



الجمعية الجغرافية المصرية

**تداخل المياه البحرية والجوفية بشمال الدلتا
بين فرعي دمياط ورشيد
"دراسة هيدروجيومورفولوجية"**

الدكتور/ أحمد إبراهيم محمد صابر

مدرس الجغرافيا الطبيعية،

كلية التربية - جامعة بورسعيد

سلسلة بحوث جغرافية

العدد الثامن والثلاثون - 2011

فهرس المحتويات

صفحة	الموضوع
1	المقدمة.
6	أولاً : العوامل المؤثرة على هيدروديناميكية جبهة تداخل مياه البحر والمياه الجوفية بمنطقة الدراسة.
6 11 13 18 21 25	(1) الخصائص الجيولوجية. (2) البنية. (3) الخصائص الهيدروجيولوجية. (4) حركة المياه الجوفية. (5) الميزانية المائية للخران الجوفي. (6) الخصائص الطبيعية والكيميائية لمياه البحر.
28	ثانياً : صور تداخل مياه البحر المالحة والمعابير المحددة لها.
37	ثالثاً : الآثار الجيومورفولوجية الناجمة عن هيدروديناميكية جبهة تداخل المياه البحرية والجوفية والأخطار الجيومورفولوجية الناجمة عنها بمنطقة الدراسة.
38 46 49	(1) تلوث المياه الجوفية. (2) ملوحة التربة. (3) القدرة الإنتاجية للأراضي.
57	رابعاً : سيناريوهات تأثير التغيرات المناخية المتوقعة على هيدروديناميكية جبهة تداخل المياه البحرية والجوفية بمنطقة الدراسة.
66	خامساً : أساليب مواجهة الأخطار الجيومورفولوجية المرتبطة بهيدروديناميكية جبهة تداخل المياه البحرية والجوفية بمنطقة الدراسة.
67	الخاتمة والنتائج.
69	المراجع.

فهرس الجداول

م	عنوان الجدول	صفحة
1.	الخصائص الكيمائية لمياه البحر المتوسط شمال الدلتا عام 2010.	27
2.	تطور مساحة جبهة تداخل مياه البحر والمياه الجوفية بمنطقة الدراسة.	33
3.	متوسط الخصائص الكيمائية للمياه الجوفية (جزء في المليون) بمنطقة الدراسة في الفترة من 2000 إلى 2010م.	39
4.	درجة تركيز الملوحة المؤثرة (النادرة) ملليمكافئ/لتر بمنطقة الدراسة.	43
5.	تأثير الكلوريدات والكبريتات على نوعية مياه الري.	44
6.	تصنيف الأراضي حسب قدرتها الإنتاجية بمحافظة الغربية عام 2007م.	50
7.	متوسط إنتاجية الفدان لبعض المحاصيل الزراعية بمنطقة الدراسة.	54
8.	سيناريوهات تغير درجة الحرارة وارتفاع منسوب سطح البحر في القرن الواحد والعشرين.	59
9.	سيناريوهات ارتفاع منسوب سطح البحر في القرن الواحد والعشرين.	60

فهرس الأشكال

صفحة	عنوان الشكل	م
4	الموقع العام.	1.
7	التطور الجيومورفولوجي للدلتا وتكوينات الخزان الجوفي.	2.
12	خريطة الصدوع لدلتا النيل.	3.
13	قطاع هيدروجيولوجي في دلتا النيل من الشمال إلى الجنوب.	4.
15	سمك الخزان الجوفي (رواسب البليستوسين) بمنطقة الدراسة.	5.
15	سمك المياه الجوفية العذبة بمنطقة الدراسة.	6.
17	قطاع جيولوجي طولي بالدلتا.	7.
18	قطاع جيولوجي عرضي شمال الدلتا.	8.
19	الحركة الأفقية للمياه الجوفية بالدلتا.	9.
20	الحركة الرأسية للمياه الجوفية بمنطقة الدراسة.	10.
24	سيناريوهات تأثير الضخ على هيدروديناميكية جبهة تداخل مياه البحر والمياه الجوفية بالدلتا.	11.
29	رسم تخطيطي لتوضيح المنطقة الحدية لخزان جوفي حر.	12.
31	تأثير جبهة التداخل على ديناميكية المياه الجوفية بمنطقة الدراسة.	13.
35	تطور درجة الملوحة بمنطقة الدراسة.	14.
35	قطاع هيدروجيولوجي طولي بالدلتا.	15.
37	تطور نسبة ريفيل بمنطقة الدراسة.	16.
40	تصنيف ملوحة المياه الجوفية لغرض الشرب بمنطقة الدراسة.	17.
44	تركز الملوحة المؤثرة بمنطقة الدراسة.	18.
46	ملوحة التربة بمنطقة الدراسة.	19.
51	تصنيف أراضي منطقة الدراسة حسب القدرة الإنتاجية.	20.

56	العلاقة بين درجة الملوحة وإنتاجية بعض المحاصيل بمنطقة الدراسة.	21.
62	الخريطة الكنتورية لمنطقة الدراسة.	22.
62	سيناريو تأثير ارتفاع منسوب سطح البحر متر واحد على منطقة الدراسة.	23.
64	سيناريوهات تأثير ارتفاع منسوب سطح البحر على هيدروديناميكية جبهة تداخل مياه البحر والمياه الجوفية بمنطقة الدراسة.	24.

المقدمة

تلعب المياه الجوفية العذبة دوراً مهماً في التنمية الاقتصادية والاجتماعية للمناطق الساحلية؛ حيث يلجأ إليها لسد الحاجات المتزايدة سواء لتزويد السكان بالماء الصالح للشرب، والصناعة، وري السهول الساحلية للتنمية الزراعية. لكن الاستعمال المتزايد لهذه المياه الجوفية بشكل غير سليم يؤدي إلى استنزافها وهبوط حاد لمنسوب المياه الجوفية، ينتج عنه تقدم جبهة المياه المالحة البحرية لتكتسح المياه العذبة الساحلية فتلوثها.

والنظرية العامة التي نحن بصددتها هي التفاعل بين بعدين أساسيين، هما: المياه البحرية المالحة والمياه الجوفية العذبة، والنظرية في أبسط صورها عبارة عن دراسة حالة الاتزان التي يمكن أن توجد بين سائلين قابلين للذوبان ومختلفين في الكثافة، وتتولد منطقة التداخل بينهما، المياه العذبة الأقل كثافة (الأقل وزناً) والمياه المالحة الأكبر كثافة (الأكبر وزناً).

ورغم أن هذا البحث يتناول دراسة هيدروديناميكية جبهة تداخل مياه البحر مع المياه الجوفية العذبة بمنطقة شمالي دلتا نهر النيل إلا أنه في الحقيقة أشمل من ذلك بكثير؛ وذلك نظراً لأن هذه المشكلة تحولت إلى معضلة بيئية دولية حقيقية. فقد توصل الباحث جوهر كرو إلى عمق هذه المشكلة، حيث أشار إلى أن آخر الإحصائيات تثبت أن هناك أكثر من 50% من سكان العالم اليوم يعيشون في مناطق لا تبعد عن شواطئ البحار والمحيطات بأكثر من 100 كم تقريباً، كما أن جميع المناطق الشاطئية تعاني من كثافة سكانية مرتفعة، مما أدى إلى تراجع منسوب المياه الجوفية في هذه المناطق، وبالتالي تداخل مياه البحر المالحة مع ما تبقى من المياه الجوفية العذبة (Jaouher Kerron, 2008).

وتمثل ظاهرة تداخل مياه البحر خطراً شديداً على الخزان الجوفي العذب عندما تكون طبقات هذا الخزان على اتصال جيولوجي وهيدروليكي مع البحر. وهناك حالتان من الاتصال، أولهما عند شاطئ البحر، وفي هذه الحالة تتصرف المياه الجوفية المتحركة بالخزان إلى البحر مباشرة من خلال سطح التسرب، وثانيهما أن يكون هذا الاتصال على مسافة من شاطئ البحر في داخل الخزان وفي هذه الحالة لا يوجد سطح للتسرب وتتصرف المياه الجوفية المتحركة بالخزان إلى البحر عن طريق غير مباشر في صورة تسرب رأسي إلى أعلى. ويزداد هذا الخطر عندما يقل الانحدار الهيدروليكي للضغوط البيزومترية بالخزان الجوفي، الأمر الذي يؤدي إلى تناقص كميات المياه الجوفية المتحركة بالخزان، ومن ثم يؤدي إلى اختلال حالة الاتزان بين المياه الجوفية العذبة ومياه البحر المالحة، مما ينتج عنه حدوث زيادة في تقدم مياه البحر المالحة إلى داخل الخزان الجوفي. في هذه الحالة يكون استغلال المياه الجوفية عديم الفائدة.

الهدف من البحث :

- تهدف هذه الدراسة إلى تقييم التغيرات الخاصة بظاهرة تداخل مياه البحر واختلاطها بالمياه الجوفية وأسبابها وحركتها والعوامل المؤثرة فيها.
- دراسة الآثار الجيومورفولوجية الناجمة عن تداخل مياه البحر واختلاطها مع المياه الجوفية العذبة، مع تحديد درجات الخطورة الناجمة عن هذا التداخل، مثل زيادة ملوحة كل من المياه الجوفية والترية، ومن ثم انخفاض إنتاجية المحاصيل، مع رسم خرائط توضح درجات الخطورة.
- تحليل السيناريوهات المحتمل حدوثها في السنوات المقبلة، مثل التغيرات المناخية المتوقعة وما يتبعها من سيناريوهات احتمال زيادة معدلات ارتفاع

منسوب سطح البحر، وما قد يتبع ذلك من تغيرات للظروف الهيدرولوجية للخرزان الجوفي.

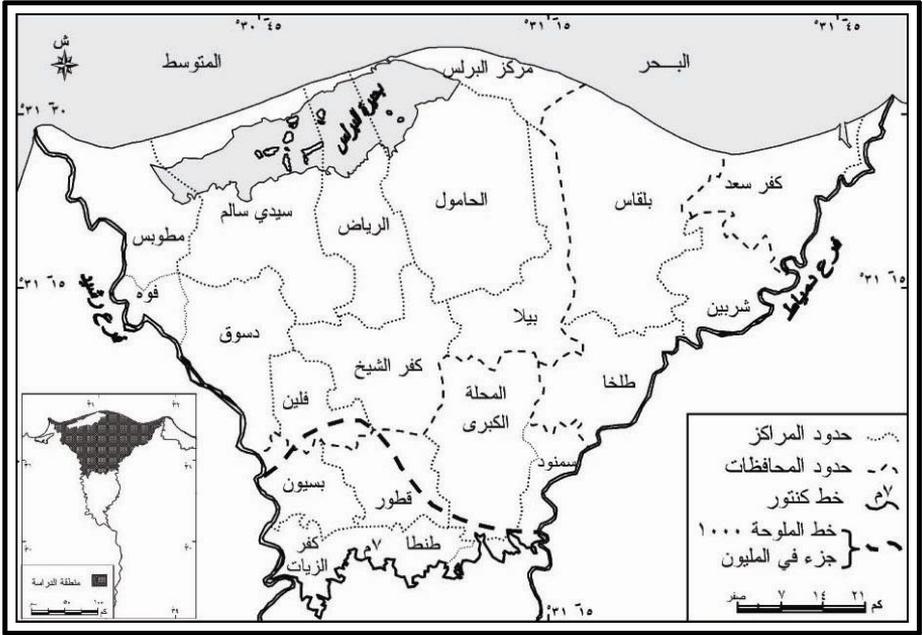
ولتحقيق هذه الأهداف تم اختيار منطقة شمال الدلتا؛ حيث إن الخصائص الهيدرولوجية للخرزان الجوفي تجعله من الخزانات شديدة الحساسية لأي تغير سواء كان هذا التغير طبيعياً أو نتيجة فعل الإنسان؛ وذلك بسبب الاتصال الهيدروليكي بين الخزان الجوفي ومياه البحر، حيث يصل سمك طبقات الخزان الجوفي حوالي 1000 متر، مما يؤدي إلى زيادة امتداد جبهة تداخل مياه البحر المالحة بالخرزان الجوفي، لذلك فإن أي تنمية للمياه الجوفية بالدلتا لابد وأن يسبقها دراسة لتقييم وضع جبهة التداخل.

تحديد منطقة الدراسة :

تمتد منطقة الدراسة بين دائرتي عرض $30^{\circ} 46' 30''$ و $31^{\circ} 34' 30''$ شمالاً، وبين خطي طول $30^{\circ} 21' 42''$ و $31^{\circ} 50' 43''$ شرقاً. ويبلغ أقصى امتداد لمنطقة الدراسة من الغرب إلى الشرق 140.85 كم، ومن الجنوب إلى الشمال 86.55 كم. وتبلغ مساحتها 6571.67 كم² (شكل 1).

ويحيط منطقة الدراسة من الشمال البحر المتوسط ، ومن الشرق فرع دمياط، ومن الغرب فرع رشيد، ومن الجنوب تم تحديده مع خط كنتور 7 أمتار فوق مستوى سطح البحر.

وقد تم تحديد خط كنتور 7 أمتار كحد جنوبي لمنطقة الدراسة، اعتماداً على الدراسات الهيدروجيولوجية السابقة التي تناولت ظاهرة تداخل مياه البحر شمال الدلتا، حيث تبين أن أقصى تأثير أو امتداد لجبهة المياه المالحة داخل الدلتا واختلاطها بالمياه الجوفية تصل إلى خط كنتور 7 أمتار، والتي تقع جنوب مركز سنود، جنوب شرق منطقة الدراسة (شكل 1).



المصدر: الهيئة المصرية العامة للمساحة، مقياس 1 : 100000، 1995م. Kamal, 2000, p. 61.

شكل (1) : الموقع العام.

مناهج البحث :

اعتمدت الدراسة على عدة مناهج، هي:

- **منهج النظم البيئية** : ويؤكد هذا المنهج على العلاقات المتبادلة بين العناصر أكثر من التركيز على كل عنصر على حده، هذا فضلاً على اعتباره الأساس العلمي للتنبؤ بالتفاعلات بين الخصائص الطبيعية والإنسان.
- **المنهج التاريخي** : لدراسة تطور التغيرات الخاصة بظاهرة تداخل مياه البحر المالحة واختلاطها مع المياه الجوفية العذبة.
- **المنهج الموضوعي** : حيث يبحث في القوانين كوسائل لتفسير المشكلة محل الاهتمام، وكذلك مدى ارتباطها بالمتغيرات.

أساليب ووسائل الدراسة :

اعتمدت الدراسة على عدة أساليب ووسائل، مثل : الأسلوب الإحصائي، والأسلوب الكارتوجرافي، والتحليلات المعملية، وبرامج نظم المعلومات الجغرافية GIS، والدراسة الميدانية.

وقد اعتمدت هذه الدراسة على المصادر الآتية :

- المرئيات الفضائية من نوع Landsat TM ، عام 2005م، الصادرة عن الهيئة المصرية العامة للاستشعار عن بعد.
- الخرائط الطبوغرافية، مقياس 1:50000، طبعة 1995-1996، الصادرة عن الهيئة المصرية العامة للمساحة، وعددها 21 خريطة.
- كما تم الاعتماد على الدراسات التي قام بها كلاً من معهد بحوث المياه الجوفية، ومعهد بحوث الأراضي والمياه والبيئة، والدراسات الجيولوجية والهيدرولوجية، إلى جانب الدراسات الجغرافية السابقة - والتي سوف يشار إليها في قائمة المراجع - هذا بالإضافة إلى الدراسة الميدانية.

ويضم هذا البحث الموضوعات التالية:

- أولاً : العوامل المؤثرة على هيدروديناميكية جبهة تداخل مياه البحر والمياه الجوفية بمنطقة شمال الدلتا.
- ثانياً : صور تداخل مياه البحر المالحة والمعايير المحدد لها.
- ثالثاً : الآثار الجيومورفولوجية الناجمة عن تداخل مياه البحر والأخطار الجيومورفولوجية الناجمة عنها بمنطقة شمال الدلتا.
- رابعاً : سيناريوهات تأثير التغيرات المناخية المتوقعة على هيدروديناميكية جبهة تداخل المياه البحرية والجوفية بمنطقة شمال الدلتا.

وفيما يلي دراسة هذه الموضوعات دراسة تفصيلية:

أولاً : العوامل المؤثرة على هيدروديناميكية جبهة تداخل مياه البحر

والمياه الجوفية بمنطقة الدراسة :

(1) الخصائص الجيولوجية لمنطقة الدراسة :

تتحكم الظروف الجيولوجية والهيدرولوجية في توزيع المياه الموجودة تحت سطح الأرض بصورها المختلفة، حيث تحدد مقدار ما يتسرب من المياه السطحية إلى داخل الأرض (فخري موسى نخلة، 1985، ص 184). كما أن دراسة البنية الجيولوجية لمنطقة الدراسة تضىء سمة مميزة لهيدرولوجية المياه الجوفية، وتأتي في المرتبة الأولى من الاهتمام باعتبار أن الخواص الهيدروليكية⁽¹⁾ للمياه الجوفية تتأثر بالدرجة الأولى بالطبقات الأرضية.

وقد مرت دلتا نهر النيل خلال تاريخها الجيولوجي بمراحل تطور مختلفة بداية من عصر الميوسين وحتى العصر الحديث ؛ نتيجة عدة عوامل متداخلة ومتربطة كالارتفاع والهبوط والنحت والترسيب والقوق والطيات؛ حيث تأثرت خلالها دلتا نهر النيل حتى أخذت وضعها الراهن (شكل 2).

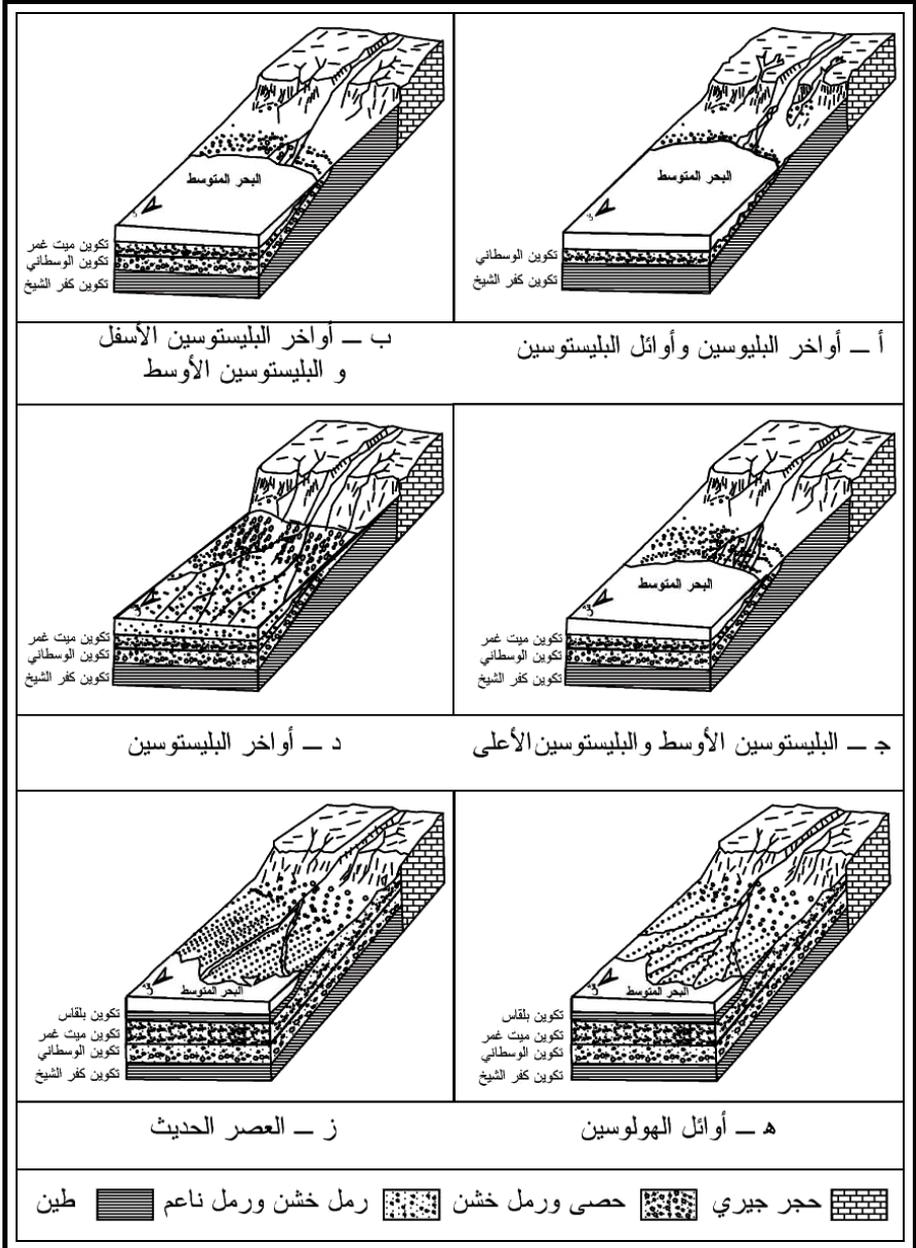
وفيما يلي عرض للتطور الجيولوجي لدلتا نهر النيل عبر العصور

الجيولوجية المختلفة:

أ. عصر الميوسين:

تعرضت الأراضي المصرية في أوائل عصر الميوسين إلى حركة انخفاض مما أدى إلى طغيان البحر على الأجزاء الشمالية من مصر حتى بلغ المناطق الجنوبية لخليج السويس (Said, 1990, p. 337).

(1) يقصد بالخواص الهيدروليكية : النفاذية، ومعامل التوصيل، وسمك الطبقة الحاملة للمياه الأرضية، ومعامل التخزين، والانحدار الهيدروليكي (عبد الوارث محمد، 1988، ص 1).



المصدر: Zaghloul, 1989, pp. 477-485

شكل (2) : التطور الجيومورفولوجي للدلتا وتكوينات الخزان الجوفي.

توقف انخفاض البحر في أواخر عصر الميوسين، وتعرضت الأراضي المصرية لحركات أرضية عنيفة أدت إلى ارتفاعها، وقد نتج عن ذلك حدوث اضطرابات في نظم جريان المياه التي كانت تجري فوق أرض مصر، وحينئذ ظهر نهر النيل الحالي للمرة الأولى (صفي الدين، 1999، ص 72).

