



## تأثير الجهد على التسرب أسفل المنشآت الهيدروليكية ذوات القواعد الهابطة

إسماعيل حمودة و الفيتوري أبوعلة و عائشة القنطوش

قسم الهندسة المدنية، المعهد العالي للتقنيات الهندسية، زليتن، ليبيا

### الكلمات المفتاحية:

الجهد  
الستارة اللوحية  
الضغوط الرافعة  
المنشآت الهيدروليكية  
طريقة معاملات المقاومة

### الملخص

عند تصميم المنشأ الهيدروليكي الهابط لا يمكن الاستناد إلى المعايير التصميمية الخاصة بالمنشآت المقامة على قيعان مستقيمة، لذلك من الضروري دراسة التسرب أسفل المنشآت الهيدروليكية ذوات القواعد الهابطة لإمكانية تصميمها ضد الضغوط الرافعة التي تسبب في عدم اتزان المنشأ وانهاره. وتم التركيز في هذه الدراسة على حساب الجهد المتولد أسفل قاعدة المنشأ الهيدروليكي وذلك باستخدام طريقة معاملات المقاومة. حيث تم دراسة تأثير المتغيرات الأساسية على الجهد وتمثل هذه المتغيرات في ارتفاع الهبوط الرأسي (D) في قاعدة المنشأ وموضعه ( $L_1$ ) وكذلك عمق الستارة اللوحية (S) في نهاية المنشأ وجميع المتغيرات منسوبة إلى طول قاعدة المنشأ (L). ومن خلال تحليل النتائج تم انشاء مخططات تصميمية لحساب الجهد عند النقاط الحدودية لقاعدة المنشأ وتم ابراز نتائج الدراسة من خلال مخططات وضعت في صورة لا بعدية لسهولة استخدامها عند تصميم المنشآت الهيدروليكية الهابطة. ولقد أوضحت هذه الدراسة إلى أن الجهد يزداد عند النقاط الحدية (B,C,D) عندما يكون الهبوط عند نقطة الأصبغ، بينما تكون الزيادة في الجهد أيضاً عند النقطة D في الحالتين الأولى والثانية وذلك بزيادة عمق الستارة اللوحية. ومن خلال التحليل وجد أن الجهد عند النقطة B يزداد بشكل طفيف بسبب زيادة ارتفاع الهبوط في الحالة الثانية، بينما في النقطة C حدث انخفاض للجهد. وعندما يكون موضع الهبوط عند نقطة الأصبغ تزداد قيمة الجهد للنقطة B وتنخفض عند القيم الصغيرة لعمق الستارة اللوحية للنقطتين (C,D).

## Effect of Potential on Seepage under Dropping Hydraulic Structures

\*Ismail Ibrahim Hmoda, Alfituri Ibrahim Abu ala, Aisha Ali Alqantosh

Civil Engineering, Higher Institute of Engineering Technology, Zliten, Libya

### Keywords:

Drag coefficients method  
Hydraulic structures  
Potential  
Sheet pile  
Uplift pressures

### ABSTRACT

Structures built on straight bottoms had design standards. However, those standards could not be utilized upon a drop hydraulic structure design. Therefore, seepage under hydraulic structures with dropping foundations have to study the seepage to be able to design against the uplift pressures that cause the structure to become unbalanced and collapse. In this study, focused on calculating the generated potential under the base of the hydraulic structure using the drag coefficients method. Moreover, the effect of the basic parameters on the potential was thoughtful. These parameters are represented by the height of the vertical drop (D) at the base of the structure and it was located ( $L_1$ ), as well as at the end of the structure the depth of the sheet pile (S). All variables were attributed to the length of the base of the structure (L). As that, the results of the study were highlighted through diagrams placed in a non-dimensional form for ease of use when designing dropping hydraulic structures. This study showed that the potential increases at the points (B, C, D) when the drop is at the toes point, while the potential increase is also at point D in the first and second cases by increasing the depth of the sheet pile. Through the analysis, it was found that the potential at point B increases slightly due to the increase in the drop height in the second case. While the drop is at the toes point. The potential value increases for point B.

