

مراقبة وقياس التغير على مساحة البحر الميت باستخدام تطبيقات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية

هيفاء أحمد المحمد، حسام هشام البليبيسي، حسن يوسف أبو سمور*

ملخص

تهدف هذه الدراسة الى تطبيق طريقة جديدة يمكن من خلالها مراقبة التغير على مساحة البحر الميت باستخدام تطبيقات الاستشعار عن بعد وأدوات نظم المعلومات الجغرافية، من خلال معالجة أربع مرئيات فضائية للقمر الصناعي Landsat ETM+ للسنوات (1987، 1996، 2003 و 2009) واختبار أربع طرق لحساب المساحات وهي كالآتي: طريقة التقييم اليدوي، طريقة التصنيف غير الموجه، واستخدام مؤشري NDWI و MNDWI، وقد أظهرت نتائج الدراسة وجود طرق عدة يمكن من خلالها حساب مساحة المسطحات المائية، وأفضل الطرق وأدقها وأيسرها لحساب التغير على مساحة البحر الميت استخدام مؤشر MNDWI باستخدام الطيف الموجي الأخضر والطيف الموجي تحت الأحمر المتوسط، وهي طريقة سهلة التطبيق ويمكن تعميمها وحساب مساحة المسطحات المائية بشكل عام. ومن بين أهم نتائج الدراسة: تناقص مساحة البحر الميت من عام 1987 وحتى عام 2009 حوالي 40 كم²، انخفاض مستوى مياه البحر الميت من 405 أمتار تحت مستوى سطح البحر عام 1987 الى حوالي 424 متراً تحت مستوى سطح البحر عام 2009 وكان مقدار الانخفاض حوالي 18 متراً.

الكلمات الدالة: مساحة البحر الميت، Landsat ETM+، التقييم اليدوي، التصنيف غير الموجه، MNDWI، NDWI.

المقدمة

40 كم² بين الأعوام (1987-2009) حتى وصلت مساحته المحسوبة إلى 630 كم²، وقد نتج عن انخفاض منسوبه تغيرات بيئية كثيرة مثل: ظاهرة الحفر البالوعة (الإنخسافية) والانزلاقات الأرضية وغيرها، وبالتالي تعرض هذا النظام البيئي الفريد للخطر. ومع تطور أساليب وأدوات استخدام تطبيقات الاستشعار عن بعد، ونظم المعلومات الجغرافية في مراقبة المسطحات المائية وتحديد السواحل وحساب مساحاتها بكل سهولة ويسر، ورصد ومراقبة التغيرات البيئية التي تتهددها، وقد هدفت هذه الدراسة إلى تطبيق تقنيات الاستشعار عن بعد من خلال تحليل بيانات المرئيات الفضائية المكانية والزمنية والطيفية، للتوصل إلى طريقة سهلة يمكن من خلالها حساب مساحة البحر الميت باستخدام عدد من المرئيات الفضائية للقمر الصناعي لاندسات Landsat ETM+. وقد أثبتت هذه الطريقة فاعلية في حساب المساحات، والكشف عن التغيرات التي طرأت عليها حيث يمكن لصناع القرار من خلال دراسة نتائج مراقبة تغيرات مساحة البحر الميت والتغيرات البيئية التي تهدده كجسم مائي، وتؤثر في مستقبل البيئة المحيطة به، وضع الخطط اللازمة لانتقاذ البيئة البحرية ومحيطها وتجنب تدهورها.

في هذه الدراسة تم اختبار أربع طرائق لتحديد مساحة السطح المائي للبحر الميت عبر أربع فترات زمنية هي 1987،

من تطبيقات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)، يمكن مراقبة الظواهر الجغرافية على سطح الأرض، ومن هذه الظواهر تحديد امتدادات المسطحات المائية، ومراقبة التغيرات في الأجسام المائية بالاعتماد على الخصائص الطيفية والزمنية والمكانية للمرئيات الفضائية، ولصعوبة تحديد المسطحات المائية وإدارتها في أغلب الأوقات، جاءت تطبيقات الاستشعار عن بعد لمعالجة الكثير من القضايا المرتبطة بإدارة السواحل والمناطق القريبة وتمييزها، كما إن تحديد الشواطئ والأجسام المائية عبر الزمن يسهم في تحديد التغيرات البيئية التي حدثت ومعرفة مدى تأثيرها على البيئة البحرية ومحيطها الحيوي، كما هو الحال في المنطقة المحيطة بالبحر الميت إذ ظهرت آثار بيئية خطيرة نتيجة لانخفاض منسوبه، وتناقص مساحته لأسباب بشرية ترتب عليها حدوث اضرار كبيرة على السكان والبيئة، حيث وصل مستوى مياهه نحو 424 متراً تحت مستوى سطح البحر لعام 2010، وتناقصت مساحته بحدود

* قسم الجغرافيا، جامعة الملك عبدالعزيز، المملكة العربية السعودية؛ وقسم الجغرافيا الجامعة الأردنية، عمان. تاريخ استلام البحث 2012/5/28، وتاريخ قبوله 2013/6/12.

وذلك بهدف تحديد افضل الطرائق التي يمكن استخدامها وتطبيقها على البيانات البحرية ذات الظروف المشابهة.

الدراسات السابقة

جاءت دراسات عديدة لحساب مساحة المياه وفي كل طريقة كانت النتائج المستخلصة لحساب مساحة البحر الميت تقريبية عدا ان لكل طريقة نقاط ضعف بحيث يكون مستوى الدقة في نتائجها منخفضاً وأهم هذه الدراسات التطبيقية:

- شركة البوتاس العربية: تجري الشركة حسابات لقياس مساحة البحر الميت سنوياً بناء على التغير في مستوى مياهه حيث تكون قياسات تقديرية بناء على المعدل في انخفاض مساحة البحر كما في الجدول (1).

1996، 2003، 2009، وذلك باستخدام أربع مرئيات فضائية للقمر Landsat ETM+، وهذه الطرائق هي:

أولاً: باستخدام أدوات نظم المعلومات الجغرافية، اختبار طريقة التقييم اليدوي (Manual Digitizing).

ثانياً: باستخدام تطبيقات الاستشعار عن بعد، وتم اختبار التطبيقات الآتية:

1- التصنيف غير الموجه (Unsupervised Classification).

2- مؤشر (NDWI) Normalized Difference Water Index.

3- مؤشر (MNDWI) Modified Normalized Difference Water Index.

وقد تم حساب مساحة البحر الميت باستخدام هذه الطرائق

الجدول (1) مساحة البحر الميت ومعدل ومنسوب البحر الميت (بيانات شركة البوتاس العربية 2010)

السنة	مستوى سطح البحر/ م	المعدل / سنوياً	المساحة / كم ²
1987	-405.1	-1.7	680
1996	-410.1	-0.8	660
2003	-416.3	-0.5	657
2009	-423.2	-1.3	600

الميت، من خلال إقامة عدد من المشاريع المائية على الرافد الرئيسي للبحر الميت (نهر الأردن) من قبل الجانب الإسرائيلي إضافة الى مشاريع الجانب الاردني والجانب السوري، وزيادة كميات التبخر من شركات البوتاس على الجانبين وغيرها من الصناعات (وزارة المياه والري الأردنية، 2010)، ويمثل البحر الميت بحراً مغلقاً، وهو أدنى بقاع الأرض اليابسة، حيث يقع على الحدود الفاصلة بين المملكة الأردنية الهاشمية من الشرق، وفلسطين المحتلة من الغرب، ويقع فلكياً بين خطي طول (39° 12' 35" - 22° 55' 35") شرقاً ودائرتي عرض (42° 59' 30" - 53° 59' 31") شمالاً، جغرافياً يقع البحر الميت بين جبال القدس والخليل من الغرب، وجبال البلقاء وموآب والطفيلة من الشرق، ويزيد منسوب جبال شرق البحر الميت قليلاً عنها في جبال الجانب الغربي، إلا أن أودية وجبال الجانب الغربي أكثر وعمراً من الجانب الشرقي، وأعمق نقطة فيه تقع في الجزء الشمالي الشرقي منه (عابد، 1985). الشكل (1) يوضح موقع البحر الميت فلكياً والشكل (2) يمثل نموذج الارتفاعات الرقمية لمنطقة البحر الميت.

- دراسة (Qudah and Harahsheh, 1994) والتي قدمت حساب مساحة البحر الميت من خلال تقنيات نظم المعلومات الجغرافية واستخلاص مساحات للبحر الميت.

