

## Analysis and Evaluation of Piezometric Measurements in Al- Basel Dam in Tartous

Dr. Mounzer Hammad\*

Orwa Ghanam\*\*

(Received 26 / 9 / 2023. Accepted 14 / 1 / 2024)

### □ ABSTRACT □

Piezometric measurements in dams express water seepage levels and their changes over time, and provide a suitable hydraulic database for analyzing and evaluating structural or hydraulic problems resulting from seepage.

This study aims to analyze and evaluate the results of Piezometric measurements in Al-Basel dam in Tartous, by studying changes in water levels in the Piezometric wells in relation to the storage levels in the reservoir, and linking them to a specific relationship, to form a guideline that enables us to discover any emergency problem or any wrong measurement and determine the reasons that led to its occurrence and which could pose a threat to the stability of the dam.

The study revealed that significant changes in water levels occurred in some of the crest wells in the recent period of investment compared to previous periods and at the same storage levels, which may threaten the safety and stability of the dam, which requires investigating and determining the causes of these changes. Therefore, a mathematical model was built using SEEP/W program, and three scenarios were proposed to find out the cause of the problem. Analysis the results showed that there was a clogging in the first filter layer surrounding the core as a result of the placement of fine erosion materials coming from the core or the accumulation of mineral deposits and oxides formed in various ways. Accurate analysis requires collecting samples water from wells and conducting the necessary analyses.

**Keywords:** Piezometric Measurements, Piezometric Wells, Seepage, Piping, Internal Erosion, Clogging of Filters, Correlation Coefficient, Al- Basel Dam, Geo-Studio/ SEEP/W.

**Copyright**



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

---

\* Professor, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. Email: mounzer.hammad@gmail.com.

\*\* Academic Assistant, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. Email: ghanam.orwa@gmail.com.

## تحليل وتقييم القياسات البيزومترية في سد الباسل في طرطوس

د. منذر حمّاد\*

عروة غنم\*\*

(تاريخ الإيداع 26 / 9 / 2023. قُبِلَ للنشر في 14 / 1 / 2024)

### □ ملخص □

تُعبّر القياسات البيزومترية في السدود عن مناسيب المياه المتسرّبة وتغيراتها مع الزمن، وتوفّر قاعدة بيانات مائية مناسبة لتحليل وتقييم المشاكل البنوية أو الهيدروليكية الناجمة عن التسرّب. تهدف هذه الدراسة إلى تحليل نتائج القياسات البيزومترية في سد الباسل في طرطوس وتقييمها، من خلال دراسة تغيرات مناسيب الماء في الآبار بالعلاقة مع مناسيب التخزين في البحيرة، والعمل على الربط بينهما بعلاقة محددة، لتشكّل دليلاً توجيهياً يمكننا من اكتشاف أي حالة طارئة أو قراءة خاطئة وتحديد الأسباب التي أدت إلى حصولها والتي يمكن أن تشكّل خطراً على استقرار السد.

بيّنت الدراسة حدوث تغيرات كبيرة لمناسيب الماء في بعض آبار القمة في الفترة الأخيرة من الاستثمار عنها في فترات سابقة وعند نفس مناسيب التخزين الأمر الذي يمكن أن يهدّد أمان واستقرار السد، ويستوجب التحري وتحديد أسباب تلك التغيرات، لذلك تمّ بناء نموذج رياضي باستخدام برنامج SEEP/W وأُقتِرت ثلاثة سيناريوهات لمعرفة سبب المشكلة، وبيّن تحليل النتائج وجود انسداد في طبقة الفلتر الأولى المحيطة بالنواة نتيجة توضع مواد ناعمة مجروفة فيها قادمة من النواة أو تراكم الرواسب المعدنية والأكاسيد المتشكلة بطرق مختلفة، يتطلب التحليل الدقيق قطف عينات من مياه الآبار وإجراء التحاليل اللازمة.

**الكلمات المفتاحية:** القياسات البيزومترية، الآبار البيزومترية، التسرّب، الأنبيبة، التآكل الداخلي، انسداد الفلاتر، معامل الارتباط، سد الباسل، Geo-Studio/ SEEP/W.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

\* أستاذ- قسم الهندسة المائية والري- كلية الهندسة المدنية- جامعة تشرين - اللاذقية- سورية. [mounzer.hammad@gmail.com](mailto:mounzer.hammad@gmail.com)  
\*\* قائم بالأعمال- قسم الهندسة المائية والري- كلية الهندسة المدنية- جامعة تشرين - اللاذقية- سورية. [ghanam.orwa@gmail.com](mailto:ghanam.orwa@gmail.com)

**مقدمة:**

تُعدُّ السدود الترابية والركامية من أهم المنشآت المائية ويشكل انهيارها أحد أخطر الكوارث التي تحدث في العالم، لذلك من الضروري دراسة جميع الظواهر والعوامل التي يمكن أن تُشكّل خطراً على استقرارها وأمانها بما في ذلك ظاهرة التسرب من جسم السد وأساساته، والتي تُعدُّ من الأسباب الرئيسية لانحيار معظم السدود في العالم [1]. يصبح التسرب مشكلة عندما تبدأ المواد المشكّلة للأساسات أو لجسم السد بالحركة مع تدفق المياه أو عندما يُشكّل التسرب ضغطاً كبيراً في جسم السد أو أساساته [2،3]. يحدث عدم الاستقرار الناتج عن التسرب نتيجة ارتفاع ضغط الماء وتشبع المواد المشكّلة لجسم السد أو حتى أساساته والذي يسبب انهيار أو انزلاقات كبيرة في أجزاء السد، وفي حال تركز ضاغط التسرب الكبير في المواد الترابية مثل الرمل أو السلت قليل التماسك فإن ذلك سيسبب بدء حركة للمواد باتجاه نقطة خروج المياه المتسربة تسمى هذه الظاهرة بظاهرة الأنبية (Piping) ومع تطوّر التآكل الداخلي يمكن أن يحدث انهيار للسد [2،3]. تشمل دراسة التسرب تحديد كمية المياه المتسربة من جسم السد وأساساته ورسم مسار خط التسرب ضمن جسم السد الترابي واتخاذ الإجراءات المناسبة للتحكم بالتسرب عندما يشكّل خطراً على استقرار السد [1].

**أهمية البحث وأهدافه:**

يُدرّس التسرب عند تصميم السد الترابي ويُرسم خط التسرب المتوقع حسب المعطيات الأولية، لكن مع مرور الوقت تختلف كمية المياه المتسربة وموضع خط التسرب الأولي المتوقع بسبب اختلاف مناسيب الماء في بحيرة السد واختلاف متانة مواد البناء، تُعبّر القياسات البيزومترية في السدود عن مناسيب المياه المتسربة وتغيراتها مع الزمن، وتوفّر قاعدة بيانات مائية مناسبة لتحليل وتقييم المشاكل البنوية أو الهيدروليكية الناجمة عن التسرب [4]، لذلك من الضروري تدقيق قياسات الآبار البيزومترية وربطها مع ظروف التخزين والظروف الهيدرولوجية والزمن، لكشف التغيرات الطارئة وتفسيرها بما ينسجم مع الواقع وتحديد أسبابها (تعطل بئر أو عدة آبار، أنبية أو تآكل داخلي للنواة، انسداد طبقات الفلاتر الانتقالية المحيطة بالنواة نتيجة توضع مواد ناعمة مجروفة فيها أو تراكم الرواسب المعدنية مثل كربونات الحديد والكالسيوم والأكاسيد المتشكلة بواسطة النشاط البيولوجي للبكتريا والكائنات الحية الدقيقة الموجودة في المياه المتسربة مثل أكاسيد (الحديد، المنغنيز، الكربون، الكبريت وغيرها) [5،6،7]، أو ناتجة عن التغذية بالمياه الجوفية [8]، ومن ثم التمكن من التخطيط والتنفيذ تقنياً واقتصادياً للوصول إلى معايير استقرار علاجية مناسبة وجيدة للسد [9]، لذا وجدنا أنه من الأهمية بمكان تحليل قياسات الآبار البيزومترية المسجّلة في سد الباسل في طرطوس، للوقوف على الحالة الراهنة للسد وتحديد المظاهر التي يمكن أن تهدد أمانه واستقراره إن وجدت. يهدف البحث إلى دراسة تغيرات القياسات البيزومترية في سد الباسل في طرطوس بالعلاقة مع مناسيب التخزين في البحيرة، والعمل على الربط بينهما بعلاقة محددة، وتحديد الأسباب المحتملة لحصول التباينات في هذه القياسات عند مناسيب تخزين متقاربة بعد مضي فترة من الاستثمار، والتي يمكن أن تشكّل خطراً على أمان واستقرار السد.

### طرائق البحث ومواده:

تم جمع الخرائط والمخططات وقياسات مناسيب الماء في البحيرة والآبار البيزومترية المتوافرة والمقيسة سابقاً [13]، وقمنا بإجراء بعض القياسات للآبار البيزومترية المختارة في منطقة البحث خلال العام 2022، علماً أنّ القياسات تتم بشكل دوري أسبوعياً كما تُبين الجداول (1,2,3)، ويتم ذلك باستخدام جهاز يعتمد مبدأ عمله على الناقلية الكهربائية للماء، إذ يعطي إشارة ضوئية عند ملامسة سلك الجهاز لسطح الماء في البئر مشيراً إلى عمق الماء عن قمة البئر وبالتالي منسوب الماء في البئر (الشكل 1).