ب. عصر البليوسين :

أثناء القسم الأول من البليوسين بدأت عملية هبوط كبيرة في يابس الأرض مؤدية إلى ارتفاع نسبي وتدرجي في منسوب سطح البحر، وذلك حتى منتصف البليوسين؛ حيث وصل منسوب هذا البحر إلى 180 متراً فوق منسوبه الحالي ولقد نتج عن ذلك تراجع خط الشاطئ صوب الجنوب إلى القاهرة، وامتدت مياه البحر على طول وادي النيل محولة جزءاً طويلاً منه إلى خليج بحري. وقد توقفت حركة هبوط اليابس في البليوسين الأعلى، وأعقبها حركة ارتفاع عظيم، وكلما انحسر البحر عن المنطقة تقدم النهر فيها، ولكن قبل أن تبدأ عملية الارتفاع هذه كان الخليج البحري قد امتلاء بالترسيبات الحصوية والرملية التي أتت بها الأنهار الرافدية، وكذلك عمليات الانهيارات الأرضية على جانبي الوادي، وحينئذ كان النهر يلقي بكميات كبيرة من الحصى والرمال، والتي انتشرت على شكل دلتا (على عبد الوهاب شاهين، 1978، ص 12). وتعتبر هذه الفترة تطوراً لترسيبات الدلتا، ويطلق عليها اسم تكوين الوسطاني. ويمثل تكوين الوسطاني القاعدة والأساس التي بنيت فوقها رواسب الدلتا (تكوين ميت غمر وتكوين بلقاس)، ويختلف سمك هذا التكوين من مكان لآخر داخل منطقة الدراسة، وقد بلغ متوسط سمك تكوين الوسطاني بمنطقة الدراسة 300 متراً (Kamal, 2000 , p. 20).

ج. عصر البليستوسين :

تميزت هذه الفترة من تاريخ مصر الجيولوجي بعدم حدوث أية ذبذبات كبيرة في العلاقة بين اليابس والماء على غرار تلك التي كانت تحدث إبان العصور الجيولوجية القديمة (صفي الدين، 1999، ص 80). وكانت جبال البحر الأحمر مصدراً لكل من المياه السطحية التي كانت تجرى في النيل؛ حيث استطاعت الروافد الجانبية المتصلة به أن تجلب كميات هائلة من الرواسب المشتقة من جبال البحر الأحمر، حيث يشمل هذا التكوين في أغلبيته على رمال وحصى مع تداخلات طينية رقيقة، وتزداد نسبة الرمال والحصى كلما اتجهنا جنوباً، بينما في الشمال تزداد نسبة معدن الطين، وأصبحت تلك الرواسب بمثابة القاعدة والأساس التي ترسبت فوقها رواسب الدلتا في الهولوسين - ويسمى بتكوين ميت غمر. وبمرور الوقت ارتفعت مناسيب الإرسابات الفيضية، وغطت معظم الإرسابات الدلتاوية القديمة بالإرسابات الدلتاوية الحديثة المكونة من الطمي الحبيشي (إسلام سلامه، 2006، ص ص 5-10). ورواسب تكوين ميت غمر تزداد نحو الشمال مع انتظام في السمك والانحدار، ويبلغ أقصى سمك لتكوين ميت غمر في منطقة الدراسة بنحو 1000 متر (Tarek, 2005, pp. 62-65).

د. عصر الهولوسين :

لما بدأ عصر الهولوسين كان انخفاض البحر - أو ارتفاع الأرض - مازال مستمراً حتى وصل مستوى البحر في تلك الفترة إلى 43 متراً تحت مستواه الحالي، ونتج عن ذلك امتلاء الدلتا بالرواسب، ولكن لم تلبث هذه الحركة أن انعكست وتراجع خط الساحل نحو الجنوب، وإذا كان مقدار تفهقر الساحل نحو الجنوب كان بطيئاً رغم ارتفاع مستوى

البحر (إبراهيم رزقانه، 1987، ص 74). وفي نهاية هذا العصر منذ حوالي 2500 سنة قبل الميلاد بدأ النيل في التدفق الدائم وليس الموسمي، تجري فيه المياه طول العام، وأخذ النيل وما يحمله من رواسب طميية في بناء السهل الفيضي والدلتا الحالية (Embabi, 2004, p. 48). ويطلق عليها اسم تكوين بلقاس وهو يعلو تكوين ميت غمر مباشرة . ويتراوح سمكه بمنطقة الدراسة بين 20 و 50 متراً (Tarek, 2005, pp. 65-66).

بالإضافة إلى التكوينات السابقة يشغل تكوين كفر الشيخ (عصر البليوسين الأوسط) الجزء الأكبر من الرصيف القاري الخارجي، وتسود الرواسب الطفلية والصلصالية أماكن واسعة من الانحدار الساحلي للرصيف القاري وتظهر فيها الرواسب البحرية. أما مقدمة الدلتا فتشكل الرواسب الطفلية الرملية والرملية الغرينية المشكلة بصفائح رقيقة، ويبلغ متوسط سمكها نحو 150 متراً، وبالنسبة للمناطق القريبة من اليابس وحتى اليابس فتتكون من رمال طينية ورمال غرينية، وهي أكثر خشونة عن سابقتها، ويبلغ متوسط سمكها نحو 15 متراً (على مصطفى كامل، 1988، ص ص 13-14).

خلاصة ما تقدم أن أرض الدلتا لم تبدأ في الظهور إلا في أوائل البليستوسين، وفي منتصف البليستوسين لم يكن قد ظهر منها إلا الجزء المحصور بين دائرة عرض القاهرة، ودائرة عرض بنها، ثم في نهاية البليستوسين، نمت الدلتا حتى عرض سمبود، ويبدأ الهولوسين والدلتا عند هذا العرض، ثم في منتصف الهولوسين لم تكن الدلتا الحالية قد تكونت بأكملها فحسب بل كانت قد تجاوزت حدها الحالي شمالاً بمقدار 11 كم، ثم أخذت بعد ذلك تتراجع نحو الجنوب حتى التزمت خط الساحل الشمالي (إبراهيم رزقانه، 1987، ص ص 74-75).

تطور دلتا نهر النيل ومن ثم منطقة الدراسة على هذا النحو قد أدى إلى وجود بعض الطبقات من الرواسب البحرية متبادلة مع طبقات من الرمل والحصى والطين، ذات المسامية والنفاذية العالية، والتي تعد من العوامل المهمة التي ساعدت على وجود اتصال هيدروليكي بين المياه الجوفية العذبة ومياه البحر المالحة.

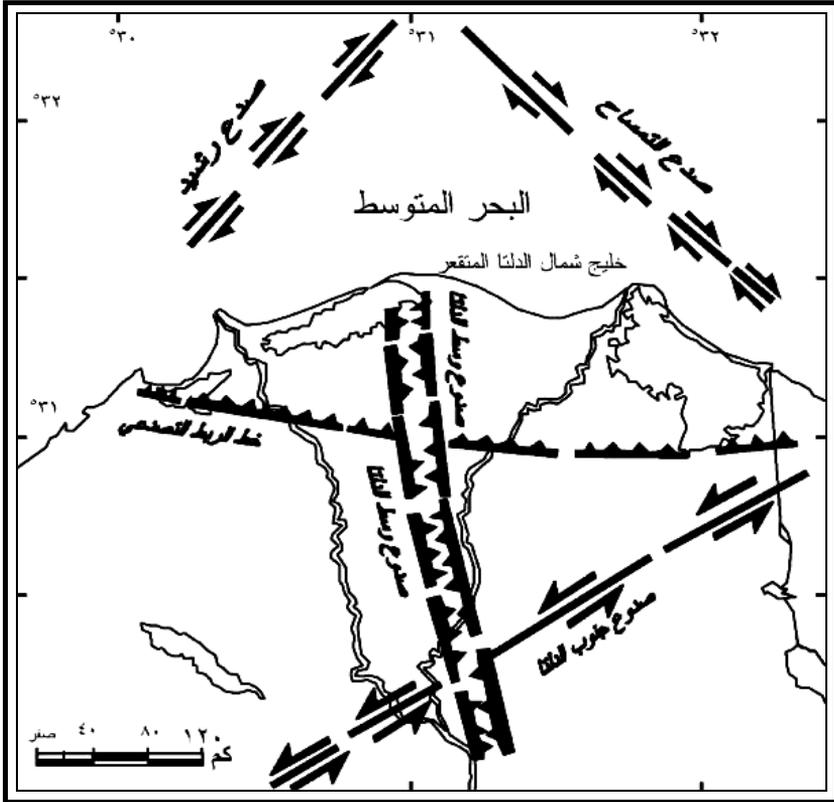
كما يعد أيضاً معرفة تطور وتكوينات الدلتا مدخلا للتعرف على الخصائص الهيدروجيولوجية لتكوينات منطقة الدراسة لمعرفة خصائص خزانات المياه الجوفية التي تحتويها الطبقات الرسوبية. ومن ثم كان تأثيرها على جبهة التداخل بين المياه الجوفية ومياه البحر بمنطقة الدراسة.

(2) البنية :

تنقسم دلتا النيل تكتونياً إلى نطاق الدلتا البنيوى الجنوبي ونطاق الدلتا البنيوى الشمالى، ويفصل ما بين النطاقين مجموعة من الانكسارات مكونة ما يعرف بنطاق المفصل. ويتميز النطاق الشمالى بأنه غير مستقر بنيوياً وأكثر نشاطاً مقارنة بالنطاق الجنوبى الذى يمثل جزءاً متصلاً باللوح القارى الأفريقى (Zaghloul, 1999, p. 21).

وقد تأثرت منطقة شمال الدلتا باثنين من الصدوع البحرية أسفل البحر المتوسط (شكل 3)، الأول ويسمى بصدع رشيد Rosetta Fault، ويأخذ اتجاه شمال شرق - جنوب غرب، وهو صدع انزلاق مضربى يمينى الحركة (فى اتجاه عقارب الساعة)، والثانى ويسمى بصدع التماسح Tamsah fault، ويأخذ اتجاه شمال غرب - جنوب شرق، وهو أيضاً صدع انزلاق مضربى يمينى الحركة، وصدوع هذا النطاق أثرت بشكل واضح على الرواسب المنقولة إلى

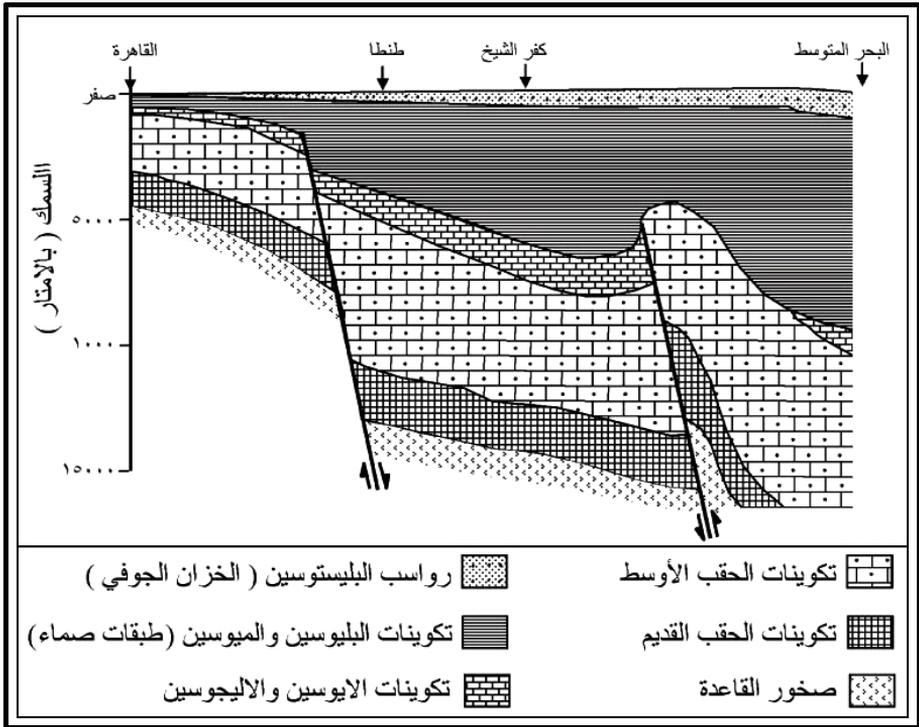
دلتا النيل خلال الميوسين المتأخر وامتدت حتى الحقب الرابع (Masconi, 1996,)
 .(pp. 203- 223



المصدر: Abd El-Motaal, 1996, p. 1723.

شكل (3) : خريطة الصدوع لدلتا النيل.

كما أدى ذلك إلى زيادة سمك رواسب البليستوسين ومن ثم سمك طبقات
 الخزان الجوفي نحو الشمال والشمال الشرقي نتيجة لميل الطبقات في نفس
 الاتجاه مما أدى إلى زيادة امتداد جبهة تداخل مياه البحر المالحة بالخزان
 الجوفي (شكل 4).



المصدر: وزارة الري، 1980.

شكل (4) : قطاع هيدروجيولوجي في دلتا النيل من الشمال إلى الجنوب.

(3) الخصائص الهيدروجيولوجية لمنطقة الدراسة :

اعتماداً على العرض السابق يمكن تصنيف التكوينات الجيولوجية المكونة لشمال الدلتا إلى ثلاثة تكوينات هيدروجيولوجية من أسفل إلى أعلى وذلك على النحو التالي:

أ. الطبقة الطينية السفلية :

تكون الطبقة الطينية السفلية قاع الخزان الجوفي، وتحدد الترسيبات المنفذة له من أسفل، وتتكون من رواسب طينية متماسكة تتراوح بين غير منفذة وضعيفة النفاذية جداً، وليس لها أهمية هيدروليكية.

ب. الطبقة الرملية الحصوية :

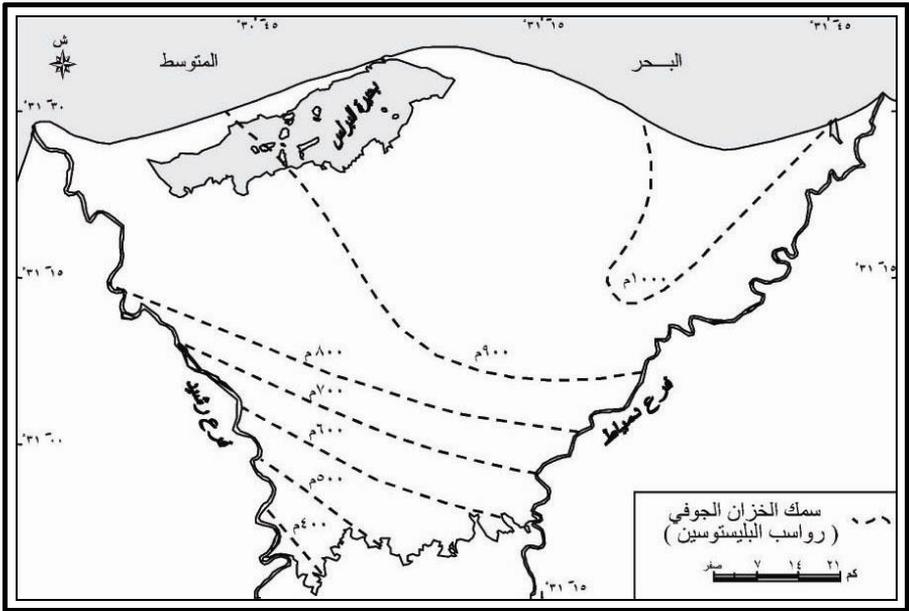
تتكون من الرمل والحصى متعدد الأحجام المنفذه التي يتخللها أحيانا عدسات طينية مختلفة السمك من موقع إلى آخر، وتنتمي هذه الرواسب الى عصر البليستوسين، وهي رواسب أتت بها الروافد النيلية من الشرق قبل ارتباط النيل بمنابعه بالحبشة، ويعتبر الحد العلوي لهذه الطبقات هو الغطاء الطيني شبه المنفذ مما أدى إلى تكوين خزان مائي شبه محصور (Semi-Confined Aquifer)⁽¹⁾.

ويتضح من الشكل (5) وجود تباين كبير في سمك رواسب البليستوسين (الخزان الجوفي) بمنطقة الدراسة، مع زيادة السمك بالاتجاه شمالاً خاصة شمال شرق، حيث يصل إلى 1000 متر بمراكز : بلقاس، وكفر سعد، وشربين، في حين سجل أقل سمك في الجنوب خاصة جنوب غرب منطقة الدراسة بمركز كفر الزيات، إذ بلغ 400 متر.

كما يتبين من الشكل (6) أن سمك طبقة المياه الجوفية العذبة فقط تأخذ اتجاه عكس اتجاه سمك رواسب البليستوسين؛ حيث يقل السمك بالاتجاه شمالا حتى يصل إلى الحد الفاصل بين جبهة المياه الجوفية العذبة ومياه البحر المالحة، وهو عبارة عن خط يمتد من فرع دمياط في الشرق جنوب مركز طلخا إلى فرع رشيد في الغرب جنوب مركز دسوق، أما أكبر سمك للمياه الجوفية العذبة فيبلغ 200 متر، وينتشر بالقرب من الحدود الجنوبية لمنطقة الدراسة.

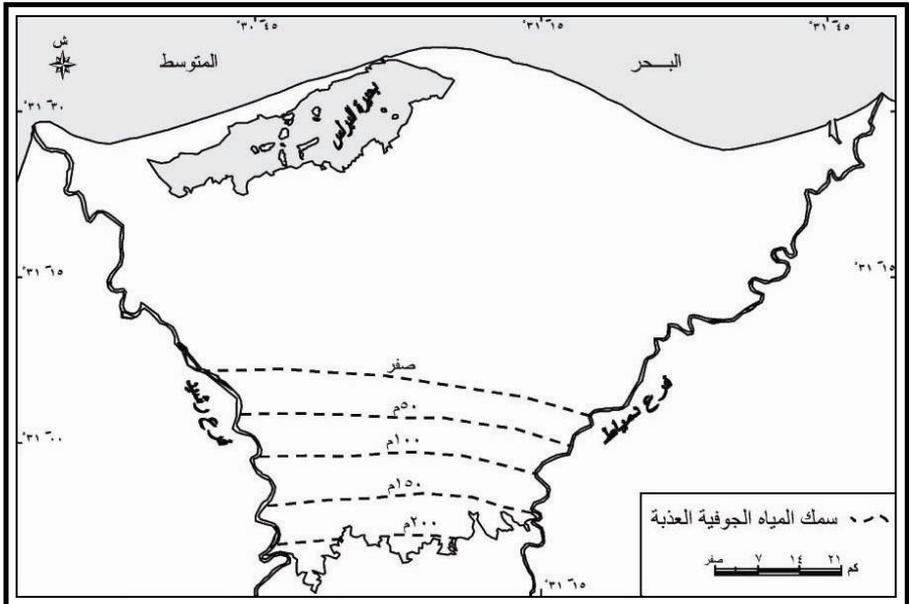
وتتراوح مسامية رواسب البليستوسين الحاملة للمياه في خزان شمال الدلتا بين 30 و 40%، بينما تتراوح النفاذية بين 60 و 70 متراً/اليوم (El-Menayar, 1999, p. 27).

(1) هو الخزان الذي تتخلله أو تعلوه طبقة غير صماء تماماً، ولكن ذات نفاذية قليلة، وتسرب المياه من تلك الطبقة شبه الصماء إليه، ويقع أسفله طبقة صماء.



المصدر: Madiha, 1994, p. 12

شكل (5) : سمك الخزان الجوفي (رواسب البليستوسين) بمنطقة الدراسة.



المصدر: وزارة الري، 1980، ص 80.

شكل (6) : سمك المياه الجوفية العذبة بمنطقة الدراسة.

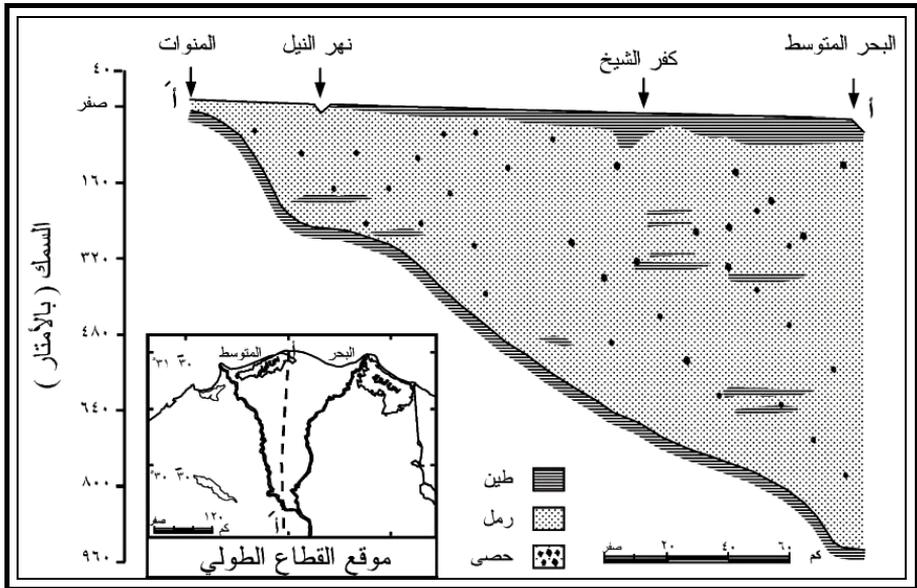
ج. الطبقة الطينية السطحية :

تتكون من رواسب ناتجة من تفتت الصخور النارية والبركانية بهضاب الحبشة وجنوب السودان، وتتميز رواسبها السطحية بزيادة نسبة الطين والسلت والرمل الناعم، وانخفاض نسبة الرمل الخشن، ويصل سمك هذه الطبقة إلى أكثر من 20 متراً، مما أدى إلى تكوين خزان مائي حر (المياه الأرضية) Unconfined Aquifer. وهو الذي تكون فيه الطبقة الحاملة للمياه حرة من أعلى، لا تعلوها طبقة صماء، بينما توجد طبقة صماء أو شبه صماء من أسفل، لذلك تتأثر هذه الخزانات تأثراً مباشراً بالتغيرات الدورية، كمناسيب المياه السطحية عن طريق التسرب من المجاري المائية، والأمطار، والمناطق القريبة منه (Chris, 1987, pp. 87-88). فعندما يخترق الماء سطح الأرض يهبط إلى أسفل متخللاً الفراغات المتصلة، حتى يصادف أول حاجز من الطبقات غير المنفذة حيث يبدأ في التراكم شيئاً فشيئاً مكوناً خزاناً للمياه الأرضية.

