https://doi.org/10.5281/zenodo.21983649

التغيرات المورفومترية لمسطح مياه بحيرة الملفا المالحة بمنخفض الجغبوب، شرق ليبيا

أ. د. محمود الصديق التواتي

قسم الجغرافيا/ كلية الآداب/ جامعة عمر المختار – ليبيا

mahmud.altawti@omu.edu.ly

أ. فرج سليمان مازق

قسم الجغرافيا/ كلية الآداب/ جامعة درنة، فرع القبة– ليبيا

farag000mazq@gmail.com

الملخص:

شهدت بحيرة الملفا الواقعة في منخفض الجغبوب شرق ليبيا تراجعاً ملحوظاً في منسوب مياهها في السنوات الأخيرة؛ نتيجة لتأثرها بالعوامل المناخية والجفاف وارتفاع معدلات التبخر، مما أدى إلى تقلص مساحتها وتدهور نظامها البيئي. وتهدف هذه الدراسة إلى تحليل الخصائص الطبيعية والمورفومترية والفيزوكيميائية لبحيرة الملفا، والكشف عن مدى تأثير العوامل المناخية والهيدرولوجية في تغير مساحة البحيرة ومنسوب مياهها في الفترة (2009–2022)، بغية تحديد أسباب هبوط المنسوب ووضع أسس علمية للمعالجة والحفاظ على مواردها المائية. واعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي باستخدام بيانات الاستشعار عن بُعد وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS 10.3) لتحليل صور القمر الصناعي الأوروبي Sentinel-2، مع الاستعانة بمؤشر حساسية الماء (NDWI) من منصة EOS LandViewer لرصد التغيرات الموسمية في مساحة البحيرة في فصلي الشتاء والخريف. كما تمّ إجراء قياسات ميدانية شملت تحليل العينات المائية وتحديد تصريف العين الشمالية المغذية للبحيرة. وأظهرت النتائج أنّ بحيرة الملفا ذات شكل بيضاوي وشواطئ متعرجة، تبلغ مساحتها الحالية نحو 0.85 كم^2 بمتوسط عمق 2 متر، بينما بلغ تصريف العين الشمالية 70 لتر/ثا. كما تبيّن أنّ البحيرة تقلّصت بنسبة 6% في فترة الدراسة، إذ بلغت أكبر مساحة 0.88 كم^2 في فبراير 2009، وأقل مساحة 0.74 كم^2 في سبتمبر 2019، مع هبوط منسوب المياه بمقدار 45 سم في أكتوبر 2019. وتشير التحاليل إلى أنّ ارتفاع درجات الحرارة وشدة التبخر في فصلي الصيف والخريف يُعدّان من أهم العوامل المؤثرة في تراجع البحيرة، بينما تزداد مساحتها في فصل الشتاء نتيجة انخفاض التبخر النسبي. وتؤكد الدراسة على ضرورة تبني برامج مراقبة دورية للبحيرة باستخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد، والعمل على إدارة الموارد المائية في المنخفض بصورة مستدامة للحفاظ على النظام البيئي الفريد لمنطقة الجغبوب.

الكلمات المفتاحية: بحيرة الملفا، منخفض الجغبوب، مساحة البحيرة، انخفاض منسوب البحيرة، الخصائص الطبوغرافية والجيولوجية.

–الجزء الأول من بحوث المؤتمر الجغرافي الثامن عشر والذي عقد بجامعة الجفرة بتاريخ 17–18– ديسمبر 2025 ، بعنوان (**البيئات الجغرافية الليبية الجافة وشبه الجافة: الواقع – الآفاق – التحديات** ، (**2026.08.15** م) **https://jlgs.ly/ojs**.

Morphometric changes in the water surface of Lake Al-Malfa, a salt lake in the Jaghbub Depression, eastern Libya

Mahmoud Al-Siddiq Al-Tawti
Department of Geography, Faculty of Arts
Omar Al-Mukhtar University – Libya.
mahmud.altawti@omu.edu.ly

Faraj Suleiman Mazg
Department of Geography, Faculty of Arts
University of Derna, Al-Qubbah Branch– Libya.
farag000mazq@gmail.com

Abstract

Al-Malfa Lake, located in the Jaghbub Depression in eastern Libya, has experienced a significant decline in its water level in recent years due to climatic influences, high evaporation rates, and prolonged drought conditions, leading to a noticeable reduction in its surface area and the degradation of its ecological system.

This study aims to analyze the natural, morphometric, and physicochemical characteristics of Al-Malfa Lake and to assess the impact of climatic and hydrological factors on its surface area and water level changes during the period 2009–2022, in order to determine the causes of the lake's decline and propose sustainable management approaches. The research adopted a descriptive and analytical methodology, utilizing remote sensing and GIS techniques (ArcGIS 10.3) to analyze Sentinel-2 satellite imagery, along with the Normalized Difference Water Index (NDWI) derived from the EOS LandViewer platform to monitor seasonal variations in the lake's extent during winter and autumn. Field measurements were also conducted to analyze water samples and estimate the discharge of the northern spring feeding the lake.The results revealed that Al-Malfa Lake has an elliptical shape with irregular shorelines, covering an average area of 0.85 km² and an average depth of about 2 meters. The discharge of the northern spring was estimated at 70 liters per second. The lake's surface area decreased by about 6% during the study period, with the largest extent (0.88 km²) recorded in February 2009, and the smallest (0.74 km²) in September 2019, accompanied by a water level drop of 45 cm in October 2019. The findings indicate that high temperatures and intense evaporation during summer and early autumn are the main factors causing the lake's shrinkage, whereas its expansion occurs during the cooler winter months.The study highlights the importance of continuous monitoring of Al-Malfa Lake using remote sensing technologies and emphasizes the need for sustainable water resource management in the Jaghbub Depression to preserve its unique environmental system

***Keywords*:** Lake Malfa, Jaghbub Depression, Lake Area, Lake Level Decline, Topographic and Geological Characteristics.

https://doi.org/10.5281/zenodo.21983649

مقدمة:

تُعرّف البحيرات بأنّها أحواض مائية واقعة ضمن اليابسة، ويدرس علم البحيرات limnology توزيع البحيرات على سطح الأرض ونظمها المائية والحرارية، وكذلك خواص مياهها الكيميائية ثم يدرس وسطها الأحيائي العضوي وأشكالها وتطورها المورفولوجي، وتتكون البحيرات نتيجة الأمطار أي الجريان السطحي النهرية أو الباطنية العيون والينابيع، وتتحكم فيها العوامل المناخية، ومن أنواع البحيرات: البحيرات النهرية، والبحيرات الوادي، والبحيرات الساحلية، والبحيرات التكتونية، والبحيرات البركانية، والبحيرات الكارستية وغيرها، ومن ناحية خصائصها الكيميائية حسب درجة الملوحة فهناك نوعان بحيرات عذبة ومالحة، والمالحة التي تحوي على أملاح ما تزيد 2.7 غ/لتر (آغا، 1977)، ويمكن تمييز عدة أنواع من البحيرات المعدنية وذلك حسب نوعية الأملاح المنحلة فيها:

1. البحيرات المالحة (الكلورية): تسيطر في مياه هذه البحيرات الأملاح الكلورية المختلفة المنحلة (البوتاسيوم، الكالسيوم، الماغنسيوم، الصوديوم) وتكثر في السهول الجافة والصحاري.
2. البحيرات المرة – المالحة (سولفاتية أو الكبريتية): تحوي في مياهها محاليل الكبريت مثل (الماغنسيوم، الصوديوم، البوتاسيوم، الكالسيوم، الكبريت)، وتصادف في المناطق الصحراوية بشكل واسع.
3. البحيرات الغنية بمركبات الصودا والحاوية على كميات كبيرة من (الصوديوم، والكالسيوم) بالإضافة إلى الأملاح تصادف في ماء البحيرات العديد من الغازات المنحلة، من أهمها غاز الأكسجين O2، وغاز الفحم CO2، ثم كبريت الهيدروجين H2S، ويؤثر وجود هذه الغازات على العالم العضوي في البحيرات بشكل محسوس. وترجع أهمية البحيرات المالحة في منخفض الجغبوب كونها كبيرة المساحة، وتشمل مجموعة من البحيرات أشهرها بحيرة الملفا والعراشية والفريدغة وعين بوزيد، ومعظم هذه البحيرات صغيرة عدا بحيرة العراشية والملفا، وعلى الرغم من وجود فواصل صخرية بين هذه البحيرات إلّا أنّ هناك اتصال هيدرولوجي فيما بينها، كما أنّ تذبذب سطح تلك البحيرات مرتبط بعضه ببعض، يصل مجموع مساحة المسطحات المائية في منخفض الجغبوب حوالي 13 كم^2، وفي هذه البحث سوف نتناول العوامل الطبيعية المناخ والغطاء النباتي والخصائص الشكلية للبحيرة والخصائص الفيزوكيميائية، مع عرض مراحل تغير في اتساع وتقلص البحيرة في 4

مواسم 2009–2014– 2019–2022، لمعرفة أسباب هبوط منسوب البحيرة وكيفية المعالجة بالطرق المتاحة.

مشكلة الدراسة:

تعاني بحيرة الملفا – إحدى أهم البحيرات المالحة في منخفض الجغبوب– من هبوط حاد في منسوب مياهها وتقلص واضح في مساحتها السطحية في العقود الأخيرة، خاصة في السنوات (2009–2014–2019–2022). ويُعزى ذلك إلى مجموعة من العوامل الطبيعية والبشرية، أبرزها قلة التغذية المائية من العيون المالحة وتراجع تصريفها إلى نحو (74 لتر/ثا)، إلى جانب الظروف المناخية الجافة، وشدة التبخر، وارتفاع درجات الحرارة، وانخفاض كمية الأمطار السنوية إلى نحو (24 ملم)، فضلاً عن الخصائص الجيومورفولوجية للمنخفض التي تحد من تجدد المياه. ومن ثَمّ تتمثّل مشكلة البحث في التساؤل الرئيس الآتي:

– ما العوامل الطبيعية والبيئية المؤثرة في هبوط منسوب مياه بحيرة الملفا ؟ وكيف يمكن الحد من تدهورها باستخدام المعالجات المتاحة بيئياً وهيدرولوجياً ؟

أهمية البحث:

تنبع أهمية هذا البحث من النقاط الآتية:

بيئية وهيدرولوجية: تمثّل بحيرة الملفا نظاماً بيئياً فريداً في شمال شرق الصحراء الكبرى، إذ تضم تنوعاً أحيائياً من النباتات المائية والأسماك والطيور، وتُعدّ أنموذجاً مهماً لفهم سلوك البحيرات المالحة المغلقة في البيئات الجافة.

علمية وبحثية: يساهم البحث في تحديد الخصائص الطبيعية والفيزوكيميائية والمورفومترية للبحيرة، ما يوفر قاعدة بيانات علمية دقيقة يمكن الاستفادة منها في دراسات الجغرافيا الطبيعية ونظم المعلومات الجغرافية.

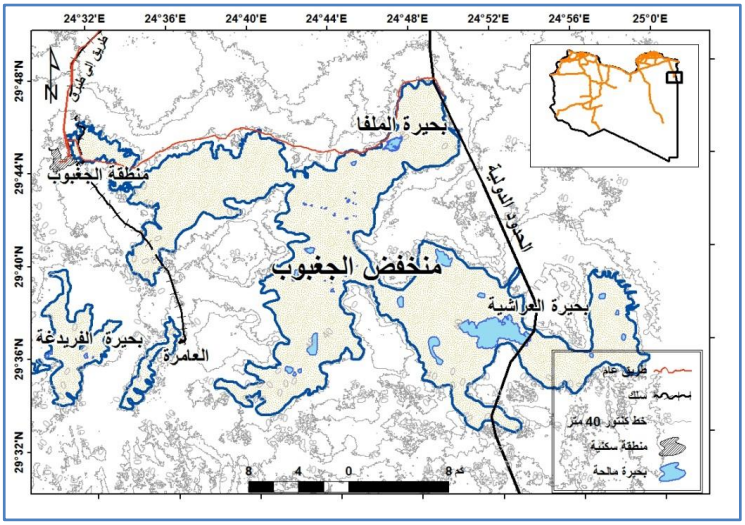
تنموية واقتصادية: يمكن استثمار مياه البحيرة وعيونها المالحة في مشروعات الاستزراع السمكي الملحي، وفي استخراج الأملاح والمعادن المفيدة اقتصادياً.

إدارية وتخطيطية: تسهم النتائج في وضع خطط لإدارة الموارد المائية والبيئية في منخفض الجغبوب، وخاصة لحماية البحيرات من الجفاف وفقدان التنوع البيولوجي.

الخصائص الطبيعية لمنطقة الدراسة:

منطقة الدراسة: يقع منخفض الجغبوب في الجزء الشرقي من ليبيا متاخماً للحدود المصرية الليبية، وهو أحد المنخفضات في الصحراء الكبرى ويحده منخفض سيوه ومنخفض القطارة من جهة الشرق، أمّا من جهة الغرب فيحده سهل برقة ليضم منخفضات جالو وأوجلة. وتمتد منطقة الدراسة بين دائرتي عرض ´´25 ´28 °29 و´´00 ´00 °30 شمالاً وخطي طول ´´30 ´20 °24 و´´00 ´00 °25 شرقاً، بمساحة 3876.5 كم^2، أمّا بحيرة الملفا فتقع في الجزء الشمال الغربي من المنخفض شرق منطقة الجغبوب حوالي 30 كم، أي عند تقاطع دائرة عرض ´´50 ´44 °29 وخط طول´´06 ´47 °24. ويضم المنخفض تجمع سكانياً يقدر عدد السكان نحو 5000 نسمة، والمنطقة تبعد عن مدينة طبرق حوالي 280 كم شمالاً، وعن ساحل البحر المتوسط عند خليج السلوم حوالي 200 كم.