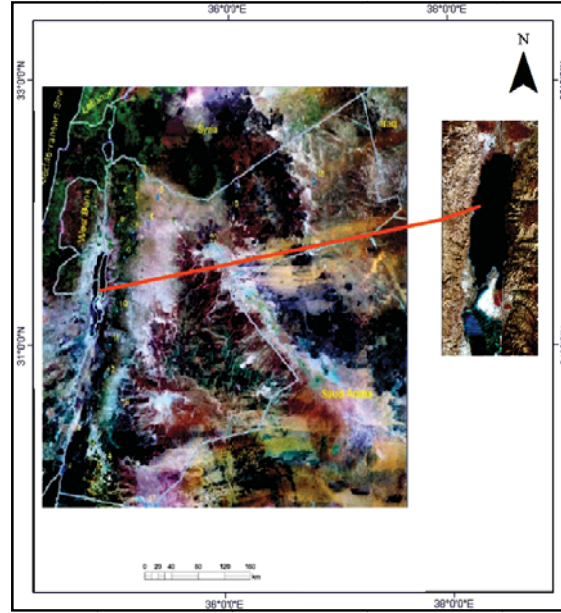
- دراسة (Hajahjeh and Khirfan, 2004) والتي قدمت نتائج لمساحة البحر الميت المحسوبة لسنوات الدراسة باستخدام طريقة التقييم اليدوي باستخدام الطيف تحت الأحمر القريب B4-NIR من مرئيات اللاندسات.

- دراسة (Al-Hanbali et.al., 2006) وأظهرت نتائج الدراسة توصل الباحثين لحساب مساحة البحر الميت من خلال الاستشعار عن بعد بطريقة التصنيف الموجه.

- دراسة (Abu Ghazleha et. al., 2010) والتي استخدمت فيها نظم المعلومات الجغرافية ونموذج (SRTM).

منطقة الدراسة

للبحر الميت بيئة جيولوجية وحيومورفولوجية ومناخية وجغرافية فريدة، تعرضت الى التغير والتدهور حيث انخفض منسوب البحر الميت وتقلصت مساحته، بتأثير العوامل البشرية المتمثلة في تحويل أكثر من 95% من المياه الرافدة للبحر



الشكل (1) مرئية+Landsat ETM موقع البحر الميت فلكياً / التقرير الاولى للبيئة 2008 م

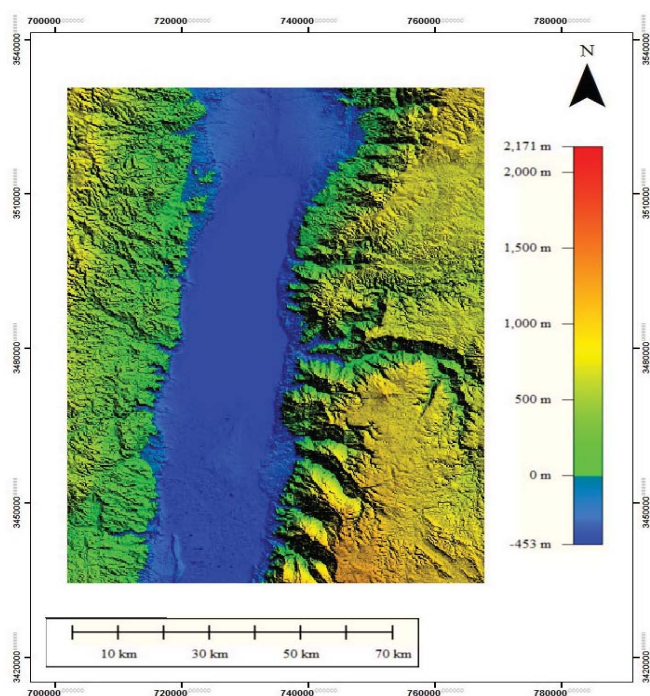
كما يتضح من الشكل (3) والذي يمثل نموذج الارتفاعات الرقمي حيث تظهر من خلاله قيم الإرتفاعات في المنطقة بوضوح. ونتيجة لتراجع مساحة البحر الميت أصبح يتكون من المناطق التالية:

- الحوض الشمالي: هو البحر الميت حالياً، منبسطة القاع، مستطيل الشكل باتجاه الشمال والجنوب وهو أكثر عرضاً واتساعاً، وعمقاً وتضرساً من الجزء الجنوبي.

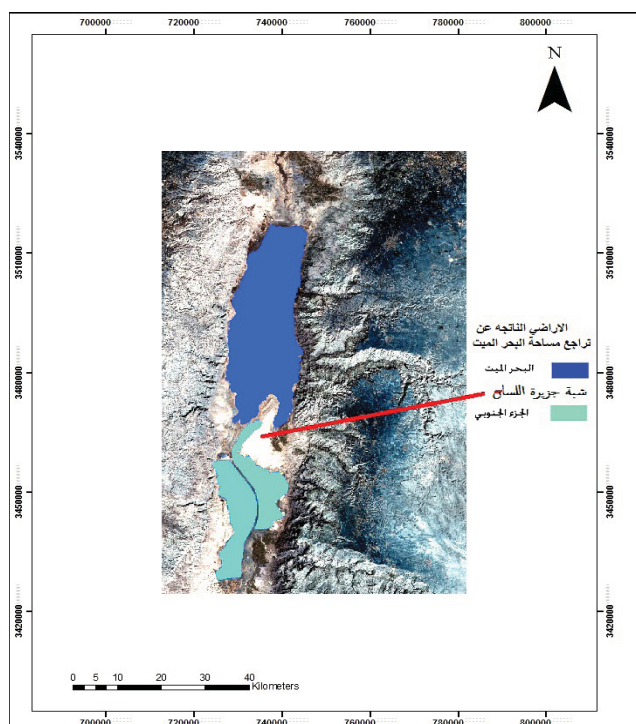
- شبه جزيرة اللسان: يفصل الحوض الشمالي عن الجنوبي، ويزداد طول اللسان مع زيادة جفاف البحر الميت، ويبلغ عرض شبه الجزيرة 7 كم وطولها 20 كم (عابد، 1985).

- الحوض الجنوبي: يمتد من جنوب اللسان وحتى غور الصافي وهو أقل اتساعاً وعمقاً من الحوض الشمالي الذي لا يزيد عمقه عن 10 م، وقد جف هذا الحوض بشكل كامل.

ويشكل البحر الميت جزءاً من حفرة الانهدام الأسيو-أفريقية، التي تمتد لمسافة 6000 كم من تركيا شمالاً وحتى نهر الزامبيزي في أفريقيا جنوباً (Bender, 1974) وقد تشكل في فترة الميوسين أي قبل أكثر من 21 مليون سنة، واتسعت رقعته واتصلت أجزاؤه وغطت مياهه منطقة واسعة من شمال بحيرة طبريا حتى جنوب حدوده الحالية بنحو 30 كم وقد سميت ببحيرة اللسان. ثم تقلصت مساحته بسبب تحول المناخ التدريجي نحو المناخ الجاف منذ 50 ألف سنة (في فترة البليستوسين الأعلى)، وتزامن ذلك مع بداية نشوء نهر الأردن ولم يتبق من تلك البحيرة القديمة إلا بحيرة طبريا في الشمال والبحر الميت في الجنوب. تتراوح مناسيب سطح المناطق المحيطة بالبحر الميت بين 360 م تحت مستوى سطح البحر أي قرب البحر الميت على الجانبين، وحوالي 2100 م فوق مستوى سطح البحر في الأجزاء الجنوبية الشرقية، وبذلك يتراوح الارتفاع النسبي بين أعلى نقطة وأقل نقطة حوالي 1740 متراً،



الشكل (2) نموذج الارتفاعات الرقمية



الشكل (3) الأراضي الناتجة عن تراجع مساحة البحر الميت مرئية Landsat ETM+ 2009

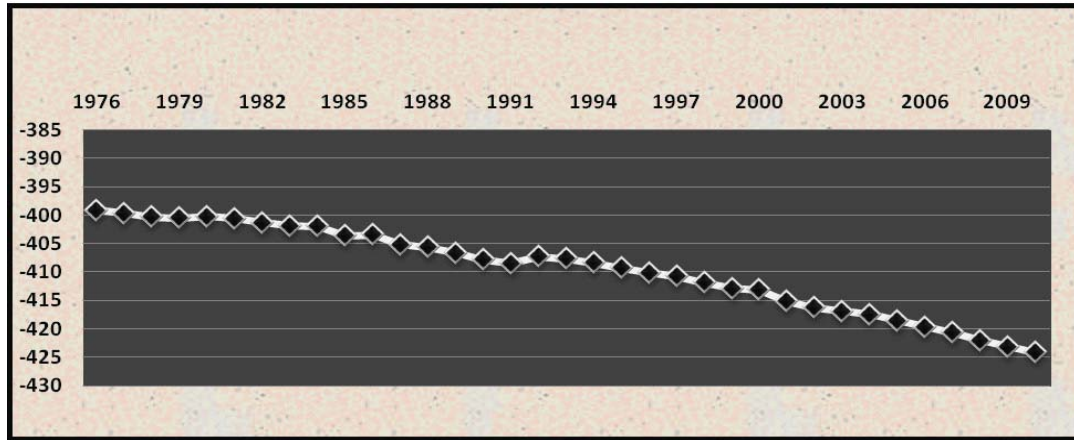
(نار، دراجة، زين) وغيرها، وتزايدت عمليات الاستنزاف مما أدى الى انخفاض ملحوظ في كميات المياه المتدفقة إلى البحر الميت، وتشتهر منطقة البحر الميت محلياً وعالمياً بالينابيع الطبيعية، وهي نوعان، الينابيع الساخنة والتي تنبع من المياه الجوفية العميقة، والينابيع العذبة التي مصدرها طبقات المياه الجوفية، وتتراوح درجة حرارة الماء في هذه الينابيع بين 35 درجة مئوية و 63 درجة مئوية وحجم متوسط تصريفها حوالي 80 مليون م³ (وزارة المياه والري الأردنية، 2010)، منها ينابيع الزارة على الجانب الشرقي وعين السلطان، وزوهار على الجانب الغربي. ان انخفاض منسوب البحر الميت مرتبط بتناقص مساحته، حيث انخفض منسوب البحر الميت حوالي 25 م تحت مستوى سطح البحر بمعدل (0.80 سم - 1 م) سنوياً خلال الفترة بين (1976-2010) كما في الشكل (4).

