



الجمهورية العربية السورية
وزارة التعليم العالي
جامعة تشرين
كلية العلوم
قسم الجيولوجيا

نموذج رياضي لمحاكاة الظروف الهيدروجيولوجية
للحوامل المائية في المنطقة الواقعة بين نهري الكبير الشمالي
والصنوبر وتقييم مواردها المتاحة

أطروحة أعدت لنيل شهادة الدكتوراه في اختصاص الهيدروجيولوجيا
قسم الجيولوجيا – كلية العلوم

إعداد

كنان جمال راعي

بإشراف

المشرف المشارك

الدكتور المهندس شريف حايك

المشرف الرئيس

الأستاذ الدكتور أحمد محمد

العام الدراسي

2015 - 2014

**Syria Arab Republic
Ministry of High Education
Tishreen University
Faculty of Sciences
Department of Geology**



Mathematical model to simulate the hydrogeological conditions for aquifers in the area that is located between ALKABIR ALSHIMALI and ALSNOBAR rivers and evaluating their available resources

**Thesis has been prepared for the degree of doctorate in Hydrogeology
Department of Geology - Faculty of Sciences**

**Preparation
Kinan Gamal Rae**

Supervision of

**Main supervisor
Dr. Ahmed Mohammed**

**Assistant supervisor
Dr. Eng. Sharif Hayek**

**Academic year
2014 - 2015**

نوقشت هذه الأطروحة بتاريخ 2015 / 5 / 3 وأجيزت.

لجنة الحكم:

الدكتور علي محمد الأسعد



الأستاذ في قسم الهندسة المائية والري بكلية الهندسة المدنية في جامعة تشرين
/اختصاص: هيدروجيولوجيا/

الدكتور أحمد محمد محمد



الأستاذ في قسم الجيولوجيا بكلية العلوم في جامعة تشرين
/اختصاص: هيدروجيولوجيا/

الدكتور محمد عبد الله عيسى



الأستاذ في قسم الجيولوجيا بكلية العلوم في جامعة تشرين
/اختصاص: جيولوجيا تطبيقية - هندسية/

الدكتور غطفان عبد الكريم عمّار



الأستاذ في قسم الهندسة المائية والري بكلية الهندسة المدنية في جامعة تشرين
/اختصاص: هيدروجيولوجيا وهيدرولوجيا/

الدكتور سليم كمال حميد



الأستاذ المساعد في قسم الجيولوجيا بكلية العلوم في جامعة دمشق
/اختصاص: هيدروجيولوجيا/

قُدِّمَت هذه الأطروحة استكمالاً لمتطلبات نيل درجة الدكتوراه
في قسم الجيولوجيا من كلية العلوم في جامعة تشرين

**This thesis has been submitted in partial fulfillment of the
requirements of the degree of doctorate in Department of Geology
at the Faculty of Sciences, Tishreen University**

تصريح

أُصرِّح بأن هذا البحث "تمودج رياضي لمحاكاة الظروف الهيدروجيولوجية للحوامل المائية في المنطقة الواقعة بين نهري الكبير الشمالي والصنوبر وتقييم مواردها المتاحة" لم يسبق أن قُبل للحصول على شهادة، ولا هو مُقدَّم حاليًا للحصول على شهادة أخرى.

كنان جمال راعي

تاريخ: 2015 / 3 / 3

Declaration

I declare that this research " mathematical model to simulate the hydrogeological conditions for aquifers in the area that is located between ALKABIR ALSHIMALI and ALSNOBAR rivers and evaluating their available resources " has neither been accepted before to get a degree, nor currently submitted for another certificate.

Kinan Gamal Rae

Date: 3 / 3 / 2015

شهادة

نشهد بأنّ هذا العمل الموصوف في هذه الأطروحة "تموذج رياضي لمحاكاة الظروف الهيدروجيولوجية للحوامل المائية في المنطقة الواقعة بين نهري الكبير الشمالي والصنوبر وتقييم مواردها المتاحة" هو نتيجة بحث علمي، قام به المرشّح السيد كنان جمال راعي بإشراف: الدكتور أحمد محمد (أستاذ، كلية العلوم بجامعة تشرين، اللاذقية، سورية). الدكتور شريف بدر حايك (أستاذ مساعد، كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين، اللاذقية، سورية). وإنّ أي مرجع ورد في هذه الأطروحة موثّق في النص.

المشرف الرئيس

أ. د. أحمد محمد

المشرف المشارك

د. م. شريف بدر حايك

المرشّح

كنان جمال راعي

تاريخ: 3 / 3 / 2015

Certification

It is hereby certified that, the work described in this thesis " mathematical model to simulate the hydrogeological conditions for aquifers in the area that is located between ALKABIR ALSHIMALI and ALSNOBAR rivers and evaluating their available resources " is the result of the scientific research which done by the candidate Mr. Kinan Gamal Rae under the supervision of:

Dr. AHMED MOHAMMED (Professor, Faculty of Sciences, Tishreen University, Lattakia, SYRIA).

Dr. SHARIF HAYEK (Associate professor, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, SYRIA).

and any reference of other researchers work has been duly acknowledged in the text.

Main supervisor

Dr. AHMED MOHAMMED

Assistant supervisor

Dr. Eng. SHARIF HAYEK

Candidate

KINAN GAMAL RAE

Date: 3 / 3 / 2015

الملخص

Abstract

تُعتبر الموارد المائية العامل الرئيس المُحدّد للتنمية، ويزداد الطلب على هذه الموارد الطبيعية بازدياد النشاطات البشرية المختلفة سواء الخدمية منها أم التنموية، وتتميز هذه الموارد بقابليتها الشديدة للتأثر بهذه النشاطات كمّاً ونوعاً. وقد شهدت المنطقة الساحلية في السنين الأخيرة تغيّرات اقتصادية واجتماعية عميقة حيث جرى توسع عمراني كبير، كما انتشرت الزراعة المروية بشكل كثيف، وكذلك المنشآت الصناعية والخدمية الكثيرة.

وتُعتبر منطقة الدراسة الواقعة إلى الشرق والجنوب الشرقي من مدينة اللاذقية، من أهم المناطق التي امتدت إليها أيادي التنمية والعمران، لذلك كان من الضروري إجراء دراسة شاملة لمدى تأثير مختلف هذه النشاطات التنموية على الوضع المائي، وعلى مدى تحمّل الموارد المائية المُتاحة لتلك الأنشطة وخصوصاً في ظل التغيرات المناخية التي مرّت بها المنطقة في السنوات الأخيرة. لذا كان الهدف الرئيس لهذا البحث هو تقويم الوضع المائي الحالي في منطقة الدراسة، وتأثير النشاطات التنموية المختلفة على هذا الوضع كمّاً ونوعاً، وإلى توقع التغيّرات التي تطرأ على هذا الوضع مستقبلاً إذا ما زادت معدلات السحب المائي.

ولتحقيق هذا الهدف اعتمدت الدراسة الحالية على البيانات المُتاحة التالية:

1. الدراسات السابقة التي أُجريت على المنطقة والمناطق المجاورة من قبل جهات عديدة.
 2. البيانات التي تمّ الحصول عليها والنتائج التي تمّ التوصل إليها من خلال الجولات الحقلية التي قام بها الباحث إلى منطقة الدراسة، حيث قام بإجراء قياسات شهرية لعمق المياه الجوفية في آبار شبكة المراقبة، وتجميع كافة القياسات لتصاريف الآبار الموجودة في المنطقة وبيانات تصميم الآبار، وأيضاً جمع عينات مائية من تلك الآبار ومن المياه السطحية لإجراء التحاليل الكيميائية اللازمة لدراسة نوعية المياه في المنطقة.
- وقد اتبعت منهجية علمية لتنفيذ هذا البحث، تضمنت أولاً تقويم الظروف الهيدروجيولوجية الحالية لمنطقة الدراسة باستخدام طرائق وأساليب متطورة تميّزت باستخدام التكنولوجيا الحديثة، وخاصةً الرقمية منها، وخصوصاً في مجال معالجة البيانات والقياسات الحقلية ونتائج التحاليل الكيميائية ورسم الخرائط والمخططات البيانية حيث تمّ الاعتماد في ذلك على البرامج الآتية:

. Surfer Ü

. ArcMap Ü من بنية نظم المعلومات الجغرافي (GIS) .

. Excel Ü

ثانياً وبعد تقويم الظروف الهيدروجيولوجية الحالية للمنظومة المائية في منطقة الدراسة، كان لا بُدَّ من التعرف على حالة المنظومة الهيدروجيولوجية مستقبلاً في حالة زيادة كميات السحب المائي في إطار خطط التوسع في أعمال التنمية في المنطقة وزيادة عدد السكان. ولتحقيق ذلك تمَّ بناء نموذج رياضي يُحاكي الظروف الهيدروجيولوجية للحوامل المائية في منطقة الدراسة ويعطي تصوراً لما قد يطرأ مستقبلاً على عمق المياه الجوفية نتيجة زيادة السحب من المنظومة الهيدروجيولوجية على المدى الطويل (حتى عام 2040) واستُخدِمَ فيه نموذج Modflow من برنامج GMS، وبعد تصميم النموذج ومعايرته وتحقيقه لحالة الجريان المستقر استناداً لاستثمارات عام 2012، ومن ثمَّ التحقق من صحته وصلاحيته، تمَّ اقتراح عدَّة خطط استثمارية (سيناريوهات) يعتمد كلُّ منها على كمية سحب معيَّنة من نفس الآبار الموجودة في المنطقة أو من آبار إضافية مُقترحة في مناطق مختلفة من منطقة الدراسة على أن تُسجَّل التغيُّرات التي تطرأ على مناسيب المياه ومن ثمَّ مكونات الموازنة المائية خلال فترات زمنية معيَّنة حتى عام 2040 .

وبدراسة النتائج التي تمَّ الحصول عليها لكل خطة استثمارية مُقترحة على حدة تبين بأنَّ نتائج النموذج تُمثِّل تقويمياً ديناميكياً لموارد المياه الجوفية المُتاحة في المنطقة، وتُعتبر أداة مهمة وفعَّالة بيد المعنيين لاستثمار تلك الموارد بالشكل الأمثل.

Key words

الكلمات المفتاحية

Al-kabir al-shimali river	نهر الكبير الشمالي
Al-snohar river	نهر السنوبر
Groundwater system	نظام المياه الجوفية
Hydrodynamic net	الشبكة الهيدروديناميكية
Hydrogeological parameters	البارامترات الهيدروجيولوجية
Hydrogeochemistry	هيدروجيوكيمياء
Groundwater quality	نوعية المياه الجوفية
Modeling	نمذجة
Resources	موارد
Calibration	معايرة
Exploitation	استثمار
Scenario	سيناريو



يسبح الله الرحمن الرحيم

((قَالَ مِنْ الْجَنَّةِ لِلنَّارِ نَفْحًا مِنْهَا وَاللَّذَّةِ الْكُبْرَىٰ وَالْكَرْمَ الْعَنَقَبِيُّ فَذُقُوا حَتَّىٰ تَبْغُوا))

سورة البقرة .. آية /74/

((وَجَعَلْنَا مِنْ بَيْنِ يَدَيْهِ جَهَنَّمَ))

سورة الأنبياء .. آية /30/

((قَالَ زَيْدُ بْنُ نَوْفَلٍ))

سورة إبراهيم .. آية /32/

((قَالَ زَيْدُ بْنُ نَوْفَلٍ))

سورة الزمر .. آية /21/

((يَجْعَلُ الْفَقْرَ حِرْمًا وَمِنَاهُ وَالْأَرْضَ حِرْمًا وَمِنَاهُ))

سُبْحَانَ رَبِّنَا إِنَّا كُنَّا مُسْلِمِينَ

الإنجيل .. المزمير .. المزمور 107 .. / 35 ، 36 ، 37 /

فَيَسِّرُ الْيُسْرَىٰ فِيمَا كَانَ يَدْرُسُهُ وَالْجَاهِلُونَ الْأَقْلَامَ وَالْعِلْمَ الْأَعْمَىٰ
فَقَمَّ بَعْلَمِهِ وَاللَّهُ يَطْلُبُ بِهِ بَدَلًا فَالْغَنَىٰ مَوْنِي وَأَرْسِلَ الْعِلْمَ الْأَعْمَىٰ

الإهداء

إلى من تعجز الكلمات عن وصفها أمي

إلى من أفخر بحمل اسمه أبي

إلى من تحمّل معي أعباء العمل وسهر الليالي بمحبة وأمل أخوتي

إلى الذين جعلوا للحياة معنى آخر أصدقائي

إلى كل قلب خفق لي ومن أجلي ..
وإلى كل من وقف بجانبني بصدق وإخلاص ووفاء .. ولو بدعاء

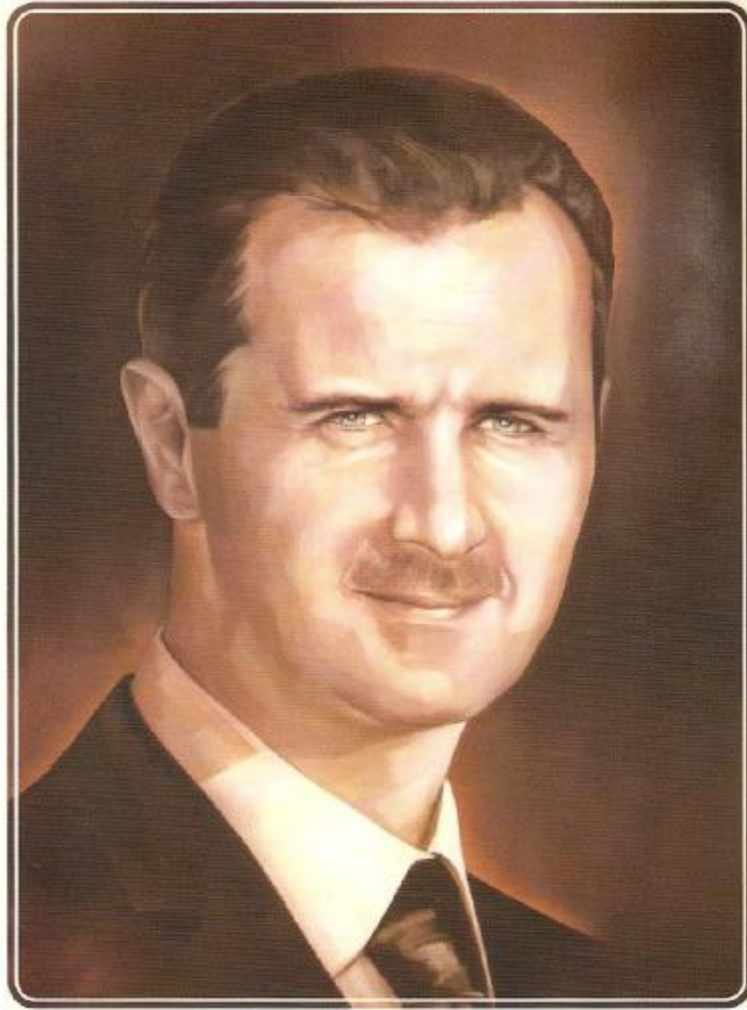
إهداء خاص

إلى الأمل المُشرق في دنيا العروبة من المحيط إلى الخليج

إلى قائد هذه الأمة

إلى باعث الأمل بمستقبلٍ واعد

إلى راعي العلم والعلماء



السيد الرئيس الدكتور بشار حافظ الأسد

رئيس الجمهورية العربية السورية

إلى أرواح شهدائنا الأبرار



الشهيد البطل ابيولوجي الملازم أول شادي أمين عروس



الشهيد البطل المهندس الملازم أول حازم وفيق علي

الشكر والتقدير

Acknowledgement

للعلماء بمختلف اهتماماتهم رسالة يكرسون حياتهم من أجلها. فهم يبحثون في عالم يلفه الغموض، يكتشفون أسرارهِ ويطوِّعون إمكاناته لخدمة الإنسان. وهم بذلك يضيفون يوماً بعد يوم، جديداً للمعرفة التي هي الخير للبشرية جمعاء، وهي الدعامة الركن للتقدُّم والرقى.

من هنا، وبقلبٍ مفعمٍ بالحب والخير لا يسعني إلا أن أقف بإجلال وإكبار أمام هؤلاء، الذين كانوا لي السند الأكبر خلال هذه الرحلة الطويلة

✚ السيد الأستاذ الدكتور أحمد محمد الذي منحني كل اهتمام ومتابعة علمية، وقدم لي بسخاءٍ مطلق الكثير من بحر أفكاره، وكان لي خير عون بكل رحابة صدر.

✚ السيد الدكتور المهندس شريف حايك الذي شارك في الإشراف على هذا العمل، وشدَّ من عزيمتي وكان ينبوع الأمل الذي أنهل منه التفاؤل وأستمد منه القدرة.

✚ أساتذتنا الأكارم السادة أعضاء الهيئة التدريسية في قسم الجيولوجيا.

وأتوجه بالشكر والتقدير للأستاذ الدكتور علي الأسعد، الأستاذ الدكتور محمد عيسى، الأستاذ الدكتور عطفان عمار والأستاذ الدكتور سليم حميد، لتفضُّلهم وقبولهم تقويم هذا العمل من خلال مشاركتهم في لجنة الحكم.

كما أشكر أيضاً مديرية الموارد المائية في اللاذقية، لتقديمها كافة التسهيلات اللازمة لانجاز هذا العمل، وأخص بالذكر المهندس علي استانبولي والمهندس مازن نعمان والمهندس نورس حمدي.

وإلى كل من ساهم بتقديم المعلومات أو المساعدة بالعمل الحقلّي أو الدعم المعنوي في سبيل إنجاز هذا العمل، والذين لا يتسع المجال لذكر أسمائهم.

كنان جمال راعي

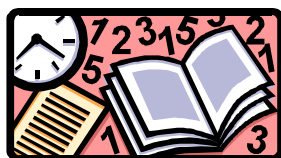
فهرس المحتويات

Tables of Contents

1	الفصل الأول: الدراسة المرجعية
1	1.1. الدراسات المحلية.
5	2.1. دراسات عالمية وعربية.
8	الفصل الثاني: العوامل الطبيعية المحددة لتشكل المياه الجوفية في المنطقة الواقعة بين نهري الكبير الشمالي والصنوبر
8	1.2. الظروف الفيزيوجرافية.
9	1.1.2. التضاريس.
11	2.1.2. الخصائص المناخية.
20	3.1.2. الشبكة الهيدروغرافية وخصائص تشكل الجريان النهري.
23	2.2. البنية الجيولوجية والتكتونية.
24	1.2.2. البنية الجيولوجية.
30	2.2.2. البنية التكتونية.
32	3.2. الظروف الهيدروجيولوجية.
39	الفصل الثالث: النظام المائي في منطقة الدراسة
39	1.3. مفاهيم عامة حول النظام المائي.
40	2.3. دراسة تغيرات مناسيب المياه الجوفية مع الزمن في منطقة الدراسة.
43	1.2.3. التغيرات الفصلية.
49	2.2.3. التغيرات السنوية.
52	3.3. دراسة حركة المياه الجوفية.

57	4.3. تعيين البارامترات الهيدروجيولوجية باستخدام معطيات مراقبة نظام المياه الجوفية.
57	1.4.3. دراسة المسألة.
59	2.4.3. تعيين البارامترات الهيدروجيولوجية في منطقة الدراسة.
68	3.4.3. تقدير دقة نتائج تحديد قيم المعاملات الهيدروجيولوجية.
71	الفصل الرابع: الخصائص الهيدروكيميائية للمياه في منطقة الدراسة
71	1.4. الخصائص الهيدروكيميائية للمياه الجوفية في منطقة الدراسة.
71	1.1.4. توزع الشوارد الرئيسية وتغيرات قيم تراكيزها مع الزمن.
81	2.1.4. السحنات الهيدروكيميائية السائدة.
83	3.1.4. الأملاح المفترضة.
86	4.1.4. النسب الجيوكيميائية.
87	2.4. الخصائص الهيدروكيميائية للمياه السطحية في منطقة الدراسة.
91	3.4. التحليل والتقييم الإحصائي.
93	4.4. تحديد صلاحية المياه الجوفية للاستخدامات المختلفة.
94	1.4.4. صلاحية المياه الجوفية لأغراض الشرب.
98	2.4.4. تقويم نوعية المياه وصلاحيتها لأغراض الري.
104	الفصل الخامس: إدارة موارد المياه الجوفية
104	1.5. نمذجة المياه الجوفية.
106	1.1.5. أنماط نمذجة المياه الجوفية.
106	1.1.1.5. النماذج الفيزيائية.
106	2.1.1.5. نماذج التشابه الكهربائي.
106	3.1.1.5. النماذج الحاسوبية.

107	2.1.5. منهجية النمذجة العددية لرشح المياه الجوفية.
111	3.1.5. قاعدة البيانات.
111	4.1.5. المعادلات المتحكمة.
116	5.1.5. مراحل إعداد النموذج الرياضي.
119	1.5.1.5. النموذج الاعتيادي.
120	2.5.1.5. تصميم النموذج.
127	3.5.1.5. تشغيل النموذج.
132	4.5.1.5. تحليل الحساسية.
132	5.5.1.5. معايرة النموذج.
138	6.5.1.5. تحقيق النموذج.
141	7.5.1.5. مرحلة التنبؤات.
142	2.5. إدارة موارد المياه الجوفية.
142	1.2.5. خطط وسياسات إدارة المياه الجوفية.
143	2.2.5. خطط استثمار الموارد المائية في منطقة الدراسة.
168	الاستنتاجات والتوصيات
168	الاستنتاجات.
170	التوصيات.
171	المراجع
178	الملاحق



قائمة بالجداول

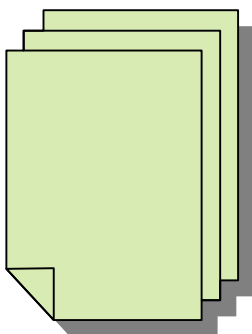
List of Tables

- الجدول (1-2). النسب المئوية للمساحات بحسب الارتفاعات الطبوغرافية في منطقة الدراسة. 10
- الجدول (2-2). المعدلات الشهرية لتغير درجات حرارة الهواء في محطات (سد 16 تشرين، جبلة، اللاذقية) 13
- الجدول (3-2). كميات الهطل المطري الشهرية (مم) في محطات (سد 16 تشرين، جبلة، اللاذقية) 16
- الجدول (4-2). المتوسطات الشهرية لسرعة الرياح (م/ثا) للفترة الممتدة من عام 2003 وحتى 2012 18
- الجدول (5-2). المعدل الشهري للتبخر (مم) في محطتي (سد 16 تشرين، اللاذقية) 19
- الجدول (6-2). المعدل الشهري لتدفق نهر الكبير الشمالي في محطة غمام (م³/ثا) 21
- الجدول (7-2). المعدل الشهري لتدفق نهر الصنوبر في محطة الصنوبر (م³/ثا) 23
- الجدول (8-2). نتائج قياس أعماق توضع المياه في بعض الآبار التي اخترقت مختلف التوضعات الرباعية والتي اعتمدت في الدراسة (قيم متوسط أعماق توضع المياه للعام 2012) 34
- الجدول (9-2). نتائج قياس أعماق توضع المياه في بعض الآبار التي اخترقت التوضعات البحرية العائدة للبلوسين والتي اعتمدت في الدراسة (قيم متوسط أعماق توضع المياه للعام 2012) 36
- الجدول (10-2). قائمة الآبار التي اعتمدت في إنشاء خارطة الهيدروايزوهيبس 38
- الجدول (1-3). الآبار المُعتمَدة في الدراسة، ومعايير اختيارها 40
- الجدول (2-3). تغير الساعات في البئر / 24 / 44
- الجدول (3-3). تغير الساعات المائية في الآبار التي جُمعت فيها تغيرات أعماق توضع المياه لسنوات عديدة 49

56	الجدول (3-4). نطاقات أعماق توضع المياه الجوفية في منطقة الدراسة
64	الجدول (3-5). قيم المعاملات الهيدروجيولوجية بوساطة معطيات مراقبة نظام المياه الجوفية
67	الجدول (3-6). نتائج حساب التغذية الراشحة
73	الجدول (4-1). التركيب الكيميائي لعينات المياه الجوفية في منطقة الدراسة خلال شهر آب للعام 2012
74	الجدول (4-2). التركيب الكيميائي لعينات المياه الجوفية في منطقة الدراسة خلال شهر تشرين الثاني للعام 2012
75	الجدول (4-3). التركيب الكيميائي لعينات المياه الجوفية في منطقة الدراسة خلال شهر نيسان للعام 2013
82	الجدول (4-4). متوسطات نتائج التحاليل والقياسات التي أُجريت في منطقة الدراسة
84	الجدول (4-5). التركيب الملحي لعينات المياه المحلّلة في منطقة الدراسة
86	الجدول (4-6). النسب الجيوكيميائية للقيم المتوسطة لنتائج التحاليل الكيميائية
88	الجدول (4-7). نتائج القيم المتوسطة للمعاملات المقاسة حقلياً
90	الجدول (4-8). القيم المتوسطة لنتائج التحاليل الثلاث التي قمنا بها لعينات المياه السطحية
92	الجدول (4-9). معاملات الارتباط بين المكونات الكيميائية الأساسية للعينات المائية المحلّلة
94	الجدول (4-10). المعدلات المعمول بها في الجمهورية العربية السورية لتقويم صلاحية مياه الشرب حسب المواصفة القياسية السورية رقم (45) لعام 2007
95	الجدول (4-11). الآبار التي أبدت ارتفاعاً في تركيز شاردة البيكربونات
96	الجدول (4-12). الآبار الملوثة بشاردة الكبريتات
97	الجدول (4-13). متوسط نتائج تحاليل عينات المياه الجوفية في منطقة الدراسة للمركبات الآزوتية والفوسفات

- 99 الجدول (4-14). تصنيف المياه المستخدمة في الري حسب درجة ملوحتها وفق (FAO)
- 101 الجدول (4-15). تصنيف المياه المستخدمة في الري حسب نسبة الصوديوم
- 102 الجدول (4-16). تصنيف المياه المستخدمة في الري حسب نسبة ادمصاص الصوديوم
- 103 الجدول (4-17). القيم الوسطية لـ (نسبة ادمصاص الصوديوم ، نسبة الصوديوم ، مجمل الأملاح المنحلة) في بعض آبار شبكة الرصد من خلال نتائج التحاليل الكيميائية
- 127 الجدول (5-1). التسرب من الهطولات المطرية
- 137 الجدول (5-2). عناصر الموازنة المائية (م³/يوم) لحالة الجريان المستقر في منطقة البحث (حالة المعايرة) لشهر تشرين الأول 2012
- 144 الجدول (5-3). التجمعات السكنية في منطقة الدراسة ومدى احتياجاتها من مياه الشرب
- 145 الجدول (5-4). التجمعات السكنية في منطقة الدراسة ومدى احتياجاتها لمياه الشرب حتى عام 2030
- 146 الجدول (5-5). المنشآت الصناعية في منطقة الدراسة في عام 2015
- 147 الجدول (5-6). حجم الاستعمالات المائية في منطقة الدراسة لعام 2015
- 148 الجدول (5-7). التجمعات السكنية في منطقة الدراسة، ومقدار نسبة الضخ من آبارها وفقاً للاحتياجات المائية المقدّرة في كلٍ منها للأعوام 2015 ، 2020 ، 2025 ، 2030
- 150 الجدول (5-8). عناصر الموازنة المائية (م³/يوم) في منطقة البحث للسيناريو 1 للعام 2015
- 152 الجدول (5-9). عناصر الموازنة المائية (م³/يوم) في منطقة البحث للسيناريو 1 للعام 2020
- 153 الجدول (5-10). عناصر الموازنة المائية (م³/يوم) في منطقة البحث للسيناريو 1 للعام 2025

- 156 الجدول (5-11). عناصر الموازنة المائية (م³/يوم) في منطقة البحث للسيناريو 1
للعام 2030
- 159 الجدول (5-12). توزع المنشآت الصناعية ضمن التجمعات السكنية في منطقة
الدراسة
- 160 الجدول (5-13). عناصر الموازنة المائية (م³/يوم) في منطقة البحث للسيناريو 2
للعام 2015
- 163 الجدول (5-14). عناصر الموازنة المائية (م³/يوم) في منطقة البحث للسيناريو 3
للعام 2040
- 166 الجدول (5-15). عناصر الموازنة المائية (م³/يوم) في منطقة البحث للسيناريو 4
للعام 2040



قائمة بالأشكال

List of Figures

- 8 الشكل (1-2). الموقع العام لمنطقة الدراسة
- 9 الشكل (2-2). الأحواض الفرعية لحوض الساحل وموقع منطقة الدراسة ضمنها
- 10 الشكل (3-2). الخريطة الطبوغرافية لمنطقة الدراسة
- 11 الشكل (4-2). مخطط الارتفاع والمنحني التجميعي (الاييسوغرافي) لمنطقة الدراسة
- 14 الشكل (5-2). المتوسط الشهري لتغيرات درجة الحرارة في محطات (سد 16 تشرين، جبلة، اللاذقية) لفترة المراقبة من عام 2003 وحتى 2012
- 15 الشكل (6-2). متوسط المعدلات الشهرية للرطوبة النسبية في محطات (سد 16 تشرين، جبلة، اللاذقية) لفترة المراقبة من عام 2003 وحتى 2012
- 17 الشكل (7-2). المعدلات الشهرية الوسطية للهطولات المطرية في محطات (سد 16 تشرين، جبلة، اللاذقية) لفترة المراقبة من عام 2003 وحتى 2012
- 18 الشكل (8-2). العلاقة بين المتوسط السنوي للهطولات المطرية في محطات الرصد المأخوذة والارتفاع الطبوغرافي (تحديد قيمة المعدل الوسطي للهطولات المطرية في منطقة الدراسة)
- 22 الشكل (9-2). علاقة تصريف نهر الكبير الشمالي ونهر الصنوبر مع الهطل المطري
- 24 الشكل (10-2). حوضا نهر الكبير الشمالي ونهر الصنوبر
- 25 الشكل (11-2). الخريطة الجيولوجية لمنطقة الدراسة
- 27 الشكل (12-2). العمود الليتولوجي لبئر مزار القطرية

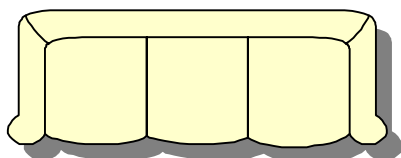
- 28 الشكل (2-13). مقطع مضاهاة جيولوجي - هيدروجيولوجي (I-I) ويمثل مضاهاة مقاطع آبار اخترقت البليوسين
- 29 الشكل (2-14). مقطع مضاهاة جيولوجي - هيدروجيولوجي (II-II) ويمثل مضاهاة مقاطع آبار اخترقت الرباعي
- 30 الشكل (2-15). موقع منطقة البحث تكتونياً
- 37 الشكل (2-16). خارطة هيدروايزوهيبس لمنطقة الدراسة للعام 2012
- 43 الشكل (3-1). مقارنة تغير أعماق توضع المياه الجوفية في منجلا و الرويمية مع كمية الهطل المطري (A: مرحلة الهبوط ، B: مرحلة الثبات النسبي ، C: مرحلة النهوض)
- 45 الشكل (3-2). مقارنة تغير أعماق توضع المياه الجوفية في كل من معمل المعاكس، الشير، ستخيرس، رويسة الحرش، البصة، الحمى، الشلفاطية مع كمية الهطل المطري
- 46 الشكل (3-3). مقارنة تغير أعماق توضع المياه الجوفية في كل من الخللة، البارد، الصنوبر، نبع الرز، الخرنوبة، العائدة للرباعي الأوسط (Q_2) ، مع كمية الهطل المطري
- 47 الشكل (3-4). مقارنة تغير أعماق توضع المياه الجوفية في كل من مزار القطرية، المشيرفة، العائدة للرباعي الأسفل (Q_1) ، مع كمية الهطل المطري
- 48 الشكل (3-5). مقارنة تغير أعماق توضع المياه الجوفية في كل من الهنادي، فديو، دبا، القطرية، مزار القطرية، ضهر السرياني، الرامة، القاقعية، المصلّى، الضاهرية، العائدة للبليوسين (N_2) ، مع كمية الهطل المطري
- 51 الشكل (3-6). مخطط يبين تغيرات أعماق توضع المياه الجوفية في الآبار / معمل المعاكس، الشير، ستخيرس، رويسة الحرش / مع كمية الهطل المطري من عام 2008 وحتى عام 2012
- 53 الشكل (3-7). الشبكة الهيدروديناميكية للمياه الجوفية في منطقة الدراسة خلال فترة الهبوط في عام 2012

- 54 الشكل (3-8). الشبكة الهيدروديناميكية للمياه الجوفية في منطقة الدراسة خلال فترة الثبات النسبي في عام 2012
- 55 الشكل (3-9). الشبكة الهيدروديناميكية للمياه الجوفية في منطقة الدراسة خلال فترة النهوض في عام 2012
- 56 الشكل (3-10). خريطة توزع نطاقات أعماق توضع المياه الجوفية (م) في منطقة الدراسة خلال فترة الهبوط
- 57 الشكل (3-11). خريطة توزع نطاقات أعماق توضع المياه الجوفية (م) في منطقة الدراسة خلال فترة النهوض
- 60 الشكل (3-12). خارطة هيدروايزوهيبس لمنطقة الدراسة لعام 2012 ، ومواقع مقاطع المراقبة المختارة
- 62 الشكل (3-13). تحديد البارامترات الهيدروجيولوجية للطبقة الحاملة للمياه بوساطة معطيات مراقبة نظام المياه الجوفية
- 65 الشكل (3-14). توضع الآبار في مقطع المراقبة لحساب التغذية الراشحة بطريقة الفروق المنتهية
- 66 الشكل (3-15). مخطط لحساب قيمة التغذية الراشحة
- 69 الشكل (3-16). منحنى تغير منسوب المياه الجوفية في البئر (9) خلال فترة المراقبة 2012 - 2013
- 70 الشكل (3-17). التمثيل البياني - التحليلي بطريقة الفروق المنتهية لتعيين المعاملات الهيدروجيولوجية بوساطة معطيات المراقبة على المقطع (Iv) في الحالتين ($W=0$) و ($W>0$)
- 72 الشكل (4-1). الآبار والمواقع المختارة لإجراء التحاليل الكيميائية للمياه الجوفية والسطحية في منطقة الدراسة
- 76 الشكل (4-2). مخطط يبين قيم شاردة البيكربونات لعينات المياه الجوفية المقطوفة من منطقة الدراسة
- 77 الشكل (4-3). مخطط يبين قيم شاردة الكبريتات لعينات المياه الجوفية المقطوفة من منطقة الدراسة

- 77 الشكل (4-4). مخطط يبين قيم شاردة الكلوريد لعينات المياه الجوفية المقطوفة من منطقة الدراسة
- 78 الشكل (5-4). مخطط يبين قيم شاردة الكالسيوم لعينات المياه الجوفية المقطوفة من منطقة الدراسة
- 78 الشكل (6-4). مخطط يبين قيم شاردة المغنيزيوم لعينات المياه الجوفية المقطوفة من منطقة الدراسة
- 79 الشكل (7-4). مخطط يبين قيم شاردة الصوديوم لعينات المياه الجوفية المقطوفة من منطقة الدراسة
- 79 الشكل (8-4). مخطط يبين قيم شاردة البوتاسيوم لعينات المياه الجوفية المقطوفة من منطقة الدراسة
- 80 الشكل (9-4). مخطط يبين قيم الملوحة لعينات المياه الجوفية المقطوفة من منطقة الدراسة
- 85 الشكل (10-4). مخطط بياني يوضح ملوحة المياه الجوفية في منطقة الدراسة والأملاح المتشكلة فيها
- 93 الشكل (11-4). التحليل الإحصائي (Q- Mode) لتوضيح الارتباط بين الآبار المدروسة
- 98 الشكل (12-4). خريطة توزع قيم شاردة النتريت في منطقة الدراسة
- 100 الشكل (13-4). خريطة تساوي الملوحة في منطقة الدراسة
- 101 الشكل (14-4). دياغرام "Wilcox's" ومواقع العينات المائية
- 113 الشكل (5-1). شبكة لدراسة نظام الطبقة المائية الافتراضية
- 118 الشكل (5-2). خوارزمية تشغيل النموذج الرياضي
- 120 الشكل (5-3). النموذج الاعتراري لمنطقة البحث
- 122 الشكل (5-4). الشروط الحدية والبدئية وشبكة الفروق المنتهية في منطقة البحث
- 124 الشكل (5-5). منسوب سطح الأرض
- 125 الشكل (5-6). منسوب أساس الطبقة الحاملة للمياه الجوفية
- 126 الشكل (5-7). شريحة آبار الصرف

- 128 الشكل (5-8). شريحة عامل الرشح (م/يوم)
- 130 الشكل (5-9). الشبكة الهيدروديناميكية (قبل المعايرة) لشهر تشرين الأول 2012
- 131 الشكل (5-10). الفرق بين القيم المحسوبة والمقيسة (قبل المعايرة) لشهر تشرين الأول 2012
- 131 الشكل (5-11). الفرق بين القيم المقيسة والمتبقية (قبل المعايرة) لشهر تشرين الأول 2012
- 135 الشكل (5-12). الفرق بين القيم المحسوبة والمقيسة (بعد المعايرة) لشهر تشرين الأول 2012
- 135 الشكل (5-13). الفرق بين القيم المقيسة والمتبقية (بعد المعايرة) لشهر تشرين الأول 2012
- 136 الشكل (5-14). الشبكة الهيدروديناميكية (بعد المعايرة) لشهر تشرين الأول 2012
- 139 الشكل (5-15). الفرق بين القيم المحسوبة والمقيسة لشهر أيلول 2012
- 139 الشكل (5-16). الفرق بين القيم المحسوبة والمقيسة لشهر تشرين الثاني 2012
- 140 الشكل (5-17). الشبكة الهيدروديناميكية المحسوبة لشهر أيلول 2012
- 141 الشكل (5-18). الشبكة الهيدروديناميكية المحسوبة لشهر تشرين الثاني 2012
- 149 الشكل (5-19). الشبكة الهيدروديناميكية لمنطقة الدراسة – السيناريو 1 للعام 2015
- 150 الشكل (5-20). توزيع هبوط سطح المياه الجوفية (م) للسيناريو الأول للعام 2015
- 151 الشكل (5-21). الشبكة الهيدروديناميكية لمنطقة الدراسة – السيناريو 1 للعام 2020
- 152 الشكل (5-22). توزيع هبوط سطح المياه الجوفية (م) للسيناريو الأول للعام 2020
- 154 الشكل (5-23). الشبكة الهيدروديناميكية لمنطقة الدراسة – السيناريو 1 للعام 2025
- 155 الشكل (5-24). توزيع هبوط سطح المياه الجوفية (م) للسيناريو الأول للعام 2025
- 156 الشكل (5-25). الشبكة الهيدروديناميكية لمنطقة الدراسة – السيناريو 1 للعام 2030
- 157 الشكل (5-26). توزيع هبوط سطح المياه الجوفية (م) للسيناريو الأول للعام 2030

- 158 الشكل (5-27). خريطة توضح السماكة الفعّالة للطبقات الحاملة للمياه
- 160 الشكل (5-28). الشبكة الهيدروديناميكية لمنطقة الدراسة – السيناريو 2
- 161 الشكل (5-29). توزيع هبوط سطح المياه الجوفية (م) للسيناريو الثاني
- 162 الشكل (5-30). الشبكة الهيدروديناميكية لمنطقة الدراسة – السيناريو 3
- 163 الشكل (5-31). توزيع هبوط سطح المياه الجوفية (م) للسيناريو الثالث
- 165 الشكل (5-32). الشبكة الهيدروديناميكية لمنطقة الدراسة – السيناريو 4
- 166 الشكل (5-33). توزيع هبوط سطح المياه الجوفية (م) للسيناريو الرابع



قائمة بالمصطلحات

List of Terminology

-A-

Analyses Statistical	التحليل الإحصائي
Aquifer	طبقة حاملة للمياه الجوفية

-B-

Basin	حوض
Boundary Conditions	الشروط الحدية

-C-

Calibration	معايرة
Cells	خلايا
Climate Properties	الخصائص المناخية
Coefficient of Storage	معامل التخزين
Computed	محسوب
Conceptual Model	النموذج الاعتباري
Correlation Coefficient	معامل الارتباط

-E-

Electrical Conductivity	الناقلية الكهربائية
Elements	عناصر
Evaporation	التبخر
Exploitation	استثمار

-F-

Facies	سحنة
Filtration Recharge	التغذية الراشحة

-G-

Governing Equations	المعادلات المتحكممة
Grid	شبكة
Ground Water Flow	جريان المياه الجوفية

Ground Water System	نظام المياه الجوفية
-H-	
Hydrodynamic Net	الشبكة الهيدروديناميكية
Hydroisohypes	هيدروإيزوهيبس
-I-	
Infiltration	التسرب
Inflow	الجريان الداخل
Initial Conditions	الشروط البدئية
Interpolation Function	توابع الاستيفاء
Irrigation	ري
Iteration	تكرار
-M-	
Management	إدارة
Mathematical Model	نموذج رياضي
Matrix Equation	معادلة المصفوفة
Meteorological Stations	محطات الأرصاد الجوية
Modeling	نمذجة
-N-	
Network	شبكة
Nodal Point	نقاط مركزية (عُقَد)
Numerical	رقميّ
-O-	
Observed	مقيس
Outflow	الجريان الخارج
-P-	
Permeability Coefficient	معامل النفاذية
Precipitations	الهطل المطري
Pumping	الضخ
-R-	
Radius of Influence	نصف قطر التأثير
Relative Humidity	الرطوبة النسبية

Residual	متبقي
Resources	موارد
-S-	
Scenario	سيناريو
Sensitivity Analysis	تحليل الحساسية
Simulation	محاكاة
Sinks	صرف
Source	مصدر
Standard Deviation	الانحراف المعياري
Stress Periods	فترات إجهاد
Surface Water	المياه السطحية
-T-	
Temperature	درجة الحرارة
Time Steps	خطوات زمنية
-V-	
Verification	تحقيق
-W-	
Water Budget	الموازنة المائية
Water Quality	نوعية المياه
Wind	الرياح



قائمة بالاختصارات

List of Abbreviations

ACSAD	المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة
BGR	المعهد الاتحادي لعلوم الأرض والموارد الطبيعية
EC	الناقلية الكهربائية
FAO	منظمة الأغذية والزراعة
GIS	نظم المعلومات الجغرافي
GMS	نمذجة المياه الجوفية
pH	الرقم الهيدروجيني (درجة الحموضة)
SAR	نسبة ادمصاص الصوديوم
SEI	معهد ستوكهولم للبيئة
SPSS	البرمجة الإحصائية لعلوم الاجتماع
TDS	مجملة الأملاح المنحلة
USGS	هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية

قائمة بالرموز

List of Symbols

N	النيوجين
Q	الرباعي
Q ₄	التوضعات اللحقية الحديثة
Q ₃	توضعات الرباعي الأعلى اللحقية – السيلية
Q ₁ -Q ₂	التوضعات البحرية للرباعي (الأسفل – الأوسط)
N ₂	التوضعات البحرية للبلويسين
T	عامل الناقلية المائية
a	معامل الانتشار
μ	معامل المعطائية المائية
K	عامل الرشح
h	السماعة الفعالة للطبقة الحاملة للمياه
W	التغذية الراشحة
NTU	العكارة
M	الملوحة
Na ⁺	الصوديوم
K ⁺	البوتاسيوم
Ca ²⁺	الكالسيوم
Mg ²⁺	المغنيزيوم
NH ₄ ⁺	الأمونيا
HCO ₃ ⁻	البيكربونات
SO ₄ ²⁻	السلفات
Cl ⁻	الكلوريد
NO ₃ ⁻	النترات
NO ₂ ⁻	النتريت
PO ₄ ³⁻	الفوسفات

الفصل الأول

الدراسة المرجعية

مرّت الدراسات الجيولوجية والهيدروجيولوجية في سورية بمراحل عديدة، أنتجت مجموعة من الأعمال التي تصف الأوضاع الجيولوجية والهيدروجيولوجية في سورية بشكل عام، وفي الأحواض الهيدروجيولوجية الرئيسية بشكل خاص. إلا أنّ الدراسات الهيدروجيولوجية التفصيلية، بدأت بشكل فعلي منذ بداية السبعينيات من القرن الماضي، حيث تناولت مسائل هيدروجيولوجية عملية مثل الاحتياطي المائي والموازنة المائية وغيرها، هدفت إلى وضع خطط لتطوير مصادر المياه الجوفية، ونذكر من أهم هذه الأعمال الدراسات التي قام بها معهد "غروزغيبروفودخوذ" التي انتهت عام 1980، ودراسة معهد "لينغبروفودخوذ" التي انتهت عام 1986، إضافةً إلى العديد من الدراسات التي قامت بها مؤسسات حكومية وباحثون سوريون وأجانب في مجال إدارة الموارد المائية في مناطق مختلفة من القطر [4 , 8 , 9 , 20 , 24 , 25 , 26 , 79 , 80] ، وسنستعرض في هذه الدراسة بعض الدراسات المحلية والعربية والعالمية المتعلقة بموضوع البحث.

1.1. الدراسات المحلية

أولاً: خارج حدود المنطقة الساحلية

في عام 1981 أعدّ المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (أكساد) نموذجاً رياضياً لحوض الدوّ باستخدام برنامج تيسون – ويبر بعد تطويره، وقد تمّ تشغيل البرنامج على مرحلتين تضمنت المرحلة الأولى تمثيل شكل وحركة المياه الجوفية تمثيلاً كاملاً، أمّا المرحلة الثانية فتضمنت حساب الموازنة المائية النصف شهرية لكل مضع على حدة، ولمنطقة الدراسة بالكامل، وذلك خلال العام الهيدروجيولوجي الذي تمّ معايرة النموذج بموجبه وهو عام 1976 – 1977، وعلى أساس هذا النموذج تمّ اقتراح أربع خطط لإدارة الموارد المائية الجوفية في الحوض المذكور [13].

في عام 1986 أعدّت أطروحة دكتوراه بعنوان قوانين تشكل الموارد المائية الجوفية في الصبات البازلتية في منطقة جنوب غرب سورية وآفاق استثمارها في الاقتصاد الوطني [36] ، تمّ فيها وضع نموذج رياضي لتخطيط وإدارة الموارد المائية الجوفية في منطقة حوض نهر اليرموك، ووضع خطط لاستثمارها حتى عام 2025 باستخدام البرنامج HECT-1 المطوّر من قبل مخبر النمذجة الرياضية في مركز البحوث العلمية والصناعية في روسيا الاتحادية. وقد تمّ وضع أسس خطط الاستثمار بالاعتماد على دراسة الظروف الهيدروجيولوجية للمنطقة، وتقويم المعاملات

الهيدروجيولوجية والتغذية الجوفية والاحتياجات المائية وغيرها من العوامل المؤثرة على حركة المياه الجوفية، كما تمّ وضع الشروط اللازم أخذها بعين الاعتبار عند تصميم خطط الاستثمار ومنها قيم المعاملات الهيدروجيولوجية وقيمة الهبوط العام المتوقع لمناسيب المياه الجوفية الناتج عن الضخ. أظهرت نتائج هذه الدراسة أنّ كمية المياه المُخطط لاستثمارها لعام 2025 لأغراض الري والشرب ضمن حدود منطقة الدراسة تبلغ 298000 م³/يوم ، وهي تشكل حوالي 39% من مجمل الموارد المائية الجوفية في المنطقة والبالغة 763800 م³/يوم ، وذلك عند انخفاض في المنسوب بين 15 و 23 م . وقد نُشرَت بعض نتائج هذه الدراسة في مجلة بحوث جامعة حلب عام 1990 [32] .

في عام 1998 أعدّ المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (أكساد) نموذجاً رياضياً لحوض سبخة الموح، اعتماداً على كود MODFLOW ، فتوصّل إلى تحديد المعاملات الهيدروجيولوجية التي تحاكي نظام حركة المياه الجوفية في الحوض، وتحديد مركبات الموازنة المائية، وتأثير تطبيق خطط الاستثمار المطلوبة عليها [12] .

عملت وزارة الري على بناء نموذج رياضي لحوض القلمون عام 2000، بهدف تدقيق البارامترات الهيدروجيولوجية والموازنة المائية للطبقة الحاملة للمياه، وتوجيه استثمار المياه الجوفية، وذلك من خلال تحديد مناطق الأمل في الحوض المدروس، ووضع خطة موضوعية للاستثمارات المستقبلية، واختيار مواقع الآبار التي لا تسبب إجهادات كبيرة في الحوض المائي [40] .

كما قامت الشركة العامة للدراسات المائية في عام 2002م، بالتعاون مع جامعة البعث (كلية الهندسة المدنية)، بإنجاز دراسات مشاريع الري والصرف في المنطقتين 2 ، 3 من وادي الفرات الأدنى، ووضع النموذج الرياضي لحركة المياه الجوفية للاستفادة منه في تحديد الصرف الأمثل للحوض، بتحديد المواقع المثلى لآبار الصرف الشاقولي في المناطق الأكثر خطورة وخفض مستوى المياه الجوفية ووقف تدهور الأراضي الزراعية [9] .

أعدّ (أكساد)، نموذجاً رياضياً لحوض غوطة دمشق، بهدف الإدارة المثلى لموارد المياه الجوفية في سهل الغوطة بما يحقق إدارة سليمة لتلك الموارد وحمايتها من الاستنزاف والتلوث، إذ تمّ بناء النموذج الرياضي وتشغيله، وإعداد السيناريوهات انطلاقاً من الظروف الاقتصادية والاجتماعية الراهنة، ووفقاً للخطط التنموية المحتملة آخذين بالحسبان البعد المناخي في تلك السيناريوهات كلّها، وتمّ إصدار التقرير النهائي للمشروع في نهاية عام 2008، وأعدّ نموذج رياضي لحوض حلب، وذلك لصالح وزارة الري، ومديرية الموارد المائية في حلب، حيث تمّ حساب الموازنة المائية ووضع سيناريوهات حول إمكانية تطوير الاستثمارات المستقبلية وفقاً للإمكانيات المتاحة في الحوض واختيار المناسب منها، وتمّ الانتهاء من المشروع عام 2010 [14] .

مشروع إعداد البلاغ الوطني للتغيرات المناخية (2007-2011)، الذي يتفرع عنه ستة عشر مشروعاً مستقلاً، يمكن أن نذكر منها مشروع نمذجة المياه الجوفية لحوض الزبداني، حيث طور أكساد بالتعاون مع المعهد الاتحادي لعلوم الأرض والموارد الطبيعية (BGR) ومعهد ستوكهولم للبيئة (SEI) نظاماً لدعم اتخاذ القرار في إدارة الموارد المائية، وقد استُخدم هذا النظام في فحص تأثير التغيرات المناخية على مناسيب المياه الجوفية، من خلال تطبيق عدة سيناريوهات وذلك عن طريق ربط نموذج MODFLOW 2000 لنمذجة حركة المياه الجوفية مع نموذج Weap21 لتقويم وإدارة الموارد المائية [3].

ثانياً: ضمن المنطقة الساحلية

أجرى معهد "غروزغيبروفودخوذ" في الاتحاد السوفيتي السابق عام 1979 تحريات ودراسات هيدروجيولوجية وهيدرولوجية في الأحواض الأربعة (اليرموك، العاصي، حلب، وحوض الساحل)، كان هدفه وضع أسس تقانية لمنشآت زراعية، بالإضافة إلى أعمال المسح والدراسات الجيوفيزيائية والهندسية التي تضمنت أعمال الحفر، ودراسة الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للتربة. وفي عام 1982 قام المعهد نفسه بدراسة خطة تطوير مصادر المياه في الأحواض الأربعة، ولم تتضمن الدراسات السابقة أية موديلات رياضية، لتقدير موارد المياه الجوفية القابلة للاستثمار في مجال الشرب والري في منطقة البحث، ولم توضع تنبؤاً بالتغيرات الهيدروجيولوجية (مناسيب المياه الجوفية، التركيب الكيميائي للمياه) المتوقعة بعد مرور فترات زمنية طويلة [4].

أنجزت الشركة العامة للدراسات المائية في عام 1987 مشروع دراسة حوض نبع السن، وذلك بهدف تقويم كل من الظروف الهيدروجيولوجية والهيدرولوجية، وتمّ عرض النتائج في مجلدين، تضمن المجلد الأول التقرير الهيدروجيولوجي العام، أمّا المجلد الثاني فقد تضمن الهيدروجيولوجيا والمناخ والدراسات الجيوفيزيائية [8].

كما درست شركتا IBG/DHV السويسرية – الهولندية عام 2002 مشروع تأمين جزء من الاحتياجات المائية لمدينة دمشق وريفها من فائض مياه الساحل السوري، فتضمنت الدراسة نموذجاً رياضياً في المنطقة الممتدة من بانياس إلى سهل عكار باستخدام برنامج النمذجة العددية FEFLOW [25].

وفي عام 2004 أعدت شركة DHV الهولندية وآخرون بالتعاون مع المديرية العامة لحوض الساحل "مشروع إدارة الموارد المائية في حوض الساحل"، تمّ إصدار هذه الدراسة في ثمانية مجلدات تناول أحدها تقييم الظروف الهيدروجيولوجية في منطقة الدراسة [24].

أعدت شركة "يكم" الاستشارية الإيرانية دراسة لتنظيم مجرى نهر الكبير الشمالي في عام 2005، وقد خلصت هذه الدراسة إلى التعرف على التغيرات وتقييم الوضع الراهن لمجرى نهر الكبير الشمالي من سد 16 تشرين حتى مصبه في البحر، حيث تمّ وضع المخطط المورفولوجي لمنطقة

الدراسة، بالإضافة إلى دراسة التغيرات الفيزيائية، الكيميائية، والبيئية لمياه النهر، وأخيراً قُدمت مجموعة من الخيارات المختلفة للتصاميم الهندسية اللازمة لتنظيم مجرى نهر الكبير الشمالي [26].

إضافةً لما سبق قدمت بعض الدراسات والرسائل الجامعية المحلية ومنها:

Ø رسالة ماجستير بعنوان "تغيُّر الظروف الهيدروجيولوجية في منطقة ري سد السادس عشر من تشرين الواقعة بين نهر الكبير الشمالي ونهر الصنوبر وترشيد استهلاك موارد المياه الجوفية فيها" التي أعدها المهندس شريف حايك عام 1998 [17]. وقد تمَّ في هذه الدراسة تحديد تغيرات مناسيب المياه الجوفية في طبقة المياه الحرة ودراسة تغير تركيبها الكيميائي، بالإضافة إلى تقويم موارد المياه الجوفية وتقدير إمكانية الاستفادة منها لأغراض الري وغيرها.

Ø دراسة قامت بها الهيئة العامة للاستشعار عن بعد، حول استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد والدراسات الهيدروجيولوجية والجيوفيزيائية، لتحديد مناطق الأمل لوجود المياه الجوفية، والتي قام بها الجيولوجي عيسى علي عام 2003 [23]. حيث قُدمت مجموعة من المقترحات اللازمة لتوفير المياه للتجمعات السكنية في منطقة الدراسة.

Ø أطروحة الدكتوراه التي أعدها المهندس شريف حايك بعنوان "التغيُّرات الهيدروجيولوجية وتطوير موارد المياه الجوفية وترشيد استثمارها بين نهري الكبير الجنوبي والأبرش" بإشراف كل من الدكتور علي الأسعد، الدكتور غطفان عمار، والدكتور عباس عبد الرحمن. وذلك عام 2004 في جامعة تشرين حيث استُخدم فيها برنامج GMS، فأعطى البرنامج دقة كبيرة في التقويم الكمي لظروف حركة المياه الجوفية والتنبؤ بالتغيُّرات المتوقعة خلال فترات زمنية طويلة [19].

Ø رسالة ماجستير عام 2010 بعنوان "دراسة هيدروجيوكيميائية للمصادر المائية في الجزء الأدنى من حوض نهر الكبير الشمالي وتقييم التأثير الجيوبيئي على هذه المصادر وخواص التربة في تلك المنطقة" التي أعدها الطالب كنان راعي بإشراف الدكتور أحمد محمد والدكتور محمد عيسى [21]. وقد تضمنت الدراسة تحديد السمات الأساسية لنظام المياه الجوفية، وتقويم الحالة الراهنة لنوعية هذه المياه، وتحديد مدى قابلية المياه الجوفية للتلوث.

Ø رسالة ماجستير عام 2011 بعنوان "إدارة موارد المياه الجوفية في منطقة برج إسلام" التي أعدها طالبة لمى سيد علي بإشراف الدكتور علي الأسعد والدكتور شريف حايك [7]. وقد توصلت الدراسة إلى إعداد نموذج رياضي للمنطقة المذكورة، واختيار السيناريو الأمثل لإدارة موارد المياه الجوفية المتاحة فيها.

Ø رسالة ماجستير بعنوان "بناء نموذج رياضي لحركة المياه الجوفية المضغوطة في المنطقة الممتدة بين نهري مرقية والحصين" أعدها المهندس حازم علي عام 2012 بإشراف الدكتور غطفان عمار

والدكتور شريف حايك [28] . حيث أُعدت سيناريوهات مختلفة لاستثمار المياه الجوفية، وتم اختيار السيناريو الأفضل لإدارة موارد هذه المياه في المنطقة.

✪ رسالة ماجستير بعنوان "إدارة موارد نبع بانياس في ظل التغيرات المناخية" إعداد المهندسة ديمة محمد عام 2014 بإشراف الدكتور شريف حايك والدكتور غطفان عمار [37] . حيث تم تقييم خطط إدارة موارد المياه في المنطقة، وبناء سيناريوهات تأخذ بالاعتبار التغيرات المستقبلية فيها.

✪ بالإضافة إلى رسالة ماجستير أعدتها الجيولوجية نداء رجب بعنوان "دراسة هيدروجيولوجية متكاملة لتقييم ظروف تشكل المياه الجوفية في حوض اللاذقية" بإشراف الدكتور أحمد محمد. وذلك عام 2014 في جامعة تشرين حيث تضمنت الدراسة تحديد السمات الأساسية لنظام المياه الجوفية في حوض اللاذقية وتقييم الحالة الراهنة كمياً ونوعياً للمياه الجوفية في المنطقة [22] .

إن الدراسات والرسائل الجامعية السابقة شملت منطقة حوض الساحل بشكل عام، وأعطت تصوراً عاماً عن الوضع الراهن فيها، لكنها لم تتناول موضوع نمذجة موارد المياه الجوفية وإدارتها في منطقة مشروع البحث، الأمر الذي يلعب دوراً مهماً في التنمية الاقتصادية والاجتماعية للمناطق الساحلية، بغرض تغطية الاحتياجات المتزايدة سواء لتزويد السكان بالماء الصالح للشرب، والصناعة أو ري السهول الساحلية للتنمية الزراعية.

2.1. دراسات عالمية وعربية

✚ في عام 2000 أُجريت دراسة لإعداد نموذج رياضي لخزان المياه الجوفية للرواسب غير المتماسكة لعصر البلاستوسين في منطقة جنوب ترعة الإسماعيلية (مصر)، حيث تم استخدام نموذج رياضي مبسط لدراسة الخزان الجوفي بهدف التوصل إلى فهم طبيعة الخزان تحت ظروف مختلفة من طرائق الاستغلال، وبالتالي اختيار أفضل هذه الطرائق وأكثرها أماناً [45] .

✚ في عام 2002 أُجريت دراسة لإعداد نموذج رياضي للمياه الجوفية في منطقة أكاكي (أثيوبيا)، حيث تم إعداد نموذج رياضي للمياه الجوفية للمنطقة اعتماداً على مراقبة تغيرات مناسيب المياه، والتنبؤ بعمليات الضخ من المنطقة، وصولاً إلى إدارة مثلى للمياه الجوفية من خلال التخطيط والتصميم والتطبيق [66] .

✚ في عام 2003 وبعد أن أصبحت الحاجة لموارد المياه خلال العقود الماضية مشكلة ذات أهمية كبيرة في اليونان بسبب زيادة الطلب عليها، قامت كلية الهندسة المدنية في جامعة أرسطو بإعداد نماذج رياضية باستخدام المحاكاة العددية للإدارة المثلى للمياه وللحد من تكلفة استثمارها [42] .

✚ قام المعهد الوطني للهيدرولوجيا في الهند عام 2003 بإعداد نموذج رياضي لإدارة المياه الجوفية في مناطق الدلتا، حيث تم اقتراح استخدام المياه السطحية كبديل للمياه الجوفية لتلبية الطلب والحاجة المستمرة عليها، دون التسبب بالاستثمار المفرط لها، وتسرب المياه المالحة أيضاً [73] .

✚ قام معهد البحوث في ولاية مونتانا (الولايات المتحدة الأمريكية) في عام 2003 بتصميم مشروع لإدارة الأراضي، من أجل المحافظة على أحد أنواع النباتات النادرة والمدرجة في قوائم الأنواع المهددة بالانقراض، وذلك من خلال تقويم التأثيرات المحتملة على التوازن المائي في الأراضي الرطبة باستخدام نموذج WRNSHYDw، الذي أخذ بالحسبان نوعية المياه الجوفية وظروف تغذيتها وتدفق هذه المياه إلى تلك الأراضي [62].

✚ في عام 2003 أيضاً قام معهد البحوث الزراعية في نيودلهي (الهند) بدراسة شملت مساحات واسعة لمشروع قناة للري، حيث تم استخدام نظام المعلومات الجغرافي GIS لرسم خريطة التوزيع المكاني لتغذية المياه الجوفية، التي تستخدم بدورها كمدخل لإعداد نموذج رياضي للمياه الجوفية من أجل اتخاذ القرار المناسب لإدارة مثلى للمياه الجوفية والسطحية، وتحسين كفاءة استخدام المياه والإنتاجية الزراعية وأيضاً التحكم في منسوب المياه [60].

✚ وفي عام 2005 قام المركز الإقليمي لبحوث المياه في جامعة كاستيللامانشا (اسبانيا)، بدراسة المشكلة الرئيسية في منطقة الباسيتي التي كانت تتعلق بخطر الاستثمار المفرط لمصادر المياه الجوفية المحلية في السنوات الـ 25 الماضية، والتي نجمت عن زيادة كبيرة في مساحة الأراضي الصالحة للزراعة المروية، حيث أعدت هذه الدراسة نماذج رياضية من أجل حل المشاكل البيئية وإشراك أصحاب المصلحة في عملية اتخاذ القرار للوصول إلى إدارة متكاملة للموارد المائية في المنطقة، وقد توصلت الدراسة إلى عدة طرائق لحل هذا الوضع ومنها خفض الحجم الحالي من المياه الجوفية المستخدمة للري، ولكن هذا الحل لن يكون موضوع ترحيب من قبل المزارعين بسبب الخسائر في الدخل، والحل الآخر هو استبدال المياه الجوفية بالمياه السطحية والمشكلة الرئيسية هنا ستكون في النفقات الكبيرة التي ستنتفك من أجل البنى التحتية [64].

✚ أُجريت دراسة لإعداد نموذج رياضي للمياه الجوفية عام 2005 في جنوب فلوريدا (الولايات المتحدة الأمريكية) حيث تم إعداد نموذج رياضي للمنطقة اعتماداً على مراقبة تغيرات مناسيب المياه في 16 بئر تم اختيارها في المنطقة، وكميات الهطل المطري ومستويات التغذية والصرف فيها، وقد توصلت الدراسة إلى إعداد نموذج مفيد لإدارة المياه يحاكي ظروف المنطقة [54].

✚ في عام 2005 أيضاً أجرت كلية العلوم الزراعية والبيئية في جامعة روستوك (ألمانيا)، دراسة من أجل إعداد نموذج رياضي للمياه الجوفية في منطقة مكلنبورغ بوميرانيا الغربية، وذلك لمعالجة مشكلة انخفاض مستويات المياه الجوفية الناتجة عن الظروف الجوية خلال أشهر الصيف، وقد خلصت الدراسة إلى سيناريوهات مختلفة للوصول لإدارة مثلى للمياه الجوفية [63].

✚ وفي عام 2006 قام قسم الجيولوجيا في جامعة ميسوري (الولايات المتحدة الأمريكية) بدراسة لإعداد نموذج رياضي لإدارة المياه الجوفية الكارستية في ولاية ميسوري، وقد تم تطبيق نموذج

SWMM لهذا الغرض، حيث يُعد هذا النموذج أحد أساليب النمذجة المناسبة لهذا النوع من المياه، ووضع هذا النموذج هو أكثر صعوبة من نمذجة المياه الجوفية العادية [44].

✚ قام قسم الهندسة المدنية في جامعة كوينزلاند وسانت لوسيا (أستراليا) عام 2006 بإعداد نموذج رياضي للمياه يُستخدم لإعداد كل التوقعات المستقبلية واتخاذ القرارات المهمة، وذلك من خلال حل المشاكل بشكل علمي منهجي ومبسط دون أن يستثني من ذلك محاكاة الواقع [74].

✚ وفي عام 2008 أُجريت دراسة لتقييم وتطوير موارد المياه الجوفية في حوض فولتا الأبيض (غانا)، باستخدام المحاكاة العددية، بعد الأخذ بالحسبان الاستثمار المتزايد لمصادر المياه الجوفية في السنوات الأخيرة في شمال غانا، التي زادت من مخاوف الاستثمارات الجائرة للموارد المائية، وتمَّ إعداد نماذج رياضية تنبؤية لعدة سيناريوهات بما فيها ازدياد عدد السكان وانخفاض معدلات الهطل المطري [49].

إضافةً إلى بعض الأبحاث والمنشورات التي تمَّ تنفيذها من قبل رابطة الهيدرولوجيين العرب عام 2008 ومنها [43]:

ن النماذج الرياضية المثلى لإدارة الموارد المائية الساحلية.

ن تطوير برنامج رياضي لتحديد سطح تداخل مياه البحر والمياه العذبة في الحوامل المائية. وتمَّ تطبيق هذه البحوث على العديد من الحوامل المائية الساحلية في المملكة المغربية ودولة فلسطين/غزة، حيث تأثر اقتصاد بعض المناطق الساحلية سلبياً بفعل تداخل مياه البحر الناتج عن السحب المستنزف للمياه الجوفية ونقص في التغذية نظراً للتغيرات المناخية. حيث عملت هذه البحوث على إعداد نماذج رياضية لتداخل المياه المالحة والمياه العذبة في المناطق الساحلية، وذلك من أجل إدارة مستدامة وعقلانية للموارد المائية الساحلية. وقد ساعدت هذه النماذج الرياضية على تبني الخطط المثلى على أساس علمي سليم يضمن استمرار التنمية والحفاظ على الموارد المائية الجوفية بعيداً عن الاستنزاف والتلوث البحري.

لم تتناول جميع الدراسات السابقة موضوع محاكاة الظروف الهيدرولوجية للحوامل المائية في المنطقة الواقعة بين نهري الكبير الشمالي والصنوبر، ولم يستخدم أي باحث طريقة النماذج الرياضية لتخطيط وإدارة الموارد المائية الجوفية فيها. من هنا تأتي أهمية هذا البحث في تقييم الظروف والتغيرات الهيدرولوجية بشكل أفضل ووضع نظام أمثل لإدارة موارد المياه الجوفية المتاحة في تلك المنطقة.

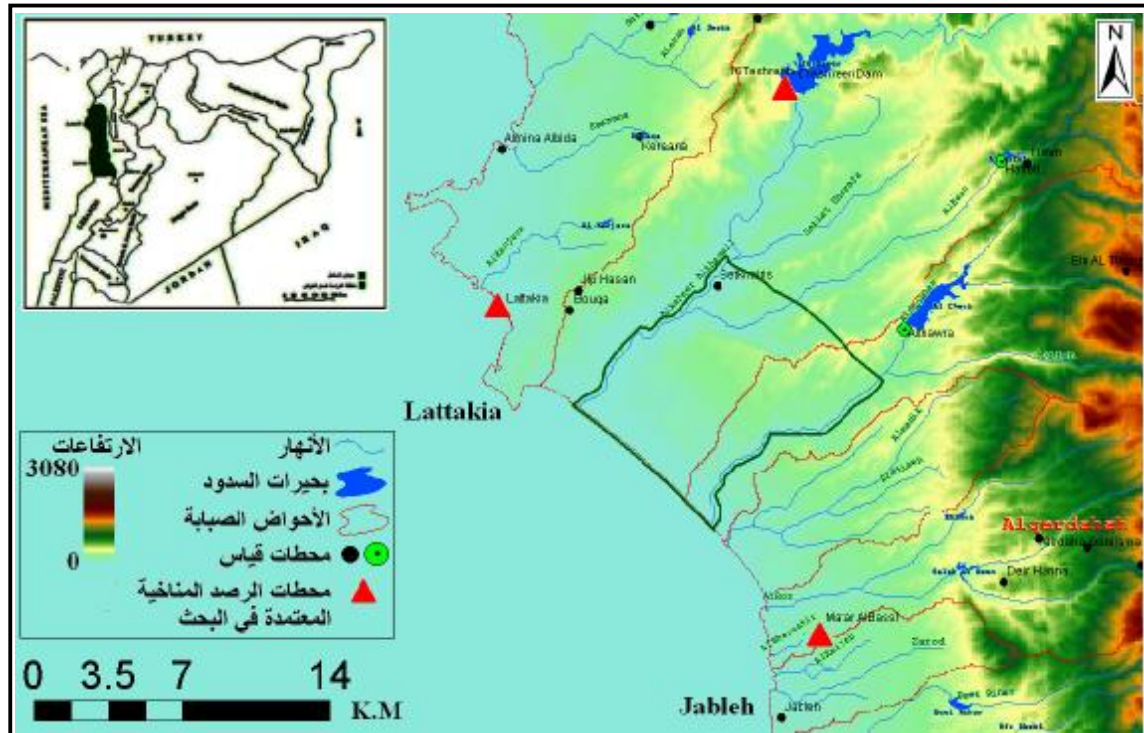
الفصل الثاني

العوامل الطبيعية المحددة لتشكل المياه الجوفية في المنطقة الواقعة

بين نهري الكبير الشمالي والصنوبر

1.2. الظروف الفيزيوجغرافية

تقع منطقة الدراسة في الجزء الشمالي الغربي من الجمهورية العربية السورية، شرق مدينة اللاذقية، في الجزء الشمالي من حوض الساحل، وتمتد بين خطي طول $31^{\circ} 27' 35''$ - $35^{\circ} 33' 35''$ شرق خط غرينتش، وبين خطي عرض $36^{\circ} 48' 35''$ - $49^{\circ} 57' 35''$ شمال خط الاستواء. يحدّها من الجنوب الغربي البحر المتوسط، ومن الشمال الغربي نهر الكبير الشمالي، ويحدها من الجنوب الشرقي نهر الصنوبر، ومن الشمال الشرقي تلال قريتي المشيرفة وستخيرس. وتتألف المنطقة المدروسة من الأراضي المروية، التي تشغل القسم السفلي الجنوبي لحوض نهر الكبير الشمالي، والقسم السفلي الشمالي لحوض نهر الصنوبر. وتبلغ مساحة المنطقة المدروسة حوالي 70 كم²، وتوجد فيها تجمعات سكنية مهمة (البصة، الرومية،....). الشكل (1-2).



شكل (1-2) الموقع العام لمنطقة الدراسة [20]

ويبين الشكل (2-2) الأحواض الفرعية لحوض الساحل، وموقع منطقة الدراسة ضمنها [20].



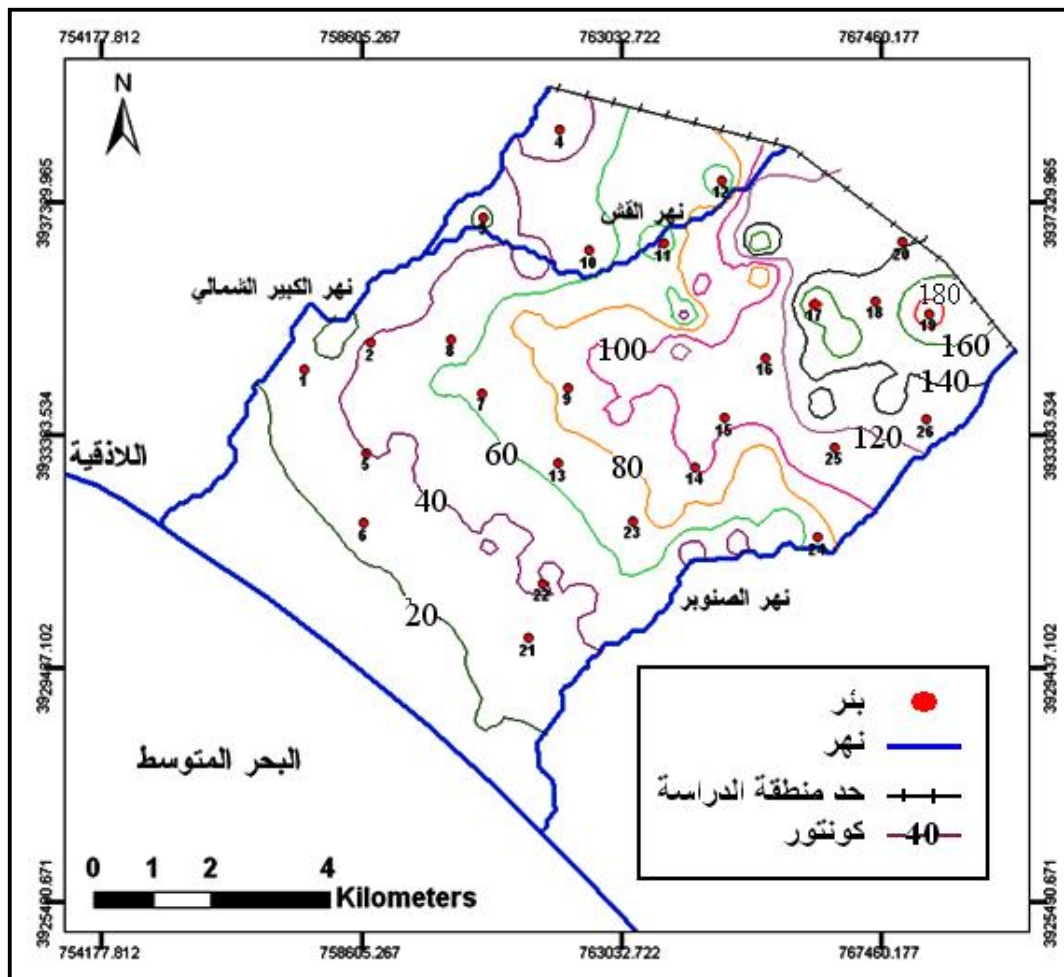
شكل (2-2) الأحواض الفرعية لحوض الساحل وموقع منطقة الدراسة ضمنها [20]

1.1.2. التضاريس

تشكلت تضاريس منطقة الساحل عموماً نتيجة النشاط التكتوني الذي بدأ منذ الحقبة الثاني، وهذا أدى إلى تأثرها بفوالق كبيرة من أهمها فالق الانهدام السوري وفالق الكبير الشمالي، إضافةً إلى تعرضها لنشاط بركاني خاصةً في النيوجين. ومنطقة الدراسة تنتمي إلى وحدة تكتونية جيولوجية ذات طابع بنيوي هام هي منخفض الكبير الشمالي، الذي يتميز بتوضعاته التي تعرضت للتحشدة وبشدة وخصوصاً في نهاية زمن البليوسين، حيث وصلت الجبال الساحلية إلى قمة تطورها وبدأت العناصر الحديثة للتضاريس بالتشكل.

تُقسّم منطقة الدراسة حسب طبيعة التضاريس فيها إلى منطقتين: الأولى منطقة السهل الساحلي ويتألف بدوره من سهل ملاصق لشاطئ البحر حيث تنمو أشجار الحمضيات، وتزرع الخضار بأنواعها، وتحدّه من الغرب تلال البحر المؤلفة من كتبان رملية حيث تنمو أشجار الصنوبر وبعض الأشجار الحراجية والحمضيات. والثانية هي المنطقة التلالية، وفيها تُزرع الحمضيات بكثرة بالإضافة إلى أشجار الزيتون وبعض الخضروات. عموماً تتراوح الارتفاعات في منطقة الدراسة بين (0-192) م [5].

تم وضع الخريطة الطبوغرافية لمنطقة الدراسة اعتماداً على المعطيات الطبوغرافية لكافة النقاط المائية التي حُدِّت للدراسة والتي قمنا بتحديدتها باستخدام جهاز الـ GPS ، إضافةً إلى الخريطة الجيولوجية لكل من رقتي اللاذقية وجبله بمقياس 1/50000 والطبوغرافية لكل منهما أيضاً بمقياس 1/25000.



شكل (2-3) الخريطة الطبوغرافية لمنطقة الدراسة

وتوضح هذه الخريطة الطبوغرافية التي تم إعدادها، الشكل (2-3)، أن خطوط تساوي الارتفاعات تأخذ اتجاه غرب شرق مع انحدار في الجزء الجنوبي الشرقي من منطقة الدراسة. تمّ تمييز المناطق (سهلية، تلالية، جبلية) التي تتباين حسب درجة تعرضها لعمليات التجوية، ولإيضاح ذلك قسّمنا المنطقة حسب مجالات الارتفاعات إلى مساحات تشغلها هذه الارتفاعات، وحددنا نسب هذه المجالات إلى مساحة المنطقة بالكامل كما هو موضح بالجدول (2-1) التالي:

جدول (2-1) النسب المئوية للمساحات بحسب الارتفاعات الطبوغرافية في منطقة الدراسة

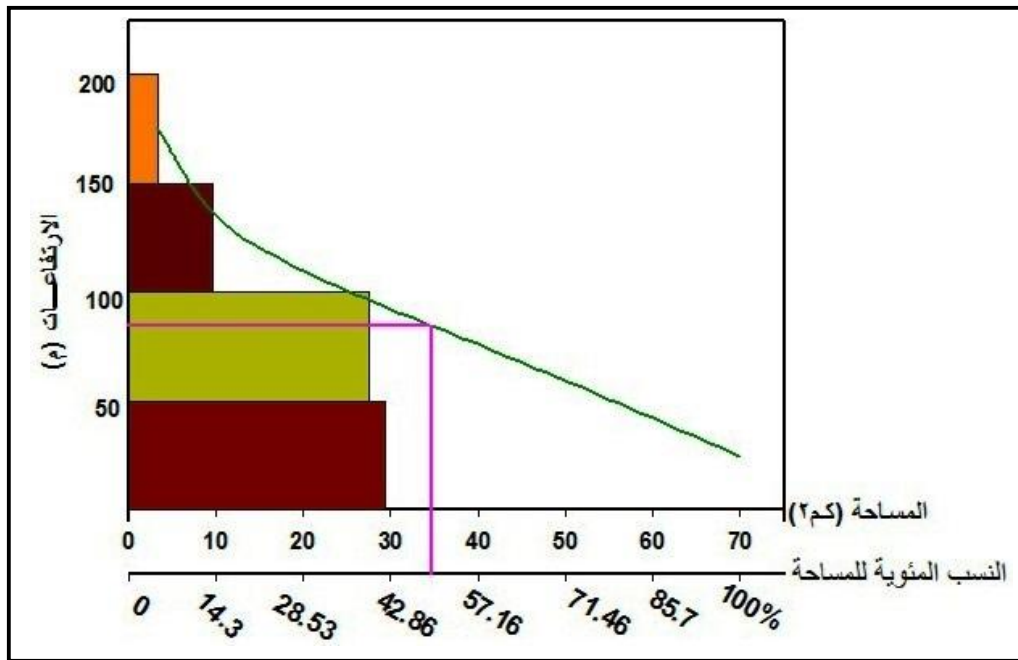
مجال الارتفاعات بالأمتار	50 - 0	100 - 50	150 - 100	أكبر من 150
المساحة (كم ²)	29.28	27.53	9.71	3.46
النسبة المئوية للمساحة (%)	41.82	39.32	13.87	4.94

يتبين لنا من الجدول السابق أنَّ معظم مساحة منطقة الدراسة تقع بين الارتفاعين (0 - 100) م وبنسبة تصل إلى 81 % تقريباً.

يُعد ارتفاع الحوض من أهم مميزات الحوض الساكب، لأنه يؤثر على عناصر الدورة الهيدرولوجية وعلى عناصر أخرى للنظام الهيدرولوجي. وقد قمنا بتحديد متوسط ارتفاع منطقة الدراسة من خلال رسم مخطط الارتفاعات ومن ثم المنحني التجميعي (الاييسوغرافي)، الشكل (2-4)، وقد بلغ (81) م ، كما قمنا بتحديد الطريقة الحسابية بأن نضرب المساحة المحددة بين كل خطي تسوية في متوسط ارتفاع منحني التسوية، ثم تقسيم الناتج على مساحة المنطقة، وبلغ (65.74) م .

اعتمدنا القيمة (81) م الناتجة عن المنحني التجميعي والتي تمثل الارتفاع الموافق للنسبة 50% من مساحة المنطقة، وهذا يساعدنا في تحديد القيمة الوسطية للطول المطرية في المنطقة، خاصة في حالة قلة المحطات المطرية الموجودة بداخلها، وهذا ما ينطبق على منطقة البحث.

وحسب المفاهيم والعلاقات الهيدرولوجية، فإن المنطقة الشرقية والشمالية الشرقية التي تتميز بارتفاعات مطلقة تصل حتى 200 م ، تُعتبر مناطق تغذية للمياه الجوفية، أما الحدود الغربية والشمالية الغربية والجنوبية حيث لا تتجاوز الارتفاعات المطلقة الـ 30 م فتُعتبر مناطق صرف للمياه الجوفية.



شكل (2-4) مخطط الارتفاع والمنحني التجميعي (الاييسوغرافي) لمنطقة الدراسة

2.1.2. الخصائص المناخية

إن دراسة هيدرولوجيا منطقة ما يتعلق بشكل أساسي بالخصائص الجيولوجية والمورفولوجية لهذه المنطقة، إضافةً إلى المناخ السائد فيها، الذي يرتبط وبشكل وثيق مع موقعها الجغرافي على سطح الأرض.

تحظى العوامل المناخية بأهمية كبيرة في تحديد الوضع الهيدرولوجي للمنطقة: كالهطل المطري، الرطوبة، ودرجة الحرارة..... الخ، فهذه العوامل لها تأثير مباشر على ظاهرتي التبخر والنتح والتبخر - نتح، كما تؤثر طبوغرافية المنطقة بوضوح على شكل الهطل وكميته فوقها، وعلى شكل البحيرات والمستنقعات، وعلى غزارة الجريان السطحي.

كما أن هذه العوامل تلعب دوراً في معرفة الهيدرولوجيا السطحية وتقدير معدلات التغذية الجوفية، ومن ثم فهم الموازنة المائية للحوض الجوفي التي تعد من المتطلبات الأساسية والهامة في إدارة الخزان الجوفي.

تتطلب الدراسة الهيدرولوجية بشكل أساسي تجميع بيانات العوامل المناخية، ويجري جمع هذه البيانات من محطات الأرصاد الجوية المنتشرة ضمن حدود منطقة الدراسة وفي محيطها. تقوم شبكة من محطات الأرصاد الجوية ومحطات ومواقع قياس التدفقات المائية على المجاري المائية الطبيعية في سورية، برصد عناصر الطقس ونظام المياه السطحية وإجراء القياسات وجمعها للاستفادة منها عند التخطيط لبناء المنشآت المائية.

اعتمدت الدراسة الهيدرولوجية لمنطقة الدراسة على بيانات ومعطيات مناخية لثلاث محطات رصد مجاورة لها وهي (سد 16 تشرين، مطار الباسل، اللاذقية)، الشكل (2-1).

إن المناخ السائد في المنطقة متوسطي حيث يكون الطقس معتدلاً، ورطباً شتاءً، ومعتدل إلى حار، ورطب صيفاً، حيث طبيعة المناطق تتباين من كونها جبلية، أو سهلية، أو قريبة من شاطئ البحر، إذ يسود المنطقة بشكل عام مناخ البحر المتوسط.

تقع سورية بشكل عام تحت ضغط جوي عالٍ يتشكل في أواسط سيبيريا خلال الشتاء، حيث تتحرك الكتل الهوائية من منطقة الضغط المنخفض الواقعة في المحيط الأطلسي عبر البحر المتوسط، وتبلغ الشواطئ السورية، حيث تصطدم بالمناطق المرتفعة.

