



ISSN: 1817-6798 (Print)

Journal of Tikrit University for Humanities

available online at: www.jtuh.org/**Mohammed Salam Yousif**

University of Tikrit\ College of Education for Women

* Corresponding author: E-mail :
mohammed.yousif819@tu.edu.iq**Keywords:****Hydrology,
Climate Water Balance,
Remote Sensing,
(QGIS),
(NDWI)****ARTICLE INFO****Article history:**

Received	3 Feb 2026
Received in revised form	25 Mar 2026
Accepted	27 Mar 2026
Final Proofreading	31 Aug 2026
Available online	31 Aug 2026

E-mail t-jtuh@tu.edu.iq©THIS IS AN OPEN ACCESS ARTICLE UNDER
THE CC BY LICENSE<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Hydroclimatic Modeling to Assess Changes in the Surface Area of Al-Adhim Dam Lake Using Remote Sensing

A B S T R A C T

This study investigates the effects of hydroclimatic factors (precipitation and evaporation) on the Al-Adhaim Dam Lake basin during the period from 2000 to 2025. These two variables were used to apply the water balance equation to determine anomalies and identify years of water surplus and deficit. Furthermore, the Normalized Difference Water Index (NDWI) was applied using geographic information system (GIS) software (QGIS) to extract lake surface areas over six temporal intervals: (2000, 2005, 2010, 2015, 2020, 2025).

The findings indicate variability in the water balance, with the most pronounced positive anomaly observed in 2018, amounting to (176.1) mm, and the lowest value (-66.2 mm) occurring in 2012.

Additionally, a threshold equation ($NDWI \geq 0$) was utilized to delineate the water surface area. The estimated lake area was 62.1 km² in 2005, while the maximum recorded extent was reached in 2020 at 88.3 km². This increase reflects the cumulative water storage corresponding to the significant positive anomaly observed in 2018. In contrast, the results demonstrate a notable contraction of the lake in 2025, with the area reducing to 9.6 km².

The study concludes by highlighting the essential role of remote sensing techniques as a key tool for the continuous monitoring of spatial and temporal changes in water bodies.

DOI: <http://doi.org/10.25130/jtuh.33.8.2.2026.10>

النمذجة الهيدرولوجية لتقييم التغير في المساحة السطحية لبحيرة سد العظيم باستخدام الاستشعار عن بعد

محمد سلام يوسف/جامعة تكريت/كلية التربية للبنات

الخلاصة:

تتناول هذه الدراسة اثر العوامل الهيدرولوجية (امطار، تبخر) على حوض بحيرة سد العظيم للفترة (٢٠٠٠-٢٠٢٥) وباستخدام هذان العنصران إذ تم تطبيق معادلة الموازنة المائية، (water balance) لاستخراج الانحرافات وبيان سنوات الوفرة والعجز المائي، فضلاً عن تطبيق مؤشر الفرق المعياري للمياه (NDWI)

باستخدام البرمجيات الجغرافية (qgis)، لغرض أستخراج مساحات الحيرة وعلى مدى ستة فترات زمنية شملت سنوات (٢٠٢٥، ٢٠٢٠، ٢٠١٥، ٢٠١٠، ٢٠٠٥، ٢٠٠٠)، وقد اشارت النتائج الى تذبذب في الموازنة حيث سجلت اعلى طفرة للبحيرة سنة ٢٠١٨ بمقدار (١٧٦.١) ملم، بينما سجلت ادنى قيمة (٦٦.٢-) في عام ٢٠١٢.

كما تم تطبيق معادلة العتبة ($NDWI \geq 0$)، لاستخراج مساحات المسطح المائي إذ سجلت البحيرة مساحات بلغت (٦٢.١) كم^٢ لسنة ٢٠٠٥ بينما بلغت اعلى مساحة مسجلة للبحيرة في سنة ٢٠٢٠ بلغت (٨٨.٣) كم^٢ مما يدل على احتفاظ البحيرة بمخزون مائي تراكمي ناتج عن الانحراف الموجب الحاد في سنة ٢٠١٨ كما، بينت النتائج الى انحسار البحيرة في سنة ٢٠٢٥ إذ سجلت مساحة بلغت (٩.٦) كم^٢، كما جائت مقترحات البحث لضرورة استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد كأداة محورية في المراقبة الدورية للتغيرات المكانية والزمانية للمسطحات المائية.

الكلمات المفتاحية: الهيدرولوجيا، الموازنة المائية المناخية، الاستشعار عن بعد، (NDWI، QGIS)

المقدمة:

أدى التغير المناخي العالمي مع ازدياد النشاط البشري إلى تغييرات جوهرية في المسطحات المائية على سطح الأرض، ما أثر بشكل كبير على البيئة، وتُعد المسطحات المائية واحدة من أكثر النظم البيئية تأثراً بالتغيرات المناخية سواء على الصعيد الإقليمي أو العالمي، نتيجة التفاعل بين عناصر المناخ (الهطول والتبخر)، والعناصر الأخرى، وتعد البحيرات الاصطناعية من الأنظمة الأكثر حساسية لتلك التغيرات، نظراً لاعتمادها المباشر على التغذية المطرية والتوازن بين الوارد المائي ومقدار الفقد التبخر وتكمن أهمية دراسة هذه المتغيرات كونها مؤشراً حيوياً لاستدامة الموارد المائية.