الجدول (1) نموذج عن قياسات لبئر في القمة.	الجدول (2) نموذج عن قياسات لبئر في المصطبة.	الجدول (3) نموذج عن قياسات لبئر في القدم الخلفي.																																																																																																																																																																																																																																																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">البئر P13</th> </tr> <tr> <th colspan="3">الموقع: قمة السد - الوجه الجاف</th> </tr> <tr> <th>متسوب قمة البئر:</th> <th colspan="2">115.6 m</th> </tr> <tr> <th>عمق البئر:</th> <th colspan="2">47.8 m</th> </tr> <tr> <th colspan="3">القراءات الدورية المأخوذة لمتاسيب الماء في البحيرة والبيزومتر</th> </tr> <tr> <th>التاريخ</th> <th>متسوب ماء البحيرة m</th> <th>متسوب ماء البئر m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>03/10/2021</td><td>101.45</td><td>94.05</td></tr> <tr><td>11/10/2021</td><td>100.88</td><td>93.85</td></tr> <tr><td>24/10/2021</td><td>100.3</td><td>93.4</td></tr> <tr><td>02/11/2021</td><td>99.99</td><td>93.18</td></tr> <tr><td>14/11/2021</td><td>99.53</td><td>93</td></tr> <tr><td>21/11/2021</td><td>99.37</td><td>92.9</td></tr> <tr><td>29/11/2021</td><td>99.23</td><td>92.65</td></tr> <tr><td>12/12/2021</td><td>99.05</td><td>92.4</td></tr> <tr><td>20/12/2021</td><td>99</td><td>92.2</td></tr> <tr><td>27/12/2021</td><td>98.98</td><td>92.05</td></tr> <tr><td>03/01/2022</td><td>98.94</td><td>92</td></tr> <tr><td>09/01/2022</td><td>98.9</td><td>92</td></tr> <tr><td>16/01/2022</td><td>99.05</td><td>92</td></tr> <tr><td>30/01/2022</td><td>101.37</td><td>91.8</td></tr> <tr><td>06/02/2022</td><td>102.5</td><td>91.8</td></tr> <tr><td>13/02/2022</td><td>105.07</td><td>91.8</td></tr> <tr><td>21/02/2022</td><td>105.94</td><td>91.83</td></tr> <tr><td>28/02/2022</td><td>106.74</td><td>92.02</td></tr> <tr><td>06/03/2022</td><td>107.42</td><td>92.44</td></tr> <tr><td>14/03/2022</td><td>109.63</td><td>93.1</td></tr> <tr><td>22/03/2022</td><td>111.36</td><td>94.45</td></tr> <tr><td>27/03/2022</td><td>112.12</td><td>95.55</td></tr> <tr><td>03/04/2022</td><td>112.88</td><td>96.9</td></tr> <tr><td>10/04/2022</td><td>112.88</td><td></td></tr> </tbody> </table>	البئر P13			الموقع: قمة السد - الوجه الجاف			متسوب قمة البئر:	115.6 m		عمق البئر:	47.8 m		القراءات الدورية المأخوذة لمتاسيب الماء في البحيرة والبيزومتر			التاريخ	متسوب ماء البحيرة m	متسوب ماء البئر m	03/10/2021	101.45	94.05	11/10/2021	100.88	93.85	24/10/2021	100.3	93.4	02/11/2021	99.99	93.18	14/11/2021	99.53	93	21/11/2021	99.37	92.9	29/11/2021	99.23	92.65	12/12/2021	99.05	92.4	20/12/2021	99	92.2	27/12/2021	98.98	92.05	03/01/2022	98.94	92	09/01/2022	98.9	92	16/01/2022	99.05	92	30/01/2022	101.37	91.8	06/02/2022	102.5	91.8	13/02/2022	105.07	91.8	21/02/2022	105.94	91.83	28/02/2022	106.74	92.02	06/03/2022	107.42	92.44	14/03/2022	109.63	93.1	22/03/2022	111.36	94.45	27/03/2022	112.12	95.55	03/04/2022	112.88	96.9	10/04/2022	112.88		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">البئر P17</th> </tr> <tr> <th colspan="3">الموقع: المصطبة</th> </tr> <tr> <th>متسوب قمة البئر:</th> <th colspan="2">105.29 m</th> </tr> <tr> <th>عمق البئر:</th> <th colspan="2">37.5 m</th> </tr> <tr> <th colspan="3">القراءات الدورية المأخوذة لمتاسيب الماء في البحيرة والبيزومتر</th> </tr> <tr> <th>التاريخ</th> <th>متسوب ماء البحيرة m</th> <th>متسوب ماء البئر m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>03/10/2021</td><td>101.45</td><td>69.64</td></tr> <tr><td>11/10/2021</td><td>100.88</td><td>69.64</td></tr> <tr><td>24/10/2021</td><td>100.3</td><td>69.64</td></tr> <tr><td>02/11/2021</td><td>99.99</td><td>69.64</td></tr> <tr><td>14/11/2021</td><td>99.53</td><td>69.64</td></tr> <tr><td>21/11/2021</td><td>99.37</td><td>69.64</td></tr> <tr><td>29/11/2021</td><td>99.23</td><td>69.64</td></tr> <tr><td>12/12/2021</td><td>99.05</td><td>69.64</td></tr> <tr><td>20/12/2021</td><td>99</td><td>69.64</td></tr> <tr><td>27/12/2021</td><td>98.98</td><td>69.64</td></tr> <tr><td>03/01/2022</td><td>98.94</td><td>69.64</td></tr> <tr><td>09/01/2022</td><td>98.9</td><td>69.64</td></tr> <tr><td>16/01/2022</td><td>99.05</td><td>69.64</td></tr> <tr><td>30/01/2022</td><td>101.37</td><td>69.64</td></tr> <tr><td>06/02/2022</td><td>102.5</td><td>69.64</td></tr> <tr><td>13/02/2022</td><td>105.07</td><td>69.64</td></tr> <tr><td>21/02/2022</td><td>105.94</td><td>69.64</td></tr> <tr><td>28/02/2022</td><td>106.74</td><td>69.64</td></tr> <tr><td>06/03/2022</td><td>107.42</td><td>69.64</td></tr> <tr><td>14/03/2022</td><td>109.63</td><td>69.64</td></tr> <tr><td>22/03/2022</td><td>111.36</td><td>69.64</td></tr> <tr><td>27/03/2022</td><td>112.12</td><td>69.64</td></tr> <tr><td>03/04/2022</td><td>112.88</td><td>69.64</td></tr> <tr><td>10/04/2022</td><td>112.88</td><td>69.64</td></tr> </tbody> </table>	البئر P17			الموقع: المصطبة			متسوب قمة البئر:	105.29 m		عمق البئر:	37.5 m		القراءات الدورية المأخوذة لمتاسيب الماء في البحيرة والبيزومتر			التاريخ	متسوب ماء البحيرة m	متسوب ماء البئر m	03/10/2021	101.45	69.64	11/10/2021	100.88	69.64	24/10/2021	100.3	69.64	02/11/2021	99.99	69.64	14/11/2021	99.53	69.64	21/11/2021	99.37	69.64	29/11/2021	99.23	69.64	12/12/2021	99.05	69.64	20/12/2021	99	69.64	27/12/2021	98.98	69.64	03/01/2022	98.94	69.64	09/01/2022	98.9	69.64	16/01/2022	99.05	69.64	30/01/2022	101.37	69.64	06/02/2022	102.5	69.64	13/02/2022	105.07	69.64	21/02/2022	105.94	69.64	28/02/2022	106.74	69.64	06/03/2022	107.42	69.64	14/03/2022	109.63	69.64	22/03/2022	111.36	69.64	27/03/2022	112.12	69.64	03/04/2022	112.88	69.64	10/04/2022	112.88	69.64	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">البئر P35</th> </tr> <tr> <th colspan="3">الموقع: قدم السد</th> </tr> <tr> <th>متسوب قمة البئر:</th> <th colspan="2">69.88 m</th> </tr> <tr> <th>عمق البئر:</th> <th colspan="2">7.05 m</th> </tr> <tr> <th colspan="3">القراءات الدورية المأخوذة لمتاسيب الماء في البحيرة والبيزومتر</th> </tr> <tr> <th>التاريخ</th> <th>متسوب ماء البحيرة m</th> <th>متسوب ماء البئر m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>03/10/2021</td><td>101.45</td><td>66.96</td></tr> <tr><td>11/10/2021</td><td>100.88</td><td>65.88</td></tr> <tr><td>24/10/2021</td><td>100.3</td><td>65.38</td></tr> <tr><td>02/11/2021</td><td>99.99</td><td>63.98</td></tr> <tr><td>14/11/2021</td><td>99.53</td><td>63.88</td></tr> <tr><td>21/11/2021</td><td>99.37</td><td>63.88</td></tr> <tr><td>29/11/2021</td><td>99.23</td><td>63.88</td></tr> <tr><td>12/12/2021</td><td>99.05</td><td>63.88</td></tr> <tr><td>20/12/2021</td><td>99</td><td>63.78</td></tr> <tr><td>27/12/2021</td><td>98.98</td><td>63.58</td></tr> <tr><td>03/01/2022</td><td>98.94</td><td>63.53</td></tr> <tr><td>09/01/2022</td><td>98.9</td><td>63.48</td></tr> <tr><td>16/01/2022</td><td>99.05</td><td>64.38</td></tr> <tr><td>30/01/2022</td><td>101.37</td><td>65.23</td></tr> <tr><td>06/02/2022</td><td>102.5</td><td>65.23</td></tr> <tr><td>13/02/2022</td><td>105.07</td><td>63.48</td></tr> <tr><td>21/02/2022</td><td>105.94</td><td>66.63</td></tr> <tr><td>28/02/2022</td><td>106.74</td><td>66.88</td></tr> <tr><td>06/03/2022</td><td>107.42</td><td>66.9</td></tr> <tr><td>14/03/2022</td><td>109.63</td><td>67.08</td></tr> <tr><td>22/03/2022</td><td>111.36</td><td>67.03</td></tr> <tr><td>27/03/2022</td><td>112.12</td><td>67.08</td></tr> <tr><td>03/04/2022</td><td>112.88</td><td>67.03</td></tr> <tr><td>10/04/2022</td><td>112.88</td><td>67.03</td></tr> </tbody> </table>	البئر P35			الموقع: قدم السد			متسوب قمة البئر:	69.88 m		عمق البئر:	7.05 m		القراءات الدورية المأخوذة لمتاسيب الماء في البحيرة والبيزومتر			التاريخ	متسوب ماء البحيرة m	متسوب ماء البئر m	03/10/2021	101.45	66.96	11/10/2021	100.88	65.88	24/10/2021	100.3	65.38	02/11/2021	99.99	63.98	14/11/2021	99.53	63.88	21/11/2021	99.37	63.88	29/11/2021	99.23	63.88	12/12/2021	99.05	63.88	20/12/2021	99	63.78	27/12/2021	98.98	63.58	03/01/2022	98.94	63.53	09/01/2022	98.9	63.48	16/01/2022	99.05	64.38	30/01/2022	101.37	65.23	06/02/2022	102.5	65.23	13/02/2022	105.07	63.48	21/02/2022	105.94	66.63	28/02/2022	106.74	66.88	06/03/2022	107.42	66.9	14/03/2022	109.63	67.08	22/03/2022	111.36	67.03	27/03/2022	112.12	67.08	03/04/2022	112.88	67.03	10/04/2022	112.88	67.03
البئر P13																																																																																																																																																																																																																																																																																
الموقع: قمة السد - الوجه الجاف																																																																																																																																																																																																																																																																																
متسوب قمة البئر:	115.6 m																																																																																																																																																																																																																																																																															
عمق البئر:	47.8 m																																																																																																																																																																																																																																																																															
القراءات الدورية المأخوذة لمتاسيب الماء في البحيرة والبيزومتر																																																																																																																																																																																																																																																																																
التاريخ	متسوب ماء البحيرة m	متسوب ماء البئر m																																																																																																																																																																																																																																																																														
03/10/2021	101.45	94.05																																																																																																																																																																																																																																																																														
11/10/2021	100.88	93.85																																																																																																																																																																																																																																																																														
24/10/2021	100.3	93.4																																																																																																																																																																																																																																																																														
02/11/2021	99.99	93.18																																																																																																																																																																																																																																																																														
14/11/2021	99.53	93																																																																																																																																																																																																																																																																														
21/11/2021	99.37	92.9																																																																																																																																																																																																																																																																														
29/11/2021	99.23	92.65																																																																																																																																																																																																																																																																														
12/12/2021	99.05	92.4																																																																																																																																																																																																																																																																														
20/12/2021	99	92.2																																																																																																																																																																																																																																																																														
27/12/2021	98.98	92.05																																																																																																																																																																																																																																																																														
03/01/2022	98.94	92																																																																																																																																																																																																																																																																														
09/01/2022	98.9	92																																																																																																																																																																																																																																																																														
16/01/2022	99.05	92																																																																																																																																																																																																																																																																														
30/01/2022	101.37	91.8																																																																																																																																																																																																																																																																														
06/02/2022	102.5	91.8																																																																																																																																																																																																																																																																														
13/02/2022	105.07	91.8																																																																																																																																																																																																																																																																														
21/02/2022	105.94	91.83																																																																																																																																																																																																																																																																														
28/02/2022	106.74	92.02																																																																																																																																																																																																																																																																														
06/03/2022	107.42	92.44																																																																																																																																																																																																																																																																														
14/03/2022	109.63	93.1																																																																																																																																																																																																																																																																														
22/03/2022	111.36	94.45																																																																																																																																																																																																																																																																														
27/03/2022	112.12	95.55																																																																																																																																																																																																																																																																														
03/04/2022	112.88	96.9																																																																																																																																																																																																																																																																														
10/04/2022	112.88																																																																																																																																																																																																																																																																															
البئر P17																																																																																																																																																																																																																																																																																
الموقع: المصطبة																																																																																																																																																																																																																																																																																
متسوب قمة البئر:	105.29 m																																																																																																																																																																																																																																																																															
عمق البئر:	37.5 m																																																																																																																																																																																																																																																																															
القراءات الدورية المأخوذة لمتاسيب الماء في البحيرة والبيزومتر																																																																																																																																																																																																																																																																																
التاريخ	متسوب ماء البحيرة m	متسوب ماء البئر m																																																																																																																																																																																																																																																																														
03/10/2021	101.45	69.64																																																																																																																																																																																																																																																																														
11/10/2021	100.88	69.64																																																																																																																																																																																																																																																																														
24/10/2021	100.3	69.64																																																																																																																																																																																																																																																																														
02/11/2021	99.99	69.64																																																																																																																																																																																																																																																																														
14/11/2021	99.53	69.64																																																																																																																																																																																																																																																																														
21/11/2021	99.37	69.64																																																																																																																																																																																																																																																																														
29/11/2021	99.23	69.64																																																																																																																																																																																																																																																																														
12/12/2021	99.05	69.64																																																																																																																																																																																																																																																																														
20/12/2021	99	69.64																																																																																																																																																																																																																																																																														
27/12/2021	98.98	69.64																																																																																																																																																																																																																																																																														
03/01/2022	98.94	69.64																																																																																																																																																																																																																																																																														
09/01/2022	98.9	69.64																																																																																																																																																																																																																																																																														
16/01/2022	99.05	69.64																																																																																																																																																																																																																																																																														
30/01/2022	101.37	69.64																																																																																																																																																																																																																																																																														
06/02/2022	102.5	69.64																																																																																																																																																																																																																																																																														
13/02/2022	105.07	69.64																																																																																																																																																																																																																																																																														
21/02/2022	105.94	69.64																																																																																																																																																																																																																																																																														
28/02/2022	106.74	69.64																																																																																																																																																																																																																																																																														
06/03/2022	107.42	69.64																																																																																																																																																																																																																																																																														
14/03/2022	109.63	69.64																																																																																																																																																																																																																																																																														
22/03/2022	111.36	69.64																																																																																																																																																																																																																																																																														
27/03/2022	112.12	69.64																																																																																																																																																																																																																																																																														
03/04/2022	112.88	69.64																																																																																																																																																																																																																																																																														
10/04/2022	112.88	69.64																																																																																																																																																																																																																																																																														
البئر P35																																																																																																																																																																																																																																																																																
الموقع: قدم السد																																																																																																																																																																																																																																																																																
متسوب قمة البئر:	69.88 m																																																																																																																																																																																																																																																																															
عمق البئر:	7.05 m																																																																																																																																																																																																																																																																															
القراءات الدورية المأخوذة لمتاسيب الماء في البحيرة والبيزومتر																																																																																																																																																																																																																																																																																
التاريخ	متسوب ماء البحيرة m	متسوب ماء البئر m																																																																																																																																																																																																																																																																														
03/10/2021	101.45	66.96																																																																																																																																																																																																																																																																														
11/10/2021	100.88	65.88																																																																																																																																																																																																																																																																														
24/10/2021	100.3	65.38																																																																																																																																																																																																																																																																														
02/11/2021	99.99	63.98																																																																																																																																																																																																																																																																														
14/11/2021	99.53	63.88																																																																																																																																																																																																																																																																														
21/11/2021	99.37	63.88																																																																																																																																																																																																																																																																														
29/11/2021	99.23	63.88																																																																																																																																																																																																																																																																														
12/12/2021	99.05	63.88																																																																																																																																																																																																																																																																														
20/12/2021	99	63.78																																																																																																																																																																																																																																																																														
27/12/2021	98.98	63.58																																																																																																																																																																																																																																																																														
03/01/2022	98.94	63.53																																																																																																																																																																																																																																																																														
09/01/2022	98.9	63.48																																																																																																																																																																																																																																																																														
16/01/2022	99.05	64.38																																																																																																																																																																																																																																																																														
30/01/2022	101.37	65.23																																																																																																																																																																																																																																																																														
06/02/2022	102.5	65.23																																																																																																																																																																																																																																																																														
13/02/2022	105.07	63.48																																																																																																																																																																																																																																																																														
21/02/2022	105.94	66.63																																																																																																																																																																																																																																																																														
28/02/2022	106.74	66.88																																																																																																																																																																																																																																																																														
06/03/2022	107.42	66.9																																																																																																																																																																																																																																																																														
14/03/2022	109.63	67.08																																																																																																																																																																																																																																																																														
22/03/2022	111.36	67.03																																																																																																																																																																																																																																																																														
27/03/2022	112.12	67.08																																																																																																																																																																																																																																																																														
03/04/2022	112.88	67.03																																																																																																																																																																																																																																																																														
10/04/2022	112.88	67.03																																																																																																																																																																																																																																																																														