• الحرارة

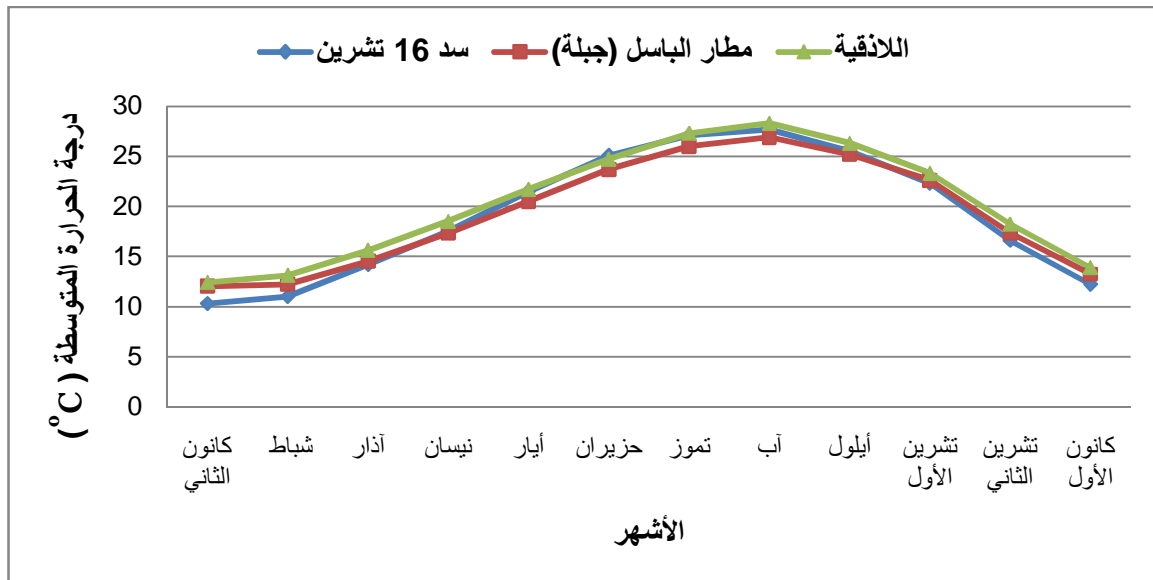
تتميز منطقة الدراسة بتباين قليل في درجات الحرارة من سنة إلى أخرى، نظراً لتشابه ظروفها المناخية، والحيومورفولوجية، ويبين الجدول (2-2)، تغيرات متوسط درجة الحرارة الشهرية والسوية لعشر سنوات مراقبة في بعض محطات الرصد المجاورة للمنطقة المدروسة.

حيث يتضح من الجدول أن درجة الحرارة ترتفع في أشهر الصيف (حزيران، تموز، آب، أيلول)، وتتراوح بين (22 - 30) درجة مئوية، بينما تنخفض في أشهر الشتاء (كانون الأول، كانون الثاني، شباط)، وتتراوح بين (7 - 17) درجة مئوية.

كما يوضح الشكل (2-5) المتوسط الشهري لتغيرات درجة الحرارة، خلال سنوات المراقبة من عام /2003/ وحتى عام /2012/ في كلٍ من المحطات الثلاث.

جدول (2-2) المعدلات الشهرية لتغير درجات حرارة الهواء في محطات (سد 16 تشرين، جبلة، اللاذقية)

المعدل السنوي	الأشهر												السنة	محطة الرصد والارتفاع المطلق للمحطة (م)
	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1		
20.0	12.7	17.0	22.8	25.9	28.5	27.8	25.3	24.7	17.7	13.7	10.8	13.6	2003	سد 16 تشرين (127)
20.2	10.7	19.5	26.1	26.2	28.0	28.3	27.5	21.3	17.1	16.0	10.9	10.8	2004	
18.4	13.4	14.7	19.6	24.1	26.8	26.2	23.1	20.5	18.1	14.1	10.2	10.4	2005	
18.4	10.4	14.3	20.7	25.2	27.0	26.1	24.5	20.7	17.7	14.1	11.5	9.3	2006	
18.9	11.1	16.4	22.8	25.2	27.1	27.3	24.6	22.1	15.9	14.1	11.7	9.5	2007	
19.0	11.4	17.0	21.1	25.2	27.8	26.9	25.0	20.2	18.5	16.8	10.5	7.9	2008	
18.9	13.5	15.5	23.3	24.1	27.4	26.9	25.5	20.6	16.8	12.7	11.3	10.0	2009	
20.1	14.0	19.5	22.2	26.2	28.8	26.7	24.5	21.3	17.7	15.3	12.4	12.8	2010	
18.1	10.7	12.3	20.2	25.3	27.2	26.7	23.8	19.9	16.6	13.2	11.3	10.7	2011	
20.5	14.3	19.9	24.2	28.1	29.0	28.6	27.5	23.9	19.5	12.5	9.8	8.7	2012	
19.6	13.3	17.1	21.9	25.1	27.8	26.4	24.3	24.0	17.6	13.3	11.3	13.7	2003	مطار الباسل / جبلة / (45)
18.7	11.1	16.9	23.7	24.8	26.5	25.7	22.9	19.6	16.4	14.6	11.6	11.7	2004	
18.7	14.0	16.0	20.5	24.7	26.3	25.6	22.2	19.6	17.8	14.5	12.0	11.9	2005	
18.6	11.4	15.5	21.6	25.0	26.4	25.6	23.3	19.5	16.8	14.6	13.0	11.1	2006	
19.5	13.0	19.0	23.2	25.2	26.8	26.3	23.5	21.5	16.0	14.7	12.7	12.7	2007	
19.3	12.7	18.5	22.2	25.5	27.4	26.0	23.5	19.5	18.6	17.0	11.6	9.3	2008	
19.3	15.0	16.9	23.5	24.5	26.8	26.5	23.7	19.6	16.7	13.7	13.0	12.1	2009	
20.7	15.5	20.1	23.5	26.4	28.5	26.1	24.2	20.8	17.6	16.1	13.8	16.9	2010	
18.6	12.5	13.7	21.2	25.5	26.8	25.6	23.2	19.5	16.8	14.1	12.6	12.8	2011	
19.8	14.3	19.5	25.3	25.7	26.5	26.6	27.1	21.9	18.9	13.0	10.8	8.4	2012	
19.9	13.6	17.5	23.2	25.9	28.2	27.3	24.7	23.4	17.4	13.2	11.4	13.8	2003	اللاذقية (7)
19.7	11.7	18.9	24.5	25.5	27.6	26.9	24.0	20.5	17.3	15.5	12.1	12.2	2004	
19.8	15.3	16.7	21.5	25.7	27.7	26.9	23.9	20.8	19.1	15.6	12.8	12.7	2005	
19.8	13.0	16.8	22.4	26.7	27.9	27.0	24.8	21.0	18.0	15.6	13.4	11.7	2006	
20.1	13.2	18.3	24.0	26.1	28.1	27.5	24.9	22.0	17.2	15.7	13.4	11.3	2007	
20.4	13.4	19.3	23.1	26.9	28.7	27.7	25.0	20.9	19.6	18.2	12.7	10.3	2008	
20.3	15.5	17.8	24.3	25.7	28.5	27.7	25.6	21.2	17.7	14.7	13.7	12.2	2009	
21.4	16.2	20.8	24.3	27.7	29.8	27.4	25.1	22.0	18.5	16.9	14.4	14.6	2010	
20.8	12.9	17.3	21.2	26.5	28.1	27.2	24.7	22.4	20.3	17.2	16.7	15.7	2011	
20.3	15.1	19.4	24.7	26.8	28.4	27.4	24.7	22.9	19.9	13.9	11.1	9.6	2012	



الشكل (2-5) المتوسط الشهري لتغيرات درجة الحرارة في محطات (سد 16 تشرين، جبله، اللاذقية) لفترة المراقبة من عام 2003 وحتى 2012

ونلاحظ بأن أعلى قيمة لمتوسط درجة الحرارة في المنطقة، تلاحظ خلال شهر آب، أما أقل قيمة فتلاحظ خلال شهر كانون الثاني، كما يلاحظ التشابه الكبير في تغيرات درجة الحرارة في المحطات الثلاث خلال أشهر السنة، هذا ويلعب تغير درجة الحرارة دوراً هاماً، ورئيسياً في تحديد نسبة انتشار الرطوبة ما بين الغلافين الجوي، والصخري وكذلك في نشاط عمليات التجوية الفيزيائية المنتشرة بكثرة في المنطقة.

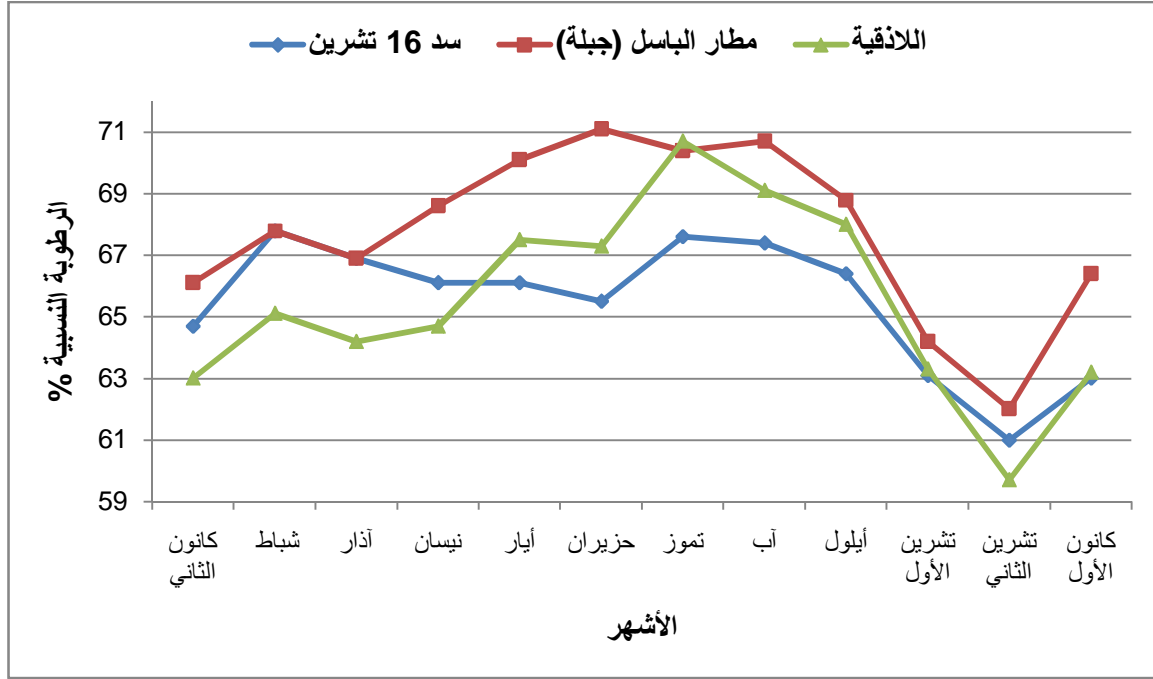
• الرطوبة النسبية

تتبع الرطوبة النسبية عوامل كثيرة كالحرارة والضغط واتجاه الرياح والزمن وغيرها، لذا يتم التمييز بين عدة أنواع لها (نوعية، مطلقة، نسبية)، وأهمها النسبية التي تعتبر مؤشراً لجفاف المناخ. تتصف المنطقة المدروسة بقيمة عالية للرطوبة النسبية بالمقارنة مع المناطق الأخرى من الجمهورية العربية السورية، فهي تبلغ (60 - 75)% عموماً.

ويبين الشكل (2-6) الرطوبة النسبية في محطات المراقبة المحيطة بمنطقة الدراسة.

تتراوح قيمة الرطوبة النسبية بين (60 - 71)%، حيث تمتاز المنطقة بقلة عدد الأيام ذات الرطوبة المنخفضة، فهي لا تتعدى خمسة أيام في السهول الساحلية، وسبعة أيام في المناطق الجبلية. وتتبع تغيرات الرطوبة النسبية بشكل أساسي في المنطقة الساحلية اتجاه الرياح، فالرياح الغربية والجنوبية والشمالية الغربية القادمة من فوق البحر تكون محملة بالرطوبة، أما الرياح الشرقية (وتحديداً في الخريف) فتكون جافة عموماً.

وبشكل عام فإن زيادة الرطوبة النسبية تقلل من شدة التبخر، وتساعد على الجريان السطحي وخصوصاً في الشهور الممطرة.



الشكل (2-6) متوسط المعدلات الشهرية للرطوبة النسبية في محطات (سد 16 تشرين، جبل، اللاذقية) لفترة المراقبة من عام 2003 وحتى 2012

• الهطل المطري

يُعدّ أكثر عناصر المناخ أهمية، وأحد أهم عناصر الموازنة المائية. تتميز الأمطار في منطقة الدراسة بأنها مرتفعة نسبياً، يهطل معظمها في الفترة ما بين شهري كانون الأول وشباط، والقليل منها خلال شهري تشرين الأول والثاني وشهري آذار ونيسان، حيث تتراوح كمية الهطل المطري تقريباً ما بين (500 - 1550) ملم سنوياً خلال فترة الرصد (2003 - 2012)، ومن النادر أن تحصل هطولات في أشهر الصيف، وتنتشر الأمطار في منطقة الدراسة بشكل متساوٍ تقريباً. ويبيّن الجدول (2-3)، الهطولات المطرية الشهرية والسنوية في محطات الرصد المجاورة للمنطقة المدروسة والمتمثلة بمحطات سد 16 تشرين، مطار الباسل (جبل)، واللاذقية.

ويوضح الشكل (2-7) تغيّر المعدلات الشهرية الوسطية للهطولات في المحطات المذكورة لفترة الرصد الممتدة من عام 2003 وحتى عام 2012.

جدول (2-3) كميات الهطل المطري الشهرية (ملم) في محطات (سد 16 تشرين، جبلة، اللاذقية)

المجموع السنوي	الأشهر												السنة	محطة الرصد
	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1		
1302.0	238.5	90.5	59.0	13.5	0	0	10.0	2.0	42.5	215.5	395.0	235.5	2003	سد 16 تشرين
1014.7	165.0	272.7	37.5	0	8.5	0	0	0.5	63.0	12.5	111.0	344.0	2004	
826.5	95.5	173.5	37.5	128.5	0	1.0	90.0	34.0	35.0	30.0	127.0	74.5	2005	
755.0	29.0	77.0	182.0	23.0	1.5	0	0	0	94.0	126.0	93.5	129.0	2006	
800.5	190.0	152.5	15.0	5.0	0	0	24.0	30.0	65.5	48.0	159.0	111.5	2007	
662.0	190.5	29.5	41.0	39.0	0.5	0	0	22.0	8.0	45.5	135.0	151.0	2008	
1176.5	176.0	221.0	60.5	98.0	0	2.0	0	4.5	71.0	106.5	233.0	204.0	2009	
638.0	165.5	0	70.0	4.5	0	0	11.5	10.0	45.5	7.0	114.0	210.0	2010	
1003.5	205.5	169.0	56.0	0	0	0	0	0	121.5	144.5	125.5	181.5	2011	
1435.5	357.5	123.0	66.0	0	0	0	58.0	52.5	12.5	52.5	251.0	462.5	2012	
1099.6	130.4	105.6	26.2	19.4	0	0	11.8	6.5	60.9	185.3	312.1	241.4	2003	مطار الباسل (جبلة)
700.3	131.0	116.0	24.2	0	0.1	0	0.5	1.7	37.0	19.2	111.2	259.4	2004	
675.3	89.9	108.4	34.0	19.2	6.4	0	36.9	34.5	54.6	36.3	135.3	119.8	2005	
601.2	17.5	113.5	68.4	39.7	0.6	0	0	1.0	67.3	80.6	90.3	122.3	2006	
596.2	129.0	130.0	4.2	0	0	0	2.8	35.8	62.7	49.1	94.1	88.5	2007	
512.5	134.2	27.4	23.3	17.5	10.1	0	0	22.9	4.1	65.1	77.2	130.7	2008	
1173.8	224.9	130.7	124.2	79.1	0	1.0	0	10.4	64.0	118.1	229.3	192.1	2009	
554.6	228.3	0	60.9	6.5	0	0	1.3	0.7	24.2	16.8	75.8	140.1	2010	
1064.5	154.8	248.6	65.4	21.4	14.2	0	22.8	22.2	109.4	103.6	170.3	131.8	2011	
1547.0	586.9	88.0	73.2	0	0	0	35.1	19.4	5.5	28.9	183.2	526.8	2012	
982.5	177.2	116.0	63.1	1.6	0	0	18.0	9.2	68.2	146.5	200.9	181.8	2003	اللاذقية
694.7	138.0	139.0	16.2	0	0	0	0	0.5	37.4	6.6	63.8	293.2	2004	
550.0	76.8	82.0	26.4	84.7	7.5	0	40.9	6.5	16.5	16.1	96.7	95.9	2005	
591.1	19.1	45.8	118.3	58.0	0	1.0	0	3.6	78.7	92.4	70.6	103.6	2006	
664.1	152.2	103.9	25.1	0.3	0	0	4.2	22.5	33.5	34.6	181.1	106.7	2007	
570.1	171.6	26.3	58.8	16.7	5.9	0	0	4.2	4.2	36.1	124.8	121.5	2008	
838.9	109.8	141.3	56.4	83.7	0	20.3	0	4.4	22.6	51.8	185.3	163.3	2009	
522.8	159.5	0	84.6	4.4	0	0	11.0	3.7	14.1	12.3	140.0	93.2	2010	
1006.8	212.2	210.8	67.5	45.7	2.2	0	4.0	28.1	101.7	73.7	71.1	189.8	2011	
1228.5	264.7	99.7	165.1	0	0	0	8.7	23.6	2.9	37.3	167.7	458.8	2012	

ومن الجدول (2-3) نلاحظ ما يلي:

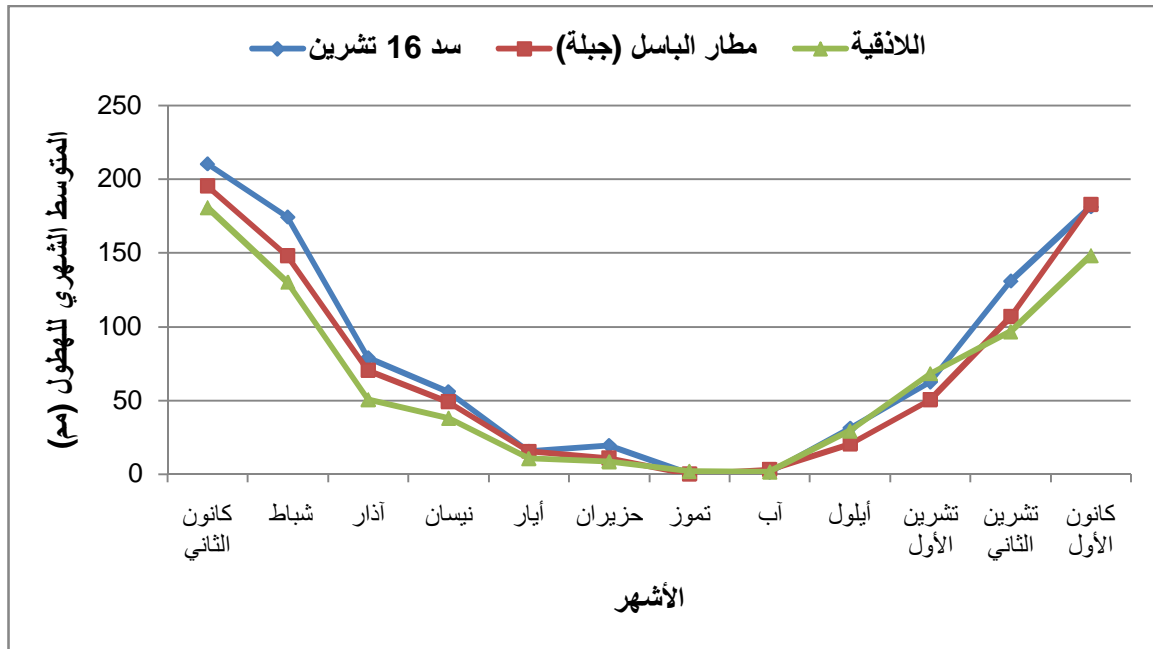
\bar{y} يبدأ الهطول المطري في منطقة الدراسة ابتداءً من الشهر التاسع، وتنخفض قيمة الهطل بشكلٍ تدريجي في شهر آذار.

\bar{y} تتباين كميات الهطل ضمن منطقة الدراسة من عامٍ لآخر تبعاً للتغيرات المناخية وهي تتأرجح بين (500 و 1550) ملم تقريباً.

\bar{y} أعلى كمية للأمطار سجلت في كانون الأول من عام /2012/ وبلغت في محطة مطار الباسل (586.9) ملم.

\bar{y} أدنى كمية للأمطار في شهري (تموز - آب) ولم تتجاوز أعلى كمية للهطل فيهما (21) ملم.

\bar{y} يهطل 60 - 70 % من مجمل الهطولات المطرية في الشتاء، وحوالي 25 - 35 % في فصل الربيع، و 5 % في فصل الصيف.



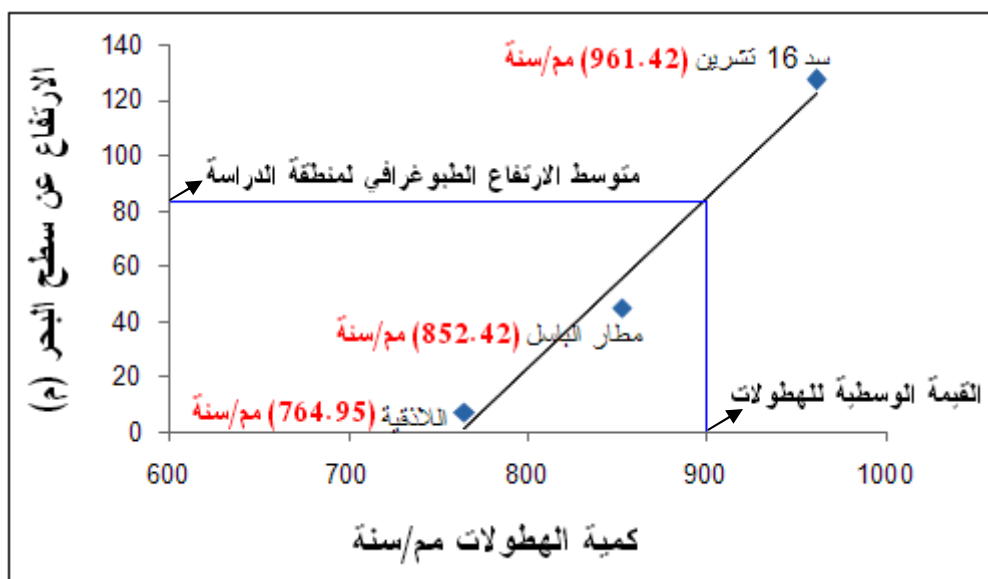
الشكل (2-7) المعدلات الشهرية الوسطية للهطولات المطرية في محطات (سد 16 تشرين، جبله، اللاذقية)

لفترة المراقبة من عام 2003 وحتى 2012

وهذا الوضع ينعكس على جريان نهري الكبير الشمالي والصنوبر حيث ينخفض منسوب المياه فيهما صيفاً، بينما يرتفع منسوب المياه شتاءً، وبالتالي يكون النهران في أواخر الشتاء والربيع أكثر نشاطاً منهما في فصل الصيف، حيث تقل الأمطار ويقل الوارد المائي للنهرين ويزداد التبخر.

ولتوضيح العلاقة بين كميات الهطولات المطرية وتضاريس المنطقة، قمنا بتمثيلها بيانياً بوساطة المعطيات التي حصلنا عليها من المحطات المنتشرة في منطقة الدراسة ومحيطها، الشكل (2-8). وحددنا من خلال العلاقة البيانية الناتجة قيمة المعدل الوسطي للهطولات في منطقة الدراسة على النحو الآتي: في البداية تمّ الوصل بين معدل الهطول المطري في كل محطة رصد مع الارتفاع الموافق لها،

ثمَّ رسمنا خط الارتفاع الطبوغرافي الوسطي للمحطات، وحددنا عليه قيمة متوسط الارتفاع الطبوغرافي لمنطقة الدراسة التي تمَّ تحديدها من المنحني الاليسوغرافي الشكل (2-4)، وأخذنا كمية الهطول الموافقة لها كقيمة وسطية للهطولات في المنطقة وقد بلغت (900) ملم/سنة.



الشكل (2-8) العلاقة بين المتوسط السنوي للهطولات المطرية في محطات الرصد المأخوذة والارتفاع الطبوغرافي (تحديد قيمة المعدل الوسطي للهطولات المطرية في منطقة الدراسة)

• الرياح

تسود الرياح الشرقية، والشمالية الشرقية في منطقة الدراسة، حيث تهب في فصل الشتاء من العام، وتبدل لتصبح جنوبية، وجنوبية غربية صيفاً، إنَّ سرعة الرياح السنوية الوسطية في المنطقة قد تصل إلى (2.4) م/ثا ونادراً ما تتجاوز (4) م/ثا الجدول (2-4)، ويمكن أن تلاحظ الرياح قوية في أي فصل من السنة، وذلك من الجهات التي يسيطر فيها اتجاه الرياح السائدة، ولا تحدث أكثر من يومين في العام.

جدول (2-4) المتوسطات الشهرية لسرعة الرياح (م/ثا) للفترة الممتدة من عام 2003 وحتى 2012

المتوسط السنوي	الأشهر												المحطة: سد 16 تشرين
	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
2.4	2.7	2.3	2.0	1.8	2.1	2.4	2.3	2.3	2.5	2.5	3.3	3.5	سرعة الرياح (م/ثا)

ولا بدَّ أن نشير إلى أنَّه في منطقة الدراسة يخف أثر الرياح في العمل الجيومورفولوجي، وذلك لوجود الغطاء النباتي الكثيف الذي يخفف من أثر الرياح ودورها، حيث تنتشر على ضفاف النهرين غابات تنمو فيها أشجار السنديان، البلوط، الصنوبر، والشوح، وينمو تحتها غطاء من الأعشاب التي تتعرض للتراجع بسبب تدخل الإنسان بالبيئة عن طريق الرعي الجائر والزراعة، والمنشآت الاقتصادية والعمرانية من مساكن، وطرق بالإضافة لقطع الأشجار وإحراقها.

أما في المناطق التلالية فتنتشر بشكل رئيسي زراعة التبغ، إضافةً إلى أشجار الفاكهة كالتفاح، الخوخ، التين، والأجاص، بينما تنتشر في المناطق السهلية أشجار الزيتون والحمضيات بمختلف أنواعها بالإضافة لأشجار النخيل، السرو، والهور [27].

• التبخر

يُعد من عناصر التوازن المائي الهامة، ويحصل التبخر في الظروف الطبيعية من سطوح المياه، والتلج، والتربة، ومن النباتات ويتميز كل سطح تبخر بعدة خصائص تؤثر على عملية التبخر، فمثلاً يتعلق التبخر من سطح المياه بظروف الطقس السائدة في المنطقة كنقص رطوبة الهواء، درجة حرارة سطح التبخر، نوع الغطاء النباتي، ومساحة انتشاره، تضاريس المنطقة، عمق توضع سطح المياه الجوفية، درجة ملوحة المياه، عوامل اصطناعية كالسدود وأقنية الري والصرف، وغيرها. من خلال المراقبات التي حصلنا عليها في بعض المحطات (سد 16 تشرين، اللاذقية)، وجدنا أن القيمة الوسطية السنوية للتبخر من السطوح المائية تبلغ (1200) ملم تقريباً، الجدول (2-5).

جدول (2-5) المعدل الشهري للتبخر (ملم) في محطتي (سد 16 تشرين، اللاذقية)

المجموع السنوي	الأشهر												السنة	محطة الرصد
	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1		
-	43	44	-	-	166	184	152	159	127	89	57	44	2005	سد 16 تشرين
1304	51	58	72	146	176	201	188	161	83	60	58	50	2006	
1343	60	69	124	146	172	209	184	131	88	76	44	40	2007	
1470	48	55	62	110	225	233	226	163	133	105	56	54	2008	
-	32	43	-	129	192	245	251	160	86	41	22	28	2009	
1404	124	135	109	120	118	143	117	96	99	127	104	112	2008	اللاذقية
1190	59	57	84	96	102	124	156	121	87	115	87	102	2009	
-	76	-	97	102	96	90	82	70	67	66	58	69	2010	
909	55	52	109	93	120	91	87	68	57	57	60	60	2011	
897	47	54	81	84	121	99	72	84	60	81	67	47	2012	

ومن خلال تحليلنا لقيم التبخر المتوافرة لدينا تمّت ملاحظة أن أعلى قيمة للتبخر تكون في شهر تموز، حيث تصل إلى (245) ملم/الشهر، بينما أدنى قيمة سُجِلت في شهري كانون الثاني وشباط حيث بلغت (28) ملم/الشهر، وفي شباط بلغت (22) ملم/الشهر.

ومن المعروف أن التبخر ترتفع قيمته خلال النهار أكثر من الليل، وينشط في الصيف أكثر من الشتاء، ويتأثر التبخر بطول المسافة التي تقطعها المياه، التي تتمثل بطول المجاري المائية فكما ازدادت أطوال المجاري، واتسعت قنواتها زادت فرصة التبخر، كما يرتبط التبخر بالانحدار بعلاقة عكسية حيث تزداد سرعة المياه الجارية كلما زاد الانحدار، وبالتالي يقل التبخر.

إن تحليل العناصر المناخية الواردة أعلاه يسمح بالوصول إلى الاستنتاجات الآتية:

✚ تعتبر الفترة الزمنية (تشرين الثاني – آذار) فترة فعالة في التغذية الراشحة للمياه الجوفية.

✚ تتغير الظروف المناخية بشكلٍ طفيف مع تغير الزمان والمكان في أراضي هذه المنطقة، لتمثل وتقارب العوامل المرتبطة بتغير هذه الظروف كالقرب من البحر، والارتفاع الطبوغرافي، وشكل التضاريس.

✚ إن كميات الأمطار التي تهطل في فصل الربيع على الرغم من ارتفاع معدلاتها فإنها تسهم بشكل ضعيف في تغذية المياه الجوفية. إذ أن معظم الهطولات خلال هذه الفترة من النوع المنهمر (ذي الشدة الأكثر من 0.5 ملم/دقيقة)، وبالتالي تعطي في وقت قصير كمية كبيرة من المياه تذهب على تشكل جريانات سطحية، وعلى العكس من ذلك فإن الهطولات في فصل الشتاء تسهم وبشكل لا بأس به في تغذية المياه الجوفية، وذلك لما تتميز به من طول فترة الهطول واعتدال غزارة هذا الهطول.

3.1.2. الشبكة الهيدروغرافية وخصائص تشكل الجريان النهري

يشكل نهرا الكبير الشمالي والصنوبر أهم الأنهار التي تخترق منطقة الدراسة، بالإضافة إلى نهر القش الذي يشكل بدوره رافداً يسارياً لنهر الكبير الشمالي. تتألف المنطقة المدروسة من الأراضي المروية، التي تشغل القسم السفلي الجنوبي لحوض نهر الكبير الشمالي، والقسم السفلي الشمالي لحوض نهر الصنوبر.

حوض نهر الكبير الشمالي

ينبع نهر الكبير الشمالي من النهاية الشمالية الغربية للجبال الساحلية، وتحديداً من المرتفع الواقع عند الحدود التركية، والمعروف بجبال الأنصاري على ارتفاع يتجاوز الـ (1100) م قطعاً مسافة (89) كم، ليصب في البحر المتوسط جنوب مدينة اللاذقية مباشرةً.

يجاور حوض نهر الكبير الشمالي من الشرق حوض نهر العاصي، ومن الجنوب الشرقي حوض نهر الصنوبر ومن الشمال الغربي عدة أحواض صغيرة.

يقسم النهر إلى ثلاثة أقسام مميزة حيث تبلغ مساحة حوضه الصباب الإجمالي من المنبع حتى المصب (1097) كم².

يجري النهر في قسمه الثالث (منطقة الدراسة) وعلى امتداد (23) كم في الأراضي الساحلية متخذاً طابع النهر السهلي العادي، ويبلغ معدل عرض مجرى النهر (65) م ، تتشكل أرض المجرى للنهر من الحصى الصغيرة، ولمجرى النهر استخدامات في بعض الأماكن كمقلع لمواد البناء، كما تستثمر الأراضي الزراعية المجاورة لضفاف النهر في الأغراض الزراعية التي يُستخدم لريها أبنية محمولة لجر المياه من السد إليها وبواسطة مضخات متحركة على مجرى النهر، وعلى بعد (9) كم من مصبه

يستقبل الكبير الشمالي أهم روافده على الجانب الأيسر نهر القش الذي تبلغ مساحة حوضه الصباب (150) كم² [26,17] .

يتميز حوض نهر الكبير الشمالي بشكل عام، بوجود غطاء نباتي كثيف، وتكثر النباتات والأعشاب الموسمية وغيرها. كما يتصف الحوض بالخصائص الآتية:

مساحة الحوض تتعرض لتبدلات حادة في أماكن مصب الروافد. يصل طول الحوض إلى (65) كم والعرض الوسطي له (17) كم والعرض الأعظمي (25) كم، والارتفاع الوسطي للحوض (680) م [80] .

ميل المجرى من سد 16 تشرين وحتى المصب ليست كبيرة وهي بحدود (0.0012)، تتراوح كثافة المسيلات في حوض نهر الكبير الشمالي بين (2 - 3.5) كم/كم²، متناقصةً من أعلى الحوض إلى أسفله وذلك بسبب تغير تضاريس الحوض من جبلية في الأعلى إلى سهلية تقريباً في الأسفل عند المصب.

متوسط الهطل المطري على الحوض للعشر سنوات الأخيرة (900) ملم ، وقد أعطت الدراسات السابقة قيمةً لمعدل الأمطار يتراوح بين (800 - 1200) مم . حيث أن الأمطار في هذه المنطقة غزيرة نسبياً وخصوصاً في قسمه الأعلى [17] .

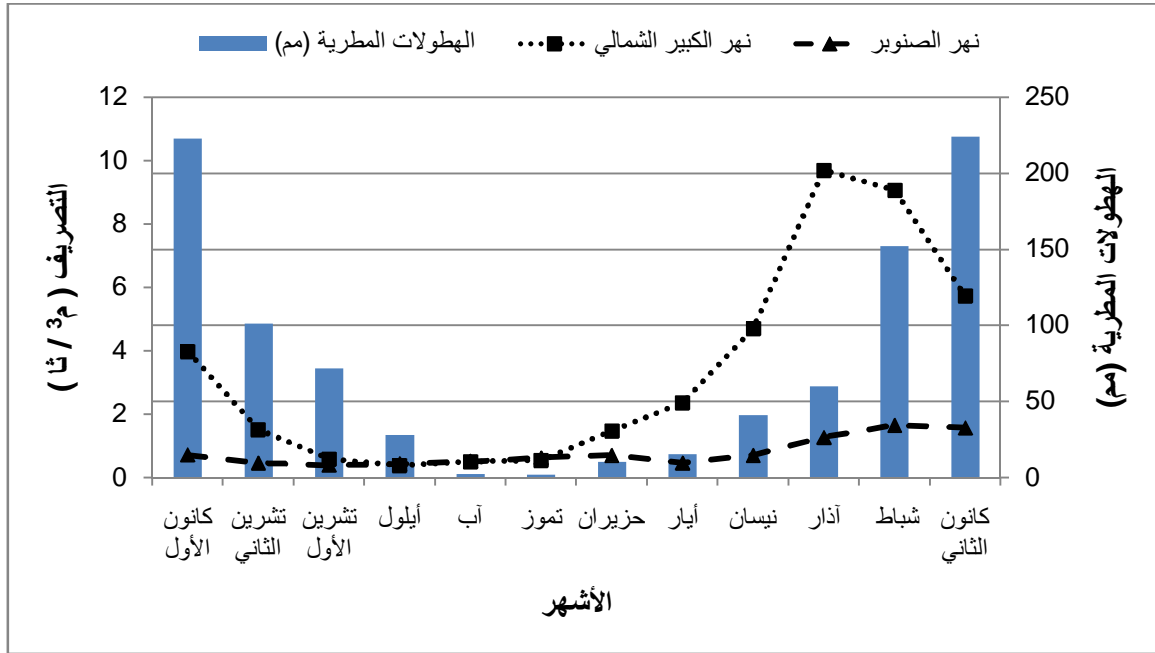
توجد محطة لقياس التدفق على نهر الكبير الشمالي (محطة غمام)، تقع بالقرب من بحيرة سد 16 تشرين وإلى الشمال الشرقي منها، وتتراوح القيم الوسطية الشهرية لتدفق النهر فيها بين (0.3) م³/ثا إلى (9.6) م³/ثا ، وقد تصل إلى (23) م³/ثا شتاءً، بينما تنخفض إلى (0.03) م³/ثا في الصيف، خلال فترة المراقبة الممتدة بين عامي 2007-2011 . الجدول (2-6).

جدول (2-6) المعدل الشهري لتدفق نهر الكبير الشمالي في محطة غمام (م³/ثا)

السنة	الأشهر											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2007	0.61	4.27	4.51	3.01	0.68	0.91	-	-	0.10	0.37	0.26	0.36
2008	2.80	3.10	1.17	2.22	1.06	0.92	0.03	0.32	-	-	0.24	0.33
2009	3.50	8.57	13.35	4.91	2.85	1.28	0.60	0.34	0.37	0.58	1.71	1.08
2010	14.05	23.02	8.06	5.07	2.56	1.74	0.45	0.67	0.93	0.99	0.76	0.75
2011	7.71	6.36	21.35	8.36	4.64	2.56	1.65	1.15	0.49	0.99	4.65	17.37
المعدل الشهري	5.73	9.06	9.68	4.71	2.36	1.48	0.54	0.50	0.38	0.58	1.52	3.98

ويرتبط التدفق ارتباطاً وثيقاً بكميات الهطل المطري فوق الحوض الساكب للنهر، حيث نلاحظ من منحنى التدفق الوسطي، الشكل (2-9)، زيادة تدفق المياه في النهر تدريجياً خلال أشهر الشتاء بسبب زيادة كمية الهطل المطري في الفترة نفسها حتى الوصول إلى أكبر غزارة بعد فترة من الزمن. ثم

يتناقص تدفق المياه خلال أشهر الصيف بسبب تناقص كميات الهطل المطري ويحافظ على أقل تدفق له حتى شهر أيلول.



الشكل (2-9) علاقة تصريف نهر الكبير الشمالي ونهر السنوبير مع الهطل المطري

حوض نهر السنوبير

يُعد نهر السنوبير أحد أهم أنهار المنطقة الساحلية، ويحد حوضه من الشمال حوض نهر الكبير الشمالي، ومن الشرق حوض نهر العاصي، الذي تفصله عنه سلسلة الجبال الساحلية، ومن الجنوب يحده حوض نهر المضيق.

يبدأ نهر السنوبير جريانه من السفوح الغربية لسلسلة الجبال الساحلية على ارتفاع (1300) م. يصل طول نهر السنوبير إلى (45.5) كم، وتبلغ مساحة الحوض الصباب حوالي (266) كم².

يتألف مجرى نهر السنوبير وسهله الفيضي من الحصى الصغيرة المستديرة، ومجراه متعرج، كثير الالتواءات، تنمو شجيرات كثيفة وأشجار حراجية على ضفتي النهر، وتستخدم المصاطب الجانبية التي ترتفع حوالي (4) م فوق سرير النهر كأراضي زراعية، تنمو فيها أشجار الحمضيات والزيتون، وبعض النباتات الحولية.

يلتقي نهر السنوبير عدداً من الروافد، منها نهر طرجانو وديفة، ويجري في القسم السفلي من حوضه عبر سهل ساحلي باتجاه الجنوب الغربي، فيبلغ عرضه الأعظمي عند المصب (40) م [17]. ويأخذ الحوض الساكب للنهر شكلاً منحنياً، فيبلغ طوله (38.5) كم، وعرضه الوسطي (6.96) كم والعرض الأعظمي له (13.5) كم، بينما يصل الارتفاع الوسطي للحوض إلى (540) م [4].

يبلغ متوسط ميل الحوض (0.00154)، ومتوسط ميل سطح الحوض النهري في القسم الغربي منه (0.00005)، وهذا يدل على حصول ترسيب في القسم الغربي من الحوض.

تبلغ كثافة المسيلات في الحوض (2.5) كم/كم²، ويبلغ ارتفاع طبقة الهطل المطري فوق الحوض الساكب بـ (1300) ملم/سنة [4]. وفي منطقة الدراسة بلغت 900 مم .

توجد محطة لقياس تدفق نهر السنوبر عند جسر السنوبر (السنوبر)، تتراوح القيم الوسطية لتدفق النهر فيها بين (0.3) م³/ثا إلى (1.6) م³/ثا ، وقد تصل إلى (3.3) م³/ثا شتاءً، بينما تنخفض إلى (0.1) م³/ثا في الصيف، خلال فترة المراقبة الممتدة بين عامي 2007-2011. الجدول (2-7).

وكما هو الحال في حوض نهر الكبير الشمالي يرتبط تدفق نهر السنوبر بكمية الهطل المطري وغزارته. الشكل (2-9).

جدول (2-7) المعدل الشهري لتدفق نهر السنوبر في محطة السنوبر (م³/ثا)

السنة	الأشهر											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2007	0.40	1.52	0.68	0.35	0.77	1.47	0.64	0.64	0.68	0.82	0.22	0.20
2008	0.27	1.17	1.10	0.55	0.28	0.49	0.41	0.56	0.11	0.20	0.10	0.14
2009	0.21	2.94	2.83	1.28	0.39	0.47	0.64	0.63	0.40	0.16	0.49	0.62
2010	3.33	1.16	0.78	0.49	0.38	0.71	0.27	0.53	0.45	0.39	0.25	0.84
2011	3.63	1.46	0.98	0.82	0.49	0.38	1.15	0.18	0.49	0.39	1.24	1.75
المعدل الشهري	1.57	1.65	1.27	0.70	0.46	0.70	0.62	0.51	0.43	0.39	0.46	0.71

ويوضح الشكل (2-10) الشبكة الهيدروغرافية لكل من حوضي نهر الكبير الشمالي ونهر السنوبر، ومنطقة الدراسة ضمنهما.

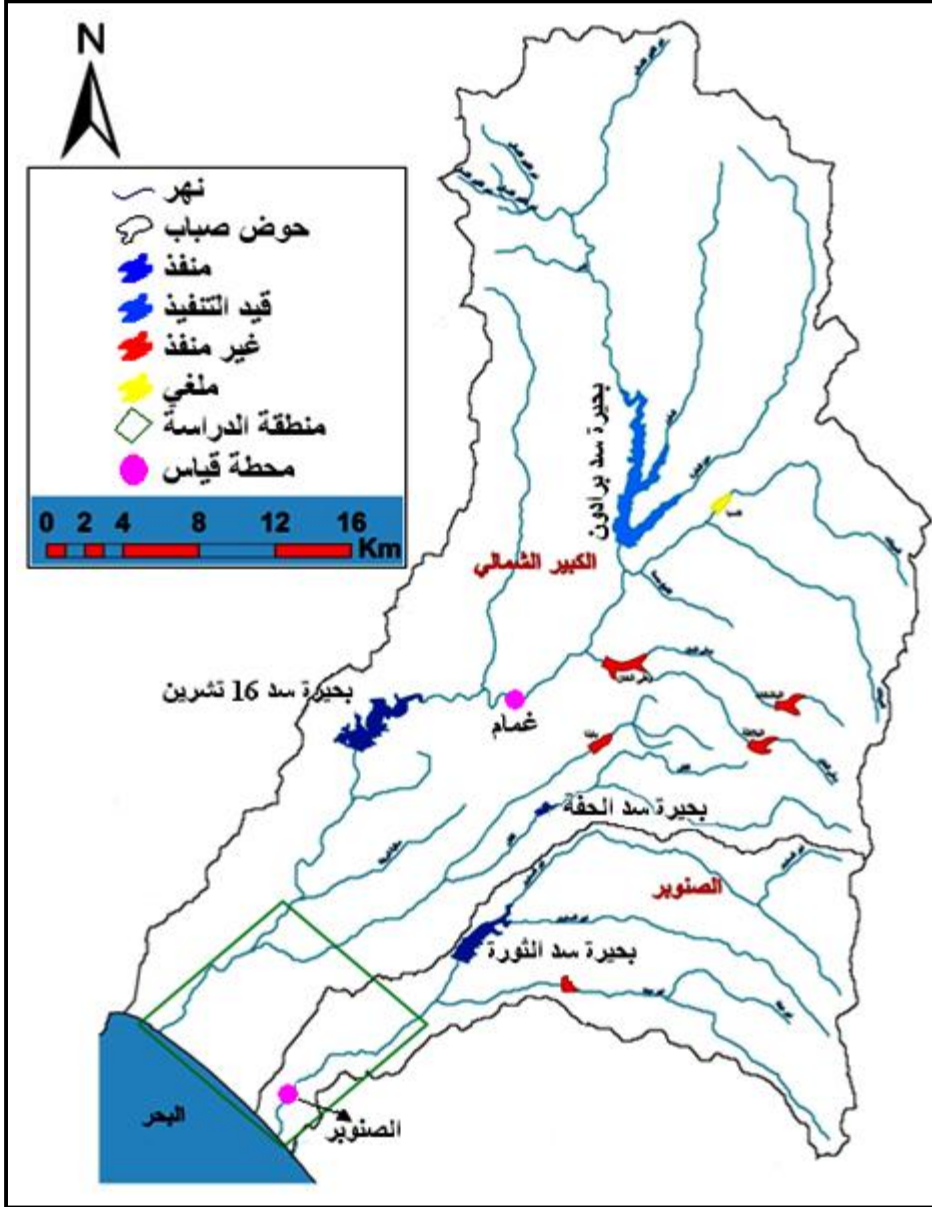
2.2. البنية الجيولوجية والتكتونية

تعد البنية الجيولوجية والحركات التكتونية من العوامل الأساسية التي تتحكم بالوضع الهيدروجيولوجي للمنطقة. إنَّ أيَّة محاولة لحصر أو تقييم أو استغلال المياه الجوفية لا بدَّ أن يسبقها معرفة تامة للوضع الجيولوجي بسحناته وتركيباته المختلفة.

يؤثر التركيب الجيولوجي على طبوغرافية المنطقة، وعلى تشكل ظروف مناسبة لتجمع المياه المتسربة ضمن الصخور النفوذة، وتشكيل طبقات حاملة للمياه الجوفية، التي يمكن أن تتصرف مياهاها في أسرة الأنهار، حيث تتكشف صخور الطبقات الحاملة للمياه.

تجري الأبحاث الجيولوجية المائية، لتعيين انتشار الطبقات الحاملة للمياه، وإيضاح انتمائها الطبقي وعمق طبقتها ومساحة تغذيتها، واتجاه حركة المياه الجوفية فيها وكذلك نوعيتها وكميتها.

تُدرس خلال عملية المسح الجيولوجي – الهيدروجيولوجي، الجيومورفولوجيا والبنية التكتونية، بهدف كشف الواقع الحقيقي للطبقات الجيولوجية تحت سطح الأرض وتتبعها الليتولوجي، وعلاقتها مع بعضها البعض، ومن ثمَّ تحديد الطبقات الحاملة للمياه الجوفية وأعماقها وأبعادها الهندسية وتغيراتها الجانبية ونوعية المياه الموجودة فيها.



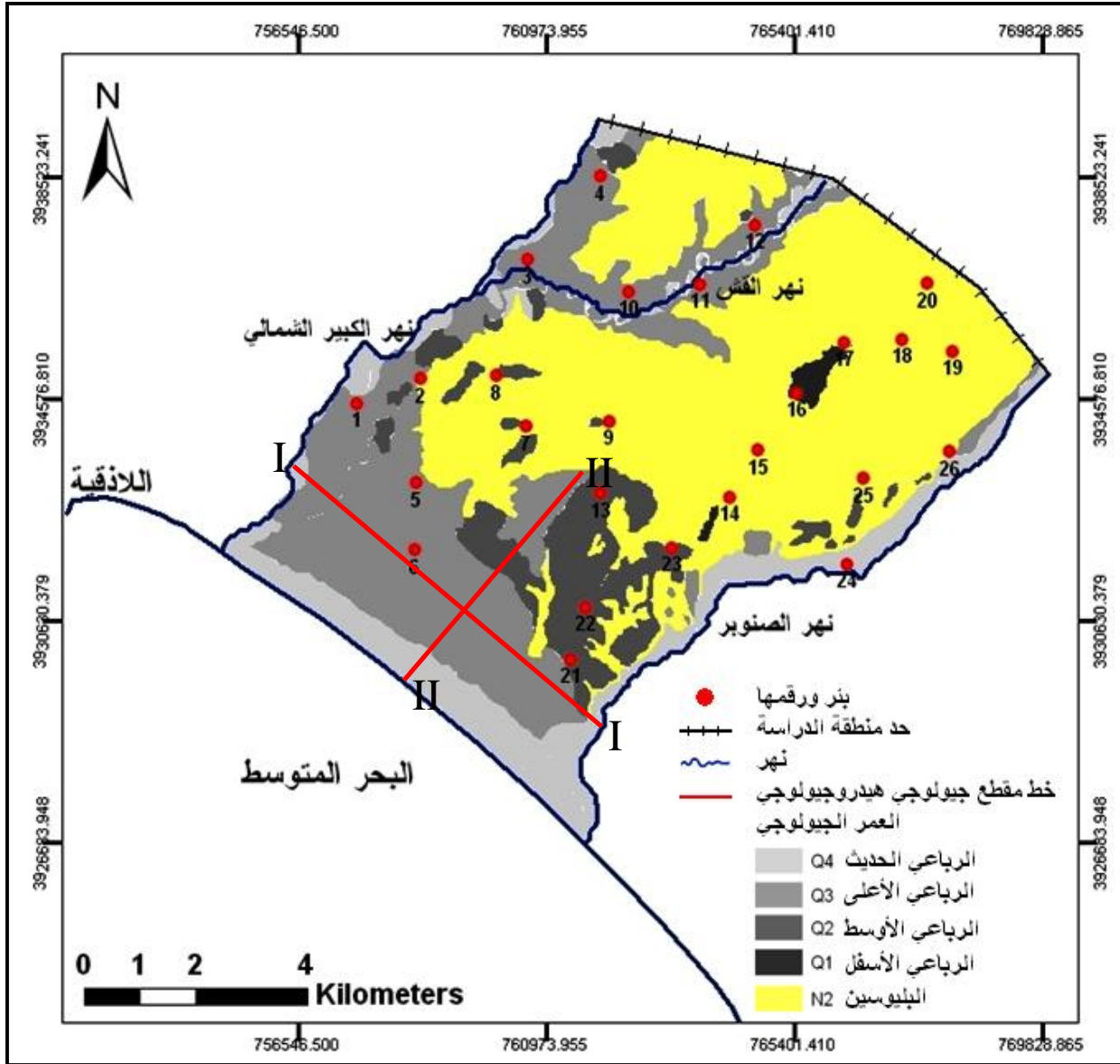
الشكل (2-10) حوضا نهر الكبير الشمالي ونهر السنوبر

1.2.2. البنية الجيولوجية

تمَّ دراسة الوضع الجيولوجي انطلاقاً من الخريطة الجيولوجية لرقعتي اللاذقية وجبلية، بمقياس (1/50000) الشكل (2-11)، واعتماداً على الكثير من الدراسات السابقة والتحريات الهيدروجيولوجية، وخاصةً التي نفذها معهد غروزغيرفودخوذ في أثناء دراسة الأحواض الأربعة في القطر العربي السوري في عام (1979) م [4].

تشكل المنطقة المدروسة جزءاً من المنطقة الساحلية التي تتكشف ضمن حدودها صخور تعود إلى أعمار مختلفة تمتد من الجوراسي وحتى الرباعي، وتكون هذه الصخور ذات تراكيب ليتولوجية متميزة.

وفي منطقة الدراسة تتكشف بشكل أساسي صخور تعود أعمارها إلى النيوجين، والرباعي.



شكل (2-11) الخريطة الجيولوجية لمنطقة الدراسة

توضعات النيوجين (N) Neogene

تتألف التوضعات النيوجينية من رسوبيات الميوسين، والبليوسين التي تمتاز بتجانس ليتولوجي لبعض المقاطع وبتغير كبير في المستحاثات [80].

تحتل رسوبيات البليوسين مساحة لا بأس بها من أراضي منطقة الدراسة (حوالي 40%)، وهي رسوبيات بحرية تصل سماكتها إلى حوالي (280) م، وتنتشر بكثرة في حوض نهر الكبير الشمالي،

حيث اكتشفت أكبر سماكة لهذه التوضعات، زادت عن (350) م عند الضفة اليسرى لوادي نهر الكبير الشمالي في منطقة مزار القطرية [4]. تـغـوص هذه التوضعات تحت توضعات الرباعي في منطقة السهل الساحلي. تتألف هذه التوضعات بشكل رئيسي من الغضار، والحجر الرملي، والحجر الكلسي الشيلي، وكونغوميرا [17]. وهذا يبدو جلياً من خلال العمود الليتولوجي لبئر مزار القطرية، الشكل (2-12). تتكشف رسوبيات البليوسين بسماكات مختلفة (30 - 40) م، في أودية الأنهار وبعض المسيلات بالقرب من شاطئ البحر [80].

يُظهر الشكل (2-13) مقطع مضاهاة لبعض الآبار التي اخترقت النيوجين باتجاه شمال غرب – جنوب شرق. ويبدو أن صخور البليوسين تتوضع بشكل شبه أفقي تقريباً وسماكة كبيرة. وهي مغطاة بتوضعات رباعية تتفاوت سماكتها من منطقة لأخرى [17].

توضعات الرباعي (Q) Quaternary

تشغل رسوبيات الرباعي حوالي (60%) من مساحة المنطقة المدروسة، وبسماكة تصل إلى (50) م تقريباً، وهي تؤلف مجموعة من المصاطب، والبلاجات، والتموجات الكثبانية [79].

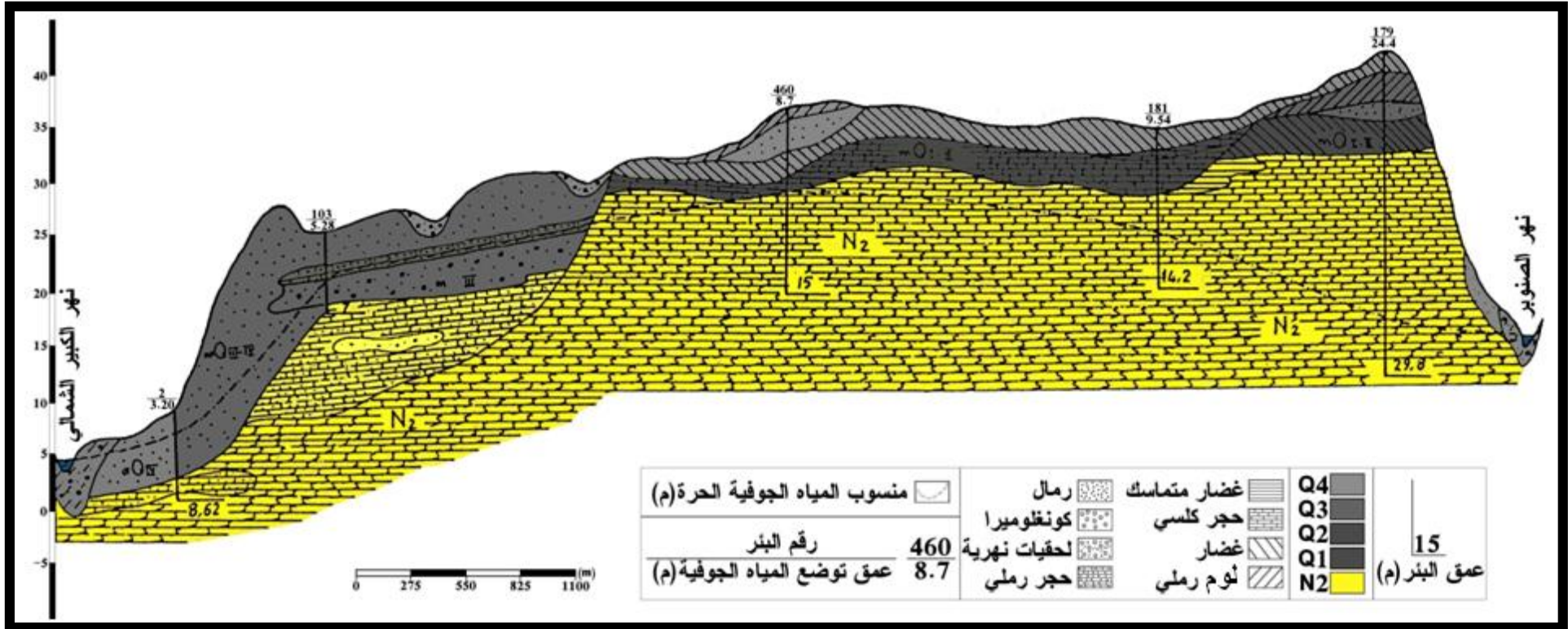
تنتشر رسوبيات الجزء السفلي (Q₁) على مناطق صغيرة ومعزولة، وهي مؤلفة من الحصى، والرمال، والحجر الكلسي الشيلي، والكونغوميرا وبسماكة تصل حتى (7) م. وتتمثل توضعات الرباعي الأوسط (Q₂) برسوبيات لحقية وبحرية تتألف من الحصى والحجر الرملي، والكونغوميرا غير المتماسكة، وبسماكة أعظمية تصل حتى (20) م، وهي تشكل مصاطب فوق السهل الفيضي، وتشغل تكشفاً جزءاً إلى الجنوب من منطقة الدراسة.

وتنتشر توضعات الجزء العلوي (Q₃) على مساحة كبيرة ضمن منطقة الدراسة بسماكة (20) م تقريباً، وهو يتألف ليتولوجياً من حصى تجمعي، حجر رملي، رمال، غضار رملي رمادي ممتزج مع حصى، وحصباء متنوعة، يتوضع الحصى التجمعي على شكل عدسات، أو شرائح ضمن طبقة الغضار الرملي. وتتمثل توضعات الرباعي الحديث (Q₄) بتوضعات لحقية، وسيلية بشكل رئيسي، تنتشر بشكل شريط مسابير لمجري النهرين، وتتألف من قطع حصوية كبيرة، حجر كلسي شيلي، رمال ولوم رملي، يتناقص حجم قطع المواد المؤلفة لهذه التوضعات من المنشأ، وحتى المصب حيث تنتشر الحصى، والرمال علماً أن المواد اللحقية المؤلفة لهذا الجزء مغسولة بشكل جيد، مع الإشارة إلى أنه كثيراً ما تُصادف عدسات غضارية ضمن هذه التوضعات، تصل سماكة هذه التوضعات إلى حوالي (20) م أو أكثر أحياناً [4].

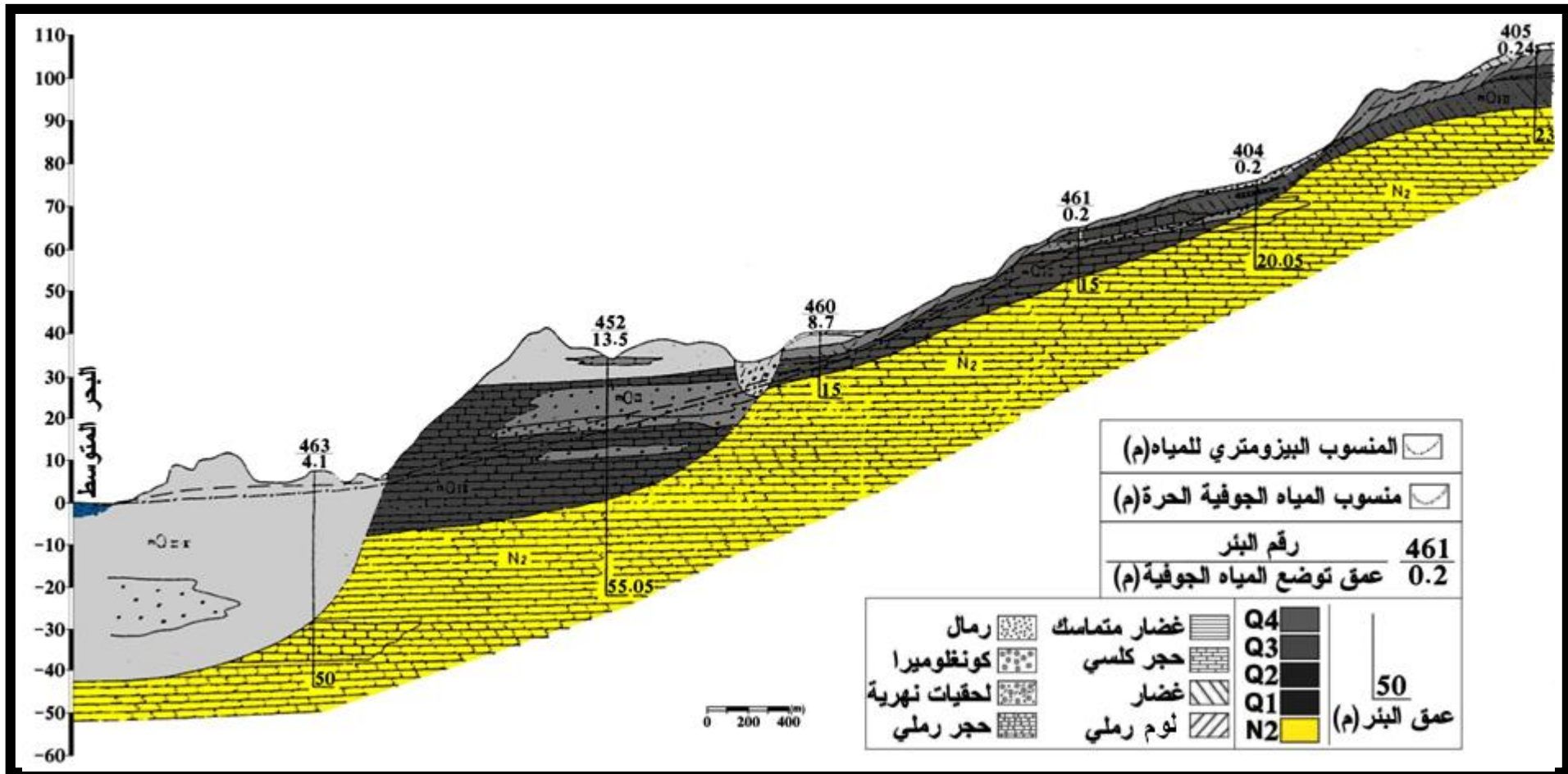
ويوضح الشكل (2-14) مقطع مضاهاة لبعض الآبار التي اخترقت الرباعي باتجاه جنوب غرب – شمال شرق. ويبدو منه أن سماكة التوضعات الرباعية تزداد سماكتها من الشمال الشرقي باتجاه الجنوب الغربي حيث سُجِّلت أعلى سماكة لهذه التوضعات وبلغت (40) م تقريباً [17].

الزمن الجيولوجي	رقم الطبقة	عمق الطبقة /م/	السمائة /م/	الوصف الجيولوجي	
Q	1	12.8	12.8	غضار ، حصى ، حجر جيرى ، مارل	
N ₂	2	76.0	53.2	غضار كلسي ، مجموعة من الرمل الكلسي	
	3	89.0	13.0	حجر رملي غضاري	
	4	146.0	55.0	غضار كلسي ، مجموعة من الرمل الكلسي	
	5	230.0	84.0	غضار كلسي ، حجر رملي ، حبيبات غرينية ناعمة غير مجمعة ، مارل	
	6	270.0	40.0	غضار كلسي ، حجر رملي ، وفرة في الشيل	
	7	279.0	9.0	غضار كلسي ، حجر رملي	
	8	291.0	12.0	حجر رملي غريني ، شيل حطامي ، اسمنت كلسي	
	9	357.00	66.0	كلس ، غضار ، عدسات غير مجمعة من الأحجار الرملية	
	المقياس: كل 1 سم يقابل 20 م				

شكل (2-12) العمود الليتولوجي لبئر مزار القطرية



شكل (2-13) مقطع مضاهاة جيولوجي - هيدروجيولوجي (I-I) ويمثل مضاهاة مقاطع آبار اخترقت البليوسين [17] " مع تعديلات من قبل الباحث "

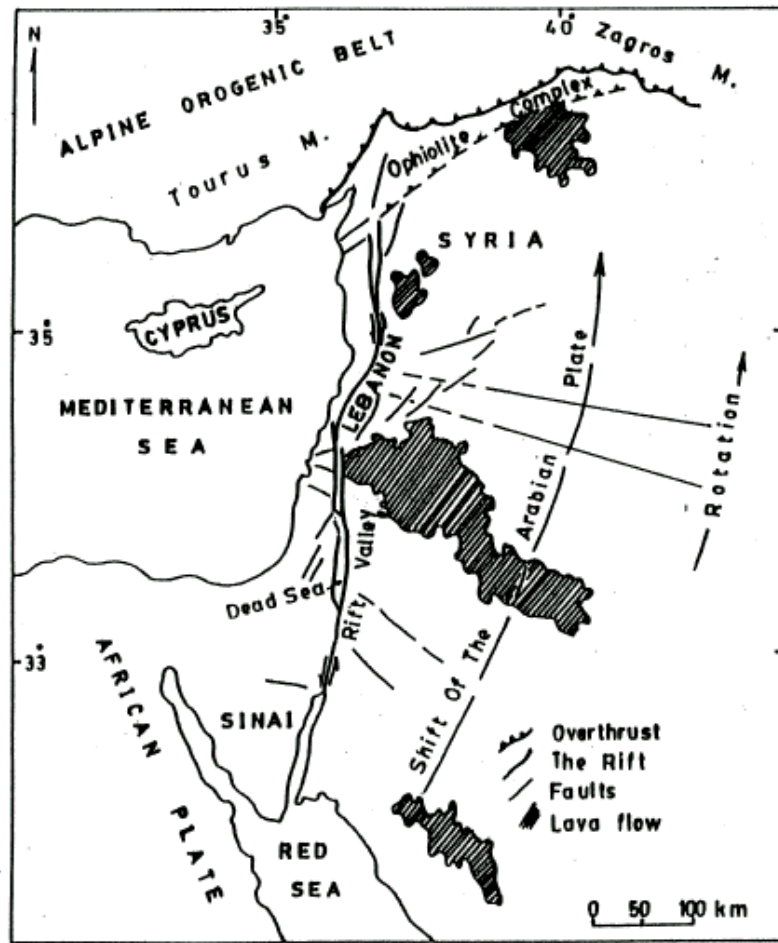


شكل (2-14) مقطع مضاهاة جيولوجي - هيدروجيولوجي (II - II) ويمثل مضاهاة مقاطع آبار اخترقت الرباعي [17] " مع تعديلات من قبل الباحث "

2.2.2. البنية التكتونية

تحتل الجيولوجيا البنيوية باهتمام واسع في العلوم الجيولوجية لأهميتها النظرية والتطبيقية، وتتبع نتائجها عند تقويم البنيات الجيولوجية المدروسة، تبعاً لحسن استخدام كافة فروع المعرفة الجيولوجية. حيث تملك دراسة الفوالق والتشققات أهمية كبيرة بالنسبة لمختلف العلوم الجيولوجية، وتعطي دليلاً هاماً عند عمليات التحري عن المياه الجوفية.

تقع المنطقة الساحلية على طرف الصفيحة العربية، وضمن سلسلة الانهدام العربي "الانهدام اللبناني"، وهذا الأخير يمتد من البحر الأحمر مروراً بخليج العقبة، وانهدام البحر الميت حتى وادي الأردن. الشكل (2-15).



شكل (2-15) موقع منطقة البحث تكتونياً [19, 72]

تعرضت المنطقة الساحلية منذ الحقب الثاني لحركات تكتونية "هبوط ونهوض" أدت إلى إصابتها بفوالق إقليمية كبيرة "الفالق السوري - اللبناني، فالق الكبير الشمالي، و ظهور نشاط بركاني في النيوجين خاصة [4].

تتكشف طبقات الكريتاسي والبالوجين والنيوجين الرسوبية على أطراف نهوض الأنصاري (أكبر جزء مرتفع للكنتلة الشمالية الغربية لسورية)، حيث يمتد منخفض الكبير الشمالي بين النهاية الشمالية – الغربية لسلسلة جبال اللاذقية، والنهاية الشمالية لكنتلة البسيط على شكل سرير.

يشكل منخفض نهر الكبير الشمالي وحدة تكتونية جيولوجية ذات طابع بنيوي هام، ويتميز منخفض الكبير الشمالي بتوضعات تعرضت للحت والتعرية بشدة، ويُعد هذا المنخفض حلقة وصل بين كتلة البسيط الناهضة، والسفح الشمالي الغربي لنهوض الجبال الساحلية.

يأخذ هذا المنخفض اتجاه شمال شرق – جنوب غرب، ويكون في قسمه الشمالي الشرقي أضيق مما هو عليه في قسمه الجنوبي الغربي، حيث يصبح واسعاً، ويفتح باتجاه البحر.

تتألف قاعدة المنخفض من طبقة سميكة جوراسية وكريتاسية، تضغط عليها رسوبيات الأفيوليت المشوهة، بكتل منفردة من الصخور المتحولة القديمة، وتتغذى هذه الرسوبيات بدورها بطبقات البالوجين، والكريتاسي الأعلى القليلة التشوه.

يتراوح أصغر عرض لهذا المنخفض بين (6 - 8) كم، ليتسع في الجنوب الغربي ويتحد مع السهل الساحلي.

تكشفت فوالق تكتونية في الجزء الجنوبي الشرقي للمنخفض، في قرية الصنوبر على الساحل وبالاتجاه نحو منطقة الحفة، وبنتيجة التصدع، حدث انخفاض للجانب الأيسر من المنخفض، الذي يتألف من طبقة غضارية سميكة عائدة للبليوسين [80].

تنتشر توضعات البليوسين، عملياً في كل أنحاء منخفض الكبير الشمالي، وهي تتألف من غضار كلسي (مارل غضاري)، وتصل سماكتها الإجمالية حتى (460) م [4].

وتغطي توضعات الجص والمتبخرات الأخرى بعض المناطق المرتفعة من وادي الكبير الشمالي، وتتواجد بقايا من هذه المتبخرات في أنحاء مختلفة من المنطقة المدروسة (الصنوبر، الشير، ...).

على امتداد النهاية الشمالية الغربية للمنخفض يَمُرُّ فالق اللاذقية – كَلَس الإقليمي، الذي يمتد شمال شرق – جنوب غرب، مشكلاً حداثاً تكتونياً بين منخفض الكبير الشمالي وهضبة البسيط [23].

تشكلت لاحقاً توضعات الرباعي المؤلفة من الكونغلوميرا الحصوية المارلية، والرملية، وذلك نتيجة لعوامل الحت المؤثرة على المنطقة المحيطة، ويفسر ذلك بأنه في نهاية زمن البليوسين وصلت الجبال الساحلية إلى قمة تطورها، كما أن كتلة اللاذقية – البسيط كانت ناهضة، وبدأت العناصر الرئيسية الحديثة للتضاريس بالتشكل مثل وادي نهر الكبير الشمالي، والشريط الساحلي، وعلى الحدود بين النيوجين، والرباعي فإن فترة النهوض البطيء قد حلَّ محلها الحركات التكتونية التي أدت إلى تشكل، ونهوض الكتل المختلفة وفي الوقت نفسه إلى تشكل الانهدامات، أو المنخفضات، كما أخذ ساحل شرقي البحر المتوسط شكله الحالي الموازي لنظام الفوالق المتطورة على القارة، وخلال الرباعي الحديث

لوحظ استمرار في عملية النهوض النيوتكتوني للمنطقة، التي ظهرت آثاره جلية في تشكيل المصاطب الرباعية النهرية، والبحرية، ويُعتدَّ أن تتشكل نهر الكبير الشمالي كان متوافقاً مع ذلك [4]. وقد ساعد النهوض العام للجزء الشمالي من جبال اللاذقية على ازدياد انحدار النهر، وتنشيط عمليات الحت التي ساهمت في زيادة سماكة المصاطب بدءاً من المنبع باتجاه المصب. يشكل النهر في أماكن معينة أودية حتية ضيقة، وعميقة ويتابع سيره باتجاه المصب بشكل قوس مفتوح، بتعرجات تكاد لا تذكر.

تقع المنطقة المدروسة على الحدود النهائية لجزء من الصفيحة العربية، وضمن نطاق تصدع الصفيحة العربية في الجزء الشمالي الغربي وقد تعرضت لحركات تكتونية منذ الحقب الثاني، ليتشكل منخفض الكبير الشمالي، الذي يصل بين كتلة البسيط والسفح الشمالي – الغربي لسلسلة جبال اللاذقية، ومنخفض البحر المتوسط، الذي يتألف من سهل مصطبي ساحلي متاخم للبحر.

3.2. الظروف الهيدروجيولوجية

تُجرى الدراسة الهيدروجيولوجية على أساس المعرفة الدقيقة للبنية الجيولوجية، الطباقية، الليتولوجية، التكتونية، والجيومورفولوجية. بالإضافة إلى معرفة الأحوال المناخية، والجريانات السطحية، والعوامل الطبيعية والاصطناعية الأخرى، التي تحدد ظروف تشكل المياه الجوفية، وتوضعها، وحركتها، وتغذيتها، وصرفها في المنطقة، وبالتوافق مع هدف الدراسة قمنا بتحليل كافة المعطيات المتوفرة عن المنطقة واضعين أمامنا حل المسألتين الآتيتين:

١ إظهار ظروف توضع المياه الجوفية في منطقة الدراسة واستنتاج البنية الهيدروجيولوجية للطبقات الحاملة للمياه.

٢ إظهار قوانين وظروف حركة المياه الجوفية في منطقة الدراسة، واستنتاج البنية الهيدروديناميكية للطبقات الحاملة للمياه، وعرض هذه البنية في شكل خريطة هيدروديناميكية. إذ تمكّن هاتان المسألتان وباستخدام الطرائق الجيولوجية الأخرى الموجودة، من تدقيق ومعايرة النموذج المقترح للمنطقة. وهذا يُعتبر أساساً لزيادة الدقة في تقدير الموارد المائية المتاحة في المنطقة وذلك باعتبار أن فهم البنية الهيدروجيولوجية والهيدروديناميكية يقلل بشكل كبير من عدم صحة ومدلولية المسائل العكسية، ويُمكن أيضاً من إظهار عناصر الموازنة المائية بشكل أوضح ويسمح بفهم ظروف تشكل هذه العناصر.

إن التحليل التفصيلي لمجمل العوامل الجيولوجية والتكتونية والجيومورفولوجية والفيزيوجغرافية المذكورة أعلاه، وباستخدام المبدأ الليتولوجي والستراتيغرافي في تقسيم المقطع الهيدروجيولوجي مع الأخذ بعين الاعتبار البارامترات الهيدروجيولوجية، يُظهر لنا تواجد الطبقات الآتية الحاملة للمياه ضمن منطقة الدراسة:

التوضعات للحقبة الحديثة الحاملة للمياه (Q4)

تنتشر التوضعات للحقبة الحديثة في أودية المجاري الرئيسية لنهر الكبير الشمالي ونهر الصنوبر، وتشكل عند مصب نهر الكبير الشمالي شريطاً بعرض (2) كم، وتتألف هذه التوضعات من حصى كبيرة مع عدسات رملية، وتتناقص أبعاد هذه المواد من المنبع حتى المصب، حيث تنتشر الرمال مع الحصى ويصادف ضمنها عدسات غضارية رقيقة، علماً أن المواد للحقبة مغسولة جيداً، ويبين الجدول (2-8) أعماق المياه في الآبار التي اخترقت مختلف التوضعات الرباعية، إذ تتوضع المياه الجوفية الحرة على عمق (4 - 9) م، وتتألف الطبقات الكتيمة من توضعات الغضار، والمارل العائدة للبلوسين [17]، وتبلغ سماكة هذه للحقيات حوالي (25 - 30) م [4].

بلغ عامل رشح هذه التوضعات (10 - 20) م/يوم، وبلغت ناقليتها المائية (270) م²/يوم تقريباً [الفصل الثالث].

تتغذى الطبقات الحاملة للمياه على حساب تسرب مياه الهاطل المطري [17]، ومن مياه الفيضانات ومياه الجريان السطحي، وبدرجة أقل من مياه الجريان الجوفي من جهة المنحدرات الأساسية للأودية. استثمرت الطبقة الحاملة للمياه الحرة سابقاً، قبل بدء استثمار شبكات الري، بواسطة عدد كبير من الآبار، بأعماق تتراوح بين (5 - 15) م، ونادراً ما يزيد عمقها عن (30) م [17]، وتراوحت تصاريفها بين (10 - 15) ل/ثا، مقابل هبوط في المنسوب (1 - 2) م [80]. وكانت المياه الجوفية تستخدم لأغراض الري، وسقاية الحيوانات، وأحياناً للشرب [80]. ويقتصر استخدامها حالياً للأغراض المنزلية والري المساعد ونادراً للشرب.

توضعات الرباعي الأعلى للحقبة - السيلية الحاملة للمياه (Q3)

تنتشر هذه التوضعات بشكل واسع في أراضي السهل الساحلي، وتمثل الأراضي الزراعية الخصبة لبعض القرى، والبلدات الموجودة في منطقة الدراسة، وتتألف الطبقات الحاملة للمياه من كونغلوميرا، رمال، رمل غضاري، مختلطة مع حصص، وحصى غير مصنفة [17]، وتتراوح سماكة الطبقة الحاملة بين (3 - 5) م [80]، وعمق توضع المياه الجوفية بين (1 - 9) م، الجدول (2-8).

تتألف الطبقات الكتيمة غالباً من توضعات الغضار، والمارل العائدة للبلوسين وبدرجة أقل من الحجر الكلسي الغضاري العائد إلى الباليوجين [4].

بلغ عامل الرشح في هذه التوضعات وسطياً (20) م/يوم، والناقلية المائية للطبقة الحاملة للمياه تتراوح بين (70 - 350) م²/يوم.

تتغذى المياه الجوفية في هذه التوضعات على حساب تسرب مياه الأمطار، ومن تسرب مياه الفيضان، والجريان السطحي [17]، وتشكل المياه الجوفية المستثمرة من هذه الطبقة، أهمية كبيرة في

الري وسقاية الأراضي الزراعية، وفي الشرب كانت تستثمر سابقاً بواسطة آبار السبر وآبار عادية قليلة العمق تتراوح تصاريحها بين (1 - 4) ل/ثا [4] .

جدول (8-2) نتائج قياس أعماق توضع المياه في بعض الآبار التي اخترقت مختلف التوضعات الرباعية والتي اعتمدت في الدراسة (قيم متوسط أعماق توضع المياه للعام 2012)

البنر	المنطقة	الطبقة الحاملة للمياه	الارتفاع المطلق لفوهة البئر /m/	عمق توضع المياه الجوفية /m/
1	المعكس	fQ ₃	7	1.87
2	الشير	fQ ₃	32	4.39
3	ستخيرس	fQ ₃	12	3.83
4	رويسة الحرش	fQ ₃	22	2.39
5	البصة	eQ ₃	34	2.36
6	الحمى	eQ ₃	19	8.87
8	الخلالة	fQ ₂	77	3.73
10	الشلفاطية	fQ ₃	30	4.66
12	منجيلا	fQ ₄	40	8.66
13	البارد	mQ ₂	68	4.52
16	مزار القطرية	mQ ₁	145	6.87
17	المشيرفة	mQ ₁	190	4.90
21	الصنوبر	mQ ₂	30	16.00
22	نوع الرز	mQ ₂	36	10.11
23	الخرنوبة	mQ ₂	70	6.72
24	الرويمية	fQ ₄	30	4.29

التوضعات البحرية للرباعي (الأسفل - الأوسط) الحاملة للمياه (Q₁ - Q₂)

تشكل هذه التوضعات شريطاً يمتد بين نهري الكبير الشمالي، والصنوبر. وتتألف من حجر رملي كلسي بلون أصفر - رمادي، وبني، يحوي فراغات كثيرة، ونادراً ما تتألف من الحجر الكلسي [17] . يتغير عرض هذا الشريط من التوضعات بين (2 - 4) كم، وتتراوح سماكة هذه الرسوبيات بين (2 - 60) م [17] .

وتشكل هذه التوضعات حاملاً جيداً للماء حيث أنها تتوضع فوق طبقات غير نفوذة للماء تعود إلى البليوسين مؤلفة من المارل، وقد حُفرت فيها عشرات الآبار التي تتراوح أعماق توضع المياه فيها ما بين (3 - 16) م، الجدول (8-2). وذلك لإرواء مزارع الزيتون والحمضيات، ومياه هذه الآبار عذبة، وهي عديمة اللون، والرائحة، والطعم.

تتراوح قيمة عامل الرش بين (1 - 15) م/يوم، والناقلية المائية لهذه التوضعات بين (36 - 370) م²/يوم .

تتغذى الطبقة الحاملة للمياه على حساب تسرب مياه الأمطار، وتسرب مياه الري في مناطق انتشار الأراضي الزراعية المروية، وتقتصر تغذيتها على حساب مياه الأمطار في الأجزاء غير المروية [17] .

التوضعات البحرية للبليوسين الحاملة للمياه (N₂)

تنتشر هذه التوضعات بشكل واسع في منطقة الدراسة، حيث تصل سماكتها إلى (100) م، وهي تتألف من غضار رملي أو كلسي ومارل، ويشاهد ضمنها بعض الطبقات الرقيقة بسماكة تتراوح بين (2 - 18) م من الحجر الكلسي الرملي والحجر الرملي الهش [80] .
وتعدّ صخور المارل، والغضار صخوراً كثيفة للماء، بينما تؤلف الطبقات الكلسية، والرملية صخوراً حاملة للمياه الجوفية [17] .

بلغ عامل الرش (13) م/يوم، وتزداد قيمة النفوذية لتوضعات البليوسين قرب سطح الأرض، وفي الأماكن المعرضة للتجوية بشكل جيد، فتصل قيمة عامل الرش بذلك حتى (27) م/يوم وسطياً، ويتراوح عامل الناقلية المائية لتوضعات البليوسين البحرية بين (135 - 295) م²/يوم.

يتراوح عمق توضع المياه الجوفية بين (1 - 14) م، الجدول (2-9)، وتتغذى على حساب مياه الأمطار بشكل رئيسي، وتتصرف عن طريق الينابيع في الأودية التي تتكشف فيها توضعات البليوسين الحاملة للمياه، حيث تتراوح معدلات تدفق الينابيع بين (0.1 - 0.6) ل/ثا كما تتصرف من ضفاف مجاري الأنهار التي تقطع هذه التوضعات، وعن طريق الينابيع الصغيرة في أودية الأنهار، ومجاريها [4]. وتُستثمر هذه المياه بواسطة الآبار للشرب وري المزروعات، والخدمات المنزلية [17].

في المحصلة، ومن وجهة نظر ليتولوجية وهيدروجيولوجية يمكن القول أن التوضعات الرباعية والبليوسينية المشار إليها أعلاه تشكل منظومة هيدروجيولوجية واحدة، تمتد حدودها بين نهري الكبير الشمالي والصنوبر وشاطئ البحر وحدود انتشار هذه التوضعات على سفوح التلال. ويحدها من الأسفل مارل النيوجين الذي يشكل طبقة كثيفة ذات امتداد إقليمي. أما توضعات البليوسين الحاملة للمياه التي تقع في الجزء العلوي منه على عمق يتراوح بين (2-18) م، فهي تشكل في أكثر الحالات عدسات معزولة ضمن المارل والمارل الغضاري الذي يعود إلى نفس العمر.

