

## 3D Electrical Study of Seawater Intrusion within the Superficial Aquifer in Damsarkho Region

Dr. Mohammed Baala\*

Dr. Omar Jafar\*\*

Afraa Alshami\*\*\*

(Received 19 / 6 / 2022. Accepted 7 / 8 / 2022)

### □ ABSTRACT □

The three-dimensional electrical study was conducted based on the results of chemical measurements of water samples taken from wells in the region. We have affected 31 sounding points distributed along five profiles vertical to the shore line, in this study we used the vertical electrical sounding of resistivity, the 1D interpretation of electrical measurements were processed using the IPI2Win program, on the basis of 1D interpretation we built the three-dimensional geoelectric model using the RockWorks program. The three-dimensional modeling process showed that the vertical development of the seawater process towards land may reach an average distance of 950 m, in addition, the rise of the intrusion belt increases towards the north due to the intense pumping and increases depth towards the east, reaching its maximum depth 25 m.

**Keywords:** Seawater intrusion, Electrical resistivity, 3D model, Damsarkho.

---

\* Assistant Professor, Department of Marine Geology, High Institute of Marine Research, Tishreen University, Lattakia, Syria. Mohammedbaala@gmail.com

\*\* Assistant Professor, Department of Geology, Science College, Tishreen University, Lattakia, Syria. Omarjafar@gmail.com

\*\*\* Master student, Department of Marine Geology, High Institute of Marine Research, Tishreen University, Lattakia, Syria. Afraaalshami@gmail.com

## دراسة كهربائية ثلاثية الأبعاد لتداخل مياه البحر مع المياه الجوفية العذبة في منطقة دمسرخو

د. محمد بعلة\*

د. عمر جعفر\*\*

عفرء الشامى\*\*\*

(تاريخ الإيداع 19 / 6 / 2022. قُبِلَ للنشر في 7 / 8 / 2022)

### □ ملخص □

أجريت الدراسة الكهربائية ثلاثية الأبعاد بالاعتماد على نتائج القياسات الكيميائية لعينات مائية مأخوذة من عدد من الآبار المستثمرة في المنطقة. نُقِدَت 31 نقطة سبر موزعة على طول خمسة بروفيلات متعامدة مع خط الشاطئ استُخدم في القياس الكهربائي طريقة السبر الكهربائي العمودي للمقاومية، تمّ التفسير أحادي البعد للقياسات الكهربائية باستخدام برنامج IPI2Win والاعتماد على نتائج هذا التفسير في بناء النموذج الجيوكهربائي ثلاثي الأبعاد باستخدام برنامج RockWorks. أظهرت عملية النمذجة ثلاثية الأبعاد أنّ التطور العمودي لعملية تداخل مياه البحر باتجاه اليابسة قد يصل إلى مسافة وسطية تصل إلى 950م، بالإضافة إلى ذلك يزداد نهوض نطاق التداخل بالاتجاه شمالاً بسبب الضخ الكثيف ويزداد عمقاً بالاتجاه شرقاً ليلبغ عمقاً الأعظمي 25م.

**الكلمات المفتاحية:** تداخل مياه البحر، المقاومة الكهربائية، نموذج ثلاثي الأبعاد، دمسرخو.

\* مدرس، قسم الجيولوجيا البحرية، المعهد العالي للبحوث البحرية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية. Mohammedbaala@gmail.com

\*\* مدرس، قسم الجيولوجيا، كلية العلوم، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية. Omarjafar@gmail.com

\*\*\* طالبة ماجستير، قسم الجيولوجيا البحرية، المعهد العالي للبحوث البحرية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

Afraaalshami@gmail.com

**مقدمة:**

تتميز النطاقات الساحلية بكثافة سكانية كبيرة، حوالي 80 شخص لكل كيلومتر مربع، وهو ضعف متوسط الكثافة السكانية في العالم [1] ، يتطلب النمو السكاني والتنمية المستمرة كميات كبيرة من المياه الأمر الذي يشكل تحدٍ كبير لتأمين الطلب على المياه، في الوقت الذي تكون فيه موارد المياه المتاحة ثابتة تقريباً. على الرغم من أن المياه الجوفية تبدو محمية أكثر من المياه السطحية إلا أنها لا تزال عرضة للتلوث، عادةً ما يُعزى تلوث المياه الجوفية إلى أربعة مصادر: [2]

1. مصادر بيئية: ناتجة عن عوامل بيئية متعددة كتدفق المياه ضمن توضعات رسوبية مختلفة مثل تدفق المياه عبر الصخور الكربوناتيّة، وتداخل مياه البحر وتجاوز المياه المالحة من حامل مجاور.

2. مصادر منزلية: بفعل نشاطات الإنسان المختلفة.

3. تلوث صناعي: الذي يطرح معادن ثقيلة ومواد مشعة.

4. مصادر زراعية: بسبب مياه الري ومياه الأمطار التي تحمل الأسمدة والأملاح ومبيدات الأعشاب والمبيدات الحشرية، وما إلى ذلك، التي تتسلل بدورها عبر سطح الأرض إلى الطبقة الحاملة للمياه الجوفية.

يعد تملح المياه الجوفية بسبب تداخلها مع مياه البحر فئة خاصة من التلوث؛ الأمر الذي يؤدي إلى تدهور جودة المياه الجوفية من خلال رفع ملوحتها إلى مستويات تتجاوز المعايير المسموح بها (حسب المعايير المحلية والعالمية) لاستخدامات الشرب والري [3,4]، حيث يؤدي الضخ المفرط للمياه الجوفية إلى اضطراب التوازن الهيدروديناميكي الموجود بين المياه العذبة – مياه البحر في الخزان الجوفي ويسبب تداخل لمياه البحر مما يؤدي إلى نضوب موارد المياه الجوفية العذبة المتاحة في المناطق الساحلية [5].

عادةً ما يتم دراسة وتحديد نطاق التداخل بواسطة عدة طرائق منها: الطرائق الجيوفيزيائية (عمليات السبر والمسح الجيوكهربائي)، والطرائق الجيوكيميائية التي تشمل تحديد تراكيز بعض العناصر وحساب بعض النسب الجيوكيميائية الدالة على عملية التداخل، بالإضافة إلى الطرائق التجريبية التي تعتمد على تطبيق شروط حقلية معينة مخبرياً لدراسة تطور هذه المشكلة، والطرائق الرقمية التي تعمل على إنشاء النماذج الرياضية التي تحاكي عملية التداخل [6,7,8].

تُعتبر طريقة السبر الكهربائي العمودي التي هي إحدى طرائق قياس المقاومة الكهربائية من أفضل الطرائق البحثية في تحديد مصادر المياه الجوفية ومكانها وتحديد نطاقات التداخل بين المياه العذبة والمياه المالحة أو الملوثة بسبب الفروق الكبيرة جداً بين مقاومة المياه المالحة ومقاومية المياه العذبة وهذا ما يتيح المجال للتفسير الهيدروجيولوجي الدقيق للمعطيات الجيوفيزيائية حيث تشير قيم المقاومة المنخفضة إلى مياه مالحة، بينما تشير قيم المقاومة العالية إلى مياه عذبة، تمّ استخدام هذا التفاوت على نطاق واسع لدراسة تداخل مياه البحر في مختلف المناطق الساحلية [12,11,10,9].

استندت الدراسات السابقة التي تناولت ظاهرة تداخل مياه البحر مع المياه الجوفية في سهل دمسرخو على القياسات الكيميائية لعينات المياه الجوفية ومراقبة منسوب المياه الجوفية [14,13]، واستخدام التقانات النظائرية [15] ، وفي دراسة أجرتها مديرية الموارد المائية في اللاذقية عام 1997م [14] لتحديد التداخل في سهل دمسرخو تبين أنّ طول نطاق التداخل (1800-1400)م وهذا كان طبيعياً بسبب عدم وجود شبكات الري وفي عام 2010 [16] أجريت دراسة تمّ فيها استخدام الطرائق الجيوكهربائية لتحديد التداخل في سهل دمسرخو حيث بلغ طول نطاق التداخل (-1000 1200) م وقد استنتج الباحث أنّ طول النطاق قد تراجع نحو البحر بمقدار (400-600) م بالمقارنة مع نتائج التحاليل الكيميائية التي أجرتها مديرية الموارد المائية في اللاذقية عام 1997م [14] وذلك نتيجة الاعتماد على شبكات الري.

عادةً ما يتم تفسير بيانات المقاومة الظاهرية باستخدام نماذج أحادية البعد (1D) أو ثنائية الأبعاد (2D) [19,18] ، وقد ازداد استخدام النمذجة ثلاثية الأبعاد (3D) في السنوات القليلة الماضية باستخدام الطرائق العكسية أو المباشرة نتيجة تطور سرعة أجهزة الكمبيوتر، حيث تم تطوير العديد من الخوارزميات من قبل العديد من المؤلفين نذكر منهم (Loke and Baker 1996, Yi et al 2001, Zhao and Yedlin 1996) [21, 20,19] لبناء نماذج المقاومة الكهربائية ثلاثية الأبعاد اعتماداً على الطرائق العكسية أو المباشرة وباستخدام طرائق نمذجة مختلفة مثل الفروق المحدودة والعناصر المحدودة وطريقة المربعات الصغرى.