وفي هذا الإطار تبرز تقنيات الاستشعار (RS) عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية كوسائل فعّالة لرصد وتحليل هذه التغيرات بدقة عالية من حيث الزمان والمكان مما يتيح رسم خرائط دقيقة للمسطحات المائية ، يُستخدم مؤشر الفرق المعياري للمياه، (NDVI) (Normalized Difference Vegetation Index)، كأداة رئيسية لاستخراج المسطحات المائية من الصور الفضائية من خلال تعزيز انعكاس المياه وتقليل تأثيرات الغطاء الأرضي، ولغرض تحقيق هدف البحث تم تطبيق معادلة الموازنة المائية المناخية من خلال أهم عنصري (الامطار، التبخر).

مشكلة البحث:

تتمحور مشكلة البحث حول تفاقم حالات الجفاف وتغيير مساحة بحيرة سد العظيم نتيجة لتذبذب الأمطار وارتفاع درجات الحرارة خلال المدة المحددة لدراسة البحث ومن المشكلة الرئيسية للبحث وكما يأتي:

- ١- هل للعمليات الهيدرولوجية آثار على تغيير مساحات البحيرة؟
- ٢- هل بإمكان البرمجيات الجغرافية وتقنيات الاستشعار عن بعد مثل (QGIS) كشف التغيرات الحاصلة في مساحات البحيرة؟

فرضية البحث:

- ١- ثبت بأن للعمليات الهيدرولوجية مناخية (المطر والتبخر) أثر كبير على تغيير مساحات البحيرة وانكماش مساحتها في بعض الفترات.
- ٢- للبرمجيات الجغرافية (RS) & (QGIS) دور كبير في الكشف عن التغيرات الحاصلة في المسطحات المائية بواسطة مؤشر NDWI.

هدف البحث:

يهدف البحث إلى تسليط الضوء على حالة الجفاف الحاصل في حوض بحيرة سد العظيم باستخدام العوامل الهيدرولوجية المؤثرة على الحوض (الهطول والتبخر)، إذ يعد هذان العاملان من أهم العناصر الهيدرولوجية لحساب توازن المياه وربطها بالمسطحات المائية المستخرجة باستخدام التقنيات الجغرافية، كذلك تتضمن الدراسة أيضًا مؤشر (NDWI)، من خلال صور الأقمار الصناعية (LANDSAT) ولسلسلة زمنية، تهدف إلى مراقبة واستخراج المسطحات المائية ومحاولة فهم أهم التغيرات التي حدثت في هذه البحيرة.

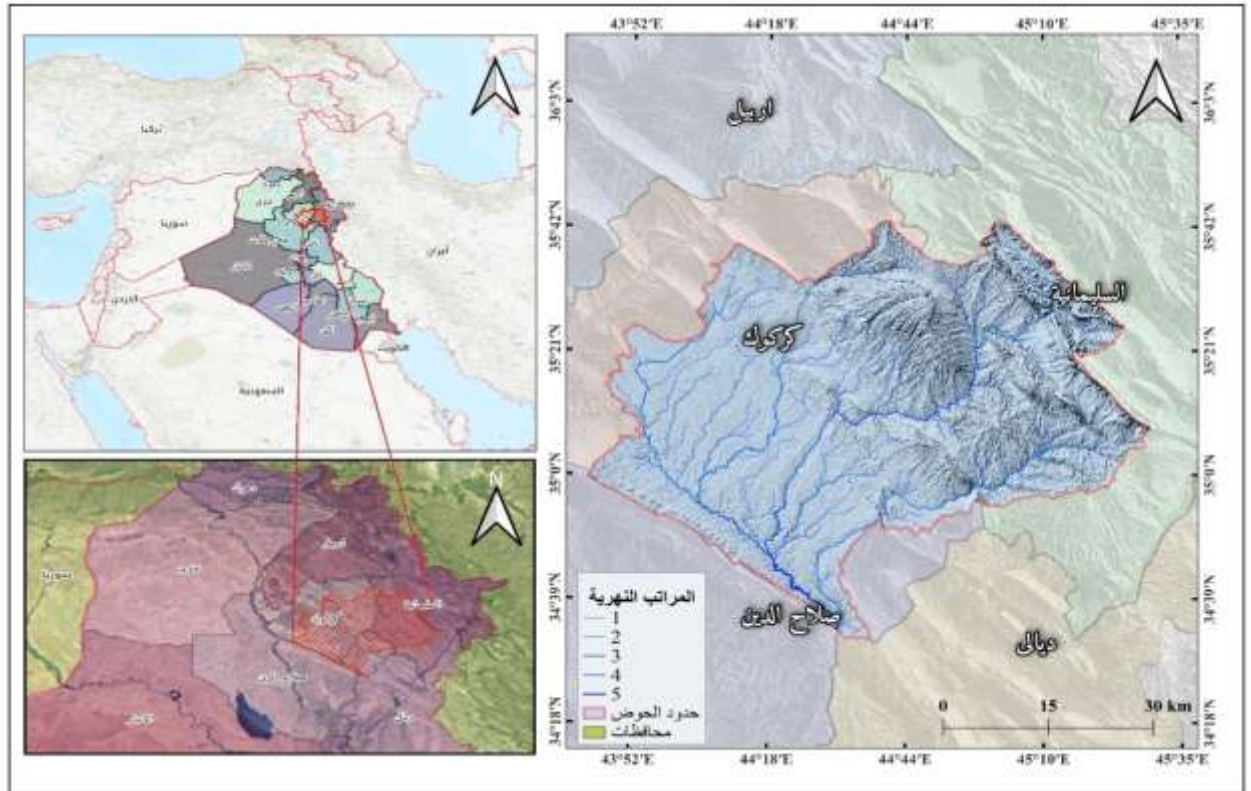
حدود منطقة البحث (المكانية والزمانية)

الحدود المكانية :

تتحدد منطقة البحث مكانيا بحوض العظيم الواقع ضمن الجزء الشمالي الشرقي من العراق والبالغة مساحته (١١٥٨٧.٢٠) كم^٢، وينحصر فلكياً ما بين بين دائرتي عرض (٣٤°٣٤' - ٣٥°١٠') شمالاً وخطي طول (٤٣°٢٦' - ٤٤°٥٨') شرقاً، تحديداً شمال العاصمة بغداد والجزء الغربي من محافظة ديالى والجزء الشرقي من محافظة صلاح الدين، وتُعد من أهم الخزانات المائية الموسمية التي تتأثر بالتغيرات المناخية.

