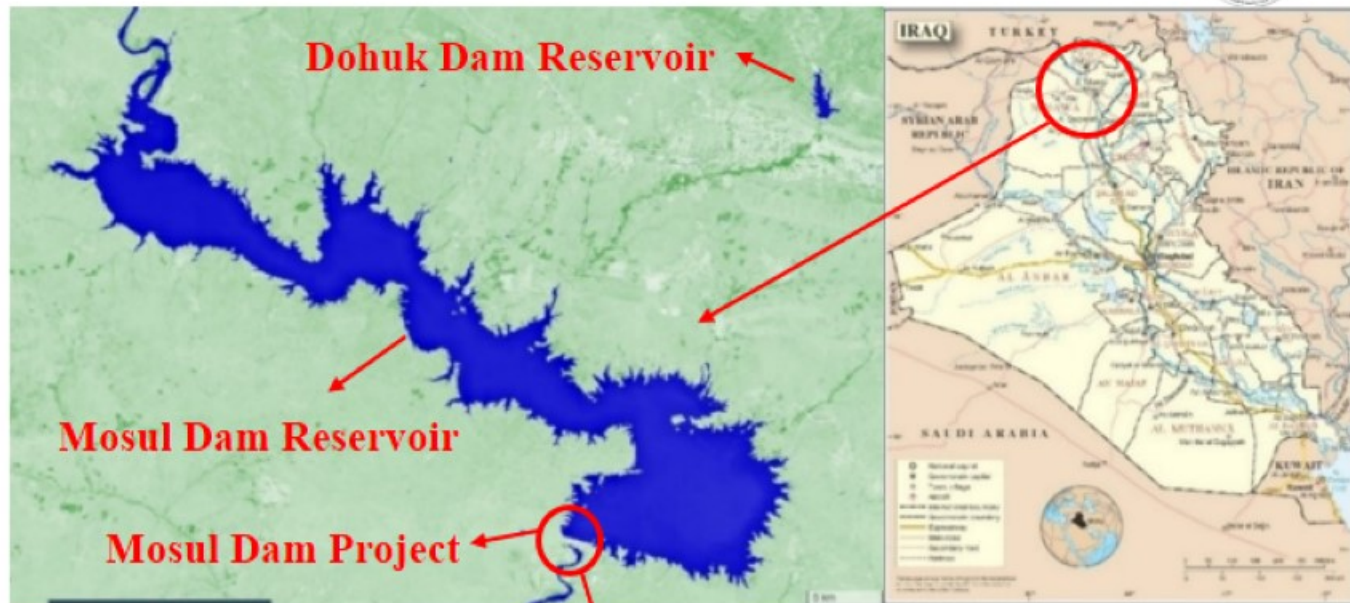




محاكاة عددية لكفاءة ستارة التحشية في أسس سد الموصل  
**Numerical Simulation of the Grout Curtain  
Efficiency in Mosul Dam Foundations**

Mohammed Khalid Ibrahim  
Mosul Dam Project  
Iraq



## مقدمة عن سد الموصل:

سد الموصل هو اكبر سد متعدد الأغراض في العراق. يقع سد الموصل على نهر دجلة وعلى بعد (50 كم) شمال مدينة الموصل ، سد الموصل هو من السدود الإملائية الترابية ارتفاع السد الأقصى (113) متراً وعرضه بالقمة (10) أمتار وطوله الإجمالي (3650) متراً. تم إنشاء سد الموصل في الفترة بين عامي (1981-1986) وكان الهدف من إنشائه هو درء خطر الفيضان وخرن المياه. يشكل سد الموصل بحيرة ضخمة تبلغ سعتها التخزينية القصوى بحدود ( 11.11 مليار متر مكعب ) عند اعلى منسوب خزني والبالغ (330) متر فوق مستوى سطح البحر (m.a.s.l). بالإضافة الى توليد الطاقة الكهربائية من خلال محطات التوليد المختلفة.



## الطبيعة الجيولوجية لأسس سد الموصل:

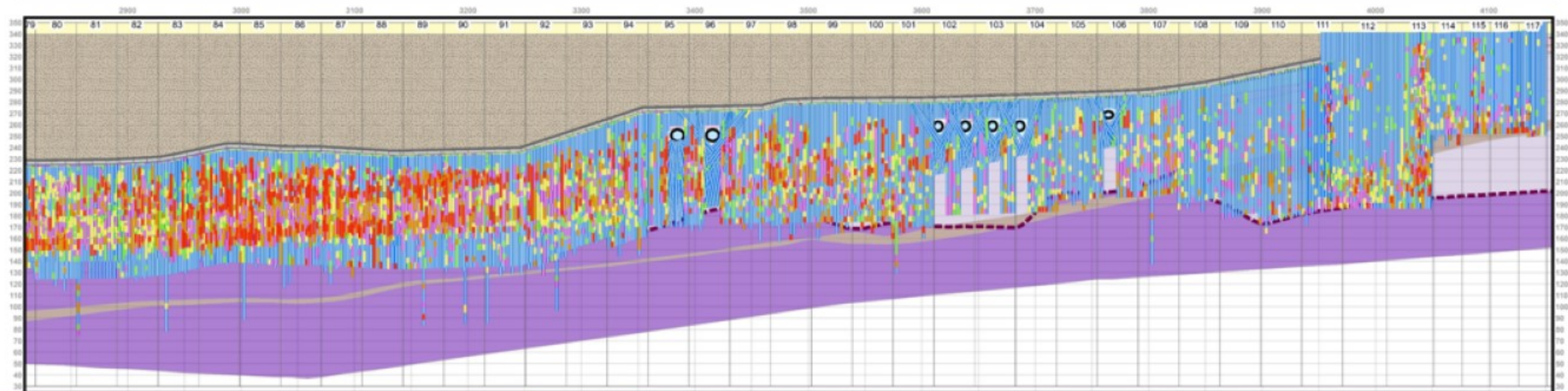
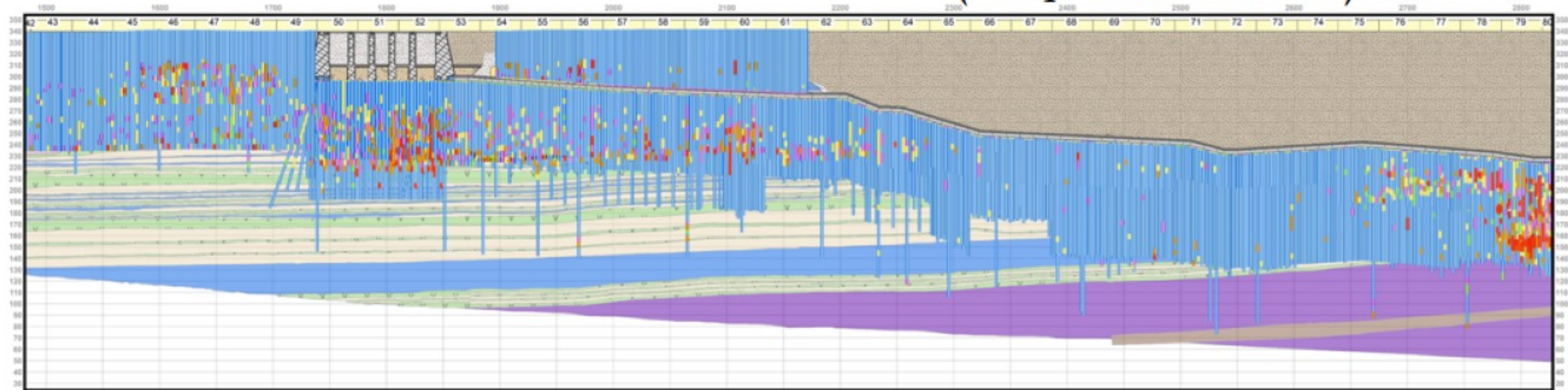
يستند سد الموصل على طبقات من الصخور الرسوبية الكارستية ذات القابلية العالية للذوبان والتآكل بتأثير مياه الرشح (Seepage)، حيث تتكون الأسس بشكل رئيسي من صخور الأنهدرايت والجبس والحجر الجيري والمارل (anhydrite, gypsum, limestone and marls). وبسبب مستوى الاضطراب الشديد في صخور الاسس، فإن نفاذية الأسس تعتبر عالية.





## ستارة التحشية في سد الموصل:

أدرك المصمم ذلك السلوك الخطير وغير الآمن المتوقع لأسس السد. لذلك تضمن التصميم الأساسي لسد الموصل إنشاء ستارة التحشية العميقة (Deep Grout Curtain).



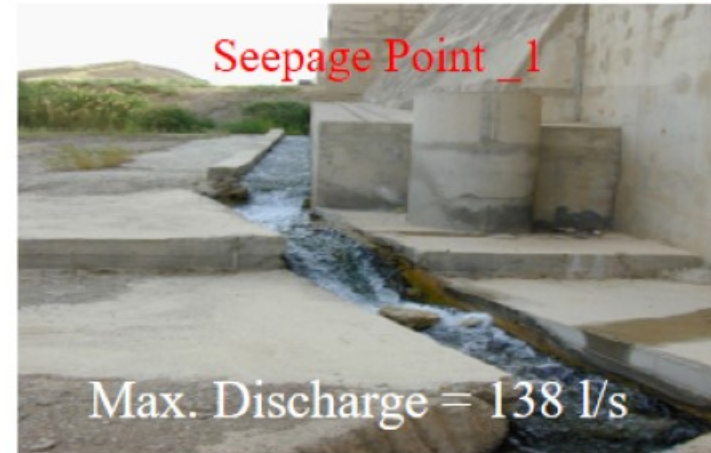


## الرشح في أسس سد الموصل:

بعد إكمال إنشاء السد وإدخاله الخدمة ومباشرة بعد الإملاء الأولي لخزان السد عام (1986). برزت مشكلة التسرب والرشح الكبير من خلال أسس السد نتيجة لذوبان وتآكل الصخور الجبسية. مما استوجب استمرار المعالجة لتقوية هذه الأسس عن طريق تنفيذ أعمال الصيانة بالتحشية والحقن بالمواد الإسمنتية لتأمين سلامة السد.



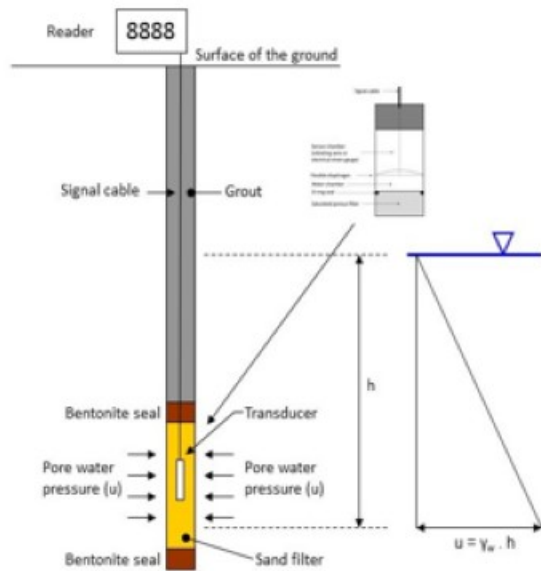
الخشفة (Sinkhole) في المدينة السياحية ظهرت في 15/2/2003



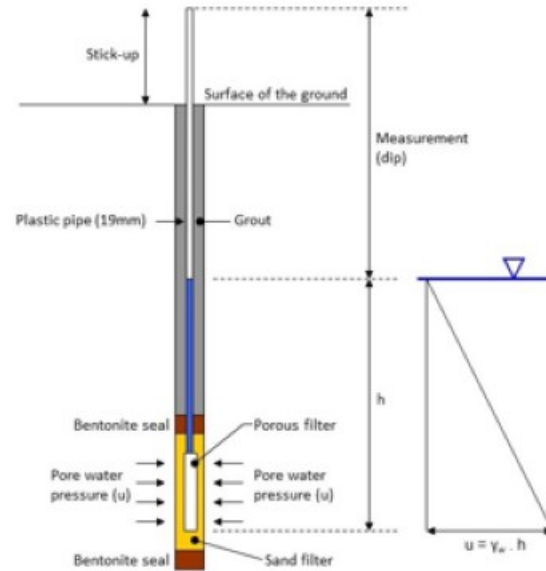


## أجهزة التحسس (البيزومتريات) في سد الموصل:

لمراقبة أداء ستارة التحشية وكفاءتها في إطالة مسارات مياه الرشح يوجد في أسس سد الموصل متحسسات ضغط الماء المسامي (البيزومتريات) والتي تتوزع على طول مسار ستارة التحشية ومن الجانبين من داخل نفق التحشية حيث عند اكتشاف حصول ضعف في أحد مناطق ستارة التحشية بناءً على قراءات أجهزة التحسس يتم توجيه أعمال التحشية لتلك المنطقة بهدف صيانة وتعزيز ستارة التحشية لرفع كفاءتها في تلك المنطقة.