### 1. المقدمة

وبناء المنشآت الهيدروليكية. ولتصميم منشأ هيدروليكي آمن ضد التسرب يجب مراعاة النقطتين التاليتين [3]:  
1- أن يكون آمن ضد الضغوط الرافعة.

إن التسرب أسفل المنشآت الهيدروليكية له تأثير خطير على استقرار ومتانة هذه المنشآت. لذلك تعتبر دراسة مشكلة التسرب عنصراً هاماً جداً في تصميم

\*Corresponding author:

E-mail addresses: [Ismail.hmoda@gmail.com](mailto:Ismail.hmoda@gmail.com), (A. I. Abu ala)[alfituriibrahem@gmail.com](mailto:alfituriibrahem@gmail.com), (A. A. Alqantosh)[aishaali20130912@gmail.com](mailto:aishaali20130912@gmail.com)

Article History : Received 17 August 2024 - Received in revised form 27 September 2024 - Accepted 20 October 2024

معاملات المقاومة لتسوجيوف 1956م [8]. وهذه الطريقة مصنفة من ضمن الطرق التحليلية، لأنها عبارة عن حل تحليلي يعتمد على أسس رياضية معدلة لتتناسب مع أي مشكلة تسرب عملية. واختيرت هذه الطريقة لأنها يمكن تطبيقها على أي مشكلة تسرب مهما كان شكل المنشأ وشروطه الحديدية. وسيتم تطبيق هذه الطريقة على منشأ هيدروليكي خرساني طول قاعدته (L) وعمق طبقة الأساس  $T_1=2.5L$ . والمواضع النسبية للهبوط  $(L_1/L) = 0.0, 1.0$ ، بينما عمق الهبوط بالنسبة للطول  $(D/L) = 0.0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25$ ، وعمق الستارة اللوحية بالنسبة لطول قاعدة المنشأ  $(S/L) = 0.0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25$ .

ولغرض تصميم المخططات المطلوبة لحساب قيم الجهد فإن قيمة الجهد h تكون لا بعدية. لذلك يجب تطبيق تقنية تحليل الأبعاد للحصول على قيم h في صورة لا بعدية. ويمكن التعبير على المتغيرات التي تؤثر على الجهد على النحو التالي:

$$h = f(H, L_1, D, S) \dots \dots \dots (1)$$

وباعتبار أن طول القاعدة الخرسانية للمنشأ الهيدروليكي L مرجع أساسي لباقي المتغيرات وباستخدام تقنية التحليل البعدي المتمثلة في طريقة بكنجهام (طريقة  $\pi$ ) يمكن صياغة معادلة الجهد المذكورة أعلاه على الصورة الآتية:

$$h/H = f(L_1/L, D/L, S/L) \dots \dots \dots (2)$$

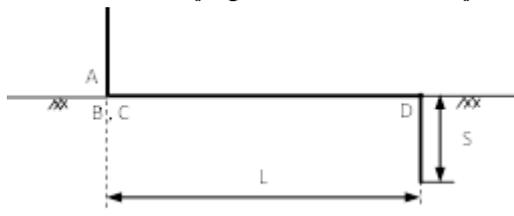
#### 4. النتائج والمناقشة

إن الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تحليل تأثير المتغيرات الأساسية على أحد عناصر التسرب تحت المنشآت الهيدروليكية الهابطة المتمثل في الجهد، وهذه المتغيرات هي:

- موضع الهبوط بالنسبة لطول قاعدة المنشأ.  $(L_1/L)$
- ارتفاع الهبوط بالنسبة لطول قاعدة المنشأ.  $(D/L)$
- عمق الستارة اللوحية بالنسبة لطول قاعدة المنشأ.  $(S/L)$
- ولا نشاء مخططات تصميمية تم دراسة الحالات الآتية:

#### 1.4. الحالة الأولى:

منشأ بدون هبوط ( $D/L = 0.0$ ) ويحتوى على ستارة لوحية عند مقدمته، وهذه الحالة هي الحالة المرجعية مقارنة مع باقي الحالات.



