الآثار البيئية الناجمة عن سحب المياه الجوفية بمشروع النهر الصناعي الليبي
" مشكلة هبوط سطح الأرض بحقل آبار تازربو "

أ. سعد صالح عبد الحميد مطاري

أ.د. محمد محمود طه

د. إيمان طه اسماعيل

تاريخ استلام البحث: ٢٠١٧/١/١٣
تاريخ قبـول البحـث: ٢٠١٧/٣/٢٦

الآثار البيئية الناجمة عن سحب المياه الجوفية بمشروع النهر الصناعي الليبي
" مشكلة هبوط سطح الأرض بحقل آبار تازربو "

أ. سعد صالح عبد الحميد مطاري [١]
أ.د. محمد محمود طه [٢]
د. إيمان طه اسماعيل [٣]

الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة واحدة من المشكلات البيئية الناجمة عن سحب المياه الجوفية من حقول آبار مشروع النهر الصناعي وهبوط مناسيب المياه نتيجة الضخ المتواصل من الخزانات الجوفية في حقول الآبار، والذي أدى بدوره إلى مشاكل بيئية في بعض المناطق كالتي حدثت في منطقة حقل آبار تازربو سنة (٢٠٠٦).

يؤدي الضخ من الآبار إلى نقص تصريف الطبقات الحاملة نتيجة لهبوط منسوب المياه الجوفية وما يتبعه من تناقص في معدل إنتاجية الآبار إضافة إلى إمكانية حدوث استنزاف موضعي في طبقات المياه الجوفية وخاصة إذا فاق معدل الضخ مقدار التغذية لطبقات الصخور الحاملة للمياه، وقد تتسع مساحة منطقة الإستنزاف لتشمل جزءاً كبيراً من الحوض المائي فإذا استمر هذا الإستنزاف فإنه يؤدي إلى نضوب مخزون المياه الجوفية، وقد يؤدي هبوط الضغط الارتوازي في الطبقات الجوفية العميقة إلى تسرب المياه الجوفية المالحة من طبقات مائية جوفية أخرى مجاورة، كما قد يؤدي سحب المياه الجوفية إلى عمليات هبوط أرضي نتيجة هبوط منسوب المياه في الخزانات الجوفية.

Abstract:

Ground surface subsidence is one of the Environmental problems caused by the withdrawal of groundwater. The drawdown of water levels because of continuous pumping from underground reservoirs in the well field, which in turn has led to environmental problems in some areas, such as those occurred in Tazirbo Well-Field area a year 2006.

The lowered water pressure in the sandstone basin and causes slow drainage of water from the clay and silt beds. The reduced water pressure is a loss of support for the clay and silt beds. Because these beds are compressible, they compact (become thinner), and the effects are seen as a lowering of the land surface. The lowering of land surface elevation from this process is permanent. For example, if lowered ground-water levels caused land subsidence, recharging the aquifer until ground water returned to the original levels would not result in an appreciable recovery of the land-surface elevation.

أولا: المدخل

تعتبر حركة سطح الأرض رأسيا أو أفقيا إحدى التأثيرات البيئية الناتجة عن ضخ واستغلال المياه الجوفية، وتعرف الحركة الرأسية للقشرة الأرضية عادة بهبوط سطح الأرض، ويظهر هذا الهبوط بشدة وبشكل واضح في المناطق التي يرتكز فيها استغلال المياه الجوفية وتتعدى معدلات الضخ المحددة بمعدلات إنتاج الأمان وتنخفض تبعا لذلك مناسيب المياه الجوفية في الخزانات المستغلة (Helm, 1984).

وتزداد الحركة الرأسية كلما ازداد هبوط منسوب المياه الجوفية، وكلما ازداد سمك الخزان الجوفي أو الطبقات المصمتة تصبح أكثر انضغاطية، أما الحركة الأفقية لسطح الأرض فيمكن أن تسبب شروخا وشقوقا وقد تؤدي إلى دمار الطرق والأنفاق وخطوط السكك الحديدية، وخطوط شبكات المياه والمجاري والكهرباء، علاوة على انهيار وتقوس كثير من أنابيب تغليف آبار المياه الجوفية وذلك نتيجة لإجهاد التكوينات الصخرية (Poland, 1984). كما ينتج عن هبوط منسوب المياه في الخزانات الجوفية أيضا انضغاط الطبقة الحاملة

(١) باحث دكتوراه بقسم الجغرافيا - جامعة عين شمس
(٢) أستاذ بقسم الجغرافيا - جامعة عين شمس
(٣) عضو هيئة تدريس بقسم الجغرافيا- جامعة عين شمس

أ. سعد صالح عبد الحميد مطاري
أ.د. محمد محمود طه
د. إيمان طه اسماعيل

للمياه مما يؤدي إلى انخفاض الخزان الجوفي وانخفاض الناقلية، وهذا يؤدي إلى نقص إنتاجية الآبار على المدى الطويل، كما يؤدي سحب المياه وهبوط المنسوب إلى زيادة قوة التحميل على الطبقات التحتية بفعل ضغط الجاذبية الذي ينتج عن الحمولة الزائدة للرواسب أو عن طرق الضغط الحركي الناجم عن نقص المياه من الصخور وكلاهما يزداد تأثيره مع حدوث ضغط السوائل مما يؤدي إلى النقص في نسبة المسامية التي يرتبط بها حدوث تغيرات في الخصائص الميكانيكية للرواسب (Galloway, 1999).