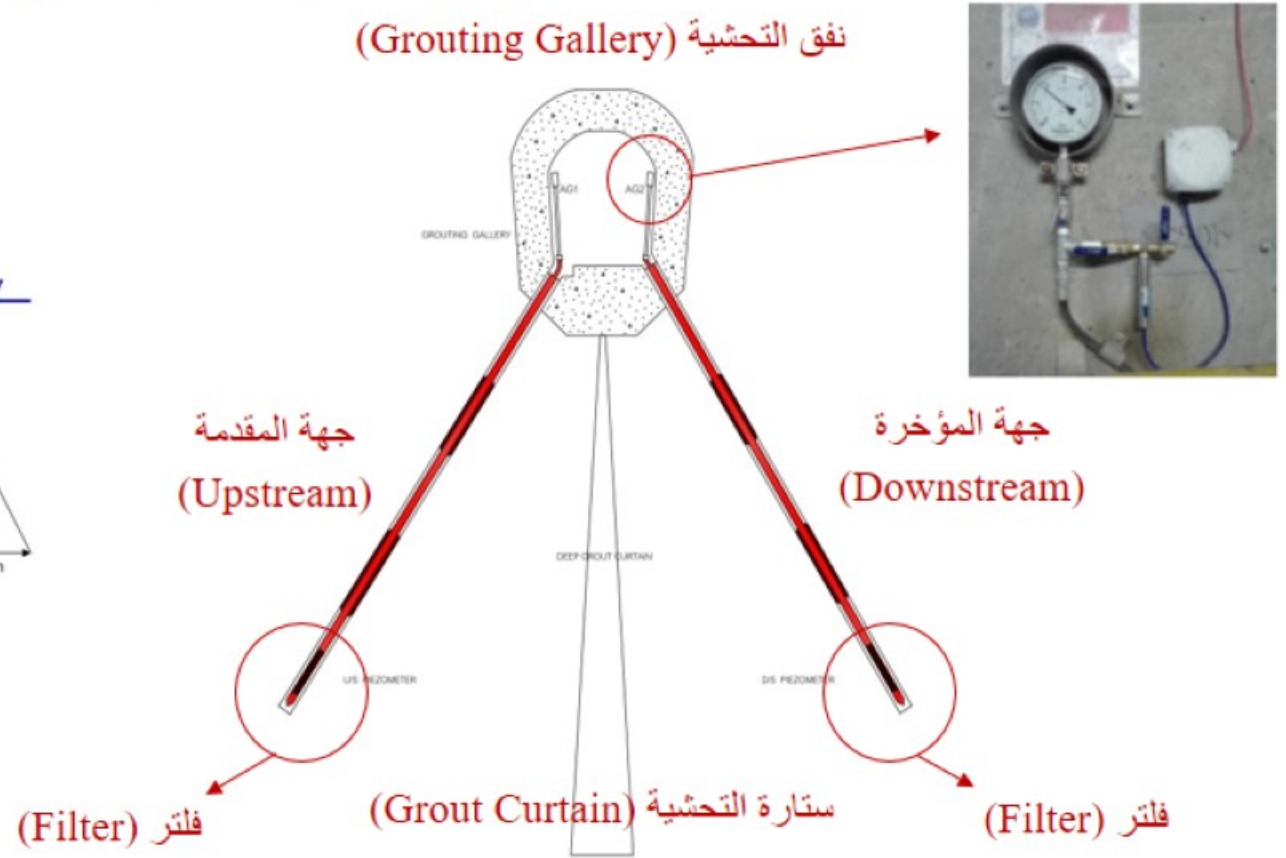


البيزومتر الحديث من نوع السلك المتذبذب (Vibrating Wire)



البيزومتر التقليدي من النوع الانبوبي

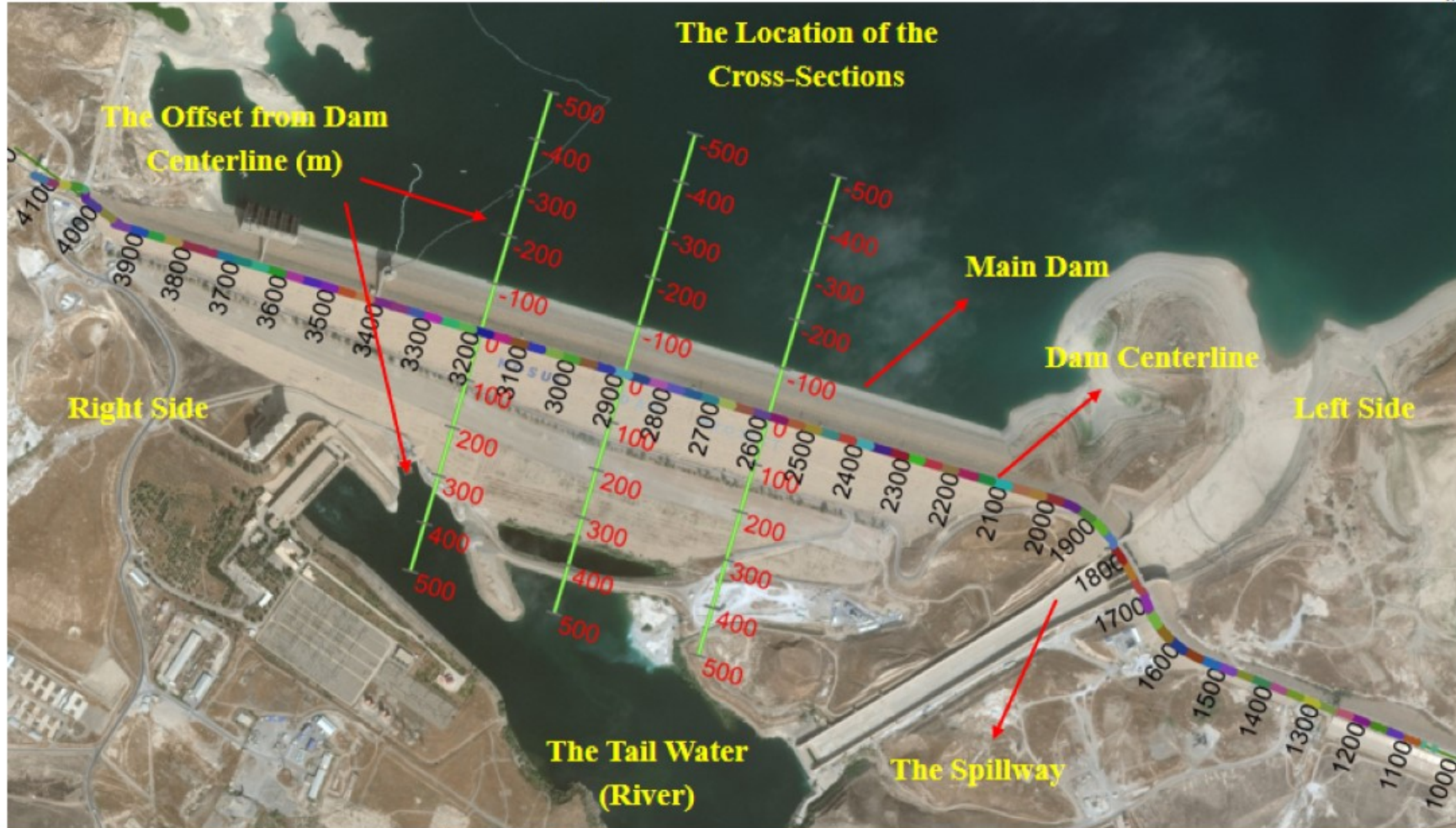
### نفق التحشية (Grouting Gallery)





## اهداف البحث الاساسية:

1. محاكاة ظروف التسرب والرشح الحاصلة في أسس سد الموصل عن طريق إنشاء موديلات عددية لثلاثة مقاطع عرضية من جسم السد مع الأسس عند المحطات التالية (Chainages 3200 , 2900 , 2600). وتحليلها باستخدام برنامج حاسوبي متطور يعتمد على طريقة العناصر المحددة هو (GeoStudio R2 2018-SEEP/W).

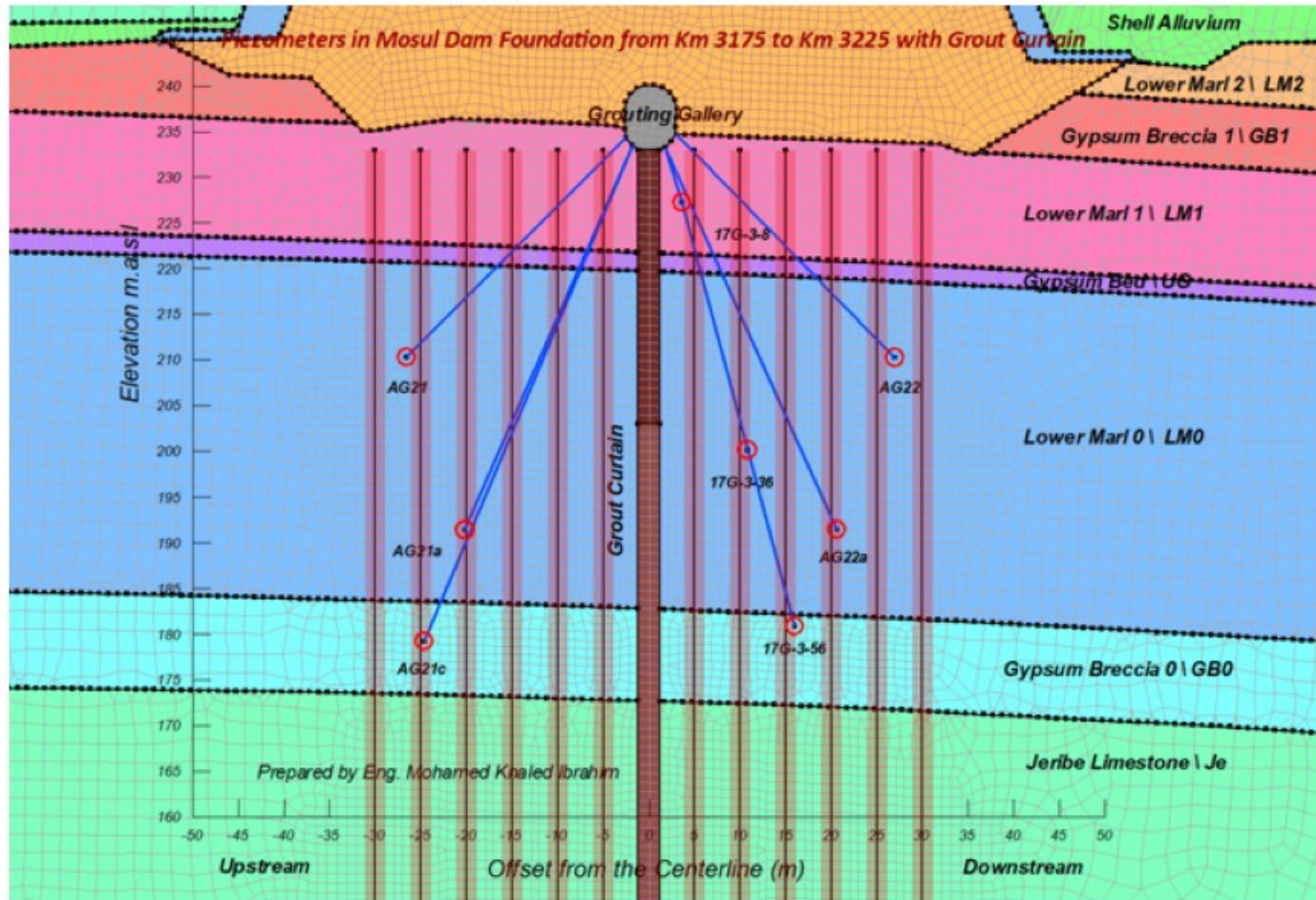




## اهداف البحث الاساسية:

2. استخدام نتائج التحليل والمتمثلة بقيم ضغط الماء المسامي على جانبي ستارة التحشية. في دراسة تأثير مواقع أجهزة قياس ضغط الماء المسامي (البيزومتريات) إلى ستارة التحشية (من ناحية البعد الأفقي بين الستارة والمتحسس ومن ناحية عمق المتحسس). على مقدار كفاءة ستارة التحشية ومقدار صافي الضغط المتشتت وللذان يحسبان بالاعتماد على قراءات هذه الأجهزة.