الشكل (1) جهاز قياس مناسيب الماء في الآبار البيزومترية الموجودة في السد.

قبل تحليل القياسات البيزومترية، يجب اكتشاف القيم المتطرفة الناتجة عن الأخطاء التقريبية وتقييمها ومن ثم اتخاذ القرار المناسب لقبولها أو رفضها، قد تؤثر مثل هذه الملاحظات بشكل كبير على نتيجة التحليل وتؤدي إلى تقييم وتفسير خاطئين للظاهرة المدروسة، وللقيام بذلك يجب تطبيق الاختبارات الإحصائية حتى يمكن قبول القياس المشكوك فيه أو رفضه عند مستوى الأهمية المفترض [10].

ستتم معالجة قياسات الآبار البيزومترية ومناسيب الماء في البحيرة لبعض الآبار ورسم تغيرات مناسيب الماء في هذه الآبار مع تغيرات مناسيب الماء في البحيرة بالنسبة للزمن ورسم العلاقة التي تربط بينهما ببرنامج Excel لمعرفة استجابة هذه الآبار للتغيرات الحاصلة في منسوب ماء البحيرة ومعرفة العوامل المؤثرة على منسوب الماء في هذه الآبار من أجل تحديد دقة البيانات والكشف عن الشذوذات في مسار التسرب.

كما سيتم في هذه الدراسة إنشاء نماذج رياضية للسد باستخدام برنامج Geo-studio 2018 والذي يُعد البرنامج الأشهر في دراسة التسرب في السدود الترابية ودراسة المنشآت الترابية، من أجل رسم خط التسرب النظري ضمن جسم السد ومقارنة القياسات البيزومترية مع مسار التسرب الناتج من البرنامج لمعرفة الشذوذات في مسار التسرب واقتراح سيناريوهات لمعرفة سبب الشذوذات، وذلك من خلال إنشاء عدة نماذج للسد بعوامل نفاذية مختلفة للنواة وطبقات الفلاتر.

وقد صُممَ وطُوّرَ برنامج Geo-studio 2018 من قبل GEO-SLOPE International Ltd, Calgary, Alberta, Canada وهو يتألف من عدة برامج فرعية أُستخدِمَ في البحث منها SEEP/W وهو برنامج يستخدم نظرية العناصر المنتهية "Finite Element Method (FEM)" لدراسة الرشح والضغط المسامية المتشكلة في مختلف أنواع التربة والصخور سواء في حالة الجريان المستقر أو غير المستقر [11].

يُعدُّ برنامج الـ SEEP/W منتجاً برمجياً مهماً يستخدم لنمذجة حركة وتوزع ماء المسام ضمن المواد المسامية كالترية والصخر، وقد جعلته تركيبته الشاملة قادراً على تحليل كل من مشاكل الرشح البسيطة والمعقدة، يستخدم برنامج SEEP/W في مشاريع الهندسة الجيوتكنيكية والمائية والهيدرولوجيولوجيا وهندسة الأنفاق، ويستخدم أيضاً في نمذجة كل من الجريان في الأوساط المشبعة وغير المشبعة، إنَّ تضمين الجريان في الأوساط غير المشبعة في نمذجة المياه الجوفية يكون مهماً من أجل الحصول على نتائج تحليل واقعية فيزيائياً [12].

أما في التربة فإنَّ معامل النفاذية ومحتوى الرطوبة أو الماء المخزن تتغير لضغط المسام، إنَّ برنامج SEEP/W ينمذج هذه العلاقات كتتابع مستمرة، مع أنَّ معظم برمجيات تحليل التسرب الأخرى لا تأخذ هذه العلاقات ويتم بدلاً عن ذلك استخدام افتراض غير واقعي، مثلاً عند ضغط ماء مسام صفر وأكبر (تحت سطح الماء الحر) هناك قيمة للنفاذية المشبعة وعند ضغط ماء مسام أقل من الصفر (فوق سطح الماء الحر) تكون النفاذية معدومة، إنَّ استخدام مثل هذه التتابع غير واقعي ويقود إلى نتائج تحليل غير دقيقة أو خاطئة [11].

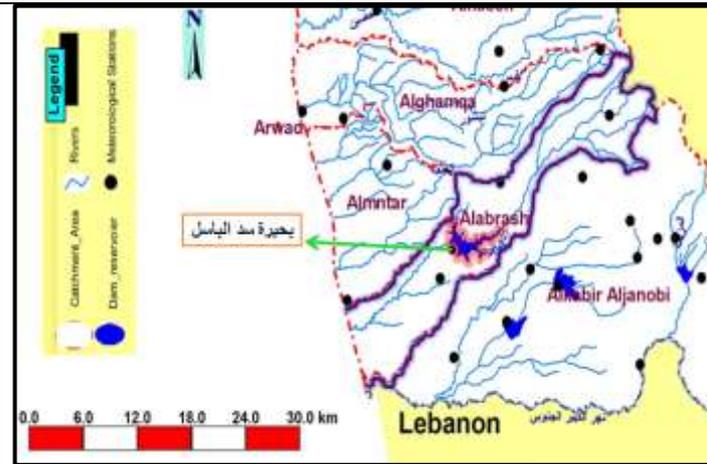
يحاكي برنامج SEEP/W عمليات حركة الماء في التربة سواء المستقرة (Steady-State) أم غير المستقرة (Transient Seepage) وفي ظروف متغيرة من ناحية درجة إشباع التربة (saturated/unsaturated Soils)، وشروط طرفية مختلفة، يسمح SEEP/W باستخدام الوظائف الإضافية من خلال ميزة إضافة التتابع (Add In function) التي تستخدم لتحديد خصائص التربة، والشروط الطرفية، وما إلى ذلك [11].

### منطقة البحث:

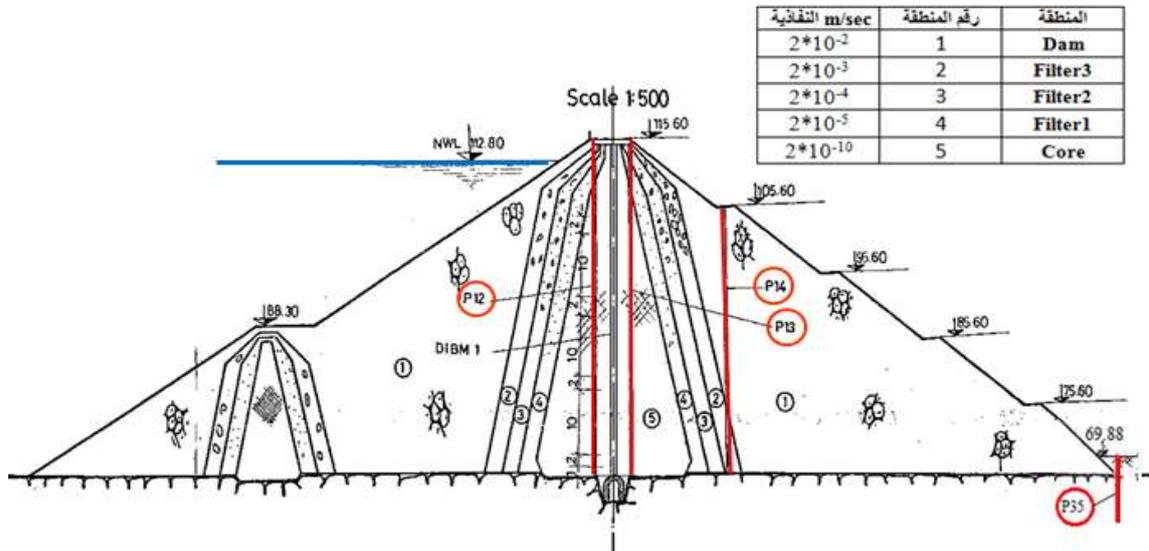
يقع سد الشهيد باسل الأسد على نهر الأبرش في محافظة طرطوس، (الشكل 2) و(الشكل 3)، يُعدُّ سد الباسل من أهم مشاريع الري في محافظة طرطوس ضمن مشروع التطوير الشامل لسهلي عكار والبقية، تمَّ بناء السد عند قرية اليازبية ويبعد 7km عن مدينة صافيتا و 20km جنوب شرق مدينة طرطوس، وهو سد ركامي بنواة غضارية مع ثلاث طبقات من الفلاتر الانتقالية، حيث يتكون جسم السد من ردميات غضارية ورمليّة وحصى نهرية و ردميات صخرية (الشكل 4) [14]، ارتفاع السد 50m، وطول قمته 733m، وحجم التخزين الطبيعي 103.16 MCM عند مستوى الماء الطبيعي 112.8m عن سطح البحر [13].



الشكل (3) سد الباسل في طرطوس.



الشكل (2) الحوض الساكن لنهر الأبرش مع بحيرة سد الباسل.



الشكل (4) مقطع عرضي نموذجي في سد الباسل مع أماكن توضع بعض الآبار البيزومترية وعوامل النفاذية للمواد المكونة لجسم السد.

لدينا 36 بئر بيزومتري في سد الباسل مبيّنة على الأشكال (5,6) موزعة بالشكل التالي [14]:

✓ 22 بئر موزعة على قمة السد وهذه الآبار هي:

P1,P2,P3,P4,P6,P7,P9,P10,P12,P13,P15,P16,P18,P19,P21,P22,P24,P25,P27,P28,P30,P31

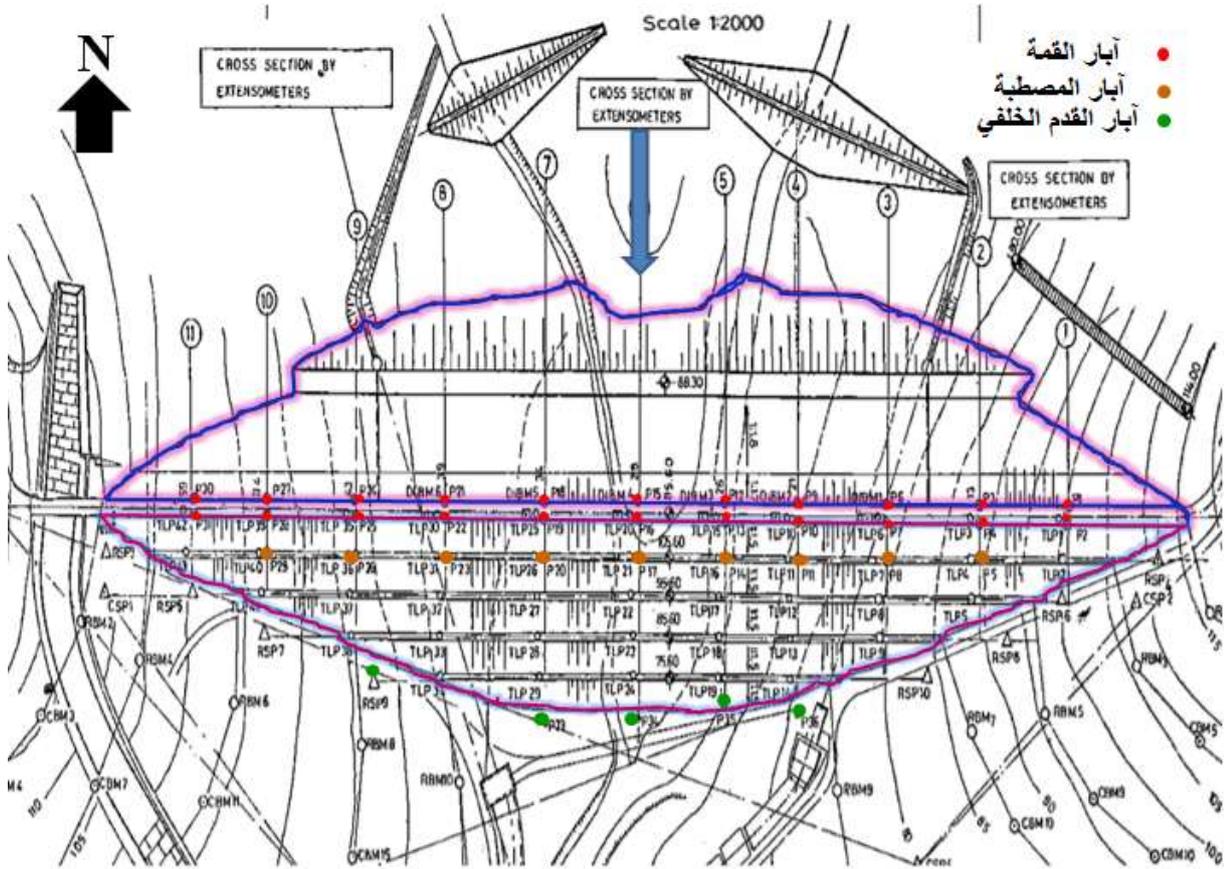
✓ 9 آبار موزعة على مصطبة السد الأولى وهذه الآبار هي:

P5,P8,P11,P14,P17,P20,P23,P26,P29.