المصادر المائية للبحر الميت وعلاقتها بمنسوبه

تعرضت مصادر المياه المغذية للبحر الميت إلى عمليات إستنزاف، أدت الى سلب كميات كبيرة من مياهه، مما سرع عملية انخفاض منسوبه وبالتالي تناقص مساحته وتدهور البيئة المحيطة به.

تأتي معظم المياه الى البحر الميت من مناطق الكثافة المطرية النسبية لمجرى نهر الأردن، حيث تبلغ مساحة منطقة الرغد المائي حوالي 40.650 كيلومتر مربع (2000, Salameh and EL-Nasser)

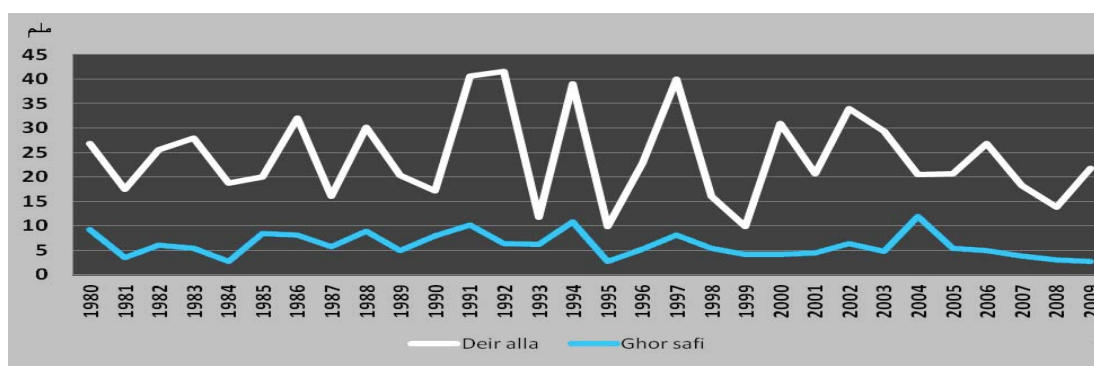
المصادر الرئيسية لمياه البحر الميت هي: المياه السطحية والمتمثلة في نهر الأردن، والأودية والينابيع الجانبية والمياه الجوفية. يعد نهر الاردن من أهم مصادر المياه السطحية المغذية للبحر الميت إضافة الى الأودية الجانبية منها (الموجب، الوالة، الحسا، الكرك) وعلى الجانب الغربي أودية



الشكل (4) مناسيب سطح البحر الميت الفترة الممتدة من 1976 - 2010

مجموع التبخر بين 1500 ملم/ سنوياً و 1600 ملم/ سنوياً، ومعدل الرطوبة النسبية بين 41.3% و 63.6% (تقارير دائرة الارصاد الجوية الاردنية من عام 1982 إلى عام 2009). تبلغ نسبة ملوحة مياهه عند السطح حوالي 30% وعند الأعماق تصل الى 34%؛ أي عشرة أضعاف المسطحات المائية الأخرى، وتتركب مياهه من مجموعة من المعادن والأملاح التي تستخدم للصناعة والإستشفاء من الأمراض (AbuGhazielh, et., al. 2009).

مناخ البحر الميت: يجمع مناخ البحر الميت بين الصيف الحار الجاف، والشتاء الدافئ قليل المطر، حيث يتركز أكثر من 60% من الهطول المطري في اشهر كانون الأول وكانون الثاني وشباط وآذار، ويوضح الشكل (5) المعدلات السنوية للتساقط المطري في محطات منطقة الدراسة، حيث يصل معدل الهطول المطري بشكل عام حوالي 26 ملم/سنوياً، وتتراوح درجات الحرارة العظمى بين 29.2 و 42 درجة مئوية سنوياً، حيث يستمر الجفاف حوالي سبعة أشهر، ويتراوح



الشكل (5) معدلات التساقط المطري في محطات ديرعلا وغور الصافي للفترة بين (2009-1980)

الظاهرة عدة مسميات منها الحفر البالوعية، الحفر الانخسافية وحفر الإذابة والحفر الغاطسة، حيث تحدث حفر في الأرض قد تكون بشكل تشققات صغيرة على سطح التربة أو كبيرة بمساحة تصل لعشرات الأمتار ويعمق يصل الى ثلاثين متراً أو أكثر (Closson, et. al., 2005)، وانتشرت في مناطق غور حديثة وغور المزرعة وغور عسال وغور نميره وفي بعض مناطق إمتياز البوتاس، أما على الجانب الغربي فتظهر بأعداد كبيرة تصل الى المئات في مناطق مسعده عسال وزوهار، وعين الجدي وشرق جبل أصد، وهذه المناطق كانت قريبة من البحر الميت، أما الآن فأصبحت تبعد مئات الأمتار عن الشاطئ الحالي للبحر، وسبب حدوثها في هذه المناطق هو تربتها الرملية التي تحتوي على نسبة عالية من الأملاح، وتتكون عندما يقوم المزارعون بسقاية مزروعاتهم باستخدام المياه العذبة حيث تذوب الأملاح الموجودة في التربة، ويسبب ابتعاد المنطقة عن البحر فان البحر يقف عاجزاً عن تعويض هذه الأملاح، فتصبح التربة هشة وخفيفة الوزن فتتخفص الى الأسفل مكونة حفرة كبيرة غير واضحة.

- الشواطئ المتعددة او المصاطب البحرية للبحر الميت: ظهرت بتزايد تقلص مساحة البحر الميت، وبسبب تراجع مساحة البحر ظهرت شواطئ من الرمال المختلطة بالأملاح وبذلك تكونت المصاطب البحرية كما في الشكل (6) الذي يوضح ظاهرة الشواطئ المتعددة والتي يصعب على الانسان التحرك فيها.
- إضافة الى حدوث بعض الإنزلاقات الأرضية والهزات الأرضية نتيجة عدم الإستقرار التكتوني وهبوط منسوب البحر الميت.

البحر الميت غني بالموارد المعدنية والأملاح، من البوتاس والبروميد والمغنيسيوم والأملاح وغيرها من المعادن، وقد تم استغلالها على نطاق واسع من خلال شركات إستثمارية، مما أسهم في خفض منسوب البحر الميت وتقلص مساحته. وتشكل صناعة إستخراج المعادن وصناعة مستحضرات التجميل جزءاً من في الناتج الاجمالي المحلي في كل من الاردن واسرائيل. وقد أدى استنزاف المصادر المائية للبحر الميت الى حدوث تغيرات بيئية أثرت في المنطقة بشكل عام وفي البحر الميت بشكل خاص، ومن هذه التغيرات البيئية:

- تناقص مساحة البحر الميت: تراجعت مساحة البحر الميت أكثر من الثلث عما كانت عليه في القرن الماضي وهي في تزايد مستمر وبمعدل أسرع عما كانت عليه في السابق، ولتزويد البحر الميت بالمياه، تم إقتراح مشروع قناة البحرين لحماية البحر الميت والبيئة المحيطة بتزويده بالمياه من البحر الاحمر والتي يتوقع منها حماية خط الساحل من التآكل وإثراء قطاع السياحة وإحياء عملية صناعة المعادن، إضافة الى توليد طاقة كهرومائية.

