

الدلائل البيوجيومورفولوجية والترسيبية على التغيرات المعاصرة للبحيرة

الجنوبية بمنخفض وادي الريان، الصحراء الغربية، مصر

د/ عمرو محمد صبري محسوب
مدرس الجغرافيا الطبيعية بكلية الآداب
جامعة عين

د/ محمد إبراهيم محمد خطاب
مدرس الجغرافيا الطبيعية بكلية الآداب
جامعة القاهرة

الإيميل: amr_saleem@art.asu.edu.eg

الإيميل: mohebrahim@cu.edu.eg

khatab.mohammed80@gmail.com

الملخص:

لعب الإنسان دوره كعامل جيومورفولوجي في منخفض وادي الريان عن طريق تحويله لمياه الصرف الزراعي الفائضة عن استيعاب منخفض الفيوم منذ عام ١٩٧٣. وقد ارتبط بتراكم المياه في قاع المنخفض تكون بحيرتين اصطناعيتين (البحيرة الشمالية والبحيرة الجنوبية). وقد شهدت البحيرة الجنوبية تغيرات واضحة في مساحتها (ما بين الغمر والانكماش) مع حدوث تغيرات متزامنة في الغطاء النباتي. هذا ما أمكن رصده على مدى زمني طويل خلال أربع مراحل زمنية للدراسة، وذلك بتطبيق المؤشرات الطيفية على الصور الفضائية متعددة الأطياف من أجيال متنوعة لأقمار لاندسات وقمر سينتل-٢. وقد تضمنت الدراسة الحالية تقصي أثر عمليتي الغمر والانكماش على أشكال سطح الأرض (مثل الكثبان الرملية وأراضي ما بين الكثبان وبعض حافات المنخفض)، من خلال رصد بعض الأنواع النباتية والحيوانية وتحديد علاقاتها المكانية بشواطئ البحيرة خلال مراحل تطورها. كما تضمنت الدراسة إجراء التحليل الحجمي والمعدني والجيوكيميائي على بعض العينات الرسوبية من مواقع الدراسة، والتي أفادت في تمييز الظروف الترسيبية الهوائية أو البحرية السائدة خلال حالات الغمر والانكماش.

الكلمات المفتاحية: وادي الريان، المؤشرات الطيفية، النبات الطبيعي، الكائنات البحرية

القاعية، عمليات الترسيب الهوائية والبحيرية المعاصرة.

Abstract:**Bio-geomorphological and sedimentological evidence for contemporary changes in Wadi Rayan Southern Lake, Western Desert, Egypt**

In Wadi Rayan depression, Western Desert of Egypt, man has acted as a geomorphologic agent since at least 1973. The diversion of drainage water into the depression has produced two artificial lakes: the Northern and the Southern Lakes. The latter has witnessed significant changes in water content and vegetation cover. These changes comprise both inundation and regression phases. The application of spectral indices (on multispectral satellite images) allowed us to quantify long-term changes in the water surface area and vegetation cover. The current study reconstructs the impacts of water inundation-regression on the linear sand dunes, interdunes corridors and depression escarpments. Spatial correlations between some floristic and faunal species and lake shorelines are observed. Sedimentary analyses (e.g. grain size, XRD and XRF) help in characterizing aeolian versus lacustrine processes.

أولاً: مقدمة:

١. منطقة الدراسة (منخفض وادي الريان):

يُعد منخفض وادي الريان أحد المنخفضات الصحراوية الرئيسية في شمالي الصحراء الغربية، وتبلغ مساحته نحو خمسة آلاف كيلومتر مربع شاملة مساحة الأراضي المنحدرة صوب قاعه. وبشكل عام يتخذ المنخفض امتدادًا شمالي غربي - جنوبي شرقي في شكل أقرب ما يكون إلى الشكل الدائري^(١).

يمتد منخفض وادي الريان جنوب غرب منخفض الفيوم مباشرة، ويفصل بينهما حاجز طبوغرافي يعرف بجسر الحديد، والذي يتراوح ارتفاعه ما بين ٣٠ إلى ٣٥ م فوق منسوب سطح البحر. وعلى جانب آخر يتحد منخفضا الفيوم والريان مع منخفض حوض المويلح ليكونوا ما يعرف بالمنخفض الفيومي الكبير (شكل ١). وقد تشكل هذا المنخفض المركب في هضبة الحجر الجيري الإيوسيني في صخور تكوين وادي الريان، والذي يتألف في الأساس من صخور الحجر الجيري الغني بحفريات قروش الملائكة، مع وجود تداخلات من الطفل والرمال. ويظهر عند الحدود الشمالية للمنخفض الفيومي الكبير صخور الإيوسين الأعلى، متمثلة في تكوين قصر الصاغة الذي يتألف من صخور الحجر الرملي، وتعلوه صخور الأوليجوسين بالاتجاه صوب الشمال، حيث تكوين جبل قطراني الذي يتألف في الأساس من صخور الحجر الرملي مع تداخلات من الطين والطفل.

هذا وقد لعبت عمليات التحات خلال الزمنين الثالث والرابع دورًا مهمًا في تشكيل طبوغرافية منخفض وادي الريان، مع الأخذ في الاعتبار ظروف البنية الجيولوجية ونوع الصخر وتغيرات المناخ^(٢). ويبدو ذلك واضحًا من فحص الأشكال الأرضية التحتية الرئيسية في المنخفض مثل الحافات والأحواض والتلال.

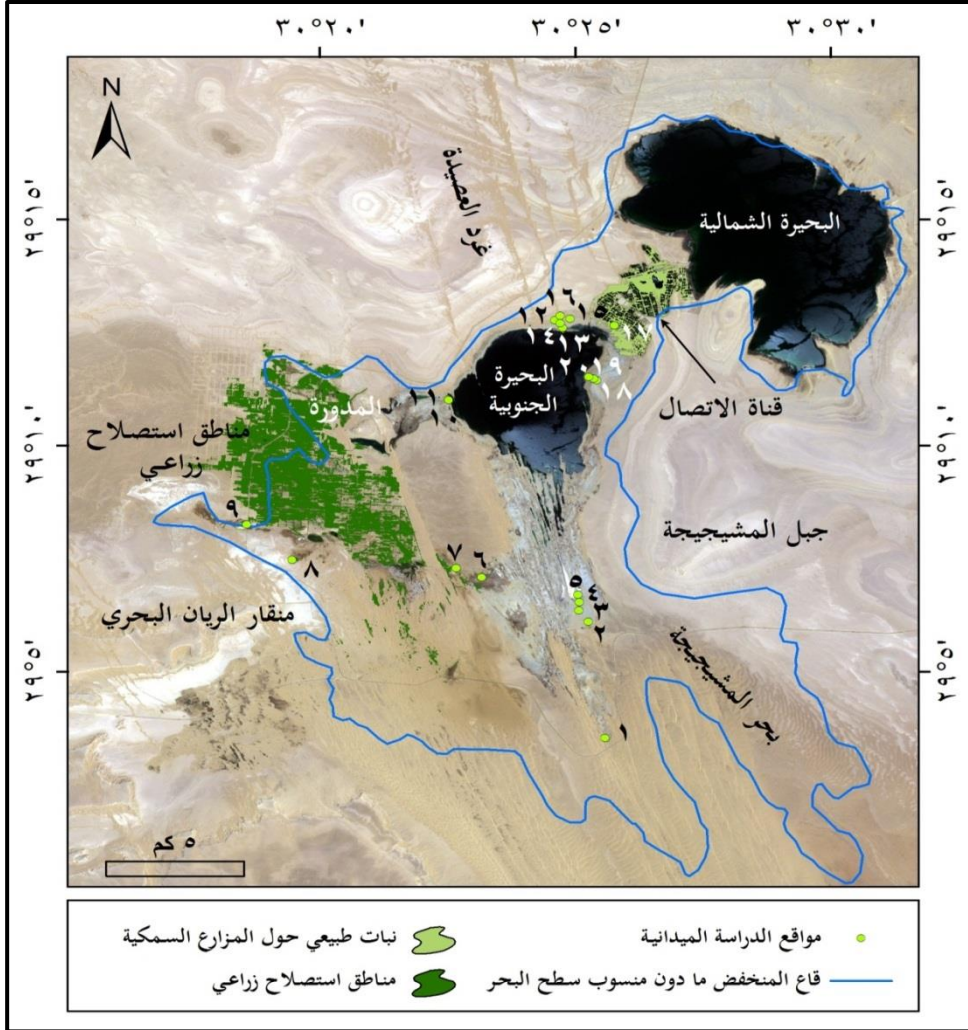
يتحدد منخفض الفيوم من الشمال بحافات كويستات، والتي تبدأ من منطقة جبل قطراني وتمتد صوب الغرب دون انقطاع لتحدد أيضًا الحدود الشمالية والشمالية الغربية لمنخفض وادي الريان. وتعرف تلك الحافة محليًا في منطقة وادي الريان بحافة مدور البغال على منسوب ١٥٠ م (شكل ١). وقد ارتبط وجود تلك الحافات بالتباينات الليثولوجية ما بين صخور الإيوسين الأوسط وما يعلوها من صخور الإيوسين الأعلى والأوليجوسين^(٣). ومن ناحية الشرق يحدد المنخفض بوضوح حافة كويستات علوة المساخيط - علوة النايض - جبل المشيججة؛ حيث تمتد تلك الحافة لمسافة ٢٠ كم تقريبًا في اتجاه شمالي شرقي - جنوبي غربي (شكل ١)، وتميز بانحدارات سلمية مميزة وصولًا إلى بداية قاع المنخفض عند منسوب سطح البحر.

ويعتد قاع منخفض وادي الريان ليشمل تلك الأراضي الواقعة ما دون خط كنتور صفر بمساحة ٣١٠ كم^٢ (شكل ٢). ويتكون قاع المنخفض من مجموعة من الأحواض البنيوية، وقد ارتبطت نشأة تلك الأحواض بانعكاس الوضع الطبوغرافي لبعض البنيات الإلتوائية المحدبة^(٤). ويتألف قاع المنخفض من حوضين هما: منقار الريان والبقيرات، وبالنسبة لحوض منقار الريان فتبلغ مساحته نحو ١٩٠ كم^٢ (ما دون خط كنتور صفر) وتصل أعظم نقطة في قاعه إلى - ٦٨ م.

وتعد التلال مستوية الأسطح أحد المظاهر البنيوية المميزة لمنخفض وادي الريان ويمكن تصنيفها إلى نوعين رئيسيين تبعاً لمواضعها وظروف النشأة والتطور^(٩). يشمل النوع الأول التلال الفصيلة في قاع المنخفض، مثل تل جبل المدورة بمنسوب يصل إلى ٦٨ م. بينما يمثل النوع الثاني قمم الطيات الإلتوائية المحدبة فوق حافات المنخفض، مثل تلال مناقير الريان عند منسوب ١٨٠ م وجبل المشيحيحة عند منسوب ١٠٥ م (شكل ١) و(شكل ٢).

ويضم منخفض الريان مجموعة مميزة من أشكال سطح الأرض التي ارتبطت في نشأتها وتطورها بالظروف الجيولوجية والطبوغرافية سابقة الذكر فضلاً عن عمليات التشكيل خلال الزمن الرابع^(١٠) مثل ظاهرات: البحيرات والكثبان الرملية والسبخات والرواسب البحرية القديمة. مع الأخذ في الاعتبار بدور الإنسان كعامل جيومورفولوجي خلال الفترة المعاصرة بداية من الربع الأخير من القرن العشرين حتى الآن.

يشغل قاع منخفض الريان ثلاثة أجسام مائية مؤقتة، تتمثل في البحيرة الشمالية في موضع حوض البقيرات، والبحيرة الجنوبية في موضع حوض منقار الريان، وتتصل كلتا البحيرتين بقناة سطحية تحيط بها المزارع السمكية وغطاء كثيف من نباتات المستنقعات. وقد ارتبط وجود تلك البحيرات بدخول مياه الصرف الزراعي من منخفض الفيوم لأول مرة منذ عام ١٩٧٣ عن طريق قناة تحت سطحية محفورة في حاجز جسر الحديد. وقد استقرت البحيرة الشمالية عند منسوب - ١٢ م والبحيرة الجنوبية عند منسوب - ٣٠ م^(١١). وهنا يجب الإشارة إلى إعادة استخدام ملايين الأمتار المكعبة من مياه الصرف الزراعي في استصلاح وزراعة مساحات واسعة من أراضي الكثبان الرملية جنوب غرب البحيرة الجنوبية مما أدى إلى تناقص المخزون المائي للبحيرات^(١٢).



المصدر: صورة فضائية سينتينيل ٢ بتاريخ ١٠ أغسطس ٢٠١٩، والخرائط الطبوغرافية مقياس ١: ٢٥٠.٠٠٠.

شكل (٢) الملامح الجغرافية العامة ومواقع الدراسة الميدانية في قاع منخفض وادي الريان

ويتركز توزيع الكثبان الرملية في شرقي المنخفض. وتمتد الكثبان الطولية في ستة نطاقات (أذرع) متوازية بداية من حافة المنخفض الفيومي الكبير ولمسافة ٣٠ كم تقريباً حتى تتقاطع مع مياه البحيرة الجنوبية ومنطقة المزارع السمكية. وقد تعرضت الكثبان الطولية لعملية الغمر تحت مياه البحيرة الجنوبية مع تعرضها للتعديل والإزالة في منطقة المزارع السمكية (منطقة الاتصال ما

بين البحيرتين). وتظهر امتدادات الكثبان مرة أخرى بوضوح في أقصى جنوب البحيرة الجنوبية نتيجة لانكماش الجسم المائي مؤخرًا (شكل ٢).

يتراوح معامل الجفاف في منطقة الدراسة ما بين ٠.٠٢ و ٠.٠٣ ملليمتر، مما يشير إلى ظروف مناخ صحراوي شديد الجفاف^(٩). وقد بلغ المعدل العام لدرجة الحرارة في محطة الفيوم في الفترة (١٩٧٦-٢٠٠٥) ٢٩.٣ درجة سيليزية وتتراوح متوسطات درجات الحرارة ما بين ١٣.٣ درجة سيليزية في شهر يناير و ٣٧.٧ درجة سيليزية في شهر يوليو^(١٠). وبلغ متوسط معدلات التبخر السنوي ٥.٩ ملليمتر/اليوم، وقد سُجلت أقل معدلات للتبخّر في وادي الريان خلال شهر ديسمبر بمقدار ٣,١٨ سم وأعلاها في شهر أغسطس بمقدار ٢٥,٦ سم^(١١).

٢. الدراسات السابقة:

مثلت منطقة الدراسة ميداناً لإجراء العديد من الدراسات في تخصصات الجيومورفولوجيا والإيكولوجيا والبيئة. ويمكن مراجعة بعض من تلك الدراسات على النحو التالي:

١.٢ الدراسات الجيومورفولوجية:

تضمنت منطقة الدراسة إجراء ثلاث رسائل علمية متخصصة في الجيومورفولوجيا. حيث قدم عبدالباقي (١٩٩٣) دراسة رائدة عن جيومورفولوجية منخفض الريان تناولت تحليلاً لظواهرات الترسيبية والتحتانية في كل المنخفض اعتماداً على الصور الجوية والخرائط الطبوغرافية والرصد الميداني. تلى ذلك دراسة مصطفى (٢٠٠٢) عن الكثبان الرملية المتاخمة لوادي النيل جنوب وادي الريان، والتي تناولت الرصد الحقلّي والتحليل العملي لعدد ستة كثبان رملية كعينة للدراسة من داخل منخفض وادي الريان، وقد توزعت مواضع الكثبان بالتساوي ما بين حافات المنخفض وبداية قاع المنخفض (حول خط كتور صفر). في حين تناولت دراسة مرسى (٢٠٠٦) أشكال سطح الأرض في منخفض الريان وعلاقتها بعمليات النحت والترسيب بواسطة الرياح. وتعرضت أوراق بحثية لدور الإنسان كعامل جيومورفولوجي في منطقة الدراسة^(١٢)، وقد ركزت تلك الدراسات في الأساس على فكرة غمر مياه الصرف الزراعي لقاع المنخفض، وأحياناً تم توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد في التحليل الكمي لتغيرات الجسم المائي والنباتي في المنخفض باستخدام صور القمر الصناعي لاندسات من أجيال مختلفة ما بين ١٩٧٣ و ٢٠١٣^(١٣).

٢.٢. الدراسات الإيكولوجية:

جذبت منطقة الدراسة انتباه المتخصصين في علم البيئة والإيكولوجيا منذ فترة طويلة مع بداية تكون البحيرات في قاع المنخفض؛ حيث أدى وجود المياه إلى حدوث تغيرات بيولوجية واضحة شملت الغطاء النباتي^(١٤) كذلك الأنواع الحيوانية الكائنة في مياه البحيرات والمستنقعات^(١٥). كما تناولت دراسة (Saleh et al. (1988) البيئة النباتية للكثبان الرملية في منطقة محدودة من المنخفض؛ حيث تتوزع ينابيع المياه العذبة في الأراضي الممتدة ما بين حافتي منقار الريان البحرية والقبليّة.

