الخصائص المورفومترية وتأثيرها في التصريف المائي بحوض وادي سنور شمالي هضبة مصر الشرقية

إعداد

أ.وفاء محمود عبد المنعم أبو شوشة
باحثة دكتوراة

أ.د. ماجد محمد شعلة
الاستاذ

بقسم الجغرافيا – كلية الاداب – جامعة دمنهور

دورية الانسانيات. كلية الآداب. جامعة دمنهور
العدد الحادى الستون - يوليو -الجزء الرابع - لسنة 2023

الخصائص المورفومترية وتأثيرها في التصريف المائي بحوض وادي سنور شمالي هضبة مصر الشرقية

ملخص:

تُعد دراسة الخصائص المورفومترية لأحواض التصريف ذات أهمية كبيرة في الدراسات الجيومورفولوجية لتلك الأحواض، حيث تُمثل انعكاس لتأثير الخصائص الطبيعية والمناخية في أبعاد وشكل وطبوغرافية الحوض، علاوة على تحديد طبيعة شبكة تصريفه. ويشغل حوض وادي سنور مساحة شاسعة من شمالي هضبة مصر الشرقية، تقدر بنحو 6240.78 كم^2، وينقسم الحوض إلى ستة أحواض ثانوية، تتباين في خصائصها المورفومترية. يتخذ حوض وادي سنور شكلًا قريبًا إلى المثلث، حيث يميل إلى الانبعاج عند منابعه العليا، ويقل انبعاجه بالاقتراب من مصبه؛ مما يدل على زيادة أعداد وأطوال المجاري المائية في الرتب الدنيا عند منابعه؛ ويُساعد ذلك على زيادة حجم تصريفه. كما يتصف الحوض بقلة تناسق وانتظام شكله؛ وهذا ما تؤكده قيم معاملي الشكل والاندماج بالحوض.

ويتميز حوض وادي سنور بانخفاض نسبة تضرسه، ووقوعه جيومورفولوجيًا في مرحلة النضج المتأخرة، ونسيجه الطبوغرافي الخشن. وتتوزع شبكة المجاري المائية بالحوض على ثماني رتب، تختلف أعداد وأطوال المجاري بهم، ويتسم الحوض بكثافة تصريفية متوسطة؛ ويرجع ذلك لتكوينه الصخري من صخور الحجر الجيري الإيوسيني في معظم أرجائه، حيث بلغت قيمة كثافة التصريف به 2.13 كم/كم^2، وتتصف مجاري حوض وادي سنور وأحواضه الثانوية بانتظام تعرجها. وبتحديد أكثر الأحوض الثانوية خطورة في الجريان السيلي تبعًا لخصائصهم المورفومترية، اتضح أن حوضي واديي أرحب ومواثيل أكثرهم احتمالية لحدوث السيول، في حين يُعد حوض وادي مليليح أقلها.

Abstract

Morphometric characteristics and their impact on water drainage in the wadi Sannur basin in The Northern Plateau of Eastern Egypt

The study of the morphometric characteristics of the drainage basins is of great importance in the geomorphological studies of these basins, as it represents a reflection of the influence of natural and climatic characteristics on the dimensions, shape and topography of the basin, in addition to determining the nature of its drainage network. The Wadi Sannur basin occupies a vast area in the north of the eastern plateau of Egypt, estimated at 6240.78 km^2. The basin is divided into six sub basins, which differ in their morphometric characteristics. The Wadi Sannur basin takes a shape close to the triangle, as it breadth to breadth at its upper headwaters, and its breadth is less as it approaches its mouth. This indicates an increase in the numbers and lengths of streams in the lower Order at its headwaters. This helps to increase the volume of its discharge. The basin is also characterized by a lack of consistency and regularity in its shape, This is confirmed by the values of the two Factors of Form and Compactness.

The Sannur basin is characterized by its low erosion rate, its geomorphologically late maturity, and its rough topographical texture. The network of streams in the basin is divided into eight Order, with different numbers and lengths of the streams. The basin is characterized by a medium drainage density. This is due to its rock composition of Eocene limestone rocks in most of its parts, where the value of the discharge density was 2.13 km / km^2, and the streams of the Wadi Sannur basin and its sub basins are characterized by regular meandering. And by identifying the most dangerous sub- basins in runoff according to their morphometric characteristics, it became clear that the basins of Wadi Arhab and Mawathil are the most likely to cause runoff, while the Wadi Meleih basin is the least.

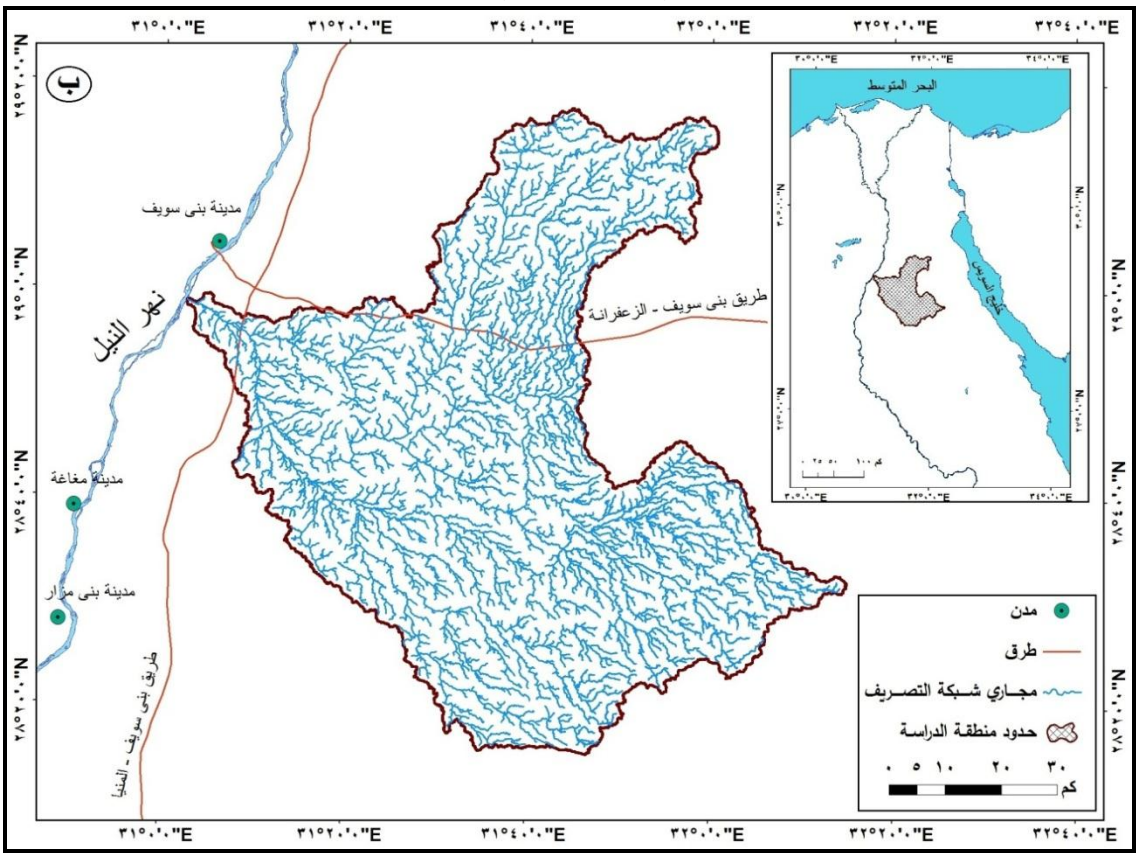
مقدمة:

تُعد الخصائص المورفومترية لأحواض التصريف وشبكات المجاري المائية بمثابة قاعدة بيانات ذات أهمية قصوى لا غنى عنها في الدراسات الجيومورفولوجية والهيدرولوجية لأي حوض تصريف. ولتحديد طبيعة التصريف المائي لحوض وادي سنور، لابد من دراسة مورفومترية دقيقة لأحواضه وشبكة المجاري المائية به، والدلالة الجيومورفولوجية لكل معامل مورفومتري.

ويقع حوض وادي سنور شمالي هضبة مصر الشرقية، إلي الجنوب من مدينة بني سويف بحوالي ١٠كم شكل (1)، ويصب مجراه الرئيس عند وادي النيل عند قرية سنور، ويمتد بين دائرتي عرض40″ 15′ 28° ،30″ 17′ 29° شمالاً وبين خطي طول 54″ 3′ 31° ،56″ 14′ 32° شرقًا، ويغطي مساحة حوالي 6240.78 كم^2، ويبلغ أقصى امتداد للحوض من الغرب للشرق(طوله) مسافة 128 كم، وأقصى امتداد من الشمال للجنوب نحو 114كم.

وقد تعددت الدراسات السابقة التي تناولت جيومورفولوجية حوض وادي سنور، ومن بين تلك الدراسات دراسة عوض سالم، 1989؛ ودراسة عوض بدينى، 2018؛ ودراسة أحمد أبو رية، 2019، ودراسة Shided, A.G., 1999.

وجاءت الدراسة الحالية استكمالًا لما سبق من دراسات لمنطقة الدراسة، حيث تهدف الدراسة إلى تحديد الخصائص المورفومترية لحوض وادي سنور وشبكاته، وتوضيح تأثيرها في طبيعة التصريف المائي بالحوض.



المصدر: إعداد الباحثين اعتمادًا على مجموعة من الخرائط الطبوغرافية بمقياس رسم من 1 : 50000 ، الهيئة المصرية العامة للمساحة، ونموذج الارتفاع الرقمي Dem ، بالتكامل بين برنامجي Wms10.1 و Arc Gis10.4، وبرنامج Google Earth.

شكل(1) موقع حوض وادي سنور بشمالي هضبة مصر الشرقية

اعتمدت الدراسة على عدة مناهج، تتصف بتكاملها فيما بينها لتحقيق أهدف الدراسة، وتمثلت في المنهجين الإقليمي والموضوعي، مع تطبيق عدد من الأساليب والطرق أهمها الأسلوب الكمي والكارتوجرافي والأسلوب الوصفي التحليلي، واستعانت الدراسة بمجموعة من البرامج منها برنامج WMS 11.0 و برنامج Arc GIS,10,4 وبرنامج Microsoft Excel 2010، وساهم كل ذلك في جمع البيانات المورفومترية الخاصة بحوض وادي سنور وأحواضه الثانوية وتحليلها.

<u>ولتحقيق أهداف الدراسة تبلورت محاورها في الآتي:</u>

أولًا– الخصائص المورفومترية لحوض وادي سنور.

ثانيًا– الخصائص المورفومترية لشبكات المجاري المائية بحوض وادي سنور.

ثالثًا– تصنيف شدة الجريان السيلي تبعًا للخصائص المورفومترية لأحواض وادي سنور الثانوية وشبكات المجاري المائية بهم.

أولًا–الخصائص المورفومترية لحوض وادي سنور وأحواضه الثانوية:

تلعب الخصائص الجيولوجية والمناخية دورًا بارزًا في تحديد الخصائص المورفومترية لأحواض التصريف، وينعكس دورها على مساحة الحوض وشكله ومدى تضرسه، ولا يُنكر الدور المهم لكلاهما في تحديد المرحلة الجيومورفولوجية التي يمر بها حوض التصريف، ويؤثر كل هذا في حجم التصريف المائي. وتنقسم الخصائص المورفومترية لحوض وادي سنور وأحواضه الفرعية إلى ثلاثة عناصر مهمة تشمل ما يلي:

1-الخصائص المساحية لحوض وادي سنور وأحواضه الثانوية:

تُعد مساحة الحوض من أهم العوامل المورفومترية المؤثرة في حجم التصريف في الحوض، فكلما كبرت مساحة الحوض زادت كمية الأمطار التي يستقبلها؛ مما ينتج عنه زيادة كمية حمولته، بافتراض ثبات باقي المتغيرات كنوع الصخر ونظامه والتضرس وشكل شبكة التصريف (جودة وآخرون، 1991، ص289-290)، ويتسم حوض وادي سنور بعظم مساحته والتي تبلغ 6240.78 كم^2، وتتباين مساحات أحواضه الفرعية جدول(1) وشكل (2)، والتي بلغ متوسطها العام 1040.13 كم^2، بانحراف معياري مرتفع بلغت قيمته ±538.52 كم^2، مما يدل على تشتت قيم مساحات الأحواض الفرعية عن متوسطها العام، فقد سجل وادي مواثيل أكبر الأحواض مساحة بنسبة 28% من جملة مساحة حوض وادي سنور، في حين بلغت نسبة مساحة حوض وادي أرحب 5.3% فقط. ويمكن تقسيم الأحواض وفقًا لمساحتها إلى ثلاثة أقسام كالآتي:

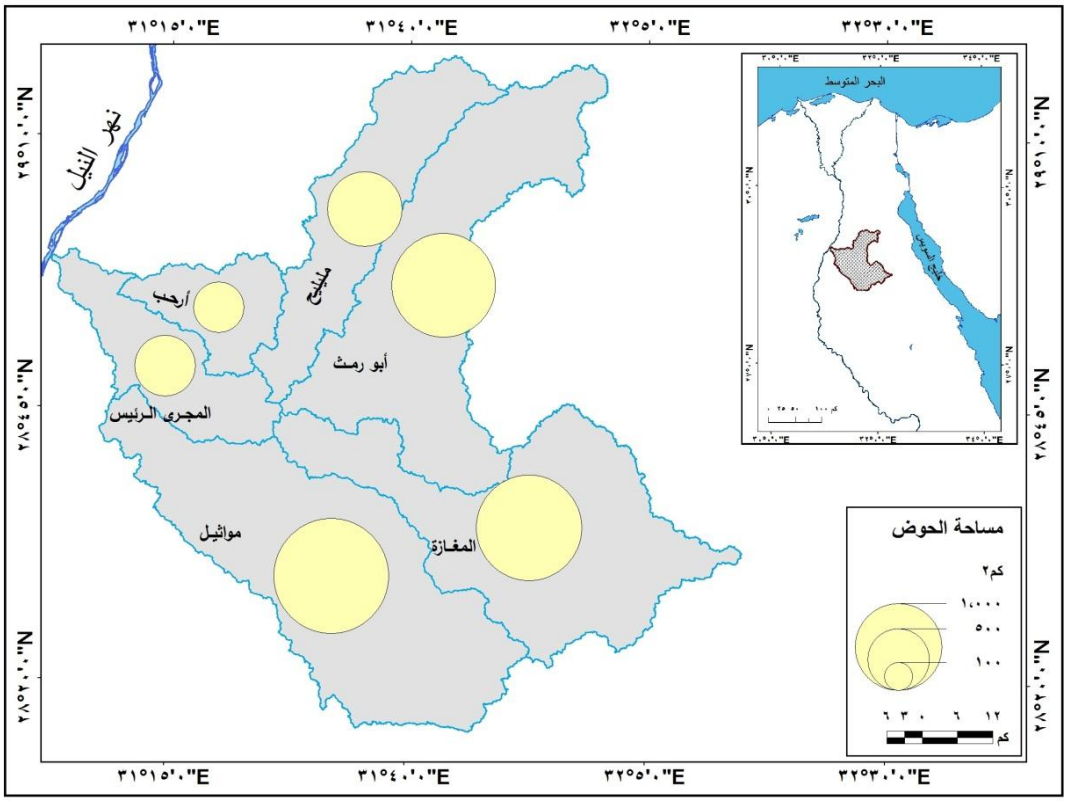
- **أحواض صغيرة المساحة تقل مساحتها عن 500 كم^2**: وتشمل منطقة المجرى الرئيس، وحوض وادي أرحب، والذي يُعد أصغر أحواض سنور الفرعية مساحة، وينعكس ذلك على قلة كمية التساقط التي يتلقها الحوض فقط.
- **أحواض متوسطة المساحة تتراوح مساحتها بين 500 إلى 1000 كم^2**: ويضم حوض وادي مليليح.

جدول(1)الخصائص المساحية لحوض وادي سنور وأحواضه الثانوية

اسم الحوض	مساحة الحوض(كم^2)
المجرى الرئيس	494.97
أرحب	331.23

مليليح	746.54
أبو رمث	1432.78
المغازة	1489.37
مواثيل	1745.89
سنور	6240.78

المصدر: إعداد الباحثين اعتمادًا على برنامج Wms10.1[1].



المصدر: إعداد الباحثين اعتمادًا على جدول (1) باستخدام برنامجي Exel2010، Arc Gis10.4.

شكل (2) الخصائص المساحية لأحواض سنور الفرعية.

- **أحواض كبيرة المساحة تزيد مساحتها عن 1000كم^2:** وتُمثلها أحواض أبو رمث، المغازة، مواثيل. ونظرًا لكبر مساحة هذه الأحواض من جانب، وقربها من المنابع العليا

[1] تم استخلاص مساحة الأحواض ومحيطاتها وأطوالها بشكل آلي باستخدام برنامج Wms10.1.

وارتفاع سطحها من جانب أخر؛ تستقبل تلك الأحواض أكبر كمية من الأمطار، ويزداد بها حجم التصريف المائي.

2- خصائص الأبعاد لحوض وادي سنور وأحواضه الثانوية:

تتمثل أهم خصائص الأبعاد لأحواض التصريف في كل من محيط وطول وعرض الحوض، ويتسم حوض وادي سنور بصفة عامة بزيادة قيم أبعاده، في حين تتباين أبعاد أحواضه الثانوية، وبتحليل بيانات جدول(2) يتضح ما يأتي:

جدول(2) خصائص أبعاد حوض وادي سنور وأحواضه الثانوية

اسم الحوض	محيط الحوض (كم)	طـــــــــول	عرض الحوض(كم)
المجرى الرئيس	223.53	48.87	10.86
أرحب	152.96	29.01	12.87
مليليح	298.56	67.34	11.49
أبو رمث	425.08	79.40	17.89
المغازة	395.54	82.02	19.28
مواثيل	377.23	81.38	22.02
سنور	831.06	128.06	46.56

المصدر: إعداد الباحثين اعتمادًا على برنامج Wms10.1

أ-محيط الحوض: Basin Perimeter

يُعبر محيط الحوض عن خط تقسيم المياه الفاصل بين الحوض والأحواض المجاورة له، ويُعد متغير رئيس ومستقل في الكثير من المعادلات المستخدمة في استخلاص المعاملات المورفومترية الخاصة بالحوض. ويتميز محيط الحوض بعدم ثباته، فهو خط متحرك على المدى البعيد، حيث يتأثر بعدة عوامل أهمها تطور ونمو مجاري الرتبة الأولى، ونشأة المجاري الموسمية عقب العواصف المطيرة، وتراجع المنحدرات التي تُمثل قممها خطوط تقسيم مياه الأحواض (سلوم، 2004، ص106).

وتتفاوت أطوال محيطات الأحواض الثانوية لحوض وادي سنور فيما بينها شكل (3أ)، وقد بلغ متوسط محيطها العام 312.15 كم، بانحراف معياري بلغ ±97.74 كم، ويمكن تقسيم الأحواض الثانوية تبعًا لطول محيطها إلى ثلاثة أقسام وهما:

المصدر: إعداد الباحثين اعتمادًا على جدول (2) باستخدام برنامجي Exel2010، Arc Gis10.4.