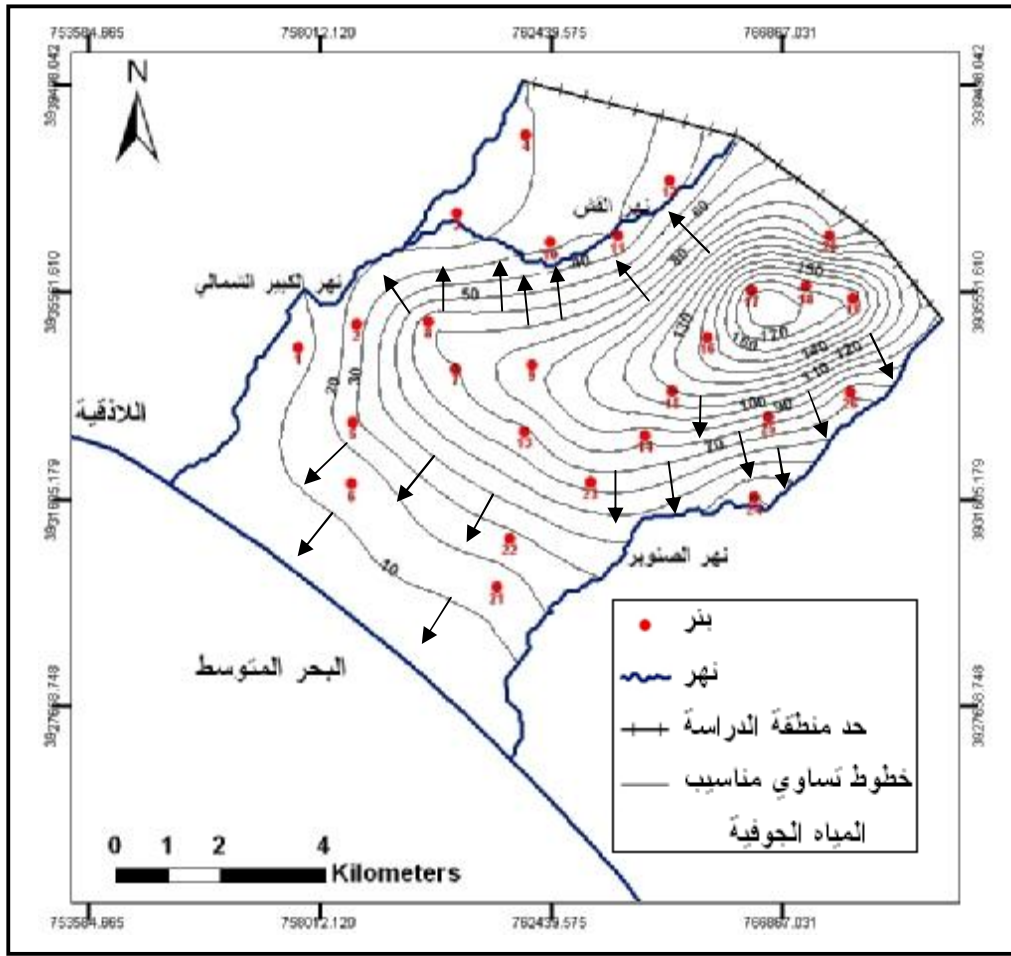
تتغذى المياه الجوفية في توضعات هذه المنظومة على حساب تسرب مياه الأمطار، ومياه الجريان السطحي، وتسرب مياه الري في الأراضي الزراعية المروية.

وتتوضع المياه الجوفية على عمق يتراوح بين (1 - 16) م، ويتراوح عامل الرشح بين (1 - 50) م/يوم، وناقليتها المائية بين (2 - 400) م²/يوم تبعاً لخصائص التوضعات، وتستثمر هذه المياه بوساطة عدد كبير من الآبار لأغراض الري المساعد، والخدمات المنزلية، وأحياناً الشرب. جدول (2-9) نتائج قياس أعماق توضع المياه في بعض الآبار التي اخترقت التوضعات البحرية العائدة للبلبوسين والتي اعتمدت في الدراسة (قيم متوسط أعماق توضع المياه للعام 2012)

البنر	المنطقة	الطبقة الحاملة للمياه	الارتفاع المطلق لفوهة البئر /m/	عمق توضع المياه الجوفية /m/
7	الهنادي	N ₂	70	3.77
9	فديو	N ₂	87	2.31
11	دبّا	N ₂	37	10.34
14	القطرية	N ₂	84	5.07
15	مزار القطرية	N ₂	122	3.75
18	ضهر السرياني	N ₂	175	11.36
19	الرامة	N ₂	192	13.68
20	القاقيعية	N ₂	74	1.86
25	المصلّى	N ₂	84	1.01
26	الضاهرية	N ₂	67	1.23

ويبين الشكل (2-16) خارطة هيدروايزوهيبس في منطقة الدراسة لعام (2012)، والتي استخدمنا في رسمها قيم المتوسط الشهري لمناسيب المياه الجوفية بدءاً من شهر كانون الثاني وحتى شهر كانون الأول للعام (2012)، حيث يمثل الجدول (2-10) قائمة بالآبار التي اعتمدت في إنشائها وقيم متوسط مناسيب المياه فيها.

وتشير الخارطة الشكل (2-16)، إلى وجود عدّة اتجاهات لحركة المياه الجوفية: الأول باتجاه الشمال والشمال الغربي أي باتجاه وادي نهر الكبير الشمالي، والثاني باتجاه الجنوب والجنوب الشرقي أي باتجاه وادي نهر الصنوبر، والثالث باتجاه البحر. وعموماً تظهر هذه الخريطة بأن المياه الجوفية تتصرف في الأودية النهرية والبحر أيضاً، ويشير تباعد المسافات بين خطوط تساوي مناسيب المياه الجوفية في القسم الغربي إلى زيادة وتحسن الخواص الرشحية للطبقة الحاملة للمياه في هذا الجزء، بينما يدل تقارب هذه الخطوط على تردي هذه الخواص في القسم الشرقي.



الشكل (2-16) خارطة هيدروايزوهيبس لمنطقة الدراسة للعام 2012

جدول (2-10) قائمة الآبار التي اعتمدت في إنشاء خارطة الهيدروايزوهيبس

البيئر	المنطقة	الارتفاع المطلق لفوهة البيئر /m/	المنسوب المطلق للمياه الجوفية /m/
1	المعكس	7	5.13
2	الشير	32	27.61
3	ستخيرس	12	8.17
4	رويسة الحرش	22	19.61
5	البصة	34	31.64
6	الحمى	19	10.13
7	الهنادي	70	66.23
8	الخلالة	77	73.27
9	فديو	87	84.69
10	الشلفاطية	30	25.34
11	دبّا	37	26.66
12	منجيلا	40	31.34
13	البارد	68	63.48
14	القطرية	84	78.93
15	مزار القطرية	122	118.25
16	مزار القطرية	145	138.13
17	المشيرة	190	185.10
18	ضهر السرياني	175	163.64
19	الرامة	192	178.32
20	القاقعية	74	72.14
21	السنوبر	30	14.00
22	نبع الرز	36	25.89
23	الخرنوبة	70	63.28
24	الرومية	30	25.71
25	المصلّى	84	82.99
26	الضاهرية	67	65.77

الفصل الثالث

النظام المائي في منطقة الدراسة

1.3. مفاهيم عامة حول النظام المائي

يقصد بالنظام المائي بشكل عام قوننة تغيرات المؤشرات والمعاملات الأساسية للمنظومة الهيدروجيولوجية في الفراغ ومع الزمن، وذلك تحت تأثير مختلف العوامل الطبيعية (العوامل المناخية، الهيدرولوجية، الجيولوجية، البيولوجية...) والاصطناعية (استثمار المياه الجوفية الكثيف وإقامة السدود وغيرها)، وتتضمن هذه المؤشرات والمعاملات مؤشرات كمية ونوعية للمياه كالمناسوب، والتصارييف، ودرجات حرارة المياه وملوحتها، وغيرها.

وتتم مناقشة تغيرات هذه المؤشرات بعلاقة غير منعزلة عن الوسط الجيولوجي الذي يحتوي المياه الجوفية، ويمكن الحكم على هذه التغيرات على أساس المراقبة الدورية لعناصر النظام في نقاط معينة مختارة [29 , 58]. وفي الدراسات المائية يُدرَس النظام المائي بمجمله أو يُكتفى بدراسة أهم مكوناته، حسب هدف الدراسة من جهة وحسب المعلومات المتوافرة من جهة أخرى، وفي بحثنا سندرس نظام المياه الجوفية من الناحية الكمية والنوعية.

لدراسة نظام المياه الجوفية يتم تصميم شبكة آبار خاصة (آبار مراقبة) تتم فيها القياسات بوساطة الأجهزة الهيدروجيولوجية، وتُعرض نتائج المراقبة من خلال منحنيات بيانية تمثل تغيرات أوضاع مؤشرات النظام مع الزمن، التي من أهمها:

زمن بلوغ المنسوب الأعظمي والأصغري، تصريف الينابيع والآبار، سرعة نهوض المنسوب وزيادة التصريف، وانخفاضهما، مطال التغير، طبيعة وحدود تغير الملوحة، والتركييب الكيميائي للمياه الجوفية، علاقة النظام مع مختلف العوامل الطبيعية، ويتم عرض نتائج المراقبة بصورة منحنيات بيانية تُظهر هذه التغيرات مع الزمن.

هذا وتوجد تصانيف كثيرة لأنظمة المياه الجوفية [30 , 35] ، فتبعاً للعوامل المشكلة له يقسم إلى نظام طبيعي، أو اصطناعي، ويصنّف النظام الطبيعي بدوره في عدة أنواع وفقاً للتغيرات الزمنية في مناسيب المياه الجوفية (يومي، فصلي، سنوي، طويل الأمد)، أو بحسب العوامل المسببة لتغيرات النظام (نظام مناخي أو خط التقسيم المائي، نظام هيدرولوجي أو ضفاف الأنهار، نظام غوري وتتميز به مناطق انتشار الكارست، نظام الطبقة الفعالة). كما يصنف النظام الاصطناعي (المخرّب) في عدة أنواع وفقاً لدرجة تخريب النظام الطبيعي (نظام ضعيف التخريب، نظام مخرّب، نظام مخرّب بشدة)، ولكل من هذه الأنظمة المذكورة أعلاه سماته وخصائصه المميزة، والعوامل المشكلة له [29 , 58].

تملك دراسة نظام المياه الجوفية – وبشكل خاص النظام الطبيعي – أهمية كبرى عند دراسة المسائل الهيدروجيولوجية، ولا سيما تلك المتعلقة بتقييم ظروف وخصائص تشكل الموارد المائية الجوفية وطبيعة تغيراتها، ومعرفة مدى استقرار نظامها مع الزمن [52 , 57 , 69 , 70] ، الأمر الذي يتم من خلال دراسة أوضاع مناسيب هذه المياه وتردداتها مع الزمن.

2.3. دراسة تغيرات مناسيب المياه الجوفية مع الزمن في منطقة الدراسة

من المتعارف عليه أن تغيرات مناسيب المياه الجوفية الدورية تعكس نظام تغذية هذه المياه، وللوقوف على ذلك تم إنشاء شبكة رصد هيدروجيولوجية خاصة مؤلفة من 26 بئراً موزعة في كافة أرجاء المنطقة، الشكل (2-3). بعضها يغطي فترة زمنية تبلغ خمسة أعوام (2008 - 2012) وهي فترة كافية لتحديد نظام تغذية المياه الجوفية [58]، ومعرفة التغيرات والتبدلات التي طرأت على مناسيب المياه خلال تلك الفترة، والآبار المتبقية تغطي قياسات الفترة (2012-2013). ويوضح الجدول (3-1) مواقع آبار شبكة الرصد في منطقة الدراسة، إضافةً إلى ارتفاع فوهاتها عن سطح البحر، والطبقة الحاملة في كل منها، والأساس الذي تمّ على أساسه اختيارها.

جدول (3-1) الآبار المُعتمَدة في الدراسة، ومعايير اختيارها

رقم البئر وموقعها	الطبقة الجيولوجية الحاملة للمياه	ارتفاع فوهة الآبار عن سطح البحر (م)	فترة المراقبة	المصدر المحتمل تأثيره (بالإضافة للهطولات المطرية)
1 المعكس	fQ ₃	7	كانون الثاني 2008 - شباط 2013	قربها من نهر الكبير الشمالي إضافةً إلى طبيعة تشكيلاتها المؤلفة من حصى – رمال – كونغلواميرا والنشاطات الزراعية المكثفة
2 الشير	fQ ₃	32		
3 ستخريس	fQ ₃	12		
4 رويسة الحرش	fQ ₃	22		
5 البصة	eQ ₃	34	كانون الثاني 2012 - شباط 2013	
6 الحمى	eQ ₃	19		

المصدر المحتمل تأثيره (بالإضافة للهطولات المطرية)	فترة المراقبة	ارتفاع فوهة الآبار عن سطح البحر (م)	الطبقة الجيولوجية الحاملة للمياه	رقم البئر وموقعها
الطبيعة الليتولوجية للتشكيلات وهي تتألف من غضار رملي أو كلسي ومارل	كانون الثاني 2012 - شباط 2013	70	N ₂	7 الهنادي
الطبيعة الليتولوجية للتشكيلات المؤلفة من حجر رملي كلسي يحتوي فراغات كثيرة		77	fQ ₂	8 الخلالة
الطبيعة الليتولوجية للتشكيلات وهي تتألف من غضار رملي أو كلسي ومارل		87	N ₂	9 فديو
قربها من نهر القش الذي يُعدّ الرافد الرئيسي لنهر الكبير الشمالي		30	fQ ₃	10 الشفاطية
		37	N ₂	11 دبّا
		40	fQ ₄	12 منجيلا
		68	mQ ₂	13 البارد
الارتفاع الطبوغرافي والطبيعة الليتولوجية للتشكيلات والنشاط الزراعي		84	N ₂	14 القطرية
الارتفاع الطبوغرافي والتشكيلات المؤلفة من حجر رملي كلسي يحتوي فراغات كثيرة ، وبشكل نادر حجر كلسي		122	N ₂	15 مزار القطرية
		145	mQ ₁	16 مزار القطرية
		190	mQ ₁	17 المشيرة

المصدر المحتمل تأثيره (بالإضافة للهطولات المطرية)	فترة المراقبة	ارتفاع فوهة الآبار عن سطح البحر (م)	الطبقة الجيولوجية الحاملة للمياه	رقم البئر وموقعها
الارتفاع الطبوغرافي والطبيعة الليتولوجية للتشكيلات	كانون الثاني 2012 - شباط 2013	175	N ₂	18 ضهر السرياني
		192	N ₂	19 الرامة
		74	N ₂	20 القاقعية
الطبيعة الليتولوجية المؤلفة من حجر رملي كلسي يحوي فراغات كثيرة		30	mQ ₂	21 السنوبر
		36	mQ ₂	22 نبع الرز
		70	mQ ₂	23 الخرنوبة
قربها من نهر السنوبر إضافة إلى طبيعة تشكيلاتها		30	fQ ₄	24 الرويمية
		84	N ₂	25 المصلى
		67	N ₂	26 الضاهرية

تُعدُّ دراسة تغيرات مناسيب المياه الجوفية من أهم المؤشرات المحددة لنظام المياه الجوفية، حيث تعكس هذه التغيرات مدى تأثير مناسيب المياه الجوفية بالمتغيرات أو العوامل الطبيعية (معدلات الهطولات المطرية السنوية ونسبة التغذية الراشحة لها، شدة التبخر، نوعية الطبقة التي تخترقها البئر جيولوجياً وليتولوجياً، القرب والبعد من الشبكة النهرية وغيرها)، والاصطناعية (عمليات الري المختلفة، الضخ من الآبار).

ولتحديد مدى تأثير هذه العوامل المذكورة أعلاه نفذنا هذه الدراسة باتجاهين:

الأول هو دراسة التغيرات الفصلية اعتماداً على القياسات التي نُفِذت خلال فترة المراقبة للعام 2012 - 2013 واعتبارها ممثلة للتغيرات الفصلية بشكل عام، لأن الهطول المطري كان جيداً خلال هذا العام حيث بلغ معدل الأمطار في المحطات الثلاث (1400) مم/سنة [11] ، ولأن عدد الآبار التي اعتمدها لمراقبة المناسيب كانت موزعة بشكل شبه منتظم ضمن أرجاء منطقة الدراسة.

والإتجاه الثاني هو دراسة التغيرات السنوية في عدد من الآبار (4 آبار) تتوافر فيها قياسات سابقة لدى مديرية الموارد المائية في اللاذقية، وتابعنا القياسات فيها خلال فترة المراقبة للعام 2012 - 2013 .

1.2.3. التغيرات الفصلية

✚ مناسب المياه الجوفية في توضع الرباعي الحديث اللحقية (Q4)

تمت دراسة وتحليل تغيرات أعماق توضع المياه الجوفية من خلال تغييرها في آبار المراقبة المختزقة لهذه الطبقة البئر رقم 12 (بئر منجيلا)، والبئر رقم 24 (بئر الرويمية).

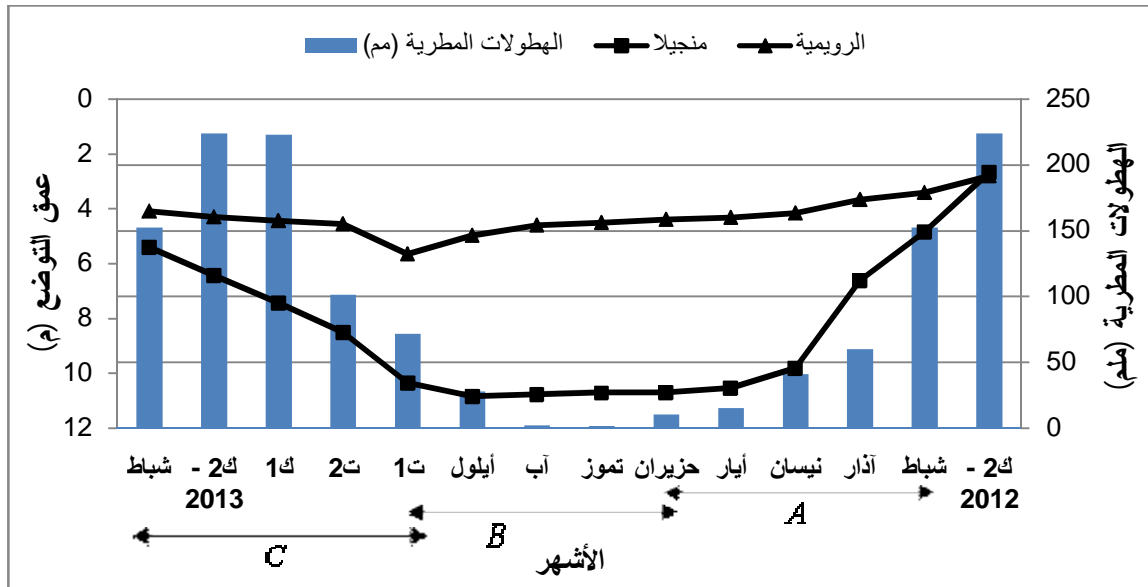
البئر رقم 12 (بئر منجيلا) /X: 764726.424 , Y: 3937681.157/

تقع البئر على الضفة اليمنى لنهر القش في قرية منجيلا، ويدلّ تحليل تغيرات عمق توضع المياه في هذه البئر خلال فترة المراقبة، شكل (1-3)، على أنّ السنة الهيدرولوجية تتألف من ثلاث مراحل:

Y مرحلة الهبوط، وفيها يبدأ عمق التوضع بالهبوط تدريجياً من (4.86 م) ويصل إلى نهايته الدنيا (10.71 م)، وتبلغ سعة الهبوط (5.85 م).

Y مرحلة الثبات النسبي، وهي أطول المراحل وتتسم هذه المرحلة بسعة تذبذب ضعيفة لعمق توضع المياه الجوفية (10.36 - 10.71 م)، وهي تأخذ إشارة موجبة عموماً، وذلك على حساب مياه التغذية الإضافية المتشكلة على حساب ارتشاح جزء من مياه الري ومن نهر القش، وهي عموماً لا تتجاوز (0.35 م).

Y مرحلة النهوض، وفيها يصل عمق التوضع إلى ذروته (5.41 م)، وفي فترة قصيرة نسبياً، وتبلغ سعة النهوض في هذه المرحلة حوالي (4.95 م).



الشكل (1-3) مقارنة تغير أعماق توضع المياه الجوفية في منجيلا والرويمية مع كمية الهطل المطري

(A: مرحلة الهبوط ، B: مرحلة الثبات النسبي ، C: مرحلة النهوض)

ومن خلال تحليل هذه النتائج تبين أن قيمة سعة النهوض تكافئ تقريباً قيمة سعة الهبوط، وهذا يدل على أن كميات التعويض الواردة إلى الطبقة الحاملة للمياه على حساب مصادر التغذية، تعادل تقريباً حجم المياه المصروفة منها، كما تدل هذه النتائج على أن التغذية من مياه الأمطار تلعب الدور الرئيس في نظام المياه الجوفية، ومما يدل على ذلك التوافق الكبير بين منحني تغير عمق توضع المياه الجوفية في البئر وتغيرات معدلات الأمطار، وهذا يعود إلى قصر الزمن الذي تستغرقه المياه لتصل إلى البئر بسبب عمق التوضع القليل، وصفات النفوذ الجيدة التي تتمتع بها توضعات الرباعي الحديث للحقبة، وهذا يفسح المجال أمام إمكانية الانتقال الشاقولي للملوثات وكذلك إلى تشكيل جريانات أفقية تنقل الملوثات أيضاً.

البئر رقم 24 (بئر الرومية) /X: 766355.831 , Y: 3931641.725/

وتقع على الضفة اليمنى لنهر الصنوبر في قرية الرومية، ويبين تحليل تغيرات عمق التوضع في هذه البئر، النتائج نفسها التي تمّ التوصل إليها في البئر رقم / 12 / ، شكل (3-1)، حيث يوضح هذا الشكل التشابه بين المنحنيين الممثلين للبئرين السابقين إلى حد كبير في طبيعة وأوقات تغيرات أعماق التوضع، ويبين الجدول (3-2) التالي تغير الساعات في هذه البئر:

جدول (3-2) تغير الساعات في البئر / 24 /

المرحلة	تغير الساعات (m)
الهبوط	A (شباط – حزيران) = (3.42 – 4.40) = 0.98
الثبات النسبي	A (حزيران – تشرين الأول) = (4.40 – 5.65) = 1.25
النهوض	A (تشرين الأول – شباط) = (4.10 – 5.65) = 1.55

إن تحليل تغيرات عمق توضع المياه الجوفية في هذه الطبقة، يُظهر أن نظام المياه الجوفية هو من نوع خط تقسيم المياه (النظام المناخي)، إذ تلعب التغذية على حساب الهطولات المطرية الدور الأكبر في تشكيله، مع الإشارة إلى أن التشابه بسماكة منطقة التهوية ونوعية تشكيلاتها، ونظامها الحراري، والتركيب الليتولوجي لهذه الطبقة، وبالتالي الخصائص الهيدروجيولوجية لها يجعلها متشابهة في كل أرجائها.

كما أن هذا النظام يتسم بأنه يمر بثلاث مراحل أساسية هي: مرحلة الهبوط، مرحلة الثبات النسبي، ومرحلة النهوض.

✚ مناسب المياه الجوفية في توضعات الرباعي الأعلى للحقبة – السيلية (Q₃)

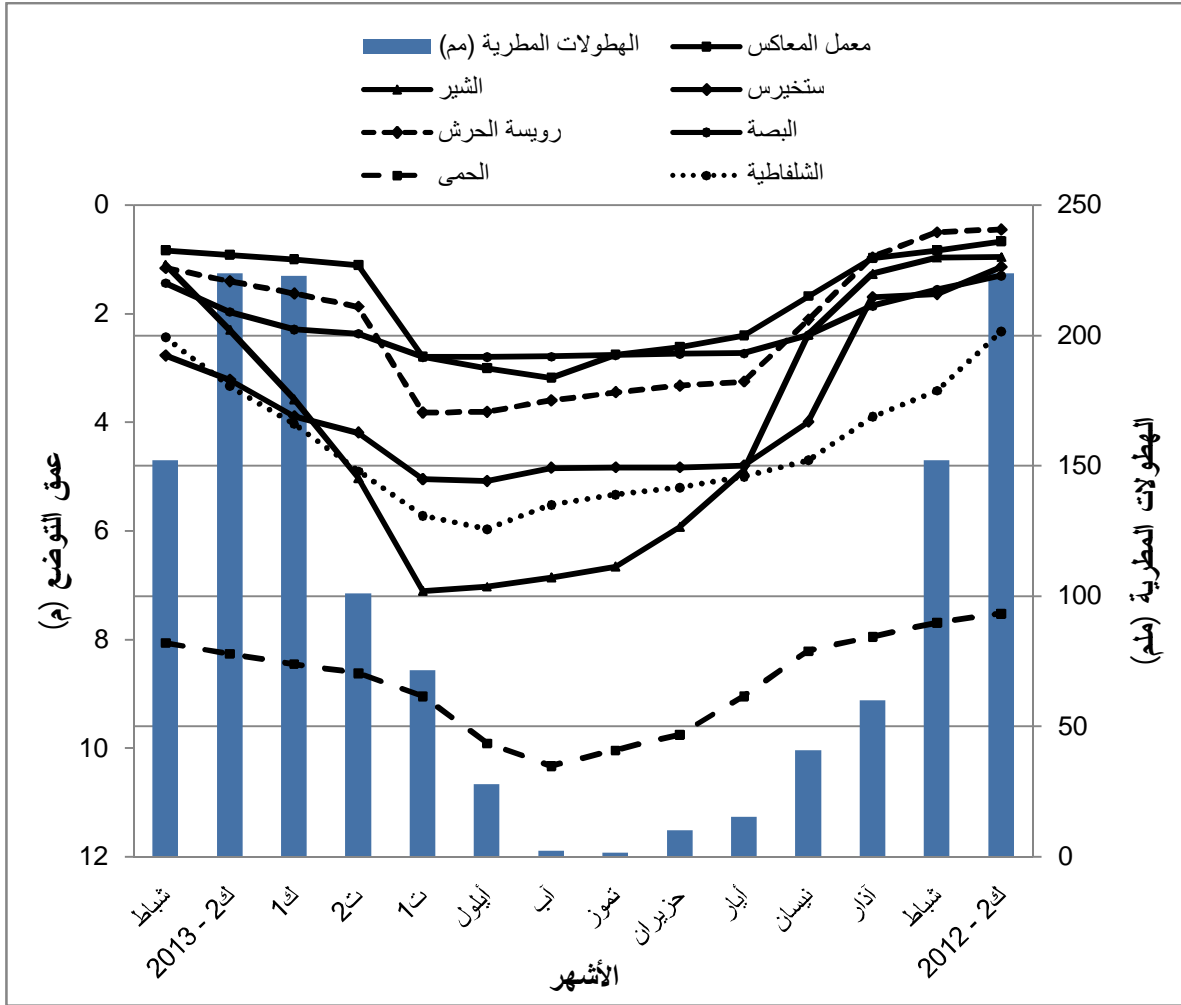
تنتشر توضعات الرباعي الأعلى للحقبة – السيلية على نطاق واسع ضمن حدود منطقة الدراسة، وتتألف من كونغلواميرا، رمال، رمل غضاري، مختلطة مع بحص، وحصى غير مصنفة، وبتراوح عمق توضع المياه الجوفية فيها من (1 – 9) م ، وهي ذات صفات رشحية جيدة.

من خلال تحليل منحنيات أعماق توضع المياه الجوفية في الآبار التي تخترق هذه التوضعات، الشكل (2-3)، يتبين بأن السنة الهيدرولوجية تمر بنفس المراحل الثلاث التي تمر بها التوضعات السابقة. وهي:

y مرحلة الهبوط، وفيها يصل المنسوب إلى نهايته الدنيا.

y مرحلة الثبات النسبي، وتتسم هذه المرحلة بسعة تذبذب قليلة.

y مرحلة النهوض، ويصل فيها المنسوب إلى ذروته في فترة قصيرة.



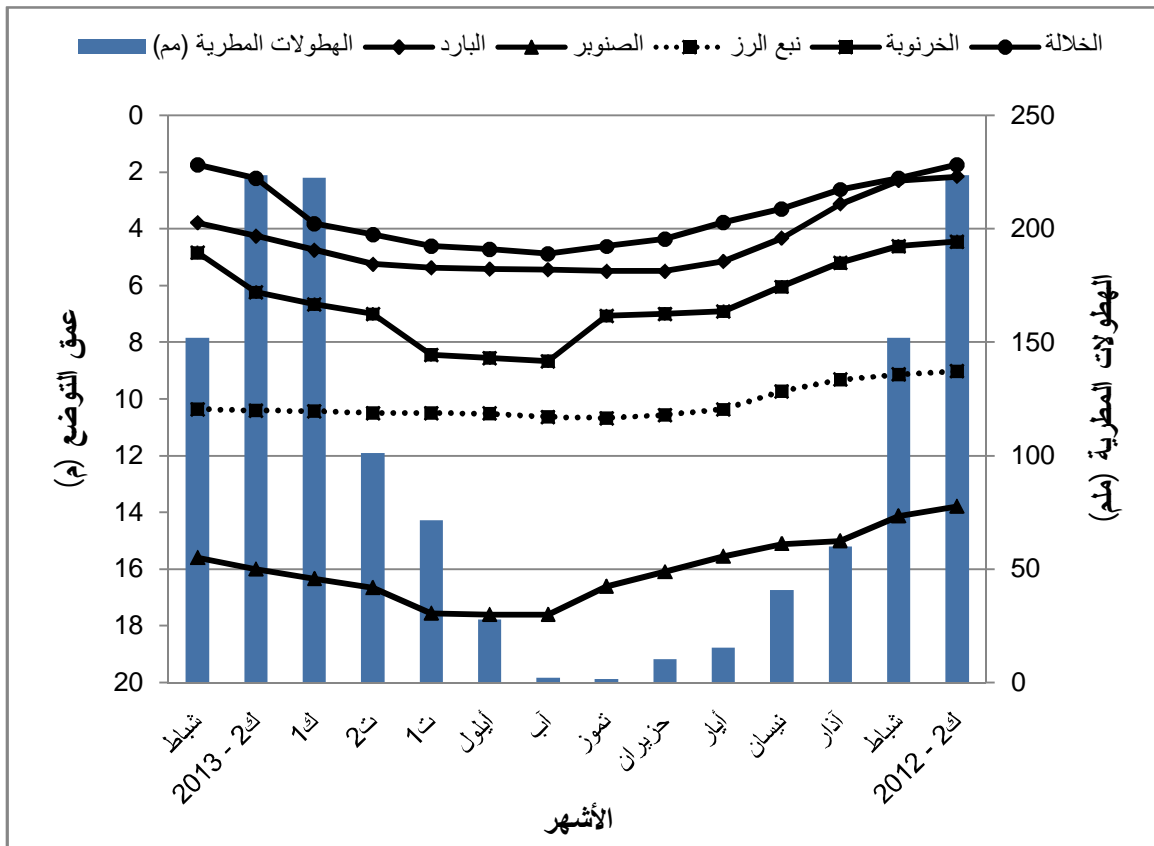
الشكل (2-3) مقارنة تغير أعماق توضع المياه الجوفية في كل من معمل المعاكس، الشير، ستخيرس،

رويسة الحرش، البصة، الحمى، الشلفاطية مع كمية الهطل المطري

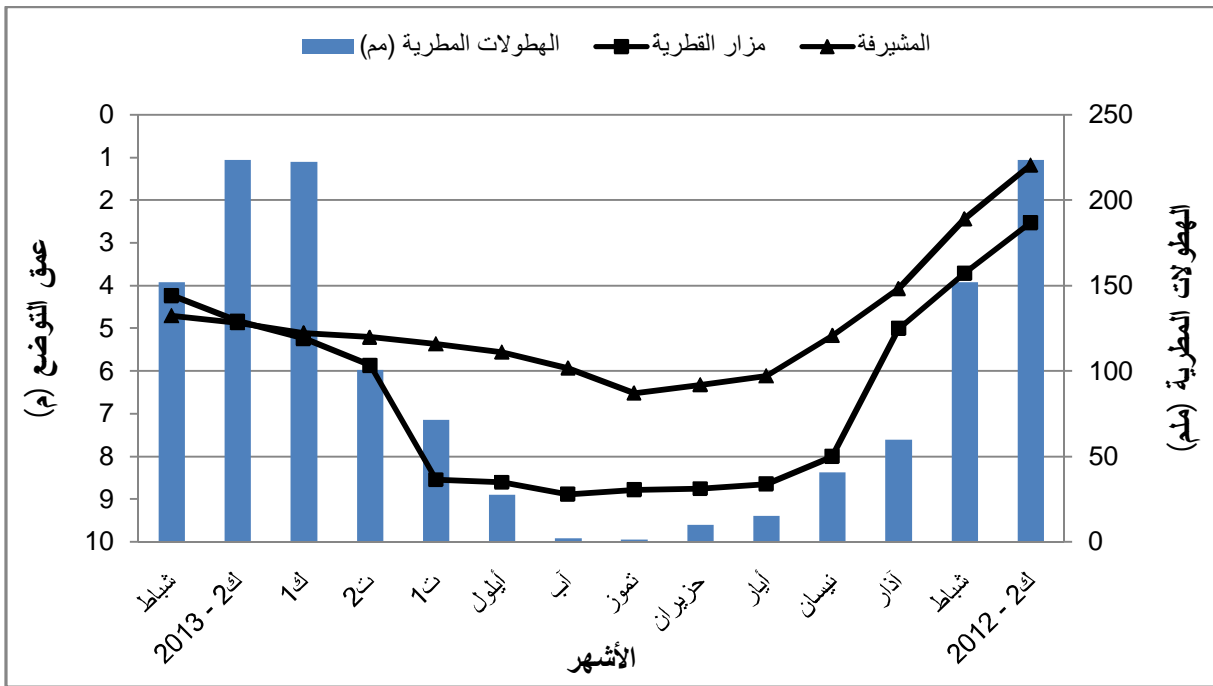
وبالتالي فإن نظام المياه الجوفية في هذه التوضعات من نوع النظام المناخي، ويرتبط ارتباطاً مباشراً بالهطولات المطرية نظراً لقرب توضعها من السطح، وللصفات الرشحية الجيدة للنطاق غير المشبع. كما وتكون ساعات الهبوط مكافئة تقريباً لساعات النهوض، مما يجعل منسوب المياه الجوفية يحافظ على تناظره تقريباً في أغلب الآبار المدروسة.

منايب المياه الجوفية في توضع الرباعي (الأوسط - الأسفل) ($Q_2 - Q_1$)

تمت دراسة وتحليل تغيرات أعماق توضع المياه الجوفية في هذه التوضعات من خلال الآبار الآتية (الخلالة، البارد، الصنوبر، نبع الرز، الخرنوبة لتوضع الرباعي الأوسط و مزار القطرية، المشيرفة لتوضع الرباعي الأسفل)، حيث يدل تحليل منحنيات تغيرات أعماق توضع المياه الجوفية في هذه الآبار، الشكلان (3-3 و 4-3)، إلى وجود ارتباط مباشر مع الهطولات المطرية حيث تظهر الاستجابة لتغير كمية الهطولات، وهذا يشير إلى النفوذية الجيدة (15 م/يوم) لهذه التوضعات التي تخترقها تلك الآبار [33 , 56] ، كما تتسم السنة الهيدرولوجية بنفس السمات المميزة في التوضعات السابقة.



الشكل (3-3) مقارنة تغير أعماق توضع المياه الجوفية في كل من الخلالة، البارد، الصنوبر، نبع الرز، الخرنوبة، العائدة للرباعي الأوسط (Q_2) ، مع كمية الهطل المطري



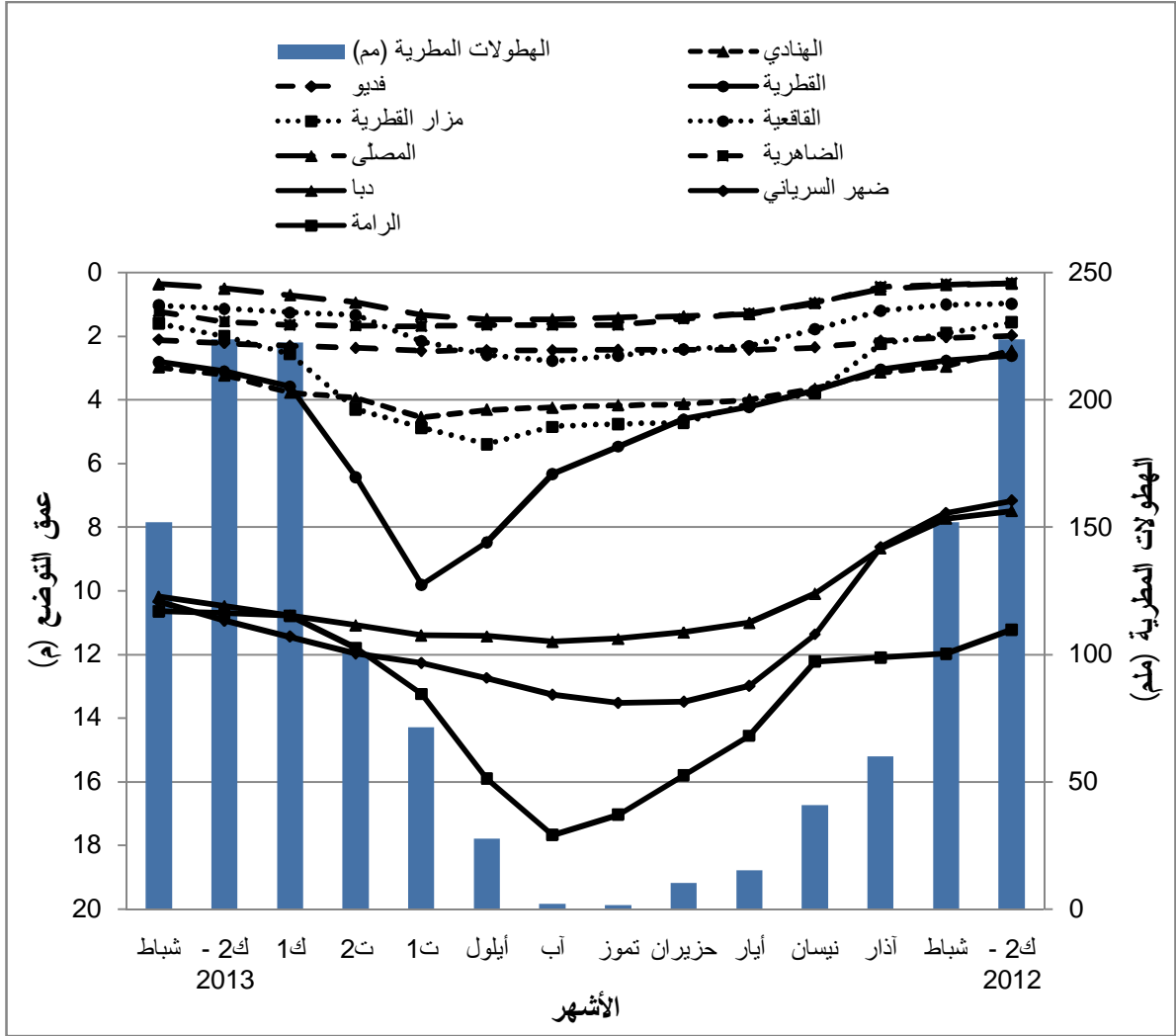
الشكل (3-4) مقارنة تغير أعماق توضع المياه الجوفية في كل من مزار القطرية، المشيرة، العائدة للرباعي الأسفل (Q1)، مع كمية الهطل المطري

✚ مناسب المياه الجوفية في توضعات البليوسين (N₂)

تتوضع هذه الطبقة تحت توضعات الرباعي في حدود منطقة الدراسة، وتتكشف بشكل واسع في شمال شرق المنطقة المدروسة، تتألف توضعات البليوسين من غضار رملي أو كلسي، ومارل، ويشاهد ضمنها طبقات رقيقة من الحجر الكلسي لا تتعدى سماكتها (18) متراً، تُعتبر هي الطبقة الحاملة للمياه ضمن هذه التوضعات [4].

تمت دراسة أعماق توضع المياه في الآبار الآتية (الهنادي، فديو، دباء، القطرية، مزار القطرية، زهر السرياني، الرامة، القاقعية، المصلّى، الضاهرية)، ومُثلت النتائج على الشكل (3-5).

تُظهر دراسة مخطط تغير عمق توضع المياه الجوفية في أغلب هذه الآبار الاستجابة للهطولات المطرية، وبمطالات تتجاوز 6 أمتار أحياناً كما في بئر الرامة على سبيل المثال. وبالتالي فإنّ النظام المائي في الطبقة البليوسينية هو أيضاً من نوع خط تقسيم المياه (النوع المناخي) ويتشابه بشكل كبير مع النظام المائي للطبقة الرباعية من حيث سلوك المنسوب ودوراته. إلا أنّ المطالات ضمن كل فترة تتباين بسبب التآرجحات في أعماق توضع المياه في هذه التوضعات حيث يلعب الوضع الليتولوجي والخصائص الرشحية دوراً في ذلك.



الشكل (3-5) مقارنة تغير أعماق توضع المياه الجوفية في كل من الهنادي، فديو، دبا، القطرية، مزار القطرية، ضهر السرياني، الرامة، القاقعية، المصلى، الضاهرية، العائدة للبيوسين (N_2)، مع كمية الهطل المطري

مما سبق يمكن الوصول إلى الاستنتاجات التالية:

1. يكون نظام المياه الجوفية في منطقة الدراسة ضمن الطبقة الرباعية من نوع نظام خط تقسيم المياه (النظام المناخي)، حيث أنه يرتبط ارتباطاً مباشراً بالرشح من الهطولات المطرية، ويدل على ذلك التساير الواضح ما بين المنحنيات التي تمثل أوضاع أعماق توضع المياه الجوفية في الآبار المعتمدة في شبكة الرصد، والمنحنيات الممثلة لكميات الهطول المطرية، كما يلعب الرشح من مياه الري دوراً مهماً في تغذيته.
2. النظام المائي في الطبقة البليوسينية هو أيضاً من نوع خط تقسيم المياه ويتشابهه - وبشكل كبير - مع النظام المائي للطبقة الرباعية من حيث سلوك المنسوب ودوراته.

3. تلعب العوامل الطبيعية ولا سيما العوامل الفيزيوجغرافية والجيولوجية والهيدروجيولوجية (وبشكل خاص التغذية الراشحة) الدور الرئيس في تشكل نظام المياه الجوفية في منطقة الدراسة.

4. إن التغيرات الفصلية لمناسيب المياه الجوفية في منطقة الدراسة، التي تتم بالأساس تحت تأثير التقلبات الفصلية الناتجة عن عوامل عديدة في منطقة الدراسة من أهمها كمية الهطولات المطرية، أعمال الري، تُنتج ثلاث فترات من التغيرات الفصلية الواضحة للمناسيب في السنة الهيدروجيولوجية (هبوط، ثبات نسبي، نهوض) تمتد هذه الفترات أو تقصر حسب الظروف المحلية للمنطقة.

2.2.3. التغيرات السنوية

إذا كانت دراسة التغيرات الفصلية لمناسيب المياه الجوفية تفيد في تحديد السمات العامة لنظام التغذية خلال فترة زمنية محددة، فإنَّ التغيرات السنوية تفيد في معرفة مدى استقرار هذا النظام مع الزمن من خلال تكرارته أو عشوائيته، كما تُمكن من تقويم الوضع المائي العام للطبقة المائية (استنزاف، أو استقرار، أو تغير في حجم المخزون).

لذلك قمنا بجمع البيانات والمعطيات المتوافرة حول تغيرات أعماق مناسيب المياه الجوفية في بعض آبار منطقة الدراسة لدى مديرية الموارد المائية في اللاذقية (حوض الساحل)، وقد حصلنا على القياسات المأخوذة من بداية عام /2008/ وحتى نهاية عام /2012/، لأربع آبار تقع ضمن منطقة توزع آبار شبكة الرصد التي تمَّ اعتمادها في هذه الدراسة، ويبين الجدول (3-3) الآبار التي تمت متابعة تغيرات أعماق توضع مياهها ومواقعها وسنوات المراقبة وتغيرات السعات المائية فيها.

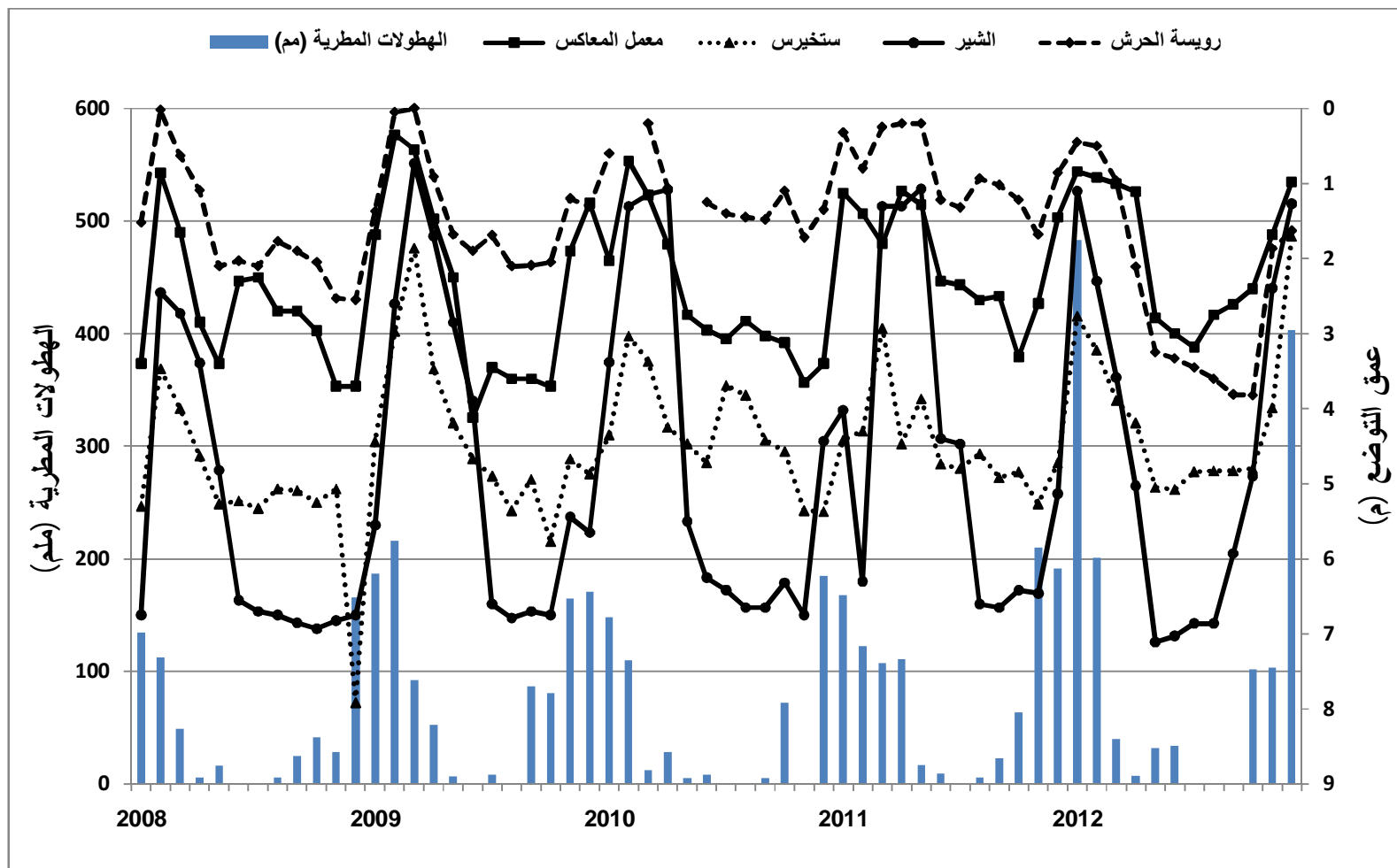
جدول (3-3) تغير السعات المائية في الآبار التي جُمعت فيها تغيرات أعماق توضع المياه لسنوات عديدة

سنوات المراقبة	السعات (m)		البئر والطبقة الحاملة التي يخترقها
	الهبوط	النهوض	
A (2008-2009)	1.44	2.61	معمل المعاكس (Q ₃) X: 757618.570 Y: 3934493.924
A (2009-2010)	3.77	3.00	
A (2010-2011)	2.25	1.72	
A (2011-2012)	0.90	2.39	
A (2008-2009)	4.10	4.33	الشير (Q ₃) X: 758741.758 Y: 3934937.850
A (2009-2010)	1.30	5.45	
A (2010-2011)	4.95	5.02	
A (2011-2012)	3.10	4.12	

سنوات المراقبة	الساعات (m)		البئر والطبقة الحاملة التي يخترقها
	الهبوط	النهوض	
A (2008-2009)	1.76	2.28	ستخيرس (Q ₃) X: 760656.525 Y: 3937061.210
A (2009-2010)	1.70	2.74	
A (2010-2011)	1.69	0.27	
A (2011-2012)	0.44	1.62	
A (2008-2009)	2.01	2.00	رويسة الحرش (Q ₃) X: 761966.911 Y: 3938542.748
A (2009-2010)	1.85	1.65	
A (2010-2011)	0.85	0.30	
A (2011-2012)	0.42	1.22	

هذا ومن خلال الدراسة التفصيلية لأعماق توضع المياه الجوفية في هذه الآبار، ومن خلال المنحنيات التي تمَّ إنشاؤها الشكل (3-6)، ومتابعة التغيرات التي طرأت عليها تبين لنا السمات الآتية:

1. التكرارية والدورية الفصلية في تغيرات المناسيب.
2. استجابة مناسيب المياه الجوفية للتغذية المائية الرأسية (الهطولات)، حيث لوحظ أنَّ نهوض المناسيب يتوافق مع تغيرات الهطولات المطرية، ويعود ذلك إلى قرب توضع مناسيب المياه من سطح الأرض، وكذلك إلى النفاذية العالية لنطاق التهوية. ومن هنا نستنتج الدور الكبير الذي يمكن أن تلعبه مياه التغذية في انتقال الملوثات إلى المياه الجوفية، الأمر الذي يستدعي إبعاد أية مصادر تلوث محتملة، واتخاذ تدابير وقائية لحماية المياه الجوفية في هذه المنطقة من التلوث.
3. الاستقرار والتوازن في أوضاع مناسيب المياه الجوفية نتيجة النفوذ الجيدة للطبقة المائية التي تسمح باستعادة ما تمَّ ضخه من المخزون نتيجة توفر مصادر التغذية على مدار العام، مع الإشارة إلى أن التذبذبات الحاصلة في مناسيب المياه خلال الصيف سببها رشح مياه الري ومياه الأفضية إلى الطبقة الحاملة للمياه، وهذا يشير إلى أنَّ مناسيب المياه في هذه المنطقة لن تخضع على المدى القريب لتدهور يُذكر، وأنَّ أي هبوط يمكن أن يحصل خلال فترة ما يرافقه استعاضة للمنسوب.
4. تتلقى الطبقة المائية تغذية مائية سنوية متعددة المكونات (طبيعية، واصطناعية) مختلفة القيم (تبعاً للمناطق)، وبالتالي فإنَّ المياه الجوفية متعددة بنسبة كبيرة.
5. يكون نظام المياه الجوفية في هذه المنطقة من نوع النظام المناخي (خط التقسيم المائي)، ويرتبط ارتباطاً مباشراً بالرشح من الهطولات المطرية.



الشكل (3-6) مخطط يبين تغيرات أعماق تواضع المياه الجوفية في الآبار / معمل المعاكس، الشير، ستخيرس، رويسة الحرش / مع كمية الهطل المطري من عام 2008 وحتى عام 2012

3.3. دراسة حركة المياه الجوفية

باعتقاد نفس البيانات والمعطيات المتعلقة بأعماق تواضع المياه الجوفية في شبكة الرصد وباختيار الفترات الزمنية المتوافقة مع المراحل التي أمكن تمييزها خلال السنة الهيدرولوجية، وهي مرحلة الهبوط، مرحلة الثبات النسبي، مرحلة النهوض.

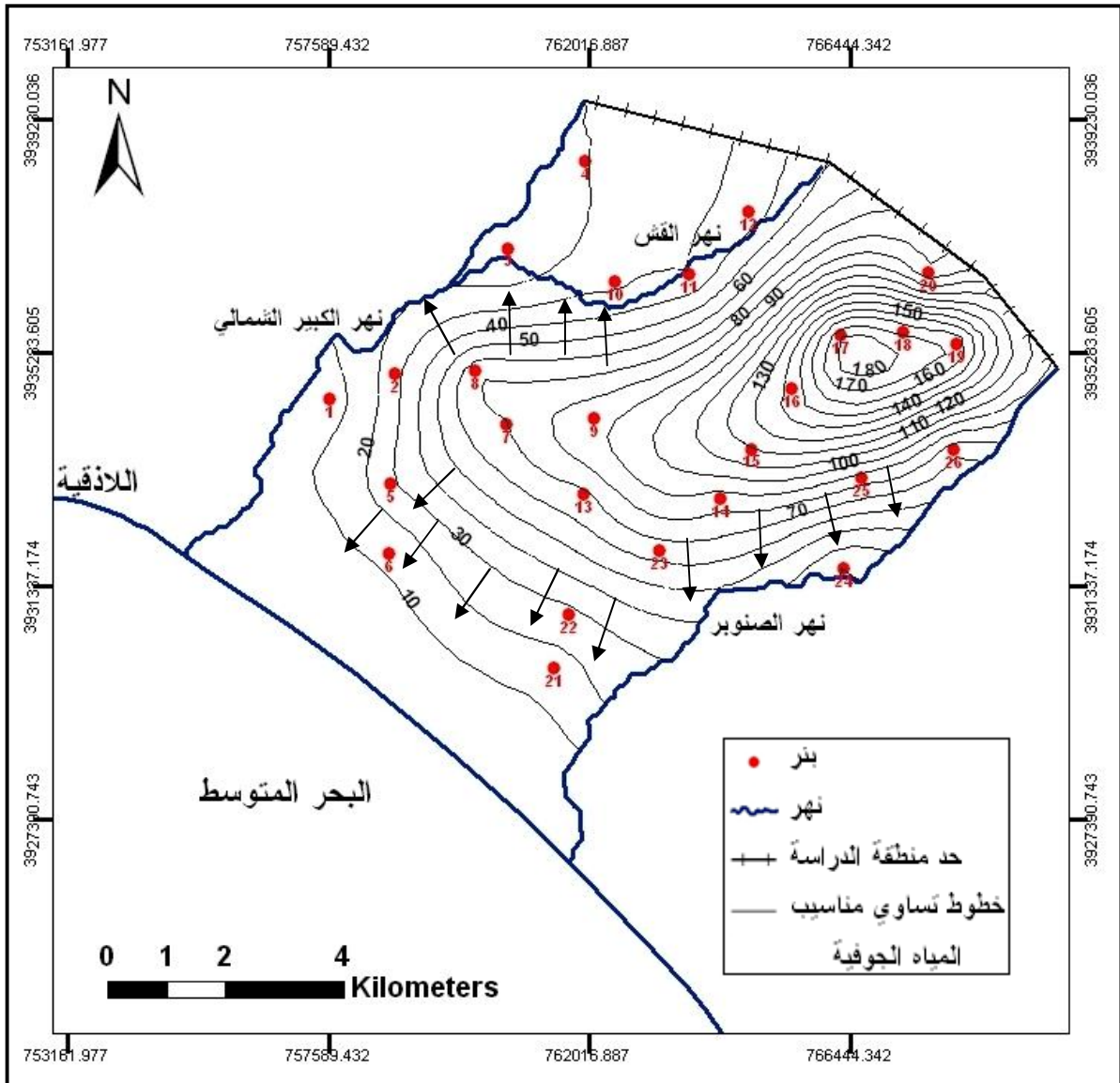
وبهدف رصد حركة المياه الجوفية خلال تلك الفترات، حُسِبَ متوسط مناسيب المياه خلال كل فترة على حدة ضمن آبار شبكة الرصد المعتمدة، ورُسمت الشبكة الهيدروديناميكية الموافقة لكل منها، وبتباعد لخطوط المناسيب مقداره (10) م ، باستخدام برنامج (Surfer) وبرنامج (ArcMap) من بنية نظم المعلومات الجغرافي (GIS) ، إضافةً لرسم خريطة أعماق المياه الجوفية.

يدلُّ تحليل هذه الخرائط، الأشكال (3-7 ، 3-8 ، 3-9) على وجود جريان مائي جوفي، ينشأ ويتغذى بشكل رئيس على حساب الرشح من الهطولات المطرية، وثانويًا من أفنية ومياه الري، جبهته عريضة تمتد على كامل مساحة المنطقة وهو يأخذ ثلاثة اتجاهات رئيسية: اتجاه شمال – شمال غرب باتجاه نهر الكبير الشمالي ورافده نهر القش يتراوح ميله الهيدروليكي بين (0.02 و 0.04)، واتجاه شرق – جنوب شرق نحو نهر الصنوبر وبميل هيدروليكي يبلغ (0.033)، أما الاتجاه الثالث فهو نحو الجنوب والجنوب الغربي باتجاه البحر وميله الهيدروليكي (0.016).

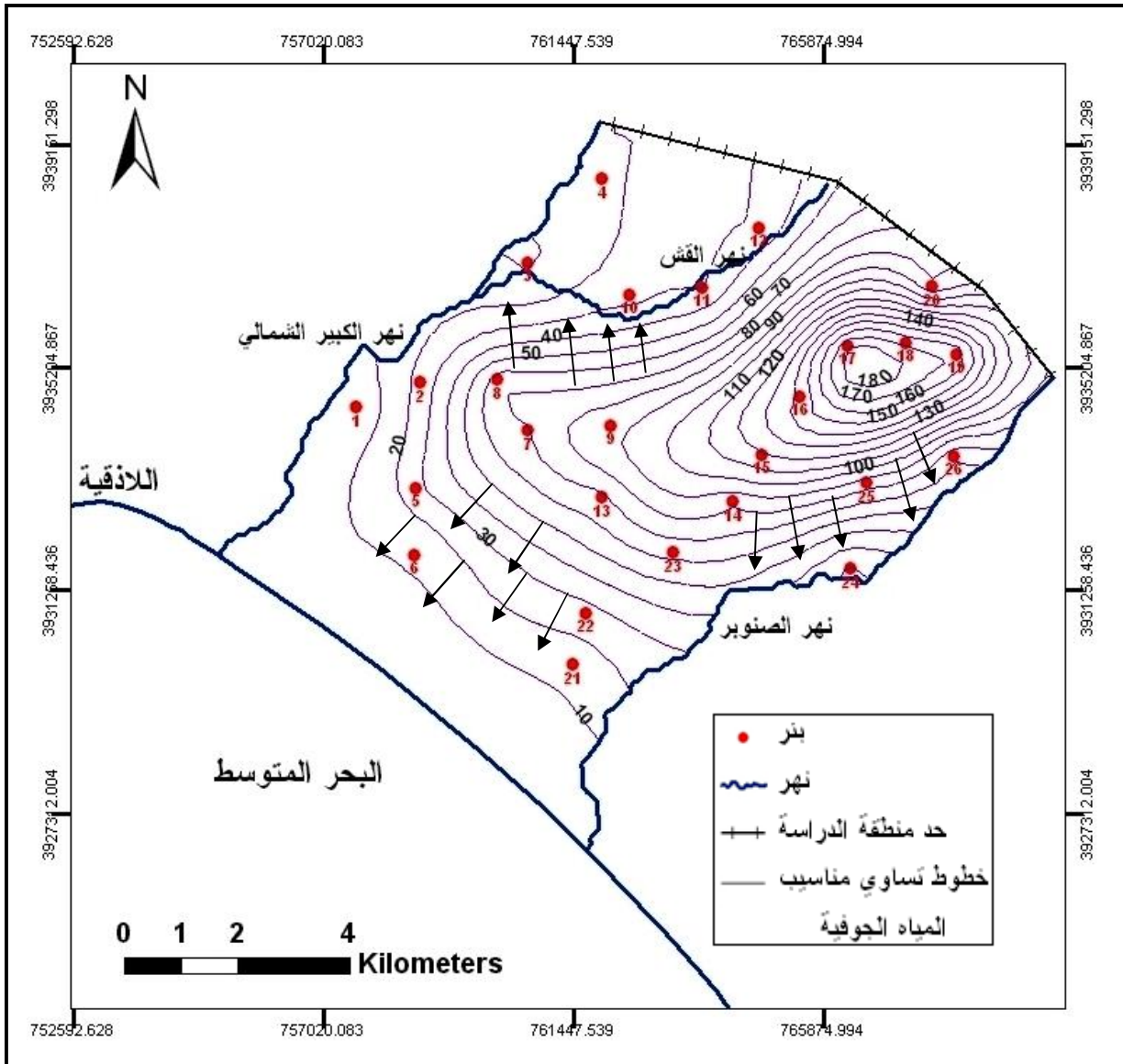
وبشكل عام تُظهر الخرائط البيزومترية الثلاث التي تمَّ رسمها أنَّ الشكل العام للشبكة الهيدروديناميكية لم يتغير تقريباً في المراحل الثلاث، وهي تشير إلى أنَّ المياه الجوفية تنصرف في نهري الكبير الشمالي والصنوبر وفي البحر. حيث يشير تباعد المسافات بين خطوط الهيدروايزوهيس في منطقة السهل الساحلي إلى زيادة وتحسن الخواص الرشحية وتحديدًا في عامل الناقلية المائية الذي تراوحت قيمته بين (370 - 570) م²/يوم، وكذلك زيادة في كمية التغذية الراشحة (من مياه الأمطار ومياه الري). بينما يدلُّ تقاربها في المنطقة التلالية إلى تناقص في قيمة عامل الناقلية المائية إذ لم تتجاوز قيمته (280) م²/يوم، وأيضاً تناقص في قيمة التغذية الراشحة.

كما يلعب الفاصل المائي السطحي بين حوضي نهر الكبير الشمالي ونهر الصنوبر، دوراً في التأثير على شكل الجريان الجوفي الذي أخذ شكل الجريانات القطبية المتباعدة بدل جريانات السطوح المتوازية.

وبشكل عام فإنَّ دراسة وتحليل قيمة تغير منسوب المياه الجوفية خلال العام تقدّم معلومات مهمة عن قيمة وطبيعة مصادر التغذية والصرف، وهذا يتعلق بالمتغيرات التي تطرأ على الحالات التي توجد فيها المياه الجوفية سواء كانت متغيرات طبيعية (هطولات مائية، تبخر.... إلخ) أو اصطناعية (الرشح من الأراضي المروية، التسرب من أفنية الري، الضخ من الآبار لأغراض محلية).

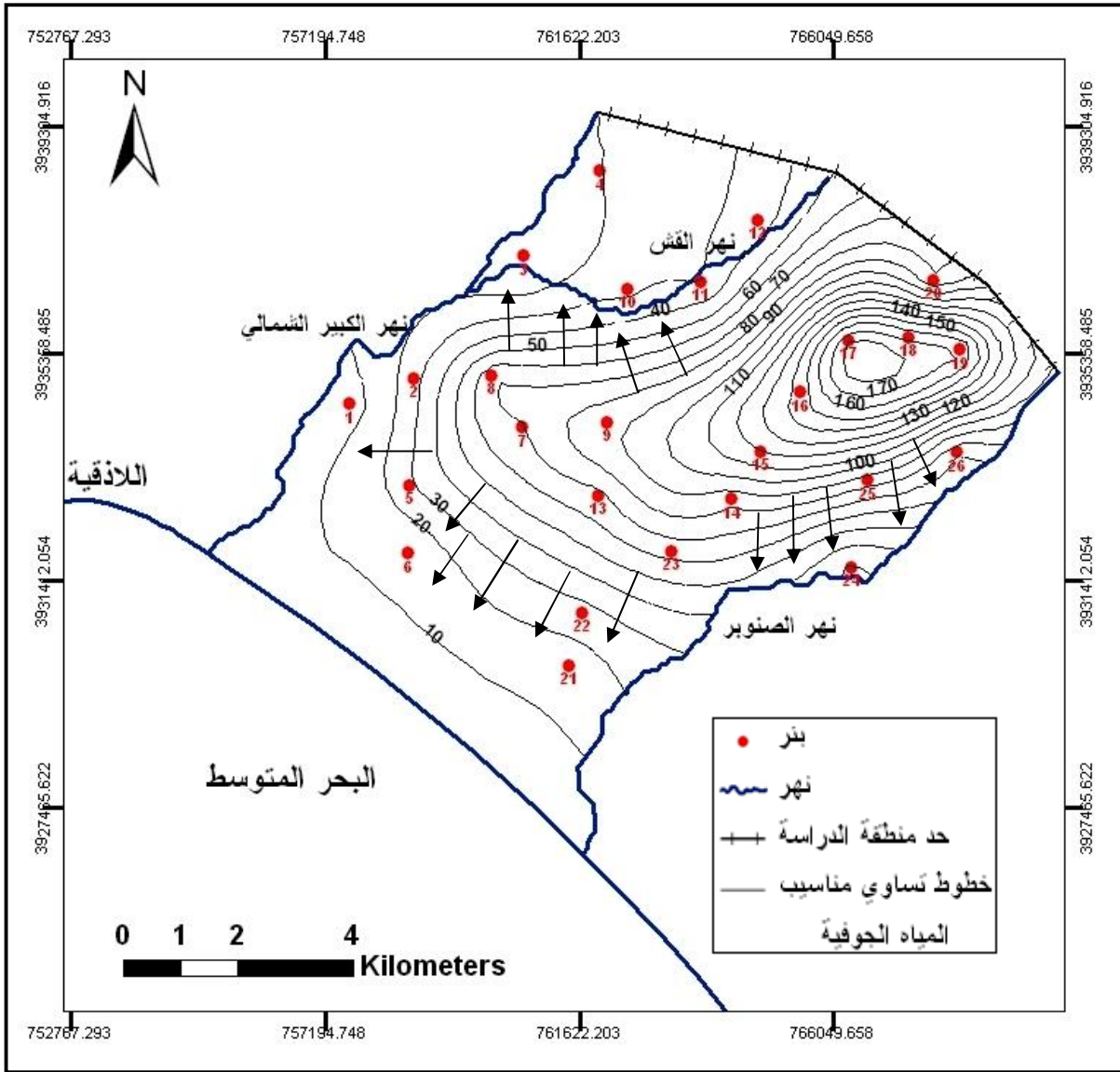


الشكل (3-7) الشبكة الهيدروديناميكية للمياه الجوفية في منطقة الدراسة خلال فترة الهبوط في عام 2012



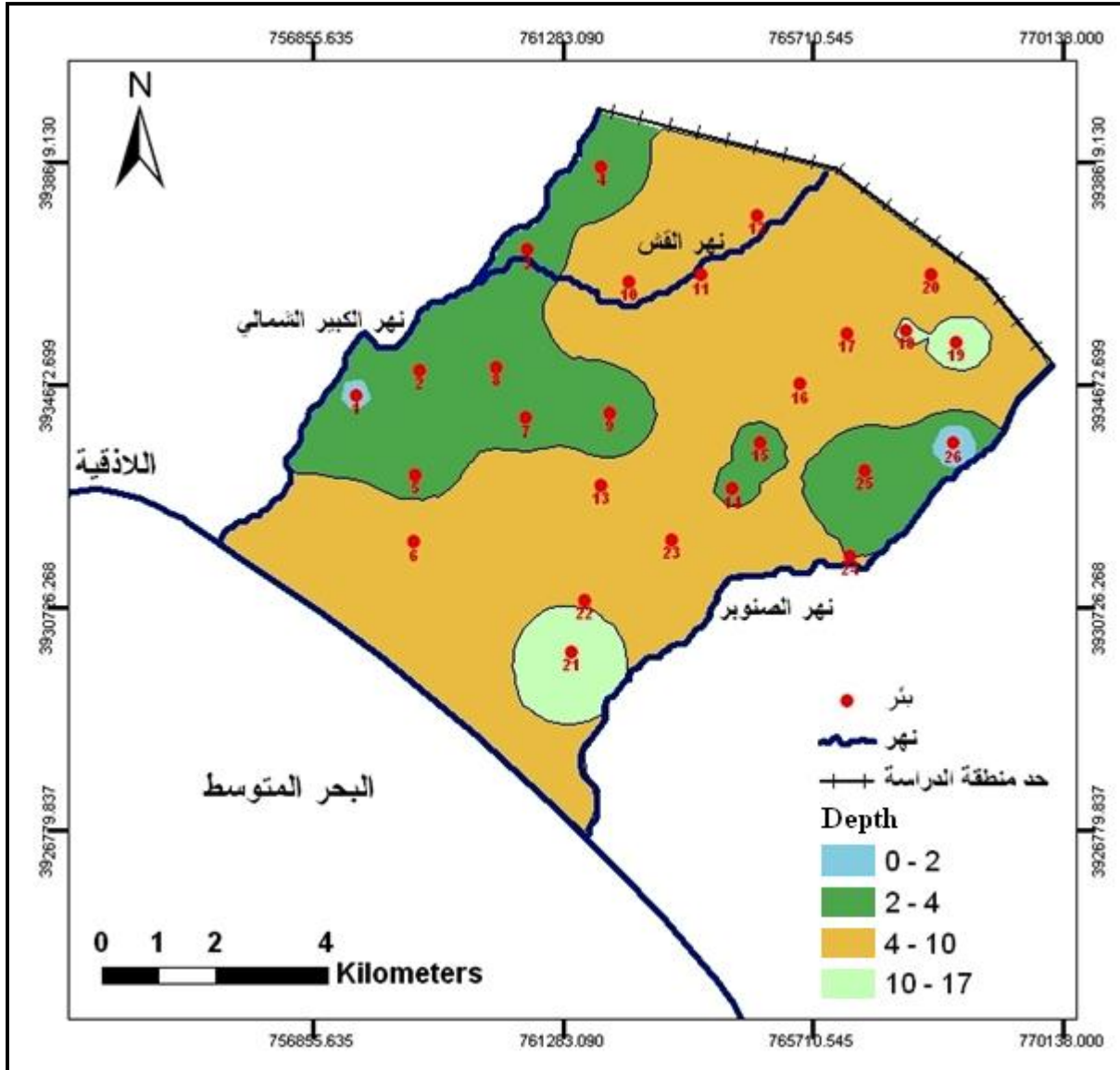
الشكل (3-8) الشبكة الهيدروديناميكية للمياه الجوفية في منطقة الدراسة خلال فترة الثبات النسبي في عام 2012

ومن تتبع الفترات الثلاث في منطقة الدراسة لوحظ استقرار نسبي في منسوب المياه الجوفية نتيجة تمركز أنشطة زراعية كثيفة ضمن منطقة الدراسة، تساهم في الحفاظ على التغذية المائية خلال فترة الجفاف من خلال ارتشاح جزء من مياه الري ووصولها إلى المياه الجوفية، حيث يقع سطح المياه الجوفية على أعماق قليلة نسبياً.



الشكل (3-9) الشبكة الهيدروديناميكية للمياه الجوفية في منطقة الدراسة خلال فترة النهوض في عام 2012

هذا ولمزيد من تبيان واستقراء وتوضيح التغيرات الفصلية التي تحصل في منطقة الدراسة، اعتمدنا طريقة أخرى وهي رسم خريطتي توزع نطاقات أعماق توضع المياه الجوفية في فترتي الهبوط والنهوض، وتتبع تغير هذه الأعماق خلال الفترتين المذكورتين من خلال تغير المناطق التي تشملها، وهذا يسمح لنا بتقسيم منطقة الدراسة إلى نطاقات متدرجة بالنسبة لأعماق توضع المياه الجوفية فيها، وذلك من خلال فترتي الهبوط والنهوض أي (فترتي الشح والفيضان)، الشكلان (3-10 ، 3-11).

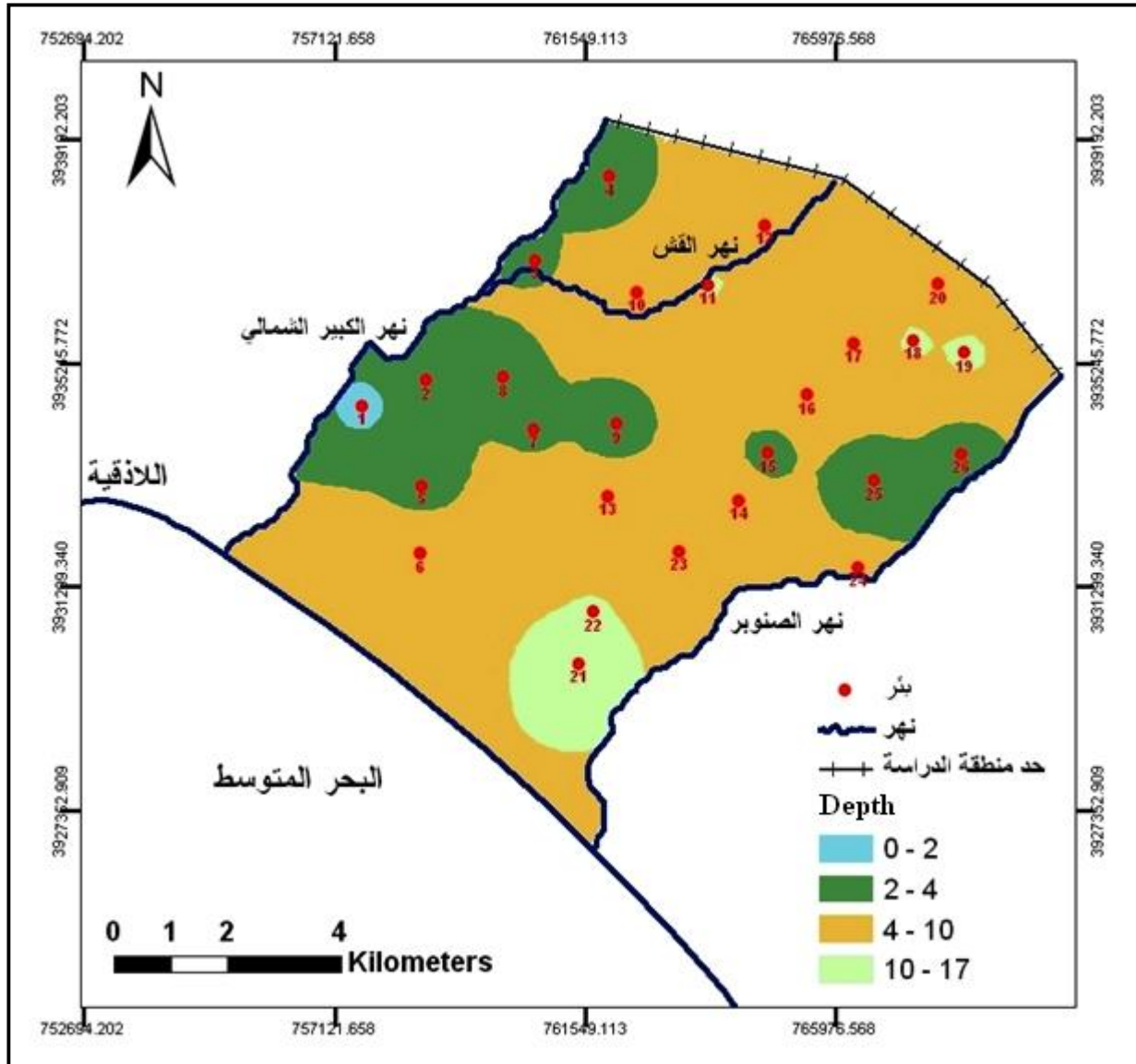


الشكل (3-10) خريطة توزع نطاقات أعماق تواضع المياه الجوفية (م) في منطقة الدراسة خلال فترة الهبوط

من خلال تحليل هاتين الخريبتين نلاحظ أنّ الشكل العام لتوزيع نطاقات أعماق تواضع المياه الجوفية لا يتغير تقريباً في المرحلتين المذكورتين (الشح والفيضان)، وقد تبين لنا وجود أربعة نطاقات مختلفة الأعماق وهي موضحة بالجدول التالي:

جدول (3-4) نطاقات أعماق تواضع المياه الجوفية في منطقة الدراسة

أعماق مناسيب المياه الجوفية /م/	عدد النطاقات
0 - 2	النطاق الأول
2 - 4	النطاق الثاني
4 - 10	النطاق الثالث
10 - 17	النطاق الرابع



الشكل (3-11) خريطة توزع نطاقات أعماق توضع المياه الجوفية (م) في منطقة الدراسة خلال فترة النهوض

كما نجد أن حدود هذه النطاقات متقاربة إلى حد كبير في الفترتين المذكورتين.

4.3. تعيين البارامترات الهيدروجيولوجية باستخدام معطيات مراقبة نظام المياه الجوفية

1.4.3. دراسة المسألة

تتوقف دقة التنبؤات الهيدروجيولوجية على مدى صحة المعلومات الأولية التي توضع في المخطط الحسابي للرشح. فإثناء خرائط توزع البارامترات الهيدروجيولوجية للأحواض والمناطق الهيدروجيولوجية، يمكن أن يتحقق بعد الدراسة التفصيلية للخواص الرشحية لهذه المناطق (من خلال

أعمال الرشح الاختبارية). إلا أن مثل هذه الدراسة لا يتم تنفيذها في أغلب الأحيان بسبب تكلفتها الزائدة. أما الأعمال المخبرية فلأسباب كثيرة لا تؤمن الدقة المطلوبة في تعيين البارامترات الهيدروجيولوجية [48 , 58 , 59 , 65] .

إن دراسة الخواص الرشحية للطبقة الحاملة للمياه، وإيضاح قوانين وظروف تشكل هذه الخواص، ورسم خرائط الناقلية المائية لها اعتماداً على قيم محسوبة في بعض المواقع المدروسة (تجارب الضخ)، تُعدُّ عملية معقدة جداً خصوصاً في المناطق ذات الظروف الهيدروجيولوجية المعقدة كحالة منطقة الدراسة. أي بمعنى آخر، لا يمكن تعميم بارامترات المواقع المدروسة على بقية المواقع الأخرى غير المدروسة. لقد نشأت ضرورة تطوير طرائق تعيين البارامترات الهيدروجيولوجية ومن ثمَّ طرائق إنشاء خرائط الناقلية المائية وغيرها في السنوات الأخيرة، وخصوصاً بعد الاستخدام الواسع للنماذج الرياضية في حل مختلف المسائل الهيدروجيولوجية. وفي النمذجة الهيدروجيولوجية بهدف تدقيق بنية الطبقة الحاملة للمياه تتم عملية إعادة إنتاج خريطة تساوي مناسيب المياه الجوفية (Hydroisohypes) على النموذج [58 , 83] .

إنَّ مثل هذا التدقيق يعطي إمكانية تعيين البارامترات الهيدروجيولوجية، وهو يمثل إيضاحاً تفصيلياً للبنية الجيولوجية يتم بموجبه التأكد من البنية الهيدروجيولوجية للطبقة الحاملة للمياه وتوزع قيم عامل الناقلية المائية، الذي يصف بدوره تغير الخواص الرشحية لهذه الطبقة.

وسنناقش طريقة تعيين البارامترات الهيدروجيولوجية باستخدام معطيات مراقبة نظام المياه الجوفية. فنظام المياه الجوفية يُدرس لحل مختلف المسائل الهيدروجيولوجية، وإحدى أهم هذه المسائل تعيين البارامترات الهيدروجيولوجية وتستخدم لذلك عدة طرائق تتوزع في مجموعتين أساسيتين هما:

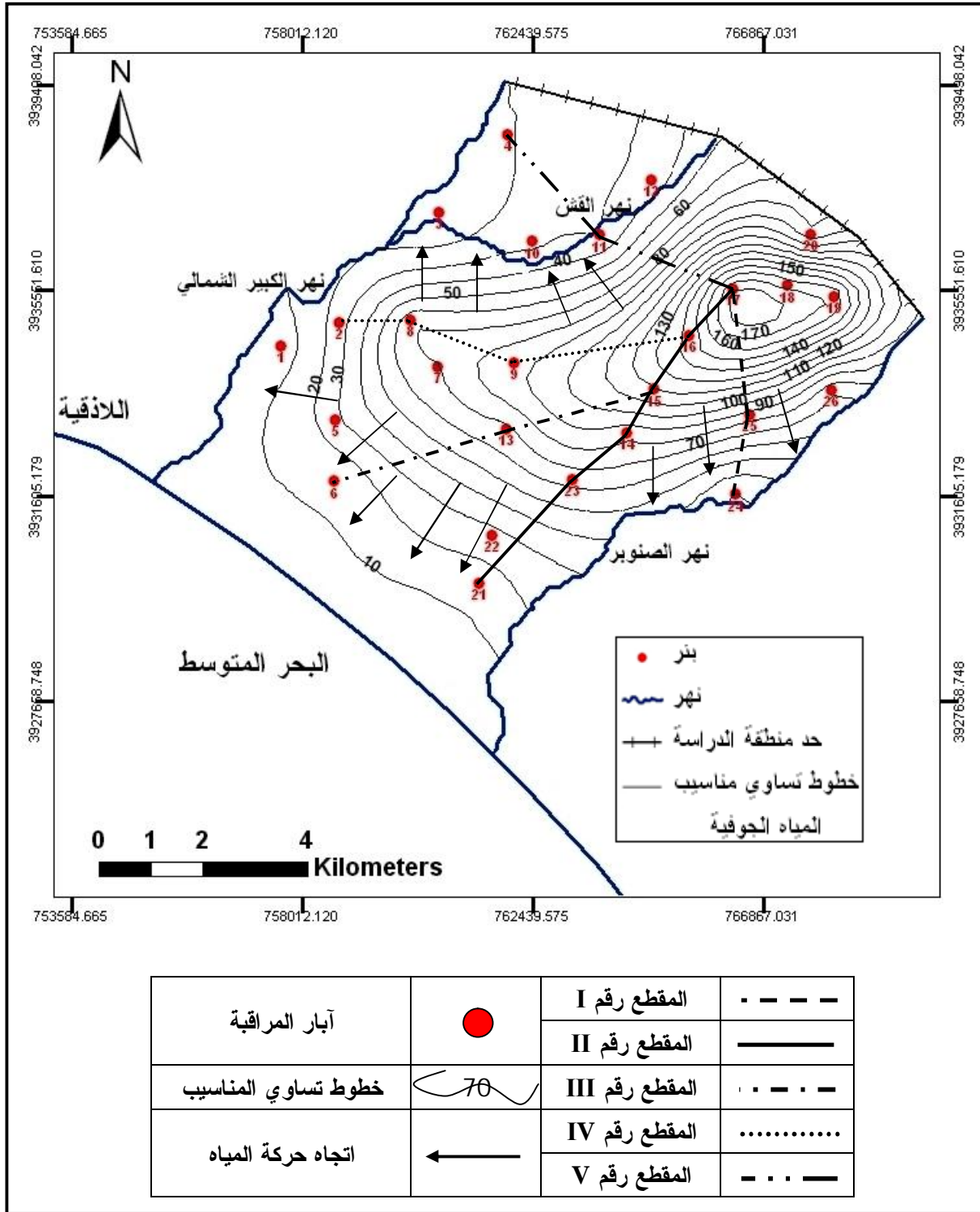
1. طرائق المعاملات وتُستخدم بشكل واسع معطيات مراقبة نظام المياه الجوفية.
2. الطرائق التقليدية.

وأهم هذه الطرائق طريقة الفروق المنتهية وتعديلاتها (بالاستعانة حالياً بالنمذجة الرياضية). إنَّ تعيين المعاملات بواسطة معطيات مراقبة نظام المياه الجوفية يُمكن من الحصول على لوحة أكثر دقة لانتشار هذه المعاملات بالمنطقة المدروسة أفقياً وخصوصاً عند وجود بنية هيدروجيولوجية معقدة، وعند حل المسائل الهيدروجيولوجية في هذه الأوساط، يتطلب الأمر تبسيط الظروف الطبيعية فيها بشكل كبير. (وبالتالي تعيين المعاملات يكون دقيقاً فقط في النقاط التي نُفِذت فيها تجارب الضخ). أُجريت العديد من الدراسات تناولت أهمية تحديد البارامترات الهيدروجيولوجية، وخاصةً في إعداد النماذج الرياضية بهدف إدارة الموارد المائية، حيث اعتمدت هذه الدراسات على تهيئة المعلومات الهيدروجيولوجية الأساسية التي تُغذي النموذج لغرض معايرته وتشغيله [6 , 10 , 34] ، وأيضاً في تقييم الوضع المائي [2 , 41]، وفي تقييم تجارب الضخ الاستثمارية من الطبقات الحاملة للمياه [18] .