يتضح مما سبق أن بعض الدراسات السابقة تمت في فترة مبكرة ولم تواكب التغيرات المتسارعة التي يشهدها الجسم المائي في الوقت الراهن. وعلى الرغم من أن بعض الدراسات الحديثة نسبياً قد طبقت تقنيات بحث متقدمة في مجال الاستشعار عن بعد إلا أنها أهملت إلى حد كبير الرصد الحقلّي الدقيق وتوظيف التحليل المعملّي في تتبع التغيرات الجيومورفولوجية المعاصرة في قاع المنخفض. كما أن العديد من الدراسات البيئية والإيكولوجية قد تناولت التغيرات وآثارها من منظور واحد فقط مع تجاهل العلاقة ما بين مكونات البيئة الحيوية وعمليات تشكيل سطح الأرض في منطقة الدراسة.

٣. الدراسة الحالية:

تندرج الدراسة الحالية ضمن تخصص البيوجيومورفولوجي في البيئات الجافة. وقد ظهر هذا المصطلح منذ نهاية ثمانينات القرن العشرين، وبالفعل تم تطبيق منهجية دراسة البيوجيومورفولوجي في العديد من جوانب الدراسات الجيومورفولوجية من دون إشارة مباشرة لمصطلح البيوجيومورفولوجي^(١٧). هذا ويلاحظ زيادة مضطربة في استخدام هذا المصطلح في عناوين العديد من الدراسات في بيئات جغرافية متنوعة منذ عام ٢٠٠٥^(١٨). ويهدف هذا التخصص إلى إيجاد حلقة الوصل المفقودة ما بين تخصص الجيومورفولوجي والإيكولوجي (البيئة النباتية والحيوانية). فمن جانب واحد تؤثر أشكال سطح الأرض وعمليات التشكيل على أنماط توزيع الكائنات الحية، وفي المقابل تعمل الكائنات الحية على تعديل فعل عمليات تشكيل سطح الأرض وما ينتج عنها من ظاهرات^(١٩).

ومن ثم تركز الدراسة الحالية على رصد وتفسير التطورات المعاصرة لأشكال سطح الأرض الترسيبية، وعمليات تشكيلها (هوائية وبحيرية)، وذلك في ضوء علاقة تبادلية مع مكونات البيئة

الحيوية (إنسان - نبات - حيوان). وتتركز الدراسة مكانياً حول الجسم المائي لبحيرة الريان الجنوبية.

ثانياً: تقنيات ووسائل الدراسة:

اعتمدت الدراسة الحالية على التكامل ما بين تقنية الاستشعار عن بعد والرصد الحقلية، بهدف المتابعة الزمنية والمكانية لتغيرات الجسم المائي والنباتي لبحيرة الجنوبية في منخفض وادي الريان. وقد مثلت الدراسة الميدانية مصدرًا رئيسيًا لرصد الدلائل البيوجيومورفولوجية والترسيبية على التغيرات. كما أمكن تطبيق بعض التحليلات المعملية لتأكيد نتائج الدراسة.

١. الصور الفضائية المستخدمة في الدراسة:

اعتمدت الدراسة على سلسلة من صور الأقمار الصناعية من نوعي لاندسات بأجياله المختلفة وسينتتل ٢، وذلك لمتابعة التغيرات التي حدثت في منطقة الدراسة، وتم استخدام فاصل زمني ٥ سنوات بين صور لاندسات، بينما تم استخدام فاصل زمني سنة بين صور سنتينيل ٢. وتم استخدام عدد من القنوات الطيفية من كل صورة لتطبيق مؤشري المياه NDWI والنبات NDVI، ويمكن عرض خصائص هذه الصور بإيجاز على النحو التالي:

١.١ صور لاندسات:

توفرت صور لاندسات من سلسلة من الأقمار الصناعية التي أطلقتها ناسا منذ عام ١٩٧٢، بداية من صور MSS، ثم TM، يليهما ETM، وأخيراً Landsat8-OLI. وتعد الأخيرة أحدث أجيال لاندسات وأكثرها دقة سواء أكانت دقة مكانية أم طيفية أم راديومترية، وقد أطلقت في فبراير ٢٠١٣. وقد تم تحميل صور منطقة الدراسة بنظام إسقاط مركبتور المستعرض العالمي UTM، في صيغة Geo.tiff. ويمكن عرض خصائص الصور والقنوات الطيفية المستخدمة في الدراسة الحالية على النحو التالي:

- صور الماسح الطيفي المتعدد MSS/لاندسات ١-٣: تعد أقدم صور

لاندسات، وتتكون الصورة الواحدة من أربع قنوات طيفية، منها قناتين في حيز الأشعة المرئية الخضراء والحمراء، وقناتين أخريين في نطاق الأشعة ما دون الحمراء القريبة، وتتسم هذه الصور بدقة مكانية ٦٠ م. ويبدأ ترقيم القنوات الطيفية في هذا القمر من القناة الرابعة وحتى السابعة. واعتمدت الدراسة الحالية على القناة الطيفية الخضراء (٤)، والقناة الطيفية ما دون الحمراء القريبة

(٦) في تطبيق مؤشر المياه، وقد اعتمدت الدراسة الحالية على صورة واحدة تم تحميلها بتاريخ ١٠ مايو عام ١٩٧٣.

- صور الماسح النوعي **TM/لانداستات ٤-٥**: تغطي تلك الصور الفترة (١٩٨٢-٢٠١٣)، وتتكون من سبع قنوات طيفية، تقع القنوات الثلاث الأولى في نطاق الأشعة المرئية، وتقع القناة الرابعة في نطاق الأشعة ما دون الحمراء القريبة، وتقع القناتان الخامسة والسابعة في نطاق الأشعة ما دون الحمراء القصيرة، وتقع القناة السادسة في نطاق الأشعة ما دون الحمراء الحرارية. وتتسم هذه الصور بدقة مكانية ٣٠ م فيما عدا القناة الطيفية السادسة تتسم بدقة مكانية ١٢٠ م. والقنوات التي تم استخدامها في تطبيق المؤشرات الطيفية هي: القناة الطيفية الخضراء (٢)، والقناة الطيفية الحمراء (٣)، والقناة الطيفية ما دون الحمراء القريبة (٤). وتم تحميل هذه الصور في تواريخ متعددة:

٣ أكتوبر ١٩٨٦، و٣٠ أكتوبر ١٩٩٠، و٢٦ سبتمبر ١٩٩٥، و٢٩ مارس ٢٠٠٥، و٥ أكتوبر ٢٠١٠.

- صورة الماسح النوعي المحسن **ETM+/لانداستات ٧**: تم اطلاقه في عام ١٩٩٩، ويتكون من ٩ قنوات طيفية تتسم بنفس خصائص صور الماسح النوعي يضاف إليها قناة البانكرومتك بدقة مكانية ١٥ م وقناة أخرى حرارية. والقنوات التي تم استخدامها في تطبيق المؤشرات الطيفية هي: القناة الطيفية الخضراء (٢)، والقناة الطيفية الحمراء (٣)، والقناة الطيفية ما دون الحمراء القريبة (٤)، وتم تحميل صورة بتاريخ ٤ أكتوبر ٢٠٠١. وقد تجنبت الدراسة استخدام صور الماسح النوعي المحسن+ ما بعد ٢٠٠٣ نظرا لظهور عيوب خط المسح في الصور الملتقطة منذ تاريخ ٣١ مايو ٢٠٠٣) ومن ثم اعتمدت الدراسة على صور الماسح النوعي **TM** لتغطية الفترة الزمنية مابين عامي ٢٠٠٥ و٢٠١٠.

- صورة **OLI/ لانداستات ٨**: تتكون من ١١ قناة طيفية، منها أربع قنوات في حيز الأشعة المرئية وقناة واحدة في حيز الأشعة ما دون الحمراء القريبة بدقة مكانية ٣٠ م، وثلاث قنوات في حيز الأشعة ما دون الحمراء القصيرة بدقة ٣٠ م، وقناة البانكرومتك بدقة ١٥ م. والقنوات المستخدمة في تطبيق المؤشرات الطيفية هي: القناة الطيفية الخضراء (٣)، القناة الطيفية الحمراء (٤)، والقناة الطيفية ما دون الحمراء القريبة (٥). وقد تم تحميل صورة بتاريخ ٢٦ أبريل ٢٠١٥.

٢.١ صور Sentinel-2/MSI:

وفرت وكالة الفضاء الأوروبية ESA صور القمر الصناعي سنتينل ٢ منذ عام ٢٠١٥. وتتكون الصورة من ١٣ قناة طيفية بدقات مكانية متباينة، أول أربع قنوات في نطاق الأشعة المرئية بدقة مكانية ٦٠ م للقناة الأولى و ١٠ م للقنوات الثلاث المتبقية، وست قنوات طيفية في حيز الأشعة ما دون الحمراء القريبة بدقات مكانية مختلفة (١٠ و ٢٠ و ٦٠ م)، وثلاث قنوات طيفية في حيز الأشعة ما دون الحمراء القصيرة بدقات مكانية ٢٠ و ٦٠ م، والقنوات المستخدمة في تطبيق المؤشرات الطيفية هي: القناة الطيفية الخضراء (٣)، والقناة الطيفية الحمراء (٤)، والقناة الطيفية مادون الحمراء القريبة (٨)، وجميعها بدقة مكانية ١٠ م، وقد تم تحميل صور قمر سنتينل ٢ في تواريخ ٣١ يناير ٢٠١٦، و ٣٠ أغسطس ٢٠١٦، و ٧ يناير ٢٠١٧، و ٢٦ أغسطس ٢٠١٧، و ١٧ يناير ٢٠١٨، و ٢٥ أغسطس ٢٠١٨، و ٣ فبراير ٢٠١٩، و ١٠ أغسطس ٢٠١٩.

٢. تطبيق المؤشرات الطيفية على الصور الفضائية:

استُخدمت المؤشرات الطيفية لرصد الغطاءات الأرضية المائية والنباتية، وذلك من خلال تطبيق بعض العمليات الجبرية على القنوات الطيفية للصور الفضائية، وتعتمد فكرة المؤشرات الطيفية على تباين مقدار انعكاس الطاقة الكهرومغناطيسية من الغطاءات الأرضية المتنوعة (تباين البصمة الطيفية)، ويمكن عرض مؤشري المياه والنبات الطبيعي المستخدمين في الدراسة على النحو التالي:

- مؤشر المياه NDWI:

بتطبيق المعادلة التالية^(٢٠):

$$NDWI = \frac{(Green - Near Infrared)}{(Green + Near Infrared)}$$

(القناة الطيفية الخضراء - القناة الطيفية ما دون الحمراء القريبة)

مؤشر المياه =

(القناة الطيفية الخضراء + القناة الطيفية ما دون الحمراء القريبة)

مع الأخذ في الاعتبار اختلاف أرقام القنوات الطيفية لأقمار لاندسات وقمر سنتينل ٢

بحيث يعمل هذا المؤشر على تعظيم انعكاس الطاقة الكهرومغناطيسية للأجسام المائية من القناة الطيفية الخضراء، وتقليص انعكاس الطاقة الكهرومغناطيسية المنخفضة للأجسام المائية في نطاق الأشعة ما دون الحمراء القريبة. وبتطبيق مؤشر المياه تم فصل واستخراج الجسم المائي في طبقة راستر (تأخذ فيها خلايا الأجسام المائية قيمًا موجبة أكبر من صفر).

- مؤشر النبات NDVI:

بتطبيق المعادلة التالية^(٢١):

$$NDVI = (Near\ Infrared - Red) / (Near\ Infrared + Red)$$

(القناة الطيفية مادون الحمراء القريبة - القناة الطيفية

مؤشر النبات =
(احمر)

(القناة الطيفية مادون الحمراء القريبة + القناة الطيفية

(الاحمر)

مع الأخذ في الاعتبار اختلاف أرقام القنوات الطيفية لأقمار لاندسات وقمر سينتل ٢

ويعمل هذا المؤشر عكس مؤشر المياه، بحيث يعتمد على خاصية الانعكاسية المرتفعة للأشعة ما دون الحمراء القريبة من النبات.

٢. الدراسة الميدانية:

تضمنت الدراسة الحالية إجراء ثلاث دراسات ميدانية خلال أشهر سبتمبر ٢٠١٨ وسبتمبر ٢٠١٩ وأكتوبر ٢٠١٩. وقد تركزت تلك الدراسات في ثلاثة نطاقات حول منطقة الدراسة (نطاق الكثبان الرملية المنكشفة في أقصى جنوب البحيرة، ونطاق الحافة الشمالية والشمالية الغربية لحوض منقار الريان، ونطاق الحافة الشرقية لحوض منقار الريان). حيث غطت الدراسات ٢٠ موقع عمل، أخذت ترقيمًا تصاعديًا من الجنوب صوب الشمال (شكل ٢).

وقد تمثل الهدف الرئيسي من الدراسات الميدانية في رصد الدلائل البيوجيومورفولوجية والترسيبية لتغيرات بحيرة الريان الجنوبية على امتداد مجموعة من القطاعات العرضية. وقد توزعت القطاعات على امتداد الكثبان الرملية وأراضي ما بين الكثبان (ثمانية قطاعات) وعلى حافات المنخفض (قطاعتين). وقد أفادت تلك القطاعات في تقدير تغيرات منسوب سطح البحيرة بالتكامل مع البيانات المستقاة من تطبيق المؤشرات الطيفية على الصور الفضائية. كما تضمنت

الدراسة حفر خندقين عند قمم الكثبان الرملية لاقتفاء أثر غمر وانكماش الجسم المائي على البنية الداخلية للكثبان الرملية.

٣. التحليلات المعملية:

١.٣ التحليل الحجمي للرواسب:

تضمنت الدراسة الحالية التحليل الحجمي لعدد ٢٣ عينة رسوبية (جدول ١) توزعت ما بين: الكثبان (١٦ عينة سطحية وتحت سطحية)، وأراضي ما بين الكثبان والسبخات (٧ عينات). وقد تم تجهيز جميع العينات للتحليل الحجمي بإزالة بقايا الأصداف والمواد العضوية عن طريق عملية النخل الجاف باستخدام مناخل كبيرة منفذة لكل الرواسب أكبر من ٢ ملم، يلي ذلك غسل العينة بمحلول الهيدروكلوريك المخفف لإزالة أي آثار لبقايا كربونات الكالسيوم (بقايا الأصداف الصلبة) أو غسل العينة بمركب بيروكسيد الهيدروجين لإزالة البقايا العشبية الجافة من العينة.

وقد خضعت غالبية العينات للنخل الرطب بهدف حساب التوزيع النسبي لمحتوى العينة من الرواسب الرملية والغرين والطين. ويعد هذا التحليل ضروريًا للعينات الرطبة التي تحتوي على نسبة عالية من الرواسب في فئة حجم الغرين والطين؛ حيث أن طريقة النخل الجاف لا تجدي في فصل الرواسب الناعمة. وبعد الإنتهاء من عملية النخل الرطب تم تجفيف باقي العينة في فرن الرواسب وتحليلها حجميًا بواسطة مجموعة من المناخل (١٥ منخل لفصل فئات حجم الرمال في معمل علوم الأرض والبيئة بجامعة مارسيليا بالتطبيق على ١٠ عينات و ٥ مناخل لفصل فئات حجم الرمال في معمل الرسوبيات بقسم الجيولوجيا بكلية العلوم - جامعة عين شمس بالتطبيق على ١٣ عينة). ومع الانتهاء من تلك التحليلات أمكن تطبيق بعض المعاملات الإحصائية الأساسية لتحليل الرواسب^(٢٢) مثل حساب معاملي متوسط حجم الرواسب والفرز (التصنيف).

كما خضعت عشرة عينات للتحليل الحجمي بواسطة جهاز تحليل الليزر Beckman Laser Particle Size Analyzer في معمل علوم الأرض والبيئة بجامعة مارسيليا؛ حيث يُستخدم هذا الجهاز في قياس تكرارات أحجام الرواسب في مدى يتراوح ما بين ٠.٠١٧ ميكرون و ٢٠٠٠٠ ميكرون (٢ ملم)، ويتميز الجهاز بدقة قياس كل الفئات الحجمية في العينة خاصة محتوى العينة من الرواسب الناعمة. كما أن الجهاز متصل ببرنامج على الحاسب الآلي يمكن من خلاله استخراج المعاملات الإحصائية للرواسب مباشرة في ملف نصي.

٢.٣. تحليلات معدنية وجيوكيميائية:

تضمنت الدراسة الحالية تحليل عينات رسوبية بالأشعة السينية الحيودية XRD (عدد ١٢ عينة) بهدف تعريف المحتوى المعدني للرواسب. بالإضافة إلى إجراء تحليل الأشعة السينية الطيفية XRF على بعض العينات بهدف رصد العناصر الرئيسية (عدد ٤ عينات)، والعناصر الضئيلة (عدد ٤ عينات). وتهدف تلك التحليلات إلى تفسير تباين ظروف الترسيب الهوائي والبحيري في مواقع الدراسة. تم تحليل العينات في المعامل المركزية لهيئة الثروة المعدنية بالقاهرة. وقد تم تجهيز العينات ما قبل التسليم للمعمل من خلال طحن عدة ملليجرامات من كل عينة يدويا باستخدام مطحنة الأوجيت، وبدون إزالة بقايا الأصداف من العينة (عينات خام من دون أي معالجة كيميائية أو غسيل).

