دراسات هيدروليكية في حجرات الامتصاص للمضخات المحورية والمختلطة

المهندسة عبير عيسى[1] **الدكتور المهندس أمجد زينو[2]**

الملخص

في المضخات المحورية والمختلطة حيث يتوضع دولاب المضخة على مسافة قريبة جداً من فتحة أنبوب الامتصاص، فإن شكل الجريان في حجرة الامتصاص يؤثر بشكل مباشر في خصائص الجريان في المنطقة قبل دولاب المضخة، وهذا ينعكس بشكل كبير على عمل وأداء المضخة.

يتضمن هذا البحث دراسة تجريبية عن تأثير أبعاد حجرة الامتصاص المفتوحة في خصائص الجريان فيها، واختيار الحجرة التي تؤمن أفضل شروط جريان في المنطقة قبل دولاب المضخة وتوفر العمل السليم لها.

[1] قسم الهندسة المائية– كلية الهندسة المدنية– جامعة دمشق.

[2] قسم الهندسة المائية– كلية الهندسة المدنية– جامعة دمشق.

1. مقدمة

في مجال مشاريع الري الكبيرة، وكذلك في مجال الصناعة والطاقة، نحتاج إلى ضخ عدة عشرات أو حتى عدة مئات من الأمتار المكعبة في الثانية الواحدة.ولتأمين هذه الكمية من المياه يتم إنشاء محطات الضخ الكبيرة المزودة بمضخات محورية أو مختلطة.

ولكي تعمل هذه المضخات بمردود مرتفع تصمم في المعامل المنتجة لها على أساس جريان منتظم خالٍ من التدوم في المقطع قبل دولاب المضخة. ويتطلب تصميم الأجزاء الماصة من المضخة عناية فائقة، ولا بد من التذكير هنا أن معظم المشاكل التي تؤدي إلى انخفاض مردود المضخة وقلة عمرها الاستثماري يكون مصدرها سوء تصميم هذه الأجزاء، لذلك فإن لتصميم مآخذ محطات الضخ أهمية كبيرة، وتزداد هذه الأهمية في محطات الضخ المزودة بمضخات محورية أو مختلطة، لأن دولاب المضخة يقع على مسافة قصيرة جداً من فوهة أنبوب الامتصاص، ومن ثَمَّ فإن أي خلل في الجريان ناتج عن التصميم غير الصحيح للمأخذ سيؤثر في مواصفات الجريان في المقطع قبل دولاب المضخة، وهذا ينعكس مباشرة على عناصر المضخة (غزارة– رفع– مردود) ويؤدي إلى حدوث مشاكل عديدة منها تكهف المضخة واهتزازها.

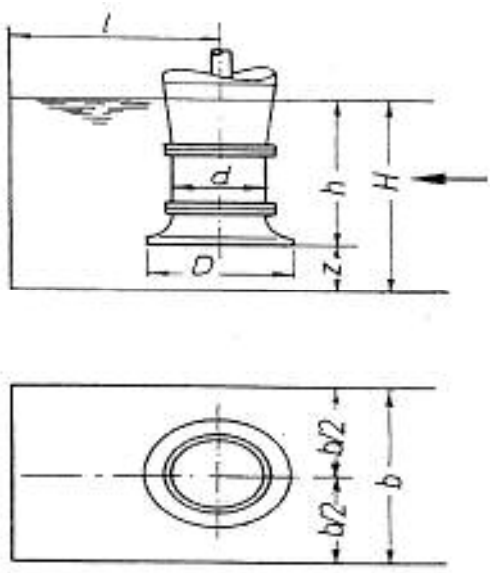
ندعو المأخذ الذي تتوضع فيه المضخة المحورية أو المختلطة بحجرة الامتصاص ، وأكثر أنواع حجرات الامتصاص استخداماً هي حجرات الامتصاص المفتوحة لسهولة تنفيذها وانخفاض كلفتها (الشكل1).

إن حجرة الامتصاص يجب أن تضمن تزويد دولاب المضخة المحورية أو المختلطة بجريان منتظم، لضمان الأداء السليم للمضخة، وجعلها تعمل من دون تكهف أو خفقان، ومن ثَمَّ يرتفع مردودها. لذلك يجب أن تضمن حجرة الامتصاص ما يأتي:

- خلق ظروف تزويد منتظم لدولاب المضخة. بمعنى آخر توجيه الجريان إلى دولاب المضخة بتوزع منتظم للمركبات المحورية لأشعة السرعة (باتجاه محور أنبوب

الامتصاص)، مع أقل قدر ممكن للمركبات المحيطية التي تسبب التدوم في المنطقة قبل دولاب المضخة.

- عدم السماح بتشكل الدوامات السطحية الماصة للهواء والدوامات تحت السطحية(الزوبعة المائية).
- ضياعات هيدروليكية قليلة.
- عمق مناسب في الحجرة يمنع حدوث ظاهرة التكهف المؤذية للمضخة.



الشكل (1). نموذج لحجرة امتصاص مفتوحة

2. الظواهر الهيدروليكية في حجرات الامتصاص

في كثير من الحالات ونتيجة للتصميم غير الصحيح لحجرات الامتصاص تتشكل مجموعة من الظواهر الهيدروليكية المؤذية لعمل المضخات. نذكر منها: الدوامات السطحية الماصة للهواء – الدوامات تحت السطحية (الزوبعة المائية) – التدوم في المنطقة قبل دولاب المضخة – عدم انتظام توزع الضغط والسرعة في المنطقة قبل دولاب المضخة – زيادة الفواقد الهيدروليكية. هذه الظواهر تؤثر سلباً في عمل

المضخة، وتسبب في أثناء استثمارها ما يأتي: انخفاض مردودها، ارتفاع مستوى الاهتزاز والضجيج فيها، انخفاض مقاومتها ضد التكهف.

3. مراجعة مختصرة للدراسات السابقة التي تمت عن حجرات الامتصاص

Paciga [1] بين أن هناك علاقة مباشرة بين ارتفاع مستوى الماء عن فتحة أنبوب الامتصاص (والذي عنده تتشكل دوامات سطحية) وغزارة المضخة. Dicmas [2] ومن خلال دراسته بين أن لأبعاد الحجرة تأثيراً في تشكل الدوامات السطحية. توصل عدد من الباحثين إلى مجموعة من النتائج والتوصيات عن تأثير أبعاد الحجرات المفتوحة في الجريان والتي لا تخلو من التقاطع أحياناً والاختلاف أحياناً أخرى. فالباحث Prosser [3] بين أن زيادة ارتفاع حافة قمع أنبوب الامتصاص من أرض الحجرة z أكبر من D يؤدي إلى عدم استقرار في الجريان، كما يسبب تدوماً قبل دولاب المضخة، كما أن تصغير قيمة z إلى أقل من $0.25\cdot D$ يسبب عدم استقرار الجريان. أما حسب رأي Charles, Sweeney [4] فإن أفضل قيمة لارتفاع القمع عن أرض الحجرة هي: $z = 0.5\cdot D$، لأنَّ زيادة هذا الارتفاع عن هذه القيمة غير اقتصادي وتسبب زيادة عمق الماء في الحجرة، أما تقليله فيؤدي إلى زيادة درجة التدوم في المنطقة قبل دولاب المضخة. كما درس هذان الباحثان تأثير بعد الجدار الخلفي عن محور القمع l، وبينا أن زيادة المسافة إلى أكثر من $0.75\cdot D$ تسبب دوران السائل عن أنبوب الامتصاص، أما تقليلها عن المسافة السابقة فيؤدي إلى تشكل دوامات سطحية ماصة للهواء. Iverson [5] استنتج من خلال تجاربه أنه عند ارتفاع القمع: $z < 0.5\cdot D$ يحصل انخفاض في مردود المضخة، وأن أفضل مردود هو عند $z = 0.65\cdot D$. أما المؤلف والباحث Stepanoff [6] فقد بين أن أفضل مردود للمضخة يكون عند $z = (0.3-0.5)\cdot D$، وأن زيادة الارتفاع عن القيمة السابقة تخفض مردود المضخة.

أما بالنسبة لأبعاد الحجرات المنصوح باستعمالها من قبل العديد من الباحثين والشركات الصانعة فهي متفاوتة بعض الشيء. الباحث Hicks[7] أن أفضل أبعاد للحجرة المفتوحة تكون عندما: $z = (0.35 - 0.5) \cdot D, b = 1.5 \cdot D, l = 0.75 \cdot D$.

كما اقترح بعض الباحثين مثل: Wonsak [8] و Prosser [3] الأبعاد: $z = 0.5 \cdot D, b = 1.5 \cdot D, l = 0.75 \cdot D$. يوصي معهد الهيدروليك الأمريكي باختيار أبعاد الحجرة حسب الغزارة:

- من أجل غزارة $Q < 2270 m^3/h$ تؤخذ الأبعاد الآتية: $z = (0.62 - 0.73) \cdot D, b = (1.94 - 2.3) \cdot D, l = (0.84 - 1) \cdot D$.
- من أجل غزارة $Q < 22700 m^3/h$ تؤخذ الأبعاد الآتية: $z = (0.45 - 0.53) \cdot D, b = (1.89 - 2.24) \cdot D, l = (0.88 - 1.04) \cdot D$.

أما Stepniewski [9] فله رأي آخر، إذ أوصى باستخدام الأبعاد الآتية: $z = (0.35 - 0.5) \cdot D, b = (1.5 - 1.8) \cdot D, l = (0.75 - 0.9) \cdot D$. في حين اقترح الباحث Wijdieks [10] من معهد دلفت في هولندا الأبعاد الآتية $z = (0.5 - 0.85) \cdot D, b = 2.2 \cdot D, l = D$.

أما بالنسبة لعمق غمر فتحة أنبوب الامتصاص h فيجمع معظم الباحثين على أن القيمة اللازمة من أجل منع تشكل الدوامات السطحية الماصة للهواء هي بحدود: $h = (1.5 - 2) \cdot D$

4.هدف البحث

من خلال مراجعة البحوث وتحليلها عن حجرات الامتصاص المفتوحة، يمكن التوصل إلى النتائج الآتية:

- أبعاد حجرات الامتصاص لها أهمية كبيرة جداً في عمل المضخات المحورية والمختلطة وفي أدائها.

- يوجد اختلاف في وجهات النظر بين الباحثين عن الأبعاد الأمثلية للحجرات المفتوحة المنصوح باستخدامها، وحتى الآن لا توجد توصيات نهائية محددة عن ذلك.
- ربط تأثير أبعاد الحجرة المفتوحة بالظواهر الهيدروليكية للجريانات داخل الحجرة وفي المقطع قبل دولاب المضخة وفقاً للبحوث المتوافرة غير واضح.

فالهدف الرئيس من هذه الدراسة إذاً:

1- دراسة تأثير الأبعاد الأساسية لحجرة الامتصاص المفتوحة في المواصفات الهيدروليكية للجريان فيها، وبشكل رئيسي في المقطع قبل دولاب المضخة. وهذه الأبعاد هي:

- ارتفاع فتحة أنبوب الامتصاص عن أرضية الحجرة z.
- بعد الجدار الخلفي عن محور أنبوب الامتصاص l.
- عرض الحجرة b.
- عمق غمر فتحة أنبوب الامتصاص h.

2- اختيار أبعاد الحجرة التي تضمن أفضل شروط للجريان بعد دراسة مجموعة كبيرة من الخيارات.

ولإنجاز هذا الهدف سيتم إجراء تجارب مخبرية على منصة خاصة صممت لهذا البحث.