ثانياً: التعريف بمشروع النهر الصناعي

أثناء التنقيب عن النفط في منتصف الخمسينات كُشف عن مصدر ثمين وحلٌ محتمل لمشكلة نقص المياه في ليبيا، وذلك بوجود مياه جوفية أحفوريه على أعماق عظيمة تحت رمال الصحراء الجنوبية، وقد خُزِّنت هذه المياه خلال أزمان طويلة شهدت مناخات متباينة الإختلاف تحت تغيرات جيولوجية متعددة شكلت خزاناتها، ورغم أن هذه "المياه الأحفورية" تعتبر موردا غير متجدد فإن إحتمالات استغلاله كانت جيدة. ولكي تتم الإستفادة من هذه المياه فإن الحكومة الليبية كانت قد دشنت في عام ١٩٨٤ أولى مراحل مشروع ضخم سمّته مشروع النهر الصناعي العظيم لإستغلاله كمورد جديد يتم بموجبه نقل المياه الجوفية عبر شبكة أنابيب وخزانات عملاقة تنقل المياه من منشئها في باطن الصحراء في الجنوب إلى المناطق الساحلية ذات الكثافة السكانية المرتفعة نسبيا في الشمال. ولقد مكنت منظومات هذا المشروع وحسب الإحصائية الرسمية من ضخ ونقل أكثر من ثلاث مليارات متر مكعب (جدول رقم ١) من المياه حتى سنة (٢٠٠٦) من نحو ١٠٠٠ بئر جوفي عبر أنابيب خرسانية بقطر ٤ أمتارٍ يبلغ إجماليّ طولها حوالي ٤٠٠٠ كم لسد إحتياجات المناطق التي يمر بها.

تُعرفُ أولى مراحل مشروع النهر الصناعي المنفذة (Phase 1)، بمنظومة السرير سرت/ تازربو بنغازي، وهي أكبر منظومة بالمشروع وتتكون من خطي أنابيب أحدهما يمتد من حقل آبار تازربو لنقل المياه إلى مدينة بنغازي، والخط الآخر يمتد من حقل آبار السرير لنقل المياه إلى مدينة سرت (شكل رقم ١).

ثاني مراحل المشروع المنفذة (Phase2)، تعرف بمنظومة الحساونة/سهل الجفارة، ويتم في هذه المرحلة نقل المياه الجوفية من منطقة جبل الحساونة إلى الساحل الغربي لليبيا بواقع مليون متر مكعب يوميا، وقد بدأ التشغيل بها عام ١٩٩٦م.

تحتوي هذه المنظومة على عدد ٢٣٢ بئرا إنتاجيا في منطقة شمال شرق جبل الحساونة وسميت بحقل آبار شمال شرق الحساونة مع اثنان وعشرون بئر موزعة داخل وخارج حقل الآبار الإنتاجية لمراقبة مستوى سطح الماء الجوفي، وعدد (١٤٧) بئرا إنتاجيا في منطقة شرق جبل الحساونة وسميت بحقل آبار شرق الحساونة، مع حفر عدد (١٤) بئرا موزعة داخل وخارج حقل الآبار الإنتاجية لمراقبة مستوى سطح الماء الجوفي (شكل رقم ٢).