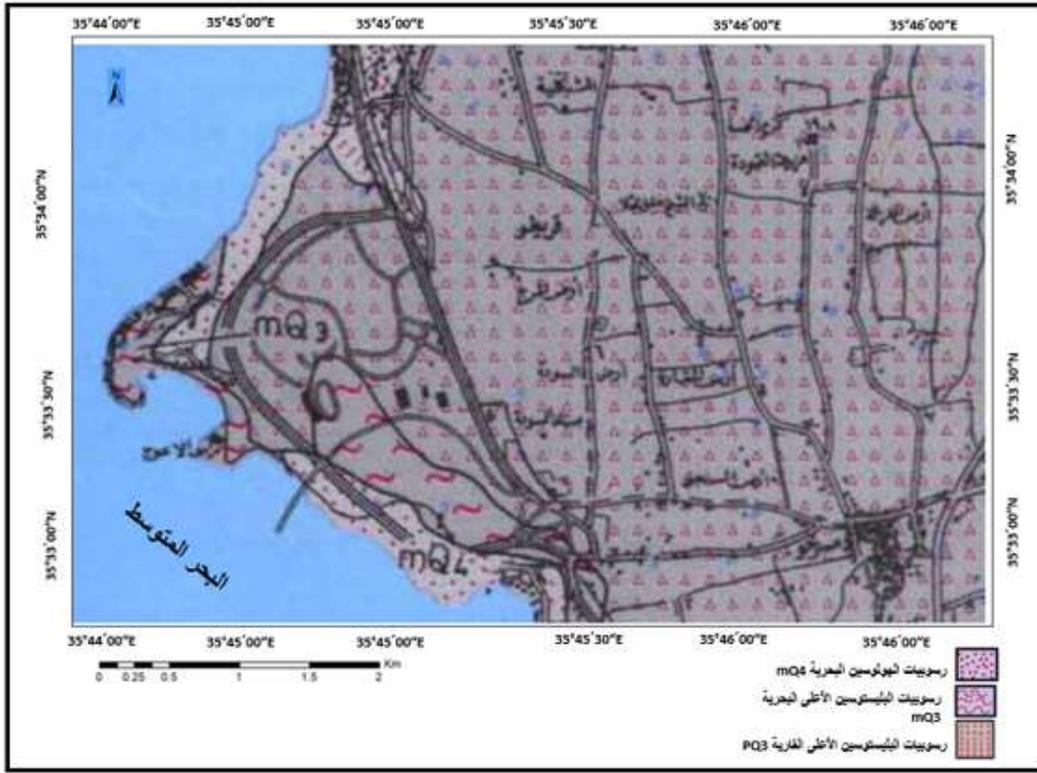
كما يمكن بناء النماذج ثلاثية الأبعاد للمقاومية الكهربائية الحقيقية انطلاقاً من نتائج التفسير أحادي البعد لقياسات المقاومة الكهربائية الظاهرية وذلك باستخدام برامج متخصصة نذكر منها برنامج RockWorks، اعتمدت هذه الطريقة من قبل عدد من الباحثين منهم: (Susilo, A.,2014, Oyonga, O et al.,2017) [23,22]. في الدراسة الحالية تم الاعتماد على هذه الطريقة حيث تم استخدام برنامج IPI2win للتفسير أحادي البعد وبرنامج RockWorks للحصول على النموذج الجيوكهربائي ثلاثي الأبعاد انطلاقاً من التفسير أحادي البعد.

#### موقع وميزات منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة إلى الشمال من مدينة اللاذقية يحدها من الشمال رأس ابن هاني، ومن الغرب البحر المتوسط، ومن الشرق طريق اللاذقية- كسب. تتكشف الرسوبيات الرباعية في منطقة الدراسة متمثلة بتوضعات البليستوسين الأعلى PQ3 التي تشغل حوالي 85% من منطقة الدراسة مكونة من ركام المنحدرات وحطام الصخور القاسية وحصى غير منتقاة زاوية وتحت زاوية كما لوحظ انتشار لتوضعات بحرية بليستوسينية mQ3 تتألف من حجر رملي متوسط القساوة، وفي مناطق قليلة ومتفرقة من منطقة الدراسة تنتشر توضعات الهولوسين متمثلة بالتوضعات البحرية mQ4 التي تتألف من حصى جيدة الاستدارة متنوعة التركيب ورمال وأحياناً كونغلواميرا، واحجار كلسية [24,25] (شكل 1).

#### أهمية البحث وأهدافه:

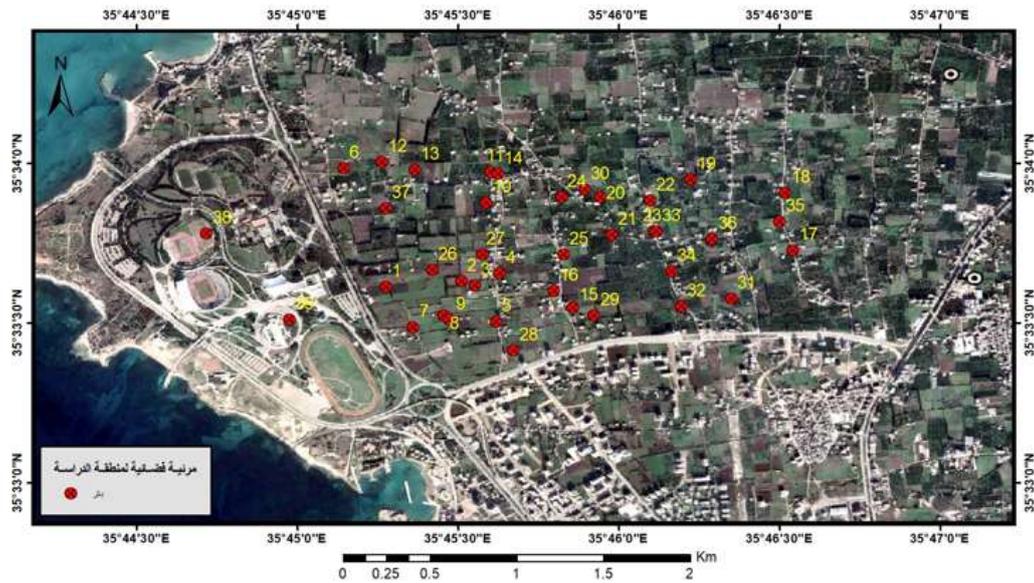
تأتي أهمية هذا البحث في الوقوف على الواقع الآتي لحامل المياه الجوفية السطحية في منطقة دمسرخو حيث تعاني هذه المنطقة من مشاكل في جودة المياه الجوفية ناتجة عن ارتفاع تراكيز الأملاح فيها بفعل تأثيرها بمياه البحر. يهدف البحث إلى تقييم ظاهرة التداخل في منطقة الدراسة اعتماداً على إنشاء محاكاة ثلاثية الأبعاد وتحديد طول وعمق نطاق التداخل باستخدام بيانات السبر الكهربائي العمودي وفق تشكيل Schlumberger.



شكل 1 خريطة جيولوجية لمنطقة الدراسة

## طرائق البحث ومواده:

تمّ جمع 39 عينة مائية خلال شهر أيلول عام 2019 من 39 بئر مستثمرة موزعة بشكل متجانس تقريباً عبر منطقة الدراسة (شكل 2) حيث أخذت إحدائيات الآبار وأعماقها وارتفاعاتها الطبوغرافية وقياس أعماق توضع المياه الجوفية في كل بئر باستخدام جهاز قياس المناسب (بكرة قياس - حساس صوتي)، كما نُفذت قياسات حقلية للناقلية الكهربائية للعينات المائية (جدول 1). تحديد تراكيز الكلور والصوديوم للعينات المائية المأخوذة تمت في مديرية الموارد المائية في اللاذقية باستخدام طريقة المعايرة لتحديد تركيز الكلور وجهاز Flam Photo Meter لتحديد تركيز الصوديوم، أما الملوحة فقد تمّ حسابها من خلال العلاقة الرياضية التي تربطها مع الناقلية الكهربائية:  $S = 0.65 \times EC$  حيث (S): الملوحة، EC: الناقلية الكهربائية [2]. لتحديد تأثير مياه البحر على ملوحة المياه الجوفية تمّ استخدام النسبة الجيوكيميائية Na/Cl (جدول 1). بالنسبة لصلاحية مياه الآبار للشرب تمّ الاعتماد في تقييمها على الحدود المسموح بها وفق المواصفات القياسية السورية [4]، وصلاحيتها للري وفق منظمة الصحة العالمية للأغذية والزراعة FAO [3] (جدول 3,2).



شكل 2 مرئية فضائية تظهر منطقة الدراسة مسقطاً عليها آبار الاعتيان

جدول 1 الرصد الكيميائي للعينات المائية المأخوذة من آبار الاعتيان خلال شهر أيلول لعام 2019