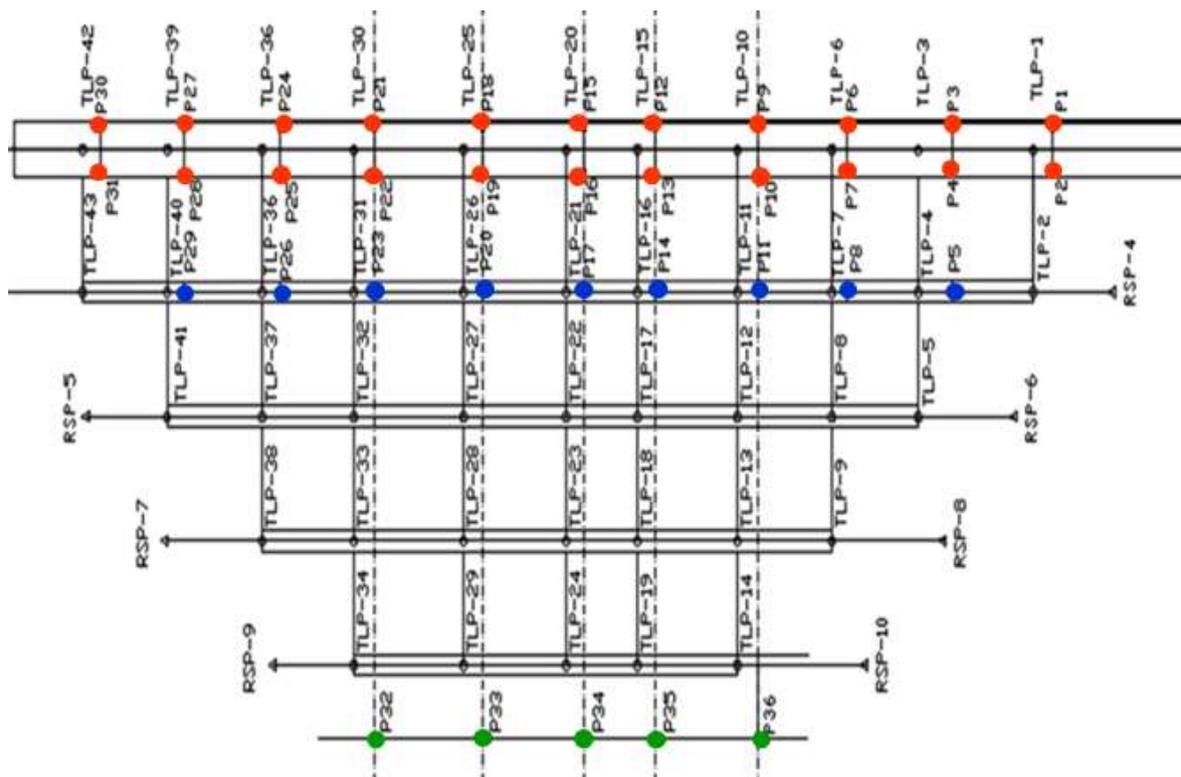
✓ 5 بئر موزعة عند قدم السد الخلفية وهذه الآبار هي:

P32,P33,P34,P35,P36.

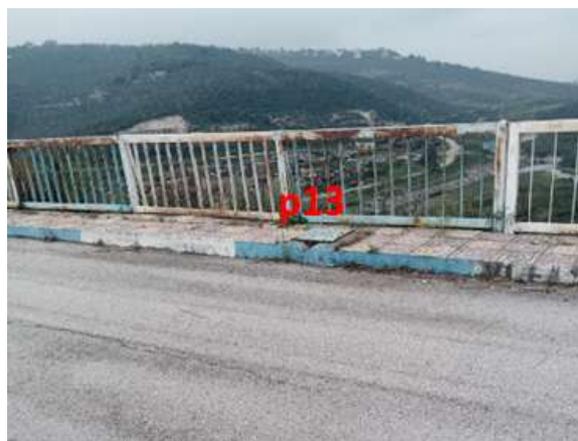
كما يبيّن (الشكل 7) صور لبعض الآبار المأخوذة في الدراسة.



الشكل (5) مسقط أفقي لسد الباسل على المخطط الطبوغرافي مع أماكن توضع الآبار البيزومترية.



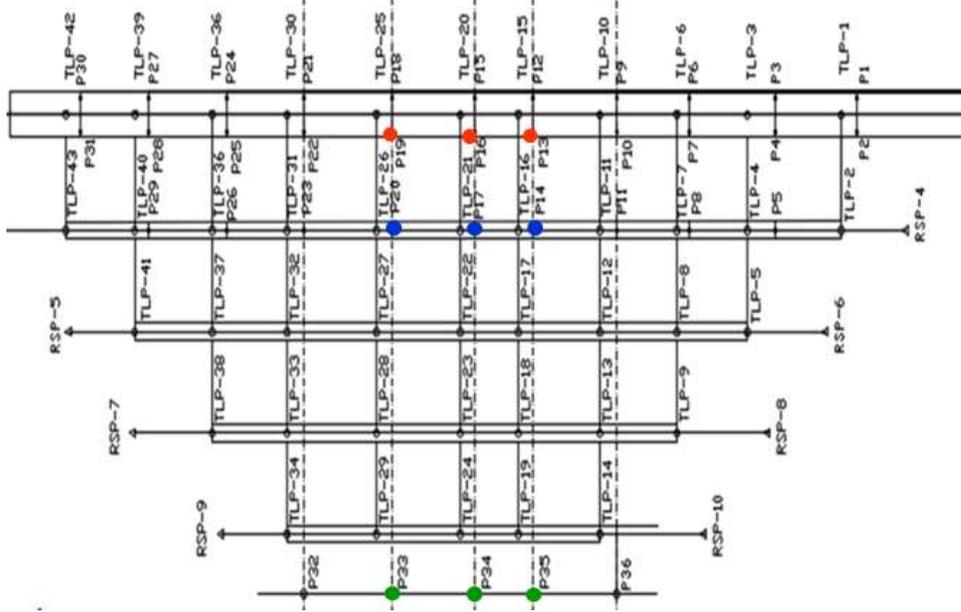
الشكل (6) مسقط توضيحي لأماكن توضع الآبار البيزومترية.



الشكل (7) صور لأبار من القمة و المصطبة و القدم الخلفية.

## النتائج والمناقشة:

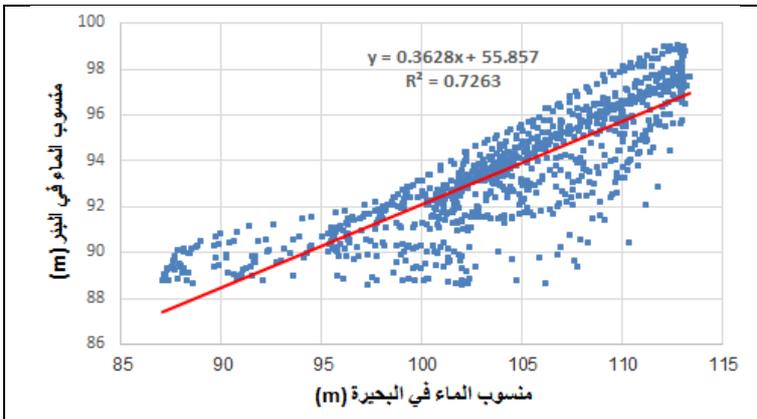
تمت الدراسة لبعض الآبار من القمة والمصطبة والقدم الخلفية للسد وتم اختيار موقع هذه الآبار في القسم ذو العمق الأكبر للسد حيث الارتفاع الأعظمي للماء في البحيرة، ويُنَبَّن (الشكل 8) الآبار المأخوذة في الدراسة.



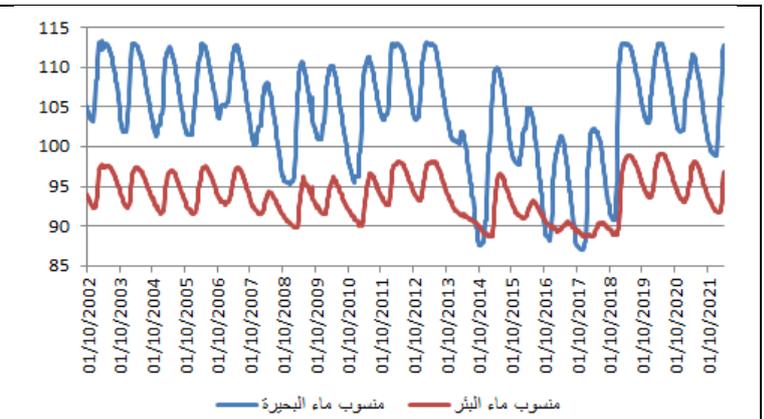
الشكل (8) الآبار المأخوذة في الدراسة.

## آبار القمة

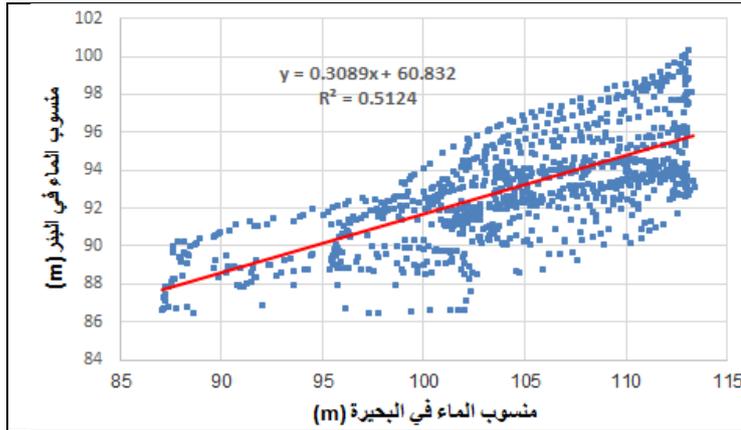
تم اختيار ثلاث آبار من آبار القمة القريبة من الوجه الجاف للدراسة (P13,P16,P19)، وقمنا برسم المنحنيات البيانية للآبار الثلاثة للفترة الواقعة من 2002/10/1 حتى 2022/4/17. الأشكال (9,10,11,12,13,14).



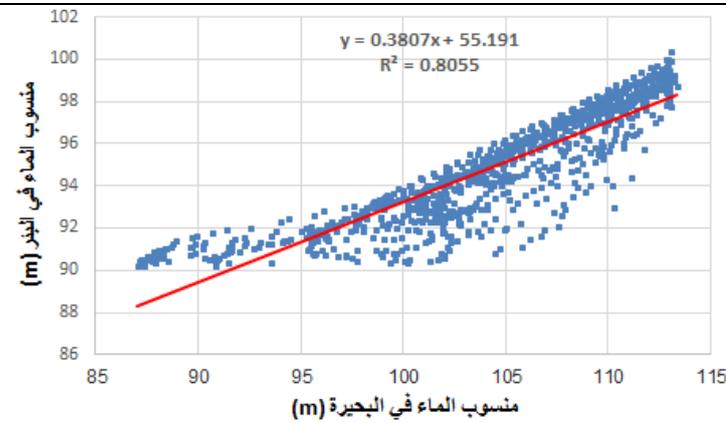
الشكل (10) العلاقة بين مناسيب الماء في البئر P13 مع مناسيب الماء في البحيرة.