يتميز الحوض بتباين طبوغرافي ومناخي واضح، كما يوضح في الشكل (١)، وتبلغ مساحة الخزن (٢٨٠ كم^٢)، (الحمداني وآخرون، ٢٠٢٢).

الحدود الزمانية: اما زمانياً تقدم هذه الدراسة مقارنة بين الفترات من خلال إطار زمني للصور ومراحل التغير التي حدثت في الفترة من (٢٠٠٠-٢٠٢٥).



الشكل (١) موقع منطقة البحث

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، ومخرجات برنامج (QGIS3.40.12)

المنهجية المتبعة في البحث:

اعتمد البحث على المنهجين الكمي والتحليلي لما تعطيه من نتائج من خلال استخدام البيانات الرقمية والمعادلات الحسابية لتحليل البيانات وتفسير وتحديد سنوات الجفاف، متمثلاً عن المنهج الكارتوكرافي لتوصيف ورسم الخرائط وفهم أنماطها.

مصادر جمع البيانات:

- المرئيات الفضائية تم الاعتماد على صور الأقمار الصناعية (LANDSAT,5,7,8,9) للفترة الزمنية (٢٠٢٥, ٢٠٢٠, ٢٠١٥, ٢٠١٠, ٢٠٠٥, ٢٠٠٠) وبيانات الارتفاع الرقمي (DEM)

البيانات المناخية :

- بيانات الامطار السنوية

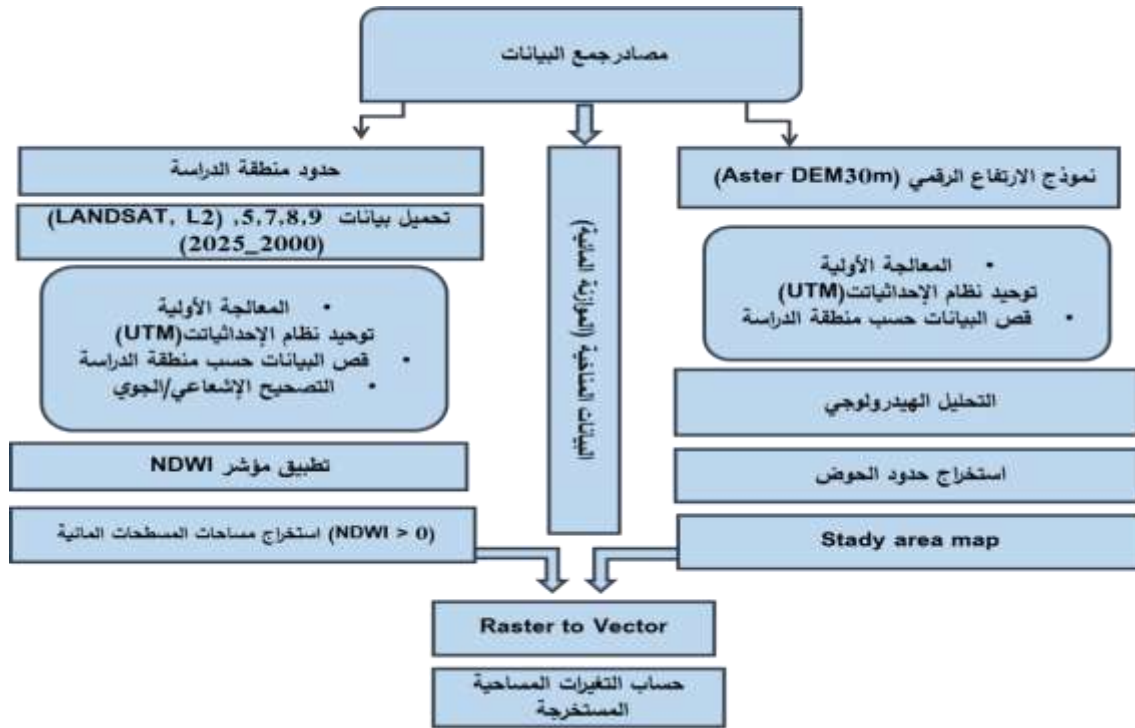
تم الحصول عليها من قواعد بيانات مناخية عالمية منتج (Chiprs Daily) بدقة تصل الى

(٥كم) للفترة (2000-2025)

- بيانات التبخر

تم اعتماد بيانات التبخر تحديداً من منتج (MODIS16A2.061) وهو معيار عالمي لقياس التبخر الفعلي (Evapotranspiration) بدقة (٥٠٠ م)، لحساب الموازنة المائية وذلك في ظل غياب بيانات التصريف الداخلة والخارجة. شكل (٢).

شكل (٢) توضح الخطوات المتبعة التي قام على أساسها البحث.