| رقم البئر | خط العرض       | خط الطول       | الارتفاع (m) | عمق البئر (m) | عمق تواضع المياه الجوفية (m) | منسوب المياه (m) | النقلية الكهربائية (μs/cm) | الملوحة (mg/l) | تركيز الكلور (mg/l) | تركيز الصوديوم (mg/l) | Na/Cl ميلي مكافئ |
|-----------|----------------|----------------|--------------|---------------|------------------------------|------------------|----------------------------|----------------|---------------------|-----------------------|------------------|
| 1         | 35° 33' 36.6"  | 35° 45' 16.4"  | 3            | 12            | 2.5                          | 0.5              | 4210                       | 2736           | 1280                | 550                   | 0.429            |
| 2         | 35° 33' 37.7"  | 35° 45' 30.7"  | 4            | 13            | 2                            | 2                | 2680                       | 1742           | 640                 | 310                   | 0.484            |
| 3         | 35° 33' 37.09" | 35° 45' 33.17" | 3            | 12            | 2.5                          | 0.5              | 3200                       | 2080           | 800                 | 430                   | 0.5375           |
| 4         | 35° 33' 39.4"  | 35° 45' 37.8"  | 4            | 11            | 3.5                          | 0.5              | 2320                       | 1508           | 560                 | 280                   | 0.5              |
| 5         | 35° 33' 30.26" | 35° 45' 37"    | 4            | 12            | 3.1                          | 0.9              | 1510                       | 982            | 190                 | 130                   | 0.684            |
| 6         | 35° 33' 59"    | 35° 45' 8.6"   | 4            | 9             | 3                            | 1                | 4085                       | 2655.5         | 1020                | 415                   | 0.406            |
| 7         | 35° 33' 29.11" | 35° 45' 21.63" | 2            | 12            | 1.7                          | 0.3              | 3450                       | 2242.5         | 950                 | 860                   | 0.905            |
| 8         | 35° 33' 31.4"  | 35° 45' 27.5"  | 3            | -             | 2                            | 1                | 3100                       | 2015           | 850                 | 1150                  | 1.352            |
| 9         | 35° 33' 30.69" | 35° 45' 28.41" | 3            | 12            | 2.68                         | 0.32             | 2250                       | 1462.5         | 550                 | 520                   | 0.945            |
| 10        | 35° 33' 52.7"  | 35° 45' 35.3"  | 5            | 6             | 3                            | 2                | 1280                       | 832            | 250                 | 750                   | 3                |
| 11        | 35° 33' 58.3"  | 35° 45' 35.9"  | 5            | 8             | 6                            | -1               | 1935                       | 1257.75        | 450                 | 160                   | 0.355            |
| 12        | 35° 33' 59.97" | 35° 45' 15.86" | 4            | 6             | 2.3                          | 1.7              | 2570                       | 1670           | 540                 | 175                   | 0.324            |
| 13        | 35° 33' 58.55" | 35° 45' 22.10" | 4            | 11            | 3.4                          | 0.6              | 2820                       | 1833           | 680                 | 235                   | 0.345            |
| 14        | 35° 33' 58.13" | 35° 45' 37.56" | 5            | 9             | 3.95                         | 1.05             | 1785                       | 1160           | 340                 | 150                   | 0.44             |
| 15        | 35° 33' 32.71" | 35° 45' 51.32" | 5            | 9             | 4.4                          | 0.6              | 2070                       | 1345           | 420                 | 135                   | 0.32             |
| 16        | 35° 33' 36.05" | 35° 45' 47.70" | 4            | 10            | 3.9                          | 0.1              | 1500                       | 975            | 300                 | 115                   | 0.38             |
| 17        | 35° 33' 43.71" | 35° 46' 32.60" | 8            | 9             | 6.38                         | 1.62             | 1190                       | 773            | 104                 | 57                    | 0.55             |
| 18        | 35° 33' 54.49" | 35° 46' 31.21" | 8            | 15            | 6.18                         | 1.82             | 1208                       | 785            | 112                 | 52                    | 0.46             |
| 19        | 35° 33' 56.72" | 35° 46' 13.55" | 8            | 21            | 4.7                          | 3.3              | 1296                       | 842            | 148                 | 53                    | 0.36             |
| 20        | 35° 33' 53.5"  | 35° 45' 56.6"  | 6            | 7             | 5                            | 1                | 1800                       | 1170           | 175                 | 75                    | 0.428            |
| 21        | 35° 33' 46.5"  | 35° 45' 58.7"  | 7            | 12            | 7                            | 0                | 1272                       | 826.8          | 125                 | 170                   | 1.36             |
| 22        | 35° 33' 52.8"  | 35° 46' 05.8"  | 8            | 8             | 7                            | 1                | 1226                       | 796.9          | 100                 | 70                    | 0.7              |
| 23        | 35° 33' 47.1"  | 35° 46' 06.6"  | 6            | 12            | 6                            | 0                | 1223                       | 794.95         | 100                 | 60                    | 0.6              |
| 24        | 35° 33' 53.7"  | 35° 45' 49.4"  | 6            | 10            | 6.5                          | -0.5             | 2140                       | 1391           | 400                 | 75                    | 0.1875           |
| 25        | 35° 33' 42.9"  | 35° 45' 49.5"  | 5            | 12            | 5                            | 0                | 1290                       | 838.5          | 100                 | 150                   | 1.5              |
| 26        | 35° 33' 40.06" | 35° 45' 25.1"  | 3            | 7             | 2                            | 1                | 2710                       | 1761.5         | 700                 | 140                   | 0.2              |
| 27        | 35° 33' 42.7"  | 35° 45' 34.7"  | 4            | 15            | 2.66                         | 1.34             | 1346                       | 874.9          | 225                 | 107.5                 | 0.477            |
| 28        | 35° 33' 24.9"  | 35° 45' 40.5"  | 3            | 10            | 2.5                          | 0.5              | 2660                       | 1729           | 550                 | 280                   | 0.509            |
| 29        | 35° 33' 31.4"  | 35° 45' 55.6"  | 4            | 11            | 3.4                          | 0.6              | 1878                       | 1220.7         | 350                 | 172.5                 | 0.492            |
| 30        | 35° 33' 55.1"  | 35° 45' 53.7"  | 6            | 15            | 4                            | 2                | 1292                       | 839.8          | 130                 | 68.1                  | 0.523            |
| 31        | 35° 33' 34.7"  | 35° 46' 20.9"  | 6            | 14            | 5.2                          | 0.8              | 3003                       | 1951.95        | 750                 | 230                   | 0.3066           |

جدول 1 الرصد الكيميائي للعينات المائية المأخوذة من آبار الاعتيان خلال شهر أيلول لعام 2019

| رقم البئر | خط العرض       | خط الطول       | الارتفاع (m) | عمق البئر (m) | عمق توضع المياه الجوفية (m) | منسوب المياه (m) | الناقلية الكهربائية ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) | الملوحة (mg/l) | تركيز الكلور (mg/l) | تركيز الصوديوم (mg/l) | Na/Cl ميلي مكافئ |
|-----------|----------------|----------------|--------------|---------------|-----------------------------|------------------|---|----------------|---------------------|-----------------------|------------------|
| 32        | 35° 33' 33"    | 35° 46' 11.8"  | 6            | 13            | 3.65                        | 2.35             | 2110  | 1371.5         | 375                 | 185                   | 0.4933           |
| 33        | 35° 33' 47"    | 35° 46' 07.0"  | 7            | 12            | 10                          | -3               | 1415  | 919.75         | 150                 | 90                    | 0.6              |
| 34        | 35° 33' 39.6"  | 35° 46' 10"    | 10           | 15            | 6                           | 4                | 1930  | 1254.5         | 350                 | 150                   | 0.428            |
| 35        | 35° 33' 49.1"  | 35° 46' 30.1"  | 9            | 12            | 6                           | 3                | 1130  | 734.5          | 90                  | 53                    | 0.588            |
| 36        | 35° 33' 45.6"  | 35° 46' 17.4"  | 6            | 13            | 5                           | 1                | 1290  | 838.5          | 145                 | 62                    | 0.427            |
| 37        | 35° 33' 51.6"  | 35° 45' 16.6"  | 3            | 8             | 2                           | 1                | 2680  | 1742           | 850                 | 130                   | 0.153            |
| 38        | 35° 33' 46.81" | 35° 44' 43.13" | 3            | 8             | 7                           | -4               | 6153.9  | 4000           | 2200                | 1228                  | 0.558            |
| 39        | 35° 33' 30.70" | 35° 44' 58.4"  | 6            | 12            | 11                          | -5               | 843   | 547.95         | 40                  | 31.25                 | 0.293            |

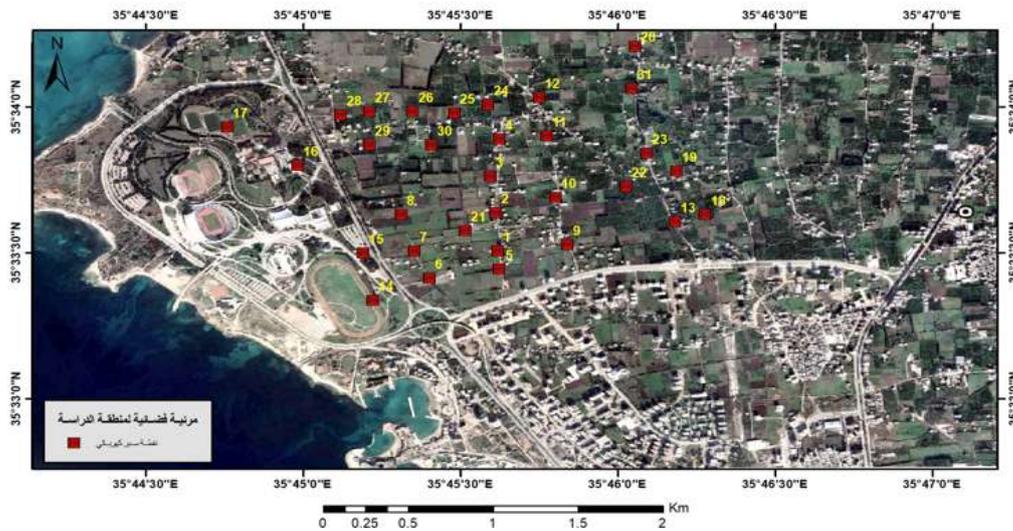
جدول 2 الحدود المسموح بها في الجمهورية العربية السورية لتقييم صلاحية مياه الشرب حسب المواصفة القياسية السورية [3].

| المكون              | الرمز | الوحدة                  | الحد المسموح به حسب المواصفة السورية (2007) |
|---------------------|-------|-------------------------|---|
| الناقلية الكهربائية | EC    | $\mu\text{s}/\text{cm}$ | 1500  |
| الكلور              | Cl    | mg/l                    | 250   |
| الصوديوم            | Na    | mg/l                    | 200   |

جدول 3 تصنيف نوعية المياه المستخدمة للري حسب (FAO) [4]

| TDS (mg/l)  | الناقلية الكهربائية (مليلموس/سم) | نوعية المياه ودرجة المشكلة                        |
|-------------|----------------------------------|---|
| أصفر من 450 | أصفر من 700                      | مياه ذات مواصفات جيدة ولا يسبب استخدامها أي مشاكل |
| 450-2000    | 700-3000                         | يسبب استخدام هذه المياه بعض المشاكل               |
| >2000       | >3000                            | يسبب استخدام هذه المياه مشاكل حادة                |

استُخدمت نتائج التحاليل الكيميائية كأساس مرجعي لتحديد مواقع السبر الكهربائي، حيث اعتمدت 31 نقطة سبر موزعة بشكل متجانس في المنطقة على طول خمسة بروفيلات متعامدة مع خط الشاطئ (شكل 3، جدول 4).