٣.٣. رصد وتوثيق ظواهر بيولوجية (بقايا الأصداف الصلبة - النبات طبيعي):

تم استخلاص بعض المكونات البيولوجية الحيوانية (الأصداف الصلبة المكتملة) من بعض عينات الرواسب. حيث أمكن استخلاص وغسل بعض الحفريات الكبيرة بواسطة بعض مناخل فصل الرواسب بداية من حجم الرمل الخشن فما فوق (أكبر من ٢ ملليمتر). وقد تم تعريف الحفريات الكبيرة بمساعدة المتخصصين في معمل شعبة الحفريات بقسم الجيولوجيا بكلية العلوم - جامعة عين شمس. كما تضمنت الدراسة الحالية فصل الأصداف الصلبة لكائنات الأوستراكودا من خمسة عينات رسوبية تحت المجهر. كما تم التواصل مباشرة مع معمل البيئة النباتية بقسم النبات بكلية العلوم - جامعة عين شمس لتعريف بعض الأنواع النباتية المرصودة في مواقع الدراسة.

ثالثاً: نتائج الدراسة:

١. تغيرات الغطاءات الأرضية:

أمكن رصد وتحليل تغيرات غطاءات سطح الأرض في منطقة الدراسة على مدى زمني طويل ما بين عامي ١٩٥٥ و ٢٠١٩. وقد توزعت الدراسة على أربع مراحل زمنية، اعتمدت المرحلة الأولى على موزايك الصور الجوية والخرائط الطبوغرافية، بينما اعتمدت المراحل الثلاث الأخرى على الصور الفضائية، ومن ثم يمكن تتبع تغيرات الغطاءات الأرضية على النحو التالي:

١.١. مرحلة ما قبل الغمر (١٩٥٥):

تبدو ظاهرات قاع منخفض وادي الريان من موزايك الصور الجوية (مشروع الحصر التصنيفي لأراضي السد العالي مقياس رسم ١: ٥٠.٠٠٠) والمنتجة من تصوير جوي لعام

١٩٥٥)، والخريطة الطبوغرافية (لوحة مديرية الفيوم مقياس رسم ١: ١٠٠.٠٠٠ عام ١٩٥٤)، أي قبل دخول مياه الصرف الزراعي إلى المنخفض؛ وقد لوحظ أن الكثبان الطولية المتوازية تتوزع في نطاقين شرقي وغربي بكثافة عديدة تصل إلى ١.١/كم^٢ و ٠.٧/كم^٢ على التوالي (شكل ٣-أ). وتقع غالبية كثبان النطاق الشرقي دون منسوب سطح البحر (٩٠% من أعداد الكثبان المرصودة)، وتمتد بعض من تلك الكثبان على هيئة كثبان هابطة وكثبان صاعدة على حافات حوض منقار الريان. ويلاحظ تباين قيم التباعد بين قمم الكثبان الطولية في النطاق الشرقي في مدى يتراوح بين ٤٣ و ١٠١٤ م بانحراف معياري يبلغ ٢١١.٩ م. كما لوحظ تدرج انحدارات الحافتين الشمالية والشرقية لحوض منقار الريان في شكل شبه سلمي مميز.

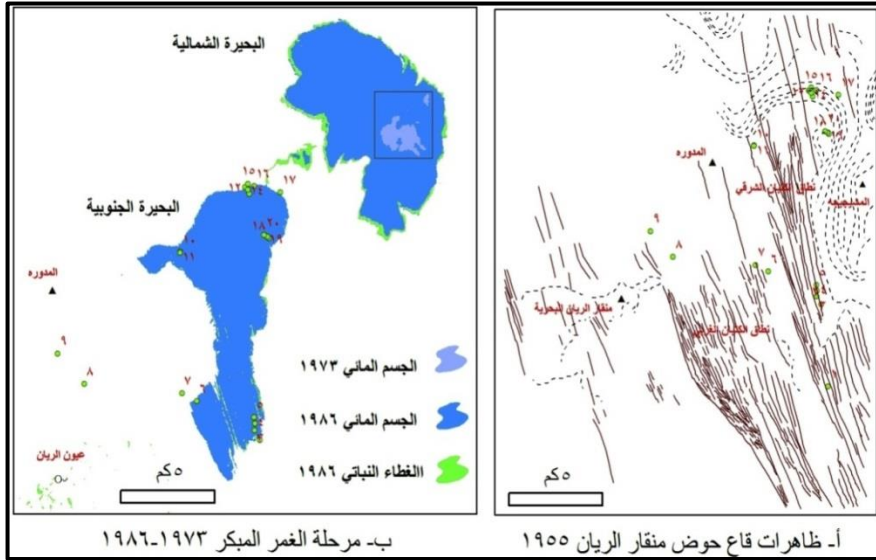
٢.١. مرحلة الغمر المبكر (١٩٧٣-١٩٨٦):

توضح الصورة الفضائية الملتقطة بالماسح الطيفي المتعدد/قمر لاندسات ١ (تاريخ التصوير ١٠ مايو ١٩٧٣) بداية تراكم مياه البحيرة الشمالية في أخفض موضع من قاع حوض البقيرات عند نهاية نفق نقل مياه الصرف الزراعي (عند منسوب - ٢٨ م) لتغطي مساحة ٢.٤ كم^٢ (شكل ٣-ب). وبمرور الزمن اكتمل ملء خزان حوض البقيرات وتدفقت المياه مع انحدار السطح صوب حوض منقار الريان (عن طريق ما يعرف بقناة الاتصال المكشوفة ومنطقة الشلال). حيث بلغت مساحات الأجسام المائية لكل من البحيرة الشمالية وبحيرة منطقة قناة الاتصال والبحيرة الجنوبية ٥٠.٦ و ٤٦.٣ و ٠.٢ كم^٢ على التوالي (بتطبيق مؤشر المياه على الصورة الفضائية الملتقطة بالماسح النوعي/قمر لاندسات ٥، شكل ٣-ب).

وقد ترتب على دخول المياه حوض منقار الريان حدوث غمر واسع للكثبان الرملية. حيث أن ثلث عدد الكثبان القابعة في النطاق الشرقي من حوض منقار الريان (دون منسوب سطح البحر) قد تعرض للغمر الكلي تحت مياه البحيرة الجنوبية، مع تعرض غالبية الكثبان الطولية لغمر جزئي خاصة تلك الكثبان الهابطة والصاعدة على حافات المنخفض.

ويستدل من تطبيق مؤشر النبات (صورة الماسح النوعي/قمر لاندسات ٥) على وجود ثلاثة أنماط لتوزيع النبات الطبيعي في منطقة الدراسة وما حولها، يتمثل في وجود محدود للنبات الطبيعي في المنطقة الممتدة بين حافتي منقار الريان الجنوبية والشمالية، وعلى الأرجح ارتبط وجود النبات هنا بتوفر مصدر للمياه من بعض ينابيع المياه العذبة. كما ظهر نمط جديد للنبات الطبيعي

على هيئة أطر موازية لشواطئ البحيرتين وقناة الاتصال أو بعض الخلايا النباتية التي نمت على قمم الكثبان المغمورة، تحديداً عند هوامش البحيرة الجنوبية (شكل ٣-ب).



المصدر: موزايك الصور الجوية، مقياس ١: ٥٠٠٠٠٠، عام ١٩٥٤، ولوحة مديرية

الفيوم مقياس ١: ١٠٠٠٠٠٠، عام ١٩٥٥، والصور الفضائية لعامي ١٩٧٣ و١٩٨٦.

شكل (٣) تغيرات الغطاءات الأرضية في منطقة الدراسة (١٩٥٥-١٩٨٦)

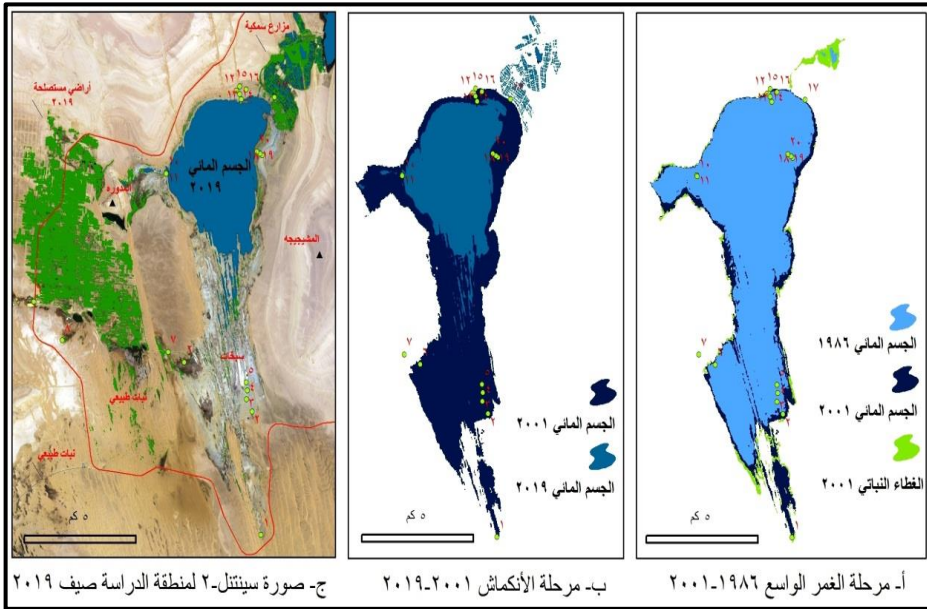
٣.١. مرحلة الغمر الواسع (١٩٨٦-٢٠٠١)

تميزت تلك المرحلة باتساع مساحة الأجسام المائية في منطقة الدراسة مع وجود تباينات واضحة في مقدار الزيادة لكل من البحيرتين الجنوبية والشمالية. فقد زادت مساحة البحيرة الشمالية بمقدار ٠.٢ كم^٢ فقط بين بداية ونهاية المرحلة (بمساحة بلغت ٥٠.٨ كم^٢ سنة ٢٠٠١). وعلى جانب آخر زادت مساحة البحيرة الجنوبية بمقدار ٧.٩ كم^٢ بمعدل زيادة سنوي بلغ ٠.٣ كم^٢/سنة (شكل ٤-أ) و(شكل ٥).

وقد شهدت البحيرة الجنوبية زيادة تدريجية خلال هذه المرحلة والتي تم رصدها كل خمس سنوات بمعدلات زيادة ١.١ كم^٢/سنة خلال الفترة (١٩٨٦-١٩٩٠) و ٠.٥ كم^٢/سنة خلال الفترة (١٩٩٠-١٩٩٥)، مع رصد تناقص محدود في مساحة الجسم المائي مع نهاية المرحلة (١٩٩٥-٢٠٠١) بمعدل تناقص بلغ ٠.١ كم^٢/سنة. وقد اتفقت هذه النتيجة مع ما جاء في دراسات سابقة عن التقدير الكمي لتغيرات مياه بحيرتا الريان، مثل دراسة

Hereher^(٢٣) (2015) التي أشارت إلى أقصى زيادة في مساحة كل الأجسام المائية في قاع المنخفض بمساحة ١٠٦.٣ كم^٢ بحلول عام ٢٠٠٠. أو ما جاء في دراسة El-Gammal & El-Gammal^(٢٤) (2010) عن زيادة حجم مياه البحيرة الجنوبية بسعة تخزين قُدرت بـ ١٠٩٧.٤ كم^٣ خلال عام ١٩٩٩.

ويستدل من فحص مؤشر النبات على وجود النبات بنفس النمط الذي وجد عليه مع نهاية المرحلة السابقة مع اتساع مساحة النبات الطبيعي حول البحيرة الجنوبية وعلى قمم الكشبان الرملية الغمورة من ٠.٩ كم^٢ سنة ١٩٨٦ إلى ١٠.٧ كم^٢ سنة ٢٠٠١، وذلك بالتوافق مع اتساع الجسم المائي للبحيرة الجنوبية (شكل ٤-أ). كما ظهر نمطاً جديداً للغطاء النباتي مع بداية تخطيط واستصلاح الأراضي الزراعية غرب البحيرة الجنوبية بمساحة أراضي مزروعة بلغت ٠.٢ كم^٢.



المصدر: تطبيق المؤشرات الطيفية للمياه والنبات على الصور الفضائية سنوات ١٩٨٦

و ٢٠٠١ و ٢٠١٩.

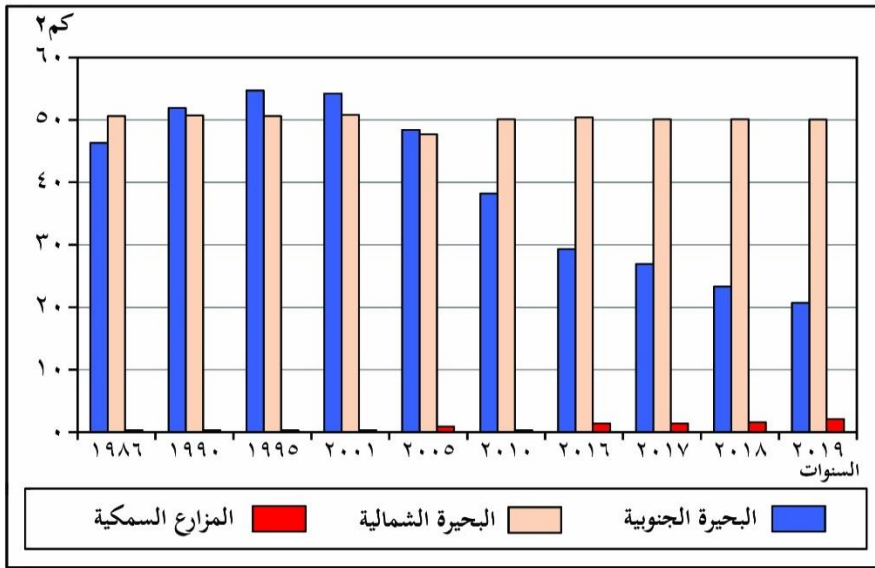
شكل (٤) تغيرات الغطاءات الأرضية في منطقة الدراسة (١٩٨٦-٢٠١٩)

٤.١. مرحلة الانكماش (٢٠٠١-٢٠١٩)

تميزت هذه المرحلة بعدم وجود تغيرات واضحة في مساحة الجسم المائي للبحيرة الشمالية والتي بلغت مساحتها ٥٠٠٠٦ كم^٢ مع نهاية المرحلة. إلا أنه من الملاحظ اتساع مساحة الجسم المائي في منطقة الاتصال بين البحيرتين الشمالية والجنوبية، حيث زادت مساحة الجسم المائي من ٠.١٥ كم^٢ سنة ٢٠٠١ إلى ٢.٩ كم^٢ سنة ٢٠١٩ بسبب سحب كميات من المياه الواردة في قناة التوصيل واستغلالها في إقامة أحواض المزارع السمكية حول قناة الأتصال مابين البحيرتين الشمالية والجنوبية.

وقد تعرض المسطح المائي للبحيرة الجنوبية للانكماش بشكل واضح خلال هذه المرحلة، حيث فقدت البحيرة ما يقرب من ثلثي مساحتها مابين بداية ونهاية المرحلة (شكل ٤-ب)، فقد بلغ إجمالي فاقد مساحة المسطح المائي ٣٣.٥ كم^٢ بمعدل تناقص ١.٨ كم^٢/سنة مابين بداية ونهاية المرحلة (٢٠٠١-٢٠١٩). كما يلاحظ تزايد معدل فقد مياه البحيرة بشكل متسارع، حيث بلغ معدل تناقص مساحة الجسم المائي خلال الفترة (٢٠٠١-٢٠١٠) ١.٦ كم^٢/سنة وفي عام واحد فقط (ما بين أغسطس ٢٠١٧ وأغسطس ٢٠١٨) فقدت البحيرة ٣.٦ كم^٢ من مسطحها (شكل ٥).

وقد تم رصد زيادة واضحة في مساحة النبات الطبيعي في مواضع إقامة المزارع السمكية من ٠.٩ كم^٢ سنة ٢٠٠١ إلى ٢.٩ كم^٢ سنة ٢٠١٩ (شكل ٤-ج) و(شكل ٥). وخلال نفس الفترة توسعت مساحة الأراضي الزراعية المستصلحة غرب البحيرة الجنوبية بإجمالي مساحة مزروعة بلغت ٢٢.٠٣ كم^٢ (شكل ٤-ج)، والتي اعتمدت في عملية الري على سحب مياه البحيرة الجنوبية من خلال ما يعرف بمحطة الرفع العائمة. وقد ارتبط بعملية الانكماش تكون أجسام مائية مؤقتة في الأراضي المنخفضة على هيئة أزرق مائية ما بين الكثبان أو برك ضحلة على هوامش البحيرة (على امتداد حافات حوض منقار الريان)، وقد تعرضت للحفاف التدريجي وصولاً إلى نهاية المرحلة الحالية وخلفت سبخات ملحية وأجسام نباتية في مواضعها (شكل ٤-ج).



المصدر: اعتماداً على نتائج رصد التغير من الصور الفضائية في سنوات مختلفة.

شكل (٥) تغير مساحات الأجسام المائية لبحيرتي الريان الشمالية والجنوبية والمزارع السمكية خلال الفترة (١٩٨٦ - ٢٠١٩)

٢. الدلائل الحقلية على غمر وانكماش بحيرة الريان الجنوبية:

تضمنت الدراسة الحالية رصد الدلائل البيوجيومورفولوجية والترسيبية على تغيرات الجسم المائي للبحيرة الجنوبية مع التركيز على ظاهرات الكثبان الرملية، وبعض السبخات المتكونة حديثاً في أراضي ما بين الكثبان، وعلى حافات حوض منقار الريان.

