تحسين أداء دارة الهواء المضغوط في وحدة الحفر في ظروف الشتاء الباردة

مقدمـــة

يعتبر الهواء المضغوط في وحدة الحفر من العناصر الأساسية لتشغيل العديد من معدات وحدة الحفر ، فهو :

- يقوم بفتح وإغلاق موانع الاندفاع .
- يساعد الحفار في عمليات الكبح وذلك في حالات الحمولات الكبيرة .
- يقوم بفصل ووصل المحاور وذلك عن طريق تعشيق القارنات المطاطية الهوائية .
- يساعد في شد وتحرير شرارت المواسير أثناء عمليات الرفع والإنزال .
- يستخدم في معدات تحضير سائل الحفر (الطفلة) .
- يستخدم في تخفيف سائل الحفر لتحقيق شروط الحفر تحت المتوازن (u B D) .

وبذلك لايمكن لوحدة الحفر أن تعمل بدون وجود ضغط محدد لا يقل عن (1MPa) في دارة الهواء المضغوط . [4]

صمّمت الحفّارات الحديثة بدارة مربوطة مع الكابح الرئيسي ، تعمل وتفرمل بشكل أوتوماتيكي ، إذ عندما يقل ضغط الهواء في دارة الهواء المضغوط عن حدّ ما يقوم نابض الإرجاع المعاكس للضغط بدفع المكبس مع ذراعه الذي يعمل على سحب ذراع الكبح ، فتتم عملية كبح أوتوماتيكية ، تنبه الحفار إلى إيقاف الحفر وإصلاح دارة الهواء المضغوط . [1]

١- آلية توليد الهواء المضغوط في وحدة الحفر

تقوم وحدة توليد الهواء المضغوط بالعمليات الآتية:

١. سحب الهواء من الجوّ المحيط .

٢. ضغط الهواء للوصول إلى الضغط المطلوب .
٣. تجميع الهواء .
٤. إيصال الهواء إلى الأجهزة والمعدات التي تحتاجه عن طريق شبكة أنابيب وتوصيلات خاصة .

تتألف دارة توليد الهواء المضغوط من الأجزاء الآتية :

١. **مصدر القوة المحركة :** عبارة عن محرك كهربائي ، بالإضافة إلى محولة عزوم سلسلية ، تنقل الحركة الدورانية للضاغط من علبة تغيير السرعة .
٢. **ضاغط الهواء (Compressor) :** وهو الجزء الأساسي في وحدة توليد الهواء المضغوط ، يقوم بضغط الهواء حتى ضغط معين وإيصاله إلى خزان التجفيف .
٣. **مجفف الهواء :** يستخدم لتنقية الهواء المضغوط من الغبار واصطياد قطرات الماء .
٤. **خزانات تجميع الهواء المضغوط :** تمتاز بسعات مختلفة وتتحمل ضغوط حتى (16 at) أما ضغطها العامل فهو من (8-10 at) .

يبين الشكل رقم (1) ترتيب أجزاء دارة الهواء المضغوط وتسلسلها في وحدة الحفر . [2]

2 - مكونات الهواء الجوي

يتكون الهواء الجوي من خليط غازي يتكون من غاز الآزوت بنسبة (78%) ومن غاز الأوكسجين بنسبة (21%) ، كما يتكون من غازات إضافية عديدة ، مثل ثاني أوكسيد الكربون (CO_2) وغاز الهيدروجين (H_2) والهيليوم (He) والنيون (Ne) والآرغون (Ar) وبخار الماء (H2O) .

تكون هذه الغازات مختلطة مع بعضها البعض وتتغير نسبها من مكان إلى آخر على سطح الكرة الأرضية ، كما يحتوي الهواء على كمية من الغبار والأتربة والبكتريا .

٢. ضغط الهواء للوصول إلى الضغط المطلوب .
٣. تجميع الهواء .
٤. إيصال الهواء إلى الأجهزة والمعدات التي تحتاجه عن طريق شبكة أنابيب وتوصيلات خاصة .

