

تقدير الخصائص الكيميائية للمياه الجوفية باستخدام المسح الجيوفيزيائي الكهربائي

محمد فوزي خطاب منيف محجوب المحجوب علي حسين عليوي

مركز التحسس النائي

جامعة الموصل

(تاريخ الاستلام 2005/5/11 ، تاريخ القبول 2005/9/6)

الملخص

تضمنت الدراسة الحالية إيجاد العلاقة بين قيم المقاومة النوعية الكهربائية المستحصلة من المسح الجيوفيزيائي الكهربائي والصفات النوعية للمياه الجوفية لمنطقة سينو الواقعة شمال غرب العراق. حيث أظهر نمط توزيع قيم المقاومة النوعية الكهربائية للخران الجوفي الرئيسي في منطقة الدراسة والمتمثل بتكوين الفتحة توافقاً مع بعض الصفات النوعية لمياه هذا الخزان والمتمثلة بقيم (Ca^{+2} , HCO_3^{-1} , Na^{+1} , K^{+1} , NO_3^{-1}), إذ أظهرت هذه الصفات ارتباطاً قوياً مع قيم المقاومة النوعية ($0.8 \leq R \leq -0.8$). تم إيجاد صيغ رياضية يتم بواسطتها تقدير هذه الصفات النوعية لمياه المنطقة حقلياً بالاعتماد على قيم المقاومة النوعية الكهربائية.

Estimation of the Chemical Characteristics for Ground Water by Electrical Geophysical Survey

Mohammad F. Khattab Muneef M. Al-Mahjoob Ali H. Elewi

Remote Sensing Center

Mosul University

ABSTRACT

The present study investigated the relationship between resistivity values that obtained from the electrical geophysical survey and characteristics of water quality at Sinu area-NW Iraq.

The pattern of the resistivity values for the main ground water aquifer at Seno area, which represented by Al- Fatha formation are coincided with some properties of water in this aquifer that are represented (pH, TDS, SO_4^{-2} , Ca^{+2} , HCO_3^{-1} , Na^{+1} , K^{+1} , NO_3^{-1}), so these properties are strongly show coincidence with resistivity values, ($0.8 \leq R \leq -0.8$).

Through this proposed method, mathematical equations found to estimate the characteristics of water quality depending on the resistivity values.

المقدمة

أن الكيمياء الكهربائية (Electro-Chemistry) تعد من أهم تطبيقات الكيمياء الفيزيائية والتي تعنى بالعلاقة بين الكهربائية والظاهرة الكيميائية والتي أصبحت تستخدم في الكثير من تطبيقات الهندسة البيئية كيميا ونوعيا (Prabhakara Rao and Negi, 2003)، حيث إن التيار الكهربائي المار خلال المحلول الموصل يعتمد على مجموعة من العوامل أهمها التغيرات الكيميائية التي تحدث خلال المحلول، نوع الأيونات ودرجة حرارة المحلول (Sawyer and McCarty, 1978).

إن الدراسة الحالية تتناول العلاقة ما بين قيم المقاومة النوعية الكهربائية المستحصلة من الجس الكهربائي العمودي (VES) وتراكيز الأيونات الذائبة في المياه الجوفية لمنطقة سينو الواقعة شمال غرب العراق على بعد (٩٠) كم غرب مدينة الموصل ضمن قضاء سنجار (شكل ١).

شكل ١: خارطة العراق موضحا عليها موقع منطقة الدراسة.

هدف الدراسة

يهدف البحث الحالي إلى معرفة الخصائص النوعية للمياه الجوفية في منطقة سينو من خلال قيم المقاومة النوعية الكهربائية وامكانية إيجاد صيغ رياضية يتم بواسطتها تحديد بعض تراكيز الأيونات الذائبة في المياه باستخدام قيم المقاومة النوعية الكهربائية لخدمة الدراسات الاستكشافية.

جيولوجية منطقة الدراسة

يمثل جبل سينو أهم التراكيب الجيولوجية الموجودة ضمن منطقة الدراسة، وهو عبارة عن طية محدبة ثنائية الغطس تمتد باتجاه شرق-غرب (الشكل ٢). يبلغ أقصى ارتفاع لها (٥٣٨) متر عن مستوى

تقدير الحصائص الكيمائية للمياه الجوفية باستخدام

شكل ٢: خارطة جيولوجية لمنطقة الدراسة عن (Geosurve, 1996).