- هبوط مستوى سطح المياه الجوفية: لقد هبط مستوى سطح المياه الجوفية بمحاذاة الشواطئ نتيجة إنخفاض منسوب المياه مما أدى الى تدفق المياه العذبة من المياه الجوفية، واختلاطها بالمياه المالحة، وبالتالي تزايدت الأخطار البيئية على المنطقة، وكذلك جفاف الينابيع مما أدى إلى تهديد النظام الحيوي من كائنات حية نادرة كانت تستوطن المنطقة وبالتالي هجرتها، حتى أن البكتيريا التي تتحمل الملوحة الشديدة أصبحت مع زيادة الملوحة غير قادرة على تحملها وبالتالي أصبحت في خطر (Hajjahjeh, and Khirfan, 2004).
- ظاهرة الحفر البالوعية (الانخسافية) Sinkholes: لهذه



الشكل (6) ظاهرة الشواطئ المتعددة - الصورة ملتقطة بتاريخ 27-3-2010

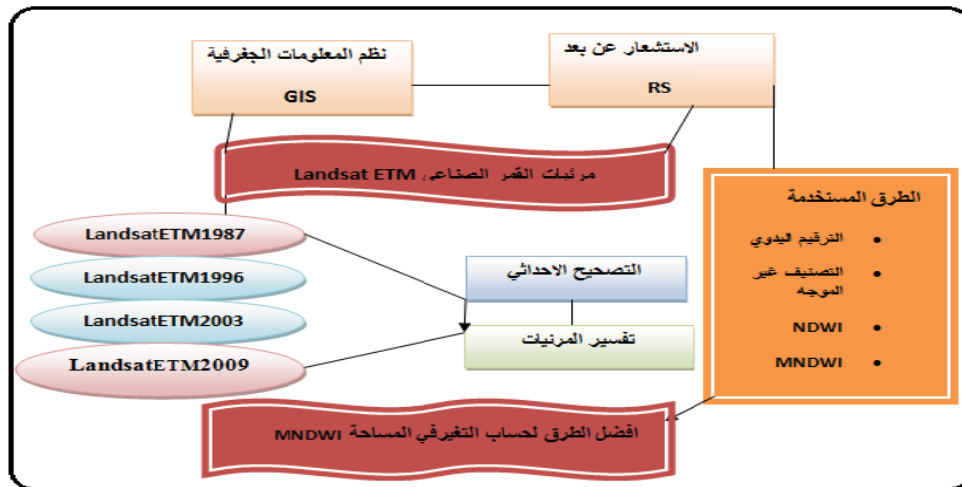
المنهجية

استخدمت تطبيقات الاستشعار عن بعد وأدوات نظم المعلومات الجغرافية في تقييم وإدارة الموارد المائية، وإدارة المناطق الساحلية من خلال مراقبة وترسيم المياه المفتوحة، وقياس مساحات المسطحات المائية وتحديد أعماقها، ودراسة التغيرات التي تحدث في الشواطئ والجزر، واستخلاص مساحة المياه بعدة مؤشرات من بيانات المرئيات الفضائية وتمييزها عن باقي الأصناف الأخرى (Xu, 2006). الشكل (7) يوضح المنهجية المتبعة في قياس، وحساب التغير على مساحة البحر الميت.

في هذه الدراسة تم استخدام أربع مرئيات فضائية للقمـر Landsat ETM+ بقدرة تمييزية 30 م، لسنوات 1987، 1996، 2003، 2009 وتم تنفيذ عملية التصحيح الإحداثي للمرئيات الفضائية بتحديد الإحداثيات الفلكية للمرئيات المستخدمة ضمن خطأ متوسط الجذر التربيعي أقل من نصف بكسل وتوحيد وتحويل النظام الإحداثي للمرئيات المستخدمة في الدراسة إلى نظام ميركاتور المستعرض العالمي Universal Transverse Mercator (UTM Zone 36N)، مما يسهل تطابق ودمج قاعدة البيانات الجغرافية باستخدام برمجيات نظم المعلومات الجغرافية، وبرمجيات الاستشعار عن بعد ومن ثم عمل قص لمنطقة الدراسة.

اما البرمجيات المستخدمة فهي (Arc GIS.9.3)، (Global Mapper)، (Geomatica PCI)، (ENVI 4.5) إضافة الى برنامج (Photoshop CS).

استخدمت تطبيقات الاستشعار عن بعد وأدوات نظم المعلومات الجغرافية في تقييم وإدارة الموارد المائية، وإدارة المناطق الساحلية من خلال مراقبة وترسيم المياه المفتوحة، وقياس مساحات المسطحات المائية وتحديد أعماقها، ودراسة التغيرات التي تحدث في الشواطئ والجزر، واستخلاص مساحة المياه بعدة مؤشرات من بيانات المرئيات الفضائية وتمييزها عن باقي الأصناف الأخرى (Xu, 2006). الشكل (7) يوضح المنهجية المتبعة في قياس، وحساب التغير على مساحة البحر الميت.



الشكل (7) يوضح مخطط الدراسة المتبع لحساب التغير على مساحة البحر الميت

طرائق حساب مساحة البحر الميت

إن التغيرات البيئية التي طرأت على مساحة البحر الميت بسبب انخفاض منسوبه وتقلص مساحته تتطلب مراقبة ورصد مساحة البحر من خلال الأقمار الصناعية وما تنتجه من مرئيات فضائية تسهل علينا عملية حساب مساحته، وبالتالي معرفة مقدار التغير على مساحة البحر الميت وتأثيره على البيئة المحيطة به. في الدراسة الحالية تم اختبار أربع طرائق لقياس وحساب التغير على مساحة البحر الميت بناء على الصفات الطيفية والمكانية للأشعة المنعكسة باستخدام بيانات القمر الاصطناعي Landsat ETM+ لسنوات متعددة ومقارنتها بالقياسات السابقة للتوصل الى الطريقة المناسبة لحساب المساحة، أما السنوات التي اعتمدت لحساب مساحة البحر الميت فكانت 1987، 1996، 2003 و2009، وطرائق القياس:

أولاً: باستخدام أدوات نظم المعلومات الجغرافية، طريقة الترميم اليدوي (Manual Digitizing)

تكمن أهمية نظم المعلومات الجغرافية في قدرتها على تنظيم البيانات والتحليل والمعالجة، من خلال برنامج Arc GIS9.3، تم بناء قاعدة بيانات لكل سنوات الدراسة، وتصحيح الخريطة، وحتى يتسنى توضيحها أكثر تم عمل تحسين للمرئية، ومن ثم بناء الطبقات لجميع سنوات الدراسة، وتتبع مساحة البحر الميت من خلال عملية الترميم On Screen Digitizing للخرائط المدخلة وحساب مساحاتها وعمل مطابقة لها.

ثانياً: حساب المساحات باستخدام تطبيقات الاستشعار عن بعد

1- التصنيف غير الموجه (Unsupervised Classification): تم تنفيذ التصنيف غير الموجه على جميع المرئيات باستخدام (k-means Algorithm)، حيث تم استخلاص خمسة أصناف ومن ضمنها البحر الميت، ومن ثم تم حساب التغير في مساحته للسنوات 1987، 1996، 2003، 2009.

2- مؤشر الاختلاف المائي المعايير (NDWI)

(Normalized Difference Water Index) إن معظم الإشعاع الساقط على المياه تمتصه أو تنفذه وقليل منها تعكسه، فالمياه تمتص معظم الموجات تحت الحمراء، مما جعل التباين بينها وبين مواد السطوح الأخرى كبيراً، وينعكس منها حوالي 50% في المرئيات المأخوذة في نطاق إشعاع الموجات تحت الحمراء القريبة والذي ينفذ الماء أغلبه منها (Curran, 1987).

مؤشر (NDWI) يمثل نسبة الفرق بين الانعكاسات الطيفية عند الطول الموجي تحت الأحمر القريب والطول الموجي تحت الأحمر المتوسط مقسوماً على مجموعهما، وفقاً للمعادلة التالية

$NDWI = (NIR - MIR) / (NIR + MIR)$ (Gao, 1996)

ويمثل في اللاندسات Landsat ETM+

$NDWI = (ETMB4 - ETMB5) / (ETMB4 + ETMB5)$

NIR = تمثل أشعة الطيف تحت الأحمر القريب وهو يمثل

القيمة الانعكاسية على القناة الرابعة.

MIR = يمثل أشعة الطيف تحت الأحمر المتوسط ويمثل

القناة الانعكاسية الخامسة.

مؤشر (NDWI) يستخدم للكشف عن المياه في المناطق التي يختلط فيها استخدام المياه مع الاستخدامات الأخرى (XU 2006).

3- مؤشر الاختلاف المائي المعايير المعدل (MNDWI)

(The Modified Normalized Difference Water Index)

يمثل نسبة الفرق في الانعكاسات الطيفية عند الطيف الأخضر والطيف الموجي الأحمر المتوسط مقسوماً على مجموعهما وفقاً للمعادلة التالية:

$MNDWI = (Green - MIR) / (Green + MIR)$ (Xu, 2006)

ويمثل في Landsat ETM

$(MNDWI = (ETMB2 - ETMB5) / (ETMB2 + ETMB5)$

وقد استخدم هذا المؤشر لحساب مساحة المياه واستخلاصها من المناطق المبنية حيث يعطينا أكبر استخلاص للمياه على الأشعة المنعكسة عن الطيف الأخضر (Xu, 2006)

Green = تمثل أشعة الطيف الأخضر ويمثل القيمة

الانعكاسية على القناة الثانية.

MIR = يمثل أشعة الطيف تحت الأحمر المتوسط ويمثل

القناة الانعكاسية الخامسة.