شكل 2: يوضح الحالة الأولى

في هذه الحالة تكون النقطتين (B), (C) منطبقتان عند نقطة الكعب (A). لذلك فإن الجهد متساوي لهذه النقاط حيث  $h/H = 0.847$ ، كما هو مبين بالشكل (2). أما بالنسبة للنقطة (D) فإن قيمة الجهد تزداد مع زيادة عمق الستارة اللوحية (S)، فوجدت قيمة  $h/H = 0.15$  عندما تكون  $S/L = 0.0$ ، وتصل إلى 0.42 عندما تكون قيمة  $S/L = 0.25$  والشكل (3) يوضح ذلك.

جدول 1: قيم الجهد (h/H) عند النقاط (A,B,C,D) بالنسبة

2- أن يكون آمن ضد الانهيار الأنبوبي.

وتسرب المياه تحت هذه المنشآت يؤدي إلى زيادة الضغوط الرافعة على فرشاة المنشأ، وهذه الضغوط إن لم يقابلها سمك كافي لأرضية المنشأ سوف يحدث انهيار للمنشأ الهيدروليكي [4]. إذا عند تصميم أرضية المنشآت الهيدروليكية يجب التقليل من مشاكل التسرب والتي من أهمها الضغوط الرافعة والتي بدورها تقلل سمك أرضية المنشأ الخرساني [1].

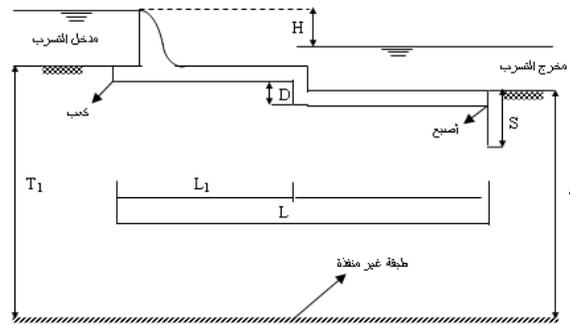
لذلك فإن تجنب ارتفاع ضغط المياه هو أحد الاهتمامات الرئيسية في تصميم المنشآت الهيدروليكية. ومن هذا المنطلق قام Mansuri وآخرون باستخدام جدار قاطع أسفل المنشأ الهيدروليكي في مواضع مختلفة ويزوايا متغيرة للحد من هذه المشكلة [5]. بينما استخدم Ahmed و Mcloughlin مرشح لخفض الضغوط الرافعة ووجدوا أنه يقللها بنسبة 72% من الحالة التي لا يوجد فيها مرشح [6]. وللتعامل مع مشاكل التسرب أيضا قام EL-Masry وآخرون باستخدام طريقة التفاضل التريبيعية وتصميم برنامج لتمثيل هذه الطريقة بلغة برمجة حديثة تسمى بايثون [7].

عادة ما تقام المنشآت الهيدروليكية على مجاري مائية ذات قيعان مستقيمة ومستوية. إلا أنه في بعض الحالات ونتيجة لطبوغرافية الأرض قد يحدث هبوط رأسي في قاع المجرى في المكان المقترح لإنشاء المنشأ الهيدروليكي. وهنا يجب حماية هذا القاع من النحر الحاصل نتيجة سقوط المياه بإنشاء منشأ ذو قاعدة هابطة. إضافة لذلك فإن المنشآت ذات القواعد الهابطة لها استخدامات واسعة مثل (الهدارات والمفيضات ومحطات الضخ) [2].

#### 2. مشكلة الدراسة

سيؤدي وجود الهبوط الرأسي إلى تغير الشروط الحديدية لمجال التسرب أسفل المنشآت. وهذا سوف يكون له تأثير على الضغوط الرافعة، والتي تختلف قيمتها عن مثيلاتها في المنشآت الهيدروليكية المشيدة على قيعان مستقيمة. فعند تصميم هذه المنشآت يجب الأخذ في الاعتبار تأثير ارتفاع الهبوط ومكانه على قيم الجهد المسبب للضغوط الرافعة. والشكل (1) يوضح مشكلة الدراسة والمتغيرات التي تؤثر على الجهد وهي:

- الطول الكلي لقاعدة المنشأ. (L)
- ارتفاع الهبوط (D)
- موضع الهبوط.  $(L_1)$
- الجهد الكلي. (H)
- عمق الستارة اللوحية. (S)
- عمق طبقة الأساس  $(T_1, T_2)$ .

