SEBHA UNIVERSITY JOURNAL OF HUMAN SCIENCES VOL.23 NO. 2 2024
DOI: 10.51984/JOHS.V23I2.3497

مجلة جامعة سبها للعلوم الإنسانية
Sebha University Journal of Human Sciences
Journal homepage: http://www.sebhau.edu.ly/journal/johs

تأثير التغيرات المناخية المرصودة والمحتملة على الموارد المائية السطحية باستخدام التقنيات المكانية دراسة تطبيقية على حوض وادي كعام - ليبيا للمدة 1981- 2050

*علي مصطفى سليم[1] و الصادق مصطفى سوالم[2]

[1]قسم الجغرافيا، كلية التربية، جامعة مصراتة، ليبيا
[2]قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة مصراتة، ليبيا

الملخص

يهدف البحث إلى تقييم أثر التغير المناخي على الموارد المائية السطحية في ليبيا من خلال تحليل وتتبع السلسلة الزمنية لكميات المياه المجمعة في سد وادي كعام وعلاقتها بدرجة الحرارة، وتحليل اتجاهات التغير في كميات الأمطار وتحديد تباين كمياتها باستخدام التحليل الإحصائي، وتوظيف التقنيات المكانية في فهم أثر التغير المناخي على الدورة المائية وتغيراتها المستقبلية بحلول عام 2050 في حوض وادي كعام، وخلصت الدراسة إلى وجود اتجاهاً نحو التناقص في متوسط كميات الأمطار السنوية في منطقة الدراسة دون دلالة إحصائية، فقد تراوح كميات التناقص بين 22.05ملم في ترهونة و32.81 ملم في منطقة الخمس، نحو 30.19ملم في منطقة كعام ومع ظهور اتجاه للزيادة لصالح الفترة الثانية بنحو 30.89ملم في منطقة العمامرة، كما أشارت النتائج إلى وجود فروقات في متوسط درجة الحرارة السنوية الصغرى والعظمى بين فترتي الدراسة لصالح الفترة الثانية في جميع نقاط الرصد تراوحت بين 0.562مْ، 0.806مْ، في محطتي الخمس وزليتن على التوالي عند مستوى دلالة إحصائية أقل0.001 في جميع المحطات للمدة 1981-2050، وسيشهد حوض وادي كعام تناقصا في الجريان السطحي، ورطوبة التربة، وتزداد معدلات التبخر الفعلي في حوض وادي كعام ليصل بين 205.7 - 225.2ملم/سنويا بحلول عام 2050.

الكلمات المفتاحية:

التغيرات المناخي
الموارد المائية السطحية
التقنيات المكانية
حوض وادي كعام
اختبارt

The impact of climate changes on surface water resources in Libya using spatial techniques: An applied study on the Wadi Ka'am Basin for the period 1981-2020

*Ali Mustafa Salim[1] , Al-Sadek Mustafa ELSawalem[2]

[1]Department of Geography, Faculty of Education, University of Misurata, Libya
[2]Department of Geography, Faculty of Arts, University of Misurata, Libya

ABSTRACT

The research aims to evaluate the impact of climate change on surface water resources in Libya by analysis and tracking the time series of water quantities collected in the Wadi Ka'am Dam and their relationship to temperature, analysis the trends of change in rainfall amounts, determining the variation in their amounts using statistical analysis. In addition, employing spatial techniques to understand the impact of climate change on the water cycle and its future changes by 2050 in the Wadi Ka'am Basin. The study concluded that there is a trend towards a decrease in the average annual rainfall amounts in the study area without statistical significance. The decrease amounts ranged between 22.05 mm in Tarhuna and 32.81 mm in the Al-Khoms area, about 30.19 mm in the Kaam area, and with a trend of increase appearing in favor of the second period by about 30.89 mm in the Lamamra area, The results also indicated that there were differences in the average minimum and maximum annual temperature between the two periods of the study in favor of the period. The second temperature in all monitoring points ranged between 0.562°C and 0.806°C, in the Al-Khoms and Zliten stations, respectively, at a level of statistical significance less than 0.001 in all stations

Keywords:

Climate changes
Surface water resources
Spatial techniques
Wadi ka'am basin
T-test

*Corresponding author:
E-mail addresses: a.salim@edu.misuratau.edu.ly, (A. M. ELSawalem) s.swalem@art.misuratau.edu.ly
Article History : Received 19 August 2024 - Received in revised form 29 September 2024 - Accepted 11 October 2024

for the period 1981-2020, The Wadi Kaam Basin will witness a decrease in surface runoff and soil moisture, and actual evaporation rates will increase in the Wadi Kaam Basin to reach between 205.7-225.2 mm/year by 2050.

المقدمة

تعد الموارد المائية في الدولة من أهم مقومات قوتها وديمومتها وازدهارها وتقدمها؛ لارتباطها المباشر بالأمن المائي والغذائي، وعلاقتها بالإنسان وحياته ونشاطاته ﴿أَوَلَمْ يَرَ الَّذِينَ كَفَرُوا أَنَّ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضَ كَانَتَا رَتْقًا فَفَتَقْنَاهُمَا ۖ وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ ۖ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ﴾ (القرآن الكريم، سورة الانبياء، الآية 30) ويعد الماء أساساً للاستقرار البشري قديما وحديثا، ويزداد الطلب والحاجة له مع تطور الحضارات وتقدم الشعوب ونموهم، حيث تشكل الأمطار أهم مصادر المياه في ليبيا ذات المناخ الجاف وشبة الجاف التي شهدت تغيرات واضحة خلال العقود الثلاث الماضية من حيث تناقص كمياتها وزيادة حدة تذبذبها، وتغير مواعيد هطولها، وبل أصبحت تشكل خطرا على الإنسان وبيئته الحضارية لما تسببه من فيضانات سريعة داخل المدن وخارجها وخير شاهد على ذلك فيضان درنة11-9-2023، والكفرة وسبها وغات 2024، وما سببته من دمارا في مواردها الطبيعية والبشرية والمادية نتيجة للتغيرات المناخية الذي يشهدها العالم بصورة عامة ومنطقة حوض البحر المتوسط بصورة خاصة، وتأثيراتها المباشرة على ليبيا من حيث زيادة معدلات درجة الحرارة وتكرار حدوث العواصف الغبارية وحدة موجات الجفاف وتغير انماط الهطول المطري وتراجع نطاقاته نحو الشمال مما سبب في زيادة مساحات الصحراء نتيجة لزيادة تعديات الإنسان على موارد بيئته الطبيعية من قطع للغابات ورعي جائر، وعدم اتباع نظام الدورة الزراعية ونظام الحراث والزراعة في مناطق الحدية الانتقالية، ويجب على ليبيا اليوم وفي ظل ظروف التغير المناخي من إدارة مواردها المائية والاستفادة منها وفق خطط استراتيجية للتنمية المستدامة من اتبع نظام لحصاد مياه الأمطار في الاودية واستغلالها في تنمية الاراضي المجاورة لها والتوسع في زراعة المساحات الخضراء القريبة من السدود، وتطوير انظمة الري، وطرق الزراعة التقليدية، والاستفادة من حصاد المياه في المدن واستغلالها في ري الحدائق العامة، وغيرها. وبالرغم من أن نسبة المياه في الطبيعة ثابتة إلا أنها تتغير في خصائصها الطبيعية والكيميائية وفق الدورة المائية Hydrologic cycle، حيث تعاني ليبيا من شح مواردها المائية لدرجة وصولها إلى مراحلة الإجهاد المائي الأمر الذي يتطلب وضع سياسات مائية واستراتيجيات لمواجهة الإجهاد المائي في ظل ما تشهده ليبيا من تغيرات مناخية من زيادة مضطردة في درجة الحرارة وتناقص معدلات الهطول المطري، وزيادة معدلات التبخر وجفاف رطوبة التربة، وتداخل مياه البحر للخزان الجوفي السطحي نتيجة الاستغلال المفرط في المناطق الساحلية وزيادة حدة تلوثها مما يزيد من شدة الاجهاد المائي فيها وخاصة أن ليبيا تعتمد بنسبة 95% على المياه الجوفية لتغطية احتياجاتها المائية لمختلف نواحي الحياه، كما تنوعت استعمالات الموارد المائية في حوض وادي كعام من الاستعمالات المنزلية والزراعية وتربية الاسماك اعتمادا على الموارد المائية الجوفية والسطحية المتاحة في منطقة الدراسة. وتقوم الدراسة الحالية في أحد جوانبها على نمذجة البيانات المناخية وبيانات التربة واستخدامات الاراضي Land use في حوض وادي كعام للتنبؤ بالتغيرات المستقبلية فيه وفق سيناريو تناقص الأمطار 10% وارتفاع درجة الحرارة 2مْ، وفق تقارير ipcc,2007 [1]. وتمثل النمذجة في حوض وادي كعام جزء من المحاكاة Simulation لما موجود فيه من بيانات لظواهر جغرافية، يمكن توظيفها في معادلات رياضية وكمية أو نماذج محددة من أجل التنبؤ بسلوك الظاهرة الجغرافية في المستقبل للحد من الأخطار البيئية التي تَرتبط بالتغيّر المُناخي وإدارة الموارد المائية، ووضع خطط الإنذار المبكر.