5.معايير تقويم الجريانات

من أجل تقويم نوعية الجريان في الحجرة، ومن ثَمَّ تقويم الحجرة من الناحية الهيدروليكية، تمت صياغة مجموعة من المعايير، ترتبط مع الظواهر الهيدروليكية المذكورة سابقاً. كما أن هذه المعايير ستمكننا في النهاية من اختيار الحجرة المثلى التي تضمن أفضل شروط للجريان.

5–1. معيار درجة التدوم

سنعبر عن معيار درجة التدوم بالزاوية θ المحصورة بين شعاع السرعة والمحور الشاقولي

(باتجاه محور دولاب المضخة)، أي:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{V_u}{V_a}\right)$$

وتحسب V_a من العلاقة:

$$V_a = \frac{Q}{A}$$

ولحساب المركبة المحيطية الوسطية تم استخدام جهاز صمم خصّيصى لهذا البحث، يطلق عليه اسم الروتامتر. بمعرفة عدد دوراته في الدقيقة يمكن حساب V_u من العلاقة:

$$V_u = \frac{\pi \cdot n \cdot d}{60}.$$

عندما يكون الجريان محورياً خالياً تماماً من التدوم يجب أن تكون $\theta = 0$ ، وبزيادة درجة التدوم تزداد قيمة θ. من وجهة نظر التدوم الحجرة الفضلى هي التي لها أصغر قيمة لـ θ.

5–2. معيار عدم انتظام توزع الضغط في المقطع قبل دولاب المضخة

سنعتمد في تقييم التوزع المنتظم للجريان قبل دولاب المضخة على قياس هبوط الضغط في ثمانية أنابيب بيزومترية موزعة على محيط أنبوب الامتصاص في المنطقة قبل دولاب المضخة.

بفرض أن قيم هبوطات الضغط في البيزومترات الثمانية في أثناء الجريان هي $P_1, P_2, P_3, ..., P_8$. سنعبر عن معيار عدم انتظام توزع هبوط الضغط Δ بمعدل

انحراف هبوطات الضغط عن القيمة الوسطية لها، ويستخدم المعيار الآتـــي للتعبيـــر عنه:

$$\Delta = \frac{\sigma_n}{\overline{P}}$$

حيث:

- $\overline{P}$ القيمة الوسطية لهبوط الضغط في البيزومترات الثمانية، وتحسب من العلاقة:

$$\overline{P} = \frac{\sum_{i=1}^{8} P_i}{8}$$

- σ_n: الانحراف المعياري، ويحسب من العلاقة:

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{8} \left(P_i - \overline{P}\right)^2}{8}}$$

القيمة الأصغر لـــ Δ توافق توزع ضغط أكثر انتظاماً والعكس صحيح. وفي الحالـــة المثلى، أي عندما يكون الضغط منتظماً تماماً يجب أن يكون $\Delta = 0$.

3-5. معيار الضياعات الهيدروليكية

بمعرفة هبوط الضغط في البيزومترات الثمانية يمكننا حساب الضياعات الهيدروليكية، لأن هبوط الضغط ناجم عن الطاقة الحركية للجريان، وعن الفواقد التي تنشأ عند دخول المياه من الحجرة إلى أنبوب الامتصاص. أي أن:

$$\overline{P} = \frac{V_a^{\,2}}{2.g} + k \cdot \frac{V_a^{\,2}}{2.g}$$

حيث:

- $\overline{V}$: السرعة الوسطية في أنبوب الامتصاص والتي تبلغ $V_a = 1.57 m/s$.

ولكل حجرة يمكن حساب معامل الضياعات من العلاقة:

$$k = \left(\overline{P}.\frac{2 \cdot g}{\overline{V}^2} \right) - 1$$

الحجرة الفضلى هي الحجرة ذات القيمة الأقل لمعامل الضياعات.

5-4. معيار تشكل الدوامات السطحية وتحت السطحية

سيتم ذلك من خلال المراقبة والرؤية المباشرة بالعين المجردة لفترة معينة من الزمن. والحجرة الفضلى هي الحجرة التي لا تتشكل فيها دوامات من أي نوع.

6.النمذجة الفيزيائية للجريان في حجرات الامتصاص المفتوحة

من الصعوبة أن تتم دراسة الظواهر الهيدروليكية التي تتشكل في حجرات الامتصاص باستخدام النماذج الرياضية نتيجة لشدة تعقيدها [12,11]، خاصة دراسة الدوامات السطحية وتحت السطحية. لذلك ستجرى الدراسة على نموذج مخبري بمقياس محدد.

6-1. قوانين النمذجة

للحصول على نتائج منطقية ومقبولة من النموذج، يجب أن يكون محققاً لقوانين التشابه الهندسي والحركي والتحريكي مع الأصل. إلا أنه من المستحيل تحقيق قوانين التشابه جميعاً لاختلاف شروط تحقيقها، لذلك لابد من اعتماد القوى التي لها الدور الأكبر في السيطرة على الظاهرة المدروسة وإهمال القوى الأخرى.

وباعتبار أن الجريان في الحجرة المفتوحة هو جريان حر (كالجريان في الأقنية المكشوفة أو فوق الهدارات) أي يتعرض للضغط الجوي، فإن القوة الرئيسة الفاعلة فضلاً عن قوى العطالة هي قوة الثقالة[13]، ومن ثَمَّ فقانون فراود له الدور الرئيس في النمذجة:

$$Fr = \frac{V_a}{\sqrt{g \cdot d}}$$

وبناءً على عدة دراسات [17,16,15,14]، فإنه لإلغاء تأثير قوى اللزوجة والشد السطحي في نمذجة الظواهر المختلفة في حجرات الامتصاص المفتوحة يجب أن نحقق الشروط الآتية في النموذج:

$$\mathrm{Re}_d = \frac{V_a \cdot d}{\nu} \geq 10^5$$

$$\mathrm{Re}_h = \frac{Q}{\nu \cdot h} \geq 3 \times 10^4$$

$$\mathrm{Re}_H = \frac{V_H \cdot H}{\nu} \geq 3 \times 10^4$$

$$We_d = \frac{\rho \cdot V_a^2 \cdot d}{\sigma} > 600$$

6-2. أبعاد النموذج الفيزيائي

سوف ننطلق في اختيار أبعاد النموذج من اعتبارات اقتصادية وفنية، تجعلنا نعتمد الأبعاد التي لا تزيد من كلفة بناء النموذج، وتحقق شروط التشابه التي ذكرت في الفقرات السابقة. وسيكون قطر أنبوب الامتصاص هو المعيار الأساسي في عملية تحديد البعد، لأن جميع أبعاد الحجرة وعمق الماء فيها وكامل المنصة مرتبطة بشكل أو بآخر به.

سيتم اختيار قطر أنبوب الامتصاص في النموذج وفقاً للمعايير الآتية:

- قطر أنبوب الامتصاص للمضخات المحورية والمختلطة المنتجة في المعامل والأكثر استخداماً على الأغلب لا تتجاوز $1200mm$ (توافق غزارة بحدود $5-6\ m^3/s$)، وفي حالات خاصة يمكن أن تصل حتى $1800mm$ (توافق غزارة بحدود $15m^3/s$)، وفي حالات خاصة جداً يمكن أن تتجاوز القيم السابقة. وحسب العديد من الباحثين [2] فإن المقياس المنطقي والاقتصادي للنموذج الفيزيائي لحجرات محطات الضخ هو بحدود $(1/10-1/15)$.

- للتمكن من إجراء القياسات والاختبارات بأبعاد كافية، ولعدم تأثير تصغير أبعاد النموذج في مصداقية النتائج ينصح بعض الباحثين [14] ألاَّ يقل قطر أنبوب الامتصاص عن $(10-11)cm$.
- يجب تحقيق جميع الشروط والقوانين الواردة سابقاً لإلغاء تأثير قوى اللزوجة والشد السطحي.

وعليه تم اخيتار قطر أنبوب الامتصاص للنموذج $d = 120mm$. وهذا يعني أن مقياس النموذج في المخبر لايقل عن 1/10 في أغلب الحالات ويصل إلى 1/15 في بعض الحالات الخاصة وهي نسب مقبولة جداً، وهو أكبر من $(10-11)cm$.

ستتم التجارب باعتماد سرعة جريان ثابتة لجميع النماذج، تحدد من شرط مساواة عدد فراود بالنسبة لأنبوب الامتصاص في النموذج مع ما يقابله في الأصل، الذي على الأغلب يكون بحدود $(1.3-1.6) = Fr_d = \frac{V_d}{\sqrt{g \cdot d}}$، لأن السرعة في أنابيب الامتصاص للمضخات المحورية والمختلطة المنتجة تكون بحدود $(4-6)m/s$.

ولو افترضنا وسطياً أن عدد فراود في أنبوب الامتصاص هو بحدود $Fr_d = 1.45$، فهذا يعني أن السرعة في أنبوب الامتصاص للنموذج هي:

$$Fr_d = \frac{V_a}{\sqrt{g \cdot d}} = 1.45 \Rightarrow$$

$$V_a = Fr_d \cdot \sqrt{g \cdot d} = 1.45 \cdot \sqrt{9.81 \cdot 0.12} \approx 1.57 m/s$$

ولقد تم التحقق من مطابقة شروط قوانين النمذجة جميعاً.

7. منصة التجارب

7-1. وصف المنصة

لاختبار الجريانات في حجرات الامتصاص المفتوحة تم تصميم وتنفيذ منصة تجارب، تسمح بإجراء الاختبارات المطلوبة وتصوير الجريان. وقد أجريت التجارب في مخبر الهيدروليك في كلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق.

تتألف منصة الاختبارات للجريان في حجرات الامتصاص المفتوحة من العناصر الآتية (الشكل 3,2):

1. خزان معدني بطول $200cm$ وعرض $150cm$ وارتفاع $70cm$ ويتسع لـ $2.1m^3$.
2. نموذج حجرة الامتصاص بأبعاد خارجية $75cm \times 70 \times 100$.
3. مضخة نابذة: بغزارة اسمية $Q = 90m^3/h$ ورفع $H_p = 18m$ عند هذه الغزارة.
4. أنبوب دفع من الحديد المزيبق قطر $100mm$.
5. أنبوب امتصاص من الحديد المزيبق قطر $125mm$.
6. عداد لقياس التصريف عبر المضخة.
7. سكر جارور مركب على أنبوب الدفع لمعايرة غزارة المضخة.
8. جهاز لقياس الضغط مركب على أنبوب دفع المضخة.
9. أنبوب شفاف من الزجاج العضوي.
10. قمع امتصاص مصنع من النحاس بطريقة البلص.
11. جهاز روتامتر مع عداد لقياس درجة التدوم.
12. لوحة بيزومترات مع ثمانية أنابيب بيزومترية.
13. مضخة تخلية مع أنبوب موصول إلى أعلى أنبوب الامتصاص مع سكر.
14. مهدئات جريان.

