

تحليل ومقارنة ضغط الاصعاد ونسبة الرشح في ناظم صدر شط الحلة للأعوام 2017، 2018، و2022 تحت تأثير التغيرات المناخية

محمد حبيب متعب²

حاتم حميد حسين³

عدي تموين عجيل²

علي حسن حمادي^{1*}

¹ المركز الوطني لإدارة الموارد المائية/وزارة الموارد المائية

² الهيئة العامة للسدود والخزانات/وزارة الموارد المائية

³ مدير عام التخطيط والمتابعة في وزارة الموارد المائية

* المؤلف المرسل: alihassan197950@gmail.com

الخلاصة

قلة السقيط وزيادة درجات الحرارة سبب في ارتفاع تبخر المياه من الانهار والحقول ، وقلل الإمدادات المائية من دول من دول المنبع لنهري دجلة والفرات. ساهم ذلك في نقص المياه المتجهة إلى مقدم سدة الهندية، مما أثر على ناظم شط الحلة الذي يعتمد على مياه السدة. وادى ذلك الى تخفيض منسوب مقدم سدة الهندية من 31.90 م الموصى به في دليل التشغيل إلى منسوب 31.40 م. في هذه الدراسة تمت مقارنة ضغوط الاصعاد ونسب الرشح ولل سنوات 2017 و2018 (عند منسوب 31.90 م) وسنة 2022 (عند منسوب 31.40 م). بينت النتائج أن ضغط الاصعاد لم يتأثر إلا عند خفض مؤخر الناظم إلى أقل من 29 م، حيث زادت ضغوط الاصعاد تحت أساسات الناظم. أعلى ضغط اصعاد محسوب بلغ 6.63 و6.3 و6.72 طن/م² للسنوات 2017 و2018 و2022 على التوالي. أظهرت البيزومتريات 27 و28 قيمًا أعلى بسبب موقعها تحت منسوب جدار القطع، ومع ذلك، لم يؤثر انخفاض منسوب مقدم سدة الهندية على استقرار المنشأ، حيث كانت ضغوط الاصعاد ونسب الرشح ضمن الحدود المسموح بها. استخدم برنامج بلكسس لمحاكاة التسرب وحساب أعلى نسب للرشح، حيث بلغت 2.37×10^{-4} و 10^{-4} و 2.18×10^{-4} و 3.38×10^{-4} م³/ثا للسنوات 2017 و2018 و2022 على التوالي، وان معاملات الامان كانت جيدة.

الكلمات المفتاحية: ناظم شط الحلة، منسوب ماء المقدم، التسرب او الرشح، ضغط الاصعاد، نسبة الرشح.

Analysis and Comparison of Uplift Pressure and Seepage Rates in the Shatt al-Hilla Regulator for the Years 2017, 2018, and 2022 under the Influence of Climate Change

Ali Hassan Hommadi^{1,*}

Oday Tamween Ajeel²

Hatem Hammed Hussien³

Mohammed Habeeb Mutib²

¹ National Center for Water Resources Management, Ministry of Water Resources

² State Commission for Dams and Reservoirs ,Ministry of Water Resources

³Director General of Planning and Follow-up at the Ministry of Water Resources

*Corresponding author: alihassan197950@gmail.com

Abstract

The reduction in rainfall and increase in temperatures have led to a rise in water evaporation from rivers and fields, reducing water supplies from the upstream countries of the Tigris and Euphrates rivers. This contributed to a reduction in water flowing to the front of the Hindiyah Barrage, affecting the Shatt Al-Hilla regulator, which depends on the barrage's water. This resulted in lowering the up-stream water level of the Hindiyah Barrage from the recommended 31.90 m in the operating manual to 31.40 m. In this study, uplift pressures and seepage rates were compared for the years 2017 and 2018 (at a water level of 31.90 m) and 2022 (at a water level of 31.40 m). Results showed that uplift pressures were unaffected except when the downstream level was reduced below 29 m, which increased uplift pressures under the regulator's foundations. The highest calculated uplift pressures were 6.63, 6.3, and 6.72 ton/m² for the years of 2017, 2018, and 2022, respectively. Piezometers 27 and 28 showed higher values compared with others due to their location below the cutoff wall level. However, the drop in the upstream water level of the Hindiyah Barrage did not affect the structure's stability, as the uplift pressures and seepage rates remained within allowable limits. The Plexis software was used to simulate seepage and calculate the highest seepage rates, which were 2.37×10^{-4} , 2.18×10^{-4} , and 3.38×10^{-4} m³/s for 2017, 2018, and 2022, respectively, with satisfactory safety factors.

Keywords: Shatt Al-Hilla Regulator, Upstream water level, Seepage, Uplift pressure, Seepage-ratio.

1. المقدمة

في هذا البحث، سنقوم بتحليل ومقارنة ضغط الاصعاد ونسبة الرشح لناظم شط الحلة عبر عدة أعوام ومدى تأثيرها على معامل أمان المنشأ الموصى به من قبل المصمم. ناظم شط الحلة هو منشأ خرساني مسلح يتكون من ست فتحات مزودة بأبواب شعاعية حديدية تدار هيدروليكيًا بواسطة القوة الكهربائية من خلال غرف التشغيل الموقعية فوق الدعامات. كما يمكن تشغيلها عن بعد من غرفة السيطرة المركزية في المحطة الكهرومائية. تتحرك فوق دعائم الناظم رافعة متحركة على سكة حديدية، الغرض منها إجراء أعمال الصيانة والتصليح لأبواب الناظم. التصريف التصميمي لناظم شط الحلة هو $326 \text{ م}^3/\text{ثا}$ عند أعلى منسوب لمقدم الناظم 32.55 م ، وأن أعلى منسوب فيضاني هو 31.83 م ، والتصريف التشغيلي لناظم $200 \text{ م}^3/\text{ثا}$. يتم تشغيل الأبواب بطريقتين: يدوية وكهربائية، وعدد الأبواب 6 شعاعية بأبعاد $6 \text{ م} \times 5.40 \text{ م}$ ، والمنسوب التصميمي للمقدم هو 31.90 م . كان المنسوب التشغيلي سابقاً للمقدم 31.90 م وحاليًا 31.40 م ، ومنسوب أرضية الناظم (المقدم 27.40 م والمؤخر 26.10 م) وطول أرضية الناظم من جهة المقدم 10.80 م ومن جهة المؤخر 13.20 م (صالح واخرون, 2022, Mahdi & Al-Hadidi, 2023) استخدم برنامج SEEP/W لناظم شط الحلة لمحاكاة والتحقق من قيم الضغط الهيدروليكي مع النتائج التي تم الحصول عليها من الحقل. يوفر برنامج المحاكاة معلومات عن خصائص التربة وأحجام الشبكات المستخدمة في المحاكاة والمعادلة المستخدمة في البرنامج. تم عرض نتائج المحاكاة على شكل بيانات إحصائية وحسابية للضغط الهيدروليكي المرصود ونتائج المحاكاة، بما في ذلك معدل جذر متوسط الخطأ (RMSE)، ومتوسط الخطأ (ME)، وأقصى خطأ نسبي. وخلصت الدراسة إلى أن أداء النموذج جيد وبكفاءة تصل إلى 99.999%، وتؤكد المقارنة بين قيم الضغوط الهيدروليكية المرصودة والمحاكية صحة النموذج، بشكل عام، كما توضح الدراسة دقة وقابلية تطبيق برنامج SEEP/W في نمذجة الأنظمة الهيدروليكية. (Al-Sultani & Al-Hadidi, 2023) فحص كفاءة جدار القطع cut off عند تدفق الرشح لمنشأ سدة الهندية وذلك من خلال حساب كمية التسرب التي حدثت تحت الهيكل في ظروف مختلفة، مثل اختلاف منسوب المياه في مقدم السدة ومؤخرها باستخدام برنامج (SEEP/W) وذلك بأخذ التحليل الطبيعي والتحليل التفاضلي. تم التحليل في حالة وجود جدار القطع والهبوط الكبير في المنسوب، وأيضًا عند حدوث أخطر حالة فيضان عند المستوى الأعظم في المقدم. وفي هذه الحالة يجب فتح جميع البوابات أي النزول السريع في ماء المقدم. أثبتت النتائج كفاءة جدار القطع في الحالة الأكثر خطورة، ويعتبر أحد مؤشرات الأمان لسدة الهندية. النتائج اثبتت كفاءة الجدار القطع في الحالة الأكثر خطورة ويعتبر أحد مؤشرات الأمان لسدة الهندية. في هذه الدراسة استخدمت طريقة العناصر المحدودة لدراسة جدار القطع ومرشحات المؤخر D/S filters للتحكم في التسرب و منحنى تدرج الخروج الهيدروليكي hydraulic exit gradient وقوى الرفع للسدة. بينت الدراسة ان نسبة الخطأ كانت أقل من 1%، وكما تم دراسة حالة التفريغ عند أعلى منسوب معتمد من الشركة المنفذة، وكذلك التأخير وقت عملية التفريغ عند بداية تشغيل المشروع حيث تم تحليل هذه الحالة من خلال دراسة ضغط الرفع ومعدل التسرب وسرعة التسرب والتدرج وتصريف المقدم من نقطة قريبة من وجه ال sheet pile ونقطة بعيدة عند المؤخر واستنتجت من خلال هذه الحالة كفاءة ال sheet pile. كذلك أثبتت الدراسة كفاءة ال sheet pile عند مواجهة حالة السيول و في أوقات مختلفة وذلك بحساب عامل امان بقيمة 2.24. (Al-Abbas ,et, al., 2019) في هذه الدراسة ايضا" راقب الباحثين رفع وخفض منسوب التصريف في مقدم سدة الهندية وضغط الرفع ونسبة التسرب وتأثيرهما على منشآت السدة لتقييم