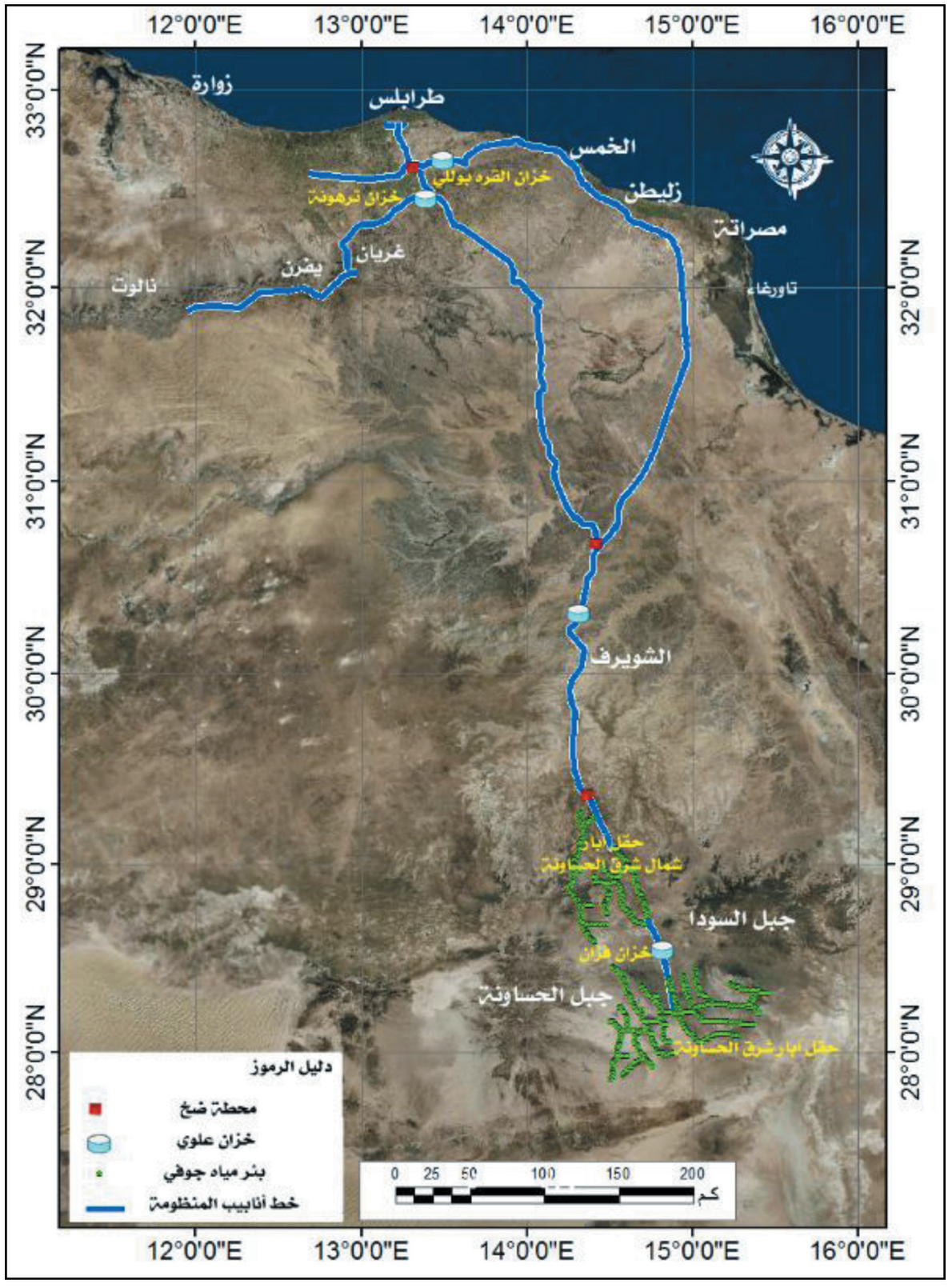
جدول رقم (١): كميات المياه التي تم نقلها توزيعها حتى نهاية سنة (٢٠٠٦)

المنظومة	الإنتاجية (٢٠٠٦) (م م٣)	إجمالي الإنتاجية حتى سنة(٢٠٠٦) (م م٣)
السرير سرت/تازربو بنغازي	٢١٩,٧	١٥٤٢,٤٣
الحساونة/سهل الحفارة	٢٠٩,٩٥	١٥٥٢,٨٧
الإجمالي	٤٢٩,٦٥	٣٠٩٥,٣

المصدر: بناء على التقارير الدورية للإنتاج، مركز المعلومات والتوثيق، النهر الصناعي/بنغازي

شكل رقم (١): منظومة السرير سرت/ تازربو بنغازي

أ. سعد صالح عبد الحميد مطاري
أ.د. محمد محمود طه
د. إيمان طه اسماعيل



شكل رقم (٢): منظومة الحساونة/سهل الجفارة

ثالثاً: أهمية دراسة الآثار الناجمة عن سحب المياه الجوفية

لأهمية دراسة الآثار الناجمة عن سحب المياه الجوفية في العالم، أولت منظمة اليونسكو اهتماما خاصا لهذا الموضوع وأدرجت مشاكل هبوط منسوب المياه في برنامج العقد الهيدرولوجي الدولي منذ سنة (١٩٦٥) ، ونتج عنه تنظيم الندوة الدولية حول هبوط الأرض التي عقدت في طوكيو في عام (١٩٦٩)، كما تم الإبقاء على الموضوع في إطار البرنامج الهيدرولوجي الدولي، والمدرجة في خطة العمل للمرة الأولى، وعلى إثرها تم تشكيل مجموعة عمل من منظمة اليونسكو أوكلت إليها مهمة تجميع الدراسات الخاصة بالهبوط الأرضي على مستوى العالم، وقامت هذه المجموعة في سنة (١٩٨٤) بإصدار كتيب إرشادي لدراسات الهبوط الأرضي الناجم عن استغلال المياه الجوفية (Poland, 1984).

كان الهدف من إنتاج الكتيب هو إرشاد المهتمين بدراسة هبوط الأرض الناتج عن سحب المياه الجوفية والتعرف على طرق التحكم في وقف الهبوط ومواجهته والحد من انتشاره لا سيما في البلدان النامية، كما تضمن دليلا مساعدا في تخطيط وإجراء الدراسات الميدانية، كالتنبؤ بالهبوط وزمن حدوثه ومعدله ومدى خطورته وأسبابه والطرق الكفيلة لوقفه. كما يحوي الدليل على دراسات وأبحاث مجمعة لعدد (٤٢) عملية هبوط أرضي في مناطق مختلفة على مستوى العالم أجريت على فترات زمنية مختلفة وتعتبر هذه الدراسات والأبحاث من المراجع التي يعتمد عليها حتى الآن عند دراسة الهبوط الأرضي الناجم عن سحب المياه الجوفية.