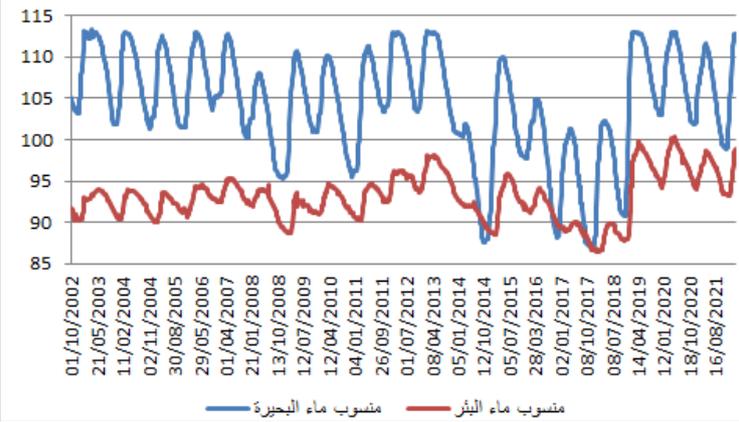
الشكل (9) تغير منسوب ماء البئر P13 مع تغير منسوب ماء البحيرة، التأخر الزمني (28) يوم.



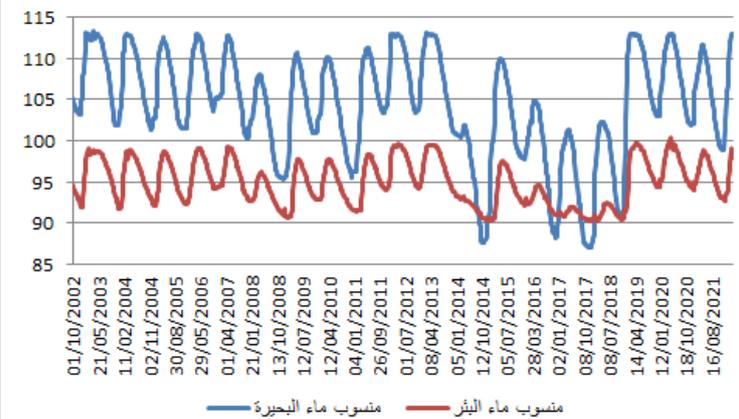
الشكل (12) العلاقة بين مناسيب الماء في البئر P16 مع مناسيب الماء في البحيرة.



الشكل (14) العلاقة بين مناسيب الماء في البئر P19 مع مناسيب الماء في البحيرة.



الشكل (11) تغير منسوب ماء البئر P16 مع تغير منسوب ماء البحيرة التأخر الزمني (60 يوم).



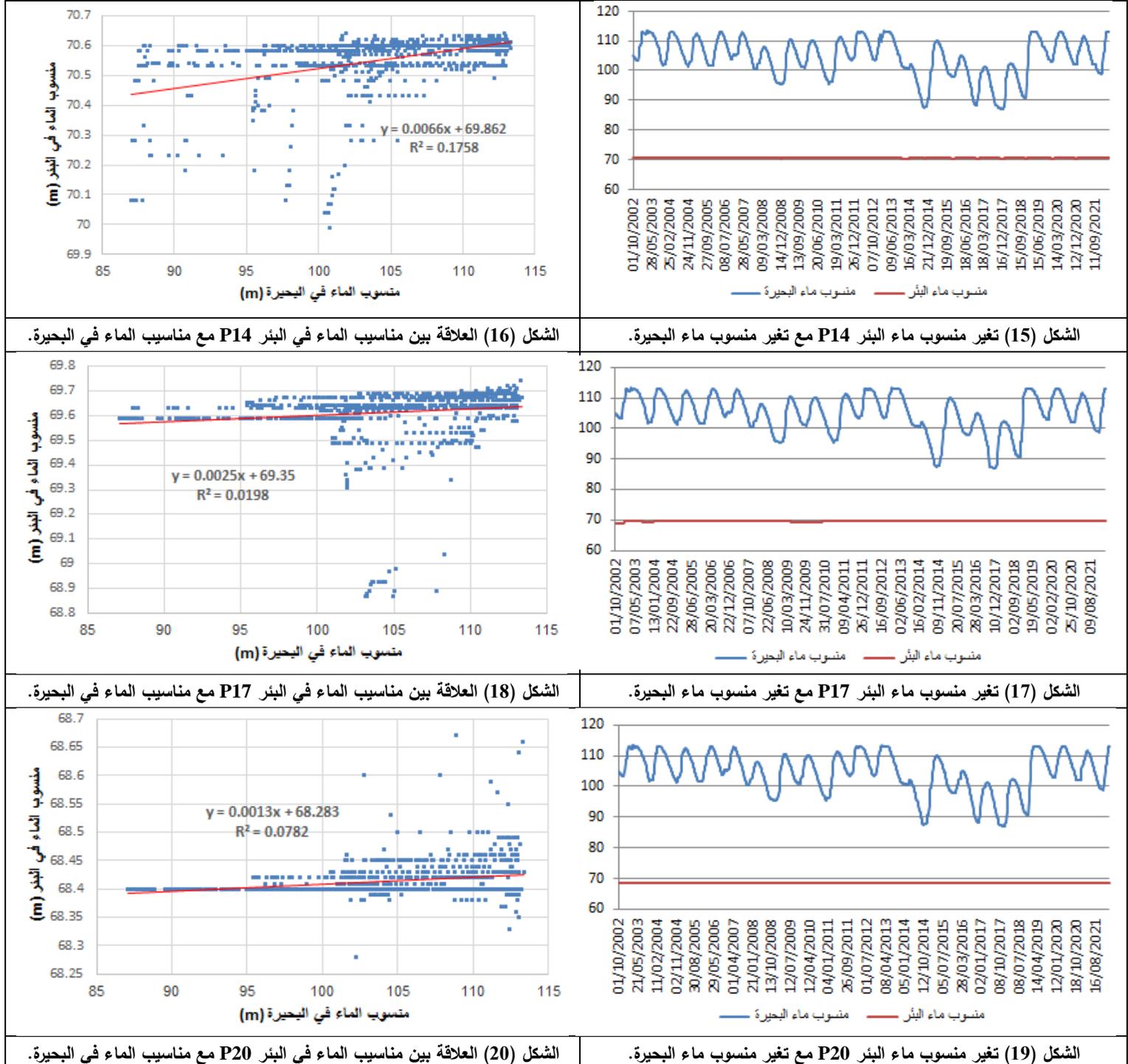
الشكل (13) تغير منسوب ماء البئر P19 مع تغير منسوب ماء البحيرة، التأخر الزمني (60 يوم).

من خلال تحليل المخططات البيانية لتغيرات مناسيب المياه في الآبار وربطها مع تغيرات منسوب مياه البحيرة لنفس الفترة نجد أن منسوب الماء في آبار القمة يتذبذب انخفاضاً أو ارتفاعاً بالعلاقة مع منسوب الماء في البحيرة ويتأخر زمني يتبع للزمن الذي سوف تقطعه المياه وصولاً إلى هذه الآبار والذي يعتمد على المسافة بين البئر والمصدر المائي وعلى نفاذية السد والنواة الغضارية، تظهر الأشكال (10,12,14) وجود علاقة خطية بين مناسيب الماء في الآبار (P13,P16,P19) ومناسيب التخزين في البحيرة وكانت معاملات الارتباط على النحو التالي:

للبيئر P13  $[R = \sqrt{R^2} = \sqrt{0.7263} = 0.852]$  ، للبيئر P16  $[R = \sqrt{R^2} = \sqrt{0.5124} = 0.716]$  ، للبيئر P19  $[R = \sqrt{R^2} = \sqrt{0.8055} = 0.897]$  والتي تشير إلى أن هذه العلاقة طردية وممتازة وتدل على أن هذه الآبار تعمل بشكل جيد، ونلاحظ انخفاض منسوب الماء في البحيرة في السنوات 2014، 2017، 2018، التي كانت سنوات جفاف، ليصبح أدنى من مناسيب الماء في هذه الآبار، نظراً لاحتفاظ مادة النواة الغضارية بالماء لفترة طويلة نسبياً بعد هبوط مناسيب الماء في البحيرة.

## آبار المصطبة

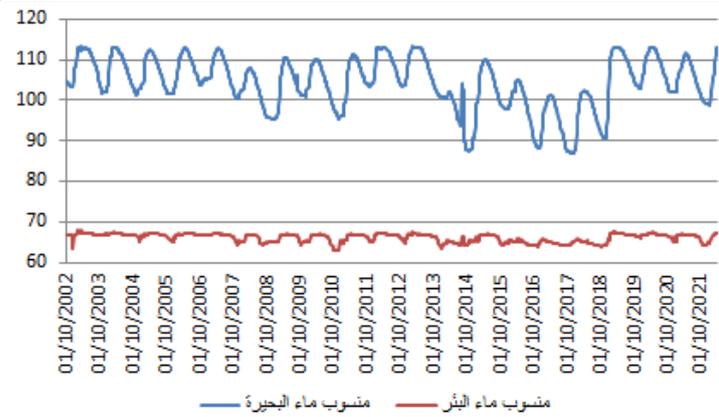
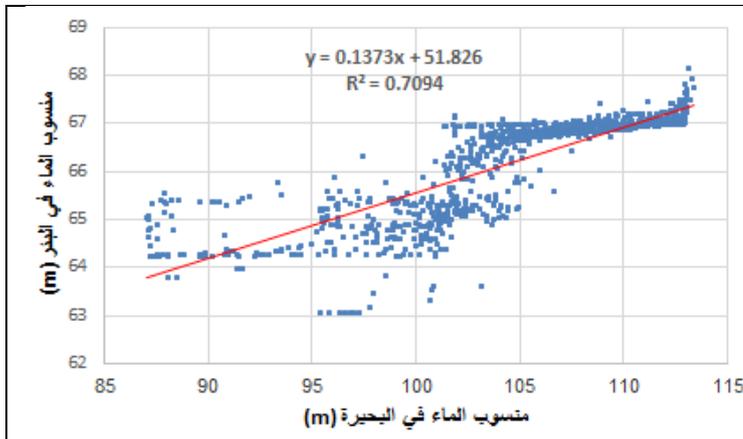
تم اختيار ثلاث آبار من آبار المصطبة للدراسة (P20,P17,P14)، وتم رسم المنحنيات البيانية للآبار الثلاثة، للفترة الواقعة من 2002/10/1 حتى 2022/4/16 الأشكال (15,16,17,18,19,20).



نلاحظ من الأشكال (15,17,19) ثبات منسوب الماء في آبار المصطبة أو تغييره بشكل بطيء جداً، لأن هذه الآبار تقع بعد النواة الغضارية الكثيمة مباشرة التي تعمل على كسر خط التسرب، ومن خلال دراسة القياسات المسجلة لمناسيب الماء في هذه الآبار بالعلاقة مع مناسيب التخزين الموافقة في البحيرة (الأشكال 16,18,20)، نلاحظ وجود ارتباط ضعيف بينها، حيث كانت قيم معاملات الارتباط: للبيئر P14 [R = 0.419]، للبيئر P17 [R = 0.141]، للبيئر P20 [R = 0.28] ، وهذا أمر طبيعي نظراً لبعده الآبار عن الوجه الرطب أولاً ولتأثير النواة التي تساهم في كسر خط التسرب ضمنها بشكل كبير ثانياً.

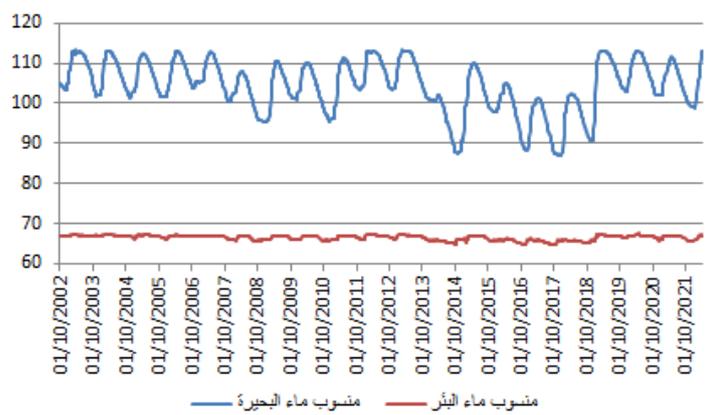
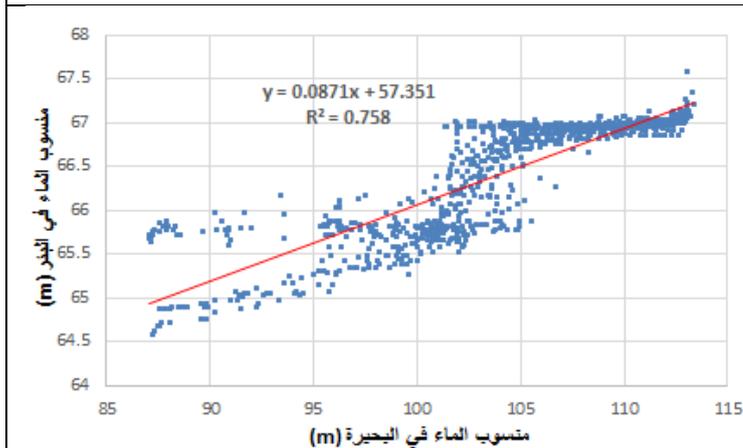
### آبار القدم الخلفية

تم اختيار ثلاث آبار من الآبار الواقعة عند القدم الخلفية للدراسة (P35,P34,P33)، ورسم المنحنيات البيانية لها، التي تُوضّح تغيراتها مع الزمن وعلاقة الارتباط بين مناسيب الماء في هذه الآبار ومناسيب التخزين الموافقة في البحيرة للفترة الواقعة من 2002/10/1 حتى 2022/4/16 (الأشكال 21,22,23,24,25,26).