الشكل (1): الموقع الجغرافي والفلكي لمنخفض الجغبوب في ليبيا.



المصدر: إعداد الباحثيْن، 2023، باستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية Arcmap 10.3 والصور الفضائية.

ويتألف منخفض الجغبوب من مجموعة من الأحواض المتفرقة والصغيرة تسمى (الحطايا) تفصلها بعض البروزات الصخرية والتلال المتقطعة (القور)، كما تتصل الأحواض ببعضها بممرات مختلفة الأتساع (طريح، 1996)، وتشرف على المنخفض من الناحية الشمالية والغربية والشرقية حافة متدرجة شديدة الانحدار تتكون من طبقات متعاقبة من صخور الحجر الجيري، وتقطع عدداً

من الأودية القصيرة، ويحد المنخفض من ناحية الجنوب حافة قليلة الارتفاع وغطاء من الكثبان الرملية لبحر الرمال العظيم وبعض التكوينات الصخرية التي تظهر على هيئة تلال منعزلة، وتنتشر على السطح المنخفض بعض البحيرات الضحلة والسبخات. (الهرام، 1995)، وتتكون التربة في المنخفض من مواد طينية رملية ناعمة تختلط به نسبة كبيرة من الأملاح، وتظهر البحيرات على أطراف مختلفة من المنخفض وهي بحيرات مالحة وأشهرها بحيرة الملفا وبحيرة العراشية. (طريح، 1996).

المناخ:

يقع منخفض الجغبوب العروض الشمالية من الصحراء الكبرى، ويبيّن الجدول (1) ارتفاع درجات الحرارة العظمى طول العام يصل متوسط أشهر الشتاء (ديسمبر– يناير– فبراير) إلى 24.2 م، كما تكون درجات الحرارة مرتفعة في متوسط أشهر الصيف (يونيو– يوليو– أغسطس) فتصل إلى 42 م، كذلك تنخفض درجة الحرارة الصغرى في أشهر الشتاء فيكون في المتوسط 1.5 م، لذلك يرتفع المدى الحراري طول العام، فيكون المتوسط 25.6 م، وإنْ كان يرتفع في أشهر الصيف عنه في أشهر الشتاء، مما يدل على شدة القارية في الصيف للارتفاع الشديد لدرجة الحرارة في النهار، كما يرجع إلى ارتفاع درجة الحرارة إلى ارتفاع نسبة السطوع الشمسي حيث يصل المتوسط إلى 9 ساعات؛ ونتيجة لارتفاع درجة الحرارة تكون كمية البخر أعلى أشهر الصيف والربيع تبلغ 62.5 ملم تمثّل 30 % و 35.6 % على التوالي من إجمالي كمية التبخر السنوي، بينما تبلغ أشهر الشتاء وأشهر الخريف 12.8 ملم و20.3 ملم على التوالي، وتمثّل نسبة 13.4 % و20.9 % على التوالي، فينخفض متوسط الرطوبة النسبية خاصة في أشهر الصيف ولا تزيد في المتوسط السنوي عن 48 %، هذا بالرغم من وجود المسطحات المائية المتمثّلة في البحيرات منها بحيرة الملفا والمنتشرة في أرضية منخفض الجغبوب، غير أنّ تأثيرها محدود نظراً لضحولة مياهها وتبعثرها داخل المنخفض، ويلاحظ الانخفاض الشديد في كمية الأمطار السنوية 24 ملم، والتي تتركز في أشهر الشتاء، وتنعدم تماماً في أشهر الصيف.

https://doi.org/10.5281/zenodo.21983649

الجدول (1) بعض عناصر المناخ في منطقة الجغبوب الفترة 1985 – 2000

أشهر السنة	متوسط درجة الحرارة (° م)			كمية الأمطار (ملم)	متوسط السطوع	متوسط كمية التبخر (ملم)	متوسط سرعة الرياح بالعقدة	الرطوبة النسبية (%)
	القصوى	الصغرى	المدى					
يناير	23	1.1	21.9	5	7.5	3.9	4.7	60.6
فبراير	27.0	2.2	24.8	3.4	8.3	5.3	5.8	55.0
مارس	31.6	4.3	27.3	6.3	8.8	6.9	6.6	47.8
أبريل	40.3	6.8	33.5	0.2	9.8	9.9	6.9	40.2
مايو	41.6	11.2	30.4	0.3	10.6	11.8	6.5	36.6
يونيو	44.1	15.7	28.4	0	11.1	12.2	6.3	37
يوليو	42.9	18	24.9	0	12.2	11.3	6.3	40.9
أغسطس	41.1	19.1	22	0	11.9	10.4	5.9	42.6
سبتمبر	40.5	16.8	23.7	0.5	10.7	8.8	5.1	46.9
أكتوبر	36	10.9	25.1	0.2	9.9	6.7	4.4	51.7
نوفمبر	30	5.6	24.4	1.2	8.7	4.8	4	57.7
ديسمبر	24.6	1.3	23.3	7.2	7.4	3.6	4	61.7
المجموع	**423**	**113**	**310.**	**24.3**	**116.9**	**95.6**	**66.5**	**578.7**
المتوسط	35.2	9.4	25.8	2.0	9.7	8.0	5.5	48.2

المصدر: مصلحة الأرصاد الجوية، محطة الجغبوب، طرابلس.

النبات الطبيعي:

يمكن تقسيم النبات الطبيعي بواحة الجغبوب إلى الآتي:

الأشجار المستوطنة: أدخلت أشجار الحور إلى الواحة أثناء الحكم الروماني 331م عبر واحة سيوا لاستخدامها مصدات للرياح ولتثبيت الكثبان الرملية، وتأقلمت هذه الفصيلة وهي موجودة بأعداد قلية في حطية الفريدغة.

الغطاء العشبي: ينقسم الغطاء النباتي البري إلى ثلاث مجاميع تختلف تبعاً لطبيعة الموائل التي تنمو بها، وتنمو اثنتان من هذه المجاميع في بيئة مائية ضحلة أو مستنقعية. وتنمو المجموعة الثالثة في بيئة رملية. وعلى جوانب البحيرات والعيون تنمو نباتات الحلفا والديس وشجيرات السبط والمليح والرطريط، وأشجار الطرفاء. (أفندي، 1998، ص274)

وفي التكوينات الرملية تظهر الحلفا والسبط والعقول والقطف والعوسج، ويساعد انتعاش الغطاء النباتي الطبيعي على تثبيت الكثبان على أساس ارتفاع نسبة الرطوبة، ونجد كثافة الغطاء النباتي في بعض الحطايا التي تطورت نتيجة التعاقب الحيوي تغذيها الرياح من المعادن الطين والرمل كما هو الحال في حطية الفريدغة.