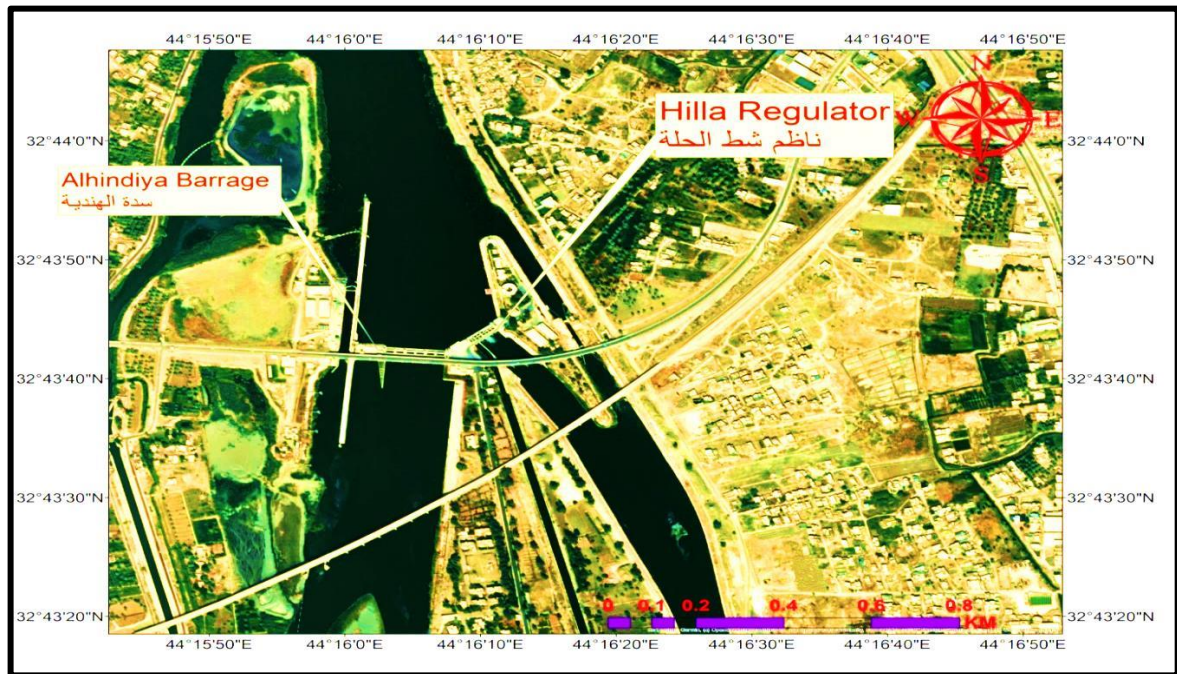
ومراقبة سلامة السدة. تضمنت خطة تشغيل سدة الهندية في عام 2017، توفير مياه الري لموسمي الشتاء والصيف؛ بينما في عام 2018 تضمنت خطة تشغيل السدة توفير المياه لموسم الشتاء فقط بسبب نقص المياه. وقد أدى ذلك إلى إطلاق كميات أقل في عام 2018 مقارنة بعام 2017 وفي كلا العامين فإن منسوب المقدم كان 31.9 م أما في السنوات اللاحقة وبسبب قلة الواردات المائية تم اللجوء الى تخفيض منسوب المقدم حيث كان منسوب ماء المقدم في عام 2022 بحدود 31.40 م . يتم قياس كمية عدم اليقين في التصميم، وبالتالي التكلفة الناجمة عن رأس التسرب غير المؤكد باستخدام أرقام غامضة. (Singh, 2011) أظهرت دراسة أن عدم اليقين بنسبة 15 بالمائة في التسرب سيؤدي إلى 22 بالمائة من عدم اليقين في التصميم الذي يمثله تكلفة التصميم الإجمالية . الهدف من الدراسة هو تقييم حالة المنشأ في كلا الحالتين من خلال دراسة نتائج الفحص الدوري الحقلية لحالة السدة و مقارنة قراءات البيزومترا 27 و 28 والتي تقع تحت مستوى cut off . في الدراسة الحالية تم حساب ضغط الاصعاد ونسبة الرشح وللأعوام 2017 و 2018 حيث كان بها منسوب ماء مقدم سدة الهندية ثابت بمقدار 31.90 م و عام 2022 عند تخفيض ماء المقدم الى 31.40 م ومدى تأثير ذلك على خط الرشح وضغوط الاصعاد و بالتالي استقرارية وامان ناظم شط الحلة.

2. موقع ناظم شط الحلة والتفاصيل الفنية

يقع الناظم على خط طول '16 44° شرقاً' وخط عرض '32 43° شمالاً'. الشكل (1) يظهر صورة لناظم شط الحلة ملتقطه من جه المؤخر. بينما الشكل رقم (2) صورة جوية مأخوذة من برنامج Arc-GIS pro [7] لمنظومة سدة الهندية ومن ضمنها ناظم شط الحلة. يعتبر ناظم شط الحلة من المنشآت المهمة جداً في العراق كونه يمثل مركز التحكم الرئيسي بتوزيع المياه لمحافظة الفرات الأوسط حيث تتوزع بين محافظة بابل بنسبة 45% ومحافظة الديوانية بنسبة 45% والمتبقي لمحافظة المثنى، منطقة الرميثة بنسبة 10% من كمية التصريف المطلقة من الناظم . يقع الناظم في ناحية سدة الهندية في محافظة بابل على الجهة اليسرى لنهر الفرات حيث يغذي مسار شط الحلة الممتد الى الدغارة في محافظة الديوانية وبعدها الى منطقة البرشاوية تحادد محافظتي الديوانية والمثنى وصولاً الى الرميثة الذي ينتهي بمهرب ذيلي في الفرات عند الرميثة اضافة الى مهرب جانبي في الديوانية بمنطقة السنية يطرح مياهه مباشرة الى الفرات. يبلغ طول ارضية ناظم شط الحلة 24 م و الذي يتكون من 6 بوابات شعاعية وحوض تسكين بطول 21 م . يحوي في مقدمه على ربراب بطول 15 م بينما يوجد في مؤخر الناظم ربراب بطول 25.5 م . يبلغ سمك الارضية بالمؤخر 2 م بينما سمك الارضية بالمقدم 3.3 م . يحوي المنشأ على جدار قطع يبلغ طوله 6.1 م تحت المنشأ. يبلغ منسوب قمة الناظم 27.40 م في المقدم ومنسوب الارضية بالمؤخر 26.1 م ومنسوب تحت الارضية 24.1 م بينما منسوب جدار القطع 18 م.



شكل (1): يبين مؤخر ناظم شط الحلة مع جدول الكفل.



شكل (2): صورة جوية لمشروع سدة الهندية يوضح فيه ناظم شط الحلة بواسطة برنامج Arc-GIS Pro (Esri, 2021)

3. منهجية البحث والمواد والطرق المستخدمة

1.3. حساب معامل ثبات التربة وقوة الرفع

يتم حساب قوة الرفع من خلال تحليل قراءات البيزومتر (Pizometers) التي تتوزع على كافة اجزاء المشروع والبالغ عددها 35 بيزومتر والتي يتم قراءتها شهريا في الحالات الاعتيادية ويوميا في الحالات الطارئة. لغرض حساب معامل ثبات التربة ومعرفة مقدار قوة الرفع يتم تحليل قراءات جميع البيزومترات ولكل الاشهر لحساب اكبر قوة رفع على المنشأ. في هذه الدراسة اخذت قراءات البيزومترات (27 , 28) كنموذج للحسابات حيث ان بيزومتر (27) يقع في مقدم الناظم بينما بيزومتر (28) يقع على مؤخر ناظم شط الحلة . يمكن تلخيص خطوات حسابات مقدار منسوب الماء في كل بيزومتر كما يلي:

1. حساب مقدار الهبوط (H) بين كل بيزومترين متجاورين.
2. حساب خط المسار الافقي (L) بين كل بيزومترين من خلال المقطع العرضي الذي يبين موقع البيزومترات مع الاخذ بنظر الاعتبار ان كل (1) متر عمودي يعادل (3) متر افقي.
3. نستخرج قيمة (J) من المعادلة L/H .
4. حساب قيمة معامل ثبات التربة (K) من حاصل قسمة قيمة (J) لنوعية تربة الاسس على اعلى قيمة من قيم (J) على ان لا تقل قيمة K عن واحد.
5. حساب مقدار (Buoyancy Pressure) من المعادلة التالية: $F_b = r \cdot h \cdot A$
6. حساب مقدار ضغوط الرشيق (Percolation Pressure) P.
7. حساب مقدار قوة الرفع (Uplift Pressure) F من المعادلة التالية: $F = F_b + P$
8. مقارنة مقدار قوة الرفع بوزن المنشأ على أن تكون قيمتها اقل من وزن المنشأ.