3. دراسة العلاقة بين زيادة سمك ستارة التحشية والتحسين المتوقع في كفاءة عملها بالاعتماد على مقدار التسرب الحاصل.

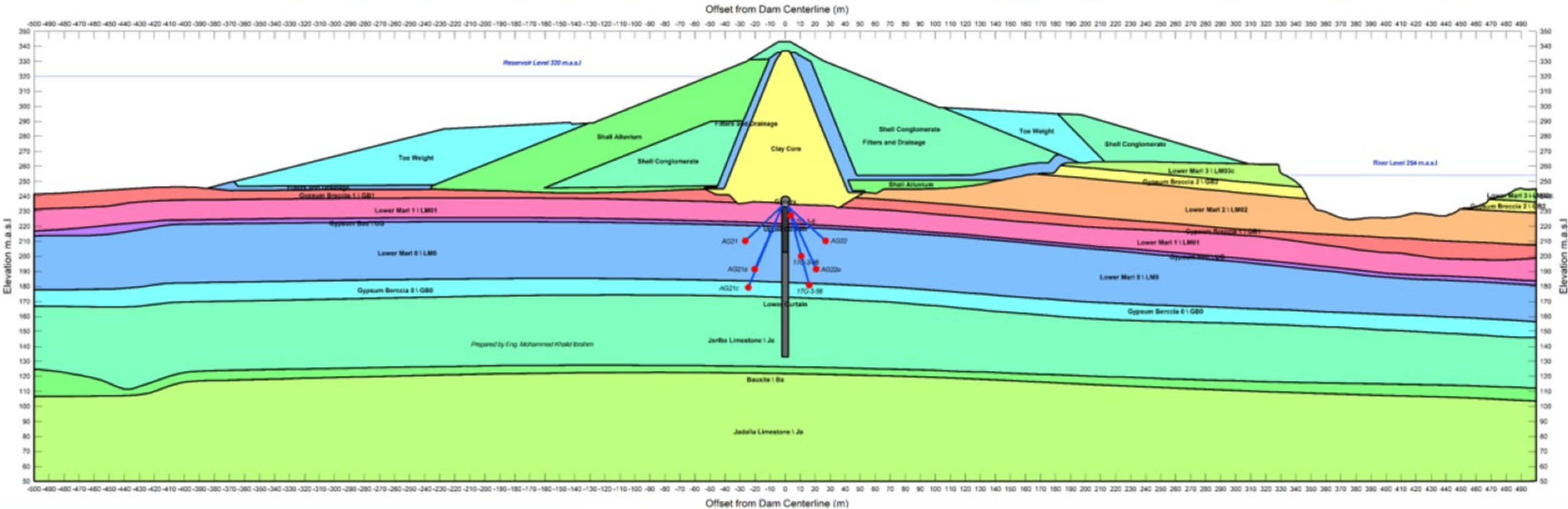






## محاكاة ظروف التسرب في سد الموصل:

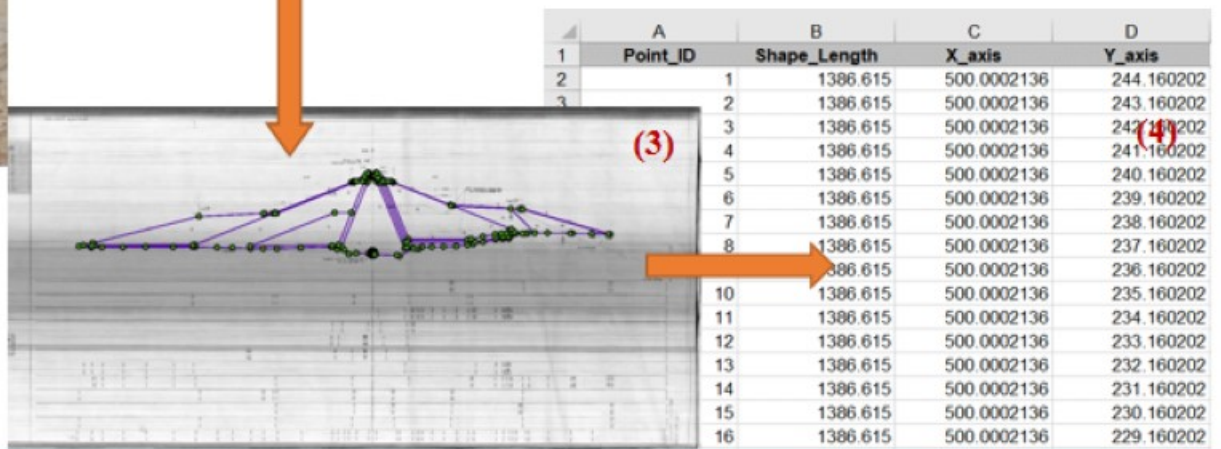
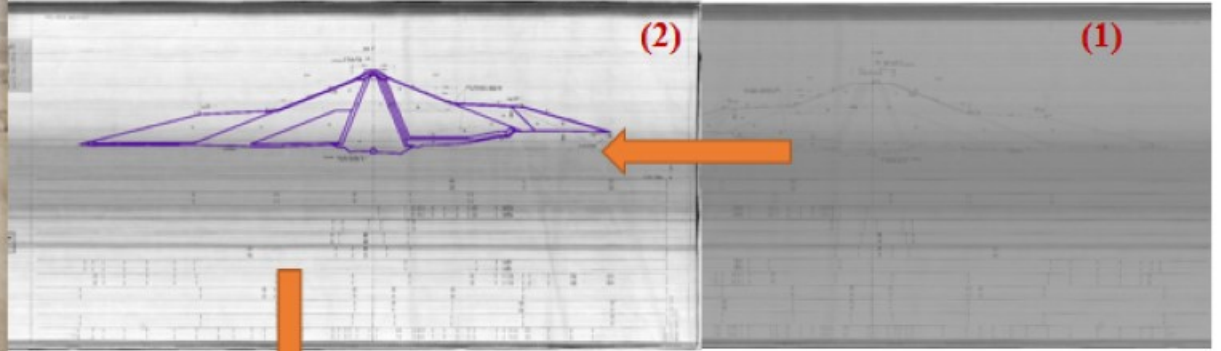
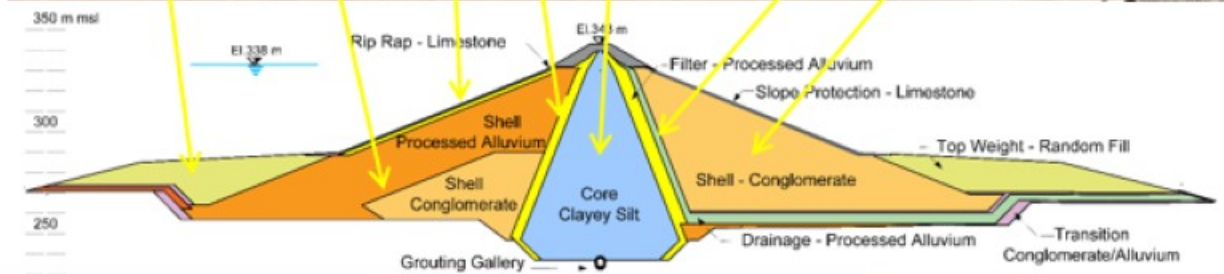
تم انشاء موديلات عددية لنمذجة وتمثيل املائيات جسم السد بمناطقها وموادها المتنوعة مع الطبقات الجيولوجية المختلفة التي تمثل اسس السد بالإضافة الى ستارة التحشية العميقة وأجهزة التحسس (البيزومتريات). ومن اجل الحصول على نتائج مقاربة للواقع تم مراعاة الدقة العالية في انشاء هذه الموديلات سواء من ناحية التمثيل الهندسي الدقيق للمناطق المختلفة لجسم السد ولطبقات الأسس. او من ناحية اختيار الخواص الهندسية الدقيقة (بشكل خاص النفاذية) للعناصر الداخلة في تكوين هذا الموديل. وتألّف كل موديل من أربعة مكونات رئيسية.





## تمثيل املائيات جسم السد:

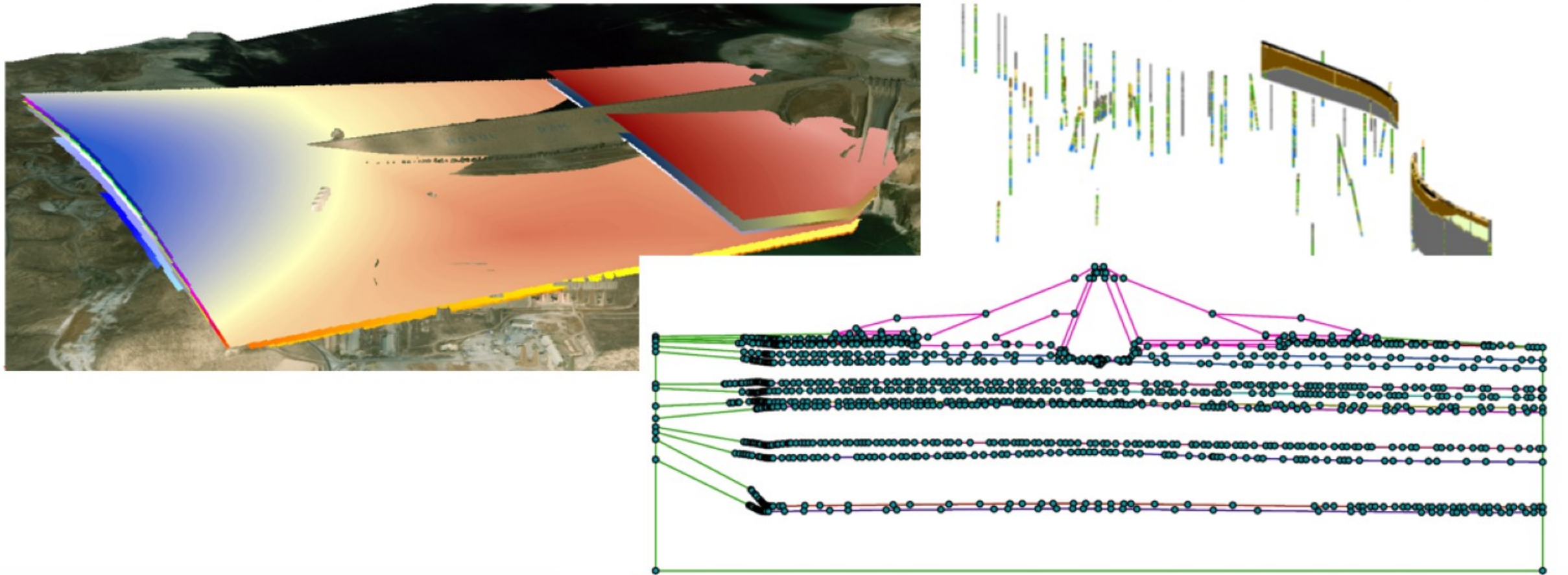
تم الاعتماد على خرائط ذرعات الدفعات المالية الاصلية (Payment Drawings) كونها ادق وتحتوى على تفاصيل اكثر حيث لكل (20) متر من جسم السد خريطة تفصيلية. تم سحبها سكانر بدقة عالية وتحويلها الى خرائط رقمية بإحداثيات موقعها الحقيقي باستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية (GIS) ثم تحويلها الى نقاط ذات إحداثيات معلومة بالنسبة للمحاور الرئيسية (X , Y) ليتم استيرادها في برنامج (SEEP/W) على شكل نقاط لتحقيق دقة عالية.