العمليات الهيدرولوجية:

أولاً: الامطار

وتعرف بالعمليات المائية المناخية هي التفاعلات المعقدة والمستمرة بين الغلاف الجوي (المناخ) والغلاف المائي (الدورة الهيدرولوجية). ببساطة، هي الطريقة التي تؤثر بها ظروف الطقس والمناخ على حركة وتوزيع المياه على سطح الأرض وتحتها (Rakhecha & Singh, 2009).

ونظرًا لنقص بيانات التدفق الواردة والصادرة للحوض، إذ تم اعتماد الموازنة المائية المناخية المبسطة، التي تعتمد على الفرق بين (الهطول) و(التبخر)، لشرح التغيرات في تخزين المياه.

تعد الامطار الساقطة على منطقة الدراسة مصدر رئيسي في توفر المياه السطحية للحوض بالأخص على الجريان السطحي (حلمي عبد القادر، ١٩٨١)، تم حساب المتوسط المكاني للأمطار باستخدام المتوسط الحسابي للقيم الشبكية المستخرجة (Arithmetic Mean)، بالطريقة التالية، (Chow & Maidment, 1998):

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

p= المتوسط المكاني للأمطار داخل الحوض

n= عدد النقاط داخل الخلايا

p_i = قيمة المطر في النقطة i

Σ= مجموع القيم من ١ إلى n

ثانياً: التبخر

يُعد عامل التبخر من العوامل المهمة في تحديد الموارد المائية وعنصراً مهماً مكملاً للعملية الهيدرولوجية كما للتبخر دور كبير في تحديد المياه لاسيما في احواض التغذية لعملية التبخر هو رجوع كمية الماء الموجودة على سطح الأرض الى الغلاف الجوي على شكل بخار ماء، (شحادة، ١٩٨٣)

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i$$

E = متوسط التبخر

E_i = قيمة التبخر في كل خلية

جدول (١) المعدلات السنوية للأمطار والتبخر

السنة	الأمطار (مم)	التبخر	السنة	الأمطار (مم)	التبخر (مم)
2000	183.2	33.2	2013	224.3	60.1
2001	232.7	36.7	2014	182.1	65.2
2002	226.8	39.2	2015	193.9	57.2
2003	218.8	38.1	2016	216	80.1
2004	205	37.2	2017	228.2	54.5
2005	181.7	30.4	2018	401.9	57.2
2006	266.2	28.9	2019	271.1	109.8
2007	187.8	24.6	2020	206.7	67.7
2008	153	22.4	2021	144	29.6
2009	197	27.7	2022	185.6	30.9
2010	175.8	34.4	2023	287.5	13
2011	139	36.5	2024	235	112.5
2012	243.1	39.1	2025	209.4	77.7

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على بيانات(CHIRPS)

ومن الجدول (١) يُظهر تحليل السلسلة الزمنية للمعدل السنوي للأمطار والتبخر في منطقة الدراسة خلال المدة (٢٠٢٥-٢٠٠٠) وجود تباين واضح في كميات الأمطار السنوية، إذ تراوحت بين حد أدنى بلغ نحو (١٣٩ ملم) في عام ٢٠١١ وحد أعلى بلغ (٤٠١.٩ ملم) في سنة ٢٠١٨، ما يعكس طبيعة التذبذب المناخي السائدة في المناطق شبه الجافة. وتُظهر البيانات أن السنوات الواقعة بين (٢٠١٢-٢٠٠٠) اتسمت عمومًا بقيم مطرية متوسطة إلى منخفضة نسبيًا، مع بعض الارتفاعات المحدودة مثل سنة ٢٠٠٦ الذي سجل (٢٦٦.٢ ملم). أما في الفترة اللاحقة (٢٠١٣-٢٠٢٥) فقد برزت زيادة نسبية في تذبذب كميات الأمطار، حيث سُجلت بعض السنوات الرطبة خلال سنتي ٢٠١٨ و ٢٠١٩ شهدا ارتفاعًا ملحوظًا في كميات الهطول المطري، في حين ظهرت سنوات أقل مطرًا مثل سنة ٢٠٢١. ويشير هذا التباين إلى عدم انتظام الهطول المطري بين السنوات،

في المقابل، أظهرت معدلات التبخر السنوية تباينًا واضحًا أيضًا، إذ تراوحت بين نحو (١٣ ملم) كحد أدنى في سنة ٢٠٢٣ و (١١٢.٥ ملم) كحد أعلى في سنة ٢٠٢٤، وهو ما يعكس تأثر معدلات التبخر بالظروف المناخية السائدة مثل درجات الحرارة وشدة الإشعاع الشمسي وسرعة الرياح. ويُلاحظ أن ارتفاع معدلات التبخر في بعض السنوات قد يحد من تأثير الزيادة في كميات الأمطار على الموارد المائية السطحية.

حساب الموازنة المائية

أولاً: مفهوم الموازنة المائية المناخية:

هي تعبير عن العلاقة الكمية بين التساقط (Precipitation) والتبخر (Evaporation). فعندما يكون مقدار التساقط أكبر من التبخر، هناك فائض مائي وبالعكس، عندما يكون التساقط أقل من التبخر، يصبح عجز مائي (السامرائي & الراوي، ١٩٩٠)، كما تمثل الموازنة المائية أحد الأساليب الأساسية في تحليل العلاقة بين مدخلات النظام المائي ومخرجاته، إذ تعتمد على مقارنة كمية الهطول المطري مع الفوائد المائية المتمثلة في التبخر (الاحمد، ٢٠١٠).

