التقييم الجيوهيدرولوجي للخزانات الجوفية في مصر مع تطبيق التحليل الرباعي SWOT على خزان دلتا نهر النيل

أ.د. أحمد إبراهيم محمد صابر
أستاذ الهيدروجيومورفولوجيا والخرائط
كلية الآداب ـ جامعة بورسعيد

الملخص

يوجد العديد من الخزانات الجوفية المنتشرة أسفل الأراضي المصرية، حيث تمتلك إمكانيات هائلة للمياه تم تخزينها عبر العصور المختلفة، حيث يوجد ست خزانات جوفية رئيسية، وهي: خزان الحجر الرملي النوبي، والخزان الجوفي في وادي ودلتا النيل، وخزان الصخور الجيرية المتشققة، وخزان المغرة الجوفي، والخزان الجوفي الساحلي، وخزان صخور القاعدة المتشققة.

وتعد الطبقات الحاملة للمياه الجوفية بالدلتا واحدة من أكبر طبقات المياه الجوفية في مصر، حيث تمثل ٨٧٪ من إجمالي استخراج المياه الجوفية، بسعة إجمالية تبلغ ٤٠٠ مليارم^{٣}. وتم تطبيق التحليل الرباعي SWOT باعتباره أسلوب لتسهيل الإدارة المستدامة للمياه الجوفية بدلتا النيل للحفاظ على جودتها وحمايتها، ليمنح صانعي القرار رؤى جديدة حول اختيار الاستراتيجيات المناسبة للإدارة المستدامة للمياه الجوفية. ويعتبر التحليل الرباعي SWOT أداة مفيدة للحصول على نظرة شاملة عن الظاهرة محل الدراسة، وتحليل دقيق لبيئة العناصر الداخلية والخارجية، ويعتمد تصنيف العناصر حسب نظرة المحلل وتقييمه لها، حيث يمكن اعتبار عنصر قوة في إدارة ما، بوصفه عنصر ضعف في أخرى، وعنصر فرصة في إدارة ما، كعنصر تحدي في أخرى.

الكلمات المفتاحية: الجيوهيدرولوجي، الخزانات الجوفية، دلتا النيل، التحليل الرباعي

(ISSN: 2536 - 9555)

Geohydrological Assessment of Aquifers in Egypt with the Application of SWOT Analysis on the Nile River Delta Aquifer

Abstract

There are many aquifers scattered beneath the Egyptian lands, as they possess enormous potential for water that has been stored throughout different ages. There are six main aquifers, namely: the Nubian Sandstone, the Nile Basin, Moghra, Coastal, Carbnate and the Fractured Rocks (Basement) aquifer.

The aquifers in the Delta are one of the largest aquifers in Egypt, accounting for 87% of the total groundwater extraction, with a total capacity of 400 billion m^3. The SWOT analysis was applied as a method to facilitate the sustainable management of groundwater in the Nile Delta so as to maintain its quality and protection, and to give decision makers new insights on choosing appropriate strategies for sustainable groundwater management. The SWOT analysis is a useful tool for obtaining a comprehensive view of the phenomenon under study, and a careful analysis of the environment of the internal and external elements. The classification of the elements depends on the analyst's view and evaluation, as an element of strength in one management can be considered as an element of weakness in another, and an element of opportunity in one management as an element of challenge in another.

Keywords: Geohydrological, Aquifers, Nile Delta, SWOT Analysis

المقدمة:

تلعب المياه الجوفية العذبة دورًا مهمًا في التنمية الاقتصادية والاجتماعية في العديد من المناطق؛ حيث يلجأ إليها لسد الحاجات المتزايدة سواء لتزويد السكان بالماء الصالح للشرب، أو التنمية الزراعية والصناعية، بسبب تكلفتها المنخفضة وجودتها العالية. ومع ذلك، فقد أصبح من الواضح في السنوات الأخيرة أن الاستعمال المتزايد لهذه المياه الجوفية بشكل غير سليم لها تأثير سلبي على كمية ونوعية المياه الجوفية. وأصبحت مشكلة الكم والجودة هي العامل المحدد في تنمية وإدارة موارد المياه في أجزاء كثيرة من العالم.

وبلغ إجمالي الموارد المائية في مصر ٧٧.٣ مليار م^{٣} عام ٢٠١٦، منها ٥٥.٥ مليار م^{٣} هي حصة مصر وحقها المكتسب في مياه النيل، بينما يبلغ مقدار المياه الجوفية ٧.٤ مليار م^{٣}، والمياه المعالجة ١٣.٠ مليار م^{٣}، و مياه التحلية ٠.١ مليار م^{٣}، ومياه الأمطار والسيول ١.٣ مليار م^{٣}. أما الاحتياجات المائية عام ٢٠١٦ فتبلغ ٨٠.٢ مليار م^{٣}، بعجز ٢.٩ مليار م^{٣}، وهذه الاحتياجات موزعة كالآتي: ٦٢.٣٥ مليار م^{٣} للزراعة، و ٧.٥ مليار م^{٣} للصناعة، و ١٠.٣٥ مليار م^{٣} للاستخدامات المنزلية، ويبلغ نصيب الفرد من المياه ٨٤٠ م^{٣} في السنة، وهذه الكمية تزيد على حد الفقر المائي وهو ١٠٠٠ م^{٣} في السنة، وسوف يصل عدد سكان مصر عام ٢٠٢٥ نحو ١١٢ مليون نسمة، وتقدر الموارد المائية ٨١.٣ مليار م^{٣}، وهي موزعة تقريبا بنفس توزيع عام ٢٠١٦، مع زيادة كمية المياه المعالجة فقط إلى ١٧ مليار م^{٣}. وفي ضوء زيادة عدد السكان وثبات الموارد المائية تقريباً من ناحية، وزيادة الاحتياجات المائية المختلفة من ناحية أخرى، فإن هناك عجزاً مائياً قدرة ٢٨.٩٥ مليار م^{٣} في السنة عام ٢٠٢٥ **(دسوقي وآخرون، ٢٠١٧)**، ويعكس ذلك حساسية النظام للتدهور، وبذلك سوف تتحول مشكلة المياه إلى أزمة.

وتهدف الدراسة إلى إدارة وتطوير موارد المياه الجوفية بشكل أفضل وخاصة الخزان الجوفي بدلتا نهر النيل، وذلك عن طريق التحليل الرباعي SWOT، لإبراز العناصر ذات الأهمية لتعين صناع القرار على اتخاذ القرارات الرشيدة المبنية على التخطيط الاستراتيجيّ السليم.

والجدير بالذكر بالرغم من تطبيق التحليل الرباعي SWOT على نطاق واسع في مجال التخطيط وخاصة إدارة الأعمال، إلا أنه بدأ مؤخراً في تطبيقه في إدارة الموارد المائية والبيئية، حيث يساعد في العثور على أفضل تطابق بين الاتجاهات البيئية الخارجية والقدرات الداخلية لتسهيل نهج استراتيجي للإدارة الناجحة، والهدف من ذلك تحويل نقاط ضعفنا إلى نقاط قوة، وتهديداتنا إلى فرص **(Voudouris, 2008)**.

ويعتبر التحليل الرباعي SWOT أداة مفيدة للحصول على نظرة شاملة عن الظاهرة محل الدراسة، وتحليل دقيق لبيئة العناصر الداخلية والخارجية. وكلمة (SWOT) هي اختصار لأربع كلمات إنجليزية، وهي: القوة Strengths وهي عامل داخلي

(ISSN: 2536 - 9555)

إيجابي، والضعف Weaknesses عامل داخلي سلبي، في حين الفرصة Opportunities عامل خارجي إيجابي، والتهديد Threats عامل خارجي سلبي **(Praveena and Aris, 2009)**.

وجدير بالذكر يعتمد تصنيف العناصر حسب زاوية نظرة المحلل وتقييمه لها، حيث يمكن اعتبار عنصر قوة في إدارة ما، بوصفه عنصر ضعف في أخرى، وعنصر فرصة في إدارة ما، بوصفه عنصر تحدي في أخرى والعكس صحيح.

وقد تم اختيار منطقة دلتا نهر النيل باعتبارها دراسة حالة في تطبيق التحليل الرباعي لتقييم المياه الجوفية، لسببين مهمين، وهما:

الأول: يعتبر من أكبر الخزانات الجوفية في مصر وبالتالي فمن الواجب استغلاله إلى الحد الأمثل ليلعب دوراً مهماً في سد الاحتياجات المائية المتزايدة. ومن ثم أصبح من الضروري دراسة ما طرأ من تغييرات على الخزان الجوفي بالدلتا لتعرضه لضغوطات كبيرة كمية ونوعية، مع إعادة تقييم لظروفه الهيدرولوجية لأن ذلك يمثل قيمة اقتصادية كبيرة للسياسة المائية.

ثانياً: منطقة وموضوع الدراسة هدف أصيل للعديد من الدراسات الهيدروجيولوجية وخاصة ما قام به الباحث والتي استمرت أكثر من ٢٠ عام (شكل١)، على سبيل المثال.

- المياه الأرضية وتأثيرها في مركز الزقازيق.
- تداخل المياه البحرية والجوفية بمنطقة شمال الدلتا دراسة هيدروجيومورفولوجية
- تحليل التغيرات الجيوبيئية للأراضي الرطبة شرق بحيرة المنزلة.
- التقييم الجيومورفولوجي لمنطقة بحيرة الدقهلية المطمورة وتأثيرها على التربة.

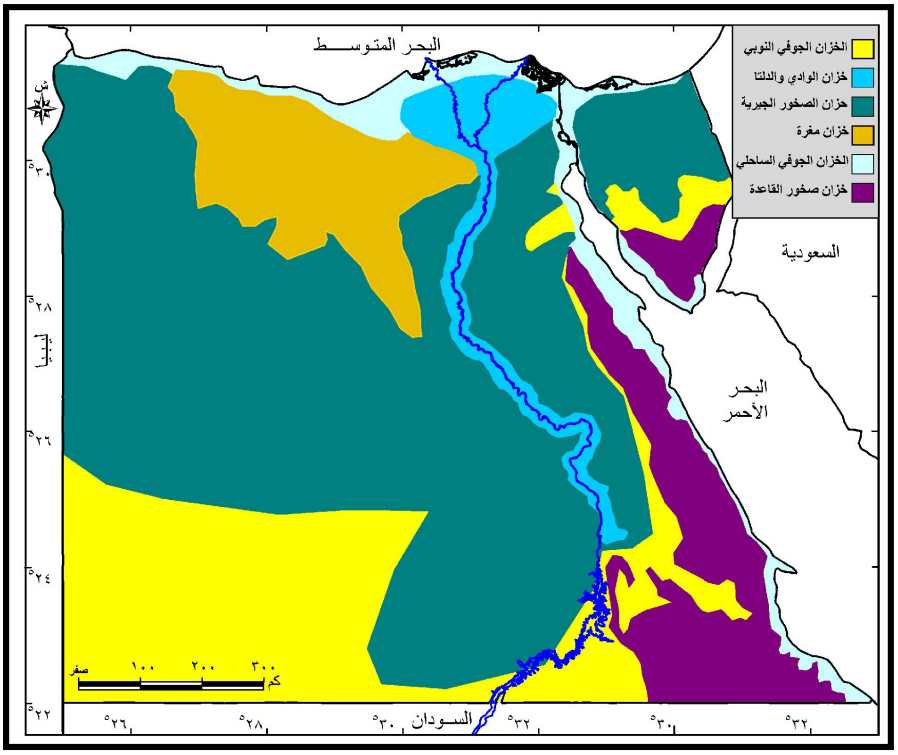
ولتحقيق الهدف من الدراسة تم تقسيم البحث إلى الموضوعات الآتية:

أولاً ـ التقييم الجيوهيدرولوجي للخزانات الجوفية في مصر.