## تمثيل الطبقات الجيولوجية لأسس السد:

بهدف تمثيل الطبقات الجيولوجية المختلفة للأسس بدقة تم الاستعانة بخرائط التحريات الجيولوجية والحفر الاستكشافية التي نفذت خلال المراحل السابقة لغرض انشاء سطوح نقطية افتراضية (Rasters) بواسطة برنامج (GIS) لتمثيل هذه الطبقات ومن ثم مقاطعة هذه الطبقات مع مسار المقطع العرضي المراد انشائه وتحويل هذه التقاطعات الى نقاط ذات احداثيات (X,Y) ودمجها مع نقاط املائيات جسم السد ليتم تصديرها الى برنامج (SEEP/W).





## الخواص الهندسية للطبقات الجيولوجية لأسس السد واملائيات جسم السد:

تضمنت الموديلات العددية تمثيل (11) طبقة جيولوجية مختلفة ، حيث تم الاعتماد على الدراسات والتحريات الجيولوجية والهندسية لطبقات أسس السد. لتحديد معاملات النفاذية لمختلف الطبقات الجيولوجية والتي استخدمت في تمثيل الطبقات كوسط مشبع (Saturated). كذلك مثلت الطبقات الجيولوجية بخواص نفاذية غير متساوية في جميع الاتجاهات (anisotropy material) أي ان النفاذية بالاتجاه العمودي تختلف عنها بالاتجاه الافقي واعتمدت النسبة بينهم ( $Ky'/Kx'$  Ratio).

كما مثلت املائيات جسم السد على انها كموا بالحوالة المشبعة وغير المشبعة (Saturated / Unsaturated). مع تعريف كل من خاصية المحتوى المائي الحجمي وخاصية التوصيل الهيدروليكي حيث تم الاعتماد على معدلات قيم النفاذية لمجموعة الفحوصات الحقلية لمواد املائيات جسم السد طوال فترة الانشاء.

| No. | Material             | Volumetric Water Content Functions |                 |                       | Hydraulic Conductivity Functions |                        |                       |                   |
|-----|----------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------|
|     |                      | Saturated WC                       | Sample Material | Compressibility [kPa] | Saturated Kx [m/sec]             | Residual water Content | Maximum Suction [kPa] | Estimation Method |
| 1   | Clay Core            | 0.5                                | Clay            | 1.00E-05              | 1.60E-08                         | 0.35                   | 1,000                 | Van Genuchten     |
| 2   | Filters and Drainage | 0.35                               | Sand            | 1.00E-05              | 0.0018                           | 0.3                    | 1,000                 | Van Genuchten     |
| 3   | Shell Alluvium       | 0.425                              | Silt            | 1.00E-05              | 0.00071                          | 0.25                   | 1,000                 | Van Genuchten     |
| 4   | Shell Conglomerate   | 0.38                               | Silty Sand      | 1.00E-05              | 0.00045                          | 0.2                    | 1,000                 | Van Genuchten     |
| 5   | Toe Weight           | 0.35                               | Sand            | 1.00E-05              | 2.90E-05                         | 0.3                    | 1,000                 | Van Genuchten     |

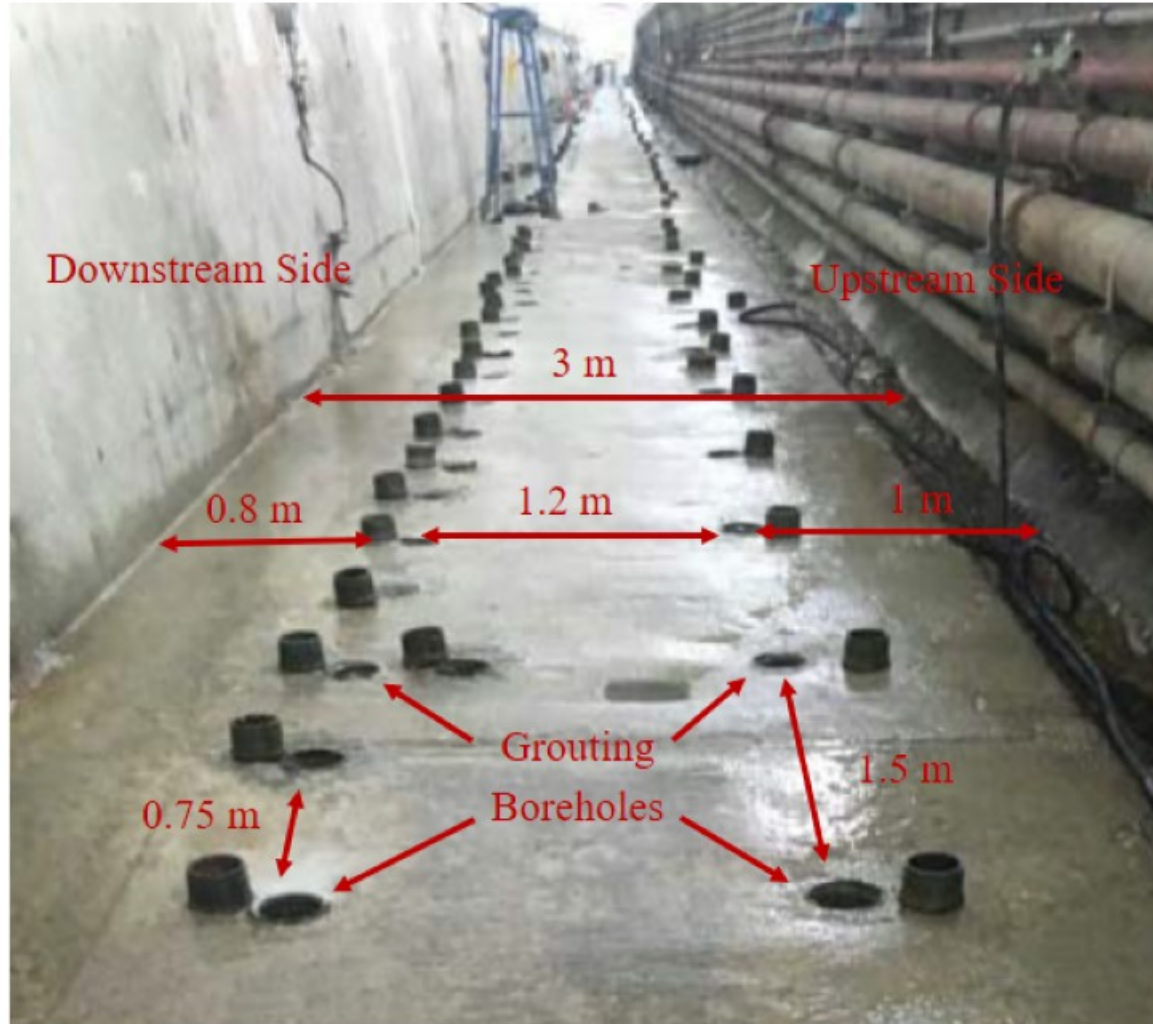
| No. | Geological Layer Name | Symbol   | Saturated X-Conductivity (m/sec) | $Ky'/Kx'$ Ratio |
|-----|-----------------------|----------|----------------------------------|-----------------|
| 1   | Lower Marl            | LM03c    | 5.00E-05                         | 0.1             |
| 2   | Gypsum Breccia 2      | GB2/GB2B | 1.00E-04                         | 1               |
| 3   | Lower Marl            | LM02     | 5.00E-05                         | 0.1             |
| 4   | Gypsum Breccia 1      | GB1/GB1B | 5.00E-04                         | 0.1             |
| 5   | Lower Marl            | LM01     | 5.00E-06                         | 0.1             |
| 6   | Un-named Gypsum Bed   | UG       | 5.00E-04                         | 0.1             |
| 7   | Lower Marl            | LM0      | 5.00E-04                         | 0.01            |
| 8   | Gypsum Breccia 0      | GB0/GB0B | 5.00E-03                         | 0.1             |
| 9   | Jeribe Limestone      | Je       | 1.00E-06                         | 1               |
| 10  | Bauxite               | Ba       | 1.00E-06                         | 0.01            |
| 11  | Jadalla Limestone     | Ja       | 5.00E-05                         | 1               |





## تمثيل ستارة التحشية في سد الموصل:

مثلت ستارة التحشية كمنطقة تخترق طبقات الأسس وبعمق مقداره (100m) وبحدود معينة للنفاذية حسب المعايير التصميمية للستارة والتي وضعت من قبل مجموعة الشركات الاستشارية السويسرية.



لقد تم تمثيل ستارة التحشية لثلاثة حالات من السمك وهي ( 3.2 ، 4.2 ، 5.2 ) متر. إذ اختيرت القيم أعلاه على أساس أن المسافة بين صفي حفر التحشية الذين يشكلان ستارة التحشية الرئيسية أسفل جسم السد هو (1.2) متر، وعلى فرض ثلاثة مسافات لانتشار مزيج التحشية من كل خط تحشية باتجاه الخارج ولثلاثة حالات وهي ( 1 ، 1.5 ، 2 ) متر على التوالي.