وتكون الطبقة الطينية السطحية حداً علوياً شبه منفذ للخزان الجوفي بالدلتا. وتحدد هذه الطبقة نوع ودرجة انحصار الطبقة الحاملة للمياه الجوفية، كما أن لها تأثيراً على شكل التداخل بين مياه البحر المالحة ومياه الخزان الجوفي العذبة بالساحل الشمالي من الدلتا.

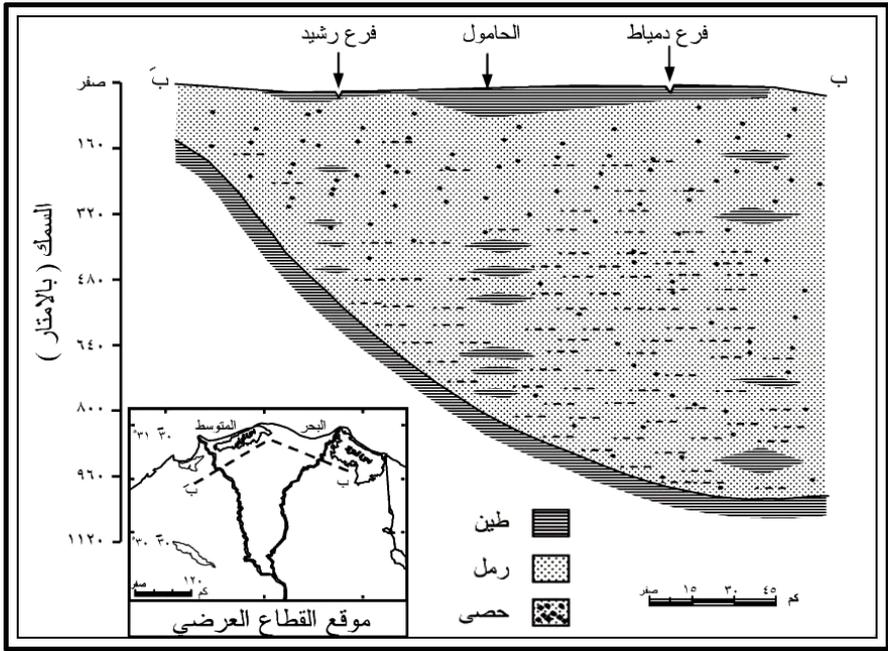
يتضح من دراسة الخصائص الهيدروجيولوجية لمنطقة شمال الدلتا وجود علاقة بين المياه الأرضية والمياه الجوفية؛ حيث يوجد اتصال متبادل في صورة حركة رأسية بين المياه العميقة في الخزان المائي شبه المحصور وبين الخزان المائي الحر، وهذه الحركة الرأسية إما أن تكون إلى أسفل أو أعلى، وذلك بحسب الفرق بين منسوبي كل من سطح المياه الحر (الطبقة الطينية السطحية) والضاغط البيزومتري بالطبقة الحاملة للمياه، وتكون الحركة رأسية إلى أسفل عندما يكون سطح المياه الحر أعلى من الضاغط البيزومتري (El-Menayar, 1999, p. 21).

كما أن هناك علاقة أيضاً بين المياه الجوفية ومياه البحر وذلك بسبب الاتصال الهيدروليكي بين الخزان الجوفي والبحر، حيث يصل سمك الطبقات حوالي 1000 متر - كما سبق ذكره - والذي يؤدي إلى زيادة امتداد جبهة تداخل مياه البحر المالحة بالخزان الجوفي. ويظهر القطاعان شكل الغطاء الطيني على طول الساحل الشمالي وعلى الاتجاه العمودي عليه على التوالي (شكلى 7 و 8)، ومن هذين القطاعين يمكن ملاحظة أن سمك هذا الغطاء الطيني يزداد بغير انتظام في اتجاه البحر المالحة بالساحل الشمالي من الدلتا، مما يدل على أن مياه البحر المالحة تتقدم إلى داخل الطبقات الحاملة للمياه العذبة بالدلتا بصورة غير منتظمة من خلال مجاري قد تكون منفصلة وعلى أعماق مختلفة، وبالتالي فالتداخل لا يحدث في كل القطاع الرأسي بالساحل الشمالي بنفس الدرجة. وتتكون مجاري الاتصال هذه أما من الرمال أو الرمال الطينية أو الطين الرملي.



المصدر: Fatma, 2002, p. 25

شكل (7) : قطاع جيولوجي طولي بالدلتا.



المصدر: وزارة الري، 1980، ص 70.

شكل (8) : قطاع جيولوجي عرضي شمال الدلتا.

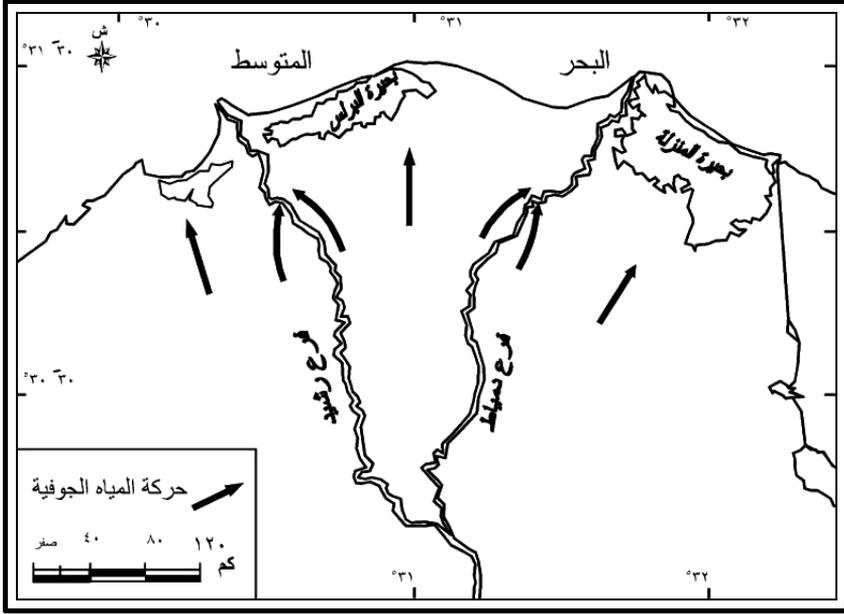
كما يمكن ملاحظة أن بعض هذه المجاري قد تكون متصلة بالبحر ولكن غير متصلة بالخرزان الجوفي أو متصلة بالخرزان الجوفي وغير متصلة بالبحر. بمعنى أن الاتصال بين كل من مياه الخزان الجوفي ومياه البحر قد لا يوجد في بعض المواقع بمنطقة الدراسة (Madiha, 1982, p. 11).

4) حركة المياه الجوفية :

أ. الحركة الأفقية للمياه الجوفية :

تتحرك المياه الجوفية في اتجاهات مختلفة تحت التأثير الهيدروليكي (شكل 9)، تتراوح في المتوسط بين 12 سم/كم في جنوب الدلتا و 8 سم/كم في شمال الدلتا، وتزداد كلما اقتربنا من فرعي النيل ومجاري الري الرئيسية

حيث يصل إلى أكثر من 50 سم/كم، فحركة المياه الجوفية واتجاهاتها بمنطقة وسط الدلتا مرتبطة أساساً بمناسيب المياه في كل من فرعي دمياط ورشيد (وزارة الري، 1980، ص 137).



المصدر: وزارة الري، 1980، ص 140.

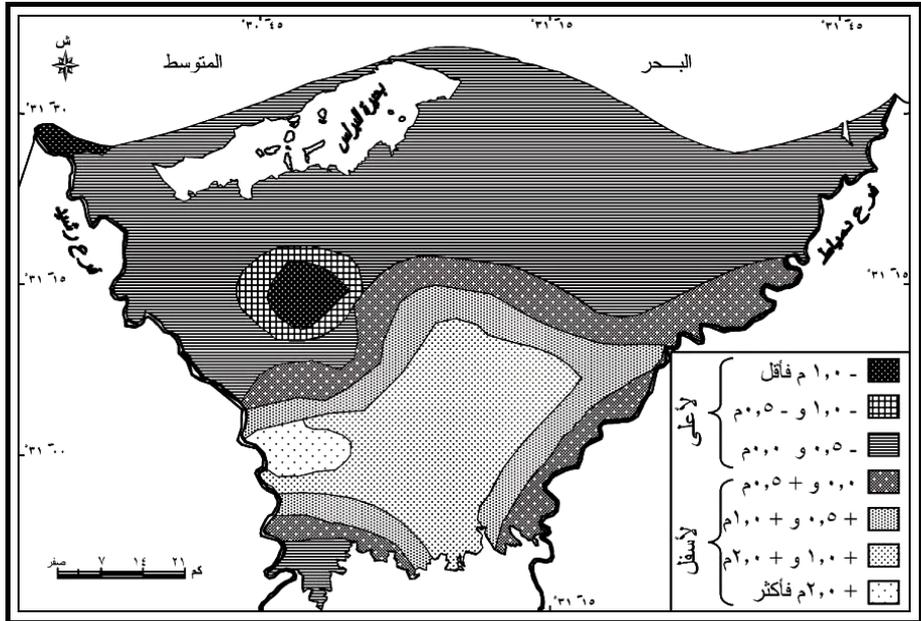
شكل (9) : الحركة الأفقية للمياه الجوفية بالدلتا.

ب. الحركة الرأسية للمياه الجوفية :

يمكن تصنيف الحركة الرأسية إلى نوعين، هما : الحركة الرأسية لأعلى والحركة الرأسية لأسفل، ويتم تحديدها على أساس قياس الفرق بين مناسيب كل من الضغط البيزومتري للمياه الجوفية والسطح الحر للمياه الأرضية في نفس الموقع. وعلى فرض أن هذا الفرق موجب في حالة الحركة إلى أسفل، وسالب في حالة الحركة إلى أعلى.

وقد تبين من الشكل (10) أن الحركة الرأسية لأعلى تغطي مساحة تبلغ 4084.04 كم² بنسبة 62.15% من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، وتنتشر بمراكز: كفر سعد، والبرلس، وبلقاس، وبيلا، والحامول، والرياض، وسيدي سالم، ومطويس، وشربين، وفوه، ودسوق.

أما الحركة الرأسية لأسفل فتغطي مساحة تبلغ 2487.63 كم² بنسبة 37.85% من إجمالي مساحة المنطقة، وتنتشر في مراكز: طنطا، وكفر الزيات، وقطور، ويسيون، وسمنود، والمحلة الكبرى، وكفر الشيخ، وطلخا، وقلين، كما تغطي أجزاء بسيطة من بعض المراكز خاصة الأجزاء الجنوبية منها، مثل: مركز بلقاس، والحامول، والرياض، وشربين، وبيلا، ودسوق.



المصدر: Hamdy, 1989, p. 143

شكل (10): الحركة الرأسية للمياه الجوفية بمنطقة الدراسة.

يتضح مما سبق أن حركة المياه الرأسية لأعلى هي السائدة بمنطقة الدراسة بصفة عامة والجزء الشمالي من المنطقة بصفة خاصة، ومع زيادة نسبة الأملاح في المياه المتسربة لأعلى (نتيجة وجود جبهة المياه المالحة في هذا الجزء)، 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 منطقة الدراسة.

5) الميزانية المائية للخران الجوفي :

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

ويكتسب الخزان الجوفي بالدلتا كميات من المياه المتسربة رأسياً إلى أسفل والتي قدرت بحوالي 2.27 مليار م³/السنة، بالإضافة إلى كميات المياه المتسربة من ترعة الإسماعيلية، والتي قدرت بحوالي 0.33 مليار م³/السنة، أي أن إجمالي ما يكتسبه الخزان الجوفي في السنة يقدر بحوالي 2.6 مليار م³/السنة. أما ما يفقده الخزان الجوفي في السنة فقد تم تقديره على النحو التالي:

- 50 مليون م³/السنة مكعب من حدود الخزان الجنوبي الغربي إلى وادي النطرون.
- 97 مليون م³/السنة في صورة تسرب رأسي إلى أعلى.
- 212 مليون م³/السنة مياه منصرفه إلى فرعي دمياط ورشيد.

أي أن إجمالي ما يفقده الخزان الجوفي في السنة يقدر بحوالي 0.36 مليار م³/السنة، والاستغلال الحالي من الخزان الجوفي للأغراض المختلفة يقدر بحوالي 1.6 مليار م³/السنة. أي أن إجمالي ما يفقده الخزان الجوفي

في السنة يقدر بحوالي 1.96 مليار م³/السنة. وبالتالي فإن الفرق بين ما يكتسبه الخزان وبين ما يفقده خلال السنة، يبلغ 0.64 مليار م³/السنة (وزارة الري، 1980، ص ص 149-150)، ومن ثم فإن هذا الصافي يجعل الوضع الهيدرولوجي للخزان الجوفي (المياه الجوفية العذبة) في المنطقة الآمنة، ويمكن استغلال الخزان الجوفي في حدود هذه الكمية، وهذا الاستغلال لن يسبب أي آثار جانبية على الوضع الهيدرولوجي للخزان الجوفي بدلتا النيل. ولكن لابد أن يوضع في الاعتبار الوضع الهيدرولوجي الحالي، وإعادة النظر في الميزان المائي للخزان الجوفي بصفة دورية، كما أنه من الضروري متابعة رصد جبهة مياه البحر المالحة داخل الخزان لإمكان معرفة حالة هذه الجبهة الديناميكية وإذا ما كانت تتراجع إلى البحر أم تتقدم داخل الخزان من سنة إلى أخرى تبعا للميزان المائي لكل سنة.

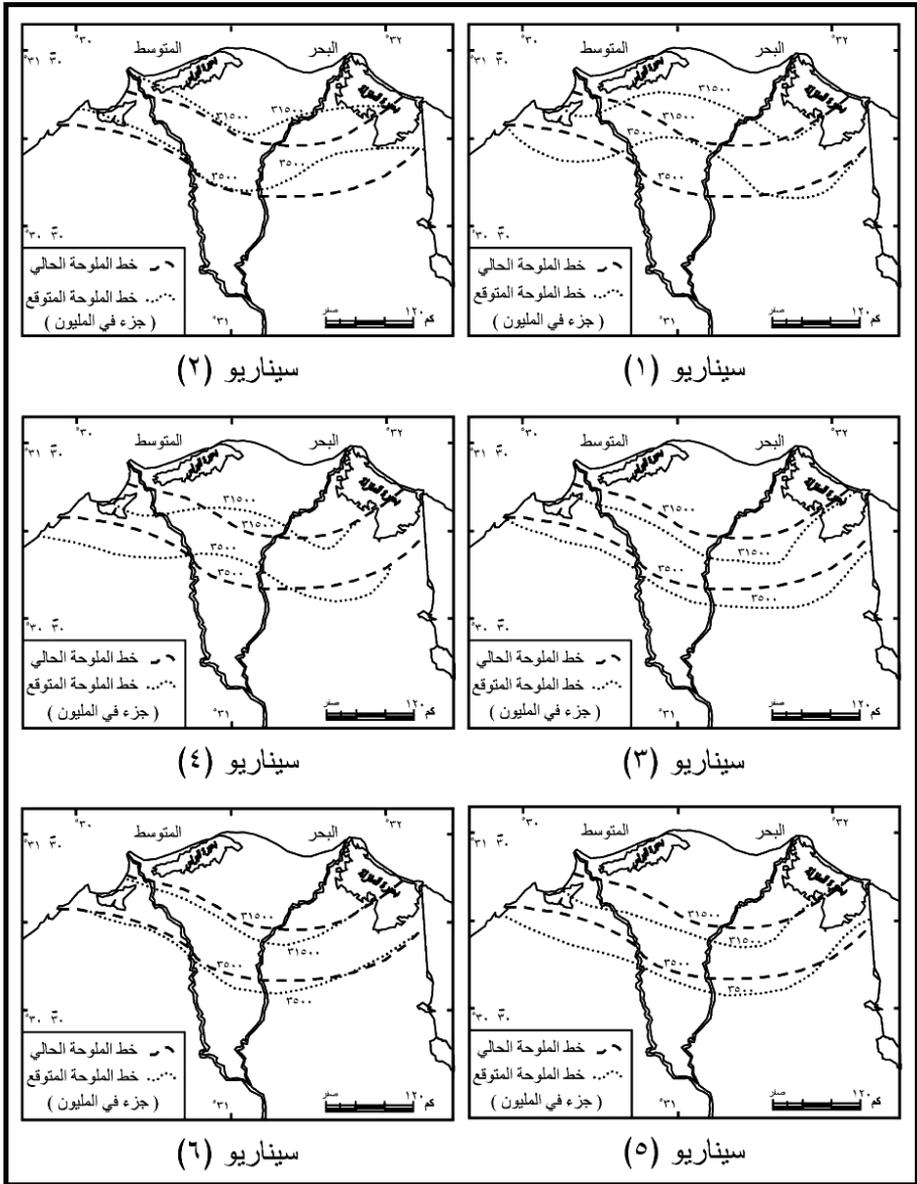
سيناريوهات تأثير الضخ على هيدروديناميكية جبهة تداخل مياه البحر والمياه الجوفية :

تناولت دراسات عديدة تأثير ضخ المياه الجوفية على حركة جبهة التداخل ومدى تأثيرها على نوعية المياه الجوفية، ومن أهم هذه الدراسات دراسة (Sherif & Singh, 2002) و (Sherif & Muhammad, 2001)، وهي تقوم فكرة هذه الدراسات على اختيار ستة سيناريوهات مختلفة لمعرفة تأثير التباين في كمية الضخ وموقعه من جبهة التداخل، وتم اختيار خطي ملوحة 31500 جزء في المليون و 3500 جزء في المليون كمعيار لتحديد مدى تأثير نوعية المياه الجوفية بحركة مياه البحر، وقد تم تقسيم دلتا نهر النيل التي تضم منطقة الدراسة إلى ثلاث مناطق، هي : شرق، ووسط، وغرب الدلتا. وتتناول هذه السيناريوهات الآتي :

- **سيناريو (1) :** ضخ 2.3 مليار م³/السنة من شرق وغرب الدلتا فقط.
- **سيناريو (2) :** ضخ 2.3 مليار م³/السنة من وسط الدلتا فقط.
- **سيناريو (3) :** زيادة الضخ الحالي لكل محافظة من محافظات الوجه البحري إلى الضعف ليبلغ 4.6 مليار م³/السنة.
- **سيناريو (4) :** ضخ 4.6 مليار م³/السنة من شرق وغرب الدلتا فقط.
- **سيناريو (5) :** استمرار الضخ الحالي من محافظات الوجه البحري والبالغ 2.3 مليار م³/السنة، مع إضافة 1.5 مليار م³/السنة من شرق الدلتا، و0.8 مليار م³/السنة من غرب الدلتا، ليصبح إجمالي الضخ 4.6 مليار م³/السنة.
- **سيناريو (6) :** استمرار الضخ الحالي من محافظات الوجه البحري، مع إضافة 2.3 مليار م³/السنة من وسط الدلتا فقط، ليصبح إجمالي الضخ 4.6 مليار م³/السنة.

وقد كشفت النتائج (شكل 11)، أن سيناريوهات (1) و(2) هي في الواقع أفضل السيناريوهات؛ إذ تبين من سيناريو (1) أنه أفضل من الضخ الحالي للمياه الجوفية، حيث لوحظ من الشكل تقهقر جبهة التداخل في اتجاه البحر بدرجة كبيرة في وسط الدلتا، في حين أن تقدم جبهة التداخل في شرق وغرب الدلتا كان طفيفاً. أما في السيناريو (2) فقد لوحظ تقهقر جبهة التداخل سواء في وسط أو شرق وغرب الدلتا ولكن التقهقر كان بسيطاً في الوسط والغرب أما في الشرق فكان أكثر.

أما في سيناريوهات (3) و(5) و(6) فقد أدى زيادة الضخ إلى الضعف تقدم جبهة المياه المالحة في اتجاه الداخل خاصة في سيناريو (3). أما السيناريو (4) فهو يشبه سيناريو (1) مع ملاحظة أن تقهقر جبهة المياه المالحة بوسط الدلتا كانت أقل بكثير من سيناريو(1).



المصدر: Sherif, 2002, p. 66

شكل (11) : سيناريوهات تأثير الضخ على هيدروديناميكية

جبهة تداخل مياه البحر والمياه الجوفية بالدلتا.

6) الخصائص الطبيعية والكيميائية لمياه البحر :

تعد خصائص مياه البحر من أهم العوامل المؤثرة على هيدروديناميكية جبهة التداخل بين مياه البحر والمياه الجوفية، سواء كانت هذه الخصائص طبيعية، مثل الأمواج، والتيارات الشاطئية، والمد والجزر، أو كيميائية، مثل، الأملاح والايونات (الكاتيونات والانيونات)؛ وتعمل هذه الخصائص على عدم استقرار جبهة التداخل عند وضع أو شكل معين. وفيما يلي عرض لهذه الخصائص:

أ. الخصائص الطبيعية لمياه البحر :

تتعرض شواطئ دلتا النيل بشكل عام لتعرية شديدة وتراجع سريع بصفة عامة، نتيجة للنقص الحاد في الحمولة الواردة إلى شواطئ الدلتا عن طريق فرعي رشيد ودمياط مما أدى إلى فقد شواطئ الدلتا دعما من 160 إلى 178 × 10⁶ طن من الرواسب كانت تتلقاه سنوياً قبل عام 1964 (حمدينه عبد القادر، 2007، ص ص 1-4). وقد أدى ذلك إلى جعل العوامل والعمليات البحرية بمنطقة الدراسة من النوع الهدام، ومن ثم أثرت العوامل البحرية على جبهة التداخل بين المياه الجوفية ومياه البحر ولكن التأثير هنا بشكل غير مباشر، حيث يؤدي تراجع خط الشاطئ وتقهره إلى تقدم جبهة مياه البحر المالحة داخل الدلتا على حساب المياه الجوفية العذبة، كما أن تغير منسوب سطح البحر بسبب حدوث عمليات المد والجزر يؤدي إلى تغير المستوى الهيدروليكي للمياه الجوفية مما يزيد من تداخل مياه البحر في حالة المد، ويضعف من تداخل مياه البحر في حالة الجزر. وفيما يلي فكرة عامة عن العوامل البحرية بمنطقة الدراسة:

* الأمواج :

تختلف خصائص أمواج دلتا نهر النيل بشكل واضح من موسم لآخر؛ حيث يزيد ارتفاع الأمواج نسبياً خلال فصل الشتاء مقارنة بالأمواج العادية خلال باقي المواسم، حيث بلغ أقصى متوسط لارتفاع الأمواج في فصل الشتاء 2.43 متر، وفي فصل الصيف 1.31 متر. أما طول الموجة فبلغ أقصى متوسط 38.82 و 50.97 متر في فصلي الشتاء والصيف على التوالي، وبالنسبة لسرعة الأمواج فبلغ أقصى متوسط 5.51 و 3.99 متر/الثانية في فصلي الشتاء والصيف على الترتيب (Abd El-Kadar, 2005, p. 35).