إنَّ التعيين الصحيح لقيم البارامترات الهيدروجيولوجية يملك أهمية تطبيقية كبيرة، وخصوصاً فيما يتعلق بإيضاح وتدقيق ظروف تشكل الخواص الرشحية للطبقة الحاملة للمياه، وهذا بدوره يزيد من الدقة العلمية في تحديد آفاق استخدام المياه الجوفية في مجالات الاقتصاد الوطني المختلفة. فكميات المياه الممكن اختزانها داخل الطبقات الصخرية، تتوقف على مجموعة كبيرة من العوامل المتعلقة بالأبعاد الهندسية للطبقات والخصائص الجيولوجية والهيدروجيولوجية للصخور، وتزداد أهمية هذه المسألة في المناطق التي تتغير فيها المعاملات الهيدروجيولوجية بحدود كبيرة. فعندما لا تختلف الخواص الرشحية للطبقة الحاملة للمياه على مساحة انتشارها بأكثر من 5 - 10 مرات، فإنَّ حقل الرشح يُعتبر متجانساً بشكل شرطي ويتصف بقيم وسطية لمعاملاته الهيدروجيولوجية تتحدد بعلاقات معروفة [59] ، وهذا غير متوفر في بعض أجزاء منطقة الدراسة حيث تتباين الخواص الرشحية ضمن حدودها بأكثر من ذلك. لذلك سنقوم بتحديد البارامترات الهيدروجيولوجية التالية: الناقلية المائية (T)، عامل الرشح (K)، معامل الانتشار (a)، عامل المعطائية المائية (μ)، والتغذية الرأسية (W)، وذلك باستخدام معطيات مراقبة نظام المياه الجوفية، وتوضيح ظروف تشكل الخواص الرشحية للطبقة الحاملة للمياه.

2.4.3. تعيين البارامترات الهيدروجيولوجية في منطقة الدراسة

اعتمدنا على آبار شبكة الرصد، الجدول (3-1)، والقياسات التي نفذناها خلال فترة الدراسة. واستخدمنا طريقة خط التيار، والهدف من استخدام هذه الطريقة ليس فقط تحديد البارامترات الهيدروجيولوجية وإظهار توزيعها في منطقة الدراسة، وإنما تحديد قيمة التغذية الراشحة أيضاً، لذلك تمَّ اختيار مقاطع مراقبة توافق خطوط التيار (اتجاه الحركة). وكل مقطع من هذه المقاطع يتألف على الأقل من ثلاث آبار تنتشر على طول خط التيار، الشكل (3-12).



الشكل (3-12) خارطة هيدروايزوهيبس لمنطقة الدراسة لعام 2012 ، ومواقع مقاطع المراقبة المختارة

بهدف تحديد الناقلية المائية تم إجراء الحساب في فترة الجفاف (حيث تُهمل التغذية الراشحة)، وعند ذلك تأخذ المعادلة التفاضلية للرشح الشكل الآتي [58] :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial H}{\partial x} \right) = 0 \quad (1-3)$$

حيث أن:

T : الناقلية المائية ، H : منسوب المياه في المركز المختار ، X : الجزء المدروس .
إذا أعدنا كتابة هذه المعادلة كمعادلة تفاضلية بسيطة بالنسبة لـ (T) تصبح:

$$\frac{\partial T}{\partial x} \cdot \frac{\partial H}{\partial x} + T \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} = 0 \quad (2-3)$$

وبفرض أن:

$$i^* = \frac{\partial H}{\partial x} : e^* = \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} \quad (3-3)$$

حيث أن e^* ، i^* : هي قيم المشتقات التي سيتم الحصول عليها بواسطة معطيات مراقبة نظام المياه الجوفية في الجزء المدروس .
تأخذ المعادلة (2-3) الشكل التالي:

$$\frac{\partial T}{\partial x} i^* = -T e^* \quad (4-3)$$

وبفصل المتحولات والتكامل على الجزء ($X_1 - X_3$) نحصل على:

$$\int_{T_1}^{T_3} \frac{\partial T}{T} = - \int_{x_1}^{x_3} \frac{e^*}{i^*} dx \quad (5-3)$$

نتناول الجزء ($X_1 - X_3$) كثلاث نقاط (1 ، 2 ، 3) ذات تباعد ΔX عن بعضها البعض، وطول مقداره ($2\Delta X = X_3 - X_1$)، الشكل (3-13)، فإذا اعتبرنا تغير T على النحو الآتي: $T = f(X)$ ، فإن المشتق الأول والثاني يمكن تعيينه بواسطة معطيات مراقبة نظام المياه الجوفية وبالتالي نحصل باستعمال مفهوم التكامل على الشكل الآتي:

$$\ln \frac{T_3}{T_1} = \frac{e^*}{i^*} (X_3 - X_1) \quad (6-3)$$

أو تكتب بالشكل الآتي:

$$T_3 = T_1 e^{a_1} \quad (7-3)$$

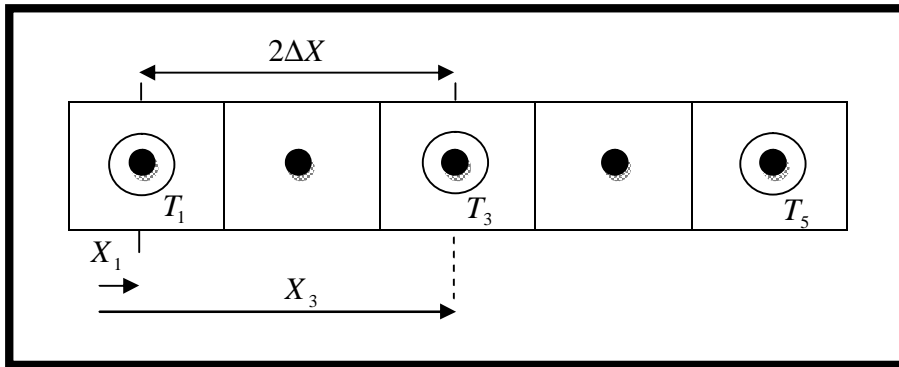
باعتبار أن:

$$i^* \approx \frac{H_3 - H_1}{2\Delta X}; e^* = \frac{2H_2 - H_1 - H_3}{\Delta X^2} \quad (8-3)$$

$$a_1 = \frac{4(2H_2 - H_1 - H_3)}{H_3 - H_1} \quad (9-3)$$

i^*, e^* : هي قيم المشتقات التي تمَّ الحصول عليها بواسطة معطيات مراقبة نظام المياه الجوفية على الجزء $[X_3 - X_1]$.

H_1, H_2, H_3 : هي قيم مناسيب المياه في المراكز (1 ، 2 ، 3) المختارة للحساب.
 T_1, T_3 : قيم الناقلية المائية في المركزين (1) ، (3).



الشكل (13-3) تحديد البارامترات الهيدروجيولوجية للطبقة الحاملة للمياه بواسطة معطيات مراقبة نظام المياه الجوفية

إذاً عند غياب التغذية الرأسية وبمعرفة قيمة دقيقة للناقلية المائية T_{1-2} (بوساطة تجارب الضخ مثلاً) يمكن أن تُعين T_{2-3} وفق الشكل التالي:

$$T_{2-3} = \frac{T_{1-2} \times J_{1-2}}{J_{2-3}} \quad (10-3)$$

حيث أن:

$$J_{2-3} = \frac{H_2 - H_3}{\Delta X_{2-3}} \quad , \quad J_{1-2} = \frac{H_1 - H_2}{\Delta X_{1-2}}$$

إنَّ قيمة الناقلية المائية التي تمَّ الحصول عليها تُستخدم لتعيين الناقلية المائية على جزء المقطع الآخر، وهكذا حتى نهاية مقطع المراقبة.

وقد أدخلنا تعديلاً أساسياً في هذه الطريقة باعتماد القيمة الأولية (البدئية) للناقلية المائية كقيمة وسطية حُدِّت بالاستناد إلى المعطيات الهيدروجيولوجية لعدة آبار تخترق الطبقة الحاملة، وأجريت فيها تجارب الضخ وليست كقيمة نقطية محددة في بئر مفردة تقع في بداية مقطع المراقبة.

أما بالنسبة لعامل الانتشار (a) والمعطائية المائية (μ) فيتمّ تعيينهما لحالة عدم الاستقرار. فالبئر التي هي بجوار النهر أو في بداية المقطع تُعدُّ بئراً حدودية (نهائية)، والبئر التي تليها تُعدُّ بئراً دليلاً (مراقبة). ويتمّ إجراء الحساب للفترة التي تكون فيها قيمة تغير المنسوب للمياه في البئر الحدودي ثابتاً، وعند ذلك يستخدم الحل التحليلي الآتي: [58]

$$\frac{\Delta H}{\Delta H_0} = R(I) \quad (11-3)$$

إذا عرفنا قيمة الطرف اليساري بوساطة مراقبة نظام المياه الجوفية، نجد قيمة $R(\lambda)$ ، ومنها نجد قيمة (λ) من جداول خاصة بذلك [ملحق (B)]، ومن ثم قيمة معامل الانتشار (a) بالمعادلتين الآتيتين:

$$I = \frac{X}{\sqrt{a \cdot t}}$$

$$a = \frac{X^2}{4I^2 t} \quad (12-3)$$

حيث أن:

ΔH ، ΔH_0 تمثلان تغيرات مناسبة المياه في البئر الحدودي وفي بئر المراقبة خلال فترة رصد محددة (t).

X : المسافة بين البئرين.

وعند تنفيذ الدراسة يؤخذ بعين الاعتبار أنه خلال فترة إجراء الحساب لم تتغير قيمة التغذية الرأسية. أما قيمة معامل المعطائية فيتمّ تحديده بعد تعيين عامل الانتشار (a) وفق العلاقة الآتية:

$$m = \frac{T}{a}$$

حيث تؤخذ T كقيمة وسطية للناقلية المائية المحددة في كل بئرين متجاورتين.

وبالنسبة لعامل الرشح (K) فإنه يُحسب من العلاقة الآتية:

$$K = \frac{T}{h}$$

حيث أن h هي السماكة الفعالة للطبقة الحاملة للمياه التي تمّ تحديدها بعد دراسة تحليلية لواقع الآبار الموجودة في منطقة الدراسة.

ويوضح الجدول الآتي نتائج تحديد البارامترات الهيدروجيولوجية لمنطقة الدراسة:

الجدول (5-3) قيم المعاملات الهيدروجيولوجية بواسطة معطيات مراقبة نظام المياه الجوفية

المقاطع المختارة (الآبار)	T (m ² /d)	K (m/d)	a (m ² /d)	μ	السماكة الفعالة h (سماعة منطقة الإشباع) (م)
I (24-25-17)	150	10.34			14.5
	135	13.50	3.8 x 10 ⁴	0.0036	10
	265	6.54	3.2 x 10 ³	0.0614	40.5
II (21-23-14-15-16-17)	150	10.34			14.5
	280	19.31	2.8 x 10 ⁴	0.0076	14.5
	240	24.00	1.3 x 10 ⁴	0.0199	10
	294	29.40	1.2 x 10 ³	0.2075	10
	569	22.31	3.1 x 10 ⁴	0.0138	25.5
	253	9.92	9.4 x 10 ⁶	0.00004	25.5
III (6-13-15)	240	24.00			10
	36	1.41	1 x 10 ⁵	0.0013	25.5
	70	2.37	1.7 x 10 ⁴	0.0031	29.5
Iv (2-8-9-16)	280	19.31			14.5
	532	53.20	1.6 x 10 ⁵	0.0024	10
	372	14.58	3.5 x 10 ³	0.1259	25.5
	344	11.66	1.7 x 10 ⁴	0.0206	29.5
V (4-11-17)	150	10.34			14.5
	130	13.00	9.6 x 10 ⁴	0.0014	10
	1252	42.44	5.6 x 10 ⁴	0.0123	29.5

يُظهر تحليل الجدول السابق أن قيم الناقلية المائية تتغير من 36 إلى 569 م²/يوم، وتصل أحياناً إلى 1250 م²/يوم تقريباً في المقطع (v) الواقع في الجزء الشمالي الغربي من منطقة الدراسة. بينما تراوحت قيم عامل الرشح بين 1 - 53 م/يوم تقريباً.

أما قيم المعطائية المائية في منطقة الدراسة فتراوحت بين 0.00004 و 0.2 ، وهي قيم منخفضة إلى متوسطة، من جراء ازدياد قيمة عامل الانتشار (a) [59] .

تتحقق التغذية في هذه المنطقة بالأساس على حساب تسرب جزء من مياه الأمطار خلال فترة الشتاء، وكذلك على حساب الامتصاص الجزئي للمياه التي تُصخّ للري المساعد والشرب خلال فترة الصيف (الجفاف/التحاريق) ونسبها التغذية الرأسية الثانوية.

ولتعيين التغذية الراشحة استخدمنا طريقة الفروق المنتهية، حيث تؤخذ على منحنى تغير منسوب المياه لسنوات رصد عديدة، فترة تحافظ خلالها التغذية الرأسية على قيمتها وهذه الفترة لمنطقة الدراسة توافق فصل الشتاء (Δt = 120 day)، وتأخذ المعادلة التي استخدمناها الشكل الآتي [58] :

$$W = \frac{\Delta H_{2,\Delta t}}{\Delta t} m - \frac{K}{\Delta X_{av}} \left[\frac{h_1 + h_2}{2} \cdot \frac{H_1 - H_2}{\Delta X_{1-2}} - \frac{h_2 + h_3}{2} \cdot \frac{H_2 - H_3}{\Delta X_{2-3}} \right] \quad (13-3)$$

باعتبار أن:

ΔH_2 : تغير منسوب المياه في المقطع (البئر) الوسطي، خلال فترة زمنية مقدارها (Δt) .

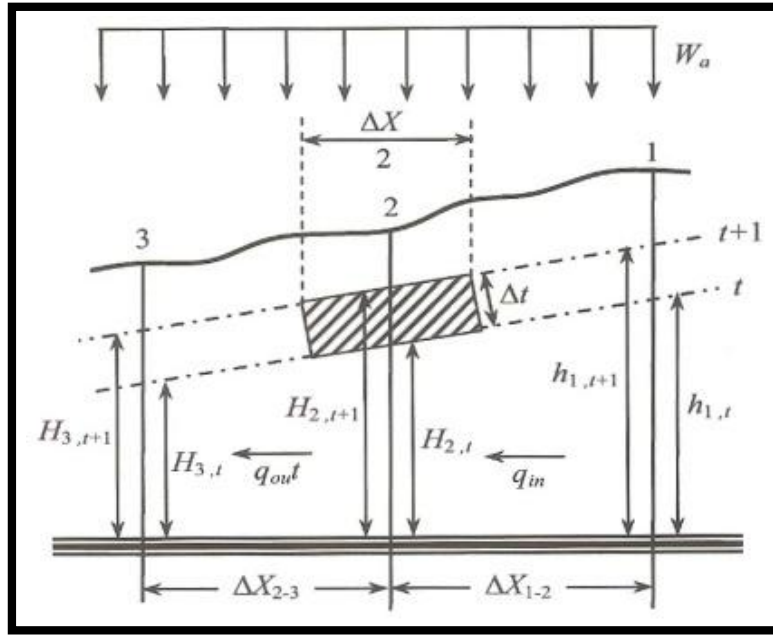
ΔX : المسافة بين المقطعين (البئرين) 1-2 و 2-3 وتُعين كآتي:

$$\Delta X_{av} = \frac{\Delta x_{1-2} + \Delta x_{2-3}}{2}$$

K : عامل الرشح للطبقة على الجزء 1-3

H_3 ، H_2 ، H_1 ، h_3 ، h_2 ، h_1 : قيم وسطية خلال فترة زمنية Δt لسماكة ومنسوب الجريان المائي الجوفي في الآبار 1 ، 2 ، 3 .

ويوضح الشكل (3-14) مخططاً لتوزيع الآبار في مقطع المراقبة لحساب التغذية الراشحة بطريقة الفروق المنتهية.



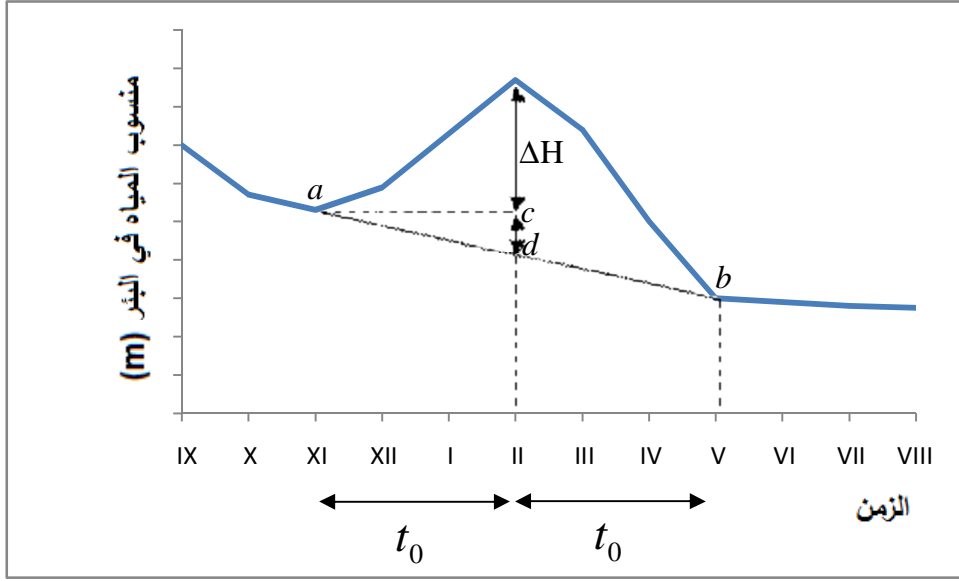
الشكل (3-14) توزيع الآبار في مقطع المراقبة لحساب التغذية الراشحة بطريقة الفروق المنتهية [33]

إن تحليل منحنيات ترددات مناسيب المياه الجوفية في آبار شبكة المراقبة، يُظهر بوضوح بأن ارتفاع منسوب المياه الجوفية يحدث بالأساس بعد الهطولات المطرية التي تعد في هذه الحالة مصدر التغذية الأساسي للمياه الجوفية في هذه المنطقة. يمكن الوصول إلى هذه القيمة، إذا كانت قيمة العنصر الثاني في الطرف اليميني للمعادلة السابقة تساوي الصفر، وهذا يتحقق بالأساس عندما تكون قيمة $q_{in} \approx q_{out}$ أي (الوارد الجوفي \approx الصادر الجوفي). وفي ظروف منطقة الدراسة فإن الوارد الجوفي يكاد يكون معدوماً حيث تمثل الحدود الشرقية لمنطقة الدراسة حدوداً مغلقة $Q=0$ والتغذية الجوفية العميقة معدومة، وفي هذه الحالة تتحدد التغذية الراشحة بالعلاقة الآتية للفترة المأخوذة:

$$W = m \frac{\Delta H_{2, \Delta t}}{\Delta t} \quad (14-3)$$

حيث $\Delta H_{2, \Delta t}$ الارتفاع الملاحظ لمنسوب المياه الحرة خلال الفترة Δt .

إنَّ حساب التغذية الراشحة بالعلاقة السابقة يعطي قيمة منخفضة نسبياً (أقل من الواقع الطبيعي)، إذ أنه لم يتم احتساب قيمة الانخفاض المتعلق بالصادر الجوفي من الطبقة باتجاه المصارف الطبيعية التي تمثل مجاري الأنهار والبحر خلال فترة الحساب (Δt). ويتم تحديد هذه القيمة تقريباً من خلال منحنى المراقبة، الشكل (15-3).



الشكل (15-3) مخطط لحساب قيمة التغذية الراشحة

وذلك إذا اعتبرنا زمن نهوض المنسوب في الطبقة (t_0) يساوي زمن انخفاضه (t_0)، وعند ذلك يتم تعيين قيمة هذا الانخفاض الذي يحدث على حساب خروج المياه من الطبقة خلال فترة الحساب بالعلاقة [53]:

$$W = m \frac{\Delta H + \Delta Z}{\Delta t} \quad (15-3)$$

حيث ΔZ تمثل قيمة انخفاض المنسوب خلال الفترة Δt على حساب خروج المياه من الطبقة باتجاه المصارف الطبيعية، وهي تُحدد على النحو الآتي [53]:

نصل بين نقطتي بداية نهوض المنسوب (a) للفترة الزمنية (t_0) ونهاية الفترة الزمنية لانخفاضه (b) المكافئة للفترة الزمنية (t_0) لنهوضه، بخط مستقيم حيث يعبر الطول (cd) عن قيمة ΔZ .

يبين الجدول (6-3) نتائج الحساب:

رقم المقطع	رقم البئر	$\Delta H + \Delta Z$ (m)	سرعة ارتفاع منسوب المياه الجوفية $u = \frac{\Delta H}{\Delta t}$ (m/d)	قيمة التغذية الراشحة W (mm)
I	25	0.58 + 0.48	4.8×10^{-3}	$\frac{34.44}{6.2}$
II	23	2.17 + 0.07	1.8×10^{-2}	$\frac{15.49}{2.8}$
III	13	1.47 + 0.24	1.2×10^{-2}	$\frac{3.76}{0.6}$
IV	9	0.26 + 0.06	2.1×10^{-3}	$\frac{20.47}{3.7}$
	8	2.46 + 0.42	2.0×10^{-2}	$\frac{210.96}{38.3}$
V	11	0.89 + 0.43	7.4×10^{-3}	$\frac{9.04}{1.6}$

لقد أظهرت نتائج الحساب أنّ قيمة التغذية الراشحة تتغير من 3.76 إلى 210.96 مم ، ويبلغ المعدل الوسطي لقيم التغذية الراشحة 49.02 ملم ، وبنسبة مئوية تتراوح بين (1.6-38.3)% من معدل كمية الأمطار خلال الفترة (Δt)، وبالتالي فإنّ الهطولات المطرية تذهب بغالبيتها على تشكيل جريانات سطحية وعلى التبخر. كما أنّ ارتفاع المنسوب في أجزاء المنطقة يختلف بحسب الصفات الرشحية، حيث سُجّلت أعلى قيمة للتغذية الراشحة في المقطع (IV) وقد بلغت أعلى قيمة لعامل الرشح (53.2) م/يوم في هذا المقطع أيضاً، حيث تنتشر توضعات مؤلفة من الحجر الكلسي الرملي والحجر الرملي الهش. بينما كانت أقل قيمة للتغذية الراشحة في المقطع (III) ونلاحظ أقل قيمة لعامل الرشح (1.4) م/يوم ضمن هذا المقطع أيضاً، حيث تشكل التوضعات حاملاً جيداً للماء (بسبب ازدياد سماكة الطبقة الحاملة للمياه)، إلا أنها تتوضع فوق طبقات غير نفوذة للماء تعود إلى البليوسين مؤلفة من المارل. كما نلاحظ من الشكل (3-12) أنّ الخواص الرشحية للطبقة الحاملة للمياه جيدة في القسم الغربي والجنوب الغربي من منطقة الدراسة، ويشير إلى ذلك تباعد المسافات بين خطوط تساوي مناسيب المياه الجوفية في هذا الجزء، حيث أنّ الانحدار (الميل) يكون قليلاً مقارنةً مع القسم الشرقي والشمال الشرقي من المنطقة من خلال تقارب خطوط تساوي مناسيب المياه، وهذا مؤشر على تردي الخواص الرشحية في هذا القسم من منطقة الدراسة.

3.4.3. تقدير دقة نتائج تحديد قيم المعاملات الهيدروجيولوجية

لتقدير دقة قيم المعاملات الهيدروجيولوجية المُعَيَّنة يُستَخدم التمثيل البياني لمعادلة الفروق المنتهية، وذلك في جمل إحداثية خاصة [58].

\bar{y} عند غياب التغذية الرأسية (أو انعدامها) يكون:

$$W(x, t) = 0$$

والمعادلة (13-3) يمكن أن تُمثَل بمستقيم في الجملة الإحداثية:

$$\varphi_2 = f(\varphi_1) \quad (16-3)$$

$$T \frac{H_1 + H_3 - 2H_2}{\Delta X} = m \cdot \frac{\Delta H_{2t}}{\Delta t} \quad (17-3)$$

$$\frac{T}{m} j_1 = j_2 \quad \varphi_2 = C \varphi_1 \quad (18-3)$$

حيث أن:

$$j_1 = \frac{H_1 + H_2 - 2H_2}{\Delta X} \quad j_2 = \frac{\Delta H_{2t}}{\Delta t} \quad (19-3)$$

\bar{y} أما في حالة وجود تغذية رأسية، أي عندما:

$$W(x, t) > 0$$

يكون لدينا:

$$T \frac{H_1 + H_3 - 2H_2}{\Delta X} + W = m \frac{\Delta H_{2t}}{\Delta t} \quad (20-3)$$

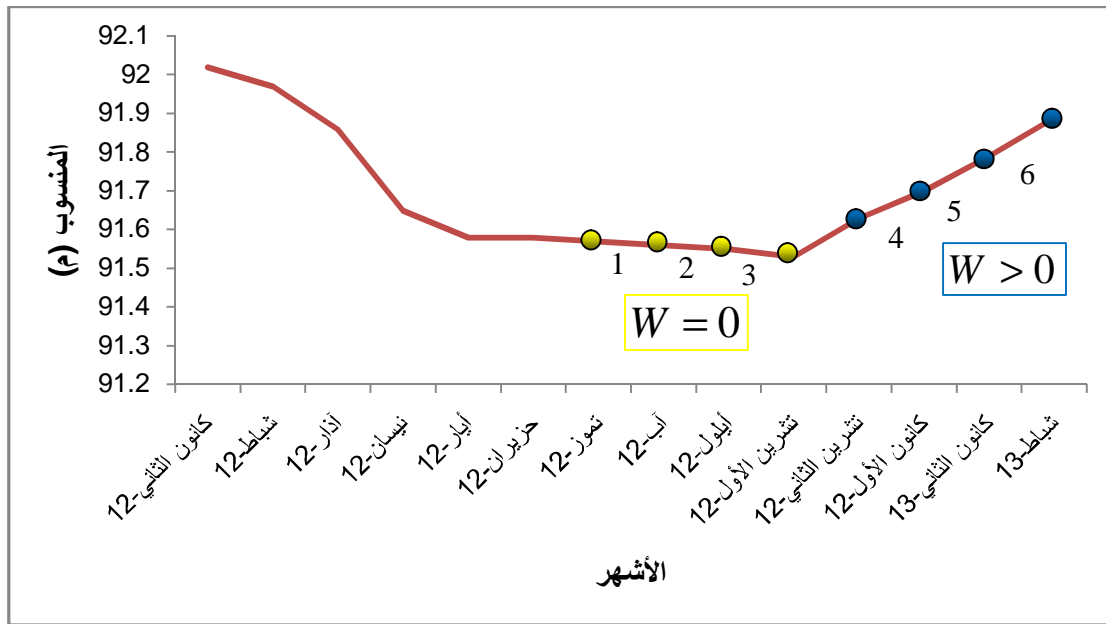
أي أن:

$$\frac{T}{m} j_1 + \frac{W}{m} = j_2 \quad \varphi_2 = A + C \varphi_1 \quad (21-3)$$

حيث:

$$C = \text{tag } a = \frac{T}{m} \quad ; \quad A = \frac{W}{m}$$

وحسب هذا التمثيل فإن ميل المستقيم (C) على محور السينات يوافق العلاقة $\frac{T}{m}$ ، أما الاقتران (A) الذي يحدثه على محور العينات فيساوي $\frac{W}{m}$. وعندما يكون تعيين المعاملات الهيدروجيولوجية صحيحاً فإن جميع نقاط الحساب لمختلف المجالات الزمنية Δt يجب أن تقع على خط مستقيم بعد تبديل البارامترات بقيمها التي تم الحصول عليها، ولتوضيح ذلك اخترنا المقطع (16 - 9 - 8) مثلاً، الشكل (3-12)، ونوضح على الشكل (3-16) منحنى تغير منسوب المياه الجوفية خلال فترة المراقبة في البئر (9) من هذا المقطع، وكذلك الفترات الزمنية المستخدمة Δt لتعيين المعاملات الهيدروجيولوجية عليه.

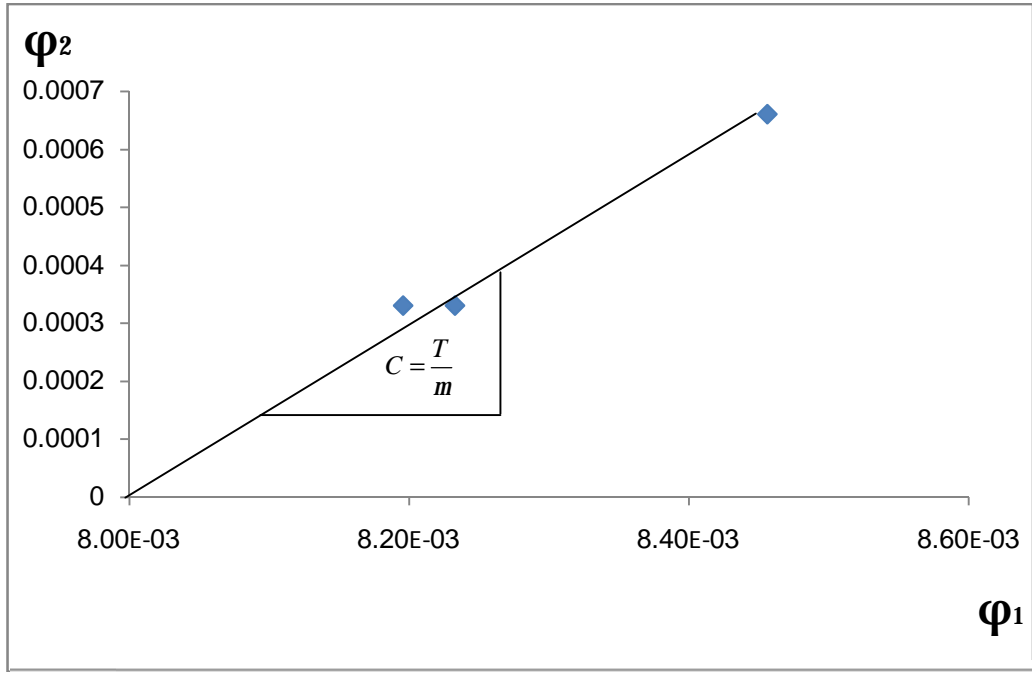


الشكل (3-16) منحنى تغير منسوب المياه الجوفية في البئر (9) خلال فترة المراقبة 2012 - 2013

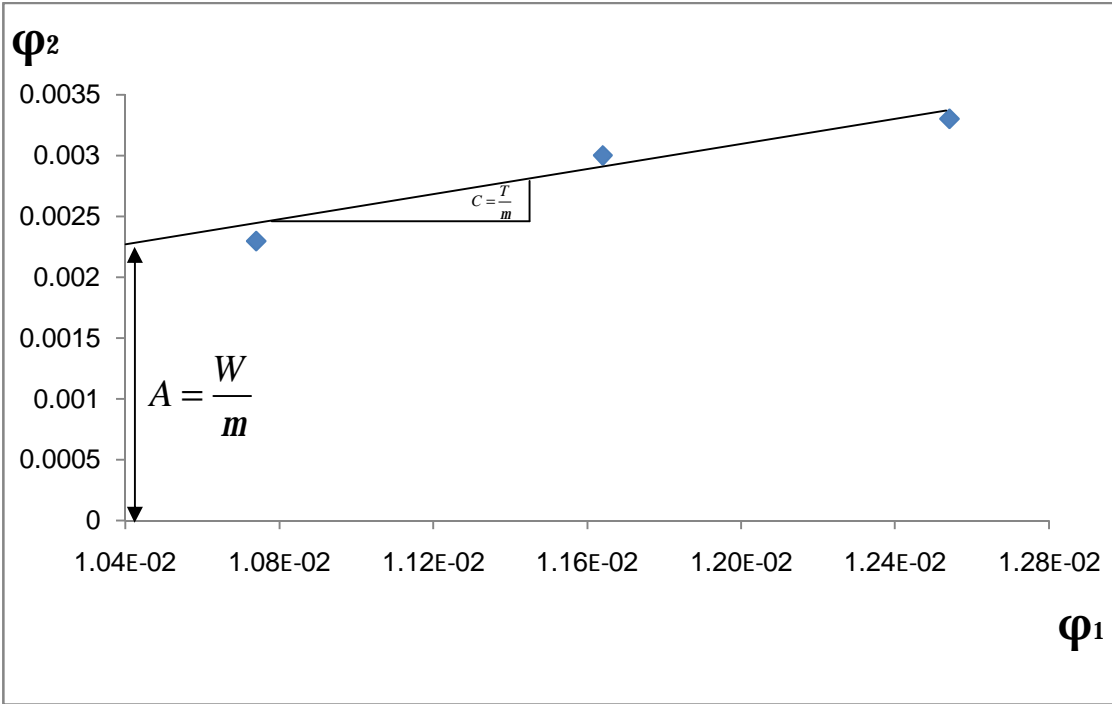
المجالات: 1,2,3 تمثل فترات إجراء الحساب (Δt) عندما $W(x,t) = 0$

4,5,6 تمثل فترات إجراء الحساب (Δt) عندما $W(x,t) > 0$

إن التمثيل البياني للعلاقتين (3-19 ، 3-20)، الشكل (3-17)، يبين أن جميع نقاط الحساب تتوضع على استقامة واحدة على هذين المنحنيين، ويُعد ذلك دليلاً على صحة تعيين البارامترات الهيدروجيولوجية لمنطقة الدراسة.



W=0



W>0

الشكل (3-17) التمثيل البياني - التحليلي بطريقة الفروق المنتهية لتعيين المعاملات الهيدروجيولوجية بوساطة معطيات المراقبة على المقطع (IV) في الحالتين (W=0) و (W>0)

الفصل الرابع

الخصائص الهيدروكيميائية للمياه في منطقة الدراسة

1.4. الخصائص الهيدروكيميائية للمياه الجوفية في منطقة الدراسة

1.1.4. توزع الشوارد الرئيسية وتغيرات قيم تراكيزها مع الزمن

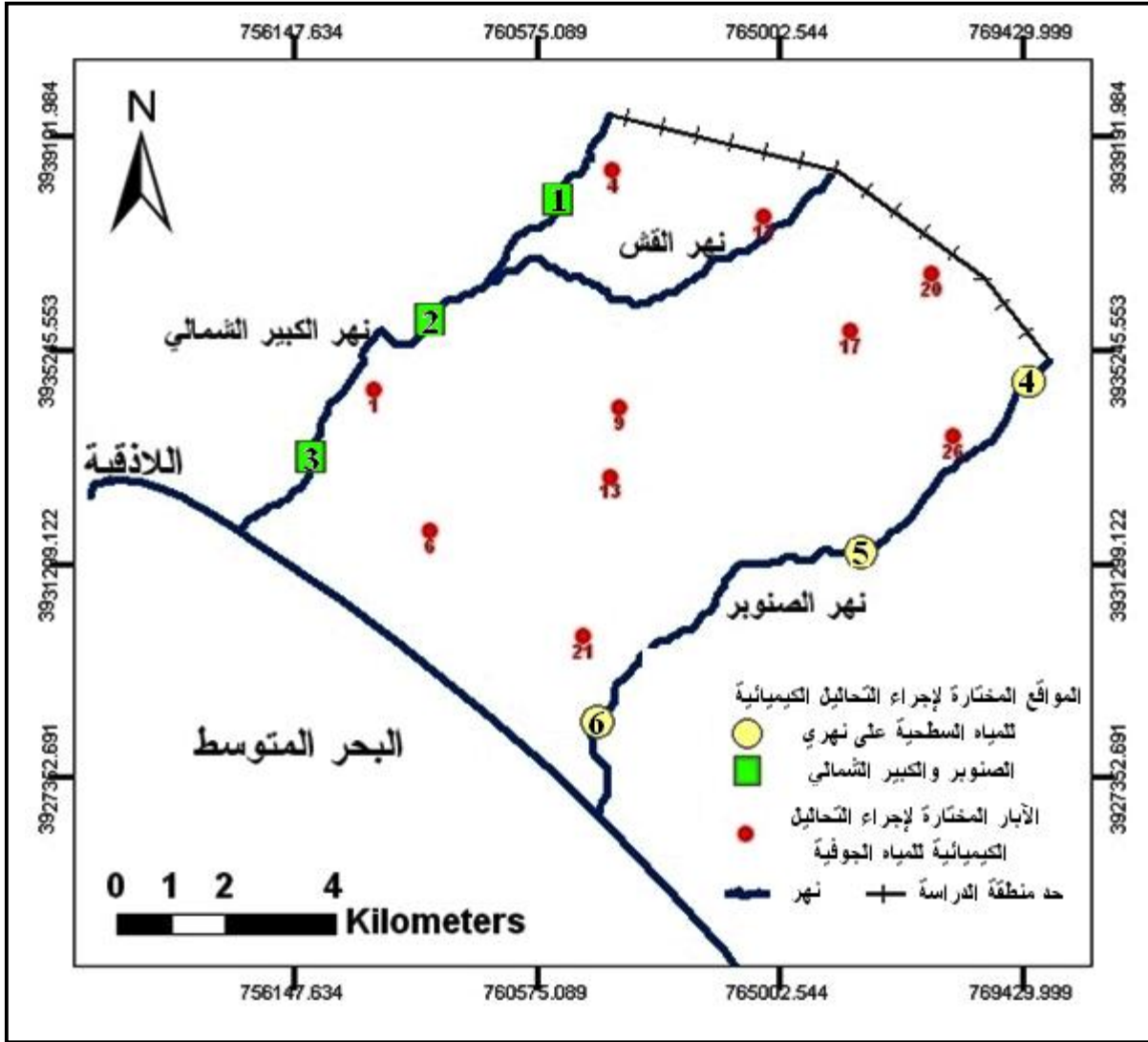
لتحديد نوعية المياه الجوفية في منطقة الدراسة، وتغيراتها، أُخِذَت عينات مائية لإجراء تحاليل كيميائية من 10 / آبار من آبار شبكة المراقبة، الشكل (4-1)، تتوزع هذه الآبار بحيث تشمل كافة أرجاء منطقة الدراسة، وكافة التوضعات الجيولوجية السائدة فيها. وذلك لثلاث فترات من العام 2012-2013، الفترة الأولى كانت في شهر آب (فترة الثبات النسبي)، والفترة الثانية في شهر تشرين الثاني (فترة النهوض)، والفترة الثالثة في شهر نيسان (فترة الهبوط)، وتمَّ تحليل العينات المائية في مخابر مديرية الموارد المائية باللاذقية، وضمن أفضل الظروف المتاحة، حيث تمَّت مراعاة عدَّة أمور منها: أن يكون حجم العينة كافياً لإتمام الإجراءات المخبرية، وأن تُحفظ العينة بحالتها أثناء الجمع، وأن نراعي عدم تعرضها لأية ملوثات تؤدي إلى تغير خصائصها خلال الفترة منذ جمعها، وحتى إجراء الاختبارات عليها، فإذا لم تكن العينات صالحة فإنَّ نتائج التحاليل قد تكون مضللة.

شملت التحاليل الكيميائية عموماً نوعين من التحاليل:

الأول: التحليل الروتيني (الحقلي) ويشمل كلاً من الملوحة – التي ترتبط بالناقلية الكهربائية – ودرجة الحرارة ودرجة الحموضة.

الثاني: التحليل الكامل للمكونات الرئيسية (البكربونات، السلفات، الكلور، الصوديوم، البوتاسيوم، الكالسيوم، المغنيزيوم) بالإضافة لتحليل شوارد الأزوت (النترات، النترت و الأمونيا) والفوسفات.

تمَّ معالجة نتائج التحاليل، بإعادة حساب نتائج التحاليل من الشكل الوزني الأيوني (ppm) إلى الشكل المكافئ (epm)، والمكافئ النسبي (%epm)، ورسمنا مجموعة منحنيات تُبيِّن تغيرات الملوحة وكلِّ من الشوارد الرئيسية: (K , Na , Mg , Ca , Cl , SO₄ , HCO₃) في جميع الآبار التي تمَّ جمع العينات المائية منها، ولكافة فترات التحاليل المُختارة. وحددنا السحنات الهيدروكيميائية السائدة في منطقة الدراسة، وقمنا بحساب الأملاح المفترضة في عينات المياه الجوفية المحللة، ورسم مخطط بياني لتوضيح الأملاح المتشكلة، ومن ثمَّ حساب بعض المعاملات والنسب الجيوكيميائية لبيان تداخل مياه البحر مع المياه الجوفية العذبة من عدمه. وبعد ذلك أجرينا تحليلاً إحصائياً لمعرفة العوامل الأساسية المؤثرة على الخواص الكيميائية للمياه الجوفية في منطقة الدراسة، وأخيراً قيّمنا جودة صلاحية المياه للاستخدامات المختلفة (الشرب والري).



الشكل (1-4) الآبار والمواقع المختارة لإجراء التحاليل الكيميائية للمياه الجوفية والسطحية في منطقة الدراسة

وفيما يلي نعرض الجداول ذوات الأرقام (1-4 ، 2-4 ، 3-4) التي تُمَثِّل نتائج هذه التحاليل، وبعض نتائج المعالجة التي أُجريت عليها.

جدول (1-4) التركيب الكيميائي لعينات المياه الجوفية في منطقة الدراسة خلال شهر آب للعام 2012

الرقم	المنطقة الطبقة الحاملة	Unit	الكاتيونات				الأنيونات			التركيب الكيميائي للمياه (علاقة كورولوف)
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	
			Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	
1	المعكس fQ ₃	ppm	140	38	7	150	670	173	115	$M_{1.02} \frac{HCO_3 61 SO_4 20 Cl 18}{Ca 41 Na 38 Mg 18} pH 7.75$
		epm	7.00	3.10	0.17	6.52	10.98	3.60	3.23	
		epm%	41.69	18.46	1.01	38.83	61.61	20.21	18.17	
4	رويسة الحرش fQ ₃	ppm	144	19.2	4.1	120	430	230	75	$M_{0.83} \frac{HCO_3 50 SO_4 34 Cl 15}{Ca 51 Na 37 Mg 11} pH 7.39$
		epm	7.20	1.56	0.10	5.21	7.04	4.79	2.11	
		epm%	51.10	11.12	0.74	37.02	50.52	34.33	15.13	
6	الحمى eQ ₃	ppm	150	50	1	23	270	85	225	$M_{1.03} \frac{Cl 150 HCO_3 35 SO_4 14}{Ca 59 Mg 32} pH 7.46$
		epm	7.50	4.08	0.02	1.00	4.42	1.77	6.33	
		epm%	59.52	32.38	0.15	7.93	35.31	14.12	50.56	
9	فديو N ₂	ppm	80	38	0.7	17	280	80	60	$M_{0.53} \frac{HCO_3 57 Cl 21 SO_4 20}{Ca 51 Mg 39} pH 7.48$
		epm	4.00	3.10	0.01	0.73	4.59	1.66	1.69	
		epm%	51.02	39.54	0.12	9.31	57.76	20.96	21.26	
12	منجلا fQ ₄	ppm	290	14	7	250	490	500	275	$M_{1.69} \frac{SO_4 39 HCO_3 30 Cl 29}{Ca 54 Na 40} pH 7.34$
		epm	14.50	1.14	0.17	10.86	8.03	10.41	7.74	
		epm%	54.36	4.27	0.63	40.71	30.66	39.76	29.57	
13	البارد mQ ₂	ppm	210	17	1.2	23	410	130	120	$M_{0.80} \frac{HCO_3 52 Cl 26 SO_4 21}{Ca 81 Mg 10} pH 7.29$
		epm	10.50	1.38	0.03	1.00	6.72	2.70	3.38	
		epm%	81.33	10.68	0.23	7.74	52.47	21.14	26.38	
17	المشيرة mQ ₁	ppm	120	13	0.5	15	290	90	25	$M_{0.46} \frac{HCO_3 64 SO_4 25}{Ca 77 Mg 13} pH 7.77$
		epm	6.00	1.06	0.01	0.65	4.75	1.87	0.70	
		epm%	77.72	13.73	0.12	8.41	64.83	25.56	9.60	
20	القافعية N ₂	ppm	180	12	5	120	280	450	45	$M_{1.15} \frac{SO_4 61 HCO_3 30}{Ca 58 Na 34} pH 8.14$
		epm	9.00	0.97	0.12	5.21	4.59	9.37	1.26	
		epm%	58.82	6.33	0.78	34.05	30.13	61.54	8.31	
21	الصنوبر mQ ₂	ppm	22	60	0.5	7	250	40	45	$M_{0.46} \frac{HCO_3 66 Cl 20 SO_4 13}{Mg 77 Ca 17} pH 7.57$
		epm	1.10	4.89	0.01	0.30	4.09	0.83	1.26	
		epm%	17.46	77.61	0.15	4.76	66.11	13.43	20.44	
26	الضاهرية N ₂	ppm	200	30	0.4	10	440	175	50	$M_{1.15} \frac{HCO_3 58 SO_4 29 Cl 11}{Ca 77 Mg 18} pH 7.27$
		epm	10.00	2.44	0.01	0.43	7.21	3.64	1.40	
		epm%	77.63	18.94	0.07	3.33	58.80	29.71	11.47	

جدول (2-4) التركيب الكيميائي لعينات المياه الجوفية في منطقة الدراسة خلال شهر تشرين الثاني للعام 2012

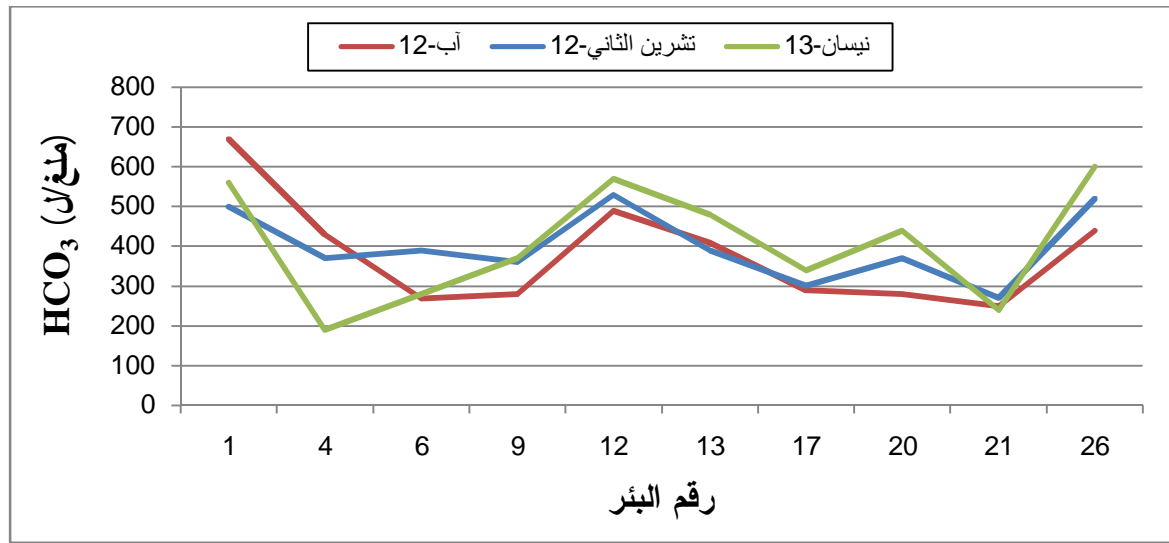
الرقم	المنطقة الطبقة الحاملة	Unit	الكاتيونات				الأنيونات			التركيب الكيميائي للمياه (علاقة كورولوف)
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	
			Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	
1	المعكس fQ ₃	ppm	40	150	1	14	500	128	85	$M_{0.94} \frac{HCO_3 61 SO_4 20 Cl 18}{Mg 82 Ca 13} pH 7.52$
		epm	2.00	12.24	0.02	0.60	8.19	2.66	2.39	
		epm%	13.45	82.36	0.13	4.03	61.82	20.11	18.05	
4	رويسة الحرش fQ ₃	ppm	80	47	1.1	25	370	80	30	$M_{0.56} \frac{HCO_3 70 SO_4 19}{Ca 44 Mg 42 Na 12} pH 7.73$
		epm	4.00	3.83	0.02	1.08	6.06	1.66	0.84	
		epm%	44.79	42.88	0.22	12.09	70.72	19.42	9.85	
6	الحمى eQ ₃	ppm	20	120	0.5	10	390	48	100	$M_{0.83} \frac{HCO_3 62 Cl 27}{Mg 87} pH 7.50$
		epm	1.00	9.79	0.01	0.43	6.39	1.00	2.81	
		epm%	8.90	87.17	0.08	3.82	62.62	9.79	27.58	
9	فديو N ₂	ppm	120	32	0.4	12	360	40	50	$M_{0.60} \frac{HCO_3 72 Cl 17 SO_4 10}{Ca 65 Mg 28} pH 7.35$
		epm	6.00	2.61	0.01	0.52	5.90	0.83	1.40	
		epm%	65.64	28.55	0.10	5.68	72.47	10.23	17.29	
12	منجلا fQ ₄	ppm	80	170	2.4	23	530	208	170	$M_{1.60} \frac{HCO_3 48 Cl 26 SO_4 24}{Mg 73 Ca 21} pH 7.32$
		epm	4.00	13.87	0.06	1.00	8.68	4.33	4.78	
		epm%	21.13	73.26	0.31	5.28	48.78	24.33	26.88	
13	البارد mQ ₂	ppm	80	70	0.4	11	390	52	70	$M_{0.76} \frac{HCO_3 67 Cl 20 SO_4 11}{Mg 56 Ca 39} pH 7.42$
		epm	4.00	5.71	0.01	0.47	6.39	1.08	1.97	
		epm%	39.25	56.03	0.09	4.61	67.67	11.46	20.86	
17	المشيرة mQ ₁	ppm	110	12	0.7	12	300	44	20	$M_{0.48} \frac{HCO_3 76 SO_4 14}{Ca 78 Mg 13} pH 7.68$
		epm	5.50	0.97	0.01	0.52	4.91	0.91	0.56	
		epm%	78.57	13.85	0.14	7.42	76.87	14.31	8.80	
20	القاقعية N ₂	ppm	280	60	10.2	240	370	1000	45	$M_{1.35} \frac{SO_4 73 HCO_3 21}{Ca 47 Na 35 Mg 16} pH 7.41$
		epm	14.00	4.89	0.26	10.43	6.06	20.83	1.26	
		epm%	47.32	16.53	0.87	35.26	21.53	73.96	4.49	
21	الصنوبر mQ ₂	ppm	60	35	0.9	10	270	32	35	$M_{0.44} \frac{HCO_3 72 Cl 16 SO_4 10}{Ca 47 Mg 45} pH 7.69$
		epm	3.00	2.85	0.02	0.43	4.42	0.66	0.98	
		epm%	47.61	45.23	0.31	6.82	72.83	10.95	16.20	
26	الضاهرية N ₂	ppm	30	220	4	35	520	480	45	$M_{1.15} \frac{SO_4 50 HCO_3 43}{Mg 85} pH 7.40$
		epm	1.50	17.95	0.10	1.52	8.52	10.00	1.26	
		epm%	7.11	85.19	0.47	7.21	43.07	50.52	6.40	

جدول (3-4) التركيب الكيميائي لعينات المياه الجوفية في منطقة الدراسة خلال شهر نيسان للعام 2013

الرقم	المنطقة الطبقة الحاملة	Unit	الكاتيونات				الأنيونات			التركيب الكيميائي للمياه (علاقة كورولوف)
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	
			Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	
1	المعكس fQ ₃	ppm	90	120	3.3	50	560	150	100	$M_{0.86} \frac{HCO_3 60 SO_4 20 Cl 18}{Mg 59 Ca 27 Na 13} pH 7.51$
		epm	4.50	9.79	0.08	2.17	9.18	3.12	2.81	
		epm%	27.20	59.18	0.48	13.11	60.75	20.64	18.59	
4	رويسة الحرش fQ ₃	ppm	40	19	1.4	10	190	22	10	$M_{0.22} \frac{HCO_3 80 SO_4 11}{Ca 49 Mg 38 Na 10} pH 7.15$
		epm	2.00	1.55	0.03	0.43	3.11	0.45	0.28	
		epm%	49.87	38.65	0.74	10.72	80.98	11.71	7.29	
6	الحمى eQ ₃	ppm	120	50	2.1	20	280	110	130	$M_{0.97} \frac{HCO_3 43 Cl 34 SO_4 21}{Ca 54 Mg 37} pH 7.42$
		epm	6.00	4.08	0.05	0.86	4.59	2.29	3.66	
		epm%	54.59	37.12	0.45	7.82	43.54	21.72	34.72	
9	فديو N ₂	ppm	120	25	1.6	23	370	55	50	$M_{0.57} \frac{HCO_3 70 Cl 16 SO_4 13}{Ca 66 Mg 22 Na 11} pH 7.17$
		epm	6.00	2.04	0.04	1.00	6.06	1.14	1.40	
		epm%	66.07	22.46	0.44	11.01	70.46	13.25	16.27	
12	منجلا fQ ₄	ppm	310	10	8	270	570	490	260	$M_{1.64} \frac{SO_4 37 HCO_3 34 Cl 27}{Ca 54 Na 41} pH 7.33$
		epm	15.5	0.81	0.20	11.73	9.34	10.20	7.32	
		epm%	54.88	2.86	0.70	41.53	34.77	37.97	27.25	
13	البارد mQ ₂	ppm	70	100	2.4	27	480	95	85	$M_{0.84} \frac{HCO_3 64 Cl 19 SO_4 16}{Mg 63 Ca 27} pH 7.30$
		epm	3.50	8.16	0.06	1.17	7.86	1.97	2.39	
		epm%	27.15	63.30	0.46	9.07	64.32	16.12	19.55	
17	المشيرة mQ ₁	ppm	135	7	1.5	24	340	50	30	$M_{0.59} \frac{HCO_3 74 SO_4 13 Cl 11}{Ca 80 Na 12} pH 7.31$
		epm	6.75	0.57	0.03	1.04	5.57	1.04	0.84	
		epm%	80.45	6.79	0.35	12.39	74.76	13.95	11.27	
20	القاقعية N ₂	ppm	205	105.4	7	192	440	840	40	$M_{1.33} \frac{SO_4 67 HCO_3 27}{Ca 37 Mg 31 Na 30} pH 7.44$
		epm	10.25	8.60	0.17	8.34	7.21	17.50	1.12	
		epm%	37.46	31.43	0.62	30.48	27.91	67.75	4.33	
21	الصنوبر mQ ₂	ppm	37	57.8	0.7	7	240	49	45	$M_{0.44} \frac{HCO_3 63 Cl 20 SO_4 16}{Mg 68 Ca 26} pH 7.63$
		epm	1.85	4.71	0.01	0.30	3.93	1.02	1.26	
		epm%	26.92	68.55	0.14	4.36	63.28	16.42	20.28	
26	الضاهرية N ₂	ppm	100	102	1.2	20	600	95	50	$M_{1.19} \frac{HCO_3 74 SO_4 14 Cl 10}{Mg 58 Ca 35} pH 7.29$
		epm	5.00	8.32	0.03	0.86	9.83	1.97	1.40	
		epm%	35.18	58.55	0.21	6.05	74.46	14.92	10.60	

حيث يوضح الشكل (4-2) تغيرات قيم شاردة البيكربونات HCO_3 ضمن حدود منطقة الدراسة ومع الزمن حيث تتراوح بين (190-670) ملغ/ل، ويُظهر استقراراً وتوافقاً في توزيع قيم شاردة البيكربونات تقريباً في منطقة الدراسة خلال فترات التحاليل الثلاث وعدم حصول تغيرات جوهرية في هذه القيم، إلا في التحليل الثالث (نيسان 2013)، حيث انخفضت قيمة شاردة البيكربونات بحدود (200 ملغ/ل) في البئر رقم (4) عن قيمتي التحليلين السابقين، وذلك يعود إلى الخواص الرشحية الجيدة في هذا الجزء من منطقة الدراسة والتي تسمح بدورها بالنقل الجيد لنواتج العمليات الفيزيوكيميائية التي تتم بين المياه والصخور، وقد سُجِّلت في هذه البئر أقل قيمة للملوحة إذ لم تتجاوز (220 ملغ/ل)، وقد كانت أعلى قيمة لشاردة البيكربونات في آب 2012 وبلغت (670 ملغ/ل) في البئر (1) بئر المعاكس، بينما أدنى قيمة لها كانت في نيسان 2013 ، وقد بلغت (190 ملغ/ل) في البئر (4) بئر رويسة الحرش.

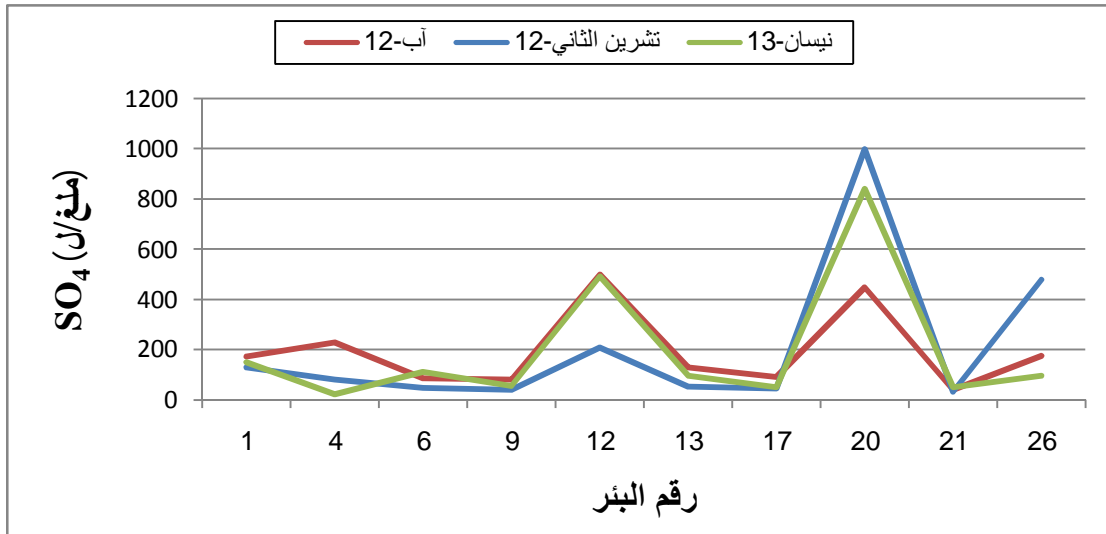
إنَّ مصدر شاردة البيكربونات في المياه الجوفية يعود غالباً إلى انحلال الصخور الكربوناتيّة، والمارلية بفعل مياه الأمطار، والمياه الأخرى الراشحة عبر هذه الصخور، والحاوية على غاز الفحم، التي تُعدّ المصدر الأساسي لتغذية المياه الجوفية في منطقة الدراسة.



الشكل (4-2) مخطط يبيّن قيم شاردة البيكربونات لعينات المياه الجوفية المقطوفة من منطقة الدراسة

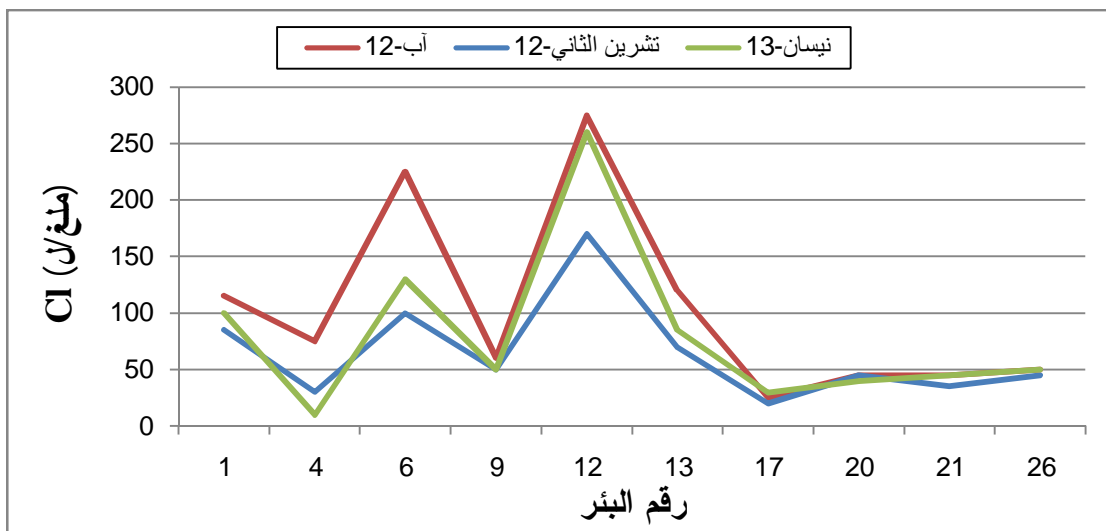
ويوضح الشكل (4-3) تغيرات قيم شاردة الكبريتات SO_4 في الآبار مع الزمن، ونلاحظ أنّ قيم الشاردة في الآبار ضمن الحد المسموح به حسب المواصفات القياسية السورية لمياه الشرب رقم (45) لعام 2007 وهو (250 ملغ/ل)، ما عدا الآبار نوات الأرقام (12 ، 20 ، 26)، حيث بلغت قيمة عالية تجاوزت (400 ملغ/ل) في البئرين (12 ، 26)، ووصلت لحدود (1000 ملغ/ل) في البئر (20)، وسبب ارتفاع تركيز شاردة السولفات في هذه الآبار هو تواجد التوضعات الجصية، أو قربها من هذه التشكيلات (معمل الزوبار)، والتي يؤدي انحلالها إلى ارتفاع كل من شاردة الكالسيوم والكبريتات

وانتقالها عبر جريان المياه الجوفية، وهذا ما بدا جلياً بالمقارنة مع الشكل (4-5). ويوجد دور ضعيف لمخلفات الأعمال الزراعية والصناعية التي يكون تركيز الأملاح فيها عالياً.



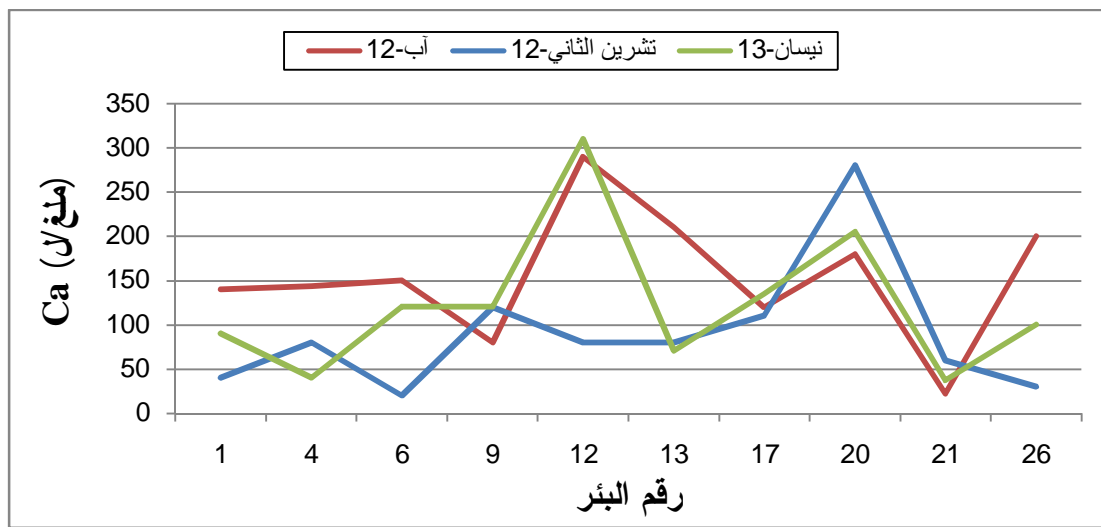
الشكل (3-4) مخطط يبيّن قيم شاردة الكبريتات لعينات المياه الجوفية المقطوفة من منطقة الدراسة

يُبيّن الشكل (4-4) قيم شاردة الكلوريد CI في الآبار المأخوذة، حيث لا تتجاوز قيم هذه الشاردة الحد المسموح بوجوده في مياه الشرب، وهو (250 مغ/ل) في جميع الآبار ما عدا البئر رقم (12) حيث تجاوزت قيمة شاردة الكلوريد فيه الحد المسموح به بحوالي (25 مغ/ل)، وتعود هذه الزيادة الطفيفة إلى وجود سماكة لا بأس بها من الغضاربات على السطح تأثرت بعمليات التجوية، مما أدى إلى تشكل رقائق من الهاليت ضمنها تذوب بمياه الأمطار، وتتنسرب إلى المياه الجوفية، وقد أدت بدورها إلى زيادة نسبة الصوديوم في هذه البئر أيضاً. بينما أدنى قيمة لشاردة الكلوريد كانت في نيسان 2013 وقد بلغت (10 مغ/ل) في البئر (4).

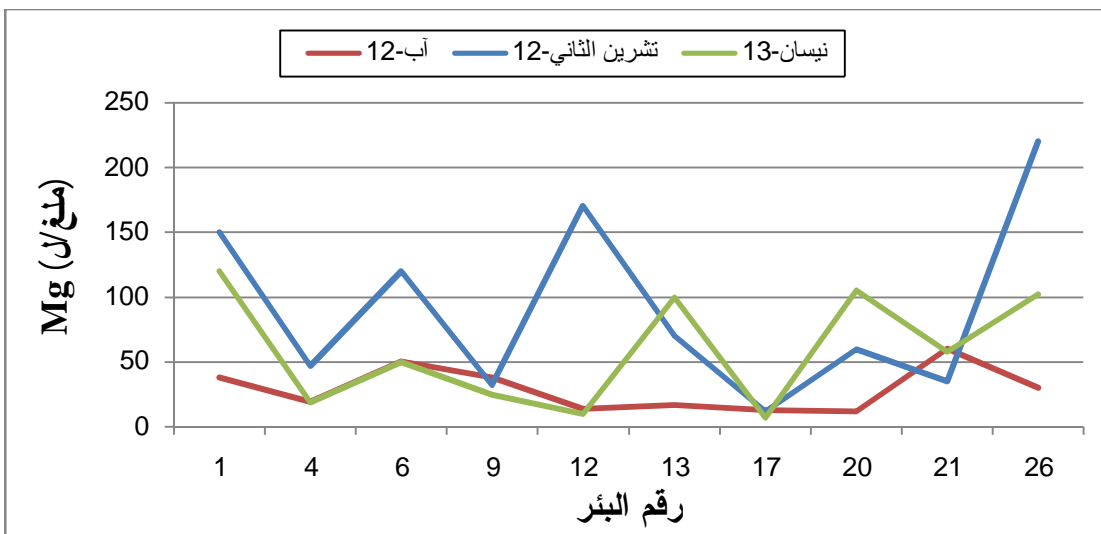


الشكل (4-4) مخطط يبيّن قيم شاردة الكلوريد لعينات المياه الجوفية المقطوفة من منطقة الدراسة

ويُبيّن الشكلان (4-5 ، 4-6) ، تغيرات قيم شاردة الكالسيوم Ca ، وشاردة المغنيزيوم Mg ، على التوالي، ويظهر من الشكلين أنّ تغيرات قيم هذه الشوارد خلال فترات التحليل الثلاث مختلفة نوعاً ما. إنّ مصدر وجود شاردتي الكالسيوم، والمغنيزيوم في المياه الجوفية لمنطقة الدراسة يعود لقيمتيهما في مياه الأمطار الراشحة، وما تحصل عليه هذه المياه من انحلالها بشكل طبيعي من مركباتهما، والتي تتمثل بكاربونات الكالسيوم (الكالسيت)، وكربونات الكالسيوم والمغنيزيوم (الدولوميت) ، والجص، وهذا ما يفسر ارتفاع قيم شاردة المغنيزيوم خلال شهري تشرين الثاني ونيسان، وانخفاضها في شهر آب. كما نلاحظ ارتفاع شاردة الكالسيوم في الآبار (12 ، 20 ، 26) وهو ما يتوافق مع الشكل (4-3) الذي يُظهر ارتفاع شاردة الكبريتات في نفس المواقع، وهذا ما يؤكد دور التوضعات الجصية في ارتفاع هاتين الشاردتين.



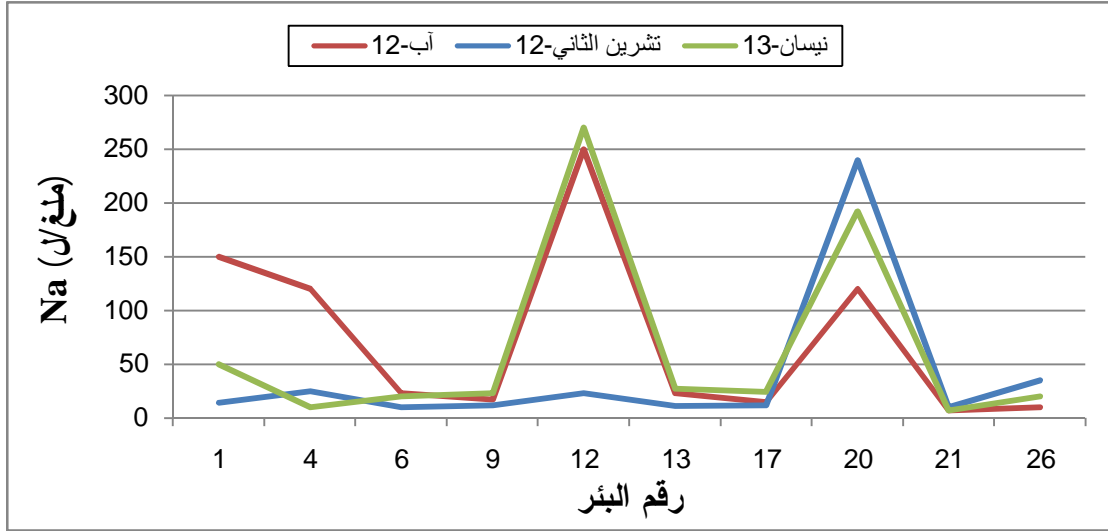
الشكل (4-5) مخطط يبيّن قيم شاردة الكالسيوم لعينات المياه الجوفية المقطوفة من منطقة الدراسة



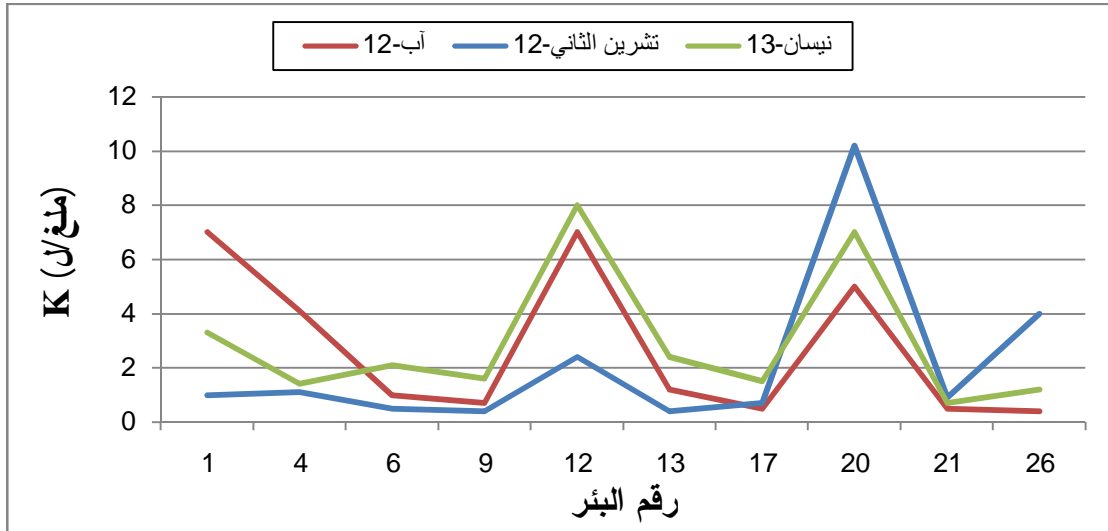
الشكل (4-6) مخطط يبيّن قيم شاردة المغنيزيوم لعينات المياه الجوفية المقطوفة من منطقة الدراسة

في حين يُفسَّر وجود كمية لا بأس بها من شوارد الصوديوم، والبوتاسيوم كما هو واضح في الشكلين (4-7 ، 4-8) في مياه بعض الآبار (1 ، 12 ، 20) ، إلى التجوية بغاز ثاني أكسيد الكربون للبلاجيوكلازات، وغيرها من السيليكات الموجودة حيث تنتشر بعض الصخور والنواتج البازلتية السطحية منها، والمندسة.

كما يمكن أن يكون تشكُّل الصوديوم هو نتيجة لوجود سماكة لا بأس بها من الغضاربات على السطح، تأثرت بعمليات التجوية مما أدى إلى تشكل رقائق من الهاليت ضمنها تذوب بفعل مياه الأمطار، وتتسرب إلى المياه الجوفية.



الشكل (4-7) مخطط يبيِّن قيم شاردة الصوديوم لعينات المياه الجوفية المقطوفة من منطقة الدراسة

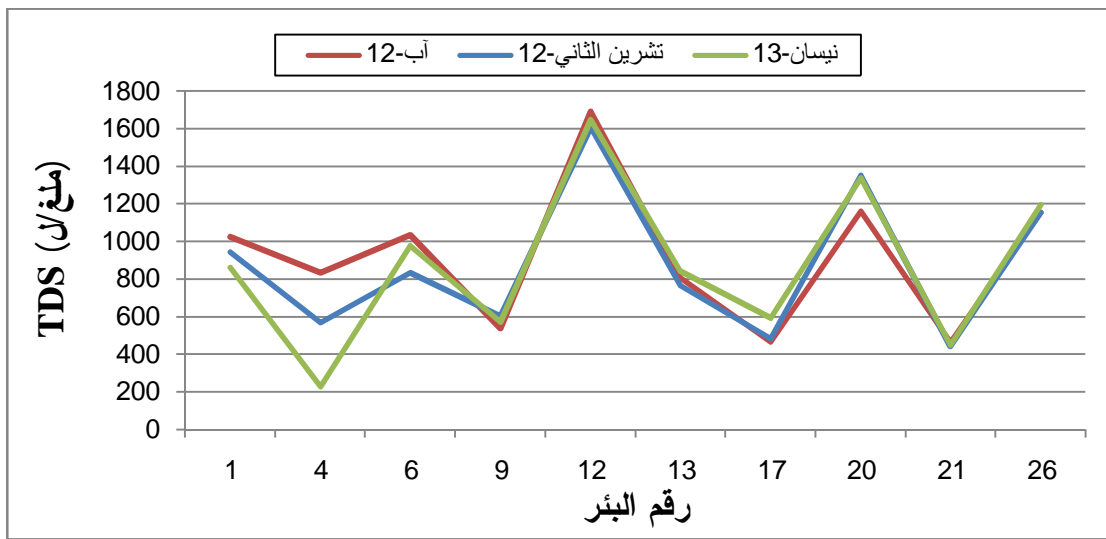


الشكل (4-8) مخطط يبيِّن قيم شاردة البوتاسيوم لعينات المياه الجوفية المقطوفة من منطقة الدراسة

يتضح لنا من خلال نتائج دراسة توزيع تراكيز العناصر الرئيسية في منطقة الدراسة ما يلي:

1. وجود عدم توافق في توزيع الأيونات الرئيسية في هذه المنطقة، واتجاه حركة المياه الجوفية، وهذا يعود برأينا إلى الطبيعة الليتولوجية لصخور المنطقة، وانعكاسها على الخواص الرشحية، حيث تتصف هذه المنطقة في بعض أجزائها بصفات رشحية ضعيفة نسبياً، حيث تتراوح قيمة عامل الرشح في هذه الأجزاء بين (1 - 6) م/يوم ، مما يجعل حركة المياه فيها تتم ببطء مقارنة مع أجزاء أخرى من المنطقة تصل فيها قيمة عامل الرشح إلى (53) م/يوم [الجدول (3-5)] ، وبالتالي فإنها لا تسمح بالنقل الجيد لنواتج العمليات الفيزيا - كيميائية التي تحدث بين المياه والصخور، ويتجلى ذلك من خلال الارتفاع النسبي للملوحة، إذ تصل الملوحة إلى (1000 ملغ/ل) في بعض الآبار وتتجاوز الـ (1300 و 1600 ملغ/ل) ، في البئرين (20 ، 12) على التوالي اللذين يُمثلان قريتي القاقعية، ومنجيلة، الشكل (4-9). حيث أن قيمة عامل الرشح في البئرين المذكورتين تتراوح بين (10 - 20) م/يوم . [الفصل الثالث]

2. عدم وجود تغيرات في الملوحة الإجمالية للمياه الجوفية ضمن آبار المنطقة باستثناء البئر (4) حيث وصلت الناقلية المائية فيها إلى 1252 م²/يوم الجدول (3-5)، وهذه تعتبر صفة مميزة للأجزاء والمناطق التي تتصف بطريق رشح قصيرة، الشكل (4-9).



الشكل (4-9) مخطط يبين قيم الملوحة لعينات المياه الجوفية المقطوفة من منطقة الدراسة

3. تتميز المنطقة بوجود نمطين هيدروكيميائيين أساسيين (الجدول 1-4 ، 2-4 ، 3-4): نمط هيدروكربوناتي واسع الانتشار في أغلب أرجاء المنطقة، ونمط سولفاتي ينتشر في بعض آبار المنطقة (ثلاثة آبار) تتركز في شمال شرق وشرق منطقة الدراسة، وهي الآبار نوات الأرقام (12 ، 20)، بالإضافة إلى البئر رقم (26) القريب من مجرى نهر الصنوبر.

2.1.4. السحنات الهيدروكيميائية السائدة

لقد تمَّ طرح العديد من التصنيفات لأنماط الجيوكيميائية للمياه الجوفية، وهي قائمة على أسس مختلفة، وتملك أهمية علمية وتطبيقية، إلا أنَّه حتى الوقت الحاضر لا يوجد تصنيف وحيد، وشامل يمكن اعتماده [16 , 29 , 31]. وفي الوقت الحاضر يُعد التصنيف الذي يقسم السحنات الهيدروكيميائية حسب الشاردة السالبة المسيطرة، هو الأكثر قبولاً واستخداماً، والذي على أساسه يتمُّ التمييز بين ثلاث سحنات رئيسية (حيث تؤخذ الشوارد بالشكل المكافئ النسبي) وهي (هيدروكربوناتية، سولفاتية، كلوريدية).

وكل سحنة من هذه السحنات وحسب الشاردة الموجبة المسيطرة تقسم بدورها إلى ثلاث مجموعات: كلسية، مغنيزية، وصودية [16].

تتصف السحنات الهيدروكيميائية الجوفية في منطقة الدراسة بتنوعها، إذ أنها تتأثر بالعديد من العوامل الطبيعية، والاصطناعية، وبشكل أساسي العوامل الجيولوجية، والهيدروديناميكية. وعموماً نلاحظ من قيم متوسطات نتائج فترات التحاليل الثلاث الجدول (4-4)، السحنات الهيدروكيميائية الأساسية الآتية، التي تقسم كلاً منها إلى عدة مجموعات حسب الشاردة الموجبة المسيطرة:

1. السحنة الهيدروكربوناتية وتتصف في منطقة الدراسة بالتتابع التالي:



وهذه السحنة توجد في الآبار (1 ، 4 ، 12) وهي تعكس تركيباً بيكربوناتياً مغنيزياً، أو كلسياً، للمياه الجوفية العذبة، وتشير إلى مرحلة أو طور أولي في تطور النمط الكيميائي للمياه [16].

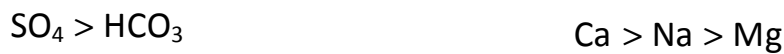


وتوجد هذه السحنة في الآبار ذوات الأرقام (6 ، 9 ، 13 ، 21).



وهذه السحنة توجد في البئرين (17 ، 26).

2. السحنة السولفاتية وتأخذ التتابع التالي في البئر رقم (20):



وهذا التتابع يشير إلى أنَّ النمط الكيميائي للمياه غني بالفلزات السولفاتية الناشئة من انحلال توضعاتها، وربما من الاستعمال المفرط للأسمدة السولفاتية.

جدول (4-4) متوسطات نتائج التحاليل والقياسات التي أجريت في منطقة الدراسة

الرقم	المنطقة الطبقة الحاملة	Unit	الكاتيونات				الأنيونات			التركيب الكيميائي للمياه (علاقة كورولوف)
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	
			Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	
1	المعكس fQ ₃	ppm	90	103	4	71	577	150	100	$M_{0.94} \frac{HCO_3 61 SO_4 20 Cl 18}{Mg 52 Ca 27 Na 19} pH 7.59$
		epm	4.50	8.40	0.10	3.08	9.45	3.12	2.81	
		epm%	27.98	52.23	0.62	19.15	61.44	20.28	18.27	
4	رويسة الحرش fQ ₃	ppm	88	28	2	52	330	111	38	$M_{0.54} \frac{HCO_3 61 SO_4 26 Cl 12}{Ca 48 Mg 25 Na 25} pH 7.42$
		epm	4.40	2.28	0.05	2.26	5.40	2.31	1.07	
		epm%	48.94	25.36	0.55	25.13	61.50	26.30	12.18	
6	الحمى eQ ₃	ppm	97	73	1	18	313	81	152	$M_{0.94} \frac{HCO_3 46 Cl 38 SO_4 15}{Mg 51 Ca 41} pH 7.46$
		epm	4.85	5.95	0.02	0.78	5.13	1.68	4.28	
		epm%	41.81	51.29	0.17	6.72	46.25	15.14	38.59	
9	فديو N ₂	ppm	107	32	1	17	337	58	53	$M_{0.57} \frac{HCO_3 67 Cl 18 SO_4 14}{Ca 61 Mg 29} pH 7.33$
		epm	5.53	2.61	0.02	0.73	5.52	1.20	1.49	
		epm%	61.42	29.96	0.22	8.38	67.23	14.61	18.14	
12	منجيبلا fQ ₄	ppm	227	65	6	181	530	399	235	$M_{1.64} \frac{HCO_3 36 SO_4 35 Cl 28}{Ca 46 Na 31 Mg 21} pH 7.33$
		epm	11.35	5.30	0.15	7.86	8.68	8.31	6.61	
		epm%	46.02	21.49	0.60	31.87	36.77	35.21	28.00	
13	البارد mQ ₂	ppm	120	62	1	20	427	92	92	$M_{0.80} \frac{HCO_3 60 Cl 22 SO_4 16}{Ca 50 Mg 42} pH 7.33$
		epm	6.00	5.06	0.02	0.86	7.00	1.91	2.59	
		epm%	50.25	42.37	0.16	7.20	60.86	16.60	22.52	
17	المشيرة mQ ₁	ppm	122	11	1	17	310	61	25	$M_{0.51} \frac{HCO_3 72 SO_4 18}{Ca 78 Mg 11} pH 7.58$
		epm	6.10	0.89	0.02	0.73	5.08	1.27	0.70	
		epm%	78.81	11.49	0.25	9.43	72.05	18.01	9.92	
20	القاقعية N ₂	ppm	222	59	7	184	363	763	43	$M_{1.28} \frac{SO_4 68 HCO_3 25}{Ca 46 Na 33 Mg 19} pH 7.66$
		epm	11.10	4.81	0.17	8.00	5.95	15.89	1.21	
		epm%	46.09	19.97	0.70	33.22	25.81	68.93	5.24	
21	الصنوبر mQ ₂	ppm	40	51	1	8	253	40	42	$M_{0.45} \frac{HCO_3 67 Cl 19 SO_4 13}{Mg 63 Ca 30} pH 7.63$
		epm	2.00	4.16	0.02	0.34	4.14	0.83	1.18	
		epm%	30.67	63.80	0.30	5.21	67.31	13.49	19.18	
26	الضاهرية N ₂	ppm	110	117	2	22	520	250	48	$M_{1.16} \frac{HCO_3 56 SO_4 34}{Mg 59 Ca 34} pH 7.32$
		epm	5.50	9.55	0.05	0.95	8.52	5.20	1.35	
		epm%	34.26	59.50	0.31	5.91	56.53	34.50	8.95	

3.1.4. الأملاح المفترضة

تشير السيطرة الأيونية (الأنماط الجيوكيميائية) إلى وجود عدد من الأملاح في المياه الجوفية لمنطقة الدراسة، قمنا بحسابها في عينات المياه المحللة خلال فترات التحاليل الثلاث، وتم أخذ القيم الوسطية لهذه الفترات، ونعرض النتائج في الجدول (4-5) وعلى المخطط البياني الذي يوضحه الشكل (4-10).