الخصائص الطبوغرافية والجيومورفولوجية لمنخفض الجغبوب:

يأخذ منخفض الجغبوب شكلاً متطاولاً من الشمال الغرب إلى جنوب الشرق بطول يقدر ب60 كم من أعلى وادي الجغبوب إلى حطية القيقب في الأراضي المصرية، وبعرض 30 كم من حطية الملفا شمال شرق المنخفض إلى حطية العامرة في الجنوب، وتقدّر مساحته نحو 2000 كم مربع، أعلى نقطة عند رأس الحافة المشرفة على المنخفض تقدّر بحوالي 120 متراً من الجهة الشمالية والشرقية من المنخفض، وأدنى نقطة في قاع المنخفض تقع في قاع بحيرة العراشية تقدّر بنحو حوالي 25 متراً تحت منسوب سحط البحر، ومنسوب العام لقاع المنخفض عند منسوب صفر أو أقل ببعض أمتار، المنخفض بشكل ينقسم إلى ثلاث أقسام المنخفض الأعلى عن المنطقة والمنخفض الأوسط بين حطية الملفا إلى حطية العامرة والمنخفض الأسفل عند حطية العراشية (التواتي، 2020). ويضم المنخفض مجموعة من الظواهر الجيومورفولوجية من أهمها ما يأتي:

أ. **القور والتلال المنعزلة:** تنتشر القور في منخفض الجغبوب حسب الشكل والمنسوب حيث تحيط بمنطقة الجغبوب مجموعة من القور أهمها قارة الماجوري، وهناك قارة الحمرة وقارة الصالحين بالقرب من عين بوزيد وبها آثار ترجع عصور تاريخية مختلفة، وهناك قور تأخذ شكلاً متطاولاً كما في قارة السفينة، وأخرى على شكل المخروطي كما في حطية البرج طريق العراشية، وأخرى على شكل الضفدع في طريق بو سلامة، وغيرها.

ب. **السبخات:** هي أراضٍ سبخية تتميز بسطح خشن يصعب المشي عليه، وتُعدّ ذات مظهر أنموذجاً لظاهرة الخاصية الشعرية وتركز الملح والطين في الأفق السطحي، وتبرز الظاهرة في المناسيب المنخفضة في المنخفض من أهمها: حطية الجغبوب، وحطية الفريدغة، وحطية العامرة، وحطية عين بوريد، وحطية العراشية.

ج. **الحطايا:** مرحلة متطورة في أرض السبخية وبها نظام بيئي نباتي يتميز عمّا حوله، والأرضية رملية وأحياناً سيليكتية حمراء تنتشر نباتات السبط ثم العقول وأشجار النخيل والأثل (الطرفاء) والقطف والعوسج، كما هو الحال في حطية الغماري، وحطية الفريدغة، وحطية الحلفا، وحطية العامرة.

د. **البحيرات:** تشكّل بيئة بحيرية تزخر بتنوع حيوي من الأحياء البحرية المتمثّلة في الأسماك صغير وأسماك مستزرعة من البلطي والبوري وغيرها، وعادة ما توجد عين تغذي تلك البحيرة تحيط بها نبات الحجنة.

https://doi.org/10.5281/zenodo.21983649

هـ. النباك أو النبكة Nebka: رواسب أو أكوام تراكمت بفعل وجود ما جراء عائق يتعرض مسار الرياح المحملة بالرمال، أي تلك الأكوام التي تتكون بطريقة مباشرة خلف عائق أو حماه. (جورج، 2002).

و. المضلعات الملحية: أشكال هندسية تختلف في المساحة منها الرباعي والخماسي والسداسي، ومنها الصغير ومنها الكبير، وتتباين في خواصها ذات ارتفاع قليل والبعض الآخر عالٍ وملحوظ، وتتغير ألونها بين البني والأبيض تبعاً لنوع المعادن المحتوية عليها بين الجبس والهاليت (ملح الطعام)، وهي غير منتظمة وكثيرة الانحناءات وتتصدع حوافها وقت الجفاف وعند ارتفاع المستوى الملحي. (مظهر وآخرون، 2018، ص843).

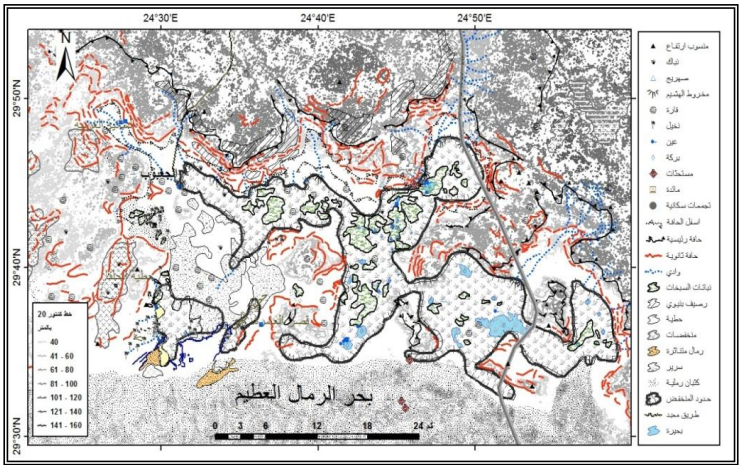
ز. الصحاف الملحية: إحدى الأشكال المرتبطة بالسبخات، تسمى محلياً بالفردغ، وتتكون نتيجة استجابة الأسطح الملحية لعمليات الانكماش بفعل الظروف المناخية، وبالأخص الإشعاع الشمسي فتظهر التشققات على سطح السبخة وترتفع حوافها الجانبية وتأخذ الصحاف الملحية أشكالاً غير منتظمة، وتمثّل تشققات مرتفعة كما تبدو على شكل شرائح أو طبقات من صغيرة إلى سميكة بعض الشيء من الأملاح الممزوجة بالتربة. (مظهر وآخرون، 2018، ص843).

ح. أكمات الملح: إحدى الأشكال المورفولوجية الثانوية التي تتشكّل على أسطح قيعان المياه الضحلة عند شطوط البحيرات المالحة، وهي تكوين أكمات الملح من عمليات النقل المياه الأودية في فترات سقوط الأمطار الرواسب في القاع ومع حركة المياه تتكون الرغويات وعناصر من البيكربونات ومواد عضوية وتترسب في الشطوط الضحلة ومع الزمن تتكون أكمات الناتجة عن تبخر.

ي. البحيرات المالحة: مسطحات مائية مياهها عن منسوب سطح البحر تستمد مياهها التسرب المياه الجوفية نحو الأراضي المنخفضة، (تراب، الموسوعة الجيومورفولوجية)، مياهها مالحة تصل ضعف مياه البحر في بحيرة الملفا وقريبة من مياه البحر في بحيرة الفريدغة، وينتشر في منخفض الجغبوب عدد 56 بحيرة وبركة مختلفة في المساحات أشهراها بحيرة الملفا والعراشية والفريدغة.

ك. الجزر: تتكون نتيجة تأكل الشاطئ وانحسار الأجزاء القريبة من الشاطئ، كما يؤدي انخفاض مستوى سطح البحيرة إلى بروز المناطق المرتفعة في أرضية أو قاع البحيرة.

الشكل (2) الخارطة الجيومورفولوجية لمنخفض الجغبوب.



المصدر: (التواتي، 2021).