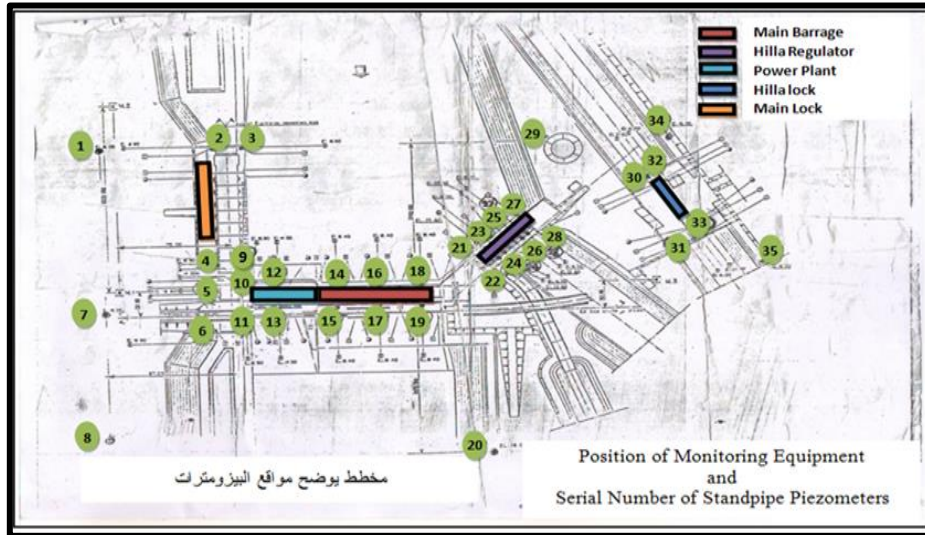
2.3. البيزومترات

يوجد ثمان بيزومترات موزعة على جميع اجزاء ناظم شط الحلة وهي (21,22,23,24,25,26,27,28) هذه البيزومترات تعتبر احدى أجهزة قياس ضغط ماء المسام وهناك عدة انواع منها. النوع المستخدم هنا هي البيزومترات ذات الأنابيب الشاقولية. حيث يتألف هذا النموذج من أنبوب رأسي محكم الإغلاق متصل بعنصر مسام (فلتر) يوضع الفلتر في المنطقة المرغوبة ومن ثم توضع سدادة من البنتونايت فوق المنطقة لفصلها عن الطبقات الأخرى. يدخل في نهايته جسم معدني يحتوي قطبين إلى منسوب سطح الأرض . حيث يمكن سماع صوت حالما يصل كيبيل القياس إلى منسوب الماء ، وعن طريق كيبيل القياس المدرج ب (الأمتار والسنتيمترات) يمكن للقارئ أن يحصل على قيمة عمق الماء حيث يتم طرح مقدار القراءة على الكيبيل من منسوب أعلى الأنبوب المعلوم قيمته مسبقا نحصل على منسوب الماء في البيزومتر . تتميز البيزومترات ذات الأنابيب الرأسية بالكلفة القليلة وسهولة أخذ القراءة . الغرض من تثبيتها لحساب مقدار قوة الرفع (Up Lift Pressure) ومعرفة كفاءة جدار القطع (Cut-Off) ومعرفة ثبات التربة (Stability of Soil) وتحليل خط الرشح المار خلال الاسس . يتم قراءة منسوب الماء في البيزومتر المعلوم بالإضافة الى منسوب الماء في مقدم الناظم ومنسوب الماء في المؤخر في

المنطقة التي تقع ضمنها البيزومتترات عندها يتم مقارنة مناسيب البيزومتترات مع منسوب المقدم والمؤخر للتوصل الى معرفة كفاءة عمل جدار القطع ومعرفة مقدار الرشح المار من خلاله. في الحالة الطبيعية يجب ان تكون قراءة البيزومتترات الواقعة مؤخر الناظم اقل من قراءات البيزومتترات الواقعة في المقدم كما يجب ان تكون قراءة البيزومتترات الواقعة في المقدم اقل من منسوب المقدم وهو مؤشر كفاءة الجدار القاطع. تم استخدام معلومات ضغط الاصعاد ونسب التسرب وكذلك التصاريح ومناسيب المياه العلوية والسفلية للاعوام 2017, 2018, و 2022 و التي تم جمعها وقياسها من قبل المهندسين والعاملين في مشروع سدة الهندية شعبة الصيانة المدنية باستخدام أجهزة حساب منسوب مياه البيزومتترات الموضحة بالشكل رقم (3) بينما الشكل رقم (4) يبين مواقع البيزومتترات المنصوبة على منظومة سدة الهندية ومن ضمنها الواقعة على ناظم شط الحلة والتي تبدأ بالرقم 21 وتنتهي بالبيزومتر رقم 28.



شكل (3): يبين طريقة قياس منسوب البيزومتر بجهاز الجيوستيك.



شكل (4) : يبين مواقع توزيع البيزومتترات على منشآت سدة الهندية بضمنها الواقعة على ناظم شط الحلة.

3.3. المعادلات والحسابات المستخدمة

احدى طرق تحليل وتقييم سلامة المنشأ يتم من خلال حساب نسبة الرشح (Seepage ratio) المار خلال جدار القطع والتي يتم حسابها من خلال المعادلة التالية :

$$\text{Seepage Ratio} = \frac{H-H_d}{H_u-H_d} \% \quad (1)$$

عندما :

H : مقدار شحنة الضغط في البيزومتر.

Hd : مقدار منسوب الماء في مؤخر الناظم.

Hu : مقدار منسوب الماء في مقدم الناظم .

تم حساب ضغط الارتفاع (Uplift pressure) من خلال الصيغة المعدلة لمعادلة لين (lane equation) والتي استخدمت من قبل الاستشاري الفرنسي (SOGREAH consulting Engineers) والشركة الصينية المنفذة وكما موضح في معادلة رقم 2 (Sogreah Consultants, 1988) .

$$\frac{H}{3} + V = C_w \cdot h \quad (2)$$

عندما:

H = مقدار خط التسرب الافقي المتراكم.

V = مقدار خط التسرب العمودي المتراكم.

h = مقدار شحنة الضغط القصوى (منسوب ماء المقدم – منسوب ماء المؤخر).

Cw = نسبة الزحف الموزونة التي يتم اختيارها بالنسبة لحجم حبيبات التربة.

تتراوح هذه النسبة من 8.5 بالنسبة للرمل الناعم او الغرين الى 2.5 بالنسبة للصخور مع بعض الحصى.

نسبة تباين الخواص الهيدروليكية يتم حسابها من المعادلة رقم 3 وكما يلي :

$$J = k_v/k_h = 1/10 = \text{anisotropic ratio} \quad (3)$$

عندما :

k_v = مقدار النفاذية بالاتجاه العمودي .

k_h = مقدار النفاذية بالاتجاه الافقي.

يتم حساب نسبة الطفو من خلال المعادلة التالية :

$$\text{Buoyancy} = F_b = r \cdot A \cdot h \quad (4)$$

عندما:

$A =$ يمثل طول المنشأ الهيدروليكي.

$h =$ مقدار منسوب الماء في المؤخر – منسوب اساس المنشأ.

$r =$ عرض الاساس ويفرض 1م.

القوى الناتجة من تأثير ماء المقدم وجدار القطع ممثلة بالقوى (p_1, p_2, p_3) الاشكال (6,7) ادناه .

هذه القوى محسوب كمساحة شبة منحرف تحت اساس المنشأ. مجموع هذه القوى يمثل قوة الطفو المسلطة بالطن. ولايجاد ضغط الاعداد بوحدة الطن/م² يتم تقسيم الناتج على المساحة والتي تكون 1 متر مضروب في طول المنشأ الهيدروليكي ومنها يتم حساب ضغط الاعداد بوحدة طن/م². يجدر القول ان مقدار الضغوط المسموح بها على ناظم شط الحلة اعتمادا على توصيات الاستشاري الفرنسي هي 12.1 طن/م².

4.3. الموديل بلكس Plaxis LE Model

الموديل بلكس وهو برنامج هندسة تربة متقدم تم تطويره بواسطة شركة بلكس بي في. (Bentley, (Plaxis B.V.) (2018) يعتبر أداة قوية تم تصميمها بعناية لتحليل ومحاكاة تفاعل التربة مع الهيكل مصمم لتلبية احتياجات متنوعة للمحترفين في مجال الهندسة الجيوتقنية ، يتميز هذا البرنامج بقدرته على توفير حلاً شاملاً من خلال تحليل العناصر المحددة. يكمن قوة هذا الموديل في قدرته على نمذجة وتقييم السلوكيات المعقدة التي تظهرها التربة والهيكل تحت ظروف تحميل متنوعة.