شكل (3) خصائص الأبعاد لأحواض سنور الفرعية.

- **أحواض يقل طول محيطها عن 200 كم:** وتقتصر على حوض وادي أرحب، ويُعد أقل الأحواض محيطًا، حيث بلغ طول محيطه 152.96 كم.
- **أحواض يتراوح طول محيطها بين 200 إلى 300 كم:** وتضم حوضي المجرى الرئيس ومليليح.
- **أحواض يزيد طول محيطها عن 300 كم:** وتتمثل في أحواض أبو رمث، والمغازة، ومواثيل، ويتصدرهم حوض وادي أبو رمث، والذي بلغ طول محيطه 425.08 كم.

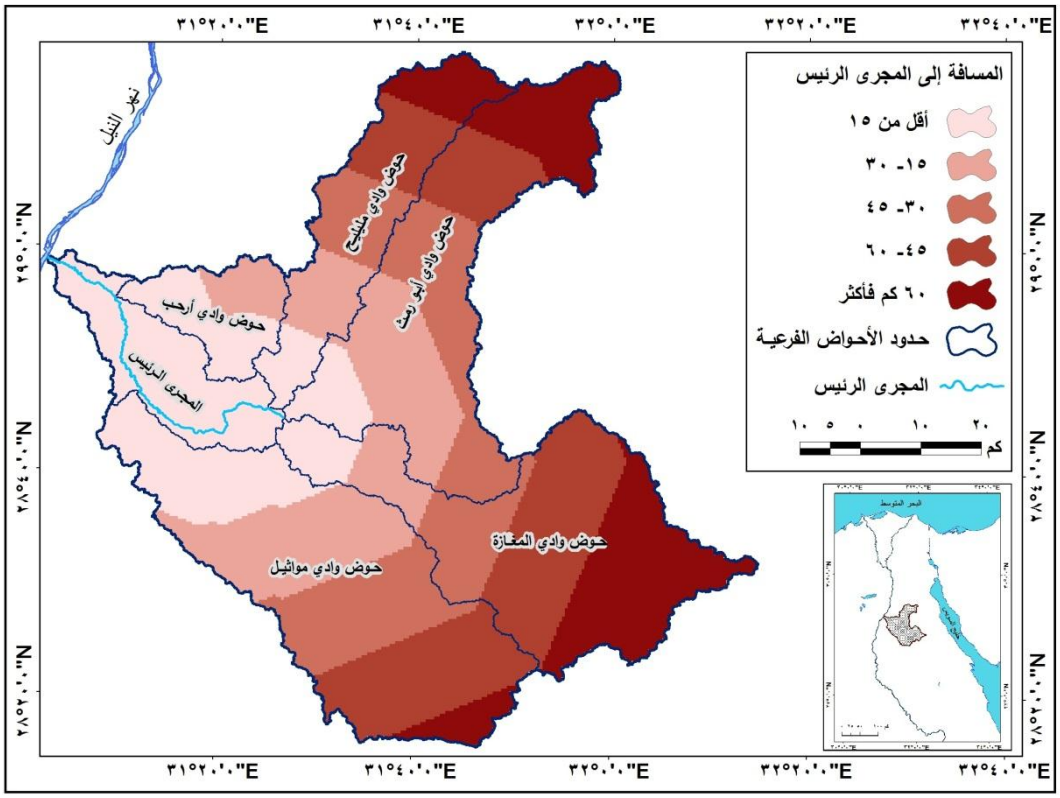
ب- طول الحوض: Basin Length

يُقصد بطول الحوض المسافة المستقيمة بين مصب الحوض وأبعد نقطة على خط تقسيم المياه المقابلة لمنبع المجرى الرئيس للحوض (Horton, 1932, p.351). ويؤثر طول الحوض في سرعة الجريان المائي، وكذلك مقدار الفواقد من التسرب والتبخر، حيث تتعرض الأحواض الأكثر طولًا لفقدان كميات كبيرة من مياهها أثناء حدوث الجريان المائي، مما ينعكس على زمن تركيز المياه في أحواض التصريف الرئيسة بمنطقة الدراسة،

حيث قد تأخذ المياه وقتًا طويلًا للوصول من المنابع إلى المصب (أبو راضي، وعجوة، 2019، ص15).

ويبلغ طول حوض وادي سنور 128.06 كم، وتتفاوت الأحواض الثانوية في أطوالها شكل(3ب) إذ تتراوح بين 29.01 بحوض وادي أرحب و82.02 كم بحوض وادي المغازة، بمتوسط عام 64.72 كم، وانحراف معياري بلغ ±19.7 كم، ويُمكن تقسيم الأحواض الثانوية تبعًا لطولها إلى ثلاثة أقسام وهما:

- **أحواض يقل طولها عن 30 كم:** وتقتصر على حوض وادي أرحب، ويُعد أقل الأحواض طولًا، حيث بلغ طوله ، 29.01 كم، ويُعد بذلك هو أكثر الأحواض سرعة في توصيل المياه إلى المجرى الرئيس **شكل(4)**، وأقلهم فقدانًا للمياه.
- **أحواض يتراوح طولها بين 30 إلى 70 كم:** وتضم حوضي المجرى الرئيس ومليليح.
- **أحواض يزيد طولها عن 70 كم:** وتتمثل في أحواض أبو رمث، والمغازة، ومواثيل، ويُمثل حوض وادي المغازة أطولهم ، حيث بلغ طوله 82.02 كم؛ لذا تعتبر تلك الأحواض أكثر الأحواض فقدانًا للمياه؛ بفعل طول المسافة التي تسلكها المياه للوصول إلى المجرى الرئيس.



المصدر: إعداد الباحثين باستخدام برنامج Arc Gis10.4.

شكل (4) المسافة إلى المجرى الرئيس بحوض وادي سنور

ت- عرض الحوض[2]:Basin Width

تُؤثر العلاقة بين طول الحوض وعرضه على شكل الحوض ونظام الجريان السطحي به، حيث توجد علاقة طردية بين حجم التصريف المائي وعرض الحوض؛ لما ينتج عن زيادة عرض الحوض من زيادة فرصته في تلقي كمية أكبر من الأمطار، وبحساب عرض الحوض جدول(2) اتضح الآتي:

- يبلغ عرض حوض سنور 46.56 كم، ويختلف عرض أحواضه الثانوية لتتراوح بين 10.86 و22.02كم بحوضي المجرى الرئيس ومواثيل على التوالي شكل(3ج)، بمتوسط عام 15.74كم، وانحراف معياري بلغ ± 4.2 كم.
- يُمثل حوض المجرى الرئيس أقل الأحواض عرضًا يليه حوضي واديي مليليح وأرحب؛ مما جعلها أقل أحواض منطقة الدراسة في حجم التصريف المائي، ويُعزى قلة عرض حوض وادي مليليح إلى امتداده الطولي وضيقه ليقترب من الاستطالة وهو ما يتضح فيما بعد في الخصائص الشكلية للأحواض. في حين كان لصغر مساحة حوض وادي أرحب الأثر الأكبر في قلة عرضه.
- تُعد أحواض مواثيل المغازة أبو رمث أكثر الأحواض عرضًا بالتوالي، ويُمثل حوض وادي مواثيل أكبر الأحواض من حيث العرض، إذ يبلغ عرضه 22.02 كم؛ ويرجع ذلك إلى كبر مساحته من جانب، وشكله البعيد عن الاستطالة من جانب آخر؛ مما جعل تلك الأحواض أكثر الأحواض الفرعية في تجميع أكبر قدر ممكن من الأمطار المتساقطة على منطقة الدراسة.
- ترى الباحثين أن الامتداد الطولي لحوض وادي أبو رمث بموقعه بالقرب من المنابع العليا لوادي سنور، إضافةً إلى زيادة عرضه إلى 17.89كم، يزيد من فرصته كثيرًا في حصاد أكبر كمية مُمكنة من مياه الأمطار؛ وبالتالي زيادة حجم تصريفه.

<u>ويستنتج من دراسة خصائص المساحة والأبعاد لحوض وادي سنور وأحواضه الثانوية ما يلي:</u>

---

[2] يتم حساب عرض الحوض غالبًا بقسمة مساحة الحوض على طوله، وقد تُتبع طرق أخرى مثل رسم مجموعة من الخطوط المستقيمة المتوازية والمُمثلة لعرض الحوض في كافة جوانبه، والمتعامدة على طول الحوض، وتكون المسافة فيما بينها متساوية، ثم حساب متوسط تلك الخطوط، وبذلك يُمكن استنتاج عرض الحوض بدقة أكثر، وقد طبقت الباحثين هذه الطريقة في حساب عرض حوض سنور وأحواضه الثانوية.

-اتساع مساحة حوض وادي سنور، وزيادة طول محيطه وطوله وعرضه؛ مما يُهيىء الحوض لاستقبال قدر كبير من مياه الأمطار؛ حيث تتناسب الخصائص المساحية طرديًا مع كل من حجم وزمن وذروة التصريف. علاوة على زيادة كمية الفواقد بالتبخر والتسرب؛ نتيجة زيادة طول الحوض إلى 128.06 كم.

-تُعد أحواض أودية مواثيل والمغازة وأبو رمث أكبر الأحواض الثانوية في قيم خصائصهم المساحية (المساحة- المحيط- الطول- العرض)؛ مما يُساعد على زيادة كمية الامطار التي تتلقاها، ومن جانب أخر تعمل زيادة طولهم على زيادة كمية فواقدهم من المياه بفعل عمليتي التبخر والتسرب.

-يُعتبر حوض وادي أرحب بالرغم من صغر مساحته، وقلة فرصته في حصاد كمية كبيرة من مياه الأمطار، أكثر أحواض وادي سنور الثانوية خطورة؛ حيث يساهم قلة طول الحوض في انخفاض كمية فواقده من المياه من جهة، وسرعة وصول المياه منه إلى المجرى الرئيس من جهة أخرى.

3-الخصائص الشكلية لحوض وادي سنور وأحواضه الثانوية:

يظهر الشكل العام لبعض أحواض التصريف بأشكال قريبة إلى الأشكال الهندسية كالدائرة أو المثلث أو المستطيل، وقد صِيغت العديد من المعاملات المورفومترية الخاصة لتحديد قيم كل منها، ويُعد شكل الحوض انعكاسًا لاختلاف الخصائص الجيولوجية والمناخية بين أقسام الحوض المختلفة، كما يرتبط شكل الحوض بمراحل التطور الجيومورفولوجي (أبو العنين، 1995، ص ص. 76-77)، وفيما يلي توضيح لأهم المعاملات الموفومترية المستخدمة في تحديد الخصائص الشكلية لحوض وادي سنور وأحواض الفرعية جدول (3)، والدلالة الجيومورفولوجية والهيدرولوجية لكل منها:

جدول (3) الخصائص الشكلية لحوض وادي سنور وأحواضه الثانوية

اسم الحوض	معدل الاستدارة	معدل الاستطالة	معامل الشكل	معامـــــــــل	معامل الانبعاج
المجرى الرئيس	0.12	0.51	0.21	2.83	3.79
أرحب	0.18	0.71	0.40	2.37	1.99
مليليح	0.11	0.46	0.16	3.08	4.77
أبو رمث	0.10	0.54	0.23	3.17	3.46
المغازة	0.12	0.53	0.22	2.90	3.55
مواثيل	0.15	0.58	0.26	2.55	2.98
سنور	0.11	0.70	0.38	2.97	2.06

المصدر: إعداد الباحثين باستخدام المعاملات المورفومترية الخاصة بكل منهم.

أ-معدل الاستدارة[3]: Circularity Rotio

يُمثل معدل الاستدارة نسبة مساحة الحوض إلى مساحة دائرة لها نفس محيط الحوض، وتعكس مدى تقارب حوض التصريف من شكل الدائرة (Miller, 1953, p. 9).

ويقترب شكل الحوض من الشكل الدائري كلما اقترب ناتج المعادلة من الواحد الصحيح والعكس، وتدل القيم المرتفعة على تقدم الحوض في دورته التحاتية وسيادة عمليات النحت الرأسي في مجاريه؛ حيث تميل المجاري المائية إلي تعميق قاعها قبل أن تلجأ إلى توسيع جوانبها(جودة وآخرون، 1991، ص.318)، وقد بلغ معدل استدارة حوض وادي سنور 0.11 ، مما يعني ابتعاده عن الشكل الدائري، ولم تختلف معدلات الاستدارة لأحواضه الفرعية عنه كثيرًا، فقد تراوحت بين 0.10 لحوض وادي أبو رمث و 0.18 لحوض وادي أرحب، بمتوسط عام بلغ 0.13 ، وانحراف معياري ± 0.03.

ب-معدل الاستطالة[4]: Elongation Ratio

يُعبر معدل الاستطالة عن النسبة بين قطر الدائرة التي لها نفس مساحة الحوض والحد الأقصى لطول الحوض (Schumm, 1956, p.612).

وتتراوح نسب معامل الاستطالة بين الصفر والواحد الصحيح، وكلما اقترب الناتج من الصفر دل ذلك على اقتراب شكل الحوض من الشكل المستطيل والعكس. وتُشير استطالة الأحواض إلى انتظام التصريف المائي في توزيعه الزمني، وحدوث قمتين تصريف أثناء الجريان السيلي، الأولى في المنابع عقب التساقط، والثانية عند المصب؛ ويترتب على ذلك زيادة فعل التعرية المائية على طول محاور المجاري الرئيسة (أبو رية، 2019، ص 26).

---

[3] تم حساب معدل الاستدارة بتطبيق المعادلة التالية (Miller, 1953, p. 9):

$$R_c = 4\pi A / P^2$$

حيث أن:

R_c= معدل الاستدارة، **π**= النسبة التقريبية الثابتة (ط)=7/22، **A**= مساحة الحوض، **P**= محيط الحوض

[4] تم حساب معدل الاستطالة باستخدام المعادلة الآتية (Schumm, 1956, p.612):

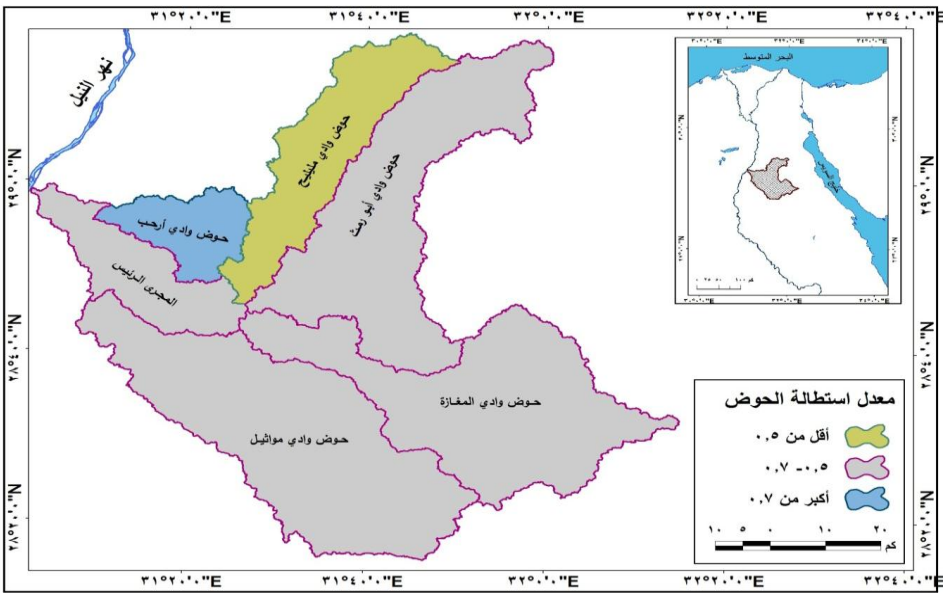
$$R_e = 2 * \sqrt{A/\pi} \ / \ L_b$$

حيث أن:

A= مساحة الحوض، **π**= النسبة التقريبية الثابتة (ط)=7/22 ، L_b = أقصى طول للحوض

بلغ معدل استطالة حوض وادي سنور 0.70، ويدل ذلك على ابتعاده عن الشكل المستطيل، وليس بالضرورة اقترابه للاستدارة كما سبق أن تبين انخفاض معدل استدارته، في حين تباينت أحواضه الثانوية في معدل استطالتها شكل(5)، حيث بلغ متوسطها العام 0.56، وانحراف المعياري ±0.08، وبناءً على ذلك يُمكننا تقسيمها إلى ثلاثة أقسام وفقًا لمعدل استطالتها وهم كالتالي:

- **أحواض تميل إلى الاستطالة** (أقل من 0.5): وتتمثل في حوض وادي مليليح، والذي بلغ معدل استطالته 0.46، مما يساعد على انتظام نظام تصريفه المائي، مما يقلل من خطورته نسبيًا، لتدفق المياه به بشكل تدريجي، وزيادة زمن التركيز اللازم لوصول المياه إلى مصبه.
- **أحواض متوسطة الاستطالة**(0.5– 0.7): وتشمل منطقة المجرى الرئيس وأحواض أودية المغازة وأبورمث ومواثيل.
- **أحواض قليلة الاستطالة** (أكبر من 0.7): وتضم حوض وادي أرحب، والذي يبتعد كليًا عن الشكل المستطيل؛ حيث بلغ معدل استطالته 0.71، مما يزيد من كمية التصريف المائي به، وعدم انتظام نظام تصريفه المائي.



المصدر: إعداد الباحثين باستخدام برنامج Arc Gis10.4.