رابعا: الدراسات الهامة في مجال هبوط الأرض

لدراسة الهبوط الأرضي بحقل أبار تازربو، قام الباحث بمراجعة الدراسات والأبحاث الخاصة بعدد (١٦) عملية هبوط أرضي حدثت على فترات زمنية متباينة في عشرة دول من العالم في القرن الماضي، حيث وصلت مساحة الهبوط بإحدى هذه الدول حوالي (٦٢٠٠) كم^2، بينما بلغ معدل الهبوط في أحدى المناطق حوالي (٣٧) متر، وفي بيئات ترسيب بحرية ونهرية تنتمي أغلب صخورها إلى عصور جيولوجية حديثة (جدول رقم ٢)، وقد تمت الاستفادة من هذه الدراسات والأبحاث في كيفية معرفة الأدلة والشواهد المماثلة لعملية الهبوط الأرضي في منطقة تازربو كنتيجة لسحب المياه الجوفية بالمرحلة الأولى لمشروع النهر الصناعي.

خامساً: مشكلة هبوط سطح الأرض بحقل آبار تازربو

تحتوي منظومة السرير سرت / تازربو بنغازي على حقلي آبار جوفية بها عدد (٢٦٧) بئر إنتاجي و (٤٥) بئر مراقبة، منها حقل آبار السرير الذي يتكون من عدد (١٢٦) بئراً وعدد (١٠) آبار مراقبة، وتبلغ الكمية الكلية المنتجة للحقل حوالي(١) مليون م^3/اليوم، بإنتاجية تتراوح من (٨٦٤٠) م^3/ اليوم لكل بئر. ولا يزال الضخ مستمرا من هـــذا الحقل منذ سنة ١٩٨٩ حتى اليوم. أما حقل آبار تازربو موضع هذا البحث فإنه يقع جنوب حقل آبار السرير بمسافة (٢٩٠) كم تقريبا ويتكون من عدد ١٠٨ بئر إنتاجي وعدد ٣٥ بئر مراقبة، صمم لإنتاج مليون متر مكعب من المياه يومياً، بإنتاجية تبلغ (٨٦٤٠) م^3/ اليوم لكل بئر وبدأ الضخ من هذا الحقل سنة ٢٠٠٤.

تزامن تسجيل قراءات هبوط منسوب المياه بحقل آبار تازربو مع بداية الإنتاج سنة (٢٠٠٤)، وبلغ معدل هبوط منسوب الماء الجوفي خلال شهر مارس (٢٠١٣)، حسب قراءات آبار المراقبة رقم (٤) ورقم (٥)، بمنطقة وسط حقل الآبار الإنتاجية حوالي (٢٩) مترا (جدول رقم ٣)، بينما سجل بئر المراقبة رقم (١٣) بمنطقة شمال حقل الآبار هبوطا قدره (٢١) مترا، وسجل بئر المراقبة رقم (١٤) هبوطاً قدره (١٦) متر جنوب حقل الآبار (شكل رقم ٣).

وصل الهبوط الحقيقي للمياه إلى (٢٩) متراً خلال (٩) سنوات أي بمعدل هبوط سنوي حوالي (٣,٢٢) م/السنة، وبحوالي ثلث الإنتاجية المستهدفة، حيث بلغ ما أنتج من الحقل حتى سنة (٢٠١٣) حوالي مليار متر مكعب من المياه، وبمتوسط إنتاجية حوالي (٠,٣٠) مليون م^3/اليوم، وقدرة إنتاجية حوالي (٢٨١٩) م^3 /البئر/اليوم، لعدد (١٠٨) بئر.

أ. سعد صالح عبد الحميد مطاري
أ.د. محمد محمود طه
د. إيمان طه اسماعيل

جدول رقم ٢ مناطق مختارة من العالم تم بها عمليات هبوط ارضي بسبب سحب المياه الجوفية

	الدولة	المنطقة	بيئة الترسيب	عمر الرواسب (م)	عمق الطبقات (م)	اقصى هبوط (م)	مساحة الهبوط (كم²)	تاريخ الهبوط
1	استراليا	وادي لاتروبا	رواسب نهرية وبحرية	Teriary	300-10	1.6	100	1977
2	الصين	شنغهاي	تداخل مياه عذبة مع رواسب بحرية	Quaternary	300-3	2.63	121	1965
		حوض تيبي	تداخل مياه عذبة مع رواسب بحرية		240-10	1.9	235	1974
3	بريطانيا	لندن	طين لندن	Eocene	100-50	0.35	450	1932
		تشيشاير	حجر رملي، مارل	Triasic	300-100	15	1500	1977
4	ايطاليا	po Delta	رواسب بحرية ضحلة	Quaternary	600-100	3.2	2600	1951
5	اليابان	هارانوماتشي	رواسب فيضية نهرية وبحرية	Cenozoic	200-100	2	25	1978
		طوكيو	رواسب فيضية نهرية وبحرية	Cenozoic	400-0	4.5	3420	1975
6	المكسيك	مدينة مكسيكو	رواسب نهرية وبحرية	Quaternary	50-0	9	225	1978
7	نيوزيلاند	ويراكي	انسيابات بركانية وبريشيا	Pleistocene	800-250	7	30	1975
8	جنوب افريقيا	Far west Rand.	صخور كربونية	Palezzoic	200-30	9	7	1975
9	تايلند	بانكوك	رواسب نهرية وبحرية	Quaternary	200-0	انهيار تغليف الآبار	7	1978
10	امريكا	اريزونا	رواسب نهرية فيضية	Cenozoic	350-50	3.6	700	1977
		وادي سان جاكوين	رواسب نهرية فيضية		900-60	9	6200	1977
		ايداهو	رواسب فيضية نهرية وبحرية		300-50	10.8	260	1975
		الأباما	صخور كربونية ورواسب مفككة		100-10	37	4000	1975