سطح البحر، والطينية غير متناظرة إذ يميل الجناح الشمالي فيها بمعدل (30°) في حين يميل الجناح الجنوبي بمعدل (11°)، (الجوادي، ١٩٩٨).

من الناحية الليثولوجية يمثل تكوين الفتحة (المايوسين الأوسط) اقدم التكاوين المنكشفة في منطقة الدراسة، حيث يمثل هذا التكوين جسم جبل سينو بأكمله. يقسم هذا التكوين إلى قسمين، سفلي وعلوي، القسم السفلي يمتاز بتعاقبات من الحجر الجيري، الجبس، الحجر الطيني والمارل الأخضر. بالنسبة لمنطقة الدراسة فان هذا القسم ينكشف في لب طية سينو ومعظم الصخور المنكشفة على السطح هي صخور كلسية جيدة التطبيق، أما سمكه الظاهر فلا يزيد عن (٦٠) مترا (الديوة جي، بحث قيد النشر). أما القسم العلوي من تكوين الفتحة فيظهر بشكل شريط ضيق على جانبي الطية المحدبة، ويمتاز بوجود تعاقب دوري في الترسيب بين صخور الحجر الجيري، الجبس، الحجر الطيني والمارل. أيضا يظهر في منطقة الدراسة تكوين انجانة (المايوسين الأعلى)، حيث ينكشف هذا التكوين في الجزء الجنوبي من منطقة الدراسة في مناطق الوديان العميقة، ويتألف من صخور الحجر الرملي والحجر الطيني الأحمر. في حين إن ترسبات العصر الرباعي تغطي معظم منطقة الدراسة (الشكل ٢). وتتألف من تربة طينية وجبسية (Gypcrete) وتربة كلسية (Calcrete). أما سمك هذه الترسيبات فيتراوح من متر واحد إلى عدة أمتار.

هيدروجيولوجية منطقة الدراسة

تتميز منطقة الدراسة بكبيرة مناطق العراق بمناخ شبه جاف، إذ أن معدل الساقط المطري للفترة من (١٩٨٠-٢٠٠١) بلغ (٣٤٠.٤١) ملم، مأخوذة من محطة تلغفر للأتواء الجوية (العزو، ٢٠٠٣). ونتيجة لشحة سقوط الأمطار وندرة المياه السطحية باستثناء بعض العيون ذات الإنتاجية المحددة والتي لاتزيد كمية التصريف فيها عن (٥ لتر/ثانية) والتي تستخدم لأغراض شرب الحيوانات وسقي مساحات محدودة من الأراضي، فان المياه الجوفية تلعب الدور الرئيسي لتجهيز المياه في تلك المنطقة.

هيدروجيولوجيا، يمكن تحديد تواجد المياه الجوفية في ثلاث خزانات في المنطقة، وهي خزان تكوين الفتحة، خزان تكوين انجانة وخزان العصر الرباعي. يعد تكوين الفتحة من التكاوين المائية الكبيرة الموجودة في منطقة الدراسة حيث شغل هذا التكوين جسم جبل سينو بأكمله وهو لهذا يمثل منطقة التغذية للمياه الجوفية في المنطقة وتكون حركة المياه بالاتجاه الجنوبي الشرقي. تتألف صخور الخزان المائي من تعاقبات لصخور الحجر الجيري، الحجر الطيني، المارل والجبس. إن تواجد الفواصل والفوالق ضمن هذا التكوين تجعله حاويا على كميات جيدة من المياه، إذ تعمل هذه الفواصل والفوالق عمل قنوات لإيصال الماء إلى الأسفل.

إن خزان تكوين انجانة يمثل الخزان الثاني لتواجد المياه الجوفية، ويتألف من تعاقبات لصخور المارل الأحمر والرصاصي إضافة إلى صخور الغرين، الرمل والطفل. يبدأ هذا الخزان بالظهور في الأجزاء الجنوبية وبسمك محدود لا يتجاوز (٢) متر ويتزايد سمكه كلما اتجهنا جنوبا خارج منطقة الدراسة.