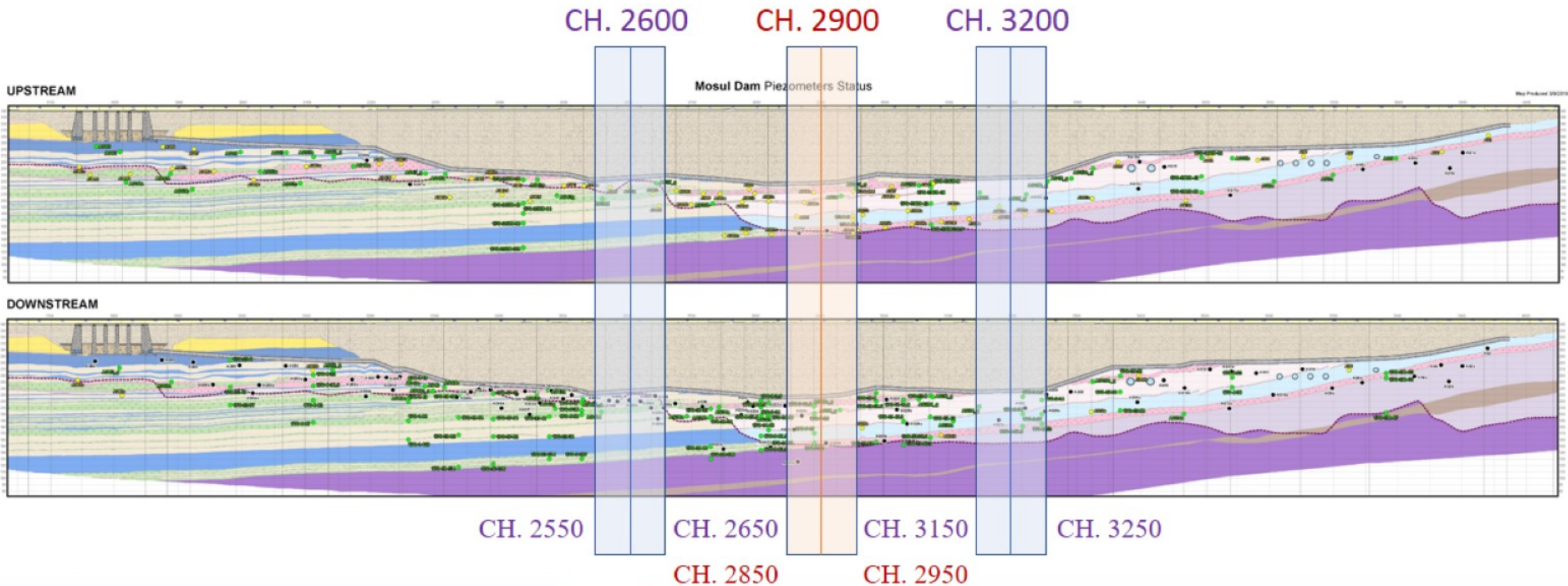
### Grout Curtain Permeability Design Specifications

| The Upper Grout Curtain                | The Lower Grout Curtain                |
|--|--|
| from 0 m to 30 m                       | from 30 to 100 m                       |
| Depths $\leq 30$ m                     | Depths $>30$ m                         |
| 95% of results $\leq 2$ Lugeons        | 95% of results $\leq 5$ Lugeons        |
| 100% of results $\leq 5$ Lugeons       | 100% of results $\leq 10$ Lugeons      |
| Permeability $\approx 2$ Lugeons       | Permeability $\approx 5$ Lugeons       |
| Permeability $\approx 2.6E-07$ (m/sec) | Permeability $\approx 6.5E-07$ (m/sec) |



## بيانات أجهزة التحسس (البيزومتترات):

نظراً للعدد الكبير من أجهزة التحسس (البيزومتترات) المنصوبة في أسس السد الرئيس لمراقبة أداء ستارة التحشية (أكثر من 300 جهاز). وبهدف شمول أكبر عدد ممكن من أجهزة التحسس البيزومتترات ضمن الدراسة تم تمثيل المتحسسات التي تقع على جانبي المقطع العرضي قيد الدراسة وبمسافة (50) متراً من كل جانب.





## معالجة بيانات أجهزة التحسس (البيزومتريات):

أستخدمت لغة برمجة البايثون (Python) المتقدمة. لكتابة نص برمجي خاص لتسهيل التعامل مع الكمية الضخمة والنوعية الخاصة لبيانات البيزومتريات. وفي الوقت نفسه ليتم وضع طريقة عمل مستقبلية دائمية للتعامل مع هذه البيانات؛ إذ يقوم هذا الكود البرمجي بإجراء عمليات منطقية وحسابية معقدة؛ لفرز وتصفية بيانات البيزومتريات عند مناسيب مختلفة للبحيرة والنهر في وقت واحد وبسهولة كبيرة.

```
Sort_Piez_around_Ch3200_Section89.90.91.py - M:\Piezometers\Piez_Ch3200\Sort_Piez_around_Ch3200_Section89.90.91.py (3.8.6)
File Edit Format Run Options Window Help
import os ,sys ,math ,pandas as pd
import re as re
Select_Section=('89','90','91','0','Reservoir','Tail Water')
Max_Reservoir_Elve -320.5
Min_Reservoir_Elve -319.5
Max_TailWater_Elve -255
Min_TailWater_Elve -253
#Data_path = F"M:\Piezometers\ForTestOnly\Piezometers-AG Data (21-7-2020 1138 AM).xlsx"
Data_path = r"M:\Piezometers\Piezometers-AG Data (21-7-2020 1138 AM).xlsx"
keep_col_Data=['Instrument ID','Reading Date','Location','Gallery Side','Calculated Value']
df = pd.read_excel(Data_path,sheet_name='Gallery Piezo Data', header=0, usecols=keep_col_Data)
def find_number(text):
    num = re.findall(r'[0-9]+\|Reservoir|Tail Water',text)
    return " ".join(num)
df['Section']=df['Location'].apply(lambda x: find_number(x))
df=df.drop(['Location','Gallery Side'], axis=1)
Piez=['17G-3-34','17G-3-57.5','17G-3-8.5','AG21','AG21_g','AG21a','AG21a_g','AG21b_g','AG21c','AG21c_g','AG22','AG22_g','AG22a')
df1=df[df['Section'].isin(Select_Section)]
df2=df1[df1['Instrument ID'].str.contains('17G-3-34|17G-3-57.5|17G-3-8.5|AG21|AG21_g|AG21a|AG21a_g|AG21b_g|AG21c|AG21c_g|AG22|AG22_g|AG22a')]
#df1=df1.loc[df1['Instrument ID'].isin(Piez)] ok.
#df1=df1[df1['Instrument ID'].isin(Piez)] ok.
df=pd.pivot_table(df2,index=['Reading Date'],columns='Instrument ID',values='Calculated Value',fill_value=None).reset_index()
mask = (df['Upstream Elevation'] >= Min_Reservoir_Elve) & (df['Upstream Elevation'] <= Max_Reservoir_Elve) & (df['Downstream Elevation'] >= Min_TailWater_Elve) & (df['Downstream Elevation'] <= Max_TailWater_Elve)
df = df.loc[mask]
df.reset_index(drop=True, inplace=True)
df2=df.describe()
with pd.ExcelWriter(r'M:\Piezometers\Piez_Ch3200\Piez_around_Ch3200.xlsx', engine='xlsxwriter') as writer:
    df.to_excel(writer, sheet_name='Section_89_90_91')
    df2.to_excel(writer, sheet_name='Summary Statistics')
```

| Instrument ID | Location           | Gallery Side | Reading Date | Calculated Value |
|---------------|--------------------|--------------|--------------|------------------|
| AG27a         | Gallery Section 84 | Upstream     | 7/26/2015    | 298.3            |
| AG27a         | Gallery Section 84 | Upstream     | 7/27/2015    | 298.3            |
| AG27a         | Gallery Section 84 | Upstream     | 7/28/2015    | 298.0            |
| AG27a         | Gallery Section 84 | Upstream     | 7/29/2015    | 297.9            |
| AG27a         | Gallery Section 84 | Upstream     | 7/30/2015    | 297.8            |
| AG27a         | Gallery Section 84 | Upstream     | 8/2/2015     | 297.7            |
| AG27a         | Gallery Section 84 | Upstream     | 8/3/2015     | 297.5            |
| AG27a         | Gallery Section 84 | Upstream     | 8/4/2015     | 297.4            |
| AG27a         | Gallery Section 84 | Upstream     | 8/5/2015     | 297.3            |
| AG27a         | Gallery Section 84 | Upstream     | 8/6/2015     | 297.3            |

| Piezometer | 17G-3-34 | 17G-3-57.5 | 17G-3-8.5 | AG21_g | AG21a_g | AG21b_g | AG21c_g | AG22   | AG22_g | AG22a  | Downstream Elevation | Upstream Elevation |
|------------|----------|------------|-----------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|----------------------|--------------------|
| count      | 18.00    | 41.00      | 41.00     | 41.00  | 19.00   | 19.00   | 19.00   | 15.00  | 22.00  | 41.00  | 41.00                | 41.00              |
| mean       | 252.44   | 257.20     | 256.07    | 319.31 | 316.63  | 314.54  | 315.15  | 250.47 | 257.09 | 257.42 | 254.33               | 319.95             |
| std        | 0.27     | 0.31       | 0.37      | 0.59   | 0.32    | 0.29    | 0.31    | 5.90   | 0.32   | 2.09   | 0.37                 | 0.33               |
| min        | 251.76   | 256.83     | 255.30    | 317.93 | 316.13  | 314.07  | 314.65  | 236.43 | 256.79 | 245.35 | 253.76               | 319.51             |
| 25%        | 252.35   | 256.99     | 255.87    | 318.86 | 316.39  | 314.32  | 314.91  | 250.83 | 256.86 | 257.49 | 254.07               | 319.64             |
| 50%        | 252.42   | 257.12     | 256.02    | 319.27 | 316.62  | 314.54  | 315.14  | 253.32 | 257.00 | 257.93 | 254.23               | 319.95             |
| 75%        | 252.52   | 257.34     | 256.23    | 319.88 | 316.84  | 314.74  | 315.35  | 253.60 | 257.13 | 258.14 | 254.55               | 320.22             |
| max        | 252.96   | 257.97     | 257.01    | 320.35 | 317.32  | 315.10  | 315.82  | 253.88 | 257.87 | 258.93 | 255.00               | 320.49             |



## مقارنة القراءات الحقلية للبيزومتيرات مع نتائج النماذج العددية:

❖ الأنموذج العددي عند المحطة (3200):

من أجل التأكد من دقة وموثوقية النماذج العددية الذي أنشئت في تمثيل ومحاكاة الظروف الحقيقية للتسرب. قورنت القراءات الحقلية لأجهزة التحسس (البيزومتيرات) التي تقع على جانبي المقطع العرضي عند المحطة (3200) وبمسافة (50 m) من كل جانب مع ضغط الماء المسامي المتولد من تحليل الأنموذج العددي باستخدام برنامج (SEEP/W) وفي مواقع البيزومتيرات نفسها ولعدة قيم لسماكة ستارة التحشية.

| Piezometer_Name    | Location of Piezometers |            |        |        | Reservoir Elev. $\pm 0.5$ [m] | Tail Water Elev. $\pm 1$ [m] | Piez. Actual Readings |            |            | Water Total Head [m] Calculated by SEEP/W |                             |                             |                             |
|--------------------|-------------------------|------------|--------|--------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------|------------|------------|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                    | Section                 | Side       | Offset |        |                               |                              | Max. Value            | Min. Value | Mean Value | Without Curtain                           | Curtain Thickness (3.2) [m] | Curtain Thickness (4.2) [m] | Curtain Thickness (5.2) [m] |
|                    |                         |            | X [m]  | Y [m]  |                               |                              |                       |            |            |   |                             |                             |                             |
| AG21b              | 89                      | Upstream   | -25    | 179    | 320                           | 254                          | 315.1                 | 314.07     | 314.54     | 289.03                                    | 315.45                      | 315.83                      | 316                         |
| No Piez./imaginary | 89                      | Downstream | 25     | 179    | 320                           | 254                          |                       |            |            | 288.85                                    | 259.17                      | 258.75                      | 257.9                       |
| AG21a              | 90                      | Upstream   | -20.16 | 191.43 | 320                           | 254                          | 317.32                | 316.13     | 316.63     | 289.33                                    | 315.58                      | 315.97                      | 316.2                       |
| AG22a              | 90                      | Downstream | 20.66  | 191.43 | 320                           | 254                          | 258.93                | 245.35     | 257.42     | 289.03                                    | 259                         | 258.58                      | 257.8                       |
| AG21               | 91                      | Upstream   | -26.57 | 210.31 | 320                           | 254                          | 320.35                | 317.93     | 319.31     | 290.42                                    | 315.98                      | 316.34                      | 316.6                       |
| AG22               | 91                      | Downstream | 27.01  | 210.26 | 320                           | 254                          | 257.87                | 256.79     | 257.08     | 289.4                                     | 258.69                      | 258.27                      | 257.4                       |
| AG21c              | 91                      | Upstream   | 25     | 179    | 320                           | 254                          | 315.82                | 314.65     | 315.14     | 289.03                                    | 315.45                      | 315.83                      | 316                         |
| 17G-3-56           | 91                      | Downstream | 16.03  | 180.85 | 320                           | 254                          | 257.97                | 256.83     | 257.2      | 288.88                                    | 259.17                      | 258.75                      | 257.9                       |
| No Piez./imaginary | 91                      | Upstream   | -10.85 | 200.17 | 320                           | 254                          |                       |            |            | 289.62                                    | 315.75                      | 316.1                       | 316.4                       |
| 17G-3-36           | 91                      | Downstream | 10.85  | 200.17 | 320                           | 254                          | 252.96                | 251.76     | 252.44     | 289.35                                    | 258.86                      | 258.44                      | 257.6                       |
| No Piez./imaginary | 91                      | Upstream   | -3.6   | 227.21 | 320                           | 254                          |                       |            |            | 292.14                                    | 315.93                      | 316.33                      | 316.7                       |
| 17G-3-8            | 91                      | Downstream | 3.6    | 227.21 | 320                           | 254                          | 257.01                | 255.3      | 256.1      | 289.8                                     | 259.18                      | 258.6                       | 257.4                       |