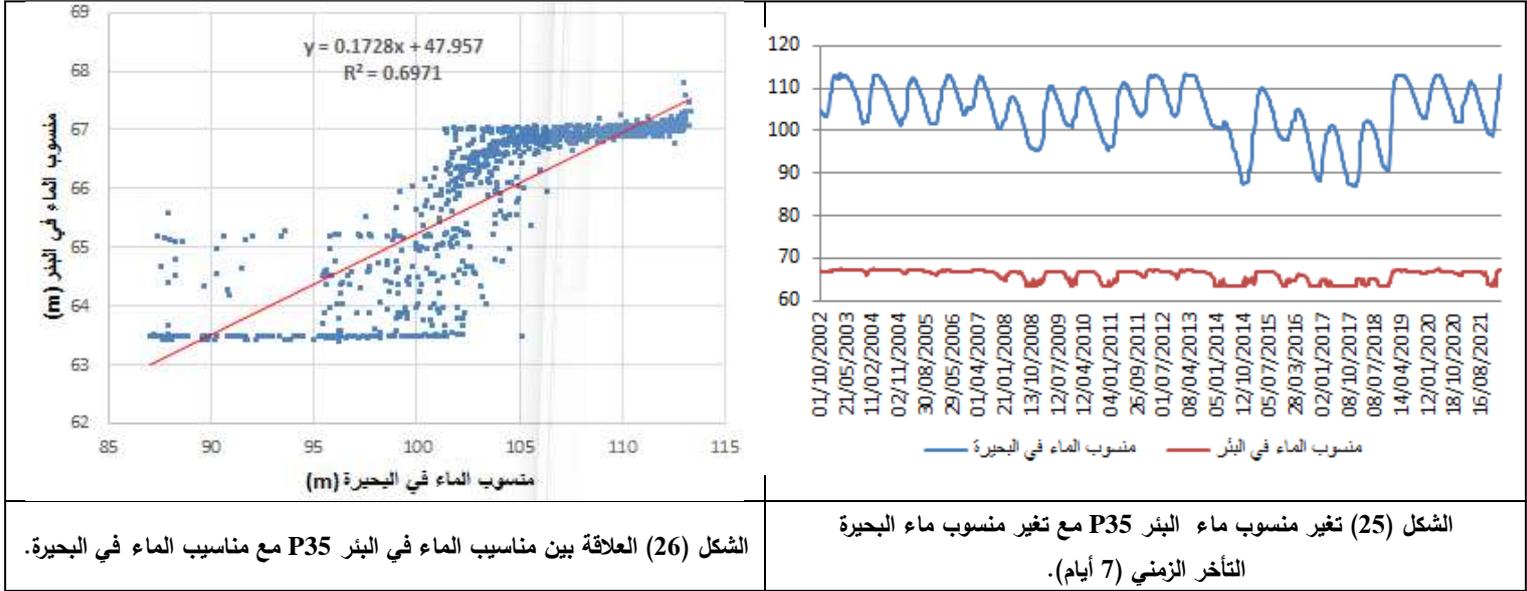
الشكل (22) العلاقة بين مناسيب الماء في البيئر P33 مع مناسيب الماء في البحيرة.

الشكل (21) تغير منسوب ماء البيئر P33 مع تغير منسوب ماء البحيرة التأخر الزمني (42 يوم).



الشكل (24) العلاقة بين مناسيب الماء في البيئر P34 مع مناسيب الماء في البحيرة.

الشكل (23) تغير منسوب ماء البيئر P34 مع تغير منسوب ماء البحيرة التأخر الزمني (7 أيام).



الشكل (26) العلاقة بين مناسيب الماء في البئر P35 مع مناسيب الماء في البحيرة.

نلاحظ من الأشكال (21,23,25) أن منسوب الماء في آبار القدم الخلفية يتذبذب انخفاضاً أو ارتفاعاً بالعلاقة مع منسوب الماء في البحيرة ويتأخر زمني يتبع للزمن الذي سوف تقطعه المياه وصولاً إلى هذه الآبار، ويتضح من خلال الأشكال (22,24,26) وجود ارتباط وثيق بين مناسيب الماء في هذه الآبار و مناسيب التخزين في البحيرة حيث بلغت قيم معاملات الارتباط: للبئر P33 [R = 0.842]، للبئر P34 [R = 0.871]، للبئر P35 [R = 0.835]، وهذا يدل على عمل آبار القدم الخلفية بشكل جيد، وعلى وجود ارتباط هيدروليكي بين البحيرة وهذه الآبار عبر الأساس النفوذ. من خلال تدقيق وتقييم قياسات آبار القمة عند الوجه الجاف، (P25, P22, P19, P16, P13, P10, P7, P4, P2)، لاحظنا ارتفاع مناسيب الماء في بعض الآبار بشكل كبير خلال الفترة الأخيرة من الاستثمار عن تلك المسجلة في مرحلة الاستثمار المبكرة، عند مناسيب تخزين متقاربة. وقد ظهر ذلك بوضوح عند مقارنة مناسيب الماء في آبار القمة المأخوذة في الدراسة (P19, P16, P13)، من خلال (الجدول 4، الجدول 5)، الأمر الذي يدل على وجود مشاكل بنيوية في عمل هذه الآبار، أو النواة، أو في طبقات الفلاتر الانتقالية المحيطة بالنواة، ويمكن لتطور هذه المشاكل مع الزمن أن تُهدد استقرار السد وتعرض أمانه الهيدروليكي والإنشائي للخطر.

الجدول (4) المقارنة بين مناسيب الماء الأعظمية والأصغرية في آبار القمة.

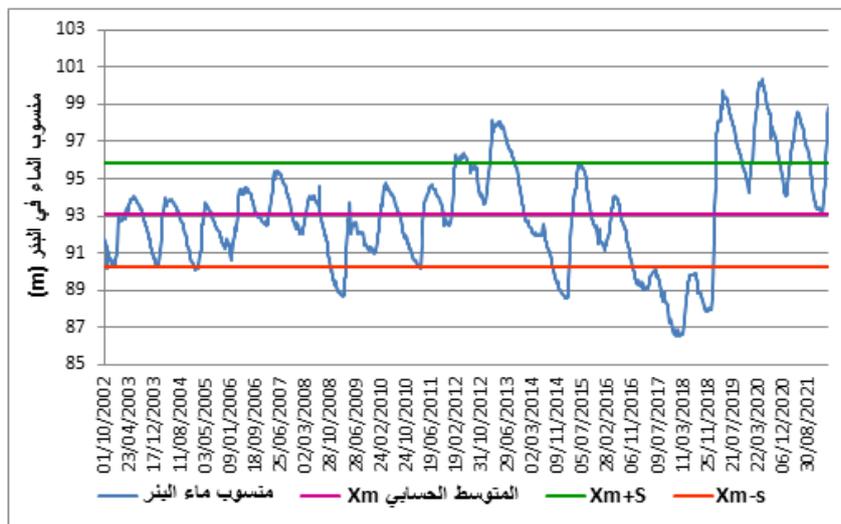
رقم البئر	منسوب الماء الأعظمي في البئر مع منسوب التخزين الموافق (m)	منسوب الماء الأصغري في البئر مع منسوب التخزين الموافق (m)	الفرق m
13	99.08 بتاريخ 2020/5/19 منسوب التخزين 112.73	88.65 بتاريخ 2018/3/18 منسوب التخزين 101.97	10.43
16	100.37 بتاريخ 2020/4/27 منسوب التخزين 113.04	86.49 بتاريخ 2018/2/4 منسوب التخزين 97.24	13.88
19	100.34 بتاريخ 2020/4/27 منسوب التخزين 113.03	90.2 بتاريخ 2014/12/21 منسوب التخزين 90.87	10.14

وإمقارنة منسوب الماء الأعظمي خلال عدة سنوات لبئر واحد مثلاً البئر P16

الجدول (5) التباينات الكبيرة بين القياسات خلال فترات مختلفة عند مناسيب تخزين متقاربة للبئر P16.

التاريخ	2003/5/28	2013/4/1	2020/4/27
منسوب الماء في البحيرة الموافق (m)	112.65	112.88	113.04
المنسوب الأعظمي للبئر خلال السنة (m)	94.05	97.9	100.37

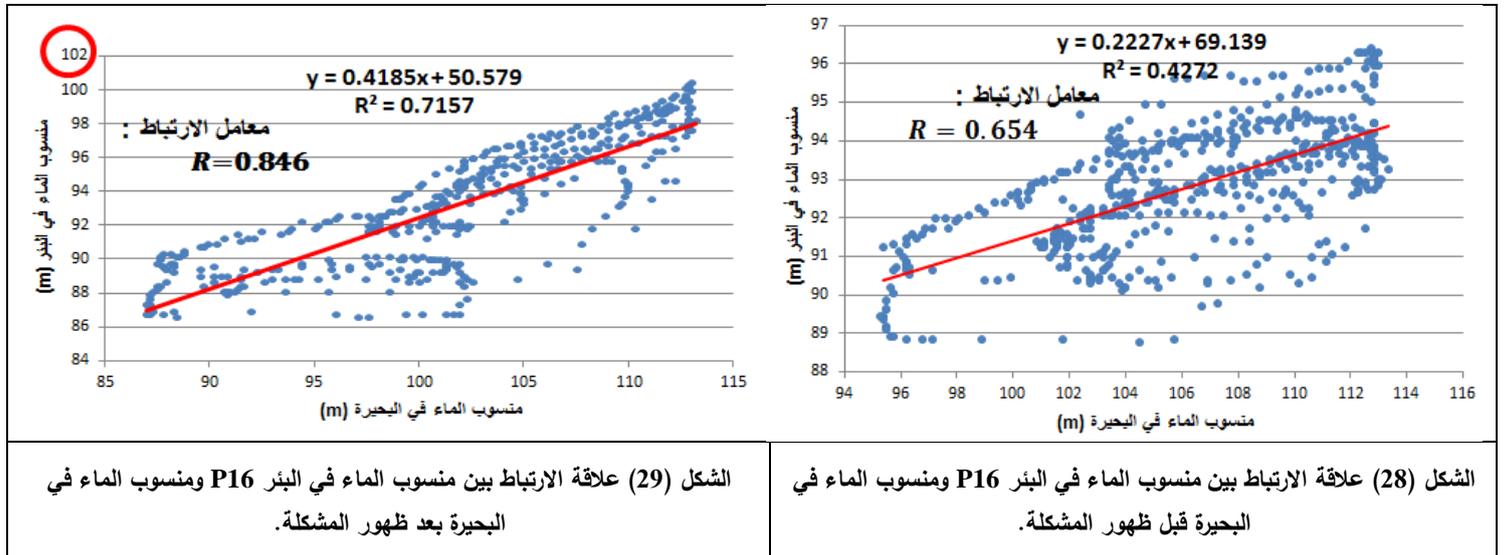
من الجدول (5) نجد أنّ منسوب الماء في البئر P16 سنة 2013 قد ارتفع حوالي 4m عنه في سنة 2003 مع أنّ تغيير منسوب التخزين لم يتعدّى 25cm كما عاود الارتفاع في سنة 2020 ليصل إلى حوالي 7m زيادة عن منسوبه في سنة 2003 مع أنّ زيادة منسوب التخزين لم تتعدّى 40cm، قد يشير ذلك إلى حصول خلل بنيوي في عمل هذه الآبار، النواة، أو طبقات الفلاتر الانتقالية المحيطة بالنواة. ولتحديد بداية ظهور المشكلة فمنا برسم تغيرات منسوب الماء في البئر P16 خلال الفترة المدروسة، وحساب قيمة المتوسط الحسابي للقياسات البيزومترية له وتحديد مجال ثقة تتغير ضمنه مناسيب الماء فيه (المتوسط الحسابي  $X_m=93.06m$ ، الانحراف المعياري  $S=2.8m$ ،  $X_m+S=95.86m$ ،  $X_m-S=90.26m$ ) (الشكل 27)، من الشكل نجد أنّ الفترة التي تتغير فيها مناسيب الماء في البئر والتي تقع خارج مجال الثقة تبدأ من بداية سنة 2013 وحتى نهاية الفترة المدروسة.



الشكل (27) تغيرات مناسيب الماء في البئر 16 مع الزمن وتحديد مجالات الثقة.