* التيارات الشاطئية :

بلغ متوسط أقصى سرعة للتيارات الشاطئية شمال غرب منطقة الدراسة بمنطقة رشيد 80 سم/ثانية، أما في الشمال بمنطقة البرلس فبلغ 95 سم/ثانية، في حين بلغ 91 سم/ثانية بمنطقة دمياط شمال شرق منطقة الدراسة، مع ملاحظة ارتفاع سرعات التيار خلال شهور الشتاء والربيع عنها خلال شهور الصيف.

* المد والجزر :

يصنف ساحل دلتا النيل عالمياً ضمن سواحل الفارق المدي الصغير، ويسود فيه مد من النوع نصف اليومي. حيث تبين من الدراسات السابقة أن قيم أقصى منسوب سواء المد أو الجزر لا تتعدى متراً واحداً، إذ يتراوح أقصى منسوب للمد بين 0.60 و 0.77 متراً، على حين يتراوح أقصى منسوب للجزر بين صفر و 0.17 متراً (عمرو محسوب، 2009، ص ص 52-53).

ب. الخصائص الكيميائية :

ترتبط هيدروديناميكية جبهة التداخل بين المياه الجوفية ومياه البحر ارتباطاً وثيقاً بالخصائص الكيميائية للمياه، خاصة أن الملوحة من العوامل الرئيسية المتحكمة في كثافة مياه البحر، حيث ترتبط مع بعلاقة طردية، ومن ثم عندما يحدث التداخل فإن المياه العذبة الخفيفة تطفو فوق مياه البحر المالحة الثقيلة.

جدول (1) : الخصائص الكيميائية لمياه البحر المتوسط شمال الدلتا عام 2010.

الكاتيونات	درجة التركيز (مليجرام/لتر)	الأنيونات	درجة التركيز (مليجرام/لتر)
الصوديوم	434.69	الكلوريدات	551.72
الكالسيوم	24.00	الكبريتات	55.41
الماغنسيوم	118.41	البيكربونات	2.30
البوتاسيوم	10.23	الكربونات	0.0
الأملاح الكلية الذائبة	35395 (جزء في المليون)	القلوية	7.1

المصدر: تم التحليل بمعمل كلية الهندسة جامعة الزقازيق ، 2010.

يتضح من تحليل الجدول السابق زيادة درجة تركيز بعض العناصر، مثل: الكلوريدات، والصوديوم، والماغنسيوم، حيث بلغت 551.72، و 434.69، و 118.41 مليجرام/لتر، أما باقي العناصر فقد تراوحت درجة تركيزهم بين 2.30 و 55.41 مليجرام/لتر، مع ملاحظة عدم تسجيل أي تركيز لعنصر الكربونات بمياه البحر. أما درجة القلوية فبلغت 7.1.

أدى زيادة تركيز بعض العناصر بمياه البحر بهذه الدرجة إلى زيادة تركيز الأملاح الكلية الذائبة؛ إذ بلغت 35395 جزءاً في المليون. وبناءً على ذلك اتفقت الدراسات الهيدروجيولوجية على أن زيادة تركيز الأملاح الكلية الذائبة على 35000 جزء في المليون هو الحد الفاصل بين جبهة مياه البحر المالحة وجبهة التداخل أو الاختلاط بين مياه البحر والمياه الجوفية (المياه الجوفية متوسطة الملوحة). كما أن زيادة تركيز بعض العناصر بهذه الدرجة خاصة الكلوريدات والصوديوم أصبحت من العناصر المميزة لمياه البحر ومعياراً يتحدد على أساسه مدى تأثر المياه الجوفية واختلاطها بمياه البحر.

ثانياً : صور تداخل مياه البحر المالحة والمعايير المحددة لها :

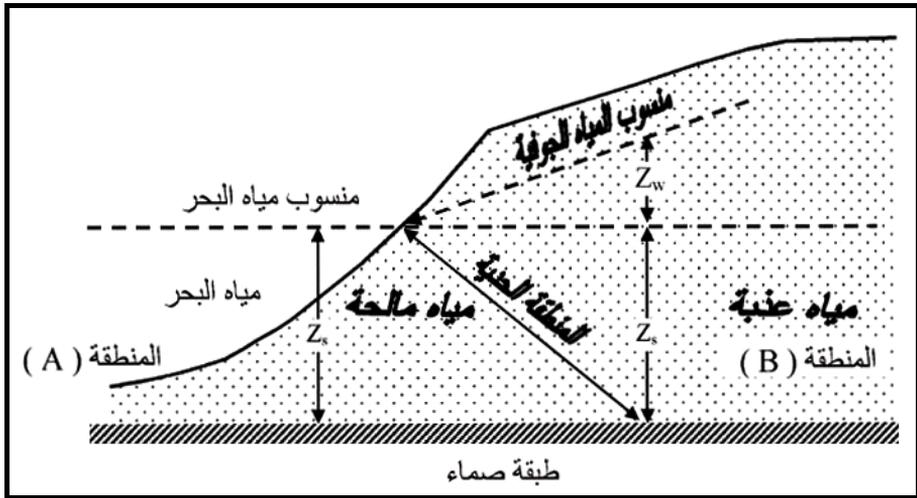
يحدث عادة زحف مياه البحر عندما يفوق ضغط مياه البحر على المياه الجوفية العذبة في الخزانات المنتشرة عادة على طول ساحل البحر وهذه الحالة تحدث نتيجة لانخفاض مستوى المياه الجوفية إلى مستوى أقل من منسوب سطح البحر، وذلك نظراً للزيادة المطردة في عمليات الضخ من خزانات المياه الجوفية، وعندما يكون المستوى المائي للحوض الجوفي الممتد على طول ساحل البحر مائلاً ناحية البحر فإن المياه الجوفية تتحدر ناحية البحر والعكس، وعندما تكون درجة اتجاه الميل للمياه العذبة ناحية البحر صغيرة للغاية فإن الحالتين توجدان في وقت واحد (إسماعيل الرملي، 1967، ص 27).

وقد اهتم عدد من الباحثين بدراسة ظاهرة تداخل مياه البحر مع المياه الجوفية، وذلك حتى يمكن حماية الثروة المائية الجوفية خصوصاً في المناطق الساحلية. وكان أهم الدارسين لهذه الظاهرة Ghyben & Herzberg اللذان أوجدا العلاقة بين الماء العذب والماء المالح في الخزانات الجوفية، وذلك باعتبار أن كلاً منهما سائل مستقل له كثافة تختلف عن الآخر، وبذلك تتكون بينهما منطقة

حدية Interface عند نقطة التلامس، ويختلف شكل هذه المنطقة الحدية وحركتها تبعاً للاتزان الناتج عن القوى المسببة لسريان كل من الماء الجوفي (الماء العذب) وماء البحر (الماء المالح).

وأوضحت نتائج التجارب التي قام بها Ghyben & Herzberg أن الماء المالح المتسرب من البحر إلى الخزان الجوفي لا يوجد على نفس منسوب سطح ماء البحر بل على عمق منه يساوي أربعين ضعفاً قدر ارتفاع طبقة الماء العذب الموجود فوق منسوب سطح ماء البحر (محمود حسان عبد العزيز، 1982، ص 160).

ويتضح ذلك إذا ما اعتبرنا أن هناك منطقتين الأولى عند الساحل A، والثانية بعيدة عن البحر B، وعند تساوي الضغط الهيدروستاتيكي عند A و B بافتراض حالة اتزان في المنطقة الحدية (شكل 12).



المصدر: محمود حسان عبد العزيز، 1982، ص 160.

شكل (12): رسم تخطيطي لتوضيح المنطقة الحدية لخزان جوفي حر.

فإن :

$$Z_s = \{ y_f / (y_s - y_f) \} Z_w$$

Z_s (عمق الماء المالح تحت منسوب سطح البحر).

Z_w (ارتفاع الماء العذب فوق منسوب سطح البحر).

y_f (كثافة المياه العذبة).

y_s (كثافة المياه المالحة).

فإذا اعتبرنا كثافة الماء العذب 1.0، وكثافة الماء المالح 1.05، فيصبح

نتاج المعادلة $Z_s = 40 Z_w$ (Bhattacharya, 2004, p. 3).

وفي واقع الأمر، فإن هذا الاتزان لا يوجد حيث السريان يحدث طالما أن

هناك انحدار في الضاغط الهيدروليكي وخاصة في حالة الضخ من الآبار أو

تغذيتها حيث تغير من حالة الاتزان المفترضة.

وقد قام الباحث كمال علي بتجربة لتوضيح تأثير الضخ على حالة

الاتزان (جبهة تداخل مياه البحر مع المياه الجوفية)، وأجريت التجربة

على بئر بمنطقة بسيون وحساب قيم الملوحة مع الزمن وعمل التحاليل لعدد

خمس عينات بمعدل عينة كل ست ساعات، ومن خلال رسم المنحني بين

الملوحة والزمن يتضح أن معدل الملوحة يزداد بحوالي 40 جزءاً في المليون

يوميًا، وهذا يعني أنه بعد عام واحد من الضخ المستمر تصل الملوحة في بئر

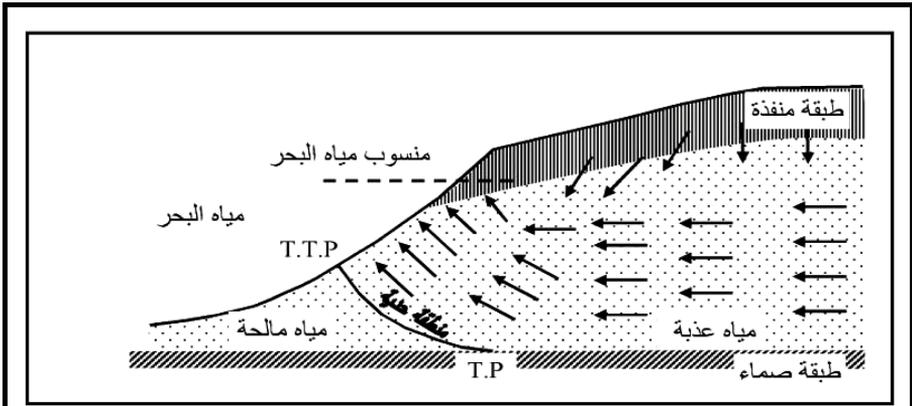
الضخ إلى درجة خطيرة، ويصبح البئر غير صالح للاستخدام تماما (مياه بحر)

(Kamal, 2000, p. 41).

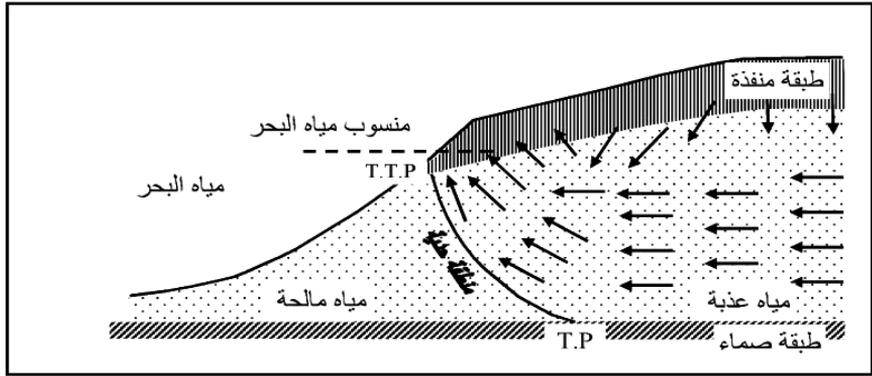
ويحدد وضع المستوى المائي طبيعة تداخل المياه البحرية المالحة

إلى الطبقات الحاملة للمياه وحجم هذا التداخل، ويحدث هذا التداخل على هذه

الصور (شكل 13):



أ - جبهة مفتوحة على البحر



ب - جبهة متقدمة في الخزان الجوفي

المصدر: بتصريف (Madiha, 1982, pp. 6-7).

شكل (13) : تأثير جبهة التداخل على ديناميكية المياه الجوفية بمنطقة الدراسة.

أ. جبهة مفتوحة على البحر (Exterior Wedge) حيث ينصرف جزء من المياه الجوفية العذبة المتحركة مباشرة إلى البحر، والجزء الباقي يفقد في صورة تسرب رأسي إلى أعلى خلال الطبقة الطينية العليا للخزان الجوفي شبه المنفذ.

ب. جبهة متقدمة في الخزان (Interior Wedge) حيث لا يوجد سطح للتسرب تتصرف من خلاله المياه الجوفية العذبة إلى البحر مباشرة، وتفقد كلها في صورة تسرب رأسي إلى أعلى خلال الطبقة الطينية العليا للخزان شبه المنفذ (Kamal, 2000, p. 46).

ويعرف شكل التداخل بنقطتين أساسيتين (T.P) مقدمة الجبهة، وهي النقطة السفلي الناتجة من تقاطع الخط الفاصل مع قاع الخزان الجوفي، (T.T.P) وهي النقطة العليا الناتجة من تقاطع الخط الفاصل مع الطبقة الطينية العليا شبه المنفذه. ومن خلال العلاقات المميزة بالنوعية الكيميائية للمياه الجوفية يمكن تحديد مدى تداخل مياه البحر المالحة بالمياه العذبة في الخزان الجوفي، وبالتالي تحديد نطاقات التداخل.

وقد تبين من الدراسات التي تناولت حالة الجبهة الديناميكية بين مياه البحر والمياه الجوفية أنه يمكن تحديدها واتجاه حركتها سواء كان تقهقراً إلى البحر أو تقدماً داخل الخزان الجوفي عن طريق الآتي:

* درجة تركيز الملوحة :

تعد درجة تركيز الملوحة (P.P.M) بالمياه من أهم الطرق التي تحدد مدى تداخل مياه البحر بالمياه الجوفية، وقد تم تحديد درجة تركيز 1000 و 35000 جزء في المليون، لتحديد جبهة التداخل، حيث يعتبر خط الملوحة 1000 جزء في المليون هو الحد العلوي لمنطقة الانتشار، بينما يعتبر خط الملوحة 35000 جزء في المليون هو الحد السفلي لها.

واعتماداً على ذلك تم دراسة هيدروديناميكية جبهة التداخل بين مياه البحر والمياه الجوفية طبقاً لتطور درجة تركيز الملوحة (شكلى 14 و 15 وجدول 2).

جدول (2) : تطور مساحة جبهة تداخل مياه البحر والمياه الجوفية بمنطقة الدراسة.

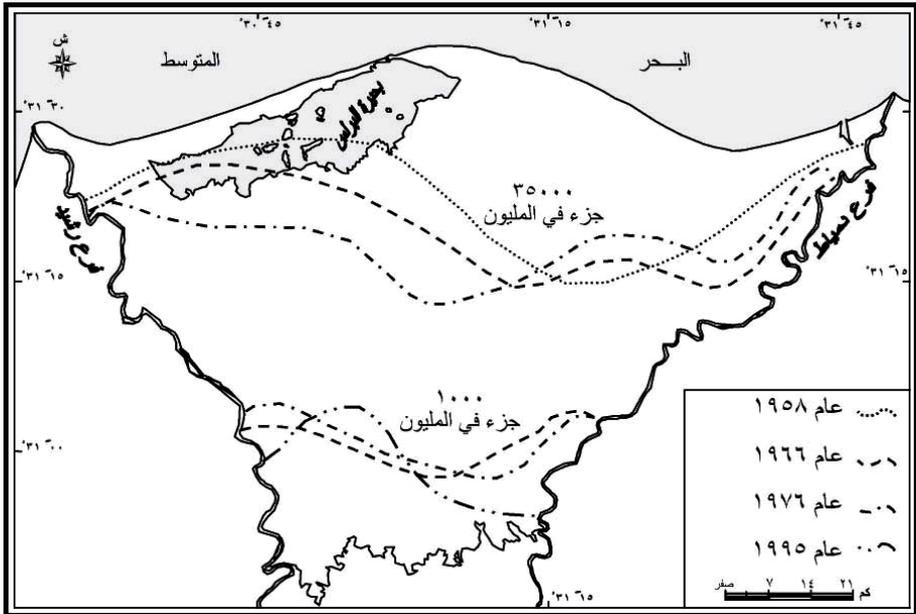
1995	1976	1966	1958	السنة خط الملوحة
5927.86	2987.11	2659.73	2038.29	مياه مالحة
	2749.79	3104.01	-	مياه متوسطة الملوحة
5927.86	5736.9	5763.74	-	الإجمالي

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على شكل (14) باستخدام برنامج Arc GIS

يتضح من تحليل الشكلين السابقين والجدول السابق أن منطقة الانتشار بين كتلتي المياه العذبة بالخرزان الجوفي بالدلتا غير مستقرة؛ حيث لوحظ من مقارنة خطي ملوحة 35000 جزء في المليون والممثل لحدود نطاق المياه المالحة و 1000 جزء في المليون والممثل لحدود نطاق المياه العذبة، وجود تباين واضح في حركة جبهة التداخل خلال سنوات المقارنة، حيث تبين الآتي :

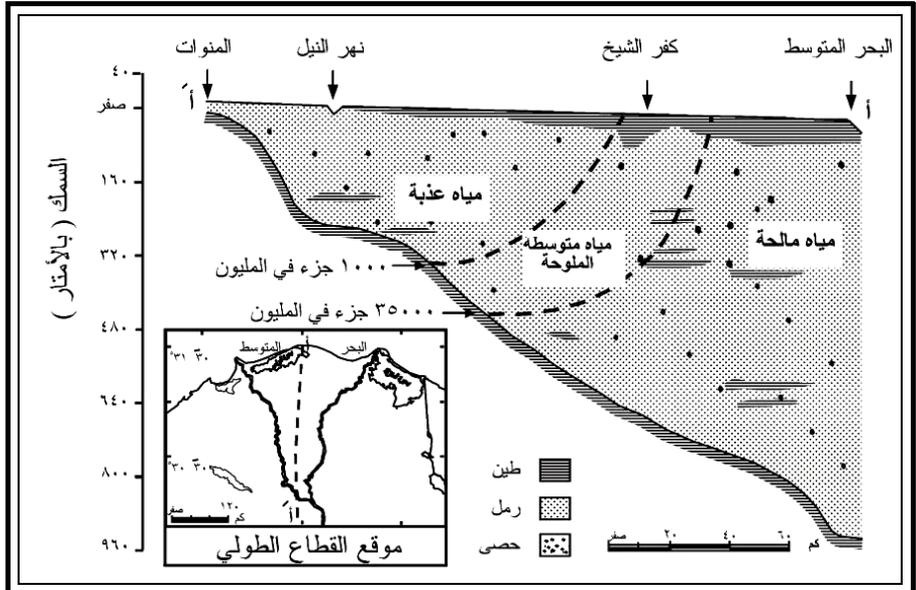
- بلغت مساحة جبهة المياه المالحة (مياه البحر) والتي يزيد تركيز الأملاح الكلية بها على 35000 جزء في المليون 2038.29 كم² عام 1958، في حين بلغت 2659.73 كم² عام 1966، بزيادة قدرها 621.44 كم²، أما عام 1976 فبلغت 2987.11 كم²، بزيادة قدرها 948.82 كم² و 327.38 كم² على عام 1958 و 1966 على التوالي.

- بلغت مساحة جبهة المياه متوسطة الملوحة، والتي يتراوح تركيز الأملاح الكلية بها بين 1000 و 35000 جزء في المليون 3104.01 كم² عام 1966، كما بلغت 2749.79 كم² عام 1976، بتناقص قدره 354.22 كم²، في حين بلغت مساحة كل من جبهة مياه البحر وجبهة التداخل (المياه متوسطة الملوحة) 5927.86 كم² عام 1995.
- بمقارنة خط الملوحة 35000 جزء في المليون عام 1958 بعام 1976 تبين وجود حركة إلى الداخل بمراكز مطوبس، وسيدي سالم، والرياض، والحامول بمتوسط 11.59 كم، وفي مركزي شربين وكفر سعد، بمتوسط 3.91 كم. على حين لوحظ وجود تقهقر لخط الملوحة في اتجاه البحر؛ حيث تراجع بمتوسط 4.45 كم بمركز بلقاس، ويرجع السبب في تقهقر خط الملوحة عام 1958 بصفة عامة بهذه الدرجة وقربه في بعض المناطق من خط الساحل خاصة في شمال شرق منطقة الدراسة إلى تأثير عملية الغسيل التي تقوم بها موجة مياه الفيضانات الهائلة.
- بمقارنة خط الملوحة 1000 جزء في المليون عام 1966 بعام 1995 تبين أن خط الملوحة في الجزء الجنوبي الشرقي متداخل أكثر من الجزء الجنوبي الغربي، ويرجع ذلك إلى السحب المتزايد من المياه الجوفية في الجزء الجنوبي الشرقي، أما المناطق التي يحدث بها تقهقر لجبهة التداخل فيعزي إلى السحب البسيط من الخزان الجوفي، ووجود تسرب للمياه العذبة كمصدر للتغذية، مما يسبب وجود تراكم للزيادة السنوية في الضغوط البيزومترية بالخزان الجوفي.