١.٢. نطاق الكثبان الرملية جنوب البحيرة:

يمتد هذا النطاق ليشمل الكثبان الطولية وأراضي ما بين الكثبان الواقعة إلى الجنوب والجنوب الشرقي من أراضي الاستصلاح الزراعي (شكل ٢). وقد تعرضت مساحة واسعة من هذا النطاق لعملية غمر وتراجع الجسم المائي. وتضمنت الدراسة الميدانية تغطية تسعة مواقع في هذا النطاق خلال شهر سبتمبر ٢٠١٨:

- موقع (١): يوجد الموقع عند هوامش البحيرة؛ حيث بلغ الجسم المائي أقصى امتداد له صوب الجنوب عام ٢٠٠١ (شكل ٤-ب). وفي هذا الموقع يظهر كتثيب طولي كبير (بارتفاع ١٢ م تقريباً فوق منسوب أراضي ما بين الكثبان المجاورة). وقد تعرض هذا الكثيب لعملية غمر جانبي ويستدل على ذلك من خلال وجود سبخة على الجانب الشرقي للكثيب (شكل ٧-أ)، من دون

وجود أي دلائل للغمر على الجانب الغربي للكثيب. وتتميز سبخة موقع (١) بشدة الجفاف، حيث يستدل من مراجعة سجل مؤشرات المياه من الصور الفضائية على جفاف الموقع بشكل تام منذ عام ٢٠٠١.

- موقع (٢): يوجد موقع (٢) في أراضي ما بين الكثبان إلى الشمال من موقع (١) بحوالي ٥ كم، وقد وجد أيضًا عند هامش الجسم المائي للبحيرة الجنوبية عام ٢٠٠١. وقد تم رصد نوعين من بقايا النباتات الجافة في الموقع (على الأرجح بقايا نباتات الأثل النيلي *Tamarix nilotica* والقيصوب الجنوبي *Phragmites australis*، (صورة ١).

وقد تم جمع عينة رسوبية سطحية من الموقع (عينة ٢/أ)، ويتمثل المحتوى العضوي للعينة في بقايا الأصداف الصلبة لبعض الكائنات الحيوانية، تحديدًا كائنات الديدان الحلقية *Annelida*، ورخويات ذوات الصدفتين bivalve من نوع الكارديوم *Cerastoderma glaucum*. كما يستدل من الفحص المجهرى لرواسب العينة على وجود حفريات قروش الملائكة وجزء من حفرية الجلدشوكيات *Echinoid spine* المشتقة من الصخور الجيرية الإيوسينية الشائعة في منطقة الدراسة (تقع تلك الحفريات في ففة حجم الرمل الحشن فما فوق، شكل ٦).

- موقع (٣): يوجد موقع (٣) إلى الشمال من موقع (٢) ب ٥٠٠ م، كما يتعد مسافة ٣٥٠ م عن مياه البحيرة وقت الرصد (سبتمبر ٢٠١٨). ويمكن ملاحظة وجود سبخة ملحية تشغل منطقة حوضية منحدرًا تدريجيًا صوب قاع البحيرة الحالية. ويظهر على سطح السبخة مضلعات طينية لزجة، مما يدل على انكماش الجسم المائي حديثًا. بالإضافة إلى ذلك تم رصد نبات الأثل النيلي على هامش السبخة في حالة نضرة تشير إلى استمرار عملية النمو.

- موقعًا (٤ و ٥): يوجد الموقعان شمال موقع (٣) على مسافة ٣٠٠ و ٦٠٠ م على التوالي (شكل ٢). ويمثلا كثيب رملي طولي. ويتضح من فحص مؤشر المياه تعرض هذا الكثيب للغمر الكلي تحت سطح مياه البحيرة خلال الفترة ١٩٨٦-٢٠١٦ مع انكشافه تدريجيًا بداية من ٢٠١٦.

ويوضح قطاع عرضي على الكثيب الرملي في موقع (٤) وجود سبخة مشبعة بالمياه على الجانب الشرقي للكثيب وعلى الجانب المقابل يمتد الجسم المائي للبحيرة الحالية (سبتمبر ٢٠١٨). كما تم رصد بعض الظواهر التفصيلية على امتداد القطاع (شكل ٧-ب) مثل تركيز توزيع نبات الأثل النيلي كبير الحجم عند قمة الكثيب (بمتوسط ارتفاع ١.٤ م وفي حالة نضره)، مع ملاحظة اختفاء النبات الطبيعي تمامًا من سطح السبخة المجاورة (صورة ٢).



صورة (١) نبات طبيعي جاف على هامش السبخة (اتجاه التصوير صوب الشمال الغربي،
موقع ٢)



صورة (٢) كثيب طولي تعرض للغمر (اتجاه التصوير صوب الجنوب الغربي، موقع ٤)
كذلك تم رصد رواسب بحيرية داكنة اللون على الجانب الشرقي للكثيب (عينة ٤/ج)
عند منسوب + ٦ م تقريبا فوق منسوب سطح السبخة المجاورة (شكل ٦-ب). ويتألف المحتوى
العضوي لهذه العينة من أصداف الديدان الحلقيّة مع وجود بقايا رخويات بطنيات القدم
gastropod من نوع *Melanoids tuberculata*. وفي نفس السياق يوضح الفحص
المجهري لعينة رسوبية من السبخة الواقعة شرق الكثيب (عينة ٤/أ) وجود أصداف الكارديوم
صغيرة الحجم مع احتواء العينة على أصداف كائنات الأوستراكودا من نوع *Cyprideis*
torosa (شكل ٦).



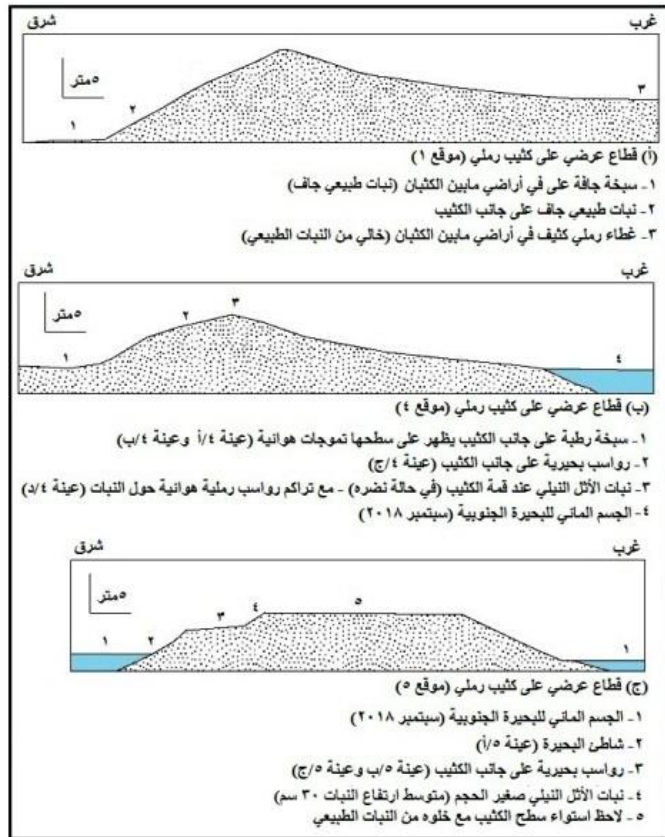
أ- قروش الملايكة ب- جلدشوكيات ج- كارديوم د- أوستراكوذا سبريدس توروسا

شكل (٦) الفحص المجهري للمحتوي العضوي لبعض العينات الرسوبية

كما يوضح قطاع موقع (٥) امتداد الجسم المائي للبحيرة (وقت الرصد سبتمبر ٢٠١٨) عند قاعدة الكثيب الرملي من الجانبين مع استواء واضح في قمة الكثيب وخلوه من النبات الطبيعي، مع وجود عدد محدود من شجيرات نبات الأثل النيلي صغير الحجم على جانب الكثيب (شكل ٧-ج) و(صورة ٣). كما تم رصد بعض الظواهر الدقيقة على جانب القطاع مثل الرواسب البحرية المترابطة فوق رواسب الكثيب الرملي مع تراكمات سطحية لأصداف كائنات الكارديوم. فضلاً عن رصد تجمعات بيولوجية متنوعة ومتماسكة مع الرواسب السطحية (تتألف من كائنات الديدان الحلقية المتجمعة مع أصداف الكارديوم وبعض الأعشاب النباتية الشريطية الجافة من نوع *Potamogeton pectinatus* والمعروفة باسم نبات شعر الحصان، تلك التجمعات الموجودة على مناسيب متتالية فوق منسوب سطح البحيرة الحالي والتي تعيش عند شاطئ البحيرة في نفس الموقع (صورة ٣).

- موقعا (٦ و ٧): يوجد الموقعان في أراضي ما بين الكثبان المنخفضة التي تفصل بين نطاقي الكثبان الشرقي والغربي في قاع منخفض وادي الريان (شكل ٣-أ). وقد تعرض الجزء الجنوبي من هذه الأراضي لعملية الغمر الواسع حتى عام ٢٠٠١، تلى ذلك انكماش تدريجي للجسم المائي مع انحسار تام لمياه البحيرة الجنوبية منذ عام ٢٠١٦. وقد لوحظ في هذه المنطقة تدفق مياه الصرف الزراعي من مصرف سطحي يحدد أراضي الاستصلاح جنوباً، ومع جفاف المياه في قاع المصرف (موقع ٧) تتكون قباب ملحية شديدة التصلب (عينة ٧/أ). وفي الموقع (٦) تم رصد الرواسب البحرية الغنية بالبقايا النباتية (أعشاب جافة وبقايا خشبية) تعلق الرواسب الرملية الموجودة قبل مرحلة الغمر. وقد ارتبط بتراكم مياه الصرف الزراعي في الموقعين تكون برك مؤقتة تظهر بوضوح خلال الشتاء وتختفي خلال الصيف (٢٠١٦-٢٠١٩).

- موقعا (٨ و ٩): يوجد الموقعان على جانب الطريق الأسفلتي الممتد إلى الجنوب من أراضي الاستصلاح الزراعي (شكل ٤ - ج)؛ حيث تكونت العديد من البرك المؤقتة والتي بدأت تظهر بوضوح منذ عام ٢٠١٠ مع استصلاح مساحات واسعة من الأراضي الرملية. وتتميز تلك البرك بحدوث تغيرات موسمية في مساحاتها، وغالبًا ما تتعرض للانكماش والجفاف خلال فصول الصيف. وقد استمدت مياهها من تسرب مياه الصرف الزراعي مع انحدار سطح الأرض وتراكمها في المواضع المنخفضة نسبيًا عما حولها. وقد أمكن الاستدلال على بعض البرك الجافة من خلال رصد تجمعات نبات القيصوب الجنوبي (يعرف أيضا باسم نبات الغاب) في بعض المواضع الحوضية (صورة ٤) مع وجود اختلافات واضحة في حالة النبات من موضع لأخر (مابين نضرة وجافة).



شكل (٧) مقاطعات عرضية (مواقع الدراسة في نطاق الكثبان الرملية جنوب البحيرة)



صورة (٣) تجمعات بيولوجية على جانب الأكتيب صورة (٤) حقل نبات القيصوب الجنوبي

(اتجاه التصوير صوب الجنوب، موقع ٥) (جاف) (اتجاه التصوير صوب الشمال الشرقي، موقع ٨)

٢.٢. الحافة الشمالية والشمالية الغربية لحوض منقار الريان:

تضمنت الدراسات الحقلية (خلال شهري سبتمبر وأكتوبر ٢٠١٩) تغطية ٨ مواقع على امتداد الحافة الشمالية والشمالية الغربية لحوض منقار الريان، مع التركيز على رصد ظواهر الكتيبان الرملية الهابطة (غرود العصيدة، شكل ٢) وخطوط شاطئ البحيرة المنكمشة:

- موقعاً (١٠ و ١١): يمثلان كتائب رملية هابطة على الحافة الشمالية الغربية لحوض منقار الريان. وقد تعرض هذا الكتيب للغمر الكلي خلال الفترة ١٩٨٦-٢٠٠٥، وبحلول عام ٢٠١٠ ظهر سطح الكتيب على هيئة لسان رملية متوغل داخل الجسم المائي. وفي وقت الرصد (أكتوبر ٢٠١٩) انكشف كل جسم الكتيب على هيئة حاجز رملية يفصل الجسم المائي الرئيسي للبحيرة عن حوض جانبي غرب البحيرة (شكل ٢). ويلاحظ في الموقعين تركيز نبات الأثل النيل الجاف في نمط خطي عند قمة الكتيب على مناسيب تتراوح بين ٩ و ١٢ م فوق منسوب سطح البحيرة وقت الرصد (شكل ٩-أ) و(شكل ٩-ب)، وقد عملت تلك النباتات على اصطیاد كميات من الرواسب الرملية الهوائية (صورة ٥). وقد تم عمل قطع رأسي (خندق بعمق ٤٠ سم تقريباً) في قمة الكتيب الرملية (في موقع ١١)، والذي يوضح خمس وحدات ترسيبية مميزة (شكل ٨).

- موقع (١٢): يوجد الموقع في أقصى شمال حوض منقار الريان بين كتيبين هابطين على الحافة الشمالية. وقد أمكن الاستدلال على شواطئ البحيرة بدلالة نمط توزيع نبات الأثل النيل؛ حيث يتوزع النبات على هيئة خطوط متوازية ومتتالية فوق منسوب سطح البحيرة الحالي (شكل ٩-و). ويعبر كل خط لتوزيع النبات عن مرحلة ما لاستقرار منسوب سطح البحيرة. وقد عملت

نباتات الأثل النيلي الممثلة لأقصى غمر للبحيرة الجنوبية (خط توزيع النبات على هامش بحيرة ٢٠٠١) على حجز كمية كبيرة من الرواسب الرملية الهوائية مقارنة بباقي خطوط توزيع النبات التالية والممثلة لمراحل تطور البحيرة (صورة ٧).

- مواقع (١٣ و ١٤ و ١٥): تغطي المواقع كثيب رملي هابط (يقع إلى الشرق مباشرة من موقع ١٢ وإلى الغرب من منطقة الشلال ب ١ كم). ويمتد باقي جسم الكثيب في قاع المنخفض تحت مياه البحيرة، ويظهر مرة أخرى على نفس الأمتداد في شكل كثيب صاعد فوق الحافة الشرقية لحوض منقار الريان. وقد تعرض الكثيب لعملية الغمر الواسع حتى عام ٢٠٠١. ومع بداية انخفاض منسوب سطح البحيرة (٢٠٠٥-٢٠١٩) انكشف جزء من الكثيب الغارق تدريجياً على شكل لسان رملي متوغل في الجسم المائي للبحيرة، مع وجود باقي جسم الكثيب مغموراً.

يمتد موقع (١٥) شمالاً أعلى من منسوب مياه البحيرة خلال مرحلة الغمر الواسع. ويقدر ارتفاع الكثيب الرملي في الموقع ب ١١ م فوق منسوب أراضي ما بين الكثبان (شكل ٩-هـ). كما يلاحظ خلو سطح الكثيب من أي نبات طبيعي.

وفي موقع (١٤) أمكن متابعة تخفيض منسوب البحيرة بدلالة توزيع نبات الأثل النيلي على جانبي الكثيب (شكل ٩-د). حيث وجدت بقايا نباتية جافة عند قمة الكثيب وعلى الأرحح ارتبطت نشأتها بتغطية سطح الكثيب بمياه البحيرة الضحلة خلال مرحلة الغمر الواسع (١٩٨٦-٢٠٠١)، وقد طمرتها الرواسب الرملية الهوائية لاحقاً (صورة ٦). وعلى الجانب الغربي للكثيب تم تحديد الخطوط النباتية الممثلة لهامش البحيرة خلال أعوام ٢٠٠٥ و ٢٠١٠ و ٢٠١٣ (شكل ٩-د).

يمتد موقع (١٣) جنوباً وتظهر على قمة الكثيب الرملي في الموقع تجمع من نباتات الأثل النيلي في حالة شبه نضرة مع رصد تراكمات محدودة للرواسب الرملية الهوائية حول سيقان النبات. وقد ارتبط وجود النبات باستقرار شاطئ البحيرة في هذا الموقع خلال عام ٢٠١٠. وفي نفس الموقع يظهر على سطح الكثيب (أدنى من منسوب النبات) تجمعات من بقايا أصداف الكارديوم. كما يلاحظ وجود سبخة رطبة عند قاعدة الكثيب شرقاً وقد تخلفت عن تراجع الجسم المائي حديثاً بعد ٢٠١٨ (شكل ٩-ج). وقد استخدم القطع الرأسي لرصد البنية الداخلية عند قمة الكثيب، والذي يوضح ست وحدات ترسيبية تعكس تطور عملية غمر وانكماش الجسم المائي (شكل ٨).

- موقع (١٦): يوجد الموقع على الجانب الشرقي لمنطقة الشلالات (عند نهاية قناة الاتصال بين البحيرتين). وقد تم رصد امتدادات خطوط شاطئ البحيرة النباتية بنفس نمط التوزيع في موقع (١٢) وإن كانت أقل كثافة. ويمكن ملاحظة وجود بعض المخلفات الناتجة عن أنشطة بشرية متداخله مع رواسب البحيرة (صورة ٨)، حيث استُخدمت قوارب الرحلات الترفيهية بكثافة ما قبل أنكماش الجسم المائي عن الموقع.