يوجد العديد من الخزانات الجوفية المنتشرة أسفل الأراضي المصرية، حيث تمتلك إمكانيات هائلة للمياه تم تخزينها عبر العصور المختلفة، ويتم السحب منها للوفاء بالاحتياجات المائية. وحسب وزارة الري يوجد في مصر ست خزانات جوفية رئيسية (شكل٢)، وهي:

شكل (١): القيام بعمل قطاعات رأسية (جسات) بمناطق متفرقة بدلتا النيل

(ISSN: 2536 - 9555)

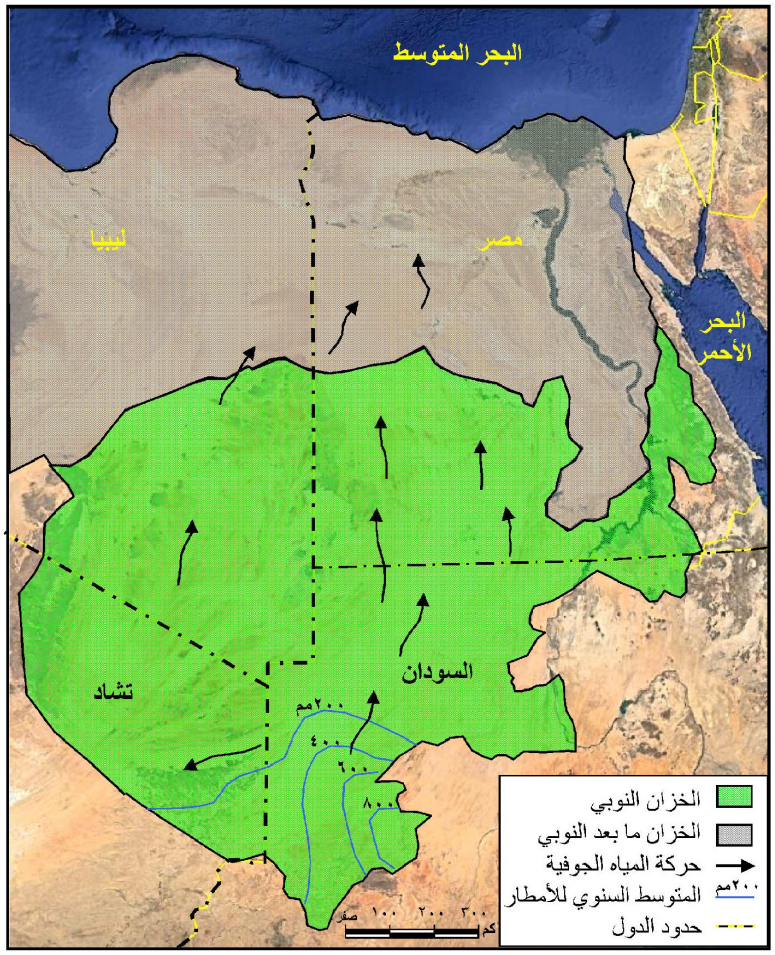


المصدر: الخريطة الهيدروجيولوجية لمصر، مقياس ١ : ٢٠٠٠٠٠٠، الطبعة الثانية ١٩٩٩

شكل (٢): خزانات المياه الجوفية في مصر

(١) خزان الحجر الرملي النوبي:

هو أكبر الخزانات الجوفية في إفريقيا، ويتكون من الحجر الرملي الميزوزويك والحجر الرملي الباليوزويك (**Mohamed, et al., 2017**)، ويغطي ما يقرب من ٢.٢ مليون كم^{٢} (شكل ٣)، منها ٨١٦ ألف كم^{٢} في مصر (٣٧.٥٪)، و٧٥٤ ألف كم^{٢} في جنوب شرق ليبيا (٣٤.٧٪)، و٣٧٣ ألف كم^{٢} في شمال غرب السودان (١٧.١٪)، و ٢٣٣ ألف كم^{٢} في شمال شرق تشاد (١٠.٧٪) (**Quadri, 2017**)، ويتراوح سمك طبقة المياه العذبة في مصر من ٢٠٠م شرق العوينات إلى ٣٥٠٠م شمال غرب واحة الفرافرة (**Negm, 2019**)، واتجاه التدفق العام في الخزان هو من الجنوب الغربي إلى الشمال الشرقي.



Source: Abeer and Mostafa, 2019

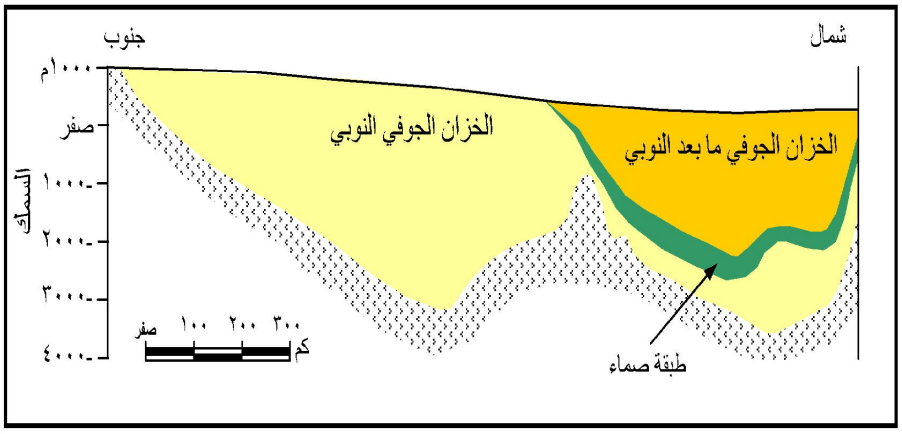
شكل (٣): خزان الحجر الرملي النوبي

ويتكون نظام الخزان الجوفي من الحجر الرملي النوبي، ويغطيه طبقة من صخر طيني غير منفّذ، ويمكن وصفه على نطاق واسع بأنهما نظامان منفصلان بطبقات ذات نفاذية منخفضة تسمح ببعض التسرب المحدود إلى الأعلى (شكل ٤)، ويمكن توضيحه على النحو الآتي **(Ahmed, 2013).**

- **نظام خزان المياه الجوفية النوبي** ، وينتشر على كامل المنطقة، ويتألف من رواسب الباليوزويك والميزوزويك، والطبقة السفلى من عصر ما قبل الكمبري، ويتكون من حجر رملي متوسط إلى خشن، وهو من نوع شبه المحصور.

(ISSN: 2536 - 9555)

- **نظام خزان المياه الجوفية ما بعد النوبي**، ويقع في الجزء الشمالي فقط، ويتألف من الرواسب القارية وصخور الكربونات الثلاثية، حيث يتكون من الرمال والحصى والغرين، وهو ذو نفاذية أعلى من الخزان السابق (غير محصور).



Source: Negm, et al., 2019.

شكل (٤): خزان المياه الجوفية النوبي الأعمق والأعلى

وتعود مياه الخزان الجوفي النوبي إلى المناخات الرطبة، حيث تشكل الخزان الجوفي عن طريق التسرب خلال الفترات الرطبة ٢٠٠٠٠ و ٥٠٠٠ سنة قبل الميلاد **(Nader, 2019)**. وأنه لا توجد إعادة تغذية كبيرة في ظل الظروف المناخية الحالية، حيث تسقط الأمطار في المناطق الجنوبية من الخزان فقط (شكل ٣). وأشارت بعض الدراسات الهيدروجيولوجية أن المياه الجوفية القديمة في الخزان الجوفي لهذا الإقليم كانت ملحية ثم تعرضت لعمليات إزاحة عن طريق المياه العذبة المتسربة إليه من ناحية الجنوب، وهي عمليات استغرقت أكثر من ١٣٠ ألف سنة، ويؤكد هذه الحقيقة أن بعض التكوينات الممتدة في شمالي هذا الإقليم إلى الشمال من منخفض القطارة ممتلئة بالمياه الجوفية المالحة **(الزوكة، ١٩٩٨)**.

ووفقًا للتكوينات الجيولوجية، فإن تسرب المياه من النيل إلى الخزان الجوفي النوبي لا يمكن أن يحدث إلا على طول بحيرة ناصر، وتوجد منطقة أخرى شمال خط طول ٢٥شمالاً، ويحدث التفاعل بين المياه الجوفية والمياه السطحية في كلا الاتجاهين (التدفق والتأثير) ولكن على نطاقات محلية للغاية **(Sefelnasr, 2007)**.

وقدر أن حوالي ٥ مليون م^{٣} / السنة من مياه النهر كانت تتسرب إلى طبقة المياه الجوفية قبل إنشاء السد العالي بمنطقة أسوان، وبعد اكتمال السد العالي، فإن التسرب إلى التكوين النوبي الحامل للمياه يحدث الآن بمعدل أكبر **(Salim, 1986)**. وقد تم تقديرها بحوالي ١.٥ مليار م^{٣}/ السنة **(Abdel Moneim, 2005)** .

ويقع مستوى المياه الجوفية في بعض المناطق في مصر داخل نظام طبقات الحجر الرملي النوبي بالقرب من سطح الأرض أو حتى فوقها، وبالتالي تتدفق بشكل طبيعي (مياه ارتوازية)، حيث يحدث التصريف الطبيعي للمياه الجوفية إما عن طريق التبخر من الارتفاع الشعري للمياه الجوفية القريبة من السطح أو من البحيرات المتكونة من العيون المائية (شكل ٥)، وتؤدي هذه الخسارة غير المباشرة من المياه الجوفية بحوالي ١٠٩ م^{٣}/سنة **(Sefelnasr, 2007)**.