المصدر: Kamal, 2000, p. 61 – Madiha, 1994, p. 90

شكل (14) : تطور درجة الملوحة بمنطقة الدراسة.



المصدر: Fatma, 2002, p. 25

شكل (15) : قطاع هيدروجيولوجي طولي بالدلتا.

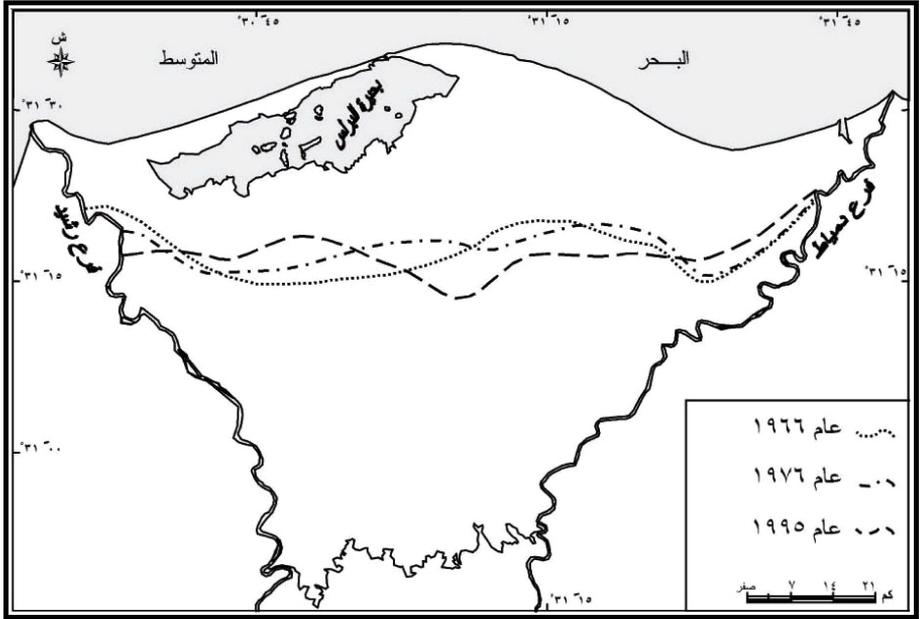
* نسبة ريفيل :

تعتبر نسبة ريفيل وسيلة لتقييم درجة تداخل مياه البحر المالحة والمياه الجوفية العذبة، وقد وجد أن النسبة بين مجموع الكلوريدات إلى مجموع كل من الكربونات والبيكربونات (مليجيم/لتر) - $Cl/[CO_3+HCO_3]$ - تكون أكبر من 200 في حالة أن تكون عينة المياه الجوفية متأثرة تماماً بمياه البحر، وعلى ذلك يشير الخط الذي يمثل نسبة ريفيل تساوي 250 على وجود مياه البحر بالجزء الشمالي من الخزان الجوفي بالدلتا، ويعزى السبب في الاعتماد على تلك العناصر الكيميائية يرجع إلى ندرة تركيز عنصر الكلوريد بالمياه الجوفية، في حين يعتبر العنصر المميز لمياه البحر، أما الكربونات والبيكربونات فهي العناصر المميزة للمياه الجوفية ويندر وجودها في مياه البحر.

وبناءً على ذلك تم دراسة هيدروديناميكية جبهة التداخل بين مياه البحر والمياه الجوفية اعتماداً على تطور نسبة ريفيل (شكل 16).

يتضح من الشكل رقم (16) أن جبهة مياه البحر المالحة بالخزان الجوفي بالدلتا غير مستقرة؛ حيث لوحظ وجود تطور واضح لخط ريفيل 250 خلال الفترة من عام 1966 إلى عام 1995م مع زيادة جبهة المياه المالحة خلال تلك الفترة؛ حيث بلغت مساحة الجبهة المالحة 3082.37 كم² عام 1966، على حين بلغت 2984.83 كم² عام 1976، أما عام 1995 فقد بلغت 3099.38 كم²، بنسبة زيادة 17.01 كم² على عام 1966.

وبمقارنة خط ريفيل عام 1966 بعام 1995 لوحظ حدوث حركة إلى الداخل في اتجاه الجنوب ناحية مركز مطويس، وجنوب مركزي الحامل وبلقاس، كما تبين وجود حركة في اتجاه البحر جنوب مركز سيدي سالم، ومركزي شربين وكفر سعد.



المصدر: Kamal, 2000, p. 59

شكل (16) : تطور نسبة ريفيل بمنطقة الدراسة.

ويرجع السبب في إزاحة جبهة المياه المالحة وتقدمها في اتجاه الداخل إلى السحب المتزايد من المياه الجوفية مما يعطي فرصة لتقدم جبهة مياه البحر. أما في المناطق التي يحدث بها تقهقر لمياه البحر فيعزي إلى السحب البسيط من الخزان الجوفي ووجود تسرب للمياه العذبة كمصدر تغذية للخزان.

ثالثاً : الآثار الجيومورفولوجية الناجمة عن هيدروديناميكية جبهة

تداخل المياه البحرية والجوفية والأخطار الناجمة عنها بمنطقة الدراسة :

تبين من دراسة حركة جبهة التداخل بين مياه البحر والمياه الجوفية وجود تقدم لجبهة مياه البحر داخل الدلتا واختلاطها بالمياه الجوفية العذبة مما أدى إلى زيادة تركيز بعض العناصر الكيميائية بالمياه الجوفية، لعل أهمها:

الصوديوم، والكلوريدات؛ ومن ثم زيادة تركيز الملوحة الكلية، حتى أصبحت غير صالحة لمعظم الاستخدامات، مثل: الشرب، والري، والصناعة. وفيما يلي دراسة نوعية المياه الجوفية ومدى تأثيرها في منطقة الدراسة (جدول (3):

1) تلوث المياه الجوفية :

المياه النقية كيميائياً لا وجود لها في الطبيعة، حتى مياه الأمطار ليست نقية، فكل من المياه السطحية والمياه الجوفية تحتوي على العديد من الأملاح الذائبة فيها وبعض الغازات (Abd El-Aziz, 1980, p. 47).

والجدير بالذكر أن الشروط التي تتطلبها فروع الاقتصاد المختلفة بالنسبة لنوعية المياه ليست متماثلة، فالمياه الصالحة للشرب ليست دائماً صالحة للأغراض الزراعية أو الصناعية، والعكس. إذ تتحكم نوعية المياه في الاستعمال النهائي لها.

وفيما يلي تصنيف المياه الجوفية حسب استخدامها في الأغراض المختلفة لمعرفة مدى التغير الذي حدث للخصائص الكيميائية بسبب اختلاطها بمياه البحر المالحة.

أ. تصنيف المياه الجوفية بغرض الشرب :

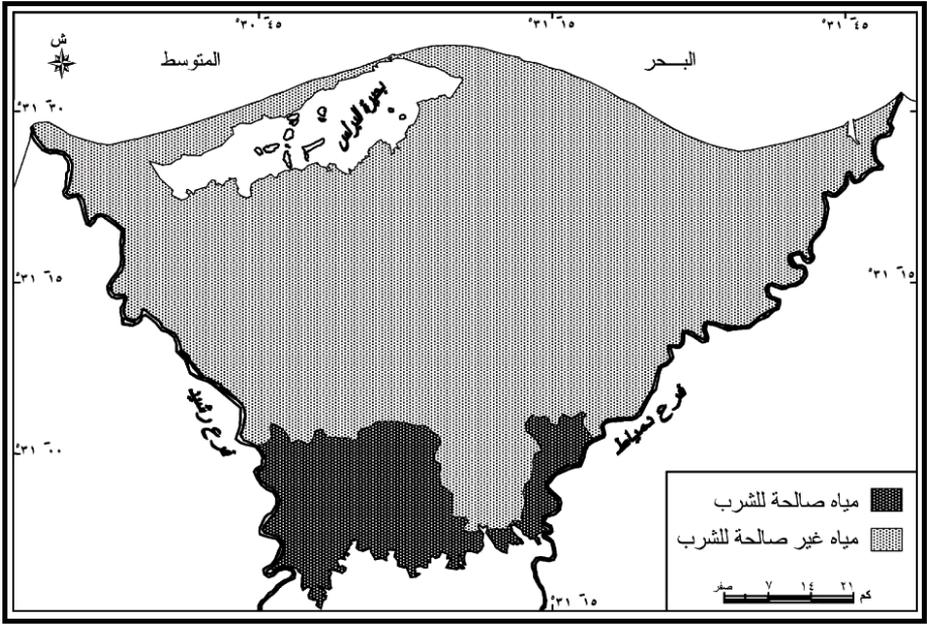
تزايد الاهتمام العالمي بموضوع جودة المياه الصالحة للشرب الأدمي، ومحاولة وضع معايير ومؤشرات كدلائل استرشادية يمكن استخدامها كحد أدنى لحماية صحة الإنسان من المخاطر المحتملة من تلوث مصادر المياه العذبة.

جدول (3) : متوسط الخصائص الكيميائية للمياه الحرفية (جزء في المليون) بمنطقة الدراسة في الفترة من 2000 إلى 2010م.

المحافظة	المركز	الملوحة	القوية	الصوديوم	الكالسيوم	المغنسيوم	اليوتاسيوم	الكبريتات	البيكربونات	الكربونات
قوة	الحامول	٢٧٦٣٣	٧,٤	٩٠,٥٠	٦٧٠	٦٩٠	١٩٢	٤١٦٢	٣٦	—
	الرياض	٣٨٨٩٥	٧,٥	١٢١٤٤	٥٢٥	١٣١٠	١٦٦	٤٠٦٨	٩٢	—
	البرلس	٥٠٣٥٨	٧,٨	١٤٨٧٨	٨٢٥	٧٧٢٣	٢٧	١٢٠٠	٩٢	—
	بيلا	٢٠٤٦٣	٧,٥	٧٥٤٠	٦٨٢	٥٠٦	٣٢	١٢٧٣	١٢	—
	مطويس	٢١٤٦١	٧,٦	٦٩٣٢	٦٧٥	٥١٤	٣٩	١٠٢٦	٤٠	—
	سبدي سالم	٣٠١٧٦	٧,٦	٩٥٣٧	٦٠٠	٩١٢	١٠٢	٢٥٤٧	٦٦	—
	كفر الشيخ	٣٧٦٤	٨,٤	١١٠٤	٢٨	٤٧	٨٢	٦٧	١٣٠٦	٨٤
	قلين	٣٥٥١	٧,٩	١٢٩٣	١٦٨	١١٩	٨٥	١٢٣١	٦٣	١١
	لسوق	٨١٣٨	٧,١	٢٠٩٢	٥٠١	٣٢٨	٣٣	٢٣٦١	٧٣	—
	فوه	٨٣٢٢	٧,٢	١٨٣٩	٥٢١	٣٦٥	٤١٠	٥٣٨	٦١٠	٨
لمياط	كفر سعد	٣٢١٨٩	٧,٨	١٠٣٩٦	١٠١٢	٧٧١	٥٨	١٥٣٩	٦٠	—
	بنقاس	٢٨٧٣٦	٧,٩	٨٥٧٥	١١٧٤	٨٤٤	٢٣	١٧٧٧	٣٧	—
	شربين	١٦٠٩٩	٧,٨	٥١٩٨	٥٠٩	٣٨٥	٢٩	٧٦٩	٣٠	٣
	طاقا	٩٢٠٠	٧,٣	٣٢٨٧	١٨٣	١٨٥	٥٥	٧٧٥	٤٣	٧
	المحلة الكبرى	٨٩٥٦	٧,٩	٤٢٥٥	١٩٤	١٦٨	٥١	٧٦٨	٨٥	٤
	سمفود	١٤٣٠	٧,٤	٥٤٧	٢٤	٣٣	١٧	٣٢	٢٠	٥
	قفور	٩٩٤	٨,٢	٢٢٩	٢٤	٣٥	٢٧	١٠٧	٣٦١	١٦
	بسيون	٩٢٣	٧,٨	٢٥٧	٣٤	٢١	٢	٢٧٧	١٥	١٢
	كفر الزيات	٧٨٨	٧,٢	١٦٣	٥٥	٧٨	٦	٤٤	١٧٧	١٧
	طنطا	٨٨٠	٧,٩	١٨٦	٦٧	٣٨	٥	٥٠	١٥٩	١٥

المصدر: Kamal, 2000, pp. 151-155 – Elewe and El-Nahry, 2009, p. 673

وكان الحد الأقصى للمواد الذائبة بمياه الشرب بالنسبة للإنسان 570 جزءاً في المليون من المواد المعدنية، غير أنه من الممكن استخدام مياه تحتوي على 2500 جزء في المليون لعدة أيام دون حدوث أضرار جسيمة. وفيما يلي تصنيف المياه الجوفية على أساس درجة الملوحة المحتملة للإنسان اعتماداً على المعايير التي حددتها منظمة الصحة العالمية إلى الآتي (شكل 17):



المصدر: اعتماداً على جدول (3).

شكل (17) : تصنيف ملوحة المياه الجوفية لغرض الشرب بمنطقة الدراسة.

- مياه صالحة للشرب : حيث تقل درجة الملوحة الكلية عن 1500 جزء في المليون، وتنتشر بمراكز : سمود، وقطور، وكفر الزيات، وطنطا، وتغطي مساحة تبلغ 4.1% من مساحة منطقة الدراسة. وتتراوح درجة الملوحة بين 788 و 1430 جزء في المليون، وسجلت أقل درجة ملوحة

بمركز كفر الزيات، وأعلى درجة تركيز للملوحة بمركز سمونود. أما بالنسبة لتركيز الكاتيونات والانيونات في هذه الفئة فهي صالحة للشرب، ماعدا تركيز البوتاسيوم بمركزي سمونود وقطور، حيث يتعدى تركيزه على 12 جزء في المليون، إذ بلغ 14 و 27 جزء في المليون على الترتيب.

- **مياه غير صالحة للشرب** : درجة الملوحة الكلية 1500 جزء في المليون فأكثر، وتغطي باقي أجزاء منطقة الدراسة، وتغطي مساحة تبلغ 95.9% من مساحة المنطقة. وتتراوح درجة الملوحة بين 3551 و 50358 جزء في المليون، وسجلت أقل درجة ملوحة بمركز قلين، وأعلى درجة تركيز بمركز البرلس.

ب. تصنيف المياه الجوفية بغرض الري :

تعتمد معظم التصنيفات لمياه الري على واحد أو أكثر من الصفات الآتية: كمية الملوحة الكلية، والملوحة المؤثرة (الكلوريدات والكبريتات)، والكربونات، والبيكربونات، والصوديوم، والعناصر السامة. وسوف يعتمد البحث على كل من الملوحة الكلية والكلوريدات فقط، فكما ذكرنا سابقاً بأن الأملاح والكلوريدات من الأسس الرئيسية لتحديد مدى تأثير نوعية المياه الجوفية في حالة اختلاطها بمياه البحر المالحة. أما باقي العناصر فقد يرجع زيادة تركيزها إلى مياه البحر المالحة أو بسبب اختلاطها بمصادر أخرى، مثل التسرب من مياه المصارف أو الصرف الصحي، أو الأسمدة الزراعية .. وغيرها. وحيث لا مجال هنا لدراسة الخصائص الكيميائية دراسة تفصيلية لمعرفة جميع العوامل المؤثرة على نوعية المياه الجوفية، حيث الهدف الرئيسي للبحث هو حركة مياه البحر ومدى تأثيرها على نوعية المياه الجوفية.

* **درجة الملوحة الكلية :**

قياساً على المعدلات الموضحة بالجدول (3) يمكن تصنيف المياه الجوفية بمنطقة الدراسة بحسب درجة الملوحة الكلية إلى الأقسام الآتية:

- **مياه ذات ملوحة كلية مرتفعة جداً** : درجة الملوحة الكلية 1500 جزء في المليون فأكثر، وتغطي معظم أجزاء منطقة الدراسة، حيث تشمل جبهة المياه المالحة (مياه البحر) وبعض أجزاء من جبهة التداخل، حيث تشمل جميع مراكز كفر الشيخ، ودمياط، والدقهلية التي تقع بمنطقة الدراسة، أما محافظة الغربية فتتمثل في مركز المحلة الكبرى فقط.

وتعتبر هذه المياه غير صالحة للري تحت الظروف الطبيعية، ولكن يمكن استخدامها في بعض الأحيان تحت ظروف خاصة جداً تكون فيها التربة ذات نفاذية عالية وصرف جيد، وتستهمل المياه بكميات كبيرة بقصد غسيل التربة ما قد يتجمع من الأملاح في التربة، وفي ري المحاصيل شديدة التحمل للملوحة، ولكن ينطبق ذلك فقط في المراكز التي تدخل ضمن نطاق جبهة التداخل، أما المراكز التي تقع بجبهة المياه المالحة والتي تقع شمال منطقة الدراسة فهي غير صالحة للري تماماً تحت أي ظروف.

- **مياه ذات ملوحة كلية مرتفعة** : تتراوح درجة تركيز الأملاح بها بين 500 و 1500 جزء في المليون، وتنتشر جنوب منطقة الدراسة بمراكز: سمنود، وقطور، ويسيون، وكفر الزيات، وطنطا. ولا يمكن استعمال هذه المياه في الأراضي سيئة الصرف، وإذا توفرت تحت ظروف صرف جيد وعمل خدمة جيدة للتربة للتحكم في الملوحة التي تنشأ من المياه.

* **درجة تركيز الملوحة المؤثرة :**

عند قياس مدى صلاحية المياه الجوفية للري يؤخذ في الاعتبار تركيز الكلوريدات بالإضافة إلى تركيز الكبريتات، معبراً عنها باسم الملوحة المؤثرة (النادرة)، وهي عبارة عن تركيز الكلوريدات + نصف تركيز الكبريتات معبراً

عنها بالمليمكافئ (على عبد الله حسن، 1995، ص 477). والموضحة بالجدولين (4 و 5) والشكل (18).

جدول (4) : درجة تركيز الملوحة المؤثرة (النادرة) ملليمكافئ/لتر بمنطقة الدراسة.

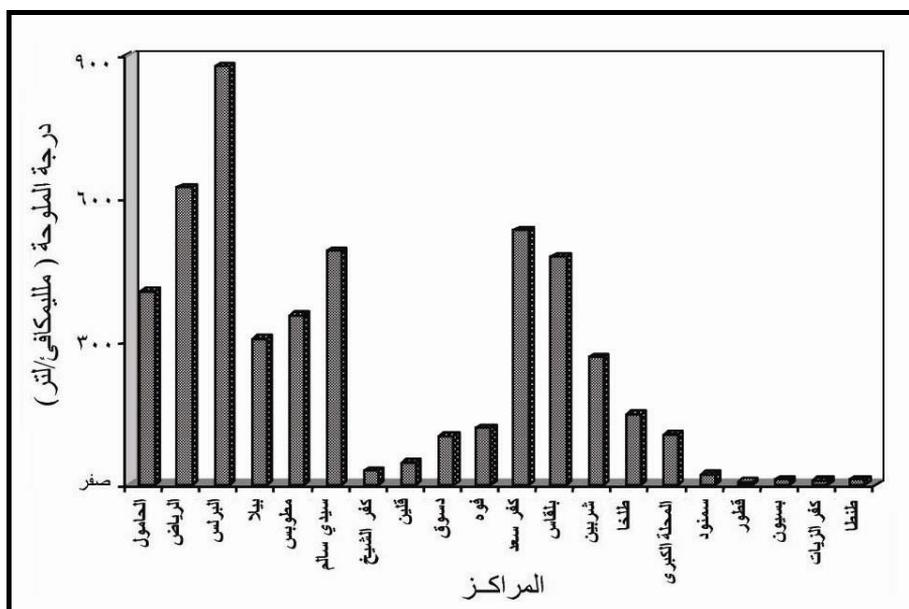
المركز	الكلوريدات	الكبريتات	الملوحة النادرة
الحامول	361.89	86.57	405.18
الرياض	580.64	84.61	622.95
البرلس	864.70	24.96	877.18
بيلا	292.38	26.48	305.62
مطويس	345.03	21.34	355.70
سيدي سالم	462.82	52.98	489.31
كفر الشيخ	29.50	1.39	30.19
قلين	45.99	1.31	46.65
دسوق	77.55	49.11	102.10
فوه	113.96	11.19	119.55
كفر سعد	517.55	32.01	533.56
بلقاس	459.83	36.96	478.31
شربين	258.76	16.0	266.76
طلخا	145.65	5.72	148.51
المحلة الكبرى	96.75	15.97	104.74
سمنود	21.21	0.67	21.54
قطور	5.50	2.23	6.61
بسيون	8.60	5.76	11.48
كفر الزيات	8.40	0.92	8.86
طنطا	10.15	1.04	10.67

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على المعادلة: (ملليمكافئ/لتر = ملليجرام/لتر / المعامل الحسابي).
معامل الكلوريدات = 0.0282 ومعامل الكبريتات = 0.0208 (بوجومولوف، 1975، ص ص 265-266).

جدول (5) : تأثير الكلوريدات والكبريتات على نوعية مياه الري.

تركيز (الكلوريدات + نصف الكبريتات) ملليمكافئ/لتر			نوعية المياه
نفاذية عالية	نفاذية متوسطة	نفاذية ضعيفة	
أقل من 7	أقل من 5	أقل من 3	مياه جيدة
15 - 7	10 - 5	5 - 3	مياه متوسطة
15 فأكثر	10 فأكثر	5 فأكثر	مياه رديئة

المصدر: عبد الله الأمين، 1990، ص 256.



المصدر: جدول (4).

شكل (18): تركيز الملوحة المؤثرة بمنطقة الدراسة.

يتضح من الجدول والشكل السابق أن درجة تركيز الملوحة المؤثرة تتراوح بين 6.61 و 877.18 ملليمكافئ/لتر، وسجلت أقل درجة تركيز في مركز قطور، وأعلى درجة تركيز بمركز البرلس.