- موقع (١٧): يوجد الموقع على الجانب الغربي لمنطقة الشلالات. وأهم ما يميز الموقع وجود غطاء كثيف من الغطاء النباتي الطبيعي النضر على حافة المنخفض، وتوجد تلك النباتات في العديد من المواضع مثل قيعان قنوات صرف المياه المنحدرة من منطقة المزارع السمكية أو بعض البرك الضحلة الناتجة عن تراكم المياه في بعض المناطق المستوية.



صورة (٦): طمر الرمال نبات الأثل النيلي
(قمة كثيب طولي، موقع ١٤)



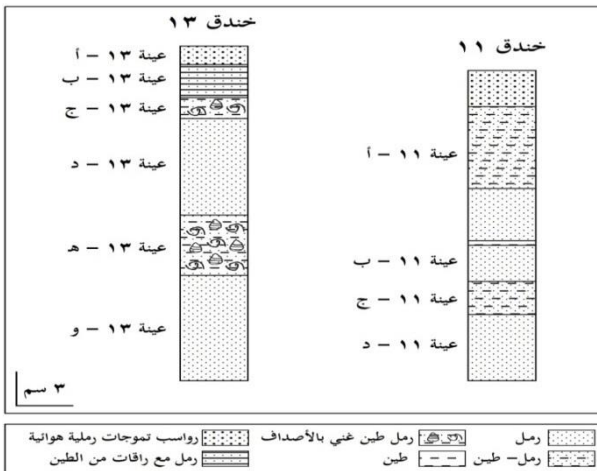
صورة (٥): تراكم الرمال حول نبات الأثل النيلي
(اتجاه التصوير صوب الجنوب الغربي، موقع ١١)



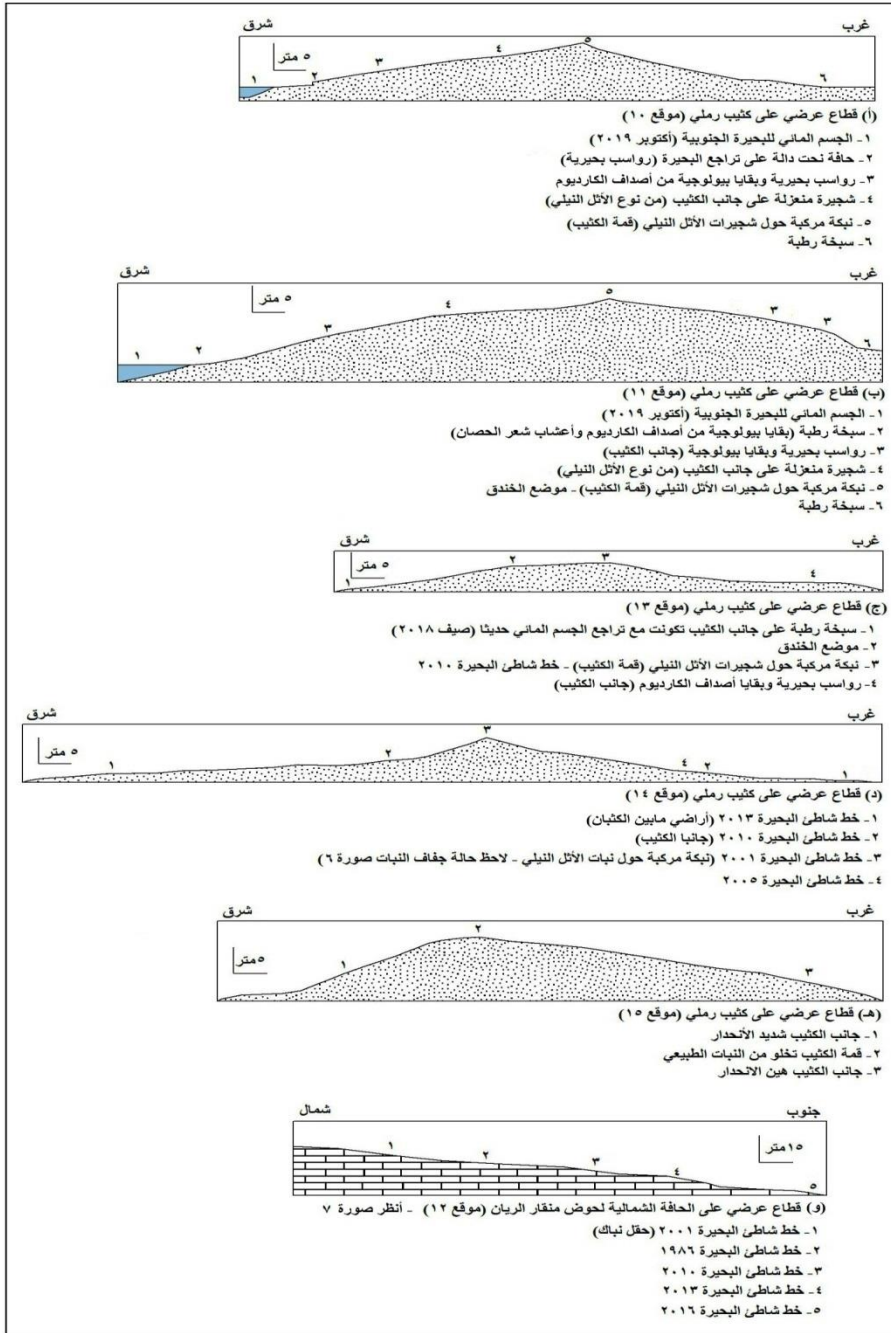
صورة (٧): خطوط توزيع نبات الأثل النيلي (اتجاه التصوير صوب الشمال الغربي، موقع ١٤)



صورة (٨): آثار أنشطة بشرية مغطاة برواسب البحيرة (موقع ١٦)



شكل (٨) تتابع الوحدات الترسيبية عند قمم الكثبان الرملية باستخدام الخندق



شكل (٩) قطاعات عرضية (مواقع الدراسة في نطاق الحافة الشمالية لحوض منقار الريان)

٣.٢. الحافة الشرقية لحوض منقار الريان:

- مواقع (١٨ و ١٩ و ٢٠): تتوزع المواقع الثلاثة على امتداد قطاع عرضي يمثل منطقة حوضية على امتداد الحافة الشرقية لحوض منقار الريان. وقد شغل الحوض بركة مائية مؤقتة على هامش الجسم المائي للبحيرة خلال الفترة ٢٠١٠-٢٠١٦ مع تعرضها للجفاف التام منذ صيف ٢٠١٧.

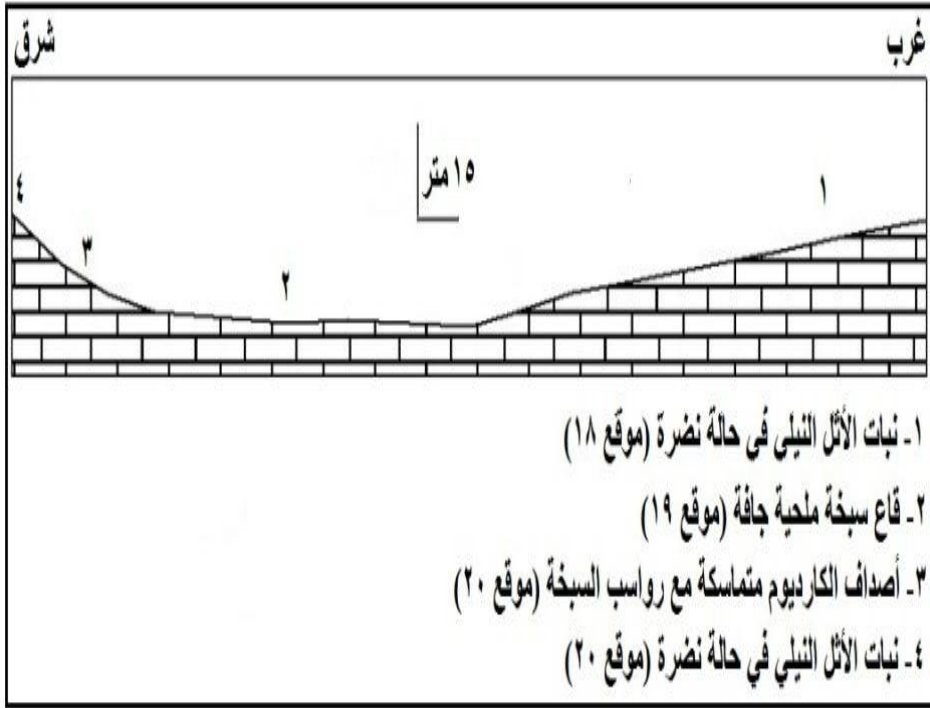
ويوضح القطاع العرضي (شكل ١٠) تكرار ظاهرة خطوط نبات الأثل النبلي المتوازية في الموقعين (١٨ و ٢٠)، ويبلغ متوسط ارتفاع النبات ١.٨ م ويوجد في حالة نضرة، مع تواجد محدود لنبات القيصوب الجنوبي (صورة ٩). على جانب آخر تم رصد سبخة ملحية جافة في موقع (١٩) تشغل قاع المنطقة الحوضية، ويتألف سطحها من قباب ملحية شديدة التصلب (صورة ١٠-أ) مع عدم وجود أي دلائل بيولوجية في قاع السبخة من نبات طبيعي أو بقايا أصداف حيوانية، كما يلاحظ وجود أصداف الكارديوم *Cerastoderma glaucum* متصلة بشدة مع رواسب السبخة في موضع هامشي من الحوض (صورة ١٠-ب) و(شكل ١٠).



صورة (٩): نباتات الأثل النبلي والقيصوب الجنوبي على هامش سبخة جافة (موقع ١٨)



أ- قباب ملحية (قاع السبخة، موقع ١٩) ب- أصداف الكارديوم (هامش السبخة، موقع ٢٠)
صورة (١٠): ظاهرات دقيقة على سطح السبخة



رابعاً: مناقشة نتائج الدراسة

في ضوء ماتم عرضه من ملاحظات سابقة، تهدف الدراسة الحالية إلى الإجابة على ما يلي من تساؤلات:

ما تفسير التغيرات المكانية والزمنية للجسم المائي والغطاء النباتي لبحيرة الريان الجنوبية؟

أمكن تقدير فترة غمر الجسم المائي لبعض المواقع كذلك الفترة المنقضية على انكشاف بعض المواقع وتراجع الجسم المائي عنها. فعلى سبيل المثال تعرض الكثيب الرملي في موقع (٥) للغمر تحت مياه البحيرة لفترة لا تقل عن ٣٠ سنة (ما بين ١٩٨٦ و٢٠١٦)، وخلال فترة ثلاث سنوات فقط (٢٠١٦-٢٠١٩) انخفض منسوب سطح البحيرة في الموقع بمقدار سبعة أمتار تقريباً (شكل ٧-ج). وفي موقع (١٢) أمكن قياس التغيرات الرأسية في منسوب سطح البحيرة خلال فترات زمنية محددة، فعلى سبيل ارتفاع منسوب سطح البحيرة بمقدار ٧ م تقريباً ما بين عامي ١٩٨٦ و ٢٠٠١ (بالتوافق مع نهاية مرحلة الغمر الواسع)، وبحلول عام ٢٠١٦ انخفضت البحيرة بسرعة شديدة ووصلت إلى منسوب أقل مما استقرت عليه عام ١٩٨٦ بمقدار ١٧ م تقريباً (شكل ٩-و).

وقد ركزت الدراسة الحالية على رصد وتفسير اتجاهات التغيرات المكانية والزمنية في الجسم المائي والنباتي للبحيرة. هذا الجانب المهم في بعض الدراسات السابقة التي تناولت منطقة الدراسة^(٢٥). ويمكن تفسير تلك التغيرات (حالات الغمر والانكماش وما ترتب عليهما) في ضوء خصائص طبوغرافية السطح (فيما يتعلق بخصائص الانحدارات والمناسيب وأشكال سطح الأرض وأنماط توزيعها) مع الأخذ في الاعتبار دور الإنسان كعامل جيومورفولوجي، وذلك على النحو التالي:

- تحكمت الخصائص الشكلية للأحواض البنيوية (في قاع المنخفض) في شكل الجسم المائي لبحيرتي وادي الريان خلال حالة الغمر. فقد اتخذت البحيرة الشمالية شكل مدمج أقرب ما يكون إلى الدائري ومتوافق مع شكل حوض البقيرات، في حين تبدو البحيرة الجنوبية أكثر استطالة مع انفتاح حوض منقار الريان جنوباً بدون وجود حافة واضحة.

وخلال مرحلة الغمر الواسع (١٩٨٦-٢٠٠١) حددت أنماط وكثافة توزيع الكثبان الطولية في قاع حوض منقار الريان عملية التمدد الأفقي لمياه البحيرة صوب الجنوب. فعلى سبيل

المثال يمكن تفسير عملية الغمر على جانب واحد فقط للكثيب الرملي في موقع (١) في ضوء الاختلافات التفصيلية في مناسيب السطح ومصدر تدفق المياه، حيث أن أراضي ما بين الكثبان المتسعة شرق الكثيب تفتتح على أكبر الأذرع المائية المتصلة بالجسم المائي الرئيسي للبحيرة الجنوبية، وعلى الجانب الآخر عملت كثافة الكثبان الرملية على وقف تدفق المياه غرب الكثيب.

- تراكمت مياه الغمر خلال مرحلة الغمر الواسع ما دون خط كنتور (- ٢٥ م). وقد حدث الغمر من مركز البحيرة صوب هوامشها في جميع الاتجاهات. وقد غطت مياه الغمر حضيض حافات حوض منقار الريان، تحديداً في اتجاه الشرق والشمال والشمال الغربي. كما غطت المياه الكثبان الرملية بشكل جزئي أو كلي، وقد تركزت عملية الغمر الكلي للكثبان في النطاق الجنوبي من البحيرة الجنوبية.

- ارتبط بوجود المياه السطحية في المنخفض نمو النبات الطبيعي في أنماط مميزة عند هوامش الجسم المائي أو على قمم بعض الكثبان المغمورة. وقد ارتبطت تغيرات توزيع النبات الطبيعي بتغيرات امتداد الجسم المائي خلال المراحل الزمنية للدراسة، وهذا ما أمكن رصده من خلال متابعة تغيرات مؤشرات المياه والنبات من الصور الفضائية.

- شهدت البحيرة الجنوبية تغيرات سريعة فيما يتعلق بتضخم الجسم المائي خلال مرحلة الغمر الواسع مقارنة بالبحيرة الشمالية وهذا ما يمكن تفسيره في ضوء اختلاف منسوب السطح. فقد تراكمت الزيادة الفعلية في البحيرة الجنوبية؛ حيث عمل حوض منقار الريان (موضع تجمع مياه البحيرة الجنوبية) كخزان إضافي موجود على منسوب منخفض نسبياً، وقد استقبل المياه الفائضة عن السعة التخزينية القصوى لحوض البقيرات (موضع تجمع مياه البحيرة الشمالية).

- يبدو أثر الإنسان السلبي على الميزانية المائية للبحيرة الجنوبية بسبب الاستغلال المفرط للمياه في منطقة المزارع السمكية ومن ثم تناقص الوارد المائي، أو عن طريق سحب كميات كبيرة من المياه من خلال محطة الرفع العائمة واستغلالها في استصلاح الأراضي الرملية غرب البحيرة الجنوبية.

- كما حددت الخصائص الطبوغرافية وتوزيع ظاهرات سطح الأرض عملية تراجع الجسم المائي (حالة الانكماش؛ حيث اختلفت معدلات تراجع الجسم المائي تبعاً للاختلافات التفصيلية في عمق المياه، والذي ارتبط إلى حد كبير بطبوغرافية حافات المنخفض وأنماط توزيع الكثبان الرملية ما قبل حدوث الغمر.

فعلى سبيل المثال يمكن تفسير عملية انكماش الجسم المائي على حافات المنخفض في ضوء الشكل السلمي المميز لحافات الكويستات المتتالية؛ حيث توضح مراجعة الصور الفضائية الملتقطة ما بين عامي ٢٠١٠ و ٢٠١٦ جفاف مياه البحيرة تدريجيًا في موقعي (١٨) و (٢٠) مع استمرار وجود جيب مائي منفصل عن البحيرة في منطقة حوضية منخفضة عما حولها في موقع (١٩). وقد تعرض الجسم المائي في المواقع الثلاثة للجفاف التام بحلول صيف ٢٠١٧. ومن ثم استمر الجسم المائي فترة أطول في الموضع الأكثر عمقًا. وقد تراجع الجسم المائي أولاً في المواضع الأقل عمقًا عند قمم الكثبان الرملية المغمورة (الكثبان الهابطة على الحافة الشمالية - الشمالية الغربية لحوض منقار الريان). فعلى سبيل المثال انكشف الكثيب الرملي كليًا في موقع (١٠) منذ عام ٢٠١٠ في حين استمر الكثيب الرملي في موقع (١٣) مغمورًا تحت مياه البحيرة. وعلى الأرجح ارتبط ذلك باختلاف عمق المياه ما بين الموقعين خلال فترة الغمر الواسع، حيث امتد الكثيب الرملي في موقع (١٠) في منطقة أقل عمقًا على جانب حوض منقار الريان.

