المفاضلة بين المكورات التي تستوردها الشركة الليبية للحديد والصلب من حيث مقاومتها للضغط والاحتكاك

د. علي عبد القادر الجعراني[1] م. محمد بشير هروس[2] م. نصر الدين خليل أبو سنينة[3]
[1] قسم هندسة وعلوم المواد / كلية الهندسة – جامعة مصراتة، Ali.Aljarany@gmail.com
[2] الشركة الليبية للحديد والصلب، harrosbmohammad@gmail.com
[3] وزارة التعليم العالي والبحث العلمي. Nassry.sen@gmail.com

الملخص

في هذه الورقة البحثية تمت دراسة مقاومة الضغط والاحتكاك لمكورات أكاسيد الحديد المسماة تجاريا CVRD، SAMARCO، LKAP والتي توردها الشركة الليبية للحديد والصلب/مصراتة بمختلف أحجامها. اختبار مقاومة الاحتكاك للمكورات الخام أُجريت بالاستفادة من آلة الدوران المستحدثة من قبل المؤلفين لهذا البحث بمعامل قسم هندسة وعلوم المواد/مصراتة، أما مقاومة الضغط للمكورات الخام تحت الدراسة فقد تم تحديدها باستخدام ماكينة الضغط المتوفرة بمعامل إدارة مراقبة الجودة بالشركة الليبية للحديد والصلب. آلية تناول الجانب العملي في هذا البحث صممت لتحاكي الظروف الفعلية التي تتعرض لها المكورات الخام بالشركة.

نتائج اختبار الضغط للمكورات أظهرت أن مكورات LKAP الخام ذات مقاومة ضغط أعلى من المكورات الأخرى، تليها في ذلك مكورات CVRD وذلك لاختلاف نسبة SiO_2 في كليهما، كما أظهرت النتائج أن المكورات الخام ذات الحجم الأصغر ولكل أنواع المكورات الخام أعلى مقاومة للضغط من المكورات الأكبر حجما، وذلك بسبب انه أثناء عملية التكوير لحبيبات الخام فإن المكورات الصغيرة أقرب الي مركز البرميل الدوار، وبالتالي فإنها تتلبد بكثافة أعلى من المكورات الأكبر حجما.

النتائج المتحصل عليها في هذا البحث سوف تساهم في وضع المواصفات الجيدة للمكورات التي تستوردها الشركة الليبية للحديد والصلب/مصراتة، وكذلك في اختيار المزيج الأمثل من المكورات – من حيث الحجم

والنوع – لتكون ضمن شحنة أفران الاختزال المباشر بالشركة بطريقة ميدركس (Midrex)، بالإضافة الى تحديد ظروف التشغيل المثلى لمصانع الاختزال بها وتحسين إنتاجيتها.

الكلمات الافتتاحية: خامات الحديد، مقاومة الضغط والاحتكاك لمكورات أكاسيد الحديد، طريقة ميدركس (Midrex).

1. المقدمة:

هناك طريقتان أساسيتان لإنتاج الحديد، هما طريقة الفرن اللافح وطريقة الاختزال المباشر**[7-1]**، ويتم اختيار الطريقة المناسبة تبعا لظروف توفر الوقود المستخدم في العملية. طريقة الفرن اللافح يتم فيها استخدام فحم الكوك كوقود وعامل مختزل، وتبلغ نسبة الإنتاج بهذه الطريقة حوالي 90٪ من الإنتاج العالمي للحديد**[5, 6]**، أما طرق الاختزال المباشر فيتم فيها استخدام الغاز الطبيعي لإنتاج غازي الهيدروجين وأول أكسيد الكربون أو مزيج من هذه الغازات كعوامل مختزلة. يتم اللجوء إلى طرق الاختزال المباشر بسبب ارتفاع تكاليف الأفران اللافحة، وانخفاض مخزون فحم الكوك. إن طرق الاختزال المباشر تتميز باستهلاكها لوقود أقل بسبب القيام بتكرير الغازات الناتجة عنها**[6]**.

طريقة ميدركس (Midrex) هي إحدى طرق الاختزال المباشر وهي الطريقة المستخدمة في الشركة الليبية للحديد والصلب، حيث تتكون شحنة أفران الاختزال المباشر بها من مكورات خام مختلفة هي CVRD، SAMARCO، LKAP وتشحن سواء بصورة منفردة أو مختلطة مع بعضها البعض وبنسب مختلفة.

تكمن المشكلة الأساسية للشركة الليبية للحديد والصلب، في ارتفاع نسبة الفاقد من المكورات الخام التي تستوردها الشركة بمختلف أنواعها وأحجامها، ويرجع ذلك إلى ضعف الخواص الميكانيكية لبعض منها.

إن من أسباب ارتفاع نسبة الفاقد ايضا من مادة الخام هو وجود تباين في الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمكورات بمختلف أنواعها و أحجامها**[3, 4]**، الأمر الذي يصعب المهمة أمام مهندس الاختزال في اختيار

المزيج الأمثل من المكورات الخام من حيث النوع أو الحجم أو كليهما، وخاصة في الظروف الموحدة لعمليات الاختزال التي يصعب تغييرها في كثير من الأحيان.

تأتي أهمية هذا البحث في تحديد المزيج الأمثل من الخامات لتكون الخلطة المناسبة لشحنة أفران الاختزال المباشر بالشركة. تحديد المزيج الأمثل من الخامات للشحنة يتطلب المعرفة الجيدة للخواص الميكانيكية (مقاومة الضغط، مقاومة الاحتكاك، ....الخ) للمكورات الخام. إن معرفة الخواص الواجب توافرها للمكورات سوف يقلل من نسبة الفاقد عن المادة الخام، و بالتالي سوف يكون له الأثر الاقتصادي الكبير على الشركة، وخاصة في ظروف التشغيل الحالية التي لا يستفاد فيها كثيرا من الفاقد، بالإضافة إلى أن تقليل نسبة الفاقد سوف ينعكس إيجابيا على البيئة المحيطة من حيث تقليل التلوث الناتج من الغبار المتكون من مادة الحديد و أكاسيدها.

مما تقدم وبالنظر الى النتائج المتحصل عليها في هذا البحث فإنها سوف تساهم في وضع المواصفات الجيدة للمكورات التي توردها الشركة الليبية للحديد والصلب/مصراتة، وكذلك في اختيار المزيج الأمثل من المكورات – من حيث الحجم والنوع – لتكون ضمن شحنة أفران الاختزال المباشر بالشركة، بالإضافة الى تحديد ظروف التشغيل المثلى لمصانع الاختزال بها وتحسين إنتاجيتها.