الصورة (1) أكمات الملح في بحيرة الملفا، 19 يوليو 2015.

المصدر: الدراسة الميدانية 19 يوليو 2015م.

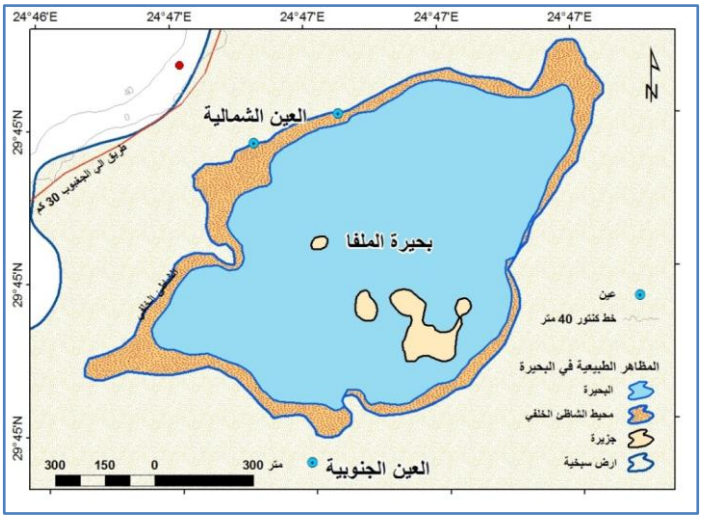
الخصائص المورفومترية لبحيرة الملفا:

تأخذ البحيرة شكلاً بيضاوياً من الشرق إلى الغرب بطول محوري من الشرق الى الغرب 3.9 كم ومتوسط عرض حوالي 600 متر فهي تمتد بمساحة حوالي 0.75 كم^2، وللبحيرة شاطئ تكوّن من عمليات التمدد والانحسار، وتعرية الأمواج التي عادة ما تكون هادئة وتزاد حدة في فصل

https://doi.org/10.5281/zenodo.21983649

الشتاء، ومساحة الشاطئ المتأثر بتلك العمليات 0.2 كم^2، بمحيط حوالي 5 كم، مياه البحيرة ضحلة في معظم أجزائها وأعمق نقطة في وسط الوسط البحيرة في الركن الشمالي من البحيرة وتقدّر بنحو 2.5م. كما أنّه بداخل البحيرة 7 جزر التحمت مؤخراً إلى أربع جزر بسبب انخفاض منسوبها.

الشكل (3) المظاهر الشكلية لبحيرة الملفا.



المصدر: الدراسة الميدانية، Sentinel2، تاريخ الصورة 14 أكتوبر2023.

الجدول (2) الخصائص المورفومترية لبحيرة الملفا.

م	البيان	القيمة	م	البيان	القيمة
1	المساحة البحيرة (كم^2)	0.79	8	أطول عرض (كم)	0.893
2	مساحة الجزر (م^2)	30498	9	متوسط العرض (كم)	594.18
3	مساحة المسطح المائي (كم^2)	0.759	10	اطول تراجع للشاطئ (م)	472
4	مساحة الشاطئ الخلفي (كم^2)	0.2	11	طول مجرى العين (م)	119
5	المحيط (كم)	3.9	12	أرتفاع الشاطئ البحيري (سم)	45
6	محيط الشاطيء الخلفي (كم)	5.01	13	عمق البحيرة (م)	2.5
7	طول البحيرة (كم)	1.467	14	حجم المياه في البحيرة (مليون م^3)	1.5

المصدر: الدراسة الميدانية، 2023. استخرجت المساحات باستخدام برنامج Arcmap 10.3 ، وتحليل صورة القمر الصناعي الأوروبي sentinel2 وأنموذج الارتفاع الرقمي DEM، 2022.

الخصائص الطبيعية والكيميائية لبحيرة الملفا:

تتميز بحيرة الملفا عن غيرها من البحيرات في المنخفض من موقعها والظروف البيئية التي مرت بها لعل أهمها نسبة ملوحة مياهها تصل ثلاث أضعاف ملوحة البحر حيث تقدر بنحو 156‰، وأنّ متوسط نسبة الأكسجين منخفضة 4.50، بينما درجة حرارة مياه بحيرة الملفا 25°م، ونسبة الأملاح الذائبة 38.9، ومياهها متعادلة والتوصيلية الحرارية حوالي 80 mS/cm. (التواتي وآخرون، 2022).

الجدول (3): متوسط قيم بعض الخواص الكيميائية لمياه البحيرات الثلاث بمنطقة الدراسة (الملفا– العرشية– الفريدغة).

البحيرة	متوسط قيم بعض الخواص الكيميائية المقاسة لمياه البحيرات		
	الأكسجين (مليجرام/لتر)	الملوحة (‰)	درجة الحموضة (pH)
الملفا	4.50	156.55	7.60

المصدر: التواتي، محمود، المنفي، جلال، حسين، عبد الباسط، 2022، تحليل الخصائص الطبيعية والفيزوكيميائة لمياه أهم بحيرات منخفض الجغبوب، وإمكانية الاستفادة منها في مشاريع الاستزراع السمكي، كتاب بحوث المؤتمر الجغرافي الخامس لقسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية، كلية الآداب، جامعة طرابلس، ص477.

الجدول (4): بعض الخواص الفيزيائية والكيميائية لبحيرة الملفا.

م	الحموضة pH	التوصيلية الكهربائية µS/cm	الأملاح الذائبة mg/L	NaCl %	درجة الحرارة	نسبة الأكسجين الذائب
1	7.68	102.3	51.2	20	23.5	3.8
2	7.76	88.7	44.4	17.36	24.5	3.9
3	7.15	10.5	5.11	2.27	-	-
4	7.7	84.1	41	16.48	25.9	3.4
5	7.59	24	12	4.69	24.5	4.5
6	7.71	108	55	21.6	26.3	2.8
7	7.64	106.8	53.4	21	26.3	33.1
8	7.62	81.6	31.8	15.6	28.2	18.5
9	7.63	112.8	56.2	21.9	27.4	16
المجموع	**68.48**	**718.8**	**350.11**	**140.9**	**206.6**	**86**
المتوسط	**7.61**	**79.87**	**38.90**	**15.66**	**25.825**	**10.75**

