تقدير تغذية المياه الجوفية في الطبقات المائية الكارستية في مناطق الحرمون والشير منصور (حوض دمشق)

قاسم خالد نتوف و واثق رسول آغا

قسم الجيولوجيا ــ كلية العلوم ــ جامعة دمشق ــ سورية

تاريخ الإيداع 2011/12/15

قبل للنشر في 2012/04/02

الملخّص

تختلف الطبقات المائية المشققة والكارستية عن الطبقات المائية المسامية بعدم تجانس خواصها الهيدروليكية بسبب التفاوت الكبير في الخواص الرشحية لصخورها، لهذا لابدَّ من أخذ هذا الاختلاف بالحسبان عند تقدير قيمة تغذية المياه الجوفية لها.

في هذا البحث نُوقشتْ ظروف تغذية المياه الجوفية في مناطق الشير منصور والحرمون من سلسلة جبال لبنان الشرقية حيث تنتشر الطبقات المائية المشققة-الكارستية بتطبيق طريقتي الميزان المائي وتغيّر منسوب المياه الجوفية. عند تطبيق الطريقة الأولى –الميزان المائي - قسمت المنطقة إلى قطاعات مائية سطحية وحسبت مركبات هذا الميزان المختلفة في كل قطاع على حدة وقدرت نسبة تغذية المياه الجوفية من الهطول المطري في المنطقة ككل، فكانت 55.8 % في الأعوام الجافة مثل 2005-2006. عند تطبيق طريقة تغيّر منسوب المياه الجوفية قسمت المنطقة إلى قطاعات مائية جوفية، وحسبت قيم تغيرات المنسوب والمعطائية المائية وتغيّرات المخزون المائي الجوفي، وقُدّرتْ نسبة تغذية المياه الجوفية من الهطول المطري فراوحت بين 17.6% في الحرمون و80% في الشير منصور، وقد أوضحت النتائج تفاوت تلك النسب بين القطاعات من جهة وبينها وبين ما تم التوصل إليه بنتيجة الحساب بطريقة الميزان المائي.

الكلمات المفتاحية: الميزان المائي، تغذية المياه الجوفية، الطبقات المائية الكارستية، الشير منصور، الحرمون.

Estimation of groundwater recharge in karstified aquifers in Sher-mansour and Haramon areas (Damascus basin)

K. Kh. Natouf and W. Rasoul-Agha

Department of Geology, Faculty of Sciences, Damascus University, Syria

Received 15/12/2011
Accepted 02/04/2012

ABSTRACT

When estimating groundwater recharge in karstified and fractured aquifers it's important to take into consideration, that they differ from porous aquifers by inhomogeneities of their hydraulic properties because of the great variance of infiltration properties in their rocks. In this research the process of groundwater recharge in Sher-mansour and Haramon areas in Antilebanon, where karstified and fractured aquifers are developed, was discussed. The portion of rainfall reaching the groundwater was calculated by applying water balance and groundwater level changes methods. In the first method the area was divided into surface zones and water balance components were calculated in each zone and the portion was estimated at 55.8% of rainfall in dry years like 2005-2006. In the second method the area was divided into subsurface zones and groundwater level fluctuations, storage coefficient and groundwater storage were calculated. The groundwater recharge varied between 17.5% in Haramon area and 80% in Sher Mansour area. The results showed that portions of rainfall reaching groundwater are not equal in the deferent subsurface zones and are deferent from those calculated by water balance method.

Key words: Water balance, Groundwater recharge, Karstified aquifers, Sher-mansour and Haramon

المقدمة

تتصف الأوساط المسامية عموماً بتجانس خواصها الهيدروليكية مما ينعكس على تجانس التغذية المائية لهذه الأوساط على امتداد مساحة محددة، ومن ثمَّ يسمح بتقدير تلك التغذية من خلال حساب مكونات معادلة الميزان المائي التقليدية المعروفة GWr=P-(ET+R) حيث (P) الهطول المطري و(ET) التبخر النتحي و(R) مركبة الجريان السطحي، وعادة ما تستخدم هذه الطريقة في تقدير قيمة التغذية المائية للأوساط المشققة-الكارستية في الصخور الكربوناتية أيضاً مع أنَّها تتصف بعدم تجانس خواصها الهيدروليكية؛ مما يؤدي بالضرورة إلى عدم تجانس تلك التغذية على امتداد مساحة محددة، الأمر الذي قد يؤدي إلى أخطاء في حساب قيمة تلك التغذية ومن ثمَّ إلى تقديرات خاطئة في إدارة تلك المياه.

ونظراً إلى انتشار الأوساط المشققة-الكارستية في العديد من الأحواض المائية السورية رأينا البحث في هذه المسألة على مثال الطبقات المائية في الشير منصور والحرمون، حيث تشكل الأوساط المشققة-الكارستية في الصخور الكربوناتية الطبقة المائية الرئيسة في تلك المنطقة.

بناء على ذلك حُدّد هدف البحث بحساب قيمة التغذية المائية الجوفية في منطقة الدراسة بالطريقة التقليدية (الحساب المباشر لمكونات الميزان المائي)، وبطريقة غير مباشرة تعتمد تغيّرات مناسيب المياه الجوفية في آبار الرصد ومقارنة النتائج لتحديد الطريقة الأكثر واقعية منهما.

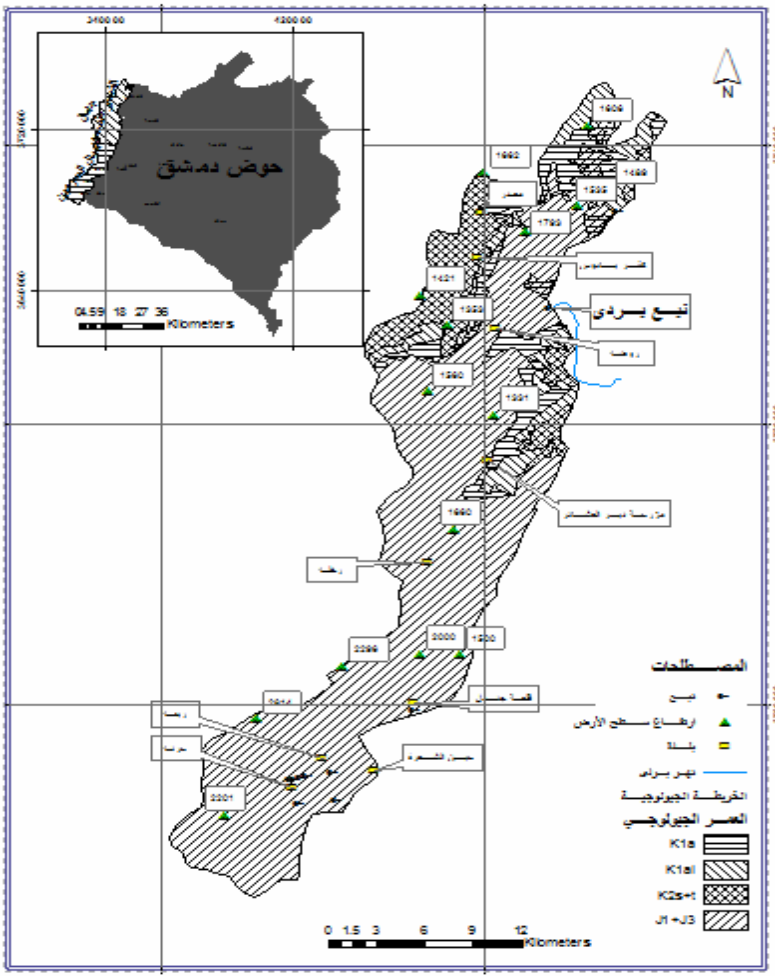
الظروف الطبيعية في منطقة الدراسة:

تقع المنطقة المدروسة في جنوب غرب سورية، وتمتد على مساحة تقارب الـ500كم^2، وتقسم إلى حوضين هيدروجيولوجيين فرعيين جنوبي يسمى الحرمون وشمالي يسمى الشير منصور. تراوح الارتفاعات الطبوغرافية في حوض الحرمون بين 2814م في جبل الشيخ و1500م على سفوحه الشرقية، أمَّا في حوض الشير منصور فتراوح بين 1883م في الشير منصور و1098م عند نبع بردى، وتعدُّ المنطقة إحدى مناطق التغذية الرئيسة في حوض دمشق (نهري بردى والأعوج) وتنتشر فيها صخور كربوناتية من أعمار الجوراسي والكريتاسي بشكل رئيس.