تتألف دارة توليد الهواء المضغوط من الأجزاء الآتية :

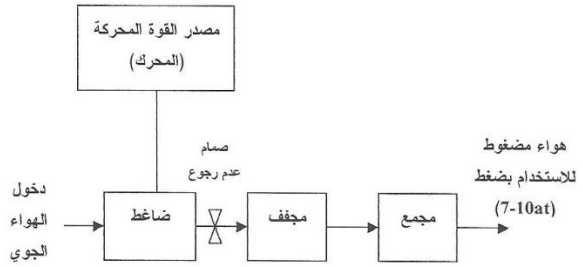
١. **مصدر القوة المحركة :** عبارة عن محرك كهربائي ، بالإضافة إلى محولة عزوم سلسلية ، تنقل الحركة الدورانية للضاغط من علبة تغيير السرعة .
٢. **ضاغط الهواء (Compressor) :** وهو الجزء الأساسي في وحدة توليد الهواء المضغوط ، يقوم بضغط الهواء حتى ضغط معين وإيصاله إلى خزان التجفيف .
٣. **مجفف الهواء :** يستخدم لتنقية الهواء المضغوط من الغبار واصطياد قطرات الماء .
٤. **خزانات تجميع الهواء المضغوط :** تمتاز بسعات مختلفة وتتحمل ضغوط حتى (16 at) أما ضغطها العامل فهو من (8-10 at) .

يبين الشكل رقم (1) ترتيب أجزاء دارة الهواء المضغوط وتسلسلها في وحدة الحفر . [2]

2 - مكونات الهواء الجوي

يتكون الهواء الجوي من خليط غازي يتكون من غاز الآزوت بنسبة (78%) ومن غاز الأوكسجين بنسبة (21%) ، كما يتكون من غازات إضافية عديدة ، مثل ثاني أوكسيد الكربون (CO_2) وغاز الهيدروجين (H_2) والهيليوم (He) والنيون (Ne) والآرغون (Ar) وبخار الماء (H2O) .

تكون هذه الغازات مختلطة مع بعضها البعض وتتغير نسبها من مكان إلى آخر على سطح الكرة الأرضية ، كما يحتوي الهواء على كمية من الغبار والأتربة والبكتريا .



الشكل رقم (1) :

ترتيب أجزاء دارة الهواء المضغوط وتسلسلها في وحدة الحفر

1-2 – المشاكل المترافقة مع دخول بخار الماء إلى دارة الهواء المضغوط

إن دخول بخار الماء إلى دارة الهواء المضغوط يؤدي إلى المشاكل التالية : [3]

١. صدأ في الأنابيب والأسطوانات وتآكلها .
٢. ضعف الصمامات في أدائها أثناء عملية الفصل والوصل .
٣. تكثيف بخار الماء على شكل سائل في التضيقات والأكواع والصمامات مما يسيء إلى جودة أدائها .
٤. تحول الماء السائل المتكاثف إلى الحالة الصلبة (جليد) يشكل الخطر الأكبر حيث :

- يؤدي تجمد الماء في التضيقات إلى إغلاقها وتوقف دارة التحكم الهوائي عن العمل .
- تجمد الماء يترافق بزيادة حجمه وبالتالي يؤدي إلى كسر المعدات وخاصة الأجزاء الحساسة منها (الصمامات وأنابيب التوصيل) .

3 – الطرق المتبعة في تجفيف الهواء

هناك أكثر من طريقة لتجفيف الهواء منها :

أولاً : الفلترة (Air filter)

وهي عبارة عن وضع طبقــة من القطن أو الصوف على خط سحب الضاغط ، حيث يؤدي مرور الهواء من خلالها إلى امتصاص الرطوبة الموجودة في الهواء ، كما تقوم بتنظيف الهواء من الغبار والأوساخ .

تستهلك هذه الطبقة (الفلتر) نتيجة لإشباعها بالماء وانسدادها بالغبار لذلك يجب استبدالها بشكل مستمر .

ثانياً : المبرد البيني (Inter cooler)

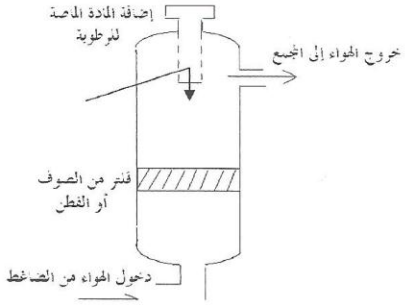
يتم ذلك من خلال تمرير الماء البارد ضمن أنابيب . ونتيجة لتلامس الهواء مع السطح الخارجي لهذه الأنابيب يحصل التبادل الحراري ويتكاثف بخار الماء .