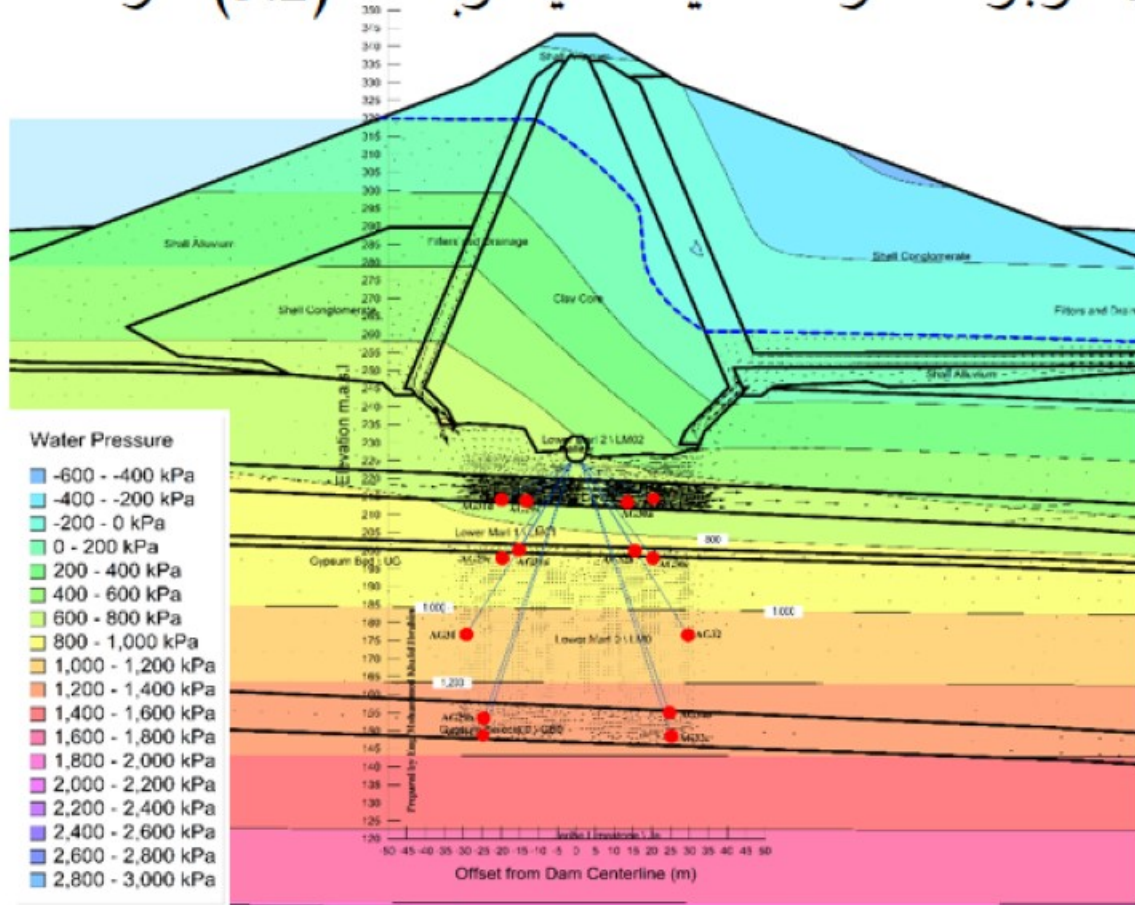


## تحليل الأنموذج العددي عند المحطة (3200):

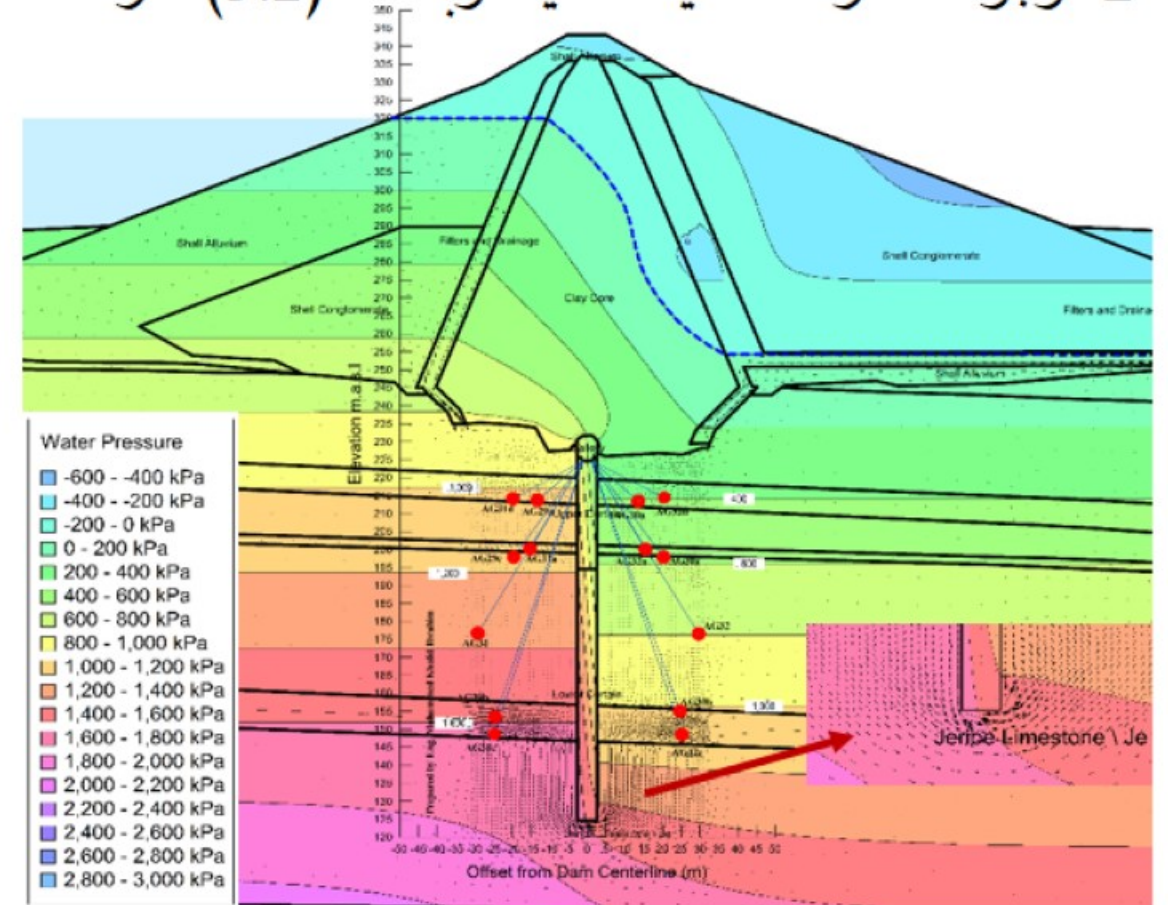
تم تحليل أربعة حالات مختلفة بالنسبة لستارة التحشية.

1. عدم وجود ستارة التحشية العميقة.
2. وجود ستارة التحشية العميقة وبسمك (3.2) متر.
3. وجود ستارة التحشية العميقة وبسمك (4.2) متر.
4. وجود ستارة التحشية العميقة وبسمك (5.2) متر.

1. عدم وجود ستارة التحشية العميقة.
2. وجود ستارة التحشية العميقة وبسمك (3.2) متر.