يقدم هذا البرنامج المتقدم للنمذجة واجهة سهلة الاستخدام تعززها خوارزميات عددية قوية، مما يمكن المهندسين من محاكاة مجموعة واسعة من التحديات الجيوتقنية. من استقرار المنحدر والحفر والتسرب تحت المنشأ إلى تصميم الأساسات وتفاعل الأرض والهيكل، يتفوق بلكس في تقديم رؤى في عالم الهندسة التربة المعقد.

في هذه الدراسة، نستفيد من قدرات بلكس المتقدمة للغاية للغوص في تحليل التفاعل المعقد لظاهرة التسرب تحت الناظم لرئيسي لسط الحلة . يلعب بلكس ، المشهور بقوته في محاكاة الهندسة التربة، دورًا حيويًا في استكشاف التفاعلات المعقدة بين التربة وتدفق الماء في محيط هذا الهيكل الهيدروليكي الحيوي.

في إطار بحثنا، يتم استنباط المعادلة الحاكمة للتسرب تحت الناظم لرئيسي لسط الحلة من قانون دارسي، وهو مبدأ أساسي في ميكانيكا التربة. يعتبر قانون دارسي الاساس النظري لفهم تدفق الماء من خلال وسائط مسامية، ويشكل أساساً لفهم أنماط التسرب تحت الهياكل الهيدروليكية. وكما موضح بالمعادلة التالية:

$$Q = -K.A. \Delta h / \Delta L \quad (5)$$

عندما:

Q هو معدل تدفق الماء الحجمي (م³/ث).

K هو توصيلية الماء للتربة او الوسط المسامي (م/ث).

A هي مساحة المقطع العرضي بشكل متعامد على التدفق (م²).

Δh هو الفرق بمقدار شحنة الضغط الهيدروليكي (الطاقة الكامنة للوحدة الوزنية للماء عبر الوسط المسامي (م).

ΔL هو طول مسار التدفق (م).

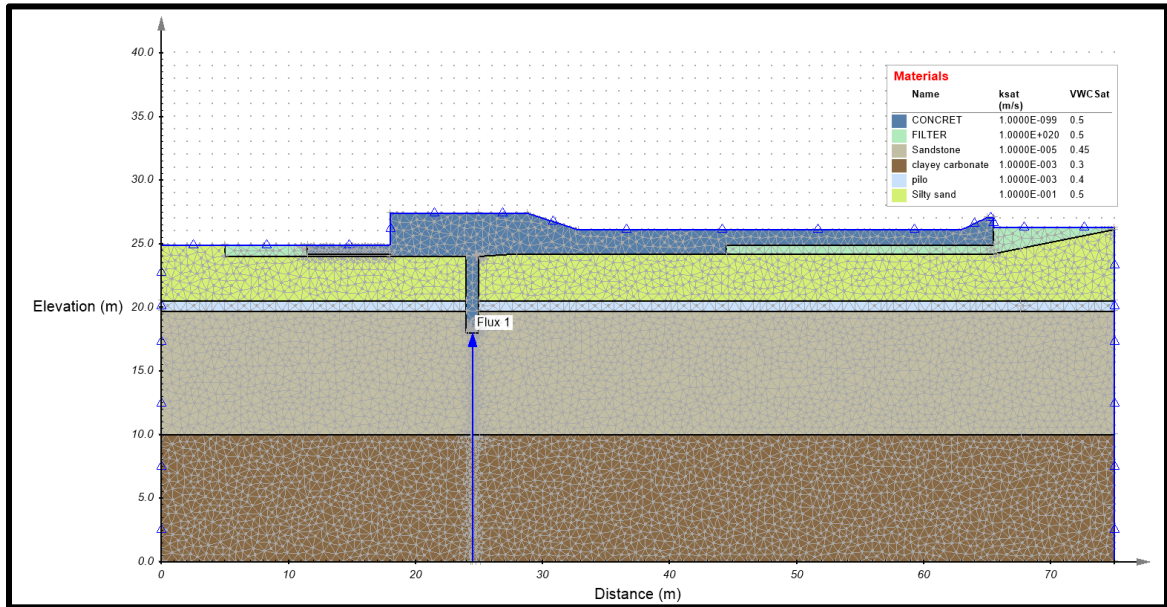
باستخدام قدرات بلكسس العددية القوية، تهدف دراستنا إلى نمذجة وتحليل بدقة خصائص التسرب، مما يقدم رؤى قيمة حول امان ناظم شط الحلة واستقراره والذي يسهم ويعطي موثوقية اضافية للبيانات المحسوبة عن طريق المعادلات.

لغرض تحليل التسرب اسف ناظم شط الحلة يجب دراسة وتحليل نوع التربة ومعرفة خواصها الجيوتكنيكية. في منطقة الدراسة تقع المياه الجوفية بشكل اساسي اسفل الارضية الخرسانية للمنشأ والتي تتكون من عدة طبقات والتي تتألف من طبقات من الغرين والرمل والحصى اضافة الى الصخور. يشكل الغرين والرمل الجراء الاكبر من المياه الجوفية في منطقة الدراسة والتي تظهر توصيلا هيدروليكييا جيدا. الجدول (1) يلخص انواع طبقات التربة اسفل ناظم شط الحلة بالاضافة الى صفاتها الجيوتكنيكية .

جدول (1) : الخصائص الجيوتكنيكية لطبقات التربة اسفل ناظم شط الحلة[5].

Material	γ_{sat} (kN/m ³)	K_{sat} (m/s)	ϕ	C (kPa)
Concrete	25	-	-	-
Filter	200	-	40	0
Sandstone	20	0.00001	40	0
Clayey carbonate	18.5	0.001	0	130
Pilo	20	0.001	33	10
Silty sand	19.7	0.1	40	0

يملك الموديل قابلية اختيار حجم الدقائق المتناهية حيث كلما كان حجم الدقائق اصغر كلما كانت الحسابات ادق ومن خلال اختبار عدة احجام لشبكة العناصر المتناهية ومقارنة النتائج توصلنا الى اختيار حجم شبكة بابعاد 1 متر كافية وتعطينا نتائج دقيقة حيث كان اختلاف النتائج اقل من 5% . الشكل (5) يمثل انواع طبقات التربة اضافة الى رسم شبكة العناصر المتناهية التي تم اختيارها لاتمام عملية النمذجة.



شكل (5): يبين توزيع طبقات التربة اضافة الى شكل شبكة العناصر المتناهية اسفل ناظم شط الحلة .

4. النتائج والمناقشة

1.4. تقييم ضغط الاصعاد ونسبة التسرب

تضمنت البيانات التي تم جمعها وتحليلها القراءات الشهرية لمستوى الماء في البيزومتريات الواقعة مقدم ومؤخرناظم شط الحلة و للسنوات 2017, 2018 و 2022 . حيث تم حساب ضغط الاصعاد ونسبة الرشح بالاضافة الى قياس التصاريح المطلقة من الناظم عند اخذ القراءات كما مبين بالجداول (2, 3 و4). من خلال الحسابات وتحليل المعلومات الواردة بالجداول اعلاه يمكن ان نستنتج ان مقدار قوة الرفع اقل من الحد المسموح به للاحمال وهذا مؤشر على استقرارية وامان الناظم . بمقارنة قيم معامل الثبات لنفس نموذج البيزوميترات لقراءات مختلفة يتبين لنا ان قيم معامل الثبات تتأثر بشكل واضح بفرق المنسوب بين المقدم والمؤخر. ان التغيير المفاجئ والكبير للمناسيب ربما يزيد من الاحمال المسلطة على ارضية الناظم مما يزيد من نسبة الرشح ومعامل الاصعاد على ارضية المنشأ وكم مبين بالجداول ادناه .

جدول (2) :مناسيب المياه في مقدم ومؤخر ناظم شط الحلة بالاضافة الى ضغط الاصعاد ونسبة الرشح لعام 2017.

Date	US water level(m)	DS water level(m)	Uplift pressure (ton/m ²)	Seepage ratio		Q/(m ³ /s)
				Piezo.27	Piezo.28	
Jan.	31.70	29.70	6.21	38.5	47.23	130.00
Feb.	31.70	30.05	6.38	33.33	31.28	160.00
Mar.	31.70	29.80	6.30	40	22.78	140.00
Apr.	31.70	29.95	6.41	40.75	39.49	150.00
May.	31.70	29.90	6.38	40	38.89	145.00
Jun.	31.80	30.15	6.63	43.64	32.26	160.00
Jul.	31.80	30.25	6.62	39.35	36.97	170.00
Aug.	31.78	29.80	6.43	45.45	33.89	130.00
Sep.	31.75	29.80	6.43	46.67	32.57	175.00
Oct.	31.70	29.90	6.28	38.33	32.63	140.00
Nov.	31.70	29.75	6.26	40	26.06	110.00
Dec.	31.55	29.20	6.13	53.62	31	130.00

جدول (3): مناسيب المياه في مقدم ومؤخر ناظم شط الحلة بالاضافة الى ضغط الاصعاد ونسبة الرشح لعام 2018 .