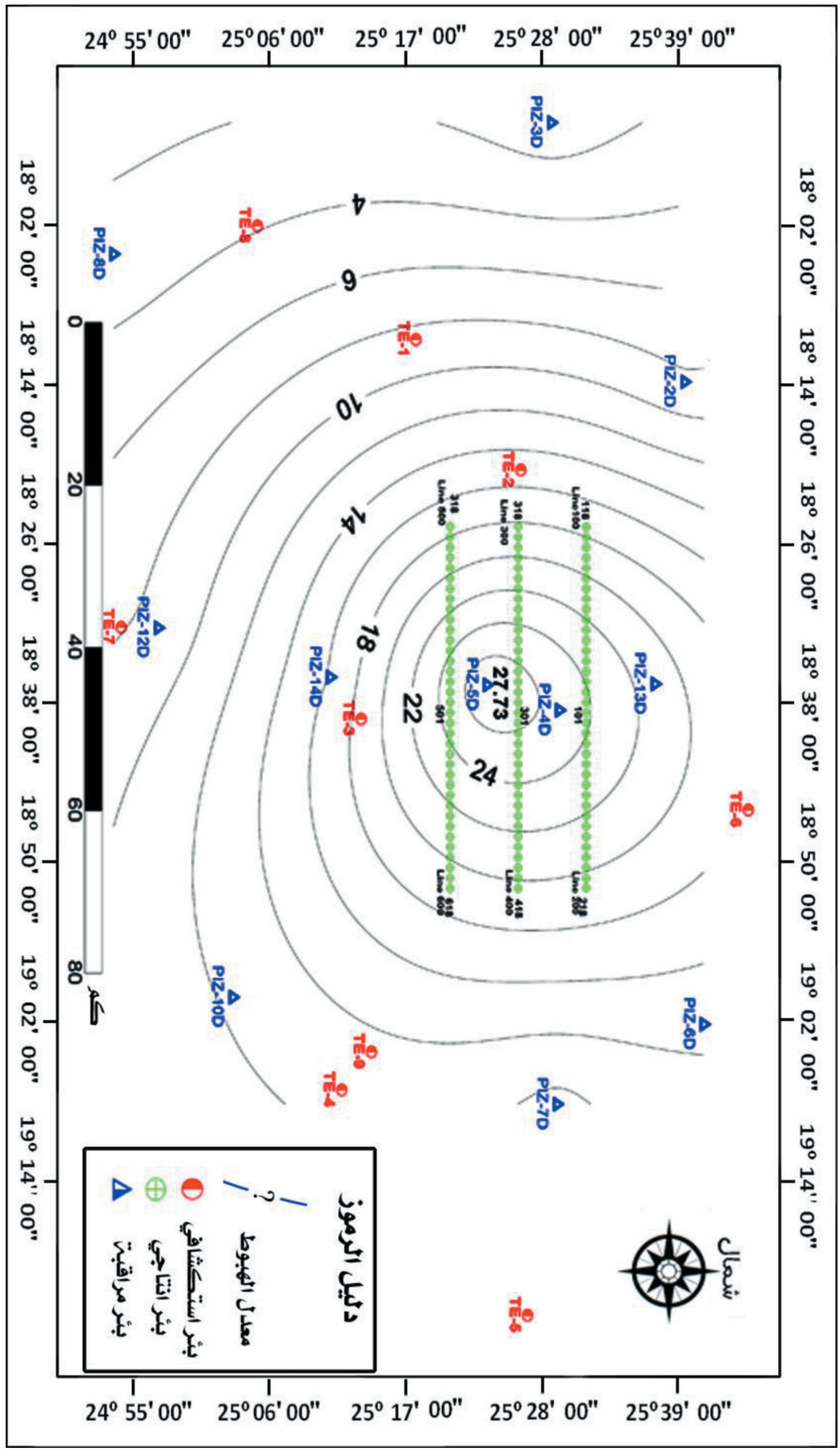
المصدر: (Poland, 1984، 1984)

جدول رقم (٣): قراءات هبوط منسوب الماء الجوفي بحقل آبار تازربو سنة (٢٠١٣)