.مشكلة البحث:

1. هل يوجد تباين في كميات الواردات المائية المجمعة في سد وادي كعام للفترة 1981-2020؟
2. هل توجد اتجاهات ذات دلالة إحصائية للزيادة في معدلات درجة الحرارة السنوية في حوض وادي كعام للفترة 1981-2020؟
3. هل هناك فروق ذات دلالة إحصائية لتناقص معدلات الأمطار السنوية في منطقة حوض وادي كعام ومناطق امتدادات السد بالمياه (منابع وادي كعام) للفترة 1981-2020؟
4. هل يمكن الكشف عن أثر التغير المناخي في الدورة المائية وتغيراتها المستقبلية بمنطقة حوض وادي كعام بحلول عام 2050 باستخدام التقنيات المكانية؟

.فرضيات البحث:

1. يوجد تباين في كميات الواردات المائية المجمعة في سد وادي كعام للفترة 1981-2020.
2. توجد اتجاهات ذات دلالة إحصائية للزيادة في معدلات درجة الحرارة السنوية في حوض وادي كعام للفترة 1981-2020.
3. هناك فروق ذات دلالة إحصائية لتناقص معدلات الأمطار السنوية في منطقة حوض وادي كعام ومناطق امتدادات السد بالمياه (منابع وادي كعام) للفترة 1981-2020.
4. يمكن الكشف عن أثر التغير المناخي في الدورة المائية وتغيراتها المستقبلية بمنطقة حوض وادي كعام بحلول عام 2050 باستخدام التقنيات المكانية.

.أهمية الدراسة:

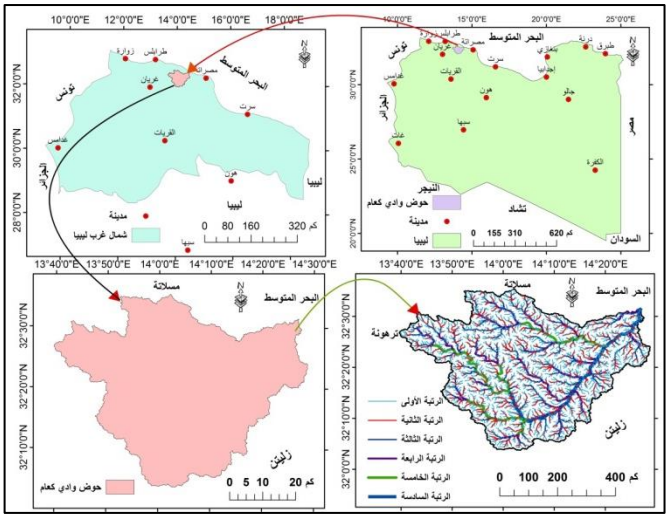
تَكمن أهمية الدراسة فيما توفره الدراسة من قاعدة معلومات وبيانات متنوعة يستفد منها في وضع استراتيجيات التنمية، والتخطيط، والإنذار المبكر من خلال تقييم الوضع المناخي والبيئي الحالي في منطقة حوض وادي كعام وعلاقته بالتغير المناخي وتحديد الاوضاع المستقبلية باستخدام التقنيات المكانية التي تساعد في إدارة الأراضي المتصحرة ومناطق تدهور الغطاء الحيوي، والموارد المائية في منطقة حوض وادي كعام في المستقبل.

.أهداف الدراسة:

1. تحليل اتجاهات التغير في كميات الأمطار السنوية في منطقة الدراسة ومناطق تغذية سد وادي كعام للفترة من 1981 – 2020.
2. الكشف عن اتجاه التغير في درجة الحرارة السنوية في منطقة الدراسة.
3. دراسة التغيرات السنوية في كميات الواردات المائية المجمعة في سد وادي كعام.
4. توظيف التقنيات المكانية في تحليل الدورة المائية وتغيراتها المستقبلية بمنطقة حوض وادي كعام بحلول عام 2050 وإنتاج خرائط رقمية عالية الجودة.

.الموقع الجغرافي لمنطقة الدراسة وظروفها المناخية:

يقع حوض وادي كعام في منطقة شمال غرب ليبيا بين دائرتي عرض ´´4 ´4 °32، و´´35 ´35 °32 شمالا وخطي طول ´´30 ´40 °13 و ´´19 ´29 °14 شرقا، تبلغ مساحته نحو 2546.59 كم^2 يقع المجرى الاعلى في السفوح الجنوبية الشرقية للجبل الغربي من ارتفاع 508م فوق مستوى سطح البحر ويتجه نحو الجنوب ثم ينحني ليتجه نحو الشرق ولينتهي في البحر المتوسط شمالا (الشكل1). ويعد من الأحواض المائية ذات الكبير ذات الأهمية البيئية والاجتماعية والاقتصادية في ليبيا. وهو من الأودية المائية الجافة التي تتبع نظام جريان مطري سيلي، أقيم عليه سد ترابي عند التقاء وادي القصيعة بوادي ترغلات بطاقة تخزينية لبحرية السد تقدر 111 مليون/م^3، وبمتوسط سنوي يبلغ 13 مليون/م^3 لغرض حصاد مياه الأمطار وتجميعها للزراعية وتغذية المياه الجوفية[2]. ويبعد سد وادي كعام مسافة 11كم إلى جنوب الطريق الساحلي في منطقة الخمس، وبمسافة 130كم تقريبا شرق العاصمة طرابلس، وتوجد في مصبه عين ماء تعرف بعين وادي كعام تتميز بكثرة التنوع الحيوي حولها لتمد مسافة تزيد عن 1.4كم نحو الشمال.



المصدر: الباحثين باستخدام Arc GIS اعتماداً على (الاطلس الوطني،1987،ص50)

الشكل1: الموقع الجغرافي لحوض وادي كعام

. الدراسات السابقة:

1. دراسة (الجسيني،2019) الذي تناول موضوع أثر التغيرات المناخية على انخفاض الواردات المائية في العراق وسبل معالجتها باستخدام تقنيات الري الحديثة، واشارت النتائج إلى أن انخفاض الهطول المطري أدى إلى تناقص الفائض المائي والجريان السطحي وقلة الواردات المائية من الروافد التي تغذي نهري دجلة والفرات بالتالي انخفاض تصريف المياه الواردة إلى العراق وزيادة حدة الجفاف بسبب العوامل الطبيعية والبشرية، حيث سجل نهر دجلة أدنى وارداته المائية سنة 2008 بنجو 10.7مليار م^3، في حين سجل نهر الفرات نحو 5 مليارم^3 بسبب التغيرات المناخية فضلا عن بناء السدود في دول المنابع [3].

2. دراسة (العامود، والمرياني،2018) وأظهرت الدراسة العديد من مؤشرات التغير المناخي كتناقص الأمطار وزيادة الجفاف وتناقص الواردات المائية في منطقة الأهوار وأنهارها وتذبذبها وحدوث الفيضانات المدمرة من خلال تحليل أثر التغير المناخي في المياه السطحية وانعكاسه على التنوع الاحيائي في محافظة ذي قار مع تناقص التنوع الاحيائي وانقراض بعضها[4].

3. دراسة (Khoi,2015) لتحليل تأثير التغيّر المُناخي على نوعية المياه في الجزء العلوي من حوض دونغ ناي.فيتنام، باستخدام SWAT لتقييم الأثر المحتمل للتغير المُناخي على نوعية المياه وفق سيناريوهات التغير المُناخي، وأظهرت النتائج أهمية النموذج المستخدم SWAT لقدرته على محاكاة تدفق المجاري المائية في الواقع، وبينت أهميته في التخطيط لإدارة الموارد المائية في حوض دونغ ناي[5].

4. دراسة (Kabiri,2014) لتقييم تأثير التغيّر المُناخي على الجريان المائي في حوض نهر كلانج غرب ماليزيا. باستخدام النمذجة الإحصائية والهيدرولوجية بناءً على التغيّر المحتمل في الهطول لمحاكاة الجريان السطحي، وتَوقعت النتائج حدوث تَغير في نظام هطول الأمطار وتناقص جريان النهر في المستقبل بنسبة 4% وفق سيناريو A2 سنة 2050 ونحو 4.5% بحلول عام 2080[6].

5. دراسة (الوائلي،2012) للتغيرات المُناخية وتَأثيراتها في الموارد المائية السطحية في العراق من خلال بيانات 32 محطة مُناخية، و22 محطة هيدرولوجية موزعة على منطقة الدراسة. من خلال تَحليل السلاسل الزمنية للعناصر المُناخية وتَحديد معامل الانحدار. وأوضحت الدراسة وجود اتجاه للزيادة في معدل درجة الحرارة الصغرى والعظمى الشهرية والسنوية والتبخر، وتناقص في الرطوبة النسبية والأمطار. مما سبب تدهور الوضع المائي في حوضي دجلة والفرات مع تناقص التصريف المائي فيهما؛ نتيجة تناقص كميات الأمطار والثلوج[7].