المصدر: الدراسة الميدانية، عام ٢٠٠٧

شكل (٥): البحيرات المتكونة من العيون المائية بالواحات البحرية

وقدّر حجم المياه الجوفية المخزونة داخل النظام ٤٠ ألف مليارم^{٣} (العجمي وآخرون، ٢٠١٦)، وبسبب الإفراط في استخدام المياه الجوفية لوحظ انخفاض كبير في

(ISSN: 2536 - 9555)

منسوبها وتغير نوعيتها بالخزان الجوفي النوبي. وأشارت محاكاة معدلات استخراج ١.٨ مليار م^{٣}/سنة سيكون متوسط الانخفاض عام ٢١٠٠م في الواحات الداخلة والخارجة ٥٥م، وفي واحة الفرافرة ٣٣م، وفي واحة سيوة ١٥م، ومنطقة شرق العوينات ١٨م، ولكن سيظل عمق الرفع في المنطقة الآمنة اقتصاديًا. أما في حالة السيناريو الثاني والمتمثل في معدلات استخراج ٦.١ مليار م^{٣}/سنة إلى تغيرات حادة في مناسيب المياه الجوفية في جميع المناطق تقريبًا، وسوف يتجاوز متوسط الانخفاض في المستوى الهيدروليكي١٤٥م بمنطقة شرق العوينات، وسيزداد إلى ١٦٠م تحت مستوى سطح الأرض عام ٢١٠٠م، وستختفي ظاهرة تدفق الآبار الحرة بالكامل عام ٢٠٣٠، وعملية سحب المياه الجوفية سيكون مكلفًا للغاية أو ربما يكون مستحيلًا **(Sefelnasr, 2007)**.

ويمكن تقسيم الخزان الجوفي النوبي في مصر إلى أنظمة فرعية، كالتالي:

- **الصحراء الغربية:** ويتم استغلاله بشكل خاص في منطقة الوادي الجديد، وتتراوح المواد الصلبة الذائبة الكلية بين ٢٠٠ و ٧٠٠ مجم/لتر، ومعدل ادمصاص الصوديوم (SAR) بين ٠.٥ و ١.٧، بينما تتراوح نسبة كربونات الصوديوم المتبقية (RSC) بين ٠.٦٩ و٢.٤٥ ملليمكافئ/لتر، وبالتالي فإن ملاءمة المياه الجوفية وخاصة بمنطقة شرق العوينات لأغراض الري تعتبر ممتازة **(El Nahry, 2010)**. ويقدر عدد عيون المياه الجوفية في مصر بحوالي ١٣٧٠ عيناً منها نحو ١٣١٠ عيناً بنسبة ٩٥.٦٪ من جملة عدد العيون تتركز في إقليم الصحراء الغربية، وهي نقطة قوة، حيث يعكس الأهمية الكبيرة للمياه الجوفية في هذا الجزء من الأراضي المصرية وامكاناتها الهائلة التي تشكل أساساً مهماً لتنميته في إطار موضوعي يتفق وحجم المتاح من المياه الجوفية الواجب استغلالها بحرص وحذر شديدين حفاظاً عليها للأجيال القادمة **(الزوكة، ١٩٩٨)**.
- **الصحراء الشرقية:** ويظهر الخزان في العديد من المناطق بالصحراء الشرقية، مثل: منطقة شرق قنا، وتتراوح الملوحة بين ١٠٠٠ و ١٠٠٠٠ جزء في المليون.
- **وادي النيل:** ويمتد من الجنوب إلى الشمال، وترتبط عين حلوان بشكل أساسي بهذا الخزان الجوفي النوبي (شكل ٦).

المصدر: الدراسة الميدانية، عام ٢٠٠٨

شكل (٦): عين حلوان

- **خليج السويس وشبه جزيرة سيناء**، وتعتبر مياه الخزان في الأساس مياه أحفورية، وتوجد معظم الآبار والعيون بالقرب من خليجي السويس والعقبة وخاصة الحارة ووسط سيناء (شكل ٧)، وتبلغ متوسط ملوحة المياه ١٥٠٠ جزء في المليون، لكنها تزداد إلى أكثر من ٥٠٠٠ جزء في المليون في شمال وغرب سيناء **(Wael, 2019)**.

وعلى الرغم من صلاحية المياه بالخزان النوبي بصفة عامة وخاصة بالصحراء الغربية لمعظم الاستخدامات إلا أنه توجد مجموعة من نقاط الضعف تتمثل في عدم تحديد الملائمة الاقتصادية للتوسع الزراعي على المياه الجوفية لهذا الخزان، نظراً لتوافر تلك المياه على أعماق كبيرة، مما سبب ارتفاعاً في تكاليف حفر وتشغيل الآبار، وفي تكاليف الرفع والضخ، والهبوط المستمر في مناسيب الآبار والانهيارات داخلها **(دراج، ٢٠١٩)**. وبناء عليه يعتبر هذا الخزان من أهم مصادر المياه الجوفية العذبة غير المتاحة في مصر للاستخدام.

(ISSN: 2536 - 9555)

أ ـ العيون المائية الحارة بمنطقة حمام فرعون ٢٠١٣

ب ـ العيون المائية الحارة بمنطقة رأس سدر عام ٢٠١٨

ج ـ المياه الجوفية بمنطقة سهل القاع وسط سيناء ٢٠١٦

المصدر: الدراسة الميدانية

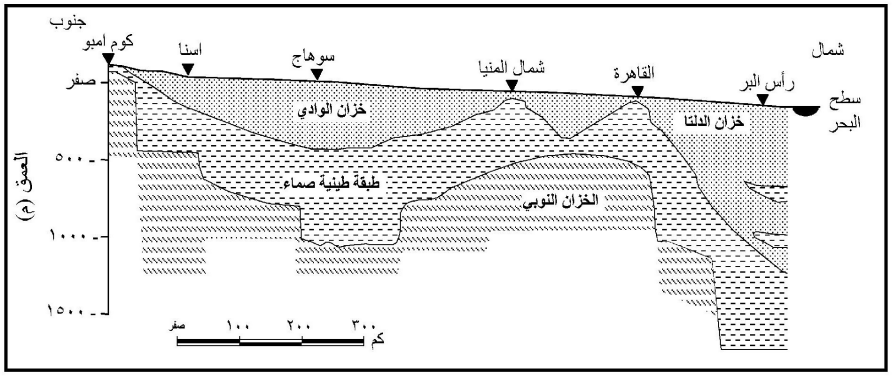
شكل (٧): انتشار العيون المائية الحارة والآبار بشبه جزيرة سيناء

(٢) الخزان الجوفي في وادي ودلتا النيل

يتكون الخزان الجوفي من طبقة سميكة من الرمل والحصى التي تنتمي إلى الزمن الرابع، وهي طبقة ضحلة شبه محصورة بسبب الطبقة الطينية العلوية، وتختلف سمكها في وادي ودلتا النيل من ٣٠٠م في مصر الوسطى (محافظة سوهاج) إلى بضعة أمتار فقط في الشمال باتجاه القاهرة وفي اتجاه الجنوب حتى أسوان (**Nader, 2019**)،

في حين يبلغ سمكها جنوب دلتا النيل ١٠٠م ويزداد السمك الكلي للخزان الجوفي من القاهرة شمالًا إلى حوالي ١٠٠٠م على طول ساحل البحر المتوسط. وأسفل هذا الخزان الجوفي رواسب طينية غير منفذة، وتمنع الاتصال بين هذا الخزان الجوفي وطبقة المياه الجوفية من الحجر الرملي النوبي (شكل ٨)، ونظام الخزان الجوفي متجدد ويتم تغذيته عن طريق تسرب مياه الري الزائدة وشبكة الري.

وتقدر سعة خزان المياه الجوفي بالدلتا بحوالي ٤٠٠ مليار م^{٣}، وفي الوادي بحوالي ٢٠٠مليار م^{٣} (العجمي وآخرون، ٢٠١٦)، ويوفر ٨٧٪ من إجمالي استخراج المياه الجوفية في مصر، ويتم استخراج ٧.٤ مليار م^{٣} سنويًا من طبقة المياه الجوفية بوادي ودلتا النيل عام ٢٠١٦، ونوعية وكمية المياه في الجزء الجنوبي من الخزان الجوفي أفضل بكثير من الجزء الشمالي حيث لا تتجاوز المواد الصلبة الذائبة ١٠٠٠ جزء في المليون، وتستخدم المياه بشكل رئيس للأغراض المنزلية والري. وسيلي ذكر ذلك تفصيلياً.



Source: Wael, 2019

شكل (٨): الخزان الجوفي في وادي ودلتا النيل

(٣) خزان الصخور الجيرية المتشققة

يمتد من سيناء إلى ليبيا ويحتل أكثر من ٥٠٪ من مساحة مصر، ويسود بشكل أساسي في الأجزاء الشمالية والوسطى من الصحراء الغربية، ويتراوح سمكه من ٢٠٠ إلى ١٠٠٠م **(Sefelnasr, 2007)**.

(ISSN: 2536 - 9555)

وينقسم خزان الكربونات عمومًا إلى ثلاث طبقات: الطبقة السفلي للطباشيري الأعلى، والطبقة الوسطى للإيوسين السفلي والوسطى، والطبقة العليا للميوسين الأوسط، ويفصل بينهما طبقتين من الطفل يبلغ سمكهما ١٠٠ و ٢٠٠م على الترتيب. وقدر إجمالي تدفق ٢٠٠ ينبوع طبيعي حوالي ٢٠٠ ألف م^{٣}/يوم، وتضخ المياه من الجزء العلوي من الحجر الجيري المتصدع (الميوسين الأوسط). وتتراوح ملوحة المياه الجوفية من ١٥٠٠ إلى ٧٠٠٠ جزء في المليون، في حين بلغت ٢٠٠ جزء في المليون في الحجر الجيري السفلي الذي ينتمي إلى العصر الإيوسيني والطباشيري في منطقة سيوة **(Wael, 2019)**.

ويعتبر الخزان الجوفي هو الأقل استكشافًا واستغلالًا في مصر، وتعتمد تغذيته بشكل أساسي على التسرب التصاعدي من طبقة المياه الجوفية من الحجر الرملي النوبي وأحيانًا من الأمطار.

(٤) خزان المغرة الجوفي:

يقع خزان المغرة الجوفي والمنتمي للطبقة الميوسينية السفلى من الحافة الغربية للدلتا إلى منخفض القطارة، حيث يغطي مساحة تقدر بحوالي ٧٣.٣٠٠كم^{٢}. ويتكون الخزان الجوفي من رمل وحصى من الميوسين السفلي، ويتراوح سمك طبقة المياه الجوفية بين ٢٠٠ و ٨٠٠ متر، في حين يتراوح السمك المشبع بالمياه بين ٧٠ و ٧٠٠ م **(Wael, 2019)**. وهناك العديد من المصادر التي تعيد تغذية طبقة المغرة الجوفية **(Negm, et al., 2019) (Ebtehal, et al., 2019)**:

- التسرب من الجزء الغربي من طبقة المياه الجوفية في دلتا النيل، ويحدث على طول أطراف غرب دلتا النيل، ويقدر نقل المياه بين ٥٠ و ١٠٠ مليون م^{٣}/ سنة.
- التدفق من طبقة المياه الجوفية في الميوسين.
- التسرب التصاعدي من نظام طبقات الحجر الرملي النوبي العميق.
- مساهمة طفيفة من الأمطار.