شكل(5) معدل استطالة أحواض سنور الفرعية

ت- معامل الشكل[5]:Form Factor

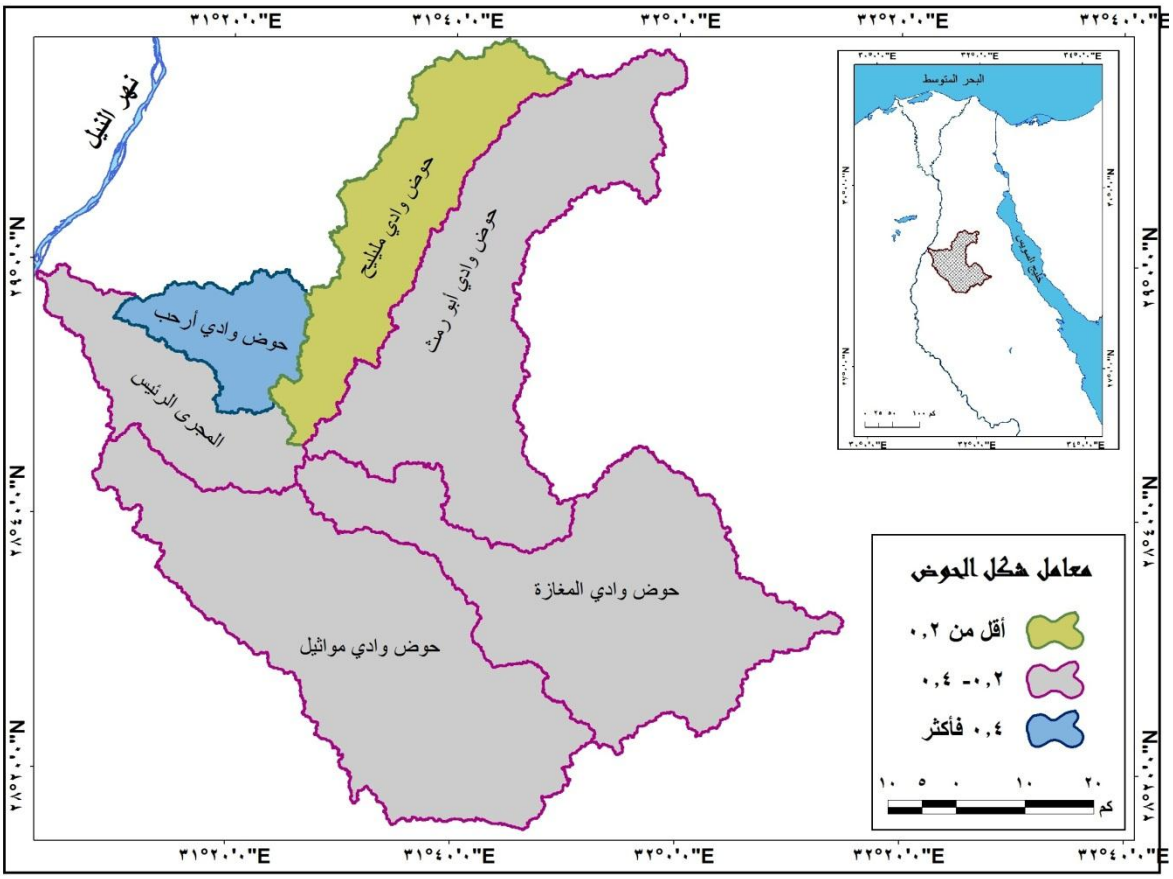
يُقصد بمعامل الشكل نسبة العرض إلى طول حوض التصريف. وتُشير القيم المرتفعة لهذا المعامل إلى تناسق شكل الحوض، حيث يتقارب طوله مع عرضه، وكلما انخفضت القيمة دل ذلك على استطالة الحوض؛ حيث يزيد طول الحوض على عرضه (Horton, 1932, p.351)، وقد بلغت قيمة معامل الشكل بحوض وادي سنور 0.38، وهي قيمة منخفضة نسبيًا، تعكس زيادة طول الحوض مقارنة بعرضه. بينما تباينت قيم معامل الشكل لأحواض سنور الثانوية، وبلغ متوسطها العام 0.25، بانحراف معياري ±0.07، وتُصنف تبعًا لما ورد في شكل(6) إلى:

[5] تم حساب معامل الشكل باستخدام المعادلة التالية (Horton, 1932, p.351):

$$F = M/L^2$$

حيث أن:

F= معامل الشكل، **A=M=** مساحة الحوض بالكم^2، **L=** طول الحوض بالكم. الطول المطلوب استخدامه بالمعادلة ليس بالضرورة الطول الأقصى للحوض، ولكن يجب قياسه من نقطة على خط تقسيم المياه المقابلة لمنبع المجرى الرئيس. إذا وُجد لدينا حوض تصريف بمخرج جانبي، قد يكون طوله أقل من عرضه،



المصدر: إعداد الباحثين باستخدام برنامجي Wms10.1 و Arc Gis10.4.

شكل(6) معامل شكل أحواض سنور الثانوية

- **أحواض يتضاءل عرضها نسبة إلى طولها** (أقل من 0.2): وتقتصر على حوض وادي مليليح، والذى يميل إلى الاستطالة في شكله؛ بسبب زيادة طوله جدًا مقارنة بعرضه، حيث بلغت قيمة معامل الشكل به 0.16، وترتب على ذلك قلة المجارى المائية في الرتب الدنيا.
- **أحوض يقل عرضها نسبة إلى طولها** (0.2– 0.4): وتضم أحواض أبو رمث ومواثيل والمغازة ومنطقة المجرى الرئيس، فقد تقاربت قيمهم، والتي تُعد منخفضة نسبيًا، لزيادة طولها مع اختلاف عرض أجزاء أحواضها من المنبع نحو المصب، حيث يزيد عرضها نسبيًا بالقرب من المنابع ويقل بالاتجاه نحو المصب، مما يُساعد على زيادة حجم التصريف المائي بهم، ويشترك معهم في ذلك الحوض الرئيس.
- **أحواض يتناسب عرضها مع طولها** (0.4 فأكثر): ويُمثلها حوض وادي أرحب، حيث بلغت قيمة معامل الشكل به 0.40.

ث- معامل الاندماج[6]: Compactness Factor

يُعبر معامل الاندماج عن العلاقة النسبية بين محيط الحوض ومحيط الدائرة التي لها نفس مساحة الحوض، حيث تدل القيم المرتفعة على عدم انتظام وتناسق شكل الحوض؛ بفعل كبر محيط الحوض بالنسبة إلى جملة مساحته، وزيادة تعرج محيطه، والعكس، حيث تُشير القيم المنخفضة إلى انتظام شكل الحوض، وقلة تعرج محيطه (Horton, 1932, p.351).

ترتفع قيمة معامل الاندماج لحوض وادي سنور وأحواضه الفرعية نسبيًا، فقد بلغ 2.97 بسنور، في حين بلغ متوسطه العام بالأحواض الثانوية 2.82، بانحراف معياري 0.31، حيث سجل حوض وادي أبو رمث أعلى القيم والتي بلغت 3.17؛ وُيعزى ذلك إلى زيادة تعرج خط تقسيم المياه به(محيطه)، مما أدى إلى قلة تناسق وانتظام شكل الحوض. بينما سُجلت أدنى قيمة 2.37 بحوض وادي أرحب.

ج-معامل الانبعاج[7]: Lemniscate Factor

يُفيد هذا المعامل في التعرف على مدى اقتراب شكل الحوض المائي إلى الشكل الكمثريPear – shape، حيث قارنت معظم المعاملات الأخرى بين شكل الحوض الطبيعي والأشكال الهندسية المجردة مثل الدائرة أو المستطيل، وتدل القيم المنخفضة لهذا المعامل على انبعاج الحوض شكل(7) وزيادة أعداد وأطوال المجاري في الرتب الدنيا في مكان ما منه دون سواه، على أحد جانبي الحوض أو كليهما، ومن ثم نشاط عمليات التعرية التراجعية، أو ابتعاد منابع المياه عن محور الحوض في جزء ما من الحوض دون غيره،

---

[6] تم استخلاص قيم معامل الاندماج باستخدام المعادلة الآتية (Horton, 1932, p.351):

$$C = P/2*\sqrt{\pi M}$$

حيث أن:

C= معامل الاندماج، **P** = محيط الحوض بالكم، **π** = النسبة التقريبية الثابتة (ط)=7/22، M =A= مساحة الحوض بالكم^2

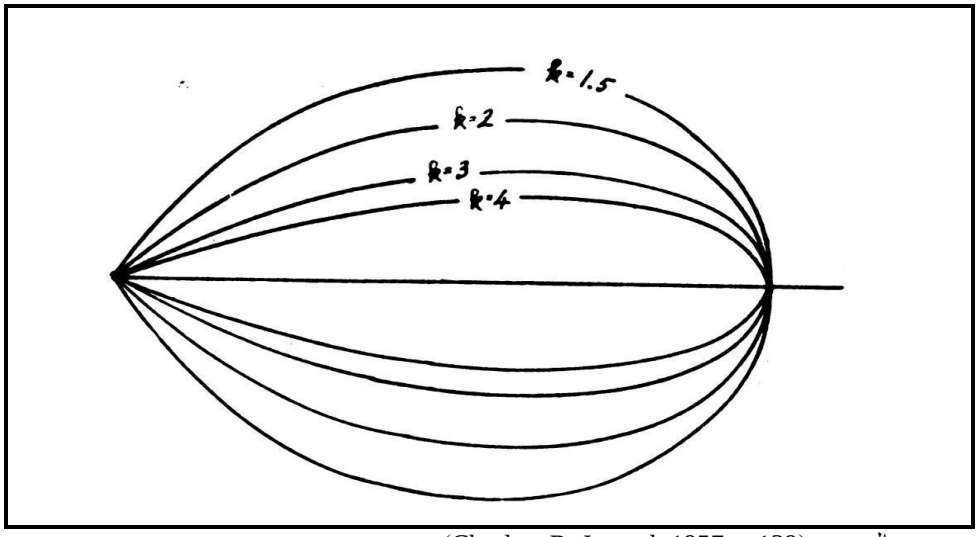
[7] اقترح شورلي (Chorley, R.J., et al, 1957, p.139) معادلة تُعبر عن انبعاج الحوض المائي وهي كالآتي:

$$K = L^2 \pi / 4A$$

حيث أن:

K= معامل التفلطح، **L** =طول الحوض بالكم ، **A** = مساحة الحوض بالكم^2، **π=** النسبة التقريبية الثابتة (ط)=7/22

مما يدل على أن الحوض قد قطع شوطًا متقدمًا من دورته التحاتية، في حين تُشير القيم المرتفعة إلى عكس ذلك، وتُعطي المناطق المنبعجة من الحوض كميات كبيرة من المياه الجارية مقارنة بغيرها من أجزائه؛ لذا تتوافق قمة التصريف المائي معها كميًا وزمنيًا، حيث تكون قمة متأخرة حال وقوع المنطقة المنبعجة في القطاع الأعلى للحوض، مما يساعد على سرعة التخطيط لتفادي أخطار هذه القمة، والتعامل معها بشكل يتناسب مع زمن وصولها إلى المصب (سلوم، 2012، ص.ص.551-552).



المصدر: (Chorley, R. J., et al, 1957, p.139)

شكل (7) علاقة معامل الانبعاج K بالشكل المنبعج للحوض

بلغت قيمة معامل الانبعاج لحوض وادي سنور 2.06، وهي قيمة منخفضة، تُؤكد انبعاج حوض وادي سنور، ويقع الجزء المنبعج بالقطاع الأعلى للحوض؛ مما يُشير إلى زيادة كمية المياه التي يجمعها الحوض في هذا الجزء، وإلى تأخر قمة تصريفه، مما يُعطي فرصة للتخطيط الجيد للاستفادة من تلك الكمية وتفادي ما يمكن أن تسببه من أخطار. وقد اختلفت قيم الانبعاج للأحواض الثانوية، حيث بلغ متوسطها العام 3.42، بانحراف معياري بلغ ± 0.92، ويمكن تقسيمها كالآتي:

- **أحواض تتميز بالانبعاج** (أقل من 2): وتضم حوض وادي أرحب، وجاء الانبعاج به عند منابعه، مما يشير إلى زيادة كمية المياه التي يتلقاها ذلك الجزء دون سواه، وتأخر قمة التصريف به، وقد بلغت قيمة انبعاجه 1.99.
- **أحواض متوسطة الانبعاج** (2-4): تتمثل في كل من حوض وادي مواثيل ومنطقة المجرى الرئيس وحوضي واديي أبو رمث والمغازة، ويُعد حوض وادي مواثيل أكثرهم انبعاجًا بقيمة بلغت 3.06.

•**أحواض تتميز بقلة انبعاجها** (أكثر من 4): ويمثلها حوض وادي مليليح، والذي يميل أكثر نحو الاستطالة، وتناسق أجزائه، وبُعدها عن الانبعاج.

وبدراسة الخصائص الشكلية لحوض وادي سنور وأحواضه الثانوية يتضح ما يأتي:

-لا يُشترط أن تكون أحواض التصريف التي يقل بها معدل الاستدارة مستطيلة الشكل؛ فالبرغم من ابتعاد حوض وادي سنور وأحواضه الثانوية عن الاستدارة، فقد ابتعدت أشكالهم أيضًا عن الاستطالة عدا حوض وادي مليليح.

-يتخذ حوض وادي سنور شكلًا قريبًا إلى المثلث، حيث يميل إلى الانبعاج عند منابعه العليا، ويقل انبعاجه بالاقتراب من مصبه؛ مما يدل على زيادة أعداد وأطوال المجاري المائية في الرتب الدنيا عند منابعه؛ ويُساعد ذلك على زيادة حجم تصريفه. كما يتميز الحوض بقلة تناسق وانتظام شكله؛ وهذا ما تؤكده قيم معاملي الشكل والاندماج بالحوض.

-يُعد حوض وادي مليليح أكثر الاحواض الثانوية استطالة وانتظامًا وتناسقًا بين أجزائه من مصبه نحو منبعه، حيث يتصف ببُعده عن الانبعاج؛ مما يُشير إلى قلة أعداد مجاري الرتب الدنيا به، وانتظام التصريف المائي في توزيعه الزمني بالحوض؛ مما يقلل من درجة خطورته.

-يتشابه حوض وادي أرحب مع الحوض الرئيس في انبعاجه عند منابعه العليا؛ مما يزيد من أطوال وأعداد الرتب الدنيا عند منابعه. ويتصف حوض أرحب بتناسق شكله نسبيًا حيث يتناسب طوله مع عرضه، مما يُساعد على بُعد شكله عن الاستطالة.

-تتقارب أحواض مواثيل والمغازة وأبو رمث في خصائصهم الشكلية من حيث ابتعادهم عن الاستدارة، وتوسط قيم استطالتهم، وقلة تناسق أشكالهم؛ نتيجة قلة عرضهم بالنسبة لأطوالهم، وبصفة عامة ساهمت خصائصهم الشكلية في زيادة أعداد وأطوال مجاري الرتب الدنيا بهم وبخاصة عند منابعهم العليا؛ مما يؤدي إلى زيادة حجم التصريف المائي بهم.

4- الخصائص التضاريسية لحوض وادي سنور وأحواضه الثانوية:

تُفيد دراسة الخصائص التضاريسية لأحواض التصريف في التعرف على المرحلة الجيومورفولوجية التي تمر بها الأحواض (الدورة التحاتية)، وتطور شبكة التصريف المائي؛ لذا فهي تُعد مؤشر للعديد من العمليات الجيومورفولوجية كالنحت والإرساب، ويوضح جدول(4) الخصائص التضاريسية لحوض وادي سنور وأحواضه الثانوية، وتم دراستها كالآتي:

جدول(4) الخصائص التضاريسية لحوض وادي سنور وأحواضه الثانوية

اسم الحوض	أقصى	أدنى	تضاريس	نسبة	التضاريس	التكامل	قيمة	نسبة النسيج
المجرى الرئيس	284	21	263	0.005	0.12	0.54	0.57	2.12
أرحب	309	67	242	0.008	0.16	0.75	0.51	4.20
مليليح	655	191	464	0.007	0.16	0.47	0.96	1.69
أبو رمث	835	200	635	0.008	0.15	0.41	1.40	1.52
المغازة	1161	200	961	0.012	0.24	0.42	2.08	2.50
مواثيل	646	124	522	0.006	0.14	0.50	1.08	2.96
سنور	1161	21	1140	0.009	0.14	0.39	2.43	2.22

المصدر: إعداد الباحثين باستخدام برنامج Arc Gis10.4 ، اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي Dem دقة 30م، وتطبيق المعاملات المورفومترية المرتبطة بكل معامل.

أ-أقصى ارتفاع: Maximum Elevation

يُشير إلى أعلى منسوب لسطح الحوض، والذي يقع غالبًا عند المنابع العليا لحوض التصريف، ويرمز له بالرمز H_{Max} ، وقد بلغ أقصى ارتفاع لحوض وادي سنور 1161م، في حين تباينت قيم أقصى منسوب للأحواض الثانوية، وبلغت أدناها بمنطقة المجرى الرئيس 284م وحوض وادي أرحب 309م، وأعلاها بحوض وادي المغازة 1161م.

ب-أدنى ارتفاع: Minimum Elevation

يُمثل أقل منسوب لسطح الحوض، ويقع بحوض وادي سنور عند مصبه، كما يقع بمصبات الأودية الفرعية للحوض، ويرمز له بالرمز H_{Min} ، وقد بلغ أدنى منسوب لحوض وادي سنور 21م، وتراوحت قيم أدنى منسوب للأحواض الثانوية بين 21م بمنطقة المجرى الرئيس، و200م بحوضي واديي المغازة وأبو رمث، لاشتراكهما في المصب.

ت- تضاريس الحوض:Basin Relief

تُعني الفارق الرأسي بين أعلى نقطة منسوب وأدنى نقطة منسوب، وعادة ما تقع أعلى نقطة منسوب على خط تقسيم المياه عند المنابع العليا للحوض، بينما تقع أدنى نقطة منسوب عند المصب، ويرمز لها بالرمز H، وقد بلغت تضاريس حوض وادي سنور

1140م، واختلفت تضاريس الأحواض الفرعية، وسجلت أدنى قيمة لها بحوض وادي أرحب حيث بلغت 242م، في حين سجلت أعلى قيمة بحوض وادي المغازة 961م.

ث- التضرس المحلي: Local Relief

يُعرف التضرس المحلي بأنه مقدار التباين في الارتفاع بين أعلى نقطة منسوب وأدنى نقطة منسوب في منطقة معينة، ويُعد مقياس لتوضيح الاختلاف بين مناسيب الأجزاء المرتفعة وما يجاورها من أجزاء منخفضة، وكلما زاد الاختلاف، زادت معه شدة التضرس؛ مما يؤدي إلى زيادة الجريان السطحي، وزيادة معدلات التعرية المائية، وعند انخفاض هذا الاختلاف؛ يقل تضرس السطح، وبالتالي يحدث بطء في الجريان السطحي (عبد الوهاب، 2016، ص.27).