6. دراسة (Mohamed, 2010) عن التغيّر الزمني للأمطار السنوي للأحواض المائية في ماكته (Macta)، وتافنه (Tafna) شمال غرب الجزائر، كمُؤشر على التغير المُناخي للفترة من 1950. 2004. وأشارت نتائجها باستخدام تحليل الانحدار إلى وجود اتجاه لتناقص الأمطار السنوية في منتصف السبعينيات في جميع الأحواض بنسبة 20% على الأقل من مجموع الأمطار السنوية[8].

. منهجية البحث:

اعتمدت الدراسة المنهج الاستقرائي والاستنتاجي والتحليلي الكمي والوصفي للوصول للمعلومات والبيانات وإنتاج الخرائط الرقمية لفهم الخصائص المورفومترية للخوض الماني وتغيراته المستقبلية بحلول عام 2025, كالآتي:

أ. البيانات المستخدمة ومصادرها:

1. البيانات المناخية: تمثلت في المجموع السنوي للأمطار، ودرجة الحرارة، للفترة 1981-2020 لعدد من نقاط الرصد المناخي بالإضافة إلى بيانات محطة الخمس الصادرة عن المركز الوطني للأرصاد الجوية طرابلس وتعويض النقص فيها من المواقع العالمية وخاصة **البيانات المناخية من منصة climate Engine** بواسطة القمر **Terra Climate** والمتاحة في الموقع https://clim-engine.appspot.com/climateEngine. (الجدول1)

الجدول1: المحطات المناخية ونقاط الرصد المدروسة

نقطة الرصد أو المحطة المناخية	خط الطول	دائرة العرض
ترهونة	13.64206	32.42792
الخمس	14.2679	32.65095
زليتن	14.51892	32.27852
مسلاته	14.03626	32.58364
قرية كعام	14.40247	32.4917
العمامرة	14.11756	32.54114

المصدر: الباحثين اعتمادا على https://clim-

engine.appspot.com/climateEngine [9].

2. البيانات المياه المجمعة في بحيرة سد وادي كعام والصادة عن الهيئة الليبية للموارد المائية.

3. نموذج الارتفاع الرقمي 30*30م (Dem) Digital Elevation Models المتاح في الموقع:

http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/

4. مرئية فضائية 30*30م Landsat-8 تغطي منطقة حوض وادي كعام من الموقع:

http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/

5. أنواع التربة في الحوض، وتتمثل في (ملف رقمي لخريطة التربة لمنطقة ونسيجها والمحتوى العضوي حيث تم الاعتماد على خريطة التربة الرقمية للعالم (DSMW)، تابع (FAO) من المواقع:

http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=14116

/- http://www.soilgrids.org

6. استعمالات الأراضي (Land use) لحوض وادي كعام. والمتاحة في الموقع:http://www.fao.org/nr/lada/ gladis/lus -

7. الخريطة الجيولوجية لليبيا (2009) الصادرة عن مركز البحوث الصناعية، طرابلس، ليبيا.

ب- التقنيات المستخدمة في الدراسة:

وظفت الدراسة تقنية نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS,10.3) Geographical Information System لحساب الخصائص المورفومترية للحوض وانتاج الخرائط وبناء قاعدة البيانات المورفومترية لحوض وادي كعام، وأدوات تقييم التربة والمياه في الأحواض المائية (Arc Soil and Water Assessment Tool .SWAT)، وهو برنامج ملحق بنظم المعلومات الجغرافية بالإضافة إلى توظيف الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية Statistical package for (SPSS,26) Social Sciences للكشف عن الاتجاه العام لدرجة الحرارة وكميات الأمطار في منطقة الدراسة زيادة أو نقصان عند مستوى معنوية 0.05. باستخدام الفروقات المتجمعة (التراكمية) Cumulated Sums، واختبار T (T-Test) وبرنامج أكسل Microsoft Excel للقيام ببعض العمليات الرياضية لحساب المعادلات المورفومترية.

1. النتائج والمناقشة

أولا: الخصائص المورفومترية لحوض وادي كعام

تشكل الدراسات المورفومترية أحد أهم الجوانب التطبيقية الحديثة في الجيومورفولوجيا، التي وظفت التقنيات المكانية في فهم وتفسير مورفولوجية الحوض النهري وتحديد خصائصه الشكلية والمائية والتضاريسية، وتحديد العوامل الجيولوجية والطبيعية والمناخية، بالتالي أصبح الحوض المائي يدرس كوحدة مساحية مميزة جغرافيا دراسة مفصلة لتحديد خصائصه المورفومترية، وغيرها وفق أسلوب رياضي محدد أساسه العلمي ترجع إلى Robert Horton سنة 1945.وتتمثل أهم الخصائص المورفومترية في حوض وادي كعام في الآتي:

أ. الخصائص الشكلية:

يعد حوض وادي كعام من الأحواض المائية الكبيرة في ليبيا الذي تبلغ مساحته نحو 2546.59 كم^2، وطوله نحو 77.5 كم وبعرض 32.86 كم، في حين حدد بلغ محيطه نحو352.51 كم وهو يمثل خط تقسيم المياه لحوض وادي كعام وبين ما يحيط به من أحواض مائية أخرى، ويميل شكل حوض وادي كعام إلى شكل المثلث بناء على معامل الشكل Form Factor البالغة 0.42 في منطقة الدراسة اعتمادا على العلاقة بين المساحة وطول الحوض، وأكد معامل الاستدارة Circularity Ratio البالغ نحو0.26 ابتعد حوض وادي كعام عن الشكل الدائري (الجدول2)

الجدول2: الخصائص المساحية والشكلية لحوض وادي كعام

الخصائص الشكلية	الرمز	المعادلة	النتيجة
Basin Areaمساحة الحوض	A	GIS (Km^2)	2546.592كم
Basinمحيط الحوض Perimeter	P	GIS (Km)	352.51كم
Basin Lengthطول الحوض	L_b	$L_b=1.312\times A^{0.568}$	77.5كم
Circularity Ratioنسبة الاستدارة	R_c	$R_c=12.57*\frac{A}{P^2}$	0.26
Form Factorمعامل الشكل	R_f	$R_f = A/L_b^2$	0.42

المصدر:[10] ،[11] ،[12] .

ب. الخصائص التضاريسية

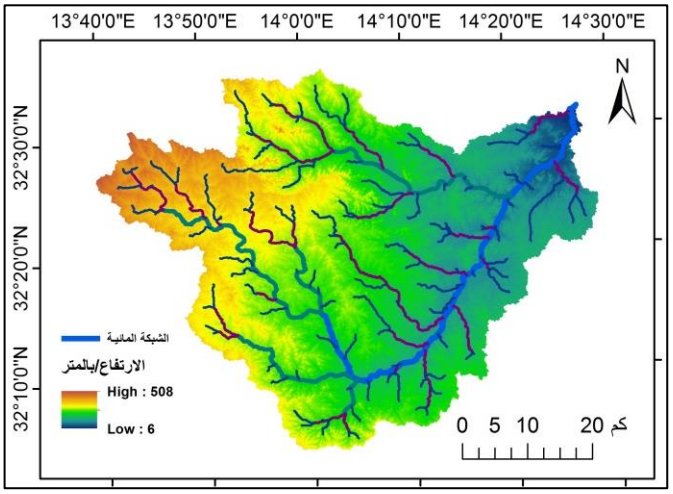
سجل أدنى منسوب للارتفاع في حوض وادي كعام في منطقة مصبه بارتفاع بلغ 6متر في حين بلغ أعلى مناطقه 508 متر فوق مستوى سطح البحر في مناطق منابعه في مرتفعات جبل ترهونة (الجدول3، والشكل2) وكانت نسبة التضرس في حوض وادي كعام نحو 6.48م/كم التي تعلب دورا رئيسا في التعرية المائية وتشكيل الظواهر الجيومورفولوجية، في حين بلغت قيمة الوعورة نحو0.65 مما يدل على أن الوادي يجري في منطقة معتدلة التضرس والوعورة مع انحدارها البسيط، في حين تمثل التضاريس النسبية العلاقة الرياضية بين نسبة التضرس ومحيط الحوض، والتي وصلت إلى 1.42م/كم (الجدول3).

الجدول3: الخصائص التضاريسية لحوض وادي كعام

الخصائص الشكلية	الرمز	المعادلة	النتيجة
أقصى ارتفاع	H	GIS (m)	508متر
أدنى ارتفاع	H	GIS (m)	6متر
نسبة التضرس Relief Ratio	R_r	$R_r=\frac{H}{L}$	6.48 م/كم
التضاريس النسبية Relative Relief	R_{hp}	$R_{hp}=\frac{H}{P}$	1.42م/كم
قيمة الوعورة Ruggedness Number	R_n	$R_n=D_d*\frac{H}{1000}$	0.65
التكامل الهبسومتري Hypsometric Integral	H_i	$H_i=(h/H)/(a/A)$	47.06

المصدر:[10] ،[11] ،[12] ،[13] .