تكتونياً تمثل المنطقة طيتان محدبتان ذاتا أقفال هادئة وأجنحة شديدة الانحدار مصابة بفوالق عديدة طولية وعرضية سببت انزياحات كتلية. تنشط ظاهرة الكارست في هذه التوضعات وخصوصاً في منطقة الشير منصور أعلى نبع بردى.

تنتشر في المنطقة طبقات مائية جوراسية وكريتاسية. تتمثل الصخور الحاملة للمياه في الطبقات المائية الكريتاسية بحجر كلسي غضاري مع طبقات غضار وغضار كلسي وتراوح سماكتها بين 100 و270 م، تتغذى هذه الطبقة بالرشح من مياه الأمطار والثلوج وتصرف ببعض الينابيع قليلة التصريف. أمَّا الصخور الحاملة للمياه في الطبقات المائية

الجوراسية فتتمثل بطبقات من الحجر كلسي والدولوميت والحجر الكلسي الدولوميتي التي تعرضت في أماكن تكشفها لعمليات كرستة شديدة وصلت إلى أعماق كبيرة، وتتميّز بسماكة كبيرة تراوح بين 1000 و2000 م، وتضم عدداً كبيراً من المستويات الحاملة للمياه(بلغ عددها في البئر 21K الذي اخترق الجوراسي أحد عشر مستوياً حتى العمق 1020 م) وتكون هذه المستويات مرتبطة هيدروليكياً جزئياً أو كلياً. تتغذى هذه الطبقة بالرشح من مياه الأمطار والثلوج، وتصرف مياهها بنبع بردى في الشير منصور وبعض الينابيع الصغيرة في الحرمون (شكل 1).



الشكل (1) موقع منطقة الدراسة والخريطة الجيولوجية لهاو موقعها في حوض دمشق

في عام 1986 قامت وزارة الري بالتعاون مع الخبراء السوفييت بحساب الميزان المائي لحوضي جبل الحرمون والشير منصور، فكانت النتائج على الوجه المبيّن في الجدول (1).

الجدول (1) الميزان المائي لمنطقة الدراسة بحسب لينغيبروفودخوز 1986.

الحوض الهيدروجيولوجي الفرعي		المساحة $كم^2$	الهطول المطري $مم^3/سنة$	الجريان السطحي $م.م^3/سنة$		الجريان الجوفي $م.م^3/سنة$		التبخر الكموني $م.م^3/سنة$	حجم الموارد المائية المتشكلة ضمن الحوض الفرعي $م.م^3/سنة$
الرمز	الاسم			الوارد	الصادر	الوارد	الصادر		
A-I-1	الحرمون	214	249.3	0	43.8	0	130.2	75.3	174
A-I-2	الشير منصور	280	263.9	0	108.4	0	57.9	97.6	166.3

تقدير تغذية المياه الجوفية بطريقة الميزان المائي:

استخدمت المعادلة GWr=P-(ET+R) لحساب مركبة تغذية المياه الجوفية (GWr) في موقع الدراسة، وقد حسبت مركبات المعادلة على الوجه الآتي:

- قيمة مركبة التبخر النتحي ET حسبت بتقدير قيمة مركبة التبخر النتحي الفعلي اليومي (Eta) عن طريق قياس معدل الهطول المطري اليومي (P)، ومقارنته بمعدل التبخر النتحي الكموني اليومي(ETp)[1] وفق الدالة Eta=*F*(P,ETp).
- قيمة مركبة الجريان السطحي قدرت من نتائج قياس تصاريف الأنهار والمجاري المائية وتحليل هيدروغرافاتها.

جمعت البيانات اللازمة لتنفيذ حسابات مركبات الميزان المائي للعام 2005-2006 وهي القيم اليومية لمعدل الهطول المطري ولدرجات الحرارة العظمى (T_{max}) والدنيا (T_{min}) ولسرعة الرياح (Wsp) وللرطوبة النسبية (R_h) وللسطوع الشمسي (S_d) من ست محطات مناخية متكاملة في سرغايا ووادي القرن ويابوس ويعفور وعرنة وبيت جن، والتصريف السنوي لأنهار بردى ووادي القرن والسيبراني وسيل بيت جن، فضلاً عن توزيع تصريف الجريان السطحي السنوي إلى مركباته في محطات القياس الواقعة على هذه الأنهار (جدول 2).

الجدول (2) القطاعات السطحية والمحطات المناخية ومحطات قياس التصريف الممثلة لها

القطاع	المحطة المناخية الممثلة له	محطة القياس السطحية الممثلة له
سرغايا ونبع بردى	سرغايا	نهر بردى موقع التكية
قطاع جديدة يابوس	يابوس	
قطاع دير العشاير	وادي القرن	وادي القرن
قطاع غرب كفر قوق	يعفور	
قطاع قلعة جندل وعرنة	عرنة	نهر السيبراني موقع عرنة
قطاع بيت جن	بيت جن	سيل بيت جن

[1]- يحسب معدل التبخر النتحي الكموني اليومي بطرائق عدة منها طريقة بنمان مونتيث.

قسمت منطقة الدراسة إلى 6 قطاعات مائية سطحية تفصل بينها خطوط تقـسيم ميـاه سطحية (شكل 2) وحددت محطات المراقبة الممثلة لكل قطاع كما في الجدول (2).

الشكل (2) توزيع القطاعات السطحية

وقد عُدَّ قطاع غرب كفر قوق مشابهاً لقطاع دير العشاير وجمعت منطقة قلعة جندل وعرنة في قطاع واحد.

بلغ الهطول المطري السنوي عام 2005-2006 في بيت جن 443 مم وفي عرنة 424 مم وفي سرغايا 406 مم وفي يابوس 439 مم وفي يعفور 300 مم وفي وادي القرن 332 مم تتوزع شهرياً كما هو مبيّن في الشكل (3) ، كما حسب معدل التبخر النتحي الكموني اليومي باستخدام برمجية CROPWAT8 وفق طريقة بنمان مونتيث وكانت النتائج كما في الجدول (3) .

الجدول (3) معدل التبخر النتحي الكموني (مم/يوم) للعام الهيدرولوجي 2005-2006.

الشهر	بيت جن	عرنة	سرغايا	يابوس	يعفور	وادي القرن
10	4.2	3.97	3.48	3.39	3.61	2.63
11	2.12	1.83	1.84	1.63	1.89	1.29
12	1.8	1.87	1.96	1.69	1.67	1.12
1	1.3	1.45	1.07	1.18	1.25	0.97
2	1.71	2	1.68	1.81	1.84	1.47
3	2.42	3.7	2.86	2.86	3.35	2.58
4	4.15	4.6	3.39	3.26	4.37	3.27
5	6.23	6.36	4.62	4.87	6.49	4.67
6	7.48	8.28	7.73	6.49	9.1	6.67
7	7.4	7.73	7.07	5.88	9.33	6.60
8	7.23	7.67	7.04	5.85	8.72	6.08
9	3.2	5.9	3.04	4.68	6.25	4.46

وبتطبيق دالة التبخر النتحي الفعلي السنوي تكون قيمه في بيت جن 89.37 مم وفي عرنة 98.43 مم وفي سرغايا 154.08 مم وفي يابوس 124.88 وفي يعفور 93.73 وفي الزبداني 83.24 مم، ويبيّن الشكل (4) توزع هذه القيم على شهور العام الهيدرولوجي.

قدرنا ارتفاع الطبقة المائية المكافئة للجريان السطحي للعام الهيدرولوجي 2005-2006 المتشكلة نتيجة الهطول المطري والثلجي على الحوض الصباب انطلاقاً من حجم المياه الإجمالي الذي يمر عبر مقطع النهر في موقع محطة القياس، وحجم المياه الذي يشكل الجريان السطحي كنسبة مئوية من الحجم الإجمالي وقسمته على مساحة الحوض الصباب الذي تمثله المحطة. كما في الجدول (4).

الجدول(4) نتائج حساب الطبقة المائية المكافئة للجريان السطحي للعام الهيدرولوجي 2005-2006.