من خلال الجدول (4-5) يتضح أنه يتشكل في العينات المائية المدروسة أربع مجموعات ملحية، وهي:

1. المجموعة الأولى:

تشمل تراكيز الأملاح $\{ \text{NaCl} , \text{MgCl}_2 , \text{MgSO}_4 , \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 , \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \}$ ، التي تمثلها الآبار: (6 ، 9 ، 13 ، 21 ، 26).

2. المجموعة الثانية:

تشمل تراكيز الأملاح $\{ \text{NaCl} , \text{Na}_2\text{SO}_4 , \text{MgSO}_4 , \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 , \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \}$ ، في البئرين (1 ، 4).

3. المجموعة الثالثة:

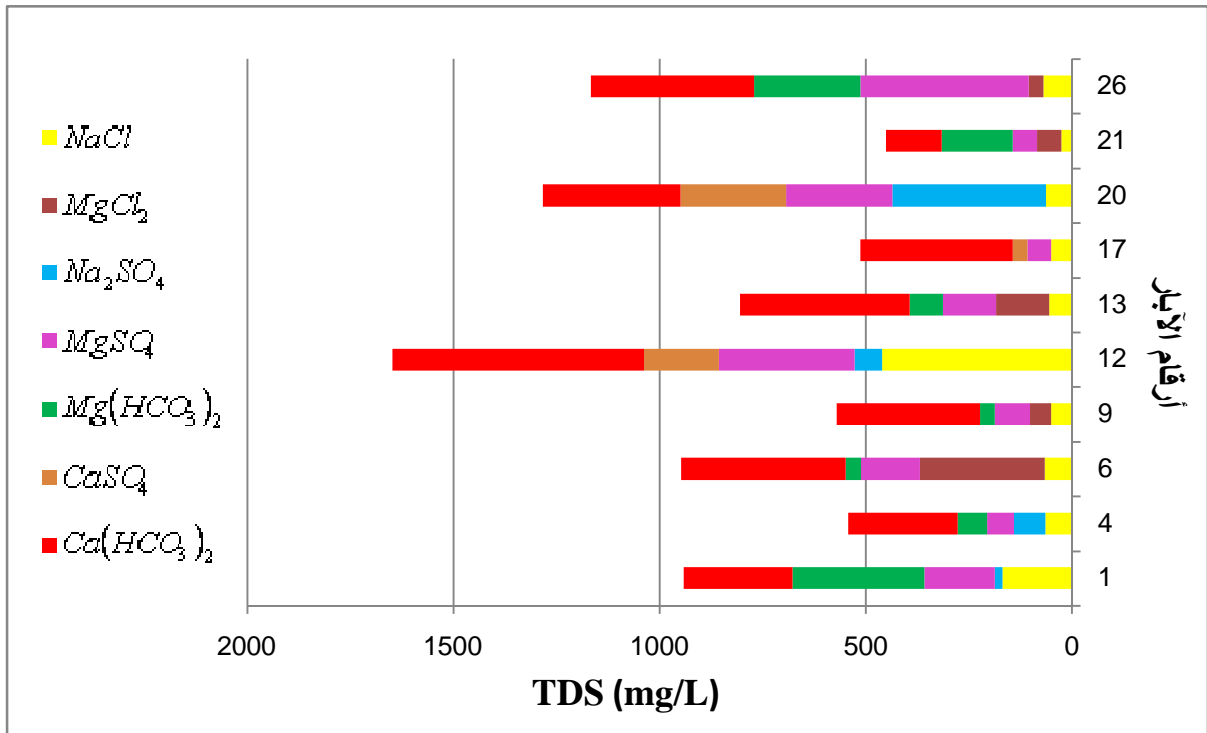
تشمل تراكيز الأملاح $\{ \text{NaCl} , \text{Na}_2\text{SO}_4 , \text{MgSO}_4 , \text{CaSO}_4 , \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \}$ ، في البئرين (12 ، 20).

4. المجموعة الرابعة:

حيث شملت تراكيز الأملاح $\{ \text{NaCl} , \text{MgSO}_4 , \text{CaSO}_4 , \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \}$ ، التي يمثلها البئر رقم (17).

جدول (5-4) التركيب الملحي لعينات المياه المحلّلة في منطقة الدراسة

رقم البئر	الأملاح المفترضة بالشكل المكافئ النسبي (epm%)							$\frac{rCl - r(K + Na)}{rMg} < 1$	$\frac{r(K + Na) - rCl}{rSO_4} < 1$
	Na Cl	Ca(HCO ₃) ₂	CaSO ₄	Mg(HCO ₃) ₂	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄	MgCl ₂		
1	18	28	-	34	18	2	-	-	0.07
4	12	49	-	13	12	14	-	-	0.51
6	7	42	-	4	15	-	32	0.61	-
9	9	61	-	6	15	-	9	0.31	-
12	28	37	11	-	20	4	-	-	0.12
13	7	51	-	10	16	-	16	0.35	-
17	10	72	7	-	11	-	-	0.02	-
20	5	26	20	-	20	29	-	-	0.41
21	6	30	-	38	13	-	13	0.21	-
26	6	34	-	22	35	-	3	0.04	-



الشكل (4-10) مخطط بياني يوضح ملوحة المياه الجوفية في منطقة الدراسة والأملاح المتشكلة فيها

ويتضح من خلال عينات المياه المأخوذة من الآبار (1 ، 4 ، 12 ، 20) ، أنه يتشكل ملح (Na_2SO_4) وذلك نتيجةً لذوبان الفلزات السولفاتيّة (الجص، الأنهدريت، الميرابيليت) الموجود في بعض أجزاء هذه المنطقة والمناطق المجاورة، وخصوصاً في جزئها الشرقي والشمالي الشرقي حيث تصل سماكته إلى 50 م ، كما توجد بعض الفلزات السولفاتيّة بشكل مبعثر ضمن اللحيات الرباعية المنتشرة بكثرة في هذه المنطقة، وهو يدل بدوره على منشأ جوي للمياه وهنا تتحقق العلاقة الآتية ($\frac{r(K + Na) - rCl}{rSO_4} < 1$) (الجدول (4-5)).

فيما عينات المياه المأخوذة من الآبار (6 ، 9 ، 13 ، 21 ، 26) أظهرت وجوداً لملح ($MgCl_2$) وهذا يمكن إرجاعه إلى وجود رسوبيات بحرية تحتوي على فلزات المغنيزيوم والكلوريد في هذه المنطقة، إضافةً إلى تواجد الكلوريد من مياه الأمطار فيها بنسبة لا بأس بها لقربها من البحر، وفي هذه الآبار تتحقق العلاقة ($\frac{rCl - r(K + Na)}{rMg} < 1$) ، وهكذا فإنّ الأمطار التي تعتبر أهم مصادر التغذية الأساسية للمياه الجوفية في هذه المنطقة تلعب دوراً أساسياً في تشكيل التركيب الكيميائي للمياه الجوفية.

4.1.4. النسب الجيوكيميائية

عند تنفيذ الدراسات الهيدروجيوكيميائية بشكل خاص، وفي كافة مناحي الدراسات الهيدروجيولوجية بشكل عام، يتم اللجوء أحياناً إلى تحديد النسب الجيوكيميائية التي تُستخدم عادةً كأداة للكشف عن تلوث المياه الجوفية العذبة في المناطق الشاطئية بالمياه البحرية [16] ، وفي منطقة الدراسة استخدمنا النسب الآتية:

ȳ النسبة $\frac{Na}{Cl}$: تعبر عن موازنة كلور الصوديوم في المياه (مُقَدَّرَةً بـ ملغ - مكافئ)، وهي تبلغ في المياه البحرية (0.84) وأقل، بينما تصل في المياه العذبة إلى قيم أكبر من (1) ملغ - مكافئ، وهي تشير إلى منشأ قاري للمياه.

ȳ النسبة $\frac{SO_4}{Cl}$: وتبلغ (0.08) في المياه البحرية، وأكبر من (0.5) في المياه العذبة، لذلك تدل القيمة العالية لهذه النسبة إلى منشأ غير بحري للمياه.

ȳ النسبة $\frac{Ca}{Mg}$: تبلغ في المياه البحرية (0.19) ، وتتجاوز قيمتها الـ (1) في المياه العذبة.

ȳ النسبة $\frac{Cl}{HCO_3}$: قيمتها في مياه البحر أعلى من الـ (1) ، وتقل عن (0.5) في المياه العذبة.

ويُظهر الجدول (4-6) النسب الجيوكيميائية للقيم المتوسطة لنتائج فترات التحاليل الثلاث التي قمنا بها في منطقة الدراسة الجدول (4-4)، انطلاقاً من التراكيز الأيونية بعد تحويلها إلى قيم مقدرة بالميلي مكافئ في اللتر.

جدول (4-6) النسب الجيوكيميائية للقيم المتوسطة لنتائج التحاليل الكيميائية

النسب الجيوكيميائية				رقم البئر
$\frac{Na}{Cl}$	$\frac{Ca}{Mg}$	$\frac{Cl}{HCO_3}$	$\frac{SO_4}{Cl}$	
1.09	0.53	0.29	1.11	1
2.11	1.92	0.19	2.15	4
0.18	0.81	0.83	0.39	6
0.48	2.11	0.26	0.80	9
1.18	2.14	0.76	1.25	12
0.33	1.18	0.37	0.73	13
1.04	6.85	0.13	1.81	17
6.61	2.30	0.20	13.13	20
0.28	0.48	0.28	0.70	21
0.70	0.57	0.15	3.85	26

ومن خلال استعراض نتائج الجدول (4-6) تبين لنا الآتي:

§ النسبة $\frac{Na}{Cl}$: لقد تجاوزت هذه النسبة القيمة (1) ملغ - مكافئ، في الآبار ذوات الأرقام (1 ، 4 ، 12 ، 17 ، 20) ممّا يشير إلى أنّ الصوديوم هو من الشوارد المسيطرة في مياه هذه الآبار، وهذا يعني أنّ المياه تُنسب إلى المياه الطبقيّة (ذات المحتوي الملحي الضعيف، أو مياه ضعيفة الملوحة).

بينما بلغت هذه النسبة في بقية الآبار أقل من القيمة (0.84) والتي تشير إلى المياه البحرية. وحسب بعض الباحثين (فيلاسكو وغيره) [16] ، تدل هذه النسبة على أنه في هذه المياه إضافة إلى وجود الكلوريد، والصوديوم يلاحظ زيادة في كمية شاردة الهيدروكربونات التي ترد إلى المياه بهيئة حمض الكربون مع الهطولات المطرية.

§ النسبة $\frac{Ca}{Mg}$: تجاوزت قيمتها الـ (1) في الآبار (4 ، 9 ، 12 ، 13 ، 17 ، 20)، وهذا يدل على أنّ المياه في هذه الآبار هي مياه عذبة، أما الآبار التي انخفضت قيمتها عن الواحد هي (1 ، 6 ، 21 ، 26) ، ولكن قيم هذه النسبة في الآبار المذكورة تجاوزت القيمة (0.19) التي تعبر عن مياه البحر، وبالتالي فهي تعتبر مياه عذبة أيضاً.

§ النسبة $\frac{Cl}{HCO_3}$: جميع قيم هذه النسبة كانت أصغر من (0.5) في جميع الآبار باستثناء البئرين (6 ، 12) ، وبالتالي فإنّ المياه هنا عبارة عن مياه عذبة، وبالنسبة للبئرين المذكورتين كانت قيمتها أكبر من (0.5) ولكنها أصغر من الواحد، وبالتالي يمكن أن نقول أنّ مياه هذه الآبار هي مياه عذبة أيضاً لأنّ هذه النسبة تكون أعلى من (1) في المياه البحرية.

§ النسبة $\frac{SO_4}{Cl}$: جميع قيم هذه النسبة أكبر من (0.5) في جميع الآبار ما عدا البئر (6)، حيث بلغت (0.39) ولكنها لم تصل إلى (0.08) التي تعبر عن تأثير المياه البحرية، وبالتالي فإنّ هذه المياه هي مياه عذبة في جميع الآبار، بالإضافة إلى أنّ القيم العالية لهذه النسبة تشير إلى منشأ غير بحري لهذه المياه (البئر 20).

2.4. الخصائص الهيدروكيميائية للمياه السطحية في منطقة الدراسة

تمّ اختيار ستة مواقع سطحية في منطقة الدراسة، الشكل (4-1)، وقد شملت هذه المواقع ثلاثة مواقع على نهر الكبير الشمالي أُخِذَت العينات المائية منها من مياه النهر مباشرةً، أولها قبل دخول نهر القش والذي يُعتبر أهم رافد لنهر الكبير، وثانيها بعد دخول نهر القش، أما الموقع الثالث فهو عند معامل - جود وحميشو - على جسر اللاذقية - دمشق القريب من مصب النهر. وبالنسبة للمواقع الثلاثة الأخرى فقد أُخِذَت العينات من مياه نهر الصنوبر بدءاً من خروج النهر من بحيرة سد الثورة

وحتى نهايته بالقرب من المصب في البحر، وقد شملت هذه المواقع الثلاث مكان خروج النهر من البحيرة، وموقع قرب المصب، وموقع آخر بينهما.

جرى قطف عينات مائية من المواقع المذكورة لإجراء بعض التحاليل الكيميائية لها مخبرياً، بالإضافة إلى أنه تم أخذ بعض القراءات الحقلية لدرجة حرارة المياه، وقيمة الناقلية الكهربائية، وقيمة الحموضة، والعمارة أيضاً.

وقد تم من أجل المعاملات المقيسة حقلياً عرض نتائج القيم المتوسطة لفترات القياس الثلاث (آب 2012 ، تشرين الثاني 2012 ، نيسان 2013) التي قمنا بها من خلال الجدول (4-7).

جدول (4-7) نتائج القيم المتوسطة للمعاملات المقيسة حقلياً

متوسطات القياسات الحقلية لعينات المياه السطحية						
النهر	رقم الموقع	المنطقة	العمارة NTU	الناقلية ms/cm	pH	درجة الحرارة °c
نهر الكبير الشمالي	1	قبل دخول نهر القش	34	909	7.82	19.0
	2	بعد دخول نهر القش	39	874	7.90	18.4
	3	جود وحميشو	45	922	7.92	19.1
نهر الصنوبر	4	بعد سد الثورة	38	711	8.02	16.8
	5	منتصف المسافة بين السد والمصب	40	880	7.74	18.1
	6	قرب المصب	41	859	7.73	18.7

وتبين من نتائج الدراسة الآتي:

\bar{y} إن الاختلافات في قيمة درجة حرارة المياه السطحية طفيفة في جميع المواقع، حيث تراوحت بين (16.8) و (19) درجة مئوية.

\bar{y} أما فيما يخص درجة pH ، فيلاحظ أن تغيراتها طفيفة وتتراوح بين (7.7 - 8) في كافة المواقع المدروسة.

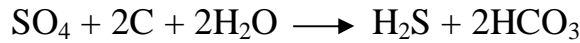
\bar{y} وفيما يتعلق بتغيرات قيم الناقلية الكهربائية، التي تعبر فعلياً عن قيم الملوحة، يمكن أن نميز أنه في الموقع الأخير من كلا النهرين قد ازدادت قيمة الناقلية، وهذا يعود لقرب الموقعين من بعض المنشآت الصناعية الموجودة في المنطقة.

\bar{y} وفيما يخص التغيرات المكانية للعمارة، فيلاحظ أن قيمتها تراوحت بين (34 - 45) والموقع الأخير في كلا النهرين القريب من المنشآت الصناعية كان الأكثر عمارة.

أما فيما يتعلق بالشوارد الرئيسية، الجدول (4-8)، يمكن أن نلاحظ ما يلي:

بالنسبة لشاردة البيكربونات، فقد انخفضت في نهر الكبير الشمالي في الموقع الثاني (بعد دخول نهر القش)، مقارنةً بالموقع الأول (قبل دخول نهر القش)، ثم ارتفعت في الموقع الثالث (جود وحميشو). أما في نهر الصنوبر فقد أخذت بالازدياد من الموقع الأول وحتى الموقع الثالث.

أما الكبريتات فيلاحظ أنّ الاختلافات في قيمها صغيرة في مواقع نهر الكبير الشمالي، بينما في نهر الصنوبر فقد كانت (119 ملغ/ل) في الموقع الأول، ثم ازدادت في الموقع الثاني وبلغت (200 ملغ/ل)، لتعود وتنخفض في الموقع الأخير إلى (146 ملغ/ل)، وهذا بسبب وجود مواد عضوية في المياه تعمل على نزع الكبريتات منها بعملية الارجاع البيوكيميائي وفق التفاعل الآتي:



ويلاحظ أنّ الكالسيوم يسلك سلوكاً مشابهاً تقريباً لسلوك الكبريتات، خاصةً في الموقع الثاني من نهر الصنوبر، وهذا يؤكد وجود مصدر مشترك للشاردين في هذه المياه، وهو وجود توضعات جصية في هذا الجزء من منطقة الدراسة.

أما المغنيزيوم فنلاحظ ارتفاع قيمته نسبياً في الموقع الثالث (جود وحميشو) حيث بلغت حوالي (68 ملغ/ل)، و (37 ملغ/ل) تقريباً في الموقعين الأول والثاني من نهر الكبير الشمالي. بينما كانت قيمة المغنيزيوم في مواقع نهر الصنوبر الثلاث ثابتة تقريباً حيث تراوحت بين (28 - 31 ملغ/ل).

ويمكن ملاحظة وجود علاقة ارتباط بين تركيز الكلوريد والصوديوم، وهذا طبيعي لأنهما ناتجان من انحلال ملح الطعام. إلا أنّ هناك شواذ في الموقع الثالث من نهر الصنوبر.

بالنسبة لشاردة البوتاسيوم فقد كانت قيمها قليلة جداً حيث تراوحت بين (1.2 - 1.9 ملغ/ل).

أخيراً فيما يتعلق بنوعية المياه السطحية في المواقع المدروسة، فيلاحظ بأنها من النمط البيكربوناتي الكلسي المغنيزي في جميع المواقع، باستثناء الموقع الثالث على نهر الكبير الشمالي (جود وحميشو)، وهي من النمط البيكربوناتي المغنيزي الكلسي جدول (4-8)، حيث لوحظ زيادة في شاردة المغنيزيوم مترافقةً مع زيادة في الملوحة، وقد يعود ذلك إلى تأثير مياه الصرف على مياه النهر في هذا الموقع، أو بسبب قربها من بعض المنشآت الصناعية الموجودة في المنطقة.

وبالتالي نستنتج بأنّ سحنة المياه السطحية متشابهة مع سحنة المياه الجوفية في هذه المنطقة، وهذا طبيعي كون المياه السطحية تتغذى على حساب المياه الجوفية وعلى حساب مياه الصرف الصحي والزراعي التي تصل إلى مياه النهرين أحياناً. ويُربط هذا الاستقرار بعدم وجود تغيرات جوهريّة (استقرار التغذية، عدم التنوع الليتولوجي الكبير) تؤثر على الوضع المائي العام في المنطقة بشكل عام.

جدول (4-8) القيم المتوسطة لنتائج التحاليل الثلاث التي قمنا بها لعينات المياه السطحية

اسم النهر	رقم وموقع أخذ القياسات	Unit	الكاتيونات				الأنيونات			التركيب الكيميائي للمياه (علاقة كورولوف)
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	
			Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	
نهر الكبير الشمالي	(1) قبل دخول نهر القش	ppm	130	38	1.9	28	344	183	33	$M_{0.59} \frac{HCO_3 54 SO_4 36}{Ca59 Mg28 Na11} pH7.82$
		epm	6.50	3.10	0.04	1.21	5.63	3.81	0.92	
		epm%	59.90	28.57	0.36	11.15	54.34	36.77	8.88	
	(2) بعد دخول نهر القش	ppm	125	35.2	1.9	27	320	176	33	$M_{0.56} \frac{HCO_3 53 SO_4 37}{Ca60 Mg27 Na11} pH7.90$
		epm	6.25	2.87	0.04	1.17	5.24	3.66	0.92	
		epm%	60.50	27.78	0.38	11.32	53.36	37.27	9.36	
	(3) جود وحميشو	ppm	88	68	1.9	25	377	202	35	$M_{0.59} \frac{HCO_3 51 SO_4 39}{Mg50 Ca39} pH7.92$
		epm	4.40	5.55	0.04	1.08	5.52	4.20	0.98	
		epm%	39.74	50.13	0.36	9.75	51.58	39.25	9.15	
نهر الصنوبر	(4) بعد سد الثورة	ppm	85	28	1.2	25	267	119	20	$M_{0.46} \frac{HCO_3 59 SO_4 33}{Ca55 Mg29 Na14} pH8.02$
		epm	4.25	2.28	0.03	1.08	4.37	2.47	0.56	
		epm%	55.62	29.84	0.39	14.13	59.05	33.37	7.56	
	(5) منتصف المسافة بين السد والمصب	ppm	120	29.3	1.9	55	310	200	28	$M_{0.57} \frac{HCO_3 50 SO_4 41}{Ca55 Mg22 Na22} pH7.74$
		epm	6.00	2.39	0.04	2.39	5.08	4.16	0.78	
		epm%	55.45	22.08	0.36	22.08	50.69	41.51	7.78	
	(6) قرب المصب	ppm	125	31	1.4	36	320	146	35	$M_{0.55} \frac{HCO_3 56 SO_4 32 Cl10}{Ca60 Mg24 Na15} pH7.73$
		epm	6.25	2.53	0.03	1.56	5.24	3.04	0.98	
		epm%	60.27	24.39	0.28	15.04	56.58	32.82	10.58	

3.4. التحليل والتقييم الإحصائي

يُعتبر التحليل الإحصائي أداة جيدة يمكن تطبيقها لمعرفة الظروف والمتغيرات التي تشير إلى العوامل الأساسية المؤثرة على الخواص الكيميائية للمياه الجوفية [50 , 76]، وقد استخدمت هذه الأداة في هذا البحث بهدف التخطيط الأمثل للاستعمالات المختلفة للموارد في هذه المنطقة.

لتحديد معاملات الارتباط بين المتغيرات الكيميائية الأساسية، سنعتمد متوسط نتائج التحاليل التي أُجريت في الفترات الثلاث الجدول (4-4)، وسناقش نتائج هذه التحاليل.

ومن خلال تحديد معاملات الارتباط بين المتغيرات الكيميائية الأساسية، باستخدام برنامج (SPSS²⁰) يتبين لنا الآتي: الجدول (4-9)

\bar{y} علاقة ارتباط إيجابية قوية بين الملوحة TDS ، وكل من: Na ، Cl ، K ، Ca ، SO₄ ، (شوارد الملوحة)، حيث تبلغ معاملات الارتباط فيها وعلى التوالي ما يلي: (r = 0.73 , r = 0.80 , r = 0.78 , r = 0.68 , r = 0.78).

\bar{y} علاقة ارتباط إيجابية قوية بين البوتاسيوم والصوديوم (r = 0.97) ، وهذا يدل على المنشأ الواحد لهاتين الشاردين في المياه الجوفية في هذه المنطقة، والعائد إلى وجود سماكة لا بأس بها من الغضاريات على السطح، التي تأثرت بعمليات التجوية مما أدى إلى تشكل رقائق من الهاليت (NaCl) ضمنها تذوب بفعل مياه الأمطار، وتتسرب إلى المياه الجوفية.

\bar{y} علاقة ارتباط إيجابية قوية بين HCO₃ و Mg ، (r = 0.73) ، مما يدل على أنهما من مصدر مشترك وهو انحلال الصخور الدولوميتية والسيليكات.

\bar{y} علاقة ارتباط إيجابية متوسطة بين النترات والكلوريد، (r = 0.57) ، وهذا يشير إلى ارتباطها بالمخصبات الزراعية، وبمياه الصرف الصحي، وربما بانحلال الأسمدة والمواد العضوية المتراكمة في التربة، نتيجة النشاطات الزراعية المكثفة في المنطقة. وبالتالي وجود بؤر تلوث لمياه الصرف الزراعي والصحي في المنطقة [21 , 41] .

\bar{y} علاقة ارتباط إيجابية جيدة بين الأمونيا والبوتاسيوم (r = 0.64)، وهذا يعود لاستخدام الأسمدة الحاوية عليهما، حيث يعمل البوتاسيوم على عرقلة تثبيت الأمونيوم، وهذه العملية (تثبيت الأمونيوم) يجب أخذها بعين الاعتبار وخاصةً عند إضافة الأسمدة الحاوية على الأمونيوم إلى الأراضي الغنية بالطين، لأن ذلك يقلل من كفاءة السماد المضاف.

\bar{y} علاقة ارتباط إيجابية قوية بين الفوسفات والنترت (r = 0.95)، وهذا ما يؤكد استخدامها كأسمدة زراعية.

\bar{y} علاقة ارتباط ضعيفة بين شاردي الكبريتات والنترات، (r = 0.11) ، وهذا يعني أنه ليس لشاردة الكبريتات في النقاط المائية المدروسة منشأ عضوي، وإن وجد فهو ضعيف جداً.

\bar{y} علاقة ارتباط إيجابية قوية بين كل من الكبريتات (السولفات) SO_4 والكالسيوم Ca والبوتاسيوم K ، حيث بلغت قيمة عامل الارتباط فيهما على التوالي ($r = 0.90$, $r = 0.83$) ، وهذا يشير إلى التوافق في توزيع هاتين الشاردتين (الكبريتات والكالسيوم) في المياه الجوفية لجهة وجود مصادر واحدة لها، هي الصخور الجصية المنتشرة في بعض أجزاء هذه المنطقة، واستخدام كبريتات البوتاسيوم كسماد أساسي للترب الزراعية المتواجدة في المنطقة.

الجدول (4-9) معاملات الارتباط بين المكونات الكيميائية الأساسية للعينات المائية المحللة

Correlations

	TDS	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	NO ₂	NH ₄	PO ₄
TDS	1											
Na	.783	1										
K	.786	.975	1									
Ca	.801	.881	.817	1								
Mg	.561	.110	.257	.016	1							
HCO ₃	.671	.382	.473	.348	.731	1						
SO ₄	.734	.883	.904	.835	.217	.270	1					
Cl	.686	.447	.367	.444	.307	.465	.140	1				
NO ₃	.215	.384	.235	.402	-.409	-.213	.114	.571	1			
NO ₂	.084	.376	.266	.230	-.354	-.034	.152	.140	.137	1		
NH ₄	.392	.608	.644	.604	.071	-.039	.873	-.215	-.014	-.052	1	
PO ₄	.248	.448	.331	.312	-.248	.147	.138	.373	.281	.950	-.184	1

إنَّ من أهم استخدامات الإحصاء في مجال الهيدروجيولوجيا، هو ما يسمى تحليل المجموعات ويُنفذ بأكثر من أسلوب [50 , 67]، وقد استخدمنا في هذا البحث أسلوب (Vairemax)، وقمنا بإجراء تحليل إحصائي بطريقة Q-Mode (Cluster analysis) باستخدام البرنامج (SPSS²⁰)، وذلك لتحديد علاقات الارتباط بين الآبار، وفصلها في مجموعات متشابهة بخواصها، وهذا ما يبينه الشكل (4-11)، حيث نلاحظ المجموعات الآتية:

فعلى مستوى التشابه (aa) نميز بين مجموعتين مستقلتين:

المجموعة الأولى وتضم الآبار التالية: (4 ، 9 ، 17 ، 21 ، 6 ، 13 ، 1 ، 26) وتمتاز بناقلية كهربائية أقل من ($1800 \mu s/cm$) ، وكذلك بسحنة بيكربوناتية.

المجموعة الثانية وتضم البئرين (12 ، 20) وتمتازان بناقلية كهربائية تتجاوز ($1900 \mu s/cm$)، إلا أنَّ البئر 12 تتمتع بسحنة بيكربوناتية والبئر 20 تتمتع بسحنة سولفاتية.

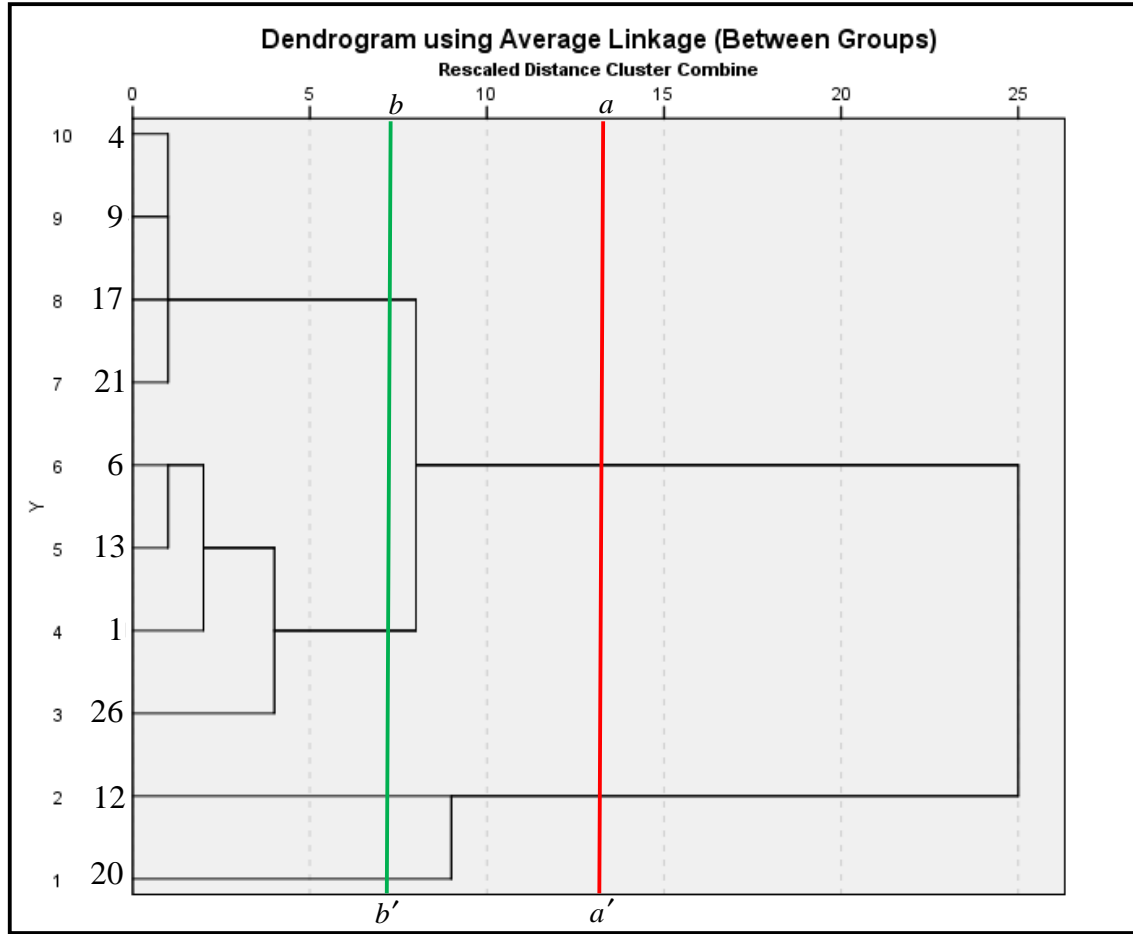
ونميز على مستوى التشابه (bb) ثلاث مجموعات:

تضم المجموعة الأولى الآبار التالية: (4 ، 9 ، 17 ، 21) وتمتاز بملوحة منخفضة أقل من 600 ملغ/ل.

وتتضمن المجموعة الثانية الآبار (6 ، 13 ، 1 ، 26) وتمتاز بملوحة تتراوح من 800-1200 ملغ/ل. وتتشارك المجموعتان بالسحنة الهيدروكربوناتية.

أما المجموعة الثالثة فتمتاز بملوحة تتجاوز 1200 ملغ/ل وتتضمن البئرين (12 ، 20)، إلا أن البئرين يشكلان حالتين مستقلتين حيث يختلفان بالسحنة الهيدروجيوكيميائية فالبئر 12 يتمتع بسحنة بيكربوناتية، والبئر 20 يتمتع بسحنة سولفاتيّة.

وتتشارك المجموعات الثلاث بقيم pH التي تتراوح بين 7.3 - 7.6 .



الشكل (4-11) التحليل الإحصائي (Q- Mode) لتوضيح الارتباط بين الآبار المدروسة

4.4. تحديد صلاحية المياه الجوفية للاستخدامات المختلفة

يُعتبر الماء ملوثاً عندما يتجاوز تركيز أحد مؤشرات التلوث فيه الحد المسموح به للاستخدام، ولكن قد يزداد تركيز المؤشر في بعض الأحيان كثيراً عن هذا الحد، وهنا تكون المشكلة أكثر تعقيداً، لهذا اعتمدنا القيمة المتوسطة لنتائج التحاليل والقياسات التي أجريناها، الجدول (4-4)، وقيّمنا الحالة الراهنة لنوعية المياه الجوفية اعتماداً على الدراسة التفصيلية للمعايير السورية المعتمدة في تقويم نوعية وصلاحية هذه المياه لأغراض الشرب والري من الناحية الكيميائية، الجدول (4-10) [39].

جدول (4-10) المعدلات المعمول بها في الجمهورية العربية السورية لتقويم صلاحية مياه الشرب حسب المواصفة القياسية السورية رقم (45) لعام 2007 [39].

المكون	الرمز	الوحدة	الحد المسموح به حسب المواصفة السورية (2007)
الرقم الهيدروجيني	pH	-	9 – 6.5
الناقلية	Cond	ميكروموس / سم	1500
درجة الحرارة	T	درجة مئوية	25 – 5
الصوديوم	Na	ملغ / ل	200
الكالسيوم	Ca		200
المغنيزيوم	Mg		150
البوتاسيوم	K		10
البيكربونات	HCO ₃		500
الكبريتات	SO ₄		250
الكلور	Cl		250
النترت	NO ₂		0.01
النترات	NO ₃		50
الأمونيا	NH ₄		0.5
الفوسفات	PO ₄		0.5

1.4.4. صلاحية المياه الجوفية لأغراض الشرب:

تمَّ إجراء التحاليل للعام 2012 - 2013 لبعض آبار شبكة المراقبة، التي تمَّ اختيارها في منطقة الدراسة وعددها 10 آبار. تمَّ اختيارها بشكلٍ علمي ودقيق كي تمثل ظروف المنطقة بشكل صحيح [58]، وقد تمَّ عرض نتائج التحاليل في الجداول (4-1 ، 4-2 ، 4-3)، حيث يُعتبر الماء ملوثاً عندما يتجاوز تركيز أحد مؤشرات التلوث فيه الحد المسموح به للاستخدام، وبناءً على ذلك جاءت نتائج التحاليل كما يلي:

إنّ نتائج تحاليل قيم الـ pH و Cl و PO₄ و Na و K : ضمن الحد المسموح به في مياه الشرب في جميع آبار الشبكة المرصودة.

الناقلية الكهربائية E.C

تجاوزت قيمتها الحد المسموح به لمياه الشرب (1500) ميكروموس/سم في ثلاث آبار وهي ذوات الأرقام (12 ، 20 ، 26) تقع في قرى (منجيلا، القاقعية، الضاهرية).
تعود الناقلية الكهربائية في الماء لوجود الشوارد والأملاح فيها، وهي من المؤشرات الخطيرة على صلاحية استمرار هذه الآبار كمصادر لمياه الشرب، ولا يعود ذلك لسبب صحي وإنما لعدم إمكانية تقبل طعم الماء خاصة إذا كان سبب الأملاح انحلالها بشكل طبيعي.

الكالسيوم Ca والمغنيزيوم Mg

تبيّن ارتفاع تركيز شاردة الكالسيوم عن الحد المسموح به في بئرين من آبار شبكة الرصد في المنطقة المدروسة وهما بئري منجيلا والقاقعية، ويعود هذا الارتفاع في تركيزها إلى انحلالها من الصخور التي تحويها، والتي تتمثل بالحجر الكلسي، والحجر الكلسي الدولوميتي، إضافة إلى معامل وورشات قص الحجر، والرخام المنتشرة بكثرة في المنطقة. بينما بقيت قيم تراكيز شاردة المغنيزيوم ضمن الحد المسموح به في كافة آبار شبكة الرصد.

البيكربونات HCO₃

تبيّن ارتفاع تركيز شاردة البيكربونات عن الحد المسموح به في ثلاث آبار يُبين الجدول الآتي مواقعها، والتراكيز المسجلة فيها:

جدول (4-11) الآبار التي أبدت ارتفاعاً في تركيز شاردة البيكربونات

رقم البئر	الموقع	تركيز HCO ₃ (ملغ/ل)	القيمة الوسطية
1	المعاكس	577	542
12	منجيلا	530	
26	الضاهرية	520	

وكما يُلاحظ من الجدول فقد أخذت HCO₃ قيمها وسطياً بين 520 و 580 ملغ/ل، وهي قيم طبيعية، وليس لها تأثير سام في الماء حيث يمكن التخلص منها، وتحويلها إلى كربونات كالسيوم بغلي الماء.

إنّ مصدر هذه الشاردة في مياه الآبار هو انحلال الصخور الكربوناتية الكلسية والكلسية الدولوميتية وكذلك تجوية البلاجيوكلازات، وغيرها من السيليكات الموجودة حيث تنتشر التشكيلات البازلتية السطحية منها، والمندسة في بعض أجزاء هذه المنطقة.

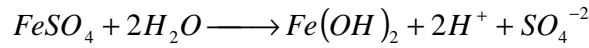
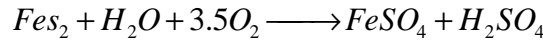
الكبريتات SO₄

لوحظ زيادة شاردة الكبريتات عن الحد المسموح به في مياه الشرب في بئرين ويُبين الجدول (4-12) موقع هاتين البئرين وتراكيز شاردة الكبريتات فيهما.

جدول (4-12) الآبار الملوثة بشاردة الكبريتات

رقم البئر	الموقع	تركيز SO ₄ (ملغ/ل)	القيمة الوسطية
12	منجيلا	399	581
20	القاقعية	763	

ويعود سبب ارتفاع تركيز هذه الشاردة أولاً لوجود بعض التشكيلات الجصية في المنطقة، أو قربها منها حيث يؤدي انحلالها إلى زيادة شاردتي الكالسيوم والكبريتات في نفس الآبار، وثانياً بسبب أكسدة السولفيدات (وتحديداً البيريت) الموجودة ضمن التوضعات النارية المنتشرة في بعض أجزاء المنطقة وفق التفاعل التالي:



المركبات الآزوتية

الأمونيا NH₄

إنَّ وصول شوارد الأمونيا إلى المياه الجوفية قليل، وذلك لأنه يتم امتصاصها من قبل جزيئات التربة والطين فهي لا ترشح بسهولة من التربة، ومن هنا تأتي خطورة التلوث بها الذي يدل على وجود مصادر ذات فاعلية مهمة تقوم بتغذية التربة بها أكبر من حاجتها، ومن قدرة امتصاصها لها فهي بالتأكد مصادر دائمة التغذية، ولذلك فهي تُعد من الملوثات الخطيرة جداً في مياه الشرب، ولكن لم تتجاوز الحد الأقصى المسموح به في جميع آبار شبكة الرصد من خلال نتائجنا، الجدول (4-13).

النترات NO₃

يدل وجود النترات في المياه الجوفية على حدوث تلوث عضوي قديم، وذلك لأنَّ تشكل النترات هو آخر مراحل الأكسدة الحيوية لمركبات الآزوت العضوي، وفي آبار شبكة الرصد لم تتجاوز قيمة النترات الحد المسموح به في مياه الشرب.

النترت NO₂

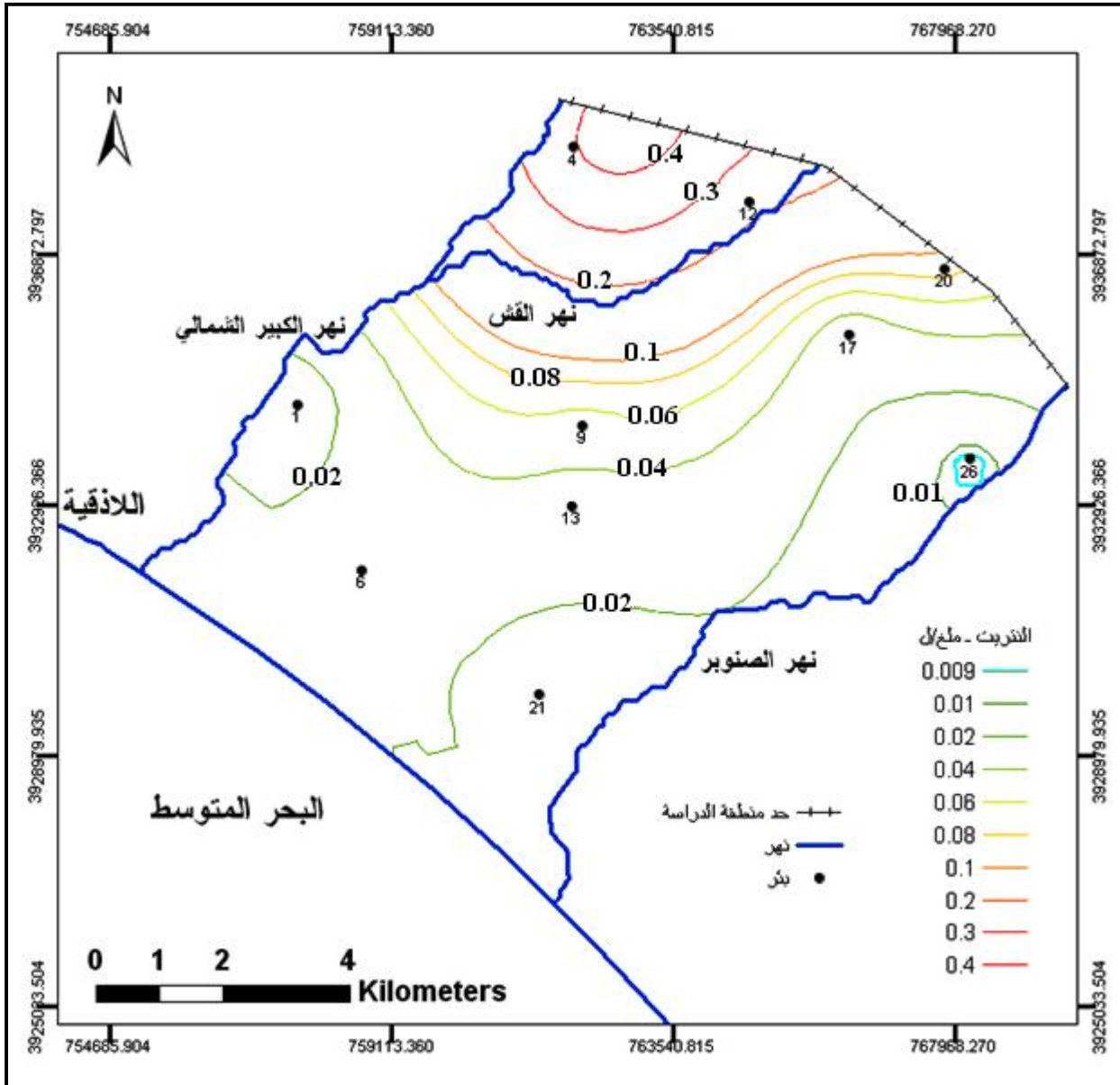
لا يمكن الحكم على صلاحية الماء للشرب دون تحديد تركيز شاردة النترت فوجودها في ماء الشرب يُعتبر من أخطر الملوثات حيث تشكل غالبية تفاعلاتها مركبات مسرطنة، كما أنها ذات شراهة عالية للأكسجين لتتأكسد وتتحوّل إلى نترات، ويُبين الجدول (4-13) أنَّ الآبار الملوثة بشاردة النترت

تقع على ضفتي نهر القش، ويُعزى هذا التلوث إلى التلوث العضوي الناجم عن وجود صرف صحي، ومن المخلفات الصناعية التي تطرح الأمونيا، على الرغم من أنّ التلوث بالأمونيا لم يتجاوز الحد المسموح به، لكن عند إتمامها المرحلة الأولى من التأكسد متحولة إلى نترات، فإنها تجاوزت الحد المسموح به، مؤدية إلى تلوث المياه الجوفية التي وصلت إليها.

ونلاحظ من الشكل (4-12) ازدياد قيم شاردة النترات باتجاه الشمال والشمال الغربي من منطقة الدراسة. حيث أنّ القيمة الأصغرية لهذه الشاردة كانت في البئر (26)، أما القيمة الأعظمية فنجدها في البئر (4) بئر رويسة الحرش وذلك لتسرب جزء من مياه نهر القش وخصوصاً من ضفته اليسرى، حيث ترشح للبئر المياه الملوثة بمخلفات الصرف الصحي والصناعة وبقايا الأسمدة.

جدول (4-13) متوسط نتائج تحاليل عينات المياه الجوفية في منطقة الدراسة للمركبات الآزوتية والفوسفات

القيم مقدرة بـ (ملغ/ل)				رقم البئر
PO ₄	NO ₂	NO ₃	NH ₄	
0.022	0.012	8.923	0.005	1
0.215	0.398	10.051	0.004	4
0.013	0.023	16.451	0.006	6
0.016	0.050	9.283	0.007	9
0.192	0.220	25.117	0.008	12
0.016	0.028	16.029	0.025	13
0.023	0.025	17.561	0.005	17
0.025	0.088	14.328	0.127	20
0.009	0.011	17.521	0.007	21
0.013	0.008	1.762	0.021	26



الشكل (4-12) خريطة توزيع قيم شاردة النتريت في منطقة الدراسة

2.4.4. تقويم نوعية المياه وصلاحيتها لأغراض الري

إنّ مسألة تقويم المياه لأغراض الري دُرست خلال العقود الثلاثة الأخيرة بشكلٍ واسعٍ من قبل الكثير من المؤلفين والمنظمات والهيئات البحثية على صعيد العالم. وقد اعتُبرت خصائص المياه المستعملة للري من أهم العوامل المؤثرة على إنتاج المحاصيل الزراعية [55, 76]. فالأملاح المنحلة بالماء يمكن أن تؤدي نمو النبات فيزيائياً وكيميائياً، عدا ذلك تُسبب الزيادة المفرطة بالأملاح تغييراً في بنية التربة وفي نفوذيتها وتهويتها التي تؤثر مباشرةً على نمو النبات. ويتم تقويم نوعية المياه لأغراض الري من خلال عدة معايير، سنعتمد منها في منطقة الدراسة المعايير الآتية:

أ. مجمل الأملاح المنحلة TDS

تؤدي زيادة ملوحة مياه الري إلى زيادة هذه النسبة في التربة، وهذا سوف يقود إلى مشاكل في نمو وإنتاجية هذه النباتات. فكمية الأملاح التي يمكن أن توجد في النباتات تعتمد بشكل رئيسي على نمط التربة والنباتات وسهولة التصريف، وبالتالي نستطيع أن نقول بأنّ المواصفات المطلوبة لمياه الري مختلفة جداً في العالم بسبب الاختلاف الكبير في الظروف المناخية وطبيعة التربة الزراعية ونوعية المحاصيل الزراعية وطبيعة الطرائق المتبعة في الري، وعادةً مجموع الأملاح المنحلة (TDS) يجب أن لا يزيد عن 2000 ملغ/ل.

وقد أعطت منظمة الأغذية والزراعة (FAO) [46] ، التصنيف الآتي للمياه المستخدمة في الري حسب درجة ملوحته كما في الجدول (4-14):

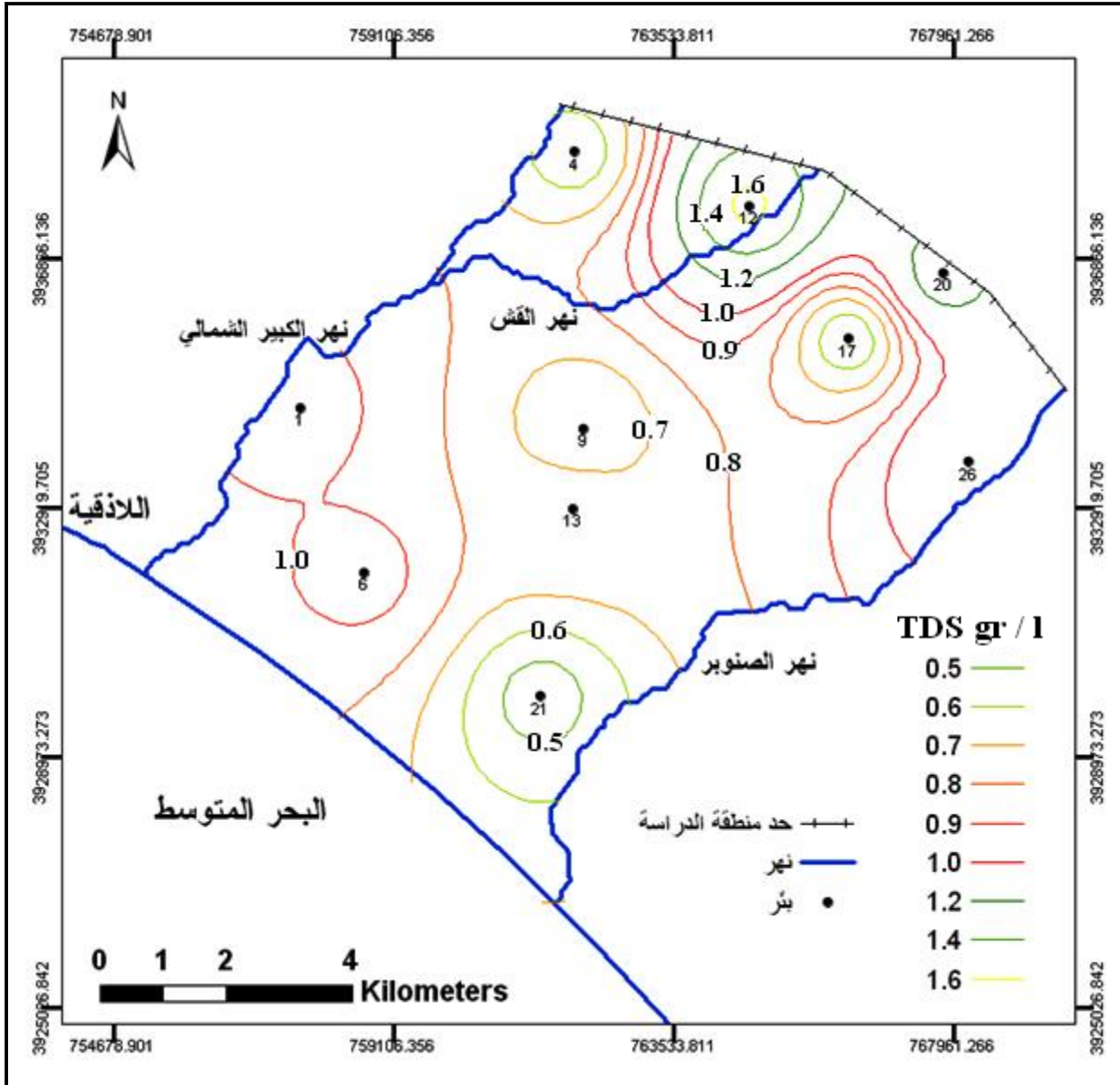
جدول (4-14) تصنيف المياه المستخدمة في الري حسب درجة ملوحته وفق (FAO) [46]

نوعية المياه ودرجة المشكلة	TDS (ملغ/ل)
مياه ذات مواصفات جيدة ولا يسبب استخدامها أيّة مشاكل	< 450
يتضمن استخدام هذه المياه بعض المشاكل المتزايدة	2000 - 450
يُسبب استخدام هذه المياه مشاكل حادة	> 2000

وحسب النتائج التي توصلنا إليها في بحثنا، فإنّ الملوحة في أغلب عينات المياه الجوفية المحللة أقل من 1000 ملغ/ل ، باستثناء الآبار (منجيلا، القاقعية، الضاهرية)، حيث تجاوزت هذه القيمة ولكنها لم تصل إلى 2000 ملغ/ل ، وبالتالي يمكن اعتبار المياه صالحة للري ولكافة المحاصيل.

كما نجد أنّ قيم (TDS) في العينات كافة قد تراوحت ما بين (450 - 1650) ملغ/ل، وبالتالي فإنّ استخدام هذه النوعية من المياه سيؤدي إلى بعض المشاكل المتزايدة مع تفاوت هذه المشاكل من منطقة لأخرى، وذلك حسب منظمة الأغذية والزراعة (FAO) [46] .

ويوضح الشكل (4-13) خريطة تساوي الملوحة، حيث تشير الخريطة إلى أنّ القيم العالية للملوحة تتركز في القسم الشمالي الشرقي من منطقة الدراسة وذلك بسبب قربها من التشكيلات الجصية المنتشرة في هذا الجزء من المنطقة (معمل الزويار)، وتتناقص في وسط (مركز) الخريطة، لتعود وتزداد في القسم الغربي والجنوب الغربي لقربها من بعض المنشآت الصناعية الموجودة في المنطقة.



الشكل (4-13) خريطة تساوي الملوحة في منطقة الدراسة

ب. نسبة الصوديوم (Na%)

يلعب الصوديوم دوراً رئيسياً في تحديد صلاحية مياه الري، وبالتالي فإنَّ النسبة المئوية لأيون الصوديوم، تُعتبر من أهم الخصائص التي تلعب دوراً أساسياً في تقييم نوعية مياه الري، وقد أوجد "Wilcox's" نسبة الصوديوم بالشكل المبلي المكافئ (epm) ، لمجموع الكاتيونات على النحو الآتي [85] :

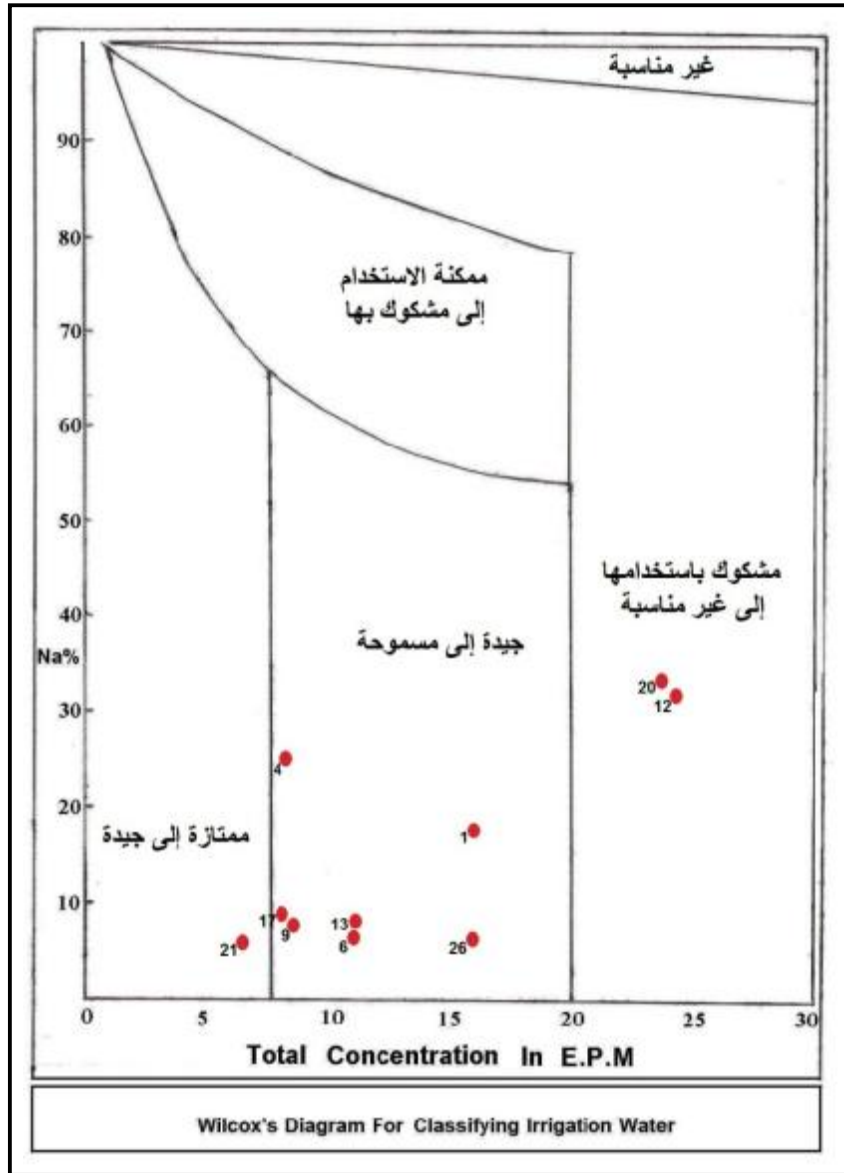
$$Na\% = \frac{Na \text{ or } (Na + K)}{Ca + Mg + Na + K} \times 100$$

وأعطى التصنيف الآتي لنوعية مياه الري حسب هذه النسبة:

جدول (4-15) تصنيف المياه المستخدمة في الري حسب نسبة الصوديوم [85]

نوعية المياه ودرجة المشكلة	Na%
ممتازة	< 20 %
مسموح بها (مقبولة)	60 – 40 %
غير مضمونة النتائج (مشكوك فيها)	80 – 60 %
غير ملائمة	> 80 %

تمّ تمثيل هذه النسبة للعينات المدروسة على مخطط "Wilcox's" وهو مخطط بياني يُعرَض فيه على محور السينات مجموع الكاتيونات بالشكل المكافئ (epm)، وعلى محور العيونات نسبة الصوديوم (Na%) ، ويُقسَم هذا المخطط إلى مناطق حسب خواص المياه ، كما يوضح الشكل (4-14).



الشكل (4-14) دياغرام "Wilcox's" ومواقع العينات المائية

ونلاحظ من الشكل أن بعض عينات المياه المحللة في الآبار (1 ، 4 ، 6 ، 9 ، 13 ، 17 ، 26) وقعت في صف المياه الجيدة إلى المسموحة الاستخدام، حيث تراوح محتوى الصوديوم بين (5 - 26) % ، وبذلك يمكن استخدام هذه المياه في الري كون تلك النسبة ممتازة إلى مسموح بها. وبعض العينات الأخرى (12 ، 20) قد جاءت في صف المشكوك باستخدامها إلى غير مناسبة، أي أنها (مسموح بها ومقبولة لكن استخدامها يمكن أن يُسبب بعض المشاكل)، وهذا ما يبينه الشكل (4-14) والجدول (4-15). والعينة رقم 21 (السنوبر) جاءت في صف المياه الممتازة إلى جيدة الاستخدام.

ج. نسبة ادمصاص الصوديوم SAR

يُعتبر الصوديوم من أخطر العناصر الموجودة في مياه الري حيث يؤثر على الخواص الفيزيائية للتربة من خلال تفتيت حبيباتها مما يحولها إلى تربة ذات نفاذية ضعيفة، وبالتالي نمو سيء للنباتات، كما ويؤثر سلباً على النباتات الحساسة بسبب تراكمه السمي في أوراق هذه النباتات، هذا ويُحدّد خطر الصوديوم في مياه الري وفقاً للتصنيف الأمريكي لمختبر الملوحة، وذلك بتقدير نسبة الصوديوم إلى كل من الكالسيوم والمغنيزيوم، وفق العلاقة الآتية [81] :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

ويُعبّر عن التراكيز الأيونية بـ (epm) ، حيث تصنف المياه في أربعة أنماط تبعاً لهذه النسبة حسب صلاحيتها للري، جدول (4-16).

جدول (4-16) تصنيف المياه المستخدمة في الري حسب نسبة ادمصاص الصوديوم

النمط	SAR	محتوى Na ⁺	الاستعمال
1	0 - 10	منخفض	يمكن استعمالها لكل الترب
2	10 - 18	متوسط	يفضل استعمالها للترب ذات النسيج الخشن أو جيدة النفوذية
3	18 - 26	عالي	يمكن أن تسبب تأثيرات مؤذية
4	26 - 100	عالي جداً	غير ملائمة للأغراض الزراعية

تُصنّف المياه في منطقة الدراسة وفقاً للجدول (4-16) ، بأنها ذات نسبة ادمصاص صوديوم تتراوح بين (0 - 10) ، وبالتالي يمكن استخدامها لكل الترب، وذلك في جميع مياه الآبار المعتمدة في منطقة الدراسة حيث تراوحت نسبة ادمصاص الصوديوم فيها بين (0.1 - 2.8).

يوضِّح الجدول (4-17) القيم الوسطية للمعايير الثلاثة السابقة، من خلال نتائج التحاليل الكيميائية للفترات الثلاث (أب 2012 ، تشرين الثاني 2012 ، نيسان 2013).

الجدول (4-17) القيم الوسطية لـ (نسبة ادمصاص الصوديوم ، نسبة الصوديوم ، مجمل الأملاح المنحلة) في بعض آبار شبكة الرصد من خلال نتائج التحاليل الكيميائية

رقم البئر	SAR	Na%	TDS (mg/l)
1	1.21	19.15	941.63
4	1.24	25.13	543.61
6	0.33	6.72	948.35
9	0.36	8.38	571.13
12	2.72	31.87	1647.75
13	0.36	7.20	804.91
17	0.39	9.43	514.36
20	2.83	33.22	1283.10
21	0.19	5.21	451.31
26	0.34	5.91	1167.40

الفصل الخامس

إدارة موارد المياه الجوفية

إنَّ مشكلتنا الأساسية ليست في محدودية الموارد الطبيعية فقط، وإنما في سوء تقويمها وتقدير كمياتها المتاحة، الأمر الذي دفعنا إلى إعطاء أولوية خاصة لتقانة النماذج الرياضية. إذ تُعدُّ أداة هامة في تخطيط الموارد المائية وإدارتها، ودراسة الآثار المترتبة على النشاطات الاجتماعية والاقتصادية المعتمدة على تلك الموارد.

تتضمن إدارة الموارد المائية الجوفية منهجية متكاملة لتقويمها تدرج ضمنها أربع أدوات هي:

١- قواعد المعرفة بالموارد المائية الجوفية

ويُقصدُّ بها عملية جمع وتخزين المعطيات والمعلومات الكمية والنوعية، وذلك من خلال بناء شبكات متطورة لرصد ومراقبة المياه الجوفية كماً ونوعاً، وتكوين قواعد بيانات لتخزين المعطيات إلكترونياً.

٢- تقويم الموارد المائية الجوفية

هي أداة مهمة من أدوات الإدارة المتكاملة، وتشمل تقويم الطلب على الموارد المائية وتقويم الآثار البيئية، وهذا ما يغذي قاعدة البيانات ويوفر المعطيات اللازمة للتخطيط المائي.

٣- نمذجة الموارد المائية الجوفية

تُعدُّ النماذج أدوات مكمّلة ومفيدة في إدارة الموارد المائية، وهي تستخدم على نطاق واسع في كثير من البلدان، وتساعد في تبني الخطط المثلى على أساس علمي سليم، يضمن استمرار التنمية والحفاظ على الموارد المائية الجوفية بعيداً عن الاستنزاف والتلوث.

٤- تطوير مؤشرات الإدارة المتكاملة

تُعدُّ أداة هامة تُستخدم في تطوير خطط إدارة المياه ورسم الأهداف، حيث يُستفاد من بيانات تقويم الموارد المائية بترجمتها إلى مؤشرات، تساعد في رسم الخطط الاستراتيجية واتخاذ القرارات السليمة.

1.5. نمذجة المياه الجوفية

يُعرّف النموذج بشكل مُبسّط على أنه تمثيل تقريبي لنظام أو عملية حقيقية (واقعية). فالنماذج الرياضية هي أفكار تجريدية تُعبّر عن العمليات الطبيعية بمعادلات، وعن الخصائص الفيزيائية بثوابت أو معاملات في المعادلات، والقياسات المتعلقة بحالة أو ضاغط في النظام بمتغيرات [51].

تُعدُّ طريقة النمذجة الهيدروجيولوجية في الوقت الحاضر من أهم الطرائق الفعالة والمأمولة لدراسة ظروف حركة المياه الجوفية، وتقويمها الكمي في الوضعين الطبيعي والاصطناعي عند تأثير المنشآت

الهندسية (الآبار، ومنشآت استجرار المياه). وتستخدم هذه الطريقة أيضاً لحل مسائل هيدروجيولوجية متنوعة وخصوصاً في الظروف الهيدروجيولوجية المعقدة، حيث لا تستطيع الحلول التحليلية أو غيرها أن تؤمن التقويم الكمي الدقيق لطبيعة حركة المياه الجوفية، وظروف عمل المنشآت الهندسية. وتعطي النمذجة إضافةً لذلك، إمكانية حساب تأثير كل العوامل عند تحليل الظواهر والعمليات الجيولوجية والتنبؤ بها، واختيار التدابير الفعالة لتنظيم هذه العمليات والظواهر وتوجيهها في الاتجاهات المفيدة للإنسان [33].

عموماً، من الضروري لتقويم أي نموذج للمياه الجوفية واستخدامه على نحو ملائم، أن تكون حدوده معينة بشكل كامل، بالإضافة إلى القيود التقنية مثل دقة العمليات الحسابية (عتاد الحاسب وبرمجياته).

إلا أن كل نموذج يملك درجات متفاوتة من الموثوقية، نظراً لاعتماده على مجموعة من الأمور لعل أهمها:

✚ تعتمد نمذجة النظام الطبيعي الحقيقي على اعتبارات افتراضية متعددة.

✚ إن البارامترات الهيدروجيولوجية والهيدرولوجية المستخدمة لبناء النموذج، هي عبارة عن قيم قريبة من القيم الحقيقية التي لا يمكن أن تُحدد بدقة 100% .

✚ تُستبدل المعادلات التفاضلية النظرية التي تصف جريان المياه الجوفية، بمجموعة من المعادلات الجبرية.

إلا أن ذلك لا يعني أنه من غير الممكن استعمال النموذج، طالما أن حدوده المعقدة معرّقة بوضوح، وتتبع عملية النمذجة لمعايير وإجراءات تصميمية وقياسية، ويكون توثيق النموذج وإعداد أي تقرير، شفافاً تامة ويخضع أيضاً لمعايير قياسية.

تُوصف معادلات حركة المياه الجوفية بأنها معادلات وضعية، تعتمد على فرضيات تبسيطية متعددة، الأمر الذي يجعلها بعيدة عن الواقع أحياناً. أما المعادلات التي تعطي نتائج قريبة من الوضع الحقيقي، فيصعب حلّها بالطرائق الرياضية الكلاسيكية، الأمر الذي دفع المهتمين إلى ابتكار طريقة منهجية جديدة لحل هذه المسائل المعقدة، تتلخص بوضع نموذج للمنطقة المدروسة، تُمثّل عليه كل البارامترات المتعلقة بالصخور والمناخ والهيدرولوجيا وغيرها. ويمكن بوساطة هذا النموذج تقدير تغيرات نظام المياه الجوفية في حال تغير واحد أو أكثر من البارامترات مع الزمن، مما يوفر جهوداً وتكاليف مالية كبيرة، ويعطي فرصة لتقدير التغيرات المستقبلية، ويسمح بوضع خطة استراتيجية شاملة أكثر موثوقية، لتطوير النشاط الاقتصادي في المنطقة المعنية [1].

تعدّ نمذجة المياه الجوفية حالياً جزءاً رئيسياً في معظم مشاريع تنمية المياه الجوفية، وحمائتها ومعالجتها. لذلك فمن الضروري من أجل تفسير أي نموذج للمياه الجوفية واستخدامه بدقة، فهم محدودية كل نموذج بوضوح. وسيعتمد بناء أي نموذج على فرضيات متنوعة، تتعلق بالنظام الطبيعي

للواقع، وعلى افتراض أنّ البارامترات الهيدرولوجية والهيدرولوجية المُستخدمة في النموذج تقريبية دوماً بالنسبة لتوزيعها الفعلي في الحقل [68].

1.1.5. أنماط نمذجة المياه الجوفية

يحاكي النموذج بشكل عام الخصائص المساحية والمؤقتة للنظام، حيث يتم اختيار نوع النموذج، بسيط أو معقد، تبعاً لبنية النظام ومدى تعقيده.

تصنف نماذج المحاكاة في عدة أنماط، أهمها:

1.1.1.5. النماذج الفيزيائية

تقوم على استرجاع عمليات الرشح والظواهر المرتبطة بها على نماذج خاصة مع المحافظة على الجوهر الفيزيائي. ويمكن أن نذكر كمثال عنها في الهيدرولوجيا، أحواض الرمل والتي تمثل نماذج طبيعية لأنظمة جريان المياه الجوفية، فهي تسمح بجريان المياه أو أي سائل آخر خلال وسط نفوذ. وتُستخدم هذه النماذج لحل أنظمة الجريان خلال وسط منتظم متجانس أو وسط يتألف من عدة طبقات، حدودها معقدة ولها سطح مائي حر، كمنسوب المياه الجوفية أو خط تماس بين سوائل مختلفة الخواص. وهذه النماذج حالياً تُطبق فقط لأغراض تعليمية وإيضاحية، نظراً للصعوبة والتكلفة الكبيرة التي تستدعي بناء نموذج هيدرولوجي معقد [84].

2.1.1.5. نماذج التشابه الكهربائي

كان نموذج المحاكاة الكهربائي حتى نهاية القرن العشرين، من أكثر النماذج استخداماً لدراسة حركة المياه الجوفية، حيث يُمثل الجريان الجوفي خلال الوسط المسامي بتيار كهربائي، يمر عبر مجموعة من المقاومات أو أية مادة أخرى ناقلة للكهرباء. ويمثل الجهد الكهربائي ضاغطاً كلياً للمياه، وتُبنى النماذج الكهربائية على أساس التشابه بين المتغيرات التي تتحكم بجريان المياه الجوفية (قانون دارسي)، وتلك المتغيرات التي تتحكم بجريان الكهرباء (قانون أوم).

لكن من عيوب النموذج الكهربائي أنه لكل مسألة حقلية مدروسة أو لكل نظام طبقة حاملة جديدة يجب تصميم وبناء نموذج مشابه جديد [84].

3.1.1.5. النماذج الحاسوبية

يُعدّ النموذج الحاسوبي محاكاة ومقاربة لما يحدث فعلاً في الحقل، فالنموذج الحاسوبي له قدرة أكبر من النموذج الكهربائي على تمثيل كل من أنظمة الطبقات الحاملة للمياه الجوفية المعقدة، والتفاعل الحركي عبر هذا النظام.

يحاكي النموذج الحاسوبي الوضع الهيدرولوجي عند تمثيل الشروط الحقلية بدقة، حيث يشرح كلاهما الملامح الجيولوجية الرئيسة للمنطقة بشكل مطابق عملياً [84].

إنَّ غالبية نماذج المياه الجوفية المُستخدَمة حالياً هي موديلات رياضية حتمية تعتمد على مبدأ مصونية الكتلة والقوة والطاقة، وتصف العلاقة بين الأسباب والنتائج. وتتطلب النماذج الحتمية حلاً لمعادلات تفاضلية جزئية. وغالباً يمكن وضع الحلول الدقيقة تحليلياً، لكن الموديلات التحليلية تتطلب بارامترات وحدوداً عالية الدقة. وتعالج بعض الموديلات الحتمية خصائص الوسط النفوذ كمجموعة بارامترات دفعة واحدة، لكن هذا يعيق توضيح عدم تماثل الخصائص الهيدروليكية للموديل. إنَّ عدم تماثل الطبقة المائية أو تغير خصائصها الفيزيائية والهيدروليكية، يُعدُّ صفةً مميزة للمنظومات الهيدروجيولوجية، وتلعب دوراً رئيسياً في حركة المياه الجوفية وانتقال المحاليل فيها. لهذا غالباً ما يفضل تطبيق موديلات البارامترات الموزعة، التي تسمح بتمثيل أكثر واقعية لبارامترات الطبقة الحاملة. وتعطي الطرائق الرقمية حلاً تقريبية للمعادلات الحاكمة عند تقسيم الفراغ والزمن [51].

تستخدم معظم نماذج المياه الجوفية تقنية البارامترات الموزعة. حيث تتطلب هذه التقنية لمحاكاة حركة المياه الجوفية ونوعيتها استخدام طرائق عديدة تقريبية، منها طريقة الفروق المنتهية التي تُطبَّق على المعادلة الأساسية لحركة المياه الجوفية، وتُحل هذه المعادلات عددياً من خلال العمليات التكرارية باستخدام الكمبيوتر، لذلك تسمى هذه النماذج بالنماذج العددية [68].

تملك طريقة النمذجة الرياضية في حل المسائل الهيدروجيولوجية، أهمية مزدوجة لسببين: الأول استخدامها في الحسابات والتنبؤات، والثاني استخدامها في دراسة العمليات والظواهر الجيولوجية. وقد أصبحت النمذجة الآن هي أحد البنود الرئيسية لتكلفة الدراسات والتحريات الهيدروجيولوجية لكافة المشاريع المائية.

2.1.5. منهجية النمذجة العددية لرشح المياه الجوفية

تُصنَّف المسائل التي يمكن حلها باستخدام النمذجة الرياضية بشكل عام إلى مسائل مباشرة وأخرى عكسية. يقود حل المسائل المباشرة إلى تعيين بعض العناصر الهيدروديناميكية المنفصلة للجريان (الضاغط، التصريف، وسرعة الجريان)، وذلك عند ظروف حدية وبدئية محددة، وتعطى بارامترات معينة للنموذج في الظروف الطبيعية وعند تأثير المنشآت الهندسية (الآبار مثلاً) أيضاً. وتتعلق هذه المسائل في غالبيتها بظروف الرشح عند تصميم مشاريع محددة (التنبؤ بارتفاع المنسوب في مناطق إقامة المنشآت المائية وعلى حقول الري، وكذلك التنبؤ بفعالية أنظمة الري ومنشآت استجرار المياه). وتبعاً لدرجة تعقيد الظروف الهيدروجيولوجية يمكن أن تكون أحادية البعد أو ثنائية ونادراً ما تكون فراغية (ثلاثية البعد).

يتلخص حل المسائل العكسية في تحديد وتدقيق الصفات الرشحية أو الظروف الحدية للجريانات بواسطة المعطيات عن توزيع ضواغطها وتصريفها. وتُحل هذه المسائل عادةً بطريقة الانتقاء (الاختيار) من أجل الحصول على تطابق مقبول بين قيم الضواغط (أو التصاريف) وقيم المراقبة في

الظروف الطبيعية. وفي التطبيقات العملية تساعد المسائل العكسية في تعيين عامل الرشح، المعطائية المائية، عامل ناقلية الضاغط (أو المنسوب)، قيمة التغذية المائية الرأسية والعميقة، درجة الارتباط الهيدروليكي وطبيعته بين المياه السطحية والجوفية، وغيرها [33].

إنَّ وضع المسائل المباشرة وحلّها دون مرحلة تدقيق تحضيرية للمخطط الحسابي عن طريق حلّ سلسلة من المسائل العكسية، يمكن أن يقود إلى أخطاء كبيرة ونتائج غير دقيقة، وكقاعدة يجب أن يتحقق تسلسل العمليات التالية عند حلّ مسائل الرشح باستخدام النمذجة الرياضية [33, 47]:

Y وضع المخطط الحسابي الأولي الهيدرولوجي لعملية رشح المياه الجوفية على أساس المعطيات الهيدرولوجية العامة (مختلف الخرائط الجيولوجية – الهيدرولوجية، المقاطع، معطيات تجارب الضخ ومراقبة نظام المياه الجوفية وغيرها).

Y وضع النموذج المكافئ للمخطط الحسابي السابق تطبيقاً لشكل النموذج المحدد (مستمر، شبكي الخ).

Y وضع سلسلة من المسائل العكسية لتدقيق المخطط الحسابي للنموذج.

Y وضع وحل المسائل المباشرة المتعلقة بمنشآت استعمال المياه الجوفية أو التأثير السلبي لها.

إنَّ عملية وضع المخطط الحسابي الأولي والنموذج الموافق له من أهم مراحل الدراسة. ويجب أن تثبت في هذه المرحلة أبعاد حقل رشح المياه الجوفية المدروس، وبارامترات النفوذية والصفات الخزنوية للمستويات الحاملة للمياه وبنيتها، والظروف الحدية (دور الأنهار والمجمعات المائية المفتوحة)، وطبيعة التغذية الراشحة، وظروف التأثير المتبادل بين المستوي الحامل للمياه والمستويات أو المعقدات المائية المجاورة. ومن الضروري تدقيق المخطط الحسابي للنموذج بطريقة حلّ المسائل العكسية. ففي البداية نضع المسألة العكسية المستقرة، باسترجاع أوضاع مناسب المياه الجوفية (أو الضواغط) في المنطقة المدروسة من المستوي الحامل للمياه خلال فترة زمنية، ومن أجل البارامترات والظروف الحدية المُعطاة، ثمّ تدقق البارامترات وقيم التسرب من الطبقات المجاورة وقيم التغذية الراشحة بطريقة الانتقاء.

تُقسّم النماذج العددية إلى مجموعات عديدة، وذلك اعتماداً على طرائق متعددة من معادلات الجريان التفاضلية التقريبية، والطرائق المُستخدمة من أجل الحلّ العددي لنظام المعادلات الجبرية والمُطبقة على نحو واسع هي: الفروق المنتهية والعناصر المنتهية.

إنَّ طرائق التقريب مثل الفروق المنتهية والعناصر المنتهية تؤثر في النماذج الرياضية، وتحولها إلى شكل يمكن حلّه بسرعة بوساطة الكمبيوتر. ويُعبّر عن مجموعة المعادلات الجبرية الناتجة بهذه الطريقة بمعادلة المصفوفة (Matrex Equation)، وتُستخدَم الطرائق العددية لحلّ هذه المصفوفة.

إنَّ طريقتي الفروق المنتهية والعناصر المنتهية تُطبَّقان بشكل واسع لحلِّ معادلات جريان المياه الجوفية، وتتضمن كل طريقة منهما عدة مجموعات جزئية واختيارات متنوعة للتطبيق. وكلاهما تتطلبان تقسيم منطقة البحث بوساطة شبكة grid إلى عدد من الخلايا cells أو العناصر elements ، التي تضم نقاط مركزية (عقد) nodal points إما في المركز، أو على حدود الخلايا أو العناصر [51] .

لكل طريقة ميزات وسلبيات، لكن هناك مسائل هيدروجيولوجية عديدة جداً، تصلح كلتا الطريقتين لحلها بشكل ممتاز [1] . وكل واحدة من هذه الطرائق العددية تتضمن مجموعة من الفروع الثانوية والبدائل التطبيقية. إنَّ المعالجات الشاملة في تطبيق هذه الطرائق العددية على مسائل المياه الجوفية قد قُدمت وعُرضت من قبل (Remson et al, 1971 and Wang and Anderson 1982) [51] .

عموماً، إنَّ طريقة الفروق المنتهية أبسط منطقياً ورياضياً، وهي تسود في التطبيقات الهيدروجيولوجية لأنها أسهل من ناحية التصميم والفهم، وتُعدُّ عند برمجتها أسهل من طريقة العناصر المنتهية، وتتطلب بيانات أقل وملائمة أكثر لإدخال تلك البيانات [68] .

تعتمد طريقة الفروق المنتهية تبسيطاً نسبياً من خلال شبكة مستطيلات، مما يُسهل عملية إدخال المعطيات. بينما تتطلب طريقة العناصر المنتهية استخداماً أكثر للتقريب الرياضي، وأهم ميزة لهذه الطريقة هي مرونة شبكتها التي تسمح بإغلاق التقريب الفراغي للحدود غير الهندسية للطبقة المائية ومناطق البارامترات ضمن الطبقة المائية عند أخذها بالحسبان. مهما يكن، فإنَّ إنشاء وتخصيص معطيات إدخال لوضع معين، أصعب بكثير في شبكة غير نظامية للعناصر المنتهية منه في شبكة فروق منتهية نظامية ومستطيلة الشكل [51] .

عموماً يوجد فروق جوهرية في فلسفة كل طريقة على حدة، إذ تحسب طريقة الفروق المنتهية قيمة الضاغط في كل عقدة، وهي تُعبر عن قيمة وسطية للخلايا المجاورة لهذه العقدة، ولا يوجد أي افتراض عن شكل تغير الضاغط من عقدة إلى أخرى. من جهة ثانية تُحدِّد طريقة العناصر المنتهية بدقة تغيرات الضاغط ضمن كل عنصر بوساطة توابع الاستيفاء Interpolation Function ، إذ تُحسب الضواغط في كل العقد وتُحدَّد في كل مكان بوساطة توابع الاستيفاء [68] .

أخيراً من أهم مراحل طرائق الكمبيوتر، مرحلة اختيار البرامج وتحليل دقتها. وبسبب التنوع الكبير في الظروف الطبيعية، وبسبب تغير البارامترات الهيدروجيولوجية، فإنَّ البرنامج الذي يُعطي الدقة المطلوبة للتنبؤ بأحد الظروف، يمكن أن يعطي خطأ كبيراً في الظروف الأخرى. لذا لا بد من التأكد من أنَّ البرنامج يعمل بشكل جيد.

لقد طورت الهيئة العامة للمسح الجيولوجي في الولايات المتحدة الأمريكية (USGS)، برامج عديدة مميزة لنماذج الفروق المنتهية، تعمل ضمن الإطار العام بما يضمن أوسع استخدام ممكن لها، أحد هذه النماذج هو كود Modflow ، من برنامج GMS - Groundwater Modeling System وهو من أكثر النماذج الثلاثية الأبعاد انتشاراً في العالم، الذي يعطي دقة كبيرة في التقويم الكمي لحركة المياه الجوفية والتنبؤ بالتغيرات المتوقعة خلال فترات زمنية طويلة، لقدرته على تمثيل الخصائص الجيولوجية والهيدروجيولوجية للطبقات الحاملة للمياه الجوفية بكفاءة عالية، حيث يُمكننا من تمثيل تأثير الآبار، الأنهار، المصارف، الشروط الحدية للجريان، بالإضافة إلى تأثير التبخر – نتح والتغذية من مصادر مختلفة، كما أنّ النموذج يتعامل مع كل مسائل المياه الجوفية مهما بلغت درجة تعقيدها من حيث البنية الجيولوجية والتكتونية والظروف الهيدروجيولوجية، الأمر الذي يُسهل على أصحاب القرار وضع السيناريوهات المستقبلية والمساهمة في الإدارة المثلى للمياه الجوفية.

تمّ تطوير كود Modflow من قبل عدد من العلماء منهم:

- ✓ McDonald and Harbaugh (1988).
- ✓ Harbaugh and McDonald (1996).
- ✓ Harbaugh et al. (2000).

ليصبح بذلك أكثر برامج النمذجة استخداماً، والأكثر تجريباً وإثباتاً، بفضل تركيبه العام والمرن وبنائه المفتوح، وهو يعتمد على برامج فرعية تدعى (موديلات) التي تُجمع في حزم برمجية، والتي تحاكي خصائص هيدروجيولوجية معينة، يمكن بسهولة إضافة نماذج جديدة إلى البرنامج من دون تعديل الحزم الموجودة أو الكود الأساسي.

يعتمد نموذج Modflow في الحل على طريقة الفروق المنتهية، التي يتطلب تشكيل معادلاتها ملف إدخال مُبسّط، ويمكن برمجتها بسهولة، بالإضافة إلى قدرة هذا النموذج على التعامل مع برمجيات مختلفة مثل Excel ، Autocad ، GIS ، تساهم في زيادة سرعة إدخال البيانات إلى النموذج وتحسين دقتها.