وبناءً على ذلك يمكن تصنيف المياه الجوفية بمنطقة الدراسة قياساً على المعدلات الموضحة بالجدول (4) علماً بأن تأثير هذا التركيز يتوقف على نفاذية الأرض، إلى الآتي:

*** تربة ذات نفاذية مرتفعة :**

- **مياه جيدة الصلاحية:** توجد في مركز قطور فقط، حيث بلغت درجة تركيز الملوحة المؤثرة 6.61 ملليمكافئ/لتر.
- **مياه متوسطة الصلاحية:** تنتشر بمراكز: كفر الزيات، وطنطا، وبسيون، إذ تتراوح درجة تركيز الملوحة المؤثرة بين 8.86 و 11.48 ملليمكافئ/لتر. أما باقي المراكز فهي غير صالحة للري تماماً؛ حيث إن الحد الأقصى للملوحة المؤثرة لاستخدامها في الري في التربات ذات النفاذية المرتفعة 15 ملليمكافئ/لتر.

*** تربة ذات نفاذية متوسطة :**

تعتبر المياه الجوفية متوسطة الصلاحية للري بمركزي قطور وكفر الزيات، إذ بلغت درجة الملوحة المؤثرة 6.61 و 8.86 ملليمكافئ/لتر على الترتيب، أما باقي المراكز فهي غير صالحة للري تماماً، فالحد الأقصى للملوحة المؤثرة لاستخدامها في الري في التربات ذات النفاذية المتوسطة 10 ملليمكافئ/لتر.

*** تربة ذات نفاذية منخفضة :**

تعتبر المياه الجوفية غير صالحة للري تماماً في جميع مراكز منطقة الدراسة؛ حيث إن الحد الأقصى للملوحة المؤثرة لاستخدامها في الري في التربات ذات النفاذية المنخفضة 5 ملليمكافئ/لتر.

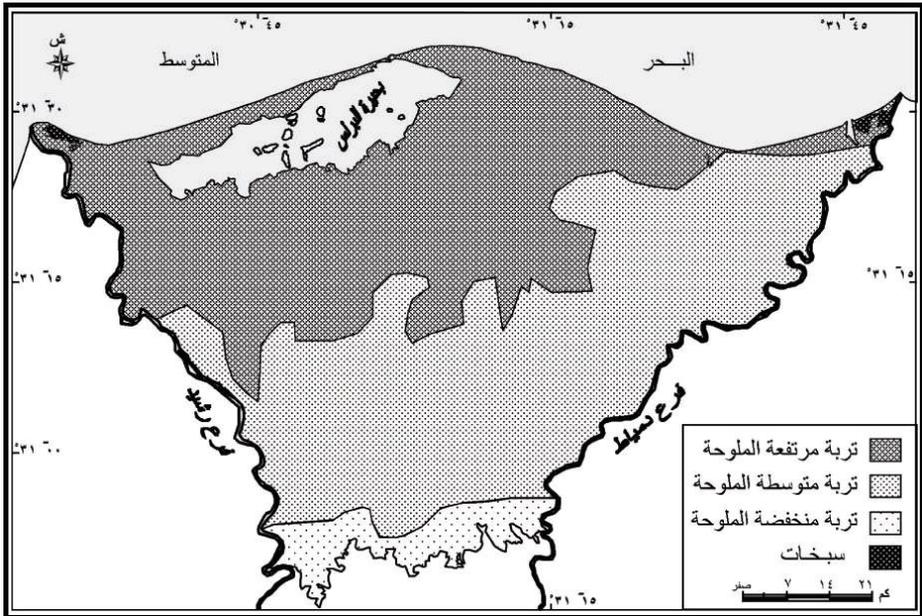
(2) ملوحة التربة :

أجمع الباحثون على أن تجمع الأملاح بالتربة يرتبط أشد الارتباط بعمق الماء الجوفي وتركيز الأملاح فيه، وتجمع الأملاح من الماء الجوفي في الطبقات السطحية من القطاع الأرضي محصلة لعمليتين، هما:

- صعود الماء من مستوى الماء الجوفي إلى السطح وذلك بواسطة الخاصية الشعرية.
- فقد الماء بالتبخر تاركاً محتوياته من الأملاح في الأرض.

ويمكن تصنيف الأراضي بمنطقة الدراسة حسب درجات الملوحة المختلفة

إلى الآتي (شكل 19):



شكل (19) : ملوحة التربة بمنطقة الدراسة.

أ. أراض منخفضة الملوحة :

هي الأراضي التي بها نسبة عادية من الأملاح الذائبة في طول القطاع، أي أن درجة التوصيل الكهربائي لا تزيد على 2 ملليموز/سم، وقد توجد نسبة متوسطة من الأملاح لا تضر بالمحاصيل الزراعية، وهذه الأراضي يلزم الاعتناء فيها بحالة الصرف الحقلي للمحافظة على هذه النسبة المنخفضة من الأملاح، وتغطي هذه الأراضي مساحة 308.22 كم² بنسبة 4.7% من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، وتنتشر في الجنوب بمراكز كفر الزيات، وطنطا، وأجزاء بسيطة من مركزي المحلة الكبرى وسمنود.

ب. أراض متوسطة الملوحة :

هي الأراضي التي بها نسبة متوسطة من الأملاح الذائبة في طول القطاع أي أن درجة التوصيل الكهربائي تتراوح بين 2 و 4 ملليموز/سم، وهذه الأراضي تحتاج إلى إعطاء كميات من مياه الري لغسيل الأملاح الزائدة المرتفعة مع توفر الصرف الحقلي الجيد، وتغطي هذه الأراضي مساحة 3022.48 كم² بنسبة 46% من إجمالي مساحة المنطقة، وتوجد في وسط منطقة الدراسة بمراكز: قلين، وطلخا، وشربين، وقطور، وبسيون، وأجزاء من مراكز: دسوق، وكفر الشيخ، والمحلة الكبرى، وبيلا، وكفر سعد، وبلقاس، وفوه. مع ملاحظة أن بعض المواقع تنخفض بها نسبة الملوحة بالطبقة السطحية عن الطبقة تحت السطحية، حيث تراوحت بين 2.6 و 3.1 ملليموز/سم، وبين 2.3 و 3.5 ملليموز/سم على التوالي (Nagib, 1999, p. 81).

ج. أراض مرتفعة الملوحة :

هي الأراضي التي بها نسبة مرتفعة من الأملاح الذائبة في طول القطاع أي أن درجة التوصيل الكهربائي تبلغ 4 ملليموز/سم فأكثر. وهذه الأراضي

تحتاج إلى حفر شبكة كاملة من المصارف الحقلية بعمق يتراوح من 80 إلى 100 سم من سطح التربة وعلى أبعاد 25 متراً بين كل مصرفين حقلين ثم توفير مياه الري بكميات كبيرة لإجراء عمليات الغسيل الحقلي. وتغطي هذه الأراضي مساحة 2787.26 كم² بنسبة 42.4% من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، وتنتشر في الشمال بمراكز : الحامول، والبرلس، والرياض، وسيدي سالم، ومطوبس، وأجزاء من مراكز بلقاس، وكفر سعد، وبيلا، وكفر الشيخ، ودسوق، وفوه، حيث تتراوح درجة الملوحة بين 4 و 33.7 ملليموز/سم.

وبمقارنة خريطة ملوحة التربة بخريطة ملوحة المياه الجوفية، والتي توضح جبهة التداخل وجود ارتباط طردي قوي بلغ 0.99؛ حيث لوحظ ارتفاع ملوحة المياه الجوفية بالاتجاه شمالاً حتى تحولها إلى مياه بحر، وارتفاع ملوحة التربة بالاتجاه شمالاً أيضاً، حتى تحولها إلى سبخات في بعض المناطق الشمالية. وقد أثبتت الدراسات أن نشأة السبخات ترجع إلى عاملين، هما : ارتفاع منسوب المياه الجوفية واقترابه من سطح الأرض، أو غمر المناطق المنخفضة بمياه البحر في فترات المد المرتفعة. وقد تبين من دراسة الخصائص الهيدروجيولوجية والهيدروليكية لمنطقة الدراسة أن الحركة الرأسية للمياه الجوفية لأعلى هي الشائعة وخاصة في الجزء الشمالي، حيث تغطي 62.15% من إجمالي مساحة منطقة الدراسة؛ مما كان له الأثر الأكبر في زيادة نسبة الملوحة في التربة، وتحولها مع مرور الوقت إلى سبخات. ومن ثم اجتمع العاملان: مياه البحر عن طريق عمليتي المد والجزر، وتسرب المياه الجوفية إلى أعلى - هي في الأصل جبهة مياه البحر المالحة في المنطقة الشمالية - في نشأة وتطور السبخات بمنطقة الدراسة.

وقد تبين من دراسة مواضع انتشار السبخات بالمرئيات الفضائية عام 2005م وجود ثلاثة مواقع تنتشر بها: الموقع الأول في شمال غرب منطقة الدراسة بمركز مطويس، وبلغ مساحته 8.56 كم²، أما الموقع الثاني فيقع شمال شرق مركز بلقاس، وهو عبارة عن مجموعات من السبخات صغيرة المساحة، حيث تتراوح بين 0.01 و 0.175 كم²، وبالنسبة للموقع الثالث والأخير فيقع في شمال شرق منطقة الدراسة بمركز كفر سعد، وبلغ مساحته 10.39 كم²، ومن ثم فإن إجمالي مساحة السبخات بلغ 19.31 كم²، أي بنسبة 0.3% من جملة مساحة منطقة الدراسة، وتعتبر هذه النسبة صغيرة جداً، ويرجع ذلك إلى التدخل البشري وليس لقلة تأثير عوامل النشأة والتطور، حيث تم تحديد مجموعة من الأحواض على أجزاء من سبخات منطقة الدراسة وتحويلها إلى مزارع سمكية. في حين تحولت أجزاء منها إلى عمران وطرق، وخاصة السبخة الواقعة شمال شرق منطقة الدراسة والتي تقع بجوار ميناء دمياط، ومن ثم فإن النمو العمراني المستمر لمدينة دمياط الجديدة ومد الطريق الساحلي الدولي أدى إلى تقلص وانخفاض مساحة السبخات بهذه الدرجة.

(3) القدرة الإنتاجية للأراضي :

يزداد عادة تركيز الأملاح في المحلول الأرضي، وترجع هذه الزيادة إلى أن الماء الذي يفقد بالبخر والنتح من سطح التربة يكون نقياً وخالياً من الأملاح، ويؤدي هذا إلى زيادة الأملاح في المحلول الأرضي، وينعكس أثر ذلك على معدل امتصاص النباتات للماء، وبالتالي على معدل نمو النبات وإنتاجية المحصول.

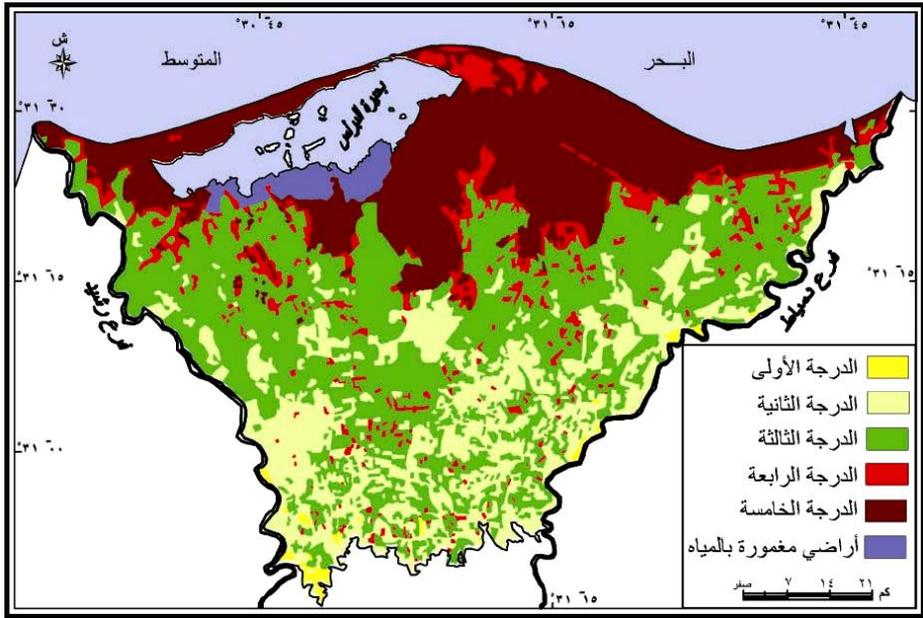
ويرجع التأثير الضار إلى زيادة الضغط الإسموزي للأملاح في التربة، إلى أن كل جزء أو حبيبة ملحية تجذب وتمسك الرطوبة حولها، وبالتالي تزداد الطاقة التي تبذلها جذور النباتات لشد وامتصاص الماء الممسوك حول الأملاح، هذا بالإضافة إلى أن جذور النباتات تسمح بحرية الحركة للماء من خلالها، ولا تسمح بحركة المواد الذائبة أو المحاليل، ولذا فإن الضغط الإسموزي للأملاح يقلل من سريان الماء بالانتشار الحر داخل جذور النباتات (محمود عبد العزيز، 1998، ص 174).

ويوضح الشكل (20) والجدول (6) تصنيف أراضي منطقة الدراسة حسب القدرة الإنتاجية.

جدول (6) : تصنيف الأراضي حسب قدرتها الإنتاجية بمحافظة الغربية عام 2007.

الأراضي المنزرعة حسب قدرتها الإنتاجية بالفدان								المركز
درجة أولى	%	درجة ثانية	%	درجة ثالثة	%	درجة رابعة	%	
3237	5.3	42939	70.1	15027	24.5	30	0.1	طنطا
.	.	51455	58.9	34369	39.4	1525	1.7	المحلة الكبرى
10369	25.7	22059	54.8	7053	17.5	801	2.0	كفر الزيات
.	.	23206	50.6	21955	47.8	723	1.6	قطور
608	1.9	24630	75.7	6337	19.5	954	2.9	بسيون
1937	7.0	15137	54.4	10689	38.4	79	0.2	سمنود

المصدر: محافظة الغربية، مديرية الزراعة، عام 2007.



المصدر: معهد بحوث الأراضي والمياه والبيئة، بيانات غير منشورة، عام 1975م.

شكل (20) : تصنيف أراضي منطقة الدراسة حسب القدرة الإنتاجية.

وقد تم تصنيف أراضي منطقة الدراسة اعتماداً على الشكل (20) إلى الآتي:
أ. أراض من الدرجة الأولى :

هي أراض عالية الإنتاج يفوق إنتاجها كثيراً المتوسط العام لإنتاج الفدان من المحاصيل الزراعية المختلفة بالجمهورية، وتوجد بها معظم المحاصيل وتعتبر تكاليف الخدمة الزراعية بها عادية، وهي بصفة عامة خالية من العيوب التي تقلل من إنتاجها، وتبلغ مساحتها 50.6 كم²، بنسبة 0.8% من جملة مساحة منطقة الدراسة، وتوجد أراضي هذه الدرجة في المراكز الجنوبية فقط بمنطقة الدراسة؛ حيث تراوحت بين 1.9 و 25.7% من مساحة مراكز محافظة الغربية، إذ تنتشر بمراكز: طنطا، وكفر الزيات، وبسيون، وسمنود، وأجزاء بسيطة جداً من مركزي طلخا وشربين.

ب. أراض من الدرجة الثانية :

هي الأراضي المنزرعة الجيدة الإنتاج التي يفوق إنتاجها المتوسط العام لإنتاج المحاصيل المختلفة وتكاليف الخدمة الزراعية بها عادية، والري بها متوفر بالكميات الكافية وحالة الصرف تعتبر جيدة. وملوحة التربة بها عادية وغالبا ما تكون خالية من القلوية، وقد بلغت مساحة هذه الأراضي 1197.30 كم²، أي بنسبة 18.2% من جملة مساحة منطقة الدراسة، وتنتشر أراضي هذه الدرجة في جميع مراكز محافظة الغربية، وبعض المراكز الجنوبية من محافظة كفر الشيخ، بالإضافة إلى مركزي طلخا وشربين بمحافظة الدقهلية. مع ملاحظة أنها تغطي أكثر من 50% من مساحة المراكز الجنوبية بمنطقة الدراسة، حيث تتراوح بين 54.1 و 75.7%، سجلت أقل نسبة بمركز سمونود وأعلى نسبة بمركز بسيون.

ج. أراض من الدرجة الثالثة :

هي الأراضي المنزرعة المتوسطة الإنتاج وتعطي محاصيل تعتبر إنتاجية الفدان فيها في حدود المتوسط العام لإنتاج الفدان بالجمهورية. وهذه الأراضي غالباً تكون بها نسبة عادية أو متوسطة من الأملاح ونادراً ما تكون بها نسبة مرتفعة من الأملاح. وغالبية أراضي هذه الدرجة خالية من القلوية، وقد توجد بعض المساحات التي توجد بها قلوية شديدة تحتاج في علاجها إلى إضافة الجبس الزراعي، وقد بلغت مساحة هذه الأراضي 2658.43 كم²، أي بنسبة 40.5% من جملة مساحة منطقة الدراسة. وتنتشر غالبية هذه الأراضي في محافظة كفر الشيخ والدقهلية.

د. أراض من الدرجة الرابعة :

هي الأراضي المنزرعة ذات الإنتاج الضعيف، أي أن إنتاجها أقل من المتوسط العام لإنتاج الفدان من المحاصيل في الجمهورية. وهي إما أراض عادية الملوحة أو ملحية، وغالباً ما تكون خالية من القلوية، مع ملاحظة أن ضعف هذه الأراضي إنما يعود إلى إهمال الأهالي في العناية بها. لذا فهذه الأراضي تحتاج إلى التخلص من الأملاح الزائدة وذلك بإجراء عمليات الغسيل بعد تحسين حالة الصرف الحقلية مع توفير مياه الري والعناية بالخدمة الزراعية. وتبلغ مساحة هذه الأراضي 509.9 كم²، بنسبة 7.8% من جملة مساحة منطقة الدراسة، وتنتشر هذه الأراضي في جميع مراكز محافظة كفر الشيخ ومركزي شربين وبلقاس بمحافظة الدقهلية فقط.

هـ. أراض من الدرجة الخامسة:

يقع تحت هذا القسم الأراضي البور الصالحة للزراعة، والتي لم تستصلح بعد، وهي أراض غالباً ما تكون ملحية، وتحتاج هذه الأراضي إلى إنشاء مشاريع الري والصرف الحقلية اللازمة لها، وتبلغ مساحة الأراضي البور الصالحة للزراعة 1558.6 كم²، بنسبة 23.7% من جملة مساحة منطقة الدراسة، وتنتشر في جميع المراكز الشمالية المطلة على ساحل البحر المتوسط والمناطق المجاورة لبحيرة البرلس فقط.

أما الأراضي المتبقية والتي تمثل 9.1%، فتتقسم إلى أراض مغمورة بالمياه بنسبة 2.2%، وبحيرة البرلس بنسبة 6.9% من إجمالي مساحة المنطقة.

وقد تم التركيز على بعض المحاصيل كنموذج لمعرفة مدى تأثير الإنتاجية بتزايد محتوى التربة من الأملاح وتدهور بعض صفاتها الكيميائية والحيوية

الناشئة من تدهور نوعية المياه الجوفية نتيجة اختلاطها بمياه البحر، مثل:
القمح، والقطن (جدول 7).

جدول (7) : متوسط إنتاجية الفدان لبعض المحاصيل الزراعية بمنطقة الدراسة.

المركز	القمح (اردب)	القطن (قنطار)	المركز	القمح (اردب)	القطن (قنطار)
الحامول	16.7	4.7	كفر سعد	16.1	5.3
الرياض	16.4	6.3	بلقاس	19.3	4.7
اليرلس	16.6	5.2	شربين	20.5	6.5
بيلا	18.2	7.2	طلخا	21.1	6.1
مطويس	18.4	6.8	المحلة الكبرى	18.3	8.4
سيدي سالم	17.5	7.2	سمنود	18.9	7.9
كفر الشيخ	20.4	6.7	قطور	18.9	8.8
قلين	18.7	7.5	بسيون	18.7	8.8
دسوق	18.7	8.1	كفر الزيات	20.7	8.0
فوه	16.2	7.7	طنطا	19.3	5.6

المصدر: محمد عيد، 2003، ص ص 216 و 239. مديرية الزراعة، بيانات غير منشورة بكفر الشيخ،
والغربية، والدقهلية، 2007.

يتضح من الجدول وجود تباين في متوسط إنتاجية محصولي القمح
والقطن بين المواقع المختلفة بمنطقة الدراسة، والتي يمكن توضيحها على النحو
التالي:

* إنتاجية محصول القمح :

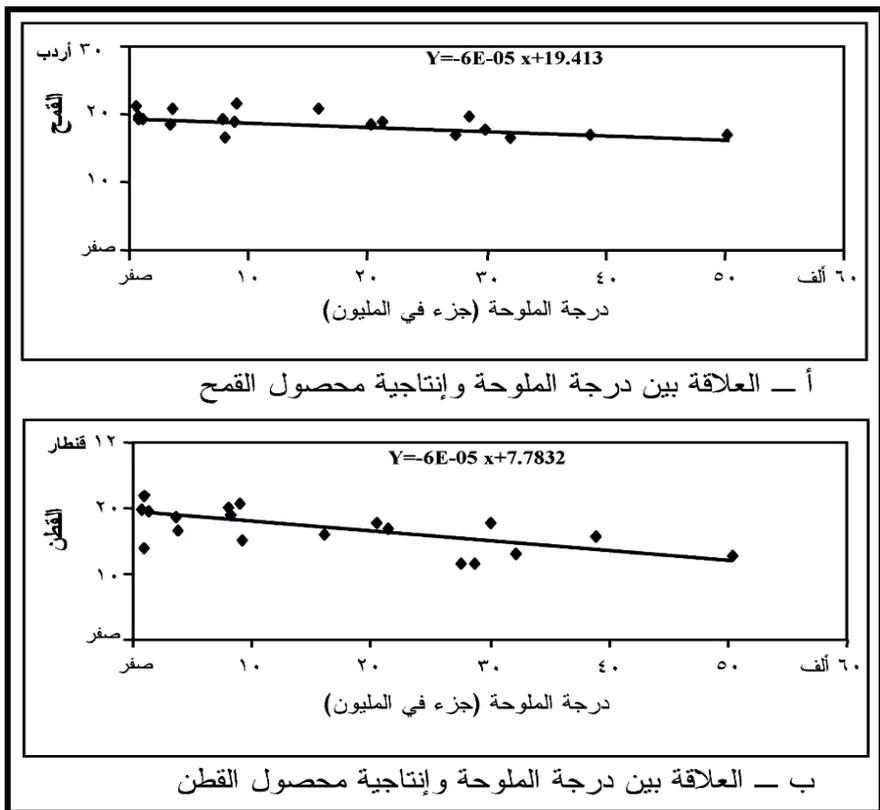
تتراوح إنتاجية محصول القمح بمنطقة الدراسة بين 16.1 و 21.1 إردباً، وسجلت أقل إنتاجية والتي تقل عن 17 إردباً بمراكز: الحامول، والرياض، والبرلس، وفوه، وكفر سعد، ومعظم هذه المراكز تقع في شمال منطقة الدراسة بمنطقة جبهة مياه البحر، أما أعلى إنتاجية والتي تزيد على 19 إردباً تنتشر بمراكز: كفر الشيخ، وبلقاس، وشربين، وطلخا، وكفر الزيات، وطنطا، ومعظم هذه المراكز تقع في جنوب منطقة الدراسة بمنطقة جبهة المياه العذبة، أما باقي المراكز فتقع النسبة الأكبر منها ضمن جبهة التداخل بين مياه البحر والمياه الجوفية العذبة، ويتراوح إنتاجية الفدان بها بين 17 و 19 إردباً.