مناقشة النتائج وتحليلها

بعد تطبيق الطرائق الأربعة لحساب التغير على مساحة البحر الميت، كانت النتائج كالآتي:

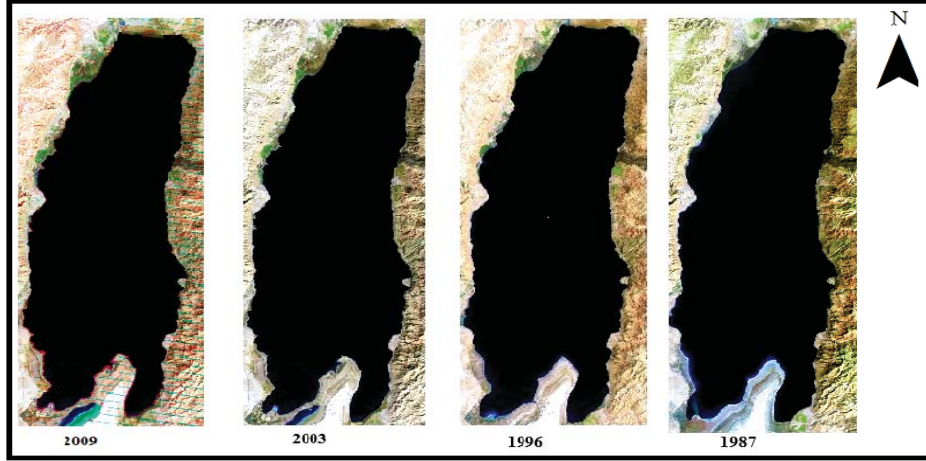
أولاً: نتائج حساب مساحة البحر الميت باستخدام طريقة

الترقيم اليدوي (Manual Digitizing)

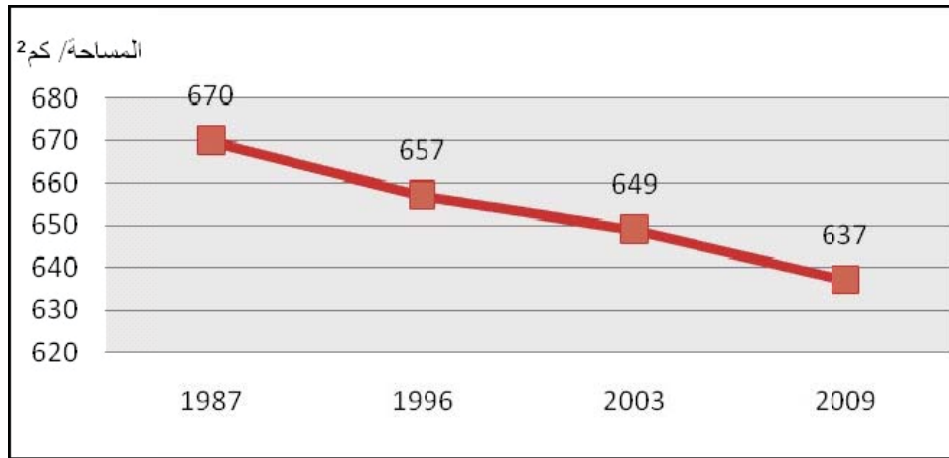
تكمن أهميته استخدام نظم المعلومات الجغرافية في قدرتها على تمثيل المعالم الجغرافية تمثيلاً دقيقاً مما يجعلها مفيدة في مهام التحليل المكاني والتي تتطلب تحديد المواقع بدقة، كما في التطبيقات الهندسية والمساحية، لذا تم استخدامها كإحدى الطرق لحساب مساحة البحر الميت وقد توصلت الدراسة الى النتائج الآتية: الشكل (9) يوضح قيم المساحات المحسوبة

المغذية للبحر الميت من هذه المشاريع سد وادي العرب المقام على وادي العرب وسد الكرامة في حوض الملاحة عام 1997 (وزارة المياه والري الأردنية، 2010)، وازداد التناقص بين عامي 1996 و 2003 كمحصلة للتناقص خلال فترة الدراسة بين عامي 1987 و 2009 والتي بلغت حوالي 33 كم² نتيجة للأسباب البشرية التي لعبت الدور الرئيسي في تناقص منسوبه وتقلص مساحته.

للبحر الميت باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، حيث يظهر المنحنى تناقصاً واضحاً في المساحات بين فترات الدراسة، والشكل (10) يوضح الخرائط المستخلصة لمساحات البحر الميت المحسوبة بطريقة نظم المعلومات الجغرافية، حيث نلاحظ التناقص في مساحة البحر بين عامي 1987 و 1996 حوالي 13 كم² وهذه الفترات شهدت إختفاء الجزء الجنوبي نهائياً بسبب المشاريع المائية التي أقيمت على المصادر المائية



الشكل (8) مرئيات Landsat ETM+ بالتركيب لوني (5.4.1)

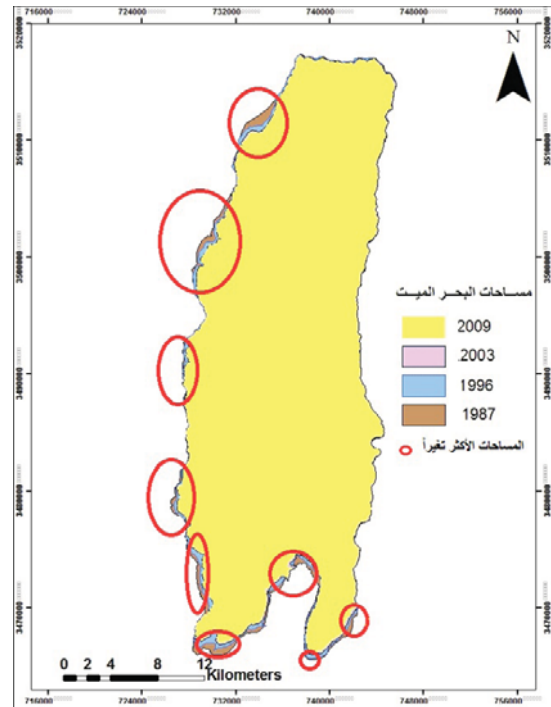


الشكل (9) قيم المساحات المحسوبة باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية (GIS)

حد معين، واحتمال حدوث الخطأ البشري من خلال عملية التقييم وفقدان بعض البيانات عند الرسم، مما يجعلنا نبحث عن طرق أخرى لحساب المساحة باستخدام برمجيات الاستشعار عن بعد ويظهر من الشكل ذاته أن أكثر سواحل البحر الميت تغيراً وتأثراً والتي استخلصت بهذه الطريقة من الملاحظ أن الجزء الجنوبي أكثرها تناقصاً وتأثراً وخصوصاً

ما يميز هذه الطريقة بناء قاعدة بيانات جغرافية يمكن الاستفادة منها في عمليات التحليل المكاني لمعظم التطبيقات، من خلالها تم التعرف على أكثر سواحل البحر الميت تغيراً تأثراً بتناقص مساحته من سلبيات هذه الطريقة هو الاعتماد على قاعدة بيانات مرتبطة بقدرة تمييزية حوالي 30 متراً وهي متوسطة نسبياً، مما يصعب تمييز بعض الخلايا بعد التكبير عند

أطراف منطقة اللسان من كل الجوانب، كما يلاحظ مقدار التغير في المساحات في الجانب الغربي من ساحل البحر الميت، كما في منطقة عين الجدي ومسعده.



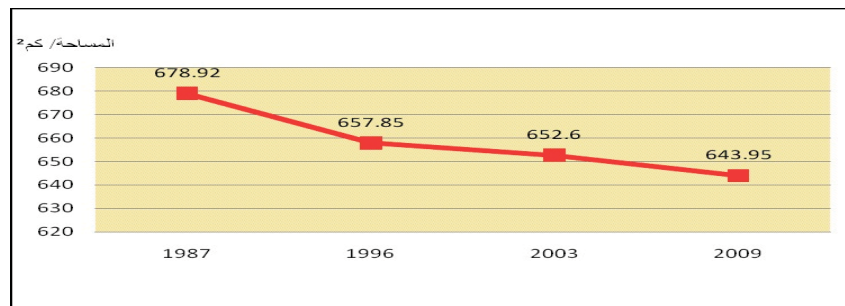
الشكل (10) المناطق الأكثر تغيراً وتأثراً لمساحاتها باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية (GIS)

2009 بلغت المساحة 643.93 كم². يمكن من خلال هذه الطريقة الكشف عن أنماط الغطاء الأرضي الذي تتكون منه مناطق الدراسة، مما يمهد الطريق لإجراء التصنيف الموجه، ومن سليات هذه الطريقة هو الخلط بين مناطق التبخر ومناطق المياه، وبالتالي يصعب استخلاص المياه وحدها، ونتائجها كما في مرييات 2003 و2009 حيث حسبت أجزاء من منطقة التبخر ضمن مناطق المياه وبذلك ظهرت قيم المساحات مرتفعة نوعاً ما.