ونظرا لمحدودية خزان تكوين انجانة وترسبات العصر الرباعي فقد تم التركيز على خزان تكوين الفتحة الذي تخترقه مجموعة من الابار (الشكل ٣)، باعتباره الخزان الرئيسي في منطقة الدراسة.

الجس الكهربائي العمودي

تعتبر طريقة المقاومة النوعية الكهربائية (Resistivity Method) إحدى الطرق الجيوفيزيائية المهمة التي تستخدم في الدراسات الهيدروجيولوجية، وخصوصا فيما يتعلق بدراسة نوعية المياه الجوفية وتحديد درجة التلوث لها. حيث إن نقصان قيمة المقاومة النوعية الكهربائية بزيادة نسبة الملوحة في المياه الجوفية يساعد في تحديد انطقة التلوث، (Gnanasundar and Elango, 1999).

تتضمن الطريقة تحديد قيم المقاومة النوعية الظاهرية (Apparent Resistivity) تحت السطحية عن طريق امرار تيار كهربائي إلى داخل الأرض ومن ثم قياس فرق الجهد الناتج من هذا التيار. بالنسبة للدراسة الحالية تم الاعتماد على نتائج المسح الجيوفيزيائي الكهربائي لمنطقة سينو والمنجز من قبل (السالم واخرون، ٢٠٠٢). حيث شمل المسح قياس (٣١) نقطة جس كهربائي عمودي (VES) موزعة على أربعة مسارات. ثلاثة من هذه المسارات تمتد باتجاه شمال-جنوب، أما المسار الرابع فيمتد شرق-غرب (شكل ٣).

لقد بين (السالم واخرون، ٢٠٠٢) وجود ثلاثة انطقة جيوكهربائية في منطقة سينو ،وهي كما يلي:
النطاق الأول: يمثل نطاق التربة، وتتراوح قيم المقاومة النوعية لهذا النطاق بين (٦٢.٥-٢٣٠.٥) اوم.متر، وسمكه يتراوح بين (١-٦) متر.

النطاق الثاني: تتراوح قيم المقاومة النوعية الكهربائية لهذا النطاق بين (٩-٦٥) اوم.متر، وسمكه يتراوح بين (٣٧-١٠٩) متر. يمثل هذا النطاق القسم العلوي من تكوين الفتحة.

النطاق الثالث: يمثل هذا النطاق القسم السفلي من تكوين الفتحة، حيث تتراوح قيم المقاومة النوعية الكهربائية لهذا النطاق بين (١١٧-٣٢٥) اوم.متر، وسمكه غير محدد.

من خلال ربط نتائج المسح الجيوفيزيائي الكهربائي مع المعلومات الهايدروجيولوجية والمقاطع الليثولوجية للابار الارتوازية المحفورة في منطقة الدراسة ، تبين إن النطاق الجيوكهربائي الثالث والعائد للقسم السفلي من تكوين الفتحة يمثل الخزان الجوفي الرئيسي ضمن منطقة الدراسة. لذلك تم الاعتماد على قيم هذا النطاق في عمل مقارنة مع توزيع العناصر الكيميائية الذائبة في المياه الجوفية.

محمد فوزي خطاب وآخرون

العلاقة بين قيم المقاومة النوعية والصفات النوعية لخزان تكوين الفتحة

إن التيار الكهربائي المار خلال محلول موصل يعتمد على مجموعة من العوامل، أهمها صفات أيونات المحلول الألكتروليتي وبمعنى أدق نوع الأيونات وكميتها (Chen and Luckham, 1994). وبما أن عملية الجس الكهربائي تعتمد على فكرة امرار تيار كهربائي إلى الطبقات تحت السطحية ومن ثم تحديد قيم المقاومة النوعية الكهربائية لهذه الطبقات اعتمادا على قيم التيار الكهربائي المار خلال المحلول الألكتروليتي ضمن الطبقات وقيم فرق الجهد المتولدة من هذا التيار، لذلك فإن قيم المقاومة هذه سوف تعتمد على نوع الأيونات وكميتها. حيث إن المقاومة النوعية الكهربائية هي معكوس لايصالية المحلول للتيار الكهربائي والتي يمكن أن تحسب وفق المعادلة الآتية (Sawyer and McCarty, 1978):

$$A = \frac{1000}{N} K$$

حيث إن A = الايصالية المكافئة

N = عيارية المحلول.