وتتدفق المياه الجوفية بشكل عام من الشرق إلى الغرب، من طبقة المغرة الجوفية نحو منخفض القطارة في الغرب **(Dawoud et al., 2005)**. مما يشير إلى أن منخفض القطارة يعمل باعتباره مصرف طبيعي، ويتكون الخزان الجوفي من طبقتين متصلتان هيدروليكيًا (طبقة مرماريكا وطبقة المغرة)، ويحدث تصريف طبقة المياه الجوفية من خلال التبخر في منخفض القطارة ووادي النطرون والتسرب الجانبي في صخور الكربونات في الجزء الغربي من منخفض القطارة، ويبلغ الاستخراج السنوي الحالي من هذا النظام حوالي ٢٠٠ مليون متر مكعب/ سنة **(Rania, et al., 2019)**. وتختلف مستويات المياه الجوفية من صفر إلى ٧٠م تحت مستوى سطح البحر **(Ezzat, 1984)** **(Shuhab, et al., 2014)**.

وتزداد الملوحة باتجاه الشمال والغرب، وتكون عمليات السحب محدودة بسبب وجود المياه المالحة تحت عدسات المياه العذبة؛ لذا تقلل من الخيارات المطروحة أمام استخدام المياه، وتمثل نقطة ضعف قوية. وتتغير ملوحة المياه من أقل من ١٠٠٠ جزء في المليون في الشرق، بالقرب من منطقة إعادة الشحن الرئيسية (وادي النطرون)، إلى أكثر من ١٠٠٠٠ جزء في المليون في الغرب بالقرب من منطقة الصرف الرئيسية (منخفض القطارة)، حيث يتراوح إجمالي المواد الصلبة الذائبة بين ٢٨٩ و ٣١٠٠٠ جزء في المليون، ويشير التوزيع الجغرافي للأملاح الكلية الذائبة إلى وجود مياه عذبة ومياه شديدة الملوحة، بالنسبة لملوحة المياه الجوفية أقل من ٥٠٠٠ جزء في المليون، يمكن استخدامها لزراعة بعض المحاصيل مثل القمح والشعير والذرة الرفيعة. وبالنسبة لملوحة المياه التي تزيد على ٥٠٠٠ جزء في المليون، يمكن استخدامها في الأغراض الصناعية، مثل استخراج الأملاح **(Abdel Mogith et al., 2012)**. وسوف يتم الاعتماد عليه لاستصلاح ١٧٠ ألف فدان كجزء من خطة الدولة الاستراتيجية في استصلاح حوالي ١.٥ مليون فدان، مع مراعاة تقليل كميات السحب من الآبار الموجودة فعلا بالمنطقة إلى نسبة ٧٠٪، وهو أفضل السيناريوهات من حيث الهبوط الناتج داخل الخزان الجوفي، أو تقسيم منطقة الآبار إلى ثلاث مناطق مع الاحتفاظ بمعدلات السحب لأول منطقتين وتقليل معدلاتها في المجموعة الثالثة بنسبة ٧٠٪ وذلك أفضل لعدم وجود مناطق جافة **(Rania, et al., 2019)**.

(ISSN: 2536 - 9555)

(٥) الخزان الجوفي الساحلي:

ينتمي إلى العصري الثالث المتأخر والرباعي، وينتشر في المناطق الساحلية على طول البحر المتوسط وساحل البحر الأحمر على شكل جيوب متفرقة. وتنتشر المياه الجوفية عمومًا في شكل عدسات تطفو فوق المياه المالحة، وهي مياه جوفية متجددة، ويتم تغذيتها من الأمطار، ويمكن تقسيم طبقة المياه الجوفية إلى منطقتين، المنطقة الساحلية للبحر المتوسط بمساحة تبلغ ١٠ آلاف كم^{٢}، وهي تتميز بمعدلات تساقط عالية تصل إلى ٢٠٠ مم/ سنة. وبالنسبة لخزانات المياه الجوفية على ساحل البحر الأحمر، فإنها تمتد إلى سيناء، ويتم تغذية خزانات المياه الجوفية التي تنتمي للزمن الثالث، بمياه الجريان السطحي، وبالتسرب من طبقات المياه الجوفية الرباعية، وعن طريق التسرب الصاعد محليًا من طبقات المياه الجوفية العميقة، وتتراوح درجة الملوحة بين ٢٠٠٠ و٢٥٠٠ جزء في المليون **(Wael, 2019)**.

(٦) خزان صخور القاعدة المتشققة:

ينتمي إلى عصر ما قبل الكمبري، ويسود في الصحراء الشرقية وسيناء، ويتأثر هذا الخزان الجوفي بالعوامل التكتونية مثل الفوالق والسدود التي تعيق حركة المياه الجوفية، ويُعاد شحن طبقة المياه الجوفية في الصحراء الشرقية وجنوب سيناء بكميات صغيرة من مياه الأمطار المتسربة من خلال الشقوق والكسور في هذه الصخور، ويشكل الخزان الجوفي القاعدي المتصدع مصدرًا مهمًا للمياه الجوفية في الجزء الجنوبي من الصحراء الشرقية **(Gomaa, 2016)**.. ويوفر الخزان الجوفي العديد من الآبار المحفورة يدويًا التي يستخدمها البدو (شكل ٩)، وتتأثر جودة المياه الجوفية لطبقة المياه الجوفية قبل العصر الكمبري بشكل كبير بالخصائص الكيميائية والجيولوجية للصخور، ومن ثم تتراوح من عذبة إلى معتدلة الملوحة في الجزء الشمالي من الصحراء الشرقية، حيث تتراوح قيم المواد الصلبة الذائبة بين ٦٠٠ و٣٥٠٠ جزء في المليون. والجدير بالذكر تقييم موارد المياه في صخور ما قبل الكمبري غير دقيق، وتعتبر الإمدادات المحتملة للمياه الجوفية من الخزان الجوفي القاعدي المتصدع محدودة للغاية ولا يمكن الاعتماد عليها بوصفه مصدر مستدام للمياه لاحتياجات الإنسان **(Abdel Moneim, 2005)**.

المصدر: الدراسة الميدانية، عام ٢٠١٦

شكل (٩): سحب المياه من خزان صخور القاعدة المتشققة جنوب سيناء

ثانياً - مدخلات مصفوفة التحليل الرباعي لخزان دلتا نهر النيل

الطبقات الحاملة للمياه الجوفية بالدلتا يحدها البحر المتوسط شمالا وقناة السويس شرق، وتتناقص في السمك في اتجاه الغرب والجنوب **(Sherif and Singh, 2002)**. وتعد واحدة من أكبر طبقات المياه الجوفية في مصر حيث تمثل ٨٧٪ من إجمالي استخراج المياه الجوفية، بسعة إجمالية تبلغ ٤٠٠ مليارم^{3}. وقد تم تحديد أهم مدخلات مصفوفة التحليل الرباعي لخزان دلتا النيل والتي سوف يتم تحديد نقاط القوة والضعف والفرص والتهديدات عليها كالتالي:

١ . الخصائص الهيدروجيولوجية لخزان دلتا نهر النيل

تصنف التكوينات الجيولوجية المكونة لشمال الدلتا إلى ثلاثة تكوينات هيدروجيولوجية من أسفل إلى أعلى كالآتي، طبقاً للدراسات السابقة، وخاصة **(صابر، ٢٠١٢)**، و**(وزارة الري، ١٩٨٠)**، و **(Negm, et al., 2019)**.

أ . الطبقة الطينية السفلية

تكون الطبقة الطينية السفلية قاع الخزان الجوفي، وتحدد الترسيبات المنفذة له من أسفل، وتتكون من رواسب طينية متماسكة (عصر النيوجين)، وتتراوح بين غير منفذه وضعيفة النفاذية جداً، وليس لها أهمية هيدروليكية.

(ISSN: 2536 - 9555)

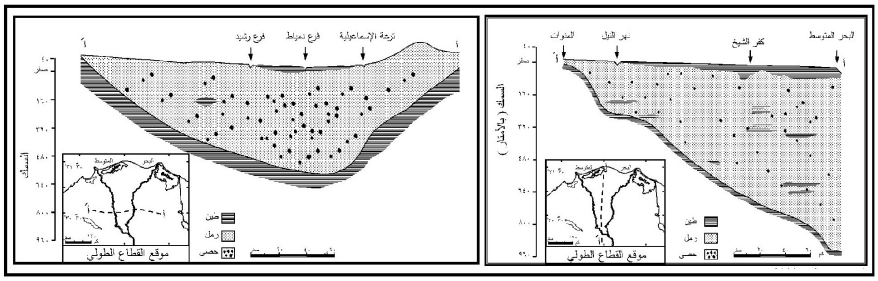
ب . الطبقة الرملية الحصوية

تنتمي الطبقة الحاملة للمياه الجوفية بدلتا النيل إلى عصر البلايستوسين، وتتكون من الرمال والزلط المنفذة التي يتخللها عدسات طينية (شكل ١٠). والحد العلوي لهذه الطبقات هو الغطاء الطيني شبه المنفذ والذي يرجع تكوينه إلى العصر الحديث، أما الحد السفلي فهي تتكون من طبقات سميكة من الطين، وبالتالي فتعتبر شبه محصورة، وقد تأثرت بالفوالق والتي أدت إلى إزاحة هذه الطبقات وتغير سمكها من موقع إلى آخر **(وزارة الري ١٩٨٠)**.

ويأخذ قاع الخزان الشكل المقعر تقريباً حيث يتناقص سمكه في اتجاه الشرق والغرب محتفظاً بأكبر قيمة له بوسط الدلتا (شكل ١١)، ويتغير سمك طبقة المياه الجوفية من ١٠٠ م في الأجزاء الجنوبية إلى ١٠٠٠م في الأجزاء الشمالية باتجاه البحر المتوسط، ويكاد يتلاشى بالقرب من المنوات بالقرب من القاهرة ويفصل جزئيًا طبقة المياه الجوفية في دلتا النيل عن طبقة المياه الجوفية في وادي النيل (شكل١٢). ويقل سمك طبقة المياه الجوفية العذبة بالاتجاه شمالًا حتى يصل إلى الحد الفاصل بين جبهة المياه الجوفية العذبة ومياه البحر المالح (شكل ١٢). وتتراوح مسامية رواسب البليستوسين الحاملة للمياه في خزان شمال الدلتا بين ٣٠ و ٤٠٪، بينما تتراوح النفاذية بين ٦٠ و ٧٠ متراً/اليوم **(El-Menayar, 1999)**.