يزداد تكاثف بخار الماء كلما ازدادت مساحة سطح التبريد وانخفضت درجة حرارته عن نقطة الندى .

يتم تجميع بخار الماء المتكثف ويتم تفريغه بين فترة وأخرى .

ثالثاً : مجفف الهواء (Air dryer)

يتم عمل المجفف من خلال استخدام مادة ماصّة للرطوبة (السيليكاجل) غالباً ما تكون على شكل حبيبات ، تمتص هذه المادة الرطوبة من الهواء المضغوط ، وعند وصولها إلى درجة الإشباع يتم تنشيطها من خلال نفخها بالهواء الساخن .



يبين الشكل رقم (2) آلية عمل مجفف الهواء

4- هدف البحث

يهدف البحث إلى تقليل نسبة بخار الماء في الهواء الداخل إلى دارة الهواء المضغوط ، وذلك لمنع تكثف هذا البخار وتحوله إلى ماء في المجمع ودارة المانيفولدات السطحية ، ممّا يسبب مشاكل في استثمار وحدة الحفر(انسداد المانيفولدات في درجات الحرارة المنخفضة ، صدأ المعدن) .

من الطرق المعروفة والمتبعة في تخفيض رطوبة الهواء نذكر :

4-1- الفصل الفيزيائي

ويمكن أن يتم حسب :

- **تغيير كمية الحركة :**

تمتاز الموائع ذات الكثافات المختلفة بكميات حركة مختلفة ، فعندما يغير التيار ثنائي الطور اتجاهه بشكل مفاجئ ، سوف تكون سرعة دوران المائع الأثقل أقل من سرعة دوران المائع الأخف مما يؤدي لحدوث عملية الفصل .

- **الفصل بتأثير الجاذبية:**

إذا كانت قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة على قطرات السائلة أكبر من قوة سحب الغاز المتدفق من حولها ، يمكن عندئذ أن تنفصل قطرات السائلة من الطور الغازي الحامل لها .أما القطرات الصغيرة جداً ، مثل الضباب والرذاذ ، فلا يمكن فصلها بالترسيب تحت تأثير الجاذبية .

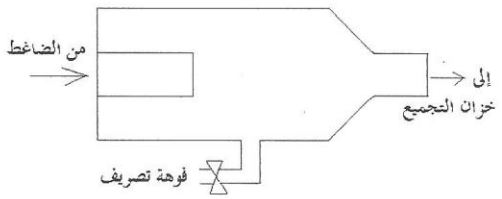
لذلك لابد من إجبار هذه القطرات على تغيير مساراتها وسرعها، حيث تساعد هذه الطريقة على اصطدام القطرات مع بعضها البعض ، مما يزيد من احتمال تشكل قطرات أكبر وبالتالي تسهل عملية الفصل بالجاذبية الأرضية .

4-2- مبادئ الفصل الكيميائي

يمرر تيار الهواء المحمل ببخار الماء على مواد كيميائية تمتاز بشراهتها للرطوبة وبخار الماء ، مثل السيليكاجل ، تقوم هذه المادة بامتصاص قطرات الماء مقللة من رطوبة الهواء .

5 – طريقة البحث

تتمحور طريقة البحث في استخدام مبدأ التغيير في كمية الحركة لتنشيط الفصل الفيزيائي من خلال تصميم جهاز جديد يساعد قطرات الماء الصغيرة المتواجدة في الهواء الجوي الداخل إلى دارة الهواء المضغوط على الاندماج، الأمر الذي يساعد على إمكانية فصلها بتأثير الجاذبية الأرضية .