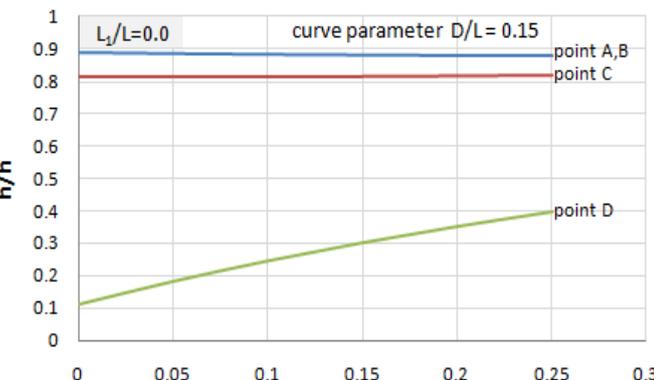
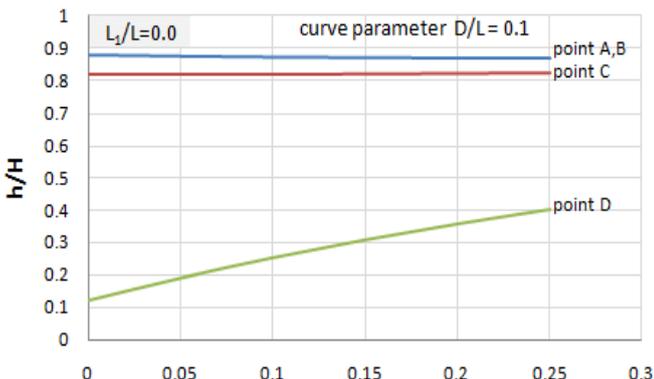
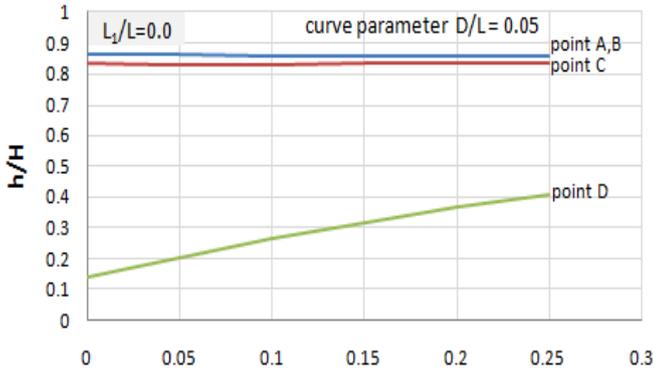


شكل 1: التعريف بالمتغيرات المؤثرة على قيم الجهد

#### 3. منهجية الدراسة

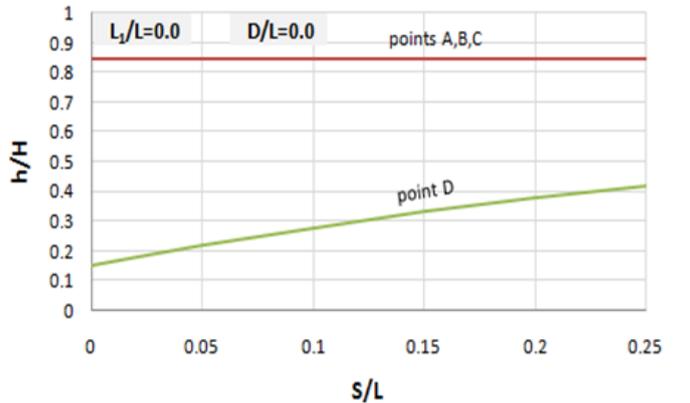
في هذه الدراسة سوف يتم تحليل التسرب أسفل المنشآت الهيدروليكية الهابطة للحصول على مخططات لحساب الجهد (h) باستخدام طريقة