المصدر: الدراسة الميدانية ٢٠١٨

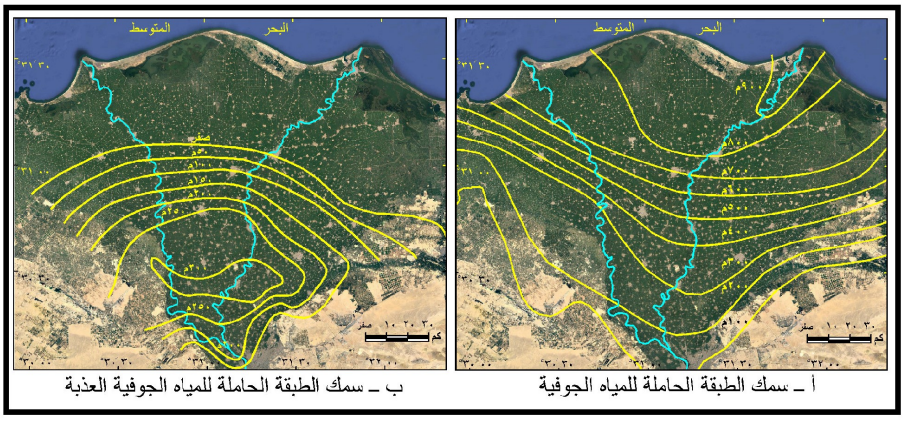
شكل (١٠): التباين في تكوينات الطبقات الحاملة للمياه الجوفية بدلتا نهر النيل



المصدر: وزارة الري، ١٩٨٠

شكل (١١): قطاعات جيولوجية بدلتا النيل

(ISSN: 2536 - 9555)



أ ـ سمك الطبقة الحاملة للمياه الجوفية ب ـ سمك الطبقة الحاملة للمياه الجوفية العذبة

المصدر: Negm, et al., 2019 ـ وزارة الري، ١٩٨٠

شكل (١٢): سمك الطبقة الحاملة للمياه الجوفية والمياه العذبة بدلتا النيل

وتتقدم مياه البحر المالحة إلى داخل الطبقات الحاملة للمياه العذبة بالدلتا بصورة غير منتظمة، وبالتالي فالتداخل لا يحدث في كل القطاع الرأسي بالساحل الشمالي بالدرجة نفسها. وتتكون مجاري الاتصال هذه أما من الرمال أو الرمال الطينية أو الطين الرملي، كما يمكن ملاحظة أن بعض هذه المجاري قد تكون متصلة بالبحر ولكن غير متصلة بالخزان الجوفي أو متصلة بالخزان الجوفي وغير متصلة بالبحر، بمعنى أن الاتصال بين كل من مياه الخزان الجوفي ومياه البحر قد لا يوجد في بعض المواقع بمنطقة شمال الدلتا **(Madiha, 1982)**.

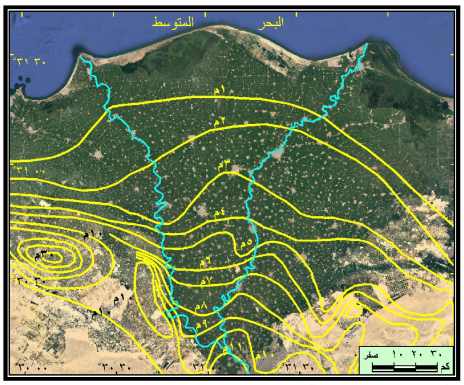
ج- الطبقة الطينية السطحية

عبارة عن ترسيبات تنتمي إلى العصر الحديث، وتتكون من الطين والسلت، ويتراوح سمكها بين ١٥ و ٣٤م، ويتلاشى هذا التكوين في حواف الدلتا الشرقية والغربية ومناطق السلاحف، ويصل سمك طبقة الطين السطحية أمام الساحل الشمالي من الدلتا إلى ٧٠م أو أكثر، ويتراوح محتوى الطين بين ٥ و ٥٠٪ ، بينما يتراوح محتوى الطمي بين ٥ و ٩٥٪ **(وزارة الري، ١٩٨٠)**؛ مما أدى إلى تكوين خزان مائي حر، يتأثر بشكل مباشر بالمياه السطحية عن طريق التسرب **(Chris, 1987)**. مما جعله غير قابل للاستغلال وهي نقطة ضعف كبيرة لأنها تتأثر بمياه الري وشبكة الترع والمصارف والصرف الصحي ذات الجودة المنخفضة.

ويتضح من دراسة الخصائص الهيدروجيولوجية لمنطقة شمال الدلتا وجود علاقة بين المياه الأرضية والمياه الجوفية؛ حيث يوجد اتصال متبادل في صورة حركة رأسية بين المياه العميقة في الخزان المائي شبه المحصور وبين الخزان المائي الحر، وهذه الحركة الرأسية إما أن تكون إلى أسفل أو أعلى، والتي أثرت بدرجة كبيرة في الميزان المائي للخزان الجوفي.

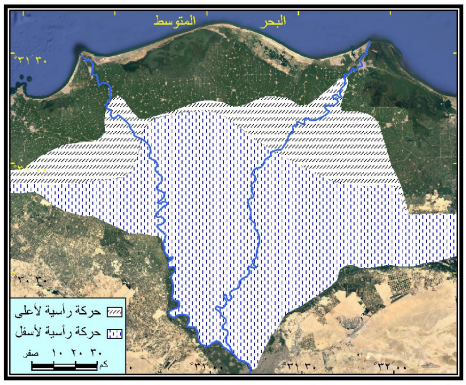
٢ ـ مناسيب المياه الجوفية

يتناقص عمق المياه الجوفية في دلتا النيل باتجاه الشمال، والشمال الشرقي، والشمال الغربي، حيث يتراوح عمق المياه الجوفية بين ١ و ٢م في الشمال، وبين ٣ و ٤م في الوسط، و٥ م فأكثر في الجنوب مع انتشارها في معظم دلتا النيل (شكل ١٣)، مع وجود منطقة على طول الساحل الشمالي للدلتا يكون فيها الفرق بين مناسيب المياه الجوفية والمياه السطحية سالب أي أن الحركة الرأسية للمياه بهذه المنطقة تكون إلى أعلى (شكل ١٤). مما يشير إلى قابلية عالية للتلوث في هذه المنطقة، وتزداد خطورتها على شتى صور استخدام الأرض خاصة زيادة ملوحة التربة وانخفاض إنتاجية المحاصيل الزراعية، وبالتالي فإنه في حالة وجود أي تقدم لجبهة المياه المالحة داخل الدلتا سوف يزداد الخطر بدرجة كبيرة على هذه المنطقة.



المصدر: وزارة الري، ١٩٨٠

شكل (١٣): عمق المياه الجوفية بدلتا النيل

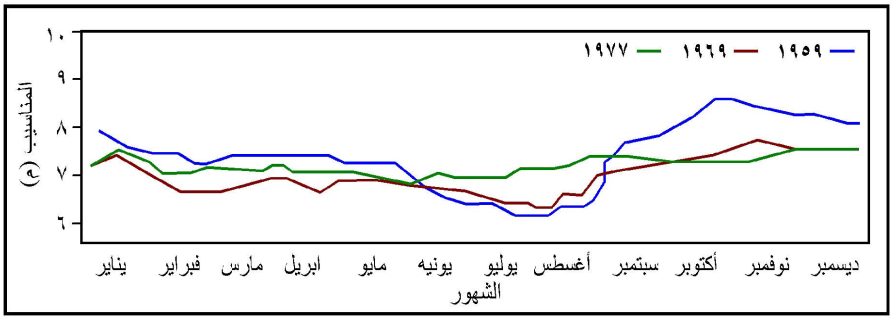


المصدر: وزارة الري، ١٩٨٠

شكل (١٤): حركة المياه الجوفية الرأسية بدلتا النيل

(ISSN: 2536 - 9555)

وقد أصبحت ذبذبة مناسيب المياه الجوفية في حدود ضيقة نتيجة انتهاء عصر الفيضانات. فمنذ إنشاء السد العالي، لوحظ أن مستوى المياه الجوفية قد زاد داخل طبقة المياه الجوفية في دلتا النيل (شكل ١٥)؛ لأن مياه الري أصبحت هي المصدر الأساسي لتغذية الخزان الجوفي والتي يكون تأثيرها موزع تقريبا بانتظام على معظم الأراضي الزراعية، وقد تسببت المشاريع الزراعية التي تعتمد على موارد المياه الجوفية فقط في حدوث انخفاض حاد في مستوى المياه الجوفية في هذه المناطق، كما لوحظ في أطراف الدلتا. على العكس من ذلك، أدت المشاريع الزراعية التي تعتمد على مياه النيل فقط إلى زيادة منسوب المياه الجوفية.



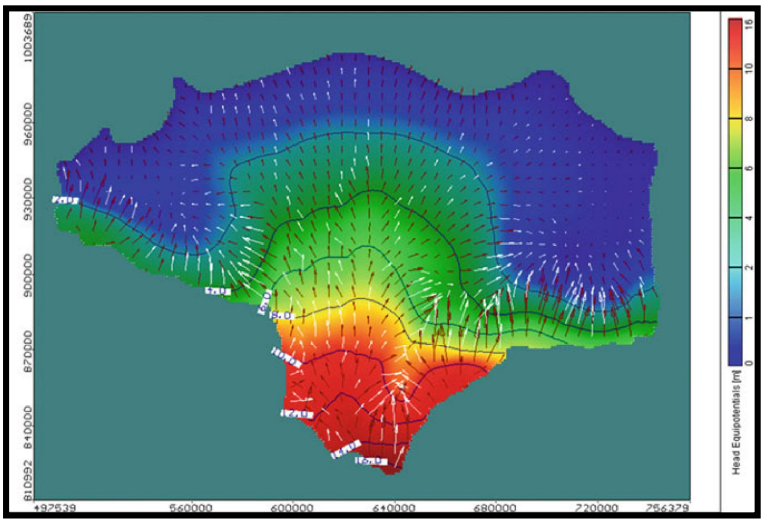
Source: Al-Agha, et al., 2015

شكل (١٥): مناسيب المياه الجوفية قبل وبعد بناء السد العالي بدلتا النيل

٣ ـ حركة المياه الجوفية

تتحرك المياه الجوفية في دلتا النيل في اتجاهاتها المختلفة تحت انحدار هيدروليكي يتراوح في المتوسط بين ١٢ سم/ كم في جنوب الدلتا و٨سم/ كم في شمال الدلتا، وعامةً يقل الانحدار الهيدروليكي للمياه الجوفية كلما اتجهنا شمالًا أو شرقًا أو غربًا. كما أنه يزيد كلما اقتربنا من فرعي النيل ومجاري الري الرئيسية، حيث يصل إلى أكثر من ٥٠سم/ كم. ويتبين من تحليل الشكل (١٦) ارتباط حركة المياه الجوفية واتجاهاتها بشرق الدلتا بمناسيب المياه بفرع دمياط وترعة الإسماعيلية، إذ تتحرك المياه الجوفية من أسفل فرع دمياط صوب بحيرة المنزلة في الشمال الشرقي وقناة السويس في الشرق، ومن أسفل ترعة الإسماعيلية صوب الشمال، وفي وسط الدلتا مرتبطة بمناسيب المياه في كل

من فرعي دمياط ورشيد، ولكن بصفة عامة تتحرك المياه الجوفية من الغرب إلى الشرق صوب مجرى فرع دمياط تبعاً لانحدار التكوينات الأرضية وأيضا من الجنوب في اتجاه الشمال. أما غرب الدلتا فتخضع لاختلاف الظروف الطبيعية والطبوغرافية لهذه المنطقة، حيث تتحرك المياه من الجنوب صوب الشمال مع انحدار فرع رشيد، ومن الشرق إلى الغرب في اتجاه منخفض وادي النطرون **(الزوكة، ١٩٩٨)**. وأخيراً المنطقة المحصورة بين جنوب رأس مثلث الدلتا وحتى منطقة عنق الزجاجة الفاصلة بين المياه الجوفية بالوجهين البحري والقبلي فترتبط حركة واتجاه المياه الجوفية بها بمناسيب مياه النيل ومياه الرشح بمنطقة القاهرة الكبرى **(وزارة الري، ١٩٨٠)**.



Source: Negm, et al., 2019.

شكل (١٦): اتجاه حركة المياه الجوفية وسرعتها بدلتا النيل

٤ . الميزانية المائية للخزان الجوفي

الميزان المائي عبارة عن تساوي بين ما يكتسبه الخزان وما يفقده خلال فترة زمنية محددة.

أ ـ مصادر التغذية

يتم تغذية المياه الجوفية في منطقة دلتا النيل بثلاث طرق: تسرب الأمطار، وتسرب مياه الري الزائد ومن نهر النيل وقنوات الري والمصارف، وتسرب المياه الجوفية

(ISSN: 2536 - 9555)

بين طبقات المياه الجوفية، حيث يتراوح التسرب إلى أسفل نحو طبقة المياه الجوفية بين ٠.٢٥ و ٠.٨٠ مم/يوم، وفي أطراف الدلتا، تم تسجيل معدلات تسرب عالية من ١ إلى ٢.٥ مم/ يوم لري الأحواض، في حين تحدث معدلات منخفضة من ٠.١ إلى ٠.٥ مم/ يوم للري بالتنقيط **(Negm, et al., 2019)**. وقد تم تقدير مصادر التغذية على النحو الأتي **(وزارة الري، ١٩٨٠)**.

- يكتسب الخزان الجوفي بالدلتا كميات من المياه المتسربة رأسياً إلى أسفل حوالي ٢.٢٧ مليار م^{٣}/ السنة.
- كميات المياه المتسربة من ترعة الإسماعيلية حوالي ٠.٣٣ مليار م^{٣}/ السنة.
- إجمالي ما يكتسبه الخزان الجوفي في السنة يقدر بحوالي ٢.٦ مليار م^{٣}/ السنة.

ب ـ السحب والفقد

يتم تصريف المياه الجوفية من خلال: التدفق إلى نظام الصرف، والاستخراج، والتبخر في المناطق المنخفضة ذات مناسيب المياه الجوفية الضحلة (البحيرات والسبخات في وادي النطرون والمنخفضات الصغيرة في شرق دلتا النيل)، حيث يمكن أن تمتص المياه من قبل النباتات أو تتحرك صعودًا من خلال الارتفاع الشعري. كما يحدث تصريف للمياه الجوفية في الأجزاء الشمالية من الدلتا من خلال التسرب التصاعدي بمعدل يومي يتراوح بين ٠.٢ و ٠.٩ مم/ يوم **(Negm, et al., 2019)**.

كما يحدث تدفق داخلي بين طبقة المياه الجوفية في دلتا النيل من ناحية وطبقة المغرة المائية وطبقة وادي النطرون من ناحية أخرى. كما يعتبر فرع رشيد بمثابة تيار تصريف للمياه الجوفية في منطقتي كفر الزيات وتملاي، ويقوم فرع دمياط بتجميع المياه من الخزان الجوفي حيث أن مستوى المياه الجوفية للخزان الجوفي أعلى من مستوى المياه السطحية في فرع رشيد وأخيراً يتم الصرف عن طريق ضخ الآبار للري والاستخدامات المنزلية والتسرب باتجاه البحر في بحيرة المنزلة والبحر المتوسط **(Omran, 2019)**. وقد تم التقدير الكمي لمصادر السحب والفقد على النحو الأتي **(وزارة الري، ١٩٨٠)** و**(Negm, et al., 2019)** و**(Omran, 2019)**:

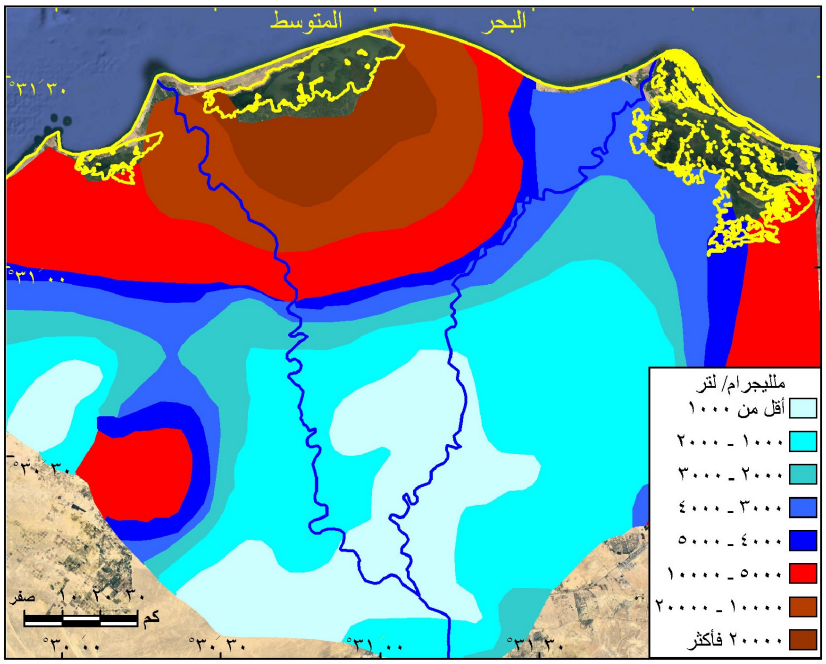
- ٥٠ مليون م^{٣}/ السنة من الخزان الجنوبي الغربي إلى وادي النطرون. وأشارت بعض الدراسات أن الكمية الإجمالية للمياه الجوفية المتدفقة من خزان دلتا النيل إلى خزان المغرة بين ٥٠ و ١٠٦ مليون متر مكعب/ سنة.
- ٩٧ مليون م^{٣}/ السنة في صورة تسرب رأسي إلى أعلى.
- ٢١٢ مليون م^{٣}/ السنة مياه منصرفة إلى فرعي دمياط ورشيد.
- قُدِّر إجمالي معدل الاستخراج السنوي في عام ١٩٨٠ بنحو ١.٦ مليار م^{٣}/ سنة مع زيادة كبيرة وصلت إلى ٢.٦ مليار م^{٣}/ سنة في عام ١٩٩١، و٣.٠٢ مليار م^{٣}/ سنة عام ١٩٩٧. بمقدار ٠.٨٦ و ١.٦ و ٠.٥٦ مليار م^{٣} سنويًا لمناطق دلتا النيل الغربية والوسطى والشرقية على التوالي، وفي عام ٢٠٠٣، بلغ إجمالي السحب السنوي ٣.٥ مليار م^{٣}/ سنة، موزعة كالآتي ٠.٩ و ٢.٠ و ٠.٦ مليار م^{٣}/ سنة لمناطق الدلتا الثلاث، وأخيراً عام ٢٠١٠، بلغ ٤.٦ مليار م^{٣}/ سنة.

٢-الخصائص الكيميائية

عندما يكون منسوب المياه الجوفية ضحلاً وتكون الخزانات الجوفية ذات نفاذية عالية، يزداد خطر التلوث، نتيجة وجد اتصال هيدروليكي بين المياه الجوفية والمياه السطحية، مما يسمح برشح الأسمدة والمبيدات والنفايات الصناعية، وتسرب مياه البحر؛ لذلك، هناك العديد من العوامل التي تسهم في تدهور جودة المياه الجوفية (شكل ١٧).

ويتضح من تحليل الشكل (١٧) زيادة تركيز الأملاح على ١٠٠٠٠ملليجرام/ لتر بالاتجاه شمالًا بالقرب من البحر المتوسط، وبعض المناطق المتاخمة لقناة السويس، في حين أن الغالبية العظمى من الدلتا تتراوح درجة الملوحة بها بين ٢٠٠٠ و ١٠٠٠٠ ملليجرام/ لتر وخاصة في الوسط والأطراف الشرقية والغربية للدلتا، أما المناطق التي تقل عن ٢٠٠٠ملليجرام/ لتر، تنتشر في جنوب الدلتا، حيث توجد بعض المناطق تنخفض بها الملوحة عن ١٠٠٠ملليجرام/ لتر بمنطقة رأس الدلتا، والتي تعد صالحة لجميع الاستخدامات البشرية.

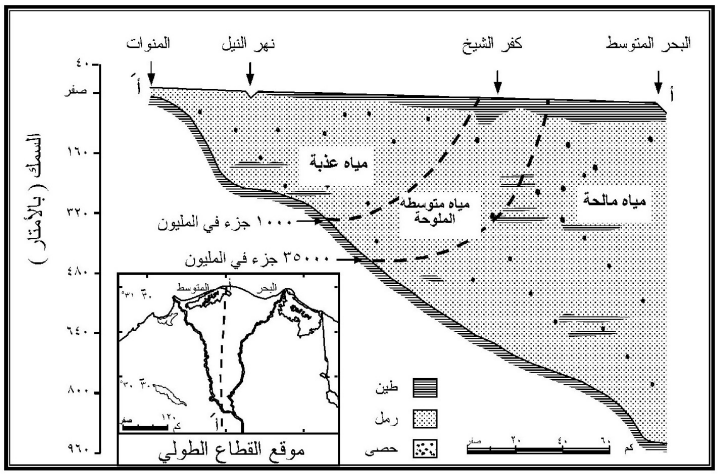
(ISSN: 2536 - 9555)



Source: Omran, 2019

شكل (١٧): درجة تركيز الأملاح في المياه الجوفية بمنطقة دلتا النيل

ويعد تسرب المياه المالحة أحد الأسباب الرئيسية لتدهور نوعية المياه الجوفية في منطقة شمال الدلتا، وتحدي رئيس في إدارة موارد المياه الجوفية في المناطق الساحلية، وقد تبين من الدراسات الهيدروجيولوجية تقدم جبهة مياه البحر داخل الدلتا واختلاطها بالمياه الجوفية العذبة (شكل١٨)، مما أدى إلى زيادة تركيز بعض العناصر الكيميائية بالمياه الجوفية، مثل: الصوديوم، والكلوريدات؛ ومن ثم زيادة تركيز الملوحة الكلية، حتى أصبحت غير صالحة لمعظم الاستخدامات. حيث لوحظ ارتفاع الملوحة بالاتجاه شمالًا حتى تحولها إلى مياه بحر. ويرجع السبب في إزاحة جبهة المياه المالحة وتقدمها في اتجاه الداخل إلى السحب المتزايد من المياه الجوفية وانخفاض التغذية من المياه السطحية؛ بسبب الاستخراج غير المخطط له والواسع النطاق للمياه الجوفية، والتي أدت إلى تدهور موارد المياه الجوفية المتاحة.