وأخير يعد التحليل الهبسومتري Hypsometric Analysis مقياسا هاما في تحديد المرحلة أو الدورة الحثية التي وصل إليها الوادي (مرحلة الطفولة، مرحلة الشباب، مرحلة الشيخوخة)، أشارت العديد من الدراسات العلمية أن هناك طريقتين لتحديد لتحديد مرحلة الدورة الحثية لحوض



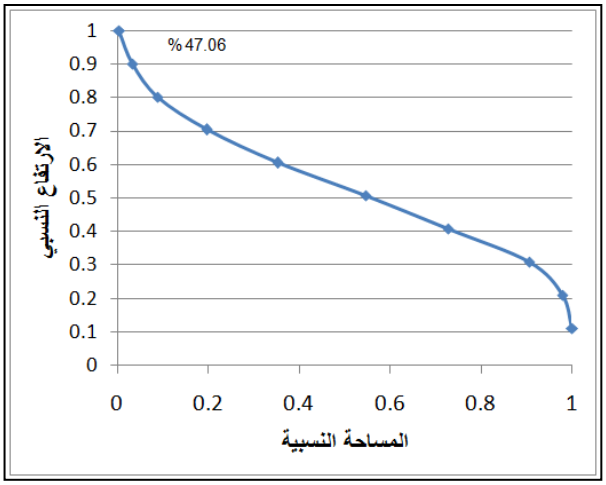
المصدر: عمل الباحثين باستخدام Arc GIS

الشكل2: الارتفاع في حوض وادي كعام

وادي كعام، وهما:

1. التكامل الهبسومتري Hypsometric integral

يحسب من خلال العلاقة بين مساحة الحوض كم2 والتضاريس الحوضية بالمتر، ويعد من المقاييس المورفومترية المستخدم لتحديد الفترة الزمنية المقطوعة من الدورة الحثية في حوض وادي كعام، وحسب ما وأشار له Strahler,1957 يكون حوض وادي كعام في مرحلة النضج حيث بلغت قيمة التكامل الهبسومتري نحو47.06، وهذا يعني أن حوض كعام قد قطع نحو 47.06% من الدورة الحثية أن ما نسبيه 52.94% من كتلته الصخرية مازالت في انتظار عوامل التعرية لأزالتها وهنا تكون عملية النحت والترسيب داخل الحوض متوازنة (الشكل3).

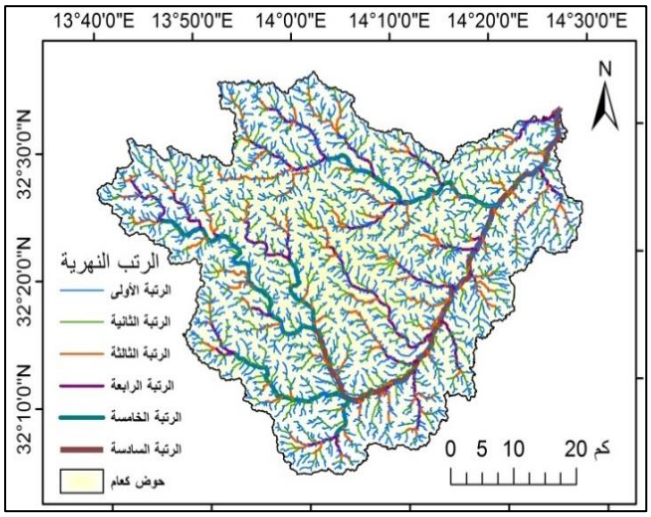


المصدر: [10]

الشكل3: المنحنى الهبسومتري لحوض وادي كعام

ب. الخصائص المورفومترية للشبكة المائية

صنفت الشبكة النهرية لحوض وادي كعام إلى ستة مراتب باستخدام GIS (الشكل4) وفقا لطريقة Strahler المعدلة عن Horton لتصنيف المجاري المائية. بلغت أعداد المجاري المائية في حوض وادي كعام 2893 واد، مقسمة إلى 2252 واد في الرتبة الأولى وبنسبة 77.9%، في حين كانت أعداها في الرتبة الثانية نحو 498 واد وبنسبة 17.2%، ووصلت في الرتبة الثالثة إلى 110واد وبنسبة 3.9%، وبلغت أعداها في باقي الرتب نحو 27 واد في الرتبة الرابعة و5 أودية في الرتبة الرابعة والمجرى الرئيسي في الرتبة الخامسة، وكانت العلاقة عكسية بين الرتبة وأعداد المجاري المائية حيث



المصدر: عمل الباحثين باستخدام Arc GIS

الشكل4: الرتب النهرية في حوض وادي كعام

تتناقص كلما زادت الرتبة، فأعداد المجاري المائية في الرتبة الأولى أكثر عدد من المجاري المائية في المرتبة الثانية(الجدول4). في حين بلغ أجمالي أطوال الشبكة المائية في حوض وادي كعام 3290.07كم فقد جاءت الرتبة الأولى الأكثر طولا 1712.08كم وبنسبة 52.03% من مجموع أطول المجاري، وسجلت أطوال المجاري المائية في المرتبة الثانية طولا بلغ 814.77كم وبنسبة 24.76%، في حين شكلت الرتبة الثالثة طولا مقداره نحو 352.76كم ونسبته 10.72%، وجاءت أطوال المجاري المائية في الرتبة الرابعة بنسبة 6.44% وبطول بلغ 212.2كم، وأخيرا شكلت الرتبة الخامسة والسادسة

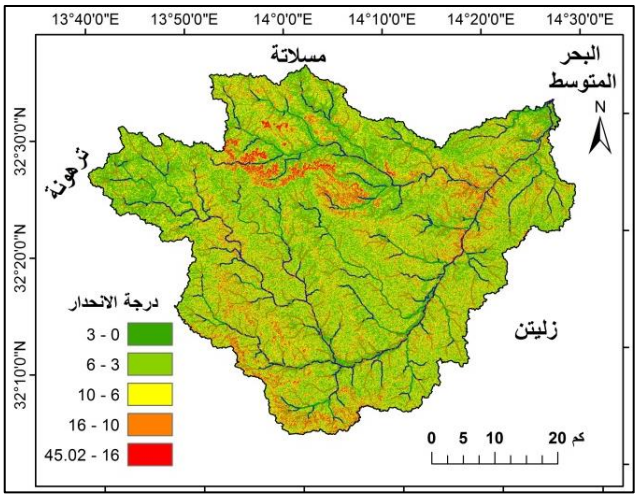
الجدول4: الخصائص المورفومترية للشبكة المائية لحوض وادي كعام

الرتب النهرية	عدد المجاري النهرية	%	مجموع أطوال المجاري كم	%	مجموع عدد المجاري لكل رتبتين	نسبة التشعب	النسبة*العدد	معدل نسبة التشعب	نسبة طول المجاري المائية
1	2252	77.8	1712.08	52.03	*	4.5	12375	0.76	*
2	498	17.2	814.77	24.76	2750	.45	2736	1.64	0.48
3	110	3.8	352.76	10.72	608	3.9	534.3	3.21	0.43
4	27	0.93	212.2	6.44	137	4.5	144	7.86	0.60
5	5	0.17	120.08	3.65	32	5	30	24.02	0.57
6	1	0.03	78.18	2.38	6	*	*	78.18	0.65
المجموع	2893	100	3290.07	100	3533	*	15819.3	*	*

المصدر: [10] بتصرف.

طولا بلغ 198.26كم وبنسبة 6.03% من مجموع أطول المجاري للشبكة المائية بحوض وادي كعام، كما تباينت نسبة أطوال المجاري المائية Stream length Ratio بين 0.43 و0.65 بسبب تباين تضاريس الحوض ودرجة الانحدار(الجدول4). كما تراوحت درجة الانحدار في حوض وادي كعام بين 0-45 وأكثر (الشكل5). تقاربت نسبة التشعب في حوض وادي كعام في جميع الرتب بين 3.9-5، ويعود السبب في هذا التقارب أو التشابه

إلى تجانس التكوينات الجيولوجية التربة وخصائص المناخ، وهذا يتفق مع ما أشار له (Horton, 1945) بأن الأحواض المائية المتجانسة تتراوح نسبة التشعب فيها بين 3-5، في حين بلغ معدل نسبة التشعب Mean Bifurcation ratio (R_{bm}) في حوض وادي زمزم 4.48 والتي تم حسابها من خلال استخراج نسبة التشعب لكل رتبتين متتاليتين وبعدها حساب متوسط المعدلات للنسب المختلفة، حيث بلغت قيمة التكرار النهري في