Date	US water level(m)	DS water level(m)	Uplift presure (ton/m ²)	Seepage ratio Piezo.27	Seepage ratio Piezo.28	Q/(m ³ /s)
Jan.	31.55	29.60	6.08	37.95	30.26	110.00
Feb.	31.80	29.50	4.96	43.91	36.52	100.00
Mar.	31.75	30.00	4.68	37.14	28.57	140.00
Apr.	31.80	29.50	6.16	41.74	33.91	90.00
May.	31.80	29.85	6.30	36.41	27.69	90.00
Jun.	31.70	29.60	6.21	41.43	36.67	80.00
Jul.	31.58	29.40	5.67	42.66	34.86	80.00
Aug.	31.40	29.25	5.89	43.72	34.88	65.00
Sep.	31.40	28.95	5.73	45.31	37.55	60.00
Oct.	31.40	29.20	5.86	43.64	35.45	80.00
Nov.	31.50	29.20	5.90	44.35	35.65	90.00
Dec.	31.40	29.20	5.86	43.64	35.45	90.00

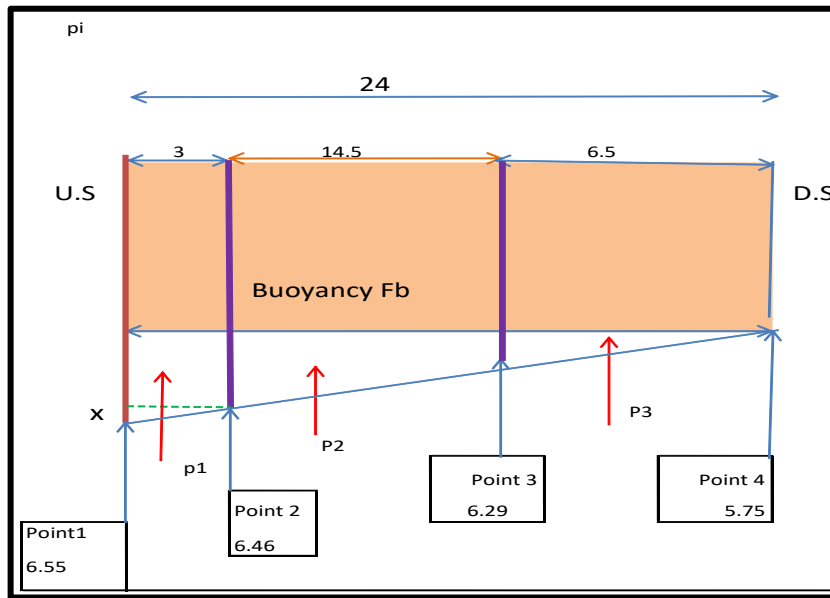
جدول (4): مناسيب المياه في مقدم ومؤخر ناظم شط الحلة بالاضافة الى ضغط الاصعاد ونسبة الرشح لعام 2022 .

Date	US water	DS water	Uplift presure	Seepage ratio	Seepage ratio	Q/(m ³ /s)
------	----------	----------	----------------	---------------	---------------	-----------------------

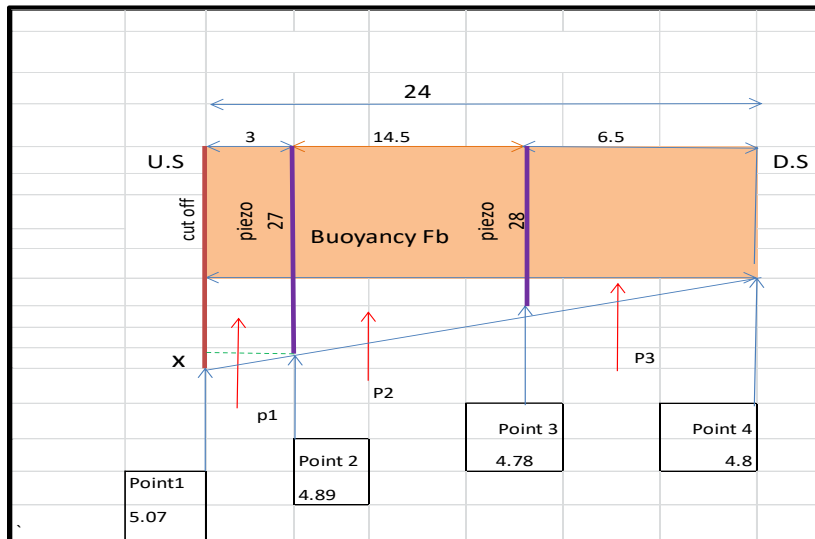
	level(m)	level(m)	(ton/m ²)	Piezo.27	Piezo.28	
Jan.	31.60	29.00	6.27	25.56	25.56	106
Feb.	31.90	29.60	5.45	44.35	36.97	109
Mar.	31.90	29.80	6.44	45.24	36.19	128
Apr.	31.65	29.35	6.13	50	38.26	106
May.	31.65	29.30	6.31	48.1	40	89
Jun.	31.48	29.20	6.69	7.46	40.79	90
Jul.	31.44	29.10	6.72	47.6	40.17	95.8
Aug.	31.40	28.90	5.68	50.4	30.8	92
Sep.	31.40	28.90	5.64	50.8	26.8	89.3
Oct.	31.50	28.78	6.59	51.47	43.75	80
Nov.	31.40	28.90	5.80	50.8	41.2	90.5
Dec.	31.40	29.15	5.88	46.2	38.7	97.42

شكل رقم 6 و 7 تبين قوى ضغط على ارضية ناظم شط الحلة مع قوة الرفع وهو شكل توضحي لضغوط الاصعاد تحت الناظم للاعوام 2018 و 2022 بالتتابع. من النتائج نلاحظ ان قوى الضغط والاصعاد قلت بما يقارب 20% في عام 2022 عن نتائج قوى الضغط والاصعاد لعام 2018 والسبب يعزى الى تقليل ماء مقدم الناظم بما يعادل 0.35 م والتي ادت الى تقليل الضغوط على ارضية الناظم.

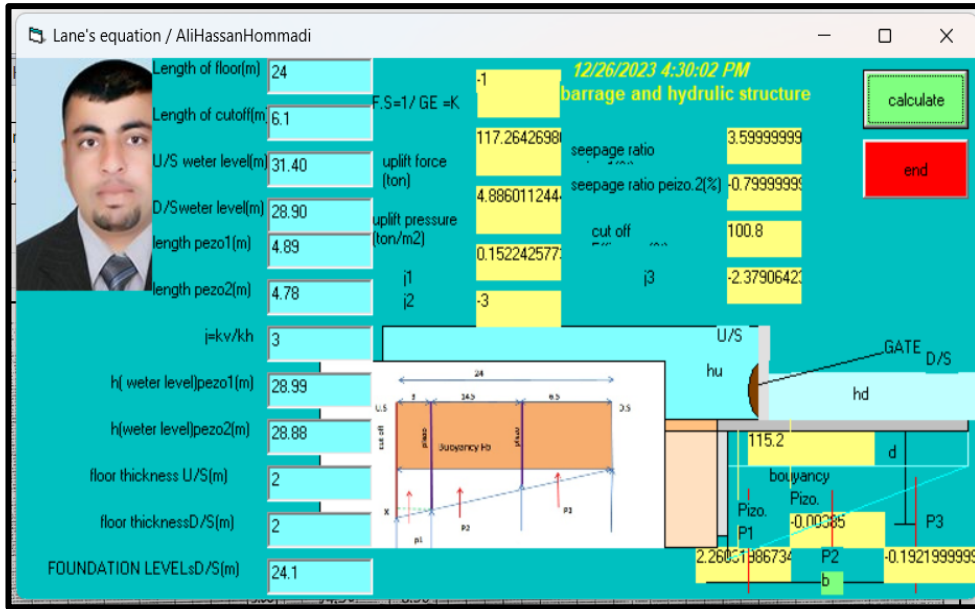
ولاغراض التاكيد من صحة الحسابات السابقة تم ادراج نموذج لطريقة الحساب موضح جدول رقم (9) والتي تبين طرق حساب قوى وضغوط الاصعاد والمطبقة من قبل الكادر الهندسي سدة الهندية اعتماد على معادلة لين المعدلة والموصى بها من قبل الاستشاري الفرنسي حيث تم عمل مقارنة مع معادلة لين الاصلية ووجدت مطابقة كذلك تم مقارنة الحسابات مع معادلة خوصلة ووجدت النتائج متقاربة بنسبة خطأ اقل من 5% وذلك من خلال وتم عمل برنامج حاسوبي بالاكسل لادخال القيم واطهار القوى والضغوط بشكل مباشر وربطها ببرنامج فجول بيسك لاتيتم الحسابات لمعادلتي لين و خوصلة وكما موضح بالاشكال (8 و 9) على التوالي.