كما يلاحظ انكشاف تدريجي لأذرع الكثبان الرملية التي غمرتها مياه البحيرة (تحديدًا كثبان النطاق الجنوبي من البحيرة)، مع حجز المياه على هيئة برك مائية مؤقتة تتخذ امتدادًا طويلاً في أراضي ما بين الكثبان. وغالبًا ما توجد تلك البرك في وضع منعزل عن الجسم المائي الرئيسي للبحيرة مما ساعد على سرعة جفافها. وقد ترتب على جفاف تلك البرك تكون سبخات ملحية في أراضي ما بين الكثبان. وقد تميزت السنوات الأخيرة من حالة الانكماش (٢٠١٦-٢٠١٩) بتغيرات سريعة في أعداد وأبعاد تلك الظواهر. وفي الغالب ستتطور الكثبان المغمورة حاليًا بنفس الديناميكية مع اتجاه البحيرة الجنوبية صوب المزيد من الانكماش.

ما دلالة الظواهر البيولوجية (نباتية - حيوانية) على عمليتي غمر وانكماش الجسم

المائي؟

يتميز منخفض وادي الريان بالتنوع البيولوجي الواسع. فعلى سبيل المثال تم تحديد ٢٣ نوع نباتي في قاع المنخفض تتوزع على ثلاثة مواطن habitats وهي الكثبان الرملية وأراضي ما بين الكثبان والينابيع^(٢٦). كما تمثل بحيرتا الريان موطنًا للعديد من شعب القاعيات الحيوانية الكبيرة Zoobenthos (تحديدًا ٨ أنواع من الرخويات Molluscs و ٥ أنواع من مفصليات الأرجل Arthropods و ٧ أنواع من الديدان الحلقية Annelids^(٢٧)).

ومن ثم يمكن عرض الخصائص البيولوجية وظروف البيئة الحياتية لبعض الأنواع الحيوانية والنباتية المرصودة في مواقع الدراسة مع تناول دلالاتها على عملية غمر وانكماش البحيرة:

١- الحيوان (البقايا الصلبة للكائنات الحيوانية في مياه البحيرة)

- تعد بقايا أصداف رخويات الكارديوم *Cerastoderma glacum* والديدان الحلقية *Annelida* الظاهرات البيولوجية الحيوانية الأكثر انتشارًا في مواقع الدراسة؛ حيث تم رصد كل نوع في خمسة مواقع. وقد اتفق ذلك مع ما جاء في دراسات بيولوجية متخصصة عن توزيع تلك الكائنات في نفس البيئة البحرية. فعلى سبيل المثال تمثل كائنات الكارديوم نسبة ٧٠% من الكائنات القاعية الكبيرة المرصودة في قاع بحيرة قارون^(٢٨).

- تُصنف رخويات الكارديوم والديدان الحلقية ضمن كائنات القاع كبيرة الحجم Macrozoobenthos والتي تعيش في قيعان المياه البحرية أو البحرية الضحلة؛ حيث تعيش كائنات الكارديوم في الرواسب الناعمة على شواطئ البحيرات الساحلية والخلجان^(٢٩). كما توجد الديدان الحلقية هائمة في قاع الجسم المائي أو تعيش في داخل أنابيب تبنيتها بنفسها^(٣٠).

- تناولت دراسة Abdel-Malek & Ishak (1980) العوامل المؤثرة في تواجد القاعيات الكبيرة في بحيرة قارون (ومن ضمنها رخويات الكارديوم *Cerastoderma glacum* ورخويات بطنيات القدم من نوع *Melanoides tuberculata* تلك الكائنات الموجودة في مياه ضحلة لا يتعدى عمقها ٤ أمتار، والمتكيفة مع ارتفاع ملحوظ مياه البحيرة. وقد ارتبط بتدفق مياه الصرف الزراعي وما تحويه من مخلفات الأسمدة والمخصبات ازدهار تلك الأنواع الحيوانية.

قياسًا على ما سبق يستدل من وجود بقايا تلك الكائنات في مواقع الدراسة على ظروف بيئية مماثلة لنظيرتها في بحيرة قارون. حيث يستدل من وجود بقايا الكائنات الحيوانية القاعية في مواقع الدراسة على ضحالة مياه البحيرة. فعلى سبيل المثال يدل وجود أصداف الكارديوم متصلة على هامش السبخة في موقع (٢٠) واختفائها من مركز السبخة في موقع (١٩) على اختلاف عمق الجسم المائي ما قبل جفاف المياه عن الموقع (شكل ١٠). وفي موقع (١٣) تبدو البحيرة وقد استقرت لفترة مؤقتة ما بعد عام ٢٠١٠ مما سمح بنمو كائنات الكارديوم على جانب الكتيب الرملي المغمور (شكل ٩-ج).

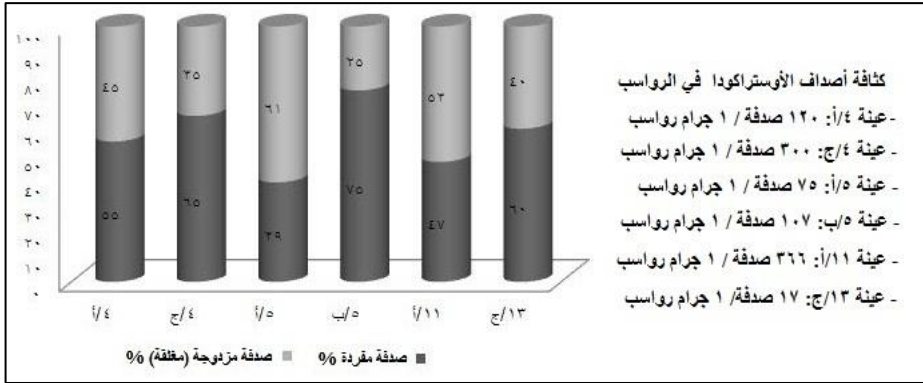
- وجدت غالبية البقايا الحيوانية القاعية في موضع النمو (بقايا عضوية موضعية وغير منقولة) تلك المنكشفة على السطح أو الممتدة على هيئة طبقات في البنية الداخلية للكثبان

الرملية. وقد أمكن ربطها بالعديد من الدلائل المورفولوجية والترسيبية والنباتية المجاورة. على جانب آخر تم رصد بعض الحفريات الإيوسينية المشتقة من الصخر الأم في منطقة الدراسة والمعاد ترسيبها بواسطة تدفق مياه البحيرة صوب موقع (٢).

- تُصنف الأستراكودا تحت شعبة القشريات المفصليية Crustaceans وتتكون من صدفتين (كلسية التكوين - تغلفا الكائن الحي calcareous carapace). ويتراوح حجم الأوستراكودا الناضجة ما بين ٠.٥ و ٣ ملليمتر. كما تُصنف كائنات الأوستراكودا ضمن القاعيات صغيرة الحجم التي تعيش في جميع البيئات المائية^(٣١). وتتميز الأوستراكودا بحساسية عالية للظروف البيئية السائدة مثل ملوحة المياه ودرجة حرارتها وتركيبها الكيميائي^(٣٢). ومن ثم تستخدم في الاستدلال على بيئات الرواسب البحرية.

تم رصد أصداف الأوستراكودا في خمس عينات رسوبية من ثلاثة مواقع للدراسة. مع التقاط عدد من الأوستراكودا (تقريباً مائة واحدة من كل عينة رسوبية تحت المجهر)، وتتنمي كل الأوستراكودا في منطقة الدراسة لنوع واحد فقط (سبريدس توروسا *Cyprideis torosa*). وقد تم فرز الأوستراكودا إلى تلك المكتملة الصدفتين (مغلقة) أو أحادية الصدفة. وتشير عملية الفرز وحساب نسبة الصدف المغلق إلى الصدف الواحد valve/carapace ratio وكثافة تواجد الأصداف ككل في الرواسب إلى وجود الأوستراكودا المرصودة في مواضع النمو مع سرعة عملية الترسيب وجفاف مياه البحيرة (شكل ١١). وذلك بالتوافق مع رصد مؤشرات أخرى من مواقع الدراسة.

وتعيش الأوستراكودا من نوع سبريدس توروسا في بيئات مائية ذات درجات ملوحة متباينة ما بين المياه العذبة والمياه شديدة الملوحة^(٣٣). ويستدل من وجود هذا النوع منفرداً في مواقع الدراسة على زيادة درجة ملوحة مياه البحيرة. حيث تتميز السبريدس توروسا بقابلية التكيف مع أي درجة ملوحة مائية مقارنة بأي نوع آخر من الأوستراكودا (لا يمكنه العيش في نفس الظروف). ويتفق ذلك مع بعض الدراسات السابقة في بحيرة قارون والتي فسرت وجود نوع السبريدس توروسا (فقط) بسبب زيادة ملوحة مياه البحيرة وصرف مياه الري الزراعي في بحيرة قارون على مدى زمني طويل^(٣٤).



شكل (١١) التوزيع النسبي لأصداف الأوستراكودا وكثافة التوزيع في العينات الرسوبية

٢ - النبات الطبيعي

- يرتبط نمو النبات الطبيعي في منخفض وادي الريان بوجود مصدر للمياه في قاع المنخفض مثل ينابيع المياه العذبة أو تراكم مياه الصرف الزراعي. وقد ركزت الدراسة الحالية على رصد ثلاثة أنواع من النبات الطبيعي في مواقع الدراسة وهي: الأثل النيلي والقيصوب الجنوبي وأعشاب شعر الحصان. وتتنوع تلك الأنواع النباتية في نمط متتالي مميز حول الجسم المائي لبحيرتا الريان؛ حيث توجد أعشاب شعر الحصان في حالة نضره مغمورة تحت مياه البحيرة في المنطقة الضحلة، يليها نباتات قصبية في المستنقعات الرطبة مثل القيصوب الجنوبي وأخيراً نبات الأثل النيلي على هامش الجسم المائي^(٣٥).

وتوجد الأنواع النباتية سابقة الذكر أو ما تبقى منها جافاً بنفس نمط التوزيع في بعض مواقع الدراسة. حيث تم تحديد نوعين على الأقل على امتداد القطاعات العرضية، مثل وجود بعض بقايا نبات القيصوب الجنوبي أسفل نبات الأثل النيلي في موقعي (٢ و ١٨) كذلك تحدد موضع بقايا أعشاب شعر الحصان الشريطية ما دون منسوب نبات الأثل النيلي في موقع (٥).

- تُصنف كل الأنواع النباتية المرصودة كنباتات حولية متكيفة مع الملوحة. وبشكل عام ينتشر نبات الأثل النيلي في بيئة الرواسب الرملية المتأثرة بالمياه المالحة في قيعان منخفضات الصحراء الغربية^(٣٦). ويتميز الأثل النيلي والقيصوب الجنوبي بجذور عميقة^(٣٧). ويعد الأثل النيلي نبات شجيري خشبي يتراوح ارتفاعه ما بين ٢ و ٥ متر وتنمو براعمه وأوراقه (ذات لون ما بين الأخضر والرمادي ومغطاة أحياناً بذرات ملحية) على جذوع وساق مرتفعة عن سطح الأرض^(٣٨).

- يحدد عمق المياه وجود النبات الطبيعي في مواقع الدراسة. فعلى سبيل المثال تركز توزيع نبات الأثل النيلي على قمم الكثبان الرملية في مواقع (٤ و ١٠ و ١١ و ١٣) مع اختفاء النبات تمامًا من على أسطح السبخات المجاورة. وقد ارتبط ذلك بقلة عمق الجسم المائي نسبيًا عند قمم الكثبان الرملية (خلال حالة الغمر) وزيادة العمق تدريجيًا على جوانب الكثبان وصولًا إلى قاع الجسم المائي عند أراضي ما بين الكثبان المنخفضة.

كما حدد عمق الجسم المائي للبحيرة نمط توزيع النبات خلال حالة الغمر. حيث تكررت ظاهرة خطوط شواطئ البحيرة النباتية في العديد من المواقع على هيئة خطوط متتالية بنفس امتداد شواطئ البحيرة في مراحل زمنية مختلفة (صورة ٧). ويبدو أثر العمق على نمط توزيع خطوط شواطئ البحيرة النباتية واضحًا عند الانتقال من موقع (١٢) إلى موقع (١٤)؛ حيث يلاحظ التفاف خطوط توزيع نبات الأثل النيلي جنوبًا (صوب مياه البحيرة) عند الانتقال من أراضي ما بين الكثبان في موقع (١٢) إلى جانب الكثيب (حيث يقل عمق الجسم المائي نسبيًا) في موقع (١٤). كذلك حددت ظروف العمق توزيع خطوط الشاطئ النباتية في موقعي (١٨ و ٢٠) مع ملاحظة اختفاء وجود النبات من قاع البركة المائية (السبخة) في موقع (١٩).

- تنوعت حالة النباتات المرصودة في مواقع الدراسة ما بين بقايا نباتية/خشبية يابسة ونباتات نضرة ما زالت في طور النمو. وتعكس حالة النبات الجفاف في مواقع الدراسة انقطاع مصدر المياه أو بالأحرى طول الفترة المنقضية على انكماش الجسم المائي. فعلى سبيل المثال يلاحظ تدرج حالة النبات من الجفاف إلى النضرة مع الانتقال ما بين مواقع (١ و ٢ و ٣) بالتوافق مع اتجاه انكماش الجسم المائي.

وقد يوجد نبات الأثل النيلي على قمم الكثبان الرملية في حالة نضرة أو شبه نضرة (مواقع ٤ و ١٣) على الرغم من تراجع الجسم المائي تمامًا عن موضع نمو النبات منذ فترة زمنية قد تصل إلى عشر سنوات، على سبيل المثال موقع (١٣). وعلى الأرجح يرتبط ذلك بطبيعة جذور النباتات التي تتشعب وتنمو تحت السطح بحثًا عن أقرب مصدر مائي (على سبيل المثال السبخة الرطبة المجاورة لموقع ١٣).

- عملت تجمعات نبات الأثل النيلي في بعض مواقع الدراسة على حجز كميات من الرواسب الرملية الهوائية مكونة ظاهرة تجمعات الرمال الهوائية النباتية (البنك)، وغالبًا ما يؤدي تراكم الرمال إلى ردم سيقان النبات وأحيانًا الجذوع والأوراق إذا ما تراكمت الرمال بكميات كبيرة. وتوجد تلك الظاهرة بوضوح في النطاقين الشمالي والشمالي الغربي من البحيرة الجنوبية

بالقرب من مصدر الأمداد بالرواسب الهوائية (الموجود شمال منخفض وادي الريان) تحديداً في موقع (١٢) عند خط شاطئ البحيرة لعام ٢٠٠١، وعلى قمة الكثيب الرملي في موقعي (١٠ و ١١)، وعلى قمة الكثيب الرملي في موقعي (١٣ و ١٤). كما تظهر في موقع (٤) وإن كانت أقل كثافة بسبب حداثة فترة انكماش البحيرة في الموقع (٢٠١٦) مع نقص امدادات الرواسب الرملية الهوائية في النطاق الجنوبي من البحيرة.

ما الآثار الترسيبية لعملية الغمر والانكماش؟

يمكن التمييز بين ثلاث مراحل ترسيبية سائدة في مواقع الدراسة حسب تطور عملية غمر وانكماش مياه البحيرة. حيث سادت عمليات الترسيب الهوائي في منطقة الدراسة ما قبل نشأة البحيرة (عام ١٩٧٣). وقد ارتبط بحالة الغمر سيادة الترسيب البحيري فوق أسطح الكثبان الرملية وأراضي ما بين الكثبان (مواقع تكون السبخات)، وفي بعض المواضع الحوضية على حافات المنخفض. ويلاحظ وجود رواسب الغمر البحيري في مواقع الدراسة بالتوافق مع رصد بعض الظواهر البيولوجية (نباتية وحيوانية).

وبشكل عام تتميز الوحدات الترسيبية البحرية المرصودة بسمك محدود مقارنة بالرواسب الهوائية. ويرتبط ذلك بطبيعة الترسيب البحيري فضلاً عن سرعة تخفيض منسوب سطح البحيرة وعدم استقرارها لفترات زمنية طويلة (لاحظ تكون راقات من الطين بسمك عدة ملليمترات عند قمة الكثيب في موقع ١٣، شكل ٨). وقد وجدت الرواسب البحرية مكشوفة على السطح (على سبيل المثال مواقع ٢ و ٤ و ٥ و ٦ و ٧ و ١٨ و ١٩) أو تحت السطح بالتبادل مع الرواسب الهوائية عند قمم الكثبان الرملية (موقعي ١١ و ١٣). وقد تلى انكماش البحيرة ظهور جيل حديث من الترسيب الهوائي على هيئة نباك رملية فوق قمم الكثبان (مواقع ٤ و ١٠ و ١١ و ١٣ و ١٤) وعند خط شاطئ البحيرة النباقي (موقع ١٢) أو على هيئة تموجات رملية هوائية فوق سطح السبخة والكثيب (موقع ٤).