حالة عدم وجود لستارة التحشية

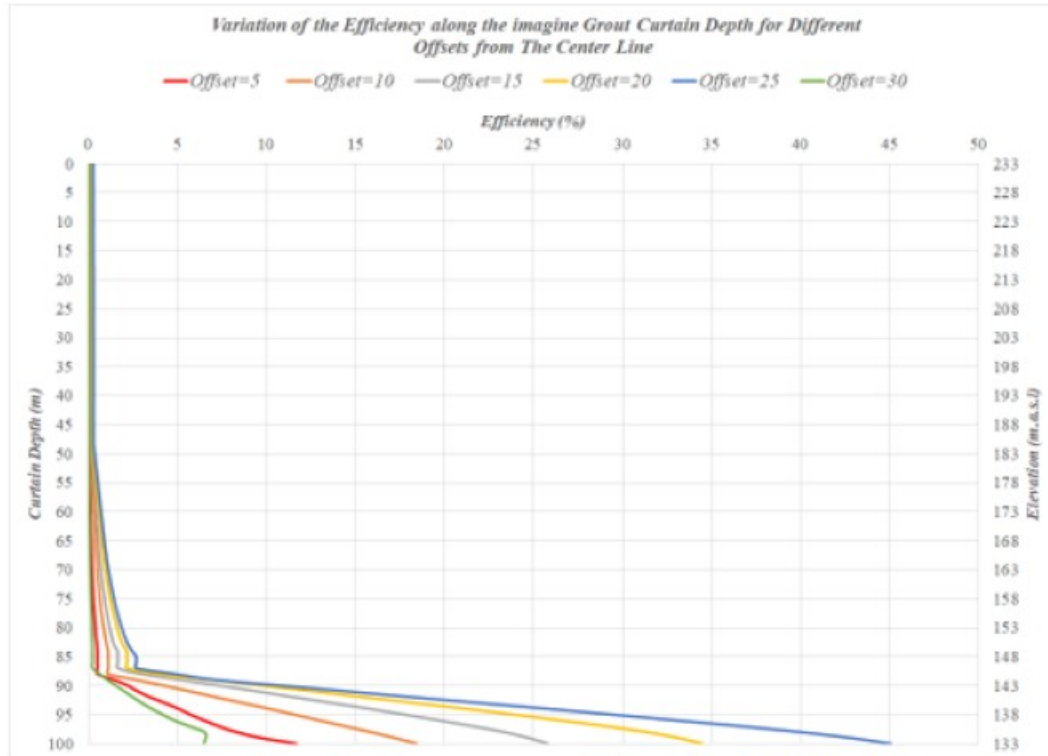


حالة وجود ستارة تحشية بسمك (5.2) متر

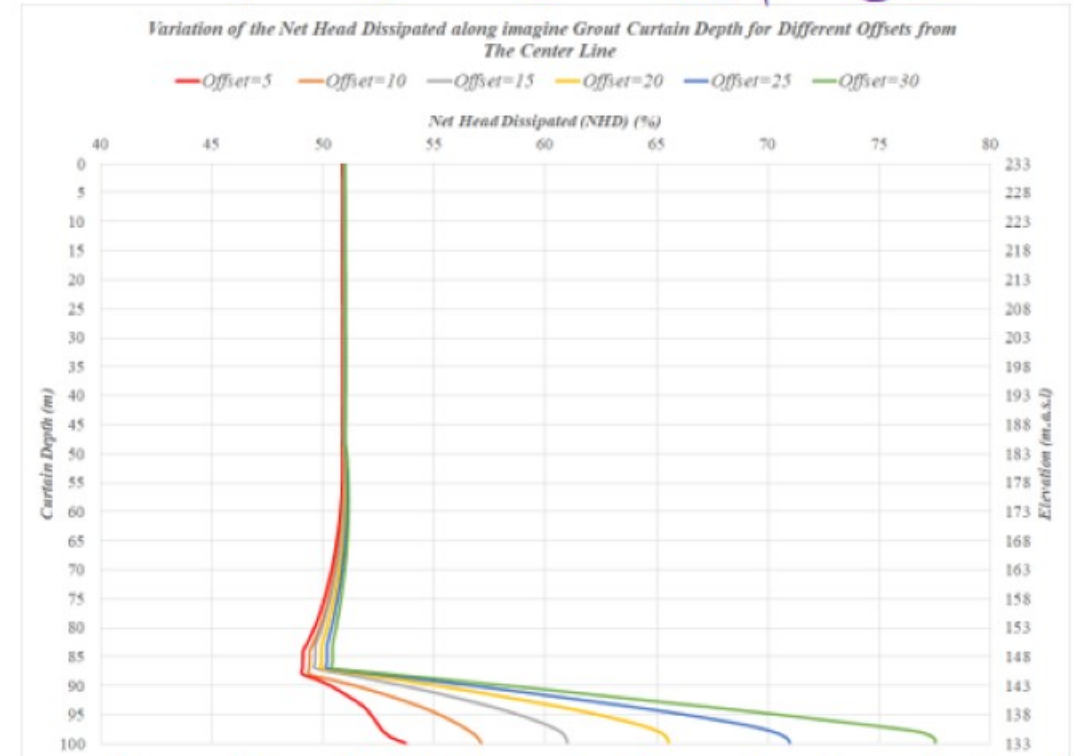


## تحليل الأنموذج العددي عند المحطة (3200):

الحالة الأولى عدم وجود ستارة التحشية العميقة



تغايير مقدار الكفاءة التخيلية مع عمق الستارة والمنسوب وعند مسافات مختلفة عن ستارة التحشية التخيلية



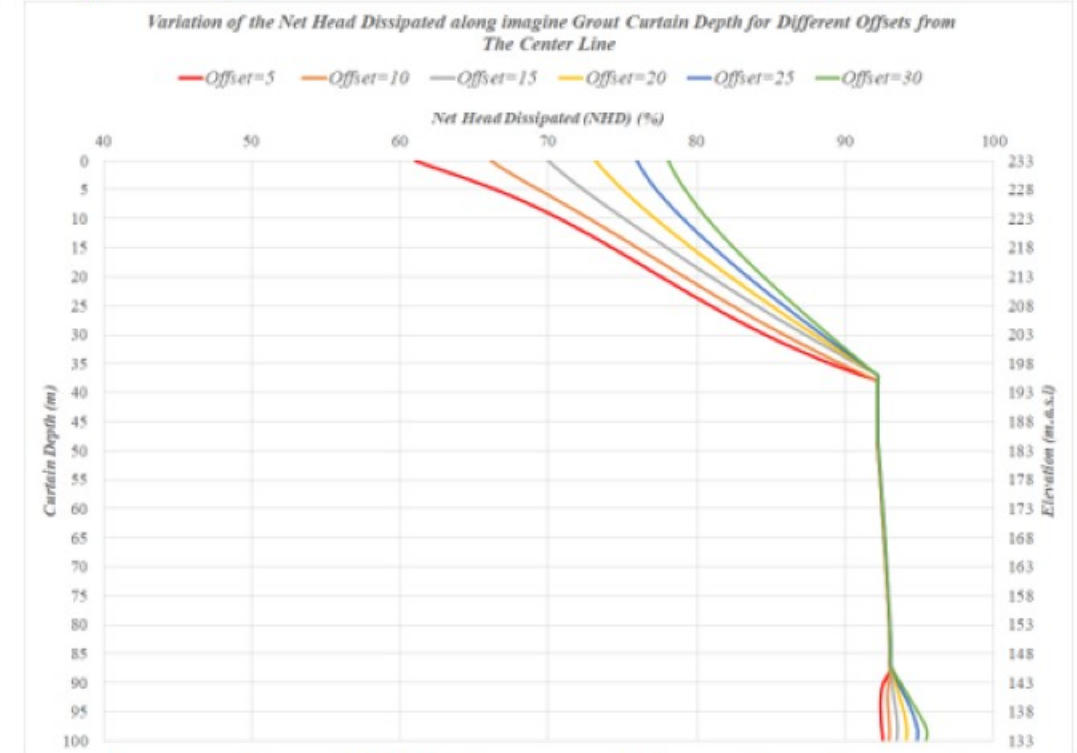
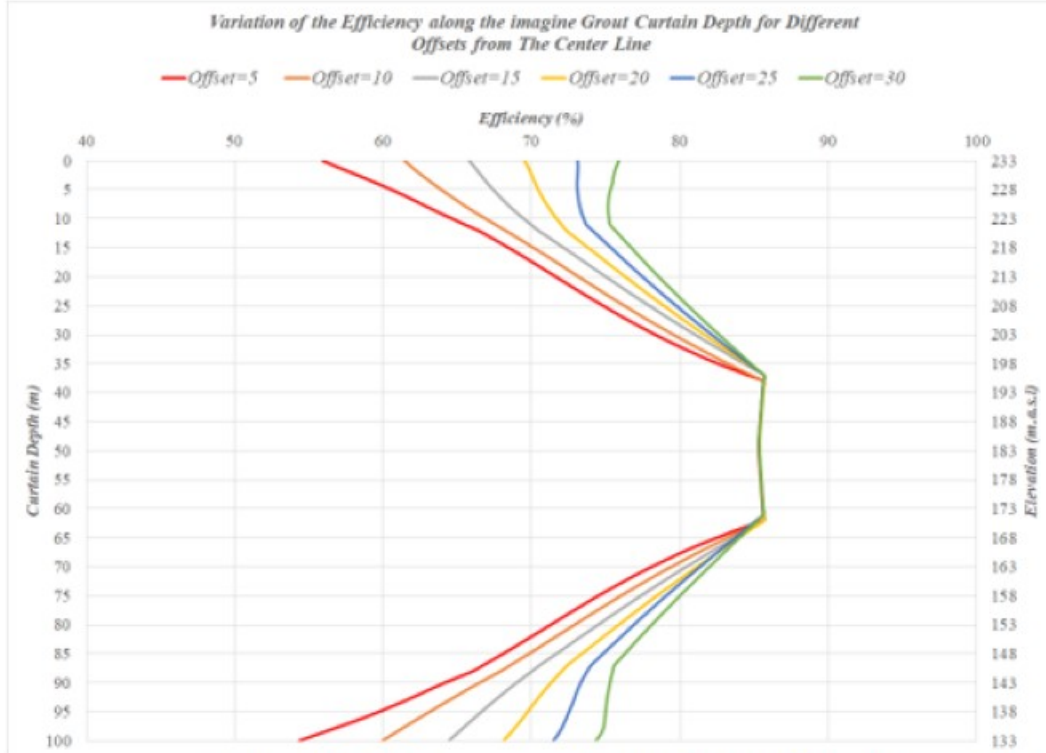
تغايير مقدار صافي الضغط المتشتت (NHD) مع العمق والمنسوب وعند مسافات مختلفة عن ستارة التحشية التخيلية

| Seepage Quantity through Chainage 3200 |                     |             |                  |             |            |             | The Efficiency of The Curtain in Reducing The Seepage |
|--|---------------------|-------------|------------------|-------------|------------|-------------|---|
| Case                                   | From The Embankment |             | From The Bedrock |             | The Total  |             |   |
|  | Water Rate          | Units       | Water Rate       | Units       | Water Rate | Units       |   |
| Without Curtain                        | 0.06                | Liter/min/m | 31.2             | Liter/min/m | 31.26      | Liter/min/m | 0%  |
|  | 0.001               | Liter/sec/m | 0.52             | Liter/sec/m | 0.521      | Liter/sec/m |   |



# تحليل الأنموذج العددي عند المحطة (3200):

الحالة الثانية وجود ستارة التحشية العميقة وبسمك (3.2) متر



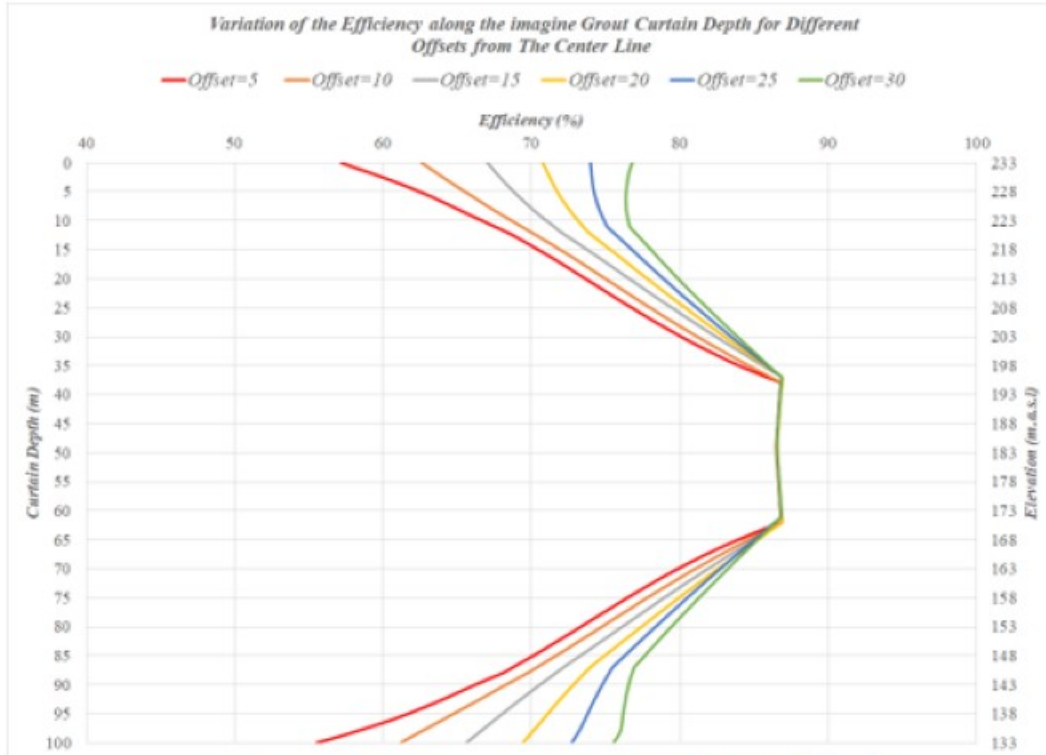
تغاير مقدار الكفاءة التخيلية مع عمق الستارة والمنسوب وعند مسافات مختلفة عن ستارة التحشية التخيلية

تغاير مقدار صافي الضغط المتشتت (NHD) مع العمق والمنسوب وعند مسافات مختلفة عن ستارة التحشية التخيلية