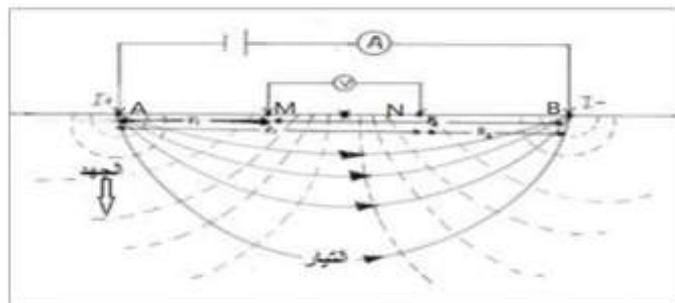


شكل 3 مرئية فضائية تظهر منطقة الدراسة مسقطاً عليها نقاط السبر الكهربائي

جدول 4 إحداثيات نقاط السبر الكهربائي

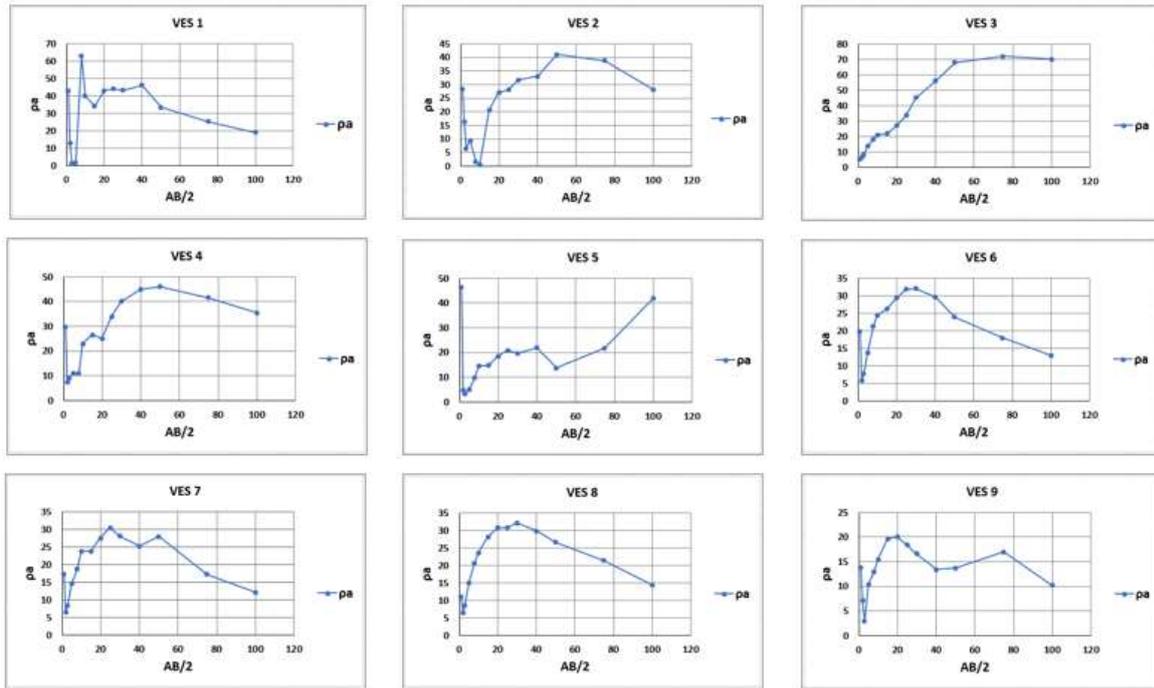
| رقم نقطة السبر | خط العرض     | خط الطول     | الارتفاع (m) |
|----------------|--------------|--------------|--------------|
| 1              | 35°33'30.2"  | 35°45'37"    | 4            |
| 2              | 35°33'38.2"  | 35°45'36.6"  | 4            |
| 3              | 35°33'45.6"  | 35°45'35.7"  | 4            |
| 4              | 35°33'53.4"  | 35°45'37.4"  | 5            |
| 5              | 35°33'26.8"  | 35°45'37.4"  | 3            |
| 6              | 35°33'25.0"  | 35°45'24.2"  | 2            |
| 7              | 35°33'30.4"  | 35°45'21.4"  | 2            |
| 8              | 35°33'37.7"  | 35°45'18.8"  | 2            |
| 9              | 35°33'31.8"  | 35°45'50.5"  | 4            |
| 10             | 35°33'41.5"  | 35°45'48.2"  | 4            |
| 11             | 35°33'54.1"  | 35°45'46.6"  | 5            |
| 12             | 35°34'02.0"  | 35°45'45.0"  | 6            |
| 13             | 35°33'36.2"  | 35°46'10.9"  | 6            |
| 14             | 35°33'20.3"  | 35°45'13.3"  | 3            |
| 15             | 35°33'29.9"  | 35°45'11.5"  | 3            |
| 16             | 35°33'47.8"  | 35°44'58.8"  | 3            |
| 17             | 35°33'55.7"  | 35°45'45.6"  | 3            |
| 18             | 35°33'37.8"  | 35°46'16.5"  | 7            |
| 19             | 35°33'46.8"  | 35°46'11.4"  | 7            |
| 20             | 35°34'12.3"  | 35°46'03.2"  | 7            |
| 21             | 35°33'34.60" | 35°45'31.06" | 3            |
| 22             | 35°33'43.48" | 35°46'1.38"  | 6            |
| 23             | 35°33'50.32" | 35°46'5.62"  | 7            |
| 24             | 35°34'0.56"  | 35°45'35.27" | 5            |
| 25             | 35°33'58.83" | 35°45'28.70" | 5            |
| 26             | 35°33'59.06" | 35°45'20.86" | 4            |
| 27             | 35°33'59.00" | 35°45'12.44" | 3            |
| 28             | 35°33'58.28" | 35°45'7.25"  | 4            |
| 29             | 35°33'52.19" | 35°45'12.66" | 4            |
| 30             | 35°33'52.21" | 35°45'24.31" | 4            |
| 31             | 35°34'3.63"  | 35°46'2.61"  | 7            |

نُفذت عملية السبر الكهربائي العمودي باستخدام جهاز iris syscal حيث استُخدم تشكيل شلمبرجير الذي يعتمد على إرسال التيار الكهربائي باستخدام الإلكترودين (A,B) فينشأ حقل كهربائي في طبقات الأرض، يقاس فرق الكمون الناتج عن هذا الحقل باستخدام الإلكترودين (M,N) حيث يكون:  $AB \geq 5MN$ ، تُحسب قيمة المقاومة الظاهرية  $\rho_a$  وفق تشكيل شلمبرجير بالعلاقة:  $\rho_a = \pi \Delta V / I * ((AB/2)^2 - (MN/2)^2) / MN$ ، للحصول على معلومات عن القطاعات الأعمق يمكن زيادة المسافة الأفقية بين الكترودات التيار (شكل 4).