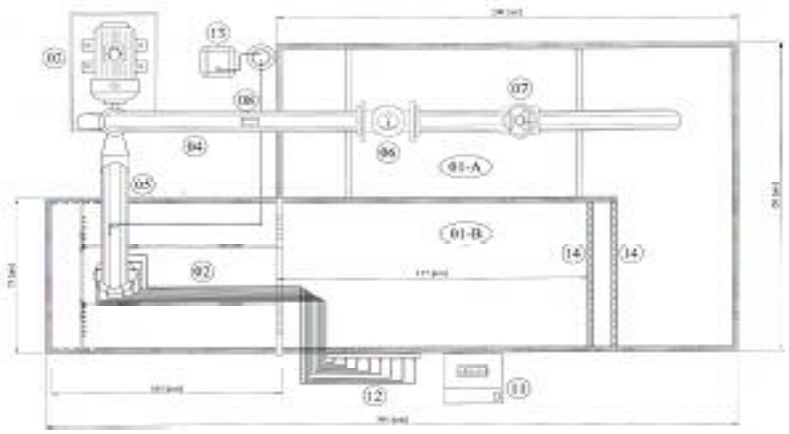
تم تقسيم الخزان إلى قسمين A, B عن طريق حاجر معدني. عرض الجزء A يبلغ $75cm$ والعرض نفسه للجزء B. تأتي المياه من أنبوب الدفع ويتم تخميدها بشكل أولي في الجزء A من الخزان. ثم تتجه المياه من الجزء A إلى الجزء B، حيث تم تثبيت طبقات من المناخل تعمل على إكمال تهدئة الجريان ومن ثَمَّ ضمان توزع منتظم للسرعة عند دخول المياه إلى حجرة الامتصاص.

منظر أمامي لمنصة التجارب

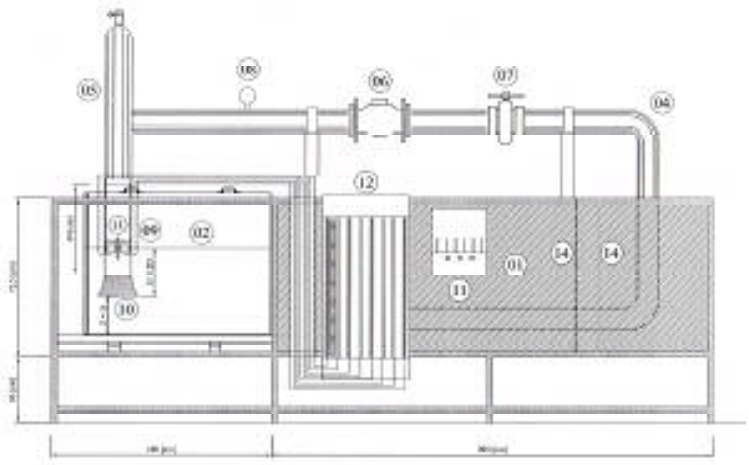
منظر خلفي لمنصة التجارب

منظر جانبي لمنصة التجارب

الشكل(2). منصة التجارب لحجرات الامتصاص المفتوحة



الشكل(3– أ). مسقط أفقي لمنصة التجارب



الشكل(3–ب). واجهة أمامية لمنصة التجارب

أما نموذج الحجرة فقد صمم بحيث نتمكن في أثناء إجراء التجارب من تغيير الأبعاد الأساسية لها وهي: العرض b وارتفاع فتحة قمع أنبوب الامتصاص عن الأرضية z وبعد الجدار الخلفي عن محور أنبوب الامتصاص l.

وقد نفذت جدران الحجرة من صفائح الزجاج المقوى بأبعاد خارجية $(100\times70\times75cm)$ وسماكة $10mm$، ولتغيير أبعادها استخدمنا صفائحَ من الزجاج العضوي الشفاف (البليكسي–كلاس) تسمح برؤية الجريان والدوامات المتشكلة وتصويرها، وقد نُفذت هذه الصفائح بسماكة $20mm$ لضمان متانتها.

كانت عملية ضخ المياه تتم على شكل دورة مغلقة، بحيث تسحب المياه من الحجرة عن طريق أنبوب امتصاص ثم مضخة فأنبوب دفع ثم يعود الماء إلى الخزان ثانيةً.

نُفِّذَ أنبوب الدفع من الحديد المزيبق قطر $100mm$. وزود بمقياس ضغط لتحديد ضاغط المضخة – عداد تصريف مياه نموذج ولتمان قطر $100mm$ و سكر جارور نحاسي لمعايرة الغزارة.

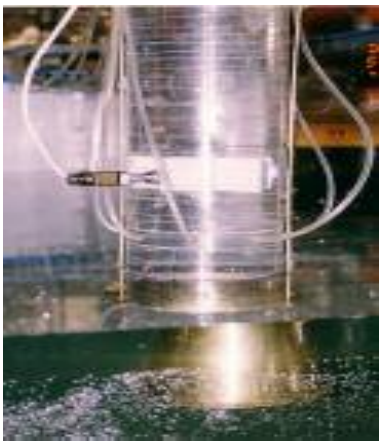
أما أنبوب الامتصاص فقد تم تنفيذ الجزء العلوي منه من الحديد المزيبق قطر $125mm$. أما الجزء السفلي والذي يبلغ طوله $40cm$ وقطره من الداخل $120mm$ وسماكة جدرانه $10mm$ فنفذ من الزجاج العضوي لضمان رؤية الجريان عند دخوله من الحجرة إلى أنبوب الامتصاص.

وبالنسبة لقمع أنبوب الامتصاص فقد صنع من النحاس الأحمر بطريقة البلص وفق بروفيل يعتمد على ثبات معدل هبوط الضغط [9]، نسبة فتحته الكبرى إلى الصغرى $D/d=1.5$ (معظم الشركات المنتجة للمضخات يكون فيها $D=(1.5-1.75)d$)، ثم ثبت هذا القمع على الأنبوب الشفاف.

ولقياس توزع الضغط على محيط أنبوب الامتصاص تم ثقب الجزء الشفاف ثمانية ثقوب موزعة على المحيط بشكل متساوٍ، قطر الثقب الواحد يساوي $2mm$، وهذه الثقوب تقع على مسافة من فتحة القمع مقدارها $0.5\cdot d$، وهي المسافة التقريبية عادة التي يتوضع فيها المقطع قبل دولاب المضخة مباشرة. ووصلت هذه الثقوب إلى لوحة

بيزومترات مؤلفة من ثمانية أنابيب شفافة ومساطر مرقمة من أجل قياس قيمة الضغط عند جميع الثقوب، ومن ثَمَّ تحديد توزع الضغط على محيط أنبوب الامتصاص. أما عملية الوصل بين الثقوب والأنابيب البيزومترية فتمت عن طريق أنابيب مطاطية شفافة قطر $2mm$.

من أجل قياس درجة التدوم جرى تصميم جهاز روتامتر مؤلف من أربع شفرات مستوية شاقولية خفيفة الوزن (الشكل 4) نفذت من البلاستيك تدور عن محور من معدن الألمنيوم تم تثبيتها عليه. ثم ثبت الروتامتر عن طريق أربعة قضبان من البولاد القاسي قطر $2mm$ إلى جدار الأنبوب الشفاف، وبهذا الشكل تم ضمان دوران الروتامتر بشكل محوري دون أي اهتزاز. أما القطر الخارجي للروتامتر فهو أقل من القطر الداخلي للأنبوب الشفاف بـ $2mm$ لكي يستطيع الدوران بحرية. في مكان من جدار الأنبوب الشفاف مقابل لنصف ارتفاع الروتامتر تم ثقب الأنبوب وثبت حساس صغير في داخله موصول بواسطة سلك كهربائي مع عداد دورات ديجيتال . ولعد الدورات ألصقت على إحدى الشفرات البلاستيكية قطعة معدنية رقيقة من القصدير، بحيث عندما تمر الشفرة المزودة بالقصدير أمام الحساس يعطي إشارة ضوئية، ويقوم عداد الديجيتال مباشرة بإعطاء عدد الدورات في الدقيقة الواحدة بقراءة تظهر على الشاشة. وبهذا الأسلوب يتم عد دورات الروتامتر ومن ثم تحديد درجة التدوم.



الشكل (4). جهاز الروتامتر لقياس درجة التدوم

7-2. آلية إجراء التجارب:

كانت عملية تغيير أبعاد الحجرة تتم أولاً بمعايرة الصفيحة السفلية، بحيث يصبح ارتفاع فتحة قمع أنبوب الامتصاص عن أرضية الحجرة بقيمة z المطلوبة. وقد تم تغيير قيمة z أربع مرات في أثناء التجارب على التوالي: $z = (1 - 0.75 - 0.5 - 0.3)D$. ثم من أجل كل قيمة لـــ z يثبت الجدار الخلفي على بعد عن محور أنبوب الامتصاص عند أربع قيم وهي: $l = (0.5 - 0.75 - 1 - 1.25)D$. وعند كل قيمة لـــ l كان يتم تغيير عرض الحجرة أربع مرات $b = (1.5 - 2.0 - 2.5 - 3.0)D$. وعند كل حالة كانت تتم التجارب عند ثلاث قيم لعمق الغمر هي: $h = (1.8 - 1.5 - 1.2)D$. وفي جميع التجارب طول الحجرة لم يتم تغييره، لأن الدراسات تثبت أن طول الحجرة يجب أن يكون له قيمة دنيا لضمان توزع جريان منتظم في الحجرة، يحدد في حالة تزويد الحجرة بشكل موازي (كما الحال في بحثنا) أكبر من $3 \cdot D$ ، وفي التجارب تم أخذ طول الحجرة $4 \cdot D$.

كان التحكم بعمق الغمر يتم عن طريق فتح سكر وإغلاقه قطره 2 أنش موجود في أسفل الخزان. كان عدد الحجرات المختبرة بالمحصلة 192 حجرة مختلفة الأبعاد.

8. نتائج التجارب

8-1. تأثير أبعاد الحجرة في درجة التدوم

تأثير عرض الحجرة

لوحظ أن لعرض الحجرة تأثيراً مهماً في درجة التدوم. حيث وجد في أغلب الحالات المختبرة أنه مع تخفيض عرض الحجرة من $b = 3 \cdot D$ إلى $b = 2.5 \cdot D$ تنخفض درجة التدوم بشكل قليل، ثم ترتفع من جديد عند تخفيض العرض إلى $b = 2 \cdot D$ ثم إلى $b = 1.5 \cdot D$. ولكن درجة التأثير هذه تختلف باختلاف ارتفاع فتحة القمع z عن أرضية الحجرة، وبعد الجدار الخلفي l لها.

إذ يزداد تأثير عرض الحجرة في درجة التدوم مع ازدياد الارتفاع z. فعند القيم القليلة لهذا الارتفاع$(z = 0.3D)$لم يلاحظ تأثير كبير لعرض الحجرة في درجة التدوم، كما هو واضح في الشكل(5). لكن تأثير عرض الحجرة في درجة التدوم أصبح أوضح عند القيمة $(z = 0.5D)$. ثم ازداد هذا التأثير بشكل كبير عند القيم الكبيرة لـــ z $(z/D = 0.75-1)$، كما هو مبين في الشكل(6).

كما تبين أيضاً أن تأثير عرض الحجرة في درجة التدوم عند القيم القليلة للبعد l $(l = 0.5D)$ مهمل تقريباً (الشكل7). أما عند القيم الكبيرة لـــ l $(l/D = 0.75-1-1.25)$ فإن تأثير عرض الحجرة في درجة التدوم أكبر، (الشكل8).

<u>تأثير البعد الخلفي للحجرة</u>

تبين في أغلب الحجرات المختبرة أن البعد الخلفي للحجرة l يؤدي دوراً مهماً جداً في درجة التدوم. إذ ازدادت درجة التدوم مع ازدياد هذا البعد، ولكن مقدار هذه الزيادة يختلف باختلاف$(z/D, b/D)$. فعند القيم الصغيرة لـــ (z/D) كان تأثير بعد الجدار الخلفي في درجة التدوم قليلاً وخاصة عند القيم الكبيرة لـــ(b/D)، كما هو مبين في الشكل(9)، في حين أنه عند القيم الصغيرة لـــ(b/D) كان تأثير العرض أكبر بقليل كما هو في الشكل(10).