ثانياً: طريقة احتساب الموازنة المائية المناخية:

تعددت طرق احتساب الموازنة المائية المناخية (Climatic Water Balance)، ففي هذه الدراسة، تم حساب الموازنة المائية السنوية للحوض للفترة (٢٠٢٥-٢٠٠٠) بالاعتماد على بيانات الأمطار من (CHIRPS) وقيم التبخر، وفقاً للمعادلة (Rakhecha & Singh, 2009):

$$P - ET = WP$$

P=الامطار

ET=التبخر

wp=توازن الماء

جدول (٢) الموازنة المائية السنوية للحوض للفترة (٢٠٢٥-٢٠٠٠)

السنة	الموازنة (مم)	السنة	الموازنة (مم)
2000	183.2	2013	164.2
2001	196.1	2014	116.9
2002	187.6	2015	136.7
2003	180.7	2016	135.9
2004	167.7	2017	173.7
2005	151.3	2018	344.7
2006	237.4	2019	161.3
2007	163.1	2020	139.0
2008	130.7	2021	114.4
2009	169.3	2022	154.7
2010	141.4	2023	274.5
2011	102.5	2024	122.6
2012	204.0	2025	131.7

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على المعطيات المناخية جدول (١)

يُظهر جدول الموازنة السنوي للحوض خلال الفترة (٢٠٠٠-٢٠٢٥) تبايناً واضحاً بين سنوات الدراسة، مما يعكس التغيرات في العلاقة بين كميات الأمطار وفقدان المياه الناتج عن التبخر، إذ سجلت أدنى قيمة (١٠٢.٥) في سنة ٢٠١١ إلى أعلى قيمة (٣٤٤.٧) في عام ٢٠١٨، مما يشير إلى اختلاف كبير في الظروف المناخية والهيدرولوجية خلال فترة الدراسة،

وتشير البيانات إلى أن السنوات الأولى من مدة الدراسة (٢٠٠٠-٢٠٠٤) اتسمت بقيم موازنة مائية متوسطة نسبياً تراوحت بين (١٦٧.٧-١٩٦.١)، وهو ما يعكس حالة من الاستقرار النسبي في الرصيد المائي خلال تلك الفترة. في حين سجلت سنة ٢٠٠٦ ارتفاعاً ملحوظاً في الموازنة المائية بلغ (٢٣٧.٤)، نتيجة زيادة كميات الهطول المطري مقارنة ببقية السنوات.

كما تُظهر النتائج انخفاضاً نسبياً في قيم الموازنة المائية خلال بعض السنوات مثل ٢٠٠٨ و ٢٠١١، حيث بلغت القيم (١٣٠.٧) و (١٠٢.٥) على التوالي، وهو ما يدل على تعرض المنطقة لظروف أكثر جفافاً خلال تلك السنوات نتيجة انخفاض كميات الأمطار مقارنة بالمعدل العام.

شهدت بعض السنوات ارتفاعاً واضحاً، إذ سجلت سنة ٢٠١٨ أعلى قيمة بلغت (٣٤٤.٧)، وهو ما يعكس سنة مطرية رطبة بشكل استثنائي مقارنة ببقية سنوات الدراسة. وسجلت سنة ٢٠٢٣ قيمة مرتفعة نسبياً بلغت (٢٧٤.٥)، مما يشير إلى تحسن الظروف المطرية خلال تلك السنة.

ثالثاً: الانحراف عن المتوسط :

تُعد معادلة الانحراف عن المتوسط (Deviation from the Mean) من الأساليب الإحصائية الشائعة في الدراسات المناخية والهيدرولوجية، إذ تُستخدم لقياس مدى ابتعاد قيمة عنصر مناخي معين عن متوسطه العام خلال فترة زمنية محددة، تهدف هذه الطريقة إلى تحديد السنوات الرطبة (التي تتجاوز المعدل العام) والسنوات الجافة (التي تقل عنه). حيث تعبر القيم الموجبة عن فائض مائي يدعم توسع مساحة البحيرة، بينما تعبر القيم السالبة عن عجز مائي يؤدي إلى تراجع منسوبها ومساحتها السطحية (Barry & Chorley, 1998)

تم حساب الانحراف عن المتوسط السنوي وذلك لأظهار (فائض +) أو (عجز -) باستخدام معادلة الشذوذ المناخي عن طريق طرح المتوسط العام للموازنة المائية من القيم السنوية بواسطة المعادلة التالية، (Wilks, 2011):

$$Ai = Xi - \bar{X}$$

A_i = قيمة الانحراف عن المتوسط

X_i = قيمة المتغير في السنة

$\bar{X}$ = المتوسط الحسابي لجميع السنوات

جدول (٣) الانحراف عن المتوسط للموازنة المائية للفترة (٢٠٢٥-٢٠٠٠)

السنة	الانحراف عن المتوسط	السنة	الانحراف عن المتوسط
2000	14.5	2013	-4.5
2001	27.4	2014	-51.7
2002	18.9	2015	-32.0
2003	12.0	2016	-32.8
2004	-0.9	2017	5.0
2005	-17.3	2018	176.1
2006	68.7	2019	-7.4
2007	-5.5	2020	-29.7
2008	-38.0	2021	-54.2
2009	0.6	2022	-13.9
2010	-27.3	2023	105.9
2011	-66.2	2024	-46.1
2012	35.3	2025	-37.0

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على جدول (٢)

شكل (٣) التباين السنوي للفائض والعجز المائي للفترة (٢٠٢٥-٢٠٠٠)



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على جدول (٣)

