وعمل دراسة ميدانية لإجراء تطوير أبعد لهذه التقنيات الجديدة من خلال اختبارات المقياس–الدليل المتناضر لمتغيرات التشغيل ورموز التصميم ولغرض استعراض الأداء المحسن عند المواقع الصناعية باستخدام النماذج ذات المقياس–الكامل.

إن بيانات المقياس–الدليل المتجمعة للتأرجح قد أشارت إلى أن هذه الفواصل عالية الكفاءة ممكن تحسينها فعليا لدوائر الأداء والتصنيف والتركيز، على ضوء النتائج المتحصل عليها ثم التعامل مع نماذج تقنيات الجريان العابر ذات المقياس الكامل من قبل شركات التعدين لغرض التقييم والاختبار للأفضل، إن البيانات الأولية المتحصل عليها من التقسيمات ذات المقياس–الكامل أيضا تستعرض بأن هذه التقنيات تفرض تحسينات ذات أهمية في مصطلحات الأداء الميتالورجي (استرجاع عالي وإنتاجية عالية) وتكاليف تشغيل أقل (استهلاك أقل للقدرة الكهربائية مياه العمليات والكواشف الكيميائية) عن العمليات.

المراجع:

1- *Heiskanen, K., 1993, "Particle Classification, Chapman & Hall", London, England, 321 pp.*

2- *Wills, B.A., 1997, "Mineral Processing Technology", 6th Edition, Butterworth Heinemann, Boston, Massachusetts, 486 pp.*

3-, *G.H. Luttrell and T.C.Westerfield, , 2006, "Minerals &Metallurgical Processing", p33-35*

4-*K.A. Mikkola and G. Oswald, , 2006, "Minerals &Metallurgical Processing" p37-39*

5- *E. J. Pryor, 1983, "Mineral Processing", 3rd Edition, Applied Science Publishers, London and New York.*

6- *Alexander D.J., Bilney T., and Schwarz, S. 2005, "Flotation Performance improvement at placer Dome kanowna Bella Gold Mine", proc 37th Annual Meeting of the Canadian Mineral Processing, CIM, Ottawa (Jan).*