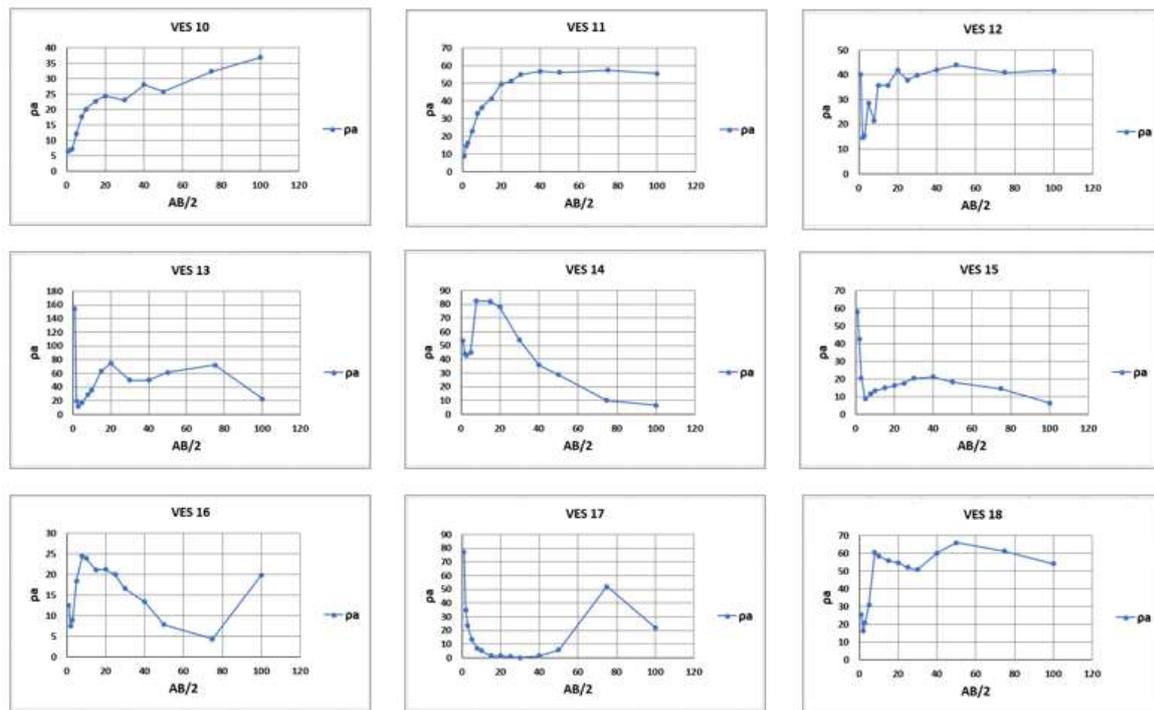


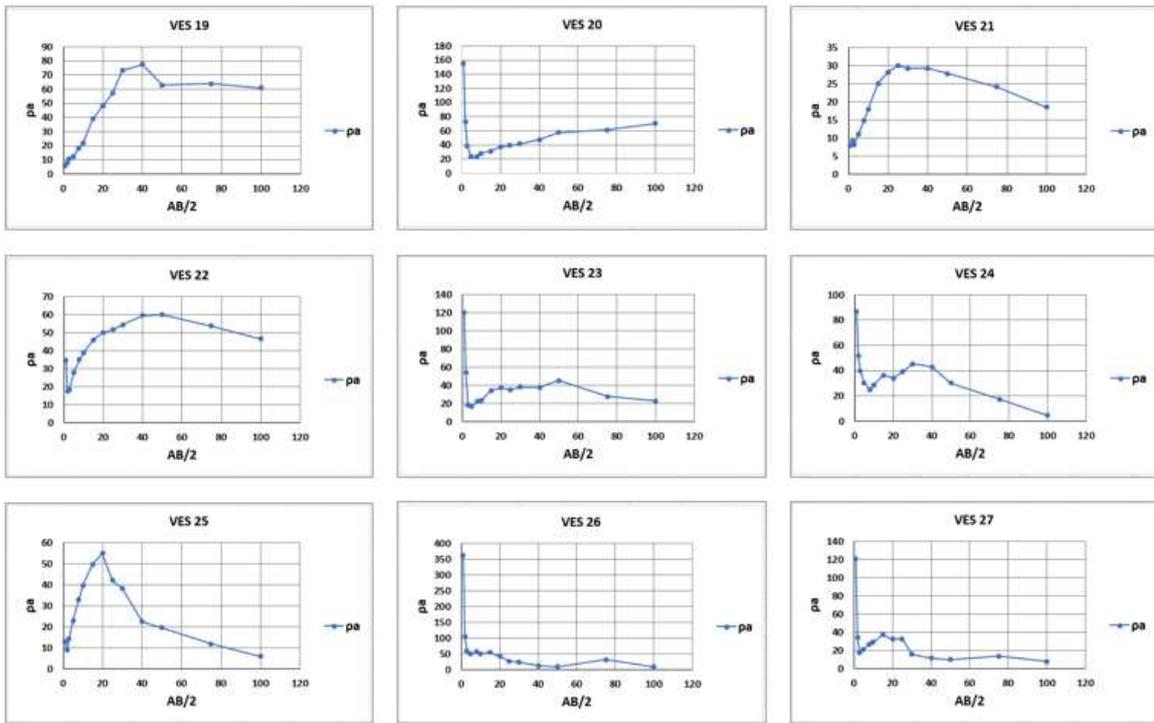
شكل 4 يوضح خطوط التيار وخطوط فرق الكمون في الأرض وفق تشكيل شلمبرجير

نلاحظ وجود تباينات كبيرة في منحنيات قياس المقاومة الظاهرية (الشكل 5) لنقاط السبر جميعها، حيث تم أخذ 14 تباعد مختلف لإلكترودي التيار لكل نقطة سبر كهربائي، وكانت المسافات المحددة بين إلكترودي التيار (AB/2) هي: 1,2,3,5,8,10,15,20,25,30,40,50,75,100 m

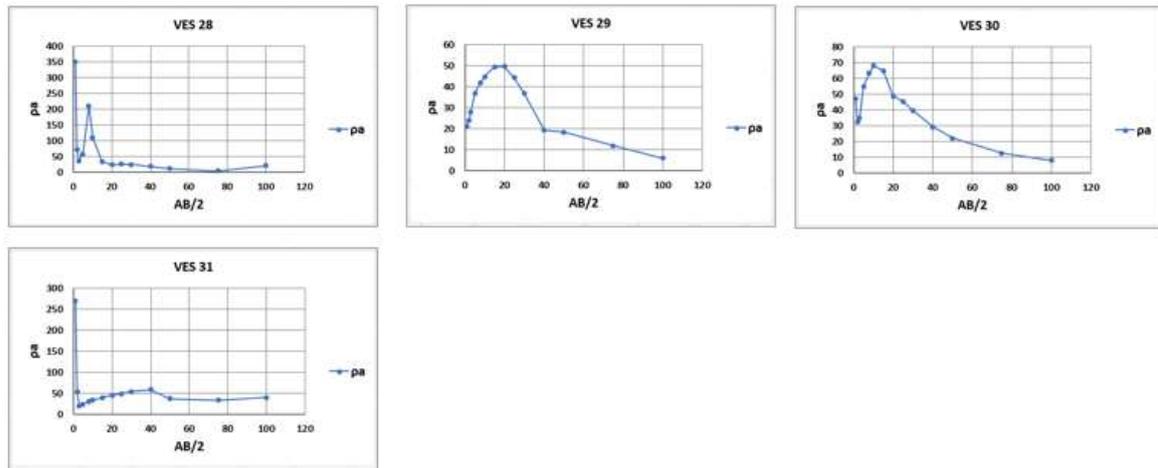


شكل 5 قياسات المقاومة الظاهرية لنقاط السبر الكهربائي العمودي



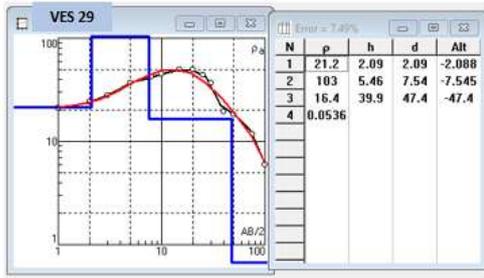


شكل 5 قياسات المقاومة الظاهرية لنقاط السبر الكهربائي العمودي

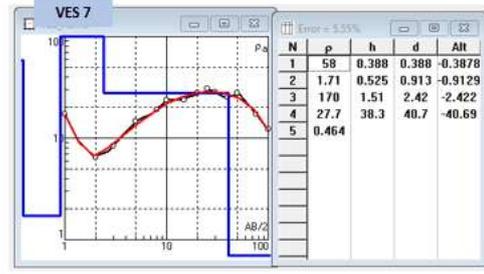


شكل 5 قياسات المقاومة الظاهرية لنقاط السبر الكهربائي العمودي

تمت معالجة نتائج القياسات الكهربائية باستخدام برنامج IPI2Win المتخصص بالتفسير أحادي البعد للمعطيات الجيوكهربائية المقاسة في الحقل والذي يعتمد على الطريقة التكرارية في التفسير من خلال التقريب بين المنحني النظري للمقاومة الظاهرية ومنحني القياس وصولاً إلى تحقيق تقارب مرضي بين المنحنيين نستطيع من خلاله تحديد عدد الطبقات الجيوكهربائية ومقاومتها الحقيقية أسفل كل نقطة سبر كهربائي، حيث تم اختيار نقطتين نموذجيتين عن كل نقاط السبر بحيث توضحان تناقص قيم المقاومة مع العمق كدليل على زيادة الملوحة (شكل 6).



(b)



(a)

مثال عن منحنى المقاومة الظاهرية بالعلاقة مع تباعد الأقطاب AB/2 لنقطة السبر 29 مع نتائج التفسير العكسي أحادي البعد باستخدام IPI2Win حيث نلاحظ انخفاض المنحنى المقاومي مع العمق دليل على تعرض المياه الجوفية لتداخل مياه البحر، يلاحظ وجود أربع طبقات جيوكهربيائية بلغت مقاومة الطبقة الأخيرة 0.05357 أوم. م دليل على التأثير بنطاق التداخل في الأعماق. [11,10].

مثال عن منحنى المقاومة الظاهرية بالعلاقة مع تباعد الأقطاب AB/2 لنقطة السبر 7 مع نتائج التفسير العكسي أحادي البعد باستخدام IPI2Win حيث نلاحظ انخفاض المنحنى المقاومي مع العمق دليل على تعرض المياه الجوفية لتداخل مياه البحر، يمكن ملاحظة خمس طبقات جيوكهربيائية تختلف مقاومة كل طبقة بدءاً من أعلى قيمة 170.3 أوم. م إلى أدنى

#### شكل 6 تفسير أحادي البعد للمقاومية الكهربيائية الظاهرية باستخدام برنامج IPI2Win لنقطتي السبر 29,7

في النمذجة ثلاثية الأبعاد تم استخدام البرنامج الجيولوجي الإحصائي RockWorks الذي يساعد في إنشاء خرائط جيوتقنية مفصلة ثنائية وثلاثية الأبعاد ونماذج ثلاثية الأبعاد. يقدم هذا البرنامج بشكل عام خيارات لتحليل البيانات السطحية والجوفية حيث يقبل العديد من البيانات (السنترغرافية، الليتولوجية، القياسات الجيوكيميائية، القياسات الجيوفيزيائية، بيانات الآبار النفطية، خزانات المياه الجوفية، بالإضافة إلى البيانات التي تتعلق بالتعدين والخدمات البيئية). يعتمد برنامج RockWorks في البداية على إنشاء قاعدة بيانات للمشروع المراد تنفيذه، في الدراسة الحالية استخدمت نتائج تفسير IPI2Win وإحداثيات نقاط القياس كقاعدة بيانات لإنشاء النموذج الجيوكهربيائي ثلاثي الأبعاد (شكل 9,10,11).

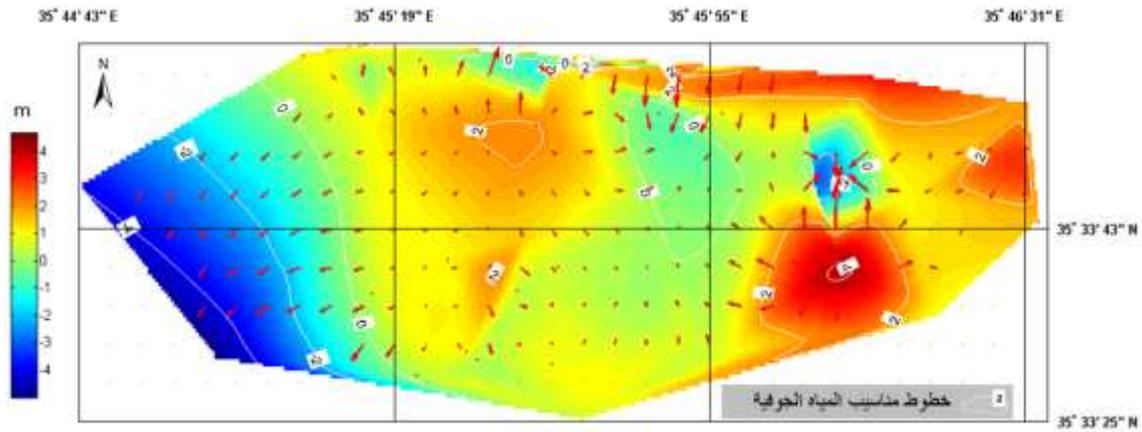
### النتائج والمناقشة:

#### منسوب المياه الجوفية

يتأثر نظام المياه الجوفية في المناطق الساحلية والمناطق القريبة من الأنهار بشكل مباشر مع نظام المياه السطحية حيث تتوافق المناسيب الدنيا للمياه الجوفية مع سنوات الجفاف والمناسيب العظمى مع السنوات الرطبة [26]، كما تتأثر التغيرات الفصلية بمناسيب المياه الجوفية بشكل رئيسي بكمية الأمطار ودرجات حرارة التربة.