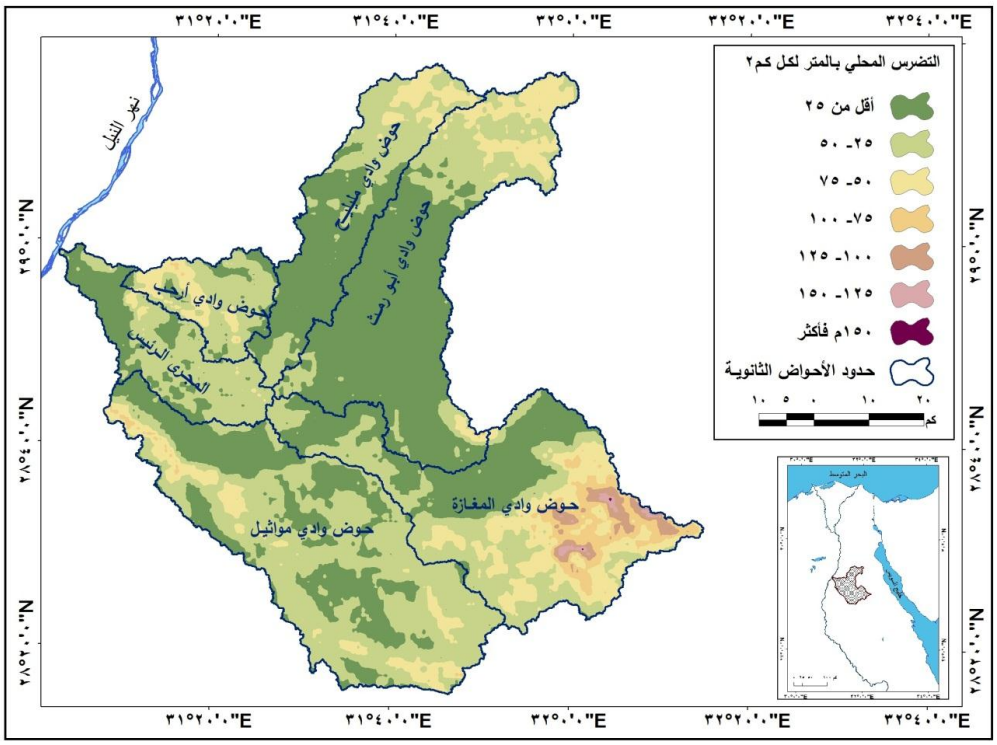
وقد أوضح أبو العنين (أبو العنين، 1995، ص.73) طريقة حساب التضرس المحلي بتقسيم خريطة المنطقة المستهدفة إلى مربعات متساوية المساحة وليكن كيلو متر مربع لكل مربع، وتحديد الفارق الرأسي لكل مربع، بعدها يُمكن حساب متوسطات المناسيب وسطح المنطقة المحلي. وقد قامت الباحثين بتطبيق ذلك على منطقة الدراسة؛ مما نتج عنه جدول(5)، وشكل(8)، ويتضح من تحليل أرقام الجدول والشكل الآتي:

جدول(5) فئات التضاريس المحلية بحوض وادي سنور (م/كم^2)

الفئة	المساحة (كم^2)	النسبة(%)
أقل من 25	2612.00	41.85
25 -50	2564.52	41.10
50 -75	815.47	13.06
75 -100	168.14	2.70
100 -125	66.10	1.06
125 -150	13.82	0.22
150 م فأكثر	0.73	0.01
الجملة	6240.78	100

المصدر: إعداد الباحثين اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقميDem دقة 30م، باستخدام برنامج Arc Gis10.4.

- تشغل المناطق التي يقل تضرسها المحلي عن 60م/ كم^2 نحو 82.95% من جملة مساحة منطقة الدراسة، وتتمثل في الأجزاء المستوية والهينة والمتوسطة الانحدار، وتتوزع على مناطق متعددة من الهضبة الجيرية، التي أجهداتها عوامل التعرية، ويلاحظ تركزها بالقطاع الأدنى لحوض وادي سنور، والمنطقة الممتدة فيما بين الجلالتين.



المصدر: إعداد الباحثين اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي Dem دقة 30م، باستخدام برنامج Arc Gis10.4.

شكل (8) خريطة التضرس المحلي لحوض وادي سنور وأحواضه الثانوية

- تُشكل المناطق التي يزيد تضرسها المحلي عن 100م/ كم^2 نحو 1.29% من جملة مساحة منطقة الدراسة، وتضم الأجزاء شديدة الانحدار، وتتركز بجنوب غرب حوض وادي مواثيل حيث تتواجد منحدرات صخرية مقاومة لعوامل التعرية، كذلك تنتشر بشكل ملحوظ شرق حوض وادي المغازة حيث الارتفاعات الشاهقة لهضبة الجلالة القبلية ذات الصخور الصلبة الأكثر مقاومة للتعرية؛ لذا يُعد حوض وادي المغازة أكثر الأحواض الثانوية تضرسًا يليه حوض وادي أبو رمث.

ج- نسبة التضرس[8]: Relief Ratio

تُعبر عن النسبة بين تضاريس الحوض (فرق الارتفاع لأدنى وأعلى نقطة في الحوض) وأطول بُعد للحوض موازٍ لخط التصريف الرئيس (أقصى طول للحوض)، وهي نسبة ارتفاع إلى طول بلا أبعاد (Schumm, 1956, p.612)، وتُشير الدلالة الجيومورفولوجية لنسبة التضرس إلى الدورة التحاتية لحوض التصريف، حيث تُعني القيم المنخفضة نشاط لعملية النحت والتراجع نحو المنابع، مما يدل على تقدم الحوض في دورته التحاتية، بينما تشير القيم المرتفعة إلى التضرس الشديد للأحواض وزيادة درجة انحدارها (أبو رية، 2018، ص. 186).

يتصف حوض وادي سنور بانخفاض نسبة تضرسه وتضرس أحواضه الفرعية بصفة عامة؛ مما يدل على نشاط عملية النحت به، ويرجع ذلك إلى طبيعة تكويناته الجيرية الإيوسينية، فقد بلغت نسبة تضرس الحوض الرئيس 0.009م/م، وبلغ المتوسط العام لها بأحواضه الثانوية 0.008 م/م، بانحراف معياري ± 0.002 م/ م، تراوحت بين 0.005 م/ م بمنطقة المجرى الرئيس، و0.012 م/ م بحوض وادي المغازة، وتُشير نسبة تضرس حوض وادي المغازة إلى شدة تضرسه نسبيًا مقارنة بباقي الأحواض؛ ويُعزى ذلك إلى زيادة قيمة الفارق الرأسي به.

ح-التضاريس النسبية[9]: Relative Relief

---

[8] تم حساب نسبة التضرس بتطبيق المعادلة التالية(Schumm, 1956, p.612):

$$R_r = H / L_b$$

حيث أن:

R_r= نسبة التضرس، **H**= تضاريس الحوض بالمتر، **L_b**= طول الحوض بالمتر.

[9] تم الحصول على قيم التضاريس النسبية باستخدام المعادلة التالية (Melton, 1957, p. 5):

اقترح ميلتون(Melton, 1957, p. 5) معادلة لتقدير التضاريس النسبية لأحواض التصريف، تعتمد على العلاقة النسبية بين كل من تضاريس الحوض ومحيطه، وأوضح بأن من مزايا استخدام التضاريس النسبية عن نسبة التضرس عدم تأثير موضع أعلى نقطة منسوب بالحوض بالنسبة لمصبه على القياس، فيما أشار بأنه يُمكن تطوير علاقة منطقية بين كل من نسبة التضرس والتضاريس النسبية من خلال افتراض أشكال مختلفة للحوض. وبتطبيق المعادلة الخاصة بالتضاريس النسبية على حوض وادي سنور وأحواضه الثانوية، حيث تشير النسب المرتفعة إلى شدة تضرس الحوض، والعكس، اتضح ما يلي:

تقاربت نتائج قيم التضاريس النسبية لحوض وادي سنور وأحواضه الثانوية مع نتائج نسبة التضرس في انخفاضها نسبيًا؛ ويرجع ذلك إلى طبيعة التكوين الصخري الذي يسوده صخور الحجر الجيري الإيوسيني، والذي يسهل تعريته، وبالتالي ينخفض تضرس الأجزاء المكون لها. وقد بلغت التضاريس النسبية لحوض وادي سنور 0.14، وتراوحت قيمها بين 0.12 بمنطقة المجرى الرئيس عند المصب، حيث يتشكل من رواسب فيضية رسبها نهر النيل، إضافة إلى صخور الحجر الجيري المكونة للجزء الأعظم منه، و0.24 بحوض وادي المغازة، والذي يضم بين ثناياه أعلى المناسيب بحوض وادي سنور، علاوة على وقوع جزء منه في نطاق هضبة الجلالة القبلية المكونة من صخور صلبة مقاومة لعوامل التعرية المختلفة؛ مما يزيد من تضرس حوض وادي المغازة نسبيًا مقارنة بباقي الأحواض الفرعية بسنور.

خ- التحليل الهبسومتري: Hypsometric Analysis

يُعرف التحليل الهبسومتري بأنه "دراسة توزيع مساحة من سطح الأرض، أو مساحة المقطع العرضي الأفقي لكتلة من اليابسة وعلاقته بالارتفاع" (Strahler,1952, p.1118)، ويُعد التحليل الهبسومتري من أفضل المتغيرات الكمية المستخدمة في التعرف على العلاقة بين طبوغرافية الحوض النهري وتعرية المجاري المائية للسطح، بواسطة الجريان السطحي، ويهدف إلى تحديد الفترة الزمنية التي قطعتها الأحواض من دورتها الجيومورفولوجية (إبراهيم، 2020، ص.429)، ويتم دراسة التحليل الهبسومتري للأحواض من خلال تناول ما يلي:

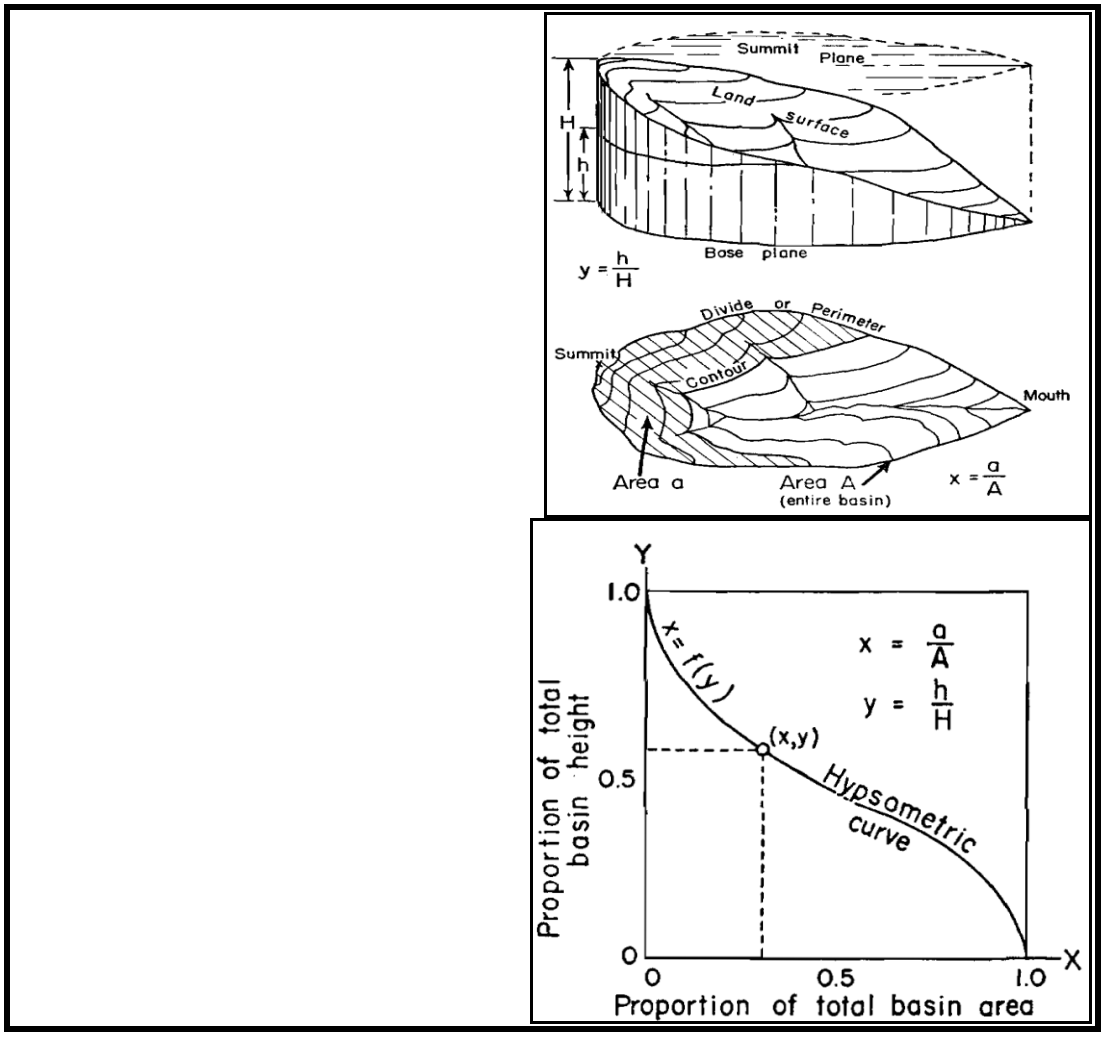
- المنحنى الهبسومتري: Hypsometric Curve

$$R = 100*H / P$$

R= التضاريس النسبية، **H**= تضاريس الحوض بالمتر، P= محيط الحوض بالمتر.

يوضح المنحنى الهبسومتري العلاقة بين المساحة النسبية التي تُمثل المساحة المحصورة بين أي خط كنتور ومحيط الحوض (a) إلى جملة مساحة الحوض(A) من جهة، والارتفاع النسبي الذي يُمثل النسبة بين ارتفاع أي خط كنتور في الحوض(h) إلى الارتفاع الكلي للحوض (H) من جهة أخرى.

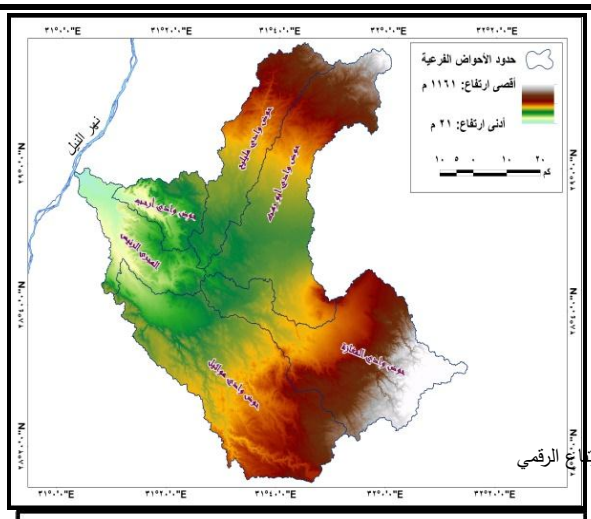
يجب أن ينشأ المنحنى دائمًا في الركن الأيسر العلوي من المربع (س = 0، ص = 1) وأن يصل إلى الركن الأيمن السفلي (س = 1، ص = 0). ومع ذلك، قد يتخذ المنحنى أي مسار من مجموعة متنوعة من المسارات بين هذه النقاط شكل(9)، اعتمادًا على توزيع كتلة اليابسة من القاعدة إلى القمة (Strahler,1952, p.1119).



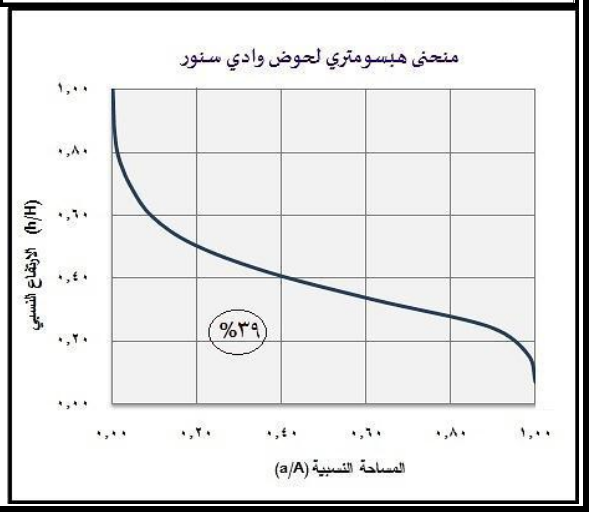
المصدر: (Strahler,1952, p.p.1119-1120).

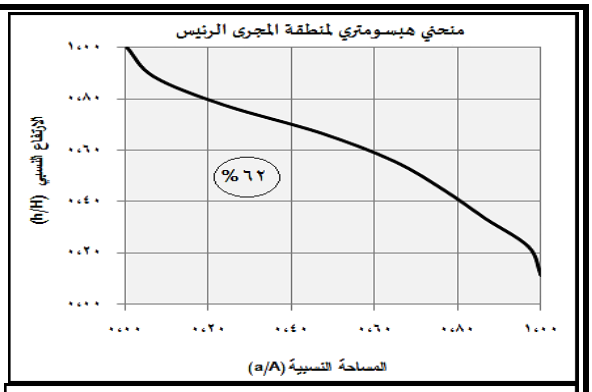
شكل(9) طبيعة المنحنى الهبسومتري لأحواض التصريف

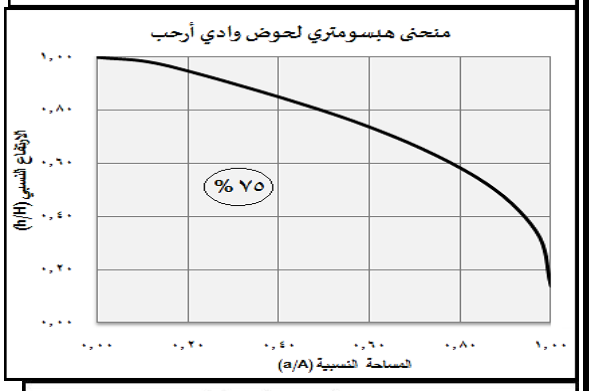
وبتطبيق ما سلف ذكره على حوض سنور وأحواضه الثانوية، نتجت مجموعة من المنحنيات الهبسومترية المتباينة بينهم؛ لاختلاف خصائصهم المساحية والتضاريسية، ويتضح ذلك من خلال تحليل شكل(10) حيث أمكن استنتاج الآتي:

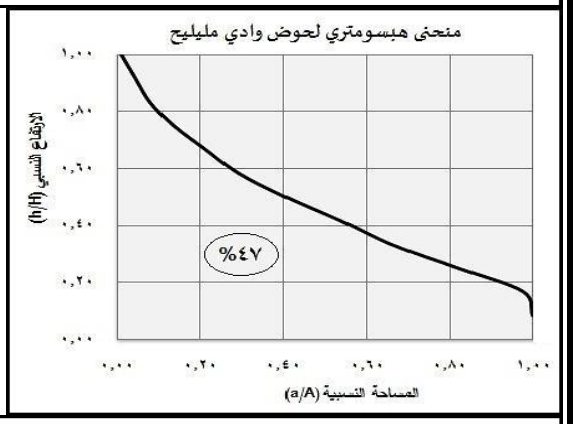


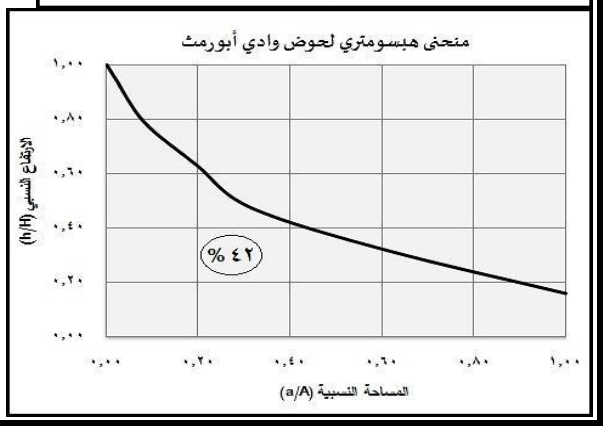
نموذج الارتفاع الرقمي

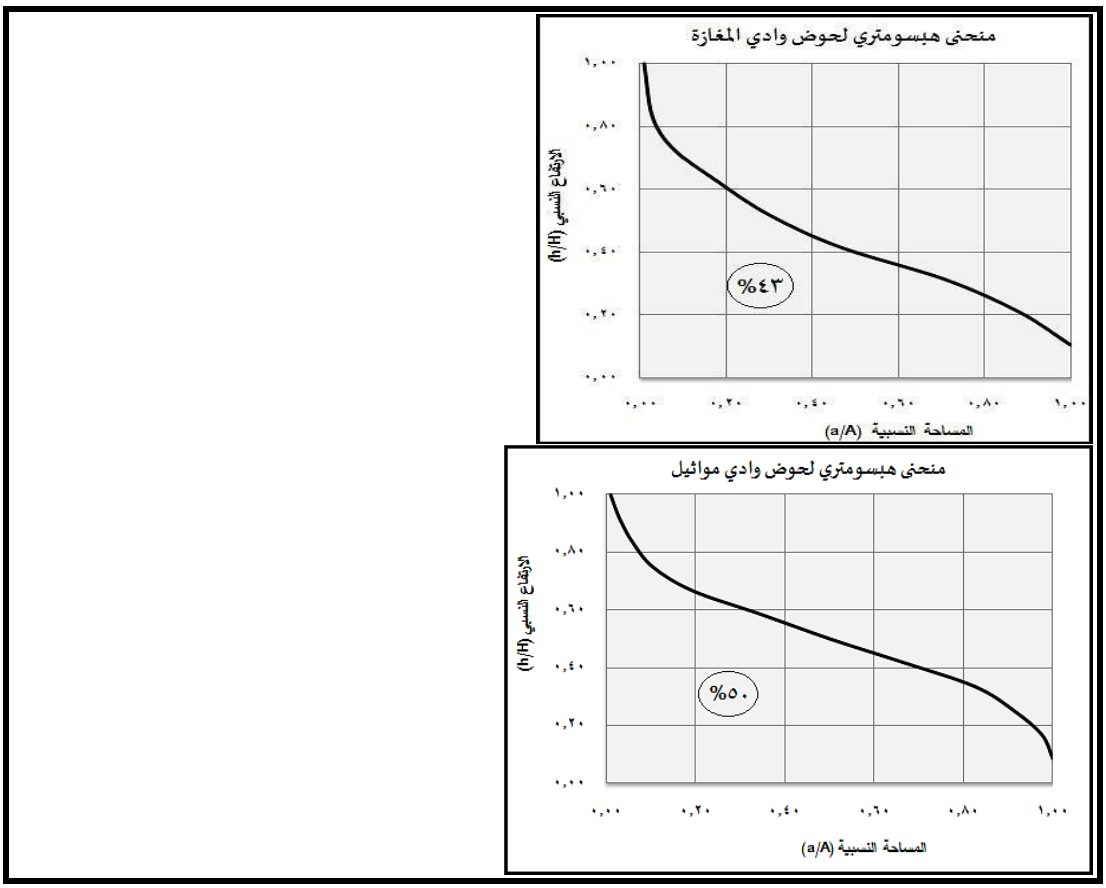



منحني هبسومتري لمنطقة المجرى الرئيس
الارتفاع النسبي (h/H)
١,٠٠
٠,٨٠
٠,٦٠
٠,٤٠
٠,٢٠
٠,٠٠
% ٦٢
٠,٠٠
٠,٢٠
٠,٤٠
٠,٦٠
٠,٨٠
١,٠٠
المساحة النسبية (a/A)


منحنى هبسومتري لحوض وادي أرحب
الارتفاع النسبي (h/H)
١,٠٠
٠,٨٠
٠,٦٠
٠,٤٠
٠,٢٠
٠,٠٠
% ٧٥
٠,٠٠
٠,٢٠
٠,٤٠
٠,٦٠
٠,٨٠
١,٠٠
المساحة النسبية (a/A)


منحنى هبسومتري لحوض وادي مليليح
الارتفاع النسبي (h/H)
١,٠٠
٠,٨٠
٠,٦٠
٠,٤٠
٠,٢٠
٠,٠٠
%٤٧
٠,٠٠
٠,٢٠
٠,٤٠
٠,٦٠
٠,٨٠
١,٠٠
المساحة النسبية (a/A)


منحنى هبسومتري لحوض وادي أبورمث
الارتفاع النسبي (h/H)
١,٠٠
٠,٨٠
٠,٦٠
٠,٤٠
٠,٢٠
٠,٠٠
% ٤٢
٠,٠٠
٠,٢٠
٠,٤٠
٠,٦٠
٠,٨٠
١,٠٠
المساحة النسبية (a/A)



المصدر: إعداد الباحثين اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي Dem دقة 30م، باستخدام برنامج Arc Gis10.4.

شكل (10) المنحنيات الهبسومترية لحوض وادي سنور وأحواضه الثانوية

- تُشكل الكتلة الصخرية المتبقية والتي لم تتعرض بعد للنحت[10]، من حوض وادي سنور 39%، مما يدل على أن نسبة كبيرة من يابس الحوض تحولت من سطح مرتفع إلى منحدرات جوانب أودية؛ بفعل كثرة الأودية التي تزخرف سطحه.
- يتصف المنحنى الهبسومتري لحوض وادي أرحب بالتحدب؛ مما يشير إلى ارتفاع نسبة الكتلة المتبقية والتى لم تتعرض لعوامل التعرية، والتي بلغت 75% من الكتلة الصخرية للحوض بأكمله، وقد أشار (الصبابحة، 2018، ص. 318) إلى أن الأحواض صغيرة المساحة يكون شكل المنحنى لها محدب(Convex)، في حين الأحواض كبيرة المساحة يميل شكل المنحنى التابع لها للشكل المقعر (concave)، وهذا يُفسر عظم مساحة الكتلة المتبقية بحوض وادي أرحب مقارنة بباقي الأحواض الثانوية لمنطقة الدراسة، إضافة إلى التكوين الصخري لحوض أرحب حيث ينتشر بأرجائه تكوين بني

[10] يُشير الجزء أسفل المنحنى الهبسومتري إلى نسبة الكتلة الصخرية المتبقية التي لم تتعرض للتعرية، في حين يُشير الجزء أعلاه إلى نسبة الكتلة الصخرية التي تم تعريتها.

سويف، والذي يتألف من حجر جيري صلب في قاعدته، وحجر جيري نومولیتي أعلاه، مما يُساعد على مقاومة عوامل التعرية بشكل أكبر من تكوينات المقطم الجيرية المنتشرة بالحوض الرئيس.

- وصول الأحواض الثانوية لحوض وادي سنور باستثناء منطقة المجرى الرئيس وحوض وادي أرحب إلى مرحلة توازن فيما تم تعريته من صخور، وما تبقى من مواد صخرية لم يتم نحتها بعد.

- التكامل الهبسومتري:Hypsometric Intergal :

يُعبر التكامل الهبسومتري عن نسبة الكتلة الصخرية المتبقية من الكتلة الكلية الأصلية التي تعرضت لعوامل التعرية، ويتحكم بقيمته عدة عوامل أهمها التضرس الكلي للحوض ، وكثافة التصريف به، وخصائصه الجيولوجية. وتأتي أهمية دراسته في تحديد الدورة التحاتية للأحواض المائية، ذلك لأن الأودية النهرية مع استمرار عمليات النحت لفترات زمنية طويلة تنتقل في أحواضها المائية من مرحلة الشباب فالنضج فالشيخوخة، ويتزامن ذلك مع تناقص قيمة التكامل الهبسومتري، وهذا يعطي مؤشرًا على كمية المواد الصخرية التي تعرضت لعمليات النحت أو ما زالت تنتظر دورها في العملية التحاتية. وبالتالي تحديد المناطق ذات القابلية العالية للجريان السطحي، وحدوث الانهيارات الأرضية والسيول وانجراف التربة (الصبابحة، 2018، ص.308).

وقد أوضح ستراهلر (Strahler,1952, p.1130) حدود مراحل التعرية للأحواض المائية وفقًا لقيم التكامل الهبسومتري بها كالآتي:

- مرحلة الشباب (عدم التوازن): أكثر من 0.60
- مرحلة النضج (التوازن): من 0.35 إلى 0.60
- مرحلة الشيخوخة: أقل من 0.35

واعتمدت الباحثين على طريقة ستراهلر (Strahler,1952, p.1121) في تقدير قيمة التكامل الهبسومتري لحوض سنور وأحواضه الثانوية، والذي يعادل نسبة المساحة الواقعة دون المنحنى الهبسومتري للحوض إلى مساحة المربع بأكمله[11]، وتبعًا لما ورد سالفًا، وما أوضحته المنحنيات الهبسومترية لمنطقة الدراسة، تم استنتاج ما يأتي:

---

[11] تم حساب مساحة المنطقة دون المنحنى عن طريق حساب عدد المربعات نسبة إلى إجمالى عدد مربعات الشكل بالكامل، حيث قسمت مربع الرسم إلى 625 مربع فرعي(25 مربع رئيس * 25 فرعي لكل مربع)، ومن ثم حساب عدد المربعات الفرعية أسفل المنحنى وقسمة عددها على العدد الكلي للمربعات والذي يعادل 625 مربع.

- بلغت قيمة التكامل الهبسومتري لحوض وادي سنور 0.39، ويُعني ذلك إلى اقتراب الحوض من الدخول في مرحلة الشيخوخة، حيث يُمكن اعتبار أنه فى مرحلة نضج متأخرة.
- ارتفعت قيمة التكامل الهبسومتري لحوض وادي أرحب، حيث بلغت 0.75، وُيعزى ذلك إلى صغر مساحته، ويُشير ذلك إلى أن الحوض ما زال في مرحلة الشباب؛ مما ينتج عنه سيادة النحت الرأسي ، وزيادة كمية التصريف المائي به.
- تدل قيم التكامل الهبسومتري للأحواض الثانوية لحوض وادي سنور باستثناء منطقة المجرى الرئيس وحوض وادي أرحب إلى وقوعهم في مرحلة النضج، حيث تراوحت بين 0.42 لحوض وادي أبو رمث، و 0.54 لحوض وادي مليليح؛ وهذا يُشير إلى وصول تلك الأحواض إلى مرحلة التوازن فيما بين عمليتي النحت والإرساب.

د- قيمة الوعورة[12]:Ruggedness Number

قام ستراهلر (Strahler, 1958, p.289) بالربط بين كل من تضاريس الحوض وكثافة التصريف بالأحواض، واعتبر كلاهما مكونات ذات أبعاد هندسية بحتة، تتحكم في درجة وعورة سطح الحوض، فإذا زادت قيمة كثافة التصريف (D) وباتت قيمة تضاريس الحوض(H) ثابتة؛ أدى ذلك إلى تقليل متوسط المسافة من خط تقسيم المياه إلى القنوات المائية المجاورة، مع زيادة مصاحبة في درجة انحدار الحوض. وإذا زادت قيمة (H) بينما ظلت قيمة (D) ثابتة؛ سيزداد فرق الارتفاع بين خط تقسيم المياه والقنوات المجاورة، بحيث يزداد شدة الانحدار. وترتفع قيمة الوعورة عندما يكون كلا المتغيرين مرتفعًا، أي عندما لا تكون المنحدرات شديدة الانحدار فحسب، بل يزداد طولها أيضًا، ويُمكن التعبير عنها باستخدام المعادلة التالية:

وتُعني القيم المنخفضة لناتج قيمة الوعورة أن الحوض ما زال في بداية دورته التحاتية، وهذا ما يؤكده تدني قيمة الوعورة لحوض وادي أرحب والذي بلغ 0.51، لذا نجد

---

[12] تم حساب قيمة الوعورة بتطبيق المعادلة الآتية (Strahler, 1958, p.289):

$$HD = H*D/1000$$

حيث أن:

HD = قيمة الوعورة، H = تضاريس الحوض بالمتر، D = كثافة التصريف كم/ كم^2، ملحوظة قام (Strahler, 1958, p.296) بتحويل كثافة التصريف من وحدة الميل إلى القدم لتوحيد الوحدات مع قيمة تضاريس الحوض، لذا تم قسمة قيمة الكثافة على 1000 لتحويلها من وحدة الكم إلى وحدة المتر.

تباين ملحوظ في قيمة وعورة أحواض سنور الثانوية، حيث تراوحت بين 0.51 بحوض وادي أرحب إلى 2.08بحوض وادي المغازة، حيث بلغ متوسطها العام 1.10، بانحراف معياري ±0.58، في حين زادت قيمة وعورة حوض وادي سنور بشكل ملحوظ حيث بلغت 2.43؛ ويرجع ذلك إلى زيادة قيمة تضاريس الحوض، ويُشير هذا إلى أن الحوض قطع شوطًا كبيرًا في دورته التحاتية.

ذ- نسبة النسيج الطبوغرافي[13]:Texture Ratio

اقترح سميث(Smith, 1950, P. 657) معادلة تُعبر عن النسيج الطبوغرافي لحوض التصريف، واعتمد فيها على العلاقة النسبية كل من عدد التحززات أو التشرشرات (Crenulations) في أي خط كنتور يحتوي على أقصى عدد من هذه التحززات بحوض التصريف، ومحيط الحوض الذي يقطع هذا الخط من طرفيه.

وتبعًا لتقدير سميث(Smith, 1950, P. 661) فإن الأحواض التي تقل نسبة النسيج بها عن 4 فأنها ذات نسيج طبوغرافي خشن، ومن 4-10 ذات نسيج طبوغرافي متوسط، في حين التي تزيد نسبتها عن 10 فالنسيج الطبوغرافي بها ناعم. وبالتطبيق على منطقة الدراسة، يتضح أن حوض سنور وأحواضه الثانوية تقع بالكامل ضمن المناطق ذات النسيج الطبوغرافي الخشن، باستثناء حوض وادي أرحب الذي بلغت نسبته 4.20، وبالتالي يُصنف بأنه ذات نسيج طبوغرافي متوسط، ويرجع ذلك إلى صغر مساحته وزيادة عرضه من جانب ونشاط عمليات النحت الرأسي به من جانب أخر، في حين بلغت نسبة النسيج الطبوغرافي بحوض وادي سنور 2.22، وتراوحت بأحواضه الثانوية المتبقية بين 1.52 بحوض وادي أبو رمث إلى 2.96 بحوض وادي مواثيل.

وتأتي أهمية هذا المعامل في تحديد مدى تقطع سطح حوض التصريف بالمجاري المائية، لذا فالعلاقة طردية بينه وبين تكرار المجاري التي سيرد ذكرها لاحقًا. ويتأثر النسيج

---

[13] تم حساب نسبة النسيج الطبوغرافي باستخدام المعادلة الآتية (Smith, 1950, P. 657):

$$T = N/P$$

حيث أن:

T = نسبة النسيج الطبوغرافي، **N**= عدد التحززات أو التشرشرات **(Crenulations)** في أي خط كنتور يحتوى على أقصى عدد من هذه التحززات بحوض التصريف، **P**= محيط الحوض بالكم، وحدت الطالية مقياس رسم الخريطة الكنتورية للحوض الرئيس وأحواضه الثانوية 1: 25000، ثم قامت باختيار خط الكنتور الذى يحوي على أقصى عدد من التحززات وحساب عددها بكل حوض.

الطبوغرافي بعدة عوامل أهمها التكوين الصخري والخصائص المناخية؛ وهذا يُفسر النسيج الطبوغرافي الخشن لحوض وادي سنور، الذي يتكون في معظمه من صخور الحجر الجيري، وقلة الأمطار التي تتساقط به عامة، فيما عدا رخات الأمطار الغزيرة.

ويُستدل من دراسة الخصائص التضاريسية لحوض وادي سنور وأحواضه الثانوية على ما يأتي:

- يتميز حوض وادي سنور بانخفاض نسبة تضرسه، ووقوعه جيومورفولوجيًا في مرحلة النضج المتأخرة، ونسيجه الطبوغرافي الخشن؛ وتُشير قيم معاملات الخصائص التضاريسية للحوض إلى أنه قطع شوطًا كبيرًا في دورته التحاتية؛ نتيجة طبيعة تكوينه الصخري من صخور الحجر الجيري الإيوسيني في معظم أجزاءه، والذي يتصف بزيادة قابليته للتعرية، وبخاصة التعرية المائية.
- تتصف أحواض وادي سنور الثانوية بصفة عامة بانخفاض نسبة تضرسها، ووقوعها عدا حوض وادي أرحب بمرحلة النضج، ونسيجها الطبوغرافي الخشن؛ مما يؤدي إلى نشاط عملية النحت التراجعي نحو منابعها.
- يُعد حوض وادي المغازة أكثر أحواض سنور الثانوية تضرسًا، حيث ارتفعت به تضاريس الحوض إلى 961م، كما ارتفعت به نسبة التضرس والتضاريس النسبية مقارنة بباقي أحواض الدراسة الثانوية؛ ويُعزى ذلك إلى وقوع جزء منه في نطاق هضبة الجلالة القبلية، كما تقع به أعلى أجزاء منطقة الدراسة منسوبًا.
- يقع حوض وادي أرحب ضمن المناطق ذات النسيج الطبوغرافي المتوسط، كما أنه مازال في بداية دورته التحاتية، حيث يقع في مرحلة الشباب؛ مما يزيد من عملية النحت الرأسي به، كما يدل ذلك على قلة مجاريه المائية.

ثانيًا- الخصائص المورفومترية لشبكات المجاري المائية بحوض وادي سنور وأحواضه الثانوية:

تُفيد دراسة الخصائص المورفومترية لشبكات المجاري المائية في تحديد العديد من المتغيرات المهمة التي تؤثر بشكل مباشر في طبيعة الجريان السيلي، وتتعدد المعاملات المورفومترية المرتبطة بتحليل شبكة المجاري المائية، وتتميز بتأثيرها المتبادل فيما بينها، وكما سبق أن أوضحنا أن للخصائص الجيولوجية والمناخية دور لا يمكن التغاضي عنه وخاصة فيما يتعلق بنمو وتطور شبكة المجاري بأحواض التصريف بمنطقة الدراسة، وفيما

يلي عرض لأهم المعاملات المورفومترية المُستخدمة في تحليل شبكة المجاري المائية بحوض وادي سنور جدول (6):

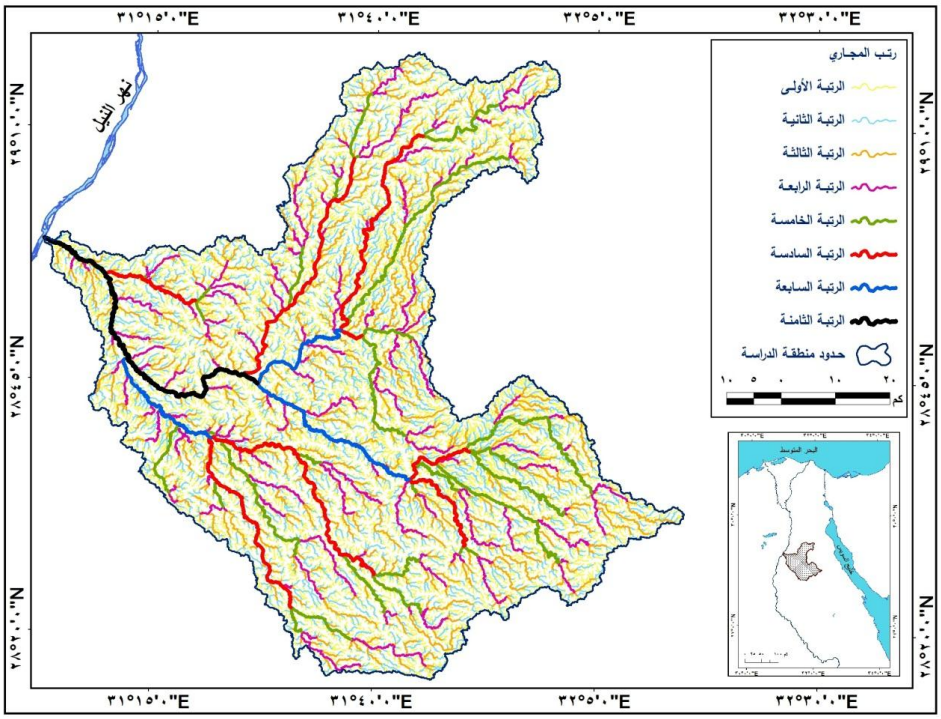
جدول (6) الخصائص المورفومترية لشبكات المجاري المائية بحوض وادي سنور وأحواضه الثانوية

اسم الحوض	أعداد	أطوال المجاري	تكرار	كثافة	معدل بقاء	طول التدفق	معامل
المجرى الرئيس	1291	1066.4	2.61	2.15	0.46	0.23	1.63
أرحب	875	697.4	2.64	2.11	0.47	0.23	1.54
مليليح	2028	1540.2	2.72	2.06	0.48	0.24	1.41
أبو رمث	3720	3158.1	2.60	2.20	0.45	0.22	1.67
المغازة	3737	3223.6	2.51	2.16	0.46	0.23	1.68
مواثيل	4640	3603.1	2.66	2.06	0.48	0.24	1.60
سنور	16291	13288.8	2.61	2.13	0.47	0.23	1.67

المصدر: إعداد الباحثين باستخدام المعاملات المورفومترية الخاصة بكل منهم.

1-رتب المجاري: Stream Order

تُعد دراسة رتب المجاري أول خطوة في خطوات التحليل المورفومتري لشبكات المجاري المائية، وقد استندت الدراسة إلى طريقة ستراهلر (Strahler, 1957, p.914) في ترتيب شبكة المجاري بأحواض التصريف بمنطقة الدراسة والتي تنص على أن انضمام مجريين من ذات الرتبة يُشكل الرتبة التالية لها، فتُمثل الرتبة الأولى تلك الروافد الصغيرة `التي تُشبه أطراف الأصابع الرتبة الأولى، وعند التقاء مجريين من الرتبة الأولى تتكون الرتبة الثانية، وعندما يجتمع مجريان من الرتبة الثانية معًا تتشكل الرتبة الثالثة، وهكذا. وبتطبيق هذا على شبكة المجاري المائية بحوض وادي سنور وأحواضه الثانوية، اتضح أن حوض وادي سنور يحتوي على 8 رتب شكل(11)، في حين تباينت رتب الأحواض الثانوية، حيث تراوحت بين 5 رتب بمنطقة المجرى الرئيس، إلى 7 رتب بأحواض أودية مواثيل والمغازة وأبورمث شكل(12). وقد أوضح أبو راضي وعجوة (أبو راضي وعجوة، 2019، ص.21) الدلالة الجيومورفولوجية لرتب المجاري كأحد المتغيرات المهمة، حيث تدل الرتب الأولى والثانية على أن مجاريها تسير في مناطق شديدة الانحدار نسبيًا ذات تكوينات صخرية متوسطة وشديدة الصلابة، أما الرتب العليا فتسير مجاريها في مناطق أقل انحدارًا وتكوينات صخرية أقل صلابة.

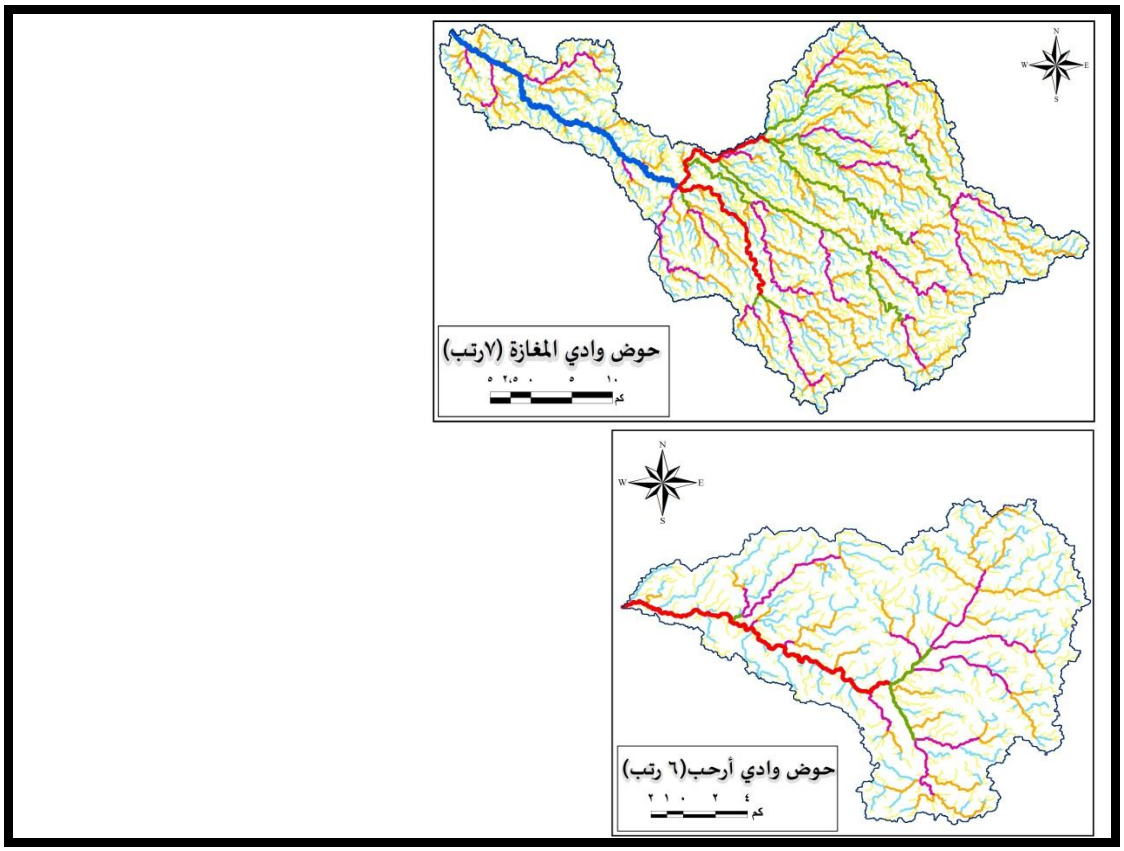


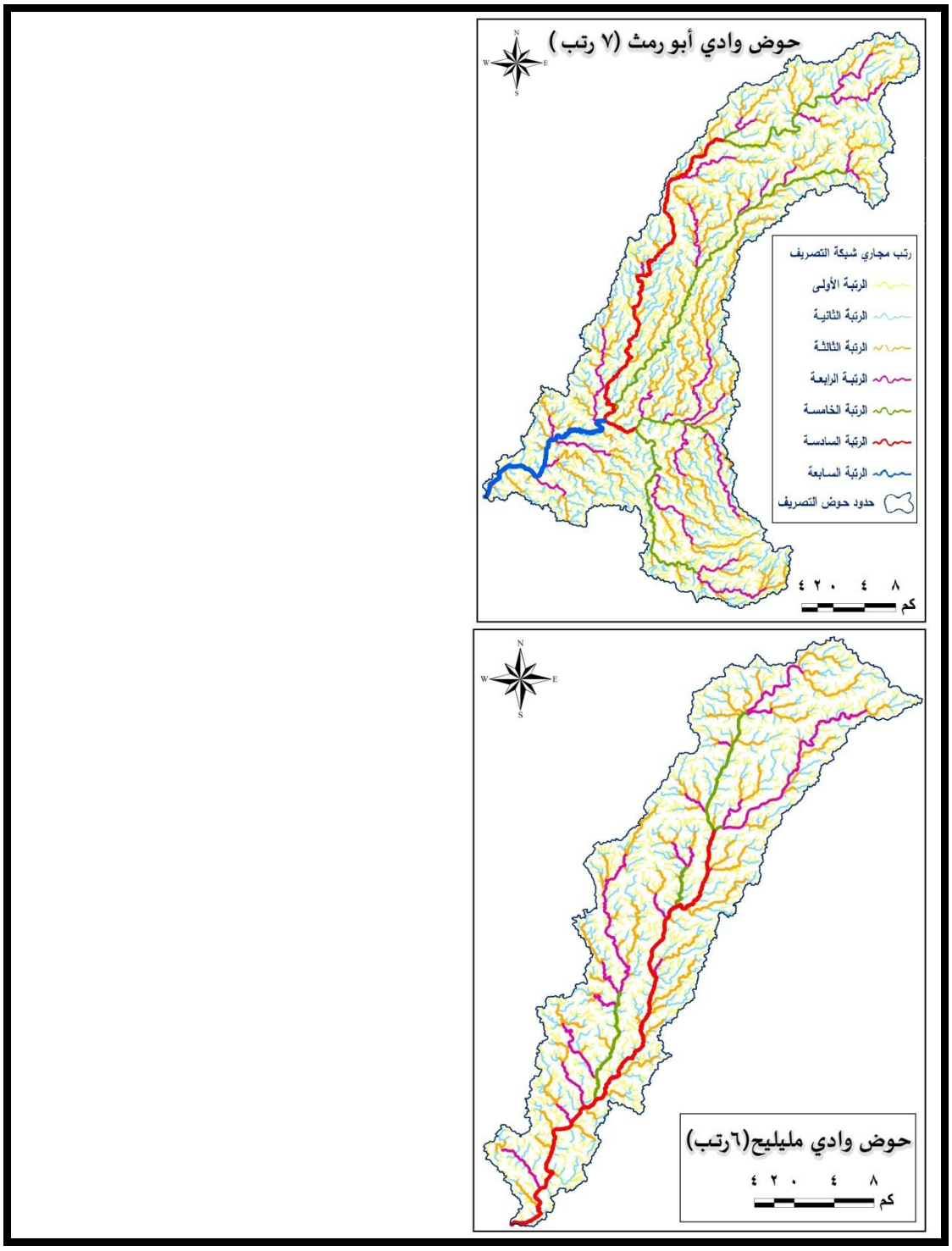
المصدر: إعداد الباحثين اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي Dem دقة 30م، بالتكامل بين برنامجي Wms10.1 و Arc Gis10.4.

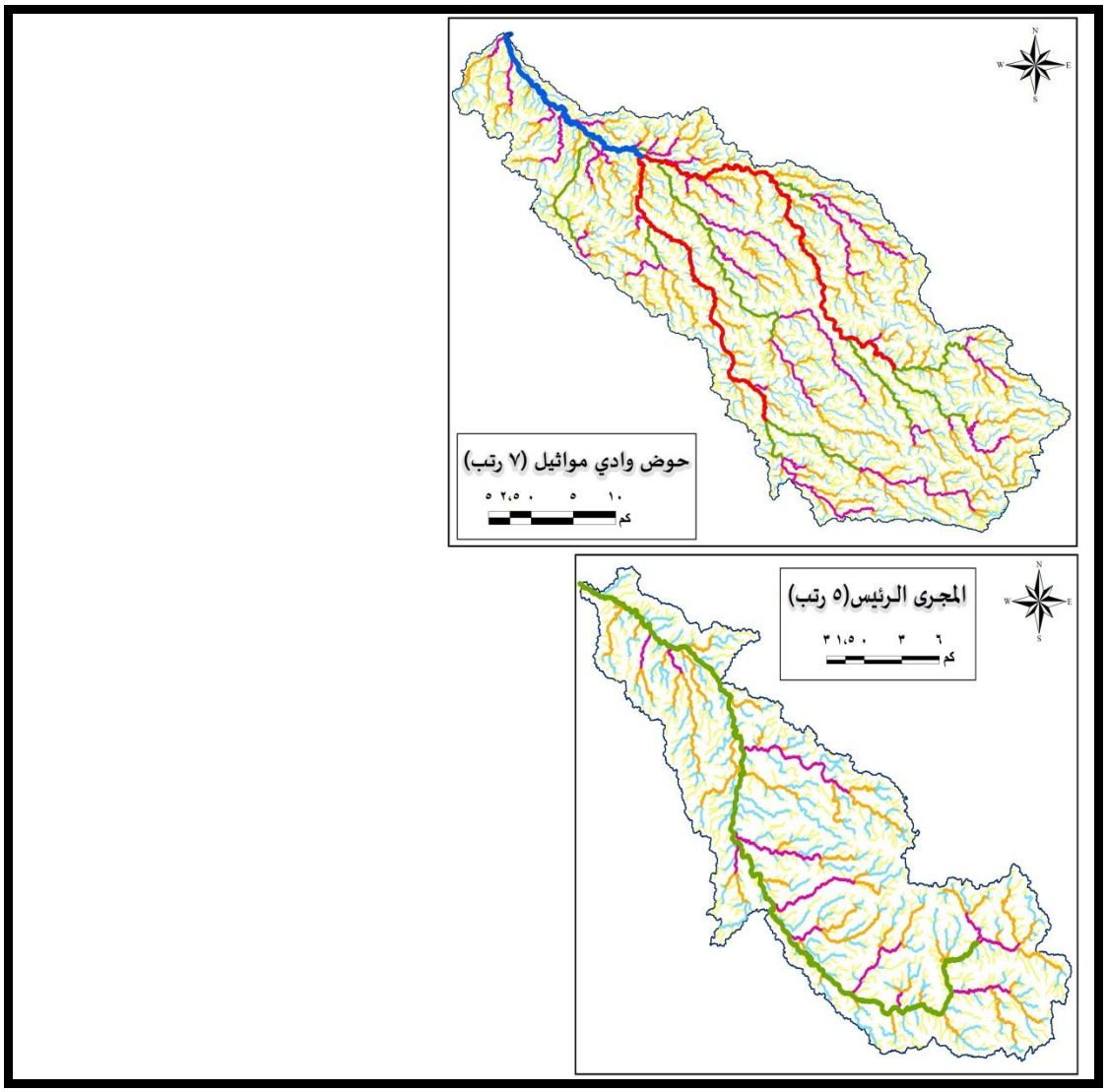
شكل(11) رتب مجاري شبكة التصريف بحوض وادي سنور

2- أعداد المجاري وأطوالها: Number and Length of Streams

تعكس أعداد المجاري حجم شبكة التصريف المائي بالأحواض، كما أنها تُعتبر انعكاسًا لمساحة تلك الأحواض وطبيعة تكويناتها الجيولوجية، وقد بلغت أعداد المجاري بحوض وادي سنور 16291 مجرى، وتباينت أعداد المجاري بأحواضه الفرعية، وقد بلغ متوسطها العام 2715 مجرى، بانحراف معياري ±1526مجرى، حيث بلغت أدناها 875 مجرى بحوض وادي أرحب، بينما استحوذ حوض وادي مواثيل على أكبر عدد للمجارى بلغ 4640 مجرى. وبتحليل جدول(7) يتبين تناقص أعداد المجاري بالانتقال من الرتبة الأولى إلى الرتبة الثانية، وهكذا، حتى تتجمع المجاري في مجرى واحد فقط يُمثل المجرى الرئيس لكل حوض تصريف. فقد سجلت الرتبة الأولى أكثر الرتب في أعداد المجاري بحوض وادي سنور وأحواضه الثانوية.


حوض وادي المغازة (٧رتب)
٠ ٢,٥ ٥ ١٠ كم
N
W
E
S
حوض وادي أرحب(٦ رتب)
٠ ١ ٢ ٤ كم


حوض وادي أبو رمث (٧ رتب)
رتب مجاري شبكة التصريف
الرتبة الأولى
الرتبة الثانية
الرتبة الثالثة
الرتبة الرابعة
الرتبة الخامسة
الرتبة السادسة
الرتبة السابعة
حدود حوض التصريف
٨ ٤ ٠ ٢ ٤
كم
حوض وادي مليليح(٦رتب)
٨ ٤ ٠ ٢ ٤
كم



المصدر: إعداد الباحثين اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي Dem دقة 30م، بالتكامل بين برنامجي Wms10.1 و Arc Gis10.4.

شكل(12) رتب مجاري شبكة التصريف بأحواض وادي سنور الثانوية

وتتناسب أطوال وأعداد المجاري بحوض وادي سنور وأحواضه الثانوية تناسبًا طرديًا مع مساحاتها، ويلاحظ ذلك من قراءة بيانات جدول(7)، حيث بلغت أطوال المجاري بحوض وادي سنور 13288.8كم، واختلفت أطوال المجاري بأحواضه الثانوية، حيث تراوحت بين 697.4كم بحوض وادي أرحب، و 3603.1 كم بحوض وادي مواثيل، الذي يتميز بأنه أكبر الأحواض الثانوية مساحة. وقد كان لصغر مساحة وادي أرحب تأثير في انخفاض أطوال المجاري به، علاوة على ذلك فأن التركيب الجيولوجي له أثر بشكل ملحوظ في تناقص أعداد وأطوال المجاري به مقارنة بباقي الأحواض، حيث يتكون في معظم أجزائه من صخور أشد صلابة من الأحواض الأخرى، لذا فيُعد حوض وادي أرحب

أقل أحواض منطقة الدراسة من حيث أعداد المجاري وأطوالها، ويُضاف لهذا أن الحوض ما زال في بداية دورته التحاتية كما تبين مسبقًا، لذلك فلم يكتمل نمو مجاريه بعد.

3- نسبة التشعب[14]: Bifurcation Ratio

عرف هورتن (Horton, 1945, p.280) نسبة التشعب R_b بأنها "نسبة أعداد المجاري في رتبة معينة إلى أعداد المجاري في الرتبة الأدنى التالية لها"، وأشار بأنها عادة ما تكون ثابتة لجميع رتب المجاري في حوض التصريف، إلا أن الباحثين ترى أن هذا الاستنتاج يحتاج إلى مجموعة من الشروط أهمها تجانس التركيب الجيولوجي للصخور والبنية الجيولوجية بكل أرجاء الحوض، علاوة على تجانس الظروف المناخية وأهمها كمية الأمطار المتساقطة وغيرها من العوامل الطبيعية. ولنسبة التشعب أهمية كبيرة في تحديد مدى سرعة وصول المياه إلى المجرى الرئيس، فكلما انخفضت قيمتها، كلما استغرقت المياه مدة أقل من الزمن للوصول إلى الرتبة التالية لها وبالتالي للوصول إلى المجرى الرئيس، والعكس، لذا فكلما انخفضت نسبة التشعب، زادت خطورة وصول السيول إلى المصب في أسرع وقت ممكن.

وبتطبيق معادلة نسبة التشعب على حوض وادي سنور وأحواضه الثانوية وجد أنها بلغت بحوض وادي سنور 4، وتباينت بأحواضه الثانوية، ويتضح ذلك جليًا من تحليل بيانات جدول(7)، حيث اتصف حوضي واديي أرحب والمغازة بأنهما أقل الأحواض في نسبة التشعب، والتي بلغ متوسطها بكل منهما 3.8، 3.9 على التوالي، مما يترتب عليه زيادة خطورة حدوث السيول بكل منهما، بينما سجل حوض وادي مليليح ومنطقة المجرى الرئيس أعلى الأحواض في متوسط نسبة التشعب بهما حيث بلغت 4.4، 6.3 على التوالي.

---

[14] يُعبر عن نسبة التشعب باستخدام المعادلة التالية (Strahler, 1958, p.282):

$$R_b = Nu/Nu+1$$

حيث أن:

R_b= نسبة التشعب، **Nu**= أعداد المجاري في رتبة معينة، **Nu+1**= أعداد المجاري في الرتبة الأدنى التالية لها.

جدول (7) أطوال وأعداد رتب المجاري ونسبة تشعبها بحوض وادي سنور وأحواضه الثانوية

اسم الحوض	المعامل المورفومتري	رتب المجاري							الجملة + نسبة تشعب الحوض
		الأولى	الثانية	الثالثة	الرابعة	الخامسة	السادسة	السابعة	الثامنة	
المجرى الرئيس	أطوال المجاري(كم)	532	263.9	144.4	60.7	65.4	-	-	-	1066.4
	أعداد المجاري	1009	219	50	12	1	-	-	-	1291
	نسبة التشعب	4.6	4.4	4.2	12	-				6.3
أرجب	أطوال المجاري(كم)	350.8	180.2	82.2	52.3	9.0	22.9	-	-	697.4
	أعداد المجاري	683	143	34	11	3	1	-	-	875
	نسبة التشعب	4.8	4.2	3.1	3.7	3	-			3.8
مليلح	أطوال المجاري(كم)	765.0	364.0	211.6	110.7	33.0	55.9	-	-	1540.2
	أعداد المجاري	1566	357	82	18	4	1	-	-	2028
	نسبة التشعب	4.4	4.4	4.6	4.5	4	-			4.4
أبو رمث	أطوال المجاري(كم)	1512.3	759.5	469.6	197.4	129.3	62.7	27.3	-	3158.1
	أعداد المجاري	2931	624	129	28	5	2	1	-	3720
	نسبة التشعب	4.7	4.8	4.6	5.6	2.5	2	-		4
المغازة	أطوال المجاري(كم)	1549.5	803.7	430.0	202.0	151.4	43.7	43.3	-	3223.6
	أعداد المجاري	2920	629	147	30	8	2	1	-	3737
	نسبة التشعب	4.6	4.3	4.9	3.8	4	2	-		3.9

مواسيل	أطوال المجاري(كم)	1732.5	875.1	478.2	245.8	133.7	107.4	30.4	–	3603.1
	أعداد المجاري	3633	783	173	38	10	2	1	–	4640
	نسبة التشعب	4.6	4.5	4.6	3.8	5	2	–		4.1
سنوبر	أطوال المجاري(كم)	6441.7	3245.8	1811.1	865.4	456.4	292.6	101.2	74.6	13288.8
	أعداد المجاري	12741	2755	616	137	30	8	3	1	16291
	نسبة التشعب	4.6	4.5	4.5	4.6	3.8	2.7	3		4

المصدر: إعداد الباحثين اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي Dem دقة 30م، بالتكامل بين برنامجي Wms10.1 و Arc Gis10.4. واستخدام معادلة نسبة التشعب

4- تكرار المجاري[15]:Streams Frequency

يرتبط تكرار المجاري بقياس عدد المجاري بالنسبة لمساحة حوض التصريف؛ وبالتالي مدى تقطع سطح الحوض بالمجاري المائية. ولا يُمكن مقارنة قيم تكرار المجاري بقيم كثافة التصريف لأحواض التصريف الصغيرة والكبيرة المساحة بشكل مباشر؛ لأنها تختلف عادة تبعًا لمساحة حوض التصريف، فقد يحتوي الحوض الكبير على العديد من الروافد الصغيرة أو بأطراف الأصابع لكل وحدة مساحة مثل الحوض صغير المساحة، بالإضافة إلى أنه يحتوي عادةً على عدد مجاري أكبر. قد يتم إخفاء هذا التأثير من خلال زيادة كثافة التصريف وتكرار المجاري على المنحدرات شديدة الانحدار المرتبطة عمومًا بأحواض

[15] تم حساب تكرار المجاري باستخدام المعادلة الآتية (Horton, 1945, p.285):

$$F_S = N/A$$

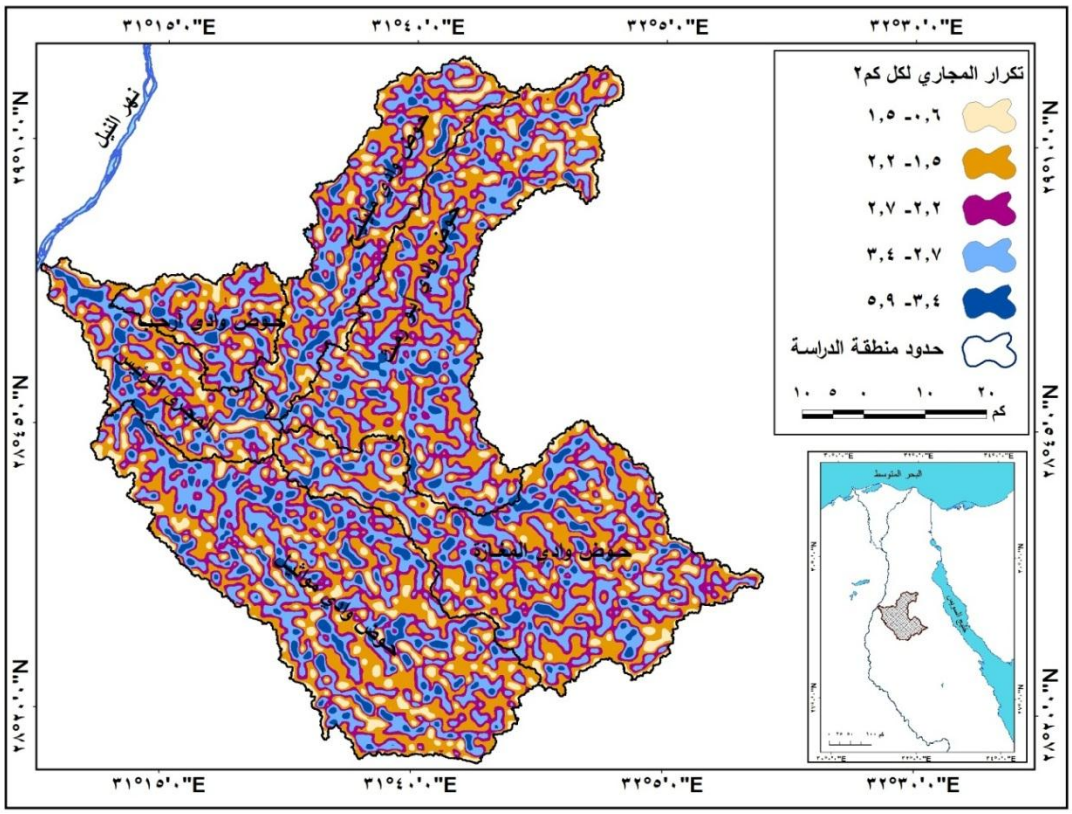
حيث أن:

F_S = تكرار المجاري، **N**= جملة أعداد المجاري بحوض التصريف، **A**= مساحة الحوض

التصـريف الأصـغر، لـذا فلـيس شـرط رئـيس زيـادة كثافـة التصـريف بزيـادة تكـرار المجاري(Horton, 1945, p.285).

ويُضاف إلى تأثير مساحة حوض التصريف التي ذكرها هورتن مسبقًا، الخصائص الجيولوجية والمناخية، وتأثير كلاهما في نشاط عملية التعرية المائية بحوض التصريف، وبالتالي زيادة أعداد المجاري بحوض التصريف، ولوقوع حوض وادي سنور في إقليم مناخي يفتقر إلى سقوط كميات كبيرة من الأمطار به؛ فاعلية في انخفاض تكرار المجاري به وبأحواضه الثانوية، إلا أن تركيبه الجيولوجي من صخور الحجر الجيري ساعده في نحت مجاريه. بلغت قيمة تكرار المجاري بحوض وادي سنور 2.61 مجرى/كم^2، واختلفت بين أحواضه الفرعية، حيث سجلت أدنى قيمة لها بحوض وادي المغازة 2.51 مجرى/كم^2، وأعلى قيمة بحوض وادي مليليح 2.72مجرى/كم^2.

وبتطبيق معادلة تكرار المجاري بالجدول الوصفي لطبقة رتب المجاري ببرنامج Arc Gis10.4، وتقسيم منطقة الدراسة إلى وحدات مساحية يبلغ مساحة كل منها كم^2 واحد، ودمجهما معًا، نحصل على نتيجة أكثر دقة لتوزيع تكرار المجاري الفعلي بحوض وادي سنور وأحواضه الثانوية كما هو موضح بشكل(13)، ويلاحظ وصول قيمة تكرار المجاري في بعض الأجزاء إلى 5.9 مجرى/كم^2، وتتوزع بمناطق متفرقة بحوض وادي سنور وأحواضه الفرعية، بينما انخفضت في أجزاء أخرى متفرقة كذلك إلى 0.6 مجرى/كم^2.



المصدر: إعداد الباحثين اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي Dem دقة 30م، بالتكامل بين برنامجي Wms10.1 و Arc Gis10.4.

شكل(13) تكرار المجاري بحوض وادي سنور

5-كثافة التصريف[16]:Drainage Density

تُعد كثافة التصريف مؤشرًا حيويًا لقياس نفاذية سطح حوض التصريف، وكلما ارتفعت قيمته دل ذلك على شدة انحدار السطح وزيادة كمية الأمطار المتساقطة، وعلى العكس من ذلك فكلما اقتربت قيمة كثافة التصريف من الصفر، دل ذلك على تسرب جزء كبير من مياه الأمطار إلى التربة؛ وبالتالي زيادة نفاذية سطح حوض التصريف وذلك وفقًا لما ورد عن هورتن (Horton, 1932, p.357).

يتميز حوض وادي سنور بكثافة تصريف متوسطة؛ ويرجع ذلك لتكوينه الصخري من صخور الحجر الجيري الإيوسيني في معظم أرجائه، حيث بلغت قيمة كثافة التصريف به 2.13 كم/كم^2، في حين تراوحت بأحواضه الثانوية بين 2.06 بحوضي واديي مليليح ومواثيل و 2.20 كم/كم2 بحوض وادي أبو رمث، حيث بلغ متوسطها العام2.12 كم/كم^2، بانحراف معياري بلغ ±0.053. ولإيضاح التوزيع الفعلي والفروق المحلية لكثافة التصريف بحوض وادي سنور وأحواضه الفرعية، قسمت الباحثين منطقة الدراسة إلى مربعات تبلغ مساحة كل منها كيلو متر مربع واحد وحساب كثافة التصريف (أطوال المجاري) لكل مربع على حده، وطبقًا للنتائج التي تم الحصول عليها من جدول (8)، وشكل(14)، تُصنف منطقة الدراسة تبعًا لكثافة التصريف كالآتي:

جدول(8) فئات كثافة التصريف بحوض وادي سنور

فئات الكثافة	المساحة (كم^2)	النسبة (%)
منخفضة جدًا	601.41	9.6
منخفضة	1416.66	22.7
متوسطة	2041.25	32.7
مرتفعة	1545.71	24.8
مرتفعة جدًا	635.75	10.2
الجملة	6240.78	100

[16] صاغ هورتن (Horton, 1932, p.357) المعادلة التالية لحساب قيمة كثافة التصريف:

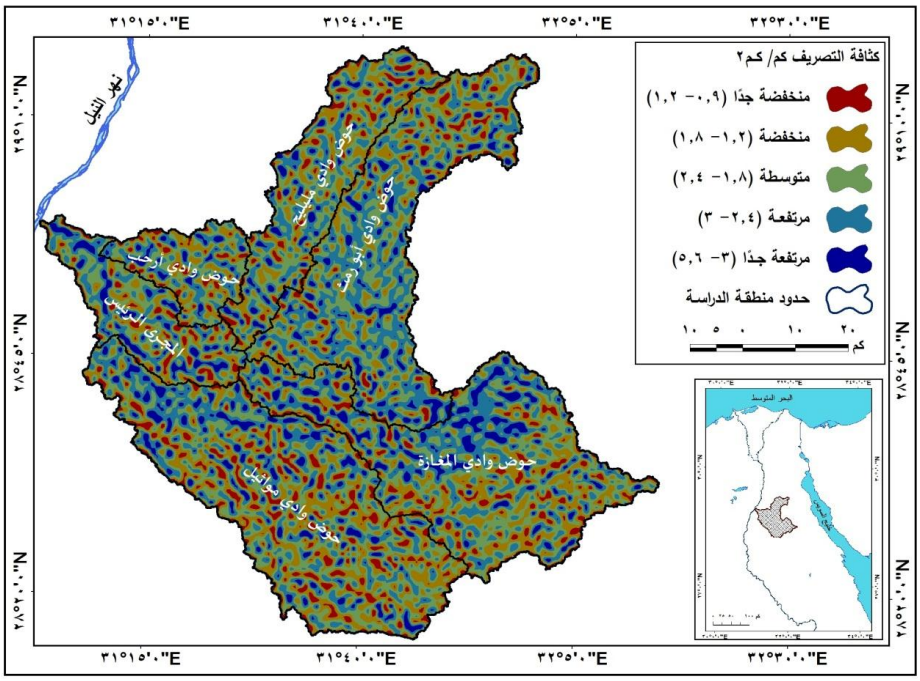
$$D_d = \sum L / A$$

حيث أن:

D_d= كثافة التصريف، $\sum L$=جملة أطوال المجاري بحوض التصريف بالكم ، **A**= مساحة الحوض بالكم^2

المصدر: إعداد الباحثين اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي Dem دقة 30م، بالتكامل بين برنامجي Wms10.1 و Arc Gis10.4.

- **مناطق ذات كثافة تصريف منخفضة جدًا:** بلغت نسبتها 9.6% من جملة مساحة حوض سنور، وتشغل أجزاء متفرقة من حوض سنور وأحواضه الثانوية، وبخاصة المناطق التي يقل بها انحدار السطح، وأراضي ما بين الأودية.



المصدر: إعداد الباحثين اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي Dem دقة 30م، بالتكامل بين برنامجي Wms10.1 و Arc Gis10.4.

شكل(14) كثافة التصريف بحوض وادي سنور

- **مناطق ذات كثافة تصريف منخفضة:** وتضم الأجزاء التي تتراوح كثافة التصريف بها بين 1.2- 1.8 كم/ كم^2، وقد بلغت نسبتها 22.7% من جملة مساحة حوض سنور، وتتوزع بأجزاء متفرقة من الحوض، بينما يلاحظ زيادتها نسبيًا بحوض وادي مواثيل.
- **مناطق ذات كثافة تصريف متوسطة:** وتُعد الأكثر انتشارًا، حيث بلغت نسبتها 32.7% من جملة مساحة حوض سنور، وتشمل الأجزاء التي تتراوح كثافة التصريف بها بين 1.8- 2.4 كم/ كم^2، وتتواجد بجميع أحواض سنور الثانوية.
- **مناطق ذات كثافة تصريف مرتفعة:** وتشغل الأجزاء التي تتراوح كثافة التصريف بها بين 2.4- 3 كم/ كم^2، وقد بلغت نسبتها 24.8% من جملة مساحة حوض سنور، لذا تأتي في المرتبة الثانية بعد الكثافة المتوسطة من حيث مساحتها، وتتركز بوسط حوض وادي أبو رمث، وشمال غرب حوض المغازة.
- **مناطق ذات كثافة تصريف مرتفعة جدًا:** وتحوي الأجزاء التي تتراوح كثافة التصريف بها بين 3- 5.6 كم/ كم^2، وقد بلغت نسبتها 10.2% من جملة مساحة حوض سنور،

وتظهر بوضوح بشمال غرب حوض المغازة، ومسار المجرى الرئيس؛ حيث تتجمع روافد الأحواض الثانوية لتصب به.

6-معدل بقاء المجرى[17]:Channel-Maintenance Ratio

يُعد معدل بقاء المجرى من أهم المعاملات المورفومترية التي تُعبر عن الحد الأدنى للمساحة اللازمة لتطوير قناة التصريف، ويُمكن اعتبارها مقياسًا يُبين نسيج الحوض مثل كثافة التصريف، بل إنها تساوي معكوسًا لكثافة التصريف، ويوضحان معًا مدى استجابة سطح حوض التصريف لعوامل التعرية والتي تؤثر في عملية النحت؛ وبالتالي تطور شبكة التصريف. ويُمثل معدل بقاء المجري مساحة الحوض إلى مجموع أطوال المجاري (Schumm, 1956, p. 607).

وتُعني زيادة قيم معدل بقاء المجرى نقص أطوال المجاري بحوض التصريف نسبة إلى مساحته، وبالتالي انخفاض كثافة التصريف به، إضافة إلى ابتعاد المجاري عن بعضها البعض، في حين تُشير القيم المنخفضة إلى زيادة أطوال المجاري المائية بالنسبة لمساحة الحوض، وبالتالي زيادة كثافته التصريفية. وقد بلغت قيمة معدل بقاء المجرى بحوض وادي سنور 0.47 كم^2/كم، وتُعد قيمة متوسطة نسبيًا؛ تؤكد كثافة التصريف المتوسطة بالحوض، وتقاربت القيم بأحواض وادي سنور الفرعية، وسجل حوضي واديي مليليح ومواثيل أعلى قيمة 0.48 كم^2/كم؛ وذلك بسبب انخفاض كثافتهم التصريفية نسبيًا، في حين سجل حوض وادي أبو رمث أقل قيمة 0.45 كم^2/كم، مما يُشير إلى زيادة أطوال مجاريه نسبة إلى مساحته وبالتالي زيادة كثافته التصريفية؛ وكان لوقوع الحوض بالقرب من أكثر أجزاء منطقة الدراسة استقبالًا للأمطار تأثير في نشاط فعل التعرية المائية، وبناءً عليه زيادة قدرته على تطوير شبكة المجاري المائية به.

---

[17] صاغ ستراهلر (Strahler, 1958, p.282) معدل بقاء المجرى في هيئة معادلة كالآتي:

$$C=1/D_d = A/\sum L$$

حيث أن:

C= معدل بقاء المجرى، D_d= كثافة التصريف، **A**= مساحة الحوض بالكم^2، $\sum L$ = مجموع أطوال المجاري بالكم.

7 –طول التدفق السطحي[18]:Length Of Overland Flow

يُستخدم مصطلح "طول التدفق السطحي" ، لوصف طول تدفق المياه على الأرض قبل أن يتركز في قنوات محددة. ويتصف بأنه أحد أهم المتغيرات المستقلة المؤثرة في التطور الطبيعي والهيدرولوجي لأحواض التصريف. إن التمييز بين التدفق السطحي وتدفق القناة ليس غامضًا كما قد يبدو للوهلة الأولى. يتم الحفاظ على التدفق السطحي بطبقة رقيقة نسبيًا من الاحتجاز السطحي للمياه. يختفي هذا بسرعة –غالبًا في بضع دقائق– من خلال امتصاصه بواسطة التربة أو التسرب بعد سقوط الأمطار، قد ينتهي الاحتجاز السطحي والجريان السطحي، قبل انتهاء سقوط الأمطار، كما هو الحال في كثير من الأحيان، في نهاية العاصفة فترة من سقوط الأمطار المتبقية ذات شدة أقل من قدرة التسرب. تخزين القنوات المتراكم: يستنزف هذا التخزين ببطء ويستمر لساعات أو حتى أيام بعد تدفق القناة من نهاية الجريان السطحي بالإضافة إلى قيمته الواضحة في المتغير (Horton, 1945, p.284).

وتقاربت قيم طول التدفق السطحي بحوض وادي سنور وأحواضه الثانوية، فقد بلغت 0.23 كم بحوض وادي سنور، وتراوحت بأحواضه الثانوية بين 0.22كم بحوض وادي أبو رمث و 0.24 كم بحوضي واديي مليليح ومواثيل. ولقياس أقصى مسار للتدفق السطحي منذ سقوط الأمطار عند المنبع وحتى وصولها إلى مصب الحوض اعتمدت الباحثين على بيانات جدول(9) المستوحاة من برنامج Wms10.1، حيث بلغ 214.13 كم بحوض وادي سنور، وتنوع بشكل كبير بين أحواضه الثانوية، حيث بلغ متوسطه العام 103.18كم ، بانحراف معياري ±33.57 كم، وسجل أصغر مسار له بحوض وادي أرحب 44.76 كم، في حين سجل حوض وادي المغازة أطول مسار للتدفق السطحي من المنبع للمصب وصل إلى 137.43 كم.

---

[18] تم استنتاج طول التدفق السطحي باستخدام المعادلة التالية (Horton, 1945, p.284):

$$L_o = 1/2D_d$$

حيث أن:

L_o= طول التدفق السطحي، D_d = كثافة التصريف، يساوي طول التدفق السطحي نصف معكوس كثافة التصريف.

جدول(9) أقصى مسار للتدفق السطحي للمياه من المنبع إلى المصب بأحواض سنور (بالكم)

الحوض الرئيس	أرحب	مليليح	أبورمث	المغازة	مواثيل	سنور
79.58	44.76	95.28	132.54	137.43	130.37	214.13

المصدر: إعداد الباحثين باستخدام برنامج Wms10.1

8- معامل الانعطاف أو التعرج: Sinuosity Factor

يُعبر معامل الانعطاف عن نسبة طول المجرى المائي إلى طول واديه، وإذا اقتربت قيمة الانعطاف من الواحد الصحيح دل ذلك على استقامة المجرى، وكلما زادت قيمته عن الواحد الصحيح زاد تعرج وانعطاف المجرى (Schumm, 1963, p.1090)، وللتعبير بدقة عن هذا المعامل استخدمت الباحثين نسبة أقصى مسار للتدفق السطحي للمياه إلى أقصى طول للحوض(الذي يُعبر عن طول الخط المستقيم والمثالي للوادي من المنبع للمصب)؛ نظرًا لصغر مسافة المجرى الرئيس بحوض وادي سنور وبعض أحواضه الثانوية.

وتأتي أهمية هذا المعامل في تحديد قصر أو طول المسافة التي تقطعها المياه للوصول إلى مصب الوادي، فكلما زاد تعرج المجرى زادت طول تلك المسافة؛ وبالتالي زادت كمية الفقد من المياه بفعل التبخر أو التسرب والعكس. وقد بلغ معامل انعطاف المجرى بحوض وادي سنور 1.67، في حين تنوعت قيم انعطاف مجارى أحواضه الفرعية، وتراوحت بين 1.41 بحوض وادي مليليح، و1.68 لحوض وادي المغازة، والذي يُعد بذلك أكثر أحواض سنور الثانوية تعرجًا. وتبعًا لتصنيف (Schumm, 1963, p.1091) للتعرج في مستوياته الخمسة من المستقيم إلى المتعرج، تنتمي مجاري حوض وادي سنور ومجاري أحواضه الثانوية إلى المجاري منتظمة التعرج.

ثالثًا- تصنيف شدة الجريان السيلي تبعًا للخصائص المورفومترية لأحواض وادي سنور الثانوية وشبكات المجاري المائية بهم:

تم انتقاء أحد عشر معاملاً مورفومتريًا لتصنيف شدة الجريان السيلي بأحواض وادي سنور الثانوية وفقًا للخصائص المورفومترية جدول(10)، وذلك مع ثبات المتغيرات الأخرى مثل كمية التساقط أو التركيب الجيولوجي وكثافة الصدوع وغيره، وتُعد تلك المعاملات أكثر المعاملات المورفومترية تأثيرًا في الجريان السيلي، وكمية ما يُمكن أن يتلقاه الحوض أو

يفقده من مياه الأمطار منذ سقوطها عند منابعها حتى وصولها للمصب، وتم إعطاء وزن نسبي لكل حوض من (1-6)، وفقًا لدلالة كل معامل مورفومتري، وتُعني زيادة الوزن النسبي بالدراسة الحالية زيادة قدرة الحوض على تلقي أكبر قدر ممكن من مياه الأمطار، والحفاظ عليها دون فقد كميات كبيرة منها حتى تصل إلى مصباتها؛ وبالتالي يُمكن استغلالها بشكل أوسع في حصاد مياه الأمطار، والاستفادة بها بدلًا من إهدارها هباءً.

جدول(10) الأوزان النسبية لبعض المعاملات المورفومترية الأكثر ارتباطًا بالجريان السيلي.

الخصائص المورفومترية	أحواض وادي سنور الثانوية					
	المجـــــــرى	أرحب	مليليح	أبورمث	المغازة	مواثيل
الخصائص المورفومترية لأحواض التصريف						
المساحة	2	1	3	4	5	6
عرض الحوض	1	3	2	4	5	6
معدل الاستطالة	2	6	1	4	3	5
معامل الانبعاج	2	6	1	4	3	5
نسبة التضرس	1	4	3	4	5	2
التكامل الهبسومتري	5	6	3	1	2	4
نسبة النسيج الطبوغرافي	3	6	2	1	4	5
الخصائص المورفومترية لشبكة المجاري المائية						
نسبة التشعب	1	6	2	4	5	3
كثافة التصريف	3	2	1	4	3	1
معامل الانعطاف	3	5	6	2	1	4
جملة الوزن النسبي	23	45	24	32	36	41

المصدر: إعداد الباحثين اعتمادًا على بيانات بعض المعاملات المورفومترية المذكورة بذات الدراسة.

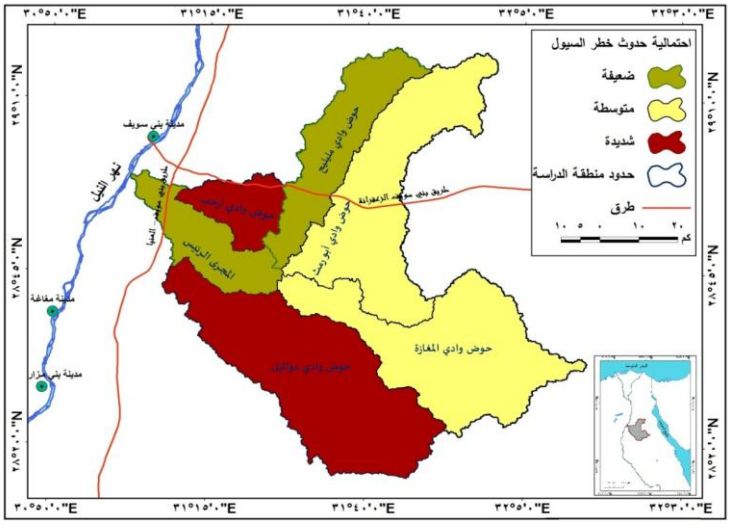
وتُشير القيم المرتفعة لكل من المساحة وعرض الحوض ومعدل الاستطالة ونسبة التضرس والتكامل الهبسومتري ونسبة النسيج الطبوغرافي وكثافة التصريف على زيادة خطورة الجريان السيلي لذا رتبت الأوزان النسبية بالجدول تبعًا لذلك تصاعديًا حيث اتخذت أقل القيم لهم أقل وزن وهكذا، في حين تدل القيم المنخفضة لكل من معامل الانبعاج ونسبة التشعب ومعامل الانعطاف على زيادة التصريف المائي وقلة الفقد من كمية المياه المستقبلة بالتبخر أو التسرب، لذا تم ترتيبها ترتيبًا تنازليًا، حيث أُعطيت القيم المرتفعة لهم

وزن نسبي أقل. ومن خلال دراسة شكل(15) يتضح تصنيف شدة احتمالية حدوث خطر السيول بحوض وادي سنور وفقًا لخصائصه المورفومترية إلى الفئات الآتية:

-**فئة ضعيفة الخطورة:** وتتمثل في الأحواض التي بلغ وزنها النسبي أقل من 30، وتضم منطقة المجرى الرئيس وحوض وادي مليليح، والتي تُعيق خصائصهما المورفومترية استقبال كميات كبيرة من مياه الأمطار والحفاظ عليها من الفقد، وتتصف بأنها أقل أحواض وادي سنور خطورة في احتمالية حدوث السيول بها. مع الأخذ في الاعتبار اختلاف منطقة المجرى الرئيس عن حوض وادي مليليح بأنها مُلتقى أحواض سنور الثانوية، أو بمفهوم أدق تُمثل منطقة مصب الخمسة أحواض.

- **فئة متوسطة الخطورة:** وتشمل حوضي واديي أبو رمث والمغازة، وتتميزان باحتمالية متوسطة لحدوث خطر الجريان السيلي اعتمادًا على بيانات خصائصهما المورفومترية؛ والسبب الرئيس في ذلك يرجع إلى ضيق امتدادهما من جانب، وزيادة تعرج مجاريهما من جانب آخر، مما يساعد على قلة ما يُمكن أن يتم تلاقيه من أمطار، وزيادة فقد المياه نسبيًا بالتبخر أو التسرب.

- **فئة شديدة الخطورة:** وتتميز بزيادة قابليتها لحدوث خطر الجريان السيلي، وتتمثل في حوضي واديي أرحب ومواثيل، ولشكل حوض وادي أرحب ووقوعه في مرحلة الشباب وقلة تعرج مجاريه دور كبير في زيادة التصريف المائي به. وظهرت فاعلية الخصائص المساحية في حوض وادي مواثيل، الذي ساعدته كبر مساحته واتساع عرضه على زيادة قدرته في تجميع أكبر قدر ممكن من مياه الأمطار المتساقطة.



المصدر :إعداد الباحثين بالاعتماد على البيانات الواردة بجدول(10).

شكل (15) فئات احتمالية حدوث خطر السيول تبعًا للخصائص المورفومترية لحوض وادي سنور وشبكاته

النتائج:

يتضح من دراسة الخصائص المورفومترية لحوض وادي سنور وشبكاته ما يأتي:

-اختلفت الخصائص المساحية لأحواض وادي سنور الثانوية، حيث يُعتبر حوض وادي مواثيل أكبرهم مساحة وعرض، في حين زاد محيط حوض وادي أبو رمث عن باقي الأحواض، وسجل حوض وادي المغازة المرتبة الأولى في الطول، ويتميز حوض وادي أرحب بأنه أقل الأحواض الثانوية من حيث الخصائص المساحية عدا عرض الحوض.

-تنوعت الخصائص الشكلية لحوض وادي سنور، وبصفة عامة يبتعد حوض وادي سنور وأحواضه الثانوية عن الشكل المتناسق، ويتصف حوض وادي أرحب بأنه أكثرهم تناسقًا وأبعدهم عن الشكل المستطيل، وأكثرهم انبعاجًا؛ مما يُساعد على زيادة التصريف المائي به، بينما يميل حوض وادي مليليح إلى الاستطالة، وقلة الانبعاج، مما ينعكس على حجم التصريف المائي به.

-تباينت الخصائص التضاريسية بكافة أرجاء حوض وادي سنور، وتميز حوض وادي المغازة بأنه أكثر الأحواض تضرسًا، حيث زادت قيمة نسبة تضرسه وقيمة وعورته بشكل ملحوظ؛ ويرجع ذلك إلى احتوائه على أعلى المناسيب بمنطقة الدراسة وزيادة تضاريسه الحوضية نسبة إلى مساحته. ويتسم حوض وادي سنور وأحواضه الثانوية باستثناء حوض وادي أرحب بنسيج حوضي خشن، وموقعهم بالدورة التحاتية في مرحلة النضج، بينما ما زال حوض وادي أرحب بمرحلة الشباب، ويتميز بنسيج طبوغرافي متوسط.

-بلغ عدد الرتب بحوض وادي سنور ثماني رتب، وتراوحت بين 5 إلى 7 رتب بأحواضه الثانوية، واختلفت أعداد المجاري وأطوالها بهم، وكان لمساحة حوض التصريف دور في ذلك، حيث يضم حوض وادي مواثيل (أكبرهم مساحة) أكثر عدد من المجاري، وأكثرها طولًا، في حين يُمثل حوض وادي أرحب(أصغرهم مساحة) أقل أحواض الدراسة من حيث أعداد المجاري وأطولها. ارتفعت نسبة التشعب بكل من منطقة المجرى الرئيس وحوض وادي مليليح، وانخفضت بحوض وادي أرحب؛ مما يزيد من خطورة الجريان السيلي به.

-استحوذ حوض وادي أبو رمث على أكبر قيمة لكثافة التصريف 2.20 كم/كم^2، وتميزت مجاري حوض وادي سنور وأحواضه الثانوية بانتظام تعرجها، وتُعد مجاري حوض وادي المغازة أكثرهم تعرجًا.

-بتحديد أكثر الأحوض خطورة في الجريان السيلي تبعًا لخصائصهم المورفومترية، اتضح أن حوضي وادي أرحب ومواثيل أكثرهم احتمالية لحدوث السيول، في حين يُعد حوض وادي مليليح أقلها.

المصادر والمراجع

أولًا- المصادر:

-**خرائط طبوغرافية**، بمقياس رسم 1 : 50000، لوحات (NH 36 B4c- NH 36 A6b- NH 36 A6c– NH 36 A6d - 36 B4a)، إنتاج الهيئة المصرية العامة للمساحة، طبعة 1996.

-**نماذج الارتفاع الرقمي (DEM)**، دقة 30x30 SRTM (Srtm1 Arc – Second Global)، إنتاج هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS)، بتاريخ 2014/9/23م.

ثانيًا المراجع:

1- المراجع باللغة العربية:

-**إبراهيم، جنان رحمان (2020)**: التحليل الهبسومتري والتكامل الهبسومتري لأعلى حوض نهر الزاب الكبير، مجلة الجامعة العراقية، العدد 47 (ج3).

-**أبو العنين، حسن سيد أحمد(1995)**: أصول الجيومورفولوجيا- دراسة الأشكال التضاريسية لسطح الأرض، الطبعة الحادية عشر، مؤسسة الثقافة الجامعية، الاسكندرية.

-**أبو راضي، فتحي عبد العزيز؛ وعجوة، وليد محمد (2019)**:التحليل المكاني لأخطار السيول وتأثيرها على التنمية المتواصلة بمنطقة رأس غارب على الساحل الغربى لخليج السويس، المجلة الجغرافية العربية، العدد 74.

-**أبو رية، أحمد محمد (2018)** : تحليل الخصائص الجيومورفولوجية للمنحدرات الشرقية لهضبة الجلالة البحرية وأثر الأنشطة البشرية عليها، مجلة المجمع العلمى المصرى، المجلد الثالث والتسعون.

-**أبو رية، أحمد محمد (2019)**: التقدير الكمي لتعرية التربة بحوض وادي سنور، دراسة تطبيقية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، مجلة كلية الآداب، جامعة الفيوم، العدد 20.

-**جودة، حسنين جودة؛ و عاشور، محمود محمد؛ و دسوقي، صابر أمين، وتراب، محمد مجدي؛ و مرغني، على مصطفى؛ ومصطفى، محمد رمضان(1991)**: وسائل التحليل الجيومورفولوجي، الطبعة الأولى، الإسكندرية.

-سلوم، غزوان محمد أمين (2004): جيومورفولوجية أحواض التصريف المائي شرق وادي النيل بين حوض وادي سنور شمالًا وجبل كرارة جنوبًا، رسالة دكتوراة غير منشورة، كلية الآداب، جامعة أسيوط.

-سلوم، غزوان محمد أمين(2012): حوض وادي هريرة، دراسة جيومورفولوجية، مجلة جامعة دمشق،المجلد 28، العدد3+4.

-الصبابحة، نوح محمد على (2018): تحليل المعامل الهبسومترى للأحواض المائية في الأردن باستخدام تقنيتي نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، مجلة كلية الآداب، جامعة القاهرة، مجلد 78 ، العدد5.

-عبد الوهاب، رغدة أحمد (2016): الأخطار الطبيعية على طريق المعادي– العين السخنة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الآداب، جامعة بنها.

2- المراجع باللغة الإنجليزية References:

- **Chorley, R.J., Malm, D.E.G., and Pogorzelski, H.A., (1957):** A new standard for estimating drainage basin shape. American Journal of Scince, Vol.255, pp. 138–141

- **Horton, R.E., (1932):** Drainage basin characteristics, Transactions, American Geophysical Union, pp. 350-361.

- **Horton, R.E. (1945):** Erosional development of streams and their drainage basin, hydrophysical Approach to quantitative morphology, Bulletin of The Geological Society of America, Vol.56. PP. 275-370

- **Melton, M.A., (1957):** An Analysis of the Relations Among Elements of Climate, Surface Properties and Geomorphology. Department of Geology, Columbia University, Technical Report.11, Project 389-042, New York.

- **Miller, V.C. (1953):** A Quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Characteristics in the Clinch Mountain Area, Department of Geology Columbia University, Technical Report.3, Project 389-042 , New York.

- **Schumm, S.A. (1956):** Evolution of Drainage Systems and Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey, Bulletin of The Geological Society of America, Vol.67. PP. 697-646

- **Schumm, S.A. (1963):** Sinuosity of Alluvial Rivers on the Great Plains, Bulletin of The Geological Society of America, Vol. 74, pp.1089-1100

- **Smith, K., (1950)**: Standards for Grading Textures of Erosional Topography. American Journal of Science, Vol. 248, pp. 655-668.

- **strahler, A.N., (1952)**: Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography, Bulletin of The Geological Society of America, Vol.63, pp.1117-1141

Strahler, A.N., (1957): Quantitative Analysis of watershed Geomorphology, - Transactions, American Geophysical Union, Vol. 38, No.6. pp.913- 920

Strahler, A.N. (1958): Dimensional Analysis Applied To Fluvially eroded - Landforms. . Bulletin of The Geological Society of America, Vol. 69. PP. 279-300