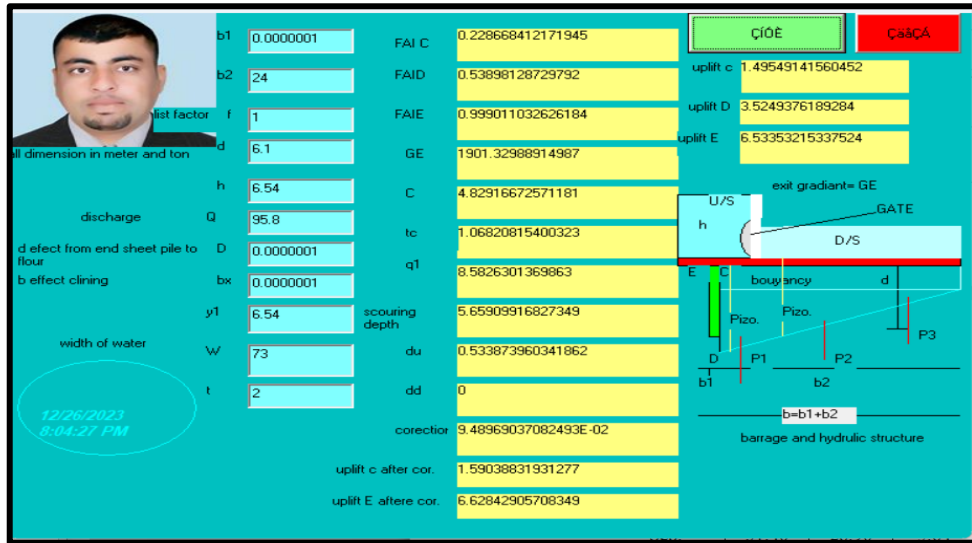
شكل (6): توزيع قوى الضغط والاصعاد اسفل ارضية ناظم شط الحلة والمحسوب للبيزومتر 27 و 28 حسب القراءات المحسوبة في 2018.



شكل (7): توزيع قوى الضغط والاصعاد اسفل ارضية ناظم شط الحلة والمحسوب للبيزومتر 27 و 28 حسب القراءات المحسوبة في 2022.



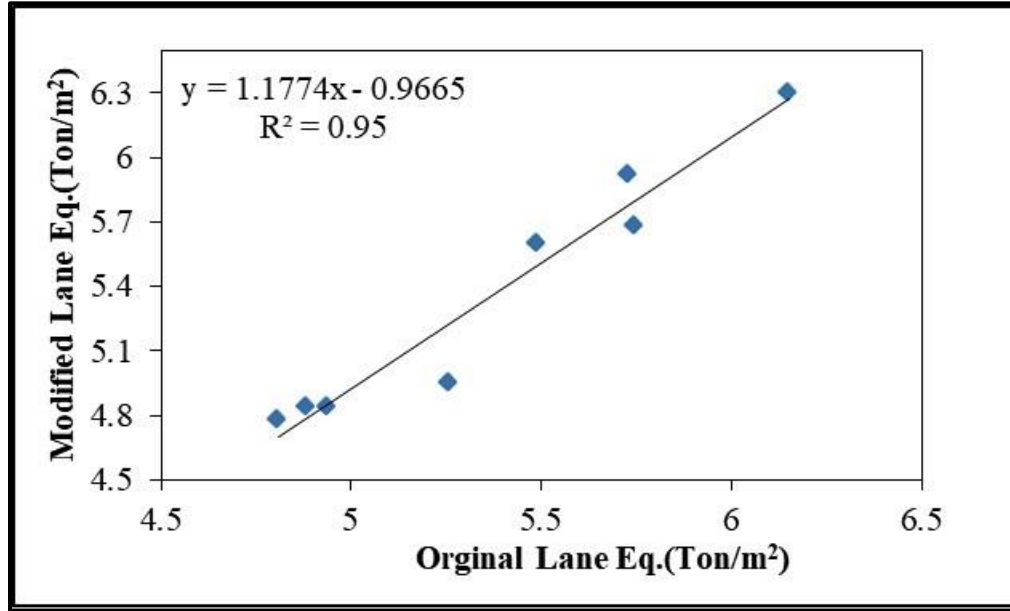
شكل (8): يبين برنامج بواسطة فجول بيسك لحسابات ضغوط الاصعاد بواسطة معادلة لين.



شكل (9): يبين برنامج بواسطة فجول بيسك لحسابات ضغوط الاصعاد بواسطة معادلة خوصلة.

من الجدول (4) وشكل (9) تبين ان اعلى ضغط اصعاد محسوب من خلال معادلة خوصلة لنقطة E كانت 6.63 طن/م² كما واضح بالشكل (9) بينما جدول (4) يبين ان اعلى ضغط اصعاد محسوب كان 6.72 طن/م² وهذا يدل بان معادلة المطبقة من قبل الكادر الهندسي لسدة الهندية اعلى من نتائج معادلة خوصلة بأقل من 1% علما ان معادلة خوصلة تعتبر ادق من معادلة لين لانها تحسب الاحمال والضغوط على جميع النقاط .

شكل رقم (10) يبين مقدار تطابق نتائج معادلة لين المعدلة والمطبقة بالحسابات من قبل كادر مشروع سدة الهندية مع معادلة لين الاصلية . بينت النتائج تطابق الحسابات بين حيث كان معامل الترابط بين النتائج بنسبة $R=95\%$ والذي يدل على ان طريقة الحساب دقيقة احصائيا".



شكل (10): مقارنة بين معادلة لين الاصلية والمعدلة المستخدمة بالحسابات.

ادناه ملخص حسابات ضغوط الاعداد لجميع البيزومتترات الموزعة على اجزاء ناظم شط الحلة (21,22,23,24,25,26,27,28) وللسنوات المائية 2017 و2018 و2022.

جدول (5): يبين ضغوط الاعداد المحسوبة على ارضية ناظم شط الحلة عند موقع البيزومتترات 21 و22 ولجميع اشهر السنة للاعوام 2017 و2018 و2022.

	2022	2018	2017
Date	Uplift Pressure (ton)	Uplift Pressure (ton)	Uplift Pressure (ton)
	Piezo21-22	Piezo21-22	Piezo21-22
Jan	118.83364	123.6448	124.8086
Feb	127.29409	124.7927	131.938
Mar	130.21409	131.4698	129.3695

Apr	121.39909	122.2077	132.337
May	121.54068	127.2698	131.7545
Jun	119.63955	127.0614	142.0711
Jul	119.67523	122.2705	137.3598
Aug	116.18636	119.6011	135.4609
Sep	115.98	114.0752	134.7334
Oct	143.21909	117.8818	131.7473
Nov	116.085	125.1305	125.018
Dec	118.85977	118.0086	126.787
Max. value	143.21909	131.4698	142.0711

جدول (6): يبين ضغوط الارتفاع المحسوبة على ارضية ناظم شط الحلة عند موقع البيزومترات 23 و24 ولجميع اشهر السنة للاعوام 2017 و2018 و2022.

	2022	2018	2017
Date	Uplift Pressure (ton)	Uplift Pressure (ton)	Uplift Pressure (ton)
	Piezo23-24	Piezo23-24	Piezo23-24
Jan	135.06	137.2248	139.8186
Feb	143.74864	140.5268	144.8916
Mar	146.67227	144.8289	139.1623
Apr	138.26273	138.6659	151.6807
May	137.79614	142.3884	142.7095

Jun	155.48432	141.4632	152.7657
Jul	156.78455	137.19	152.8916
Aug	125.33182	133.6843	147.6
Sep	125.43682	128.8898	147.1839
Oct	143.21909	132.1786	144.5055
Nov	130.76545	133.9386	141.7443
Dec	130.10432	131.8673	140.5407
Max. value	156.78455	144.8289	152.8916

جدول (7): يبين ضغوط الارتفاع المحسوبة على ارضية ناظم شط الحلة عند موقع البيزومترا 25 و 26 ولجميع اشهر السنة للاعوام 2017 و 2018 و 2022.

	2022	2018	2017
Date	Uplift Pressure (ton)	Uplift Pressure (ton)	Uplift Pressure (ton)
	Piezo25-26	Piezo25-26	Piezo25-26
Jan	124.49955	132.2143	133.2695
Feb	127.82318	131.5014	142.0534
Mar	136.92273	140.5425	137.6277
Apr	128.41545	140.9173	137.2243
May	134.24	137.1825	139.0859
Jun	149.3225	133.98	146.412
Jul	156.78455	129.1818	155.242
Aug	120.41864	125.7884	139.8959
Sep	120.415	120.7948	140.2075

Oct	135.10955	124.9091	138.7709
Nov	119.89364	125.4309	135.1916
Dec	121.28568	124.185	131.9066
Max. value	156.78455	140.9173	155.242

جدول (8): يبين ضغوط الارتفاع المحسوبة على ارضية ناظم شط الحلة عند موقع البيزومتيرات 23 و 24 ولجميع اشهر السنة للاعوام 2017 و 2018 و 2022.