رقم البئر	منسوب المياه (م)	الهبوط (م)
PIZ-2D	ارتوازي 7.52	10.5
PIZ-3D	3.25	0.69
PIZ-4D	28.73	24.95
PIZ-5D	37.64	29.21
PIZ-6D	14.32	14.27
PIZ-7D	2.59	11.59
PIZ-8D	32.7	2.67
PIZ-9D	53.17	8.37
PIZ-10D	40.72	13.58
PIZ-11D	58.76	4.89
PIZ-12D	43.14	9.96
PIZ-13D	6.6	21.48
PIZ-14D	35.7	16.7

المصدر: ا لمركز الفني لإدارة المكامن الجوفية، النهر الصناعي

أ. سعد صالح عبد الحميد مطاري
أ.د. محمد محمود طه
د. إيمان طه اسماعيل



شكل رقم(٣): معدل هبوط منسوب الماء الجوفي في حقل آبار تازربو

سادساً: الأدلة والشواهد على عملية هبوط سطح الأرض بحقل آبار تازربو

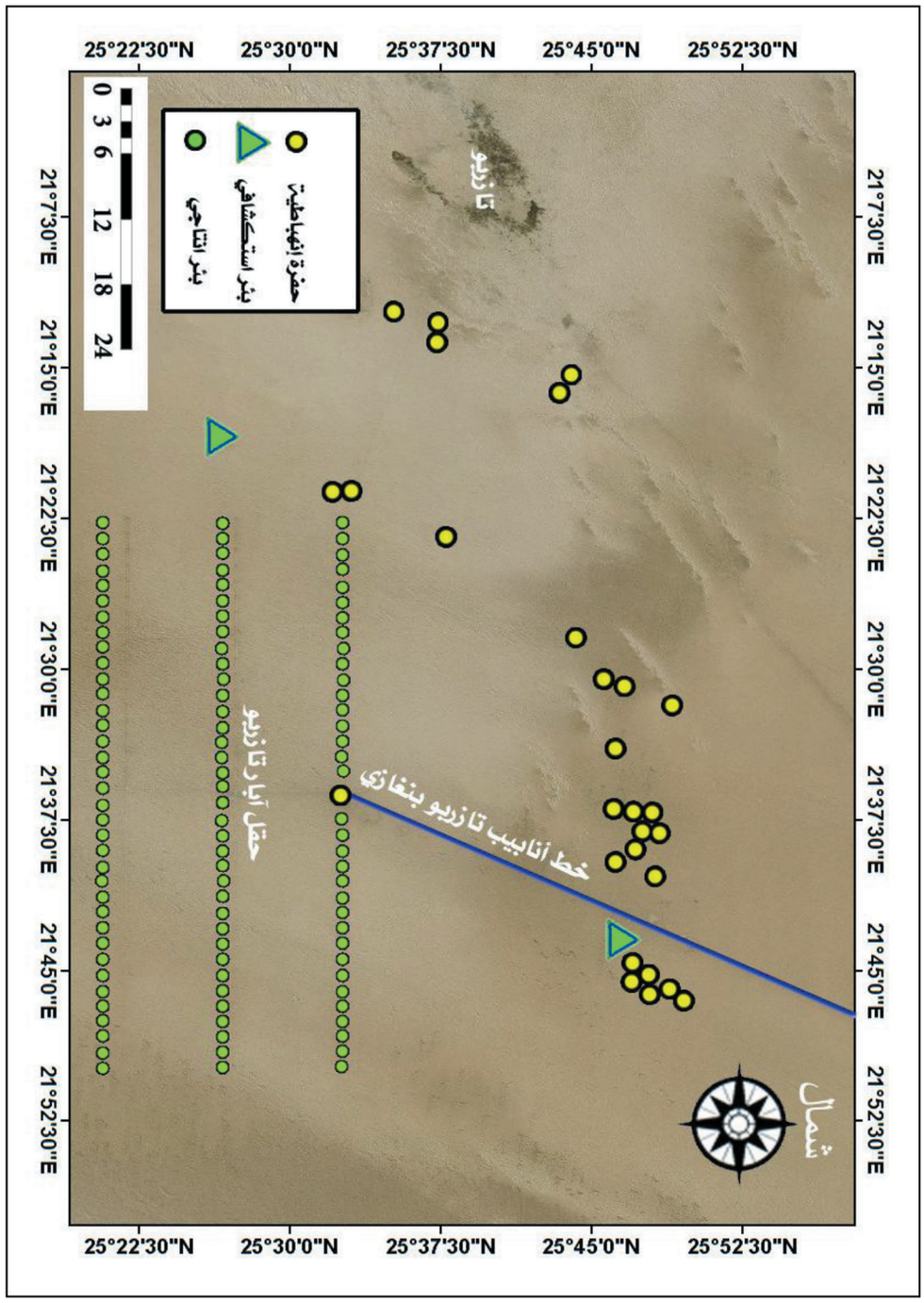
عادة ما تكون عملية هبوط الأرض بطيئة جدا ولا يتم اكتشاف ما نجم عنها من الأثار بالعين المجردة وخاصة في المناطق الصحراوية حيث تخلوا من المنشآت والمباني كمنطقة حقول آبار تازربو، إضافة إلى أنه لا يوجد بالمنطقة نقاط أو أجهزة مساحية خاصة بمراقبة حركة سطح الأرض. غير أن ظهور بعض الظواهر البيئية بالمنطقة دلت على وجود هبوط أرضي حدث بمنطقة تازربو، ففي نهاية شهر نوفمبر (٢٠٠٦) تم عن طريق الصدفة اكتشاف مجموعة من الحفر الإنهباطية تبعد حوالي (٣٠) كم، شمال حقل آبار تازربو وذلك إثر تعرض سيارة أحد المواطنين لحادث سير نتيجة وقوع سيارته في إحدى هذه الحفر وحدوث أضرار بليغة بالسائق والسيارة (شكل رقم ٤).