ولتحديد السبب الرئيس لمشكلة الارتفاعات الكبيرة في بعض آبار القمة تم اقتراح ثلاث سيناريوهات. السيناريو الأول: المشكلة في الآبار

لقد أظهر تحليل ومقارنة منحنيات منسوب الماء في الآبار المدروسة مع منسوب الماء في البحيرة وتغيراتها مع الزمن وعلاقة الارتباط بينهما، الأشكال (9,10,11,12,13,14)، أنّ هذه الآبار تعمل بشكل صحيح. وبإيجاد علاقة الارتباط بين مناسيب الماء في البئر P16 ومناسيب الماء في البحيرة قبل ظهور المشكلة، أي من بداية الاستثمار سنة 2002 وحتى بداية ظهور المشكلة في آبار القمة بداية سنة 2013 (الشكل 28)، تبيّن أنّ هذه العلاقة طردية ومتوسطة، حيث كانت قيمة معامل الارتباط  $R = \sqrt{R^2} = \sqrt{0.4272} = 0.654$ ، بينما وجدنا أنّ علاقة الارتباط بين منسوب الماء في البئر P16 ومنسوب الماء في البحيرة بعد ظهور المشكلة، من بداية سنة 2013 وحتى نهاية الفترة المدروسة 17/4/2022 (الشكل 29) طردية وممتازة، حيث كانت قيمة معامل الارتباط  $R = \sqrt{R^2} = \sqrt{0.7157} = 0.84$ ، أي أنّ علاقة الارتباط بعد ظهور المشكلة أصبحت أقوى منها قبل ظهور المشكلة، نظراً لارتفاع مناسيب الماء في البئر بعد ظهور المشكلة إلى مناسيب قريبة من مناسيب التخزين الموافقة في البحيرة، الأمر الذي يستوجب التدقيق وتحري الأسباب التي أدت لذلك.

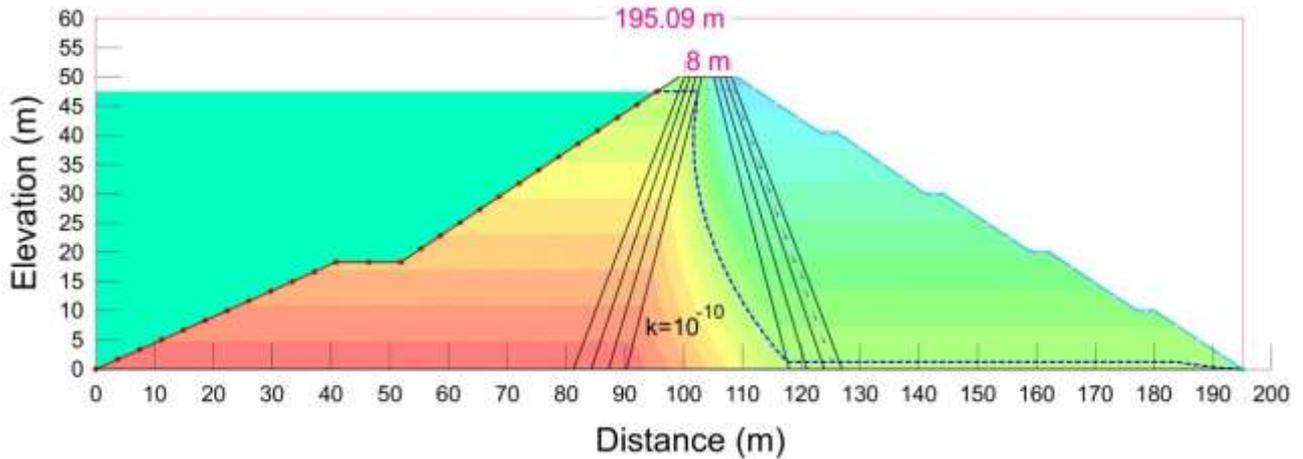


### السيناريو الثاني: المشكلة في النواة

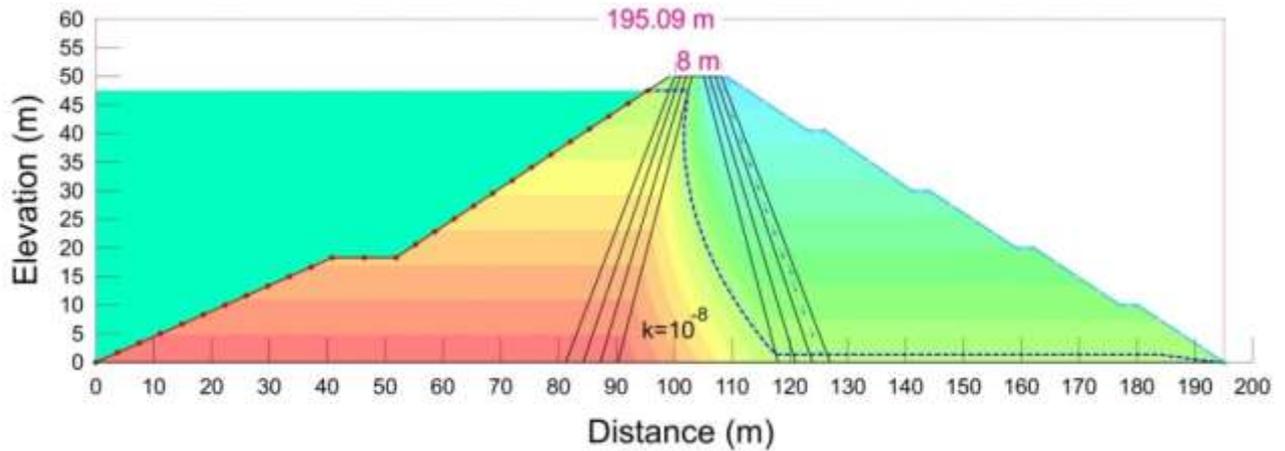
لدراسة تأثير تغير مواصفات النواة على مناسيب الماء في آبار القمة، قمنا بنمذجة السد بواسطة برنامج GEO-STUDIO2016/SEEP/W والتي تتضمن مدخلاته الأبعاد الهندسية للمقطع العرضي للسد ومواصفات مواد الإنشاء (عوامل نفاذية النواة وطبقات الفلاتر الانتقالية والردميات)، تمّ بناء أربعة نماذج رياضية، النموذج الأول يمثل السد بعوامل النفاذية الفعلية لمواد البناء، ثمّ قمنا بتغيير عامل نفاذية النواة في كل نموذج من النماذج الثاني والثالث والرابع عن قيمته الفعلية، حيث افترضنا أنّ مادة النواة تفقد مرونتها مع الزمن وبالتالي يزداد عامل نفاذيتها الأمر الذي قد يؤدي إلى ارتفاع خط التسرب، ويبيّن (الجدول 6) عوامل نفاذية المواد المكونة لجسم السد [15]، كما تبيّن الأشكال (30,31,32,33) النماذج المقترحة.

الجدول (6) عوامل نفاذية المواد المكونة لجسم السد.

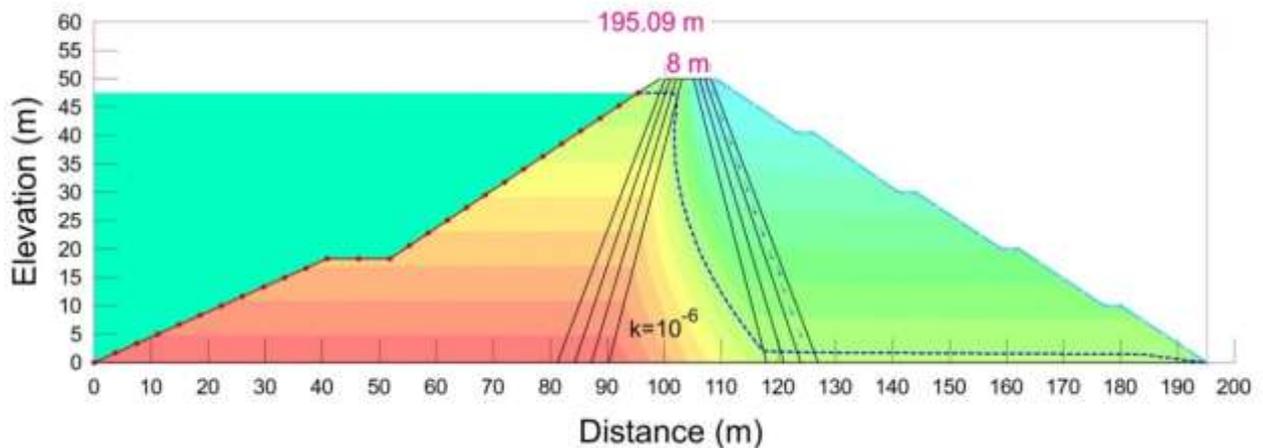
المادة	Dam	Filter 3	Filter 2	Filter 1	Core
النفاذية m/sec	$2 \times 10^{-2}$	$2 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-4}$	$4 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-10}$



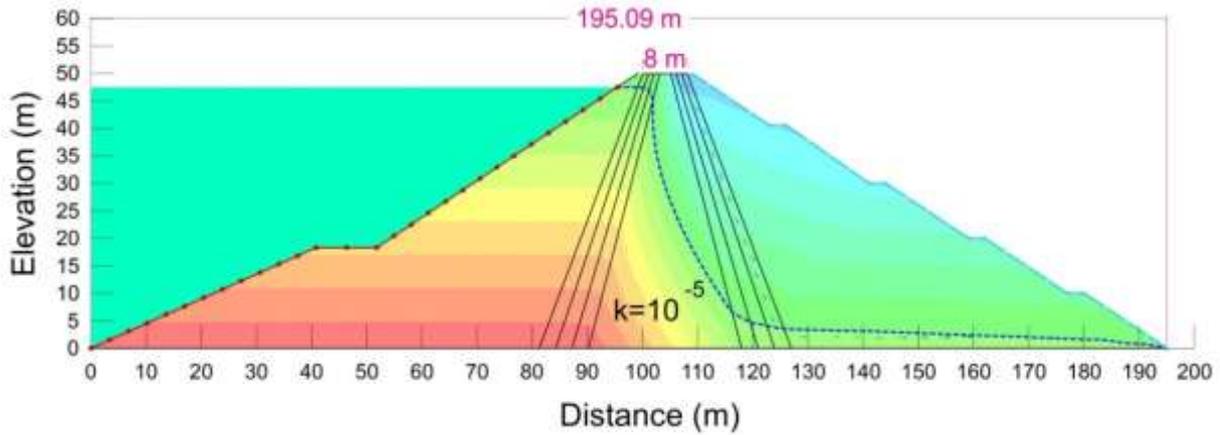
الشكل (30) النموذج الأول  $k=10^{-10}$  m/sec.



الشكل (31) النموذج الثاني  $k=10^{-8}$  m/sec.



الشكل (32) النموذج الثالث  $k=10^{-6}$  m/sec.

الشكل (33) النموذج الرابع  $k=10^{-5} \text{m/sec}$ .

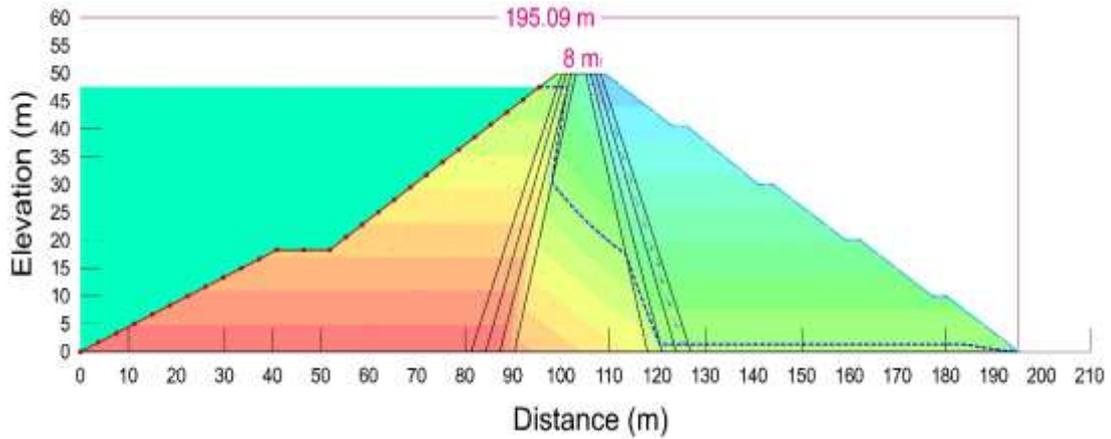
من خلال النماذج الأربعة السابقة نلاحظ ارتفاع منسوب الماء إلى حوالي 5m فقط عندما أصبح عامل نفاذية النواة  $k=10^{-5} \text{m/sec}$ ، مع أنّ الارتفاع الحقيقي للمياه في الآبار المدروسة وصل لارتفاعات أكبر من 10m، بالإضافة إلى أنّ قياسات كمية المياه الراشحة من الآبار خلال الفترة المدروسة لم تتغير بشكل كبير مقارنةً مع تغير ارتفاع المياه في الآبار (الجدول 6)، مع العلم أنّ تغير عامل نفاذية النواة من  $k=10^{-10} \text{m/sec}$  إلى  $k=10^{-5} \text{m/sec}$  سوف يؤدي إلى زيادة كمية المياه المتسربة، ومن خلال منحنيات تغيرات منسوب الماء في آبار المصطبة (خلف النواة) مع منسوب الماء في البحيرة مع الزمن (مثلاً البئر P17 الذي يقع بعد البئر P16 وبنفس المقطع العرضي) (الشكل 17) نجد أنّ منسوب الماء في هذه الآبار لم يتغير خلال الفترة المدروسة على الرغم من ارتفاع الماء في آبار القمة (الجدول 7) [13]، وبالتالي نجد أنّ تغير عامل نفاذية النواة ليس سبب مشكلة ارتفاع الماء في آبار القمة، لأنّ ذلك لم يعكس على زيادة كمية المياه المتسربة من السد.