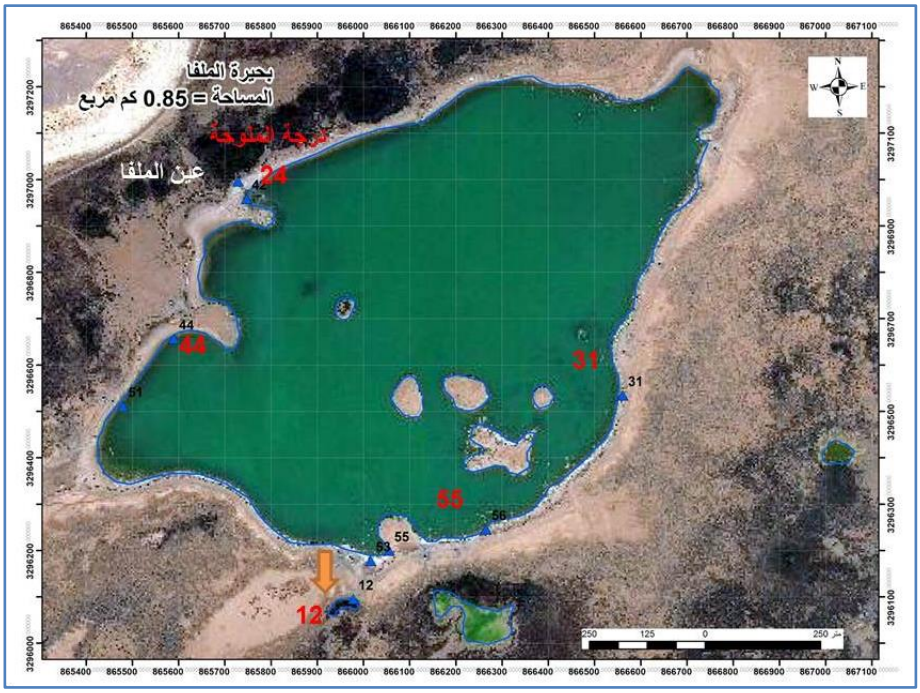
المصدر: التواتي وآخرون، 2022، ص463- 494.

https://doi.org/10.5281/zenodo.21983649

النظام البحيرة الحراري:

تمثّل الشمس المصدر الأساس للحرارة في البحيرات أمّا المصادر الأخرى فهي ذات أهمية ثانوية كالحرارة الناجمة عن تكاثف بخار الماء على سطح البحيرة أو عند هطول الأمطار النادر الحدوث، وتصرف حرارة البحيرة بشكل أساس على تبخر الماء، وعلى الإشعاع البحيري، أمّا التبادل الحراري مع القاع البحيري ومع الجو المحيط فأهمية ثانوية، يتحقق نقل الحرارة إلى الأعماق بالدرجة الأولى عند طريق التيارات المائية العمودية وعن طريق الرياح والتوزيع الحراري الشاقولي في البحيرة وله صلة قوية بكثافة الماء بشكل عمودي وأفقي. والمعروف أنّ المياه العذبة تكون في درجة الحرارة 4 م، ونرى في بحيرة الملفا اضطراباً في درجات الحرارة؛ بسبب اختلاف كثافة المياه في البحيرة فهي منخفضة كلّما اقتربنا من العيون والعكس صحيح، كما أنّ فترة السكون تأخذ البحيرة توزيعاً متبايناً في درجات الحرارة؛ وذلك يرجع إلى قوة التأثير حرارة الشمس من ناحية وضحالة مياه البحيرة من ناحية أخرى.

الشكل (3) توزيع نسبة الملوحة في بحيرة الملفا.



المصدر: أُخذت العينات يوم الأربعاء الموافق 23 أكتوبر 2019.

الصورة (2) اختلاف درجة حرارة ونسبة الملوحة في مياه البحيرة.

النتائج والمناقشة:

قياس تصريف العين الشمالية: هناك العدد من العيون المالحة التي تغذي بحيرة الملفا أهمها العيون من الجهة الشمالية وهي حوالي ثلاث عيون، وعين من الجهة الغربية وهي غير متصلة بالبحيرة، تصريف تعتمد البحيرة على العين من الشمالية التي تتدفق من أسفل صخور الحجر الجيري تكوين الميوسين وتنمو حولها مجموعة من الغطاء النباتي من الحلفا والديس والطرفاء والسبط، وتمّ قياس تصريف العين وتقدّر بنحو 74 لتر/ثا، وهي غير كافية للحفاظ على منسوب البحيرة لذا اضطر الأهالي في المنطقة لحفر بئر بجوار العين.

https://doi.org/10.5281/zenodo.21983649

الصورة (3) قياس تصريف مياه العين الشمالية، بحيرة الملفا.

اتجاه التصوير نحو الجنوب، الواقف: د. عبد الباسط حسين، قسم الموارد الطبيعية، جامعة عمر المختار.

مساحة المقطع المائي

120 سم× 8.5 سم = 1785 سم^2

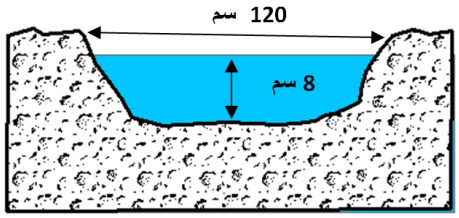
بما ان السرعة = المسافة ÷ الزمن

12 ÷ 28 = 0.42 م3/ ثا

التصريف مياه العين = السرعة في مساحة المقطع

0.42 × 0.178 = 0.074 م3/ ثا = 74 لتر/ثا

الشكل (4) حساب تصريف عين مياه بحيرة الملفا



التبخر: تحول لقاء السائل الصلب إلى غاز (بخار ماء) ويتم ذلك تحت تأثير الطاقة الحرارية التي تسخن السطوح المائية والصخرية فتسبب تحول الماء إلى غاز، ويحسب الفاقد بالملم، تتعرض البحيرة لحالة تسخين أثناء النهار، ويمكن حساب معدلات التبخر، حيث بلغ معدل التبخر حوالي 8 ملم وهذ المعدل مرتفق مع البحيرات في المناطق الجافة مثلا أنّ متوسط التبخر اليومي يبلغ 3 ملم وترتفع الكمية في فصل الصيف لتصل 5ملم، بينما في بحيرة الملفا تصل إلى 12 ملم، وبحساب الفاقد اليومي حوالي 60 ألف م3 من المياه.

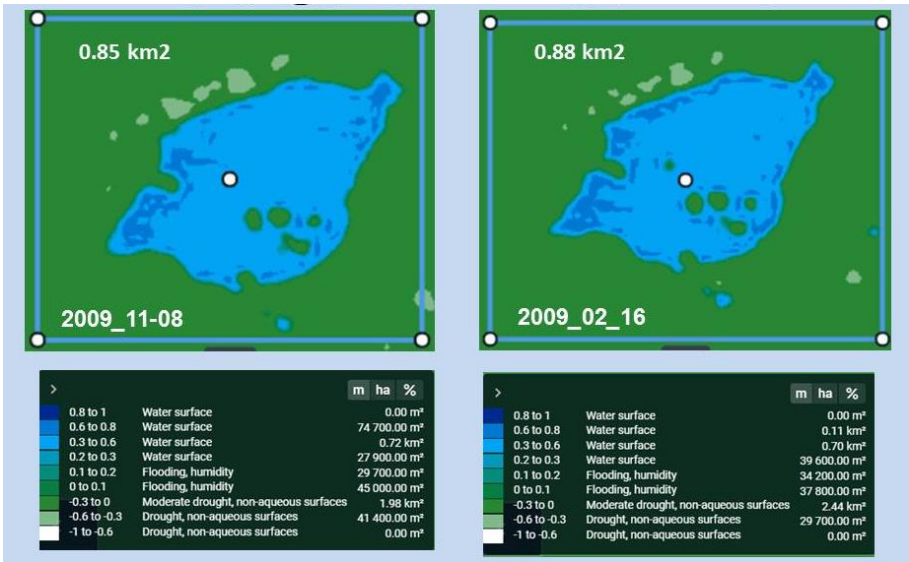
وهو ناتج عند انتقال جزئيات الماء تصاعدها إلى الغلاف الجوي نتيجة لعملية التسخين المستمر لسطح الياه والتربة، وتتأثر عملية التبخر بمجموعة من العوامل أهمها: كمية التساقط،

ومعدل الإشعاع الشمسي، ودرجة الحرارة، ورطوبة التربة، والرياح، وحسب معدل التبخر فإنّ البحيرة تفقد يومياً ما مقداره 6 ملايين ملم/يوم، بينما التغذية 6393 م3/يوم، أي أنّ البحيرة ما تفقده بالبخر تعوضه بتغذية العيون، مع العلم أنّ تصريف العيون يختلف من فصل إلى فصل ومن موسم إلى موسم.