توالى اكتشاف الحفر تباعاً خلال السنوات من سنة (٢٠٠٧) حتى سنة (٢٠١٠)، حتى وصل عددها (٣٠) حفرة، بما في ذلك الحفر التي تختفي معالمها نتيجة تغطيتها بالرمال بفعل الرياح والعواصف الرملية، وقد رصُدت آخر حفرة في شهر نوفمبر سنة (٢٠١٠) شمال غرب حقل الآبار بمسافة حوالي (١٦) كم، إلى جهة الشرق من قرية تازربو (شكل رقم ٥)، وتدل مواقع الحفر وأشكالها على أنها تشكلت نتيجة لهبوط أرضي أدى إلى تشققات وإنهباطات لتربة السطح الرملية غير المتماسكة.

المصدر: فريق الأمن والسلامة بموقع حقل آبار تازربو، ٢٠٠٦

شكل رقم (٤): اكتشاف اول حفرة إنهباطية بمنطقة تازربو إثر وقوع حادث سير

أ. سعد صالح عبد الحميد مطاري
أ.د. محمد محمود طه
د. إيمان طه اسماعيل



شكل رقم (٥): مواقع الحفر الإنهباطية بحقل آبار تازربو

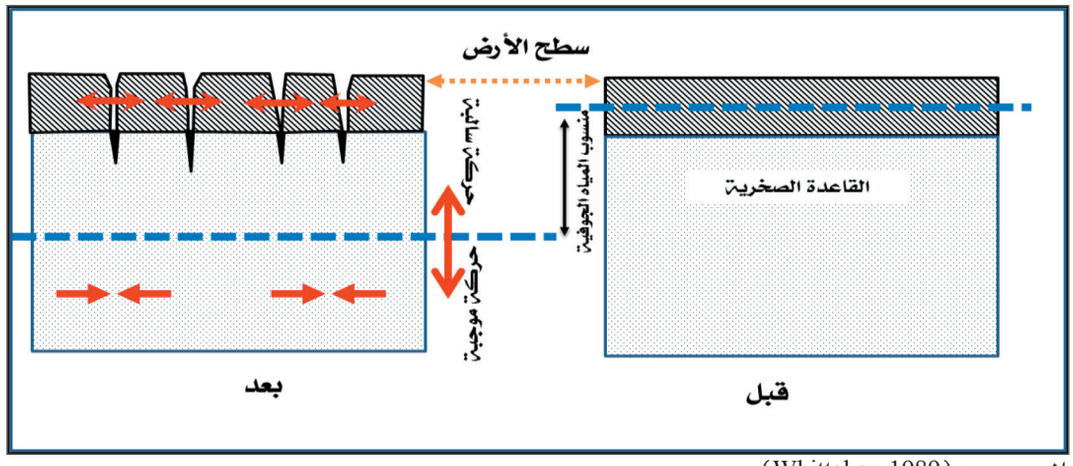
سابعاً: كيف تكونت الحفر الإنهباطية

يرى الباحث أن منطقة حقل الآبار بالكامل عبارة عن منطقة معرضة للهبوط الأرضي نتيجة لهبوط منسوب المياه الجوفي، حيث أن سحب المياه من الخزان الجوفي الرئيسي العميق في وسط الحقل قد أثر تأثيراً مباشرا على الجزء الشمالي، فقد وصل هبوط منسوب المياه في سنة (٢٠١٣) إلى (٢١) مترا شمال الحقل وهي المنطقة التي تقع بها أغلب تجمعات الحفر، وسبب هبوط المياه بهذه السرعة تسبب في ترك فراغات بينية بين حبيبات الرواسب الغير متماسكة مما أدى إلى انضغاطها من ثقل الرواسب من فوقها، مما أدى إلى انكباس الطبقات الصخرية ونقص في سماكتها ليصل إلى مرحلة تشققات أفقية وعمودية متجهة نحو السطح، وتبدا في الاتساع تدريجياً على شكل أفقي (شكل رقم ٦).