وقد أمكن توظيف بعض التحليلات المعملية (مثل: التحليل الحجمي للرواسب والتحليلات المعدنية والجيوكيميائية) في تتبع الآثار الترسيبية لعملية غمر وانكماش مياه البحيرة الجنوبية، على النحو التالي:

- يمثل المحتوى النسبي للعينات الرسوبية (من الغرين والطين إلى الرمل) أحد المؤشرات الدالة على عمليات الترسيب الهوائي أو البحيري في مواقع الدراسة؛ حيث تميزت عينات الرواسب الهوائية بمحتوى قليل من رواسب الغرين والطين (جدول ١) و(شكل ١٢). وبشكل عام تميزت

الرواسب البحرية بارتفاع نسبة الرواسب الناعمة من الغرين والطين مقارنة بالرواسب الهوائية (على سبيل المثال تتابعات الرواسب الهوائية والبحيرية عند قمة الكتيبين في موقعي ١١ و ١٣). وقد تباين محتوى الرواسب الناعمة (غرين - طين) في رواسب البحيرة حسب سمك عمود المياه في مواضع الترسيب (عمق المياه على جوانب الكتيبان أو في أراضي ما بين الكتيبان) مع الأخذ في الاعتبار اختلاف فترة استقرار البحيرة ما بين مواقع الدراسة. فعلى سبيل المثال وصلت نسبة رواسب الغرين والطين في عينة السبخة من موقع ٤ (عينة ٤/أ) إلى ٦٧%، في حين تراوحت النسبة لعينات جوانب الكتيبان الواقعة تحت تأثير غمر مياه البحيرة ما بين ٢٠.٧% (عينة ٥/ب) و ١٨.٦% (عينة ٤/ج).

- تمثل فئة الرمل المتوسط الفئة السائدة في عينات الترسيب الهوائي بنسب تراوحت ما بين ٤٤.٦% (عينة ٦/ب)، تحت سطحية في أراضي ما بين الكتيبان) و ٧٨.٢% (عينة ١٣/و)، تحت سطحية عند قمة الكتيب)، (شكل ١٢). وقد تباينت نسب الرمل الخشن والرمل الناعم في العينات الهوائية حسب موضع العينة (شكل ١٢)، حيث يوجد اتجاه نحو زيادة نسبة الرمل الخشن في عينات التموجات الرملية (٤/ب و ٤/د)، وعينة أراضي ما بين الكتيبان (٦/ب) مع زيادة محتوى الرمل الناعم نسبيًا في العينات الهوائية عند قمم الكتيبان الرملية (عينات ١١/ب و ١١/د و ١٣/د و ١٣/و). كما يلاحظ نفس النمط التوزيعي الخاص بسيادة فئتي رواسب الرمل المتوسط والرمل الناعم في عينات الكتيبان المتأثرة بالغمر في موقعي ١١ و ١٣ (عينات ١١/أ و ١١/ج و ١٣/ج و ١٣/هـ)؛ حيث أن تلك العينات قد أرسبت في الأصل هوائيًا واكتسبت المزيد من الرواسب البحرية الناعمة خلال حالة الغمر.

- أمكن تمييز عينات الترسيب الهوائي عن عينات الترسيب البحيري من خلال تطبيق بعض المعاملات الاحصائية على نتائج التحليل الحجمي للرواسب بالطريقة اليدوية؛ حيث وقعت جميع عينات الترسيب الهوائي (عينات التموجات وعينات الكتيبان تحت السطحية) في فئة الرمل المتوسط باستثناء عينة واحدة فقط جاءت في فئة الرمل الناعم (عينة ١١/ب). في حين توزعت عينات الترسيب البحيري على فئات الطين (عينة السبخة ١٩/أ) والرمل الناعم جدًا (عينة ٤/أ و ٦/أ) والرمل الناعم (٦ عينات) والرمل المتوسط (٤ عينات). وهذا ما يؤكد إلى تباين ظروف الترسيب البحيري ما بين مواقع الدراسة.

تميزت الرواسب الهوائية بتجانس توزيع الرواسب مقارنة بالرواسب البحرية (بتطبيق معامل التصنيف). فقد جاءت جميع عينات الترسيب الهوائي في فئتي التصنيف الجيدة والمتوسطة إلى

جيدة (جدول ١). في حين جاءت غالبية عينات الترسيب البحيري في فئة التصنيف الرديء (عدد ثمان عينات من إجمالي خمسة عشر عينة).

وقد اتفقت النتائج السابقة إلى حد كبير مع النتائج المستقاة من التحليل الحجمي للعينات باستخدام جهاز الليزر (بالتطبيق على عشر عينات من مواقع ٤ و ٥ و ٦ و ٧)؛ حيث توزعت غالبية العينات على نفس الفئات مع تغيير ترتيب بعض العينات ما بين فئة ما والفئة المجاورة نتيجة لوجود فوارق رقمية ضئيلة في النتائج. فعلى سبيل المثال توزعت جميع العينات على نفس فئات متوسط حجم الرواسب باستثناء عينة (٤/ج) التي انتقلت من فئة الرمل الناعم إلى فئة الرمل المتوسط. كذلك بالنسبة لمعاملات تصنيف الرواسب فقد انتقلت عينتا (٦/أ و ٧/أ) من فئة رديء إلى فئة رديء جداً (جدول ١).

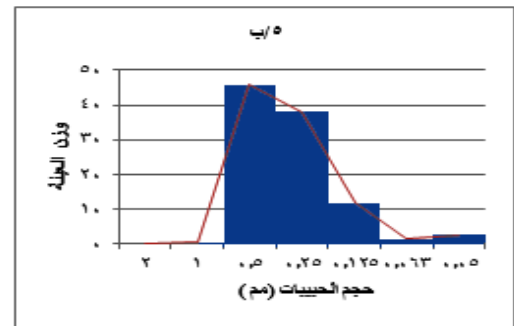
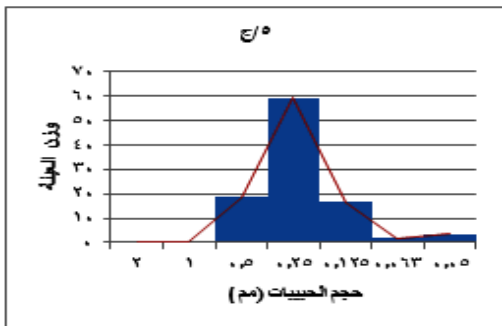
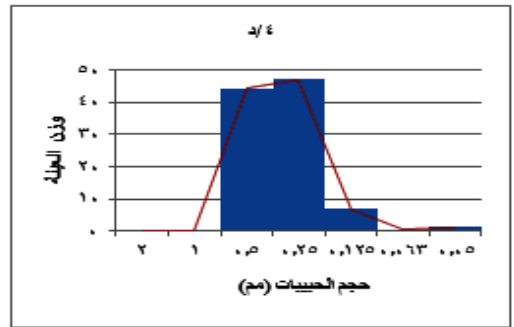
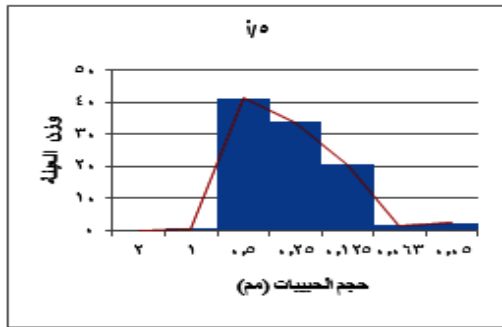
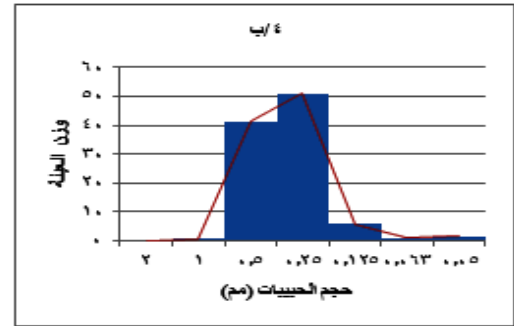
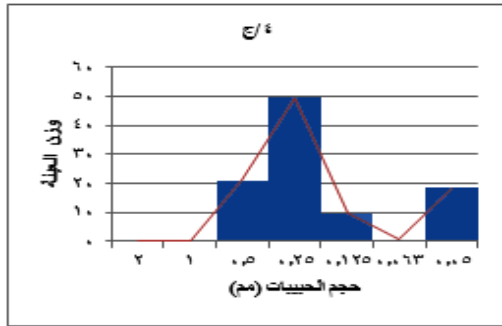
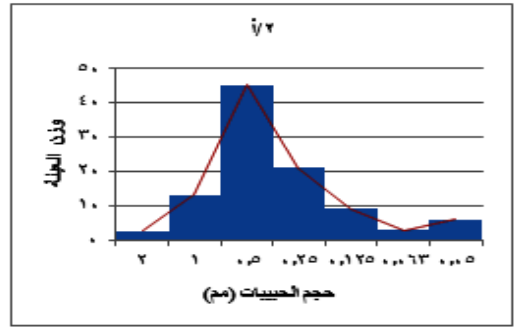
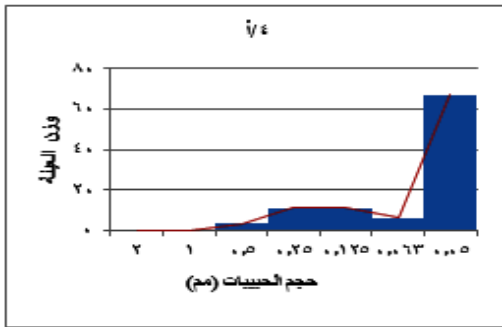
جدول (١) نتائج التحليل الحجمي والمعاملات الإحصائية للعينات الرسوبية

رقم العينة	توصيف العينة (موضع العينة)	نسبة الغرين طين %	متوسط الحجم (تحليل يدوي)	متوسط الحجم (تحليل الليزر)	معامل التصنيف (تحليل اليدوي)	معامل التصنيف (تحليل الليزر)
أ/٢	أراضي مابين الكتبان تعرضت للغمر (موقع ٢)	٦,١	(١) رمل خشن		(١,٢) رديئة التصنيف	
أ/٤	سيخة رطبة (موقع ٤)	٦٧,١	(٣,٤) رمل ناعم جدا	(٣,٩) رمل ناعم جدا	(١,١) رديئة التصنيف	(١,٧) رديئة التصنيف
ب/٤	تموجات هوائية على سطح السيخة (موقع ٤)	١,٣	(١,٢) رمل متوسط	(١,٥) رمل متوسط	(٠,٥٤) متوسطة الي جيدة التصنيف	(٠,٥٢) متوسطة الي جيدة التصنيف

ج/٤	رواسب بحيرية على جانب الكتيب (موقع ٤)	٨١,٤	١٨,٦	(٢,١) رمل ناعم	(١,٧) رمل متوسط	(١,٣) رديئة التصنيف	(١,٤) رديئة التصنيف
د/٤	تموجات هوائية على سطح الكتيب	٩٨,٧	١,٣	(١,١) رمل متوسط	(١,٤) رمل متوسط	(٠,٤١) جيدة التصنيف	(٠,٤٨) جيدة التصنيف
أ/٥	رواسب بحيرية من شاطئ البحيرة (موقع ٥)	٩٧,٧	٢,٣	(١,٣) رمل متوسط	(١,٦) رمل متوسط	(٠,٧٩) متوسطة التصنيف	(٠,٧٧) متوسطة التصنيف
ب/٥	رواسب بحيرية على جانب الكتيب /سطحية (موقع ٥)	٩٧,٣	٢,٧	(١,٢) رمل متوسط	(١,٥) رمل متوسط	(٠,٦٨) متوسطة الي جيدة التصنيف	(٠,٦١) متوسطة الي جيدة التصنيف
ج/٥	رواسب هوائية على جانب الكتيب (تحت سطحية على عمق ٣٥ سم تحت عينة ب/٥)	٩٦,٣	٣,٧	(١,٥) رمل متوسط	(١,٨) رمل متوسط	(٠,٧٠) متوسطة الي جيدة التصنيف	(٠,٥٩) متوسطة الي جيدة التصنيف
أ/٦	رواسب بحيرية سطحية غنية	٦٤,٦	٣٥,٤	(٢,٦١) رمل	(٢,٦٥) رمل	(١,٣) رديئة	(٢,٢) رديئة جدا في

التصنيف	التصنيف	ناعم	ناعم			بالبقايا النباتية الجافة	
(٠,٦٢) متوسطة الي جيد التصنيف	(٠,٦٩) متوسطة الي جيدة التصنيف	(١,٢) رمل متوسط	(١,١) رمل متوسط	١,٦	٩٨,٤	رواسب رملية هوائية على عمق ٤٠ سم تحت عينة أ/٦	ب/٦
(٢,٣) رديئة جدا في التصنيف	(١,١) رديئة التصنيف	(٤,٠) رمل ناعم جدا	(٣,٣) رمل ناعم جدا	٦٢,٩	٣٧,١	رواسب قباب ملحية على سطح السبخة (موقع ٧)	أ/٧
	(٠,٩٣) متوسطة التصنيف		(١,٩) رمل متوسط	١٠,٢	٨٩,٨	رمل - طين (سطحية)	أ/١١
	(٠,٤١) جيدة التصنيف		(٢,٠٣) رمل ناعم	٠,٣	٩٩,٧	رمل (تحت سطحية)	ب/١١
	(١,٠٥) رديئة التصنيف		(٢,٦) رمل ناعم	١٤,٢	٨٥,٨	رمل - طين (تحت سطحية)	ج/١١
	(٠,٤٨) جيدة التصنيف		(١,٨) رمل متوسط	٠,١	٩٩,٩	رمل (تحت سطحية)	د/١١
	(٠,٦٠) متوسطة الي جيدة التصنيف		(١,٧) رمل متوسط	١,٣	٩٨,٧	تموجات هوائية على سطح الكثيب الرملي	أ/١٣

	رمل مع تداخلات رقيقة من الرواسب الطينية (تحت سطحية)	ب/١٣	٨٤,١	١٥,٩	رمل (٢,٥٩) ناعم	(١,٠٣) رديئة التصنيف
	رمل وطين غني ببقايا أصداف الكارديوم والديدان الحلقية	ج/١٣	٩٠,٧	٩,٣	رمل (١,٩) متوسط	(٠,٧٨) متوسطة التصنيف
	رمل (تحت سطحية)	د/١٣	٩٩,٨	٠,٢	رمل (١,٧) متوسط	(٠,٥١) متوسطة الي جيدة التصنيف
	رمل وطين غني ببقايا أصداف الكارديوم والديدان الحلقية	هـ/١٣	٩١,٥	٨,٥	رمل (٢,٠) ناعم	(٠,٩٥) متوسطة التصنيف
	رمل (تحت سطحية)	و/١٣	٩٩,٩	٠,١	رمل (١,٦) متوسط	(٠,٤٢) جيدة التصنيف
	رواسب بحيرية (موقع ١٨)	أ/١٨	٨٨,٢	١١,٨	رمل (٢,١) ناعم	(١,٢) رديئة التصنيف
	رواسب بحيرية من قاع السيخة (موقع ١٩)	أ/١٩	١,٦	٩٨,٤	طين (٥,٣)	(٠,٦٠) متوسطة الي جيدة التصنيف



٢ حصي رقيق جدا - ١ رمل خشن جدا - ٠.٥ رمل خشن - ٠.٢٥ رمل متوسط - ٠.١٢٥ رمل ناعم - ٠.٠٦٣ رمل ناعم جدا - ٠.٠٣١ رمل ناعم جداً - ٠.٠١٥ رمل ناعم جداً

- تم توظيف تحليل الأشعة السينية الحيودية XRD في تقدير المحتوى المعدني لبعض العينات الرسوبية من مواقع الدراسة ومن ثم أمكن الاستدلال على عمليات الترسيب ومصادر الرواسب. وقد توزعت المعادن الغالبة في عينات الدراسة على خمس مجموعات رئيسية، مثل مجموعات معادن السليكات والكربونات والفلسبارات والهاليدات والكبريتات (جدول ٢).

- يظهر معدن الكوارتز (أحد معادن مجموعة السليكات) في جميع عينات الدراسة. ويعد المعدن السائد في عينات الترسيب الهوائي بنسبة تراوحت ما بين ٨٥.٤% (عينة ٥/ج) و ٩٣% (عينة ١١/ب) أو في عينات الكثبان الرملية التي تعرضت للغمر بنسب أقل تراوحت بين ٥١.١% (عينة ٥/ب) و ٨٨% (عينة ١١/أ). ويرتبط وجود معدن الكوارتز في كثبان الريان بمصدر محلي من صخور الأوليجوسين والميوسين الموجودة شمال المنخفض^(٣٩) أو من خارج المنخفض تحديداً من تجمعات الكثبان الرملية شرق وجنوب شرق منخفض القطارة^(٤٠). كما يظهر معدن الكالسيت (أحد معادن مجموعة الكربونات) في عينات الدراسة بنسب متفاوتة. وغالباً ما يرتبط وجود المعدن بشيوع صخور الحجر الجيري في منطقة الدراسة. فضلاً عن ذلك يلاحظ ارتفاع نسبة معدن الكالسيت في عينات الترسيب البحري مقارنة بعينات الترسيب الهوائي (على سبيل المثال بلغت نسبة معدن الكالسيت ٣٠,٦% في عينة ٥/ب و ٣١,٨% في عينة ٦/أ) وعلى الأرجح ترتفع نسبة معدن الكالسيت في الرواسب البحرية نتيجة لتراكم بقايا الأصداف.