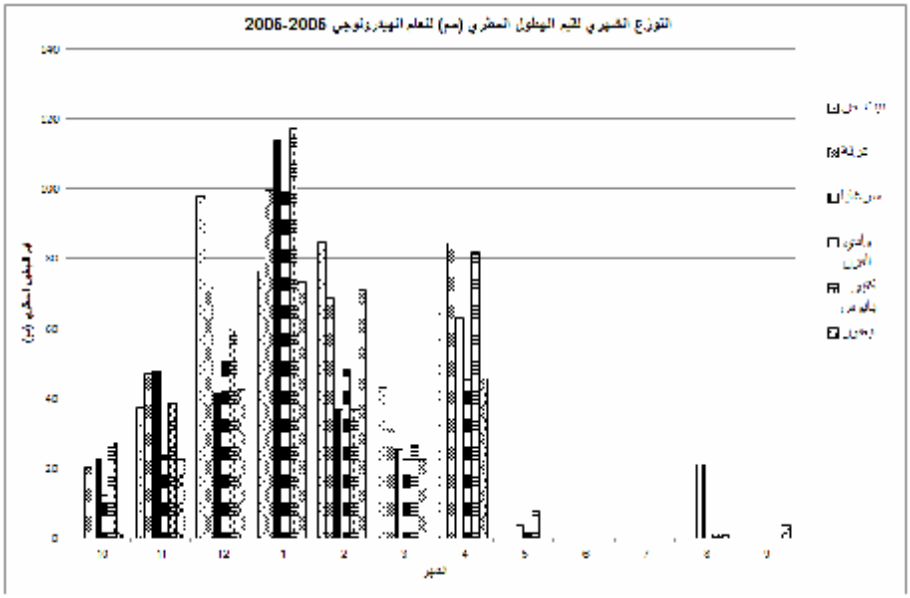
القطاع	المحطة	حجم المياه الإجمالي المار عبر مقطع النهر (م^3)	النسبة المئوية لإسهام الجريان السطحي في الحجم الإجمالي المار عبر مقطع النهر (%) *	حجم مياه الجريان السطحي= الحجم الإجمالي × نسبة المساهمة(م^3)	مساحة الحوض الصباب (م^2)	الطبقة المائية المكافئة= حجم مياه الجريان السطحي÷ مساحة الحوض الصباب (مم)
سرغايا ونبع بردى	النكبة	15213191.56	2.5	380329.79	106873110	3.5
قطاع دير العشائر	وادي القرن	212662.4	41	87191.6	77457033	1.1
قطاع عرنة/ قلعة جندل	عرنة	26145462.4	22.2	5804292.6	66306128	88
قطاع بيت جن	سيل بيت جن	9408960	100	9408960	46755126	201

* استُخدمت النسبة التي اعتمدها الخبراء السوفييت في دراسة لينغيبروفودخوز 1986، علماً أن باقي حجم المياه المار عبر مقطع النهر يحسب من جريان الينابيع والمياه الجوفية.

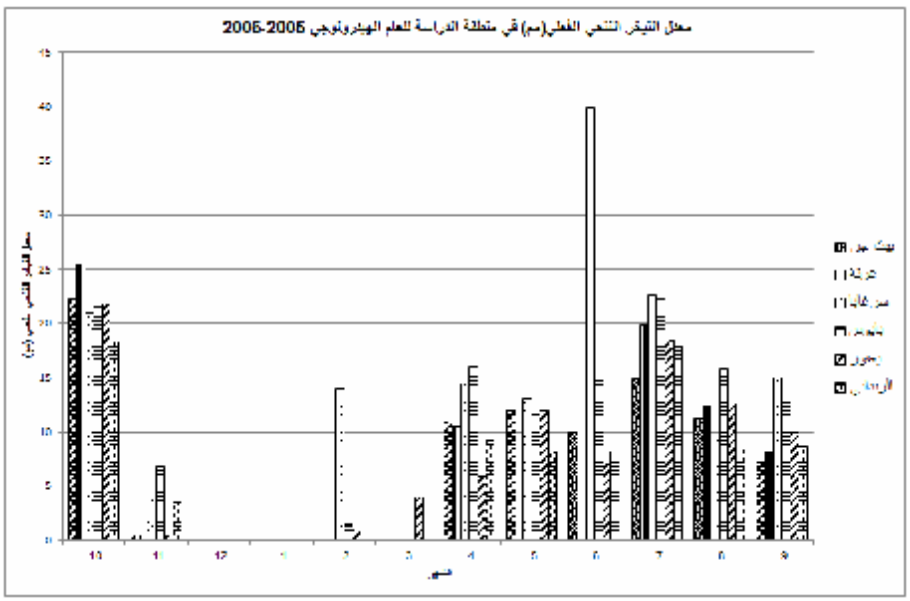
وبتطبيق العلاقة GWr=P-(Eta+R) حسبنا قيمة تغذية المياه الجوفية في حوضي الحرمون والشير منصور فكانت النتائج كما هو مبين في الجدول (5).

الجدول (5) نتائج حساب تغذية المياه الجوفية بطريقة الميزان المائي

قطاع	الطبقة المائية المكافئة للجريان الجوفي مم	النسبة المئوية من الهطول المطري %
بيت جن	152.58	34
قلعة جندل / عرنة	226.07	53
سرغايا ونبع بردى	247.71	61
جديدة يابوس	280.12	64
غرب كفر قوق	172.67	57
دير العشاير	214.76	65
المتوسط		55.8



الشكل (3) التوزع الشهري لقيم الهطول المطري



الشكل (4) معدل التبخر النتحي الفعلي في منطقة الدراسة للعام الهيدرولوجي 2005 - 2006

وعليه بلغت تغذية المياه الجوفية 55.8 % من الهطول المطري في العام الهيدرولوجي 2005-2006 في منطقة الدراسة، علماً أن دراسة الخبراء السوفييت عام 1986 قدرت هذه النسبة بـ 70% في حوض الشير منصور وبـ 63% في حوض الحرمون؛ وذلك عند معدل وسطي للهطول المطري سنوات عديدة يبلغ 897مم علماً أن معدل الهطول المطري في عام 2005-2006 بلغ 400مم.

إن اختلاف نسب التغذية بين نتائج بحثنا ونتائج دراسة الخبراء السوفييت عام 1986 يعزى لاختلاف طرائق الحساب المعتمدة، فبينما اعتمدت دراسة الخبراء السوفييت عام 1986 الميزان المائي الجوفي في الحساب اعتمدنا الميزان المائي السطحي في تقديرنا للقيمة 55.8%. كما أن الدراسة الروسية اعتمدت معدلاً وسطياً للهطول المطري عدة سنوات، في حين أجرينا الحساب لمعدل الهطول المطري خلال سنة واحدة، علماً بأننا عندما اعتمدنا طريقة تغيّرات مناسيب المياه الجوفية غير المباشرة في الحساب حصلنا على نسب متقاربة بدرجة كبيرة مع القيم الروسية؛ مما يؤكد أهمية اختيار طريقة الحساب وعدد سنواته.

تقدير تغذية المياه الجوفية بطريقة تغيّر منسوب المياه الجوفية:

تقوم هذه الطريقة غير المباشرة على تقدير حجم المياه التي خزنت في الطبقات المائية نتيجة لعملية التغذية وحساب نسبته من حجم المياه الهاطلة بفرض أنَّ مركبتي الجريان الجوفي الواردة والصادرة متساويتان. في الطبقات المائية الحرة يساوي حجم المياه التي تُخزّن خلال عام هيدرولوجي جداء حجم الصخور التي أشبعت بالمياه بمعامل التخزين (المعطائية المائية)، ويحسب حجم الصخور التي أشبعت بالمياه بجداء سعة تغيّر منسوب المياه الجوفية بين الذروة وبداية السنة الهيدرولوجية بمساحة المناطق المدروسة.

جمعت البيانات والمعلومات اللازمة لتنفيذ هذه الحسابات في منطقة الدراسة، وهي مخططات الظروف الطبيعية وقيم الهطولات المطرية في 12 محطة قياس، والمواصفات الليثولوجية لعدد من آبار مراقبة منسوب المياه الجوفية وقيم المناسيب فيها خلال مدد زمنية مختلفة (وزارة الري، 1985 - 2007) وبيانات لبعض تجارب الضخ المنفذة في المنطقة (لينغيبروفودخوز، 1986).