0.877	0.878	0.880	0.882	0.886	0.890			<b>B</b>
0.819	0.817	0.816	0.815	0.815	0.816			C
0.349	0.349	0.299	0.243	0.180	0.109			<b>D</b>
0.887	0.889	0.891	0.894	0.898	0.903			A
0.887	0.889	0.891	0.894	0.898	0.903	0.2	0	<b>B</b>
0.817	0.815	0.814	0.813	0.814	0.816			C
0.390	0.343	0.292	0.234	0.169	0.096			<b>D</b>
0.897	0.899	0.901	0.904	0.908	0.911			A
0.897	0.899	0.901	0.904	0.908	0.911	0.25	0	<b>B</b>
0.817	0.816	0.814	0.814	0.815	0.816			C
0.387	0.340	0.286	0.227	0.161	0.088			<b>D</b>



للحالة الأولى

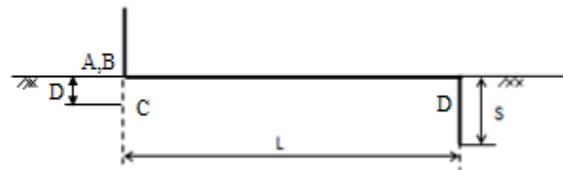
S/L						D/L	L <sub>1</sub> /L	النقاط الحدية
0.25	0.2	0.15	0.1	0.05	0			
0.847	0.847	0.847	0.847	0.847	0.847			A
0.847	0.847	0.847	0.847	0.847	0.847	0	0	<b>B</b>
0.847	0.847	0.847	0.847	0.847	0.847			C
0.42	0.37	0.33	0.27	0.22	0.15			<b>D</b>



شكل 3: الجهد عند النقاط الحدية بدون وجود هبوط

2.4. الحالة الثانية:

موضع الهبوط عند نقطة الكعب (A) , عندما (L<sub>1</sub>/L = 0.0).



شكل 4: يوضح الحالة الثانية

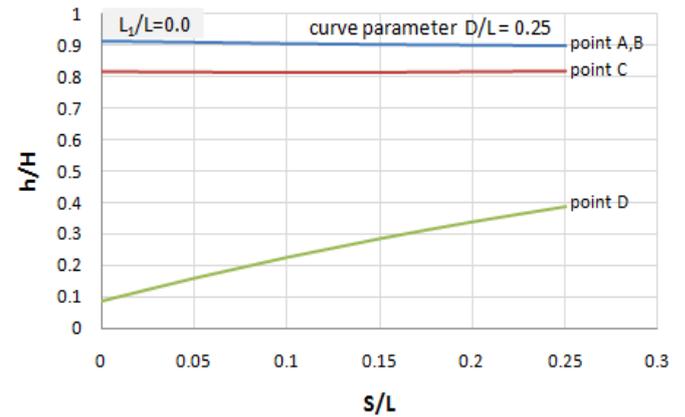
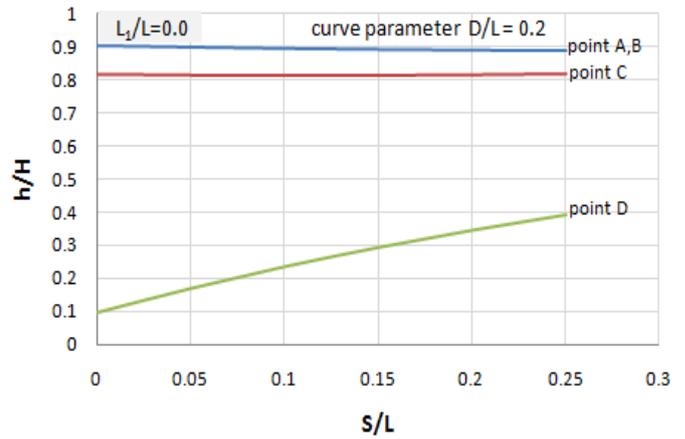
كما هو مبين بالشكل (4) فإن النقطة (B) تتطابق مع النقطة (A) ولها نفس قيمة الجهد مهما كان عمق الستارة اللوحية، وهناك زيادة طفيفة في قيمة الجهد عند النقطة (B) بسبب زيادة ارتفاع الهبوط كما في الشكل (5). أما بالنسبة (C) فقد نتج انخفاض بسيط في الجهد نتيجة زيادة ارتفاع الهبوط، وتقريبا لم يحدث أي تأثير على الجهد عند النقطة (C) بزيادة عمق الستارة اللوحية. وبالنسبة للنقطة (D) تم الحصول على انخفاض طفيف بسبب زيادة ارتفاع الهبوط خاصة للقيم الصغيرة لعمق الستارة اللوحية وهذا موضح في الشكل (5).