المصدر: عمل الباحثين باستخدام Arc GIS

الشكل5: درجات الانحدار في حوض وادي كعام

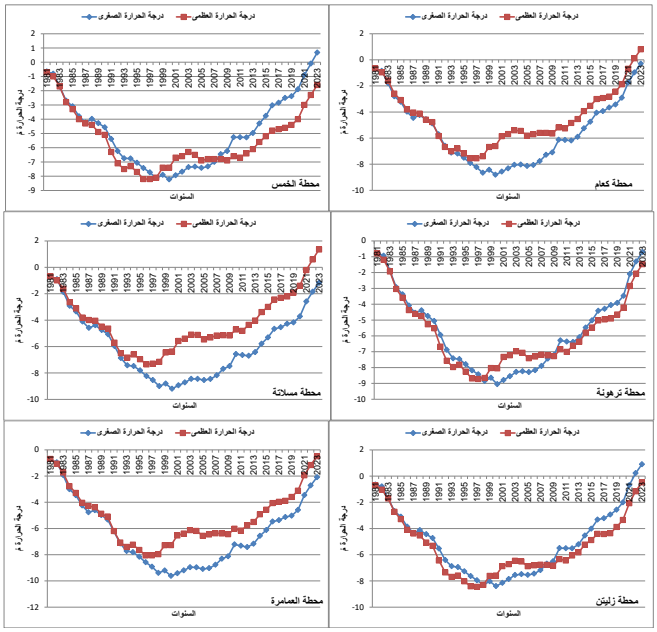
حوض الدراسة 1.14مجرى/كم والتي تشير إلى عدد المجاري المائية في كل كم^2[10]، في حين تمثل الكثافة التصريفية Drainage density (D_d) العلاقة بين أطوال المجاري المائية ومساحة الحوض، أو الأحواض الفرعية، وتشير إلى مدى تقارب وتباعد المجاري المائية داخل الحوض المائي، إي تعطي صورة واضحة عن وضع توزيع أو انتشار الشبكة المائية في الحوض، حيث تزداد الكثافة بازدياد أطوال المجاري المائية، وتتأثر الكثافة التصريفية كميات الهطول المطري، ونوعية التربة ودرجة نفاذيتها ومقدار التسرب ومعدلات التبخر والغطاء النباتي وكثافته والتركيب الصخري، [14]. وقد سجلت الكثافة التصريفية لحوض كعام نحو1.29كم/كم^2 ولعل للمناخ الجاف وشبة الجافة دورا رئيسا في انخفاض الكثافة التصريفية مع انتشار التربة ذات المسامية العالية خاصة في التكوينات الجيرية تعود إلى العصر االطباشيري [10].

ثانيا: اتجاهات التغير في مناخ حوض وادي كعام

اعتمدت الدراسة على بعض الطرق الإحصائية، لمعرفة اتجاهات التغير في مناخ حوض وادي كعام من خلال تحليل المعدلات السنوية لدرجة الحرارة الصغرى والعظمى وكميات الأمطار نفصلها في الآتي:

1. اتجاهات التغير في درجة الحرارة السنوية بحوض وادي كعام

أكدت منحنيات الفروقات التراكمية أو المجمعة وجود اتجاهًا حراريًا نحو الزيادة في المعدلات السنوية لدرجة الحرارة الصغرى والعظمى حيث شهدت نهاية تسعينيات القرن الماضي تحولًا ملحوظًا في المعدلات السنوية لدرجات الحرارة الصغرى والعظمى في منطقة الدراسة (الشكل6). ومما يدل على أن هناك اتجاهًا حراريًا في جميع نقاط الرصد أو المحطات المُناخية.لدراسة وتحليل الفرق بين المتوسط الحسابي للمعدلات السنوية لدرجة الحرارة الصغرى والعظمى في حوض وادي كعام، وتحديد ما إذا كانت هناك فروقٍ معنوية عند مستوى 0.5 . تم تقسيم فترة الدراسة لفترتين زمنيتين مختلفتين، الأولى: (1981. 2001)، والثانية: (2003. 2023) وتكون سنة 2002 سنة مقارنة بين الفترتين، حيث أظهرت نتائج اختبارt في (الجدول5) وجود فروقات في متوسط درجة الحرارة السنوية الصغرى والعظمى بين فترتي الدراسة لصالح الفترة الثانية في جميع نقاط الرصد أو المحطات المناخية في منطقة الدراسة. لتسجل أعلى فروق في المتوسط السنوي لدرجة الحرارة الصغرى والعظمى قيما فوق 0.5مْ فقد بلغت بين



المصدر: الباحثين باستخدام برنامج الأكسل.

الشكل6:الفروقات المتجمعة لدرجة الحرارة السنوية الصغرى والعظمى في حوض وادي كعام للفترة 1981-2023

0.562مْ، 0.806مْ، في محطتي الخمس وزليتن على التوالي، وكانت الفروق على مستوى دلالة إحصائية تقل عن 0.001 في جميع المحطات. ولتُظهر النتائج اتجاهاً حرارياً للزيادة في المتوسط السنوي لدرجة الحرارة الصغرى والعظمى في منطقة الدراسة.

الجدول5: الفرق بين المتوسطات لدرجة الحرارة السنوية الصغرى والعظمى لفترتي الدراسة (1981. 2001) و(2003. 2023)

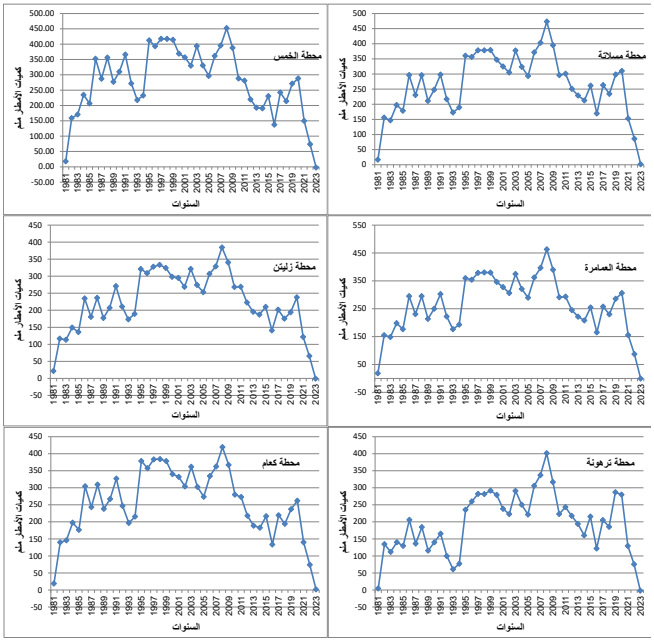
النقاط المناخية	درجة الحرارة	فترة الدراسة	المتوسط السنوي لدرجة الحرارة السنوية الصغرى	قيمة (t)	درجات الحرية	مستوى الدلالة الإحصائية	فرق المتوسط
الخمس	الصغرى	الأولى	15.122	7.205	40	0.000	**0.777**
		الثانية	15.899	7.205	39.636	0.000	
	العظمى	الأولى	26.086	4.410	40	0.000	**0.562**
		الثانية	26.648	4.410	34.251	0.000	
ترهونة	الصغرى	الأولى	12.883	7.013	40	0.000	**0.793**
		الثانية	13.676	7.013	39.919	0.000	
	العظمى	الأولى	25.452	4.578	40	0.000	**0.622**
		الثانية	26.074	4.578	37.111	0.000	
زليتن	الصغرى	الأولى	14.812	7.173	40	0.000	**0.806**
		الثانية	15.618	7.173	39.996	0.000	
	العظمى	الأولى	26.374	4.571	40	0.000	**0.623**
		الثانية	26.997	4.571	37.733	0.000	
كعام	الصغرى	الأولى	15.294	7.208	40	0.000	**0.79**
		الثانية	16.084	7.208	39.868	0.000	

	العظمى	الأولى	26.424	4.427	40	0.000	**0.586**
		الثانية	27.010	4.427	36.579	0.000	
مسلاتة	الصغرى	الأولى	14.275	7.115	40	0.000	**0.785**
		الثانية	15.060	7.115	39.635	0.000	
	العظمى	الأولى	25.835	4.434	40	0.000	**0.587**
		الثانية	26.422	4.434	36.208	0.000	
العمامرة	الصغرى	الأولى	14.453	7.150	40	0.000	**0.786**
		الثانية	15.239	7.150	39.480	0.000	
	العظمى	الأولى	25.990	4.476	40	0.000	**0.591**
		الثانية	26.581	4.476	36.398	0.000	

المصدر: عمل الباحثين اعتماد على برنامج spss

2. اتجاهات التغير في كميات الأمطار السنوية بحوض وادي كعام

تعد دراسة أنماط هطول الأمطار وتحديد واتجاهاتها غاية في الصعوبة؛ بسبب الذبذبات الواضحة في كمياتها ومواسمها وخاصة في الأقاليم الجافة وشبه الجافة الأمر الذي يجعل الاتجاه العام لا يحظى بدلالة إحصائية في المنطقة المدروسة، ولكن تكرار الاتجاه في أكثر من نقطة مناخية هو دليل على صدق هذا الاتجاه، حيث كشفت منحنيات الفروقات المجمعة (الشكل7)عن وجود اتجاهات نحو تناقص كميات الأمطار السنوية في منطقة حوض وادي كعام للفترة 1981-2023، ويظهر هذ الاتجاه بشكل واضح من سنة 2009 إلى سنة 2023 وبشكل واضح في جميع النقاط المناخية المدروسة مع زيادة حدة تذبذب كمياتها ومواسم هطولها، مما يوثر على كميات المياه المحتجزة في السدود في ليبيا واستخداماتها ودورها في تغذية المياه الجوية وتنوع الأحياء النباتية في المنطقة وخاصة نباتات المراعي. لدراسة وتحليل الفرق بين المتوسط الحسابي للمعدلات السنوية لكميات الأمطار السنوية في حوض وادي كعام، وتحديد ما إذا كانت هناك فروقٍ معنوية، قسمت فترة الدراسة لفترتين زمنيتين مختلفتين، الأولى: (1981. 2001)، والثانية: (2003. 2023)، حيث أظهرت نتائج اختبار t في (الجدول6) وجود فروقات في متوسط كميات الأمطار السنوية بين فترتي الدراسة لصالح الفترة الثانية



المصدر: الباحثين باستخدام برنامج الأكسل.