يهدف نظام Modflow المُستخدَم في البحث، إلى بناء نموذج رياضي لحركة المياه الجوفية الحرة في منطقة الدراسة، والتنبؤ بالتغيرات الهيدروجيولوجية المتوقع حدوثها نتيجة زيادة استثمار المياه الجوفية ومن ثمّ وضع سيناريوهات مختلفة للاستثمار المستقبلي للموارد المائية الجوفية المُتاحة، مع المحافظة على وضع مناسب للطبقة الحاملة للمياه الجوفية، من حيث منع ظاهرة تداخل مياه البحر مع المياه الجوفية العذبة، وأيضاً المحافظة على أعماق مناسبة للمياه الجوفية لتجنب عمليات غرق الأراضي وتملح التربة.

3.1.5. قاعدة البيانات

تُشكّل البيانات الهيدروجيولوجية القاعدة الأساسية لكل دراسات المياه الجوفية نظرية كانت أم تطبيقية، ويتوقف مدى فعالية هذه الدراسات على توافر بيانات كاملة ودقيقة، إذ أنه لا يمكن أن تتحقق الإدارة المثلى إلا عن طريق قاعدة بيانات واقعية وصحيحة وشاملة، يتم جمعها وفقاً للأسس العلمية السليمة. ونتيجة التطور السريع الذي يشهده العالم اليوم، صار للمعلومة الصحيحة قيمتها وأهميتها الإستراتيجية، وتشمل قاعدة المعلومات جميع البيانات، وحفظها، ومعالجتها، وتحليلها، وإخراجها في صيغ مناسبة بحيث توفر السهولة والسرعة في استقراء النتائج واستثمارها في الدراسات والبحوث المختلفة.

لإعداد نموذج رياضي للمياه الجوفية في منطقة ما يتطلب الأمر جمع المعطيات الجيولوجية والهيدروجيولوجية المتوافرة أو التي يتم الحصول عليها من خلال نتائج التحريات الهيدروجيولوجية التي جرت وتجري في المنطقة. وتتضمن المعطيات معلومات عن: ارتفاعات سطح الأرض، سطح المياه الجوفية، أعمدة ليتولوجية للآبار، خصائص الطبقات المائية وحدودها، معدلات الضخ، معدلات التغذية والرشح، الهطل المائي ومصادر المياه الأخرى، التبخر، التربة والمحاصيل واستعمالات الأراضي، والري.

يتم إعداد خرائط ومخططات خاصة من أجل النموذج من أهمها:

\bar{y} خرائط تسوية للسطحين السفلي والعلوي للطبقة الحاملة للمياه.

\bar{y} خرائط خصائص الطبقة الحاملة للمياه (البارامترات الرشحية والخزنية للطبقة).

\bar{y} خرائط تساوي مناسب سطح المياه الجوفية.

\bar{y} خرائط التغذية.

علماً أنّ بعض الخرائط لا يمكن تحضيرها دون وضع عدد من الخرائط الأخرى العادية، كالخرائط

الجيولوجية، الطبوغرافية، الهيدروجيولوجية [33]

4.1.5. المعادلات المتحكمة

تتشكل المعادلات الرياضية التي تصف جريان المياه الجوفية وعمليات النقل من المبدأ الأساسي لمصونية الكتلة أو المحلول بإعطاء حجم عنصري ممثل للوسط المسامي، فإنّ المعادلة الأساسية للحفاظ على مصونية الكتلة يعبر عنها بـ :

معدل الكتلة الداخل - معدل الكتلة الخارج + (معدل الكتلة المنتجة ÷ استهلاك الكتلة) = معدل تخزين الكتلة

إنّ هذه الحالة من الحفاظ على الكتلة (أو معادلة الاستمرارية) من الممكن أن تجمع مع التعبير الرياضي للعملية ذات الصلة للحصول على معادلة تفاضلية تصف الجريان أو النقل [51].

معادلة جريان المياه الجوفية

إنَّ معدل جريان المياه من خلال الوسط المسامي يتعلق بخصائص المياه، خواص الوسط المسامي، والتدرج الهيدروليكي، الذي من الممكن أن يُكتَب باستخدام قانون دارسي كالاتي:

$$q_i = -k_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j} \quad (1-5)$$

حيث أن:

q_i : التصريف النوعي (LT^{-1}).

k_{ij} : الناقلية الهيدروليكية للوسط المسامي (LT^{-1}).

h : الضاغط الهيدروليكي (L).

x_j : الإحداثيات الديكارتية.

إنَّ الشكل العام للمعادلة التي تصف الجريان الانتقالي لسائل قابل للانضغاط في طبقة حاملة للمياه غير متجانسة وغير متماثلة الخواص، من الممكن أن يكون مشتقاً عن طريق جمع قانون دارسي مع معادلة الاستمرارية [51].

وبالتالي إنَّ المعادلة العامة النازمة للجريان غير المستقر للمياه الجوفية في طبقة غير متجانسة وغير متماثلة الخواص يمكن أن تُكتَب بشكل كمي ديكرتي:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - w = Ss \left(\frac{\partial h}{\partial t} \right) \quad (2-5)$$

حيث:

k_{xx}, k_{yy}, k_{zz} : قيم الناقلية الهيدروليكية في الاتجاهات الثلاث x, y, z (LT^{-1}).

h : الضاغط الهيدروليكي (L).

Ss : التخزين النوعي (L^{-1}).

t : الزمن (T).

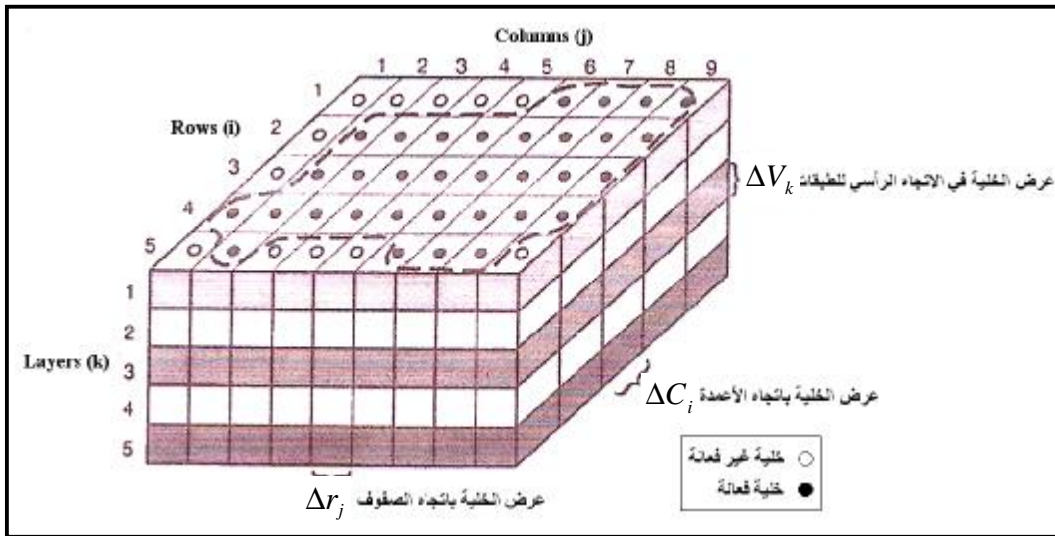
W : حجم التغذية أو السحب من وحدة الحجم (T^{-1})، (موجب للتدفق الداخل وسالب للخارج).

ولحلَّ المعادلات التفاضلية تُستخدم عدة طرائق منها: طريقة الفروق المنتهية Finite Difference Method؛ طريقة التكامل المحدود Boundary Integral Method؛ طريقة تحليل العنصر Analytical Element Method [61].

إنَّ طريقة الفروق المنتهية من أكثر الطرائق العددية استخداماً، ويُعدّ العالم الروسي "كامنسكي" أول من استخدم هذه الطريقة، وذلك عام 1940 حيث وضع الأسس الهيدروجيولوجية لاستخدامها بهدف حل مسائل التنبؤ بارتفاع منسوب المياه الجوفية وجريانها إلى المناجم، وكذلك بقصد حل المسائل العكسية بغية تعيين التغذية الرأسية والمعطائية المائية، وعلى أساس كل ذلك ناقش الأسس الهيدروديناميكية لدراسة نظام المياه الجوفية وموازنتها. وشهد العقدان الأخيران من القرن الماضي ومطلع هذا القرن تطوراً كبيراً في استخدام الطرائق العددية بسبب تطور الأسس النظرية للآلات الحاسبة الإلكترونية وتكنولوجيا هذه الآلات [33].

لقد اعتمدنا طريقة الفروق المنتهية، لحل معادلات جريان المياه الجوفية في منطقة البحث، بسبب قابليتها للتكثيف مع كافة الظروف الهيدروجيولوجية للمسائل المطروحة. كما تقترب شبكة النموذج من حدود منطقة البحث باستخدام هذه الطريقة، ومن مناطق توزع البارامترات الهيدروجيولوجية أيضاً، وهي طريقة مُبسّطة من نواحي الشروط الاعتبارية والرياضية، ويمكن برمجتها بسهولة، كما أنها سهلة التطبيق وشائعة الاستعمال، وتعطي نتائج جيدة.

إنَّ أساس طريقة الفروق المنتهية لحل المعادلات التفاضلية للحركة المستقرة وغير المستقرة هي طريقة الشبكات، حيث يتم تقسيم الخزان الجوفي إلى شبكة في الاتجاهات الثلاثة، وهي صفوف (Rows i) وأعمدة (Columns j) وطبقات (Layers k)، الشكل (1-5). وهذا ما تعتمد عليه طريقة الفروق المنتهية، أي يتم تقسيم الطبقة الحاملة للمياه إلى شبكة خلايا في الاتجاهات الثلاثة، حيث تُمثّل قيم الناقلية الهيدروليكية والتخزين النوعي بالاتجاهات الثلاثة x, y, z ، أي تابعة للمكان. أمّا التغذية أو السحب والضغوط الهيدروليكي، فهما تابعان للمكان والزمان. لذلك يمكن تقسيم الزمن الذي يجري خلاله تشغيل النموذج إلى عدة فترات إجهاد Stress Periods، وكل فترة إجهاد تنقسم بدورها إلى خطوات زمنية Time Steps، حيث يتم الحساب تبعاً لكل خطوة من الخطوات الزمنية.



الشكل (1-5) شبكة لدراسة نظام الطبقة المائية الافتراضية [McDonald and Harbaugh]

تُعطى الموازنة المائية لكل خلية بالعلاقة التالية المُستندة إلى علاقة الاستمرار [33] :

$$\sum Q_i = S_s \frac{\Delta h}{\Delta t} \Delta V \quad (3-5)$$

حيث أن:

Q_i : معدل الجريان إلى الخلية ($L^3 t^{-1}$).

ΔV : حجم الماء في الخلية (L^3).

Δh : تغير الضاغط المائي خلال الزمن Δt (L).

S_s : معامل التخزين النوعي (Specific Storage) (L^{-1}).

t : الزمن (s).

تتصل كل خلية بست خلايا مجاورة هي:

$$(i, j, k+1); (i, j, k-1); (i, j+1, k); (i, j-1, k); (i+1, j, k); (i-1, j, k) \quad (4-5)$$

ويكون تصريف الجريان المتجه من كل خلية مجاورة إلى الخلية المركزية مساوياً وفقاً لقانون دارسي، معامل النفوذية بين هاتين العقدتين مضروباً بمساحة المقطع العمودي على الجريان مضروباً بالترج الهيدروليكي. فعلى سبيل المثال يُعطى تصريف الجريان في اتجاه الصفوف من الخلية ($i, j-1, k$) إلى الخلية (i, j, k) بالعلاقة التالية:

$$q_{i,j-\frac{1}{2},k} = K_{i,j-\frac{1}{2},k} \Delta C_i \Delta V_k \frac{(h_{i,j-1,k} - h_{i,j,k})}{\Delta r_{j-\frac{1}{2}}} \quad (5-5)$$

باعتبار أن:

$K_{i,j-\frac{1}{2},k}$: عامل النفوذية بين الخلية ($i, j-1, k$) والخلية (i, j, k) (Lt^{-1}).

$\Delta C_i \Delta V_k$: مساحة سطح الخلية العمودي على حركة الجريان (L^2).

$\Delta r_{j-\frac{1}{2}}$: المسافة بين الخلية ($i, j-1, k$) والخلية (i, j, k) (L).

وبنفس الطريقة يتم حساب تصريف الجريانات من بقية الخلايا المجاورة أي:

$$\left(q_{i,j+\frac{1}{2},k} \right); \left(q_{i-\frac{1}{2},j,k} \right); \left(q_{i+\frac{1}{2},j,k} \right); \left(q_{i,j,k-\frac{1}{2}} \right); \left(q_{i,j,k+\frac{1}{2}} \right) \quad (6-5)$$

وباستخدام الصيغة العامة لمعامل التوصيل الهيدروليكي والتي تُعطى على سبيل المثال في الصف والطبقة بين العقدة (i, j, k) والعقدة ($i, j-1, k$) بالصيغة الآتية:

$$CR_{i,j-1,k} = K_{i,j-\frac{1}{2},k} \frac{\Delta C_i \Delta V_k}{\Delta r_{j-\frac{1}{2}}} \quad (7-5)$$

وبنفس الطريقة يتم حساب تصريف الجريانات من بقية الخلايا المجاورة وبالتالي، تنتج لدينا ست معادلات تمثل حركة المياه الجوفية في الخلية (i, j, k) من الجوانب الست المحيطة بها. وعند إجراء الحل لا يمكن إهمال التأثير الخارجي على الحامل المائي، كالتسرب من المجاري المائية السطحية، والتغذية، والتبخر، وغيرها. وهذا التأثير يمكن تمثيله لكل خلية n بالصيغة الآتية:

$$a_{i,j,k,n} = p_{i,j,k,n} h_{i,j,k} + q_{i,j,k,n} \quad (8-5)$$

باعتبار أن:

$a_{i,j,k,n}$: تمثل كمية التصريف من المصدر الخارجي (n) إلى الخلية (i, j, k) ($L^3 t^{-1}$).

$p_{i,j,k,n}$: مقدار ثابت ($L^2 t^{-1}$).

$q_{i,j,k,n}$: مقدار ثابت ($L^3 t^{-1}$).

وبالتالي، يكون مجموع التأثيرات على الخلية:

$$QS_{i,j,k} = \sum_{n=1}^N a_{i,j,k,n} = \sum_{n=1}^N p_{i,j,k,n} h_{i,j,k} + \sum_{n=1}^N q_{i,j,k,n}$$

$$QS_{i,j,k} = p_{i,j,k} h_{i,j,k} + Q_{i,j,k} \quad (9-5)$$

وبالعودة إلى معادلة الاستمرار (3-5) وربطها بمعادلات الجريان من الأوجه الستة للخلية والأخذ بالحسبان تأثيرات المصادر الخارجية، فإن معادلة الاستمرار تأخذ الصيغة الآتية:

$$q_{i,j-\frac{1}{2},k} + q_{i,j+\frac{1}{2},k} + q_{i-\frac{1}{2},j,k} + q_{i+\frac{1}{2},j,k} + q_{i,j,k-\frac{1}{2}} + q_{i,j,k+\frac{1}{2}} + p_{i,j,k} h_{i,j,k} + Q_{i,j,k} = SS_{i,j,k} \frac{\Delta h_{i,j,k}}{\Delta t} \Delta r_j \Delta C_i \Delta V_k \quad (10-5)$$

حيث أن:

$\frac{\Delta h_{i,j,k}}{\Delta t}$: تمثل الفروق الحدية التقريبية لتفاضل الضاغط مع الزمن (Lt^{-1}).

$SS_{i,j,k}$: معامل التخزين النوعي للخلية (i, j, k).

$\Delta r_j \Delta C_i \Delta V_k$: حجم الخلية (L^3) (i, j, k).

5.1.5. مراحل إعداد النموذج الرياضي

تمَّ إعداد النموذج الرياضي وفق الخطوات المتسلسلة الآتية [33 , 51] :

٧ تحديد منطقة الدراسة ووصف المسألة المطروحة بهدف تحديد البيانات المطلوبة، إضافةً إلى وصف خصائص منطقة الدراسة (الوضع الجيولوجي، التكتوني، الهيدروجيولوجي، المناخ الخ)، وهذا ما تمَّ تفصيله في الفصول السابقة من بحثنا.

٧ صياغة النموذج الاعتباري

تتضمن هذه المرحلة تبسيط الوضع الطبيعي والعوامل المؤثرة عليه والتي يُقصد بها الظروف الحدية (Boundary Conditions) المؤثرة على حدود المنطقة المدروسة وفي داخلها، وكذلك الظروف البدئية (Initial Conditions) ونظام الرشح. فالنموذج يجب أن يوافق الظروف الطبيعية للمنطقة، أي يجب أن تُمثَّل جميع الظروف والعوامل التي تشكل نظام المياه الجوفية بشكل واضح ودقيق. وهذا كله مبني على أساس توفر الدراسات السابقة والبيانات المتاحة ودقتها ونتائج الجولات والتحريات الحقلية.

٧ بناء النموذج الرياضي وتصميمه

يجب أن يُترجم النموذج الاعتباري إلى نموذج رياضي واحد من خلال اختيار معادلات الحل المتحكِّمة والنموذج الحاسوبي، ويتضمن تصميم هذه النموذج: تصميم الشبكة واختيار الخطوات الزمنية، ووضع الشروط الحدية والبدئية، والاختيار الأولي لقيم بارامترات الطبقات الحاملة للمياه الجوفية.

٧ تشغيل النموذج

تبدأ المباشرة بتشغيل النموذج بوضع قيم أولية للضاغط المائي، وبناءً على القيم والمعاملات الهيدروليكية والظروف الحدية، يتم إعداد المعادلات التفاضلية الجزئية لكل خلية، باستخدام طريقة الفروق المنتهية، ومن خلال أسلوب الحل المُختار يقوم البرنامج بإيجاد قيمة الضاغط المائي، بعد ذلك نُجري موازنة قيم الضاغط المحسوب مع القيم الأولية، فإذا تبين أن الفرق يتعدى قيمة الخطأ المسموح به، فإنَّ قيمة الضاغط المحسوب تُستخدم كقيمة أولية (Initial)، ثمَّ تتم عملية تكرار الحساب حتى عملية التلاقي مع الحل الصحيح (Convergence)، وبذلك يُجرى حساب الموازنة المائية بناءً على قيمة الضاغط المائي الصحيحة.

٧ تحليل الحساسية

إنَّ تقييم الأهمية النسبية لكل البارامترات تساعد على تحديد أي البيانات يجب أن تُحدَد بشكل أكثر دقة، وأي البيانات تحتاج إلى تحديد أقل. لذلك فإنَّ تحليل الحساسية يساعد في تقرير أي نوع من البيانات (البارامترات) هي أكثر عرضةً وحساسيةً للتغيرات، بالعلاقة مع النتيجة النهائية للنموذج.

٧ معايرة النموذج

تهدف عمليات معايرة النموذج إلى تحديد إمكانية النموذج لإعادة إنتاج الضواغط الحقلية المقيسة والجريان، وتُجرى المعايرة بمحاولات تعديل الأخطاء في البارامترات. والهدف الرئيس من المعايرة هو تعيين البارامترات الهيدروجيولوجية، والبرهان على دقة تصميم النموذج الرياضي للمنطقة المدروسة، ويتم الحكم على دقة النموذج وصحة تمثيله لحركة المياه الجوفية من خلال التوافق بين الوضع الطبيعي للمياه والوضع المحسوب لها بواسطة النموذج. ولهذا عند معايرة النموذج، عادةً ما يكون مدى التطابق (التوافق) هو المعيار الأساس لصحة النموذج مع الحفاظ على شكل الجريان العام.

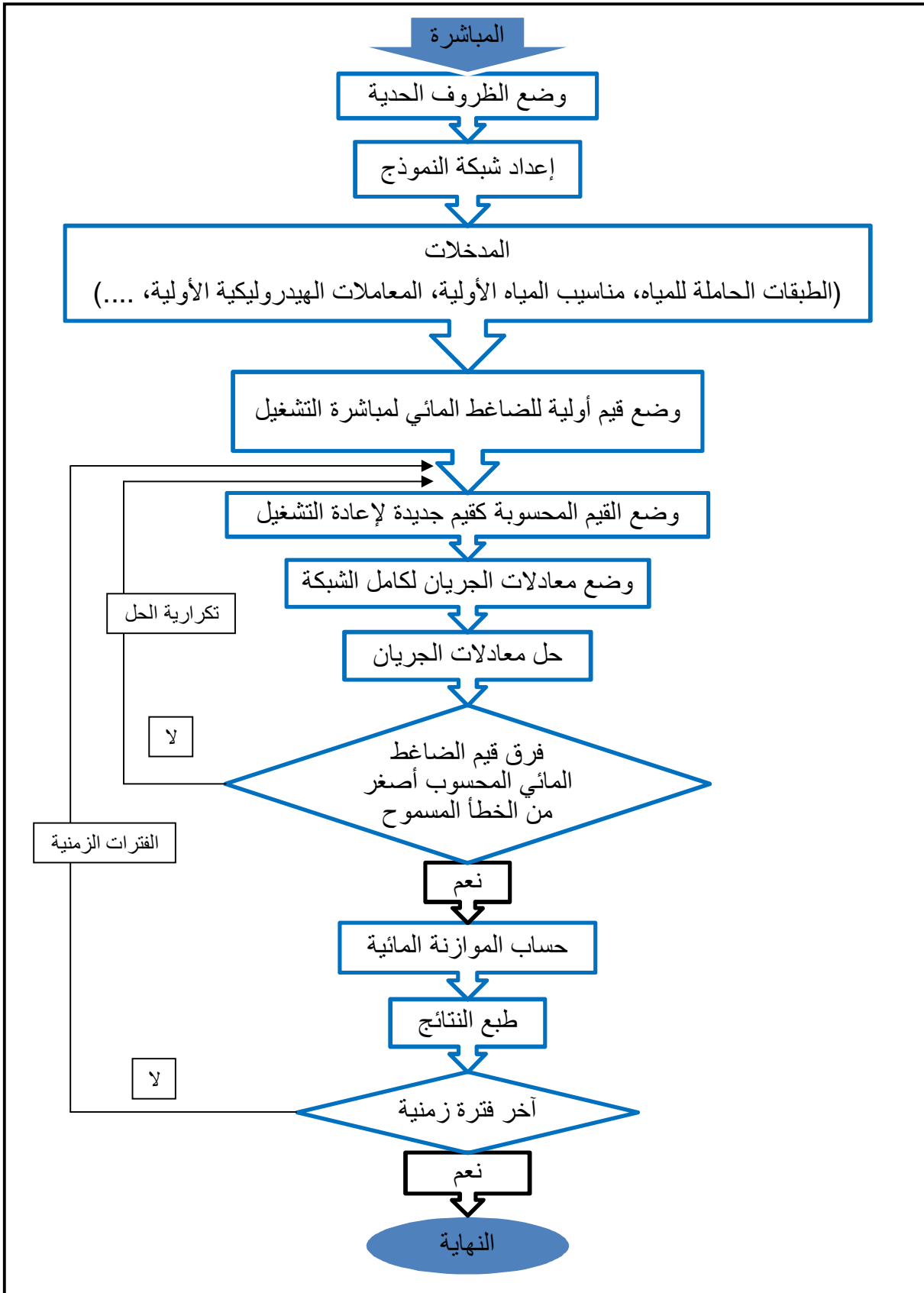
٨ تحقيق النموذج

يجب أن يتم تحقيق أي نموذج قبل أن يُستخدم كأداة تنبؤ لسلوك النظام المعنبر. ويهدف تحقيق النموذج إلى تحقيق أكبر ثقة ممكنة في النموذج باستخدام مجموعة بارامترات معايرة، وإجهاادات لإعادة إنتاج مجموعة ثانية من البيانات الحقلية. بعد ذلك يتم تشغيل النموذج لعدة سيناريوهات مُقترحة يتم خلالها توضيح التأثيرات المحتملة على النظام المائي في حالة زيادة الاستثمارات، وكذلك تغيرات الهبوط في مناطق الاستثمار واحتمالات التأثيرات المتبادلة بين المناطق المختلفة وامتداد تلك التأثيرات.

٩ مرحلة التنبؤات

إنّ الزمن الذي تُجرى فيه التنبؤات في نموذج تمت معايرته يجب أيضاً أن يرتبط بطول السجل التاريخي. حيث أنه أحد المصادر الأساسية للخطأ المتوقع، عادةً ما يُعزى بشكل أولي إلى عدم الموثوقية في الضغوط المستقبلية، التي غالباً ما تتأثر بالعوامل الديموغرافية، السياسية، الاقتصادية، الاجتماعية. وهذا ما يجب أخذه بعين الاعتبار عند حل المسائل التنبؤية وبناء سيناريوهات الاستثمار المستقبلية.

ويوضح الشكل (5-2)، المخطط البياني لتشغيل النموذج الرياضي.



الشكل (2-5) خوارزمية تشغيل النموذج الرياضي

1.5.1.5. النموذج الاعتراري

تعدُّ صياغة النموذج الاعتراري للنظام المطلوب دراسته من أهم خطوات عمليات النمذجة. فالنموذج الاعتراري، هو افتراض سلوك نظام المياه الجوفية والعمليات الجارية فيه كمياً. وتَعتمد صياغة النموذج الاعتراري للجريان على خطوة واحدة أو أكثر من الخطوات الآتية حسب طبيعة المسألة التي تجري محاكاتها:

✚ تحديد الخصائص الهيدروجيولوجية للمسألة المطروحة، حيث يمكن أن نَدْمُج في النموذج الاعتراري عدة توضعات جيولوجية في منظومة واحدة، أو يمكن تقسيمها إلى طبقات حاملة للمياه الجوفية (حرة وارتوازية)، وكتيمة.

✚ تحديد نظام الجريان ومصادر التغذية والصرف. حيث تتضمن مصادر التغذية: تغذية المياه الراشحة، تغذية المياه السطحية، والتغذية الاصطناعية. ويشمل الصرف: تدفق الينابيع، الجريان القاعدي باتجاه المصارف، التبخر – النتح، والضخ.

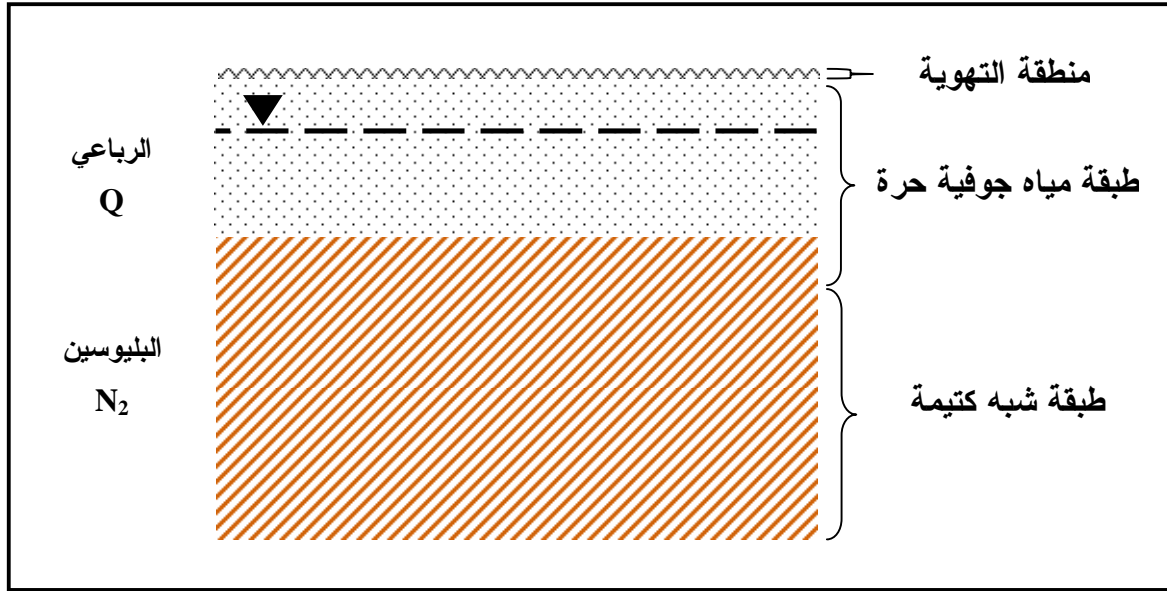
✚ تحديد نظام الانتقال ومصادر التركيب الكيميائي. كما يتضمن النموذج الاعتراري تمثيل التغيرات الزمنية لتركيز المصادر الكيميائية، والعمليات الكيميائية والبيولوجية المؤثرة في التركيب الكيميائي.

لتطوير النموذج الاعتراري تُستخدَم النماذج الحاسوبية لاختبار ملاءمة البارامترات وعمليات الجريان، وبالتالي فالنموذج الحاسوبي يحدد الاستجابة للمتغيرات الحقلية [75].

شكلنا النموذج الهيدروجيولوجي الاعتراري، الذي يمثّل الظروف الهيدروجيولوجية للطبقة الحاملة للمياه الجوفية الحرة، اعتماداً على البنية الجيولوجية والتكتونية والوضع الهيدروجيولوجي العام، ويتألف النموذج الاعتراري لمنطقة البحث من:

طبقة حاملة لمياه جوفية حرة تعود للبلوسين والرباعي حيث تشكل التوضعات الرباعية والبلوسينية منظومة هيدروجيولوجية واحدة، تتألف توضعات الرباعي من حصى، رمال، كونغولوميرا، حجر رملي كلسي، ونادراً حجر كلسي. تصل سماكة هذه الطبقة إلى حوالي (30) م ، ويتراوح عامل الرشح (الناقلية الهيدروليكية) فيها ما بين (1-50) م/يوم ، وناقليتها المائية ما بين (30-570) م²/يوم تبعاً لخصائص التوضعات. ويحدها من الأسفل **طبقة شبه كتيمة** تعود للبلوسين ذات امتداد إقليمي، تتألف من صخور المارل والغضار وتصل سماكتها إلى حوالي 100 م . يُشاهد ضمنها بعض الطبقات الرقيقة الحاملة للمياه بسماكة تتراوح بين (2-18) م من الحجر الكلسي الرملي والحجر الرملي الهش. تزداد قيمة النفوذية لتوضعات البلوسين قرب سطح الأرض، وفي الأماكن المعرضة للتجوية بشكل جيد، فتصل قيمة عامل الرشح بذلك حتى (27) م/يوم وسطياً، ويتراوح عامل الناقلية المائية لتوضعات البلوسين البحرية بين (135-295) م²/يوم.

ومن خلال التحليل السابق أعلاه، وتقييم الظروف الهيدروجيولوجية، وتحديد وحساب البارامترات الهيدروجيولوجية باستخدام معطيات مراقبة نظام المياه الجوفية في منطقة البحث كما جاءت نتائجها في الفصل الثالث من الأطروحة، وانطلاقاً من افتراض أن سماكة الطبقة الحاملة للمياه الجوفية العائدة للبيوسين تبلغ وسطياً (10) م ، وهي العشر أمتار الأولى منه كون هذا القسم مجوّى بشكل جيد وقريب من سطح الأرض، شكلنا النموذج الاعتباري لمنطقة البحث كما هو مبيّن في الشكل (3-5).



الشكل (3-5) النموذج الاعتباري لمنطقة البحث

2.5.1.5. تصميم النموذج

تنتهي المرحلة الأولى المتمثلة بتخطيط الظروف الهيدروجيولوجية وتبسيطها للمنطقة المدروسة بوضع النموذج الرياضي لهذه المنطقة.

الخطوة الأولى في تصميم النموذج هي تحديد طبيعة المسألة والهدف من النموذج. هذه الخطوة ترتبط بشكل وثيق مع صياغة النموذج الاعتباري الذي يُعدّ أمراً مهماً لتطوير النموذج الرياضي، إذ أنه وأثناء صياغة النموذج الاعتباري يُجرى تقويم أيّ العمليات أكثر أهمية في نظام المياه الجوفية التي قد تمّ التحري عنها للمسألة المحددة. إنّ مفتاح الفعالية والدقة في هندسة وتشكيل نموذج ما، من المحتمل أن تتأثر بتشكيل النموذج الاعتباري الملائم أكثر من اختيار الطرائق العددية الخاصة أو الكود [51].

إنّ الكود الرئيسي (النموذج الأساسي) الذي سيتم اختياره يجب أن يتلاءم مع الموقع المُحدّد أو المنطقة المحاكاة. حيث تتطلب نماذج المياه الجوفية معطيات كثيرة، لتدقيق البارامترات الهيدروجيولوجية في مراكز عقد شبكة النموذج، ويتطلب تحديد توزع هذه البارامترات تجارب كثيرة ومكلفة، لذلك فإنّ النموذج هو محاولة لحلّ عدد كبير من المعادلات المتزامنة، التي تحتوي مجاهيل تفوق عدد المعادلات [51, 68].

يجب أن تكون كل البارامترات المُحدّدة والشروط الحديّة والبدئية متوافقة مع النموذج الاعتراري. ولكن من النادر أن تكون قيم البارامترات دقيقة، ويتم الحصول عليها بشكل غير مباشر (تجارب الضخ)، كذلك فإنّ تقدير قيمة التغذية والصرف، قد لا يخلو من الصعوبة. وفي النهاية نحتاج إلى سلاسل زمنية طويلة (ضواغط المياه الجوفية، معدلات الصرف والتغذية) لتطوير نموذج محاكاة المياه الجوفية [51, 68].

أمّا الخطوة الثانية فهي شبكة النموذج (Model Grid) التي يتم إنشاؤها بما يتوافق مع كثافة المعطيات المتاحة وضرورة تمثيل التفاصيل الهيدروجيولوجية – البنيوية بشكل كافٍ ضمن إطار مقياس الدراسة واتساع مساحة المنطقة، حيث يتم تقسيمها إلى مضلعات (مربعة، أو مستطيلة، أو مربعة – مستطيلة) متساوية المساحة أو مختلفة المساحة، ويتم تحديدها ضمن عدد محدد من الأعمدة تجري قراءتها على محور السينات، وعدد من الأسطر تجري قراءتها على محور العينات، ويمكن تحديد أي مضلع من رقمه [33].

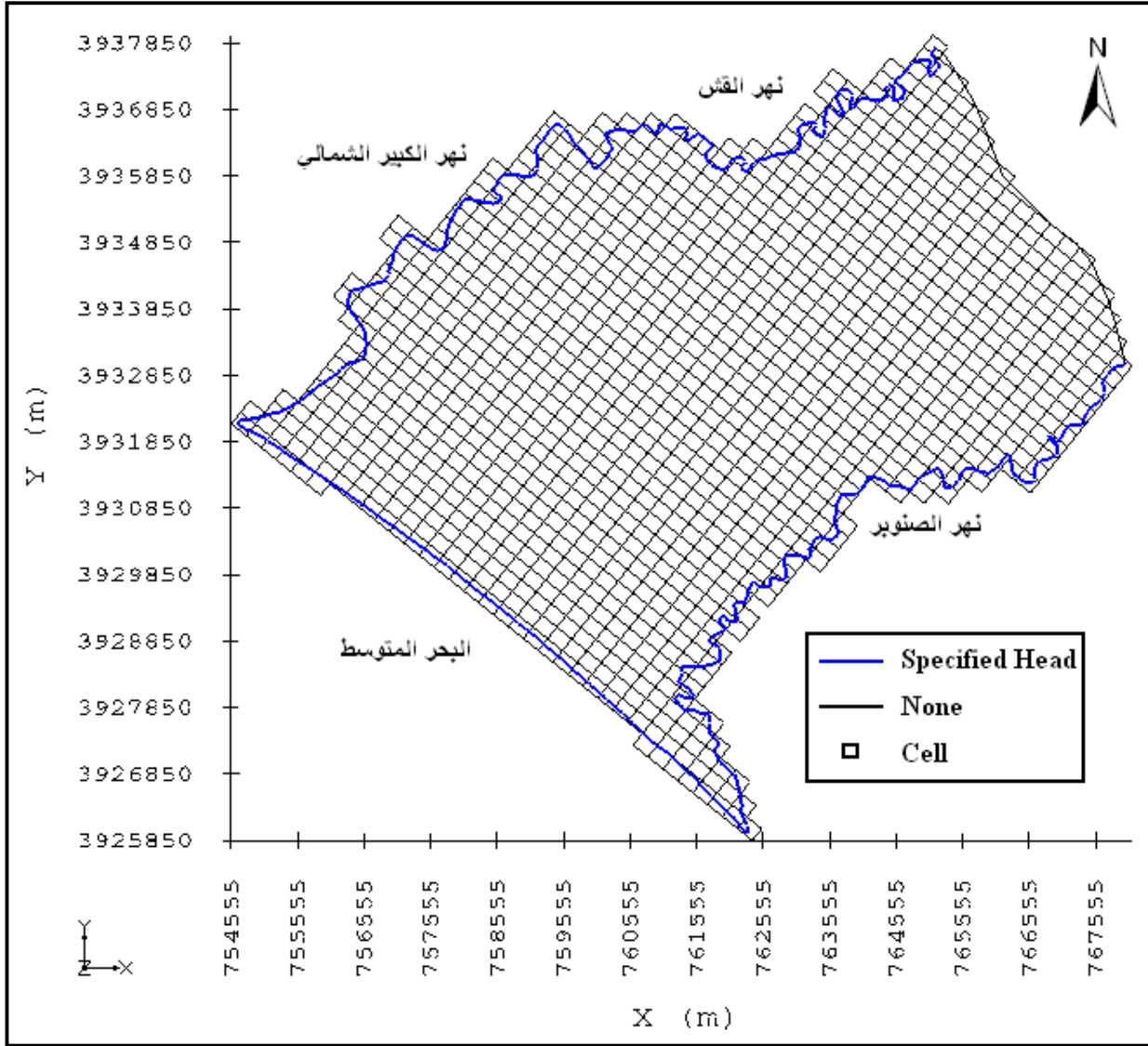
يعتمد كود Modflow على طريقة الفروق المنتهية في تشكيل الشبكة، حيث تُشكّل بمجموعتين من الخطوط المتوازية والمتعامدة فيما بينها، ويُدعى البلوك المُشكّل من هذه الخطوط بالخلايا. في مركز كل خلية يوجد لدينا ما يُسمى بالعقدة وهي النقطة التي يحسب النموذج الضاغط الهيدروليكي فيها. وهذا الكود يفترض أنّ الخصائص الهيدروليكية والهيدروجيولوجية موحدة على كامل الخلية، لذلك تُمثّل الخلية بعقدتها، ويسمى هذا النوع من الشبكات المستعملة في Modflow بشبكة البلوك المتمركز [68].

يجب أن تُصمّم شبكة النموذج باستخدام أصغر تباعدات شبكية وخطوات زمنية ممكنة، وذلك لتقليل مصادر الأخطاء العددية قدر الإمكان. لذلك وأثناء تصميم الشبكة، يجب أن تبقى نسبة طول الخلية إلى عرضها قريبة من الواحد قدر المُستطاع [51].

وللحصول على حلّ أمثل للعمليات الحسابية للنموذج، تُستخدَم عادةً شبكة غير منتظمة الأبعاد وبمساحات صغيرة قدر الإمكان في مناطق الإجهاد، وفي المساحات التي يتوافر فيها بيانات كثيرة، أو تتطلب نمذجتها دقة عددية كبيرة [81].

فيما يتعلق بمنطقة البحث، وتبعاً للهدف من نمذجة نظام المياه الجوفية فيها، تمّ تحديد شبكة النموذج عن طريق Modflow بما يتوافق مع المعطيات المتاحة وضرورة تمثيل التفاصيل الهيدروجيولوجية بشكل دقيق آخذين بعين الاعتبار مساحة المنطقة المدروسة.

وفقاً لذلك أعددنا شبكة للنموذج مستطيلة الشكل، أبعادها (11.162 X 10.035) كم ، تتألف من 1750 خلية منها 1198 خلية فعّالة، بأبعاد (223 X 286) م لكل خلية، بحيث يكون عامل الشكل لها (1.2) ، وقد مكّنت هذه الشبكة من تغطية كامل منطقة البحث وتمثيل تفاصيلها الهيدرولوجية والشروط الحدية والبدئية بشكل مقبول إلى حدٍ كبير، الشكل (4-5).



الشكل (4-5) الشروط الحدية والبدئية وشبكة الفروق المنتهية في منطقة البحث

الشروط الحدية والبدئية

نحتاج إلى معلومات إضافية عن الحالة الفيزيائية للعمليات المعطاة، من أجل الحصول على حلّ وحيد للمعادلات التفاضلية الجزئية، يمكن الحصول على هذه المعلومات بوساطة الشروط الحدية والبدئية. نحتاج فقط إلى تحديد الشروط الحدية في حالة النماذج المستقرة، بينما نحتاج إلى تحديد الشروط الحدية والبدئية في حالة النماذج غير المستقرة [51, 75].

تُشكّل الظواهر الطبيعية (الفيزيائية) أو الاصطناعية (الهيدروليكية) حدوداً لجريانات المياه الجوفية. وكأمثلة عن الحدود الطبيعية نجد: الأنهار، البحيرات، الينابيع، المستنقعات، والاتصال غير النفوذ بين التشكيلات الجيولوجية، والتشوهات التكتونية (الفالق إما كخط جريان أو كحاجز قليل النفاذية)، والاتصال بين الوسط المسامي وحجم كبير من المياه السطحية، أو الاتصال بين الوسط المسامي والمنشآت البشرية كجدار من الملاط الطيني. وهذه الحدود الطبيعية الحقيقية جميعها يُفضل أن تكون كحدود خارجية للنموذج.

وإن لم نتّمكن من ذلك بسبب محدودية مقياس النموذج، يجب عندها استنتاج الحدود الهيدروليكية [68]. حيث تُشتقّ هذه الحدود من شبكة الجريان الجوفي فهي حدود اصطناعية تُوضع من قبل مصمّم النموذج. ويمكن أن تكون حدوداً كتيمة ممثلةً بخطوط الجريان، أو حدوداً بضغط هيدروليكي معلوم ممثلةً بخطوط الكمون [68].

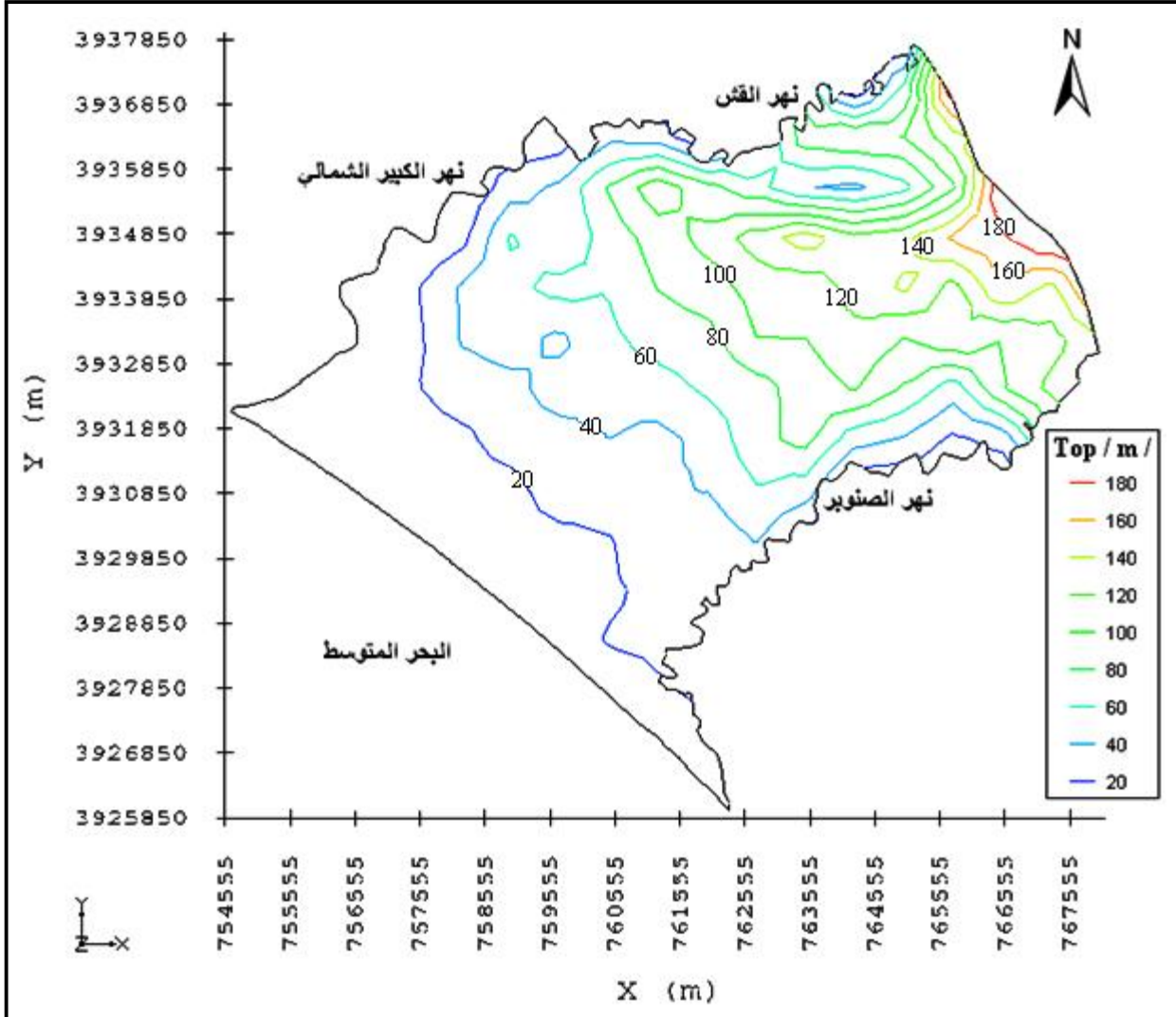
وفي بحثنا تمّ استخدام إمكانات Modflow الأكثر ملائمة، في وصف وتحديد هذه الحدود. يحدّد منطقة الدراسة نهر القش من الشمال، ونهر الكبير الشمالي في الجزء الشمالي الغربي، ونهر الصنوبر من الجنوب الشرقي، وتُمثّل جميعها شرطاً حدياً بضغط معلوم Constant-head boundary، بينما يحد المنطقة من الجنوب الغربي البحر المتوسط ممثلاً حدياً بضغط ثابت $H = \text{Const} = 0$ خلال المحاكاة الشكل (4-5). ويشكل جزء صغير في الشمال الشرقي من منطقة الدراسة حدياً هيدروليكياً كتيماً، تمّ اشتقاقه من شبكة الجريان الجوفي للمنطقة (الشبكة الهيدروديناميكية).

أمّا الشروط البدئية فهي قيم متغيرة تابعة للمكان داخل حدود النموذج عند بداية المحاكاة. وبشكل أدق، تُحدّد الشروط البدئية من محاكاة الحالة المستقرة وغير المستقرة لنظام المياه الجوفية. لذلك، إذا تمّ تحديد الشروط البدئية مباشرةً من القياسات الحقلية، فقد لا تكون منسجمة مع النموذج الاعتيادي أو الإجهادات المُحدّدة في النموذج. في هذه الحالة، يمكن أن يحدث جريان انتقالي، أو انتقال للمحلول في النموذج عند بداية المحاكاة استجابةً لكل من الإجهادات الهيدرولوجية الجديدة والشروط البدئية [51, 75].

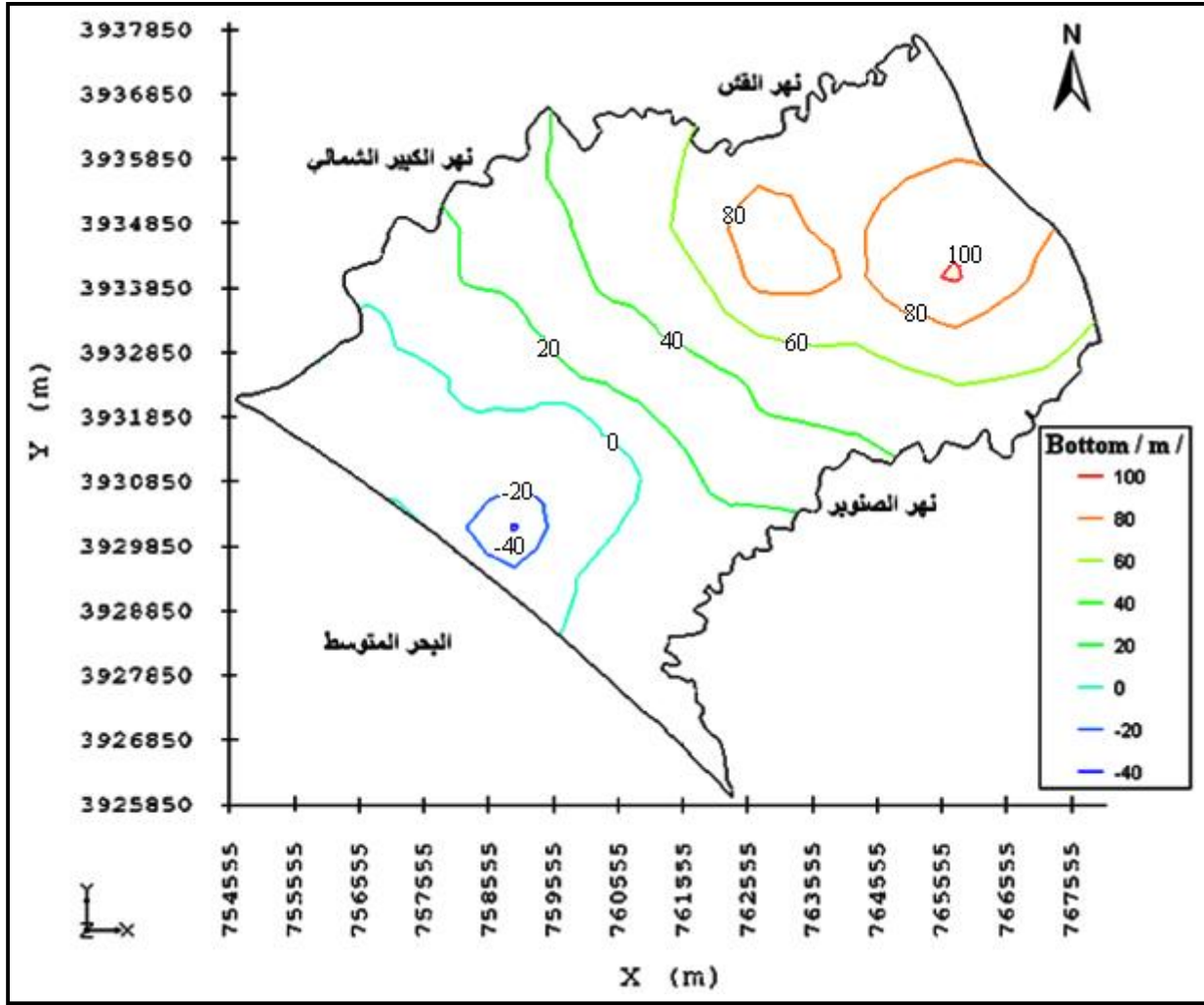
الشروط البدئية هي قيم الضغوط الهيدروليكي لكل خلية فعّالة ذات ضاغط ثابت في النموذج. ومن المستحسن وضع قيم الضواغط البدئية في كل طبقة من طبقات النموذج، للنماذج المستقرة والانتقالية، قريبة من قيم الضواغط المقدّرة من البيانات الحقلية، مما يؤدي إلى تقليل زمن تنفيذ النموذج، ويؤدي إلى تقارب أسرع باتجاه الحل، شرط أن تكون البارامترات الأخرى للنموذج منطقية، وقريبة من البيانات الحقلية المرصودة [68].

Y منسوب مستوى أساس الطبقة الحاملة للمياه الجوفية ومنسوب سطح الأرض

اعتماداً على الخارطة الطبوغرافية للمنطقة، ومعطيات الأعمدة الليتولوجية للآبار فيها، والرفع الطبوغرافي للنقاط المائية المعتمدة، فقد تم وضع مخطط تسوية سطح الأرض، ومخطط منسوب أساس الطبقة الحاملة للمياه الجوفية. حيث يسمح نموذج Modflow من برنامج GIS بعرض خرائط خطوط تساوي المناسيب تلك، اعتماداً على المدخلات الرقمية لها، الشكلان (5-5 و 5-6).



الشكل (5-5) منسوب سطح الأرض



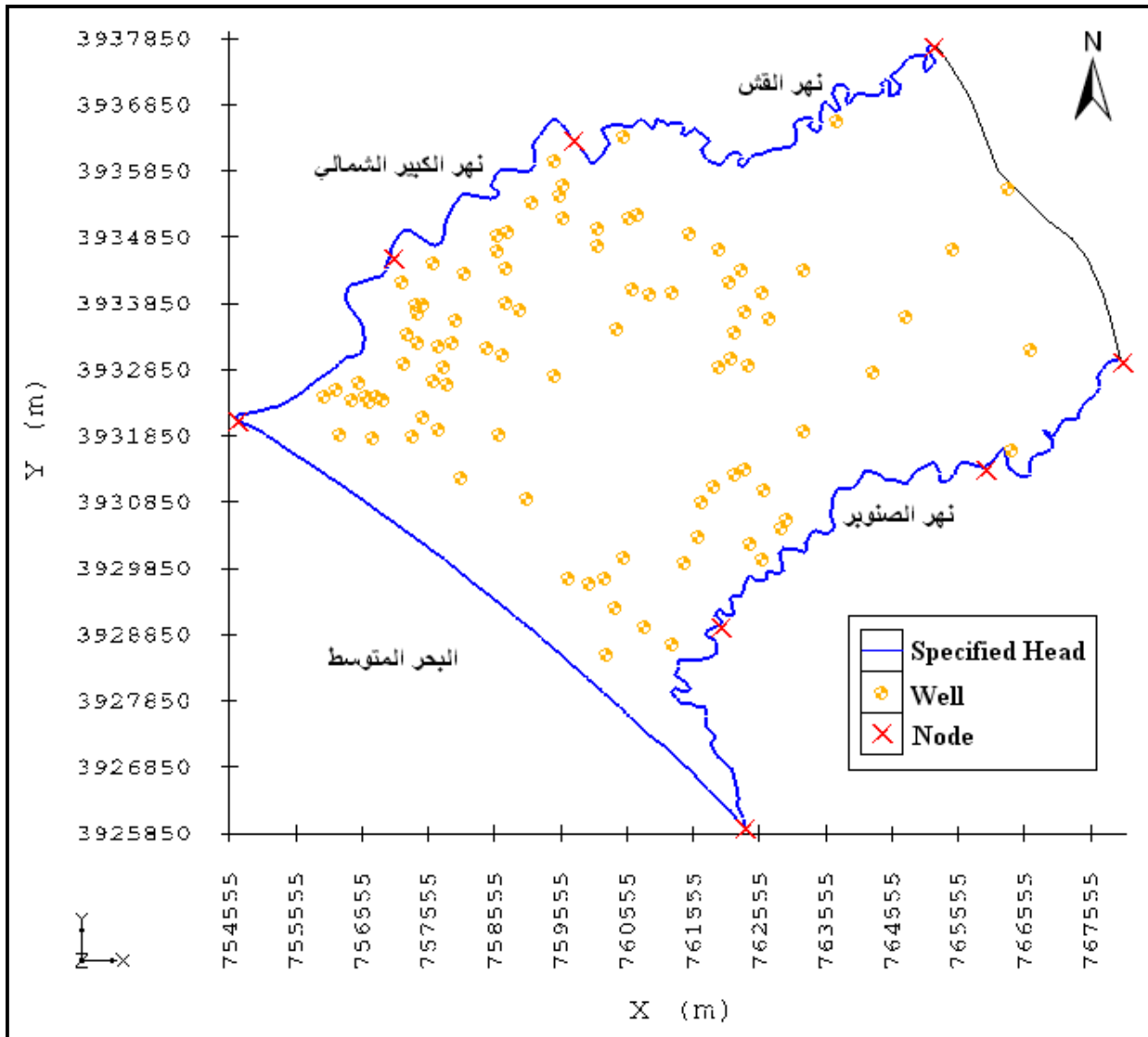
الشكل (5-6) منسوب أساس الطبقة الحاملة للمياه الجوفية

قمنا بتحميل مختلف المعطيات المطلوبة لبناء النموذج الرياضي، التي تضمنت شرائح المعطيات الآتية:

شريحة آبار الصرف

تتغذى أو تنصرف المياه من النموذج بشكلين: الأول عبر حدود النموذج، وتُحدّد كميتها بالشروط الحدية boundary conditions، والثاني من خلال عمليات التغذية والصرف ضمن شبكة النموذج. تمّ نمذجة حدود الضاغظ الثابت specified head boundaries بواسطة نموذج Modflow بإدخال قيم الضاغظ الحقيقي في عقد Node حدّ الضاغظ الثابت، وهو نهر القش الذي يحد المنطقة من الشمال (57 م)، ونهر الكبير الشمالي من الشمال الغربي (14 و 3 م على التوالي) باتجاه البحر، ونهر الصنوبر من الجنوب الشرقي (94 و 50 و 7 م على التوالي) باتجاه البحر، والبحر المتوسط في الجنوب الغربي (0 م في كلتا العقدتين)، حيث أُخذت هذه القياسات في شهر تشرين الأول عام 2012.

وبعد القيام بالعديد من الجولات الحقلية شملت كامل مساحة منطقة الدراسة، تمَّ إدخال شبكة آبار الصرف التابعة للأهالي (المزارعين المحليين) المنتشرة في المنطقة وتمثيلها من خلال 93 بئراً، الشكل (7-5)، التي كانت تُستخدَم سابقاً للري، ثمَّ توقف استخدامها بعد تنفيذ شبكات الري ومياه الشرب في المنطقة، وأصبحت تُستخدَم بشكل محدود جداً للري المساعد وبعض الاستخدامات المنزلية والصناعية، وللشرب أحياناً. وبعد التحقق على الواقع من خلال أسئلة موجهة إلى الأهالي (أصحاب الآبار) عن الآبار ونظام عملها، ومن ثمَّ الاطلاع على رخص الحفر وسجلات مديرية الموارد المائية في اللاذقية وبعض الجداول الإحصائية الموجودة لديها حول تلك الآبار، وجدنا أنَّ تصاريح هذه الآبار تراوحت بين (2 - 20) م³/يوم .



الشكل (7-5) شريحة آبار الصرف

شريحة التغذية المساحية

تعدُّ الهطولات المطرية مصدر التغذية الأساسي للمياه الجوفية في منطقة الدراسة. ولتعيين التغذية الراشحة استخدمنا طريقة الفروق المنتهية، وقد استنتجنا أنَّ قيمتها تتغير من 3.5 إلى 211 مم تقريباً [الفصل الثالث]، وبنسبة مئوية تراوحت بين (1 - 40)% من الهطولات تقريباً. أمَّا معدّل الهطل السنوي فقد بلغ (900) مم/سنة في منطقة البحث.

ويُقيّم التسرب من الهطولات المطرية عادةً كنسبة من كمية الهطول السنوي بالاعتماد على تحليل ظروف تغذية المياه الجوفية ونفاذية التوضعات الجيولوجية في المنطقة المدروسة الشكل (2-11)، فقُدِّرت قيمة النفوذية في التوضعات اللحيقة الحديثة بـ (40%) من كمية الهطل المائي السنوي، وبلغت نسبة التسرب من مياه الأمطار (10%) في مناطق انتشار توضعات الرباعي الأعلى للحيقة السيلية، بينما تبلغ هذه النسبة في التوضعات البحرية للرباعي /الأسفل - الأوسط/ (4%) من الهطل السنوي، وفي التوضعات البحرية للبلبوسين (9%) من إجمالي الهطل السنوي [4].

ويوضح الجدول الآتي (5-1)، نسب تسرب الهطل المائي بعد الأخذ بعين الاعتبار طبيعة التركيب الجيولوجي للتوضعات السائدة في منطقة الدراسة:

جدول (5-1) التسرب من الهطولات المطرية

البنية الجيولوجية	معدل التسرب	كمية التسرب (م/يوم)
التوضعات اللحيقة الحديثة	40%	0.0010
توضعات الرباعي الأعلى للحيقة السيلية	10%	0.0002
التوضعات البحرية للرباعي /الأسفل - الأوسط/	4%	0.0001
التوضعات البحرية للبلبوسين	9%	0.0002

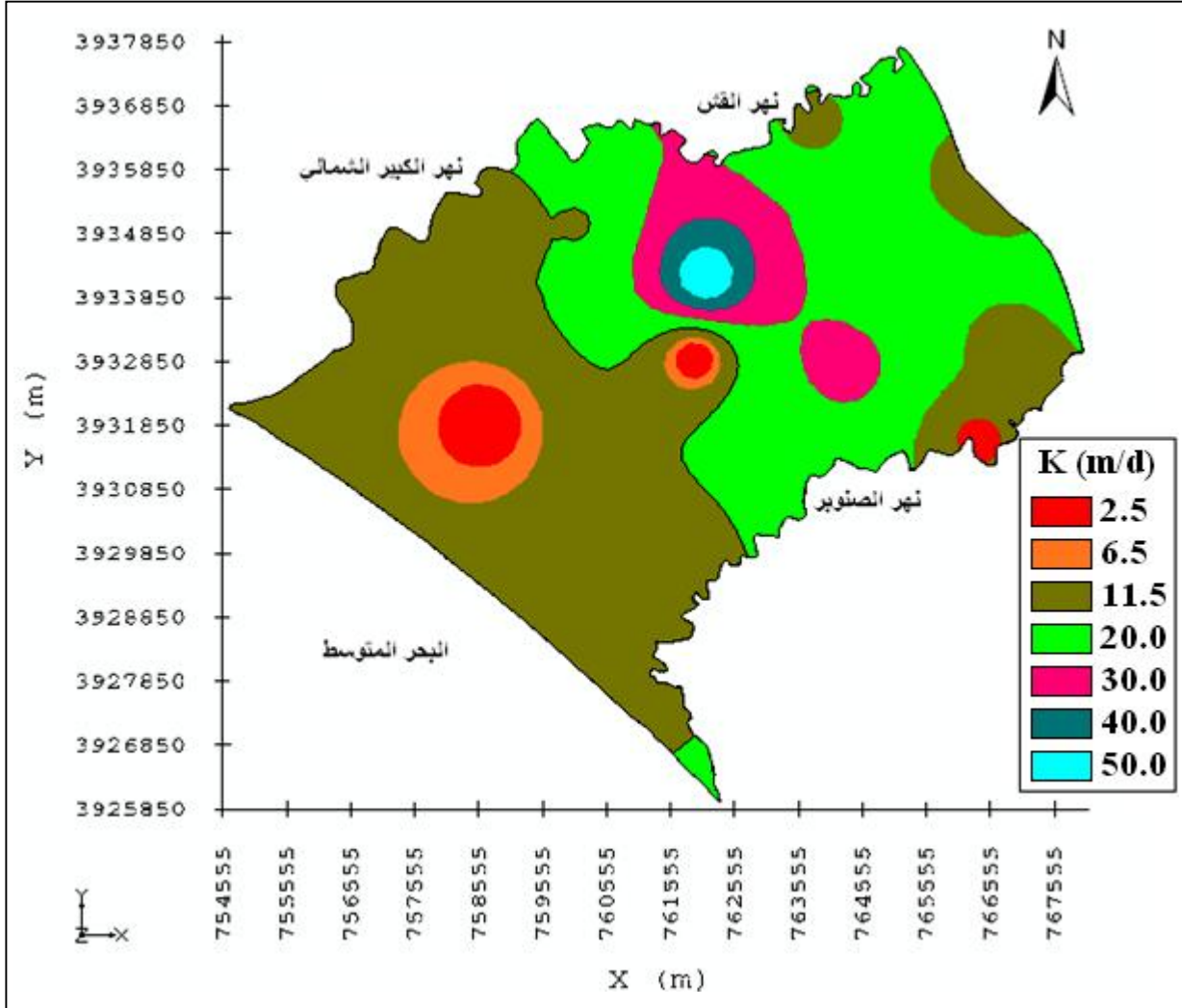
شريحة الناقلية الهيدروليكية

استناداً إلى الدراسات السابقة وبناءً على المعطيات الهيدروجيولوجية لعدة آبار تخترق الطبقة الحاملة للمياه الجوفية ونتائج تجارب الضخ المُنفذة فيها، فقد تمَّ إعادة حساب قيم الناقلية الهيدروليكية [الفصل الثالث] ، وحددنا تسع عشرة منطقة لتوزع قيم الناقلية الهيدروليكية حيث تراوحت هذه القيم بين (2.5 - 50) م/يوم ، الشكل (5-8). حيث سيجري تدقيقها بعملية معايرة النموذج.

3.5.1.5. تشغيل النموذج

بعد أن استُكملت تحميل مختلف المعطيات المطلوبة لبناء النموذج الرياضي التي تتضمن شرائح المعطيات سالفة الذكر، نوجد الحل العددي للمعادلات النفاضلية بتطبيق طريقة الفروق المنتهية باستخدام نظام الحل الضمني Implicit Schemes، أو نظام الحل الظاهري Explicit Schemes. حيث يعتمد الحل الظاهري على إيجاد قيم الضاغظ المائي للزمن m من معطيات معروفة سلفاً عن

الضاغط المائي للزمن السابق $m-1$ ، أما الحل الضمني فيعتمد على إيجاد قيم الضاغط المائي للزمن m ، من خلال ربطه مع قيم الكمون للظروف الحدية الهيدروليكية للنموذج. وعند استخدام نظام الحل الظاهري ولضمان استقرار هذا النظام، من الضروري التقيّد بحجم الخلية وطول الفترة الزمنية، وقد لا يكون ذلك موافقاً في معظم الحالات، لذلك نستخدم عادةً نظام الحل الضمني الذي يمتاز بأنه مستقر دائماً، ولا يتضمن أية قيود سواء على حجم الخلية أو الفترة الزمنية [33].



الشكل (5-8) شريحة عامل الرش (م/يوم)

يعتمد نظام الحل الضمني في حل عدد كبير من المعادلات الخطية في وقت واحد على أسلوب التكرار Iteration ، الذي يُستخدم عند كل فترة زمنية يتم تشغيل النموذج لها، حيث تُعطى قيم تقديرية أولية للضاغط في كل خلية وبعد المباشرة في الحل نحصل على قيم جديدة. تُعتبر هذه القيم الجديدة القيم الأولية للفترة الزمنية التالية، ويتم تكرار هذا الأسلوب حتى الوصول إلى الحل الكامل للمعادلات.

هذا، وتوجد عدّة برامج لحل المعادلات الرئيسية لحركة المياه الجوفية أكثرها شهرةً نظام Modflow ضمن برنامج GMS - Groundwater Modeling System ، أعدته الهيئة العامة للمسح الجيولوجي في الولايات المتحدة الأمريكية (McDonald, Harbaugh, USGS, 1988) والمطور في جامعة Brigham .

من أهم الخصائص الرئيسية لنظام GMS [19] :

ü توافق نماذج برنامج GMS ، مع أية مسألة محتملة ومطروحة للمياه الجوفية.

ü تعطي إخراجات هذا البرنامج مخططات زمنية كثيرة ومنحنيات وجدول مختلفة في النقاط والمواقع المختارة.

ü يُنتج حاسب البيانات Data Calculator ، سلسلة بيانات جديدة، باستخدام صيغ رياضية مختلفة.

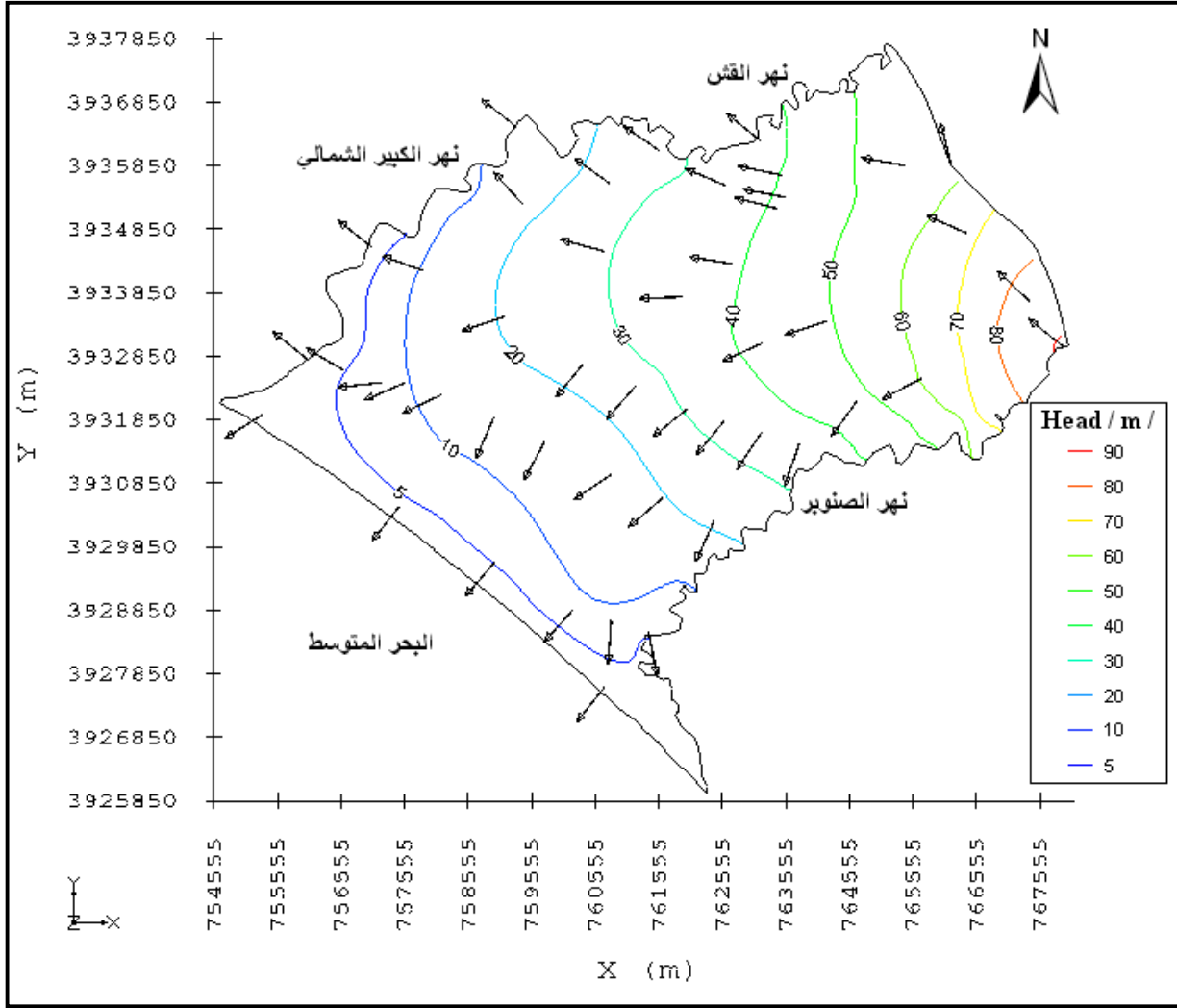
ü تفاعل مُتبادل للمعطيات النقطية والمساحية Raster and Scatter ، لنظم المعلومات الجغرافي GIS – Geographical Information Systems ، من برامج (ArcMap, Arc/Info , ArcView , Grass) .

ü إمكانية تصدير واستيراد ملفات بامتداد DX و TIFF، المُتضمنة في برنامج AutoCAD .

ü يتعامل هذا البرنامج مع الانترنت بشكل مباشر، ويحاور مئات المستثمرين والمنذجين بإجراء حوارات ونقاشات مُثمرة، بوساطة بريده الإلكتروني.

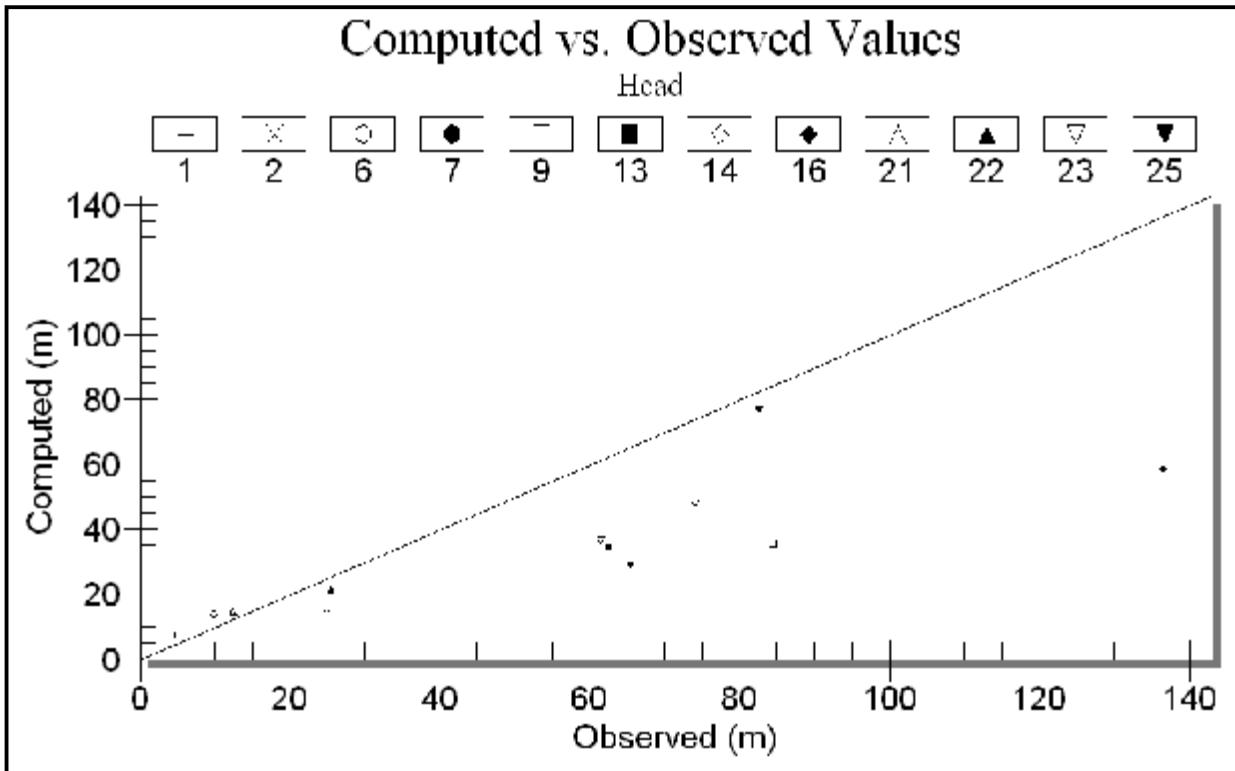
يتعامل برنامج Modflow مع حركة المياه الجوفية من خلية إلى أخرى ضمن فرضيات واعتبارات مُعيّنة، اعتماداً على نموذج اعتباري (مفاهيمي) مُستنبط من تحليل البنية الجيولوجية والهيدروجيولوجية لمنطقة الدراسة. ينتقل البرنامج بعد إدخال البارامترات الهيدروجيولوجية من خلية ثلاثية الأبعاد إلى أخرى باستخدام طريقة الفروق المنتهية، حتى الوصول إلى توزع للضواغط، يُعاير مع التوزع الحقيقي لمناسيب المياه الجوفية في آبار المراقبة، بعدها تُحدد مسارات المياه الجوفية لكل الخلايا وتُعيّن متجهات الجريان، والبارامترات الهيدروجيولوجية لكافة مواقع نقاط البحث. وبهذا نحصل على نموذج رياضي، لتمثيل المياه الجوفية وحركتها في الطبقات الحاملة لها [10] .

تمّ اختيار واحد من برامج الحل Solving Packages ، حيث توجد خيارات عديدة من الحل في برنامج (GMS 6.0)، واخترنا أسلوب الحل الرياضي المناسب للنموذج والموافق لكافة معطياته وهو Geometric Multigrid (GMG). وذلك بعد استكمال تحميل مختلف المعطيات المطلوبة لبناء النموذج، وتحديد الضاغط البيزومتري البدئي وطرائق المعالجة الرقمية التي يتطلبها تشغيل النموذج، كما تمّ تفعيل جميع الشروط الحدية المدخلة في النموذج والقيم البدئية للمعاملات الهيدروليكية. ثمّ تمّ تشغيل النموذج، وحصلنا على خارطة توزع مناسيب سطح المياه الجوفية لأجل الحالة المستقرة في شهر تشرين الأول عام 2012، الشكل (5-9).

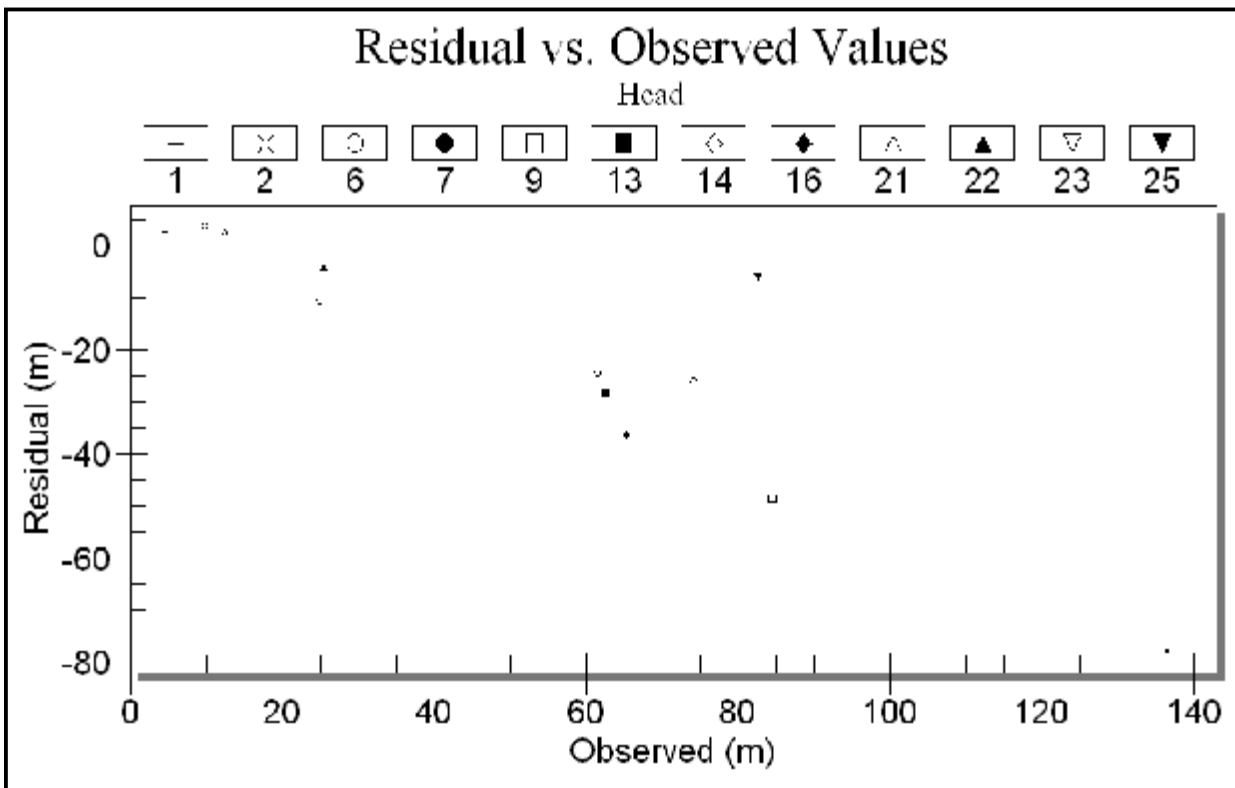


الشكل (5-9) الشبكة الهيدروديناميكية (قبل المعايرة) لشهر تشرين الأول 2012

ويُظهر الشكل (5-10) الفروق بين قيم الضاغظ الحقيقي (المقيس)، وقيم الضاغظ المحسوب، قبل إنجاز عملية المعايرة حيث تراوحت هذه القيم بين (2 و 77) م تقريباً. بالإضافة إلى الشكل (5-11) الذي يُظهر القيم المقيسة والمتبقية.



الشكل (5-10) الفرق بين القيم المحسوبة والمقاسة (قبل المعايرة) لشهر تشرين الأول 2012



الشكل (5-11) الفرق بين القيم المقاسة والمتبقية (قبل المعايرة) لشهر تشرين الأول 2012

4.5.1.5. تحليل الحساسية

قبل البدء بإنجاز عملية المعايرة التي تتضمن إجراء تغييرات متنوعة، وحيدة أو متعددة لبارامترات النموذج، يجب على المُستخدم أن يُحدِّد أيًّا من هذه البارامترات أكثر حساسية للتغيرات بالعلاقة مع النتيجة النهائية للنموذج [82].

يجب أن يُركِّز في أثناء المعايرة على البارامترات المُحددة بدقة أقل أو بشكل افتراضي، ويُغيَّر قليلاً البارامترات ذات الوثوقية الأكثر [51].

يساعد تحليل الحساسية في تقرير أي نوع من البيانات هي أكثر عرضة للنقد. إنَّ الحساسية النسبية للبارامترات تختلف من مسألة إلى أخرى. إضافةً إلى ذلك، إنَّ الحساسية من الممكن أن تتغير مع الزمن طالما أنَّ نظام الإجهاد المُطبَّق على نظام ما يتطور تدريجياً. لذلك، فإنَّ تحليل الحساسية يجب أن يُنجز خلال المراحل المبكرة لدراسة النموذج [51].

لإجراء تحليل حساسية البارامترات المُدخلة، تمَّ تشغيل النموذج عدَّة مرات، وعند كل تشغيل تمَّ تغيير قيمة بارامتر من البارامترات بنسبة ثابتة، ومراقبة استجابة النظام لهذا التغيير. وفي النهاية تبيَّن أنَّ التغذية الراجعة والناقلية الهيدروليكية هما الأكثر حساسية. حيث تطلَّبت معايرة النموذج حتى الوصول إلى أفضل تطابق ممكن مع خارطة توزيع الضواغط المقيسة للطبقة الحاملة للمياه الجوفية، وتعديل قيم تغذية المياه الجوفية في مصلعات شريحة التغذية، وذلك اعتماداً على البنية الجيولوجية والهيدرولوجية لهذه المساحات، خاصةً أنَّ عام 2012 كان الأكثر غزارةً (1400) ملم، أما الناقلية الهيدروليكية فقد تبيَّن أنَّ عند زيادتها أو إنقاصها، نتجت تغييرات واضحة على مناسيب المياه الجوفية، وذلك في جميع أرجاء المنطقة، إلا أنَّ القيم التي تمَّت معايرتها، بقيت ضمن المجال الذي تمَّ تحديده في الفصل الثالث من بحثنا (1 - 50 م/يوم).

5.5.1.5. معايرة النموذج

تكمن أهمية هذه المرحلة في التحقق من الجودة الجيولوجية لنموذج المنطقة المدروسة والوصول إلى الشكل العام لسطح المياه الجوفية تبعاً للظروف الهيدرولوجية، والشروط الحدية للمنطقة. وهذا يمكن تحقيقه من خلال إجراء تحليل مفصَّل للوضع الجيولوجي وللنظام المائي لمنطقة الدراسة ينتهي بإظهار قانونية تغير الخواص الرشحية وإيضاح البنية الهيدرولوجية للطبقة، التي تتجلى بقيم بارامترات الهيدرولوجية التي تبقى ضمن المجالات المحددة لها [33].

يؤدي عدم توفر بارامترات هيدرولوجية مؤكَّدة، إلى قلة الثقة في عمليات التأويل والتنبؤات التي يعتمد عليها تحليل النموذج، إلا إذا تمَّ التحقق من تمثيل النموذج بدقة للنظام الحقيقي. تُوكَّد فعالية النموذج الرياضي، من خلال توافق فترة الاستثمار الفعلية مع نتائج النموذج. فتهدف عمليات معايرة النموذج إلى تقليل الفروق ما أمكن بين القيم المُراقبة والمحسوبة [19].

يَتَّبَع عدد مرات تعديل البارامترات بهدف تحقيق التطابق بين النموذج والخزان المائي الجوفي، لحدس الدارس وخبرته والدقة المطلوبة في النموذج الرياضي، ولتعقيد نظام الجريان وطبيعة فترة المعايرة. ولا توجد قواعد ثابتة لتحديد اكتمال المعايرة، ولكن يرتبط غالباً انتهاء معايرة النموذج، بإعادة إنتاج نظام المياه الجوفية بدقة محددة. غالباً، لا يمكن الحصول من المعايرة على بارامترات هيدرولوجية دقيقة، بسبب العدد الكبير للمتغيرات في مجموعة المعادلات المتزامنة المُمَثَّلة للنموذج، وقد يعود عدم التوافق في نتائج النموذج، والقيم المقاسة، إلى أخطاء في النموذج الاعتبائي، أو في الحل العددي للمعادلات، أو في عدم الدقة الكافية لقيم البارامترات. وقد يتعرض نظام المياه الجوفية إلى إجهادات جديدة خلال فترة المعايرة [51 , 71].