الهطول المطري:

بتحليل بيانات الهطول المطري تبيّن أنّ عامي 1992 – 1993 و2002 – 2003 كانا عامين رطبين وتميزا بارتفاع قيم الهطول المطري فيهما، وعامي 1994 – 1995 و2005-2006 كانا عامين جافين وتميزا بانخفاض قيم الهطول المطري فيهما، وقد قدرت قيمة الهطول المطري الوسطي في عام رطب وفي عام جاف، كما هو مبيّن في الجدول (6).

الجدول (6) قيم المعدل الوسطي للهطول المطري في الأعوام الرطبة (1991-1992 و2002-2003) والأعوام الجافة (1994-1995 و2005-2006) في منطقة الدراسة.

المحطة	المعدل الوسطي للهطول المطري مم	
	عام رطب	عام جاف
مضايا	592	188
الزبداني	1160	464
سرغايا	1125	575
ميسلون	664	333
بيت جن	980	248
حينة	544	270
عرنة	1189	573
رخلة	1548	741
التكية	795	350
يابوس	1228	316
الروضة	863	269
بقعسم	907	338

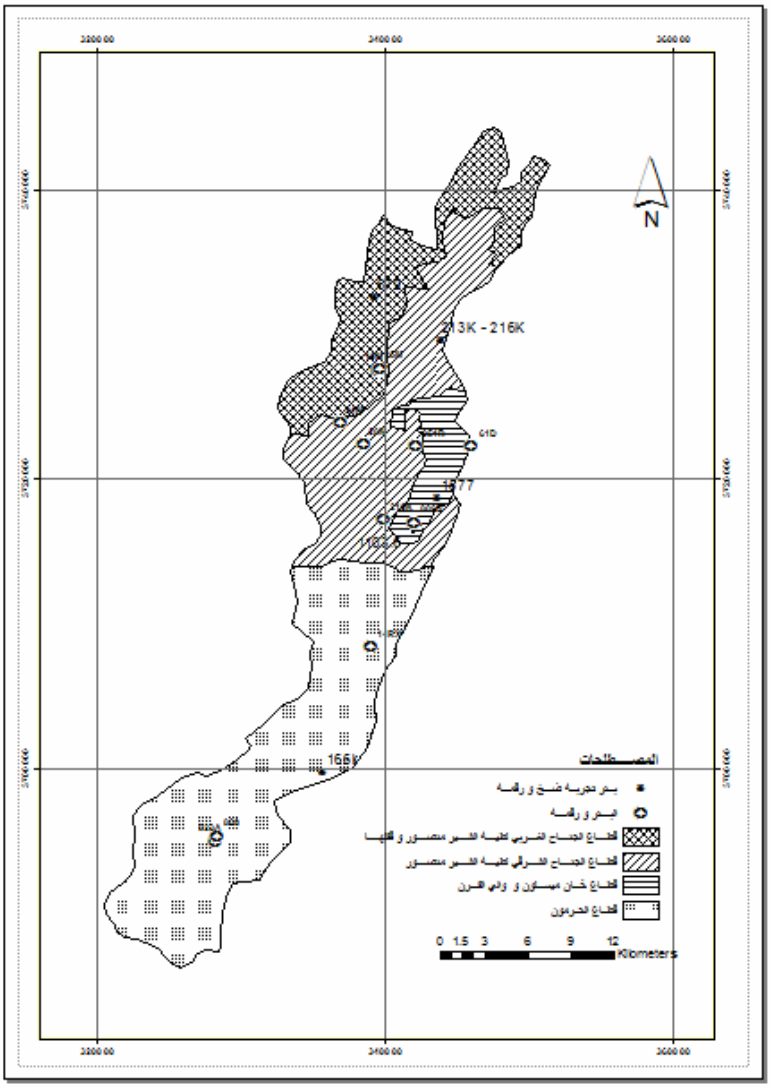
وحسبت قيم الواردات المائية عن طريق الهطول المطري في عام رطب وعام جاف بطريقة خطوط التسوية فكانت 544366306 م^3، أي ما يقابل 544.36 م.م^3/سنة و218667552 أي ما يقابل 218.66 م.م^3/سنة على الترتيب.

تغيّرات مناسيب المياه الجوفية:

بناء على الخريطة الجيولوجية والمعطيات الليثولوجية قُسّمت المنطقة إلى أربعة قطاعات هي: 1- قطاع الجناح الغربي لطية الشير منصور وقفلها وتحتوي تشكيلات كريتاسية؛ 2- قطاع الجناح الشرقي لطية الشير منصور وتحتوي تشكيلات جوراسية؛ 3- قطاع خان ميسلون ووادي القرن وتحتوي تشكيلات كريتاسية؛ 4- قطاع الحرمون وتحتوي تشكيلات جوراسية (شكل 5).

اختيرت مجموعة من آبار المراقبة الموجودة في المنطقة تتوافر عنها معلومات وبيانات كافية وقراءات ساعية لمنسوب المياه الجوفية هي: 24M – 28M – 951R – 19M – 25M – 20M – 823 من أجل تحليل تغيّرات منسوب المياه الجوفية فيها، وهي الآبار المتاحة عملياً التي تعكس - إلى حد كبير - الظروف الهيدروجيولوجية في المنطقة.

من المعروف أن المياه تخزن وتتحرك في الطبقات المائية الكلسية الكارستية في الأقنية Conduits (كهوف وفجوات كارستية) المتشكلة بنتيجة عمليات التعرية والانحلال، وفي الشقوق Fractures المتشكلة نتيجة الحركات التكتونية وعمليات تحول الصخور وفي الأنسجة Matrix المتشكلة في أثناء تشكل الصخور (الحجر الكلسي ناعم الحبيبات والحجر الكلسي المارني).



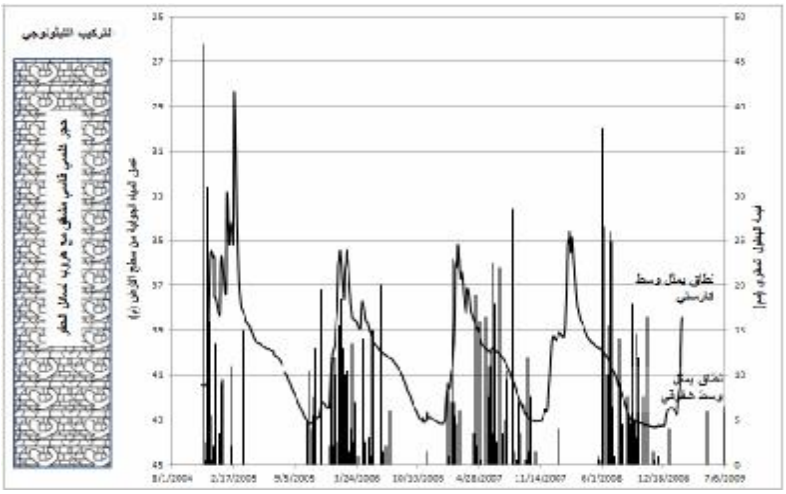
الشكل (5) توزع القطاعات الجوفية ونقاط الرصد الجوفية وآبار تجارب الضخ

بناء على ذلك تشبع الأقنية الكارستية بالمياه خلال مدة قصيرة نسبياً، وتصرف كذلك خلال مدة قصيرة نسبياً بسبب كبر حجوم الفراغات الموجودة فيها، وفي هذه الحالة لا يبقى منسوب المياه في الذروة إلا مدة قصيرة، في حين تشبع الشقوق خلال مدة زمنية قصيرة وتصرف مياها خلال مدة أطول بسبب حجز المياه بين الشقوق، وفي هذه الحالة

سيبقى منسوب المياه محافظاً على قيمه خلال مدة أطول مما هي عليه في الكارست، أمّا في الأوساط المشققة-النسيجية فتأخذ زمناً طويلاً لتشبع بالمياه وتستغرق زمناً مماثلاً لصرفها.

نظراً إلى أنَّ الطبقات المائية المنتشرة في منطقة الدراسة هي طبقات مائية مشققة-كارستية كان لابدَّ من تقييم تفاوت الخواص الرشحية في القطاعات الأربعة المحددة، ومدى انعكاس ذلك على حساب قيم تغذية تلك الطبقات، آخذين بالحسبان عاملين أساسيين هما شدة الهطولات المطرية والتغذية الحاصلة عنها واختلاف طبيعة الأوساط الحاملة للمياه لأنّهما يحددان الوقت اللازم لعملية التغذية والوقت اللازم لصرف المياه الناتجة عن عملية التغذية، كما يحددان أيضاً سعة تغير منسوب المياه الجوفية في الأعوام الرطبة والأعوام الجافة، ويمكن تنفيذ هذا التقييم بتحليل تغيّرات منسوب المياه الجوفية.