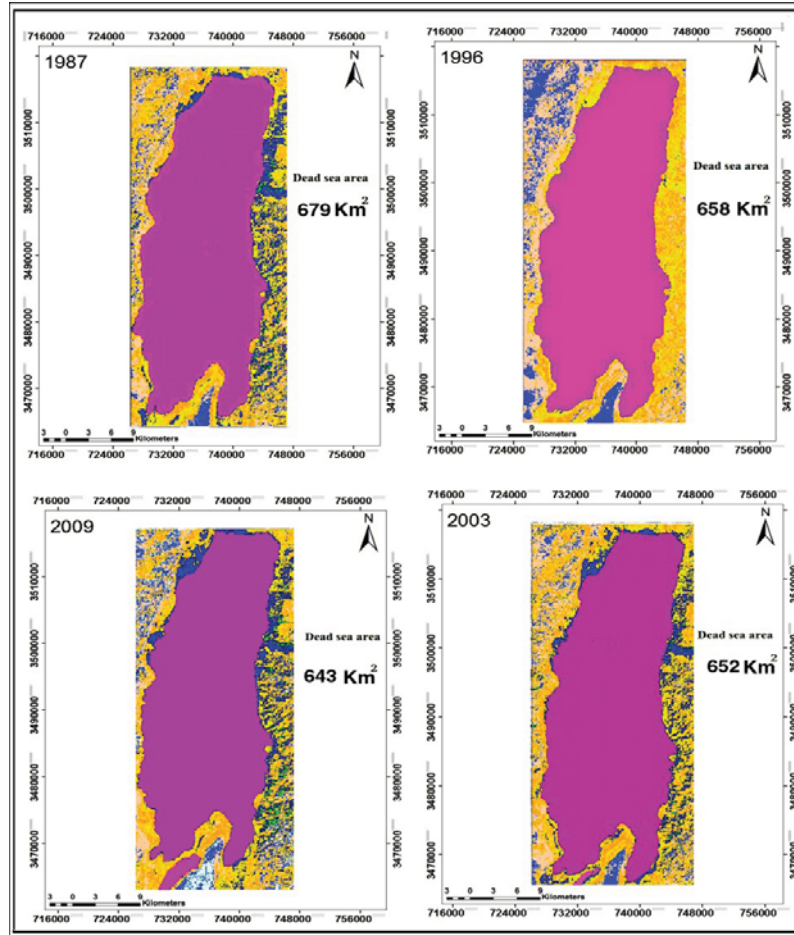
ثانياً: تقييم مؤشرات حساب مساحة البحر الميت باستخدام تطبيقات الإستشعار عن بعد (R.S):

I- نتائج حساب مساحة البحر الميت باستخدام طريقة التصنيف غير الموجه:

الشكلان (11 و12) يوضحان نتائج حساب مساحة البحر الميت والتي كانت كالآتي: بلغت عام 1987 حوالي 678.92 كم²، وفي عام 1996 بلغت حوالي 657.85 كم²، أما عام 2003 كانت المساحة المحسوبة حوالي 652.6 كم²، وعام



الشكل (11) قيم مساحات البحر الميت المحسوبة بطريقة التصنيف غير الموجه



الشكل (12) الخرائط المستخلصة لمساحات البحر الميت بطريقة التصنيف غير الموجه

تحت الحمراء القريبة وتحت الحمراء المتوسطة من خلال التفسير البصري.

طبقت المعادلة السابقة في الدراسة الراهنة باستخدام برمجية Geomatica PCI وحسبت مساحة البحر الميت، وكانت النتائج كما في الشكل (14) الذي يوضح شكل التناقص بين فترات الدراسة المحسوبة، حيث بلغت مساحة البحر الميت المحسوبة عام 1987 حوالي 669.61 كم² وفي عام 1996 بلغت حوالي 663 كم² وفي عام 2003 وصلت الى حوالي 647.91 كم² أما في عام 2009، فوصلت مساحته المحسوبة حوالي 634.13 كم² وقد استخدمت هذه المعادلة من قبل بعض الباحثين لإستخلاص المياه من المناطق المزروعة.

ما يميز هذه الطريقة، إمكانية استخلاص المياه وحساب مساحتها وخصوصا في المساحات التي تكون فيها نسبة من المناطق المزروعة، لكن الدقة في استخلاص المياه تكون أقل من المطلوب، حيث تختلط بعض المناطق المبنية مع المياه مما

2- حساب مساحة البحر الميت باستخدام طريقة مؤشر

الاختلاف المائي المعايير (NDWI):

استخدم هذا المؤشر لحساب مساحة المياه عن طريق استخلاصها بتطبيق المعادلة الآتية واستخدام طريقة الأطياف المتعددة من خلال برنامج Geomatica PCI:

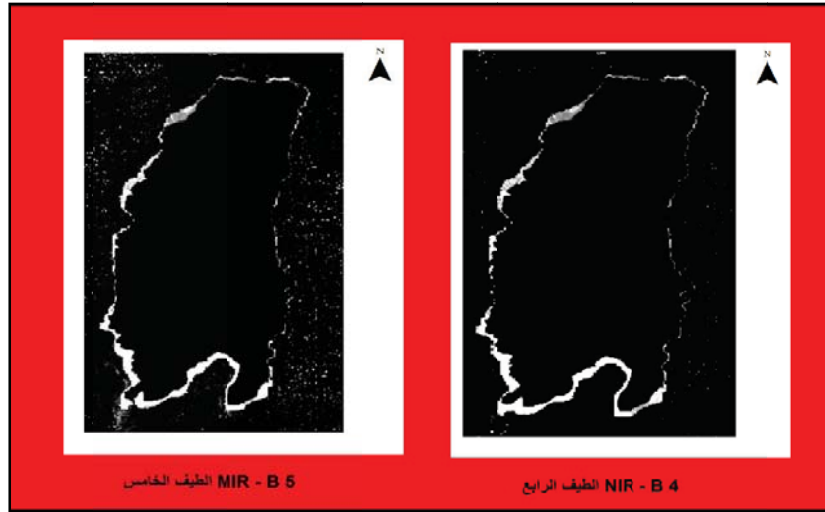
$$NDWI = (NIR - MIR) / (NIR + MIR) \quad (Gao, 1996)$$

يمثل في اللاندسات Landsat ETM

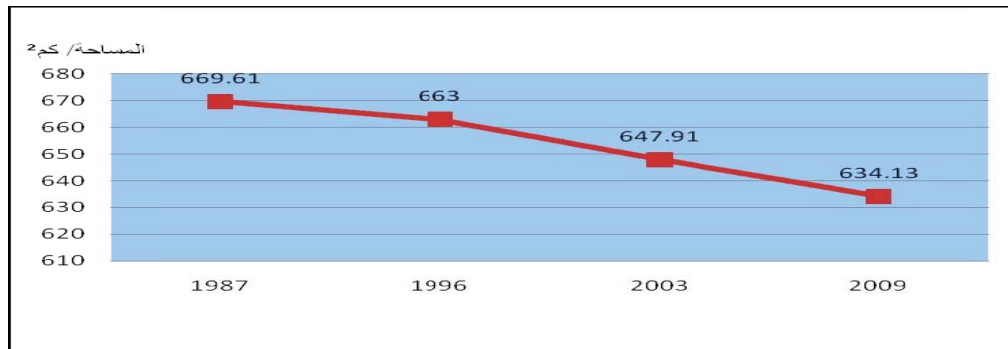
$$NDWI = (ETM B4 - ETM B5) / (ETM B4 + ETM B5)$$

في هذا المؤشر استخدم الطيف الرابع الأشعة تحت الحمراء القريبة، والتي تتميز بقدرتها على إستخلاص أكبر قدر من المياه واعطائها قيمة موجبة والطيف الخامس هو الطيف الأحمر المتوسط والذي يعطي المناطق التي لا تحتوي على مياه قيمة سالبة وقد سبق تطبيق هذه المعادلة عملية استخلاص للمياه من خلال الطيف الرابع والطيف الخامس كل على حده، والشكل (13) يوضح استخلاص أكبر نسبة انعكاس للأشعة

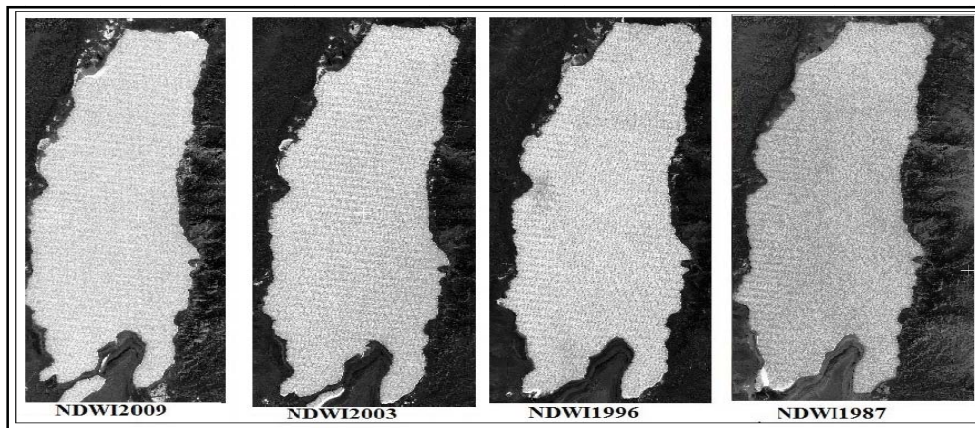
يصعب حساب المساحة بشكل دقيق، أما الشكل (14) يوضح المساحات والخرائط المستخلصة للبحر الميت بهذه الطريقة.