الشكل7: الفروقات المتجمعة لكميات الأمطار السنوية في حوض وادي كعام للفترة من 1981-2023

في جميع نقاط الرصد أو المحطات المناخية في منطقة الدراسة، ولتُظهر النتائج اتجاهاً نحو التناقص في متوسط كميات الأمطار السنوية في منطقة الدراسة دون دلالة إحصائية، فقد تراوح كميات التناقص بين 22.05ملم في ترهونة و32.81 ملم في منطقة الخمس، نحو 30.19ملم في منطقة كعام ومع ظهور اتجاه للزيادة لصالح الفترة الثانية بنحو 30.89ملم في منطقة العمامرة (الجدول6). ولزيادة التأكيد على الاتجاه نحو تناقص كميات الأمطار تم حساب السنوات الجافة والرطبة في نقاط الرصد المناخي المدروسة، فقد شهدت الفترة الثانية تزايد في السنوات الجافة مقابل الرطبة حيث كان عددها نحو9 سنوات في محطة الخمس أصبحت 14سنة خلال الفترة الثانية من الدراسة، فقد تراوحت بين 22 سنة جافة مقابل 18 رطبة في مصراتة، وسرت. وكما سجلت في محطات زليتن

الجدول6: الفرق بين المتوسطات لكميات الأمطار السنوية لفترتي الدراسة(1981. 2001) و(2003. 2023)

المحطة المناخية	فترة الدراسة	المتوسط السنوي لكميات الأمطار السنوية	قيمة (T)	درجات الحرية	مستوى الدلالة الإحصائية	فرق المتوسط
الخمس	الأولى	268.095	1.523	40	0.136	**-32.81**
	الثانية	235.286	1.523	39.58	0.136	
ترهونة	الأولى	246.048	1.110	40	0.274	**-22.05**
	الثانية	224.00	1.110	38.89	0.274	
زليتن	الأولى	198.238	1.686	40	0.100	**-26.86**
	الثانية	171.381	1.686	39.95	0.100	
كعام	الأولى	238.905	1.578	40	0.122	**-30.19**
	الثانية	208.714	1.578	39.51	0.122	
مسلاتة	الأولى	266.571	1.412	40	0.166	**-29.90**
	الثانية	236.667	1.412	39.96	0.166	
العمامرة	الأولى	260.095	1.460	40	0.150	**+30.89**
	الثانية	229.205	1.460	39.99	0.150	

المصدر: عمل الباحثين اعتماد على برنامج spss

ومسلاتة والعمامرة 10سنوات جافة للفترة 1981-2001، لتصبح بين 12-13 سنة جافة للفترة 2003-2023 (الجدول7)، وتعد زيادة سنوات الجفاف للفترة من 1981-2020 دليلا على تناقص الأمطار في حوض وادي كعام، في حين تناقصت السنوات الرطبة بين فترتي الدراسة حيث تراوحت من 7-9 سنوات رطبة مقابل 11-13 سنة رطبة للفترة الأولى من الدراسة. في حين اظهر خط الانحدار البسيط

الجدول7: عدد السنوات الجافة والرطبة للفترة 1981-2023

فترتي الدراسة (1981. 2001) و(2003. 2023)

النقطة المناخية	السنوات الجافة		السنوات الرطبة		السنوات الجافة %		السنوات الرطبة%	
	الفترة الأولى	الفترة الثانية	الفترة الأولى	الفترة الثانية	الفترة الأولى	الفترة الثانية	الفترة الأولى	الفترة الثانية
ترهونة	09	13	12	08	42.9	61.9	57.1	38.1
الخمس	09	14	12	07	42.9	66.7	57.1	33.3
زليتن	10	12	11	09	47.6	57.1	52.4	42.9
مسلاتة	10	12	11	09	47.6	57.1	52.4	42.9
كعام	09	13	13	09	42.9	61.9	61.9	42.9
العمامرة	10	13	11	08	47.6	61.9	42.9	38.1

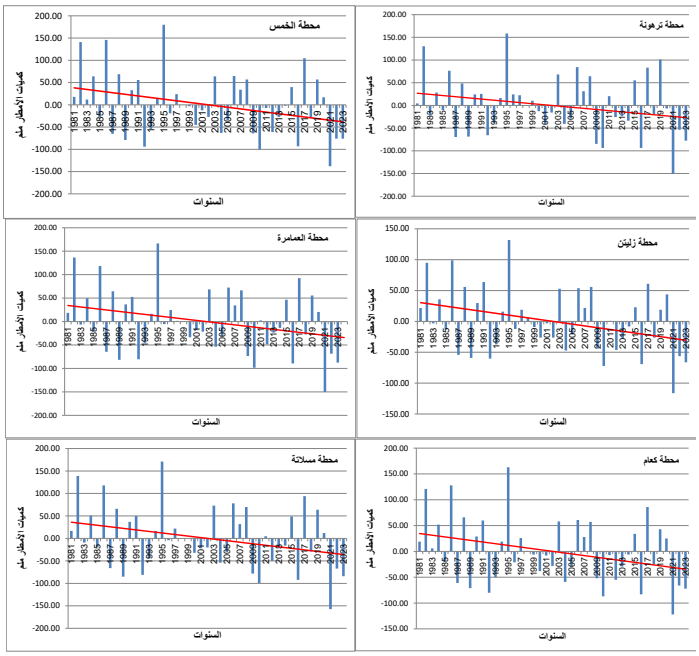
المصدر: عمل الباحثين اعتماد على برنامج الأكسل.

اتجاهات عامة نحو تناقص كميات الامطار السنوية في حوض وادي كعام (الشكل8) وبشكل خاص خلال العشرين سنة الأخيرة من الدراسة لتأكد نتائجه صدق الاتجاه العام نحو التناقص في أمطار منطقة الدراسة متماشيا مع تناقصها كميات الأمطار في منطقة حوض البحر المتوسط كما جاءت في العديد من الدراسات التي أشارت نتائجها إلى تناقص الأمطار السنوية

والفصلية مع تناقص في عدد الأيام الماطرة (الرطبة) في إيطاليا وجنوبها وبدون دلالة إحصائية كما في دراستي (Michele Brunetti et al, 2004)، و(Antonia. L, and Paolo.V,2009) [15]،[16] .

3. التذبذب في كميات المياه المخزنة في سد حوض وادي كعام

أقيمت ضمن الخطط الاستراتيجية للدولة الليبية مشروع وادي كعام الزراعي الذي استهدف عدد كبير من المزارع وتنميتها وتوفير مياه الري من بحيرة سد وادي كعام في سنة 1980ف وتتباين الكميات المستغلة سنويا تبعا لتباين كميات الأمطار في حوض وادي كعام والمتجمعة بالبحيرة، وقد شهدت كمياتها تباينا واضحا خلال الفترة من 1983-2013 حيث بلغت 27317/م3 سنة 1983، ونحو 250680 م/م3 سنة 1987، وما يقارب من 125 مليون سنة 1992، ووصلت بحيرة السد إلى الجفاف التام سنة1993



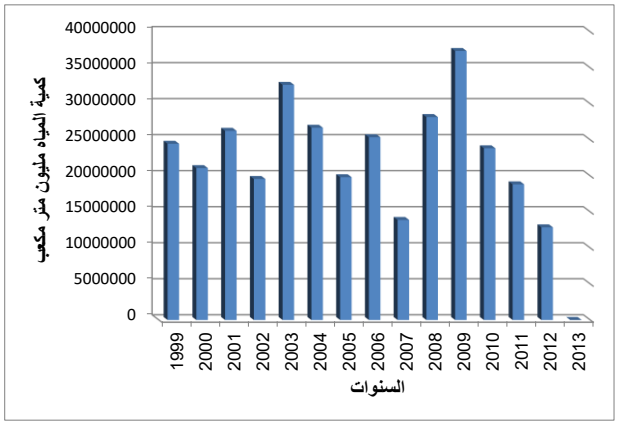
المصدر: الباحثين باستخدام برنامج الأكسل

الشكل8: الانحدار الخطي للمعدلات السنوية لكميات الأمطار للفترة 1981 -2023

وتباينت كمياتها للفترة من 1999-2013، حيث بلغ أقل كميات المياه المخزنة في بحيرة السد 68.011/م3 سنة 2012 وأعلى كمياتها كانت نحو 373351م/م3 سنة 2009 بينما بلغت 326300م/م3 سنة 2003، ونحو25360700 سنة 2006 (الشكل9) [2].