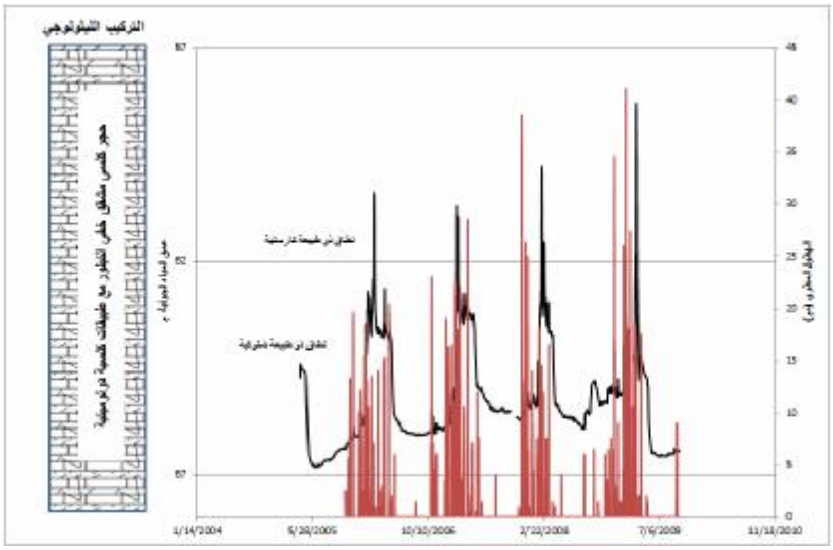
على **<u>هيدروغراف البئر 25M</u>** (قطاع الجناح الغربي لطية الشير منصور) (شكل 6) نميّز بين نطاقين يمران بمرحلتي إشباع وجفاف خلال السنة الهيدرولوجية: الأول يقع بين العمقين 35م و39 ^{2} م يُشبع وتصرف مياهه خلال مدة قصيرة جداً (2-3 أيام) ويمثل هذا النطاق على الأغلب فجوة كارستية في منطقة هذه البئر ومحيطها، والثاني يقع بين العمقين 39م و43 م تُصرف مياهه خلال مدة 5 أشهر إلى أن يستقر المنسوب الدائم والمستمر للمياه الجوفية على عمق 43 م، ويمثل هذا النطاق وسطاً شقوقياً، هذا وقد أشار تقرير أعمال الحفر للبئر إلى هروب سائل الحفر مما يؤكد وجود فجوات كارستية.



الشكل (6) تغيّرات عمق المياه الجوفية اليومي في البئر 25M وقيم الهطول المطري

[2] في السنوات عالية الهطول المطري قد يصل العمق إلى 27م.

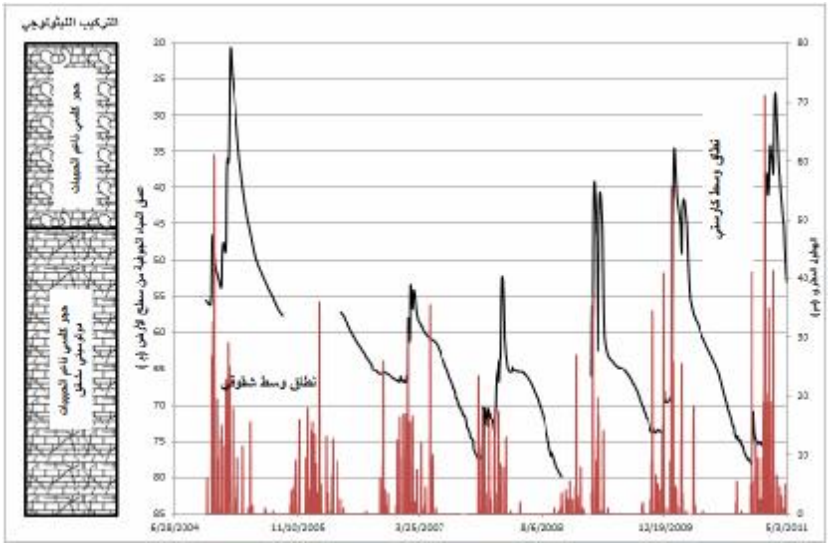
على **هيدروغراف البئر 19M** (قطاع الجناح الغربي لطية الشير منصور) (شكل 7) نميّز هنا بين نطاقين يمران بمرحلتي اشباع وجفاف خلال السنة الهيدرولوجية: الأول يقع بين العمقين 60م و63.5م يُشبعُ بالمياه وتُصرف مياهه خلال مدة قصيرة جداً (3 – 5 أيام)، ويمثل على الأغلب فجوة كارستية تقع على العمق 60م من سطح الأرض في منطقة البئر ومحيطها، والثاني يقع بين العمقين 63.5م و66م يُشبع بالمياه خلال مدة قصيرة جداً ويبقى مشبعاً خلال مدة زمنية يتذبذب خلالها سطح المياه الجوفية بسعة تراوح بين 20 سم و1م وتصرف مياهه بسرعة (نسبياً) إلى أن يصل سطح المياه الجوفية إلى المنسوب الدائم والمستمر (66م) خلال شهرين. ويصنف هذا النطاق كوسط شقوقي علماً أن توصيف المقطع الليثولوجي للبئر لم يشر إلى هذا الاختلاف في الخواص الفيزيائية لصخور البئر.



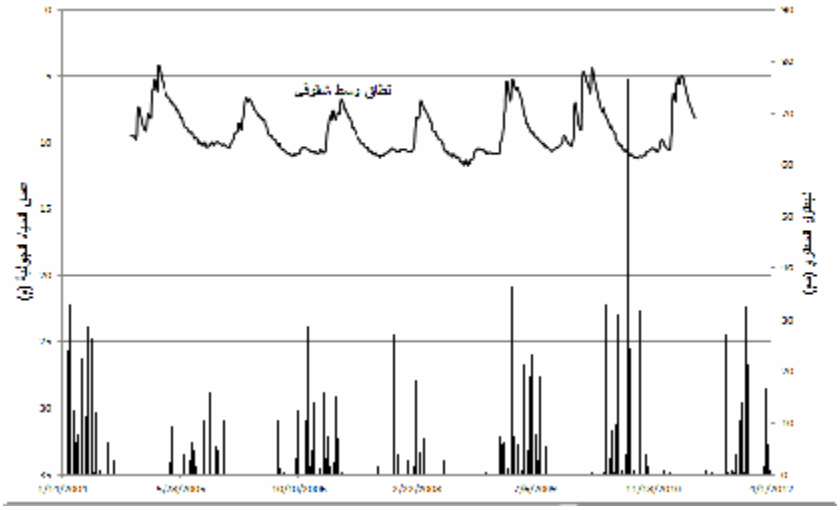
الشكل (7) تغيّرات عمق المياه الجوفية اليومي في البئر19M وقيم الهطول المطري

على **هيدروغراف البئر 951R** (قطاع الجناح الشرقي لطية الشير منصور) (شكل 8) نميّز نطاق الفجوة الكارستية في المجال 20 م و60 م من سطح الأرض، ونطاق الوسط عالي الشقوقية في المجال 60 م و80 م وتجري عمليات التغذية والصرف بالآلية نفسها التي لاحظناها في البئر 25M، فبعد الإشباع تجري عمليات صرف سريع (10 أيام) يتلوه صرف بطيء (216 يوماً).

على **هيدروغراف البئر 823A** (قطاع الحرمون) (شكل 9) يمكننا تحديد نطاق مشقق بين العمقين 5 م و12 م يُشبعُ خلال مدة 23 يوماً وتُصرف خلال مدة 180 يوم.