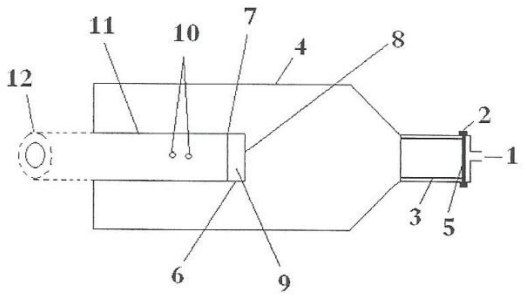


الشكل رقم ٣–مقطع في جهاز تخفيض رطوبة الهواء

يبين الشكل رقم ٣ مقطع في الجهاز موضوع البحث الذي يحتوي على صفائح واسطوانات مثقبة بأقطار مختلفة تجبر الهواء على تغيير مساره(تغيير كمية الحركة)بشكل يتخلص معه من قطرات بخار الماء المحمل بها.

ولبيان فعالية تركيب مثل هذاالجهازعلى مدخل دارة الهواء المضغوط في وحدة الحفر،ولدراسة فعالية تركيب الصفائح والاسطوانات المذكورة وتأثير مساحة سطحها وقطر الثقوب المنفذة فيها في تحسين ظروف عملية الفصل،تم تصنيع جهاز مخبري تجريبي مبينا" في الشكل رقم (٤) استخدمت فيه الصفائح والاسطوانات المثقبة

بمساحات مختلفة وأقطار ثقوب متباينة فضلا" عن استخدام مواد امتصاص مختلفة يبين الشكل رقم (٤) مقطع في الجهاز التجريبي .



الشكل رقم (٤) : مقطع في الجهاز التجريبي

١-أنبوب الاتصال مع مدخل المخلية .٢-سلك نحاسي للإحكام .٣-غطاء مسك الصفيحة المثقبة .

٤-الجسم الخارجي للأسطوانة الحاملة العينات . ٥-الصفيحة المثقبة

٦-الأسطوانة المثقبة ٧-٨ صفائح مثقبة قبل وبعد الحشوة .

٩- الحشوة .١٠- ثقوب لتثبيت الصفيحة (7) بواسطة سلك .

١١ -أسطوانة مثقبة .١٢ - مقطع جانبي للأسطوانة المثقبة .

أجريت التجارب باستخدام الأجهزة التالية :

١. مخلية هواء بقوة سحب (2.3 L\ min) .
٢. ميزان إلكتروني حساس بدقة (0.0001gr)
٣. صفائح وأسطوانات مثقبة بأقطار (4 , 6 , 8 , 10) دوزييم ، قطن ، صوف ، سيليكاجل .
٤. سخان كهربائي مع بيشر .
٥. جهاز تثبيت العينات .

تم تنفيذ التجارب وفق التسلسل التالي :

١- وزن العينة المراد دراستها .
٢- تشغيل السخان الموضوع فوقه البيشر الحاوي على الماء للحصول على رطوبة في الهواء الجوي .
٣- تركيب العينة ضمن جهاز التثبيت (حامل العينة) ووصلها مع مدخل المخلية .
٤- وصل جهاز التثبيت مع مدخل المخلية .
٥- تشغيل المخلية وضبط الوقت .
٦- الانتظار لمدة التجربة المقررة .
٧- إيقاف المخلية ونزع العينة .
٨- وزن العينة بعد التجربة مباشرة .

٦- التجارب المخبرية:

٦-١ دراسة فعالية الصفائح المثقبة في تخفيض رطوبة الهواء

تم إجراء التجارب التالية :وذلك بهدف دراسة تأثير مساحة الاسطوانات والصفائح وأقطار الثقوب وزمن التعريض لتيار الهواء الرطب ، فضلا" عن تأثير طول المسار (عدد الصفائح) على فعالية الفصل وفق الآتي :

١- تعريض صفائح مثقبة ، بأقطار ثقوب مختلفة ، لتيار الهواء الرطب لمدة (15) دقيقة لكل صفيحة (صفيحة واحدة منفردة) .
٢- تعريض صفائح مثقبة ، بأقطار ثقوب مختلفة ، لتيار الهواء الرطب لمدة (30) دقيقة لكل صفيحة (صفيحة واحدة منفردة) .
٣- تعريض صفائح مثقبة ، بأقطار ثقوب مختلفة ، لتيار الهواء الرطب لمدة (15) دقيقة باستخدام صفائح موضوعة بشكل مزدوج (صفيحتين على التوالي) .
٤- تعريض صفائح مثقبة ، بأقطار ثقوب مختلفة ، لتيار الهواء الرطب لمدة (15) دقيقة باستخدام صفائح موضوعة بشكل ثلاثي (ثلاث صفائح على التوالي) .