الجدول (7) المقارنة بين مناسيب الماء في الآبار ومنسوب ماء البحيرة وكمية المياه الراشحة.

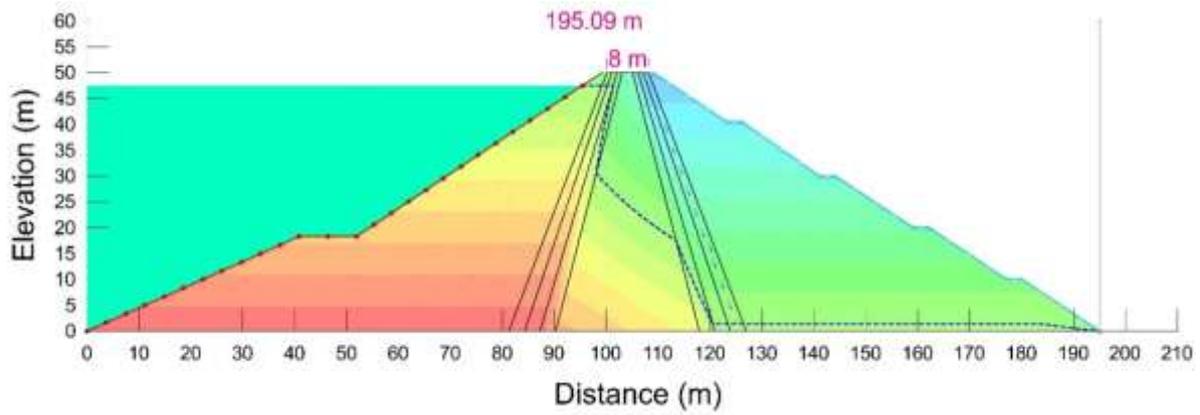
التاريخ	28/5/2003	1/4/2013	27/4/2020
لمنسوب الأعظمي للبئر p16 خلال السنة m	94.05	97.9	100.37
منسوب الماء في البئر p17 m	69.63	69.66	69.64
منسوب الماء في البحيرة الموافق m	112.65	112.88	113.04
كمية المياه المتسربة من جسم السد l/sec	14	11	14

### السيناريو الثالث: المشكلة مشتركة بين النواة وطبقة الفلتر الأولى

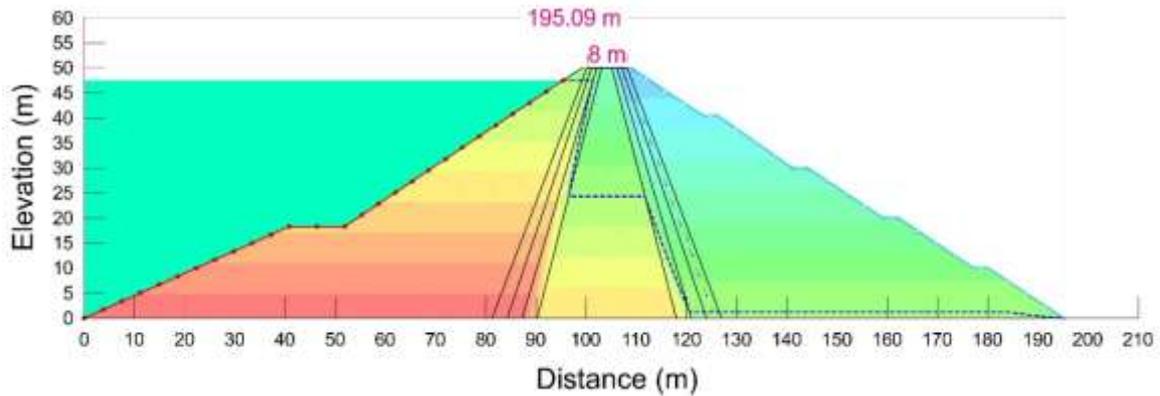
بنفس البرنامج GEO-STUDIO2016/SEEP/W قمنا بزيادة عامل نفاذية النواة بالتوازي مع تخفيض عامل نفاذية طبقة الفلتر الأولى، كنتيجة لفرضية حصول تآكل داخلي في النواة تسبب بالتالي زيادة نفاذيتها بينما يؤدي تراكم المواد الناعمة المجروفة من النواة وتوضعها في فراغات طبقة الفلتر الأولى إلى انخفاض عامل نفاذيتها، تمّ إنشاء ثلاث نماذج الاشكال (34,35,36).



الشكل (34) عامل نفاذية النواة  $k=10^{-8}$  m/sec وعامل نفاذية طبقة الفلتر الأولى  $k=10^{-9}$  m/sec.



الشكل (35) عامل نفاذية النواة  $k=10^{-7}$  m/sec وعامل نفاذية طبقة الفلتر الأولى  $k=10^{-8}$  m/sec.



الشكل (36) عامل نفاذية النواة  $k=10^{-5}$  m/sec وعامل نفاذية طبقة الفلتر الأولى  $k=10^{-10}$  m/sec.

من خلال النماذج الثلاثة السابقة تبين حصول ارتفاع لمناسيب المياه في النواة لحدود كبيرة حيث وصلت في النموذج الثالث إلى حوالي 25m، أي أنّ فراغات الفلتر أُغلقت بمواد النواة الناتجة عن الجرف الداخلي، أو نتيجة تراكم الرواسب المعدنية والأكاسيد المتشكلة بطرق مختلفة.

ومنه نجد أنّ السيناريو الثالث هو الأقرب للحقيقة ويمكن تأكيد ذلك من خلال قطف عينات من مياه آبار القمة وإجراء تحليل حبي وتحليل كيميائي لهذه العينات لتحديد طبيعة التغيرات البنيوية الحاصلة ضمن النواة أو الفلتر والتي أدت إلى انسداد الفلتر.

## الاستنتاجات والتوصيات:

### الاستنتاجات:

1. أظهر البحث أنّ جميع الآبار تعمل بشكل جيد.
2. يعتمد منسوب الماء في آبار القمة بالدرجة الأولى على منسوب الماء في البحيرة، ويتضح ذلك بشكل كبير في الآبار القريبة من الوجه الامامي، وتتذبذب مناسيب الماء في آبار القمة انخفاضاً أو ارتفاعاً بالعلاقة مع تغيرات مناسيب الماء في البحيرة ويتأخر زمني يتبع للزمن الذي سوف تقطعه المياه وصولاً إلى هذه الآبار والذي يعتمد على المسافة بين البئر والمصدر المائي وعلى نفاذية السد والنواة الغضارية.
3. أظهرت دراسة قياسات مناسيب الماء في آبار القمة خلال المراحل الأخيرة من الاستثمار حصول ارتفاعات كبيرة في مناسيب الماء في بعض آبار القمة القريبة من الوجه الجاف عنها في الفترات السابقة لأجل مناسيب تخزين متقاربة جداً في البحيرة، الأمر الذي يشير إلى وجود خلل بنيوي في طبقة الفلتر المحيطة بالنواة ناتج عن تآكل داخلي أو نتيجة تراكم الرواسب المعدنية والأكاسيد المتشكلة بطرق مختلفة.
4. نلاحظ ثبات مناسيب الماء تقريباً في آبار المصطبة الواقعة بعد النواة الغضارية، وهذا طبيعي نظراً لبعدها عن المصدر المائي (البحيرة) ولتأثير النواة على مناسيب خط التسرب وكسرها بشكل حاد ضمن النواة.
5. يتغير منسوب الماء في آبار القدم الخلفية مع تغيرات مناسيب التخزين في البحيرة والتي هي المصدر الأساسي للتسرب في الأساس، وهذا يشير إلى وجود ارتباط وثيق بين مناسيب التخزين ومناسيب هذه الآبار الأمر الذي يعني أنّ الأساس نفوذ ويؤمن ارتباط هيدروليكي جيد.

### التوصيات:

1. العمل على قطف عينات من مياه آبار القمة على الوجه الخلفي (عند الوجه الجاف) وتحليلها لتحديد السبب الحقيقي لانسداد الفلتر سواء كان نتيجة توضع الحبيبات الناعمة المتحررة من النواة أو نتيجة تراكم الرواسب المعدنية والأكاسيد المتشكلة بطرق مختلفة، ومعالجة المشكلة قبل أن يُشكّل ارتفاع مناسيب المياه المتسربة في آبار القمة تهديداً لأمان السد واستقراره.
2. إجراء مراقبه دورية منتظمة لمناسيب الماء في آبار المصطبة والنواة خلال فترات المناسيب العالية والمناسيب الدنيا للماء في البحيرة، للتأكد من فعالية مؤشر الصرف الخلفي والفلتر المحيطة بالوجه الخلفي للنواة.
3. إجراء تحريات ومراقبات دائمة لقمة السد للكشف عن أية هبوطات أو تشققات طولية أو عرضية في القمة والتي يمكن أن تشير إلى حدوث أنبئة أو تآكل داخلي أو هبوطات تفاضلية.

## References:

- 1- DEPARTMENT OF THE ARMY U.S. Army Corps of Engineers, *Engineering and Design-Seepage Analysis and Control for Dams*. Washington, 1993, 383.
- 2- Province of British Columbia Water Management Branch, *Dam Safety Guidelines-Inspection & Maintenance of Dams*. Version 2, British Columbia, 2011, 55.

- 3- VEESEART, GH. J. et al. *Training Aids for Dams Safety – Module: Inspection of Embankment Dams*. Association of State Dam Safety Officials, U. S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, USA, 1999, 60.
- 4- PRASAD, R.; DIXIT, M. *Performance Monitoring Of Dams through Piezometers - A Case Study*. International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS), Vol. 7, N<sup>o</sup>. 2, 2020, 1-8.
- 5- TALUKDAR, P; DEY, A. *Response of Earth Dams to Toe Drain Clogging*. Indian Geotechnical Conference 2017 GeoNEst, IIT Guwahati, India, 1-4.
- 6- WERSOCKI, W. S. *Problem of Clogging in Drainage Systems in the Examples of the Zur and Podgaje Dams*. Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics, Vol. 61, N<sup>o</sup>. 3-4, 2014, 183-192.
- 7- SMITH, S. A.; HOSLER, D. M. *Current Research in Dam Drain Clogging and its Prevention*. Ground Water Science, 2012, 1-14.
- 8- DESJARLAIS, CH. *Analysis of Piezometer Measurements and Stratigraphy at Sugar Lake Dam*, Master Thesis, The College of Graduate Studies, Civil Engineering, The University of British Columbia, Okanagan, Canada, 2022, 160.
- 9- PANTHULU, T. V.; KRISHNAIAH, C.; SHIRKE, J.M. *Detection of seepage paths in earth dams using self-potential and electrical resistivity methods*. Engineering Geology, Elsevier B.V., Vol. 59, 2001, 281-295.
- 10- LACH, S. *Detection of Outlier Observations in Piezometric Measurements: A Case Study in the Southern Region of Poland*. Geomatics and Environmental Engineering, AGH University of Science and Technology, Vol. 16, N<sup>o</sup>. 1, 2022, 95-116.
- 11- KASIM, F.; FEI, W. S. *Numerical Parametric Simulations for Seepage Flow Behavior Through an Earthfill Dam*. Journal Kejuruteraan Awam, UTM, Vol. 14, N<sup>o</sup>. 1, 2002, 18-35.
- 12- FARKOUH, B; MANSOUR, H. *Slope Stability Under Rapid Drawdown Conditions Ghadir Al-Bustan Dam*, Thesis submitted in fulfillment of the requirements for the degree of Master, Department of Water Engineering Faculty of Civil Engineering Damascus University, 2017, 104.
- 13- Al- Basel Dam Administration, Water Resources Directorate, Ministry of Irrigation, Tartous, Syria, (unpublished archive).
- 14- Bulgarian company AGROCOMPLECT and the General Administration of the Coastal Basin. *The design file for Al- Basel Dam - Topographic Report*, Tartous, Syria, 1984, (unpublished).
- 15- Bulgarian company AGROCOMPLECT and the General Administration of the Coastal Basin. *The design file for Al-Basil Dam - Geological Report*, Tartous, Syria, 1984, (unpublished).