إنَّ الهدف الرئيسي من معايرة النموذج الرياضي، هو تحسين النموذج الاعتبائي للنظام، علماً أنَّ أي تعديل في بيانات الإدخال، قد يُغيِّر النموذج الاعتبائي. وعلى العموم، تُزِيل معايرة نموذج المياه الجوفية بعض التخمينات والتقديرية في البارامترات المُحددة والناجمة عن عدم وجود بيانات كافية تغطي كامل منطقة الدراسة.

المعايرة هي مسألة محاولات تجريب (خطأ - صواب) مستمرة حتى الوصول إلى توافق مناسب بين القيم المقاسة والمحسوبة. وفي حالات عديدة تكون تنبؤات النموذج حساسة لتغيرات الزمن، مثل تنبؤات التغيرات الفصلية لسطح الماء أو السطح البيزومتري. إنَّ معايرة مثل هذه الأنواع من النماذج تتبع الفترة الزمنية التي جُمِعَت فيها بيانات النموذج، وكلما طالت تلك الفترة كلما كان النموذج أكثر دقة [51 , 84].

تُجرى معايرة النموذج بمعرفة البارامترات المُدخلة التي يكون النموذج حساساً لها، مثلاً: تتم معايرة نماذج المياه الجوفية ببارامترات مُدخلة مثل الناقلية الهيدروليكية وعامل التخزين [51 , 84].
تُتَجَزَّ المعايرة بعد تدقيق بارامترات الجريان والتخزين والبارامترات الأخرى ضمن حدود مقبولة، لتحقيق أفضل تطابق مع القياسات الحقلية [82].

إنَّ تعديل البارامترات والمتغيرات يكون ضمن حدود فيزيائية واقعية تسمح بمعايرة النموذج، ومن ثمَّ يجري استنتاج التغيرات الزمنية في ضواغط وجريان المياه الجوفية ضمن النموذج. إذ نفترض عند تحضير النموذج المُعَاير، أنه جاهز للتنبؤ بسلوك الجملة في المستقبل تحت تأثير شروط تغيرات الضاغط الهيدروليكي، وذلك بسبب قدرته على إعطاء السلوك السابق [68].

عادةً يُعدُّ النموذج مُعَايراً عندما يُعيد إنتاج بيانات تاريخية بدرجة مقبولة من الدقة. ويجب الأخذ بعين الاعتبار، أنه ولو كان هنالك توافق جيد مع البيانات التاريخية، فإنَّ النموذج ربما يفشل في توقع النتائج المستقبلية بدقة، خاصةً تحت مجموعة الإجهادات المستمرة الجديدة أكثر من المُجربَة خلال فترة المعايرة [51].

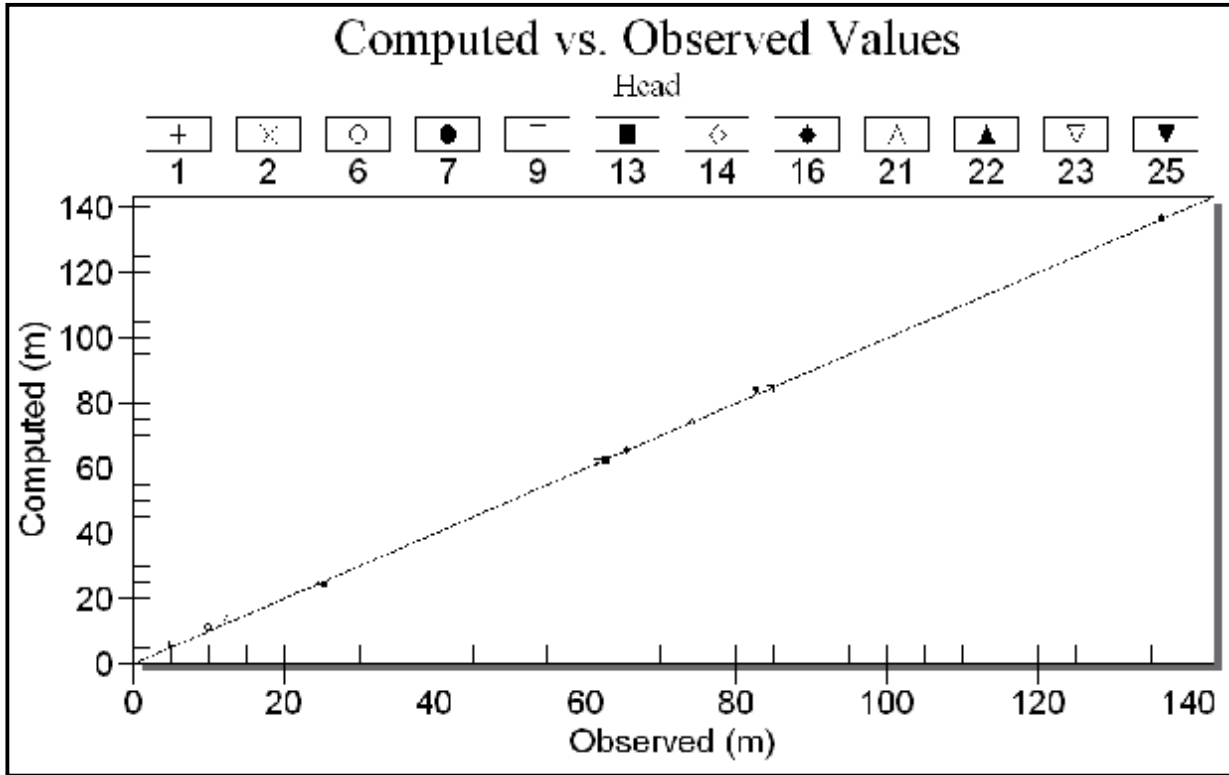
تنتهي المرحلة الأولى من المعايرة نموذجياً عندما يوجد تطابق نظري جيد بين الضواغط الهيدروليكية المحسوبة والمقيسة. وتتضمن المرحلة الثانية التقدير الكمي لأخطاء النموذج من خلال بارامترات إحصائية متعددة، كالانحراف المعياري (Standard Deviation)، وتوزع القيم المتبقية للنموذج (Model Residuals)؛ أي الفرق بين القيم المحسوبة والمقيسة، وحالما يقل هذا الخطأ ويوافق المعيار المضبوط مسبقاً، يُصبح النموذج جاهزاً من أجل الاستخدامات التنبؤية [68].

لم تُلاحظ تغيرات شهرية كبيرة في مناسيب المياه الجوفية، حيث وصلت هذه التغيرات وسطياً إلى حوالي 1 م تقريباً، وبلغت سماكة الطبقة الحاملة للمياه (منطقة الإشباع) حوالي 40 م، أي أن نسبة تغيرات المنسوب لا تزيد عن 2.5% من قيمة سماكة الطبقة الحاملة للمياه، لذلك جرت معايرة النموذج لحالة الجريان المستقر [78].

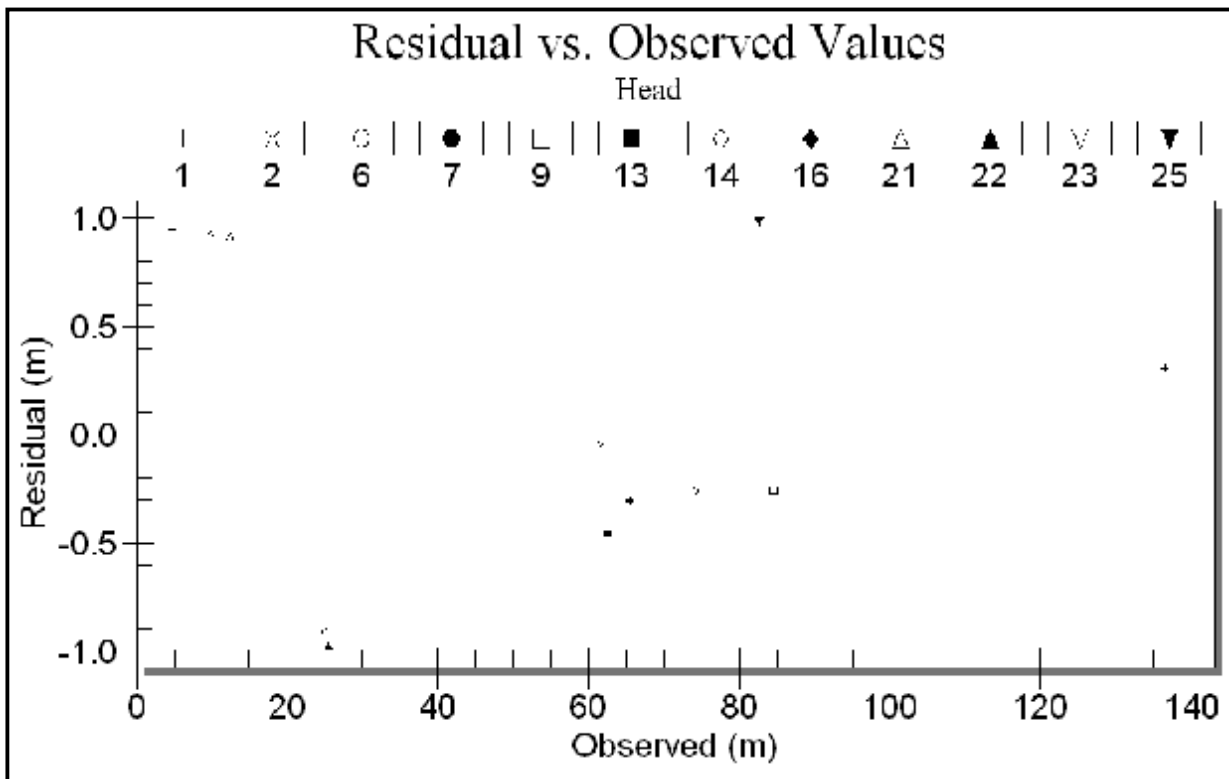
4- معايرة النموذج لحالة الجريان المستقر

تتصف هذه المرحلة بأهمية خاصة في تمثيل حركة المياه الجوفية، والوصول إلى الشكل العام لسطح المياه الجوفية، تبعاً للظروف الهيدروجيولوجية والظروف الحدية لمنطقة البحث. ونظراً للكفاءة العالية التي يتميز بها نظام Modflow المُستخدَم، وإمكانية ربطه مع برمجيات مختلفة GIS ، Excel ونظراً لإمكانية الكمبيوتر الحالية ذات السعات والسرعات العالية، قمنا بالمعايرة التي شملت تشغيل النموذج أكثر من 700 مرة، حتى الوصول إلى أفضل صورة ممكنة لتمثيل نظام المياه الجوفية في منطقة البحث، حيث كانت فيه جميع الفروق بين القيم المحسوبة والمقيسة تتراوح بين (0.03 – 0.9) م، الشكلان (5-12 و 5-13).

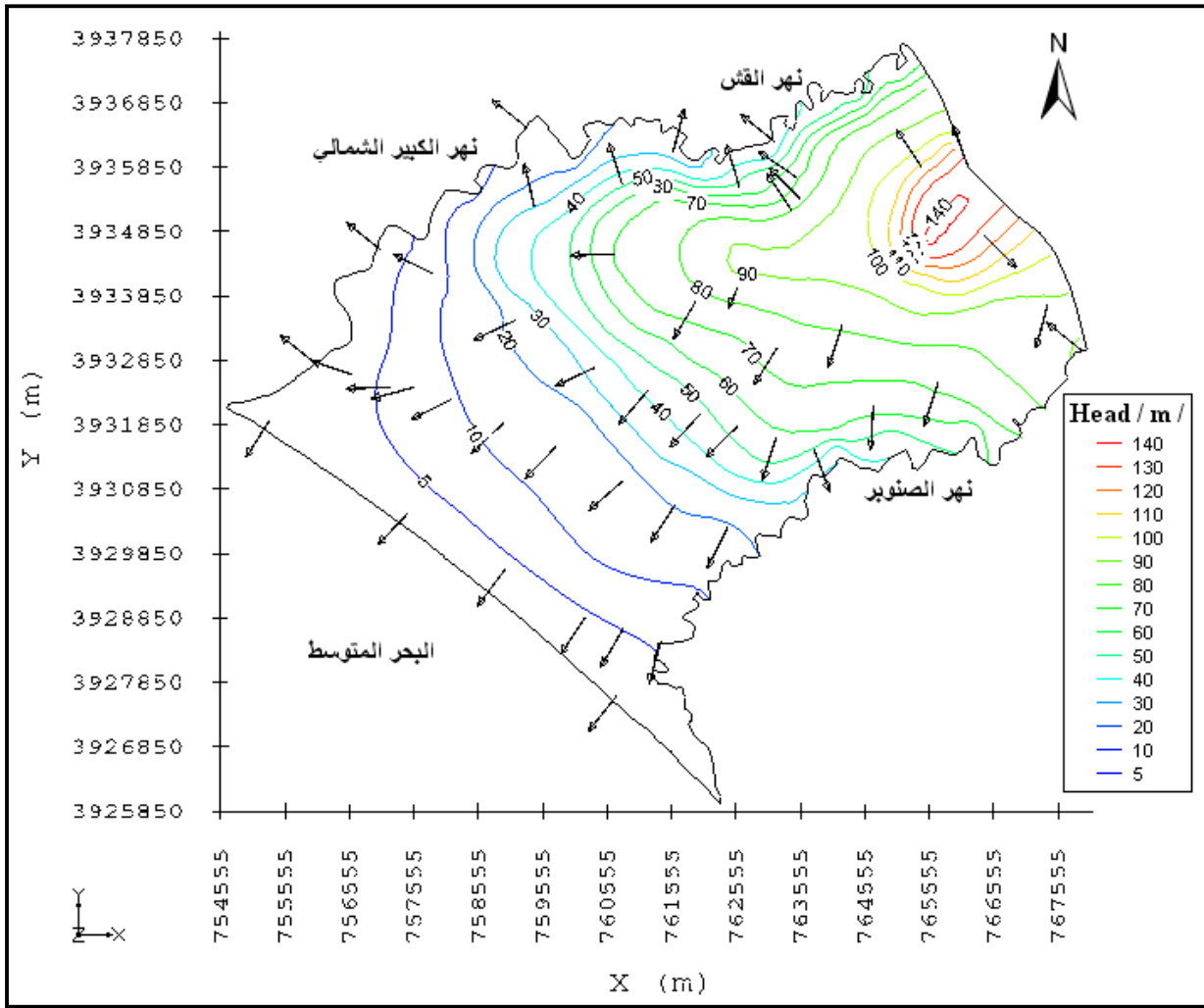
وحصلنا بذلك أيضاً على خارطة توزع مناسيب سطح المياه الجوفية، لشهر تشرين الأول من عام 2012 لحالة الجريان المستقر، الشكل (5-14).



الشكل (5-12) الفرق بين القيم المحسوبة والمقاسة (بعد المعايرة) لشهر تشرين الأول 2012



الشكل (5-13) الفرق بين القيم المقاسة والمتبقية (بعد المعايرة) لشهر تشرين الأول 2012



الشكل (5-14) الشبكة الهيدروديناميكية (بعد المعايرة) لشهر تشرين الأول 2012

وبعد أن تمّ التحقق من مقارنة نظام حركة المياه الجوفية الطبيعي المُسجّل نتيجة القياسات الحقلية والمُمثّل بمخطط التسوية لمناسيب المياه الجوفية، مع نتائج النموذج الرياضي (الحل الرياضي الأكثر مُطابقة مع الواقع) بعد إجراء عملية المعايرة، تمّ الحصول على الموازنة المائية وعناصرها المختلفة، الجدول (5-2).

إنّ كود Modflow من بنية البرنامج GMS مصمم لمحاكاة الجريانات المستقرة وغير المستقرة، ففي معادلة جريان المياه الجوفية يكون الفرق بين الجريان الداخل والخارج مساوياً للصفر في الحالة المستقرة [51]. حيث يعتمد حساب الموازنة المائية على المعادلة الآتية:

$$\text{محصلة الجريان الأفقي} + \text{مجموع التأثيرات الخارجية} = \text{التغير في المخزون الجوفي}$$

علماً أنّ التأثيرات الخارجية في المنطقة تتمثل بالتغذية الراشحة والاستثمار من بعض الآبار.

الجدول (2-5) عناصر الموازنة المائية (م³/يوم) لحالة الجريان المستقر في منطقة البحث (حالة المعايرة) لشهر تشرين الأول 2012

عناصر الموازنة	مقدار الجريان الداخل م ³ /يوم	مقدار الجريان الخارج م ³ /يوم	محصلة الجريان م ³ /يوم
Constant Head (الجريان الأفقي)	12192	87040	- 74848
Wells (الاستثمار)	0	926	- 926
Recharge (التغذية)	75774	0	75774
Total (المجموع)	87966	87966	0

يعتمد حساب الجريان الأفقي على معامل الرشح والميل الهيدروليكي وسماكة الحامل المائي، ويمثل التصريف الأفقي الداخل والخارج من كل خلية من خلايا النموذج، محصلة التصريف خلال فترة حساب الموازنة المائية.

إنّ تحميل ضاغط ثابت في النقاط الحدودية وفقاً للشروط الهيدروجيولوجية الحديثة، يستجرّ تصريفاً إلى داخل المنطقة في بعض الأحيان، وتصريفاً إلى خارج المنطقة أحياناً أخرى، اعتماداً على الضاغط المائي للخلايا المجاورة للخلايا الحديثة ذات الضاغط الثابت.

بلغت كمية المياه الداخلة إلى منطقة البحث من الطبقات المجاورة في الجزء الشمالي الشرقي لمنطقة الدراسة عبر حد الضاغط الثابت 12192 م³/يوم ، في حين كانت كمية المياه الخارجة إلى نهري الكبير الشمالي والصنوبر وإلى البحر المتوسط أيضاً 87040 م³/يوم ، ومن ثمّ فإنّ محصلة الجريان الأفقي خلال فترة حساب الموازنة المائية هي 74848 م³/يوم لصالح التصريف الخارج من منطقة البحث.

بينما تتمثل التأثيرات الخارجية بعنصرين: التغذية والاستثمار، مع الإشارة إلى أنّ محصلة التصريف الداخل والخارج يمثل تفاعل عناصر الموازنة كلها، حيث يتأثر كل عنصر بالعناصر الأخرى، ويرتبط هذا التأثير بالخلية نفسها وبالخلايا المحيطة بها.

أمّا التغذية فكانت من الهطولات المطرية وقيم التسرب منها اعتماداً على تحليل كافة الظروف الجيولوجية والهيدروجيولوجية والمناخية، وقد بلغت 75774 م³/يوم.

وأما الاستثمار فيتمثل بكمية السحب من الآبار خلال فترة الموازنة المائية. وذلك اعتماداً على عدد ساعات التشغيل ومساحة الأراضي المروية، ونوعية المزروعات التي تُروى من مياه الآبار ونوع المنشآت الصناعية وعددها. فبلغت الكمية 926 م³/يوم ، حيث يقتصر الضخ من الآبار الواقعة في منطقة البحث على تأمين المياه للري المساعد فقط وبعض الاستخدامات الأهلية المنزلية منها والصناعية، وتأمين مياه الشرب (بشكل محدود جداً)، كون المنطقة مروية بشكل كامل من شبكات الري (سد 16 تشرين وسد الثورة) ومياه الشرب (ينابيع السن، ديفة، طرجانو، والرويمية) أيضاً.

تُمثل نتائج حساب عناصر الموازنة المائية في الخلية من جرّاء تأثير محصلة الجريان الأفقي والتأثيرات الخارجية، علماً بأنّ النسبة المئوية للخطأ في حساب الموازنة المائية تُحدّد باستخدام المعادلة الآتية:

$$D = \frac{100 (IN - OUT)}{IN + OUT} \quad (11-5)$$

$$2$$

حيث أنّ:

D : النسبة المئوية للخطأ في حساب الموازنة المائية.

IN : قيمة محصلة عناصر الموازنة المائية للتصارييف الداخلة إلى منطقة البحث.

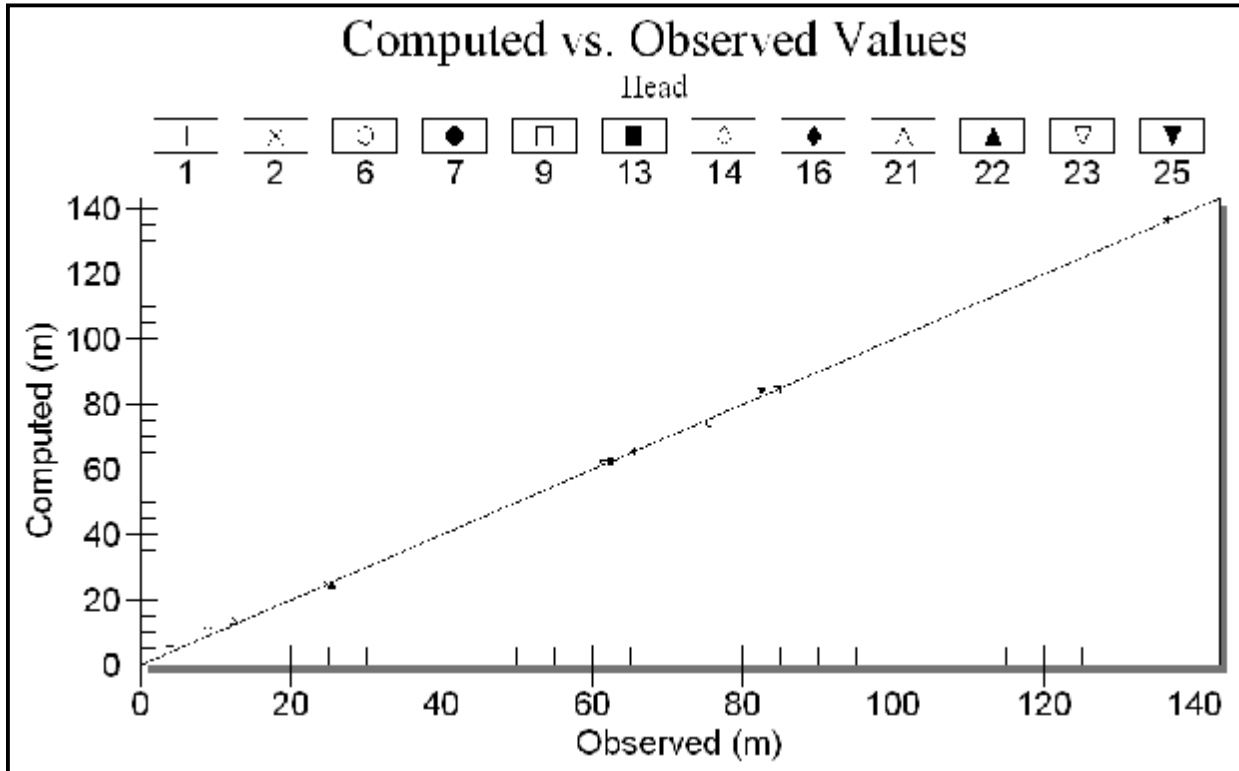
OUT : قيمة محصلة عناصر الموازنة المائية للتصارييف الخارجة من منطقة البحث.

بالتعويض والحساب نجد أنّ نسبة الخطأ في الحساب الرياضي للنموذج تساوي ($D = 0$) ، وهذه النتيجة العالية الدقة، تعتمد على دقة المعطيات الأصلية المُدخلة، لذلك يمكن القول أنّ أسلوب الحل الرياضي ذو دقة كبيرة، والتمثيل الرياضي للمنطقة ذو موثوقية عالية.

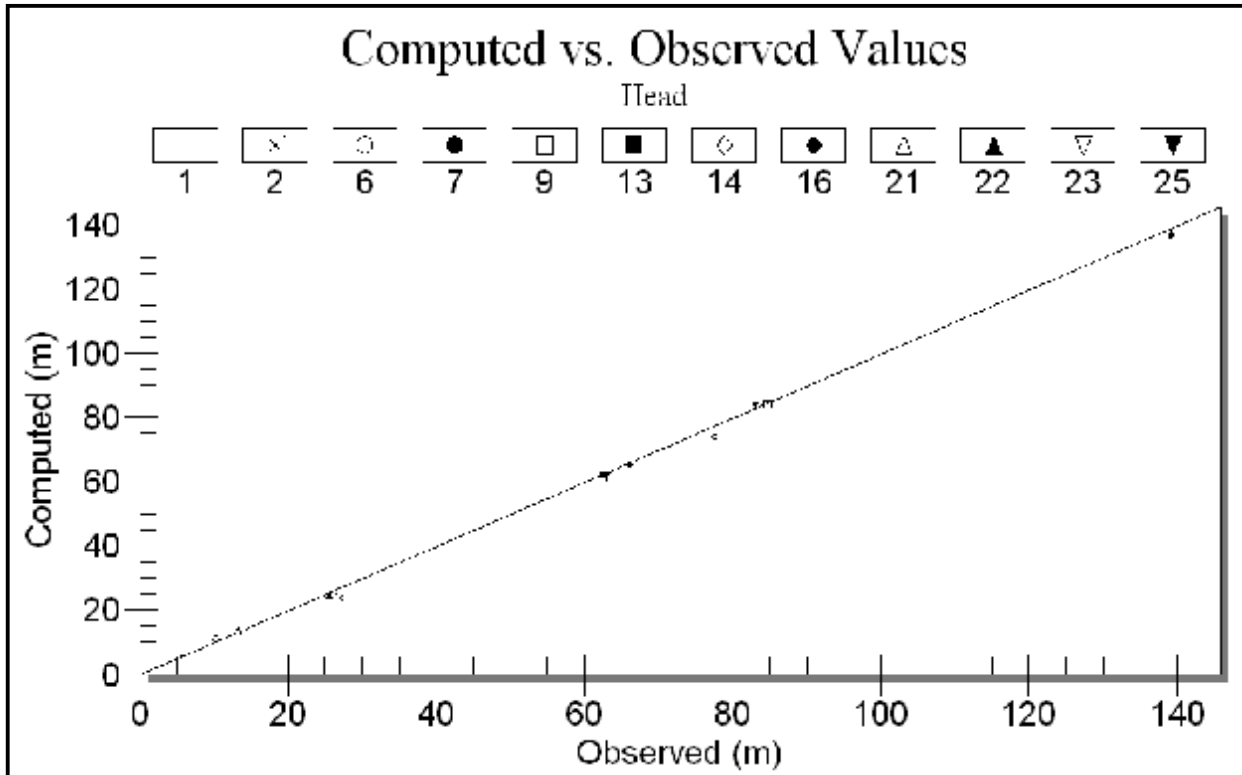
6.5.1.5. تحقيق النموذج

يتمّ تحقيق النموذج من أجل مجموعة ثانية من البيانات الحقلية لأجل المحاكاة المستقرة، أو المتغيرة مع الزمن. فإذا كانت بارامترات النموذج المُعَيَّر مثل الشروط الحدية، الإجهادات، الناقلية المائية، والمسامية الفعالة صحيحة، فإنّ مجموعة البيانات الحقلية الإضافية يجب أن تتوافق مع النموذج من أجل شروط حدية وإجهادات جديدة. وإذا عمل النموذج وفق الشروط المتغيرة فإنّه سيعطي توزيعاً للضواغط، يطابق كثيراً المجموعة الجديدة من بيانات بئر المراقبة، ومن ثمّ يُحقّق النموذج [78].

لذلك تمّ تحقيق النموذج اعتماداً على مجموعة البيانات المُقيسة خلال شهري أيلول (فترة الثبات النسبي) وتشرين الثاني (فترة النهوض) للعام 2012 ، حيث أنّ الشروط الحدية المتوافقة (منسوب النهر، والتدفق الجانبي) والإجهادات (التغذية والصرف) تتغير تبعاً لظروف الشهر الذي تجري فيه المعايرة، وقد أكدت النتائج فيهما تحقيق النموذج، إذ أعطى النموذج توزيعاً للضواغط قريباً من بيانات آبار المراقبة، الشكلان (5-15 و 5-16).

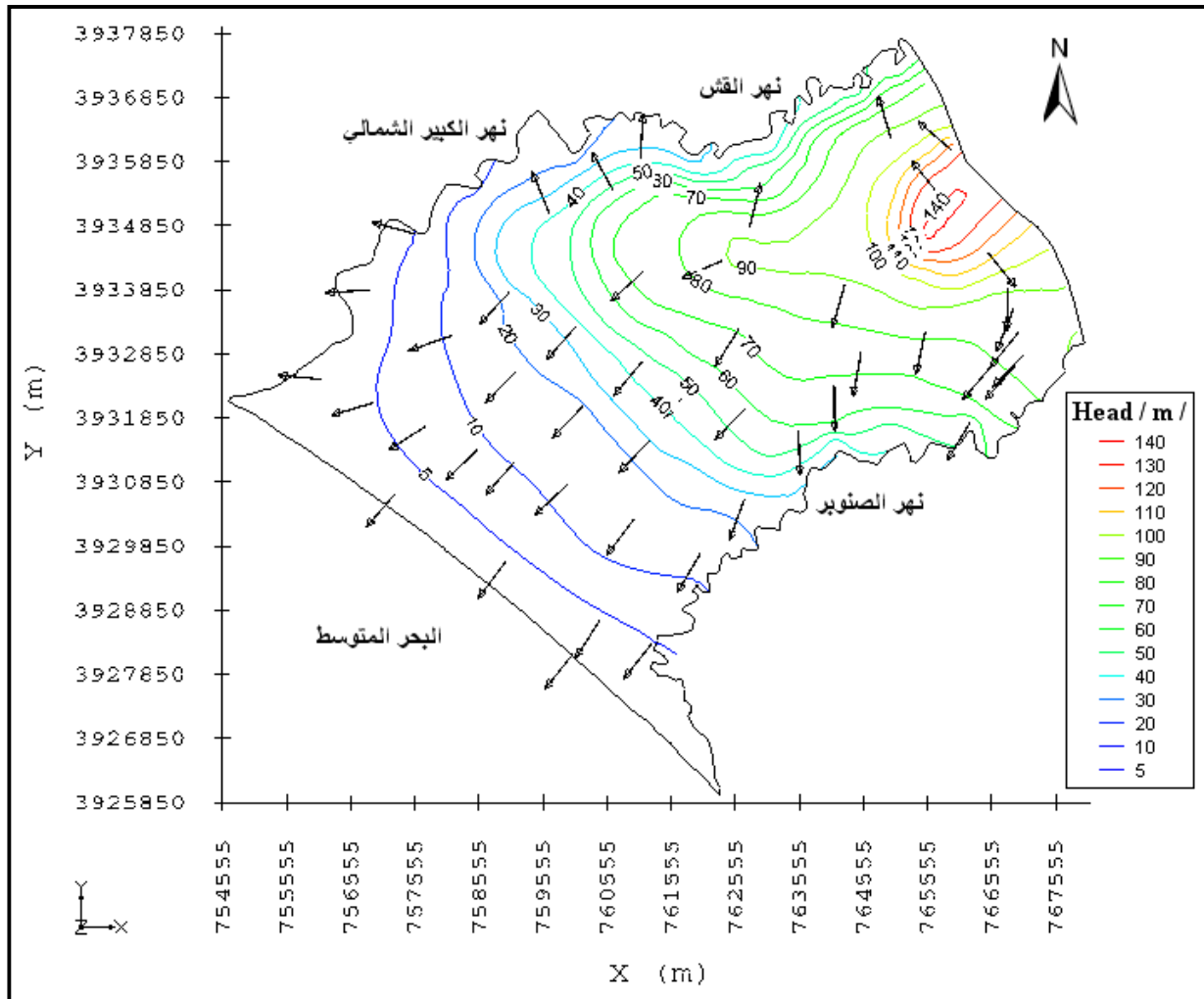


الشكل (5-15) الفرق بين القيم المحسوبة والمقاسة لشهر أيلول 2012

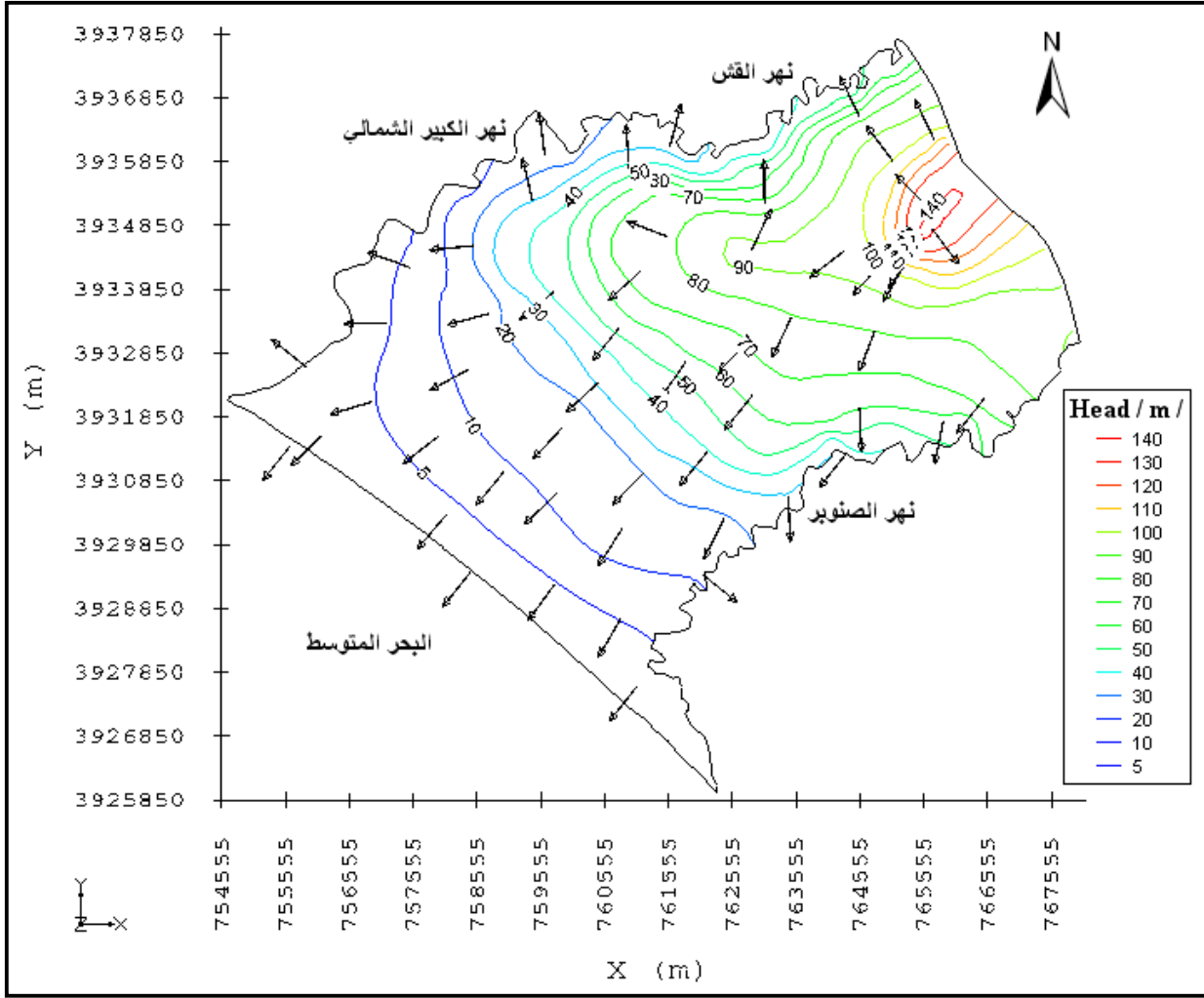


الشكل (5-16) الفرق بين القيم المحسوبة والمقاسة لشهر تشرين الثاني 2012

ونظراً هنا الشكل العام للشبكة الهيدروديناميكية من أجل القيم المستخدمة في تحقيق النموذج لكل من شهري أيلول وتشرين الثاني على التوالي، الشكلان (5-17 و 5-18). حيث نلاحظ منهما أنّ الشكل العام للشبكة الهيدروديناميكية لم يتغير فيما يتعلق بقيم مناسيب المياه الجوفية واتجاه حركتها.



الشكل (5-17) الشبكة الهيدروديناميكية المحسوبة لشهر أيلول 2012



الشكل (5-18) الشبكة الهيدروديناميكية المحسوبة لشهر تشرين الثاني 2012

7.5.1.5. مرحلة التنبؤات

من خلال عمليات معايرة النموذج، وإعادة التشغيل والمعايرة من جديد عند تدقيق كل خطأ للنموذج، وتكرار هذه العملية حتى الوصول إلى أفضل تطابق ممكن مع نتائج القياسات الحقلية، نكون قد أكدنا في الوقت ذاته شرعية وصحة النموذج المُستخدَم، استناداً إلى المعطيات التي تمَّ جمعها وتحليلها، ويُوصى عادةً باستمرار عمليات المراقبة وجمع المعطيات، للتأكد من مدى استجابة النموذج المقترح للتغيرات الهيدرولوجية والبيئية المختلفة، التي يمكن أن تحدث لفترات طويلة أو قصيرة من الزمن. وهنا أصبح النموذج صحيحاً وقابلاً للاستخدام لحل مسائل تنبؤية وبناء سيناريوهات مختلفة للاستثمار المستقبلي للموارد المائية الجوفية المتاحة في منطقة الدراسة، مع المحافظة على وضع مناسب للطبقة الحاملة للمياه فيها.

2.5. إدارة موارد المياه الجوفية

1.2.5. خطط وسياسات إدارة المياه الجوفية

تتضمن برامج إدارة الموارد المائية مكونات وأنشطة كثيرة، وتتصف عادةً بالشمولية والتكامل، الأمر الذي يتطلب تفاصيل كثيرة تُكسب تلك البرامج صفة التعقيد.

يقوم التوجه الوطني المُعتمَد حالياً لإدارة الموارد المائية من قبل الإدارات المائية في القطر على برنامج مكوناته تتلخص في ثلاثة محاور [33]:

1. المحور الأول: حماية الموارد المائية السطحية والجوفية من التلوث ومن تدهور نوعيتها.

2. المحور الثاني: ترشيد استعمالات المياه بأشكالها المختلفة.

3. المحور الثالث: تنمية الموارد المائية بكافة مكوناتها التقليدية وغير التقليدية.

وهذا يُنفَّذ من خلال مجموعة من الإجراءات:

أولاً: إجراءات تقويم نوعية المياه الجوفية وحمايتها من التلوث (وهذا ما تمَّ التطرق إليه ومناقشته بشكل تفصيلي في الفصل الرابع من بحثنا).

ثانياً: إجراءات ترشيد استعمالات المياه (إجراءات الترشيد ليست حاجة كميّة بل نوعيّة أيضاً لأن طرائق الري قد تساهم في التلوث). وتتم تلك الإجراءات من خلال رفع كفاءة استخدام تقانات الري الحديثة وتطوير تلك التقانات، بالإضافة إلى الري الجماعي عن طريق جمعيات مستخدمي المياه وغير ذلك.

ثالثاً: إجراءات تنمية الموارد المائية، حيث يتمُّ تحديد الموارد المائية التقليدية المتجددة المتاحة للاستخدام من خلال تحديد درجة تنظيم هذه الموارد وذلك بالاستناد إلى: إمكانيات رصد وقياس واستثمار واستخدام هذه الموارد، وتوفر البيانات والمعلومات المرتبطة بذلك، بالإضافة إلى الدراسات الفنية الاقتصادية المُعمَّقة والمحددة لإمكانية إنشاء المنظومات المائية الاقتصادية لاستثمارات عديدة. وتلعب البحوث العلمية المرتبطة بمجالات بناء المنشآت المختلفة ومراقبتها واستثمارها وتقييم أدائها وتطويرها، دوراً أساسياً في زيادة درجة تنظيم هذه الموارد.

أمّا الموارد المائية غير التقليدية فهي مرتبطة بمعاملات ومعايير القيم المكافئة لعودة المياه المُستخدَمة سابقاً في القطاعات الاقتصادية (المستخدمة أو المستهلكة للمياه) إلى الدورة الهيدرولوجية، ونوعية هذه الموارد وإمكانيات استخدامها المتكررة.

ولقد استُخدِمت المياه الجوفية منذ القِدم كأحد الموارد المائية المهمة، ومع تزايد استثماراتها في الأونة الأخيرة، انخفضت مناسيب المياه الجوفية في الكثير من الأحواض والمناطق، وهبط سطح الأرض، وتداخلت المياه المالحة مع المياه العذبة في المناطق الساحلية بسبب الاستثمار الجائر للمياه الجوفية [33].

تحدث هذه المشاكل نتيجةً للزيادة السريعة في استخدام موارد المياه في البلدان المتطورة، كما تحصل المشاكل نفسها في البلدان النامية، فمذ التسعينيات أصبح تلوث المياه الجوفية والترربة مشكلة مهمة في البلدان المتطورة بسبب التصنيع [77].

إنَّ الإدارة الكميَّة والنوعيَّة للمياه ضرورية في مواجهة المشاكل الحالية، لضمان الاستفادَة المستمرة من المياه الجوفية. وهناك حاجة ماسَّة لسياسات الإدارة المتكاملة لأحواض المياه الجوفية (على أسس هيدروليكية وهيدرولوجية وإقليمية)، وتزداد الحاجة لتشكيل خطوط توجيه الإدارة في ثلاثة مجالات: موارد المياه، ونوعية المياه، وبيئة المياه الجوفية [77].

تُعَدُّ الإدارة المُثلى للمياه الجوفية أمراً أساسياً في الاستثمار المرشِّد وتقليل المشاكل البيئية الاجتماعية المرتبطة بها كهبوط الأرض، تلوث المياه الجوفية والجفاف، حيث يجري حلَّ الكثير من المشاكل المتعلقة بإدارة المياه الجوفية باستخدام نماذج رقمية خاضعة لقيود الإدارة، من خلال تطبيق السيناريوهات المختلفة على النماذج مباشرة. حيث أنَّ هذه النماذج تُقدِّم حلولاً لأسئلة أو مشاكل تظهر في إدارة أنظمة المياه الجوفية. على سبيل المثال:

ما هي الكمية القصوى للمياه التي يُمكن سحبها من طبقة حاملة للمياه الجوفية من دون التسبُّب بانخفاضات غير مقبولة في مستوى المياه الجوفية أو نقصان في تدفق المجرى؟
ما هي خطة السحب الأقل تكلفة للحصول على الكمية المطلوبة؟
ما هي أفضل خطة للاستخدام المتزامن للمياه الجوفية ومصادر المياه السطحية في الحوض؟
وغير ذلك من المسائل التي تؤدي إلى تطوير وإدارة مصادر المياه الجوفية.

2.2.5. خطط استثمار الموارد المائية في منطقة الدراسة

من أجل دراسة هذه الخطط ومناقشتها والوصول إلى استنتاجات حول الموازنة المائية والهبوطات المتوقعة في منسوب المياه الجوفية، لا بدَّ من توضيح الاستثمارات الحالية للمياه الجوفية والحاجات المستقبلية منها في منطقة الدراسة.

حيث تتجلى هذه الاستثمارات في النشاطات القائمة في منطقة الدراسة، منها الاجتماعية كتأمين مياه الشرب والاستخدامات المنزلية لبعض التجمعات الموجودة في المنطقة، ومنها الاقتصادية بما يخص المشروعات الزراعية (الري) والصناعية.

هذا ويتم تقدير حجم المياه المُستثمرة في كل نشاط من الأنشطة السابقة استناداً إلى طريقة اشتقاق البيانات، حيث تُستخدَم فيها الطرائق الحسابية والنماذج الرياضية.

لدى مراجعة المؤسسات والمديريات والجهات المعنية في اللاذقية (مؤسسة مياه الشرب، مديرية الموارد المائية، مديرية الإحصاء، مديرية الزراعة، مديرية الصناعة)، تبيّن أنّ بعض التجمعات السكنية في منطقة الدراسة، تأخذ احتياجاتها المائية من شبكات مياه الشرب وفق الآتي: الجدول (3-5)

الجدول (3-5) التجمعات السكنية في منطقة الدراسة ومدى احتياجاتها من مياه الشرب

التجمع السكني	عدد السكان لعام 2014 /نسمة/	المصدر الذي يؤمن الاحتياج المائي من مياه الشرب	إجمالي الكمية م ³ /سنة
الشير ، الخلالة	3630	نبع السن	172244
دبّا	268		12717
البصة	5177	نبع ديفة	291279
الهنادي	3645		125000
الحمى	1522		72219
فديو	4817		139780
السنوبر ، نبع الرز	4968		235732
الخرنوبة	667	نبع ديفة	31649
القطرية ، مزار القطرية	3252		210500
المشيرة	586	نبع طرجانو	27806
الرويمية ، الضاهرية	1394	نبع الرويمية	129575
المجموع	29926	-	1448501

يتم استجرار المياه من الينابيع لأغراض الشرب، ومن السدود (سد 16 تشرين وسد الثورة) لأغراض الري والاستخدامات المختلفة، وأغلب هذه المصادر تقع خارج مراكز التجمعات السكنية في منطقة الدراسة. ومن هنا تأتي أهمية تأمين المياه من داخل حدود منطقة الدراسة للتجمعات السكنية، مع الإبقاء على المصادر السابقة كمصادر احتياطية.

وحسب معطيات مديرية الإحصاء فإنّ هناك زيادة في النمو السكاني تُقدَّر بـ 17.5 بالآلف سنوياً. وبالنسبة لنصيب الفرد من مياه الشرب يبلغ حالياً حوالي 0.13 م³/يوم تقريباً، ووفقاً لظروف التنمية البشرية وزيادة نصيب الفرد من المياه [24]، تصبح الاحتياجات المائية في كل تجمع كما هو مبين في الجدول (4-5):

الجدول (4-5) التجمعات السكنية في منطقة الدراسة ومدى احتياجها لمياه الشرب حتى عام 2030

عدد السكان (نسمة) / الاحتياج المائي لمياه الشرب (م ³ /يوم)				التجمع السكني
عام 2030	عام 2025	عام 2020	عام 2015	
نصيب الفرد م ³ /يوم (0.18)	نصيب الفرد م ³ /يوم (0.18)	نصيب الفرد م ³ /يوم (0.16)	نصيب الفرد م ³ /يوم (0.13)	
863 / 4792	791 / 4394	645 / 4029	480 / 3694	الشير ، الخلالة
64 / 354	59 / 325	48 / 298	36 / 273	دبّا
1230 / 6834	1128 / 6266	919 / 5745	685 / 5268	البصة
866 / 4812	794 / 4412	647 / 4045	482 / 3709	الهنادي
362 / 2009	332 / 1842	270 / 1689	201 / 1549	الحمى
1144 / 6357	1049 / 5829	855 / 5345	637 / 4901	فديو
1180 / 6558	1082 / 6013	882 / 5513	657 / 5055	السنوبر ، نبع الرز
159 / 881	145 / 808	119 / 741	88 / 679	الخرنوبة
773 / 4293	708 / 3936	577 / 3609	430 / 3309	القطرية ، مزار القطرية
139 / 773	128 / 709	104 / 650	77 / 596	المشيرة
331 / 1839	303 / 1686	247 / 1546	184 / 1418	الرويمية ، الزاهرية
7111 / 39502	6519 / 36220	5313 / 33210	3957 / 30451	المجموع

فيما يتعلق بأغراض الري، فإنّ منطقة الدراسة مروية بالكامل، حيث يتم استجرار المياه لهذه الأغراض حالياً من سد 16 تشرين وسد الثورة، وتبلغ مساحة منطقة الدراسة المروية 7000 هكتار تقريباً، وتقدّر القيمة الوسطية لري هكتار واحد بـ (6.95) م³/يوم [24] ، مع الإشارة إلى أنّ استجرار المياه يكون بشكل دوري في سبعة أشهر من العام (موسم الري)، وبمعدل 14 يوم في الشهر، و 12 ساعة في اليوم [24] ، وبالتالي فإنّ المياه المُستخدَمة للري تبلغ 48650 م³/يوم. وأما استعمالات المياه لأغراض الصناعة، فلقد تمّ إحصاء عدد المنشآت الصناعية الموجودة ضمن منطقة الدراسة من خلال الجولات الميدانية والاطلاع على سجلات مديرية الصناعة أيضاً، حيث يوضح الجدول (5-5) تلك المنشآت وعددها، والكمية الوسطية التي تستهلكها المنشأة الواحدة في كل نوع منها [15 , 38] . وتبيّن أنّ حجم الاستهلاك الكامل من المياه للصناعة يبلغ حوالي 2516 م³/يوم.

الجدول (5-5) المنشآت الصناعية في منطقة الدراسة في عام 2015

نوع الصناعة وكمية المياه الوسطية المستهلكة للمنشأة الواحدة	نوع المنشأة	العدد	العدد الإجمالي وحجم المياه المستهلكة
غذائية 32436 م ³ /سنة	معصرة زيتون /تنقية وتعبئة/	5	28 منشأة 2488.08 م ³ /يوم
	خزن وتبريد /حفظ الخضار والفواكه/	7	
	تعبئة مساحيق غذائية /بسترة الحليب وتعبئة الجبن ومشتقاته/	7	
	مقبلات غذائية جافة /طحينة، حلاوة، معكرونه، شعيرية/	4	
	علف حيواني جاف	3	
	غربلة وتعقيم وفرز وجرش البقول والحبوب المختلفة	1	
	مشروبات غير غازية /بونجوس/	1	
كيميائية 880 م ³ /سنة	أنابيب وعبوات بلاستيكية	2	8 منشآت 19.28 م ³ /يوم
	مناديل ورقية	2	
	مستحضرات الغسيل (شامبو) ومواد زينة وتجميل	1	
	مياه معقمة	1	
	مستحضرات دوائية ومطهرات	2	
نسيجية 619 م ³ /سنة	أحذية	1	منشأة واحدة 1.69 م ³ /يوم
هندسية 158 م ³ /سنة	نشر كتل الرخام والأحجار	12	16 منشأة 6.88 م ³ /يوم
	أبواب خشبية	1	
	أسلاك معدنية	1	
	مجبول إسمنتي	1	
	جمادات منزلية	1	
عدد المنشآت الصناعية ضمن منطقة الدراسة وحجم المياه المستهلكة فيها			2515.93 م ³ /يوم
			53 منشأة

ويُلخّص الجدول (5-6) الاستعمالات المختلفة للمياه في منطقة الدراسة.

الجدول (5-6) حجم الاستعمالات المائية في منطقة الدراسة لعام 2015

حجم المياه المستهلكة		نوع الاستعمال
م ³ /يوم	م ³ /سنة	
3957	1444305	استعمالات أهلية
48650	17757250	استعمالات زراعية
2516	918340	استعمالات صناعية
55123	20119895	إجمالي حجم الاستهلاك

قُمنّا باقتراح سيناريوهات مختلفة للاستثمار، وبنتيجة تشغيل النموذج تبعاً للسيناريوهات المختلفة حصلنا على خارطة مناسبة للمياه الجوفية، وتوزع هبوط سطح المياه الجوفية، وعناصر الموازنة المائية لكل سيناريو على حدة.

السيناريو الأول Scenario 1

تأمين احتياجات مياه الشرب من المياه الجوفية المتّاحة للأعوام 2015 ، 2020 ، 2025 ، 2030

اقترحنا تأمين احتياجات التجمعات السكنية المذكورة من مياه الشرب، من خلال حفر آبار في مناطق تلك التجمعات السكنية وزيادة تصريف نفس الآبار الموجودة فيها عبر إدخال مضخات جديدة، وفق خطط الاستثمار المقترحة للأعوام 2015 ، 2020 ، 2025 ، 2030 ، الجدول (5-7)، مع مراعاة تغيرات نصيب الفرد الواحد من المياه وفق هذه الخطط الاستثمارية. وتمّ تشغيل النموذج وفقاً للاستثمارات المحليّة الجديدة، فحصلنا على خريطة مناسبة للمياه الجوفية وهبوط سطح المياه الجوفية، وعلى عناصر الموازنة المائية الجديدة لكل خطة مقترحة.

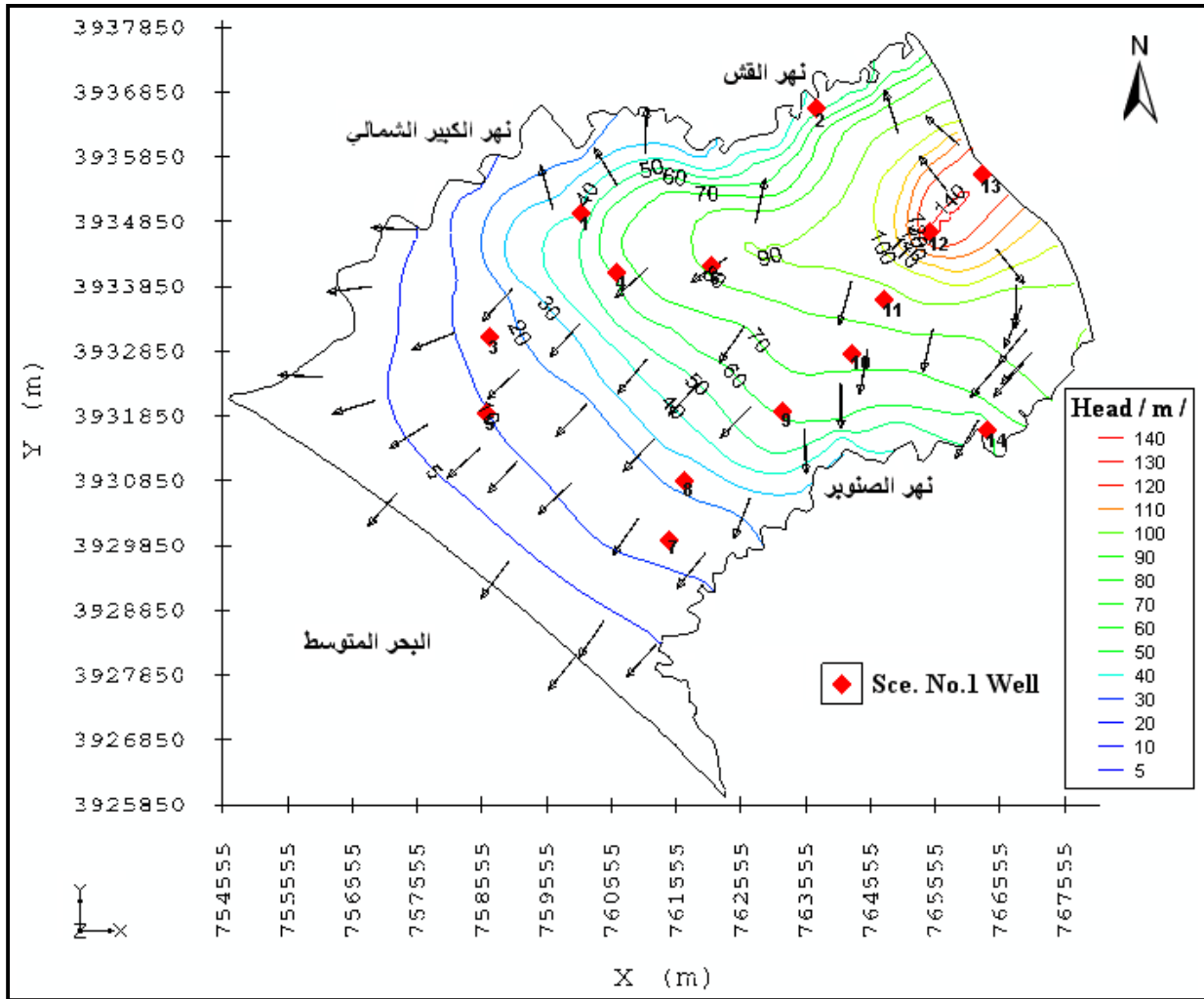
الجدول (5-7) التجمعات السكنية في منطقة الدراسة، ومقدار نسبة الضخ من آبارها وفقاً للاحتياجات المائية المقدرة في كل منها للأعوام 2015 ، 2020 ، 2025 ، 2030

مقدار الضخ من الآبار المقترحة (م ³ /يوم) وفقاً لاحتياجات الأعوام المدروسة				البئر المقترحة لزيادة التصريف ورقمها	التجمع السكني
2030	2025	2020	2015		
865	795	645	480	(1) الخلالة	الشير ، الخلالة
65	60	50	40	(2) دبّا	دبّا
1230	1130	920	700	(3) البصة	البصة
870	795	650	500	(4) الهنادي	الهنادي
365	335	270	210	(5) الحمى	الحمى
1145	1050	855	650	(6) فديو	فديو
590	545	445	335	(7) الصنوبر	الصنوبر ، نبع الرز
590	540	440	335	(8) نبع الرز	
160	145	120	90	(9) الخرنوبة	الخرنوبة
260	240	195	150	(10) القطرية	القطرية ، مزار القطرية
260	235	195	150	(11) مزار القطرية	
255	235	190	150	(12) مزار القطرية	
140	130	105	80	(13) المشيرفة	المشيرفة
335	305	250	190	(14) الضاهرية	الرويمية ، الضاهرية
7130	6540	5330	4060	-	المجموع

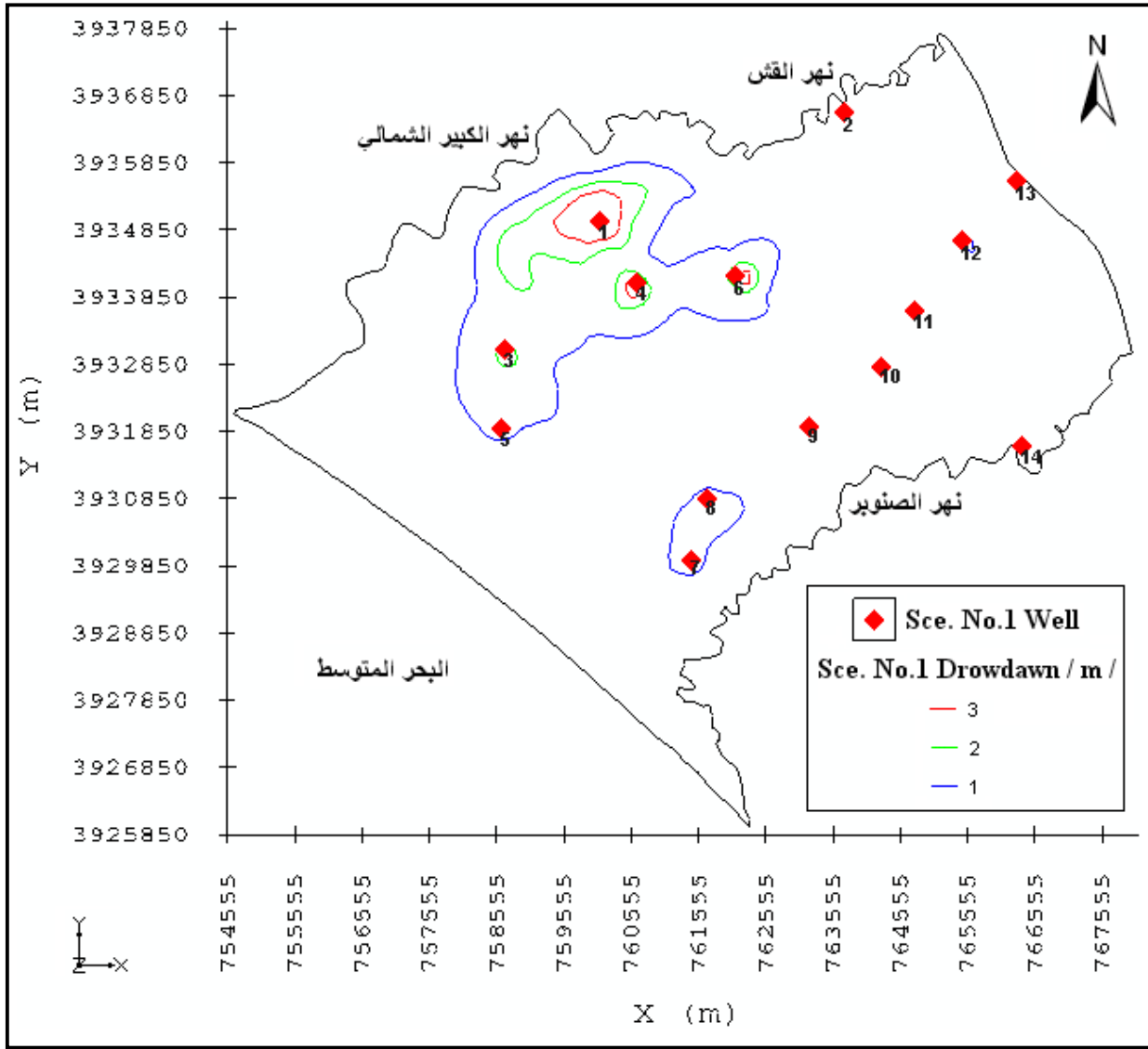
خطة الاستثمار لعام 2015

لم يُلاحظ تغيرات تُذكر في مناسيب المياه الجوفية الشكل (5-19)، مقارنةً بالشبكة الهيدروديناميكية الناتجة من معايرة النموذج الشكل (5-14)، حيث أنها انخفضت في هذا السيناريو 1 م شملت المساحة المحيطة بالآبار (1 ، 3 ، 4 ، 5 ، 6) بعيداً عن نهر الكبير الشمالي (حدّ هيدروليكي) بحدود 700 م، وشملت أيضاً المساحة المحيطة بالبئرين (7 ، 8) بعيداً عن نهر الصنوبر بحوالي 1 كم ، وفي مركز موقع الضخ لبئر مزار القطرية (12) ، ولم تتجاوز قيم انخفاض المناسيب الـ 3 م في مركز مواقع الضخ لكل من بئري تجمعي الهنادي (4) وفديو (6) وفي مساحة محدودة حول بئر تجمع الخلالة (1)، الشكل (5-20). بينما لم تتأثر باقي المناطق بكمية الضخ التي تمّ استخراجها من بقية الآبار ضمن هذا السيناريو .

أما التغيرات الملاحظة على الموازنة المائية للعام 2015 الجدول (5-8)، بالمقارنة مع الموازنة الناتجة من معايرة النموذج في الشهر نفسه من العام 2012 الجدول (5-2)، فقد شملت الاستثمارات من الآبار التي ازدادت إلى 4981 م³/يوم ، بعد أن كانت هذه الاستثمارات 926 م³/يوم ، وازدادت قيمة الجريان الجوفي الداخل إلى منطقة البحث بمقدار 354 م³/يوم ، وكان ذلك على حساب تناقص كمية الجريان الجوفي الخارج إلى البحر المتوسط ونهري الصنوبر والكبير الشمالي وبلغت 3701 م³/يوم.



الشكل (5-19) الشبكة الهيدروديناميكية لمنطقة الدراسة – السيناريو 1 للعام 2015

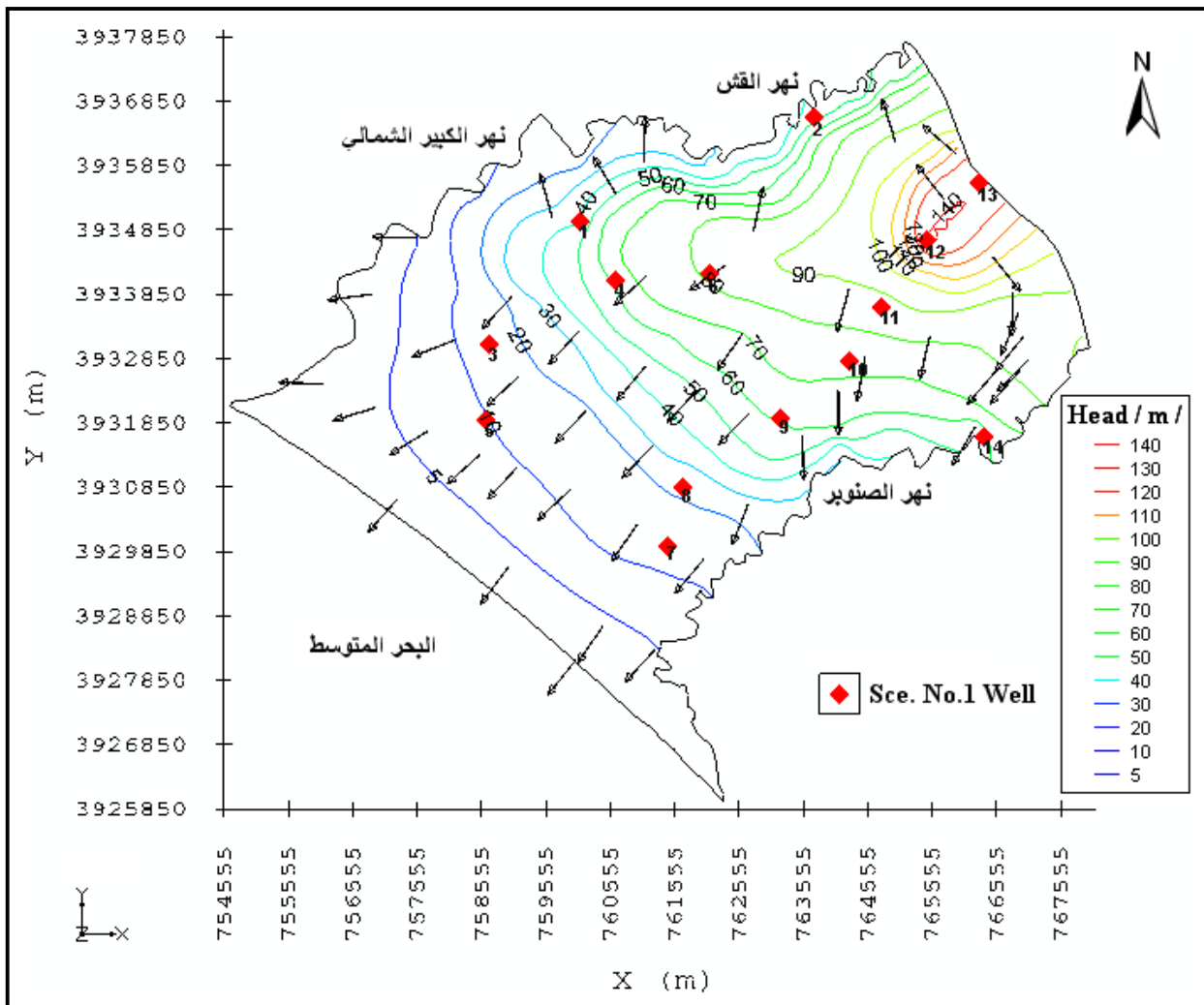


الشكل (5-20) توزيع هبوط سطح المياه الجوفية (م) للسيناريو الأول للعام 2015

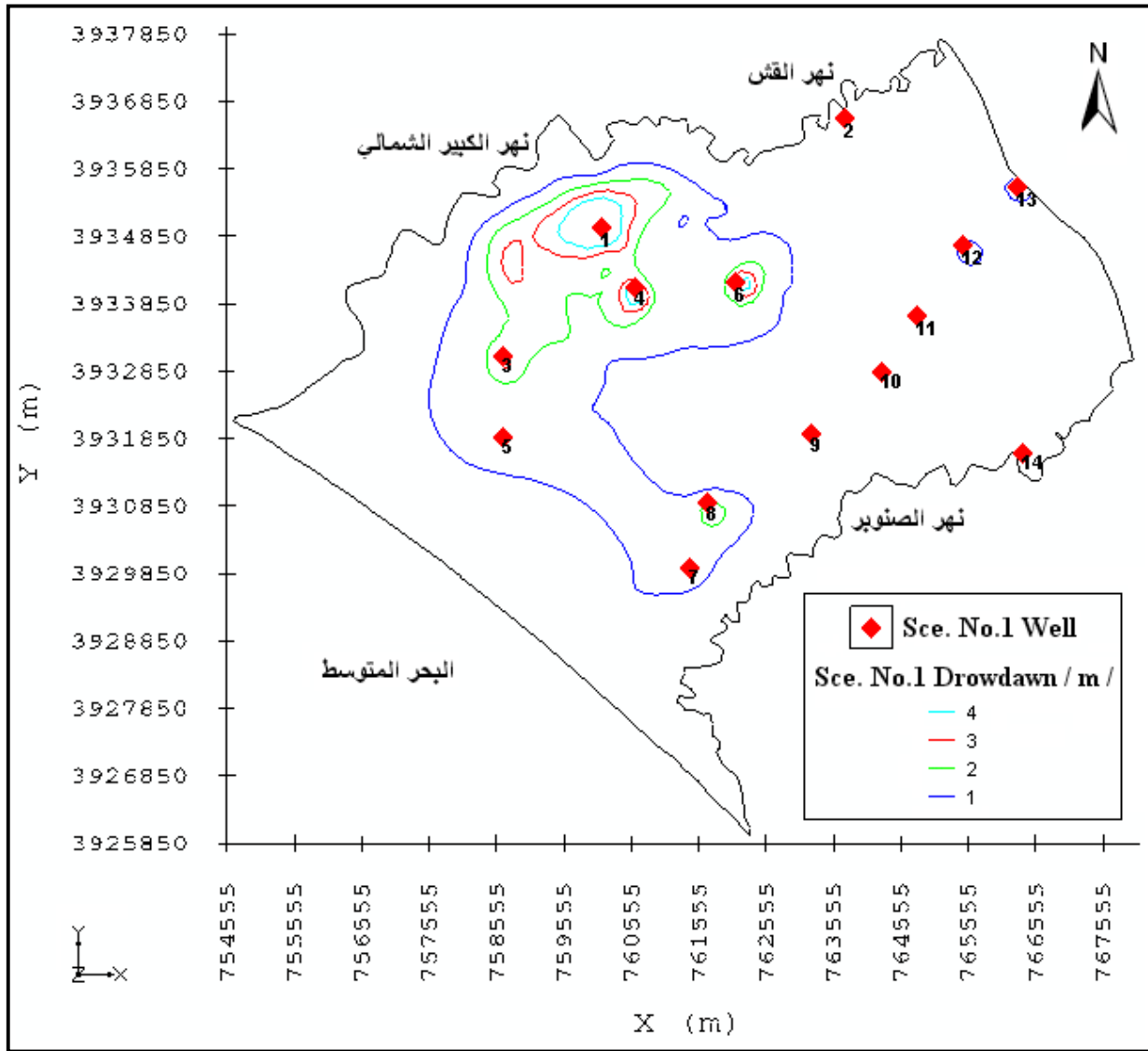
الجدول (5-8) عناصر الموازنة المائية (م³/يوم) في منطقة البحث للسيناريو 1 للعام 2015

محصلة الجريان	مقدار الجريان الخارج	مقدار الجريان الداخل	عناصر الموازنة
- 70793	83339	12546	Constant Head (الجريان الأفقي)
- 4981	4981	0	Wells (الاستثمار)
75774	0	75774	Recharge (التغذية)
0	88320	88320	Total (المجموع)

لم يتغير الشكل العام للشبكة الهيدروديناميكية لمنطقة الدراسة الشكل (5-21)، حيث انخفضت مناسيب المياه الجوفية 1 م في المساحة المحيطة بكلٍ من الآبار (1 ، 3 ، 4 ، 5 ، 6 ، 7 ، 8)، وفي مركز مواقع الضخ للبترين (12 ، 13)، ولم تتجاوز 4 م في مركز مواقع الضخ للبترين (4 و 6) وفي مساحة محدودة محيطة بالبتير (1)، بينما لم تتأثر باقي المناطق في هذا السيناريو، الشكل (5-22). أمّا التغييرات الملاحظة على الموازنة المائية للعام 2020 بالمقارنة مع الموازنة الناتجة من معايرة النموذج في الشهر نفسه من العام 2012 الجدول (5-2)، شملت الاستثمارات من الآبار التي ازدادت إلى 6161 م³/يوم ، حيث ازدادت قيمة الجريان الجوفي الداخل إلى منطقة البحث بمقدار 493 م³/يوم وفي الوقت نفسه تناقصت كمية الجريان الجوفي الخارج من المنطقة باتجاه البحر ونهري الصنوبر والكبير الشمالي، فبلغ مقدار النقصان 4742 م³/يوم الجدول (5-9).



الشكل (5-21) الشبكة الهيدروديناميكية لمنطقة الدراسة – السيناريو 1 للعام 2020



الشكل (5-22) توزيع هبوط سطح المياه الجوفية (م) للسيناريو الأول للعام 2020

الجدول (5-9) عناصر الموازنة المائية (م³/يوم) في منطقة البحث للسيناريو 1 للعام 2020

عناصر الموازنة	مقدار الجريان الداخل	مقدار الجريان الخارج	محصلة الجريان
Constant Head (الجريان الأفقي)	12685	82298	- 69613
Wells (الاستثمار)	0	6161	- 6161
Recharge (التغذية)	75774	0	75774
Total (المجموع)	88459	88459	0

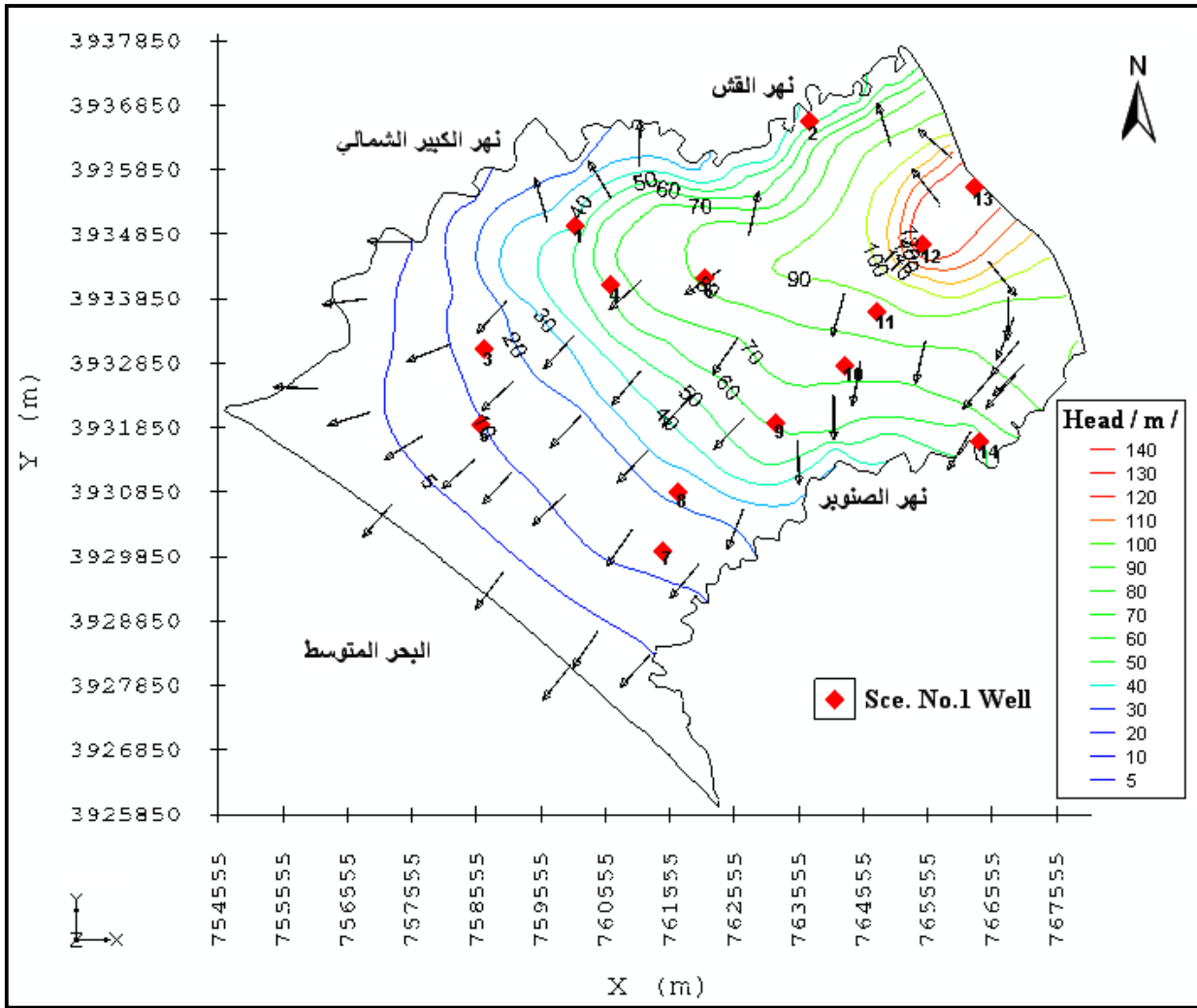
خطة الاستثمار لعام 2025

شملت تغيرات الموازنة المائية في هذا السيناريو الاستثمارات من الآبار 7286 م³/يوم ، حيث ازدادت قيمة الجريان الجوفي الداخل إلى المنطقة ووصلت الزيادة إلى 626 م³/يوم ، مقابل تناقص كمية الجريان الجوفي الخارج منها وبلغت 5734 م³/يوم ، الجدول (5-10).

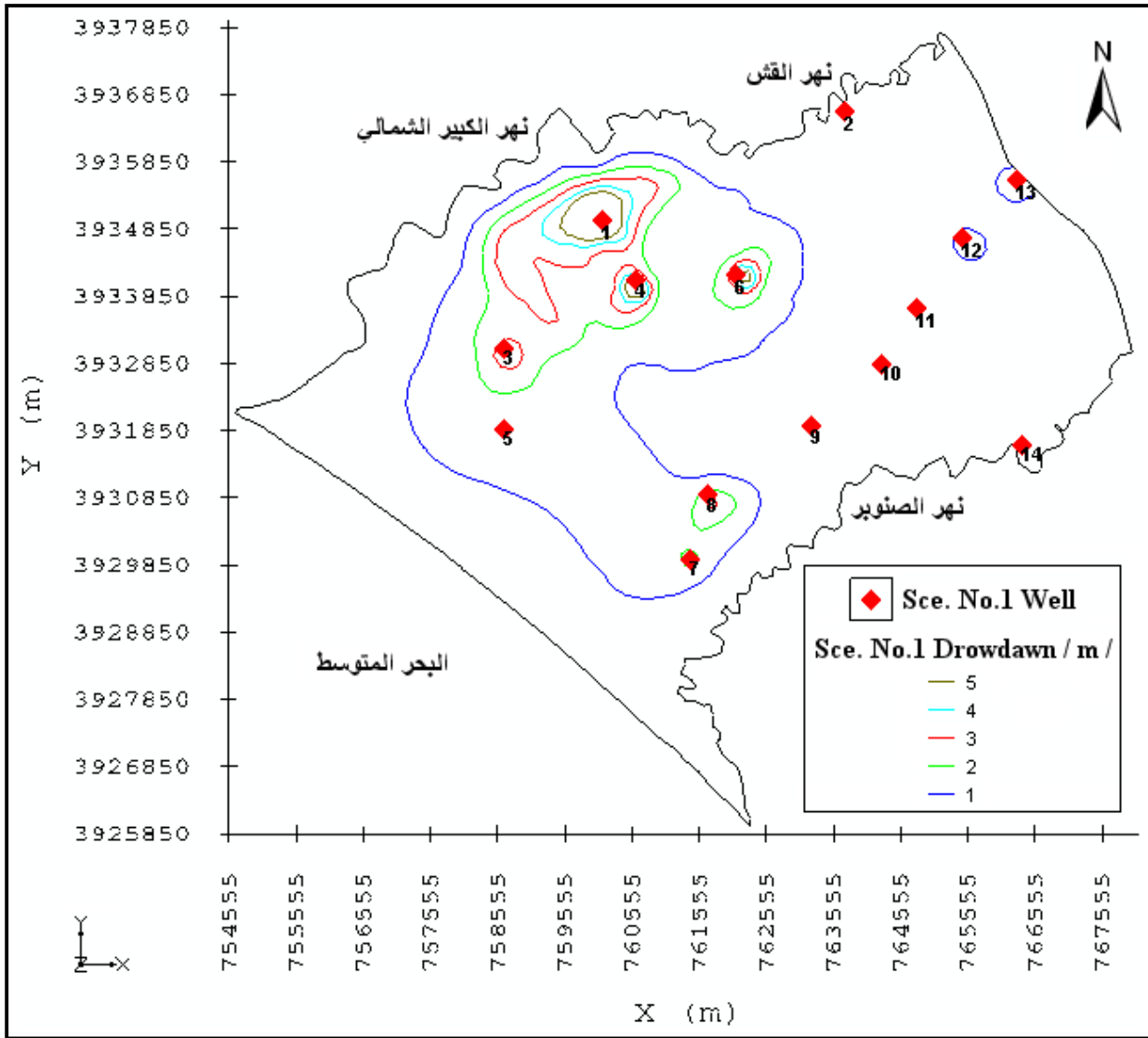
الجدول (5-10) عناصر الموازنة المائية (م³/يوم) في منطقة البحث للسيناريو 1 للعام 2025

عناصر الموازنة	مقدار الجريان الداخل	مقدار الجريان الخارج	محصلة الجريان
Constant Head (الجريان الأفقي)	12818	81306	- 68488
Wells (الاستثمار)	0	7286	- 7286
Recharge (التغذية)	75774	0	75774
Total (المجموع)	88592	88592	0

أما الشبكة الهيدروديناميكية لمنطقة الدراسة حافظت على الشكل العام لها، الشكل (5-23). حيث كانت قيمة انخفاض مناسيب المياه الجوفية 1 م في المساحة المحيطة بالآبار (1، 3، 4، 5، 6، 7، 8) وفي مساحة محدودة جداً محيطة بكل من البئرين رقم (12 و 13) ، ولم تتجاوز انخفاضات المناسيب 5 م في مركز مواقع الضخ للبئرين (4 و 6) وفي مساحة محدودة محيطة بالبئر رقم (1)، الشكل (5-24).



الشكل (5-23) الشبكة الهيدروديناميكية لمنطقة الدراسة – السيناريو 1 للعام 2025



الشكل (5-24) توزيع هبوط سطح المياه الجوفية (م) للسيناريو الأول للعام 2025

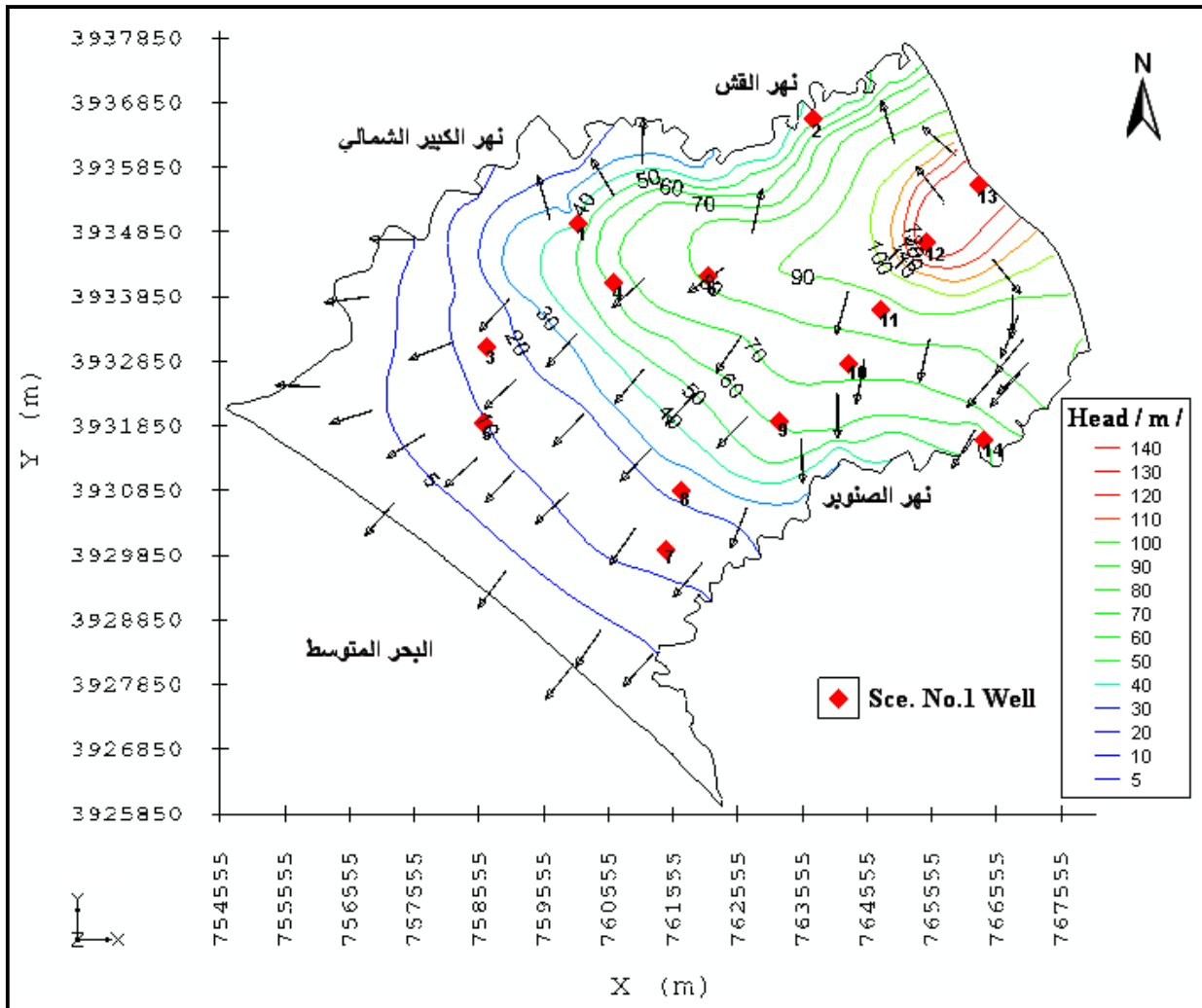
خطة الاستثمار لعام 2030

ازدادت الاستثمارات من الآبار في هذا السيناريو إلى 7766 م³/يوم ، وازدادت قيمة الجريان الجوفي الداخل إلى المنطقة بمقدار 684 م³/يوم ، مقابل تناقص كمية الجريان الجوفي الخارج منها بمقدار 6156 م³/يوم ، الجدول (5-11).