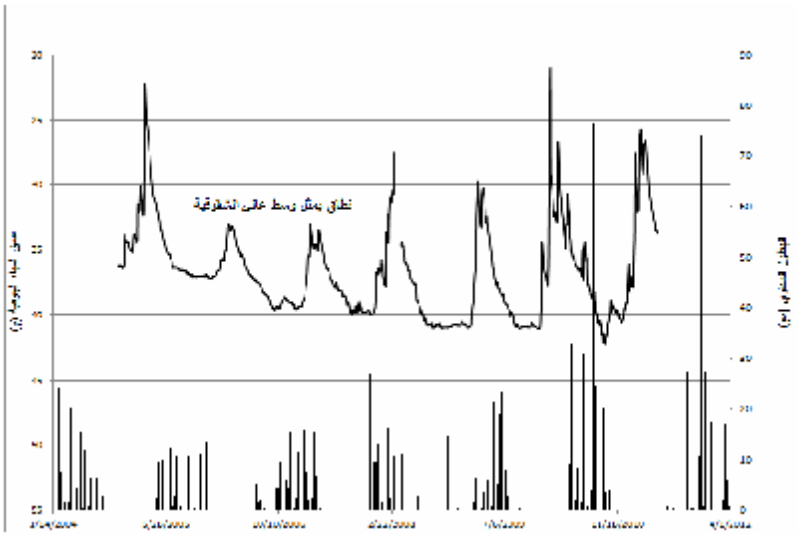


الشكل (8) تغيّرات عمق المياه الجوفيةاليومى فى البئر 951R وقيم الهطول المطري



الشكل (9) تغيّرات عمق المياه الجوفية في البئر 823A وقيم الهطول المطري

على **<u>هيدروغراف البئر 868 :</u>** (قطاع الحرمون) (شكل 10) نميّــز نطاقــاً عــالي الشقوقية يقع بين العمقين 22 و41 م يُشبعُ في 52 يوماً وتُصرفُ مياهه في 135يوماً.

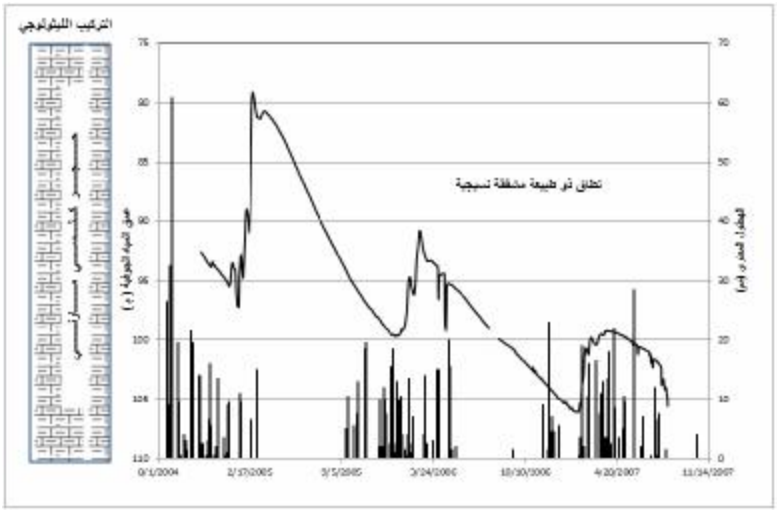


الشكل (10) تغيّرات عمق المياه الجوفية في البئر 868 وقيم الهطول المطري.

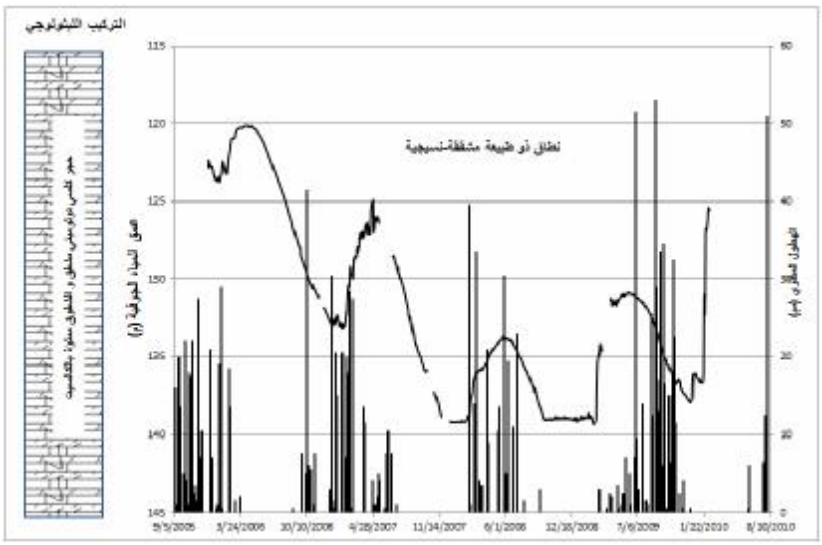
على **هيدروغراف البئر 24M** (قطاع الجناح الشرقي لطية الشير منصور) (شكل 11) يتميّز النطاق الذي يمر بمرحلتي الإشباع والجفاف بنهوضٍ سريع يحدث خلال (30 يوماً) ليصل إلى ذروته وليستقر مدة قصيرة يهبط بعدها تدريجياً خلال مدة تصل إلى (254 يوماً)؛ ممّا يدلّ على أن الوسط الحامل للمياه هو وسط مشقق-نسيجي مكون من حجر كلسي مارني[3] يخزن المياه جيداً ويصرفها تدريجياً نظراً إلى انخفاض النفاذية نسبياً عما هي عليه في باقي الآبار، إلا أنّه بين العمقين 93.5م و95.5م تتم عملية الإشباع والصرف بسرعة كبيرة؛ ممَّا يدل على نطاق تنشط عملية الكارست فيه، هذا ومن أجل التأكد من ذلك قمنا بالعودة إلى قياسات أشعة غاما في البئر[4]، وتبيّن انخفاض قيمها في النطاق الموافق للفجوة الكارستية المتوقعة.

على **هيدروغراف البئر 28M** (قطاع الجناح الشرقي لطية الشير منصور) (شكل 12) يبدو النطاق الذي يمر بمرحلتي الإشباع والجفاف متجانساً إذ يُشبعُ تدريجياً وتُصرف مياهه تدريجياً، وتستغرق عمليات الإشباع نصف السنة الهيدرولوجية، كما تستغرق عمليات الصرف الزمن نفسه تقريباً، وتتشابه حالة البئر 28M مع البئر 24M هيدروليكياً، فالوسط مشقق ذو نفاذية منخفضة نسبياً بسبب امتلاء الشقوق بالكالسيت.

[3] سجل التوصيف الليثولوجي لآبار معدر، وزارة الري – مديرية حوض بردى والأعوج 1993.
[4] سجل القياسات البئرية لآبار معدر، وزارة الري – مديرية حوض بردى والأعوج 1993.



الشكل (11) تغيرات عمق المياه الجوفية في البئر 24M وقيم الهطول المطري



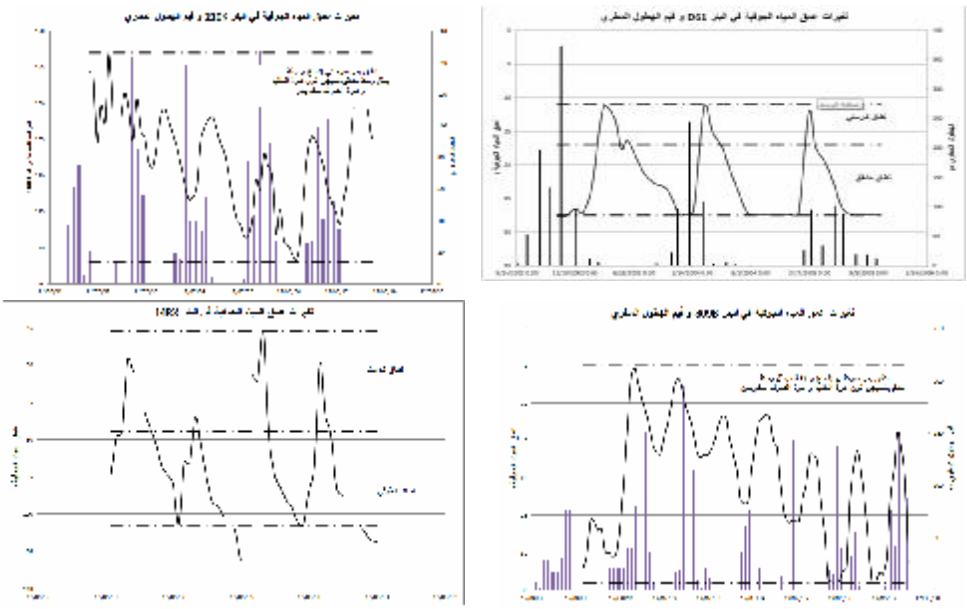
الشكل (12) تغيّرات عمق المياه الجوفية في البئر 28M من سطح الأرض وقيم الهطول المطري

ممَّا تقدم وبنتيجة تحليل تغيّرات مناسيب المياه الجوفية في سبع آبار اخترقت صـــخور كاربوناتية كارستية-مشققة تبيّن وجود نمطين رئيسين من الأوساط الحاملة للمياه:

الأول: يتألف من نطاق كارستي علوي يليه نطاق مشقق، ويتميّز بصرف سريع جـــداً لمياه التغذية في الوسط الكارستي.