جدول 2: قيم الجهد (h/H) عند النقاط (A,B,C,D) بالنسبة

للحالة الثانية

S/L						D/L	L <sub>1</sub> /L	النقاط الحدية
0.25	0.2	0.15	0.1	0.05	0			
0.856	0.856	0.857	0.858	0.859	0.862			A
0.856	0.856	0.857	0.858	0.859	0.862	0.05	0	<b>B</b>
0.833	0.832	0.831	0.830	0.830	0.831			C
4090.	3660.	3190.	2650.	2050.	1370.			<b>D</b>
0.867	0.867	0.869	0.870	0.873	0.876			A
0.867	0.867	0.869	0.870	0.873	0.876	0.1	0	<b>B</b>
0.825	0.823	0.822	0.821	0.820	0.821			C
0.401	0.357	0.308	0.254	0.192	0.123			<b>D</b>
0.877	0.878	0.880	0.882	0.886	0.890	0.15	0	A

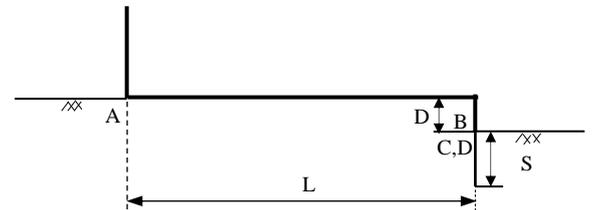
0.86	0.86	0.86	0.86	0.85	0.86	0.1	1	A
6	4	2	0	8	1			B
0.44	0.41	0.37	0.32	0.27	0.20			C
5	1	2	6	2	4			D
0.40	0.36	0.32	0.27	0.21	0.13			A
3	6	3	3	4	8			B
0.40	0.36	0.32	0.27	0.21	0.13	0.1	1	C
3	6	3	3	4	8			D
0.87	0.87	0.86	0.86	0.86	0.86			A
2	0	8	6	4	3			B
0.47	0.43	0.39	0.35	0.30	0.23			C
1	8	9	4	0	1			D
0.41	0.37	0.32	0.27	0.21	0.13	0.2	1	A
1	3	9	7	5	6			B
0.41	0.37	0.32	0.27	0.21	0.13			C
1	3	9	7	5	6			D
0.87	0.87	0.87	0.87	0.86	0.86			A
8	6	4	2	9	3			B
0.49	0.46	0.42	0.38	0.32	0.25	0.2	1	C
7	5	7	2	7	7			D
0.42	0.38	0.33	0.28	0.21	0.13			A
1	2	7	4	8	6			B
0.42	0.38	0.33	0.28	0.21	0.13			C
1	2	7	4	8	6			D
0.88	0.88	0.88	0.87	0.87	0.86	0.2	1	A
5	3	1	8	4	9			B
0.52	0.49	0.45	0.41	0.35	0.27			C
5	3	6	1	4	8			D
0.43	0.39	0.35	0.29	0.22	0.13			A
5	6	0	4	4	0			B
0.43	0.39	0.35	0.29	0.22	0.13	0.5	1	C
5	6	0	4	4	0			D



شكل 5: تأثير موضع الهبوط عند نقطة الكعب على الجهد عند النقاط الحدية

3.4. الحالة الثالثة:

موضع الهبوط عند نقطة الأصبع (D), عندما (L1/L = 1.0).