يبين الجدول رقم (1) نتائج التجارب رقم (1) و (2) و (3) و (4) . التي تدرس فعالية الصفائح المثقبة في تخفيض رطوبة الهواء.

وبتمثيل نتائج التجارب نحصل على المنحنيات رقم (1) و (2) و (3) و (4).

٦-٢ - دراسة فعالية الأسطوانات مثقبة السطح الجانبي ، المغلقة من طرف والمفتوحة من طرف آخر ، في تخفيض رطوبة الهواء

تم إجراء التجارب التالية :(مع مراعاة التسلسل في إيضاح أرقام التجارب)

٥- تعريض الأسطوانات المثقبة ، بأقطار ثقوب مختلفة ، لتيار الهواء الرطب لمدة (15) دقيقة ، وبعد مرور تيار الهواء الرطب عبر هذه الأسطوانات يمر عبر الصفائح المثقبة بنفس الوقت .

٦- إجراء نفس التجربة السابقة ولكن بوضع أسطوانتين متمركزتين(متداخلتين) في التجربة الواحدة ولنفس الزمن .

يبين الجدول رقم (2) نتائج التجارب رقم (5) و (6) . في حين يمثل المنحني رقم (5) نتائج هذه التجارب .

٦-٣ - دراسة فعالية حشوة من (السيليكاجل أو القطن أو الصوف) في تخفيض رطوبة الهواء

تم إجراء التجارب التالية :(مع مراعاة التسلسل في إيضاح أرقام التجارب)

7-تمرير تيار الهواء الرطب على حشوه من السليكاجل بسماكات مختلفة ولمدة (15) دقيقة.

8-تمرير تيار الهواء الرطب على حشوه من القطن بسماكات مختلفة ولمدة (15)

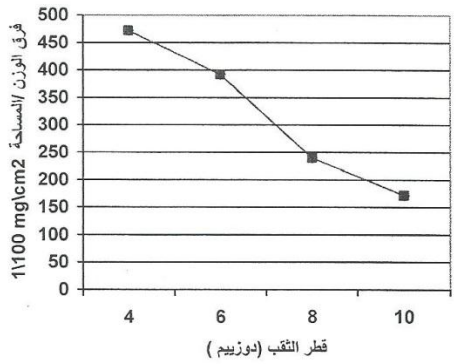
9-تمرير تيار الهواء الرطب على حشوه من الصوف بسماكات مختلفة ولمدة (15)

يبين الجدول رقم (3) نتائج هذه التجارب . ويمثل المنحني رقم (٦) هذه النتائج .

الجدول رقم (١)

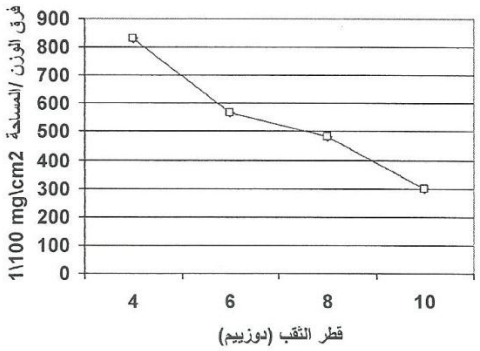
فرق الوزن/ المساحة $10^{-2}mg\backslash cm^2$	فرق الوزن gr	وزن العينة بعد التجربة gr	وزن العينة قبل التجربة gr	قطر الثقب دوزيم	مساحة العينة Cm	مدة التجربة min	عناصر المجموعة	رقم التجربة
472	0.0236	5.8003	5.7767	4	5	15	صفيحة واحدة	1
392	0.0196	5.9522	5.9326	6				
240	0.012	6.1143	6.1023	8				
172	0.0086	6.2522	6.2458	10				
830	0.0415	5.8198	5.7783	4	5	30	صفيحة واحدة	2
568	0.0284	5.9218	5.9334	6				
480	0.024	6.1282	6.1042	8				
300	0.015	6.2613	6.2463	10				
700	0.035	11.5934	11.5584	4	5	15	صفيحتين على التوالي	3
530	0.0265	11.8929	11.8664	6				
430	0.0215	12.2266	12.2051	8				
274	0.0137	12.5067	12.493	10				
936	0.0468	17.3646	17.3178	4	5	15	ثلاث صفائح على التوالي	4
708	0.0354	17.8338	17.7984	6				
584	0.0292	18.3301	18.3009	8				
412	0.0206	18.7596	18.739	10				