الثاني: يتألف من وسط مشقق-نسيجي مع اختلاف في نفاذيته من بئر إلى أخرى بفعل عوامل ليثولوجية، ويتميز بصرف بطيء لمياه التغذية، وهذا يتوافق مع نمـــوذج العـــالم Mangin بالنسبة إلى الينابيع التي تتغذى من الأوساط الكارستية المشققة حيث يميّز بـــين نطاقين في الطبقة المائية هما نطاق الرشح العلوي ويليه نطاق الإشباع.

طبقت منهجية التحليل السابقة على أربع آبار إضافية تقع في منطقة الدراسة، وتتوافر لها قياسات شهرية لمنسوب المياه الجوفية، ولكن ليس لها توصيف ليثولوجي وحددت فيها طبيعة الأوساط الحاملة للمياه استناداً إلى تلك التحليلات، كما هو مبين في الـــشكل (13) فتبيّن أنها تتبع أيضاً للنمطية نفسها التي شاهدناها في الآبار السبع المذكورة سابقاً.



الشكل (13) تغيّرات أعماق المياه الجوفية في آبار الرصد 14RX،809B،210K،61D

بناء على كل ما تقدم اعتُمد النظام الهيدروديناميكي (صرف سريع + صرف بطـــيء) لمنطقة الدراسة، وهنا يبرز سؤال عن أسباب الصرف السريع لمياه التغذية وللإجابة عـــن هذا السؤال قمنا بمناقشة أثر ضخ المياه الجوفية للاستعمالات المختلفة على هبوط منسوبها وقدرنا حجوم هذه الاستعمالات في المنطقة اعتمادا على معلومات وبيانـــات 136 بئـــراً استثمارية تؤمن المياه لأغراض الشرب والاستعمالات المنزلية فبلغت 16م.م^3/سنة من المياه الجوفية، أمّا الاستعمالات الزراعية فبلغت 2.3 م.م^3/سنة تؤمن مـــن نحـــو 2052 بئـــر استثماري زراعي تنتشر في المنطقة بمتوسط تصريف 5.5 م3/ساعة للبئر و5 ســـاعات

عمل في اليوم مدة 40 يوماً في السنة. بالعودة إلى كميات الهطول المتاحة (نحو 247 م.م^3/سنة) في المنطقة ومعدلات التغذية العالية للمياه الجوفية (أكثر من 55%) يتضح أنَّ استعمالات المياه في المنطقة لا تسبّب هبوطات كبيرة، ممَّا يؤكد أنَّ تغيرات المناسيب تتم بفعل عمليات الصرف الطبيعي (النزوح من المنطقة المحيطة بالبئر) وليس بفعل الضخ الاستثماري.

الأمر الآخر الذي اختُبر هو مدى انعكاس تفاوت طبيعة الأوساط الحاملة للمياه على نهوض المنسوب بفعل التغذية لذلك حسبت قيمة نهوض المنسوب في عام 2002 – 2003 كعام رطب وفي عام 2005 – 2006 كعام جاف فتبين أن سعة تغير منسوب المياه الجوفية في المنطقة تكون ضعيفةً في الأعوام الجافة وشديدةً في الأعوام الرطبة (جدول7)، وهذا أمر متوقع، ولكن مدى تغيّر هذه السعات اختلف كثيراً من قطاع إلى آخر مما مكن من تمييز ثلاث حالات: الأولى تتميز بنهوض شديد في الأعوام الرطبة (24M، 28M، 951R) ولكنها أيضاً تتأثر بشدة في الأعوام الجافة فيكون نهوضها ضعيفاً، والثانية تتميّز بأنَّ نهوضها ضعيف في الأعوام الرطبة (823A) إلا أنّها لا تتأثر بشدة في الأعوام الجافة (نسبياً) والحالة الثالثة هي حالة انتقالية بين الحالتين.

الجدول (7) قيم نهوض منسوب المياه الجوفية في عام رطب وعام جاف

القطاع	البئر	وتيرة القياس	طبيعة الوسط الحامل للمياه	النهوض		المجموعة بحسب سعة التغير
				في عام رطب	في عام جاف	
ميسلون	61D	شهرية	كارست مع شقوق	17.13	0.07	حالة انتقالية
	809B	شهرية	مشقق-نسيجي	25.22	11.91	حالة انتقالية
غربي شير منصور	19M	يومية	كارست مع شقوق	17.34	3.51	حالة انتقالية
	25M	يومية	كارست مع شقوق	15.31	6.69	حالة انتقالية
شرقي شير منصور	24M	يومية	مشقق-نسيجي	56.57	3.92	تأثر شديد
	28M	يومية	مشقق-نسيجي	62.53	3.76	تأثر شديد
	951R	يومية	كارست مع شقوق	39.74	7.91	تأثر شديد
	210K	شهرية	مشقق-نسيجي	--	--	--
الحرمون	823A	يومية	كارست مع شقوق	6.71	3.48	تأثر ضعيف
	868	شهرية	كارست مع شقوق	22.14	3.89	حالة انتقالية
	14RX	شهرية	كارست مع شقوق	--	--	--

في المحصلة نجد أننا أمام منطقة تتصف بـ: 1- عدم تجانس في الطبيعة البتروفيزيائية للأوساط الحاملة للمياه (كارست، مشقق، مشقق-نسيجي)؛ 2- نزوح سريع لمياه التغذية من قطاع إلى آخر، وربما خارج منطقة الدراسة؛ 3- عدم تجانس في نهوض المناسيب في السنوات الرطبة، وكذلك في السنوات الجافة والمقارنة هنا ليست بين سنة رطبة وسنة جافة وإنما بين قطاع وآخر في السنة نفسها (رطبة كانت أم جافة)، لهذا فإن تطبيق معادلة الميزان المائي، التقليدية التي لم تأخذ هذه العوامل بالحسبان قد يؤدي

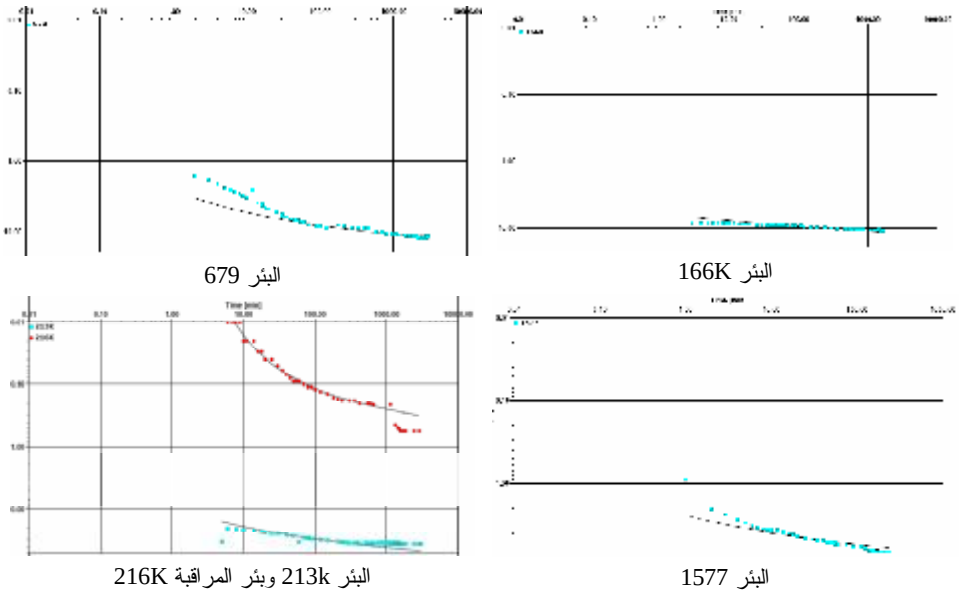
إلى أخطاء في حساب الميزان المائي، ولهذا رأينا إعادة تقدير التغذيـــة الجوفيـــة لمنطقـــة الدراسة بطريقة تغيّر منسوب المياه الجوفية.