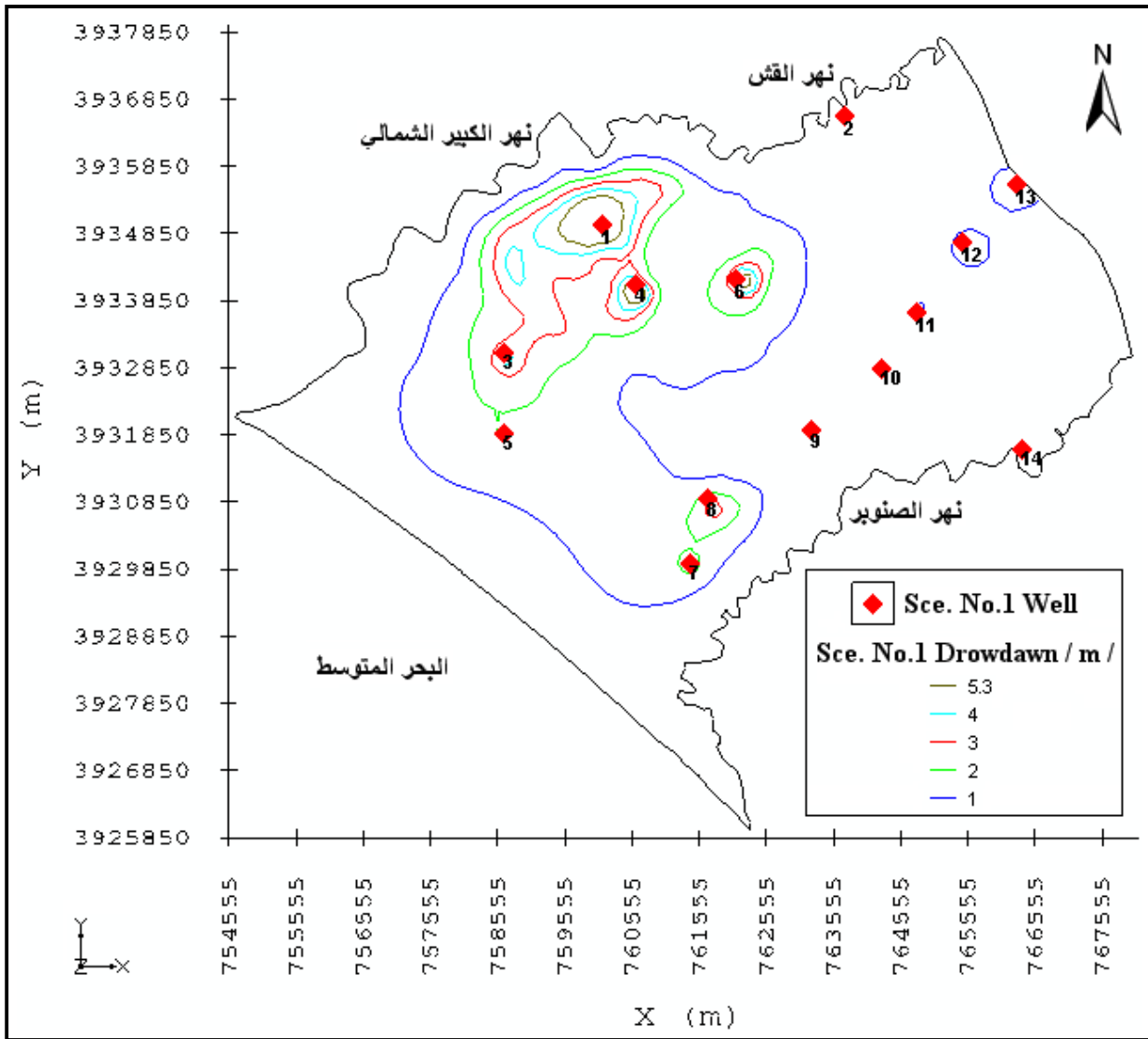
أما الشبكة الهيدروديناميكية لمنطقة الدراسة فقد حافظت على الشكل العام لها، الشكل (5-25). حيث كانت قيمة انخفاض مناسيب المياه 1 م في المساحة المحيطة بالآبار (1 ، 3 ، 4 ، 5 ، 6 ، 7 ، 8) وفي مساحة محدودة جداً محيطة بكل من البئرين رقم (12 و 13) ، ولم تتجاوز انخفاضات المناسيب 5.3 م في مركز مواقع الضخ للبئرين (4 و 6) وفي مساحة محدودة محيطة بالبئر رقم (1)، الشكل (5-26).

الجدول (11-5) عناصر الموازنة المائية (م³/يوم) في منطقة البحث للسيناريو 1 للعام 2030

عناصر الموازنة	مقدار الجريان الداخل	مقدار الجريان الخارج	محصلة الجريان
Constant Head (الجريان الأفقي)	12876	80884	- 68008
Wells (الاستثمار)	0	7766	- 7766
Recharge (التغذية)	75774	0	75774
Total (المجموع)	88650	88650	0

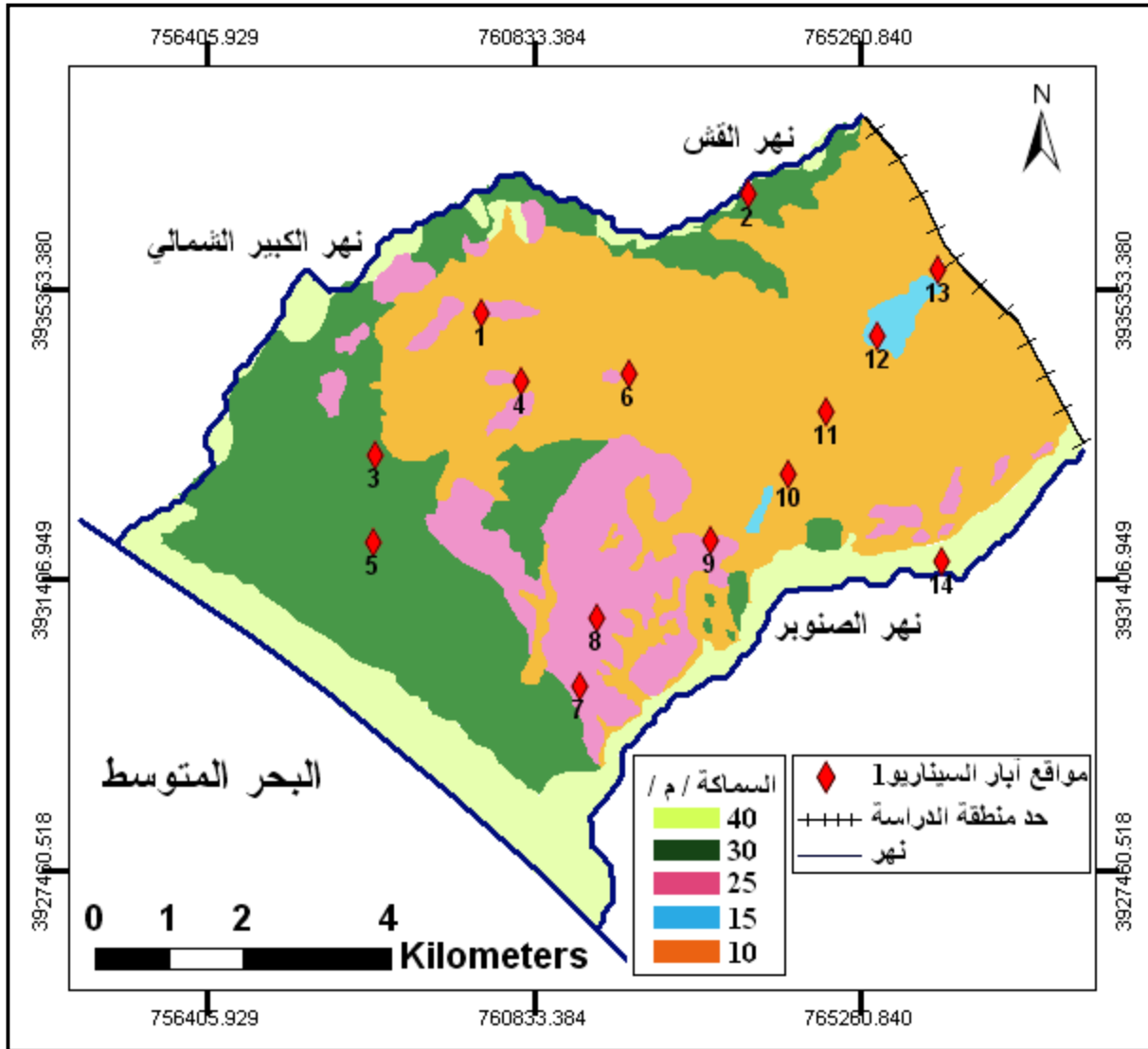


الشكل (25-5) الشبكة الهيدروديناميكية لمنطقة الدراسة – السيناريو 1 للعام 2030



الشكل (5-26) توزيع هبوط سطح المياه الجوفية (م) للسيناريو الأول للعام 2030

بمقارنة خطط الاستثمار الأربعة للأعوام (2015 و 2020 و 2025 و 2030) للسيناريو 1 ، نجد أن هبوطات مناسيب المياه الجوفية كانت مقبولة، ومساحات انتشارها ازدادت قليلاً وتباعاً من سيناريو العام 2015 إلى سيناريو العام 2030 ، ولم تتجاوز تلك الهبوطات 5.3 م في مركز بعض مواقع الضخ، أي لم تتجاوز 53% من السماكة الفعّالة للطبقات الحاملة للمياه الشكل (5-27)، ولم يصل تأثيرها إلى الحدود الهيدروليكية للنموذج وبقيت بعيدة عنها، وبالتالي لا تشكل خطراً على استثمار طبقة المياه الجوفية. وجاءت المياه المُستثمرة في هذا السيناريو على حساب الجريان الجوفي الخارج، مما يُعطي هذا السيناريو ميزة إضافية، فهو يسمح بتقليل الفواقد المائية بالجريان الجوفي باتجاه البحر وباتجاه نهري الصنوبر والكبير الشمالي، والاستفادة منها في الاستثمارات المستقبلية.



الشكل (5-27) خريطة توضح السماكة الفعالة للطبقات الحاملة للمياه [الفصل الثالث]

السيناريو الثاني Scenario 2

تأمين احتياجات مياه الشرب والصناعة من المياه الجوفية المتاحة للعام 2015

اقترحنا تأمين المياه للأغراض الأهلية (احتياجات التجمعات السكنية من مياه الشرب) وأغراض الصناعة معاً لعام 2015 ، مع المحافظة على نفس الآبار في السيناريو السابق (الأغراض الأهلية)، وإضافة بعض الآبار الأخرى بما يتناسب مع مواقع توزع المنشآت الصناعية والقرب منها، آخذين بعين الاعتبار الكمية المستهلكة من المياه لكل نوع منها، الجدول (5-12). وتم تشغيل النموذج وفقاً للاستثمارات المحلية الجديدة، فحصلنا على خريطة مناسبة للمياه الجوفية وهبوط سطح المياه الجوفية، وعلى عناصر الموازنة المائية الجديدة.

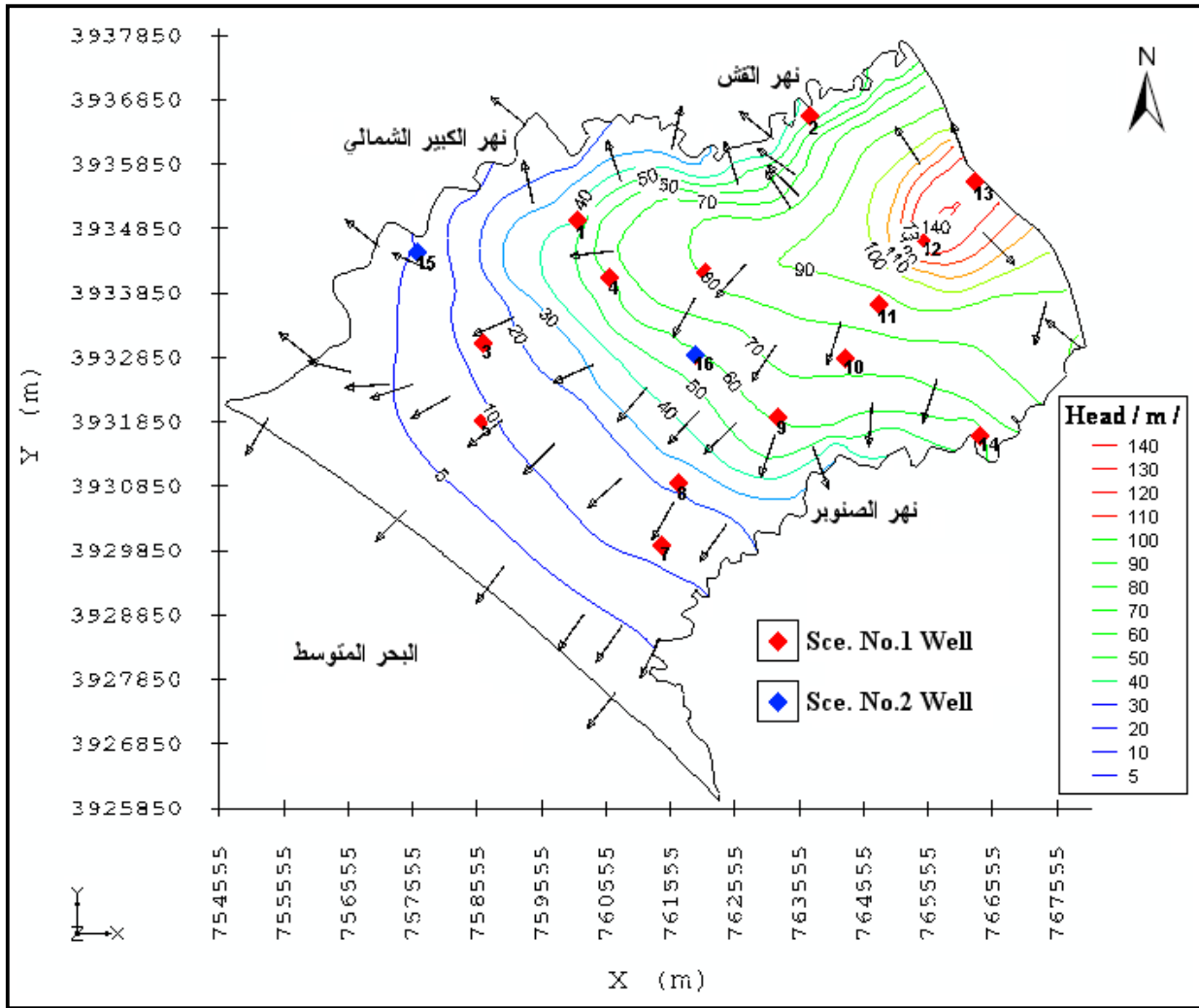
الجدول (5-12) توزع المنشآت الصناعية ضمن التجمعات السكنية في منطقة الدراسة

إجمالي كمية المياه المستهلكة (م ³ /يوم)	عدد المنشآت الصناعية – حجم الاستهلاك الوسطي فيها (م ³ /يوم)				التجمع السكني أو الموقع
	هندسية	نسيجية	كيميائية	غذائية	
178.15	0.43 – 1	-	-	177.72 – 2	دبّا
449.86	3.87 – 9	1.69 – 1	-	444.30 – 5	البصة
1073.98	0.43 – 1	-	7.23 – 3	1066.32 – 12	الهنادي
357.85	-	-	2.41 – 1	355.44 – 4	فديو
94.11	0.43 – 1	-	4.82 – 2	88.86 – 1	الصنوبر
88.86	-	-	-	88.86 – 1	نبح الرز
182.54	-	-	4.82 – 2	177.72 – 2	القطرية
88.86	-	-	-	88.86 – 1	مزار القطرية
0.43	0.43 – 1	-	-	-	معمل المعاكس
1.29	1.29 – 3	-	-	-	جود وحميشو
2515.93 – 53	6.88 – 16	1.69 – 1	19.28 – 8	2488.08 – 28	المجموع

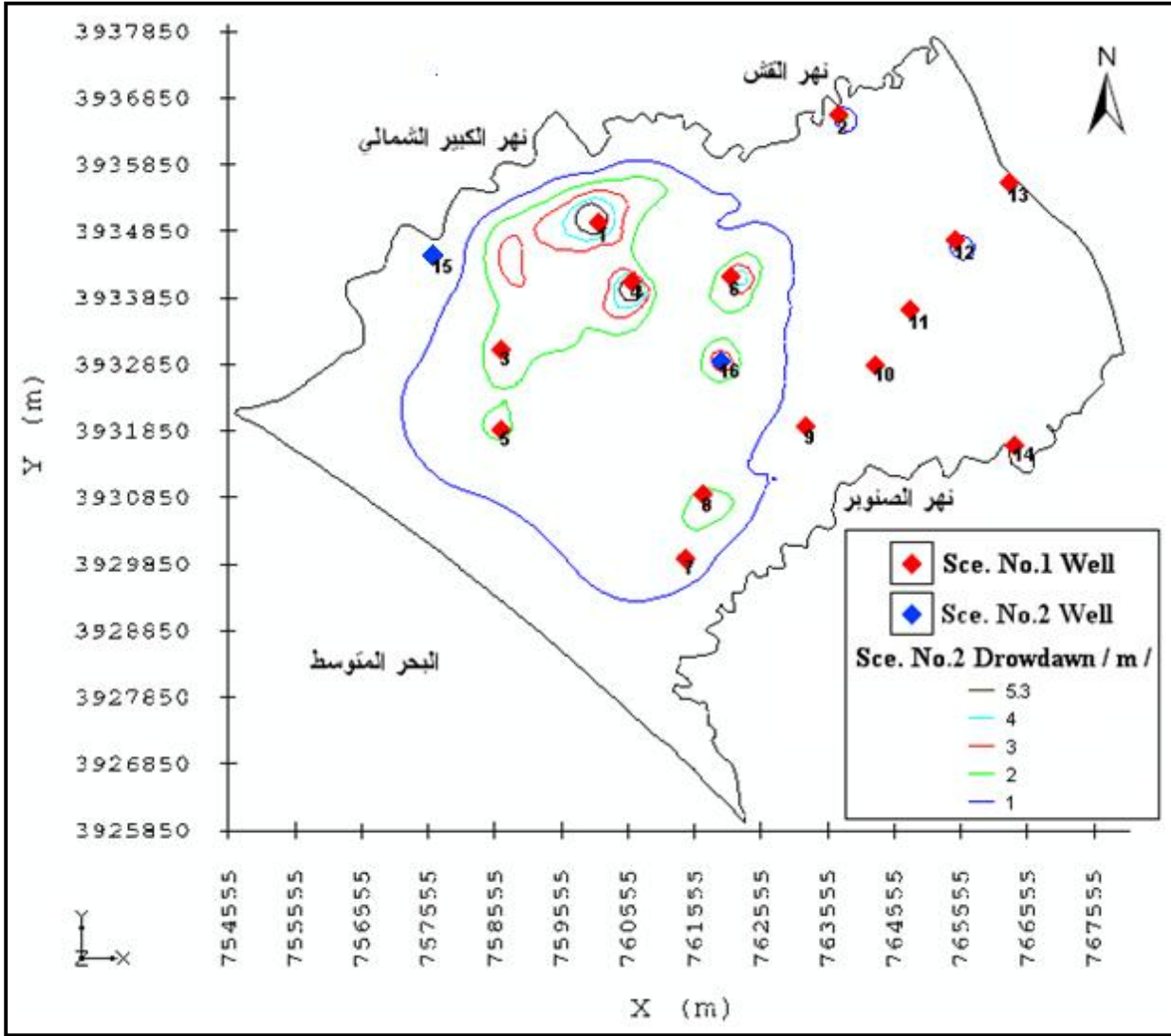
إنّ التغيرات الملاحظة على الموازنة المائية لهذا السيناريو بالمقارنة مع الموازنة الناتجة من معايرة النموذج في الشهر نفسه من العام 2012 الجدول (5-2)، شملت الاستثمارات من الآبار التي ازدادت إلى 7510 م³/يوم، حيث ازداد الجريان الأفقي الداخل إلى منطقة البحث، ووصل مقدار الزيادة إلى 565 م³/يوم، وفي الوقت نفسه تناقصت كمية الجريان الأفقي الخارج من المنطقة المدروسة إلى البحر المتوسط ونهري الصنوبر والكبير الشمالي، فبلغ مقدار النقصان 6019 م³/يوم، الجدول (5-13). أمّا الشبكة الهيدروديناميكية لمنطقة الدراسة فقد حافظت على الشكل العام لها، الشكل (5-28). حيث كانت قيمة انخفاض مناسيب المياه الجوفية 1 م في المساحة المحيطة بالآبار (1، 3، 4، 5، 6، 7، 8، 16) وتبلغ هذه المساحة 30 كم² تقريباً. وفي مساحة صغيرة جداً محيطة بكل من البئرين رقم (2 و 12)، ولم تتجاوز انخفاضات المناسيب 5.3 م في مركز مواقع الضخ للبئرين (4 و 6) وفي مساحة محدودة محيطة بالبئر رقم (1)، الشكل (5-29). وهذا الهبوط لا يتجاوز 53% من السماكة الفعّالة للطبقات الحاملة للمياه، ويُعدّ هذا السيناريو جيداً عملياً.

الجدول (5-13) عناصر الموازنة المائية (م³/يوم) في منطقة البحث للسيناريو 2 للعام 2015

عناصر الموازنة	مقدار الجريان الداخل	مقدار الجريان الخارج	محصلة الجريان
Constant Head (الجريان الأفقي)	12757	81021	- 68264
Wells (الاستثمار)	0	7510	- 7510
Recharge (التغذية)	75774	0	75774
Total (المجموع)	88531	88531	0



الشكل (5-28) الشبكة الهيدروديناميكية لمنطقة الدراسة – السيناريو 2



الشكل (5-29) توزيع هبوط سطح المياه الجوفية (م) للسيناريو الثاني

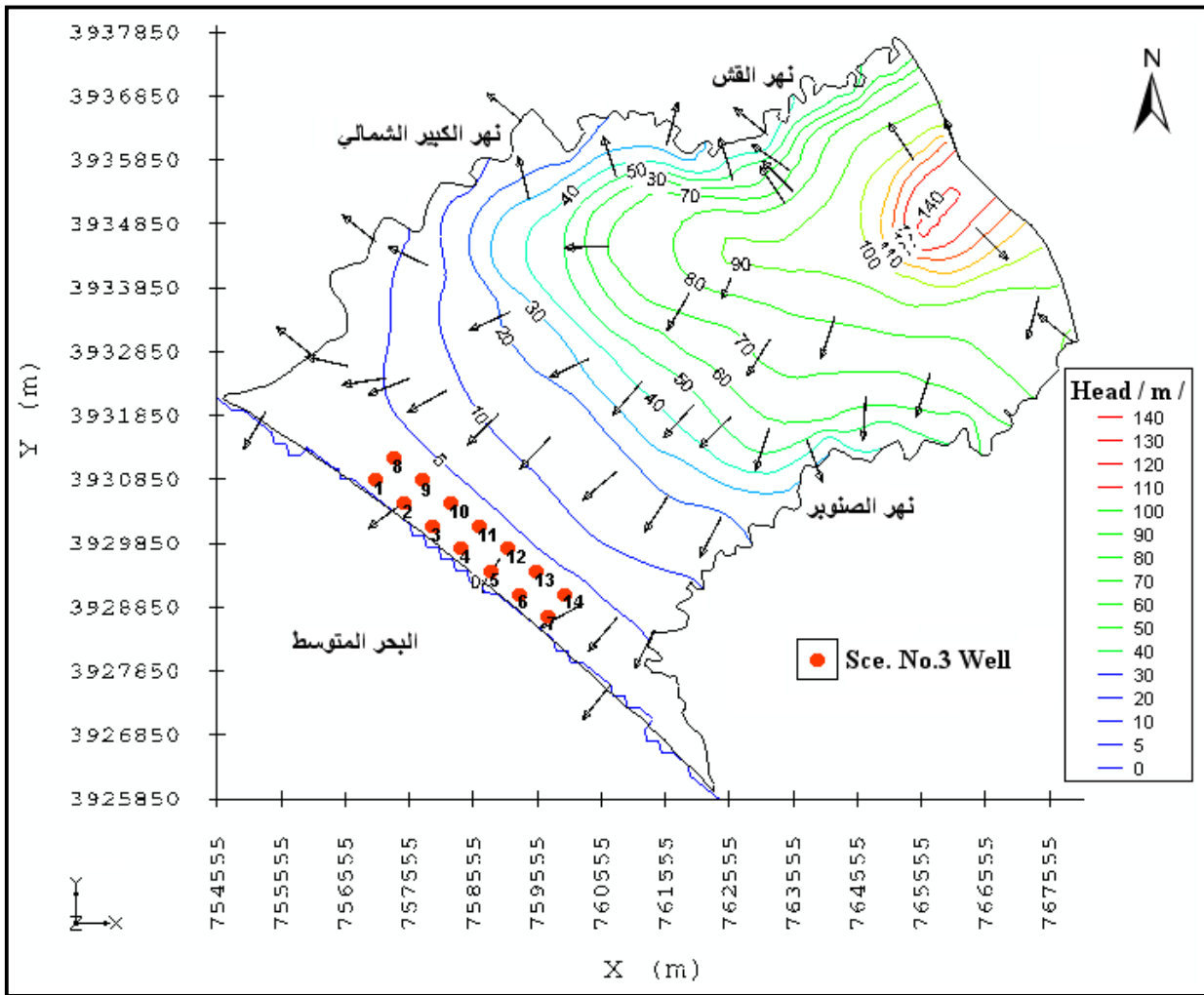
السيناريو الثالث Scenario 3

خطة استثمارية لتأمين الاحتياجات السياحية والصناعية ومياه الشرب للعام 2040

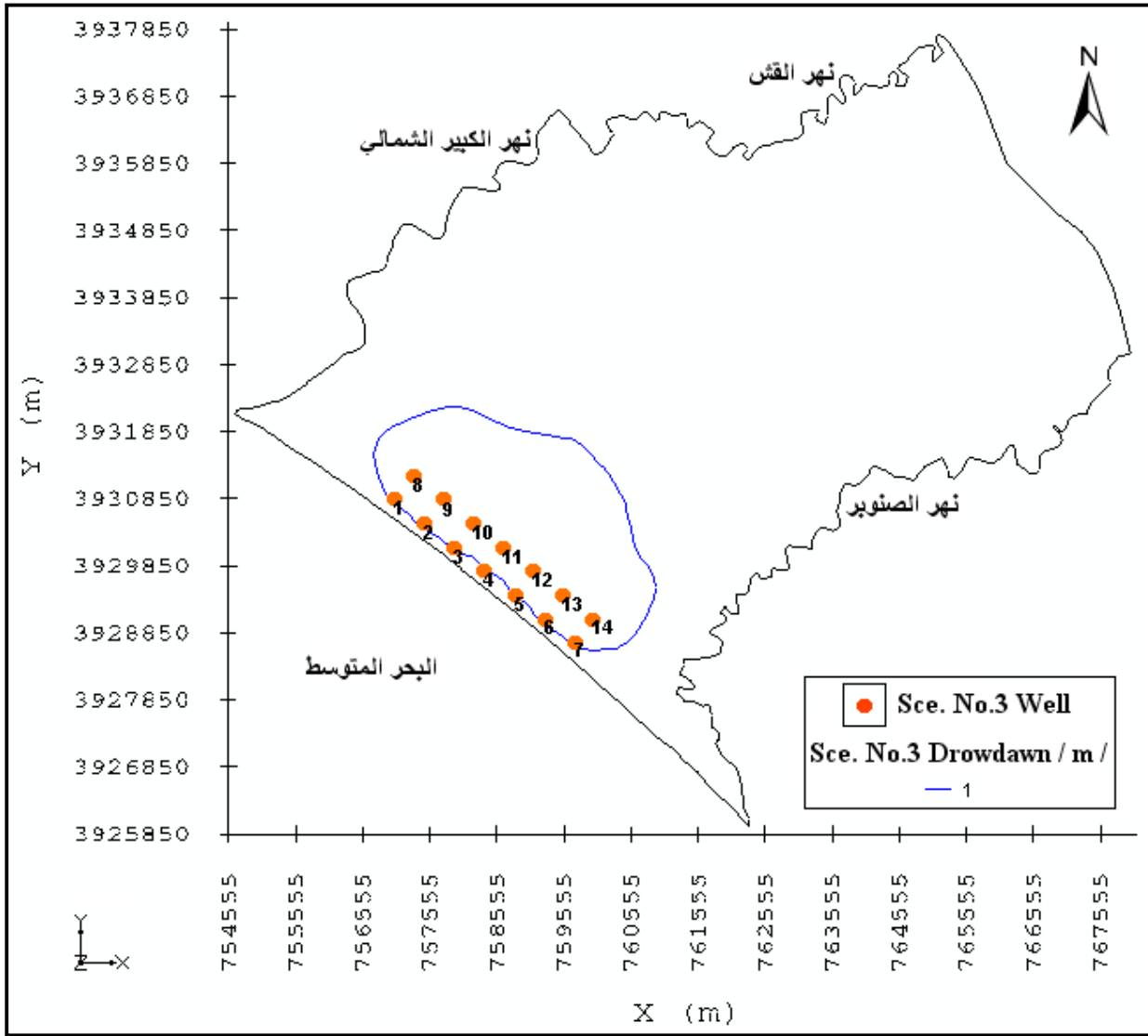
اقترحنا حفر 14 بئراً تبعد عن بعضها من 500 إلى 600 م /منعاً لتداخل مخاريط الانخفاض [28]/ قرب الشاطئ (على مسافة 150 إلى 600 م من خط الشاطئ)، نظراً للحاجة الملحة لهذه الموارد المائية في المشاريع السياحية المتوقعة، وبتصارييف مختلفة لكل بئر، حيث تراوحت التصارييف من 200 إلى 1000 م³/يوم، روعي فيها تأمين المياه للأغراض الأهلية والأغراض الصناعية معاً وفق استثمارات العام 2040 المتوقعة من حيث زيادة عدد السكان (46985 نسمة) ونصيب الفرد الواحد من المياه (0.18 م³/يوم). وذلك بعد إجراء محاولات عديدة لتشغيل النموذج وإنتاج خرائط مناسبة للمياه الجوفية وهبوط سطحها من أجل الوصول إلى سيناريو جيد ومقبول، حيث يبقى مستوى المياه الجوفية أعلى من مستوى البحر، ولا يحصل تقدّم لإسفين مياه البحر ضمن الطبقة الحاملة للمياه

الشكل (5-30)، وينتج عن هذا السيناريو انخفاض بسيط في مستوى المياه الجوفية لم يتجاوز 1 م في بعض المناطق القريبة المحيطة بمواقع الضخ وبمساحة تبلغ حوالي 9 كم²، الشكل (5-31)، وهذا الهبوط لا يتجاوز 4% من السماكة الفعالة للطبقات الحاملة للمياه.

أما التغيرات الملاحظة على الموازنة المائية لهذا السيناريو بالمقارنة مع الموازنة الناتجة من معايرة النموذج في الشهر نفسه من العام 2012 الجدول (5-2)، فشملت الاستثمارات من الآبار التي ازدادت إلى 11226 م³/يوم، حيث ازدادت قيمة الجريان الأفقي الداخل إلى منطقة البحث، ووصلت هذه الزيادة إلى 134 م³/يوم، وفي الوقت نفسه تناقصت كمية الجريان الأفقي الخارج من المنطقة المدروسة إلى البحر المتوسط ونهري الصنوبر والكبير الشمالي، فبلغ مقدار النقصان 10166 م³/يوم، الجدول (5-14)، ويُعدّ هذا السيناريو جيداً عملياً.



الشكل (5-30) الشبكة الهيدروديناميكية لمنطقة الدراسة - السيناريو 3



الشكل (5-31) توزيع هبوط سطح المياه الجوفية (م) للسيناريو الثالث

الجدول (5-14) عناصر الموازنة المائية (م³/يوم) في منطقة البحث للسيناريو 3 للعام 2040

محصلة الجريان	مقدار الجريان الخارج	مقدار الجريان الداخل	عناصر الموازنة
- 64548	76874	12326	Constant Head (الجريان الأفقي)
- 11226	11226	0	Wells (الاستثمار)
75774	0	75774	Recharge (التغذية)
0	88100	88100	Total (المجموع)

السيناريو الرابع Scenario 4

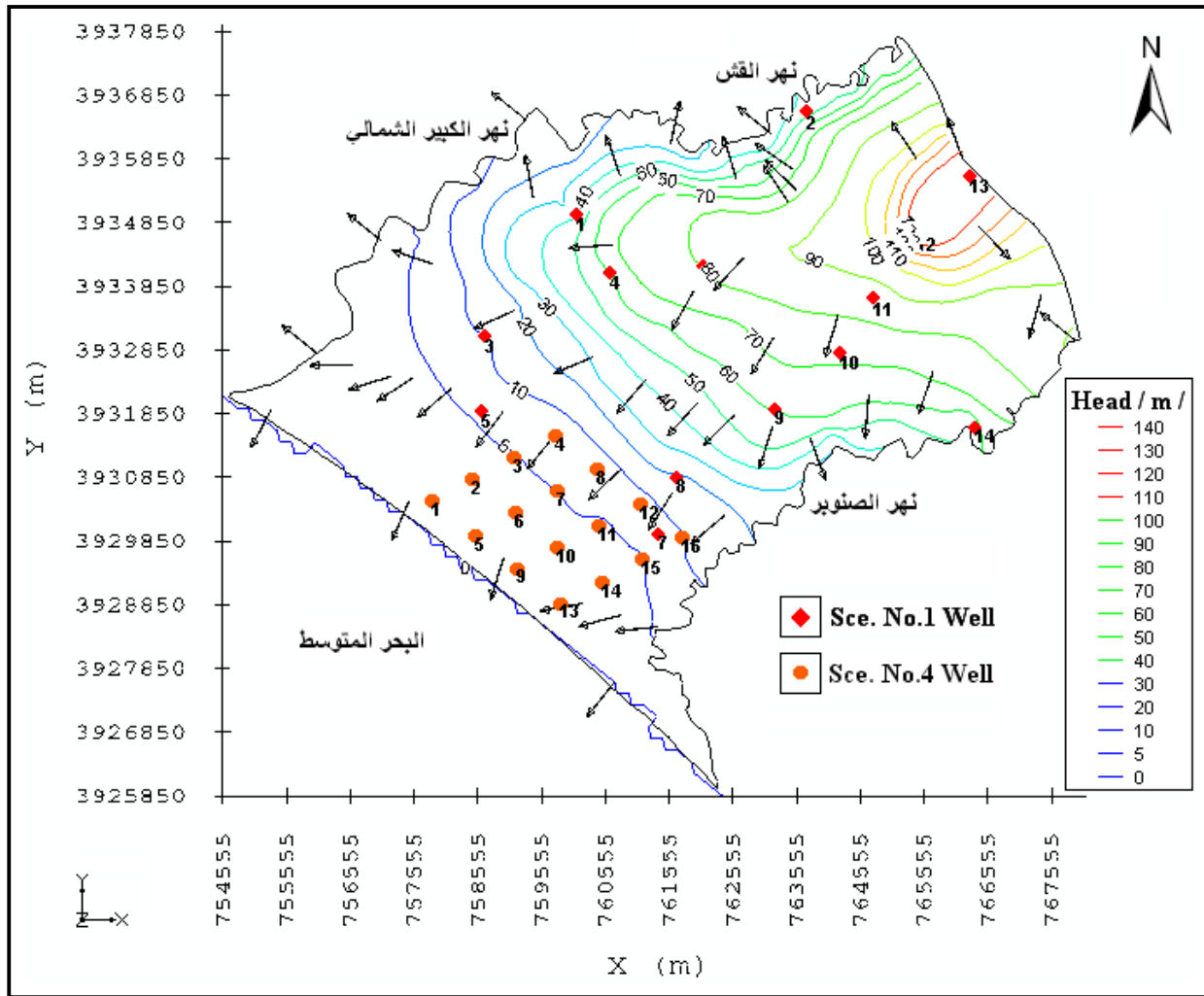
خطة استثمارية لتأمين احتياجات مياه الشرب للعام 2040 ومياه الري في المنطقة السهلية

تجنباً لحدوث غرق الأراضي أو تملحها في المنطقة السهلية المجاورة للبحر، اقترحنا عدم استثمار شبكات الري المُنفذة في المنطقة /كون المنطقة مروية بالكامل/، وحفر 16 بئراً تبعد عن خط الشاطئ حوالي 0.5 - 2.5 كم ، والمسافة فيما بين الآبار حوالي 700 - 850 م ، لضمان عدم تداخل مخاريط الانخفاض عند العمل المشترك لهذه الآبار، وبتصاريح تتراوح من 300 إلى 1100 م³/يوم ، وذلك بعد إجراء محاولات عديدة لتشغيل النموذج بما يُحقق أفضل استثمار من هذا السيناريو، مع الحفاظ على استقرار النظام المائي في المنطقة الشكل (5-32) ، والأخذ بعين الاعتبار عدم تداخل مياه البحر ضمن طبقات المياه الجوفية الحرة، ومراعاة الحفاظ على سماكة الطبقة الحاملة للمياه الجوفية أيضاً، ومن ثم إمكانية استثمار المياه من هذه الآبار وضخها في شبكات الري المُنفذة في المنطقة.

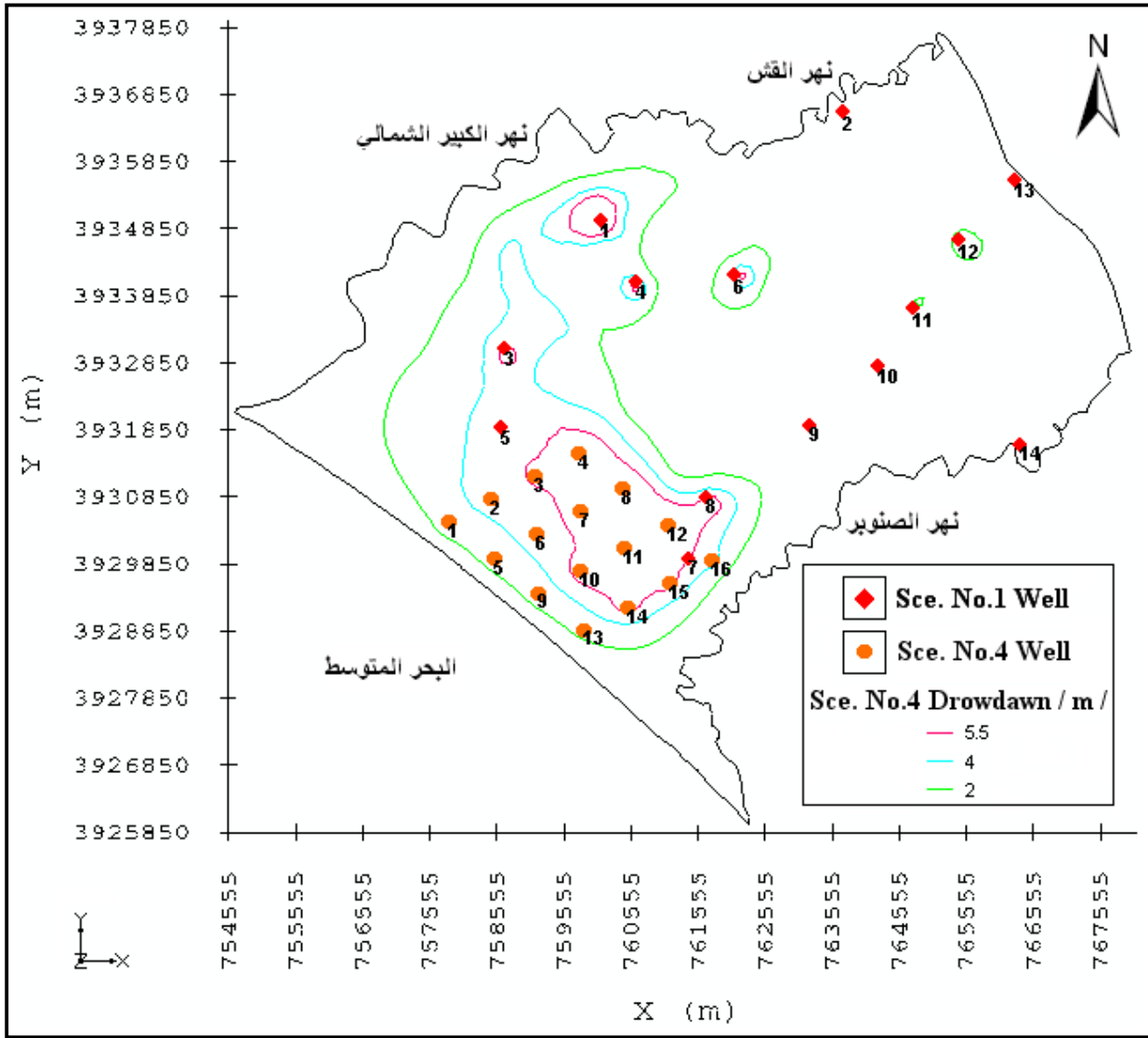
انخفضت مناسيب المياه الجوفية نتيجةً للاستثمارات المُقترحة في هذا السيناريو 2 م في المساحة المحيطة بكافة الآبار المُقترحة للسيناريو الرابع، وفي بعض آبار السيناريو الأول (1 ، 3 ، 4 ، 5) أيضاً. وتبلغ هذه المساحة مشتركة حوالي 25 كم² ، كما انخفضت المناسيب 2 م أيضاً في مساحة محدودة محيطة بكل من البئرين (6 و 12) ، ومركز موقع الضخ للبئر (11) من آبار السيناريو الأول. ولم تتجاوز الانخفاضات 5.5 م في منطقة محيطة بآبار السيناريو الأول (7 ، 8) وآبار السيناريو الرابع (3 ، 4 ، 7 ، 8 ، 10 ، 11 ، 12 ، 14 ، 15) معاً، ومساحتها حوالي 4 كم² الشكل (5-33)، وهي تبعد عن نهر الصنوبر حوالي 1 كم تقريباً، كما انخفضت المناسيب 5.5 م في مساحة محدودة محيطة بالبئر (1) وفي مركز مواقع الضخ للآبار (3 ، 4 ، 6) من آبار السيناريو الأول، ولم يطرأ أي هبوطات أخرى في المساحات المُتبقيّة لمنطقة البحث.

بالمقارنة مع الموازنة الناجمة من معايرة النموذج في العام 2012 الجدول (5-2)، نلاحظ أن الاستثمارات من الآبار ازدادت إلى 22606 م³/يوم ، وبنسبة لم تتجاوز 26% من كمية الموارد المائية الجوفية المتاحة في المنطقة، وأدى انخفاض مناسيب المياه الجوفية إلى زيادة الجريان الأفقي الداخل إلى منطقة البحث بمقدار 2138 م³/يوم ، في الوقت الذي تناقصت فيه كمية الجريان الأفقي الخارج من المنطقة المدروسة إلى البحر المتوسط ونهري الصنوبر والكبير الشمالي، فبلغ مقدار النقصان 19542 م³/يوم ، الجدول (5-15).

يُعتبر هذا السيناريو جيداً، إذ يسمح بإرواء مساحة تُقَدَّر بحوالي 2000 هكتار من مساحة منطقة الدراسة، أي ما يشكل حوالي 29% منها. بالإضافة إلى تأمين احتياجات المنطقة من مياه الشرب للعام 2040 مع مراعاة زيادة عدد السكان (46985 نسمة في العام 2040) ونصيب الفرد الواحد من المياه (0.18 م³/يوم) أيضاً، وينتج عن هذا السيناريو انخفاض في مستوى المياه الجوفية لم يتجاوز 5.5 م ، وهذا الهبوط لا يتجاوز 55% من السماكة الفعّالة للطبقات الحاملة للمياه.



الشكل (5-32) الشبكة الهيدروديناميكية لمنطقة الدراسة – السيناريو 4



الشكل (5-33) توزيع هبوط سطح المياه الجوفية (م) للسيناريو الرابع

الجدول (5-15) عناصر الموازنة المائية (م³/يوم) في منطقة البحث للسيناريو 4 للعام 2040

محصلة الجريان	مقدار الجريان الخارج	مقدار الجريان الداخل	عناصر الموازنة
- 53168	67498	14330	Constant Head (الجريان الأفقي)
- 22606	22606	0	Wells (الاستثمار)
75774	0	75774	Recharge (التغذية)
0	90104	90104	Total (المجموع)

بمقارنة السيناريوهات الأربعة السابقة نجد أنّ هبوطات مناسب المياه الجوفية الناتجة عن خطة الاستثمار المقترحة لكل سيناريو، لم تتجاوز 5.3 م في السيناريو الأول والثاني، أي ما لا يتجاوز 53% من سماكة الطبقة الحاملة للمياه الجوفية، وكذلك لم تتجاوز 1 م في السيناريو الثالث (4% من سماكة الطبقة الحاملة للمياه في المنطقة التي نتج الهبوط فيها)، و 5.5 م في السيناريو الرابع (55% من سماكة الطبقة). وهذه الهبوطات جيّدة ومقبولة، ولا تشكل خطراً على استثمار طبقة المياه الجوفية.

ولكن السيناريو الرابع يُقدّم إمكانية استثمار أكبر حجم ممكن (22606 م³/يوم) من المياه الجوفية ضمن المنطقة المقترحة، مقارنةً مع حجوم استثمار المياه من بقية السيناريوهات، دون وجود خطر لتداخل مياه البحر، وعدم وصول تأثير الضخ إلى الحدود الهيدروليكية للنموذج، مع المحافظة على النظام المائي العام للمياه الجوفية في منطقة الدراسة.

الاستنتاجات والتوصيات

الاستنتاجات

1. إنّ نظام المياه الجوفية في منطقة الدراسة، من نوع نظام خط تقسيم المياه (النظام المناخي)، يرتبط ارتباطاً مباشراً بالرشح من الهطولات المطرية، وهو يمر بثلاث مراحل في السنة الهيدرولوجية (هبوط، ثبات نسبي، نهوض) تمتد فتراتهما أو تقصر حسب الظروف المحلية للمنطقة.
2. تتسم أوضاع مناسيب المياه الجوفية بالاستقرار والتوازن نتيجة النفوذية الجيدة للطبقة المائية التي تسمح باستعادة ما تم ضخه من المخزون نتيجة توفر مصادر التغذية على مدار العام. حيث تتلقى الطبقة المائية تغذية مائية سنوية متعددة المكونات (طبيعية، واصطناعية) مختلفة القيم (تبعاً للمناطق)، وبالتالي فإن المياه الجوفية متجددة. وتُصَرَف في نهري الكبير الشمالي والصنوبر وفي البحر بميول هيدروليكية تتراوح بين (0.01 - 0.04).
3. تمتاز طريقة تحديد البارامترات الهيدروجيولوجية باستخدام معطيات المراقبة بأهمية خاصة إلى جانب طرائق الدراسات الاختبارية للرشح في الوصول إلى استنتاجات هامة حول البنية الهيدروجيولوجية والهيدروديناميكية للمنطقة، والحصول على لوحة أكثر دقة لانتشار تلك البارامترات فيها.
4. تمتاز المياه الجوفية بسحنتين هيدروكيميائيتين أساسيتين: سحنة هيدروكربوناتية في أغلب أرجاء منطقة الدراسة تعكس تركيباً بيكربوناتياً مغنيزياً أو كلسياً للمياه الجوفية وتشير إلى طور أولي في تطور النمط الكيميائي للمياه، وسحنة سولفاتيّة تنتشر في جنوب شرق منطقة الدراسة تشير إلى أنّ النمط الكيميائي للمياه غني بالفلزات السولفاتيّة الناشئة من انحلال توضعاتها المنتشرة في هذا الجزء من منطقة الدراسة.
5. تمّ تمييز أربع مجموعات ملحية في المياه الجوفية لمنطقة الدراسة، يوجد في أغلبها ملح Na_2SO_4 الدال على المنشأ الجوي للمياه الجوفية، وقد دلت النسب الجيوكيميائية التي تمّ تحديدها إلى عدم تداخل المياه الجوفية مع مياه البحر.
6. إنّ التغير الكيميائي المألوف الذي يتبع اتجاه حركة المياه الجوفية لم يتحقق في هذه المنطقة، وذلك لتعدد اتجاهات الحركة، وقصر طريق الرشح، والطبيعة الليتولوجية للتشكيلات الجيولوجية الحاملة للمياه وتناوبها بين طبقات النيوجين والرباعي.
7. تشير مجمل التحاليل الفيزيائية والكيميائية إلى صلاحية المياه للشرب في معظم منطقة الدراسة، وجاءت نتائج هذه التحاليل ضمن الحدود المقبولة وفق المواصفة القياسية السورية لمياه الشرب، باستثناء بعض الآبار التي احتوت على تراكيز أعلى من الحدود المسموح بها لبعض الشوارد الرئيسية التي تقع في شمال شرق منطقة الدراسة (منجلا، القاقعية، الضاهرية) وعلى تراكيز

مرتفعة نسبياً من شوارد النترتت وخصوصاً بجانب ضفتي نهر القش، ويُعزى ذلك إلى مخلفات الصرف الصحي والزراعي. كما أنّ هذه المياه صالحة لأغراض الري حسب المعايير العالمية المُعتمدة.

8. تُقدّر الموارد المائية الجوفية في منطقة الدراسة بحوالي 32.1 مليون م³/سنة، يأتي منها 27.6 مليون م³/سنة على حساب رشح مياه الأمطار وبنسبة 85.9%، والكمية الباقية تأتي من الجريانات الجوفية. بينما تُقدّر الصادرات إلى نهري الكبير الشمالي والصنوبر وإلى البحر المتوسط بحوالي 31.7 مليون م³/سنة.

9. يُقدّر حجم المياه المستعملة في منطقة الدراسة لعام 2015 بحوالي 20.1 مليون م³/سنة، تتوزع وفق الآتي:

Y للأغراض الأهلية 1.44 مليون م³/سنة، تكون النسب المئوية لطرائق تأمينها كالتالي: 68% من نبع ديفة و 21% من نبع السن و 9% من نبع الرويمية و 2% من نبع طرجانو.

Y يُقدّر حجم المياه المستعملة للأغراض الزراعية بـ 17.75 مليون م³/سنة، يتم تأمينها من سدي 16 تشرين والثورة.

Y يُقدّر حجم المياه المستعملة للأغراض الصناعية بحوالي 0.91 مليون م³/سنة.

10. في عام 2040، ستحتاج المنطقة المدروسة إلى حوالي 21.7 مليون م³/سنة لتغطية مختلف الاستعمالات للمياه، مع الأخذ بعين الاعتبار معدل الزيادة السكانية وزيادة معدل نصيب الفرد الواحد ليصل إلى 0.18 م³/يوم بدلاً من 0.13 م³/يوم، والإبقاء على كميات الاستثمار الحالية فيما يخص الأنشطة الزراعية والصناعية، كون المنطقة مروية بالكامل ولا يوجد أي خطة للتوسع في هذين المجالين، وبالتالي فإنّ معادلة التوازن المائي محققة حتى ذلك التاريخ.

11. تمّ تشغيل النموذج (بعد معايرته لحالة الجريان المستقر) تبعاً لخطط الاستثمار المقترحة (السيناريوهات) الموزعة على مدى 25 سنة، وذلك حتى عام 2040، فحصلنا على النتائج الآتية:

U يمكن الاستعاضة من خلال السيناريو الأول عن كمية المياه القادمة من ينابيع السن، ديفة، طرجانو، والرويمية لأغراض الشرب لصالح التجمعات السكنية في منطقة الدراسة، من خلال حفر بعض الآبار في مناطق التجمعات السكنية وزيادة تصريف نفس الآبار الموجودة في تلك التجمعات عبر إدخال مضخات جديدة، وذلك حتى عام 2040 مع الأخذ بالحسبان الزيادة السكانية حتى هذا العام.

U يمكن الاستفادة من السيناريو الثالث بالمواقع المقترحة للآبار فيه، بما يخدم المشاريع السياحية المتوقعة في منطقة الدراسة، حيث يمكننا ضخ 11226 م³/يوم، لتأمين المياه للأغراض الأهلية والأغراض الصناعية معاً حتى عام 2040، وذلك دون حصول أيّة آثار جانبية.

ن يُمثّل السيناريو الرابع الحلّ الأمثل لإدارة موارد المياه الجوفية المُتاحة في منطقة البحث، حيث يمكن الاستفادة منه لتأمين أغراض الري لمساحة تبلغ 2000 هكتار، بالإضافة إلى احتياجات مياه الشرب حتى عام 2040، وذلك بضخ 22606 م³/يوم ضمن المنطقة المُقترحة للاستثمار، مع هبوط 5.5 م لمناسيب المياه الجوفية في مساحة تبلغ حوالي 4 كم² وفي مركز مواقع الضخ لبعض الآبار، الأمر الذي لا يُشكّل خطراً على استثمار طبقة المياه الجوفية الحرة، ويحافظ على الوضع الهيدروجيولوجي العام لمنطقة البحث.

التوصيات

1. إعادة معايرة النموذج الرياضي لحركة المياه الجوفية في حال توافر بيانات إضافية، وتدقيق البارامترات الهيدروجيولوجية ومركبات الموازنة المائية والتنبؤ بالهبوطات، ومن ثمّ توجيه خطط الاستثمار بشكل مستمر للحفاظ على الموارد المائية للمنطقة بعيداً عن التدهور والاستنزاف.
2. ضرورة المتابعة الدورية لمراقبة المناسيب للمياه الجوفية ولمياه النهر وروافده من خلال شبكة مراقبة يتم اختيارها في المنطقة، إضافةً لرصد نوعية المياه الجوفية من خلال إجراء كافة التحاليل الفيزيائية والكيميائية والجرثومية لها، لضمان جودة تلك المياه للاستخدامات المختلفة.
3. دراسة حركة الملوثات ضمن المنظومة المائية لمعرفة درجة تركيز الملوث، والزمن الذي يستغرقه للتحرك من مصدره وحتى يصل إلى الطبقة أو المصدر المائي، لحمايته من التلوث.
4. تقييم قابلية الطبقة المائية للتلوث وإيلاء أهمية كبرى في اختيار مواقع المعامل والمصانع المراد إنشاؤها مستقبلاً.
5. متابعة استخدام النماذج الرياضية في إدارة الموارد المائية المُتاحة، واستثمارها بشكلها الأمثل، مما يساعد أصحاب القرار على اتخاذ القرارات المناسبة فيما يخص تنفيذ السياسات المائية المقترحة.

المراجع

المراجع العربية

1. الأسعد، علي محمد. الهيدرولوجيولوجيا. جامعة تشرين، سورية، 2010، 599.
2. البسام، عبد العزيز محمد. أهمية المعلومات الهيدرولوجية والهيدرولوجية في تقييم الوضع المائي، مجلة جامعة الملك سعود. 2012، 1-15.
3. البلاغ الوطني للتغيرات المناخية. مشروع نمذجة المياه الجوفية لحوض الزبداني. دمشق، 2011.
4. التحريات الهيدرولوجية والهيدرولوجية في الأحواض الأربعة (سورية – حوض الساحل) أربعة مجلدات. غروزغيرفودخوذ – تبيليسي 1979.
5. الخارطة الطبوغرافية لسورية. رقعتا (اللاذقية وجبلة)، بمقياس 1:25000، دمشق، 1972.
6. السباعي، محمود. نمذجة حركة المياه الجوفية (حالة حوض الفرات الأدنى)، مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية. العدد الثاني، 2005، 91-114.
7. السيد علي، لمى. إدارة موارد المياه الجوفية في منطقة برج إسلام. رسالة ماجستير، بإشراف أ. د. علي محمد الأسعد، د. م. شريف بدر حايك. كلية الهندسة المدنية، قسم الهندسة المائية والري، جامعة تشرين، 2011.
8. الشركة العامة للدراسات المائية. مشروع دراسة حوض نبع السن، مجلدين، 1987.
9. الشركة العامة للدراسات المائية، المؤسسة العامة لاستصلاح الأراضي. دراسات مشاريع الري والصرف في المنطقتين 2 و 3 من وادي الفرات الأدنى، (النموذج الرياضي للصرف الشاقولي القطاع 8). 2002.
10. الطائي، ثائر محمود. ؛ الصادق، عبد الغني عيو. نموذج اعتباري لتحديد اتجاهات حركة المياه الجوفية وتخمين كمياتها في سهل السيلفاني شمال بحيرة سد الموصل، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية. العدد الثاني، 2004، 11-35.
11. المديرية العامة للأرصاد الجوية – دمشق – (محطة اللاذقية، محطة مطار الباسل، محطة سد 16 تشرين)، 2013.

12. المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (أكساد) بالتعاون مع مديرية الري العامة – حوض البادية، والشركة العامة للدراسات المائية – حمص، دمشق، النموذج الرياضي لحوض سبخة الموح في الجمهورية العربية السورية، 1998، 182.
13. المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (أكساد). النموذج الرياضي لحوض الدو في الجمهورية العربية السورية، 1981.
14. المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (أكساد). حلقة العمل العربية حول استخدام النماذج الرياضية في تخطيط وإدارة الموارد المائية. دمشق، 2010.
15. المكتب المركزي للإحصاء، المجموعة الإحصائية لعام 1994، دمشق 1994.
16. بيتيفا، ك.إ. الهيدروجيوكيمياء – تشكل التركيب الكيميائي للمياه الجوفية. موسكو، 1978، 328. (باللغة الروسية)
17. حايك، شريف بدر. تغير الظروف الهيدروجيولوجية في منطقة ري سد السادس عشر من تشرين الواقعة بين نهر الكبير الشمالي ونهر الصنوبر وترشيد استهلاك موارد المياه الجوفية فيها، رسالة ماجستير، بإشراف أ. د. علي محمد الأسعد، د. م. عدنان إبراهيم. كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – سورية، 1998، 180.
18. حايك، شريف بدر. مساهمة في تقييم تجربة الضخ الاستثمارية من طبقة المياه الجوفية المضغوطة في بانياس، مجلة جامعة تشرين. المجلد (33)، العدد الرابع، 2011، 9-24.
19. حايك، شريف. التغيرات الهيدروجيولوجية وتطوير موارد المياه الجوفية وترشيد استثمارها بين نهري الكبير الجنوبي والأبرش. أطروحة دكتوراه، بإشراف أ. د. علي محمد الأسعد، أ. د. غطفان عمار، د. م. عباس عبد الرحمن. جامعة تشرين، 2004، 221.
20. دراسة تطويرية لمصادر المياه في الأحواض المركزية والشمالية الغربية للجمهورية العربية السورية. الوكالة اليابانية للتعاون الدولي (جايجا – JICA)، 2000.
21. راعي، كنان جمال. دراسة هيدروجيوكيميائية للمصادر المائية في الجزء الأدنى من حوض نهر الكبير الشمالي وتقييم التأثير الجيبيئي على هذه المصادر وخواص التربة في تلك المنطقة، رسالة ماجستير، بإشراف أ. د. أحمد محمد، أ. د. محمد عيسى. كلية العلوم، قسم الجيولوجيا، جامعة تشرين، 2010، 184.

22. رجب، نداء. دراسة هيدروجيولوجية متكاملة لتقييم ظروف تشكل المياه الجوفية في حوض اللاذقية. رسالة ماجستير، بإشراف أ. د. أحمد محمد. كلية العلوم، قسم الجيولوجيا، جامعة تشرين، 2014، 137.
23. رقية، محمد. وعيسى، علي. دراسة مشروع سرير نهر الكبير الشمالي حول استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد والدراسات الهيدروجيولوجية والجيوفيزيائية لتحديد مناطق الأمل لتواجد المياه الجوفية. مديرية الاستشعار عن بعد، اللاذقية، 2003، 67.
24. شركة DHV, TNO-NITG الهولندية وآخرون. مشروع إدارة الموارد المائية في حوض الساحل. ثمانية مجلدات، 2004، 552.
25. شركة IBG/DHV السويسرية – الهولندية. مشروع تأمين جزء من احتياجات مياه دمشق وريفها من فائض مياه الساحل السوري. 2002، 302.
26. شركة يكم الاستشارية الإيرانية. تنظيم مجرى نهر الكبير الشمالي. 2004-2005، 40.
27. عبد السلام، عادل. وآخرون. جغرافية سورية الطبيعية. قسم الجغرافيا، كلية الآداب، منشورات جامعة تشرين، 2003-2004، 408.
28. علي، حازم. بناء نموذج رياضي لحركة المياه الجوفية المضغوطة في المنطقة الممتدة بين نهري مرقية والحصين. رسالة ماجستير، بإشراف أ. د. غطفان عبد الكريم عمار، د. م. شريف بدر حايك. كلية الهندسة المدنية، قسم الهندسة المائية والري، جامعة تشرين، 2012، 162.
29. غافيتش، إ.ك. مسائل وتمارين في الهيدروجيولوجيا. موسكو، 1980، 412. (باللغة الروسية)
30. كنبلانتييف، أ.أ. ؛ سيمونوف، س.م. دراسة وتخطيط نظام المياه الجوفية والتنبؤية. نيدرا – موسكو، 1979، 193. (باللغة الروسية)
31. محمد، أحمد محمد. التقييم الهيدروجيوكيميائي للمياه الجوفية المتوضعة في الصخور الكربوناتيّة لحوض نهر عفرين، مجلة بحوث جامعة تشرين – سورية، المجلد (26)، العدد(1)، 2004، 13.
32. محمد، أحمد محمد. النماذج الرياضية في تحديد مصادر تشكل المياه الجوفية في الصخور البازلتية، مجلة بحوث جامعة حلب. العدد الثاني عشر، 1990، 51-61.
33. محمد، أحمد محمد. الهيدروجيولوجيا التطبيقية. جامعة تشرين، سورية، 2013، 361.

34. محمد، أحمد محمد. تحديد الناقلية المائية باستخدام معطيات الموازنة المائية للطبقة الحاملة للمياه. مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية، سورية، المجلد (17)، العدد الثاني، 2001، 185-196.
35. محمد، أحمد محمد. دراسة طبيعة تغيرات نظام المياه الجوفية لمنطقة حوض نهر اليرموك، مجلة بحوث جامعة حلب. العدد الثالث عشر، 1991، 261-271.
36. محمد، أحمد محمد. قوانين تشكل الموارد المائية الجوفية في الصبات البازلتية في منطقة جنوب غرب سورية وآفاق استثمارها في الاقتصاد الوطني. رسالة دكتوراه، موسكو، 1986، 220.
37. محمد، ديمة. إدارة موارد نبع بانياس في ظل التغيرات المناخية. رسالة ماجستير، بإشراف د. م. شريف بدر حايك، أ. د. غطفان عبد الكريم عمار. كلية الهندسة المدنية، قسم الهندسة المائية والري، جامعة تشرين، 2014، 111.
38. نتوف، قاسم. تأثير الاستعمالات المختلفة للمياه على الأوضاع المائية في الغوطة الغربية. رسالة ماجستير، بإشراف أ. د. واثق رسول آغا. كلية العلوم، قسم الجيولوجيا، جامعة دمشق، 2005، 199.
39. هيئة المواصفات والمقاييس العربية السورية، دفتر المواصفات القياسية السورية لمياه الشرب رقم (45)، وزارة الصناعة، دمشق، 2007.
40. وزارة الري. بناء نموذج رياضي لحوض القلمون بهدف تدقيق البارامترات الهيدروجيولوجية والموازنة المائية للطبقة الحاملة للمياه وتوجيه استثمار المياه الجوفية. دمشق، 2000 .

References

41. ADRIANA, H. G. NORID, T. *Hydrogeology and geochemical characterization of ground water in a typical small scale agricultural aria of Japan*. Journal of Asian, Earth sciences, Japan, 29, 2007, 18-28.
42. Application of Non-Linear Simulation and Optimisation Models in Groundwater Aquifer Management, 2003, 125-141.
43. Arab Hydrogeologists, 2008.
44. Assessing the importance of conduit geometry and physical parameters in karst systems using the storm water management model (SWMM). journal homepage, 2006, 294-305.
45. ATWIA, M.G. 2000- *Mathematical modeling of unconsolidated sediments of Pleistocene aquifer, south of Ismailiya Canal area, Egypt*. Journal of Environmental, Zagazig University, Vol. 2, 184-207.

46. AYERS, R.S. and D.W. WESTCOT. Water quality for agriculture FAO irrigation and drainage paper No 29. FAO publications. Rome .Italy,1976, 107.
47. BEDIENT, P. *Groundwater Contamination*. 2nded. U.S.A, 1999, 604.
48. CHESTAKOV, F. *Ground Water Movement*. Moscow State University, Moscow, 1979, 367. (in Russian)
49. DAVID OFOSU-ADDO, CHENG JIANMEI and SHAOGANG DONG. *Groundwater Development and Evaluation of the White Volta Basin (Ghana) using numerical Simulation*. Journal of American Science, 4(4), 2008.
50. DAVIS, J,C. Statistics and Data analysis in geology. New York, 1976, 468-616.
51. DELLEUR, J. W. The hand book of *GROUNDWATER ENGINEERING*. 2nd ed. CRC press, U.S.A, 2007, 1342.
52. DOMENICO, P.A. ; SCHWARTZ, F.W. *Physical and Chemical hydrogeology*. john wiley and sons Inc, New Yourk, 1998, 506.
53. DRABNAHOD, N. E. and YAZFEN, L. C. *Evaluation ground water resource*. Moscow, 1986, 286.
54. Dynamic factor modeling of ground and surface water levels in an agricultural area adjacent to Everglades National Park. Journal of Hydrology, 2006, 340-354.
55. EUGENE, P ; ADINA, P. and BIANCA, P. *Ground water geochemistry of the yucatan peninsula, mexico: Constraints on stratigraphy and Hydrogeology*. journal of Hydrology 367, 2009, 27 – 40 Science direct . 2012.
56. FETTER, C.W. *Applied Hydrogeology*. 3rd.ed., New Jersy, 1994, 691.
57. GALLART, F. ; DELGADO, J. ; BEATSON, S.J.V. ; POSNER, H. ; LLORENS, P. ; MARCE, R. *Analysing the effect of global change on the historical trends of water resources in the headwaters of the Llobregat and Ter river basins (Catalonia, Spain)*. Journal of Elsevier, Physics and Chemistry of the Earth, spain, 2011, 8.
58. GAVICH, I. K. *Hydrogeodynamic*. Nedra publishers, Moscow, 1988, 347 (in Russian)
59. GAVICH, I. K. *Theory and application modeling in hydrogeology*. Nedra publishers, Moscow, 1983, 352. (in Russian)
60. GIS-based decision support system for groundwater assessment in large irrigation project areas. Agricultural Water Management, 2003, 229-252.

61. HSIAO, C.T. ; CHANG, L.C. *Dynamic optimal groundwater management with inclusion of fixed costs*. Journal of water resources planning and management. U.S.A vol. 128, No. 1, 2002.
62. *Hydrologic controls on the survival of Water Howellia (Howellia aquatilis) and implications of land management*. Journal of Hydrology, 2004, 1-18.
63. *Hydrological modelling of a re-wetted peatland on the basis of a limited dataset for water management*. Journal of Hydrology, 2006, 376-389.
64. *Integrated water resources management of the Hydrogeological Unit "Eastern Mancha" using Bayesian Belief Networks*. Agricultural Water Management, 2005, 21-36.
65. JULIANA, D. ; PILAR, L. ; GUILLAUME, N. ; IAN, R. ; FRANCESC, G. *Modeling the hydrological response of a Mediterranean medium-sized headwater basin subject to land cover change: The Cardener River basin (NE Spain)*. Journal of Hydrology, Spain, 383, 2010, 125-134.
66. Kebede Tsehayu, Selomon WaltaNigus (AAWSA) & Shiferaw Lulu & Abebe G/Hiwot AG- Consult). *Groundwater Management Using Groundwater Modeling: Case Study on Akaki Groundwater Model*. Journal of American Science, 2002.
67. KLOVAN, J,E,. *R – and Q – mode factor analysis, in Mc common R.B.(Ed.), Concepts in Geostatistics, springer verlag*. Berlin – Newyork, 1975, 21-69.
68. KRESIC, N. *Hydrogeology and Groundwater Modeling*. 2nd ed. Taylor & Francis Group, U.S.A, 2007, 807.
69. LPEZ-MORENO, J. ; VICENTE-SERRANO, S. ; MORAN-TEJEDA, E. ZABALZA, J. ; LORENZO-LACRUZ, J. GARCEA-RUIZ, J. *Impact of climate evolution and land use changes on water yield in the Ebro basin*. Hydrol. Earth Syst. Sci. 15, 2011, 311-322.
70. MARK, T. ; AMAYA, M. ; JAVIER, U. *Emergy analysis applied to the estimation of the recovery of costs for water services under the European Water Framework Directive*. Journal of Elsevier, Ecological Modelling, USA, 2010, 2123-2132.
71. MILNES, E. AFOLTER, M. *Hydrological investigation and groundwater modeling of the Peyia area, SWITZERLAND*. 2001.
72. NASRI, S. *Application of remote sensing techniques for rapid geomorphological mapping and structural analysis in western Syria*, Master thesis, ITC, International Institute for Aerospace survey and earth sciences. 1987.
73. *Optimal Groundwater Management in Deltaic Regions using Simulated Annealing and Neural Networks*, 2003, 409-428.
74. *Predictive error analysis for a water resource management model*. journal homepage. 2007, 513-533.

75. RUSHTON, K. R. *Groundwater Hydrogeology Conceptual & Computational Models*. Antony Rowe Ltd, Great Britain, 2003, 408.
76. SANDRA, M.B. and George, L.L. *Regional ground water Flow and geochemistry in the Midwestern basins and Arches aquifer system in parts of Indiana, Ohio, Michigan, ILLionois*, us geology survey. 2000, 103.
77. SATO, K; IWASA, Y. *groundwater Hydraulics*. Nikkei printing, JAPAN, 2003, 204.
78. ŞEN, Z. *Applied Hydrogeology for Scientists & Engineers*. CRC press. Inc, U.S.A, 1995, 444.
79. SOYZGIPROVODKHOZ USSR, *Irrigation construction on an area of about 10thos. Hectares at the region of NAHR ALKABIR RIVER DAM in the Arab republic of Syria. 2nd stage, General plan, part 1*, 1980, 229.
80. SOYZGIPROVODKHOZ USSR, *Irrigation construction on an area of about 10thos. Hectares at the region of NAHR ALKABIR RIVER DAM in the Arab republic of Syria. 2nd stage, General plan, part 3*, 1980.
81. TODD, D.K. and MAYS, L.W. *Ground water Hydrology*. 3rd. ed., John Willey & Sons Inc, USA, 2005, 636.
82. VIESSMAN, Jr. W; LEWIS, G. L. *Introduction to Hydrogeology*. Addison & Wesley, Inc, U.S.A, 1995, 760.
83. WANG, H. F. ; ANDERSON, M. P. *Introduction to ground water modeling finite difference and finite element methods*. San francisco, 1982, 237.
84. WATSON, I; BURNETT, A. D. *Hydrogeology (An Environmental Approach)*. CRC press, Inc, U.S.A, 1995, 702.
85. WILCOX, L.V. *Classification and use of irrigation water*. U.S. Dep. Agriculture. Circ. Washington D.C., 1955, 969.

الملاحق

Appendices

ملحق (A): إحداثيات آبار شبكة الرصد

Well Number	Location Name	X /m/	Y /m/
1	المعكس	757618.57	3934493.92
2	الشبير	758741.75	3934937.85
3	سنخيرس	760656.52	3937061.21
4	رويسة الحرش	761966.91	3938542.74
5	البصة	758669.28	3933076.31
6	الحمى	758633.85	3931889.67
7	الهنادي	760635.19	3934085.83
8	الخلالة	760103.86	3934989.09
9	فديو	762105.20	3934174.39
10	الشلفاطية	762459.42	3936494.52
11	دبّا	763734.61	3936618.50
12	منجيلا	764726.42	3937681.15
13	البارد	761945.80	3932899.20
14	القطرية	764265.93	3932828.35
15	مزار القطرية	764779.55	3933660.77
16	مزار القطرية	765470.28	3934688.00
17	المشيرة	766302.69	3935591.26
18	ضهر السرياني	767347.64	3935644.39
19	الرامة	768250.90	3935431.86
20	القاقعية	767790.41	3936636.21
21	السنوبر	761432.18	3929941.47
22	نبح الرز	761680.14	3930862.44
23	الخرنوبة	763220.99	3931925.10
24	الرومية	766355.83	3931641.72
25	المصلّى	766639.20	3933164.86
26	الضاهرية	768197.76	3933643.06

ملحق (B): جدول لتحديد قيم الدالة $R(\lambda)$

λ	$R(\lambda)$	λ	$R(\lambda)$	λ	$R(\lambda)$
0.00	1.00	0.24	0.558	0.48	0.296
0.01	0.978	0.25	0.549	0.49	0.288
0.02	0.956	0.26	0.535	0.50	0.280
0.03	0.934	0.27	0.522	0.52	0.264
0.04	0.913	0.28	0.509	0.54	0.249
0.05	0.892	0.29	0.496	0.56	0.235
0.06	0.872	0.30	0.483	0.58	0.222
0.07	0.852	0.31	0.470	0.60	0.209
0.08	0.832	0.32	0.458	0.65	0.180
0.09	0.813	0.33	0.446	0.70	0.154
0.10	0.794	0.34	0.434	0.75	0.128
0.11	0.775	0.35	0.419	0.80	0.112
0.12	0.757	0.36	0.412	0.90	0.0803
0.13	0.739	0.37	0.399	1.00	0.0568
0.14	0.721	0.38	0.391	1.10	0.0396
0.15	0.704	0.39	0.380	1.20	0.0272
0.16	0.687	0.40	0.370	1.30	0.0184
0.17	0.670	0.41	0.360	1.40	0.0122
0.18	0.654	0.42	0.349	1.50	0.0080
0.19	0.639	0.43	0.341	2.00	0.00076
0.20	0.623	0.44	0.331	2.50	0.000043
0.21	0.607	0.45	0.322	∞	0
0.22	0.592	0.46	0.313		
0.23	0.578	0.47	0.305		

ملحق (C): نتائج القياسات الحقلية لعينات مياه مأخوذة من آبار في منطقة البحث

Well Number	فترات إجراء القياسات								
	5 / 8 / 2012			17 / 11 / 2012			7 / 4 / 2013		
	درجة الحرارة °C	الناقلية μS / cm	العكارة NTU	درجة الحرارة C°	الناقلية μS / cm	العكارة NTU	درجة الحرارة C°	الناقلية μS / cm	العكارة NTU
1	22.3	1575	14	21.1	1447	25	18.9	1324	33
4	21.4	1283	40	20.9	875	28	17.3	351	41
6	22.2	1590	23	20.7	1282	27	20.8	1505	32
9	24.0	828	21	19.5	928	25	17.2	880	49
12	21.0	2600	42	20.1	2470	21	17.7	2535	40
13	22.2	1243	15	18.5	1179	24	17.4	1293	25
17	20.7	717	39	20.0	743	23	18.4	914	50
20	25.6	1782	50	19.2	2080	27	16.8	2060	29
21	22.7	713	40	20.9	680	27	22.0	690	50
26	24.0	1776	18	20.5	1774	26	18.1	1838	46

ملحق (D): أعماق سطح المياه الجوفية (m) في آبار شبكة الرصد

رقم البئر	السنة													
	2012												2013	
	الأشهر												الأشهر	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
1	0.67	0.84	0.98	1.68	2.40	2.61	2.75	3.18	3	2.29	1.11	1.00	0.92	0.84
2	0.96	0.97	1.27	2.39	4.90	5.93	6.66	6.86	7.03	7.11	5.03	3.58	2.30	1.10
3	1.14	1.64	1.70	3.99	4.80	4.83	4.83	4.84	5.08	5.05	4.19	3.89	3.22	2.77
4	0.45	0.50	0.96	2.11	3.25	3.33	3.45	3.60	3.81	3.82	1.87	1.63	1.40	1.16
5	1.30	1.56	1.86	2.40	2.73	2.74	2.76	2.79	2.80	2.80	2.37	2.29	1.97	1.44
6	7.52	7.69	7.95	8.21	9.04	9.75	10.04	10.33	9.91	9.04	8.62	8.45	8.26	8.06
7	2.44	2.94	3.13	3.64	3.99	4.13	4.17	4.24	4.31	4.55	3.94	3.77	3.22	2.97
8	1.74	2.22	2.61	3.29	3.78	4.36	4.62	4.88	4.72	4.61	4.20	3.82	2.22	1.74
9	1.98	2.03	2.14	2.35	2.42	2.42	2.43	2.44	2.44	2.46	2.37	2.30	2.21	2.11
10	2.33	3.42	3.90	4.70	5.00	5.20	5.33	5.52	5.97	5.72	4.90	4.03	3.33	2.44
11	7.49	7.73	8.66	10.09	11.00	11.31	11.51	11.60	11.43	11.40	11.08	10.79	10.49	10.19
12	2.68	4.86	6.63	9.83	10.55	10.71	10.72	10.77	10.85	10.36	8.52	7.44	6.44	5.41
13	2.15	2.29	3.12	4.32	5.15	5.49	5.49	5.44	5.42	5.37	5.25	4.75	4.25	3.78
14	2.60	2.75	3.03	3.69	4.21	4.60	5.46	6.32	8.48	9.81	6.43	3.57	3.10	2.80
15	1.56	1.90	2.23	3.79	4.12	4.72	4.75	4.84	5.39	4.87	4.30	2.55	2.00	1.60
16	2.52	3.70	5.00	8.00	8.64	8.75	8.77	8.88	8.60	8.54	5.86	5.23	4.83	4.23
17	1.17	2.43	4.06	5.16	6.11	6.31	6.51	5.92	5.55	5.36	5.20	5.10	4.86	4.70
18	7.17	7.55	8.63	11.37	12.99	13.49	13.52	13.27	12.74	12.27	11.97	11.44	10.94	10.34

رقم البئر	السنة													
	2012												2013	
	الأشهر												الأشهر	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
19	11.22	11.97	12.09	12.22	14.55	15.79	17.03	17.67	15.90	13.24	11.80	10.77	10.70	10.64
20	0.97	1.00	1.19	1.78	2.31	2.41	2.61	2.78	2.59	2.16	1.33	1.25	1.13	1.02
21	13.79	14.13	15.00	15.11	15.55	16.10	16.61	17.60	17.60	17.55	16.66	16.34	16.00	15.60
22	9.02	9.14	9.31	9.73	10.37	10.57	10.68	10.64	10.51	10.49	10.49	10.43	10.40	10.36
23	4.54	4.61	5.20	6.04	6.91	6.99	7.07	8.67	8.55	8.44	7.00	6.66	6.23	4.83
24	2.81	3.42	3.68	4.17	4.32	4.40	4.51	4.60	4.98	5.65	4.55	4.45	4.30	4.10
25	0.34	0.39	0.52	0.94	1.31	1.38	1.42	1.47	1.47	1.33	0.94	0.71	0.50	0.36
26	0.33	0.37	0.45	0.97	1.27	1.45	1.64	1.64	1.65	1.68	1.67	1.64	1.54	1.22

Abstract

الملخص

Water resources are considered the main renewed factor for development, and the request for these natural resources is increasing along with the increasing of different activities of human beings which related either to services or to development, and these resources tend highly to be affected by these activities in the range field of quality and quantity. Coastal area in the recent years has faced many deep social and economical changes wherein a great constructional expansion has happened, and the irrigated agriculture has spreader intensively as well as many service and industrial facilities.

The study area which is located in the east and the eastern south from Latakia is considered as one of the most important areas which the development and construction reached to it. so it was important to do a total study for the effect of all these different development on the water situation and the available water resources extent of standing those activities especially through climate changes that happened to area in the last few years, so the main purpose for this research was to estimate the current water situation and the effect of the various activities on this situation quantitatively and qualitatively and the prediction of changes that occur on this situation in future if the rates of discharge increased. To achieve this purpose, the current study depends on the following available data:

1. The previous studies that are applied on the area and other nearby areas by many sides.
2. The data that has been obtained and the results that has been reached through field rounds that the scholar did to the area of study wherein he did monthly measurements for groundwater depth in wells network and gathering all measurements for well discharge which are existed in the area and the data of designing the wells as well as gathering water samples from those wells and from surface water to do necessary chemical analysis to study the quality of water in the area.

A scientific methodology has been used to execute this research, which contained firstly an evaluation of current hydrogeological conditions for the area of study using modern methods and ways that use modern technology especially the digital one particularly in the range of processing data and field measurements, the results of chemical analysis and drawing maps and the graphic plots , so the dependence for that was on the following programmes:

- ü Surfer.
- ü Arc map (GIS).
- ü Excel.
- ü Spss.

Secondly and after estimating the current hydrogeological conditions for water system in the area of study, thus it was important to recognize the state of hydrogeological system in future in the case of increasing the quantity of water drawing in the range of expansion plans of development works in area and population increase.

To achieve this, a mathematical model has been built which simulate the hydrogeological conditions of aquifers in the area of study and it gives a vision for what will happen in future to groundwater depth as a result for drawing increase from hydrogeological system (until the year 2040) and to modflow is used from GMS programme. And after designing the model and calibrating it and verification the model for steady state flow based on 2012 exploitations and then making the model validation, a few scenarios are proposed, hence every one of them depends on a specific amount of drawing from the same wells that are existed in the area or from additional suggested ones in different areas from the area of study provided that the changes which happen to water levels, have to be recorded and then the contents of water balance through specific periods until the years 2040.

By studying the results that are given for every suggested exploitation plan, it is observed that the model result represent dynamical evaluation for available groundwater resources in the area, and it is considered an important and useful tools in the hands of interested people to exploit these resources in a optimum way.

Key words

الكلمات المفتاحية

Al-kabir al-shimali river	نهر الكبير الشمالي
Al-snohar river	نهر السنوبر
Groundwater system	نظام المياه الجوفية
Hydrodynamic net	الشبكة الهيدروديناميكية
Hydrogeological parameters	البارامترات الهيدروجيولوجية
Hydrogeochemistry	هيدروجيوكيمياء
Groundwater quality	نوعية المياه الجوفية
Modeling	نمذجة
Resources	موارد
Calibration	معايرة
Exploitation	استثمار
Scenario	سيناريو