* إنتاجية محصول القطن:

تتراوح إنتاجية محصول القطن بمنطقة الدراسة بين 4.7 و 8.8 قنطار، وسجلت أقل إنتاجية والتي تقل عن 6 قناطير بمراكز: الحامول، والبرلس، وبلقاس، وكفر سعد، وطنطا، وتقع 80% من هذه المراكز شمال منطقة الدراسة، أما أعلى إنتاجية والتي تزيد على 8 قناطير فتنتشر بمراكز: دسوق، والمحلة الكبرى، وقطور، وبسيون، وكفر الزيات، ومعظم هذه المراكز تقع في منطقتي جبهة المياه العذبة وجبهة منطقة التداخل بين مياه البحر والمياه الجوفية العذبة.

يتضح من ذلك وجود ارتباط واضح بين نوعية المياه الجوفية وإنتاجية المحاصيل، حيث بلغ -0.62 لمحصول القمح و-0.66 لمحصول القطن (شكل 21)، وهو ارتباط عكسي قوي. وهذا معناه أنه مع زيادة درجة تركيز الملوحة الكلية بالمياه الجوفية يؤدي إلى انخفاض إنتاجية المحاصيل، سواء

كان ذلك عن طريق استخدام المياه الجوفية في الري أو ارتفاعها إلى أعلى سواء عن طريق الخاصية الشعرية أو نتيجة الضاغط البيزومتري.



المصدر: اعتمادا على جدول (3) وجدول (7).

شكل (21): العلاقة بين درجة الملوحة وإنتاجية بعض المحاصيل بمنطقة الدراسة.

وقد تبين من الدراسات السابقة التي تناولت تأثير الأملاح على إنتاجية محصول القمح أن زيادة وحده واحده (1 ملليموز/سم) إلى نقص النسبة المئوية للإنبات بمقدار 5.3٪، ونقص معدل النمو بمقدار 1.5٪، ومن ثم انخفاض الإنتاجية بمقدار 5٪ (Talat, 1984, pp. 110-111).

أما بالنسبة لمحصول القطن فقد أثبتت الإحصائيات الزراعية وجود أثر سيئ لارتفاع المياه الجوفية على محصول القطن؛ حيث يسبب ارتفاع المياه الجوفية غمر جذور القطن المحمل باللوز مما يضعف حيوية النبات، ومن ثم يؤدي إلى تساقط اللوز، هذا بدوره يؤدي إلى نقص الإنتاج.

وقد قامت وزارة البيئة بدراسة الأثر الذي يمكن أن تسببه ملوحة التربة على إنتاجية المحاصيل بمحافظة دمياط، وقد أجرى تحليل خطي استناداً إلى إنتاج 36 محصولاً تتم زراعتها بالمحافظة، وقد تبين أن متوسط إنتاجية الفدان في دمياط يقل بحوالي 19% عن المستوى القومي، وهذا معناه أن هناك علاقة إحصائية مهمة بين الإنتاجية وحساسية المحاصيل سواء لملوحة المياه الجوفية أو ملوحة التربة (وزارة الدولة لشئون البيئة، 2004، ص 81).

وتجدر الإشارة إلى أن وجود أكثر من مركز يشذ عن القاعدة الأساسية وهو انخفاض الإنتاجية مع ارتفاع درجة الملوحة، إنما يرجع إلى عدة عوامل متداخلة ومتشابكة أهمها هو التفاوت في خدمة الأرض الزراعية من مكان إلى آخر، وقدرة المزارعين على اختيار المحاصيل المناسبة لزراعتها اعتماداً على درجة تحمل المحاصيل للملوحة والخصائص الميكانيكية لأراضيهم.

رابعاً : سيناريوهات تأثير التغيرات المناخية المتوقعة على هيدروديناميكية جبهة تداخل المياه البحرية والجوفية بمنطقة شمال الدلتا :

يعتبر التغير المناخي حقيقة ثابتة علمياً رغم أنه ليس من السهل التنبؤ بالأثر المحدد لانبعاث الغازات الدفيئة واستمرار ظاهرة الاحتباس الحراري، والتي تؤدي إلى ذوبان الجليد، وكذلك زيادة حجم الكتل المائية بالبحار والمحيطات بفعل عامل التمدد. وهذا بدوره سوف يؤدي إلى ارتفاع مستوى منسوب البحر بمقدار ما يتناسب مع حجم الزيادة الحادثة في درجة الحرارة، مما يعني تقدم البحر وغمره لأجزاء شاسعة من الأراضي الساحلية المنخفضة.

أما الآلية التي تعتمد عليها غالبية الدراسات في تحديد نسبة الارتفاع المتوقع في سطح البحر وفي حساب المساحات المهددة بالغرق، فهي "النماذج الرياضية" أو ما يعرف بأسلوب النمذجة أو المحاكاة الرقمية، حيث تحاول محاكاة الواقع وتمثيل ما يمكن أن يحدث في المستقبل، وذلك من خلال قدرتها على إيجاد الرابط بين نظام ما (مثل الغلاف الجوي أو البحار والمحيطات) والعوامل المؤثرة فيه، واستنهاض تلك العلاقة في المستقبل من أجل معرفة تداعيات هذا التأثير. وهناك أنواع كثيرة لنماذج التغير المناخي تتباين فيما بينها في أسلوب العمل ونوعية البيانات والمتغيرات المدخلة إليها، لكنها تشترك جميعاً في أنها تتطلب كمّاً كبيراً من البيانات والمدخلات النظرية والعملية، وهذا التنوع في النماذج يؤدي إلى خلق العديد من السيناريوهات المتوقعة لارتفاع منسوب سطح البحر، ومن ثم يؤدي هذا الاختلاف إلى التباين في مدى تأثير هذه السيناريوهات على درجة تسرب مياه البحر واختلاطها بالمياه الجوفية.

وفيما يلي دراسة لبعض هذه السيناريوهات وخاصة الصادرة من اللجنة الحكومية الدولية المعنية بالتغير المناخي على النحو التالي:

طبقاً للدراسات والبيانات التي جاء بها التقرير الرابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بشؤون المناخ «IPCC»، الصادر في ديسمبر ٢٠٠٧، جدول (8) فإن درجة الحرارة سوف تزداد في السنوات العشر الأخيرة من القرن الواحد والعشرين ٢٠٩٠-٢٠٩٩ بمتوسط يتراوح بين ١.٨ درجة مئوية في الحد الأدنى للانبعاثات (وهو السيناريو الأكثر تفاعلاً)، و ٤ درجات مئوية في الحد الأقصى للانبعاثات (وهو السيناريو الأكثر تشاؤماً) عما هي عليه في نهاية القرن العشرين ١٩٨٠-١٩٩٩، وأن هذا الارتفاع في درجة الحرارة سوف يتسبب في رفع منسوب سطح البحر بمقدار يتراوح بين ١٨

و ٣٨ سم في الحد الأدنى، و ٢٦ و ٥٨ سم في الحد الأقصى عما هو عليه خلال الفترة من ١٩٨٠-١٩٩٩.

جدول (8) : سيناريوهات تغير درجة الحرارة وارتفاع منسوب سطح البحر في القرن الواحد والعشرين.

ارتفاع منسوب سطح البحر (سم) 2099-2090 مقارنة بـ 1990-1980	تغير درجة الحرارة (م) 2099-2090 مقارنة بـ 1990-1980	تركيز ثاني أكسيد الكربون جزء في المليون	السيناريوهات
38 . 18	1.8	600	1
45 . 20	2.4	700	2
43 . 20	2.4	800	3
48 . 21	2.8	850	4
51 . 23	3.4	1250	5
59 . 26	4.0	1550	6

المصدر: IPCC, 2007, p. 8

كما تشير دراسة (El-Nahry & Doluschitz, 2010) إلى حدوث ارتفاع تدريجي في منسوب سطح مياه البحر خلال القرن الواحد والعشرين (جدول 9)، بمقدار يتراوح بين ١٨ و 20 سم في الحد الأدنى، و 79 و 90 سم في الحد الأقصى خلال الفترة من عام 2090 إلى عام 2100م عما هو عليه عام 1990.

جدول (9) : سيناريوهات ارتفاع منسوب سطح البحر

في القرن الواحد والعشرين.

السنة	أدنى ارتفاع (سم)	متوسط الارتفاع (سم)	أقصى ارتفاع (سم)
1990	0	0	0
2000	2	2	5
2010	4	5	11
2020	5	8	18
2030	7	11	25
2040	9	15	32
2050	11	20	40
2060	13	25	49
2070	14	30	59
2080	16	36	68
2090	18	43	79
2100	20	50	90

المصدر: El-Nahry & Doluschitz, 2010, p. 1501

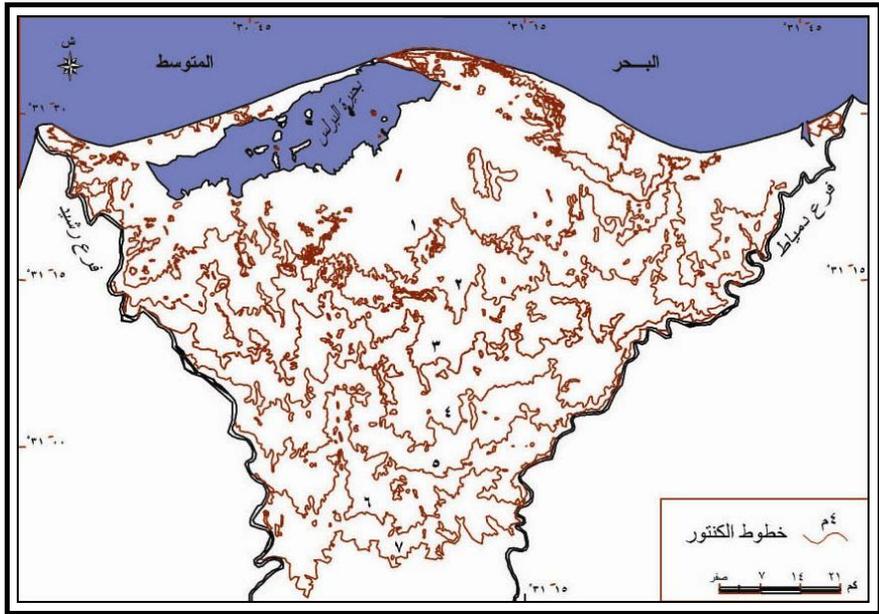
وتجدر الإشارة إلى أن المخاطر الناشئة عن ارتفاع منسوب البحر الأبيض المتوسط لا تتمثل فقط في مقدار الارتفاع، وإنما أيضا في كمية المياه الزائدة الناشئة عن هذا الارتفاع، فارتفاع قدره متر خلال هذا القرن يعني زيادة في كمية المياه بالبحر الأبيض المتوسط قدرها ٢.٥ تريليون متر مكعب من المياه. هذه الكمية الزائدة سوف يتم تصريفها في الأراضي المنخفضة الواقعة على سواحل البحر الأبيض المتوسط التي يقل ارتفاعها عن متر فوق منسوب سطح البحر. والدلتات هي أكثر الأراضي انخفاضا على السواحل، والدلتا المصرية وإن كانت تمثل نحو ٢٥٪ من مساحات المناطق المنخفضة في حوض البحر الأبيض المتوسط إلا أنها تعد الأخطر تهديدا ليس في حوض البحر المتوسط فحسب وإنما بين دلتات العالم، بوصفها أشد الدول تضرراً من حيث النشاط الزراعي نحو

١٢.٥٪ من جملة المساحة المزروعة، وعدد السكان المتضررين الذين سيهجرون أراضيهم ١٠٪ من جملة عدد السكان (Khaled, 2010).

وسوف تنفذ هذه المياه من خلال أى ثغرة منخفضة يقل منسوبها عن متر واحد فوق منسوب سطح البحر (شكل 22)، حيث تتخلل الأحزمة الرملية المحيطة بالساحل الشمالي للدلتا. وأخطر مناطق الحزام هي المنطقة الساحلية الواقعة بين الجزيرة الخضراء غرباً بمركز مطويس وكوم مشعل شرقاً بمركز سيدي سالم بطول ١٣.٦ كم، حيث إنها تهدد كل المساحات الزراعية الواقعة جنوب الحزام بين بحيرة البرلس ونهر النيل حتى جنوب فوه.

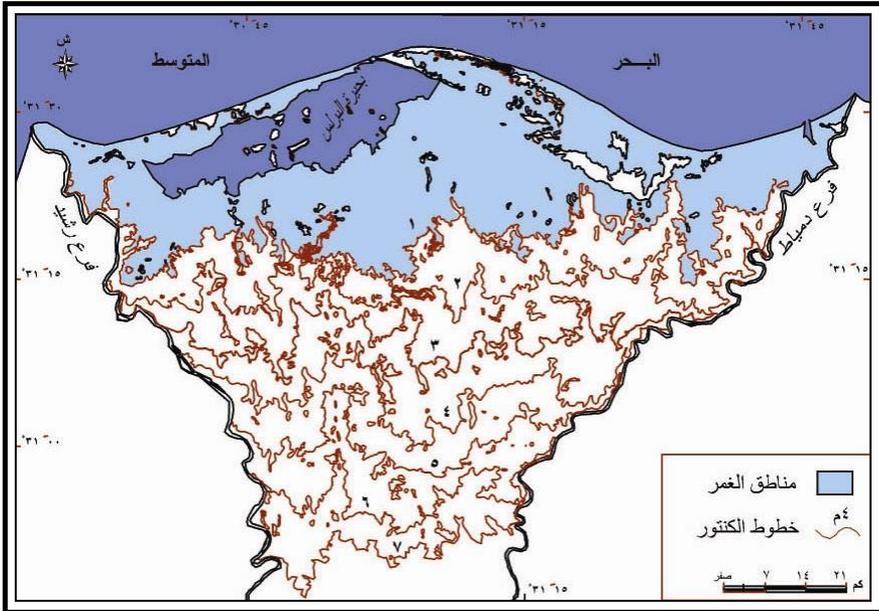
وسوف يبلغ الجزء المغمور من شمال الدلتا في حالة ارتفاع منسوب مياه البحر المتوسط متر واحد 2266 كم² تقريباً بمتوسط تقدم بلغ 21.92 كم، وسجل أقصى تقدم لمياه البحر 63.41 كم في وسط منطقة الدراسة، وأقل تقدم يقع في شمال شرق وشمال غرب المنطقة، حيث بلغ 6.07 كم و 5.60 كم على التوالي (شكل 23).

وقد أكدت الدراسات التي تقوم بعمليات الرصد المستمرة لمنسوب سطح مياه البحر، على حدوث ارتفاع في المنسوب خلال القرن العشرين؛ حيث ارتفع أمام الإسكندرية بمقدار 4.2 سم خلال الفترة من عام 1944 إلى عام 1989، بمعدل زيادة سنوي 0.76 مم/السنة، على حين بلغت الزيادة أمام بورسعيد إلى 16 سم خلال الفترة من عام 1926 إلى عام 1987 بمعدل 2.6 مم/السنة (Omran, 1992, p. 66).



المصدر: من إعداد الباحث اعتمادا على الخرائط الطبوغرافية، مقياس 1:50000، عام 1995م.

شكل (22) : الخريطة الكنتورية لمنطقة الدراسة.



المصدر: من إعداد الباحث اعتمادا على الخرائط الطبوغرافية، مقياس 1:50000، عام 1995م.

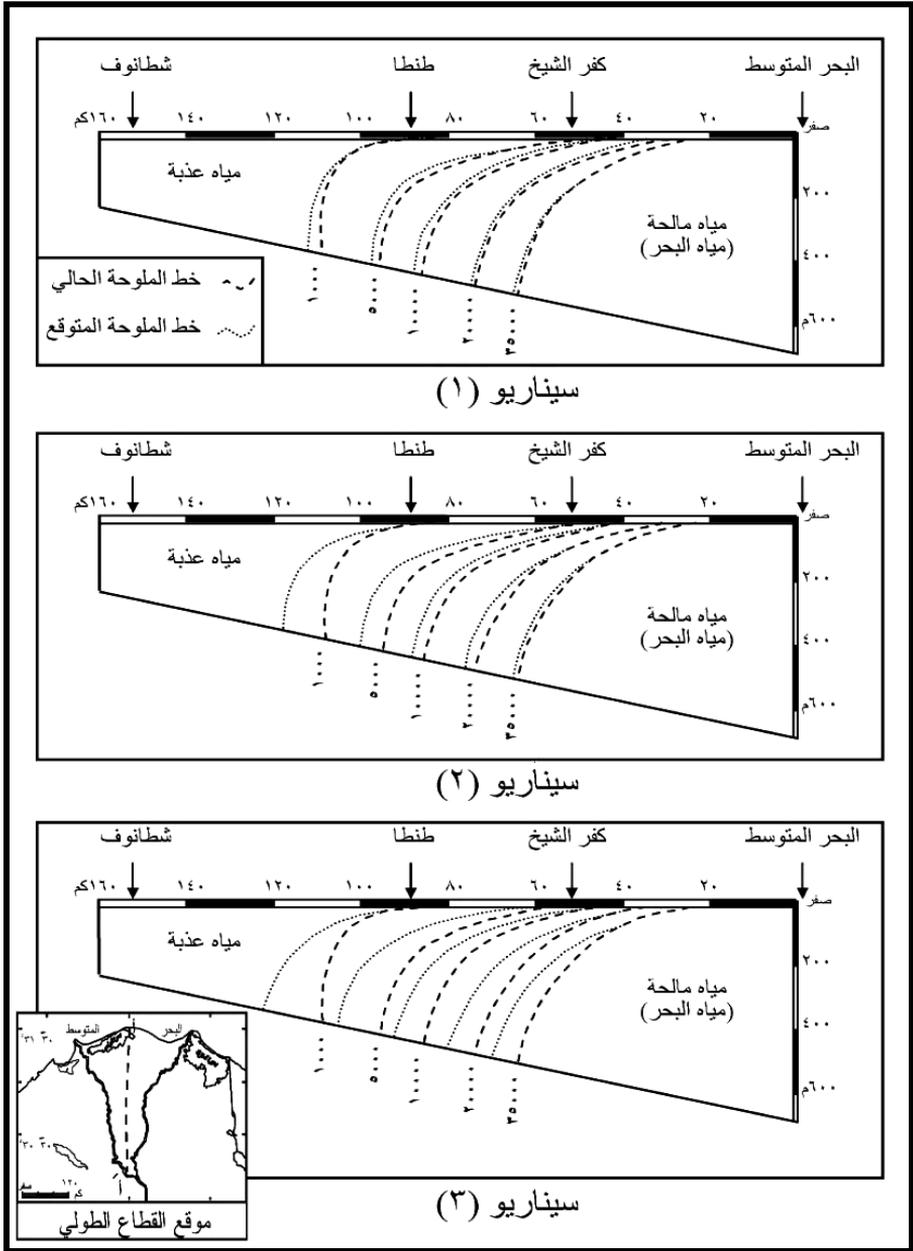
شكل (23) : سيناريو تأثير ارتفاع منسوب سطح البحر متر واحد على منطقة الدراسة.

وإذا تم ربط ذلك بكل من جبهتي المياه المالحة (مياه البحر) والمياه متوسطة الملوحة (جبهة التداخل) يمكن استنتاج الآتي.

تقدم مياه البحر وغمره المنطقة الشمالية من الدلتا بمتوسط 22 كم من الشاطئ في حالة ارتفاع منسوب سطح البحر متراً واحداً، سوف يؤدي إلى إزاحة وتقدم جبهتي المياه المالحة والمياه متوسطة الملوحة إلى الجنوب بنفس المسافة، مع شرط ثبات العوامل المؤثرة على تسرب وحركة المياه الجوفية، مثل: العوامل الجيولوجية، والهيدرولوجية، والهيدروليكية، ومن ثم فإن جبهة المياه المالحة سوف تتقدم لتصل إلى خط كنتور 5 أمتار فوق منسوب سطح البحر، لتضم مركز كفر الشيخ كاملاً، وأجزاء تتعدى أكثر من نصف مساحة مراكز: طلخا، والمحلة الكبرى، وقلين، ودسوق. وفي حالة تقدم جبهة المياه المالحة سوف يؤدي بالطبع إلى إزاحة منطقة المياه متوسطة الملوحة إلى الجنوب لمسافة 22 كم، ليصل امتدادها إلى خط كنتور 9 أمتار فوق منسوب سطح البحر تقريباً، وبالتالي أدت هذه الإزاحة إلى دخول منطقة الدراسة بأكملها ضمن المياه المالحة والمياه متوسطة الملوحة ما عدا جزء بسيط جداً من مركز كفر الزيات جنوب غرب منطقة الدراسة يدخل ضمن المياه العذبة.