المعطائية المائية:

من أجل تحديد قيمة المعطائية المائية المميزة للطبقات المائية المنتشرة في القطاعات المحددة سابقاً غذيت برمجية Aquifer Test ببيانات تجارب ضخ نفذت في أربـــع آبـــار ممثلة لمنطقة الدراسة هي 166K، 679، 1577، 213K وبئر المراقبة 216Kفـــي إطـــار دراسة الخبراء السوفييت[5]، وحُلّلت بإحدى الطرائق المعتمدة في البرمجية، وهـــي تـــايس وحنتوش، فحصلنا على القيم المبيّنة في الجدول (8)، كما يبيّن الشكل (14) مدى تطـــابق منحنيات الهبوط المقيس والمحسوب.

الجدول (8) قيم المعطائية المائية بحسب نتائج تحليل تجارب الضخ.

القطاع	تجربة الضخ	المعطائية المائية المقدرة	القيمة المعتمدة
الجناح الغربي لطية الشير منصور	679	0.0195	0.02
الجناح الشرقي لطية الشير منصور	213K - 216K	0.0141	0.01
منطقة ميسلون ووادي القرن	1577	0.0252	0.025
منطقة الحرمون	166K	0.00256	0.003



البئر 679 — البئر 166K

البئر 213k وبئر المراقبة 216K — البئر 1577

الشكل (14) تطابق منحنيات الهبوط المقيس والمحسوب لدى تحليل تجارب الضخ

[5] لم تحددالمراجع التي قامت بتحليل نتائج هذه التجارب سابقاً قيمة المعطائية المائية لذلك قمنا بإعادة تحليلها.

من أجل تدقيق القيم المتحصل عليها قمنا بمقارنتها بالقيم المذكورة في بعض المراجع العلمية المتخصصة لمناطق شبيهة بمنطقة الدراسة فتبيّن أنَّ قيم معامل التخزين فيصخور الجوراسي في لبنان (Ford and Williams ,2007) تراوح بين 0.001 و0.024، كما اعتمدت دراسة لينغيبروفودخوز لحوض دمشق (1986)، ودراسة الحرمون (1994) على قيمة 0.02 عند تقديرها للموارد المائية والاحتياطات الاستثمارية في حوض دمشق المائي، وكما نرى فإنها قيم متقاربة جداً، لهذا اعتُمدتْ نتائج تحليل تجارب الضخ التي قمنا بها في استكمال حساب نسبة تغذية المياه الجوفية في منطقة الدراسة، ويبيّن الجدول (9) نتائج ذلك الحساب.

الجدول (9) حساب تغذية المياه الجوفية بحسب القطاعات المحددة.

القطاع		الجناح الغربي لطية الشير منصور	الجناح الشرقي لطية الشير منصور	وادي القرن وميسلون	الحرمون
المساحة كم2		109	141	30	214
متوسط نهوض منسوب المياه الجوفية م	عام جاف	5.1	3.80	10	8
	عام رطب	16.3	42.50	25	24
المعطائية المائية المحسوبة		0.02	0.020	0.010	0.025
معدل الهطول المطري مم	عام جاف	316	367	342	434
	عام رطب	1228	1012	730	1034
الواردات المائية بالهطول المطري م.م3/سنة	عام جاف	24.44	51.75	10.26	92.88
	عام رطب	133.85	142.69	21.90	221.28
تغير المخزون المائي الجوفي م.م3/سنة	عام جاف	11.12	5.36	7.50	5.14
	عام رطب	35.53	59.93	18.75	15.41
تصريف الينابيع م.م3/سنة	عام جاف		37.80		12.38
	عام رطب		50		20.55
نسبة تغذية المياه الجوفية %	عام جاف	32.29	83.40	73.10	18.86
	عام رطب	26.54	77.04	85.62	16.25

مما تقدم يتبيّن التفاوت الكبير بين قيم تغذية المياه الجوفية المتحصل عليها باستخدام طريقة الميزان المائي وتلك المتحصل عليها باستخدام طريقة تغيّرات مناسيب المياه الجوفية.

النتائج والمناقشة

1. بغرض تقدير تغذية المياه الجوفية في مناطق الحرمون والشير منصور قُسّمتْ تلك المناطق إلى ستة قطاعات مائية سطحية (هيدرولوجية) تفصل بينها خطوط تقسيم مياه سطحية، ووضع الميزان المائي لها بمقارنة القياسات اليومية للهطول المطري بقيم التبخر النتحي الكموني المحسوبة اعتماداً على المعاملات المناخية وباستخدام قياسات

تصاريف المجاري المائية الرئيسة في المنطقة وتوزيع مركباتها إلى أساسية وفيضانية، وقد تبيّن أنّ معدل الهطول المطري في مناطق الشير منصور والحرمون الذي يبلغ 390 مم في عام جاف و1004 مم في عام رطب يتوزع إلى تبخر وجريان سطحي ورشح إلى المياه الجوفية وفق النسب التالية 24.7%، 23% و52.3% على التوالي.

2. تنتشر في مناطق الحرمون والشير منصور طبقة مائية تعود لصخور الحجر الكلسي المشقق والكارستي، وتسمح بوصول نسب عالية من مياه الأمطار والثلوج إلى المياه الجوفية، ولتقدير هذه النسب قسمت مناطق الحرمون والشير منصور إلى أربعة قطاعات مائية جوفية هي قطاع شرقي الشير منصور وقطاع غربي الشير منصور وقطاع ميسلون وقطاع الحرمون، وأمكننا من تحليل هيدرو غرافات آبار المراقبة تحديد طبيعة الأوساط الحاملة للمياه في الطبقات المائية المنتشرة في القطاعات التي تبيّن أنها تكون كارستية أو مشققة أو مشققة-نسيجية أو مختلطة علماً أنَّ الأوساط الكارستية الشقوقية هي المسيطرة، وقد تمكنا من إجراء حسابات هيدروجيولوجية في حدود القطاع الواحد بغرض تدقيق قيمة التغذية الجوفية لتلك القطاعات، وقد تبيّن أنّ شدة تغذية المياه الجوفية من الهطولات المطرية والثلجية تكون متفاوتة، وهي الأعلى في منطقة خان ميسلون ووادي القرن وتبلغ 85.62%، يليها منطقة الشير منصور المطلة على نبع بردى وتبلغ 42%، أمّا منطقتا الطرف الغربي لطية الشير منصور والحرمون فتكون تغذية المياه الجوفية فيها ضعيفة وتبلغ 26.54% و16.25% على التوالي.

3. أدى عدم التجانس في طبيعة الأوساط الحاملة للمياه في المنطقة المدروسة الذي أثبتناه عند تحليل تغيّرات مناسيب المياه الجوفية إلى فروقات في نتائج الحساب وفق الطريقتين المستخدمتين، وفي القطاعات المختلفة، وهو ما يمكن تجنبه بزيادة عدد القطاعات الجوفية التي تقسم إليها المنطقة ومن ثمَّ اعتماد طرائق النمذجة الرياضية التي تقسم المساحة إلى شبكة منتظمة من الخلايا المتجاورة تمكن من أخذ المعاملات غير المتجانسة ضمن كل خلية بالحسبان وصولاً إلى تحديد أدق للميزان المائي، ومن ثمّ إلى إدارة أسلم للموارد المائية على المستوى المحلي.

REFERENCES المراجع

1. وزارة الري. (1994). الدراسة الهيدروجيولوجية لمنطقة الحرمون، تقرير غير منشور.
2. وزارة الري، بالتعاون مع لينغيبروفودخوز. (1986). دراسة الجدوى الفنية والاقتصادية لري المحاصيل الزراعية في حوض بردى والأعوج. دراسة غير منشورة.
3. وزارة الري. (1985-2010). سجل القياسات المائية والمناخية ، معطيات غير منشورة.
4. Brassington, R. (2007). Field Hydrogeology, Wiley, 279 p.
5. Ford, D., Williams, P. (2007). Karst Hydrogeology and Geomorphology, Wiley, 578p.
6. Mangin, A. (1970). Á L'étude des aquifère karstiques à partir de L'analyse des courbes de dé cure et tarissement :Annales de spé Le bogie 581-610: