دراسة الخصائص المورفرمترية والهيدرولوجية لحوض وادي الأثل باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ونموذج الارتفاعات الرقمية

د. نعيمة موسى الشامخ ـ جامعة الجفارة / كلية التربية الزهراء
أ. الصيد ضو المبروك ـ جامعة الزنتان/ كلية التربية الرياينة

الملخص:

استخدمت هذه الدراسة نموذج التضرس الرقمي لاستخلاص الخصائص المورفومترية لحوض وادي الأثل ، والمُتمثِّلة في الخصائص المساحية والشكلية، والتضاريسية، وخصائص الشبكة المائية من أجل بناء قاعدةٍ معلوماتيةٍ جغرافيةٍ رقميةٍ للحوض، والتي يُستفاد منها في التخطيط الحضري، والتنبؤ بالفيضانات الفجائية مستقبلًا، ولتحقيق أهداف الدراسة تمَّ استخدام نموذج الارتفاع الرقميDEM بدقة 30م، بهدف إنتاج خطوط شبكة التصريف المائي، وإجراء المعالجة الآلية الرقمية للحوض باستخدام نظم المعلومات الجغرافية؛ لربط المعلومات المكانية بخصائصها الكميَّة، وإنتاج خرائط رقمية لشبكة المياه، وأخذ مختلف القياسات المورفومترية، وإجراء العلاقات المكانية بين خصائص الحوض المختلفة.

وقد أظهرتِ الدراسة أنَّ مساحة الحوض بلغت 486.1كم2، وأنَّ طوله بلغ 61.22كم، وقد سجل الحوض استطالة بقيمة (0.41)، ونسبة التضرس(11.5م/كم)، وهي قيمة مرتفعة تدل على تضرس الحوض ونشاط عملية النحت به، أمَّا التكامل الهيبسومتري فكانت قيمته (69%) ممَّا يعني أنَّ الحوض في مرحلة الشيخوخة الجيومورفولوجي، كما أظهرت دراسة الخصائص شبكة التصريف أنَّ الحوض يتكوَّن من40 مجرى، توجد في 3 رتب بلغ مجموع أطوالها (253.10كم)، أمَّا زمن الاستجابة(التركيز) فقد بلغ 7 ساعة، ممَّا يعني أنَّ الزمن الذي تستغرقه المياه؛ لكي تصل إلى مخرج الوادي من أبعد نقطة فيه ساعتين ونصف، وهذا دلالة واضحة على سرعة الجريان، وذلك لقصر المسافة وشدة الانحدار.

الكلمات الدالة: حوض وادي الأثل، الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية، نموذج الارتفاع الرقمي، نظم المعلومات الجغرافية.

Study of the Morphometric and Hydrological Characteristics of the Wadi-Al-Athal basin Using Gis & DEM

Abstruct:

This study used the digital Landscab model in order to extract morphological charateristics of El Atal Wadi basin. The charateristics used represent in the spatial, morphological, topographical, and water resourses network in which were all used to build up a digital geographic information data base for the basin. This system will benefit decision maker in planning and can be used on the forecast of sudden floods in the future.

In order to achive the goals of the study a Digital Elevation Model (DEM) with an accuracy of 30 m were used in creating a water drainage network lines, and performing digital automated treatment of the basin using GIS, In order to link the spatial information with its quantitative characteristics, as well as to produce digital maps of the water network of the basin, and to take various morphometric measurements, and conduct the spatial relationships between the different characteristics of the basin.

The results obtained indicates that the area of the basin were 486.1 Km^2 and the lenght were 61.22 Km and the basin. The basin elongation were found to be (0.41), and the ratio of the dentition was (11.5 m / km).

The dentition value is high which indicates the active carving process in the basin. With regard to the hypometric integration**,** its was found to be (69%) which reflects on the facts that the basin were in the stage of geomorphological aging. The result of the characteristics of the drainage network study showed that the basin consists of 40 streams, located in 3 ranks, with a total length of 253.10 km, while the response time (concentration) reached 7 hours, and that means that the time needed for the water to reach the exit of the valley from its farhest point is two and a half hours. This is a clear indication of the high speed of the water flow, due to the short distance and steepness of the vally slope or gradient**.**

Key words: Wadi Al-Athal basin, morphometric and hydrological characteristics, digital elevation model, geographic information systems

المقدمة:

يُعدُّ التحليل المورفومتري من أهم التطبيقات العلمية الحديثة المُستخدمة في الدراسات الجيومورفولوجية والهيدرولوجية، حيث يختص بالقياس والتحليل الكمي للخصائص المساحية، والشكلية والتضاريسية والشبكة المائية للمجاري المائية، إذ يُعدُّ مقياسًا مهمًا لما يحتويه من دلالات تساعد على فهم تكوين وتطور العمليات الجيومورفولوجية، ومعرفة أي مرحلة تمرُّ بها هذه الأحواض، وكمية التغذية المائية التي تغذي المجرى المائي الرئيسي، وعلاقتها بدورات التصريف والجفاف.

يُعدُّ نموذج الارتفاعات الرقمية DEM (Digital Elevation Model)، والمشتق من نموذج Shutlle Radar Mission(SRTM)، بقدرة تمييزية تصل إلى 30م هو ما تمَّ استخدامه؛ لاستنتاج الخصائص الطبوغرافية لحوض الأثل، واستقراء المعلومات عن تضاريسه وهيدرولوجية جريان مياه الأمطار به باستخدام مجموعة من الطرائق التحليلية المُعتمدة على المعلومات الرقمية لمعرفة حساب الارتفاعات والميول والمعالم السطحية لحدود الحوض المائية وشبكات تصريفه[1].

مشكلة الدراسة:

نتيجة لعدم وجود قاعدة بيانات جيوموفولوجية تُفسِّر الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لحوض وادي الأثل الذي يُعدُّ من الأودية المهمة بمنطقة الجبل الغربي، ولم يحظَ بدراسةٍ شاملةٍ؛ لذا اعتمدتِ الدراسة على تقنية Gis التي توفر الدقة والسرعة في التحليل المورفومتري للأحواض المائية مقارنة بالطرق التقليدية، ومن هنا جاءت هذه الدراسة للإجابة على التساؤلات الآتية:

1- ما الخصائص المورفومترية والجيولوجية والتضاريسية والجيوموفولوجية والهيدرولوجية لحوض وادي الأثل؟

2- هل يمكن تحديد وحساب الخصائص المورفومترية لحوض وادي الأثل باستخدام نموذج الارتفاع الرقمي وتقنية المعلومات الجغرافية؟

الأهمية:

تسليط الدور على أهمية استخدام نظم المعلومات الجغرافية في الدراسات الجيومورفومترية، ومدى الاستفادة منها في عمليات التحليل الجغرافي.

الأهداف:

تهدف الدراسة إلى تحقيق الأهداف الآتية:

1- استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية ونموذج الارتفاع الرقمي (DEM) لدراسة الخصائص المورفومترية لحوض وادي الأثل، والمُتمثِّلة في الخصائص المساحية والشكلية والتضاريسية وخصائص الصرف والعمليات التي شكلتها.
2- إنشاء خرائط رقمية لحوض وادي الأثل من خلال نظم المعلومات الجغرافية.
3- بناء قاعدة بيانات جغرافية رقمية للحوض، تساعد في تنمية المشاريع المستقبلية، وتحديد مواقع لإنشاء السدود التي تساعد في التنمية من قبل الجهات المختصة.

المنهجية:

تمَّ الاعتماد على المنهج التحليلي في دراسة الخصائص المورفومترية لحوض وادي الأثل ، وإجراء القياسات وتطبيق المعادلات لإجراء التحليلات المورفومترية.

مصادر الدراسة:

1.الاعتماد على برنامج نظم المعلومات الجغرافية Arc Map10.8
2. نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة x3030، والخريطة الجيولوجية لليبيا لوحة طرابلس الصادرة عن مركز البحوث الصناعية، بمقياس1: 50.000، 2009م.

الدراسات السابقة:

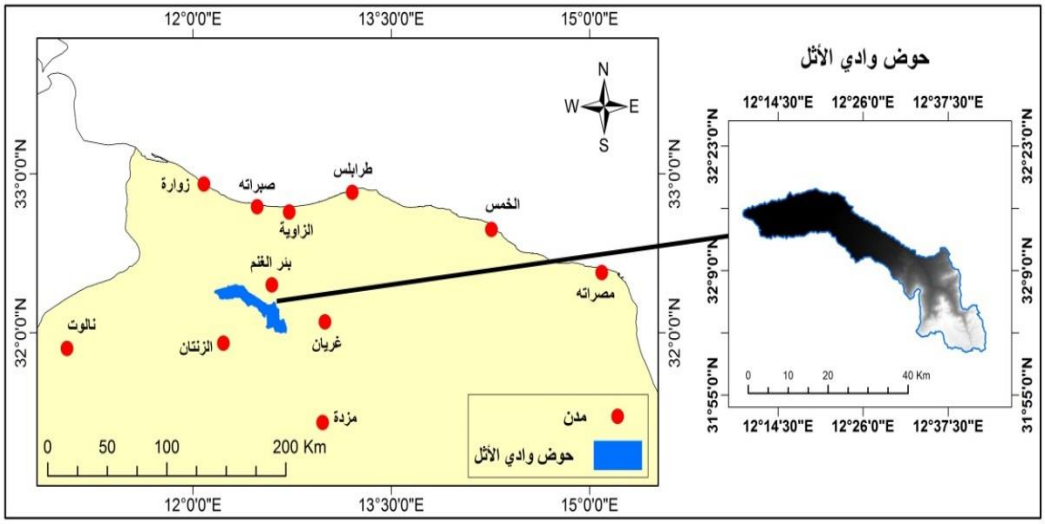
دراسة أحمد العوامة (2006) "التحليل الجيومورفومترى لحوض وادي غان"، والتي توصَّل فيها إلى عدة نتائج، أهمها: أنَّ حوض الوادي متوسط الاستطالة، وهو أقرب إلى الشكل المثلث من الشكل الدائري أو المربع، ويتميَّز بتضرسٍ مرتفعٍ، وازدياد درجة انحدار سطح الحوض، وهذا يدل على أنَّ الحوض ما زال في مرحلةٍ متقدمةٍ من مرحل التعريَّة [2].

منصف صالح وآخرون(2020)، "استخدام نموذج الارتفاع الرقمي(DEM) في تحليل المُتغيَّرات المورفومترية لحوض وادي الملكة بالجبل الأخضر شمال شرق ليبيا"، هدفتِ الدراسة إلى استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية في التعرف عن الخصائص المورفومترية لحوض الوادي، والمُتمثِّلة في الخصائص المساحية والشكلية والتضاريسية، وخصائص شبكة الصرف المائي، فضلًا عن أنماط التصريف لبناء قاعدة معلومات جغرافية رقمية لحوض الوادي، واعتمدتِ الدراسة على نموذج الارتفاع الرقمي وتحليل المرئيات الفضائية، واستخدام المنهج الكمي، الذي يهدف إلى تطبيق المقاييس والمعادلات الرياضية في تحليل العمليات الجيومورفولوجية، ودراسة الخصائص الطبيعية والجيولوجية والمناخية لحوض والوادي[3].

الموقع الفلكي والجغرافي لحوض وادي الأثل:

يقع حوض وادي الأثل في الجزء الشمالي الغربي لليبيا، تحديدًا جنوب غرب مدينة طرابلس، يحدَّه من الشرق مدينة غريان وجنوبًا مدينة الزنتان، وفلكيًا يقع بين دائرتي عرض ً51 ´59 ˚31 و ً14 ´18 ˚32 شمالًا وخطي طول ً46 ´9 ˚12 و ً33 ´42 ˚12 شرقًا، كما هو مبين بالخريطة (1)، وتبدأ منابعه من مرتفعات الجبل الغربي ويتجه نحو الشمال حتى تنتهي عند سد وادي الأثل، يتَّصف سطح منطقة الدراسة بالانحدار التدريجي من الغرب إلى الشمال و الشمالي الغربي.

خريطة (1) موقع منطقة الدراسة:



1. تكوين نالوت: يتالف من احجار جيريه دولوميتيه رماديه اللون متبلورة مع تداخلات كثيرة من طبقات رقيقة ودونات صوانية، يرجع عمرها إلى العصر الطباشيري المتأخر.

2. تكوين سيد الصيد: وهي طبقة من العصر الترياسي الأعلى تتكوَّن من طبقة مُتعاقبة من الحجر يعلوها طبقات من الحجر الجيري الدولوميتي مع تداخلات من المارل.

3. تكوين تغرنَّة: يعود للعصر الكريتاسي الأعلى، ويتكوَّن من المارل والحجر الجيري الدولوميتي جزئيًا.

4. تكوين ككلة: يعود إلى عصري الجوارسى المتأخر والطباشيري المتأخر، ويتألف من أحجار جيرية المالي، مع تداخلات من الحجر الرملي خشن الحبيبات، والطين، وحفائر يرجع عمرها إلى الجوارسي العلوي.

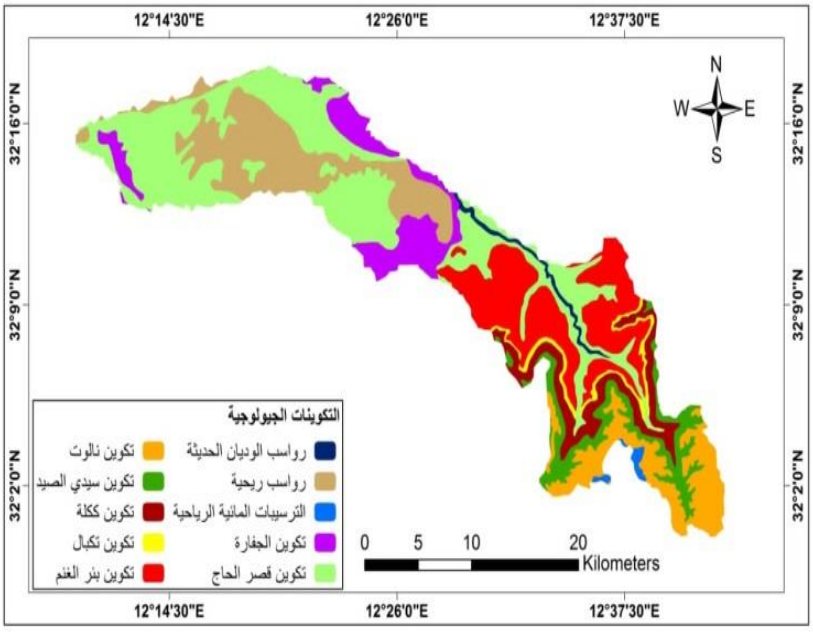
5. تكوين تكبال: يتكون من الحجر الجيري مع تداخلات من الطين وبقايا حيوانية يرجع عمرها إلى الجوراسي الأوسط.

6. تكوين بئر الغنم: يتألف من طبقات سميكة من الحجر تعلوها طبقات من الطفل، والطين الأحمر يعلوها طبقات من الجبس وأنهيدريت وتداخلات من الطين والطفل، أمَّا الجزء العلوي فيحتوى على جيوب كربونية.

7. تكوين قصر الحاج: عبارة عن تجمعات من الكتل والجلاميد والحصى يتألف من الحجر الجيري الذي يتماسك بدرجات متفاوتة من قشور جيرية تكوَّنت في العصر الهولوسين.

8. تكوين الجفارة: يتكوَّن من رواسب رملية وغرين مع مستويات مختلفة من صخور الكاليش. 9. رواسب مائية ورياحية: تتكوَّن من غرين ورمال ناعمة تعود للعصر الجيولوجي الحديث. 10. رواسب الوديان الحديثة: وهي عبارة عن حصى وغرين ورمال ناعمة، خريطة (2).

خريطة (1) الموقع الجغرافى لحوض وادى الأثل



الم

أولًا-

1.ال

أ. ال

اث

ض،

وطوله، وعرضه ومحيطه على النحو التالي:

1.مساحة الحوض:

تكمن الأهمية الجيومورفولوجية للمساحة في تأثيرها المباشر في حجم التصريف المائي، أمَّا على المستوي الجغرافي فإنَّ للمساحة دلالة مهمة على الوضع المحلي لمنطقة الدراسة بالنسبة إلى محيطها الإقليمي ومدى تأثيرها فيه وتأثرها به [4]. وبناءً على ذلك فقد بلغت مساحة الحوض 486.1كم2. وهو يُعدُّ من الأحواض الصغيرة إذا ما قُورنت بالأحواض المائية الكبيرة في ليبيا مثل حوض وادي كعام الذي تبلغ مساحته 2546.59كم2، وحوض وادي سوف الجين 30000كم2.

2.طول الحوض:

يُؤثِّر طول الحوض في عملية الجريان السطحي، حيث يتحكَّم بمدة تفريغ الحوض لمياهه وحمولته الرسوبية، كما تتناسب معدلات التسرُّب والتبخُّر مع طول الحوض تناسبًا طرديًا، وذلك لتباطؤ سرعة المياه الجارية بالاتجاه نحو مخرج الحوض؛ بسبب قلة انحدار السطح، واتساع القنوات والمجاري المائية[5]، ويُحدِّد طول الحوض بعدة طرائق وفي هذا الدراسة تمَّ الاعتماد على قياس أقصى طول للحوض من مصبه إلى أبعد نقطة عند محيطه بتتبع المجرى الرئيسي؛ لأنَّ حوض وادي الأثل يُعدُّ من الأحواض بسيطة الشكل، وقد تمَّ قياسه بواسطة برنامج ArcGis10.8 على الخريطة الرقمية ووجد أنَّ طول الحوض يساوي (61.22كم).

3.عرض الحوض:

اعتمدتِ الدراسة على حساب أقصى اتساع، ويتمثَّل بأبعد نقطتين متقابلتين عن محور الحوض لكونها تتناسب مع أقصى طول له، كما يعطي صورة مُحدَّدة على مدى اتساع الحوض، وإمكانية تحديد الزمن اللازم لوصول كل المياه من أبعد نقطه فيه إلى مصبه، وقد بلغ أقصى اتساع للحوض(13.55كم).

4. مُحيط الحوض:

يُقصد بمحيط الحوض خط تقسيم المياه الذي يفصل بين الحوض المدروس والأحواض المجاورة له أي يُعدُّ الحدود الخارجية للحوض، ويُعدُّ من المُتغيِّرات المورفومترية الأساسية للحوض لارتباطه بالعديد من الخصائص الأخرى مثل: (مساحة الحوض، وشكل الحوض، وعرضه، والاستدارة، والاستطالة)، وتم قياس المحيط بواسطة ArcGis10.8، ووجد أنَّ محيط الحوض وادي الأثل 171.2كم. جدول (1) يُوضِّح الخصائص المساحية لحوض الوادي.

جدول (1) قيم مُتغيَّرات شكل الحوض

المتغير المورفومتري	مساحة الحوض	طول الحوض	عرض الحوض	محيط الحوض
القيمة بالكيلومتر	486.1كم2	61.22كم	13.55كم	171.2كم

المصدر: من عمل الباحثة استنادًا على المُتغيِّرات المورفومترية للحوض.

ب: الخصائص الشكلية لحوض Morphoiogical Characteristics:

تفيد الدراسة الشكلية للحوض في معرفة التطور الجيومورفولوجي والعمليات التي أدَّت إلى تشكيله، إلى جانب معرفة تأثير الشكل على حجم التصريف المائي، ممَّا يُسهم في تحديد مخاطر الفيضانات، كما تُسهم في إمكانية قياس معدلات التعرية المائية، ومقدار كمية التصريف الواصل إلى المجري الرئيس.

أ_ نسبة تماسك المساحة (معدل الاستدارة) Circularity Ratio:

يعكس معدل الاستدارة مدى تقارب الحوض من الشكل الدائري وانتظام خط تقسيم المياه، عند تقارب قيم الاستدارة من الواحد الصحيح، يعنى أنَّ شكل الحوض يقترب من الشكل الدائري، كما يعكس ذلك تقدم الدورة الحتية في الحوض وطول عامل الزمن، ونشاط عمليات النحت التي شارفت على إنهاء الدورة الحتية، وتُشير القيم المنخفضة لمعدل الاستدارة التي تقترب من الصفر إلى عدم انتظام خطوط تقسيم المياه وعدم تساوي عمليات النحت والتعريَّة، وأنَّ الدورة الحتية ما زال تقوم بدورها، ويُحسب معامل الاستدارة بالمعادلة التالية [6].

$$\text{معامل الاستدارة} = \frac{\text{مساحة الحوض}}{\text{مساحة الدائرة يساوى محيطها محيط الحوض نفسه}}$$

بتطبيق هذا المعادلة بلغ معدل الاستدارة في الحوض كما يلي

المساحة الحوضية لحوض وادي الأثل:

محيط الدائرة = محيط الحوض

محيط الدائرة = ق x 171.2 ← π = ق ÷ 3.14

ق= 54.522 ÷ 2 ← 27.261

مساحة الدائرة= πx (نق)² ← ^{2}x 3.14 = (2.333) ^{2}(27.261)

$$\text{معامل الاستدارة} = \frac{\mathbf{486.1}}{\mathbf{2333.554}} = \mathbf{0.20}$$

نستنتج من ذلك أنَّ شكل حوض منطقة الدراسة يبتعد عن الشكل الدائري، ممَّا يدل على أنَّ خط تقسيم المياه المحيط بحوض وادي الأثل لا يسير على النحو المنتظم بل بتعرجات ملحوظة.

ب_ نسبة الاستطالةElongation Ration :

يُعدُّ من أهم وأدق المعاملات المورموفترية في قياس أشكال الاحواض التصريفية، وهو يُعبِّر عن مدى تقارب أو تباعد شكل الحوض من الشكل المستطيل[7]، فاقتراب الحوض من الواحد صحيح يعنى أنَّ الحوض المائي مستطيل والعكس، وبتطبيق المعادلة التالية تبين أنَّ معامل الاستطالة لحوض وادي الأثل (0.41)، هذه القيمة تفيد أنَّ الحوض بعيد الاستطالة، حيث صُنفتِ الأحواض المائية وفقًا لقيمة هذا المعامل إلى دائرية(0.9-1)، مستطيلة(0.6-0.7)، وتكون بيضاوية(بيت(0.8-0.9)، وإذا كان الناتج أقل من 0.5 يكون الحوض المائي أقل زيادة في الاستطالة وتحسب بالمعادلات التالية:

$$\text{معامل الاستطالة} = \frac{\text{قطر دائرة مكافئة في مساحتها مساحة الحوض}}{\text{أقصى طول الحوض}}$$

مساحة الدائرة = نق2 ✕ π نق2 = 486.1 ÷ 3.14

نق= 12.442كم 24.884كم

معدل الاستطالة لوادي الأثل= = 0.41 مما يدل أنَّ حوض وادي الأثل أقل زيادة في الاستطالة.

ج_ نسبة تماسك المحيط (معامل الاندماج) Compactness Factor:

يُوضح هذا المعامل مدى التناسق والتجانس الموجود بين محيط الحوض ومساحته الكلية، ودرجة انتظام وتعرُّج خطوط تقسيم المياه، ويستدل به في معرفة المرحلة التحاتية، إذ تُشير القيم المُرتفعة له إلى أنَّ الحوض تكثُر فيه التعرُّجات في محيطه، وتقلُّ درجة تناسق في شكله، بينما تُشير القيم المنخفضة له أنَّ الحوض قد قطع مراحل متقدمة في دورته التحاتية، وإذ تجاوزتِ القيمة 1.5 يدل ذلك على استطالة الحوض [8]، ويتمُّ حسابه بالمعادلة التالية:

$$Cc = 0.2841 \times P/A^{0.5}$$

حيث إن Cc= معامل الاندماج، 0.2841 قيمة ثابتة، P=محيط الحوض(كم)، A= مساحة الحوض(كم²)، وعند تطبيق هذه المعادلة على حوض وادي الأثل(2.21)، وهي قيمة مرتفعة، ممَّا يدل على انعدام التناسق بين محيط الحوض ومساحته، وعدم انتظام خطوط تقسيم مياهه.

د_ معامل الانبعاجLemniscate Ratio :

تفيد دراسة هذا المعامل في معرفة مدى اقتراب شكل الحوض من الشكل الكمثريPear Shape وتدل القيم المنخفضة على تفلطح الحوض وزيادة أعداد وأطوال المجاري الأولية، ومن ثمَّ نشاط عمليات النحت التراجعي، ممَّا يدل على أنَّ الحوض قد قطع شوطًا طويلًا في دورته الحتية، في حين تشير القيم المرتفعة إلى عكس ذلك، وبدراسة معامل الانبعاج بحوض وادي الأثل اتضح أنَّه (1.01)، ممَّا يشير إلى انخفاض انبعاج حوض الوادي، كما أنَّه في بداية دورته التحاتية.

ويُقاس بالمعادلة التالية: معامل الانبعاج= $\frac{\text{مربع طول الحوض}}{\mathbf{x4}(\text{مساحة الحوض})}$ = $\frac{\mathbf{2(61.22)}}{\mathbf{(486.1)x4}}$ **=1.01.**

معامل الشكل:

يعطي هذا المعامل فكرة على مدى تناسق أجزاء الحوض المختلفة، وانتظام الشكل العام له، حيث يُوضح العلاقة بين المساحة والطول فكلما اقترب الناتج من الواحد كان الشكل أكثرَ تناسقًا، وبعيدًا عن شكل المثلث في حين تُشير القيم المنخفضة إلى عدم التناسق واقتراب شكل الحوض من شكل المثلث [9]، وتكمن أهميته في معرفة مدى سرعة وصول الموجات المائية إلى الذروة، ويستخرج قيم هذا المعامل وفقًا للمعادلة التالية:

معامل الشكل= $\frac{\text{مساحة الحوض(كم}^2\text{)}}{\text{مربع طول الحوض(كم)}}$ = $\frac{\mathbf{486.1}}{\mathbf{2(61.22)}}$ **=0.13.** وهذا يدل على أنَّ حوض وادي الأثل صغير المساحة نسبيًّا وشكله أقرب إلى الاستطالة، بسبب ابتعاد معامله عن الواحد الصحيح، وهذا الشكل لا يساعد على وصول مياه الجريان إلى المصب بسرعة، ممَّا يزيد كمية التبخّر والتسرّب في الحوض.

جدول (2) قيم متغيرات شكل الحوض

المتغير المورفومتري	الاستدارة	الاستطالة	الاندماج	الانبعاج	معامل الشكل
القيمة	0.20	0.41	2.21	1.01	0.13

المصدر/من عمل الباحثة.

2_ الخصائص التضاريسية لحوض وادي الأثل:

1. معامل التضرسRelief Ratio :

تفيد دراسة هذا المعامل في معرفة تضرس الأحواض لما له من علاقة بالعمليات الجيوموفولوجية السائدة فيها، وتنخفض نسبة التضرس في الأحواض ذات المساحة

الكبيرة والعكس، وتدل القيمة المرتفعة لنسبة التضرس على شدة النحت والجريان في الحوض [11]، ويرتبط تضريس الحوض بمناخ وجيولوجية المنطقة وبنوعية الصخور في حوض التصريف، وباستجابات هذه الصخور لعمليات التعرية النشطة في حوض الوادي [12]. ويُعبِّر هذا المعامل على مدى تضرس حوض الوادي بالنسبة لطوله، وهو يشير بصورة مباشرة إلى درجة انحدار الحوض، وترتفع قيمة هذا المعدل بزيادة الفارق بين منسوبي أعلى وأدني نقاط الحوض، أي أنَّ قيمة هذا المعدل تتناسب طرديًا مع زيادة درجة التضرس، وبناءً على القياسات التي تمَّ الحصول عليها من برنامج Arc Gis 10.8، وجد أنَّ معامل التضرس للحوض وادي الأثل بلغت (11.5م/كم)، وهي قيمة منخفضة، وهذا يدل على ارتفاع معامل التضرس بحوض الوادي؛ وذلك لصغر مساحة الحوض بالنسبة لارتفاعه، وهذا يعطينا مؤشرًا على نشاط عملية الحت به [13]. ويُعبِّر عنه بالمعادلة التالية:

$$\text{معامل التضرس} = \frac{\text{الفرق بين أعلى و أدني منسوب في الحوض(م)}}{\text{طول الحوض(كم)}} = \mathbf{11.49}\ \text{م/كم}$$

$$\text{معامل التضرس} = \frac{\mathbf{110-814}}{\mathbf{61.22}}$$

2. قيمة الوعورة Ruggedness Value:

تُعبِّر هذه القيمة عن العلاقة بين تضاريس الحوض وكثافة شبكة التصريف، ويُشير ارتفاع قيمة الوعورة إلى تضريس الحوض وسيادة التعريَّة المائية وانحدار المجرى، وزيادة نقل الرواسب واحتمالية حدوث الفيضان، لارتباطها بالتضاريس وكثافة الجريان [14]، ويتمُّ حساب هذا المعامل من خلال المعادلة الرياضية التالية:

$$\text{قيمة الوعورة} = \frac{\text{تضاريس الحوض} \times \text{كثافة التصريف الطولية}}{\mathbf{1000}}$$

$$\text{قيمة الوعورة} = \frac{\mathbf{0.52 \times 704}}{\mathbf{1000}} = \mathbf{0.37}$$

بتطبيق المعادلة وجد أنَّ قيمة الوعورة في حوض الأثل منخفضة دلالة على أنَّ الحوض مازال يقوم بدورته التحاتية وأمامه متسع من الوقت لإكمال دورته، وزيادة أطوال مجاريه على حساب مساحته.

3. الانحدار Slope:

تُعدُّ دراسة الانحدارات ذات أهميةٍ كبيرةٍ في الدراسات الجغرافية عامة والجيومورفولوجية خاصة، حيث تُعدُّ إحدى أهم عناصر مظاهر السطح التي يتمُّ تحليلها باستخدام أساليب قياسية وتحليلية، كما أنَّ لها علاقة وطيدة بالنشاطات البشرية المختلفة

كالطرق والجسور والعمران ومشاريع الري وغير ذلك، إذ يعتمد إقامة أي مشروع على طبيعة الانحدار وشدته واستقراره والعمليات الجيومورفولوجية التي تتعرض لها تلك السفوح [15]. كما أنَّ انحدار المجاري المائية نحو المصب، يساعد على جريان المياه واندفاعها وانتقال الرواسب والمفتتات من المناطق العليا وترسيبها على جوانب الوادي وقسميه الأوسط والأدنى، وتُرسب على حجم أحجامها وأنواعها [16]. ويتمُّ حسابه وفقًا لمعادلة التالية: زاوية الانحدار = $\frac{\text{أعلى نقطة الحوض}}{\text{المسافة الأفقية}}$ = $\frac{814}{61.22} = 13.29$ زاوية الانحدار

وبناءً على تصنيف يونج (Young, 1972) للمنحدرات فأن حوض وادي الأثل يعدُّ ذو انحدار فوق المتوسط إذ بلغ انحداره (13.3)، وذلك لصغر مساحته؛ لأنَّه عادة ما ترتبط المساحات الصغيرة بتزايد الانحدار.

4.المعامل الهيبسومتري:

يستعمل هذا المعامل كمقياس زمني يُعبِّر عن المرحلة الحتّية التي تمر بها الأحواض المائية، وتُشير إلى كميّة المواد الصخرية التي لا تزال تنتظر دورها في العملية الحتّية، ففي المناطق ذات الظروف المناخية الرطبة والصخور اللّينة، فإنَّ عملية الحتّ تُزيل جزءًا كبيرًا من صخور الحوض المائي، ممَّا يؤدى إلى انخفاض نسبة تضرسه[17]، وقد تم حساب المعامل وفقا لمعادلة التالية: معامل الهيبسومتري = $\frac{\text{المساحة الحوضية كم}^2}{\text{التضاريس الحوضية(م)}}$

معامل الهيبسومترى $\frac{486.1}{701} = 0.69$كم^2/م

وهذا يعنى أنَّ الحوض قطع(69%)من الدورة الحتية، وأنَّ (31%) من التكوينات الصخرية لازالت في انتظار دورتها الحتية، ووفقًا لتصنيف هورتون يُعدُّ الحوض في مرحلة الشيخوخة، نظرًا لأنَّ ما نسبته (69%) من مساحة الحوض المائي قد أُزيلت، وهنا تكون السيادة لعمليات الترسيب أكثر من عمليات التعريَّة، جدول(3).

جدول (3) الخصائص التضاريسية لحوض وادي الأثل

المتغير المورفومتري	معدل أو نسبة التضرس	قيمة الوعرة	زاوية الانحدار	التكامل الهيبسومتري
القيمة	11.5م/كم	0.37	13.3	0.69

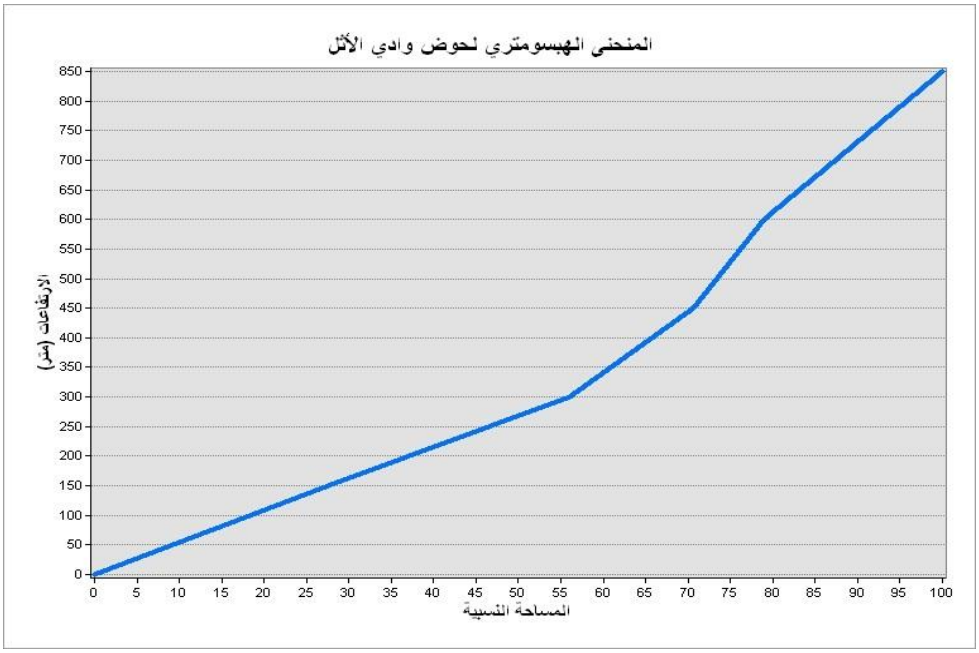
المصدر/ من عمل الباحثة.

جدول (4) إحصاءات الخطوط الكنتورية في حوض وادي الأثل

فئات الارتفاع	المساحة الجزء بالكلم ^{2}	%	النسبة التراكمية	المساحة التراكمية
أعلى من 600	102.11	21.0	0	0
451-600	40.798	8.4	29.4	0
301-450	71.01	14.6	44.0	43
151-300	138.792	28.6	72.6	97
150 فأقل	133.369	27.4	100	138
المجموع	486.069	100		221

المصدر/من عمل الباحثة

شكل (1) المنحنى الهيبسومتري **لحوض وادي الأثل**



المصدر/ من عمل الباحثة استنادا لبيانات الجدول (4).

ثانيًا/ الدراسة المورفومترية لشبكة التصريف لحوض وادي الأثل:

1.إعداد ورتب المجاري المائيةStream Order Number:

صنفتِ الرتب النهرية في حوض وادي الأثل وفقَ تصنيف ستريلر، التي تنصُّ على أنَّ كل رافد مائي ليس له رافد مائي آخر يُشكل المرتبة الأولى، وعند التقاء رافدين في المرتبة الأولى يكونان المرتبة الثانية، وهكذا في باقي الرتب الأعلى، وأنَّ تغذية رافد من مرتبة أولى إلى مرتبة مقدمة لا يؤثر في الترتيب، وفقًا ذلك تصنف الشبكة النهرية

لحوض وادي الأثل إلى ثلاثِ رتب باستخدام Gis في الجدول(4) والخريطة(3)، ومن البيانات الموضحة بالجدول(4) تبين أنَّ عدد المجاري للحوض 40 مجرى، تبلغ أعدادها في المرتبة الأول 33 مجرى، في حين تسجل المرتبة الثانية نحو6 مجرى، ونحو مجرى واحد في المرتبة الثالثة.

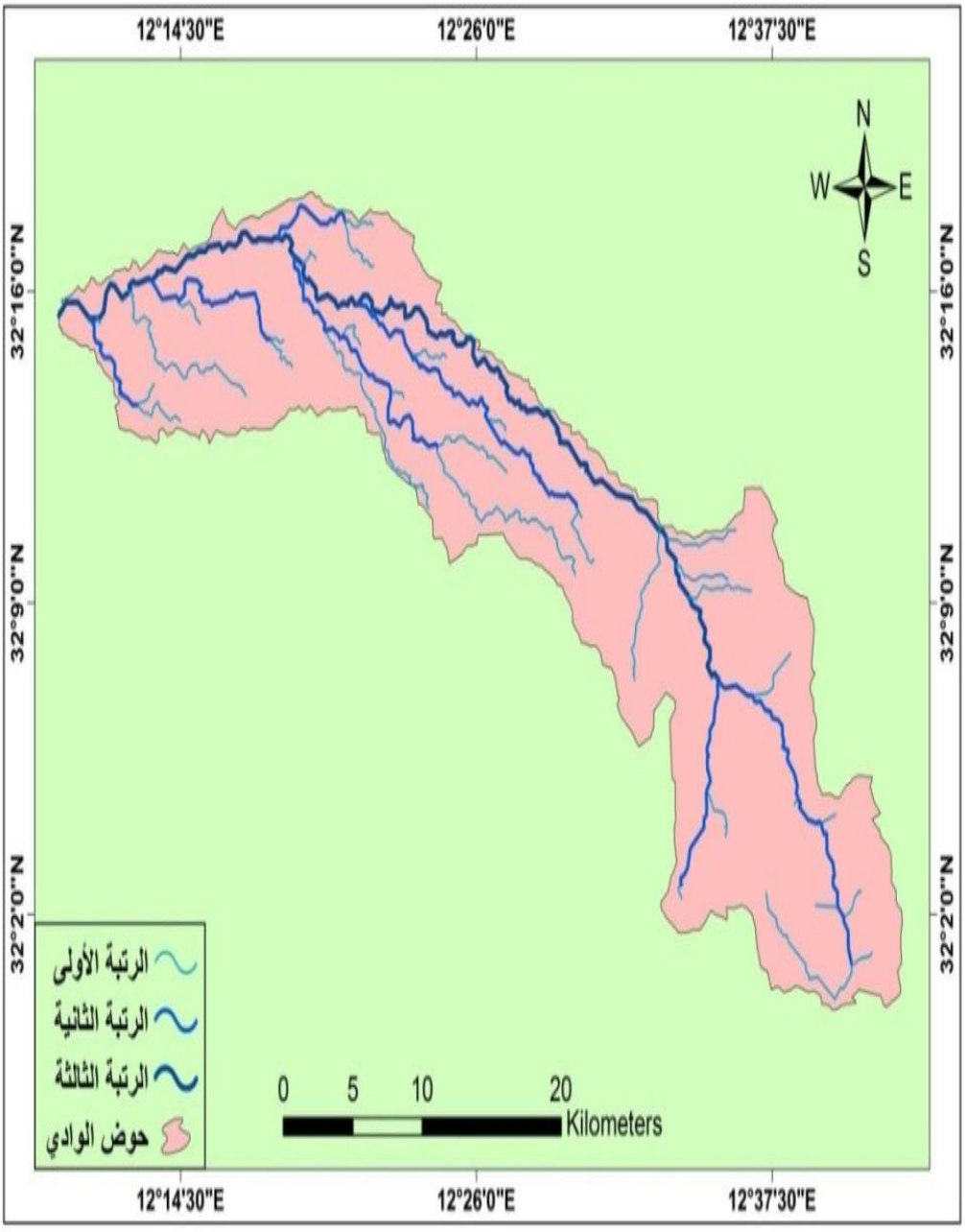
2. أطوال المجاري المائية:Stream Lemgth

بلغ مجموع أطوال مجاري الشبكة المائية في حوض وادي الأثل 253.10كم، وهي تتباين حسب المراتب كما بالجدول(5)، فقد سجلت أطوال المجاري المائية في المرتبة الأولي نحو 111.00كم وبنسبة43.9% من مجموع أطوال الشبكة المائية في الحوض في حين يصل مجموع أطوال مجاري الشبكة المائية الثانية نحو82.60كم وبنسبة32.6%، وأخيرًا سجلت أطوال المجاري في المرتبة الثالثة 59.50كم وبنسبة 23.5% من مجموع أطوال الشبكة المائية في الحوض وادي الأثل الخريطة(3)، إنَّ العلاقة بين الرتب النهرية وأطوالها علاقة عكسية، فكلما كانتِ المرتبة النهرية أقل كلما كانت طول المجاري أكثر، فأطوال المجاري المائية في المرتبة الأولى أكثر من المجاري من مجاري المرتبة الثانية.

جدول (5) أعداد المجاري المائية وأطوالها حسب الرتب

%	عدد المجاري المائية كلم	الرتبة	أطوال المجاري المائية كلم	%
82	33	الأولي	111.00	43.9
15.0	6	الثانية	82.60	32.6
2.5	1	الثالثة	59.50	23.5
100	40كم	المجموع	253.10كم	100

المصدر: من عمل الباحثة استنادًا على جدول البيانات الوصفية لطبقة المجاري المائية في برنامج



وتكمن أهمية هذه النسبة في كونها تتحكم في كمية التصريف [18]. وتستخرج وفقًا للمعادلة الآتية:

$$\text{نسب التشعب} = \frac{\text{عدد المجاري التابعة لرتبة معينة}}{\text{عدد المجاري للرتبة التي تليها}}$$

وتتأثر نسبة التشعُّب بالبنية والتركيب الجيولوجي والظروف المناخية، فإذا كانت قيمة النسبة منخفضة فهذا يعكس كون الصخور غير نفاذة في حين اقتراب نسبة التشعُّب بين مجاري مراتب الحوض من (3، 5) دليل على تشابه الحوض مناخيًا وبنيويًا [19]، وأنَّ ارتفاع أو انخفاض هذه النسب عن الحدود المذكورة دليل على عدم تجانس الحوض. وبدراسة نسبة التشعُّب لكافة رتب الحوض عدا الرتبة الثالثة (التي ليس لها رتبة أعلى منها والمتمثلة في الرتبة الرابعة، وذلك لأنَّ عدد الرتب 3 رتب فقط)، تبين أنَّ معدل التشعب بين الرتب النهرية لحوض وادي الأثل بلغت (3.25)، وهذا يتفق مع المدى الذي حدده ستريلر، الذي يعكس مدى التجانس الموجود بين مظاهر السطح والبُيئة الجيولوجية وظروف المناخية السائدة في الحوض، والجدول (6) يبين معدل التشعُّب بين الرتب النهرية بحوض الوادي.

جدول (6) معدل التشعب بين الرتب النهرية بحوض الوادي

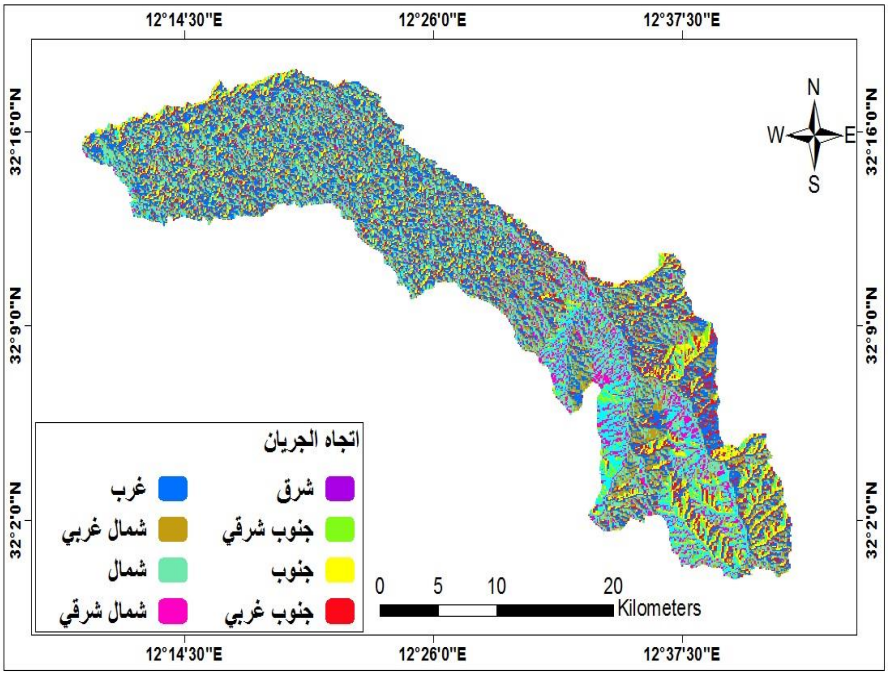
الرتبة	عدد المجاري	%	نسب التشعب
1	33	82.5	الرتبة الاولي والثانية $\frac{33}{6} = \mathbf{5.5}$
2	6	15.0	الرتبة الثانية والثالثة $\frac{6}{1} = \mathbf{1}$
3	1	2.5	-
	40	100	معدل نسب التشعب لجميع الرتب $= \frac{6.1}{2} = \mathbf{3.25}$

المصدر/ من عمل الباحثة.

4. اتجاهات المجاري:

تعدُّ قياسات اتجاهات المجاري أحد الخصائص المورفومترية المهمة، فهي تعكس اتجاهاتها ومدى تأثرها باتجاه منحدرات السطح والصدوع والكسور، كما تعكس عمر الشبكة المائية للأحواض وقد تم قياس اتجاهات الأحواض بحوض وادي الأثل بالاعتماد على برنامج .Arc Gis10، والخريطة (3)، وشكل(2) يوضحان اتجاهات المجاري استنادًا للبيانات الواردة بالجدول(7).

خريطة (3) اتجاه الجريان بالحوض

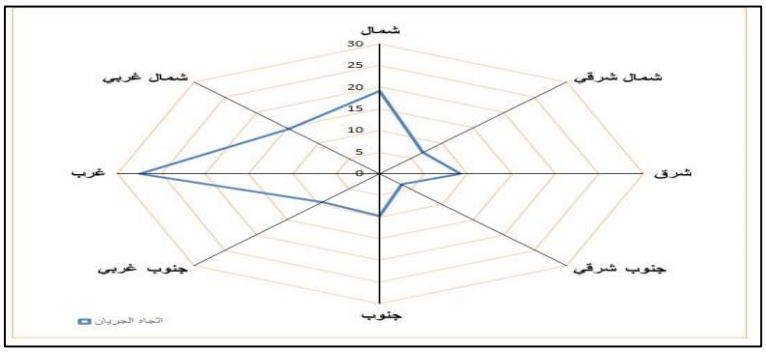


من عمل الباحثة باستخدامArc map10.8

جدول (7) مساحة ونسبة اتجاه الجريان بالحوض

جدول رقم (7) ــــــــــــــــــ الاتجاه	المساحة ـــبالكلم^2	%
شرق	44.9	9.2
جنوب شرقي	16.8	3.4
جنوب	47.1	9.7
جنوب غربي	45.3	9.3
غرب	133.7	27.5
شمال غربي	71.4	14.7
شمال	92.9	19.1
شمال شرقي	34.0	7.0
الإجمالي	486.1	100

شكل (2) يُوضح اتجاهات الجريان بحوض الوادي



من عمل الباحثة باستخدامArc map10.8

المصدر: من عمل الباحثة استنادًا لبيانات جدول(7)

5. كثافة التصريف:

وتعني العلاقة بين أطوال القنوات النهرية والمساحة التجمعية لأحواضها، فعندما تزداد أعداد وأطوال القنوات تقل درجة انحدار سطح الأرض داخل الحوض، ومن خلال هذا المعامل نستطيع أنَّ نتفهم نمو وتطور نظم التصريف بالحوض [20]، وفقًا للمعادلة التالية:

$$\text{الكثافة التصريفية} = \frac{\text{مجموع أطوال المجاري المائية بجميع رتبها(كم)}}{\text{مساحة الحوض(كم}^2\text{)}}$$

$$\text{الكثافة التصريفية} = \frac{253.10}{486.1} = 0.52$$

وهذ يعنى أنَّ كل(1كم²) من مساحة وادي الأثل تمتلك نظريًا (0.52) من المجاري المائية لتصريف مياهها وحمولتها، وهي قيمة منخفضة، ترتبط بنوع المناخ السائد ونوع الصخر ودرجة الانحدار. وتقاس الكثافة التصريف للحوض.

5. الكثافة العددية أو (تكرار المجاري):

ويعنى عدد المجاري في كم²، ويُعدُّ مقياسًا للنسيج الطبوغرافي للحوض، كما تنخفض قيمة هذا المعامل في الاحواض المائية الكبيرة، وارتفاعها يعنى زيادة في تجميع المياه في الحوض النهري، كما توجد بن التكرار النهري ودرجة انحدار الروافد وطول المجرى، والمساحة الحوضية [21]، ويُقاس وفقًا لمعادلة التالية:

تكرار المجاري المائية = $\frac{\text{مجموع أعداد المجاري في الحوض}}{\text{مساحة الحوض(كم}^2\text{)}}$ = **0.01** مجرى/كم

$= \frac{\mathbf{40}}{\mathbf{486.1}}$

وهذا يعنى أنَّ تكرار المجاري بالوادي (0.01) كم²، وهي قيمة منخفضة بسبب محدودية عدد المجاري، كما تؤكد قصر مجاري الحوض بالنسبة لعددها، ونستنتج من هذا أنَّ حوض الوادي ذو نسيج طبوغرافي خشن، وما زال أمامه شوطًا طويلًا ليقطعه في دورته التحاتية.

6. معدل بقاء المجرى:

يُعدُّ مؤشر لمعرفة كثافة الصرف الطولية للحوض، كما يشير إلى المرحلة الجيومورفولوجية التي يمرُّ بها الحوض، إذ يستدل منه على متوسط الوحدة المساحية لتغذية الوحدة الطولية ضمن شبكة حوض التصريف، أي أنَّ زيادة هذا المعدل تدل على ابتعاد المجاري عن بعضها البعض [22]، ويتمُّ حسابه وفقًا للمعادلة التالية: معدل بقاء المجرى = $\frac{\text{المساحة الحوضية(كم}\mathbf{2}\text{)}}{\text{مجموع أطوال المجاري(كم)}}$

$= \frac{\mathbf{486.1}}{\mathbf{253.10}}$ = 1.9كم/كم²

بلغ معدل بقاء المجرى في حوض الوادي(1.9كم/كم²)، وتشير هذه النتيجة إلى أنَّ كل 1كلم من أطوتا المجاري تغذي مساحة تقدر بنحو (1.9كم²)، ويظهر هذا المعدل أيضًا أنَّ الأودية تتقارب من بعضها البعض، وتتقلص المساحة الفاصلة بينها، حيث تصل قيمة معدل بقاء المجرى إلى خدها الأدنى بسبب تقارب المجاري من بعضها.

7.معامل التعرج:

يشير معامل التعرج إلى كمية المياه بالمجرى، فكلما زادت درجة التعرّج(الانعطاف) كان ذلك مؤشرًا إلى قلة كمية المياه بالمجري، ويرجع ذلك إلى زيادة احتمالات التبخر والترشيح، بينما تقل هذه الاحتمالات عندما تنقص درجة الانعطاف، ذلك نتيجة سرعة الجريان ووصول المياه إلى المصب في فترة زمنية قصيرة [23].

وقد استخرج معامل التعرّج لحوض وادي الأثل من خلال برنامج Arc Gis 10.8، حيث بلغ مؤشر التعرج في هذا الحوض (1.1)، وبناءً عن تصنيف شوم Shumm فإن تصنيف حوض وادي الأثل ذو مجاري مستقيمة، والتي بدورها تؤدي إلى سرعة الجريان المياه من أعالي الحوض إلى مصبه، ممَّا يترتب عنه قلة التبخر

وأيضًا قلة التسرب. ويتمُّ استخراج معامل عن طريق المعادلة التالية:

$$\text{معامل التعرج} = \frac{\text{الطول الفعلي للمجرى}}{\text{أقصر مسافة بين المنبع والمصب(الطول المثالي)}}$$

$$\text{معامل التعرج} = \frac{61.22}{58.49} = 1.05$$

8. معدل النسيج الطبوغرافي (نسبة التقطع)

يُعبِّر عن درجة تقطع سطح الحوض بمجاري الشبكة التصريفية، أي مدى تقارب أو تباعد هذه المجاري بعضها عن بعض دون وضع أطوالها بالاعتبار، للعوامل الطبيعية تأثير على نسيج الصرف داخل احواض التصريف (المناخ، وشدة هطول الامطار، التضاريس، والصخر، التربة والغطاء النباتي)، وبدراسة معدل النسيج الطبوغرافي لحوض وادي الأثل تبين أنَّ درجة تقطع سطح الحوض بالمجاري المائية قد بلغت (0.23)، وهو بذلك ضمن النمط الأول ذو النسيج الطبوغرافي خشن جدًا بتطبيق تصنيف(Smith، سميت 1950)، وهذا يدل على أنَّ صخور الحوض ذات مقاومة شديدة لعمليات النحت المائي، وأنَّ قدرة الغطاء الصخري كبيرة في تسرب المياه إلى ما تحت السطح مما يقلل من كمية الجريان السطحي وضعف القدرة على النحت المائي بالحوض [24].

ويتم استخراج هذا المعامل عن طريق المعادلة التالية:

$$\text{معدل النسيج الطبوغرافي} = \frac{\text{مجموع أعداد المجاري المائية في الحوض}}{\text{محيط الحوض}}$$

$$\text{معدل النسيج الطبوغرافي} = \frac{40}{171.2} = 0.23$$

9. زمن الاستجابة(التركيز) والسرعة:

تُؤثر الخصائص الشكلية لحوض الوادي بشكلٍ كبيرٍ على خصائصه الهيدرولوجية، فهي إما أنَّ تزيد من حركة المياه بالمجاري ومن سرعة وصول المياه إلى نهاية الحوض، أو تقلل من سرعتها وحركتها داخل المجاري، وهو يعرف بأنَّه الفترة الزمنية التي يستغرقها جريان المياه من أبعد نقطة في الحوض إلى نهاية الحوض أو مخرجه [25]، ويحسب بهذه المعادلة التالية:

$TC=76.3\ \sqrt{s}/\sqrt{I}$ حيث (TC)هي زمن الاستجابة (التركيز). (S) هي مساحة الحوض كم2.

(I) هي درجة الانحدار%، 76.3 رقم ثابت. وبناءً على المعطيات الآتية فإنَّ زمن الاستجابة التركيز بحوض وادي الأثل S=486.1 ، I=13.3 ، TC=7 ساعات، وبتطبيق هذه المعادلة يتضح أنَّ الزمن الذي تستغرقه المياه لكي تصل إلى مخرج الوادي أو نهايته(7) ساعات، وبناءً عليه فإنَّ سرعة الجريان بالوادي تُعدُّ سريعةً، وذلك لقصر طول الحوض والمسافة وشدة انحداره ، بغض النظر على المُتغيَّرات الأخرى مثل الغطاء النباتي والتسرّب ونوعية التربة. جدول (8) يبين مُتغيَّرات خصائص الشبكة التصريفية بحوض وادي الأثل.

جدول (8) خصائص الشبكة التصريفية بحوض وادي الأثل

المتغير	الرتبة الأولي	الرتبة الثانية	الرتبة الثالثة	الحوض
أطوال المجارى كم	111.00	82.60	59.50	253.10
أعداد المجاري	33	6	1	40
نسبة التشعب	5.5	1	-	3.25
كثافة التصريف	-	-	-	0.52
تكرار المجاري	-	-	-	0.01
معدل بقاء المجرى	-	-	-	1.9كم/كم^2
معامل التعرج	-	-	-	1.05
نسبة التقطع	-	-	-	0.23
زمن الاستجابة	-	-	-	7ساعات

المصدر/ من عمل الباحث استنادًا على المعادلات السابقة.

❖ **الاستنتاجات**

توصَّلت الدراسة إلى عدة نتائج مُتعلقة بالخصائص المورفومترية لحوض وادي زارت، وهي كالتالي:

1- يُعدُّ حوض وادي الأثل من الأحواض الصغيرة المساحة، حيث بلغت 486.1كم2، وأنَّ معدل الاستدارة والاستطالة بلغتا 0.20، 0.41 على التوالي، وهذا يشير إلى أنَّ شكل حوض منطقة الدراسة أبعد ما يكون عن الشكل الدائري والاستطالة.

2- الحوض قطع شوطًا كبيرًا في دورته التحاتية، فقد بلغ فارق الارتفاع بين أعلى وأقل منسوب 704م، حيث سجل أعلى منسوب 814م وأدنى منسوب 110م، كما سجلت نسبة التضرس 11.5م/كم وهي قيمة مرتفعة تدل على التضرس العالي ونشاط عملية الحت به، كما يشير المعامل الهيبسومتري الذي سجل قيمة 69% إلى أنَّ الحوض في مرحلة الشيخوخة الجيوموفولوجي حسب تصنيف Strahler.

3- من خلال دراسة أنَّ قيمة الوعورة (0.37) ونسيج الحوض (0.23) أتضح بأنَّه ينتمي لفئات الأحواض ذات النسيج الخشن جدًا الذي يدل أنَّ صخور الحوض ذات مقاومة شديدة لعمليات النحت المائي.

4- ينتهي حوض وادي الأثل بالرتبة النهرية الثلاثة حسب تصنيف Stranler (1957) وبلغ مجموع عدد المجاري40 مجري، وبطول 253.10كم، بينما سجل معدل التشعب 3.25، أي أنَّها أقل من الحدود الطبيعية، ممَّا يدل على عدم التجانس بين مظاهر السطح والبنية الجيولوجية وظروف المناخ السائدة بالحوض.

❖ **توصيات:**

1- استخدام البيانات الحديثة التي تشتمل على المرئيات الفضائية ونموذج الارتفاع الأرضية (DEM) في الدراسات المورفومترية لبناء قاعدة بيانات جغرافية للمُتغيَّرات المورفومترية لجميع الأحواض المائية بليبيا، والتي سيتم دراستها في المستقبل من أجل الاستفادة من هذه البيانات في المشاريع المائية، وخاصة فيما يتعلق بالحصاد المائي.

2- ضرورة توظيف تقنية نظم المعلومات الجغرافية في الدراسات الجيومورفولوجيا المتعلقة بالخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لما لها من نتائج دقيقة وما توفره من جهد ووقت.

3- إجراء العديد من الدراسات الهيدرولوجية والجيومورفولوجية في حوض وادي الأثل للتقليل قدر الإمكان من كميات المياه التي تتعرَّض للفقدان بالتسرّب والتبخّر، واستغلال المياه الموجودة في الحوض بشكل أفضل.

الهوامش :

1- هيثم يوسف زرقطة، نظم المعلومات الجغرافية Gis والدليل العلمي الكامل لنظامArcview9، الطبعة الأولى، شعاع للنشر والعلوم، حلب، سوريا،2007م.

2-أحمد سالم العوامة "التحليل الجيومورفومتري لحوض وادي غان" أكاديمية الدراسات العليا، طرابلس، 2006.

3- منصف محمد صالح وآخرون" استخدام نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) في تحليل المتغيرات المورفومترية الحوض وادي الملكة بالجبل الأخضر شمال شرق ليبيا" مجلة السلام الدولية للعلوم الإنسانية والتطبيقية، مجلة علمية إلكترونية محكمة، العدد الثاني، نوفمبر، 2020م.

4-Schumm, SA ;(1956): Evolution of Drainage Systems and Slope in Bad Land at Perth Amboy New York Geol , Ame,: Bull,Vol 6

5- أحمد مصطفى أحمد ، الخرائط الكنتورية ، دار الثقافة للنشر والتوزيع، القاهرة ، 1989م.

6-Reddy, P.Obi, Reddy, maji, amal, gajbhiye, S.kothiram, 2004. Drainage Morphometry and its influence on Land form characteristics in a Basaltic Terrain, central India – a remote sensing and GIS approach. International journal of appliedearth observation and Geoinformation, Elsevier pp16.

7- خلف حسين الدليمي، التضاريس الأرضية دراسة جيومورفولوجية عملية تطبيقية، ط1، دار صفاء للنشر والتوزيع، عمان.

8-Hamed Hassan Abdulla; Morphometric parameters study for the lower part of lesser zap using GIS technique, Earth Science Department, College of Dlyala Journal for Pure Science, University of Baghdad, Baghdad, Iraq, Sciences, 26-12-2010.

9- خلف حسين الدليمي، مرجع سابق.

10-هدى هاشم بدر، التحليل المورفومترية الكمي لحوض وادي المر وتقيم نوعية المياه الجارية فيه، جامعة دمشق للعلوم الهندسية، م28، ع1: 39-52.

- Schumm, S.A (1956) Evolution of Drainage Systems & Slopes in Badlands 11 at Perth Anboy, New Jersey Bulletin of the Geological Society of America 67,597-646.

12- محمود إبراهيم الدوغان، أودية الحرم بالمدينة المنورة، دراسة مورفومترية، الندوة الجغرافية السادسة، جامعة الملك عبد العزيز، قسم الجغرافيا، جدة، 1419هـ.

13- معراج نواب مرزا، محمد سعيد الباروني، السمات المورفولوجية والخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لأودية الحرم المكي، جامعة أم القرى للعلوم التربوية والاجتماعية والإنسانية، (عدد خاص بمناسبة اختيار مكة المكرمة عاصمة الثقافة الإسلامية) لعام 1426هـ.

14- ماجدة الغرياني البشتي، مقارنة بين الطرق التقليدية ونظم المعلومات الجغرافية لتحديد الخصائص المورفومترية لحوض وادي المجينين، مجلة المختار للعلوم، جامعة عمر المختار، البيضاء، المجلد32، العدد (1)، 2016.

خلف حسين الدليمي، مرجع سابق. 15-

16- حسن سيد أبو العينين، أصول الجيومورفولوجيا، دراسة الأشكال التضاريسية لسطح الأرض، دار النهضة العربية، بيروت، 1976م.

17- حسن رمضان سلامة، التحليل الجيومورفولوجي للخصائص المورفومترية للأحواض المائية في الأردن، مجلة دراسات الجامعة الأردنية، العدد (1)، 1980.
18-Strahler, A.N. (1964). Quantitative Geomorphology of Drainage Basin and Channel Network Handbook of Applied Hydrology: p39.
19- أبو العينين، حسن سيد، أصول الجيومورفولوجيا، دراسة الأشكال التضاريسية لسطح الأرض، دار النهضة العربية، بيروت، 1976م.
20- خلف حسين الدليمي، مرجع سابق.
21-كريمة سالم عبد الهادي، "التحليل الجيومورفولوجي لحوض وادي الهيرة دراسة جيومورفولوجية" رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة طرابلس، ليبيا، 2015م.
22- رحيم حميد العبدان "التحليل الرقمي للخصائص المورفومترية لحوض وادي تانجيرو باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية، مجلة جامعة القادسية، 2008م، العدد3، المجلد11.
23- بسري الحسبان، دلال زريقات، الخصائص المورفومترية لحوض نهر الزرقاء في الأردن باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ونموذج التضرس الرقمي، مجلة دراسات العلوم الإنسانية والاجتماعية، المجلد (42)، الملحق (1)، 2015م.
24- سطام سالم الشقور، تحليل الخصائص المورفومترية لحوض وادي اليتم باستخدام نموذج التضريس الرقمي، مجلة مؤتة للبحوث والراسات، سلسلة العلوم الإنسانية والاجتماعية، المجلد الثالث والثلاثون، العدد (5)، 2018م.
25- محمد عبد الرحيم عبد المطلب، الخصائص الهيدرولوجية للأودية في البيئات الجافة، دراسة تطبيقية على وادي الرواكيب باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، مجلة إيجي ماتيكس، العدد (3)، يناير 2012م.