وقد تناولت دراسة (Sherif, 2001) سيناريوهات تأثير ارتفاع منسوب مياه البحر على هيدروديناميكية جبهة التداخل بين مياه البحر المالحة والمياه الجوفية بالشكل (24)، حيث اشتملت الدراسة على ثلاثة سيناريوهات⁽¹⁾، وهي:

(1) تم حساب درجة التقدم لجبهة التداخل اعتماداً على الشكل (24) باستخدام برنامج Auto Cad Map



المصدر: Sherif, 2001, p. 6

شكل (24) : سيناريوهات تأثير ارتفاع منسوب سطح البحر على هيدروديناميكية
 جبهة تداخل مياه البحر والمياه الجوفية بمنطقة الدراسة.

• **سيناريو (1) :** ارتفاع منسوب سطح مياه البحر 20 سم مع عدم الضخ من المياه الجوفية، لوحظ وجود تقدم بسيط جداً لخط الملوحة 35000 جزء في المليون في اتجاه المياه الجوفية، لا يتعدى 0.3 كم، أما خط الملوحة 10000 جزء في المليون تحرك نحو الداخل حوالي 1.8 كم في مقدمة الجبهة (T.P)، أما خط الملوحة 1000 جزء في المليون فقد تقدم نحو الداخل حوالي 2.5 كم.

• **سيناريو (2) :** ارتفاع منسوب سطح مياه البحر 50 سم مع عدم الضخ من المياه الجوفية، تبين أن جميع خطوط الملوحة تقدمت في اتجاه المياه الجوفية، حيث تحرك خطي 35000 و 10000 جزء في المليون في اتجاه الداخل بحوالي 1.5 و 3.0 كم على التوالي، على حين تحرك خط الملوحة 1000 جزء في المليون حوالي 9 كم.

• **سيناريو (3) :** ارتفاع منسوب سطح مياه البحر 50 سم مع الضخ من المياه الجوفية، في هذه الحالة لوحظ وجود إزاحة كبيرة لخطوط الملوحة، حيث تقدم خط ملوحة 35000 و 10000 و 1000 جزء في المليون 6 كم و 7.5 كم و 13.5 كم على الترتيب.

كما يتضح من الشكل أن خط ملوحة 10000 جزء في المليون، لم يتخط مدينة طنطا في حالة ارتفاع منسوب مياه البحر إلى 50 سم مع عدم الضخ من المياه الجوفية، لكن مع الضخ فقد تجاوز خط الملوحة 10000 جزء في المليون مدينة طنطا.

يتضح مما سبق حدوث إزاحة مستمرة لجبهة المياه المتداخلة بين مياه البحر والمياه الجوفية باتجاه الداخل مع ارتفاع منسوب سطح مياه البحر،

وازدادت الإزاحة بشكل ملحوظ مع زيادة الضخ من المياه الجوفية، حيث تقدمت بمسافة 4.5 كم في السيناريو الأول، أما السيناريو الثاني والثالث فبلغت 9.0 كم، و 13.5 كم على الترتيب، بمعدل زيادة 4.5 و 9.0 كم على السيناريو الأول، ومع استمرار تقدم جبهة المياه المالحة داخل الدلتا يزداد تأثيرها على نوعية المياه الجوفية، ومن ثم تأثيرها على الإنسان وملوحة التربة، وجميع صور استخدام الأرض من زراعة وعمران وغيرها من الاستخدامات.

خامساً : أساليب مواجهة الأخطار الجيومورفولوجية المرتبطة بهيدروديناميكية جبهة تداخل المياه البحرية والجوفية بمنطقة الدراسة

- 1- لابد من وضع القوانين والأنظمة التي تسيطر على السحب المتزايد من المياه الجوفية من الخزانات الساحلية. حيث يوصي بتحديد خط موازي لشاطئ البحر المتوسط مار بمدينة كفر الشيخ ويمنع السحب خلفه أو التقليل من كميات السحب المتزايد من المياه الجوفية من المناطق الساحلية في منطقة الدراسة (Madiha, 1982, p. 99).
- 2- متابعة حركة جبهة تداخل مياه البحر المالحة متابعة دقيقة ومستمرة بالإضافة إلى ضرورة استخدام النماذج الرياضية المناسبة للتنبؤ بأثار المتغيرات على حركة مياه البحر المالحة وخاصة عند اقتراح سياسات تنمية المياه الجوفية أو أي ظاهرة سواء أكانت طبيعة أو بشرية.
- 3- تعديل نظام الصرف في المناطق المتضررة من التسرب الرأسي لاستيعاب كميات المياه الزائدة.
- 4- حساب كمية المياه المنصرفة في البحر اللازمة لإبقاء الاتزان المائي بين المياه العذبة ومياه البحر.

الخاتمة والنتائج :

انتهت تلك الدراسة إلى نتائج عديدة، لعل أهمها:

- أدى تطور دلتا نهر النيل إلى وجود بعض الطبقات من الرواسب البحرية متبادلة مع طبقات من الرمل والحصى والطين ذات المسامية والنفاذية العالية، والتي تعد من العوامل المهمة التي ساعدت على وجود اتصال هيدروليكي بين المياه الجوفية العذبة ومياه البحر المالحة.
- تأثرت منطقة الدراسة باثنين من الصدوع أدى إلى زيادة سمك رواسب البليستوسين، ومن ثم سمك طبقات الخزان الجوفي نحو الشمال والشمال الشرقي نتيجة لميل الطبقات في نفس الاتجاه. مما أدى إلى زيادة امتداد جبهة تداخل مياه البحر المالحة بالخزان الجوفي، حيث يصل سمك الطبقات حوالي 1000 متر.
- وجود اتصال متبادل في صورة حركة رأسية بين المياه العميقة في الخزان شبه المحصور وبين الخزان المائي الحر وكانت حركة المياه الرأسية لأعلى هي السائدة بمنطقة الدراسة بصفة عامة والجزء الشمالي من المنطقة على وجه الخصوص، حيث تبلغ 62.15% من إجمالي مساحة منطقة الدراسة.
- زيادة تركيز الأملاح الكلية الذائبة على 35000 جزء في المليون بمياه البحر، ومن ثم أصبح هو الحد الفاصل بين جبهة مياه البحر المالحة وجبهة التداخل أو الاختلاط بين مياه البحر والمياه الجوفية. كما أن زيادة تركيز بعض العناصر خاصة الكلوريدات والصدوديوم أصبحت من العناصر المميزة لمياه البحر ومعيار يتحدد على أساسه مدى تأثر المياه الجوفية واختلاطها بمياه البحر.
- تقدم جبهة مياه البحر داخل الدلتا واختلاطها بالمياه الجوفية العذبة، مما أدى إلى زيادة تركيز بعض العناصر الكيميائية بالمياه الجوفية، مثل:

الصوديوم، والكلوريدات ... وغيرهما من العناصر؛ ومن ثم زيادة تركيز الملوحة الكلية، حتى أصبحت غير صالحة لمعظم الاستخدامات. إذ بلغت مساحة المناطق التي تصلح فيها المياه الجوفية للشرب 4.1% من إجمالي مساحة المنطقة. أما بالنسبة لاستخدامها في الري فتم تصنيفها إلى نوعين فقط، هما: مياه ذات ملوحة مرتفعة ومرتفعة جداً.

- بمقارنة خريطة ملوحة التربة بخريطة ملوحة المياه الجوفية، والتي توضح جبهة التداخل وجود ارتباط طردي قوي بلغ 0.99 حيث لوحظ ارتفاع ملوحة المياه الجوفية بالاتجاه شمالاً حتى تحولها إلى مياه بحر، وارتفاع ملوحة التربة بالاتجاه شمالاً أيضاً، حتى تحولها إلى سبخات في بعض المناطق الشمالية.

- سجلت الأراضي من الدرجة الثالثة أعلى نسبة، حيث بلغت 40.5%، يليها الدرجة الخامسة بنسبة 23.7%، أما أقل نسبة فسجلت للأراضي من الدرجة الأولى بنسبة 0.8% من إجمالي مساحة منطقة الدراسة.

- وجود ارتباط طردي بين نوعية المياه الجوفية وإنتاجية بعض المحاصيل، فبلغت -0.62 لمحصول القمح و -0.66 لمحصول القطن.

- أكدت 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 22 كم من الشاطئ، مما يعمل على إزاحة وتقدم جبهتي المياه المالحة والمياه متوسطة الملوحة إلى الجنوب بنفس المسافة، ومن ثم دخول منطقة الدراسة بأكملها ضمن المياه المالحة والمياه متوسطة الملوحة ما عدا جزء بسيط جداً جنوب غرب منطقة الدراسة يدخل ضمن المياه العذبة.

المراجع

أولاً : المراجع العربية :

1. إبراهيم أحمد رزقانه (1987) : الجغرافيا التاريخية الطبيعية، دار النهضة العربية، القاهرة.
- 2- إسلام سلامة محمد مصطفى (2006) : دراسة مقارنة للأخطار الجيومورفولوجية في مجرى فرعى دمياط ورشيد، رسالة دكتوراه غير منشورة، قسم الجغرافية، كلية الآداب، جامعة بنها.
- 3- إسماعيل محمود الرملي (1967) : مشكلة زحف مياه البحر على خزانات المياه الجوفية بحوض دلتا نهر النيل، مجلة جمعية المهندسين، العدد الرابع.
- 4- بوجومولوف ج. (1975) : جيولوجيا الماء ومبادئ الجيولوجيا التطبيقية) ترجمة داوود سليمان المنير)، دار مير للطباعة والنشر، موسكو.
- 5- حمدينة عبد القادر (2007) : الحواجز البحرية المنفصلة في شواطئ مصيف بلطيم، مجلة الجمعية الجغرافية العربية، الجمعية الجغرافية المصرية، العدد49، القاهرة .
- 6- عبد الوارث محمد محمد عبد الوارث (1988) : جغرافية المياه الجوفية في الوجه القبلي، رسالة دكتوراه غير منشورة، قسم الجغرافية، كلية الآداب، جامعة عين شمس.
- 7- عبد الله الأمين بدر (1990) : هندسة الري والصرف، الجزء الأول: الري، مطبعة الكلمة، الجيزة.
8. على عبد الوهاب شاهين (1978) : بعض الظواهرات الجيومورفولوجية في دلتا النيل، مجلة الجمعية الجغرافية العربية، الجمعية الجغرافية المصرية، العدد 11، القاهرة.

9. على عبد الله حسن (1995) : ري وصرف ومعالجة التملح، مؤسسة الكويت للتقدم العلمي، الكويت.
10. على مصطفى كامل (1988) : جيومورفولوجية الشريط الساحلي لدلتا النيل بين فرعي دمياط ورشيد، رسالة دكتوراه غير منشورة، قسم الجغرافية، كلية الآداب، جامعة القاهرة .
11. عمرو محمد صبري محسوب (2009) : جيومورفولوجية السهل الساحلي لدلتا النيل باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافية، كلية الآداب، جامعة عين شمس.
12. فخري موسى نخلة، محب الدين حسين، حسن فهمي، سيد على (1985) : الجيولوجيا الهندسية، دار المعارف، القاهرة.
13. محمد عيد موسى (2003) : المناخ وأثره على المحاصيل الزراعية الرئيسية بين فرعي دمياط ورشيد - دراسة في جغرافية المناخ التطبيقي، رسالة دكتوراه غير منشورة، قسم الجغرافية، كلية الآداب، جامعة الزقازيق (فرع بنها).
14. محمد صفي الدين أبو العز (1999) : مورفولوجية الأراضي المصرية، دار غريب، القاهرة.
15. محمود حسان عبد العزيز (1982) : أساسيات الهيدرولوجيا، عمادة شئون المكتبات، جامعة الملك سعود، الرياض.
16. محمود عبد العزيز (1998) : العلاقات المائية ونظم الري، منشأة المعارف، الإسكندرية.
17. وزارة الري (1980) : مشروع دراسة معامل الأمان للخزانات الجوفية بالدلتا والوجه القبلي، القاهرة.
18. وزارة الدولة لشئون البيئة، جهاز شئون البيئة (2004) : محافظة دمياط - تكلفة التدهور البيئي دراسة اجتماعية اقتصادية حول الصحة البيئية، القاهرة.

ثانياً : المصادر :

1. الهيئة المصرية العامة للاستشعار عن بعد، مرئيات فضائية من نوع Landsat TM، عام 2005م.
2. الهيئة العامة للمساحة المصرية: الخرائط الطبوغرافية، مقياس 1 : 50000، طبعة عام 1995م.
3. الهيئة العامة للمساحة العسكرية : الخرائط الطبوغرافية، مقياس 1 : 50000، طبعة عام 1990م.
4. مديريات الزراعة (محافظة كفر الشيخ، ومحافظة الغربية، ومحافظة الدقهلية، ومحافظة دمياط)، بيانات غير منشورة، 2000-2010.
5. معهد بحوث الأراضي والمياه والبيئة، بيانات غير منشورة، عام 1975.

ثالثاً : المراجع الأجنبية :

1. Abd El-Aziz Ismail (1986): Ground Water Engineering, McGraw-Hill-Book Company, New York.
2. Abd El-Kader El-Sayed (2005): Beach Erosion and Accretion between the Mouth of Rosetta Branch and Kitchener Drain Outle, Nile Delta Coast, Egypt, Bulletin of the Egyptian Geographical Society, Vol. 78.
3. Abd El-Motaal, E. (1996): Neotectonic and Morpho-tectonic implications, Nile Delta Basin Egypt, Geology Dept., Fac. of Science, Al-Azhar University.
4. Bhattacharya A., Basak S., Maity P., Paira L. (2004): Geological Controls on Saline Water Intrusion in the Coastal Aquifers of the East Coast of India, Journal of Environmental Hydrology.
5. Chris B. (1987): Water Resources and Agricultural Development in the Tropics, John Wiley and Sons, New York.
6. Embabi N. (2004): The Geomorphology of Egypt Land-form and Evolution, the Egyptian Geographical Society, Special Publication, Cairo.
7. 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.

8. Elewa H. and El-Nahry A. (2009): Hydro-Environmental Status and Soil Management of the River Nile Delta, Egypt, Environ Geol., Springer, Verlage.
9. El-Nahry A. and Doluschitz R. (2010): Climate Change and its impacts on the Coastal Zone of the Nile Delta, Egypt, Environ Earth Sci., Springer, Verlage.
10. Fatma A. (2002): Priority Aquifer Systems, IHP Network on Ground Water Protection in the Arab Region, Technical Documents in Hydrology, UNESCO, Paris.
11. Hamdy M. (1989): Geological Hydrogeological and Hydrological Studies on the Nile Delta Quaternary Aquifer, Ph.D. Thesis, Fac. of Science, Mansoura University.
12. IPCC (2007): Climate Change – Synthesis Report, the Fourth Assessment Report, the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland.
13. Jaouher Kerrou (2008): Deterministic and Probabilistic Numerical Modelling Towards Sustainable Ground Water Management-Application to SeaWater Intrusion in the Korba Aquifer (Tunisia), Ph.D. Thesis, Fac. Des Sciences, Universite De Neuchatel, Switzerland.
14. Kamal A. (2000): Sea Water Intrusion in the North Nile Delta, Egypt, M.Sc. Thesis, Fac. of Science, Cairo University.
15. Khaled Abd El-Kader Ouda (2007): Atlas of Risks of Climate Change on the Egyptian Coasts and Defensive Policies, Fac. of Science, Assiut University, Assiut.
16. 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.
17. Madih M. (1994): Effect of Probable Hydrological Changes on the Nile Delta Aquifer System, Ph.D. Thesis, Fac. of Engineering, Cairo University.
18. Masconi A. (1996): Egypt – Nile Delta and Northern Sinai Cenozoic tectonic model, A proposal. 13th Pc Exploration and production conference, Cairo.
19. Mohamed K. (1994): Contamination of Surface and Ground Water in the Northern Part of the Nile Delta, Egypt, with Special Emphasis on the Contamination Caused by Application of Chemical Fertilizers, M.Sc. Thesis, Fac. of Science, Minufiya University.
20. Nagib Roshdy (1999): Pedological and Mineralogical Aspects as Criteria of Soil Genesis, Formation and Classification of the Northern Nile Delta Region, Ph.D. Thesis, Fac. of Agriculture, Zagazig University.

21. Omran E. (1992): Sea-level Rise and Shoreline Retreat of the Nile Delta Promontories, Egypt, Natural Hazards, Kluwer Academic Publishers in the Netherlands.
22. Said R. (1990): The Geology of Egypt, Rotterdam, Netherlands.
23. Sherif M. and Muhammad F. (2001): Vertical and Horizontal Simulation of Sea Water Intrusion in the Nile Delta Aquifer, First International Conference on Salt Water Intrusion and Coastal Aquifers Monitoring, Modeling, and Management, Essaouira, Morocco.
24. Sherif M. and Singh V. (2002): Effect of Ground Water Oumping on Sea Water Intrusion in Coastal Aquifers, Agricultural Sciences, Sultan Qaboos University.
25. Tarek H. Kotb, Tsugihiko W., Yoshihiko O. and Kenneth K. (2000): Soil Salinization in the Nile Delta and Related Policy Issues in Egypt, Agricultural Water Management, Elsevier.
26. Tark El-Shahat (2005): Quantification, Qualification and Evaluation of the Ground Water Resources in the Huge Quaternary Aquifer of the Nile Delta and its Fringes, Egypt, Ph.D. Thesis, Fac. of Science, Mansoura University.
27. Talat Ibrahim (1984): Soil Salinity and Salt Tolerance of Agriculture Plants – Biochemical Changes in Plant Tissues Under Different Levels of Soil Salinity, M. SC., Thesis, Fac. of Agriculture, Zagazig University.
28. Zaghoul Z. (1989): Geomorphology, Geological evolution and subsidence of the Nile Delta during the quaternary” Bull. Fac. Sci., Mansoura, V. 17, No. 1.

* * *

الإصدارات السابقة لسلسلة البحوث الجغرافية

1. Dental Conditions of the Population of Maadi Culture as Affected by the Environment. (In English) by "F. Hassan et al." (1996).
2. هضبة الأهرام: أشكالها الأرضية ومشكلاتها، أ.د. سمير سامي، 1997.
3. القرى المدمرة في فلسطين حتى عام 1952، أ.د. يوسف أبو مابله وآخرون، 1998.
4. جيومورفولوجية منطقة توشكى وإمكانات التنمية، أ.د. جودة فتحى التركمانى، 1999.
5. موارد الثروة المعدنية وإمكانات التنمية فى مصر، د. أحمد عاطف دردير، 2001.
6. صورة الأرض فى الريف، د. محمد أبو العلا محمد، 2001.
7. القاهرة: الأرض والإنسان، أ.د. سمير سامى محمود، 2003.
8. الماء والأفلاج والمجتمعات العمانية، د. طه عبد العليم، 2004.
9. المناطق الخضراء فى القاهرة الكبرى، د. أحمد السيد الزامل، 2005.
10. التنمية السياحية بمدينة الغردقة وأثرها السلبى على البيئة، د. ماجدة محمد أحمد، 2005.
11. بين الخرائط التقليدية وخرائط الاستشعار عن بعد، د. هناء نظير على، 2006.
12. الواقع الجغرافى لمدينة سيوة، د. عمر محمد علي، 2006.
13. صادرات الموالح المصرية إلى السوق العربية الخليجية، أ.د. إبراهيم على غانم، 2006.
14. الجغرافيا الاقتصادية فى ضوء المتغيرات العالمية المعاصرة، أ.د. محمد محمود إبراهيم الديب، 2006.
15. الأبعاد الجغرافية للسياحة العلاجية فى مصر، د. فاطمة محمد أحمد، 2006.
16. تحليل جغرافى لحركة النقل على مداخل مدينة المحلة الكبرى، د. عبد المعطى شاهين، 2007.
17. المقومات الجغرافية للتنمية السياحية فى محافظة الوادى الجديد، د. المتولى السعيد، 2007.
18. الهجرة العربية الدائمة إلى الولايات المتحدة الأمريكية من 1980 إلى 2004، د. أشرف على عبده، 2007.
19. مياه الشرب فى مدينة الجيزة، د. فاطمة محمد أحمد عبد الصمد، 2007.
20. الجيوب الريفية المحتواة فى التجمعات الحضرية المخططة بمدينة الجيزة، د. أشرف على عبده، 2007.
21. الأبعاد الجيومورفوجرافية لانتخابات مجلس الشعب المصرى عام 2005، د. سامح عبد الوهاب، 2008.
22. الأوقاف الخيرية فى مصر، أ.د. صلاح عبد الجابر عيسى، 2009.
23. صناعة السيارات فى مصر، أ.د. محمد محمود إبراهيم الديب، 2009.
24. المناخ والملابس فى مدينة الرياض، د. هدى بنت عبد الله عيسى العباد، 2009.
25. قضايا الطاقة فى مصر، أ.د. محمد محمود إبراهيم الديب، 2009.
26. الثروة المعدنية فى محافظة المنيا، د. أحمد موسى محمود خليل، 2009.
27. التباينات اليومية لدرجة الحرارة بمدينة مكة المكرمة. د. مسعد سلامة مسعد مندور، 2009.

28. التحليل الجغرافي لدلالة أسماء المحلات العمرانية بمنطقة عسير وجيزان، د. إسماعيل يوسف إسماعيل، 2009.
29. تحليل جغرافي لمنطقتين عشوائيتين في مدينة جدة، د. أسامة بن رشاد جستنية و أ. مشاعل بنت سعد المالكي، 2009.
30. الفقر في غرب إفريقيا، د. ماجدة إبراهيم عامر، 2010.
31. بعض ملامح التنمية العمرانية في محافظة المجمعة (السعودية)، د. علاء الدين عبد الخالق علوان، 2010.
32. تنمية السياحة البيئية والأثرية بمنطقة حائل، د. عواطف بنت الشريف شجاع علي الحارث، 2010.
33. سكان سلطنة عُمان، د. جمال محمد السيد هندأوى، 2010.
34. التجديد العمراني للنواة القديمة بالمنصورة، د. مجدى شفيق السيد صقر، 2011.
35. تغير المعطيات المكانية وأثرها في التنمية السياحية بقرية البهنسا في محافظة المنيا، د. ماجدة محمد أحمد جمعة، 2011.
36. الاتجاهات الحديثة في جغرافية الصناعة، أ.د. إبراهيم علي غانم، 2011.
37. المعايير التخطيطية للخدمات بالمملكة العربية السعودية، د. نزهة يقطان الجابري، 2011.

* * *