الشكل (13) أكبر نسبة انعكاس للمياه على الطيف الرابع والخامس Landsat ETM+



الشكل (14) قيم المساحات المستخلصة باستخدام مؤشر الاختلاف المائي (NDWI)



الشكل (15) الخرائط المستخلصة باستخدام (NDWI)

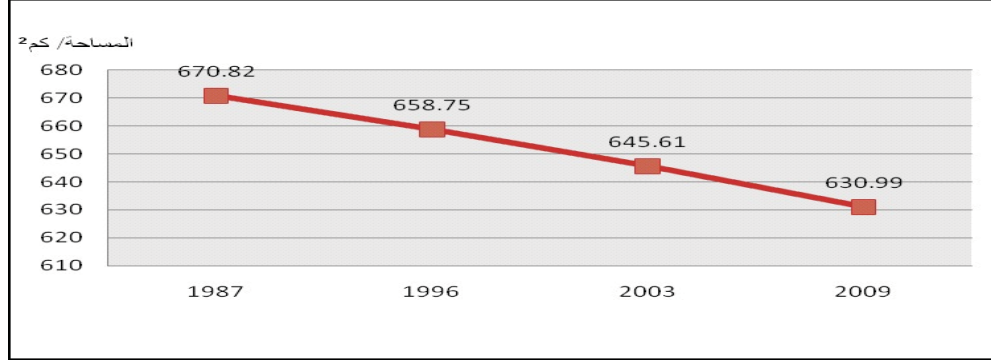
$MNDWI = (ETM\ B2 - ETM\ B5) / (ETM\ B2 + ETM\ B5)$
من خلال المعادلة السابقة استخلصت المياه باستخدام
الطيف الأخضر والطيف تحت الأحمر المتوسط، لاستخلاص
مساحة المياه بدون اختلاطها بالأنماط الأخرى، وبالتالي
حساب مساحتها بدقة.

3- حساب مساحة البحر الميت باستخدام مؤشر الاختلاف
المائي العاير المعدل (MNDWI):

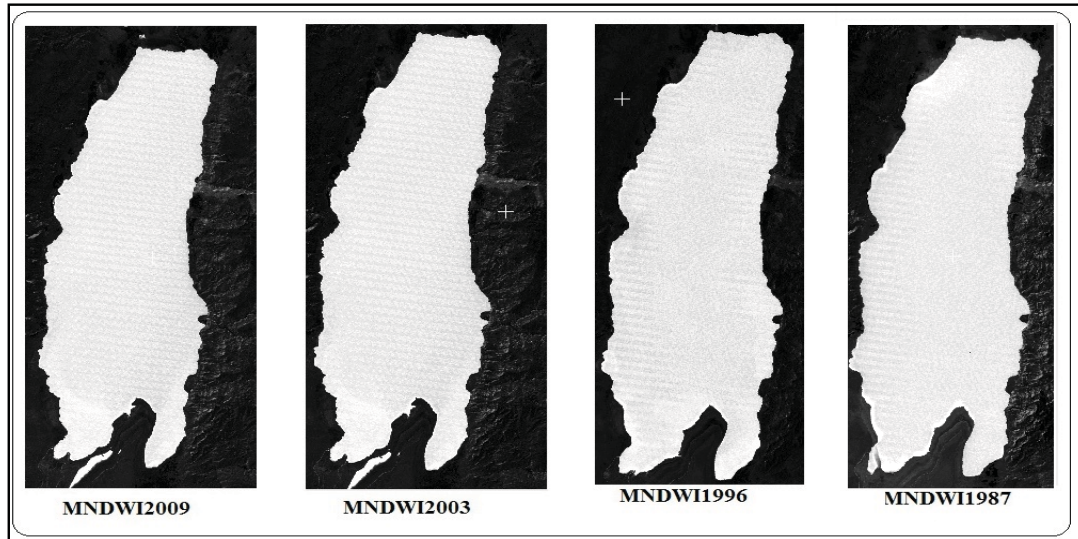
ومعادلتها تكون كمايلي:

$$MNDWI = (Green - MIR) / (Green + MIR) \quad (Xu, 2006)$$

وتمثل في Landsat ETM+



الشكل (16) قيم المساحات المحسوبة باستخدام (MNDWI)

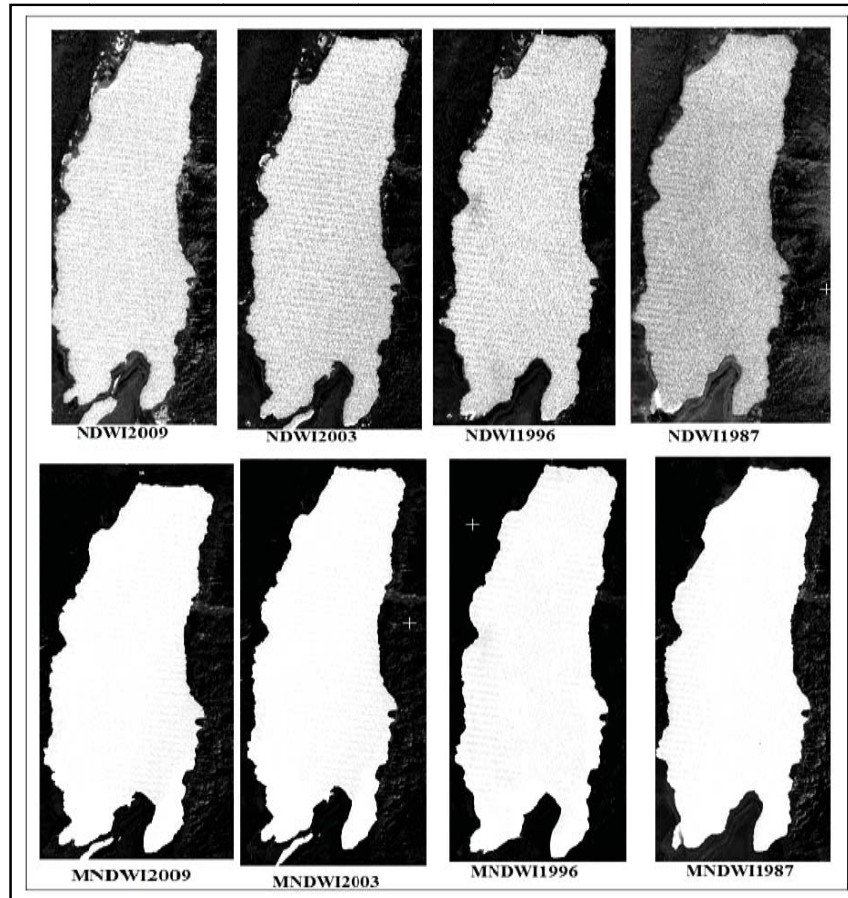


الشكل (17) الخرائط المستخلصة باستخدام طريقة (MNDWI)

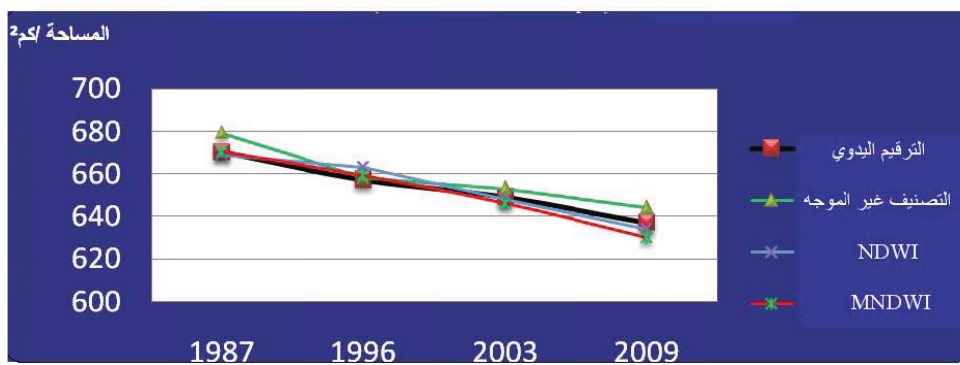
مساحات المسطحات المائية ومعرفة مقدار التغير عليها، وقد
استخدم في دراسة (Xu, 2006) حيث توصلت الدراسة الى مقدار
دقة كلية عالية في استخلاص المياه تصل الى 99.85%
باستخدام هذا المؤشر ومقارنة بمؤشر (NDWI) وصلت الدقة
فيه حوالي 77.25% و الفرق الدقة يوضح أفضلية مؤشر
(MNDWI) أما في هذه الدراسة فإن فرق التفسير البصري هو
الذي حدد أفضل الطرق التي يمكن استخدامها لقياس مساحة
البحر الميت كما في الشكل (18) الذي يوضح الفرق بين

الشكلان (16 و 17) يوضحان قيم المساحات المحسوبة
والخرائط المستخلصة بواسطة هذا المؤشر، والتي يتضح فيها
مدى الدقة في تحديد منطقة الساحل من خلال التفسير البصري،
وبالتالي سهولة حساب مساحات البحر الميت بدقة، ما يميز هذه
الطريقة إمكانية إستخلاص المياه دون اختلاطها بالأنماط
الأخرى، مما يمكننا من حساب المساحات بدقة أعلى، لذا
اعتمدت الدراسة على هذا المؤشر لحساب مساحة البحر الميت
وإعتباره الطريقة الأفضل التي يمكن استخدامها في حساب

الخرائط المستخلصة باستخدام المؤشرين (NDWI و MNDWI).