قياس اتساع وتراجع بحيرة الملفا: تشير النتائج المتحصلة عليها من تحليل مؤشر تحديد أسطح المياه NDWI إلى أنّ مساحة بحيرة الملفا تتلقص في موسم الجفاف الصيف والخريف وتزداد في موسم الرطب الشتاء والربيع، ومن المعلوم أنّ قيمة المؤشر تتراوح بين (+1 إلى –1)، وبقراءة قيم المساحة المشار اليها في منصة EOS نجد أنّ مساحة البحيرة كانت في شتاء 2009، وتقلصت بشكل ملحوظ في خريف 2019 بمساحة تقدّر بنحو 74 هكتاراً، وهذا ما تشير إليه الألوان في الصور المدرجة، فاللون الأزرق الغامق يشير إلى وجود كميات مياه مهمة، بينما اللون الأزرق الفاتح فيشير إلى مياه الضحلة عمقها أقل من 0.5 متر.

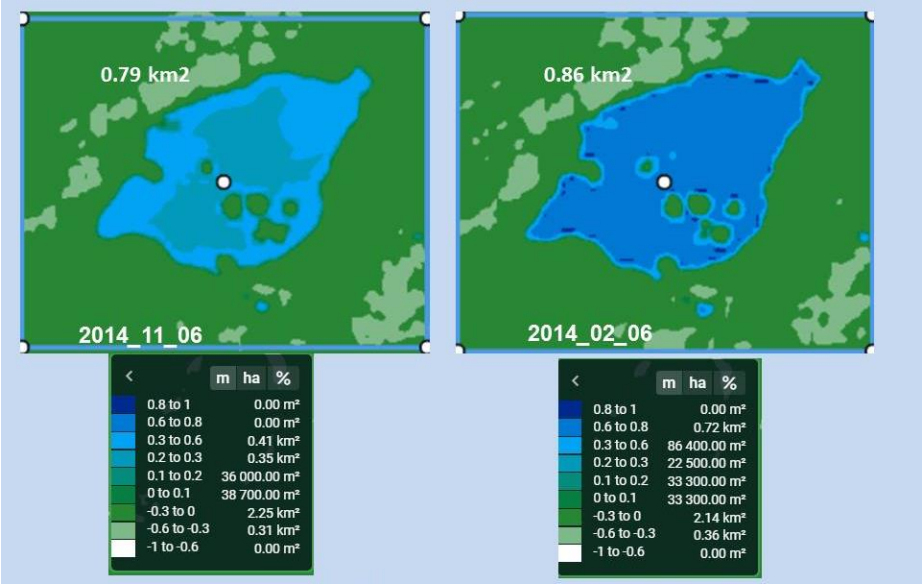
حالات اتساع وتقلص المسطح المائي لبحيرة مياه الملفا:

الشكل (5) التغير المورفولوجي للبحيرة في شهر فبراير ونوفمبر عام 2009.

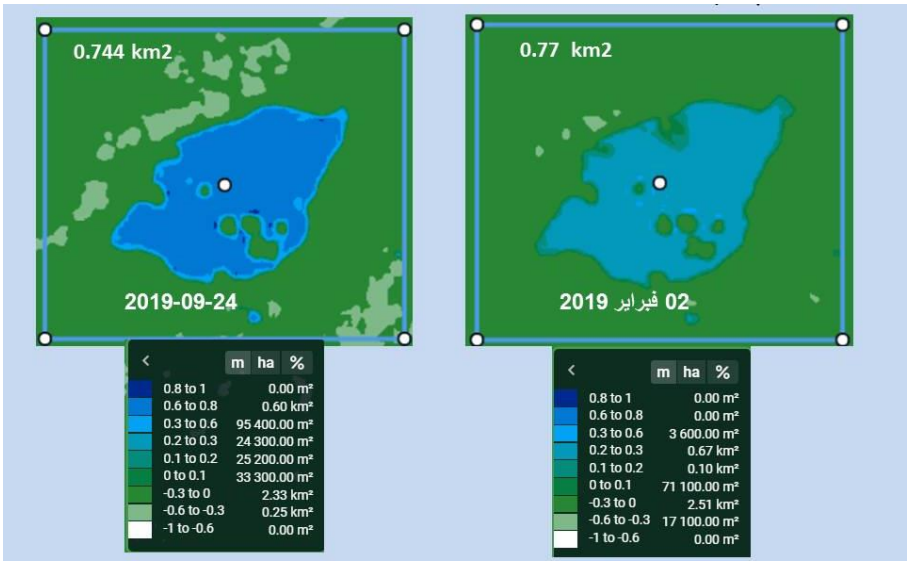


https://doi.org/10.5281/zenodo.21983649

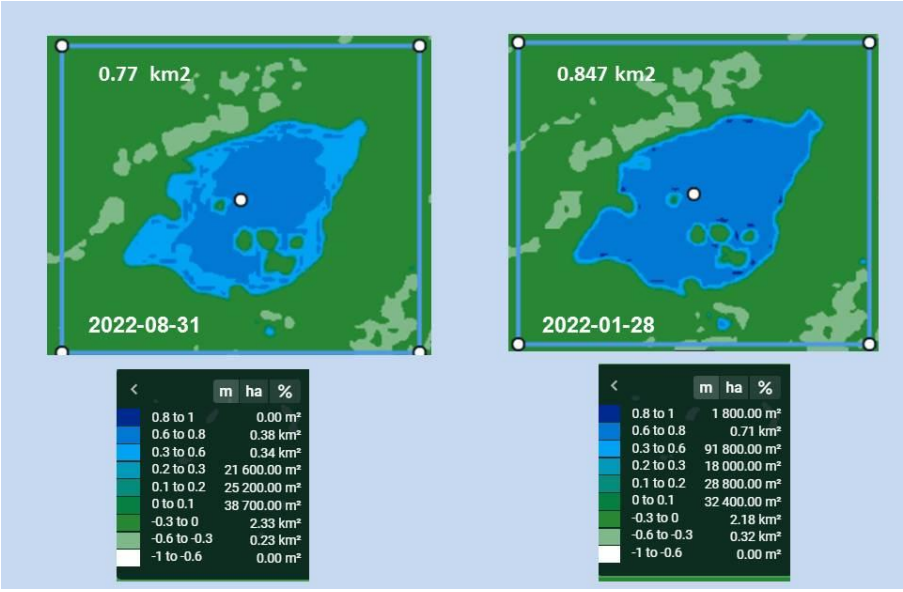
الشكل (6) التغير المورفولوجي للبحيرة في شهر فبراير ونوفمبر عام 2014.