شكل 6: يوضح الحالة الثالثة

من الشكل (6) يتبين لنا أن النقطة (C) تتطابق مع النقطة (D). وبشكل عام تزداد قيم الإجهاد عند النقاط (B), (C), (D) مع زيادة عمق الستارة اللوحية, ولكن الجهد عند النقطة (B) يكون أعلى من الجهد عند النقطة (D) كما هو مبين بالشكل (7). من ناحية أخرى فإن قيم الجهد عند (B) تزداد بشكل كبير بزيادة ارتفاع الهبوط, بينما عند النقطتين (C), (D) تنخفض بالنسبة للقيم الصغيرة لعمق الستارة اللوحية وتزداد للقيم العالية.

جدول 3: قيم الجهد (h/H) عند النقاط (A,B,C,D) بالنسبة

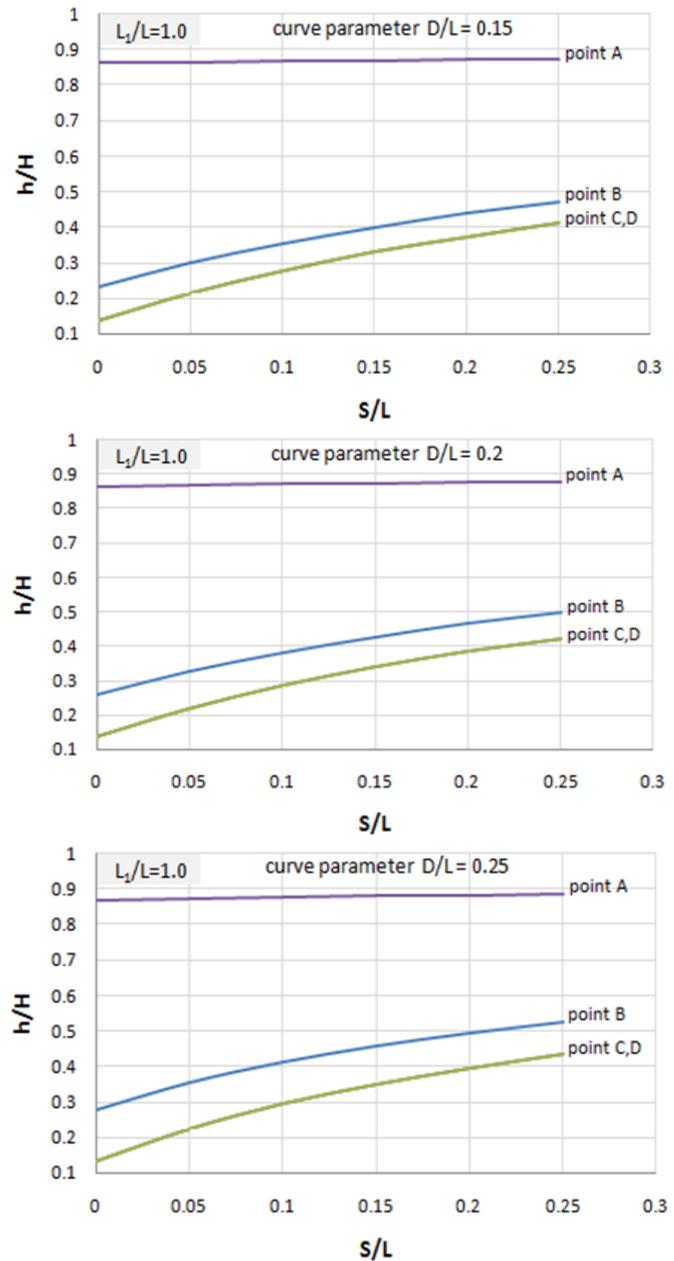
للحالة الثالثة

S/L						D/L	L1/L	النقاط الحدية
0.25	0.2	0.15	0.1	0.05	0			
0.86	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.0	1	A
0	8	6	5	3	2			B
0.42	0.38	0.34	0.29	0.24	0.18			C
0	5	5	9	5	1			D
0.39	0.36	0.31	0.27	0.21	0.14			A
8	1	9	1	4	7			B
0.39	0.36	0.31	0.27	0.21	0.14	0.5	1	C
8	1	9	1	4	7			D