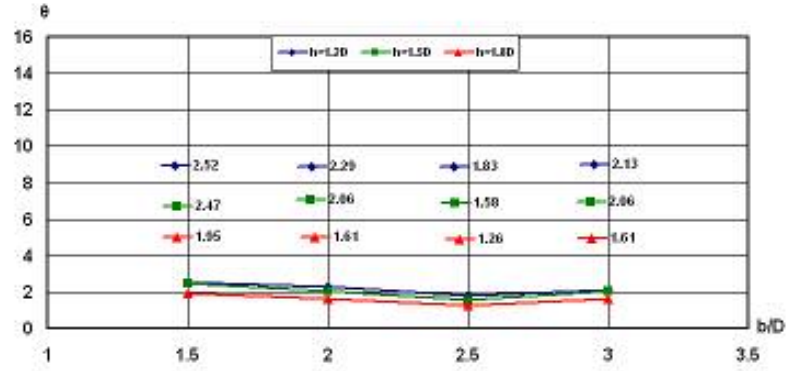
أما عند القيم الكبيرة لـــ (z/D) فقد ازداد تأثير بعد الجدار الخلفي في درجة التدوم، إذ وجدنا أنه عند القيم القليلة لعرض الحجرة ازدادت درجة التدوم مع ازدياد البعد l من$(l = 0.5D)$ إلى$(l = D)$ ثم تناقصت مع الزيادة إلى$(l = 1.25D)$، وكان التباين بين قيمها كبيراً (الشكل11). لكن عند القيم الكبيرة لعرض الحجرة ازدادت درجة التدوم مع ازدياد البعد l إلا أن التباين بين قيمها أقل كثيراً من الحالة السابقة، كما هو موضح في الشكل(12).

تأثير ارتفاع فتحة أنبوب الامتصاص عن قاع الحجرة

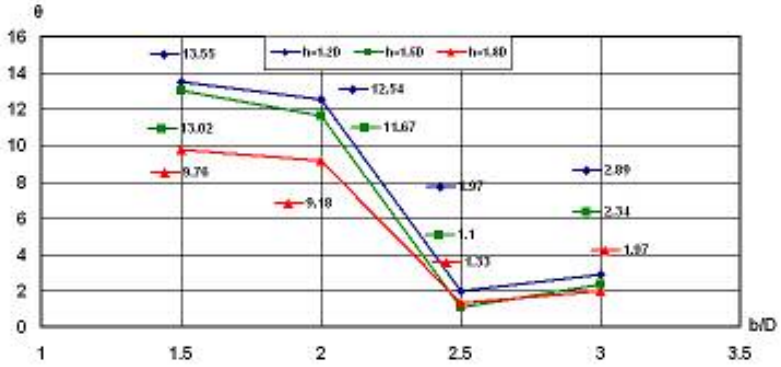
أيضاً يؤثر الارتفاع z إلى حد كبير في درجة التدوم. إذ تبين من أنه مع زيادة هذا الارتفاع تزداد درجة التدوم، وخاصة في الحجرات ذات القيم الكبيرة لـــ(l/D)والقيم الصغيرة لـــ(b/D)، كما هو مبين الشكل(13). أما عند القيم القليلة لـــبعد الجدار الخلفي للحجرة$(l=0.5D)$فلم يلاحظ تأثير كبير لـــ z في درجة التدوم مهما كان عرض الحجرة، كما هو موضح الشكل(14).

تأثير عمق الغمر

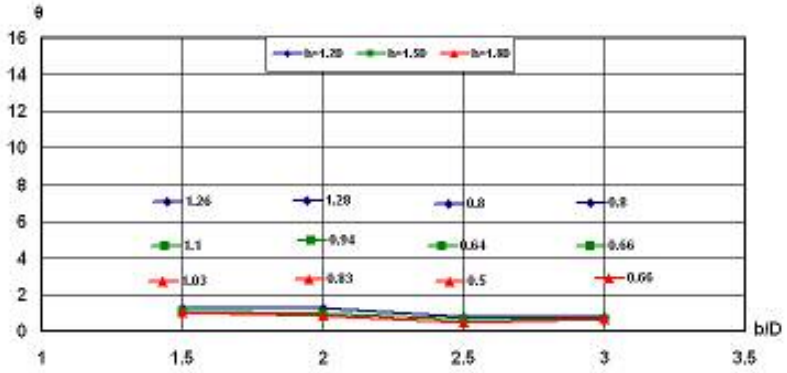
لوحظ في جميع الحجرات المختبرة تقريباً أن زيادة عمق الغمر لفتحة أنبوب الامتصاص تخفف من درجة التدوم، وإن كانت درجة التخفيف هذه تختلف من حجرة إلى أخرى تبعاً لأبعاد الحجرة. ففي الحجرات التي تتمتع بمسافة قريبة جداً للجدار الخلفي من فتحة أنبوب الامتصاص$(l=0.5D)$ كان التأثير قليلاً جداً بغض النظر عن قيم z,b، كما هو موضح في الشكل(15)، حيث نجد أنه لا يوجد فرق كبير بين قيم درجة التدوم عند أعماق الغمر المختلفة مهما كان عرض الحجرة. أما عند تكبير المسافة l فقد كان لعمق الغمر تأثير أكبر في درجة التدوم وخاصة في الحجرات ذات القيم الكبيرة لـــ z والقيم الصغيرة لـــ b. ويبين الشكل (16) تغير درجة التدوم للحجرة ذات الأبعاد $(l=0.75D, z=D)$، حيث نلاحظ أن هناك تبايناً كبيراً بين قيم درجة التدوم عند أعماق الغمر المختلفة الموافقة للقيم$(b/D=1.5-2)$، في حين أنها متقاربة جداً عند أعماق الغمر المختلفة الموافقة للقيم$(b/D=2.5-3)$.



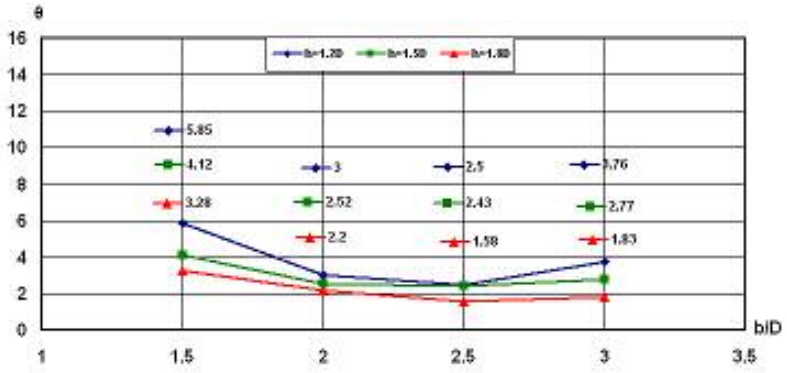
الشكل(5). تغير درجة التدوم مع تغير العرض في الحجرة(z=0.3D,l=D)



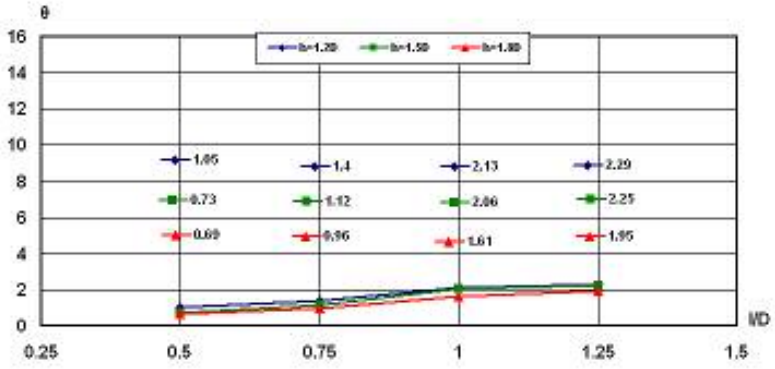
الشكل(6). تغير درجة التدوم مع تغير العرض في الحجرة(z=D,l=D)



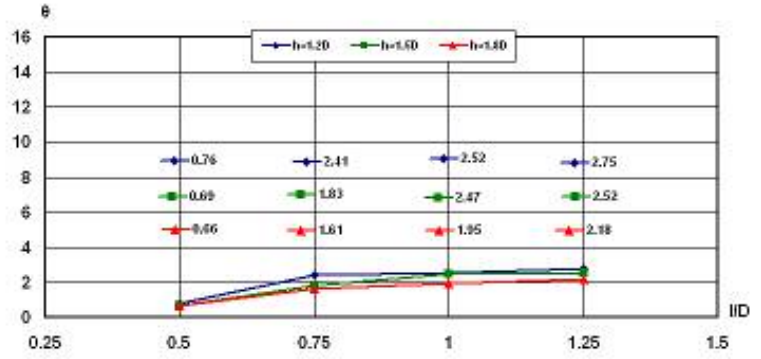
الشكل(7). تغير درجة التدوم مع تغير العرض في الحجرة(z=0.5D,l=0.5D)



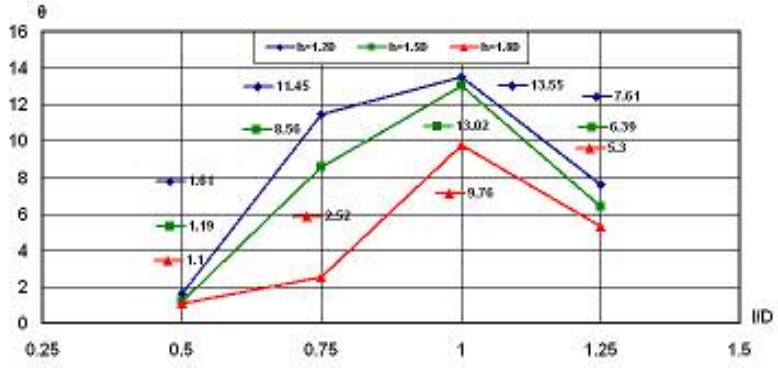
الشكل(8). تغير درجة التدوم مع تغير العرض في الحجرة(z=0.5D,l=1.25D)



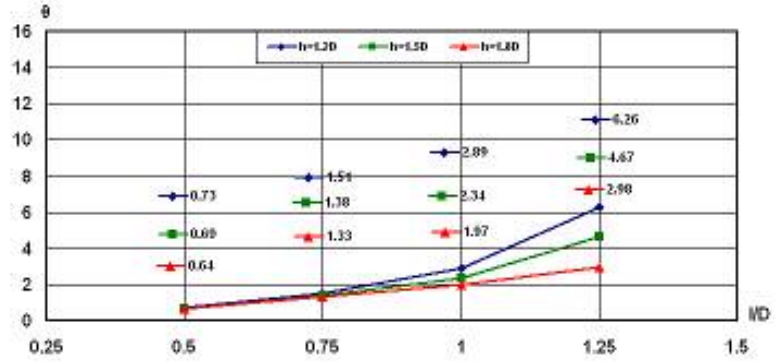
الشكل(9). تغير درجة التدوم مع تغير البعد الخلفي في الحجرة(z=0.3D,b=3D)



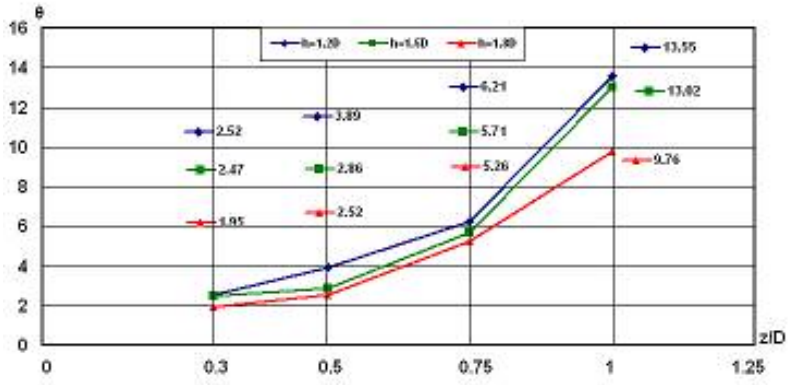
الشكل(10). تغير درجة التدوم مع تغير البعد الخلفي في الحجرة(z=0.3D,b=1.5D)