نتائج التجربة رقم (١)



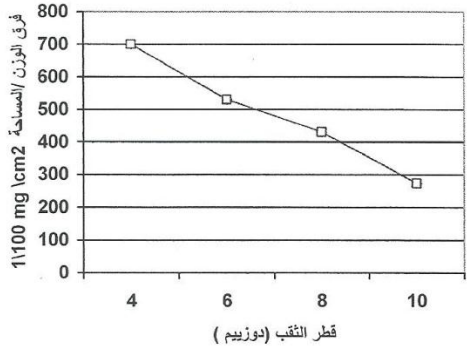
المنحني رقم (١) يبين نتائج التجربة رقم (١) ، صفيحة منفردة –مدة التجربة ١٥دقيقة

نتائج التجربة ٢



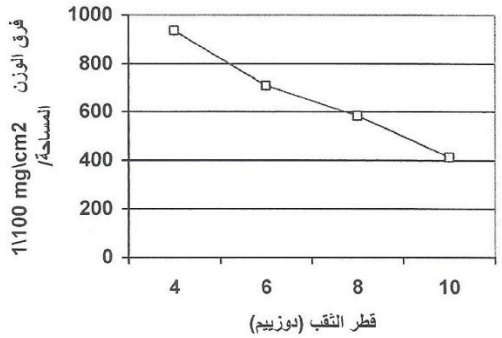
المنحني رقم (٢) يبين نتائج التجربة رقم (٢) ، صفيحة منفردة مدة التجربة ٣٠دقيقة

التجربة رقم 3



المنحني رقم (٣)، صفيحتين على التوالي مدة التجربة ١٥دقيقة

نتائج التجربة رقم 4

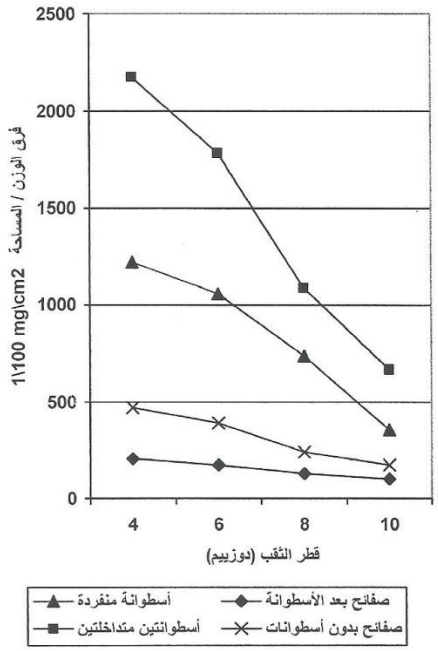


المنحني رقم (٤) ثلاث صفائح على التوالي مدة التجربة ١٥دقيقة

فرق الوزن/ المساحة 10^{-2} mg/cm^2	فرق الوزن gr	وزن العينة بعد التجربة gr	وزن العينة قبل التجربة gr	قطر ثقوب العينة دوزيم	مساحة العينة Cm	مدة التجربة min	عناصر التجربة	رقم التجربة
1221	0.4398	49.7918	49.352	4	36	15	أسطوانة منفردة	5
1058	0.3811	49.7541	49.372	6				
736	0.2652	53.3035	53.0383	8				
357	0.1288	54.7981	54.7981	10				
206	0.0103	5.7835	5.9314	4	5	15	صفائح مثقبة بعد الأسطوانة	5
172	0.0086	5.94	5.94	6				
128	0.0064	6.1099	6.1099	8				
100	0.005	6.25	6.25	10				
2176	0.7835	96.1119	95.6629	4	36	15	أسطوانتين متداخلتين	6
1785	0.6427	96.3056	95.3284	6				
1088	0.392	101.0227	100.6307	8				
668	0.2407	101.4899	101.2492	10				