وتمثل معادن المتبخرات (مثل الجبس والانهيدرايت/مجموعة الكبريتات والهاليت/مجموعة الهاليدات) معادن مميزة للرواسب البحرية في كل مواقع الدراسة. حيث توجد الثلاثة معادن في عينة قاع السبخة (١٩/أ) مجتمعين بنسبة ٦٢%. مع وجود نوعين أو نوع واحد على الأقل من معادن المتبخرات في باقي عينات الترسيب البحري (باستثناء عينة ١١/أ). ولا توجد معادن المتبخرات في غالبية العينات الهوائية باستثناء عينة التموجات الرملية على سطح السبخة في موقع (٤)؛ حيث يستدل من وجود معدني الهاليت والجبس في عينة ٤/ب على إعادة ترسيب رواسب البحيرة بواسطة الرياح ما بعد جفاف مياه البحيرة عن الموقع. وتقدر اليوريا بنسبة ٣٠% من محتوى معادن عينة ١٨/أ. ويمثل وجود اليوريا بنسبة مرتفعة مؤشراً على ترسيب مياه الصرف الزراعي في موقع (١٨)، حيث تعد اليوريا مؤشراً على تلوث التربة والنظم المائية بسبب استخدامها على نطاق واسع في صناعة الأسمدة النيتروجينية^(٤١).

-استُخدم تحليل الأشعة السينية الطيفية XRF في تحديد محتوى العناصر الرئيسية والعناصر الضئيلة بالتطبيق على أربع عينات من موقع (١١). وقد اتفقت نتائج تحليل العناصر الرئيسية (جدول ٣-أ) مع نتائج التحليل المعدني لنفس العينات، وذلك فيما يتعلق بارتفاع نسب عناصر أكسيد السليكا (المكون الرئيسي لمعدن الكوارتز)، وأكسيد الكالسيوم (المكون الرئيسي لمعدن الكالسيت). كما يلاحظ اختلاف نسب بعض العناصر الضئيلة ما بين عينات الترسيب الهوائي والبحيري، مثل عناصر الكروميوم والنيكل والزنك والاسترونشيوم والزركونيوم والباريوم (جدول ٣-ب)؛ حيث استُخدمت بعض من تلك العناصر في الاستدلال على تلوث مكونات البيئة في منطقة الدراسة من رواسب ومياه وأسمك^(٤٢). ومن ثم يُستدل من وجود عناصر الملوثات بتراكيزات عالية على تلوث الرواسب بفعل الأنشطة البشرية (وارد مياه الصرف إلى المنخفض). فعلى سبيل المثال بلغ تركيز عنصر الكروميوم ٤٢١ جزء في المليون في عينة ١١/ج (ترسيب بحيري) ولم تتعد نسبة العنصر ٨ جزء في المليون في عيني ١١/ب و ١١/د (ترسيب هوائي) وبالمثل يرتفع تركيز عنصر الأسترونشيوم ليلغ ٧٠٩ جزء في المليون عينة ١١/أ (ترسيب بحيري)، حيث يمثل استخدام الأسمدة الفوسفاتية أحد مسببات تركيز عنصر الأسترونشيوم في التربة^(٤٣).

جدول (٢) نتائج التحليل المعدني (تقدير المحتوى النسبي للمعادن)

رقم العينة	سليكات			كربونات		فسفارات		هاليدات	كبريتات		اخرى	
	Quartz	Coesite	Tridymite	الكالسيت	الكربونيت	الكربونيت	الكربونيت	الكربونيت	الكربونيت	الكربونيت	الكربونيت	الكربونيت
٤/ب	٩٠			٥				٢				
٤/ج	٧٩			٥				٨				
٥/ب	٥١١			٣٠٦				٨٧				٩٠٦
٥/ج	٨٥٤											
٦/أ	٣٨			٣١٨				٨٧				٦٧٩
٧/أ	١٧٥			٤٢٦				٢٠٦				٣٩١
١١/أ	٨٨			٥	٢							
١١/ب	٩٦			٢								
١١/ج	٧٨			٨				١٢				
١١/د	٣٩			٥								
١١/أ	٣	٤٢	٥	٥				١٥				٢٠
١١/ب	١٥			٢٠				٢	٤٠	٢٠		

جدول (٣) نتائج التحليل الجيوكيميائي

رقم العينة	سليكا Silicon	تيتانيوم Titanium	الالومنيوم aluminium	حديد Iron	منجنيز Manganese	ماغنسيوم Magnesium	كالكسيوم Calcium	صوديوم Sodium	بوتاسيوم potassium	فوسفات phosphate	كبريت Sulphate
أ/١١	١٨١	١٢٠	٣٨١	٥٧٠	١٠٠	١٠١	١٠١	١٠١	١٠١	١٠٠	١٠٠
ب/١١	٣٦٦	٥٢٠	١٠١	١٢٠	١٠٠	١٠٠	١١٢	١٨٠	١٠٠	١٠٠	١٠٠
ج/١١	١٢١	٣٢٠	١٨٢	١٨١	٤٠٠	٧٥٠	٧٧٩	١٠١	٧٥٠	١٠٠	١٤٠
د/١١	٧٢٠	٩٠٦	١٤٢	١٢٠	١٠٠	١٢٠	١١٢	٥٨٠	١٢٠	١٠٠	١٠٠

(أ) العناصر الرئيسية major elements (%)

رقم العينة	فاناديوم Vanadium	كروميوم Chromium	نكل Nickel	النحاس Copper	الزنك Zinc	روبيديوم Rubidium	سترونتيوم Strontium	زركونيوم Zirconium	باريوم Barium	لانثانوم Lanthanum	الليثيوم Lithium	ثوريوم Thorium	أكتينيوم Actinium
أ/١١	١٠	٢	٤	٧	٤	١٠	٧٠٩	١٠٥	٢٣٧	١٧	٧	٦٤	٧
ب/١١	٢٦	٧	٥	٧	٤	٨	١٠٢	٢٧	٥٣١	١١	٣	١٨	٧
ج/١١	٤٠	١٤٤	١٦	١٤	١٨	١٨	٣٧٠	١٥١	٢٦٦	١١	٧	٦٤	٦
د/١١	١٠	٧	٥	٥	٤	٩	٢٠١	٧٥	٧٥١	٥١	٥	١٥	٧

(ب) العناصر الضئيلة rare elements (جزء في المليون) عناصر دالة على التلوث

خامساً: خاتمة

تناولت الدراسة الحالية عملية تذبذب الجسم المائي لبحيرة الريان الجنوبية خلال الفترة ١٩٥٥ - ٢٠١٩. وقد خلصت الدراسة إلى رصد التغيرات في مساحة الأجسام المائية والنباتية من خلال تطبيق المؤشرات الطيفية على الصور الفضائية، كذلك رصد التغيرات الرأسية في منسوب سطح البحيرة من خلال تحليل بعض الملاحظات الحقلية على امتداد القطاعات العرضية. وقد ركزت الدراسة على تفسير تلك التغيرات في ضوء رصد بعض الظواهر البيولوجية (نباتية وحيوانية) وتتبع رواسب البحيرة خلال مراحل تطورها.

الهوامش:

- Embabi, 2004, 2018 (١)
- Osman et al., 2004 (٢)
- Embabi, 2004 (٣)
- Embabi, 2004 (٤)
- Embabi, 2004 (٥)
- Osman et al., 2004 (٦)
- عبدالباقي، ٢٠٠٥ (٧)
- El-Shabrawy & Dumont, 2009 (٨)
- El-Shabrawy & Dumont, 2009 (٩)
- Climatological Normals, 2011, P. 147 (١٠)
- Maiyza et al., 1999 (١١)
- El-Bayomi, 2006; El-Gammal & El-Gammal, من هذه الأبحاث: 2010 & Hereher, 2015 (١٢)
- Hereher, 2015 (١٣)
- Zahran & Willis, 2009 (١٤)
- El-Shabrawy & Dumont, 2009; Beltagi & Fahoum, 2015 (١٥)
- Saleh et al., 1988 (١٦)
- Hausmann, 2011 (١٧)
- Coombes, 2016 (١٨)

- Stallins, 2006 (١٩)
- McFeeters, 1996 (٢٠)
- Tucker, 197 (٢١)
- Folk & Ward 1957 (٢٢)
- Hereher, 2015 (٢٣)
- El-Gammal & El-Gammal, 2010 (٢٤)
- El-Gammal & El-Gammal, 2010; Hereher, من هذه الدراسات: (٢٥)
- 2015; & Abu Salem et al., 2017.
- Zahran and Willis, 2009 (٢٦)
- Beltagi and Fahoum, 2015 (٢٧)
- Abdel-Malek and Ishak, 1980 (٢٨)
- Kandeel et al., 2017 (٢٩)
- Reish, 2013 (٣٠)
- Brandao and Dingle, 2014 (٣١)
- Holmes, 2001 (٣٢)
- Deckker and Lord, 2017 (٣٣)
- Keatings et al., 2007 & Keatings et al., 2010 (٣٤)
- Ali, 2018 (٣٥)
- Zahran and Willis, 2009 (٣٦)
- .Saleh et al., 1988 (٣٧)
- Abdelgawad, 2017 (٣٨)
- Osman et al., 2004; ١٩٩٣، عبد الباقي، (٣٩)
- ٢٠٠٦، مرسى، (٤٠)
- Finlay et al., 2010 (٤١)
- Mansour and Sidky, 2003; Abu Salem et al., 2017 (٤٢)
- Voronina et al., 2020 (٤٣)

المصادر:

١- مشروع الحصر التصنيفي لأراضي السد العالي، مقياس ١: ٥٠.٠٠٠.٠٠٠، إنتاج عام ١٩٥٥، تصوير جوي.

٢- الخريطة الطبوغرافية، مديرية الفيوم، مقياس ١: ١٠٠.٠٠٠.٠٠٠، إنتاج عام ١٩٥٤.

٣- خريطة مصر الجيولوجية، إنتاج الهيئة المصرية العامة للبتترول وشركة كونكو كورال، الخريطة الجيولوجية، ١٩٨٧، لوحتي بني سويف والبحرية، مقياس ١: ٥٠٠.٠٠٠.٠٠٠.

٣- نموذج الارتفاع الرقمي SRTM-1 arc second بدقة مكانية نحو ٣٠ × ٣٠ م

٤- الصور الفضائية:

LandSat (MSS, TM, ETM+ &OLI: Path 177, Row 40,
<https://earthexplorer.usgs.gov/>

Sentinel-2: 10Bands, T36RTT,
<https://earthexplorer.usgs.gov/>

5- Climatological Normals for ARE, Surface Station from
1976 – 2005, 2011, 230 P.

المراجع العربية:

١- أشرف أبو الفتوح مصطفى، ٢٠٠٢، الكثبان الرملية المتاخمة للسهل الفيضي للنيل فيما بين جنوب وادي الريان وديروط الصحراء الغربية - مصر، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة عين شمس.

٢- جمال السيد عبد الباقي، ١٩٩٣، منخفض وادي الريان - الصحراء الغربية دراسة جيومورفولوجية، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة عين شمس.

٣- جمال السيد عبدالباقي، ٢٠٠٥، تنمية البيئة الصحراوية في منخفض الريان خلال الربع الأخير من القرن العشرين، منشورات المؤتمر الخامس لتنمية الريف المصري، كلية الهندسة، جامعة شبين الكوم، ٦٤١-٦٨٣.

٤- سيد محمود مرسى، ٢٠٠٦، الأشكال الأرضية الناتجة عن فعل الرياح بمنخفض وادي الريان (دراسة جيومورفولوجية)، رسالة دكتوراة غير منشورة قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة القاهرة.

المراجع الأجنبية:

1- Abdelgawad, A., 2017. *Tamarix nilotica* (Ehrenb) Bunge: a review of phytochemistry and pharmacology. J. Microb. Biochem. Technol. doi: 10.4172/1948-5948.1000340

2- Abdel-Malek, S.A., Ishak, M., 1980. Some ecological aspects of Lake Qarun, Fayoum, Egypt. Part II production of plankton and benthic organisms. *Hydrobiologia*. 75, 201-208.

3- Abu Salem, H., Abu Khatita, A., Abdeen, M., Mohamed, E.,

El Kammar, A., 2017. Geo-environmental evaluation of Wadi El Raiyan Lakes, Egypt, using remote sensing and trace element techniques. *Arab. J. Geosci.* 10, 1-24.

4- Ali, A.M., 2018. Effect of Climate Changes on the Vegetation of Fayoum Protected Areas, Western Desert, Egypt. M.Sc. Faculty of Science, Ain Shams University.

5- Beltagi, S., Fahoum, Y., 2015. Further studies on the biodiversity of Wadi El Rayan lakes and its surroundings in

Fayoum Province, Egypt. *Int. J. of Development*. 4(1), 125–149.

6- Brandao, S.N., Dingle, R., 2014. Benthic ostracoda. Chapter 5.15 in *Biogeographic Atlas of the Southern Ocean*. Scientific Committee on Antarctic Research (Editors: De Broyer C., Koubbi P., Griffiths H.J., Raymond B., Udekem d’Acoz C. d’, et al.). Cambridge. pp. 142–148.

7- Coombes, M.A., 2016. Biogeomorphology: diverse, integrative and useful. *Earth Surf. Process*. 41, 2296–2300.

8- Deckker, P., Lord, A., 2017. *Cyprideis torosa*: a model organism for the Ostracoda?. *Journal of Micropalaeontology*. doi.org/10.1144/jmpaleo2016-100

9- El-Bayomi, G., 2006. Area of Wadi El Raiyan Lakes a geomorphological study. *J. of Applied Science Research*. 2(12), 1304–1313.

10- El-Gammal, E., El-Gammal, A., 2010. Human impact on landscape and the revenue in Wdi El Rayan Western Desert. *International Conference on Environmental Research and Technology*. 597–601.

11- El-Shabrawy, G.M., Dumont, H.J., 2009. The Fayum Depression and Its Lakes, in *The Nile Origin, Environments, Limnology and Human Use*(Editor Dumont, H.J.,). Springer. pp. 95–124.

-
- 12- Embabi, N.S., 2004. The geomorphology of Egypt (landform and evolution). Vol. I, The Nile Valley and the Western Desert. A special publication of The Egyptian Geographical Society, Cairo. 447 p.
- 13- Embabi, N.S., 2018. Landscapes and landforms of Egypt. Springer International Publishing. 336 p.
- 14- Finlay, K., Patoine, A., Donald, D., Bogard, M., Leavitt, P., 2010. Experimental evidence that pollution with urea can degrade water quality in phosphorus-rich lakes of the Northern Great Plains. *Limnol. Oceanogr.* 55(3), 1213-1230.
- 15- Folk, R.L., Ward, W., 1957. Brazos River bar a study in the significance of grain size parameters. *J. Sedimentology Petrol.* 27, 3-27.
- 16- Haussmann, N.S., 2011. Biogeomorphology: understanding different research approaches. *Earth Surf. Process.* 36, 136-138.
- 17- Hereher, M., 2015. Assessing the dynamics of El-Rayhan lakes, Egypt, using remote sensing techniques. *Arab. J. Geosci.* 8, 1931-1938.
- 18- Holmes, J.A., 2001. Ostracoda. In *Tracking environmental change using lake sediments volume 4:*

zoological indicators (Editors: Smol j., Briks H., Last W.,).
Kluwer Academic Publishers.pp. 125-152.

19- Kandeel, K., Mohammed, S., Mostafa, A., Abd-Alla, M., 2017. Population Dynamics of the Cockle *Cerastoderma glaucum*: A comparison between Lake Qarun and Lake Timsah, Egypt. *Turk. J. of Fisheries. and Aquatic Sci.* 17, 945-958.

20- Keatings, K.W., Hawkes, I., Holmes, A., Flower, R., Leng, R., Abu-Zied, R., Lord, A., 2007. Evaluation of ostracod-based palaeoenvironmental reconstruction with instrumental data from the arid Faiyum Depression, Egypt. *Journal of Paleolimnology.* 38, 261-283.

21- Keatings, K.W., Holmes, A., Flower, R., Horne, D., Whittaker, J., Abu-Zied, R., 2010. Ostracods and the Holocene palaeolimnology of Lake Qarun, with special reference to past human-environment interactions in the Faiyum (Egypt). *Hydrobiologia.* 654. 155-176.

22- Maiyza, I.A., Abd-El Rahman, M., Abd Ellah, R., 1999. Evaporation from Wadi El-Rayan Lakes. *Bull. Nat. Ins. of Oceanogr. and Fish., A.R.E.* 25, 79-88.

23- Mansour, S.A., Sidky, M.M., 2003. Ecotoxicological Studies. 6. The first comparative study between Lake Qarun and Wadi El-Rayan wetland (Egypt), with respect to

contamination of their major components. Food Chemistry. 82, 181-189.

24- McFeeters, S.K., 1996. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. In. J. Remote Sens. 17, 1425-1432.

25- Osman, R.A., Salem, M., Ahmed, S., Meabed, A., 2004. Geomorphological development of the Fayium-Wadi El-Rayan stretch, Egypt, Landforms related to climatic changes. 7th International Conference on the Geology of the Arab World, Cairo University. 515-526.

26- Reish, D.J., 2013. Annelid (Invertebrate). Encyclopadeia Britannica, inc. (Online available) at: <https://www.britannica.com/animal/annelid>

27- Saleh, M.A., Saber, S., Saleh, A., 1988. The structure of the sand dune ecosystem of Wadi El Raiyan, Egypt. J. of Arid Environ. 15, 283-296.

28- Stallins, J.A., 2006. Geomorphology and ecology: Unifying themes for complex systems in biogeomorphology. Geomorphology. 77, 207-2016.

29- Tucker, C., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sens. Environ. 8(2), 127-150.

- 30- Voronina, A., Semenishchev, V., Gupta, D., 2020. Use of sorption method for strontium removal. In Strontium contamination in the environment (Editors: Pathak p., Gupta D.), Springer. pp. 203-223.
- 31- Zahran, M.A., Willis, A., 2009. The vegetation of Egypt. Spring