Source: Fatma, 2002

شكل (١٨): تداخل المياه البحرية والجوفية بمنطقة دلتا النيل

وأشارت بعض الدراسات أن سطح البحر سيرتفع مع نهاية القرن الواحد والعشرين إلى متر واحد فأكثر، وفي حالة ارتفاع منسوب سطح البحر إلى متر واحد سيؤدي إلى غمر المنطقة الشمالية من الدلتا بمتوسط ٢٢كم من الشاطئ، مما يعمل على إزاحة وتقدم جبهتي المياه المالحة والمياه متوسطة الملوحة إلى الجنوب بنفس المسافة **(صابر، ٢٠١٢)**. ولا يمكن إغفال أن التآكل الجاري حدوثه في شاطئ البحر المتوسط وخاصة بعد إنشاء السد العالي يعمل على تناقص سمك هذا الغطاء الطيني وزيادة توغل مياه البحر المالحة بالخزان الجوفي **(وزارة الري، ١٩٨٠)**.

والجدير بالذكر أن ارتفاع قاع الخزان الجوفي في غرب الدلتا ساعد على حمايته من تسرب مياه البحر المالحة إلى حد ما، إذ ثبت أن مياه البحر المتوسط تتوغل في شمال الدلتا بمحافظة كفر الشيخ لمسافات طويلة ورغم ذلك لم تؤثر هذه المياه المالحة المتقدمة على المياه الجوفية في غرب الدلتا بالشكل المتوقع **(الزوكة، ١٩٩٨)**.

وقد تبين من دراسة **(Omran, 2019)** أن المنطقة الانتقالية للمياه قليلة الملوحة والمياه المالحة يشكل إسفينًا يمتد إلى طبقة المياه الجوفية لمسافة ٩٠كم من الساحل. كما أدت التوسعات العمرانية والصناعية والزراعية إلى زيادة العبء على الاحتياجات المائية وأدت إلى تدهور جودة المياه الجوفية وخاصة مع نقص شبكات الصرف الصحي

(ISSN: 2536 - 9555)

في معظم المناطق الريفية، والأنشطة المنزلية والصناعية تزيد من المعادن الثقيلة والملوثات الصناعية والبكتيريا في المياه الجوفية. وبناء عليه تم تصنيف منطقة الدلتا إلى ثلاث مجموعات رئيسية: المجموعة الجنوبية عبارة عن مياه عذبة بشكل أساسي، وتتميز المجموعة الوسطى بالمياه قليلة الملوحة، مما يشير إلى عمليات الترشيح المصاحبة للري والمجموعة الشمالية عبارة عن مياه مالحة، مما يعكس تسرب مياه البحر. كما يرجع السبب في التركيزات العالية للأيونات الرئيسية، مثل: النترات والكبريتات والبوتاسيوم والفوسفات هو الاستخدام المكثف للأسمدة في الزراعة. كما تم العثور على تركيزات عالية من العناصر النادرة مثل المنجنيز والحديد والألمنيوم في الأراضي القديمة من طبقة المياه الجوفية في دلتا النيل بسبب إلقاء المخلفات الصناعية السائلة في نظام الصرف. وأن تركيزات الحديد والمنجنيز كانت أعلى في الأراضي القديمة بسبب الخصائص الطبيعية العامة للخزان الجوفي في دلتا النيل وأكثر وضوحا في المناطق ذات الغطاء الطيني. وأشارت إلى أن التلوث المحلي من المناطق الصناعية أدى أيضًا إلى تركيزات عالية من الرصاص في مدينة العاشر من رمضان (شرق الدلتا) ومدينة السادات (غرب الدلتا). كما تم العثور على تركيزات عالية من الكادميوم (Cd) في مدينة مبارك (وسط الدلتا).

ثالثاً ـ مخرجات مصفوفة التحليل الرباعي (SWOT) لخزان دلتا نهر النيل

تم تطبيق تحليل SWOT باعتباره أسلوب لتسهيل الإدارة المستدامة للمياه الجوفية للحفاظ على جودتها وحمايتها. وقد يمنح تقييم العناصر المذكورة سابقاً لتحليل SWOT صانعي القرار رؤى جديدة حول اختيار الاستراتيجيات المناسبة للإدارة المستدامة للمياه الجوفية، وقد تم تحديد مخرجات المصفوفة اعتماداً على التحليل السابق، والعديد من الدراسات التي اعتمدت عليها الدراسة والمذكورة بالمتن على النحو الآتي:

١ ـ نقاط القوة

أظهر ناتج تحليل SWOT أن نقاط القوة هي:

١. السمك الكبير لطبقة المياه الجوفية المشبعة، حيث تتراوح من ١٠٠ إلى ١٠٠٠م.

٢. طبقة المياه الجوفية في دلتا النيل واحدة من أكبر طبقات المياه الجوفية في مصر، بسعة إجمالية تبلغ ٤٠٠ مليارم^{٣}، وتمثل ٨٧٪ من إجمالي استخراج المياه الجوفية.
٣. ارتفاع المسامية والنفاذية للطبقة الحاملة للمياه الجوفية، ساعد ذلك على تغذيتها بشكل كبير.
٤. زيادة مناسيب المياه الجوفية بعد بناء السد العالي وخاصة في المناطق التي تستخدم مياه النيل باعتباره مصدر رئيس في الري.
٥. تحول في خطوط تساوي الملوحة نحو شاطئ البحر بسبب إنشاء السد العالي.
٦. ساعد ارتفاع قاع الخزان الجوفي في غرب الدلتا على حمايته من تسرب مياه البحر إلى حد ما.
٧. تغطي المناطق ذات الجودة العالية للمياه الجوفية الجزء الجنوبي والأوسط من الدلتا.

٢ ـ نقاط الضعف

أظهر ناتج تحليل SWOT أن نقاط الضعف هي:

١. يتناقص سمك الخزان الجوفي في شرق وغرب دلتا النيل.
٢. تتميز المناطق ذات الإمكانات المنخفضة في أطراف غرب دلتا النيل بالمياه الجوفية العميقة ونوعية المياه الرديئة في المناطق التي يتجاوز فيها عمق المياه الجوفية ٨٠ مترًا من سطح الأرض، ولا يكون استغلال المياه الجوفية ممكنًا اقتصاديًا.
٣. تتسم طبقة المياه الجوفية شرق الدلتا بإمكانية متوسطة إلى منخفضة وبتغذيتها المحدودة في مقابل الإفراط في استخراج المياه الجوفية.
٤. انخفاض شديد في مناسيب المياه الجوفية وتدهور نوعيتها في المناطق التي تعتمد المياه الجوفية فقط في الري وخاصة في أطراف دلتا النيل.
٥. تسرب المياه المالحة إلى طبقات المياه الجوفية العذبة في محافظات شمال دلتا النيل.

(ISSN: 2536 - 9555)

٣ ـ نقاط التهديدات

أظهر ناتج تحليل SWOT أن نقاط التهديدات _المواقف التي قد تسبب مشاكل_ هي:

١. الاستنزاف المستمر للمياه الجوفية الناتج عن الاستغلال المفرط على المدى الطويل أدت في بعض الحالات إلى عدد من النتائج الخطيرة، مثل: تملح طبقات المياه الجوفية، وهبوط الأرض، وبعض المشاكل مع المياه الجوفية الضحلة والتي أثرت سلبًا على الإنتاج الزراعي مثل تملح التربة الثانوي والتشبع بالمياه (تغدق التربة).

٢. عدم التنسيق بين المعاهد والجامعات ومراكز البحوث والوزارات المعنية بالمياه الجوفية.

٣. ضعف الوعي لدى مستخدمي المياه عامة بأهميتها وضرورة استدامتها وترشيد استخدامها والمحافظة عليها من التلوث وتطوير طرق الري القديمة في دلتا النيل.

٤. الآبار الضحلة التي يتم تشغيلها بواسطة المضخات اليدوية تستخدم على نطاق واسع للأغراض المنزلية وخاصة في المجتمعات الريفية في دلتا النيل، مما سبب انخفاض في تدفق المياه العذبة إلى البحر، وهذا الأمر ضروري للحفاظ على توازن السطح البيني بين المياه المالحة والمياه العذبة.

٥. يتعرض التوازن الإيكولوجى للاضطراب بسبب الاستخراج المفرط لمياهه الجوفية؛ مما أدى إلى تسرب مياه البحر نتيجة الضغوط الطبيعية (التغيرات المناخية) والضغوط البشرية (الضخ الزائد) نتج عنه زيادة مستويات ملوحة المياه الجوفية، وكذلك نقل الملوثات من المصادر السطحية للمياه الجوفية، مما جعلها غير صالحة لمعظم الاستخدامات.

٦. محدودية الموارد المائية مقابل تزايد الطلب على المياه في ظل التزايد السكاني والنمو الاقتصادي والزراعي، فالكمية الحالية المسحوبة لا تسمح باستغلال أي إمكانية إضافية لاستخراج المياه الجوفية.

٧. تناقص حصة مصر من الموارد المائية المشتركة في حال نمو الاحتياجات المائية لدول المنبع وسعيها لاستثمار كمية أكبر من المياه بمختلف الوسائل.
٨. تلوث المياه الجوفية عن طريق الزراعة والتسرب من النفايات السائلة المنزلية والصناعية قد بلغ بالفعل مستويات مقلقة.
٩. يشكل الاستخدام المتزايد للمياه الجوفية لأغراض الري تهديدًا خطيرًا للأمن الغذائي، خاصة في المناطق التي تعتمد على المياه الجوفية بوصفه مصدر وحيد للري. ويمكن أن يؤدي استنفاد طبقة المياه الجوفية إلى تدهور بيئي كبير، مثل هبوط الأرض وتسرب مياه البحر.

٤ ـ نقاط الفرص

يتطلب الحفاظ على نوعية المياه الجوفية وكميتها للاستخدام المستدام نهج إدارة متكامل؛ لتجنب أي تدهور في جودتها.

أظهر ناتج تحليل SWOT أن نقاط الفرص هي:

١. تنوع مصادر تغذية المياه الجوفية في منطقة دلتا النيل (إجمالي ما يكتسبه الخزان الجوفي حوالي ٢.٦مليار م^{٣}/ السنة).
٢. تخصيص مناطق تغذية للمياه الجوفية، لتساعد في حمايتها وزيادة سعتها التخزينية.
٣. معالجة مياه الصرف الصحي ومياه المصارف قبل استخدامها في الري، وهي إحدى طرق لتقليل الضغط على عملية سحب المياه الجوفية والحفاظ على جودتها، حيث ينتج عن إعادة استخدام (معالجة) ما يقرب من ١٧ مليار م^{٣}.
٤. وجود العديد من الهيئات والمؤسسات المحلية والإقليمية والدولية المعنية بالموارد المائية، لكنها تحتاج لمواءمة الخبرات في الإدارة المتكاملة لنظم طبقات المياه الجوفية.
٥. التثقيف البيئي للسكان في إدراك أهمية المعرفة والتدريب في إدارة موارد المياه الجوفية (التربية البيئية).