	2022	2018	2017
Date	Uplift Pressure (ton)	Uplift Pressure (ton)	Uplift Pressure (ton)
	Piezo27-28	Piezo27-28	Piezo27-28
Jan	150.49045	145.9175	148.9423
Feb	130.75545	148.9191	153.0775
Mar	154.64818	140.5425	151.2295
Apr	147.15818	147.7823	153.7807
May	151.45864	151.0884	153.1077
Jun	160.44068	149.1423	159.0907
Jul	161.22318	136.0145	159.2093
Aug	136.34091	141.2475	154.2327
Sep	135.39227	137.5898	154.3307
Oct	158.15659	140.5709	150.7036
Nov	139.17227	141.6105	150.133
Dec	141.1325	140.5709	147.0939
Max. value	161.22318	151.0884	159.2093

من خلال النتائج المستخلصة من الجداول (5,6,7,8) يتبين بأن انخفاض منسوب المقدم في سنة 2022 ساهم في تقليل ضغوط الاصعاد مما ادى الى زيادة استقرارية ناظم شط الحلة . اضافة الى ذلك عند تقليل منسوب مؤخر الناظم قلت قوة الرفع بشكل منتظم وبشكل متساوي على جميع اجزاء الناظم عدا بعض النقاط التي زادت فيها قيمة ضغط الاصعاد ربما بسبب حالات التغيرات الطارئة في قيمة المناسيب اثناء التشغيل اليومي. نستنتج ان انخفاض المناسيب ساعد على زيادة معامل امان الناظم واستقراره علما ان جميع النتائج ولجميع السنوات كانت ضمن الحدود المسموح بها حيث ان الحد الاقصى لضغط الاصعاد المحسوب لناظم شط الحلة كان 6.72 طن/م² وهو اقل من الحد الاقصى المسموح به والبالغ 12.1 طن/م². والجدول (9) يبين طريقة حساب ضغط الاصعاد بواسطة مشروع سدة الهندية وكذلك ادخلنا المعلومات وحسبنا عن طريقة بواسطة برنامج الاكسل

جدول (9): يبين طريقة حساب ضغط الاصعاد تحت اساسات ناظم شط الحلة للبيزومتريات 27 و 28 كمثال لطريقة الحساب لقراءات اخذت سنة 2022.

HILLA REGULATOR 2022				
		D/s	28.90	
	No of pizo	US		
	Level of piezo	31.40	28.99	28.8 8
	Drope (m) (D)	2.41	0.11	-0.02
Span (m) by using section 5 (L)		39.60	14.5	12.5
	Drope in percolation pressure (J) D/L	0.0609	0.0076	- 0.00 2
	L1=	$((24.1-18)*2*3)+3=$	39.60	
	L2=	$6.5+((26.1-24.1)*3)=$	12.500	
	Foundation level=	24.1		
(J) for the foundation of the project =		0.1		
	Safety factor K=	$0.1/Max. J=$	1.64	
	Sample width=	r =	1	
	h = D.S - foundation level =		4.80	m

bouyancy = $F_b = r * h * A$		115.20	Ton	
Point 2 =	Piezo (27) W.L - foundation level=		4.89	m
H between the cut-off and piezo (27) =		2.41	2.41	=
L between the cut-off and piezo (27) =		39.60	39.6	
x=	0.18			
S0=Point 1=	Point 2 + X =	5.07	m	
Point 3 =	Piezo (28) W.L - foundation level=		4.78	m
Point 4 =	D.S - foundation level		4.8	m
s= space between points				
Percolation pressure= Areas of Trapezodial				
P1=	$((\text{point1}+\text{point2})/2-h)*s*r$	0.54	Ton	
P2=	$((\text{point2}+\text{point3})/2-h)*s*r$	0.51	Ton	
P3=	$((\text{point3}+\text{point4})/2-h)*s*r$	-0.07	Ton	
P=P1+P2+P3=	0.986	Ton		
Uplift pressure= $F_b+P=$	116.19	Ton		
Area of section (A)=	$24*1=$	24	m^2	
Max. uplift pressure for peizos 21& 22, 23 & 24, 25 & 26, 27 & 28		161.22	Ton	
Max. uplift pressure (M)=	M / A	4.84	Ton/m^2	

2.4. تحليل التسرب باستخدام الموديل بلكسس

تم استخدام الموديل بلكسس لغرض نمذجة وتحليل وتقدير كمية التسرب بالاضافة الى تحليل حالة الضغط الهيدروليكي وضغط ماء المسام تحت اساسات الناظم في ظل ظروف متغيرة اخذين بنظر الاعتبار تشغيل الموديل في حالة الظروف القصوى والحرارة لغرض نمذجة وتحليل سلوك حالة امان المنشأ في تلك الحالات.

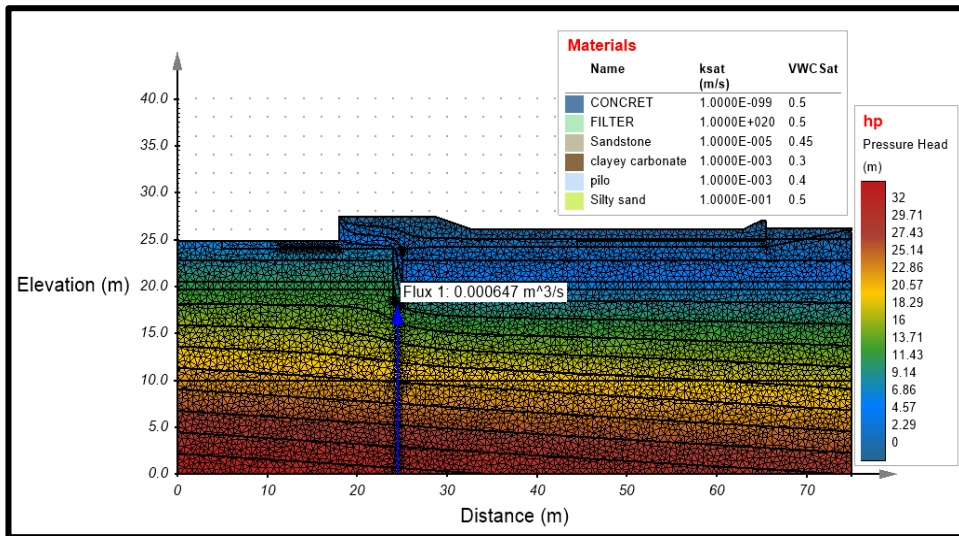
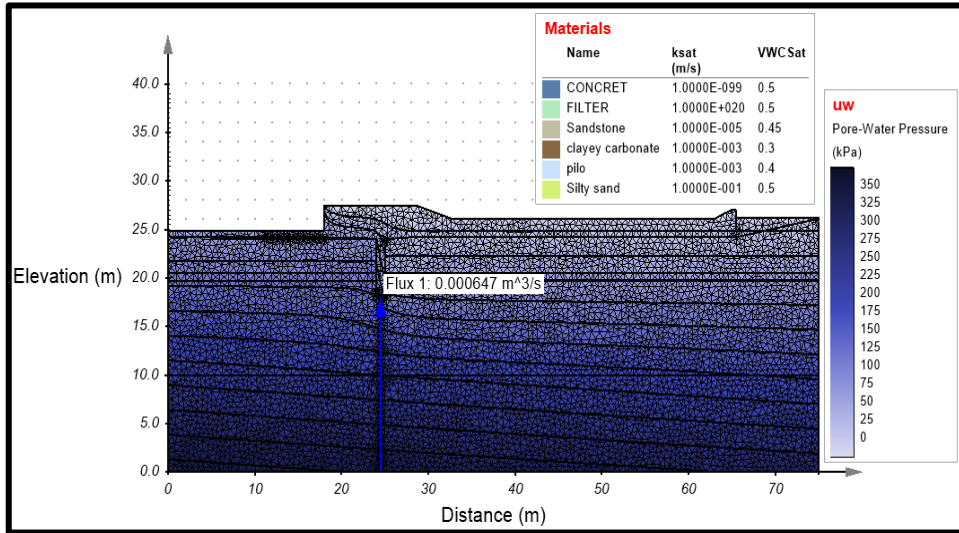
تم تشغيل الموديل عند المنسوب التشغيلي الاعلى للمقدم والبالغ 31.9 م وذلك في حالة الغلق التام لبوابات الناظم اي منسوب المؤخر 27.4 م (الحالة الحرارة) لغرض تحليل وحساب حالة التسرب المستقرة تحت اساسات المنشأ . كذلك تم تشغيل النموذج وفقا لظروف التشغيل الطبيعية في الحالة المستقرة والتي تضمنت ادخال قيم منسوب مقدم و مؤخر الناظم عند اعلى قراءات محسوبة لقيم ضغوط الاصعاد والمبينة في الجدول (2,3,4) و للاعوام (2017,2018,2022). ادناه الجدول (9) والذي يبين مقدار قيم تدفق التسرب بالاضافة الى مقدار اعلى واطى ضغط لماء المسام تحت اساسات الناظم في الحالات سالفة الذكر .