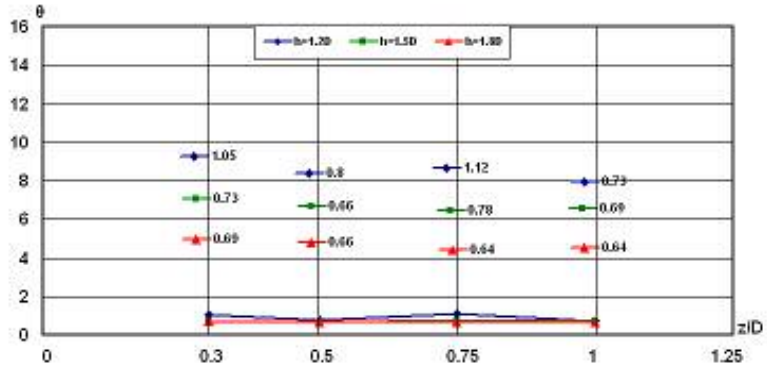
الشكل(11). تغير درجة التدوم مع تغير البعد الخلفي في الحجرة(z=D,b=1.5D)



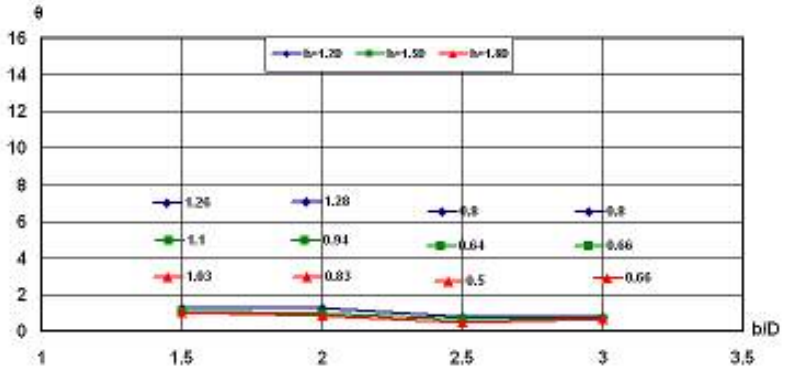
الشكل(12). تغير درجة التدوم مع تغير البعد الخلفي في الحجرة(z=D,b=3D)



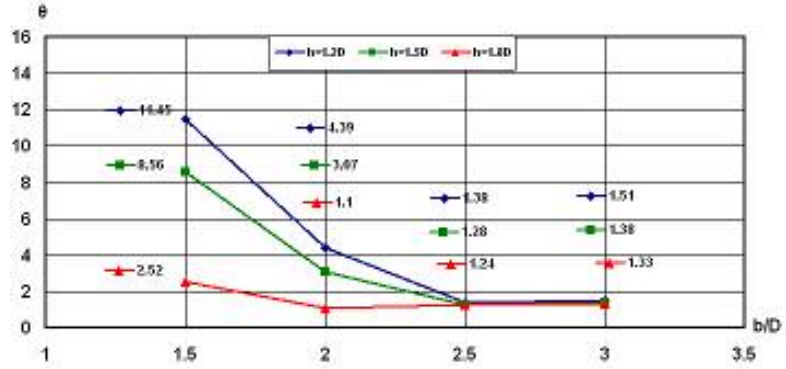
الشكل(13). تغير درجة التدوم مع تغير ارتفاع فتحة قمع الامتصاص في الحجرة(l=D,b=1.5D)



الشكل(14). تغير درجة التدوم مع تغير ارتفاع فتحة قمع الامتصاص في الحجرة(l=0.5D,b=3D)



الشكل(15). تغير درجة التدوم مع تغير عمق الغمر في الحجرة(z=0.5D,l=0.5D)



الشكل(16). تغير درجة التدوم مع تغير عمق الغمر في الحجرة(z=D,l=0.75D)

8-2. الدوامات السطحية

لوحظ أن لأبعاد الحجرة تأثيراً كبيراً في تشكل الدوامات السطحية وفي شدتها. وشدة الدوامة كانت تختلف من غماز صغير يظهر على سطح الماء إلى دوامة شديدة مفتوحة ممتدة من سطح الماء إلى داخل أنبوب الامتصاص وتقوم بسحب الهواء.

وفي الحجرات التي كانت تتشكل فيها الدوامة السطحية، كانت تظهر في الجزء الخلفي للحجرة (أي ضمن المسافة بين أنبوب الامتصاص والجدار الخلفي) عند منتصف عرض الحجرة، وتتحرك نحو اليسار واليمين قليلاً. يبين الشكل (17) صورة لدوامة سطحية ماصة للهواء.

-تأثير عرض الحجرة

تبين أن عرض الحجرةً يؤدي دوراً مهماً في تشكل هذه الدوامات. وقد أظهرت التجارب أن احتمال تشكل الدوامة وازدياد شدتها يتناقص مع تزايد عرض الحجرة. إذ قل احتمال ظهور هذه الدوامات مع ازدياد عرض الحجرة إلى حد اختفائها وعدم ظهورها في الحجرات ذات العرض الكبير $(b = 3 \cdot D)$ والموافق غالباً للقيم القليلة للبعد l $(l = 0.5.D - 0.75.D)$، أما عند العرض نفسه والقيم الكبيرة لـ l $(l = D - 1.25 \cdot D)$ فيزداد احتمال تشكل الدوامات السطحية.

-تأثير البعد الخلفي للحجرة

كان لبعد الجدار الخلفي للحجرة عن محور أنبوب الامتصاص تأثير واضح في تشكل هذه الدوامات. حيث قل احتمال ظهور هذه الدوامات وضعفت شدتها مع تناقص البعد l، إلى درجة اختفائها تماماً في أغلب الحجرات التي يكون فيها الجدار الخلفي ملامساً لحافة قمع الامتصاص $(l = 0.5 \cdot D)$. ومع ازدياد l زاد احتمال تشكلها وأصبحت أكثر شدة، لدرجة ظهورها بشكل دائم تقريباً عند البعد الكبير لـ l $(l = 1.25 \cdot D)$ مهما كان عرض الحجرة أو عمق الغمر h أو مهما كانت قيمة z، وكانت الدوامات

المتشكلة عند القيم الكبيرة لـــ l شديدة بحيث تنفتح الدوامة بالكامـــل وتقـــوم بمـــص الهواء وتدخله إلى أنبوب الامتصاص.

<u>–تأثير ارتفاع فتحة أنبوب الامتصاص عن قاع الحجرة</u>

لوحظ أن ارتفاع فتحة أنبوب الامتصاص عن قاع الحجرة z يؤثر هو الآخر بشكل واضح في ظهور هذه الدوامات وشدتها، إذ مع ازدياد z تنـــاقص احتمـــال تـــشكلها وانخفضت شدتها. وقد وجد أنه عند القيم الكبيرة لـــ z $(z = D)$كانت الحالة السائدة إما عدم تشكل دوامات سطحية على الإطلاق، أو تشكل غماز صـــغير علـــى ســـطح الماء، وفي حالات قليلة جداً دوامات شديدة مفتوحة ماصة للهواء. أما في الحجـــرات الموافقة لقيم $(z = 0.5.D - 0.75.D)$ فقد ازداد احتمال ظهـــور هـــذه الـــدوامات وازدادت شدتها، ثم ارتفع الاحتمال والشدة إلى حد كبيـــر عنـــد تخفـــيض z إلـــى $(z = 0.3.D)$، وكان الدوامات السائدة في هذه الحالة هي من النوع المفتوح المـــاص للهواء.

<u>–تأثير عمق الغمر</u>

تبين أن عمق الغمر في الحجرة يؤدي دوراً كبيراً في تـــشكل الـــدوامات الـــسطحية وشدتها أيضاً. فكلما ازداد عمق الغمر h كان يتناقص احتمال تشكل هذه الـــدوامات وتتناقص شدتها، حتى أنها لم تتشكل علـــى الإطـــلاق عنـــد قـــيم الغمـــر الكبيـــرة $(h = 1.8 \cdot D)$ الموافقة تحديداً للقيم الصغيرة لـــ l $(l = 0.5.D - 0.75.D)$ والقـــيم الكبيرة لـــ z $\left(\frac{z}{D} = 0.75 - 1\right)$. في حين أنها كانت تظهر بشكل شبه دائم عند أعمـــاق الغمر القليلة $(h = 1.2 \cdot D)$وتكون شديدة مفتوحة بالكامل ولاسيما عند القـــيم القليلـــة لعرض الحجرة.

8-3. الدوامات تحت السطحية (Tornado)

في جميع الحجرات المختبرة كانت تتشكل الدوامات تحت السطحية في المنطقة الممتدة بين فتحة أنبوب الامتصاص وأرضية الحجرة. حيث يظهر في مركز الدوامة خيط هوائي معلق يمتد إلى داخل أنبوب الامتصاص. وتختلف شدة الدوامة تحت السطحية حسب أبعاد الحجرة. فيمكن أن يظهر خيط هوائي ضعيف يظهر فقط عند مدخل أنبوب الامتصاص، وأحياناً يمتد بشكل واضح من أرض الحجرة إلى داخل أنبوب الامتصاص. يظهر الشكل (18) صورة لدوامة تحت سطحية شديدة.

-تأثير عرض الحجرة

إن لعرض الحجرة تأثيراً كبيراً في تشكل الدوامات تحت السطحية وشدتها. إذ وجد أنه كلما ازداد عرض الحجرة تراجع ظهور هذه الدوامات في أغلب الحجرات المختبرة، كما تراجعت شدتها. على أن درجة هذا التراجع ترتبط بارتفاع فتحة أنبوب الامتصاص عن قاع الحجرة z، إذ وجدنا أنه في الحجرة $z = 0.3 \cdot D$ تناقصت شدة الدوامة تحت السطحية عند زيادة العرض من $b = 1.5 \cdot D$ إلى $b = 3 \cdot D$. أما في الحجرة $z = D$ فتراجعت شدة الدوامة من دوامة شديدة عند العرض $b = 1.5 \cdot D$ إلى انعدامها تماماً عند $b = 3 \cdot D$.

-تأثير البعد الخلفي للحجرة

لوحظ أن بعد الجدار الخلفي للحجرة عن محور أنبوب الامتصاص يؤثر في تشكل هذه الدوامات وشدتها. إذ وجدنا أن احتمال ظهور هذه الدوامات وشدتها كانا يزدادان مع تزايد قيمة l.

-تأثير ارتفاع فتحة أنبوب الامتصاص عن قاع الحجرة

تبين أنه كلما ازداد بعد قاع الحجرة عن فتحة قمع الامتصاص z قل احتمال ظهور هذه الدوامات وتناقصت شدتها. ولكن تأثير الارتفاع z في تشكل الدوامات تحت السطحية يتعلق بالبعد l، ففي الحجرات ذات القيم الصغيرة

لـ l $(l = 0.5.D - 0.75.D)$ كانت الدوامة تحت السطحية عند $z = 0.3D$ شديدة ثم انعدمت تقريباً عند $z = D$ ، أما في الحجرات ذات القيم الكبيرة لـ l $(l = 1.25 \cdot D - D)$ فقد كانت الدوامة شديدة عند $z = 0.3D$ ، ولكن لم تتناقص شدتها بشكل كبير عند تكبير z إلى $z = D$.