الجدول رقم 2

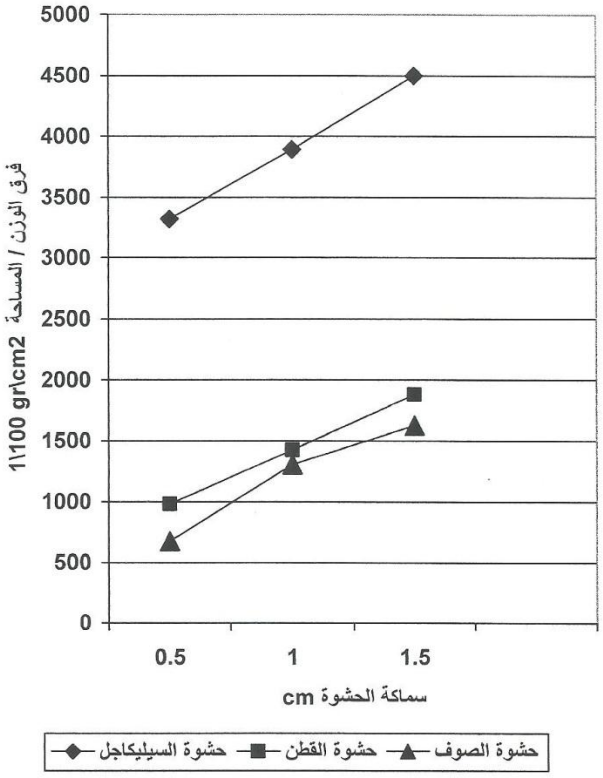
المنحني رقم 5



نتائج التجارب (٥،٦)

الجدول رقم (٣)

رقم التجربة	عناصر التجربة	مدة التجربة min	مساحة العينة cm^2	سماكة الحشوة cm	وزن العينة قبل التجربة gr	وزن العينة بعد التجربة gr	فرق الوزن gr	فرق الوزن / المساحة 10^{-2} gr\cm^2
7	سيليكاجل	15	5	0.5	6.3512	6.5171	0.1659	3318
				1	6.8437	7.0384	0.1974	3894
				1.5	7.0325	7.2575	0.225	4500
8	قطن	15	5	0.5	5.8736	5.9226	0.049	980
				1	5.9324	6.0036	0.0712	1424
				1.5	5.9931	6.0872	0.0941	1882
9	صوف	15	5	0.5	6.0137	6.0476	0.0339	678
				1	6.0622	6.1274	0.0652	1304
				1.5	6.1119	6.1931	0.0812	1624



نتائج التجارب (٧-٨-٩)

المنحني رقم 6

نتائج البحث

تظهر منحنيات نتائج التجارب المخبرية للحالات التسعة المدروسة مايلي:

١- نلاحظ أنه كلما تناقص قطر ثقب الصفائح كلما :

- ازدادت كمية الأبخرة التي تحتجزها الصفائح .
- ازدادت قدرتها على تخفيض رطوبة الهواء .

وذلك من خلال الفصل التراكمي للأبخرة الموجودة في الهواء ، وتحويلها إلى قطرات ماء تفصل بتأثير الجاذبية الأرضية .

٢- نلاحظ أنه كلما ازداد عدد الصفائح تزداد كمية البخار المتكاثفة .

أي بزيادة طول المسار الذي يمر عبره الهواء تزداد قدرة الثقب على تكثيف قطرات بخار الماء (يزداد احتمال اصطدام قطرات بخار الماء بجدران هذا المسار وبالتالي تكثيفها) .

٣- يلاحظ أن فعالية الأسطوانات المثقبة تفوق فعالية الصفائح المثقبة بحوالي (2.5) مرة .

ويفسر ذلك بأن هذه الطريقة تعتمد على مبدأين في الفصل هما :

- مبدأ كمية الحركة حيث يغير التيار اتجاهه أثناء الحركة .
- مبدأ الاندماج أو الالتحام الناجم عن مرور التيار في مسارات صغيرة القطر .