في الشكل (٣) تمثل الأعمدة الزرقاء سنوات الفائض المائي بينما تشير الأعمدة الحمراء إلى سنوات العجز تشير البيانات إلى تذبذب واضح في قيم الانحراف عن المتوسط على مدار سنوات الدراسة، سجلت بعض السنوات قيماً إيجابية، مما يعكس ظروفاً رطبة نسبياً بسبب زيادة هطول الأمطار مقارنة بمعدلات التبخر، تظهر هذه الحالات في عدة سنوات منفصلة عبر السلسلة الزمنية، إذ تجاوزت قيم توازن المياه المتوسط العام

وسجلت فائضًا كبيرًا في المياه، يمكن ملاحظة سنة ٢٠٠٠ وحتى ٢٠٠٣ كانت هناك قيم إيجابية وتلتها سنة ٢٠٠٦ إذ سجلت (٦٨.٧) بينما سجلت ٢٠١٨ أعلى معدلات الفائض بلغت (١٧٦،١).

حساب مؤشر (NDWI):

تم استخدام دليل اختلاف المياه (Normalized Difference Water Index)، لحساب المساحات المائية المستخرجة عن طريق المرئيات المستخدمة لـ (٦) فترات زمنية من ضمن سنوات الدراسة ويمكن حسابه بواسطة المعادلة الآتية: (Zhou et al., 2017).

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

Green= الحزمة الطيفية الخضراء

NIR= الحزمة تحت الحمراء القريبة

تم تطبيقها على جميع متحسسات (Landsat) المستخدمة في الدراسة كما هو موضح في الجدول (٤)، يبين خصائص المرئيات.

جدول (٤) خصائص مرئيات (Landsat)

حالة المستشعر	العمق الراديو متري	نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR Band)	النطاق الأخضر (Green Band)	الدقة المكانية (متعدد الأطياف)	المستشعر (Sensor)	القمر الصناعي
(1984-2013)	8-بت	Band 4	Band 2	٣٠ متر	TM	Landsat5
(1999-2024)	8-بت	Band 4	Band 2	٣٠ متر	ETM+	Landsat 7
نشط	12-بت	Band 5	Band 3	٣٠ متر	OLI & TIRS	Landsat 8
نشط	14-بت	Band 5	Band 3	٣٠ متر	OLI-2 & TIRS-2	Landsat 9

المصدر: (USGS, Landsat Satellite Missions)

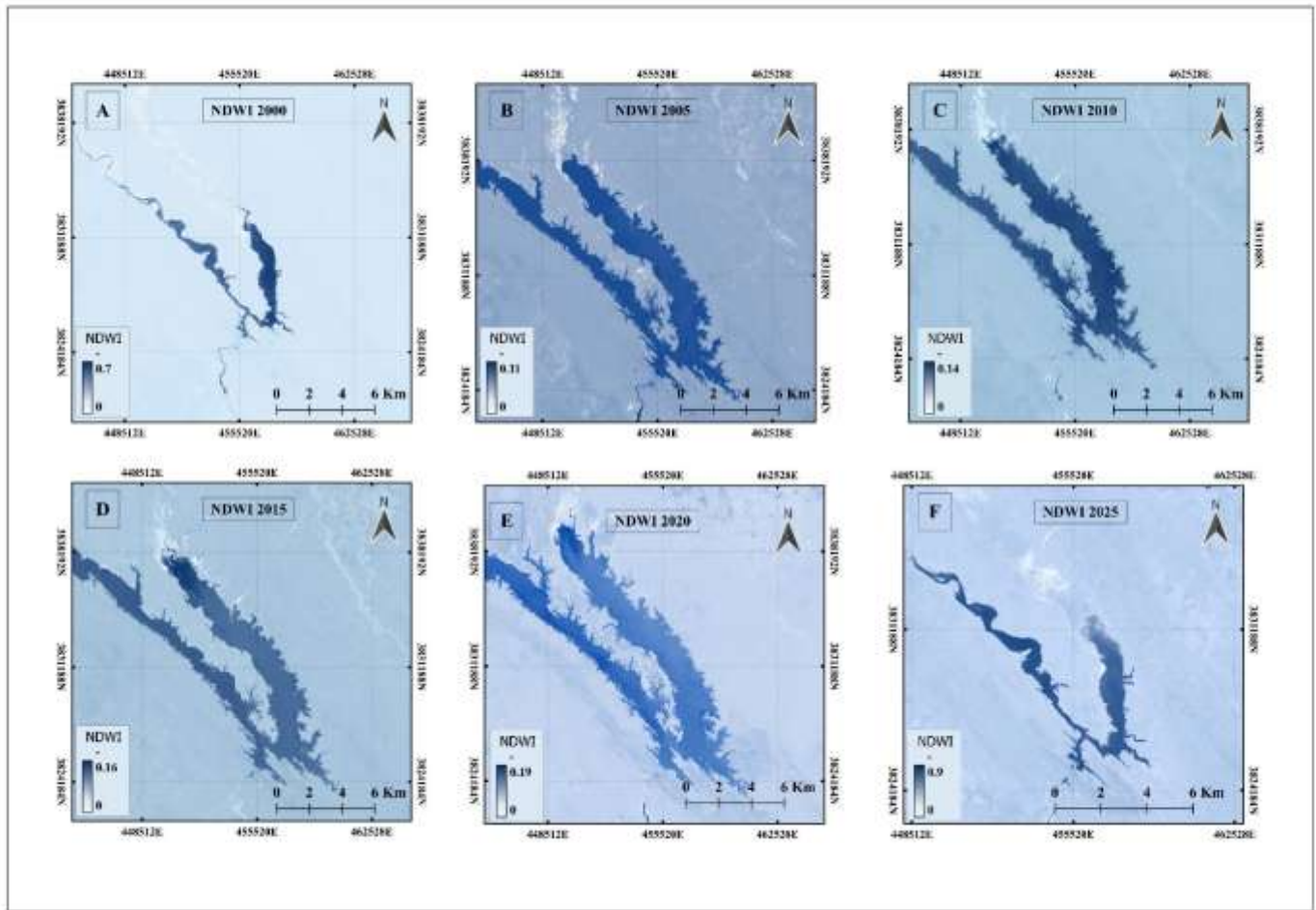
يمكن لهذا المؤشر تحديد و مراقبة المسطحات المائية واستخلاصها عن المظاهر الأخرى لسطح الأرض تتراوح قيمة المؤشر بين (١_٠)، حيث تمثل القيمة الأكبر من صفر مياه أما قيم صفر أو الأصغر من صفر فهي اسطح غير مائي، (McFEETERS, 1996) كما هو موضح ادناه في الشكل. (4)