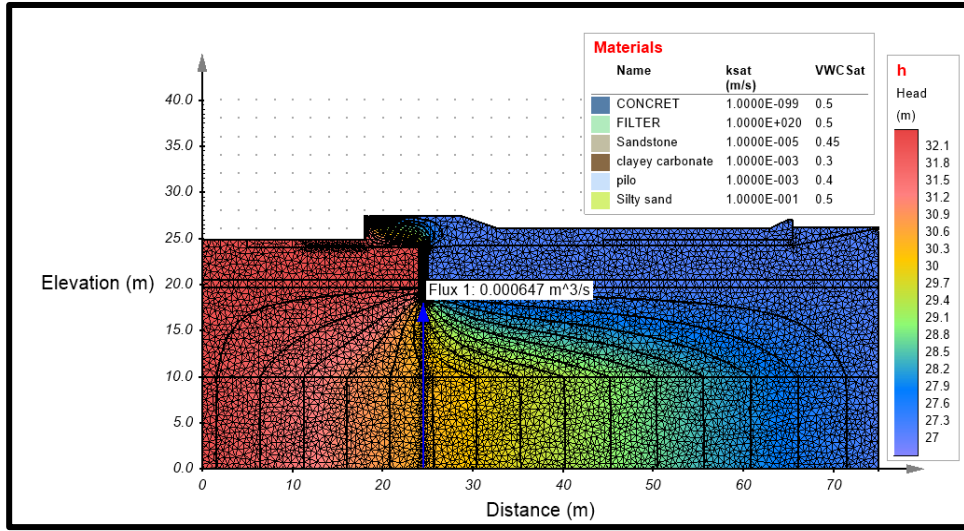
جدول (10): قيم محاكاة تدفق التسرب مع اعلى واطى ضغط لماء المسام تحت اساسات الناظم.

US water level(m)	DS water level(m)	Seepage flux(m ³ /s)	Min. Pore water pressure (kPa)	Max. Pore water pressure (kPa)
31.90	27.40	6.47×10 ⁻⁴	-3.741×10 ⁻⁶	312.80
31.90	29.00	4.17×10 ⁻⁴	15.69	312.80
31.44	29.10	3.38×10 ⁻⁴	16.67	308.30
31.80	29.85	2.81×10 ⁻⁴	24.03	311.90
31.80	30.15	2.37×10 ⁻⁴	26.97	311.90

بينت نتائج المحاكاة ان قيم تدفق التسرب تزداد كلما زادت شحنة الضغط الهيدروليكي الكلي اي الفرق بين منسوب المقدم والمؤخروان اعلى كمية تدفق محسوبة من خلال الموديل كانت عند الحالة الحرارة عند الغلق التام لبوابات الناظم وهذه نتيجة منطقية ونقل قيمة تدفق التسرب كلما قل منسوب المقدم وكذلك ازىاد منسوب مؤخر الناظم . من جانب اخران قيم ضغوط ماء المسام تزداد بزيادة منسوب ماء مقدم الناظم وتقل هذه الضغوط كلما قلت شحنة الضغط الهيدروليكي الكلي المسلطة على ارضية الناظم وكما مبين بالجدول رقم (9). ولغرض التحقق من نتائج المحاكاة تم تشغيل النموذج وفق المعطيات المدخلة من قبل الباحث [2] والتي استخدمت برنامج جيو ستوديو (Geo-Studio) حيث بينت النتائج ان نتائج الموديل بلكسس وجيو ستوديو كانت متوافقة بنسبة كبيرة وبنسبة تغاير اقل من 5% مما يدل على دقة نتائج المحاكاة. نتائج المحاكاة كذلك بينت ان جدار القطع تحت اساسات الناظم يعمل بشكل كفوء وذلك من خلال قدرته على تشتيت الشحنة الكلية للضغط الهيدروليكي وضغط الماء تحت اساسات الناظم وكما واضح في الشكل رقم (11). الشكل رقم (11) هو مثال لنتائج المحاكاة والذي يوضح فية حالة الناظم واساساته وعمل جدار القطع عند الحالة الحرارة وهي حالة الغلق التام عند اعلى منسوب تشغيلي واغلاق جميع بوابات الناظم. جدير بالذكر ان الحالة المذكورة هي حالة مثالية وذكرت كمثال

فقط لاغراض تويح سلوك التسرب وحاله الضغوط اسف الناظم. من نتائج برنامج بلكسس نستنتج ان الاحمال والضغوط ضمن الحدود المسموح بها وان المنشأ يعمل بشكل جيد وكفوء.





شكل (11) : توزيع ضغوط ماء المسام وضغوط الماء و الضغط الهيدروليكي الكلي في حالة الغلق التام لبوبات ناظم شط الحلة.

كذلك تم حساب معامل امان للناظم في الحالات التشغيلية التي تم تشغيل الموديل وفقها والتي حسبت من خلال حساب شحنة الضغط الكلي للماء مقسوما على طول كامل الارضية (24م) وكما موضح بالمعادلة ادناه:

$$FS=1/(Head/Length) \quad (7)$$

من حساب معامل الامان المبينة بالجدول (11) نلاحظ ان معاملات الامان المحسوبة كانت اعلى من اقل قيمة مسموح بها وهي (2) مما يدل ان حالة المنشأ امنه ومستقرة .

جدول (11): يبين معامل امان المنشأ في الحالات التشغيلية التي كانت الاحمال عندها اقصى ما يمكن.

US water level(m)	Head	Factor of Safety
31.90	7.00	3.42
31.44	6.54	3.66
31.80	6.90	3.47

5. الاستنتاجات

في هذا البحث تم حساب ضغوط الاصعاد ونسبة الرش تحت اساسات ناظم شط الحلة ولل سنوات 2017 و 2018 و 2022 وذلك لغرض مقارنة هذه القيم ومدى تأثيرها نتيجة تقليل ماء مقدم الناظم الناتج عن الشحة المائية . كذلك تم استخدام برنامج بلكسس لغرض مقارنة هذه النتائج مع الحسابات النظرية من خلال محاكاة ظروف التشغيل والدرجة وكذلك محاكاة ظروف التشغيل التي انتجت ضغوط اصعاد قصوى تحت اساسات الناظم لغرض التحقق من استقرار وامان المنشأ. ان اعلى قيمة محسوبة لضغط الاصعاد تحت اساسات ناظم شط الحلة كانت 6.63 و 6.3 و 6.72 طن/م² للسنوات 2017 و 2018 و 2022 بالتتابع. نسبة الرش المحسوبة من خلال البيزومتيرات 27 و 28 كانت الاعلى من بين بقية البيزومتيرات الواقعة اسفل اساسات الناظم والسبب يعزى الى انها كانت منصوبة اسفل جدار القطع. ان انخفاض منسوب مقدم الناظم من 31.90 الى 31.40 لم يؤثر على استقرارية المنشأ وذلك من خلال حسابات ضغوط الاصعاد ونسب الرش . ان ضغوط الاصعاد كانت ضمن الحدود المسموح بها وهي اقل من 12.1 طن / م². نتائج برنامج المحاكاة بينت ان قيم التسرب تحت المنشأ كانت 2.37×10^{-4} و 2.18×10^{-4} و 3.38×10^{-4} م³/ثا للسنوات 2017 و 2018 و 2022 بالتتابع. معاملات الامان المحسوبة كانت عالية حيث تراوحت بين 3.42 و 3.66 وهو اعلى من اقل معامل امان مسموح به وهو 2. ان انخفاض مقدم سدة الهندية ساعد بتقليل قيمة منحنى رجح الجريان بمقدار 50 سم والذي ادى الى تقليل حصص النواظم مقدم السدة والتي اسهمت بالمساعدة على تقليل التجاوزات مقدم سدة الهندية مما اثر بشكل ايجابي على ادارة الموارد المائية لمنظومة سدة الهندية ومنها ناظم شط الحلة.

المصادر

Al-Abbas, R. A., Hommadi, A. H., Abbas, A. A., Essa, H. M., & Nheir, A. O. ,2019, Checking the safety of Alhindyabarrage foundation from uplift pressure and seepage ratio with variation of discharge and water level.

Al-Sultani, W. H., & Al-Hadidi, M. T. ,2023, The cut off efficiency of sheet piles with variation of Water level: Al-hindiya barrage as case study. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1232(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1232/1/012060>

Bentley, 2018, PLAXIS 2D Reference Manual 2018.

Esri. , 2021, ArcGIS Pro: Implementation Guide.

Mahdi, R., & Al-Hadidi, M. T.,2023, The Simulation of Seepage Through the Foundations: Hilla Canal Main Regulator as Case Study. E3S Web of Conferences, 427. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342701007>

Singh, R. M. ,2011, Optimal hydraulic structures profiles under uncertain seepage head.

Sogreah Consultants.,1988, Final Design Manual for New Hindiya Project.

التقرير السنوي لعام 2202, 2022, صالح واخرون.

شكر و عرفان

نتقدم بالشكر الجزيل لمعالي وزير الموارد المائية لاتاحته هذه الفرصة للمتخصصين و الباحثين في مجال الموارد المائية لتقديم ابحاثهم وتشجيعهم بالعمل البحثي وكذلك نتقدم بالشكر الجزيل لكل من مدير عام المركز الوطني لادارة الموارد المائية و مدير عام الهيئة العامة للسدود والخزانات وللكوادر العاملة فيهما لابداء المساعدة وتوفير جميع الامكانيات المتوفرة لتسهيل حصولنا على المعلومات الضرورية لاتمام البحث. كذلك شكر خاص لكادر ممثلية سدة الهندية بموظفيها ومهندسيها وكادر مشروع سدة الهندية لرفدنا بكافة المعلومات المتوفرة.