-تأثير عمق الغمر

تبين أن زيادة عمق الغمر وخاصة عند القيم الكبيرة لـ z $(z = 0.5.D - 0.75.D - D)$ كان يقلل من احتمال تشكل الدوامات تحت السطحية ويخفف من شدتها. أما عند قيمة $z = 0.3D$ فلم يلاحظ تأثير واضح لعمق الغمر في تشكل هذه الدوامات وكانت الدوامات شديدة بشكل عام عند جميع أعماق الغمر.

الشكل(17). دوامة سطحية شديدة ماصة للهواء

الشكل(18). دوامة تحت سطحية شديدة

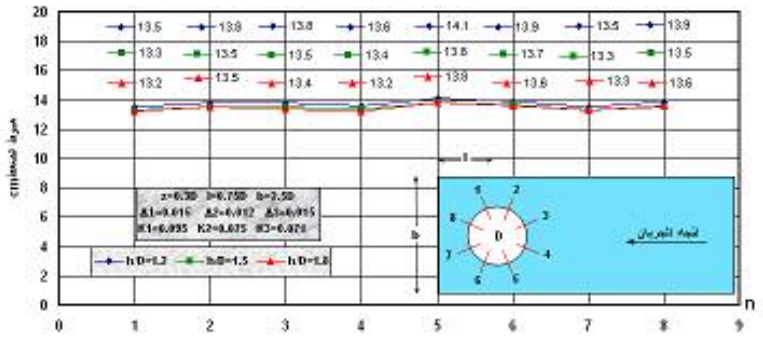
8-4. توزع الضغط على محيط أنبوب الامتصاص

بعد إنجاز التجارب وقياس توزع هبوطات الضغط على محيط أنبوب الامتصاص، قمنا برسم خطوط توزع هبوط الضغط، ثم حساب معامل عدم انتظام توزع الضغط Δ لكل حجرة.

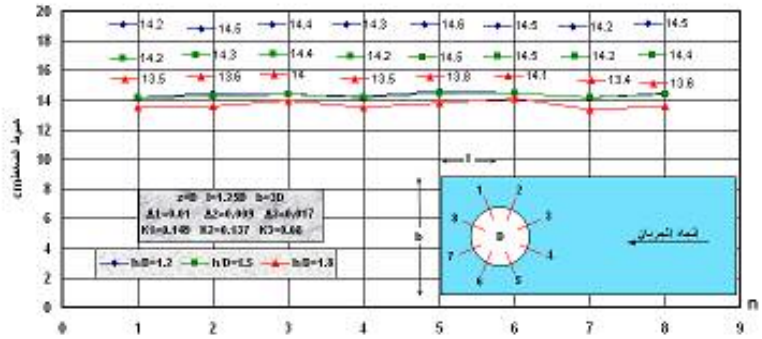
<u>تأثير أبعاد الحجرة في توزع الضغط</u>

إن توزع الضغط يتغير بتغير أبعاد الحجرة بدرجات مختلفة كما يأتي:

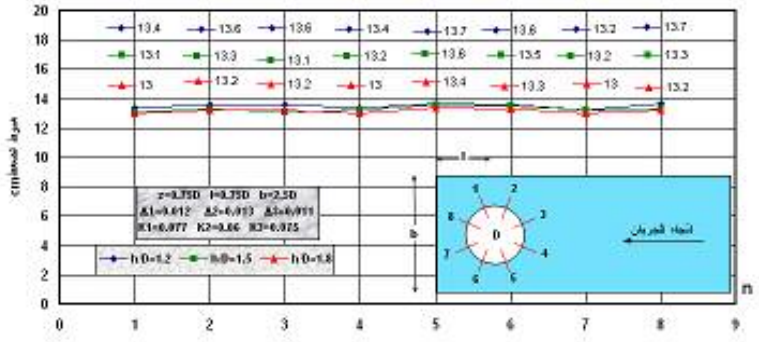
- لوحظ أن عمق الغمر h لا يؤثر بشكل مهم في توزع هبوط الضغط على محيط أنبوب الامتصاص في الحجرات المختبرة، ولا في قيمة Δ، وهذا الأمر واضح من خلال منحنيات توزع هبوط الضغط التي لم تتغير مع تغير h، الشكل(19)، إذْ نلاحظ أيضاً أنه لا يوجد فرق يذكر بين قيم معيار عدم انتظام الضغط عند أعماق الغمر المختلفة. ولكن من جهة ثانية أثر عمق الغمر في قيمة هبوط الضغط، لأن عمق الغمر كما ذكرنا سابقاً أثر في درجة التدوم، (وكما سنجد لاحقاً أن هناك علاقة مباشرة بين درجة التدوم والضياعات الهيدروليكية)، ويبين الشكل رقم (20) أن هناك فرقاً في قيم هبوط الضغط عند أعماق الغمر المختلفة.
- تبين أيضاً أنه لا يوجد تأثير يذكر لبعد فتحة قمع الامتصاص عن قاع الحجرة في توزع هبوط الضغط على محيط أنبوب الامتصاص ولا في قيمةΔ للحجرات التي لها القيم نفسها bو l. حيث يظهر الشكلان (22,21) أن شكل مخطط توزع هبوط الضغط لم يتغير في نماذج حجرات بقيم مختلفة لـــ z، والقيم نفسها لـــ bو l، ويظهران أيضاً أن الفرق بين قيمΔ ضئيل جداً.



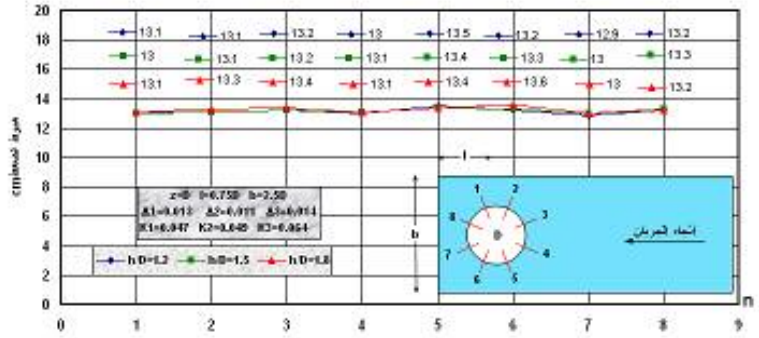
الشكل(19). توزع هبوط الضغط على محيط أنبوب الامتصاص في الحجرة (z=0.3D, l=0.75D, b=2.5D)



الشكل(20). توزع هبوط الضغط على محيط أنبوب الامتصاص في الحجرة (z=D, l=1.25D, b=3D)



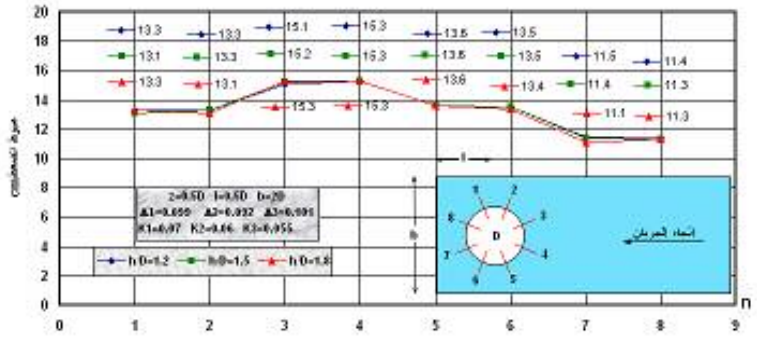
الشكل(21). توزع هبوط الضغط على محيط أنبوب الامتصاص في الحجرة
(z=0.75D, l=0.75D, b=2.5D)



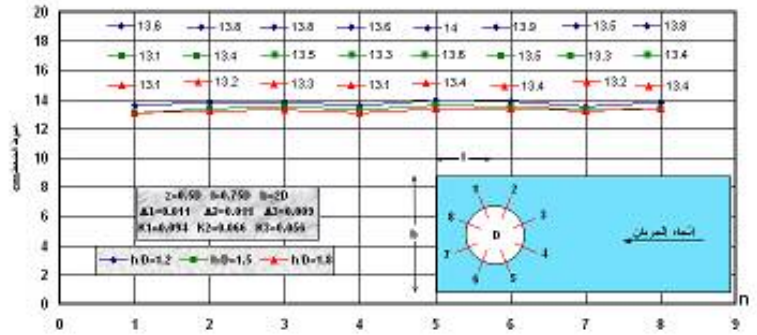
الشكل(22). توزع هبوط الضغط على محيط أنبوب الامتصاص في الحجرة
(Z=D, l=0.75D, b=2.5D)

– لوحظ أن البعد الخلفي لجدار الحجرة عن محور أنبوب الامتصاص l له تأثير في توزع هبوط الضغط على محيط أنبوب الامتصاص، وفي قيمة Δ. إذْ وجدنا أن توزع هبوط الضغط غير منتظم على الإطلاق عند $l = 0.5 \cdot D$ مهما تكن الأبعاد الأخرى للحجرة أو عمق الغمر، وأن أعلى هبوط للضغط يحصل عند الأنبوبين البيزومتريين $(4,3)$ الموجودين في الجهة الأمامية من الحجرة حيث ازدادت سرعة الجريان في القسم الأمامي من أنبوب الامتصاص، أما عند الأنبوبين $(8,7)$ الواقعين في الجهة الخلفية فكان هبوط الضغط أقل بسبب نقصان السرعة ومن ثَمَّ ارتفاع الضغط، كما في الشكل(23). في حين يصبح توزع هبوط الضغط أكثر انتظاماً أو حتى شبه منتظم عند تكبير l إلى $(l = 0.75D - D - 1.25D)$ الشكل (24).أما بالنسبة لقيمة معيار عدم توزع الضغط فهي تتناقص مع ازدياد البعد lمن $(l = 0.5D)$ إلى $(l = 0.75D)$ ثم لم تتزايد بهذا الشكل المهم عند تزايد l إلى $(l = 1.25D)$، كما هو موضح في الشكل(25).

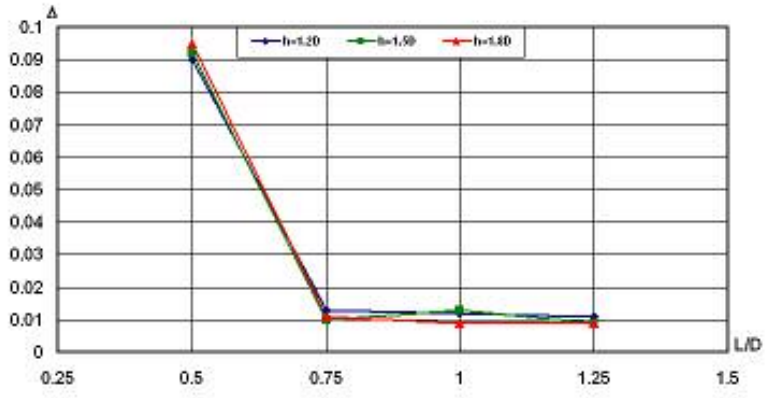
– تبين أنه عند القيم القليلة لعرض الحجرة $(b = 1.5 \cdot D)$والموافقة لقيم $l = (0.5 - 0.75) \cdot D$ تحديداً يصبح توزع الضغط غير منتظم، الشكل(26).عدا ذلك لم يلاحظ تأثير يذكر لعرض الحجرة في توزع الضغط على محيط أنبوب الامتصاص، الشكل (27). أما بالنسبة لمعيار عدم انتظام توزع الضغط فإنه يتناقص مع ازدياد عرض الحجرة ، الشكل(28).