الشكل (18) يوضح فرق استخلاص مساحة البحر الميت باستخدام (NDWI و MNDWI)



الشكل (19) مقارنة نتائج الطرائق الأربع المتبعة في حساب التغيرات في مساحة البحر الميت

لاحظنا مدى الدقة المرتبطة بقدرة المحلل على رسم المنطقة بدقة عالية بحيث تحول دون فقدان أي من البيانات، وبالمقابل تحتاج الى جهد ووقت حتى يتمكن المحلل من تأكيد دقة

وبمقارنة نتائج هذه الطرق نلاحظ مدى تقارب القيم المحسوبة لمساحة البحر الميت، ولكن في كل طريقة كانت مشكلة تداخل المياه مع نمط آخر، ففي طريقة الترقيم اليدوي

لحساب التغير في مساحة البحر الميت.

توصلت الدراسة الى ما يأتي:

تناولت الدراسة عدداً من الطرائق لحساب مساحة البحر الميت وأية مسطحات مائية أخرى وهي: طريقة التقييم اليدوي، وطريقة التصنيف غير الموجه، وطريقة مؤشر الاختلاف المائي المعايير (NDWI)، ومؤشر الاختلاف المائي المعايير المعدل (MNDWI). ولكل طريقة مميزات التي تختلف فيها عن غيرها وبالتالي تؤثر في دقة نتائجها بحيث يصبح لكل طريقة ميزة تطبيقها على ظاهرة معينة. وقد وجد أن أفضل الطرائق لحساب مساحة البحر الميت الحقيقية باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد وبطريقة سهلة وميسرة وأكثر دقة هي طريقة مؤشر الاختلاف المائي المعايير المعدل (MNDWI) وذلك باستخدام نسبة الانعكاسات الطيفية عند الطول الموجي الأخضر والطول الموجي الأحمر المتوسط، وهذه الطريقة قابلة للتحديث والتطوير مع الزمن.

وبناء على ما سبق تتناقصت مساحة البحر الميت من عام 1987 وحتى عام 2009 حوالي 40 كم²، وتبين ان التناقص يتزايد من سنة لآخرى، وبالتالي زيادة انخفاض مستوى مياهه من 405 أمتار تحت مستوى سطح البحر عام 1987 الى 423 متراً تحت مستوى سطح البحر عام 2009 أي حوالي 18 متراً مقدار الهبوط في مستوى مياهه وزيادة مساحة منطقة التبخر بنسبة 0.53 مما كانت عليه عام 1987 ويعود ذلك لأسباب سياسية وبشرية أكثر منها أسباباً طبيعية.

النتائج، في حين يلاحظ في طريقة التصنيف غير الموجه تداخلاً بين منطقة التبخر ومياه البحر الميت حيث اعطيت مناطق التبخر القريبة من البحر قيمة مقارنة لقيمة المياه مما تعذر اعتمادها وبالتالي استخدم مؤشر (NDWI) الذي يمكن من خلاله استخلاص المياه لكن الدقة فيه أيضاً محدودة، لوجود بعض مناطق المياه المتناثرة في اطراف المنطقة فتحسب من ضمن مياه البحر الميت، أما مؤشر (MNDWI) استخلص أكبر نسبة إنعكاس للأشعة على المياه. من خلال هذه النتائج تعتبر هذه الطريقة الأفضل ويمكن الإعتماد عليها كطريقة سهلة وميسرة لحساب المساحات وصلت الى دقة عالية باستخلاص المياه وحسابها والشكل (19) والذي يوضح نتائج مساحة البحر الميت المحسوبة بالطرق الأربع لفترات الدراسة المستخدمة، حيث بلغت مساحة البحر الميت المحسوبة عام 1987 حوالي 670 كم² أما في عام 1996 بلغت حوالي 658.75 كم²، ويتضح مدى التناقص في الفترة بين العامين 1987 و 1996 بحدود 12 كم² وفي عام 2003 بلغت مساحة البحر الميت 645.61 كم² وفي عام 2009 بلغت مساحته حوالي 630.99 كم²، أما بالنسبة لمقدار التناقص بين عامي 1987 و 2009 بلغ حوالي 40 كم².

النتائج

أسهم التطوير السريع في تقنيات الاستشعار عن بعد في تطوير طرائق مختلفة لقياس ومراقبة التغيرات في مساحة المسطحات المائية مثل البحر الميت. وبعد تطبيق أربع طرائق

المصادر والمراجع

- Energy and Sustainable Development, *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 4 (1): 211-216.
- Alesheikh, A.; Ghorbanali, A. and Nouri, N. 2007. Coastline change detection using remote sensing, *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 4 (1): 61-66.
- Alhanbali, A.; Al-Bilbisi, H. and Kondoh, A. 2006. Monitoring the Dead Sea Area Changes Using Remote Sensing and GIS, *Journal of Japan Society of Hydrology and Water Resources*, 19 (6): 483-490.
- Bender, F. 1974. *Geology of Jordan*, Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- Closson, D.; Abou Karaki, N.; Klinger, Y. and Hussein, M. 2005. Subsidence and Sinkhole Hazard Assessment in the Southern Dead Sea Area, Jordan, *Pure and Applied Geophysics*, 162: 221-248.

- دائرة الأرصاد الجوية، 2010، بيانات مناخية نشرات غير منشورة، الأردن.
- شركة البوتاس العربية، 2010، بيانات غير منشورة، الأردن.
- عابد، عبد القادر، 1985، جيولوجية البحر الميت نشأته ومياهه وأملاحه وقناة البحرين، الطبعة الأولى، عمان، دار الأرقم.
- وزارة البيئة، 2008، التقرير الأول لحالة البيئة في المملكة الأردنية الهاشمية، عمان.
- Abu Ghazleh, SH.; Hartmann, J.; and Kempe, S. 2009. Water input requirements of the rapidly shrinking Dead Sea, *Springer, Naturwissenschaften*, 96: 637-643.
- Abu Ghazleh, SH.; Hartmann, J. and Kempe, S. 2010. Rapidly Shrinking Dead Sea Urgently Needs Infusion of 0.9 km³/ a from Planned Red-Sea Channel: Implication for Renewable

- Resources Research*, 44, w12442, doi:10. 1029\ 2007wr 006752.
- Qudah, O. Harahsheh, H. 1994. Recession of Dead Sea through the Satellite Images, *Royal Jordanian Geographic Center*, Amman-Jordan.
- Salameh, E. and El-Naser, H. 2000. Changes in the Dead Sea Level and Their Impacts on the Surrounding Groundwater Bodies, *Acta Hydrochim. Hydrobiol*, 28: 24-33.
- Xu, H. 2006. Modification of Normalized Difference Water Index (MNDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 27 (14): 3025–3033.
- Curran, P.J. 1985. Principles of Remote Sensing, Longman, London.
- GAO, B.C. 1996. NDWI- a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, *Remote Sensing of Environment*, 58: 257-266.
- Hajahjeh, O. and Khirfan, M. 2004. Dead Sea Recession and its Impacts on the Surrounding Area Dead Sea Recession and its Impacts on the Surrounding Area. INCO-DC, *International Cooperation with Developing Countries*, Contract number: ICA3-CT-2000 30008.
- Kiro, Y. Yeshieli, Y. 2006. Time Response of The Water Table and Saltwater Transition Zone to a Base Level Drop, *Water*

Monitoring and Measuring the Changes of the Dead Sea Area Using Remote Sensing and GIS Applications

*Haifa A. Al-Mohammad, Husam H. Al-Bilbisi, Hasan Y. Abu Sammour**

ABSTRACT

The aim of this study was to apply and evaluate four different methods in order to monitor and measure the changes of the Dead Sea area using GIS and remote sensing technique as well as multi-spectral images acquired in 1987, 1996, 2003, and 2009 by Landsat ETM+ sensor. The four methods are (Manual Digitizing, Unsupervised Classification, NDWI, and MNDWI); the results show that all these method can be used to extract the water body area. The results revealed that the best method which can be used, to measure the changes in water bodies, is The Modified Normalized Differences Water Index (MNDWI) with Green and MIR bands, where the achieved accuracy is better than the other methods. The results show that the Dead Sea area decreased about 40 km² between 1987 and 2009.

Keywords: Dead Sea Area, Landsat ETM+, Manual Digitizing (GIS), Unsupervised Classification, NDWI, MNDWI.

* Department of Geografic, King Abdelaziz University, Saudi Arabia; and The University of Jordan, Amman. Received on 28/5/2012 and Accepted for Publication on 12/6/2013.