تم انتاج ٦ اشكال مختارة للبحيرة بواسطة (QGIS) لإظهار التغيرات والمراحل التي مرت بها البحيرة

يمثل الشكل (A) سنة ٢٠٠٠، الشكل (B) سنة ٢٠٠٥، الشكل (C) سنة ٢٠١٠، الشكل (D) سنة ٢٠١٥ والشكل (E) سنة ٢٠٢٠، الشكل (F) سنة ٢٠٢٥.

الشكل (٤): التغير الزمني للمسطح المائي لبحيرة سد العظيم اعتماداً على مؤشر المياه المعياري (NDWI) للسنوات ٢٠٠٠ (A)، ٢٠٠٥ (B)، ٢٠١٠ (C)، ٢٠١٥ (D)، ٢٠٢٠ (E)، ٢٠٢٥ (F).

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على مرئيات Landsat، ومخرجات (QGIS)



كما تم تطبيق معادلة العتبة، ($NDWI \geq 0$) لاستخلاص المياه وتحويلها الى (vector) لحساب المساحة للسنوات، (٢٠٠٠، ٢٠٠٥، ٢٠١٠، ٢٠١٥، ٢٠٢٠، ٢٠٢٥) كما موضح في الجدول (5)

إذ يظهر فرق واضح في مساحة سطح البحيرة بين سنوات الدراسة، سجلت البحيرة مساحة منخفضة بلغت ٩.١ كم^٢ في عام ٢٠٠٠، مما يشير إلى مرحلة تعبئة البحيرة في هذا العام، ثم زادت المساحة بشكل ملحوظ لتصل إلى ٦٢.١ كم^٢ في سنة ٢٠٠٥ نتيجة لزيادة مدخلات المياه المرتبطة بزيادة هطول الأمطار في حوض البحيرة.

أما في سنة ٢٠١٠، تراجعت المساحة إلى نحو ٥١.٨ كم^٢، لكنها عادت للارتفاع مرة أخرى في سنة ٢٠١٥ لتصل إلى حوالي ٦٠ كم^٢، مما يعكس تقلبات واضحة في المساحة المائية للبحيرة نتيجة التغيرات المناخية والهيدرولوجية المؤثرة على الحوض.

تم تسجيل أكبر مساحة في سنة ٢٠٢٠، إذ بلغت تقريباً ٨٨.٣ كم^٢، ما يشير إلى زيادة كبيرة في الخزين المائي، نتيجة لارتفاع معدلات الأمطار و انخفاض معدلات التبخر خلال تلك الفترة.

في المقابل، يتبين انخفاض كبير في عام ٢٠٢٥ حيث تقلصت المساحة إلى حوالي ٩.٦ كم^٢، وهو ما يستتج إلى تعرض البحيرة إلى حالة عجز مائي بسبب انخفاض نسب الامطار وارتفاع نسب التبخر، الأمر الذي أدى إلى انكماش مساحة البحيرة بصورة ملحوظة.

تُشير هذه النتائج إلى أن بحيرة سد العظيم تُظهر تبايناً زمنياً كبيراً، ينبع أساساً من التأثير المباشر للعوامل الهيدرولوجية، ولا سيما معدلات هطول الأمطار ومستويات التبخر. وتبرز هذه العوامل باعتبارها المكونات الرئيسية التي تحدد حجم تخزين المياه في البحيرة.

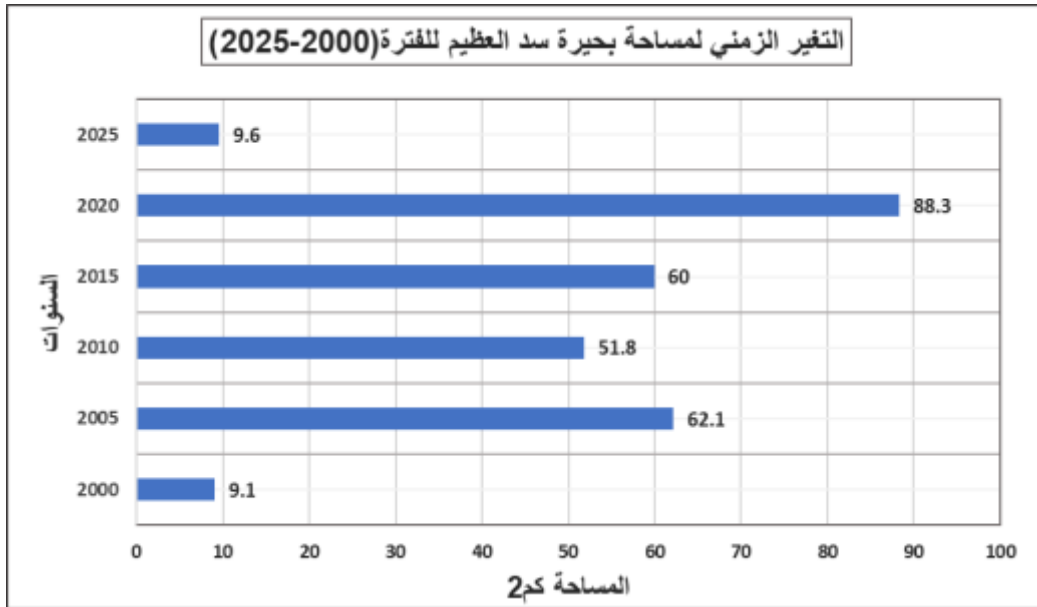
جدول (٥) يوضح المساحات المستخرجة للسنوات المختارة للسنوات (٢٠٢٥-٢٠٠٠)