ثالثا: الدورة المائية وتغيراتها المتوقعة بحوض وادي كعام عام 2050

ستعاني منطقة الدراسة خلال العقود القادمة مشكلة نقص المياه وتدهورها، وستتفاقم مع التناقص المرصود في كميات الأمطار السنوية، ومع زيادة درجة الحرارة الصغرى والعظمى في ظل ظروف التغير المُناخي. حيث من المتوقع انخفاض الهطول بنحو 10%، وزيادة المساحات الجافة وشبه الجافة بين 5 -8% بحلول 2080 وزيادة درجة الحرارة بين 1-4 مْ مما يهدد الأمن المائي والغذائي، وستناقص تغذية المياه الجوفية إلى 70% بحلول خمسينيات القرن الحادي والعشرين، ورطوبة التربة لأكثر من 5% من المتوقع أن يتناقص نصيب الفرد من الموارد المياه إلى 55 م^3/السنة/: الفرد سنة 2025[17].



المصدر: [2]

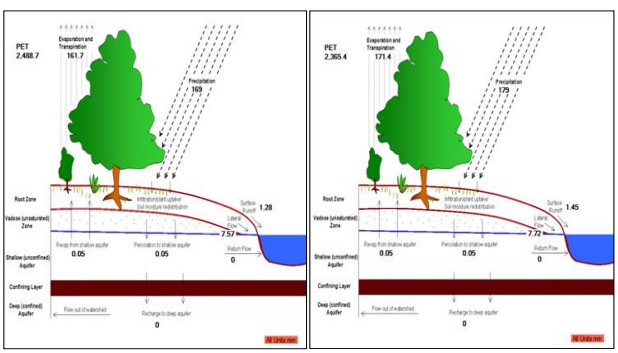
الشكل9: كميات المياه المخزنة في بحيرة سد كعام للفترة 9919 – 2013

وظفت الدراسة برنامج نظم المعلومات الجغرافية بعد أن افترضت تناقص نحو 10 ملم من كميات الأمطار في حوض وادي كعام وزيادة معدل درجة الحرارة بنحو 2مْ بحلول عام 2050 وفق بعض الدراسات العلمية والمنظمة الدولية المعنية بالتغير المناخي معتمدة على بيانات مناخية للفترة من 1979-2014، فقد أظهرت نتائج النموذج في ArcGIS (الجدول8)، و(الشكل10) للدورة المائية أنَّ حوض وادي كعام يغذي المياه الجوفية 0.05مم/السنة، ويُقدر الجريان السطحي 1.45مم/السنة. ويصل مقدار التبخر الكامن نحو2.356.4مم/السنة، كما يُسجل معدل السنوي للأمطار في حوض كعام 179مم للفترة من 1979-2014. وتَفترض الدراسة لتقييم أثر التغير المُناخي، ووفق لتوقعات نتائج النموذج في برنامج ArcGIS بحلول عام 2050 (الجدول8) سَيتناقص الهطول المطري السنوي ليسجل 169مم، والجريان السطحي بنحو1.28مم/السنة، (الشكل11)، وسَيزداد معدل التبخر الكامن ليسجل بنحو 2488مم/السنة، وسَيتناقص المحتوى المائي للتربة ويزيد من تصحرها. ومما يؤثر على الوضع المائي والزراعي بحوض وادي كعام،

الجدول8: الوضع المائي في حوض وادي كعام بحلول عام 2050

وضع الحوض المائي	الفترة الزمنية	معدل الأمطار السنوي(مم)	الجريان السطحي	التسرب الجانبي	تغذية الخزان الجوفي السطحي	التبخر النتحي الكامن	التبخر-النتح
الوضع الحالي	1979 - 2014	179	1.45	7.72	0.05	2356	171.4
التغير المحتمل	2050	169	1.28	7.57	0.05	2488	161.7
مقدار التناقص		10	0.17	0.15	-	0.1323	9.7

المصدر: [17]

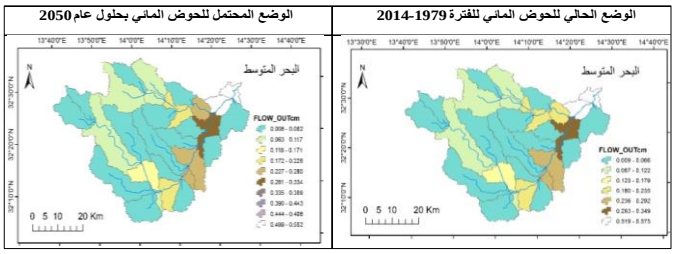


المصدر: [17]

الشكل10: الدورة المائية في حوض وادي كعام للفترة 1979-2014 والمتوقعة بحلول عام 2050

1. معدل التدفق الخارج من الحوض:

تباينت معدلات تدفق المياه في حوض وادي كعام حيث تراوحت بين 0.01 - 0.575 سم سنويا للفترة 1979-2014 في مناطق الحوض، ومن المتوقع أن تشهد معدلات تدفق المياه تناقصا واضحا بحلول عام 2050 لتتراوح بين 0.01 - 0.552 سم سنويا في منطقة المصب (الشكل12) نلاحظ هذه التغيرات والتناقص بشكل متباين بين الأحواض الفرعية في حوض وادي كعام فقد تراوحت بين 0.002 - 0.023 سم سنويا، ويعد الجريان السطحي في الأحواض المائية من الموضوعات المهمة في إنشاء مشاريع التنمية المستقبلية لحصاد المياه واستغلالها في المشاريع الزراعية وغيرها.

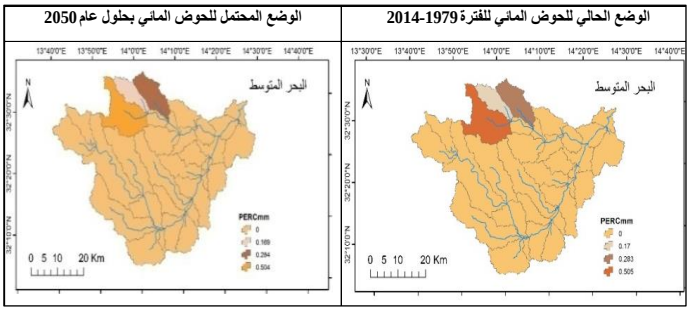


المصدر: [17].

الشكل12: التباين المكاني لمعدل التدفق الخارج من حوض وادي كعام

2. كمية المياه المترشحة الى منطقة الجذور لتغذي المياه الجوفية

لم تتغير معدلات المياه المترشحة لتغذية المياه الجوفية في منطقة حوض وادي كعام بحلول عام 2050 مقارنة بالفترة الأولى 1979 – 2014 التي أظهرت أجزاء واسعة من الخوض لا تغذي المياه الجوفية باستثناء الأجزاء الشمالية الغربية حيث بلغ معدله نحو 0.24 سم سنويا مع تقارب معدلاتها بين الأحواض الفرعية في حوض وادي كعام (الشكل13) لعل ذلك بسبب تنوع الغطاءات الأرضية وخاصة الغطاء النباتي، ونوع التكوينات الجيولوجية، وطبيعة المناخ والتوسع في حفر الآبار والنشاطات البشرية وتباين كميات الأمطار، وغيرها من العوامل التي تؤثر على كمية المياه المتسربة إلى المياه الجوفية



المصدر: [17].

الشكل13: التباين المكاني لمعدل التغذية الجوفية في حوض وادي كعام

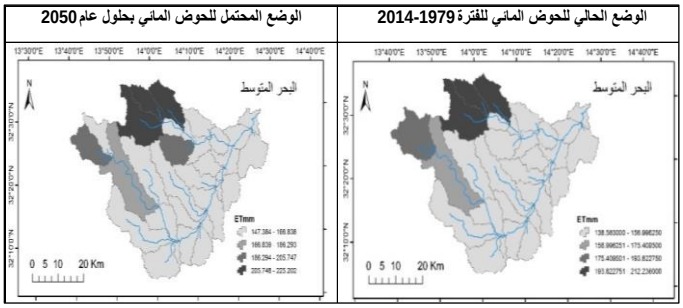
3. التبخر الفعلي:

يعد التبخر من العوامل المهمة والمؤثرة في الدورة المائية، والذي يعني تحول الماء إلى الحالة السائلة، حيث تباين مقدار التبخر الفعلي في حوض وادي كعام للفترة 1979-2014 بين مناطقه فكان أقلها في المناطق الجنوبية الشرقية والشمالية بمقدار تراوح بين 138.6 – 156.9 ملم/سنويا، وبلغ معدل التبخر النتحي الكامن خلال الفترة نحو2356ملم/ سنويا ويزداد مقدار التبخر الفعلي في المناطق الشمالية الغربية بالقرب من مناطق ترهونة ومسلاتة والعمامرة فقد تراوح فيها معدل التبخر بين 157 - 212.2ملم/سنويا، ومن الملاحظ أن تزداد معدلات التبخر الفعلي في حوض وادي كعام بحلول عام 2050 ليصل بين 205.7 -225.2ملم/سنويا (الشكل14)، وبشكل متباين بين مناطقه ليسجل معدل التبخر النتحي الكامن المتوقع نحو2488ملم/سنويا.

النتائج والتوصيات:

أولا: النتائج:

1. بلغت مساحة حوض وادي كعام نحو 2546.59 كم^2، وطوله نحو 77.5 كم وبعرض 32.86 كم، في حين حدد بلغ محيطه نحو352.51 كم، بارتفاع



المصدر: [17].