٤- نلاحظ من نتائج التجربة رقم (5) انخفاض كمية بخار الماء المتكثف على الصفائح التي يمر عليها التيار بعد عبوره من الأسطوانات المثقبة .

وهذا منطقي لأن الأسطوانات قد قامت بتخفيض رطوبة الهواء حيث انخفض فرق الوزن في حالة الصفيحة ذات الأقطار (4) دوزيم من (0.0236) غرام إلى (0.0103) غرام ، وبالتالي يمكن القول أن رطوبة الهواء قد انخفضت إلى نصف ما كانت عليه .

٥- نلاحظ أنه بزيادة سماكة الحشوة تزداد فعالية تخفيض الرطوبة في الحشوات الثلاث .

ويلاحظ أن فعالية حشوة السيليكاجل (S_2O) هي الأفضل بين الحشوات الثلاث ، حيث تعادل كفاءة الحشوة ذات السماكة (0.5cm) ثلاث أضعاف كفاءة العينة الأسطوانية ذات قطر الثقب (4) دوزييم تقريباً .

لكن استخدام حشوة من السليكاجل تحتاج إلى إعادة تنشيط الحشوة بين فترة وأخرى نظراً لانخفاض فعاليتها مع مرور الزمن حيث يدخل الماء في بنية السيليكاجل وبعد فترة من الزمن تشبع بجزيئات بخار الماء وتصبح غير قادرة على تخفيض رطوبة الهواء .

٦- إن فعالية العينات الأسطوانية أقل من فعالية حشوة السليكاجل .

إلا أن هذه العينات لا تحتاج إلى تبديل . ويمكن من خلال زيادة طول مسار الثقب الاقتراب من كفاءة حشوة السليكاجل .

المقترحـــات

١. استخدام جهاز يعتمد مبدأ الفصل باستخدام أسطوانات مثقبة السطح الجانبي بثقوب (4) دوزييم ، وبطول مسار للثقوب ، يساعد في تخفيض رطوبة الهواء الداخل إلى دارة الهواء المضغوط مما يؤدي إلى تحسين أداء وحدة الحفر.

٢. ينصح بتركيب الجهاز المصمم بين الضاغط وخزان التجميع .

٣. ينصح بتبريد الهواء قدر الإمكان عند مدخل الضاغط بهدف تقليل قدرته على حمل بخار الماء .

إن الطرق المتبعة لتخليص الرطوبة من الهواء المضغوط في الحفارات المصنعة في الدول الشرقية يعتمد مبدأ الفصل على استخدام الحشوات مثل (السيلكاجيل _ الصوف _ القطن) في حين تعتمد الحفارات المصنعة في الدول الغربية على استخدام مبدأ (التبريد المسبق للهواء الداخل إلى الضاغط وكلا الطريقتين المتبعتين تعانيان من مشاكل بقاء الرطوبة في دارة الهواء المضغوط بسبب تواجد معظم الحفارات في سورية في المناطق الصحراوية (حرارة مرتفعة نهارا وباردة ليلا)

في حين نرى أن استخدام الجهاز المصمم والذي يعتمد على تطبيق مبدأ الفصل الفيزيائي لجزيئات الماء عن الهواء و المتمثل بتركيب اسطوانات وصفائح مثقبة فضلا عن استخدامه لحشوات مختلفة في نفس الوقت يزيد من كفاءة دارة الهواء المضغوط الأمر الذي يساعد على تحسين أداء وحدات الحفر العاملة في سورية في ظروف الشتاء الباردة .

المراجـــع

أولاً : المراجع العربية :

١. د. حديد ، محمود ، ميكانيك آلات الحفر والإنتاج (1) . منشورات جامعة البعث (2008) .

٢. مديرية حقول الحسكة ، مخططات حركية وتركيبية لوحدات الحفر (ناشيونال – أورال ماش)

ثانياً : المراجع الأجنبية :

3. Tristar 2003 - Maintenance and operation of Rotating machinery,300p

4. Aberdeen 2002- Well control for the rig-site drilling Team , Drilling schools revised Edition,360 P