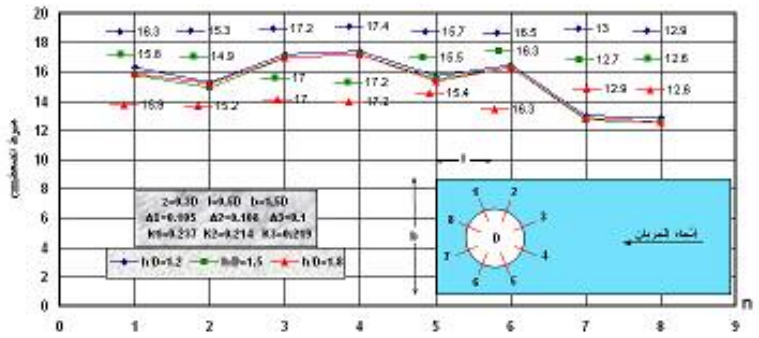
الشكل(23). توزع هبوط الضغط على محيط أنبوب الامتصاص في الحجرة
(z=0.5D, l=0.5D, b=2.D)



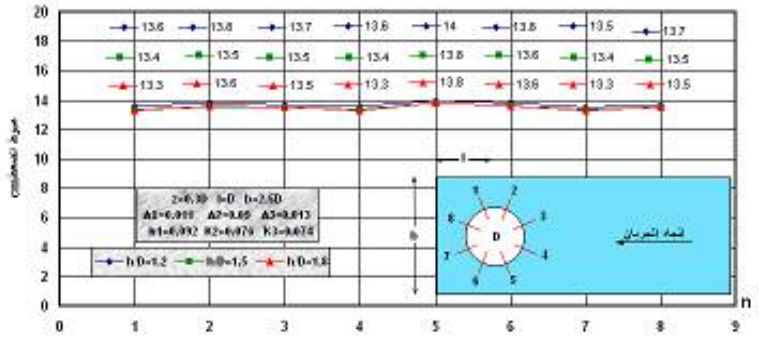
الشكل(24). توزع هبوط الضغط على محيط أنبوب الامتصاص في الحجرة
(z=0.5D, l=0.75D, b=2D)



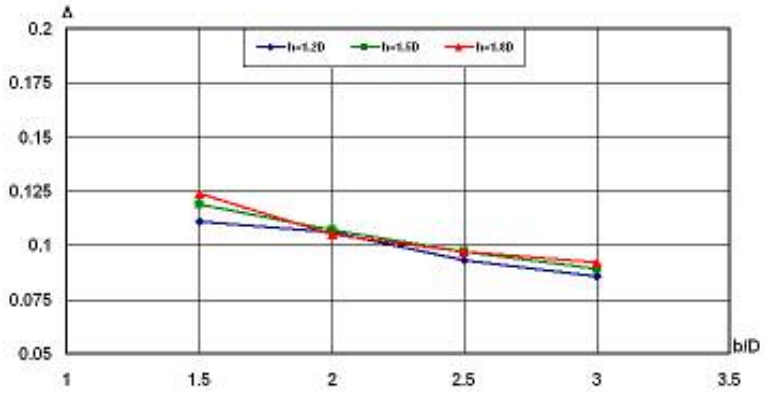
الشكل(25). تغير معامل عدم انتظام توزع الضغط مع البعد الخلفي للحجرة(z=0.5D, b=2.5D)



الشكل(26). توزع هبوط الضغط على محيط أنبوب الامتصاص في الحجرة
(z=0.3D, l=0.5D, b=1.5D)



الشكل(27). توزع هبوط الضغط على محيط أنبوب الامتصاص في الحجرة (z=0.3D, l=D, b=2.5D)



الشكل(28). تغير معامل عدم انتظام الضغط مع عرض الحجرة(z=0.75D- l=0.5D)

8–5.الضياعات الهيدروليكية

تبين أنه باستثناء الحجرات التي تكون فيها فتحة أنبوب الامتصاص قريبة من أرضية الحجرة أي تحديداً عند $z = 0.3 \cdot D$ والحجرات ذات العروض القليلة أي عند $b = 1.5 \cdot D$، فإن معامل الضياعات يرتبط ارتباطاً مباشراً وبشكل خطي بدرجة التدوم، وهذا يؤكد أن الفواقد الهيدروليكية تنتج بشكل أساسي عن الحركة الدوامية للجريان عند دخوله أنبوب الامتصاص. يبين الشكل (29) العلاقة التي تربط بين معامل الضياعات مع درجة التدوم والتي يظهر أنها أقرب ما يمكن للعلاقة الخطية.

وعند تصغير قيمة z إلى $z = 0.3 \cdot D$ والعرض إلى $b = 1.5 \cdot D$ ترتفع قيمة معامل الضياعات بغض النظر عن قيمة درجة التدوم، ويعود ذلك إلى نشوء فواقد محلية كبيرة نتيجة لصغر المسافة بين أرضية الحجرة وفتحة قمع أنبوب الامتصاص. يبين الشكل(30) العلاقة التي تربط بين معامل الضياعات والارتفاع z من أجل حجرة لها القيم نفسها $l/D, b/D, h/D$. أما الشكل(31) فيبين العلاقة التي تربط معامل الضياعات و العرض b من أجل حجرة لها القيم نفسها $l/D, b/D, h/D$.

8–6. تفسير النتائج

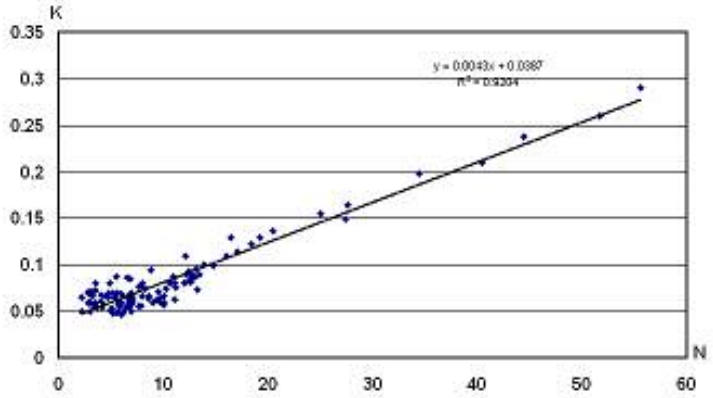
يتبين بشكل واضح من نتائج التجارب أن خواص الجريان في الحجرة تتعلق بأمرين:

- الأبعاد الأساسية للحجرة وموقع أنبوب الامتصاص بالنسبة للجدران والأرضية، أي: عرض الحجرة–ارتفاع قمع الامتصاص عن أرضية الحجرة– بعد الجدار الخلفي عن محور أنبوب الامتصاص.
- عدد فراود في الحجرة مأخوذاً بالنسبة لعمق الغمر $Fr_h = \dfrac{V_a}{\sqrt{g \cdot h}}$.

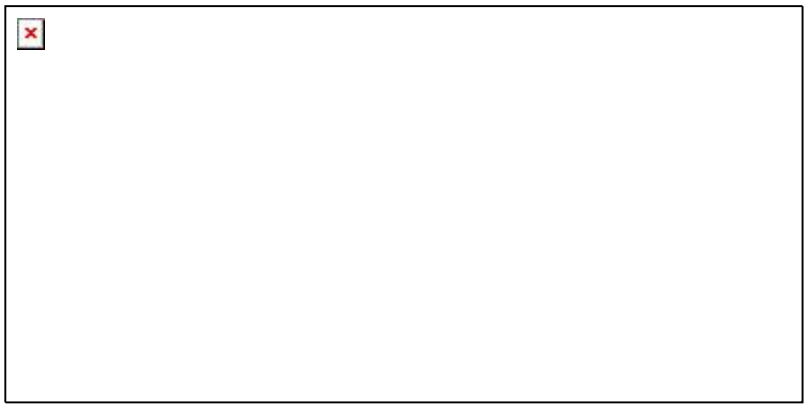
<u>درجة التدوم</u>

يتشكل التدوم بسبب عدم انتظام توزع سرعة الجريان في مقطع الحجرة. قد يتبادر للذهن أن هذا التوزع يجب أن يكون منتظماً بسبب شروط التزويد المنتظم للحجرة، ولكن عندما يكون التدفق إلى داخل فتحة أنبوب الامتصاص غير منتظم بشكل كافٍ من جميع الأطراف لذلك فإن كتلة السائل المتدفق في الحجرة نفسها تفقد توازنها، خاصة مع درجة الاضطراب العالي، ونتيجة لذلك يصبح توزع السرعة غير منتظم كما هو مبين في الشكل (32). إن عدم انتظام توزع السرعة يسبب دوران السائل عن

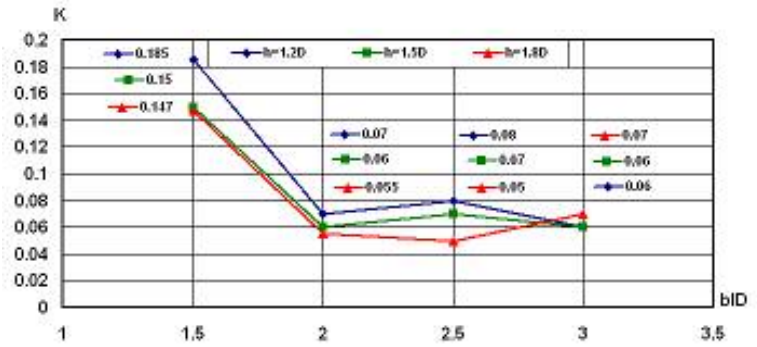
أنبوب الامتصاص أي التدوم في المقطع قبل دولاب المضخة. عندما يكون بعد الجدار الخلفي للحجرة كبيراً تتحرك كتلة السائل بحرية دون أي عائق وهذا ما يفسر ارتفاع درجة التدوم بشكل كبير عند زيادة هذا البعد.



الشكل(29). تغير معامل الضياعات الهيدروليكية مع عدد دورات الروتامتر



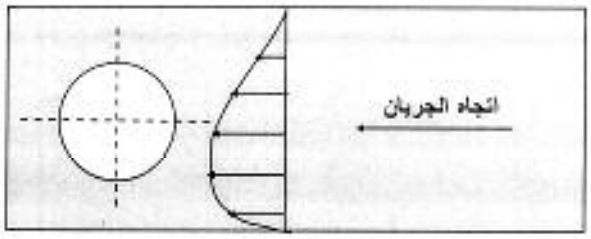
الشكل(30). تغير معامل الضياعات الهيدروليكية مع ارتفاع فتحة أنبوب الامتصاص عن أرض الحجرة (b=3D, l=0.5D)



الشكل(31). تغير معامل الضياعات الهيدروليكية مع عرض الحجرة(z=0.5D, l=0.5D)

أما عند تقريب الجدار الخلفي للحجرة باتجاه قمع أنبوب الامتصاص فإن هذا الجدار يحد من دوران السائل ومن ثَمَّ يخفف درجة التدوم، وهذا ما فسر انخفاض درجة التدوم عند المسافات القليلة لبعد الجدار الخلفي. و الشيء نفسه يمكن أن يذكر عن تأثير عرض الحجرة، إذْ عند تكبير عرض الحجرة نقص التدوم بسبب نقصان سرعة الجريان في مقطع الحجرة نفسها وهذا ما ساعد على تخفيض الجولان والذي كما نعلم له علاقة مباشرة بالسرعة. كما لوحظ أن درجة التدوم انخفضت مع زيادة عمق السائل في الحجرة، ويعود ذلك بشكل أساسي إلى انخفاض عدد فراود منسوباً لعمق الغمر . حيث بين الباحث[13]، من خلال دراسته لنمذجة ظواهر الجريان في أشكال مختلفة للحجرات أن قوى الثقالة هي المؤثر الأساسي في قانون النمذجة شريطة تجاوز تأثير قوى اللزوجة والتوتر السطحي، وقد تمّت مراعاة ذلك الأمر في التجارب وشرح في الفقرة(6-1). وبين الباحث نفسه أن درجة التدوم تنخفض مع نقصان عدد فراود، وبالفعل كان هذا واضحاً من نتائج التجارب إذْ عندما كان عمق الغمر $h = 1.2 \cdot D = 21.6cm$ كان عدد فراود $Fr = 1.08$ أما عند زيادة العمق إلى

$h = 1.8 \cdot D = 32.4cm$ فقد نقص عدد فراود إلى $Fr = 0.88$ وخفت درجة التدوم.