- نوصي باستخدام ستارة لوحية عند نقطة الأصبغ في نهاية المنشأ بعمق  $\geq 0.15$ , وذلك لحدوث انخفاض في قيم الجهد عند النقطة D كلما زاد ارتفاع الهبوط للقيم الصغيرة من  $S/L$ .
- نوصي بأن يكون الهبوط في قاعدة المنشأ عند نقطة الكعب في بداية المنشأ, لأن قيم الجهد تزداد بزيادة ارتفاع الهبوط إذا كان موضع الهبوط في نقطة الأصبغ وتنخفض عندما يكون الهبوط في نقطة الكعب.
- دراسة حالة أخرى لهذا المنشأ بحيث يقع الهبوط في مكان متوسط بين نقطة الكعب والأصبغ, لمعرفة مدى تأثير الجهد على طول قاعدة المنشأ كلما زاد ارتفاع الهبوط.

#### 6. قائمة المراجع

- [1]- محمد, سحر عبد الحسين وأرسالن, جلنك أكرم. 2011م دراسة عملية ونظرية لتوزيع الشحنة البيزومترية أسفل المنشآت الهيدروليكية. مجلة جامعة كركوك – الدراسات العلمية, المجلد (6) العدد (1).
- [2]- حسين, مروان. 2009م. خصائص التسرب أسفل المنشآت الهيدروليكية ذوات القواعد الهابطة. رسالة ماجستير. مدرسة العلوم الهندسية والتطبيقية - أكاديمية الدراسات العليا.
- [3]- Obead, I. H. 2013. Effect of Position and Inclination Angle of Cutoff Wall on Seepage Control in the Foundation of Dam Structure. Journal of Kerbala University. 11(3): 17-32
- [4]- Alghazali, N.O., and Alnealy, H.K. 2015. Experimental Analysis of Seepage in Soil Beneath a Model of a Gravity Dam. American Journal of Civil Engineering. 3(3): 64-69
- [5]- Mansuri, B., Salmasi, F., and Oghati, B. 2014. Effect of Location and Angle of Cutoff Wall on Uplift Pressure in Diversion Dam. Geotech Geol Eng. 32: 1165-1173
- [6]- Mcloughlin, S., and Ahmed, A. 2012. Seepage under hydraulic structures provided with an intermediate filter. 1245-1271. In: ICSE6 2012. Paris, France.
- [7]- Bakr, A., El-Masry, A. B., Masria, A. A., Abdelgawad, H. A. 2020. Confined Seepage underneath Hydraulic Structures Using Strong Form Differential Quadrature Element Method, MANSOURA ENGINEERING JOURNAL. 45(2): 1-7
- [8]- Hindi, S.M. 2014. Control of seepage beneath Hydraulic structures. M SC Thesis. Elmergeb University.



شكل 7: تأثير موضع الهبوط عند نقطة الأصبغ على الجهد عند النقاط الحدية

#### 5. الخلاصة

تمت دراسة المشكلة الحالية المتعلقة بتحليل التسرب أسفل المنشآت الهيدروليكية ذوات القواعد الهابطة باستخدام طريقة معاملات المقاومة. ولمعرفة تأثير المتغيرات الرئيسية ( $L_1/L$ ), ( $D/L$ ), ( $S/L$ ) على الجهد المتولد نتيجة هذا التسرب والمؤثر على قاعدة المنشأ استخدمت ثلاث حالات أولها منشأ بدون هبوط والحالة الثانية وجود الهبوط في بداية المنشأ بينما الثالثة الهبوط يكون في نهاية المنشأ.

اتضح أن الجهد يزداد مع زيادة عمق الستارة اللوحية في النقطة D لجميع الحالات, أما في النقطة B, فهو يزداد أيضاً مع زيادة عمق الستارة اللوحية عندما يكون الهبوط في آخر المنشأ, وفي النقطة A فهو لا يتأثر بعمق الستارة اللوحية في جميع الحالات. ونتيجة لزيادة ارتفاع الهبوط نلاحظ زيادة في الجهد عند النقطة B, أما بالنسبة للنقطتين D,C فحدث انخفاض في قيمة الجهد عند ارتفاع الهبوط وخاصة للقيم الصغيرة لـ  $S/L$ .

#### 6. التوصيات