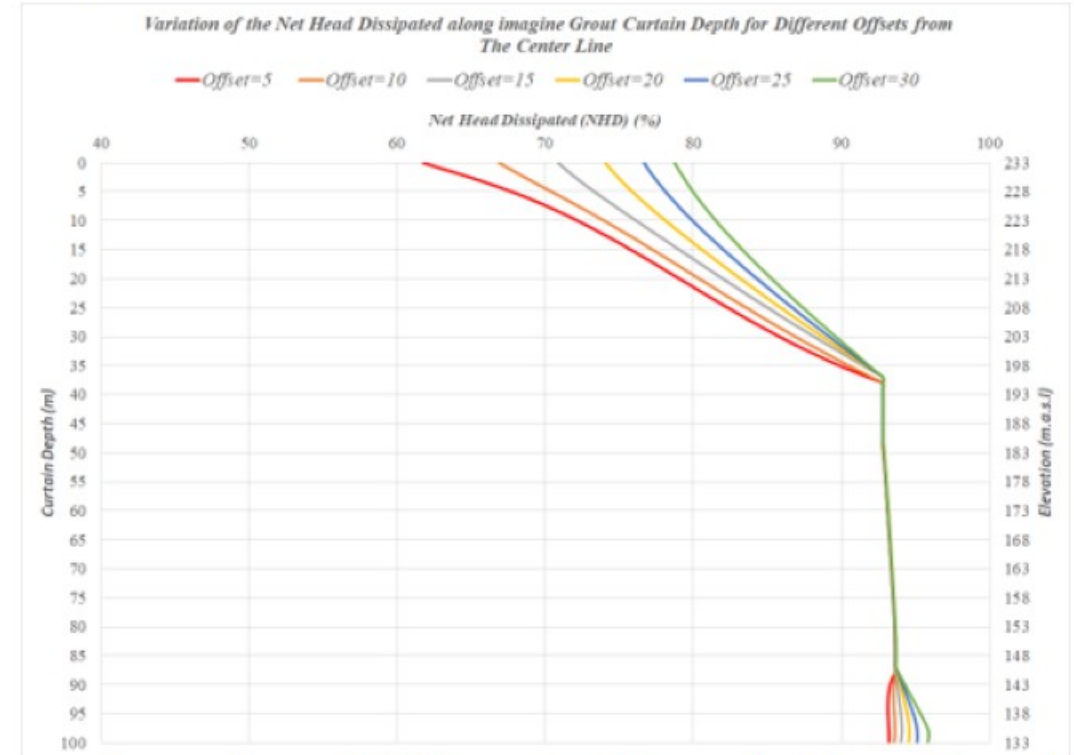
| Seepage Quantity through Chainage 3200 |                     |             |                  |             |            |             | The Efficiency of The Curtain in Reducing The Seepage |
|--|---------------------|-------------|------------------|-------------|------------|-------------|---|
| Case                                   | From The Embankment |             | From The Bedrock |             | The Total  |             |   |
|  | Water Rate          | Units       | Water Rate       | Units       | Water Rate | Units       |   |
| WithCurtain (3.2m)                     | 0.084               | Liter/min/m | 5.22             | Liter/min/m | 5.304      | Liter/min/m | 83.3%   |
|  | 0.0014              | Liter/sec/m | 0.087            | Liter/sec/m | 0.0884     | Liter/sec/m |   |



## تحليل الأنموذج العددي عند المحطة (3200): الحالة الثانية وجود ستارة التحشية العميقة وبسمك (4.2) متر



تغاير مقدار الكفاءة التخيلية مع عمق الستارة والمنسوب وعند مسافات مختلفة عن ستارة التحشية التخيلية



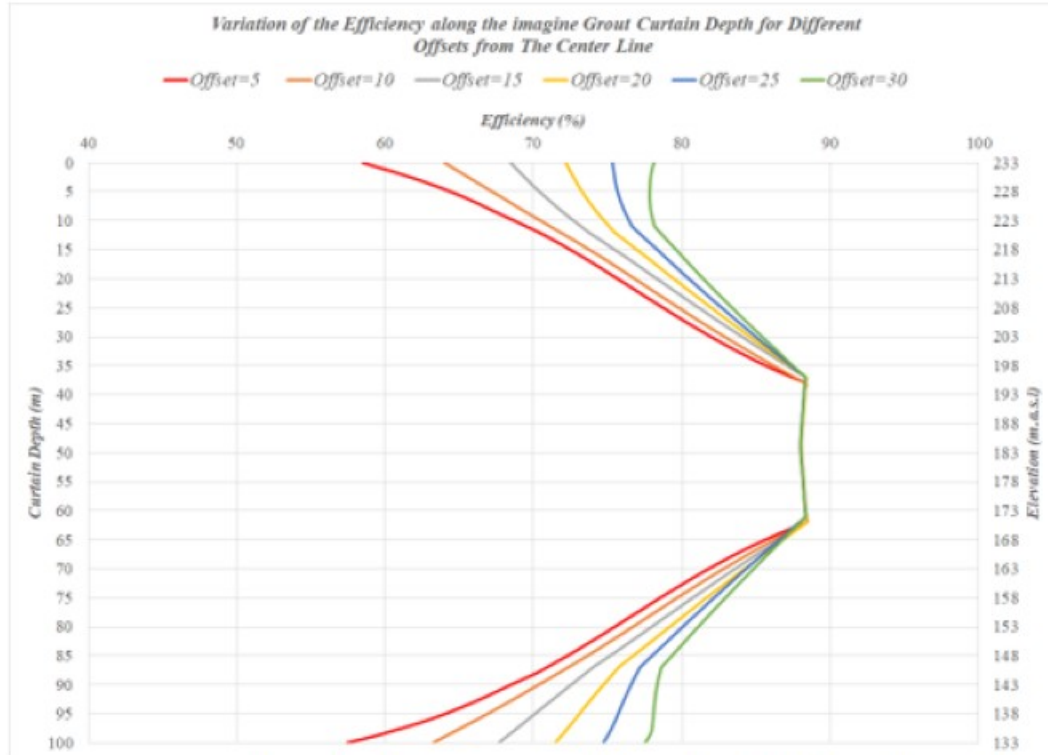
تغاير مقدار صافي الضغط المتشتت (NHD) مع العمق والمنسوب وعند مسافات مختلفة عن ستارة التحشية التخيلية

| Seepage Quantity through Chainage 3200 |                     |             |                  |             |            |             | The Efficiency of The Curtain in Reducing The Seepage |
|--|---------------------|-------------|------------------|-------------|------------|-------------|---|
| Case                                   | From The Embankment |             | From The Bedrock |             | The Total  |             |   |
|  | Water Rate          | Units       | Water Rate       | Units       | Water Rate | Units       |   |
| WithCurtain (4.2m)                     | 0.108               | Liter/min/m | 3.678            | Liter/min/m | 3.786      | Liter/min/m | 88.2%   |
|  | 0.0018              | Liter/sec/m | 0.0613           | Liter/sec/m | 0.0631     | Liter/sec/m |   |

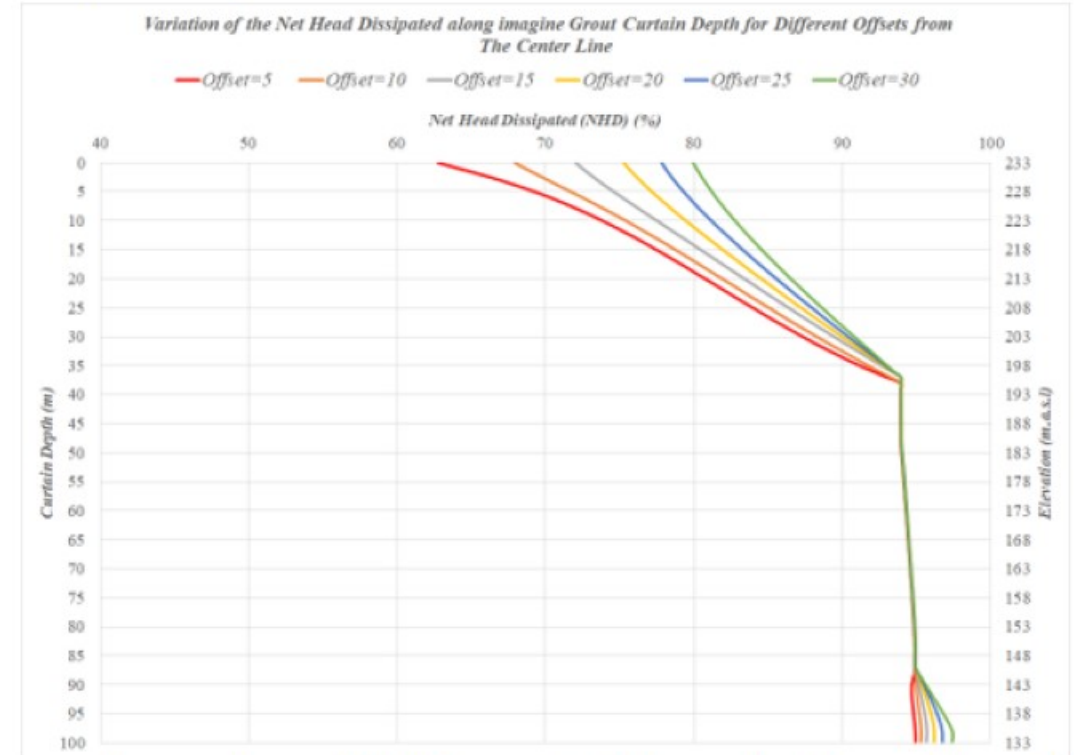


## تحليل الأنموذج العددي عند المحطة (3200):

الحالة الثانية وجود ستارة التحشية العميقة وبسمك (5.2) متر



تغاير مقدار الكفاءة التخيلية مع عمق الستارة والمنسوب وعند مسافات مختلفة عن ستارة التحشية التخيلية



تغاير مقدار صافي الضغط المتشتت (NHD) مع العمق والمنسوب وعند مسافات مختلفة عن ستارة التحشية التخيلية

| Seepage Quantity through Chainage 3200 |                     |             |                  |             |            |             | The Efficiency of The Curtain in Reducing The Seepage |
|--|---------------------|-------------|------------------|-------------|------------|-------------|---|
| Case                                   | From The Embankment |             | From The Bedrock |             | The Total  |             |   |
|  | Water Rate          | Units       | Water Rate       | Units       | Water Rate | Units       |   |
| WithCurtain (5.2m)                     | 0.084               | Liter/min/m | 3.48             | Liter/min/m | 3.564      | Liter/min/m | 88.9%   |
|  | 0.0014              | Liter/sec/m | 0.058            | Liter/sec/m | 0.0594     | Liter/sec/m |   |



## أهم النتائج والاستنتاجات التي تم التوصل إليها من الدراسة :

1. أن قيم صافي الضغط المتشتت (NHD) لمقاطع الدراسة الثلاثة كانت بحدود (51%) في حالة عدم وجود ستارة تحشية. وعليه ليس من الدقة الاعتماد على مقدار صافي الضغط المتشتت (Net Head Dissipated) والمعروف اختصاراً (NHD) في تقييم أداء ستارة التحشية. أو مقارنته مع قيم كفاءة ستارة التحشية؛ لأنه سيعطي تقديرات مبالغ فيها.
2. هنالك تغير في مقدار الكفاءة بحدود (20%) عندما تتراوح المسافة الأفقية بين مواقع المتحسسات ومحور ستارة التحشية بين (5) أمتار و (30) متراً. وعليه يفضل أن تكون مواقع نصب أجهزة مراقبة ضغط الماء المسامي البيزومتر (Piezometers) أقرب ما يمكن إلى ستارة التحشية؛ لأنها سوف تعطي فكرة أكثر دقة عن وضعية ستارة التحشية.
3. يتغير كل من مقدار الكفاءة ومقدار صافي الضغط المتشتت (NHD) على طول عمق ستارة التحشية والبالغ (100) متراً. ويتراوح مقدار هذا الاختلاف بين (10%) ولغاية (30%) من قيمة كفاءة ستارة التحشية. وعليه ينبغي تقييم كفاءة الستارة لكل طبقة جيولوجية على نحو مستقل عن باقي الطبقات.
4. عند زيادة سمك ستارة التحشية من (3.2) متر إلى (5.2) متر سيتحسن أداء الستارة بشكل بسيط. حيث تزداد كفاءة الضغط بحدود (2.5%) وكفاءة التدفق بمقدار (5%) كحد أقصى.



***THE END***



***THANKS FOR YOUR ATTENTION***