تم إنشاء خريطة المنسوب (شكل 7) بالاعتماد على القراءات المأخوذة حقلياً لارتفاع مناسيب المياه الجوفية من آبار الاعتيان (جدول 1) وذلك باستخدام برنامج Matlab، نلاحظ أن منسوب المياه الجوفية يرتفع بشكل عام إلى الشرق إلى حدود وسطى (4م)، ويتدرج بالانخفاض حتى (-4م) قد يكون السبب في هذا الانخفاض الكبير وجود مجاري مائية باتجاه الجنوب أدت حدوث جريان جانبي للمياه الجوفية باتجاه هذه المجاري. إن حركة المياه الجوفية بشكل عام تكون من الشمال الشرقي باتجاه الغرب والجنوب الغربي وهذا ما يتفق مع حركة التيار الجوفي في منطقة السهل الساحلي الذي تقع ضمنه آبار الاعتيان حيث تصرف معظم المياه الجوفية في البحر، قد يحصل اضطراب في هذه الحركة لاسيما في منطقة تواجد الآبار الزراعية والآبار الواقعة ضمن المناطق السكنية نذكر الآبار (11,24,33) حيث بلغ

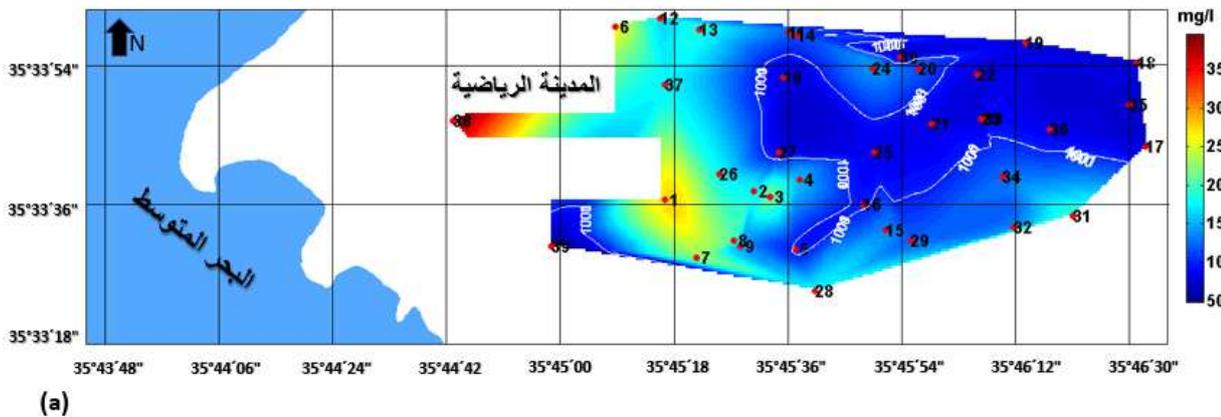
منسوب المياه فيها على التوالي (-1,-0.5,-3)م ترافقت المناسب المنخفضة مع ازدياد أعماق توضع المياه الجوفية في الآبار بالنسبة إلى ارتفاعاتها الطبوغرافية (جدول 1) بسبب ازدياد فترات ومعدلات الضخ. تزداد سرعة التدفق من الشرق باتجاه الغرب كما هو موضح في (الشكل 7) مع وجود بعض الاستثناءات المحلية نذكر الآبار (11,24,33) ناتجة عن الضخ المفرط.



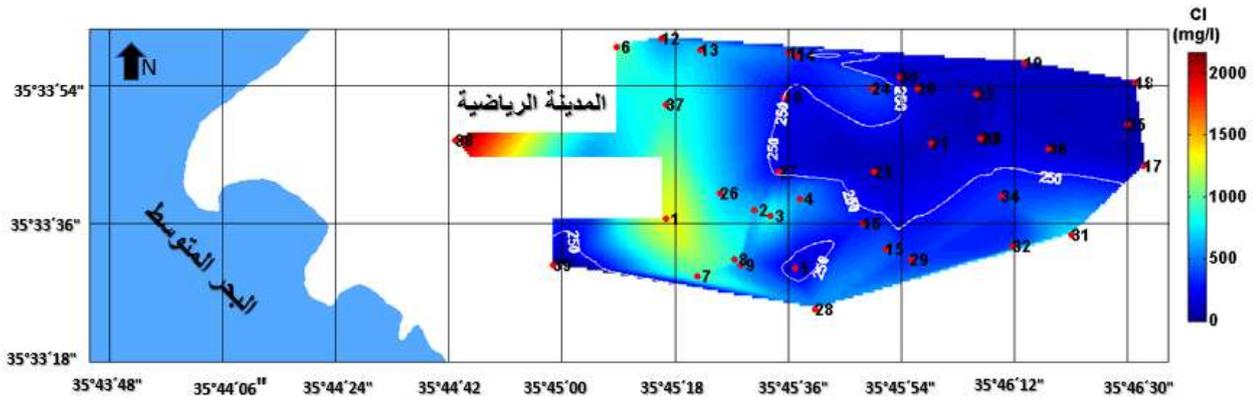
شكل 7 خريطة منسوب المياه الجوفية خلال شهر أيلول لعام 2019

#### نتائج الرصد الكيميائي

أظهرت نتائج الرصد الكيميائي للعينات المأخوذة ارتفاع في قيم الملوحة للعينات المائية القريبة من خط الشاطئ والعينات البعيدة نسبياً عن خط الشاطئ بسبب ارتفاع معدل الضخ حيث تجاوزت قيم الملوحة في هذه العينات 1000 ملغ/ل (شكل 8a, جدول 1)، ترافقت الملوحة المرتفعة مع ازدياد في تركيز شاردة الكلور لتتجاوز 250ملغ/ل (شكل 8b, جدول 1) وازدياد في تركيز شاردة الصوديوم حيث تجاوزت 200ملغ/ل (شكل 8c, جدول 1) لتصبح مياه هذه الآبار غير صالحة لمعظمها للشرب والري حسب المواصفات القياسية السورية ومنظمة FAO [4,3]. أعطت النسبة الجيوكيميائية Na/Cl (شكل 8d, جدول 1) مؤشراً أنّ مصدر ملوحة المياه الموجودة في الآبار من أصل بحري حيث لم تتجاوز النسبة Na/Cl القيمة 0.84 [27]، في حين تجاوزت القيمة 0.84 في البئر 10, 8 (جدول 1) ويعزى ذلك إلى التلوث بمياه الصرف الصحي والزراعي، إضافةً إلى طغيان مياه البحر بسبب الضخ الجائر للمياه الجوفية من قبل الأهالي.

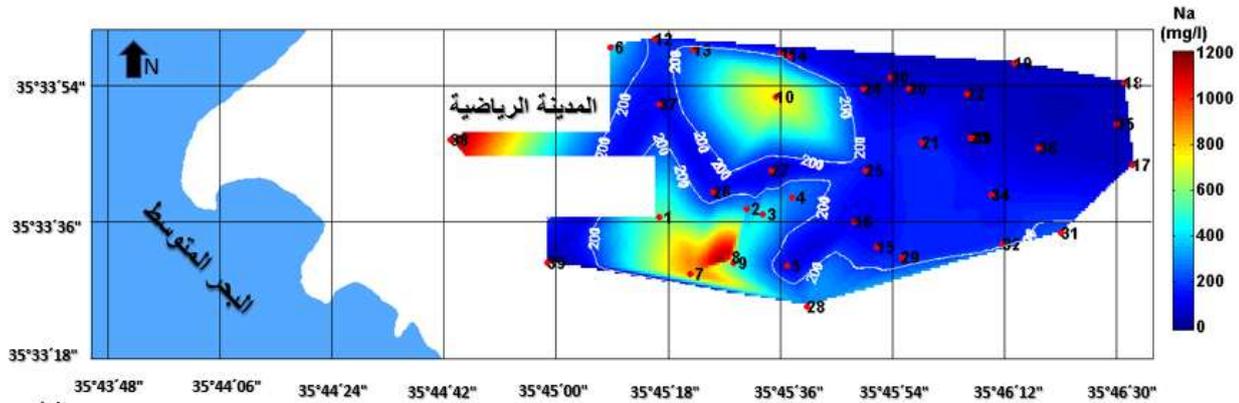


شكل 8: a خريطة توزيع الملوحة خلال شهر أيلول لعام 2019



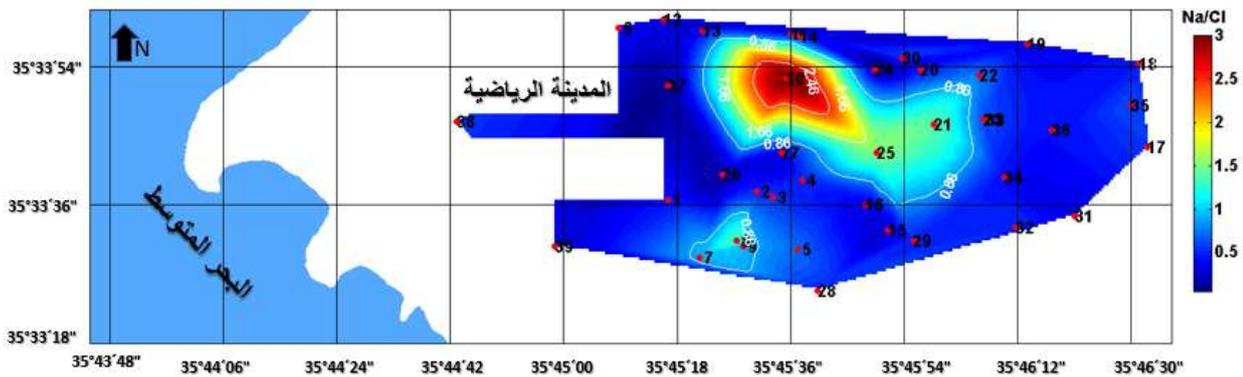
(b)

شكل 8: b خريطة توزيع الكلور خلال شهر أيلول لعام 2019



(c)

شكل 8: c خريطة توزيع الصوديوم خلال شهر أيلول لعام 2019



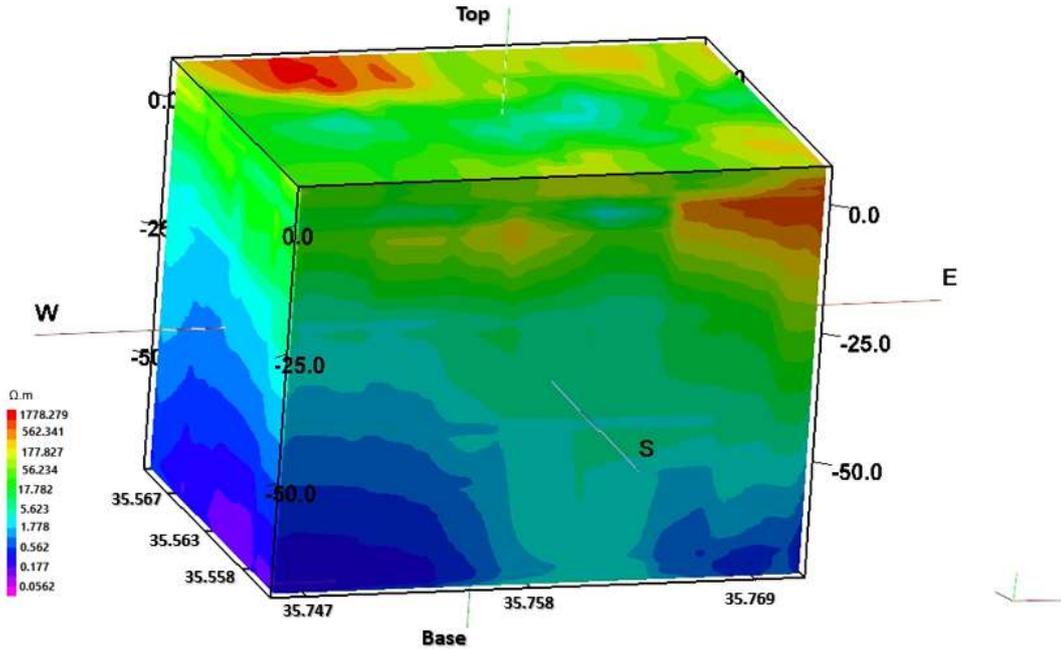
(d)

شكل 8: d خريطة النسبة الجيوكيميائية Na/Cl خلال شهر أيلول لعام 2019

النمذجة ثلاثية الأبعاد للمقاومية الكهربائية

يُظهر النموذج الجيوكهربائي ثلاثي الأبعاد (شكل 9) قيم المقاومة التي تتراوح بين (0.0562, 1778.279 أوم.م) ، تتراوح قيم المقاومة المنخفضة إلى المتوسطة بين 0.0562 أوم.م إلى 5.623 أوم.م. وفقاً ل ( Gurnadha Rao , )

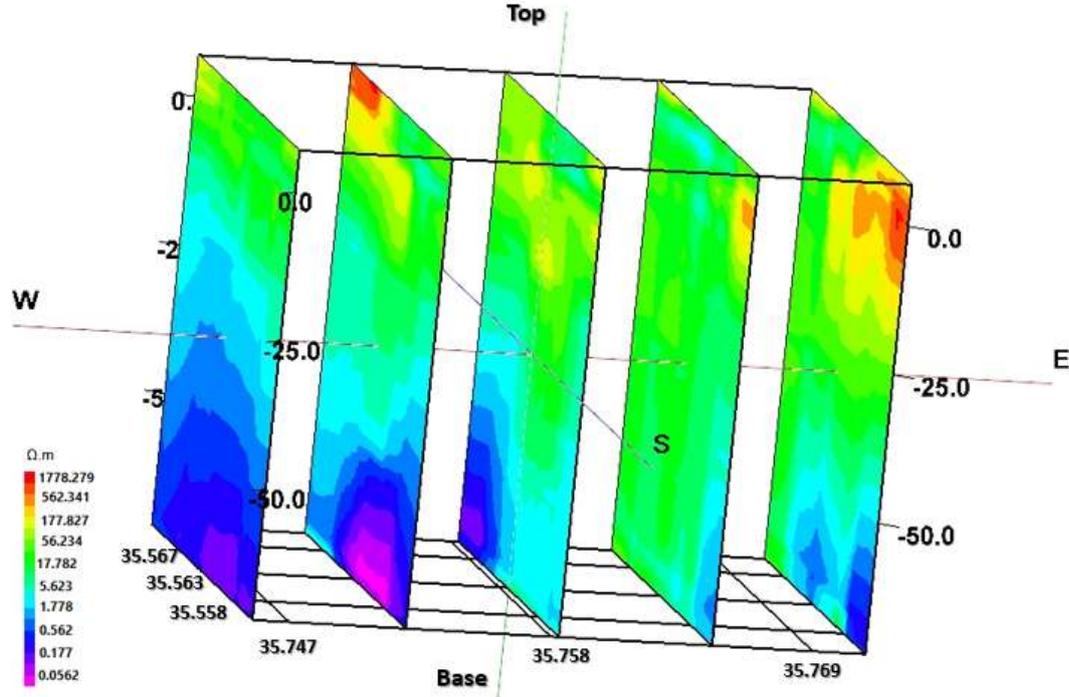
[28] (Tamma Rao, et al., 2011) وحسب ماورد في الخريطة الجيولوجية لرقعة اللاذقية وبناءً على التوضعات المنتشرة في منطقة الدراسة [25] يمكن أن يُمثل نطاق المقاومة المنخفض الذي يتراوح بين 0.0562 أوم. م إلى 0.562 أوم.م طبقة رملية مشبعة بالمياه المالحة ناتجة عن وجود نطاق التداخل الذي يقع على عمق 25م ونتيجة لزيادة عمليات الضخ شمالاً فقد وصل عمق نطاق التداخل إلى حدود 15م، ويزداد بالاتجاه شرقاً عمق نطاق التداخل بسبب الاعتماد على قنوات الري وبالتالي تناقص عمليات الضخ من الآبار ليصبح بحدود 25م. تتباين قيم المقاومة عند السطح بسبب عدم تجانس التربة، قد تظهر بعض القيم العالية الشاذة عند السطح (1778.279 أوم.م) يمكن تفسيرها على أنها تربة زراعية اكتسبت مقاومتها الكبيرة من تأثيرها بالأسمدة الكيميائية المستخدمة للمزروعات ووجود الركاميات.



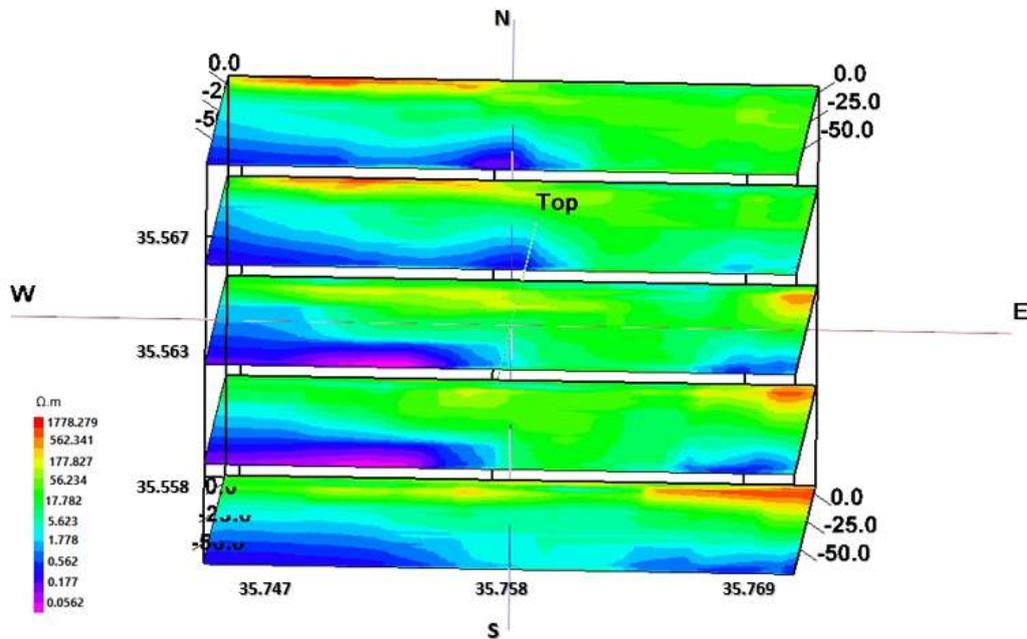
شكل 9 النموذج الجيوكهربائي ثلاثي الأبعاد لتوزيع المقاومة الحقيقية مع العمق