2. خامات الحديد، خواصها وطرق تجميعها:

الخام هو ركام طبيعي من مواد معدنية مركزة بما فيه الكفاية حتى تكون ذات فائدة اقتصادية ومنه يمكن استخلاص الفلز والحصول عليه بقيمة اقتصادية مربحة. هناك الكثير من العوامل التي تحدد مناسبة خامات الحديد اقتصاديا أهمها: تركيب الخام ونسبة الحديد الموجود فيه، وكمية الخام المكتشف، وطبيعة منطقة تواجد الخام وظروفها الجغرافية والبيولوجية، أي بمعنى قربها أو بعدها عن مصانع الحديد والتجمعات البشرية، وكذلك إمكانية تطوير منطقة تواجد الخام بالإضافة إلى نوع الشوائب في الخام وكميتها وطبيعة ارتباطها مع ذلك الخام**[12–8]**.

يتحد مع معدن الحديد بعض الشوائب غير المرغوب فيها مكونة خامات الحديد، وأهم الشوائب والمواد غير المطلوبة هي: السليكا SiO_2 والسليكات، الألومينا Al_2O_3 والألومينات، والفوسفور والزرنيخ بالإضافة إلى الرطوبة. أهم خامات الحديد الاقتصادية هي الماجنتيت، الهيماتيت، الليمونيت، السيدريت، البيريت والألمينيت**[8]**.

تجميع الخامات الناعمة وربطها ببعضها البعض، إما أن يكون نتيجة إضافة مواد رابطة، دون أن تتعرض الخامات الناعمة للانصهار، وإما أن تنصهر هذه النواعم جزئيا بالحرارة، فتترابط معا نتيجة لذلك دون إضافة لمواد رابطة**[2, 3]**. ومن هذه الطرق التي يتم بها تجميع الخامات الناعمة هي التطويب والتحبيب والتكوير والتلبيد. نظراً لطبيعة عمليات الاختزال المباشر، وللعديد من التغيرات والمؤثرات التي تتعرض لها المشحونات خلال هبوطها بالفرن، فمن اللازم أن تتوافر للخامات المكونة للشحنة عامة، ولخامات الحديد خواص ميكانيكية وكيميائية معينة تتلاءم مع متطلبات التشغيل**[4-6]**.

تتعرض الخامات المشحونة بأفران الاختزال إلى العديد من التغيرات الكيميائية والفيزيائية خلال مراحل هبوطها**[1]**، وحيث أن كل طبقة من الشحنات تحمل الطبقات التي تعلوها، بالإضافة الي ما يحدث من احتكاك بين المكورات مع بعضها البعض من جهة وبين سيور النقل من جهة أخرى، فإنه من الضروري أن تكون لهذه الخامات خاصية تحمل الضغط والاحتكاك للحفاظ على شكلها الخارجي، وخاصة خلال مراحل النقل والاختزال، لذلك فإن دراسة هذه الخواص للمكورات الخام تعتبر هامة جدا.

تعرف المسامية بأنها نسبة الفجوات أو الفراغات داخل وحدة الخام الحجمية، وهناك نوعان من المسامية وهما مسامات مفتوحة وأخرى مغلقة. بالنسبة للمسامات المفتوحة هي المسامات المتصلة بالسطح الخارجي وهي تمثل الطريق الفعلي الذي تسلكه الغازات المختزلة إلى ملامسة أسطح الخام وبدء التفاعل معه، أما بالنسبة للمسامات المغلقة أو المصمتة فإنها تنتفخ مع تقدم عمليات الاختزال وأثنائها، لتساعد في إتمام المراحل النهائية من اختزال الخام**[11,12]**، ولهذا تعد المسامية عاملا مهما جدا ومؤشرا بالغ الأهمية في تقييم

الخامات ومقارنتها مع بعضها البعض، فكلما زادت نسبتها ارتفعت قيمة الخام ومكانته**[3, 4]**. ربما يرجع السبب في تفضيل خامات الهيماتيت والليمونيت على خام المجناتيت إلى احتواء الخامين الأولين على مسامية عالية، بينما يعد خام الماجنتيت من الخامات المصمتة**[5, 6]**.

3. الآلية المتبعة لتناول الجانب العملي في البحث:

في هدا البحث و لدراسة بعض من الخواص الميكانيكية وكذلك الفيزيائية للمكورات التي تستوردها الشركة الليبية للحديد والصلب (Libyan Iron & Steel Company – LISCO)، فانه من الضروري إيجاد طريقة يمكن بها اختبار أداء تلك المكورات الخام بمختلف أنواعها وأحجامها وبصورة منفصلة عن بعضها البعض. الآلية التي تم إتباعها في هذا البحث لمعرفة هذه الخواص موصوفة جيدا في أحد مشاريع التخرج بقسم هندسة وعلوم المواد/كلية الهندسة – جامعة مصراتة**[13, 14]**.

4. النتائج ومناقشتها:

كما ذكرنا سابقا فإن مكورات الخام التي تستوردها LISCO، تواجه ظروفا قاسية من الاحتكاك والضغط خلال عمليات المناولة والتخزين وكذلك داخل فرن الاختزال، حيث تنتج عن هذه الظروف كميات كبيرة جداً من الفاقد ذات الحجم الأقل من المعتاد (على هيئة غبار أو قطع صغيرة) وهي كميات غير مرغوب فيها، بالإضافة إلى الخسارة المادية التي تشكلها للشركة نتيجة لذلك الفاقد نظراً لأنه لا يمكن شحنها في أفران الاختزال المباشر بالشركة.

بناء على ذلك فإنه من المهم للشركة، أن تحدد المواصفات الضرورية لخواص المكورات التي تستوردها وبما يتلاءم مع ظروف التشغيل المتبعة في الشركة، بحيث تضمن التقليل من نسبة الفاقد من المكورات الخام وكذلك المكورات المختزلة.

الآلية المشار اليها في **البند (3)** من هذه الدراسة استحدثت لخلق ظروف متشابهة تقريبا للظروف التي تتعرض لها المكورات الخام بالشركة، وإجراء مثل هذه التجارب أعطت نتائج هامة، وهذه النتائج نتوقع ان

تعطى اساسا علميا للكيفية التي يمكن من خلالها المفاضلة بين مختلف المكورات التي تحتاجها شركات صناعة الحديد والصلب بصفة عامة ولإدارة الشركة الليبية للحديد والصلب بصفة خاصة.

4-1 التحليل الكيميائي للمكورات الخام:

تم إجراء التحليل الكيميائي للمكورات الخام بمعامل LISCO، والنتائج موضحة **بالجدول (1)**.

جدول (1) التحليل الكيميائي (نسبة وزنية) للمكورات الخام

Component / Type	Fe-T	FeO	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	S
SAMARCO	67.75	0.25	0.79	0.79	0.58	0.20	0.005
CVRD	67.87	0.86	1.56	0.65	0.43	0.39	0.0033
LKAP	67.40	0.39	1.76	0.54	0.16	0.46	0.0031

حيث أظهر التحليل الكيميائي للمكورات الخام أن نسبة الحديد الكلى (Fe-Total) الموجودة في الأنواع الثلاثة متقاربة جدا، وهذا ما يجعله مشجعا اقتصاديا لإجراء عملية الاختزال، حيث أن اقل نسبة للحديد الكلى هي (67.4%) وذلك في خام (LKAP) وهى ايضا ملائمة لعمليات الاختزال بطريقة ميدركس**[12]**.