K = ثابت يتغير مع عيارية المحلول

فالأيونات والكتيونات هي التي تقوم بنقل التيار الكهربائي ولكن بدرجات مختلفة اعتمادا على الايصالية المكافئة لكل منهما، لاحظ الجدول (١).

جدول ١: الايصالية الايونية المكافئة لبعض الأيونات عند درجة حرارة (٢٥) سيليزية بوحدة

(mho-cm²/equivalent)، (Sawyer and McCarty, 1978).

Cation	λ^+	Anion	Λ^-
H ⁺	349.8	HCO ₃	44.5
Na ⁺	50.1	Cl ⁻	76.3
K ⁺	73.5	NO ₃ ⁻¹	71.4
Ca ⁺²	59.5	SO ₄ ⁻²	79.8
Mg ⁺²	53.1		

حيث إن ايصالية المحلول سوف تساوي المجموع الجبري لقيم الايصالية المكافئة للانيونات والكتيونات.

$$A = \lambda^+ + \lambda^-$$

إن التوصيلية الكهربائية تعتمد بالدرجة الأساس على مقاومة التكوين الصخري المتمثلة بمقاومية المحلول الألكتروليتي الموجود وتتناسب عكسيا مع المسامية ودرجة الإشباع (شارما، ١٩٩٠). ومن خلال الجدول (١) يظهر تفسير الارتباط العالي بين قيمة المقاومة الكهربائية وقيمة (pH) المحلول والتي هي

مقياس لدرجة حموضة المحلول، إذ أن قيم المقاومة النوعية العالية تدل على انخفاض في قيمة الـ (pH) في تكوين المائي لمنطقة الدراسة وبالتالي زيادة في حامضية المحلول.

تم تحديد قيم المقاومة النوعية الكهربائية لخزان تكوين الفتحة والذي يمثل الخزان الرئيسي في منطقة سينو، حيث تراوحت القيم بين (١٠٨-٤٤٠) اوم.متر، وعلى أعماق تتراوح بين (١٥-١٢٠ متر)، وهذه الأعماق تتوافق مع الدراسة الهيدروجيولوجية الحقلية ومقاطع الآبار في المنطقة.