شكل رقم (٦): المراحل الأولى لتكون الشقوق الأرضية على سطح التربة شمال حقل تازربو

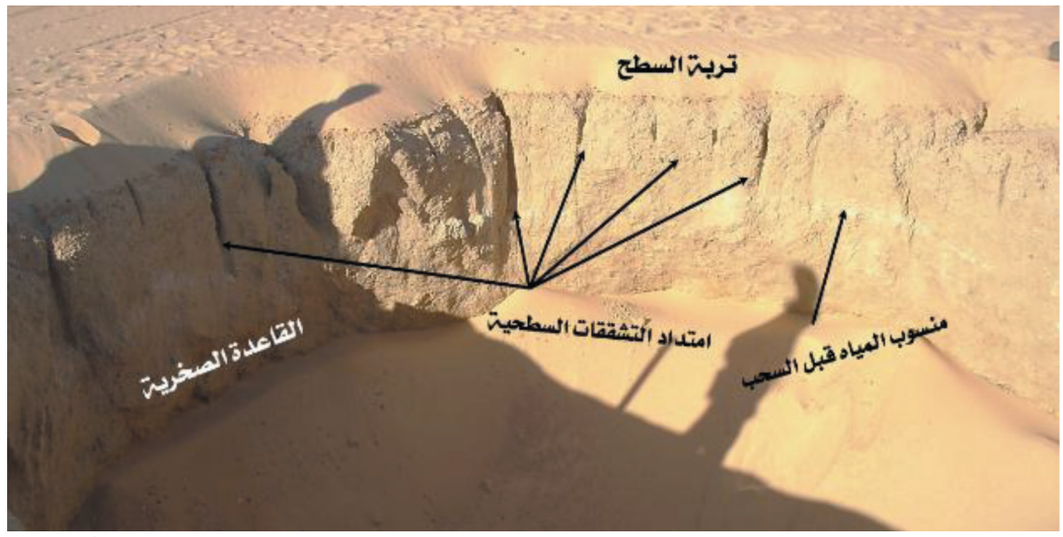
أ. سعد صالح عبد الحميد مطاري
أ.د. محمد محمود طه
د. إيمان طه اسماعيل

تعتبر الشقوق الأرضية السطحية سمة من سمات الهبوط الأرضي ، حيث تبدأ امتداداتها واضحة على سطح الأرض باتجاهات طولية من بضع سنتيمترات إلى عشرات الأمتار، بفتحات عرضية تبدأ من السنتيمتر الواحد وتبدأ هذه الشقوق في الاتساع أفقيا وعموديا (شكل رقم ٧) ، ومن ثم تتكون على طول امتدادها حفر صغيرة ما تلبث أن تنهار حوافها العلوية وتنهار بتواصل هذه الحفر الصغيرة مع بعضها بعضا ويتسع قطرها حتى تستقر في شكلها النهائي على شكل دائري أو شبه دائري (شكل رقم ٨) ، وغالبا ما تتحكم الرواسب المحيطة في حجمها وشكلها، وتتطور أشكال الحفر لتأخذ أنماطا مختلفة نتيجة انهيار حوافها غير المتماسكة فتأخذ هذه الحفر أحيانا أشكالا مخروطية و دائرية تتفاوت فيما بينها من حيث القطر والعمق ، و تتراوح أقطارها من (٥) متر إلى (٣٠) متر وأعماقها من (١٠) سم إلى (٣) متر ويؤثر في هاتين قوة تماسك التربة المحيطة بها (شكل رقم٩).



المصدر: عن (Whittaker, 1989)

شكل رقم (٧): آلية تكون التشققات السطحية الناتجة بفعل انكباس طبقات القاعدة الصخرية



شكل رقم (٨): قطاع طولي في الطبقات الصخرية المتكشفة نتيجة انهيارها بفعل الهبوط الأرضي

شكل رقم (٩): حفر إنهباطية بأشكال وأقطار مختلفة يصل عمق بعضها لمنسوب المياه القريب من السطح

أ. سعد صالح عبد الحميد مطاري
أ.د. محمد محمود طه
د. إيمان طه اسماعيل

ثامناً: الاستنتاج

نستنتج مما تم عرضه أن هناك مشكلة بيئية حدثت نتيجة سحب المياه الجوفية من أحد حقول آبار مشروع النهر الصناعي، وهذه المشكلة أدت سلبا في كميات الإنتاج اليومية للمياه، حيث أن سحب المياه من الخزانات نتج عنه هبوط لمناسيب المياه على مستوى الحقل مما أدى هبوط غير مرئي لسطح الأرض في منطقة تازربو.

هذا الهبوط بدوره يحتاج إلى تخفيض معدلات استخراج المياه اليومية لتدارك خطر ازدياد التشققات الأرضية والحفر الإنهباطية، كما أن منسوب المياه الجوفية قد هبط في بعض الحقول الأخرى غير أنه ليس من أدلة بيئية تدل على وجود هبوط أرضي بمناطق أخرى حتى الآن.

تاسعاً : المراجع

1- Galloway, D. L., Jones, D. R., and Ingebritsen, S.E., 1999, Land subsidence in the United States: U.S. Geological Survey Circular 1182, 175 p.

2- Helm, D. C. (1984) Field-based computational techniques for predicting subsidence due to fluid withdrawal. In Hölzer, T. L., Ed. Man-induced land subsidence. Rev. Eng. Geology VI, The Geological Soc. of America, 1-22.

3- Poland, Joseph F., 1984, Guidebook to Studies of Land Subsidence Due to Groundwater Withdrawal, UNESCO, 7 place de Fontenoy, 75700, Paris, France, 327 pp.

4- Whittaker, B. N., & Reddish, D. J. (1989). Subsidence: occurrence, prediction, and control. Amsterdam, Netherlands, Elsevier.