الشكل(32).توزع غير منتظم للسرعة في الحجرة بسبب التدوم

الدوامات السطحية

يعود تشكل الدوامات السطحية إلى عدم انتظام توزع الجريان على سطح الماء الحر. والمعروف من علم الهيدروليك أن أي جزيء يتعرض إلى حركة ويكون فيه $\frac{\partial u}{\partial y} \neq \frac{\partial v}{\partial x}$ عندها سيتعرض إلى حركة دوامية. ومثلما كان الحال في التدوم اختلفت شدة الدوامات السطحية هنا أيضاً بحسب أبعاد الحجرة بسبب تأثير هذه الأبعاد في توزع سرعة الجريان فيها. كما تأثرت شدة الدوامات السطحية بعدد فراود $Fr_h = \frac{V_a}{\sqrt{g \cdot h}}$، فعند نقصان عمق الغمر أي زيادة عدد فراود زاد احتمال تشكل الدوامات السطحية والعكس صحيح.

الدوامات تحت السطحية

تعدُّ ظاهرة الدوامات تحت السطحية من أعقد الظواهر التي تتشكل في حجرات الامتصاص. وقد اختلفت الفرضيات والنظريات عن تشكلها، ولكن الفرضية الأكثر احتمالاً حسب [3] Prosser أن تشكل حركة دوامية في الطبقة الحدية في أرضية الحجرة تحت القمع مباشرة سيسبب تشكل الزوبعة المائية، ونحن نؤيد صحة هذه

الفرضية لأنه كنا نلاحظ بالعين المجردة أن الدوامة كانت تبدأ بالتشكل من أرض الحجرة تحت القمع ثم تمتد إلى داخله. وكما هو الحال في التدوم والدوامات السطحية فإن شدة الزوبعة المائية تعلقت هي الأخرى بأبعاد الحجرة بسبب تأثير الأبعاد في توزع سرعة الجريان، كما تعلقت بعدد فراود.

8-7. الحجرة الأفضل

بعد دراسة معيار درجة التدوم ومعامل عدم انتظام الضغط ومعامل الضياعات وملاحظة تشكل الدوامات السطحية وتحت السطحية، تبين أن الحجرة التي تضمن أفضل مواصفات هيدروليكية للجريان بأقل أبعاد ممكنة هي الحجرة ذات الأبعاد $(l = 0.75D, b = 2.5D, z = 0.5D)$، إذْ لم يلاحظ تشكل دوامات سطحية أو تحت سطحية، وكانت درجة التدوم منخفضة $\theta = 0.96$، وكذلك الأمر بالنسبة لمعامل عدم انتظام الضغط $\Delta = 0.01$ ومعامل الضياعات $k = 0.058$.

9. نتائج البحث

من خلال تحليل النتائج للجريانات في حجرات الامتصاص المفتوحة لوحظ تأثيركبير لأبعاد الحجرة في خواص الجريان المعبر عنه بدرجة التدوم ومعامل عدم انتظام الضغط ومعامل الضياعات وتشكل الدوامات السطحية وتحت السطحية. ومن خلال حساب معايير تقويم الجريان تم اختيار الحجرة التي تضمن أفضل شروط جريان في المقطع قبل دولاب المضخة. فيما يأتي أهم النتائج التي تم التوصل إليها في البحث:

1- لعرض الحجرة تأثير مهم في خصائص الجريان. إذْ إنّه مع تخفيض عرض الحجرة من $b = 3 \cdot D$ إلى $b = 2.5 \cdot D$ تنخفض درجة التدوم بشكل قليل، ثم ترتفع من جديد عند تخفيض العرض إلى $b = 2 \cdot D$ ثم إلى $b = 1.5 \cdot D$، ولكن درجة التأثير هذه تختلف باختلاف ارتفاع فتحة القمع z عن أرضية الحجرة، وبعد الجدار الخلفي l لها. كما أن زيادة عرض الحجرة يقلل من احتمال تشكل الدوامات السطحية وتحت السطحية ويضعف شدتها. هذا ولا يوجد تأثير لعرض الحجرة في توزع

الضغط على محيط أنبوب الامتصاص والضياعات الهيدروليكية إلا في حالة العرض القليل جداً، حيث يصبح توزع هبوط الضغط غير منتظم وترتفع القواقد.

2- تبين أن البعد الخلفي للحجرة l يؤدي دوراً مهماً جداً في خصائص الجريان. إذ ازدادت درجة التدوم مع ازدياد هذا البعد، ولكن مقدار هذه الزيادة تختلف باختلاف $(z/D, b/D)$. ومع زيادة البعد l أيضاً كان يزداد احتمال تشكل الدوامات السطحية وتحت السطحية. وعند المسافة القليلة للجدار الخلفي من محور أنبوب الامتصاص $l = 0.5 \cdot D$ كان توزع الضغط غير منتظم ثم مع تكبير هذه المسافة انتظم الضغط. كما وجدنا أنه لا تأثير لبعد الجدار الخلفي في معامل الضياعات الهيدروليكية إلا من خلال زيادة درجة التدوم أو نقصانها.

3- مع زيادة ارتفاع حافة قمع أنبوب الامتصاص عن أرض الحجرة ترتفع درجة التدوم وخاصة عند القيم الكبيرة لـ l، كما يتناقص احتمال تشكل الدوامات السطحية وتحت السطحية. لم يلاحظ تأثير لارتفاع القمع في توزع الضغط على محيط أنبوب الامتصاص. كذلك لم يلاحظ تأثير لـ z في الضياعات الهيدروليكية إلا عند $z = 0.3 \cdot D$، حيث ارتفعت قيمة هذه الضياعات.

4- زيادة عمق الغمر يخفف بدرجات متفاوتة من درجة التدوم، ويقلل من احتمال تشكل الدوامات السطحية وتحت السطحية وشدتها. ولكن عمق الغمر لا يؤثر في توزع الضغط على محيط أنبوب الامتصاص، ولا يؤثر في الضياعات الهيدروليكية إلا من خلال تأثيره في درجة التدوم.

5- باستثناء القيم القليلة لـ z أي عند $z = 0.3 \cdot D$ ، وجد أن معامل الضياعات الهيدروليكية يرتبط بشكل مباشر بدرجة التدوم، وهذا الارتباط خطي إلى حد كبير.

6- من خلال مقارنة مواصفات الجريان للحجرات المختبرة عن طريق المعايير المقترحة، يمكن القول: إنَّ الحجرة التي لها الأبعاد $(l = 0.75D, b = 2.5D, z = 0.5D)$، تضمن أفضل ظروف جريان. ويمكن أن ننصح باستعمالها عند تصميم حجرات الامتصاص المفتوحة للمضخات المختلطة والمحورية.

الرموز المستخدمة

A : مساحة مقطع أنبوب الامتصاص.

b : عرض حجرة الامتصاص .

σ_n : الانحراف المعياري.

σ: التوتر السطحي.

D : قطر قمع الامتصاص.

d : قطر أنبوب الامتصاص.

Δ: معامل عدم انتظام توزع هبوط الضغط على محيط أنبوب الامتصاص.

F_r : عدد فراود.

g :تسارع الجاذبية الأرضية= $9.81\,m/s^2$.

h : عمق الغمر لفتحة أنبوب الامتصاص.

k : معامل الضياعات الهيدروليكية. $k=\left(\overline{P}.\frac{2\cdot g}{\overline{V}^2}\right)-1$

l: بعد الجدار الخلفي لحجرة الامتصاص عن محور أنبوب الامتصاص.

N: عدد دورات الروتامتر.

n:عدد الأنابيب البيزومترية الموزعة على محيط أنبوب الامتصاص لقياس هبوط الضغط.

ν: اللزوجة الحركية.

Re_d: عدد رينولدز في الأنبوب.

Re_h: عدد رينولدز بالنسبة لعمق الغمر.

ρ: الوزن الحجمي للسائل.

θ: درجة التدوم.

V_d: السرعة الوسطية في أنبوب الامتصاص والتي تبلغ $\overline{V}=1.57m/s$.

V_u: المركبة المحيطية الوسطية لشعاع السرعة.

We_d: عدد ويبر. $We_d=\frac{\rho\cdot V_d^2\cdot d}{\sigma}>600$.

z: ارتفاع فتحة أنبوب الامتصاص عن أرضية الحجرة.

المراجع

[1] Paciga A. Und Ganco M. Vplyv sacej jimky a sacieho zvona na pracu cerpacej stanice, Potrubi, Armatutry, SIGMA, Olomous 1971.
[2] Dicmas G. Effect of intake structure modification on the hydraulic performance of a mixed flow pumps, proceeding of the ASCE-International Association of Hydraulic Research/ American Instute of Hydraulic Research-ASME Goint Symposium, Colorado State University, Colorado,1978**.**
[3] Prosser M. J. The hydraulic design of pump sumps and intake, BHRA Fluid Engineering/ CIRIA, 1977.
[4] Sweeny. Chalres. E. A. M. ASCE,Rex A. Elder, F. ASCE, and Duncan hay. A. M. ASCE. Pump Sump Design Experience: Summary. Journal of Hydraulic Division.1982
[5] Iversen H. W. Studies of submergence requirement of high specificspeed pumps, Transactions American of Mechanical Engineering, Vol. 75, 1953.
[6] Stepanoff A. J. Centrifugal and axial flow pump sumps, John Wiley & Sons, 1957.
[7] Hiches. The hydraulic design of pump sumps and intake, BHRA Fluid Engineering/ CIRIA, 1977.
[8] Wonsaka G. Investigation of the inlet flow conditions for vertical immerged centrifugal pumps, Power Station, VDI-JAHR- Symposium, Braunschwieg 1966.
[9] Stepniewski M. Pompy, WNT, Warszawa 1985.

[10] T. Nakato, M. ansar. Numerical in viscid three dimensional flows at intakes. Journal of Hydraulic Division. Vol 40, 2002.
[11] Modeling of pump sumps with CFD cods. Delft Hydraulic 2002.
[12] T. Nakato, M. ansar. Vortex in multiple-pump sumps. Iowa Institute of hydraulic research.1998
[13] Mahadevan Padmanabhan and George E. Hecker, M. ASCE. Scale Effects in Pump Sump Models. The Journal of Hydraulic Engineering, Vol 110, Nov 1980.
[14] J. Wijdieks. Practice and Criteria of Pump Sump Model Investigation. Delft Hydraulic Laboratory. Delft, The Ntherlands.
[15] J. Paul Tuluis, M. asce. Modeling in design of pumping pits. Journal of Hydraulic Division.1979.
[16] Sump design guide. Hydraulic Institute Standards.2003.
[17] Akalank K. Jain, Kittur G. Rangga Raju, and Ramachandra J. Garde, M. ASCE. Vortex Formation At Vertical Pipe Intakes.Journal of Hydraulic Division.1978.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق2004/8/9.