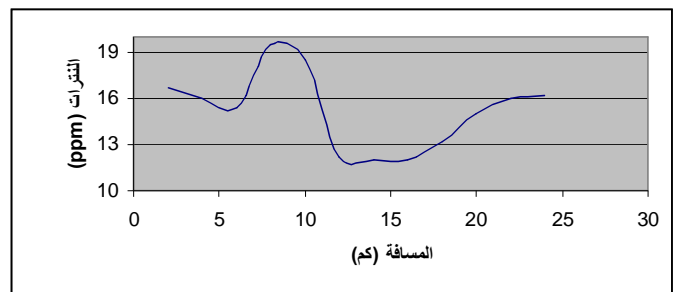
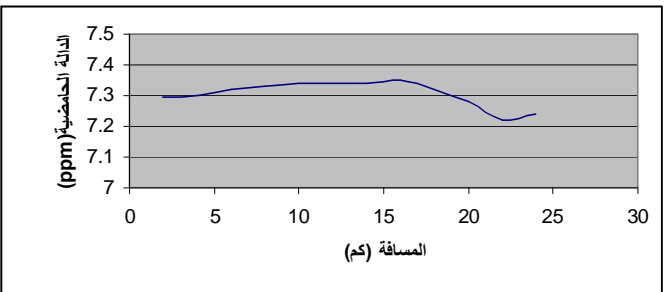
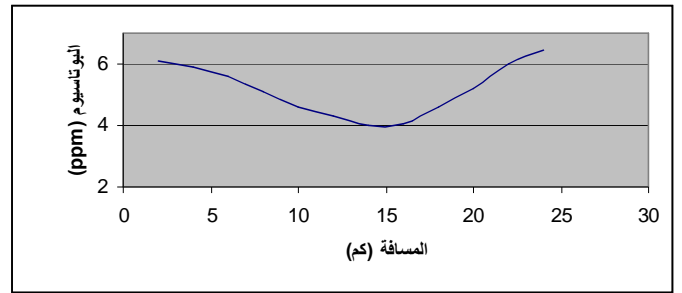
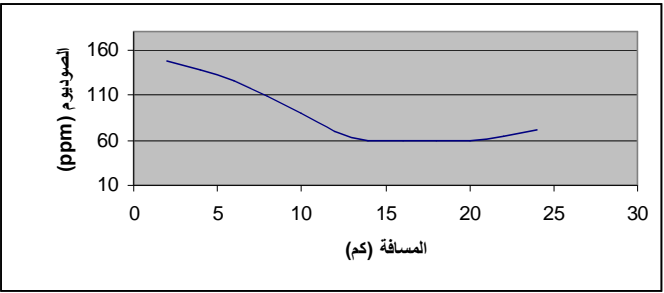
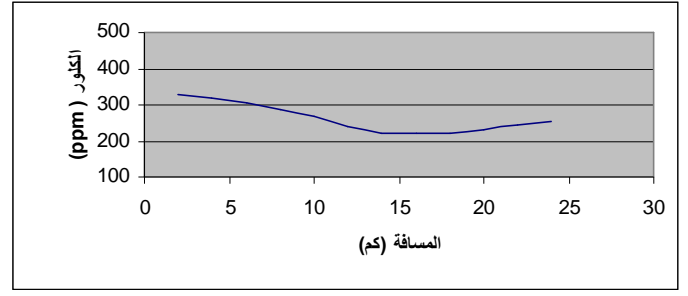
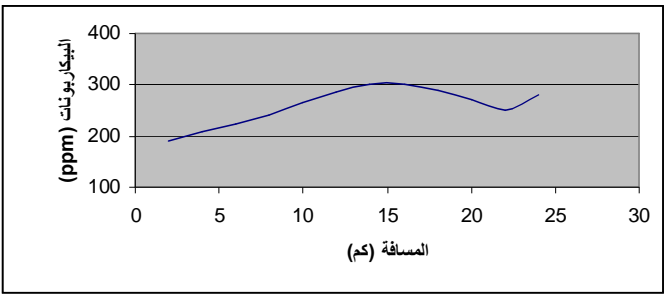
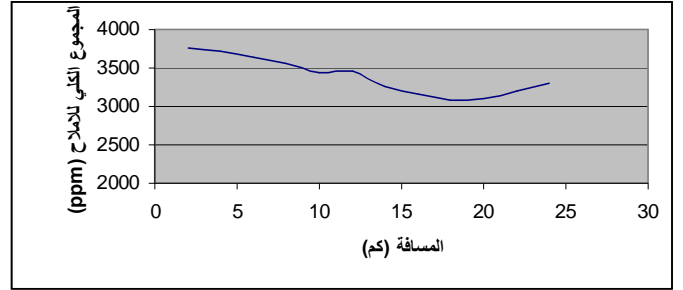
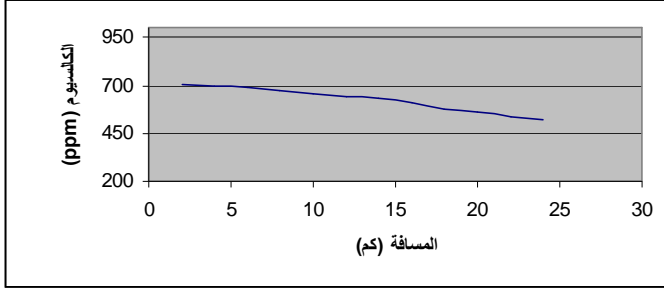
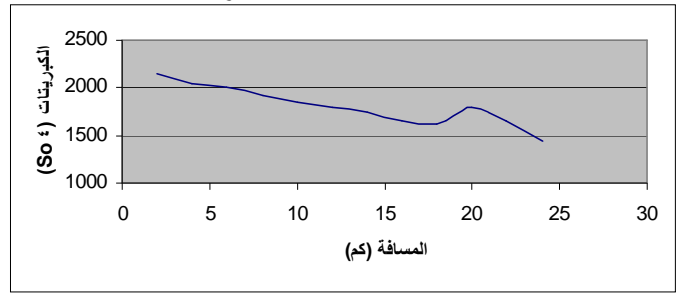
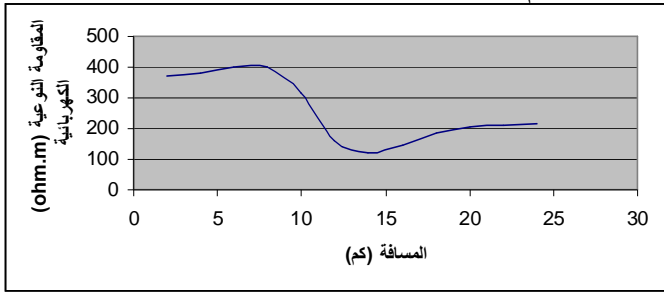
عند رسم المقاطع التي توضح تباير الصفات النوعية المأخوذة من (السالم وآخرون، ٢٠٠٢) و(العزو، ٢٠٠٣) لمياه خزان تكوين الفتحة لمنطقة الدراسة وعلى طول المقطع شمال غرب-جنوب شرق ومقارنتها مع مقطع المقاومة النوعية الكهربائية، يظهر توافق توزيع الصفات النوعية المتمثلة (pH , TDS, SO_4^{-2} , Ca^{+2} , HCO_3^{-1} , Na^{+1} , K^{+1} , NO_3^{-1}) مع قيم المقاومة النوعية (شكل ٤). إذ أظهرت هذه الصفات قيم معامل ارتباط عالية ($0.8 \leq R \leq -0.8$)، لاحظ الجدول (٢)، والتي من المفترض أن تكون لها علاقة خطية مع قيمة المقاومة الكهربائية اعتمادا على التباير الإحصائي (Chapman and Monroe, 1993).