تزداد ضخالة نطاق التداخل بالاتجاه شمالاً (شكل 10) بسبب انخفاض منسوب المياه الجوفية الناتج عن كثافة الضخ وعدم الاعتماد على قنوات الري، ويزداد عمقاً بالاتجاه شرقاً نتيجة تناقص عمليات الضخ. يظهر (الشكل 11) الامتداد الأفقي لنطاق التداخل الذي بلغ طوله الوسطي 950م، في كثير من الأحيان يحصل تدفق لمياه البحر باتجاه السطح نتيجة انخفاض منسوب المياه الجوفية في الآبار وبالتالي ظهور تلوّث مكاني بالمياه البحرية مرتبط بفترة وكثافة الضخ، يظهر ذلك في الشرق والجنوب الشرقي من المنطقة (شكل 11) حيث يمكن ملاحظة المقاومة المنخفضة الناتجة عن التأثير بمياه البحر [11,10] بسبب انخفاض منسوب المياه الجوفية في الآبار الزراعية لاسيما البئر 31 (شكل 2) حيث بلغ منسوب مياهه (0.8 م) وفي كثير من الأحيان ينخفض إلى ما دون مستوي سطح البحر، والبئر 33 (شكل 2) الذي بلغ منسوب مياهه (-3 م) مما أدى إلى ارتفاع مياه البحر باتجاه الآبار وبالتالي حدوث انخفاض في قيم المقاومة الكهربائية. يرتفع نطاق التداخل قليلاً في منتصف المسافة شمالاً على شكل مخروط ارتفاع (شكل 11) نتيجة ازدياد الضخ من الآبار الزراعية الواقعة شمالاً نذكر منها البئر 11 (شكل 2) حيث انخفض منسوب المياه في هذا البئر إلى ما دون

مستوي سطح البحر فقد بلغ منسوب مياهه (1-م) مما ساهم في ارتفاع جبهة تداخل المياه العذبة/ المالحة وحدوث عملية التلوث بالمياه البحرية. تزداد بعدها قيم المقاومة الكهربائية شمال شرق المنطقة نتيجة الاعتماد على قنوات الري حيث تتناقص عمليات الضخ من الآبار وبالتالي تبقى حالة التوازن الهيدروديناميكي مستقرة بين المياه العذبة والمالحة (شكل 11).



شكل 10 التمثيل ثلاثي الأبعاد للمقاومية الحقيقية وفق شرائح موازية لخط الشاطئ



شكل 11 التمثيل ثلاثي الأبعاد للمقاومية الحقيقية وفق شرائح عمودية على خط الشاطئ

## الاستنتاجات والتوصيات:

- ارتفاع قيم الناقلية الكهربائية والكور والصوديوم للعينات المائية المأخوذة من الآبار القريبة من خط الشاطئ والبعيدة نسبياً نتيجة التأثير بمياه البحر الناتج عن الضخ الكثيف للمياه الجوفية العذبة.
  - بلغ متوسط امتداد نطاق تداخل مياه البحر مع المياه الجوفية من خط الشاطئ 950م ليلعب عمقه الأعظمي 25م باتجاه الشرق، ويزداد ضحالةً بالاتجاه شمالاً ليصبح 15 م.
  - تراجع طول نطاق التداخل نحو البحر بمقدار (250-50) م عما جاء في أحدث الدراسات السابقة.
- لذلك توصي الدراسة بالآتي:
- إجراء حملات توعية للأهالي تؤكد على ضرورة تقليل الضخ من الآبار قدر المستطاع والتوجّه نحو استخدام مياه الري بشكل دائم، وصيانة شبكات الري بشكل دوري للاستفادة منها وخاصة في مواسم الجفاف.
  - ضرورة متابعة ومراقبة مناسيب المياه الجوفية وإجراء دراسات وتحاليل مستمرة لمياه الآبار في المنطقة.
  - حساب طول لسان تداخل مياه البحر ضمن طبقة المياه الجوفية العذبة، وعمق هذا اللسان عن طريق استخدام طرائق أخرى منها "غيبين-هرتزيغ" أو اعتماد عملية النمذجة والمحاكاة.

## References:

- 1] KANTAMANENI, K; DU, X; AHER, S; SINGH, R.M. *Building blocks aquantitative approach for evaluating coastal vulnerrmbility water*, 9,905,2017, <https://doi.org/10.3390/w9120905>.
- 2] ABD-ELHAMID, HF; JAVADI, A.A. *A simulation-optimization model to study the control of seawater intrusion in coastal aquifers using ADR methodology*. Proceedings of the Twenty-First Salt Water Intrusion Meeting (SWIM), Azores, Portugal, June, 2010. 21-26.
- 3] Syrian Arab Standards and Metrology Authority, *Syrian standard book for drinking water* No. (45), ministry of industry, Damascus, 2007.
- 4] FAO, *Seawater intrusion in the coastal aquifers Guidelines for study, monitoring and control*, Rome, Italy, 1997, 152pp.
- 5] VAN CAMP, M; MTONI, Y; MJEMAH, I.C; BAKUNDUKIZE, C; WALRAEVENS, K. *investigating seawater intrusion due to groundwater pumping with schematic model simulations: the example of the Dar es Salaam coastal aquifer in Tanzania*. J. African Earth Sci, 2014, 96, 71–78. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2014.02.012>.
- 6] ABARCA, E; VAZQUEZ, S; CARRERA, J; BERNARDO, G; BATLLE, F. *Optimal design of measures to correct seawater intrusion*. Water resources research, 42, 9, 2006.
- 7] Dipanjali, D.B. *Simulation of seawater intrusion in Ernakulam coastal*, 2002, 18-30.
- 8] ELHASSADI, A. *Seawater intrusion in Derna located in the Green Mountain region, Libya- a threating recurrent phenomenon calling for desalination*. Desalination, 220, 1-3, 2008, 189-193.
- 9] ABDUL NASSIR, S.S; LOKE, M.H; LEE, C.Y; NAWAWI, M.N. *Salt-water intrusion mapping by geoelectrical imaging surveys*. Geophys Prospect, 2000, 48: 647–661.
- 10] NOWROOZI, A.A.; STEPHEN, B.H; PETER, H, *Saltwater intrusion into the freshwater aquifer in the eastern shore of Virginia: a reconnaissance electrical resistivity survey*, Applied Geophysics, Virginia, 42, 1999, 1-22.
- 11] ZOHDY, A.A.R; JACKSON, D.B, *Application of deep electrical sounding for groundwater exploration in Hawaii*, Geophysics, 34(4), 1969, 584-600.

- 12] FADILI, A; NAJIB, S; MEHDI, KH; RISS, J; MALAURENT, PH; MAKAN, AB, *Geoelectrical and hadrochemical study for the assessment of seawater intrusion evolution in coastal aquifers of Oualidia, Morocco*, Applied Geophysics, Morocco, 2017.
- 13] ABED RABO, R. *Study of salt pollution of fresh groundwater in the coastl area.NS thesis,civil engeering*, Damascus university, 2000, 300.
- 14] *The date and place of the phenomenon of the intrusion of salty seawater with fresh water, especially in the Syrian coast.*, 1997: Directorate of Water resources in Lattakia, unpublished data.
- 15] ABOUZAKHEM, B, HAFEZ, R. *Environmental isotopes study of the aquifer system in the coastal area (Syria)*. AECS-G/FRSR report no.285, Syria, 2003.
- 16] MANAA, D. *Study of seawater intrusion with groundwater in Damsarkho using geochemical and geophysical methods*, 172,2010.
- 17] TELFORD, W.M; GELDART, L.P; SHERIFF, R.E. *Applied geophysics*. Cambridge University Press, Cambridge,1990.
- 18] KOEFOED, O. *A generalized Cagniard graph of interpretation of geoelectric sounding data* Geophys. Prospect. 1960, Vol.8, 459-469.
- 19] LOKE, M; BARKER, R. D. *Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion* Geophys, Prospect,1996, Vol.44, 499-523.
- 20] ZHANG, J; MACKIE, R. L; MADDEN, T.R. *3D resistivity forward modeling and inversion using conjugate gradient* Geophysics, 1995, Vol.60, 1313-1325.
- 21] ZHAO, S.K; YEDLIN, M.J. *Some refinements on the finit- difference method for 3D dc resistivity modeling* Geophysics, 1996, Vol.61, 1301-1310.
- 22] SUSILO, A. *Subsurface mapping of groundwater using Schlumberger configuration in upstream of Brantas River, Batu area, East Java, Indonisia, NATURAL B, Indonisia, Vol.2, N.4, 2014, 1-6.*
- 23] OYONGA, O.A; KUDAMNYA, E; UGAR, S.I. *3D Geoelectrical resistivity mapping of Tourmaline- Rich Pegmatite in AngwanDoka, Nassarawa state, Northcentral Nigeria, Internation Journal of Sceience and Research (IJSR), Nigeria, Vol.6,2017,1-5.*
- 24] GROUSE, GEBER, FOD KHOZ- TBLISI, *Hydrogeological and Hydrological Investigation and Studies for four regions in the Syrian Arab Repablic, Coastal Basine part (2), Directorate of Water Resources, Lattakia, 1979.*
- 25] AGIMAN, J. *The Syrian Geological Map, Patch of Lattakia, Scale 1: 50,000, with an illustrative memoir*, Damascus, 1997.
- 26] RASOUL, W.A. *Hydrology (2) 1998, University of Damascus*, 1982.
- 27] HAMED, Y; HADJI, R; REDHAOUNIA, B; ZIGHMI, K; BÂALI, F; EL GAYAR, A. *Climate impact on surface and groundwater in North Africa: a global synthesis of findings and recommendations*. Euro-Mediterranean J. Environ. Integr, 2018, 3, 25. <https://doi.org/10.1007/s41207-018-0067-8>.
- 28] RAO, V.V.S.G; RAO, G.T; SURINAIDU, L; RAJESH, R; DAN MAHESH, J. *Geophysical and Geochemical Approach for Seawater Intrusion Assessment in the Godavari Delta Basin. Water Air Soil Pollut, India, Vol.217,2011, 1-4.*