(ISSN: 2536 - 9555)

٦. إعداد خطة إدارة متكاملة تتضمن إعداد خرائط رقمية مميزة لتوزيع المياه الجوفية وعمقها وتحديد الاستخراج الآمن.
٧. مراقبة جمع البيانات وتحليلها يوفر المعلومات التي تسمح بقرارات إدارية بشأن جميع أنواع قضايا استدامة موارد المياه الجوفية.
٨. السيطرة أو منع حفر الآبار خاصة في شمال دلتا النيل بالقرب من البحر المتوسط، وزيادة التغذية الجوفية.
٩. رصد المياه السطحية والجوفية إجراءً مهمًا للغاية لتحسين جودة المياه الجوفية، وتجنب إمدادات المياه الجوفية المالحة ومنع تلوث المياه الجوفية في منطقة دلتا النيل.
١٠. وجود دراسات هيدروجيولوجية حديثة تتضمن بناء نماذج تقييم دقيق ومستمر والتي تساهم في تخطيط استراتيجيات أفضل لاستدامة المياه الجوفية.
١١. الإدارة المتكاملة لاستخدام الأسمدة في المناطق الزراعية لمنع تلوث المياه الجوفية ومراقبة المياه السطحية والجوفية من الإجراءات المهمة جدًا لتحسين جودة المياه الجوفية لتحقيق الأهداف المستدامة طويلة الأجل.
١٢. تحسين المستوى الحالي لكفاءة الري الزراعي والانتقال إلى طرق الري الحديث.

المراجـــع:

اولاً ـ المراجع العربية:

١. دراج، عمرو محمد سامي طه، ٢٠١٩: كيفية الاستفادة من المياه الجوفية باستخدام المقننات المائية لتنمية الزراعة في مصر، المجلة العلمية للاقتصاد والتجارة، جامعة عين شمس، العدد ٣.
٢. دسوقي، صابر أمين؛ وصابر، أحمد إبراهيم؛ ومصطفى، إسلام سلامة؛ وأمين، هبة صابر، ٢٠١٧: التقييم الجغرافي لسد النهضة وتأثيره على مصر، بالمؤتمر الدولي الأول لمركز البحوث الجغرافية والكارتوجرافية "مؤتمر الموارد المائية في الوطن العربي بين المعوقات وأفاق التنمية" ٩-٢٠١٧/١٢/١١ بكلية الآداب جامعة المنوفية.

٣. دسوقي، صابر أمين ؛ و صابر، أحمد إبراهيم؛ وشلبي، منال سمير؛ و البنا، أميرة محمد، ٢٠١٣: بعض الأخطار البيئية بمنطقة شمال دلتا نهر النيل باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، (مشترك)، مؤتمر خمسون عاماً على العمل الوحدوي الأفريقي" ٢٢-٢٣/٥/٢٠١٣، بمعهد البحوث والدراسات الأفريقية، جامعة القاهرة.

٤. الزوكة، محمد خميس، ١٩٩٨: جغرافية المياه، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية.

٥. صابر، أحمد إبراهيم محمد، ٢٠٠٤: المياه الأرضية وتأثيرها في مركز الزقازيق دراسة جغرافية، رسالة ماجستير، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة بنها (فرع الزقازيق).

٦. صابر، أحمد إبراهيم محمد، ٢٠١١: تداخل المياه البحرية والجوفية بمنطقة شمال الدلتا بين فرعي دمياط ورشيد: دراسة هيدروجيومورفولوجية، الجمعية الجغرافية المصرية، العدد ٣٨.

٧. صابر، أحمد إبراهيم محمد، ٢٠١٥: تحليل التغيرات الجيوبيئية للأراضي الرطبة شرق بحيرة المنزلة باستخدام الخرائط الطبوغرافية والمرئيات الفضائية ونظم المعلومات الجغرافية، الجمعية الجغرافية الكويتية، الكويت، العدد ٤١٩.

٨. صابر، أحمد إبراهيم محمد، ٢٠١٦: المحددات الهيدروجيومورفولوجية للتنمية الزراعية شمال سهل القاع، مجلة الشرق الأوسط، جامعة عين شمس، العدد ١٨.

٩. صابر، أحمد إبراهيم محمد،٢٠١٩: التقييم الجيومورفولوجي لمنطقة بحيرة الدقهلية المطمورة وتأثيرها على التربة، مجلة كلية الآداب، جامعة بورسعيد، العدد ١٣.

١٠. العجمي، حسن شليويح عبدالله، والشايب؛ حسن محمد، و عبدالحميد، أحمد جمال الدين، ٢٠١٦: المياه الجوفية في مصر، مجلة الدراسات والبحوث البيئية، معهد الدراسات والبحوث البيئية، جامعة مدينة السادات.

١١. محمد، هبة؛ وجرعا، لمى، ٢٠١٧: تحليل واقع قطاع الموارد المائية في سورة باستخدام تحليل SWOT ، مؤتمر التقانات الحديثة في تصميم وتشيد المنشآت الهندسية.

١٢. وزارة الري، ١٩٨٠ : مشروع دراسة معامل الأمان للخزانات الجوفية بالدلتا والوجه القبلي، القاهرة.

(ISSN: 2536 - 9555)

ثانيًا ـ المراجع الأجنبية:

1. Abdel Moneim, A. A., 2005: Overview of the Geomorphological and Hydrogeological Characteristics of the Eastern Desert of Egypt, Hydrogeology Journal , pp. 13:416–425.
2. Abeer M.M. Soliman and Mostafa M. Solimsn, 2019: Groundwater Potential in the New Valley South West of the Nile Delta in Egypt, The Handbook of Environmental Chemistry, Springer International Publishing AG, part of Springer Nature .
3. Ahmed Mohamed, Mohamed Sultan, Mohamed Ahmed, Eugene Yan, and Ezzat Ahmed, 2017: Aquifer recharge, depletion, and connectivity: Inferences from GRACE, land surface models, and geochemical and geophysical data, GSA Bulletin; May/June 2017; v. 129; no. 5/6; p. 534–546; doi: 10.1130/B31460.1; 10 figures; 1 table; published online 22 December 2016.
4. Al-Agha, D.; Closas, A. and Molle, F., 2015: Survey of groundwater use in the central part of the Nile Delta, Groundwater Research Institute, Cairo.
5. Chris B., 1987: Water Resources and Agricultural Development in the Tropics, John Wiley and Sons, New York.
6. Dawoud, M.A.; Darwish, M. and El-kady, M., 2005. GIS-based groundwater management model for western Nile Delta. Water Resour. Manage. 2005 (19), 585–604.
7. El Nahry A. H.; Elewa H. H., and Qaddah A. A., 2010: Soil and Groundwater Capability of East Oweinat Area, Western Desert, Egypt Using GIS Spatial Modeling Techniques, Nature and Science, http://www.sciencepub.net/nature.
8. El-Menayar, M., 1999 : Salt- Water Intrusion Studies on the Northern Part of the Nile Delta of Egypt, M. SC., Thesis, Fac. Of Science, Minufiya University.
9. Ebtehal Sayed, Peter Riad, Salwa Elbeih, Mona Hagras and Ahmed A. Hassan, 2019: Multi criteria analysis for groundwater management using solar energy in Moghra Oasis, Egypt, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences 22 , 227–235.

10. Essam Hassan Mohamed Ahmed, 2013: Nubian sandstone aquifer system, Merit Research Journal of Environmental Science and Toxicology Vol. 1(6) pp. 114-118.
11. Fatma A., 2002 : Priority Aquifer Systems, IHP Network on Ground Water Protection in the Arab Region, Technical Documents in Hydrology, UNESCO, Paris.
12. Gomaa, Mohamed A., 2016: Estimation of Recharge Quantity of the Fractured Basement Aquifer in the Southern Portion of Eastern Desert, Egypt; Critical importance of the Hydrological and Chemical Criteria, Middle East Journal of Applied Sciences, Volume, 06, Issue 04 | Oct.-Dec. pp. 759-773.
13. Madih, M., 1982 : Calibration of one – Dimensional Steady State Sea Water Intrusion Model for Nile Delta Aquifer, M. SC., Thesis , Fac. Of Engineering , Cairo University.
14. Nader Noureldeen Mohamed, 2019: Use of Groundwater in Nile Alluvial Soils and Their Fringes, p.121. Groundwater in the Nile Delta, The Handbook of Environmental Chemistry, Springer International Publishing AG, part of Springer Nature .
15. Negm, Abdelazim M., Sameh Sakr, Ismail Abd-Elaty, and Hany F. Abd Elhamid, 2019: An Overview of Groundwater Resources in Nile Delta Aquifer, p.8. The Handbook of Environmental Chemistry, Springer International Publishing AG, part of Springer Nature .
16. Omran, El-Sayed Ewis, 2019: Land and Groundwater Resources in the Egypt's Nile Valley, Delta, and Its Fringes,The Handbook of Environmental Chemistry, Springer International Publishing AG, part of Springer Nature .
17. Quadri, Elena, 2017: The Nubian Sandstone Aquifer System – A case of cooperation in the making, International water Resources Association (IWRA), Cancun, Quintana Roo, Mexico. 29 may-3 June.
18. Rania Mohammed Ragab, Nagy Ali Ali, Medhat El-Bihery and Peter Hany Sobhy, 2019: Management Scenarios of Moghra Aquifer, Western Desert, Egypt, Al-Azhar University Civil Engineering Research Magazine (CERM) Vol. (41) No. (2) April.
19. Praveena, Sarva Mangala and Aris, Ahmad Zaharin, 2009: A review of groundwater in islands using SWOT analysis, World

(ISSN: 2536 - 9555)

Review of Science, Technology and Sust. Development, Vol. 6, Nos. 2/3/4.

20. Saber, A. I. M., 2013: Water Springs in Hammam Faraun Area on the Eastern Coast of the Gulf of Suez as A model for the Thermal and Sulfur Springs "A Study in Physical Geography", Journal of Middle East Research, Ain Shams University, Vol : 33
21. Saber, A. I. M., 2022: Wetland Quality for Sustainable Development Northwest of the Suez Canal: Components and Constraints, Journal of Sustainable Development in Social and Environmental Sciences, Port Said University, Issue No. 1.
22. Salim A. (1986) Inter-relation between the High Dam Reservoir and the groundwater in its vicinity. PhD Dissert Fac Sci Aswan. Assuit University, Egypt.
23. Sefelnasr, Ahmed M., 2007: development of groundwater flow model for water resources management in the development areas of the western desert, Egypt, Ph.D., Thesis, faculty of natural sciences, martin luther university halle-wittenberg.
24. Shuhab, D.; Mohamed, S. and Abdelazeem, M., 2014: Remote sensing and geophysical investigations of Moghra Lake in the Qattara Depression, Western Desert, Egypt, Geomorphology 207, pp. 10–22.
25. Sherif, M. and Singh, V., 2002: Effect of Groundwater Pumping on Seawater Intrusion in Coastal Aquifers, Agricultural Sciences, 7(2): 61-67.
26. Voudouris, P. Diamantopoulou, 2008: Optimization of water resources management using SWOT analysis: the case of Zakynthos Island, Ionian Sea, Greece, Environ Geol , 54:197–211.
27. Wael Elham Mahmod, 2019: Groundwater Modelling and Assessment Under Uncertain Hydrological Conditions for Egyptian Sahara, p.550. The Handbook of Environmental Chemistry, Springer International Publishing AG, part of Springer Nature .