جدول ٢: معاملات الارتباط بين المقاومة النوعية الكهربائية والصفات النوعية لخزان تكوين الفتحة لمنطقة سينو.

المتغيرات المترابطة	قيمة معامل الارتباط
R مقابل pH	-0.88
R مقابل SO_4^{-2}	0.832
R مقابل TDS	0.852
R مقابل Ca^{+2}	0.909
R مقابل Cl^{-1}	0.922
R مقابل HCO_3^{-1}	-0.889
R مقابل Na^{+1}	0.897
R مقابل NO_3^{-1}	0.850
R مقابل K^{+1}	0.875

من خلال الجدول (٢) يظهر الارتباط العكسي بين قيمة المقاومة الكهربائية وقيمة (pH) المحلول واللذان يعبران عن درجة حموضة المحلول، إذ أن قيم المقاومة النوعية العالية تدل على انخفاض قيم (pH) وبالتالي زيادة في حامضية المحلول وتراجع في تركيز (HCO_3^{-1}) لخزان منطقة الدراسة.

تقدير الحصائص الكيميائية للمياه الجوفية باستخدام



شكل ٤: مقاطع توضح تباير المقاومة النوعية والخواص النوعية لمياه خزان تكوين الفتحة لمنطقة سينو (NE-SW).

من خلال قيم معامل الارتباط العالية لقيم المقاومة النوعية الكهربائية مع الصفات النوعية للمياه الجوفية لخزان تكوين الفتحة، تم صياغة معاملات يمكن بواسطتها تقدير هذه الصفات اعتمادا على قيمة المقاومة النوعية، وكما موضحة في الجدول (٣).

جدول ٣: معادلات حساب الخواص النوعية لخزان تكوين الفتحة وقيمة الخطأ القياسي لها.

المعادلات الرياضية	قيمة الخطأ القياسي للتقديرات	الانحراف المعياري
$\text{pH} = 7.336 - 5.41\text{E}^{-05} \text{ R}$	2.0633E-02	6.702E-03
$\text{SO}_4^{-2} = 1446.691 + 1.392 \text{ R}$	140.7	148.9934
$\text{Ca}^{+2} = 520.48 + 0.407 \text{ R}$	49.01	43.605
$\text{Cl}^{-1} = 171.773 + 0.347 \text{ R}$	16.1	37.172
$\text{HCO}_3^{-1} = 336.008 - 0.300 \text{ R}$	18.4	32.149
$\text{K}^{+1} = 4.060 + 4.236 \text{ E}^{-03} \text{ R}$	0.75	0.4535
$\text{Na}^{+1} = 15.243 + 0.280 \text{ R}$	14.9	30.01
$\text{NO}_3^{-1} = 10.53 + 1.812 \text{ E}^{-02} \text{ R}$	1.6	1.939
$\text{TDS} = 2993.152 + 1.674 \text{ R}$	145.3	202.0515

حيث أن R : تمثل قيمة المقاومة النوعية الكهربائية المحسوبة من الجس الكهربائي العمودي.

تم تطبيق المعادلات السابقة على نقطتي الجس الكهربائي رقم (٢١) و (١٠) لكونهما واقعتا بالقرب من البئر رقم (٢) و (١) على التوالي (الشكل ٣) وبذلك توفر دقة أكبر في اختبار المعادلات، وكانت قيم الخواص النوعية لمياه تكوين الفتحة المحسوبة والمقاسة مختبريا كما موضحة في الجدول (٤).

جدول ٤: قيم الخواص النوعية لمياه خزان الفتحة المقاسة مختبريا والمحسوبة بدلالة قيمة المقاومة النوعية للبئرين رقم (٢) و (١).

بئر رقم (١)			بئر رقم (٢)			الخاصية أو الأيون
الفرق بين القيمتين (ppm)	القيمة المحسوبة رقميا بدلالة المقاومة النوعية (ppm)	القيمة المقاسة مختبريا (ppm)	الفرق بين القيمتين (ppm)	القيمة المحسوبة رقميا بدلالة المقاومة النوعية (ppm)	القيمة المقاسة مختبريا (ppm)	
٠.٠٥	٧.٣٣	7.28	٠.٠٩	٧.٣٢	7.41	pH
٤٨٢	٣٣٤٤	2862	١٠٨	٣٢٤٤	٣١٣٦	TDS
٨٥	٦٠٥	520	٣٩	٥٨١	٦٢٠	Ca ⁺²
٣٢٠	١٧٣٩	1419	١٧	١٦٥٥	١٦٧٢	SO ₄ ⁻²
٥٨	٢٧٣	٢١٥.٢	٢٨	٢٩١	٣١٩	HCO ₃ ⁻¹
١.٨٤	14.33	١٦.١٧	٢.١٧	١٣.٢٥	١١.٠٨	NO ₃ ⁻¹
٨١	٢٤٤	٣٢٥.٤٨	٣٩.٤١	٢٢٣.٨٢	١٨٤.٤١	Cl ⁻¹

38	74	٣٦.٢	١٠.٧	٥٧.٢	٤٦.٥	Na ⁺
٢.١١	٤.٩	٢.٧٩	١.٤	٤.٦	٣.٢	K ⁺

الاستنتاج

أظهرت الدراسة الحالية أهمية الكيمياء الكهربائية في تقدير الخصائص النوعية للمياه الجوفية، إذ تبين إمكانية استثمار قيم المقاومة النوعية الكهربائية المستحصلة من الجس الكهربائي العمودي لمنطقة سينو والخاصة بتكوين الفتحة بتقدير الخصائص النوعية المتمثلة بقيم (pH, TDS, SO₄⁻², Ca⁺², HCO₃⁻¹, NO₃⁻¹, Na⁺, K⁺) فضلا عن مسامية التكوين الصخري ودرجة إشباع هذا التكوين. إذ أظهرت مقاطع توزيع هذه الصفات توافقا مع قيمة المقاومة الكهربائية والذي يعزى إلى علاقة التيار المار في المحلول الالكتروليتي بنوع وكمية الأيونات الموجودة في المحلول.

إن قيمة معامل الارتباط أعطت تقدير كمي لدرجة الترابط بين هذه الصفات والمقاومة النوعية فضلا عن اتجاه هذه العلاقة. إذ أظهرت قيمة معامل الارتباط للمقاومة النوعية الكهربائية (R) ترابطا عكسيا مع قيمة (HCO₃⁻¹) و (pH) والذي يدل على إن زيادة قيم المقاومة النوعية تعني نقصان في قيمة (pH) وطرديا مع (TDS, SO₄⁻², Ca⁺², Na⁺, K⁺, NO₃⁻¹) والتي تعكس سيطرة كمية المسامات ودرجة تشبع التكوين المائي لمنطقة الدراسة على قيم المقاومة النوعية للخزان الجوفي في منطقة الدراسة.