الجدول (1) يوضح أن نسبة ثاني أكسيد السليكون (SiO_2) في مكورات خام (LKAP) هي الأعلى بين مكورات الخامات الأخرى، وتلي ذلك مكورات خام (CVRD) ثم مكورات خام (SAMARCO)، أما بالنسبة لأكسيد الماغنسيوم (MgO)، فهو يتواجد بأعلى نسبة في مكورات خام (SAMARCO)، وتقل هذه النسبة في مكورات خام (CVRD)، وتعتبر مكورات خام (LKAP) ذات النسبة الأقل من أكسيد الماغنسيوم، كما نلاحظ من **الجدول (1)** أيضا أن نسبة أكسيد الكالسيوم (CaO) لمكورات خام (SAMARCO) تكون أعلى منها في مكورات الخامات الأخرى، وعلى العكس من ذلك فإن نسبة الالومينا (Al_2O_3) مرتفعة في مكورات خام (LKAP)، بمقارنتها مع مكورات كل من خام (CVRD) ومكورات خام (SAMARCO).

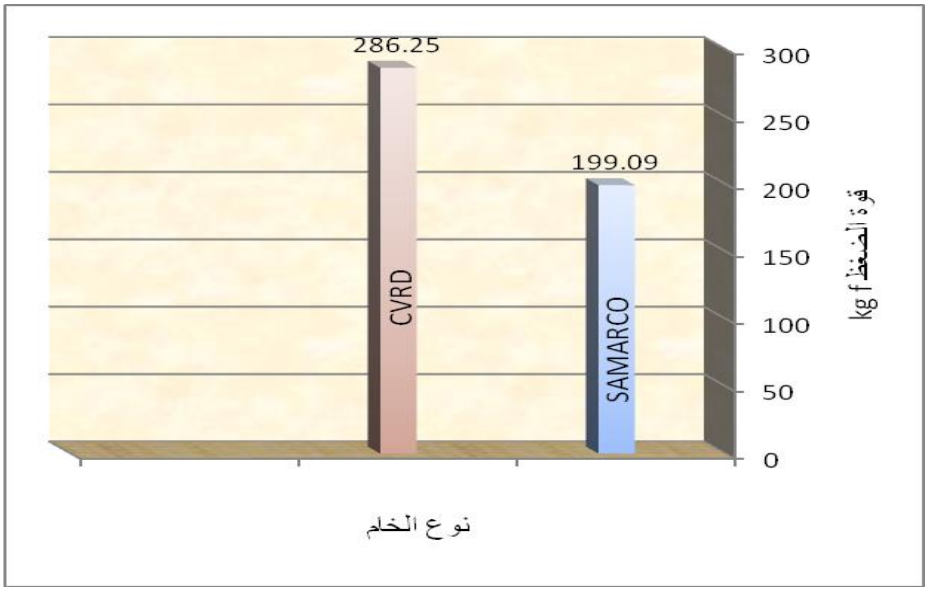
بالنسبة لعنصر الكبريت أظهر التحليل الكيميائي وجوده بأعلى نسبة في مكورات خام (SAMARCO)، وبنسبة أقل في خام (CVRD)، ويلي ذلك في خام (LKAP).

4-2 نتائج اختبارات الضغط والاحتكاك للمكورات الخام:

تم تقسيم نتائج الاختبارات الميكانيكية للمكورات الخام إلى محورين هما على النحو التالي:

4-2.1 نتائج اختبار مقاومة الضغط للمكورات الخام:

تم إجراء هذا الاختبار بالاستفادة من ماكينة اختبار الضغط المتوفرة بمعامل LISCO، حيث تم إجراء هذا الاختبار لعدد (20 مكورة) لكل حجم من الأنواع الثلاثة للمكورات الخام باستثناء الحجم الكبير لخام (LKAP)، حيث تم أخذ متوسط قوة الضغط لكل حجم (بالكيلو جرام لكل مكورة)، وتم توضيح النتائج بالرسوم البيانية الموضحة **بالأشكال (1- 3)**.



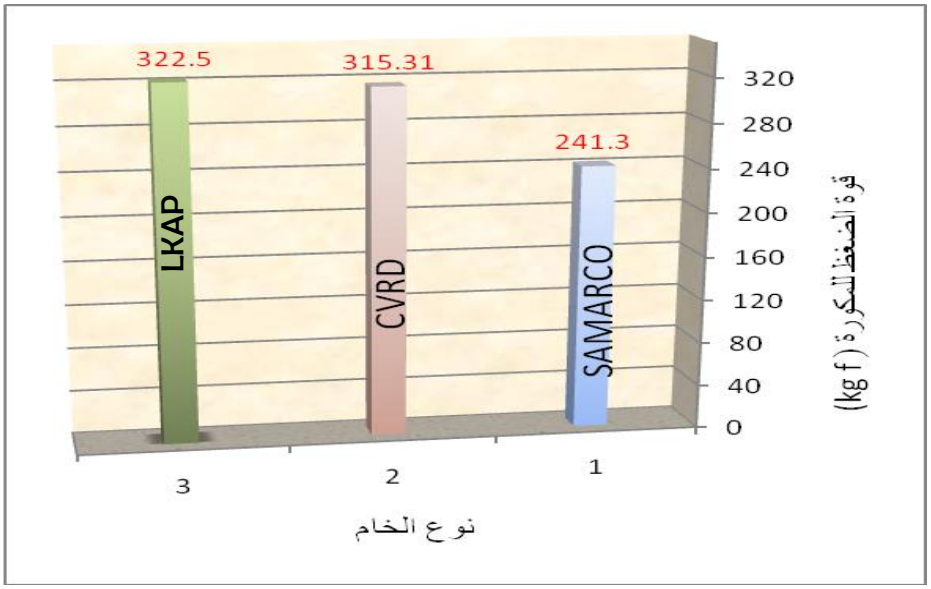
شكل (1) تأثير قوة الضغط على الحجم الكبير لمكورات الخامات المختلفة.

نلاحظ من **الشكل (1)** أن مقاومة الضغط لمكورات خام (CVRD) ذات الحجم الكبير تكون أعلى من مقاومة الضغط لمكورات خام (SAMARCO) لنفس الحجم، وذلك راجع إلى ارتفاع نسبة ثاني أكسيد السليكون (SiO_2) في مكورات خام (CVRD) بشكل أكبر مما هو في مكورات خام (SAMARCO)، حيث أن زيادة نسبة (SiO_2) في خامات الحديد تزيد من مقاومة المكورات للانضغاط**[7]**.

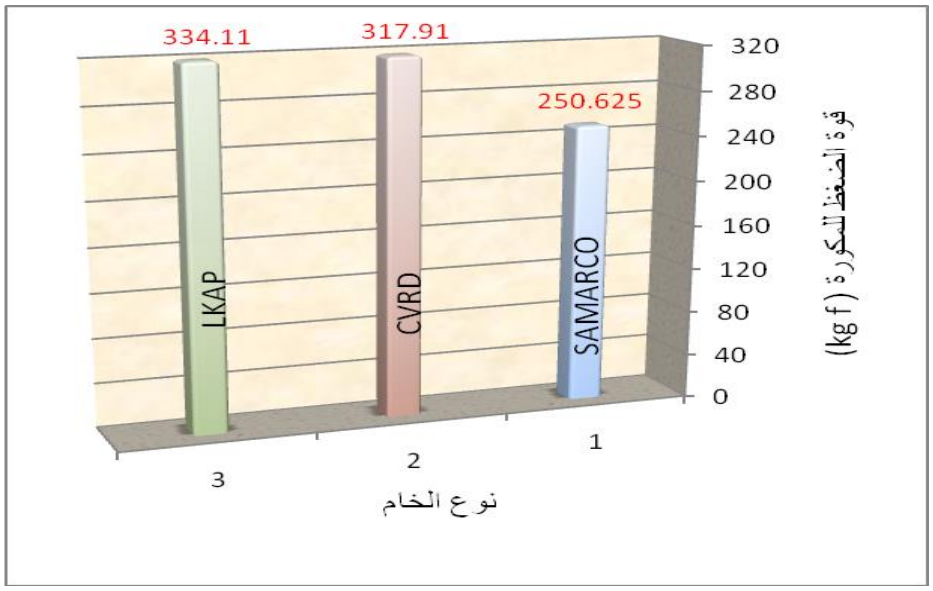
كما أن وجود (SiO_2) في خام الحديد وأثناء عمليات التكوير للخام تتحد مع طور (Wastite) وتكون سيليكات حديدية ($2FeO.SiO_2$)، أو ما يسمى (Fayalite) وهو مركب ذو بنية زجاجية، يتميز بارتفاع نسبي في الهشاشة ولكنه ذو قوة تحمل ضغط عالية**[12]**، لذلك فإن انخفاض (SiO_2) في مكورات خام (SAMARCO) قد أدى إلى ضعف مقاومتها للضغط. بناء على ما ذكرنا فإنه يمكن القول وبصورة

استدلالية أن الحجم الكبير من مكورات خام (LKAP) سيكون هو الأقل مقاومة للضغط نظرا لاحتوائه على نسبة أعلى من (SiO_2).

الشكلان (2) و**(3)** يوضحان تأثير قوة الضغط على الحجمين الصغير والمتوسط للمكورات الخام المختلفة، ونظرا لأن الحجمين المتوسط والصغير من نفس منشأ الحجم الكبير، فأن نسبة (SiO_2) في هذين الحجمين تكون أعلى في مكورات خام (LKAP) ثم تليه في مكورات خام (CVRD) ثم في مكورات خام (SAMARCO)، ولذلك فإنه وللأسباب سابقة الذكر يمكن اعتبار أن للحجمين المتوسط و الصغير تكون مكورات خام (LKAP) هي الأكثر مقاومة للضغط، وتليها في ذلك مكورات خام (CVRD)، وبالتالي فإن أقل المكورات مقاومة للضغط هي مكورات خام (SAMARCO).

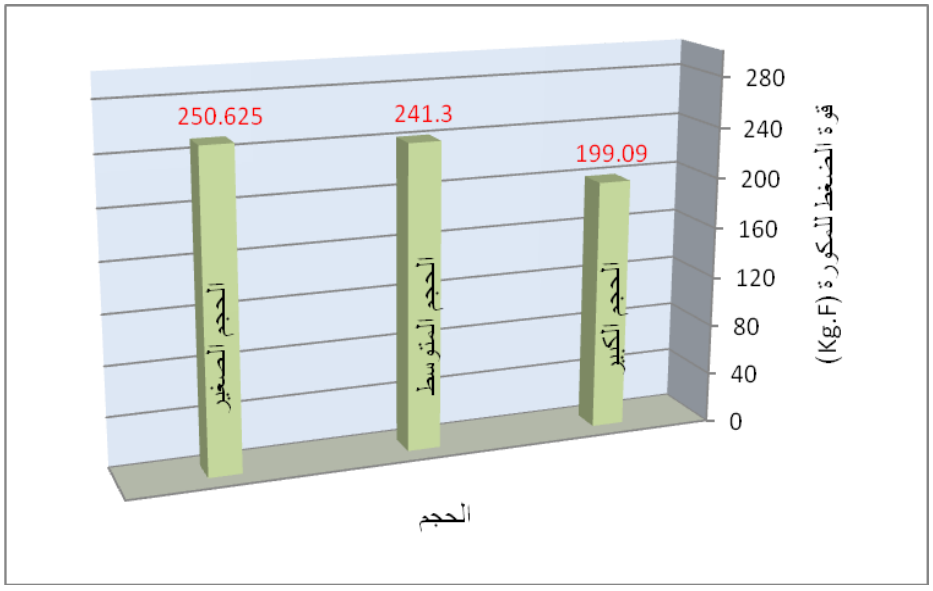


شكل (2) تأثير قوة الضغط على الحجم المتوسط للمكورات المختلفة

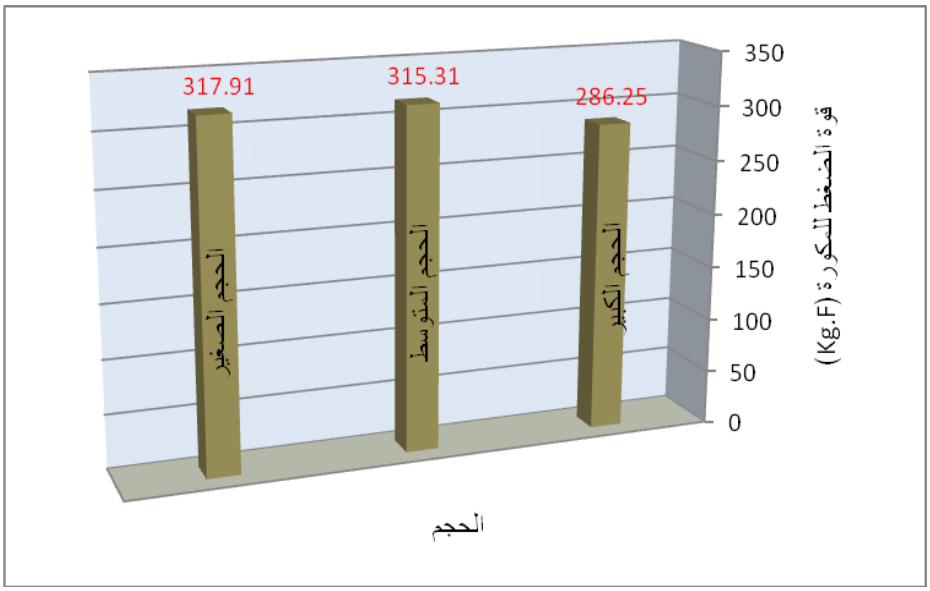


الشكل (3) تأثير قوة الضغط على الحجم الصغير للمكورات المختلفة.

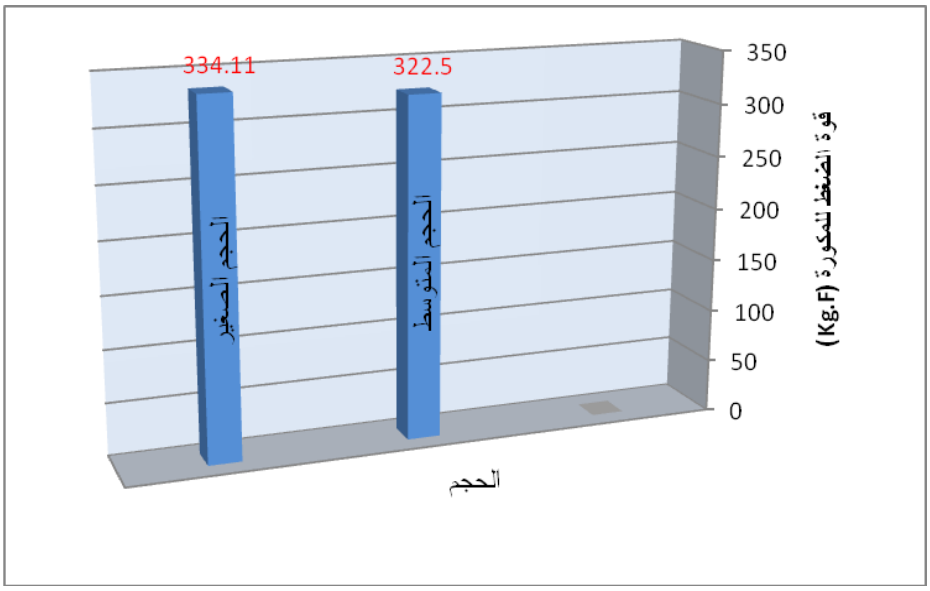
كما يتضح لنا من **الأشكال البيانية (4 – 6)** أن الحجم الصغير في جميع أنواع مكورات الخام المستوردة هو الأكثر مقاومة للضغط ومن ثم الحجم المتوسط وأقلها في ذلك الحجم الكبير.



شكل (4) تأثير قوة الضغط على مكورات خام (SAMARCO) بمختلف أحجامه.



شكل (5) تأثير قوة الضغط على مكورات خام (CVRD) بمختلف أحجامه.

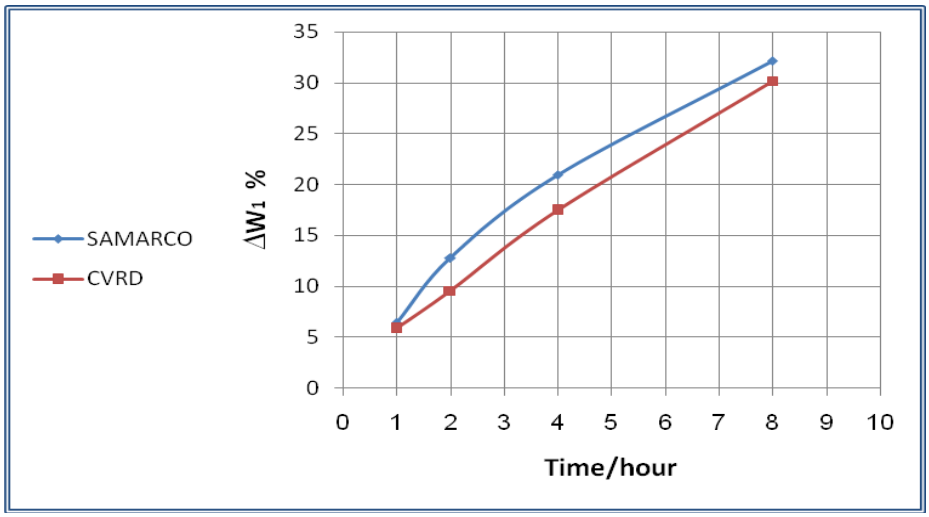


شكل (6) تأثير قوة الضغط على مكورات خام (LKAP) بمختلف أحجامه.

يرجع ارتفاع مقاومة المكورات الصغيرة للضغط مقارنة بالمكورات الكبيرة إلى الكثافة العالية للحبيبات الصغيرة مقارنة بالمكورات الكبيرة، حيث أن هذه المكورات التي ابتعدت عن المركز سيزداد حجمها ولكنها ستكون ذات كثافة أقل من المكورات التي بقيت حول المركز، وبالتالي ستزداد كثافتها مع استمرار عملية الدوران، وأيضا فإن المكورات الكبيرة كانت في البداية عبارة عن مكورات صغيرة، وهذا يؤكد أن المكورات تزداد كثافتها كلما اتجهنا إلى قلب المكورة.

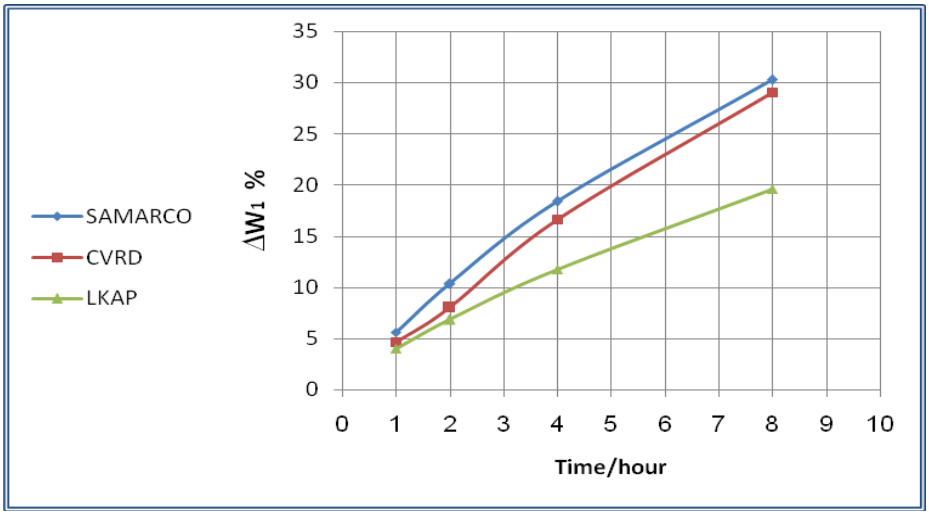
2.2-4 نتائج اختبار مقاومة الاحتكاك للمكورات الخام:

توضح النتائج المتحصل عليها في هذا البحث أن نتائج مقاومة الاحتكاك للأنواع الثلاثة من مكورات الخام التي تستوردها الشركة الليبية للحديد والصلب، والموضحة **بالأشكال (7- 9)** أن أعلى نسبة للفاقد من مكورات خام (SAMARCO)، إذا ما قورنت بالفاقد من مكورات الخامات الأخرى، تليها نسبة الفاقد من مكورات خام (CVRD)، بينما وجد أن كمية الفاقد من مكورات خام (LKAP) تمثل النسبة الأقل من الفاقد. الجدير بالذكر أن هذا الفاقد هو عبارة عن حبيبات ناعمة (قطرها أقل من 1mm)، ويزداد الفاقد بزيادة زمن التدوير بصفة عامة لكافة المكورات بمختلف أنواعها (أنظر **الأشكال 7- 9**).

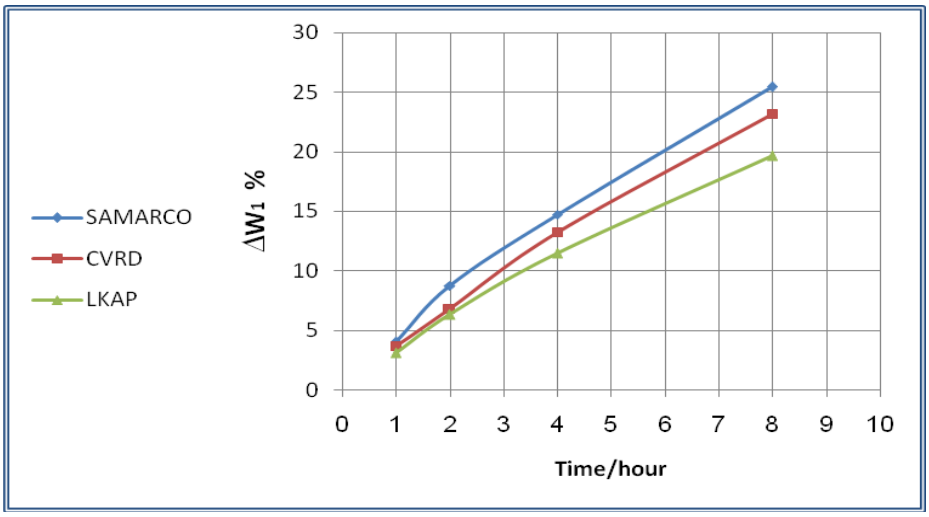


شكل(7) العلاقة بين نسبة الحبيبات الناعمة($\Delta W_1\%$) و زمن الدوران للحجم الكبير

.



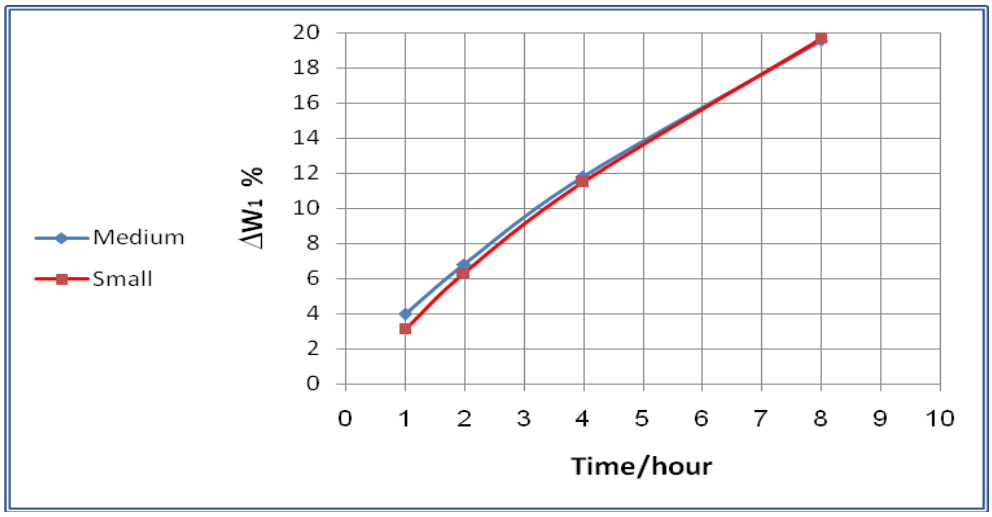
شكل (8) العلاقة بين نسبة الحبيبات الناعمة($\Delta W_1\%$) و زمن الدوران للحجم المتوسط.



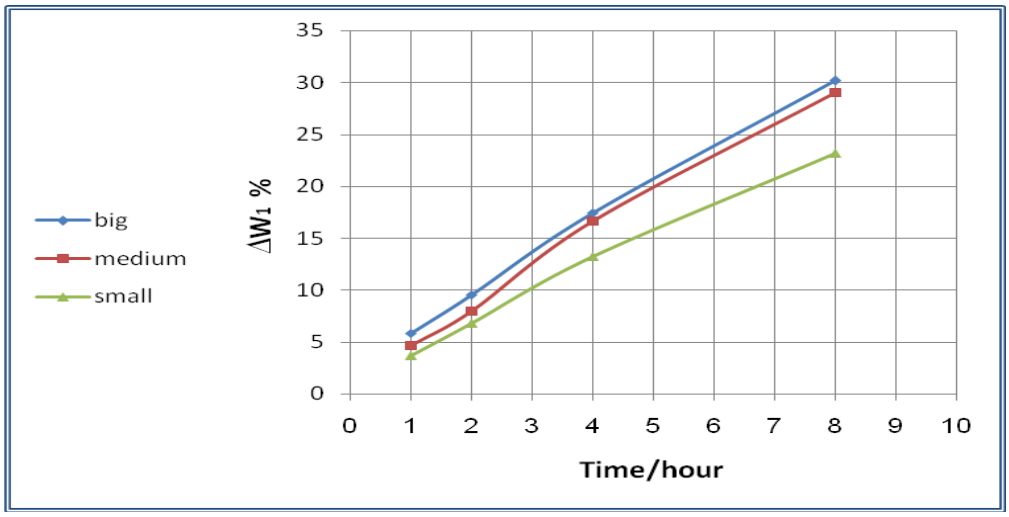
شكل (9) العلاقة بين نسبة الحبيبات الناعمة ($\Delta W_1\%$) و زمن الدوران للحجم الصغير.

يرجع ارتفاع مقاومة مكورات خام (LKAP) للاحتكاك إلى ارتفاع نسبة ثالث أكسيد الألومنيوم (Al_2O_3) فيها، حيث أن (Al_2O_3) يزيد من تماسك حبيبات الخام**[5,10]**، وبالتالي يصعب تفكك ترابطها تحت تأثير ظروف الاحتكاك سواء بين المكورات نفسها، أو بين المكورات وجدار البرميل الدوار.

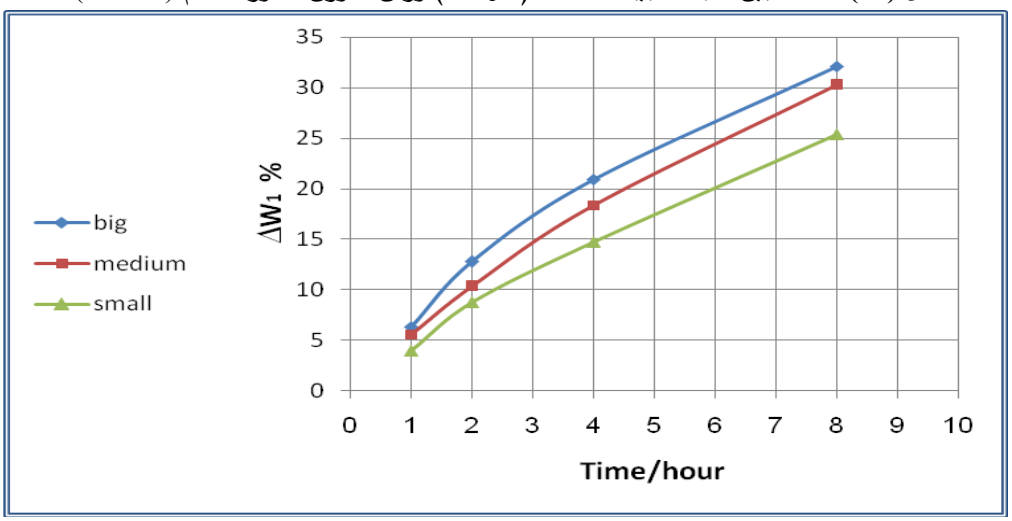
الأشكال (10-12) توضح العلاقة بين وزن الحبيبات الناعمة وزمن الدوران لكل حجم من الأحجام الثلاثة لكل نوع من الخامات المستخدمة في البحث.



شكل (10) العلاقة بين نسبة الحبيبات الناعمة($\Delta W_1\%$) وزمن الدوران لمكورات خام (LKAP).



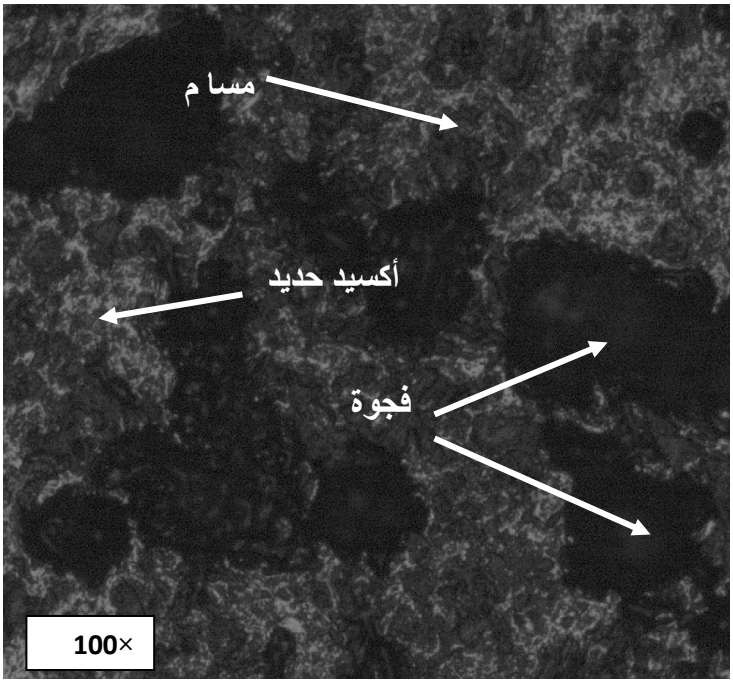
شكل (11) العلاقة بين نسبة الحبيبات الناعمة($\Delta W_1\%$) وزمن الدوران لمكورات خام (CVRD).



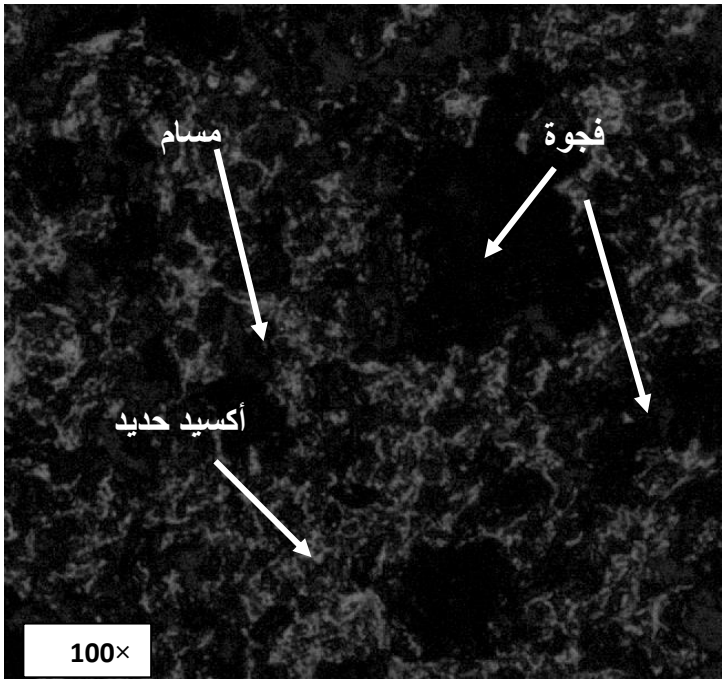
شكل (12) العلاقة بين نسبة الحبيبات الناعمة($\Delta W_1\%$) وزمن الدوران لمكورات خام (SAMARCO).

يتضح من **الأشكال (10- 12)**، أن الحجم الصغير من كل نوع هو الأكثر مقاومة للاحتكاك وبالتالي فهو يمثل أقل نسبة للفاقد، ويليه في ذلك الحجم المتوسط بينما الحجم الكبير في الأنواع الثلاثة من الخامات تحت الدراسة هو أكثر الأحجام في نسبة الفاقد، ويرجع قوة مقاومة الحجم الصغير للاحتكاك إلى أن قوة التماسك بين حبيباته كبيرة مقارنة بالأحجام الأخرى**[10]**، وبالتالي فإنه كلما زادت قوة التماسك بين الحبيبات زادت مقاومة الاحتكاك للمكورات، وهذا ما يفسر أن الحجم الصغير من المكورات له القدرة العالية لمقاومة الاحتكاك إذا ما قورن بالأحجام الأخرى من المكورات، كما أن الحجم الصغير من المكورات يعتبر أكثر تماثلا في الشكل من الأحجام الأخرى من المكورات، فمن المعروف أنه كلما كان الشكل أكثر استدارة كان أقل عرضة لتأثيرات الاحتكاك والتصادم**[9]**.

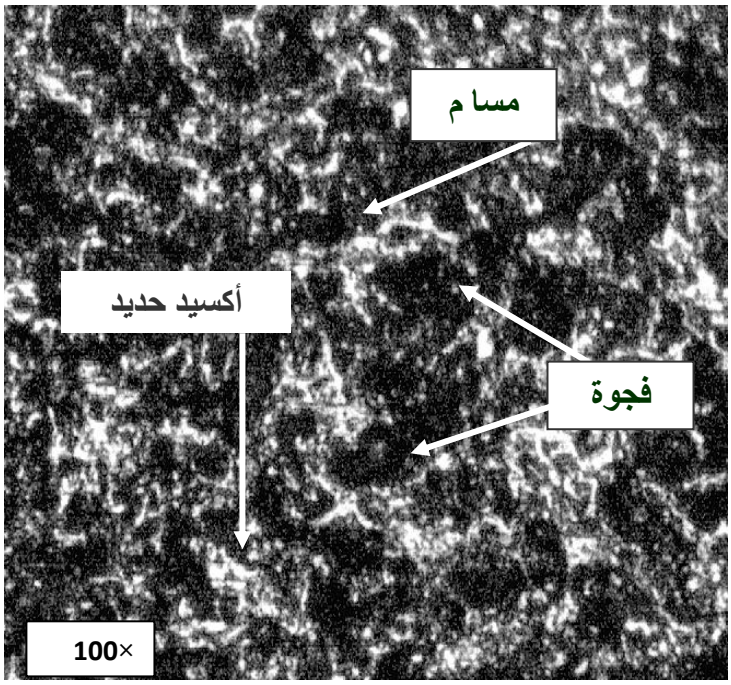
نتائج الكشف المجهري للمكورات الخام ذات الحجم المتوسط من كل نوع، والموضحة **بالأشكال (13-15)** تبين أن أكثر المكورات مسامية هي مكورات خام SAMARCO مقارنة بمكورات الخامات الأخرى.



شكل (13) صورة ميكروسكوبية لمقطع مكورة خام SAMARCO.



شكل (14) صورة ميكروسكوبية لمقطع مكورة خام CVRD.



شكل (15) صورة ميكروسكوبية لمقطع مكورة خام LKAP.

5. الاستنتاجات، الخلاصة والتوصيات:

1.5 الاستنتاجات

1. الأحجام الصغيرة من المكورات الخام التي تستوردها الشركة وبمختلف أنواعها هي الأفضل من حيث مقاومتها للضغط والاحتكاك.
2. يمثل خام LKAP الأفضل من بين الخامات التي تستوردها الشركة من حيث مقاومة الضغط والاحتكاك وبمختلف الاحجام، يليه في ذلك خام CVRD.
3. وجود الألومينا والسيلكا في مكورات أكاسيد الحديد تعزز من مقاومتها للضغط.

2.5 الخلاصة

أظهرت الدراسة العملية التي أجريت على مكورات أكاسيد الحديد التي تستوردها الشركة الليبية للحديد والصلب تباينا كبيرا في بعض من خواصها الميكانيكية ولمختلف أحجامها. وجد أن مكورات خام LKAP هي الافضل من حيث مقاومة الضغط والاحتكاك بجميع أحجامها (الصغيرة، المتوسطة والكبيرة) بينما مكورات خام SAMARCO لمختلف الاحجام، فقد أظهرت الدراسة أن مقاومتها للضغط والاحتكاك ضعيفة وبذلك فإن هذا النوع من الخامات هو السبب الرئيسي وراء زيادة نسبة الفاقد عن مكورات الخامات التي تستوردها الشركة، تليها في ذلك السبب مكورات أكاسيد CVRD وخاصة الاحجام الكبيرة منها. هذه الدراسة أظهرت ايضا ان

مقاومة الضغط والاحتكاك للأحجام الصغيرة ولكل أنواع مكورات الخامات الثلاثة التي تستوردها الشركة أفضل من الحجمين الآخرين (الكبيرة والمتوسطة).

3.5 التوصيات

1. ضرورة الحصول على كل المعلومات التي تتعلق بمتغيرات إنتاج المكورات التي تستوردها الشركة الليبية للحديد والصلب مثل: متغيرات التلبيد، التكوير، .... ،إلخ.
2. ضرورة اجراء دراسة للمفاضلة بين المكورات الخام التي تستوردها الشركة الليبية للحديد والصلب من حيث إختزاليتها والخواص الميكانيكية الاخرى قبل وبعد الاختزال.
3. يمكن الاعتماد علي استخدام خام LKAP ليكون الشحنة الابتدائية عند بدء تشغيل أفران الاختزال المباشر بالشركة.
4. لتقليل الفاقد من المادة الخام ولمختلف انواع الخامات التي تستوردها الشركة يفضل التوسع في استيراد الأحجام الصغيرة.
5. إجراء دراسات جدوى لإنشاء وحدات تكوير الفاقد من مكورات الخام بالقرب من مصانع الإختزال بالشركة.
6. ضرورة إنشاء المقترح الموصي به في أبحاث قسم هندسة علوم المواد/كلية الهندسة بمصراته والمتضمنين بوضوح في المرجعين **[13, 14]** من هذا البحث والذي يمكن من خلاله إجراء العديد من التجارب لمعرفة سلوك المواد في ظروف متحكم فيها جيدا مثل عمليات الاختزال.

المراجع:

1. Symposium on the Scientific and Technical Aspects of the Production and Use of Sponge Iron, Jamsshedpur, India, 1999.
2. Direct Reduction of Iron Ore, Proc. Seventh Annual Conference of IISI, Johannesburg, South Africa, 1995.
3. F. Haders: "Iron Reduced Direct from Ore; Development Trends in the Iron and Steel Industry" VDI Nacgr, 1996, vol.23, pp1-21.
4. J. Astier and P. Folie: "World Development of Iron Ore pre-reduction " Rev.Met.m 1975, vol. 72, pp. 711-720.
5. Secretariat, UNIDO: " Some Aspects of Recent Advances in the Field of Sponge Iron Production Processes" ibid.

6. U. Kalla and R. Steffen: " Present State and Further Development of Direct Reduction Processes" ibid.
7. S. Eketorp: " Steel Plant of the Future" Iron Steel International, 2000.
8. J. R. Miller: "Global Status of Direct Reduction – 1997" Iron and Steel Engineer, 1997, vol. 54, pp. 45-50.
9. T. E. Dancy: " The Evolution of Iron Making" Met. Trans. B, 1999, vol 8B, pp. 201-213.
10. J. Astier, J. C. Krog and Ch. Roederer. "Considerations on the practical value of Metallized Ore" Seminar on the Utilization of Pre-reduced Materials in the Iron and Steel Industry, U. N. Economic Commission for Europe, Steel Committee, Bucharest, 1976.
11. L. P. Makarov and I. P. Bardin. " Technical and Economic Pre-requisites for utilizing Pre-reduced Materials in Metallurgical Production " ibid.
12. D. L. Keston and J. B. Bradley "The commercial Direct Reduction Plant" Use and marketing of Sponge Iron", Congress of Direct Reduction, Macuto, Venezuela. 1997, pp. 145-153.
13. نصر الدين خليل أبو سنينة ومحمد بشير الهروس، دراسة تأثير نوع وحجم المكورات الموردة للشركة الليبية للحديد والصلب على بعض من خواصها الميكانيكية والفيزيائية، مشروع مقدم لنيل درجة البكالوريوس في مجال هندسة وعلوم المواد بجامعة مصراتة 2010م.
14. علي محمود أبوصديغ وأحمد محمد بلعوطة، دراسة تأثير التركيب الكيميائي لمكورات الشركة الليبية للحديد والصلب على بعض من خواصها، مشروع مقدم لنيل درجة البكالوريوس في مجال هندسة وعلوم المواد بجامعة مصراتة 2009م.