السنة	القمر الصناعي	المساحة المائية (كم ^٢)
2000	Landsat 5	9.1
2005	Landsat 5	62.1
2010	Landsat 7	51.8
2015	Landsat 8	60
2020	Landsat 8	88.3
2025	Landsat 9	9.6

المصدر:

من عمل الباحث بالاعتماد على مخرجات (QGIS)

شكل (٦) التغير الزمني لمساحة البحيرة للسنوات (٢٠٢٥-٢٠٠٠)



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على الجدول (٥)

النتائج :

توصل البحث الى جملة من النتائج وكما يأتي:

١. كشفت النتائج عن استجابة مباشرة لمساحة البحيرة اتجاه قيم الانحراف في الموازنة المائية، حيث سجلت السنوات ذات الانحراف الموجب في سنة ٢٠٠٠ بقيمة (+15.9) بداية تشكل واتساع المسطح المائي وبلغت المساحة ٩.١ كم²، بينما بلغت قيمة الانحراف عن المتوسط ب(-٣٧) لسنة ٢٠٢٥

٢. بين البحث سنة الذروة المائية سجل قد سجلت ٢٠١٨ أعلى قيمة فائض مائي في السلسلة الزمنية بمقدار ٣٤٤.٧ ملم، مما أدى إلى وصول البحيرة لأقصى اتساع لها سنة ٢٠٢٠ بمساحة بلغت ٨٨.٣ كم².

٣. توصل البحث بأن الفترة من (٢٠١٠-٢٠٢٥) قد شهدت عجزاً تراكمياً وانكماشاً بلغت قيمته (قيم انحراف سالبة)، بينما بلغ العجز ذروته في سنة ٢٠٢٥ بانحراف قدره (-٣٥.٦)، مما أدى لتقلص مساحة البحيرة إلى (٩.٦) كم².

٤. كشفت ظاهرة الاستجابة المتأخرة (Time Lag) بأن البحيرة حافظت على مساحة سطحية كبيرة (٦٠ كم²) في سنة ٢٠١٥، على الرغم من وجود عجز مائي (٣٠.٦-). وهذا يدل على قدرة الحوض على الاحتفاظ بالمياه مؤقتاً قبل التراجع الحاد في المساحة الذي ظهر في سنة ٢٠٢٥.

المقترحات:

١. أهمية استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد لمتابعة التغيرات المكانية والزمانية للمساحات المائية وتقييم تأثير التغيرات المناخية على الموارد المائية.
٢. وضع خطط كفيلة لمتابعة ومراقبة حالات العجز المائي الذي تسجله البحيرة وبشكل دوري
٣. وضع خطة فعالة لإطلاقات التصارييف المائية من السد وفق الحاجة وذلك لغرض سد النقص الحاصل في مياه البحيرة المعرضة الى الانحسار مستقبلاً.

References

1. Al-Amir, F. Q. (2010). *Water balance in Iraq and the global water crisis* (pp. 45–49). Dar Al-Ghad Publishing
2. Al-Hamdani, A. H., Hussein, H. H., Ali, G. M., & Abbas, A. A. (2022). Optimal operation of Al-Adhaim Dam using the genetic algorithm. *Journal of Water Resources and Geosciences*, 1(2).
3. Al-Rawi, A. S., & Al-Samarrai, Q. A. (1990). *Applied climatology* (p. 122). Al-Hikma Printing and Publishing Press, Mosul
4. Funk, C., et al. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—A new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*.
5. Gorelick, N., et al. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*.
6. Kamal, S. A. (2010). *The basin of the Lesser Zab River in Iraq: A hydrological and climatological study for the period (1977–2007)* (Unpublished master's thesis). College of Education Ibn Rushd, University of Baghdad.
7. McFeeters, S. K. (1996). The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
8. Nouman, S. (1983). *Climatology* (2nd ed., p. 280). Al-Noor Model Press
9. Rakhecha, P., & Singh, V. (2009). *Applied hydrometeorology*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9844-4>
10. Running, S., et al. (2019). MOD16A2 MODIS/Terra net evapotranspiration 8-day L4 global 500 m SIN grid V061. NASA EOSDIS Land Processes DAAC.
11. Wilks, D. S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences* (Vol. 100). Academic Press.
12. Zhou, Y., Dong, J., Xiao, X., Xiao, T., Yang, Z., Zhao, G., Zou, Z., & Qin, Y. (2017). Open surface water mapping algorithms: A comparison of water-related spectral indices and sensors. *Water*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/w9040256>