إن تواجد الصخور الجبسية التي تظهر في المناطق الوسطية والجنوبية لمنطقة الدراسة و انعدام الطبقات الكلسية التي يزداد سمكها شمالا، يرافقه نقصان في حجم المسامات المتأثرة بالفواصل والفوالق فضلا عن انخفاض درجة التشبع المائي التي تتميز بها الطبقات الجبسية وبالتالي زيادة في قيم المقاومة الكهربائية مع زيادة في (TDS, SO₄⁻², Ca⁺², Na⁺, K⁺, NO₃⁻¹)، ويرافق ذلك زيادة في تركيز (SO₄⁻²) وتكوين حامض الكبريتيك (H₂SO₄) وبالتالي زيادة في حامضية المحلول، فضلا عن أن انعدام الطبقات الكلسية يؤدي إلى تناقص في تركيز (HCO₃⁻¹). وعليه فإننا نستطيع من خلال قيمة المقاومة النوعية الكهربائية التعرف على درجة حامضية الخزان الجوفي وطبيعة التغيرات الأيونية التي تحصل على امتداده فضلا عن التغيرات الحاصلة في مسامية التكوين ودرجة التشبع بالمياه.

إن معادلات الانحدار التي تم تطبيقها وفرت موديلات رياضية لتقدير نوعية المياه الجوفية لخزان تكوين الفتحة في منطقة سينو، إذ أن قيمة الخطأ في هذه التقديرات التي تم تطبيقها على البئر رقم (٢) و (١) اللذان يمثلان نقطتي الجس رقم (٢١) و (١٠) لا يدل على إمكانية استخدام هذه المعادلات في الحسابات الهيدروجيوكيميائية الدقيقة، إلا أنها أعطت قيمة تقريبية لدرجة حموضة الخزان الجوفي ودرجة تشبع الخزان وحجم المسامات، كما يمكن تقدير هذه الخصائص في الدراسات الاستكشافية والتنبؤ بمقدار الملوحة للخزان الجوفي وذلك لمعرفة الأغراض التي يمكن استخدام مياه الخزان لها.

المصادر العربية

- الجوادي، زيد ياسين نوري، ١٩٩٨. دراسة مورفوتكتونية للإطار الحديث لجزء من الرصيف غير المستقر في شمال غرب العراق باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد. أطروحة دكتوراه غير منشورة، قسم علوم الأرض، كلية العلوم، جامعة الموصل.
- الديوة جي، بسام محمد أحمد، ٢٠٠٥. دراسة لاحتمالية اصل بعض الظواهر الدائرية في الطرف الجنوبي لجبل سينو شمال غرب الموصل، العراق. بحث قيد النشر.
- السالم، طه حسين، المحجوب، منيف محجوب محمد، خطاب، محمد فوزي عمر، الديوة جي، بسام محمد أحمد ومتي، يوسف فرنسيس، ٢٠٠٢. المسح الجيوفيزيائي الكهربائي لمنطقة سينو، قضاء سنجار. شركة دجلة العامة لدراسات وتصاميم مشاريع الري.
- العزوة، عمر نبهان عبد القادر إبراهيم، ٢٠٠٣. هيدروجيولوجية منطقة سينو، شمال غرب العراق. أطروحة ماجستير غير منشورة، قسم علوم الأرض، كلية العلوم، جامعة الموصل.

المصادر الاجنبية

- Chapman, M.J. and Monroe, C.B., 1993. An introduction of statistical problem solving in geography. McGraw, 350p.
- Chen, T.Y. and Luckham, P.F., 1994. A Study of the electrical current passing through water-activated Electro-rheological fluids. J. Appl. Phys., Vol.27, pp.1556-1563.
- Geological map of Mosul Quadrangle, 1996, scale 1:250,000 printed and published in the Establishment of Geological survey and Mining (GEOSERV), Baghdad, Iraq.
- Gnanasundar, D. and Elango, L., 1999. Groundwater quality assessment of a coastal aquifer using geoelectrical techniques. Jour. Environ. Hydrology, Vol.7, pp1-8.
- Prabhakara Rao, M.R.K. and Negi, B.C., 2003. Geoelectrical investigations for locating potable aquifers in parts of Agra District, U.P., India. J. Ind. Geophys. Union, Vol.7, No.4, pp.219-226.
- Sawyer, C.N. and McCarty, P.L., 1978. Chemistry for environmental engineering. McGraw-Hill Inc., 532p.
- Sharma, P.V., 1986. Geophysical methods in geology. Elsevier Sci. Publ. Company, Netherlands, ٤٢١p.