الشكل14: التباين المكاني لمعدل التبخر الفعلي في حوض وادي كعام

منابعه في مرتفعات جبل ترهونة.

2. وصل حوض وادي كعام إلى مرحلة النضج حيث قطع نحو 47.06% من الدورة الحثية، وأن ما نسبته 52.94% من كتلته الصخرية مازالت في انتظار عوامل التعرية لأزالتها وهنا تكون عملية النحت والترسيب داخل الحوض متوازنة.

3. صنفت الشبكة النهرية لحوض وادي كعام إلى ستة مراتب باستخدام GIS وفقا لطريقة Strahler المعدلة عن Horton لتصنيف المجاري المائية، حيث بلغت أعداد المجاري المائية فيه نحو 2893 وادٍ، وسجل أجمالي أطوال الشبكة المائية في حوض وادي كعام 3290.07كم.

4. أظهرت منحنيات الفروقات التراكمية أو المجمعة وجود اتجاهًا حراريًا نحو الزيادة في المعدلات السنوية لدرجة الحرارة الصغرى والعظمى بداية من نهاية تسعينيات القرن الماضي إلى سنة 2023. وأكدت نتائج اختبار t وجود فروقات في متوسط درجة الحرارة السنوية الصغرى والعظمى وكانت الفروق أعلى من 0.5مْ فقد بلغت بين 0.562مْ، 0.806مْ، في محطتي الخمس وزليتن على التوالي، عند مستوى معنوية 0.001 في جميع المحطات.

5. كشفت منحنيات الفروقات المجمعة عن وجود اتجاهات نحو تناقص كميات الأمطار السنوية في منطقة حوض وادي كعام للفترة 1981-2023، ويظهر هذ الاتجاه بشكل واضح من سنة 2009 إلى سنة 2023 وبشكل واضح في جميع النقاط المناخية المدروسة مع زيادة حدة تذبذب كمياتها ومواسم هطولها، أُظهرت اختبار t وجود اتجاهاً نحو التناقص في المتوسط لكميات الأمطار السنوية في منطقة الدراسة دون دلالة إحصائية، فقد تراوح كميات التناقص بين 22.05 ملم في ترهونة و 32.81 ملم في منطقة الخمس و30.89ملم في منطقة العمامرة، نحو 30.19ملم لصالح الفترة الثانية.

6. شهدت الفترة الثانية 2003-2023 تزايد في السنوات الجافة مقابل الرطبة حيث كان عددها نحو 9 سنوات في محطة الخمس أصبحت 14سنة خلال الفترة الثانية من الدراسة، فقد تراوحت بين 22 سنة جافة مقابل 18

رطبة في مصراتة، وسرت. وكما سجلت في محطات زليتن ومسلاتة والعمامرة 10سنوات جافة للفترة 1981-2001، لتصبح بين 12-13 سنة جافة، وتعد زيادة سنوات الجفاف للفترة من 1981-2020 دليلا على تناقص الأمطار في حوض وادي كعام.

7. اكد خط الانحدار البسيط وجود اتجاهات نحو تناقص كميات الامطار السنوية في حوض وادي كعام وبشكل خاص خلال العشرين سنة الأخيرة من الدراسة لتأكد نتائجه صدق الاتجاه العام نحو التناقص في أمطار منطقة الدراسة

8. شهدت كميات المياه المخزنة في بحيرة سد وادي كعام تباينا واضحا خلال الفترة من 1983-2013 حيث بلغت 27317/م3 سنة 1983، ونحو 250680 م/م3 سنة 1987، وما يقارب من 125 مليون سنة 1992، ووصلت بحيرة السد إلى الجفاف التام سنة 1993،وتباينت كمياتها للفترة من 1999-2013، حيث بلغ أقل كميات المياه المخزنة في بحيرة السد 68011/م3 سنة 2012 وأعلى كمياتها كانت نحو 373351م/م3 سنة 2009 بينما بلغت 326300م/م3 سنة 2003، ونحو25360700 سنة 2006.

9. أظهرت نتائج النموذج في ArcGIS أنَّ حوض وادي كعام يغذي المياه الجوفية 0.05مم/السنة، ويُقدر الجريان السطحي 1.45مم/السنة. ويصل مقدار التبخر الكامن نحو2.3564مم/السنة، وسجل المعدل السنوي للأمطار في حوض كعام 179مم للفترة من 1979-2014.

10. سيعاني حوض وادي كعام وفق ما تظهره نتائج ArcGIS تناقصا في الجريان السطحي ليصل 1.28 ملم/سنويا، وسيتناقص المحتوى المائي للتربة، وزيادة التبخر الكامن إلى 24887 ملم/سنويا بحلول 2050.

ثانيا: التوصيات:

1. الاهتمام بالدراسة المناخية والهيدرولوجية في الأحواض المائية، وبناء قاعدة معلومات جغرافية لها، وكشف تأثرها بالتغيرات المناخية

2. التوسع في تطبيق نظم المعلومات الجغرافية وملحقاته في تقييم التربة والمياه لفهم ونمذجة الدورة المائية ووضع تصورات مستقبلية لإدارة الأحواض المائية في ليبيا في ظل ظروف التغير المناخي.

3. تطوير القدرات البشرية لفهم التغير المُناخي وتأثيره على الموارد الطبيعية، ووضع النتائج كخطط استراتيجية عند صانعي القرار، وتوفير الدعم المالي لهم.

المراجع:

[1]- IPCC, Report (2007), **The Fourth Assessment Report** .(AR4), www.IPCC.Com, March 14, 2008.

[2]- الهيئة العامة للمياه (2015)، **تقرير عن سد وادي كعام وكميات المياه المجمعة في بحيرة السد**، بيانات غير منشورة، الخمس، ليبيا.

[3]- 3الحسيني، قصي فاضل (2019)، **التغيرات المناخية وآثارها على الواردات المائية في العراق وسبل معالجتها باستخدام تقانات الري الحديثة**، مجلة الباحث، العدد (31)، العراق. ص428-443.

[4]- 4العامود، فهد أحمد، والمرياني، عباس زغير(2018)، **أثر التغير المناخي في المياه السطحية وانعكاسه على التنوع الحيوي في منطقة ذي قار**، مجلة جامعة ذي قار، المجلد13، العدد(4)، العراق.ص20-38.

[5]- Kabiri .R, (2014), **Assessment of Climate change impact on Runoff and peak flow – A case study on Klang Watershed in west Malaysia**, Thesis submitted to the University of Nottingham for the degree of Doctor of Philosophy.

[6]- Khoi. D.N.et. al (2015), **impact of climate change on water quality in the upper dong nai river basin, Vietnam**, E-proceedings of the 36th IAHR World Congress, Netherlands.

[7]- 7الوائلي، مثنى فاضل (2012)، **التغيرات المناخية وتأثيراتها في الموارد المائية السطحية في العراق**، أطروحة دكتوراه غير منشورة، جامعة الكوفة، العراق.

[8]- Mohammed. Yakob (2009), **Climate change impact Assessment on Soil water availability and crop yield in anjeni watershed blue nile basin,** A Thesis Submitted to School of Graduate Studies Arba Minch University in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Master of Science in Meteorology, Ethiopia.

[9]- https://clim-engine.appspot.com/climateEngine

[10]- سليم، علي مصطفى (2016)، **تحليل الخصائص المورفومترية لحوض وادي كعام- ليبيا باستخدام نظم المعلومات الجغرافية**، المؤتمر والمعرض الدولي للتقنيات المكانية- ليبيا جيوتك 2، طرابلس، 6-8 ديسمبر 2016.ص194-211.

[11]- Horton, R.E (1945), "**Erosional Development of Streams and their Drainage Basins**", Bulletin of the Geological Society of America, 56, pp-275-370.

[12]- Strahler, A.N.(1957), **"Quantitative analysis of watershed geomorphology"**, Trans. Am. Geophys. Union. 38, pp. 913-920.

[13]- Schumn, S. A. (1956), **Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy**, New Jersey. Geol. Soc. Am. Bull. 67: 597-646.

[14]- Salim.A.M. et.al. (2020), **Stepwise approach for Morphometric modeling of Wadi Zamzam watershed in north-western Libya using GIS and remote sensing techniques**, Springer Nature, "Environmental Applications of Remote Sensing and GIS in Libya. PP145-173. Chapter-Environmental Applications of Remote Sensing and GIS in Libya, Editors: Hamdi. A. Zurqani, Sprhnger. https://link.springer.com/gp/book/9783030978099

[15]- Brunetti M. et.al. (2004),**Temperature , Precipitation And Extreme Events During The Last Century InItaly ,**Global And Planetary Change , 40, 141–149.

[16]- Longobardi, Antonia and Villani, Paolo (2009) **Trend analysis of annual and seasonal rainfall time series in the Mediterranean area,** Int. J. Climatol. **30**: 1538–1546.

[17]- سليم، علي مصطفى، (2016)، **التغير المناخي وأثره على درجة الحرارة الصغرى في شمال غرب ليبيا خلال الفترة من 1961-2010**، رسالة دكتوراه غير منشورة، الجامعة الأردنية، عمان، الأردن. ص164،70.