الشكل (7) التغير المورفولوجي للبحيرة في شهر فبراير وسبتمبر عام 2014.



الشكل (8) أي أنّ البحيرة تقلصت بنسبة حوالي 09 % في عام 2022، ربما هي عملية موسمية تحدث كل عام، أي أنّها تزداد في فصل الشتاء وتنحصر في فصل الجفاف.



ومن تحليل صور القمر الصناعي نجد أنّ بحيرة الملفا سجلت أكبر مساحة في فترة الدراسة في فصل الشتاء عام 2009 نحو 0.88 كم، ومتوسط حجم مياه بلغ 1.73 مليون م^3، وشهدت البحيرة انخفاضاً ملحوظاً في منسوبها أدى إلى تقلص مساحتها ذلك في خريف 2019، وبصفة عامة هناك انخفاض عام لمنسوب مياهها يرجع إلى انخفاض تصريف العيون المائية.

الجدول (5): مراحل اتساع وتقلص مسطح مياه بحيرة الملفا.

م	الموسم	القمر	المساحة		نسبة	حجم المياه
			شتاء	خريف	التقلص	مليون م3
1	2009	Landsat 08	**0.88**	0.85	3.4	1.73
2	2014	Landsat 08	0.86	0.79	8.1	1.65
3	2019	Landsat 08	0.77	**0.74**	3.8	1.51
4	2019	Sentinel 02	0.84	0.75	1.0	1.59
5	2022	Landsat 08	0.84	0.77	7.0	1.61
المجموع			**4.19**	**3.9**	**33.5**	**1.62**
المتوسط			0.838	0.78	6.7	8.09

المصدر: الدراسة الميدانية، 2023، إعداد الباحثين، من صور الأقمار الاصطناعية التي تمّ معالجتها في منصة EOS Landviewre، على خمس فترات.

https://doi.org/10.5281/zenodo.21983649

الخلاصة:

1. يحدث اتساع للبحيرة في فصل الشتاء، وتتقلص في فصل الخريف من كل عام، ولكل هذه العملية تختلف من موسم لآخر وفي انحدار عام.
2. تتباين مساحة بحيرة الملفا من موسم لآخر حسب كميات المياه عيون المزدة للبحيرة خاصة من العين الشمالية، إذ بلغت البحيرة أكبر اتساع في الفترة الممتدة 2009 – 2022 في فصل شتاء بمساحة 0.88 كم^2 ، وأقل مساحة في فصل الخريف سنة 2019 بمساحة 0.74 كم^2.
3. باستخدام مؤشر تحديد المسطحات المائية NDWI تمّ التعرّف على تفاصيل عن الخصائص الشكلية للبحيرة من السلوك الحركي، وعمق المياه بشكل نسبي، ومناطق التشبع بالمياه في منطقة العيون.
4. تتباين نسب التقلص من عام لآخر، إذ بلغ أكبر تقلص للبحيرة في خريف 2014 بسبة 8.1%، كما أنّ أقل نسبة تقلص كانت في عام 2019 بنسبة 1.0 %.
5. جمعت البحيرة أكبر كمية من المياه في فترة الدراسة بلغت حوالي 180 ألف متر مكعب.
6. البحيرة بشكل عام في تقلص بسبب ضعف في التزويد.

الخاتمة والتوصيات:

بحيرة الملفا الواقعة قي شرق منطقة الجغبوب من الممكن أنْ يكون لها دور حيوي فيما لو أمكن التحكم في سلوك المياه المتجمعة فيها، وذلك بإنشاء منظومة ربط البحيرات والبرك داخل المنخفض والعمل على إيجاد مصادر مياه جوفية لتغذيه البحيرة، للتزويد المستمر بحيث تحافظ على منسوب العام، وكذلك لتقليل نسبة الملوحة المرتفعة، والعمل على تهيأت الظروف المناسب في الحفاظ على البيئة المائية للبحيرات وعدم السماح لمظاهر التلوث من الأنشطة البشرية المختلفة، وإقامة المحميات طبيعية الأحياء البرية والبحرية ضمن نطاق البحيرة مع البحيرات المجاورة للحفاظ على التنوع الحيوي في المنطقة، لذا يتطلب على القائمين في إدارة الموارد الطبيعية في منطقة الجغبوب استغلال هذا المورد الحيوي المهم بكل السبل المتاحة لكي يتمتع المجتمع الصحراوي بحياه أفضل في بيئة اشد قسوة.

قائمة المراجع:

- أفندي، ل. ح. أ (1998)، التدهور البيئي في واحة سيوه: الأسباب وإمكانية التنمية، المجلة الجغرافية العربية، الجمعية الجغرافية المصرية، (32)، الجزء الثاني، السنة 30، القاهرة.

- جورج، بيار (2002) معجم المصطلحات الجغرافية، ترجمة: حمد الطفيلي، ط2، المؤسسة الجامعية للدراسات والنشر والتوزيع، بيروت.

- التواتي، م. أ (2020)، التصنيف الجيومورفولوجي لمنخفض الجغبوب في شمال شرق الصحراء الليبية باستخدام التقنيات الحديثة: دراسة جيومورفولوجية، مجلة جامعة بنغازي الحديثة للعلوم والدراسات الإنسانية، (7)، بنغازي.

- التواتي، م، المنفي، ج، وعبد الباسط، ح (2022) تحليل الخصائص الطبيعية والفيزوكيميائية لمياه أهم بحيرات منخفض الجغبوب وإمكانية الاستفادة منها في مشاريع الاستزراع السمكي، في كتاب بحوث المؤتمر الجغرافي الخامس لقسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية، كلية الآداب، جامعة طرابلس.

- الهرام، ف. أ (1995)، الفصل الثالث: التضاريس والجيومورفولوجيا في الجماهيرية: دراسة في الجغرافيا تحرير: الهادي بو لقمة، وسعد القزيري، الدار الجماهيرية للنشر والتوزيع والإعلان، سرت، ليبيا.

- طريح، ش. ع (1996)، جغرافية ليبيا، الطبعة السادسة، الإسكندرية.

- مظهر، ث. ف، عبد الرحمن، هـ. م.، وحسن، ز. ح (2018)، الأشكال الجيومورفولوجية المرتبطة بالسبخات في السهل الرسوبي من العراق، المجلة الجغرافية العراقية، 29 (2).

Soar -. (2023). معالجة الصورة في برنامج ArcMap [ملف GeoTIFF]. Soar-Sentinel2_TRUE_COLOR_2023-09-24.tif