تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية GIS في بناء قاعدة البيانات لدراسة التحليل المورفومتري لوادي جارف

د . حافظ عيسى خيرالله*

المقدمة:

تكتسب الدراسات الهيدرولوجية للأودية أهميةً خاصةً وذلك لارتباطها بمجالات تنمية المصادرالمائية ومشروعات التنمية الزراعية والرعوية خاصةً في المناطق الجافة وشبة الجافة ذات الموارد المائية المحدودة، وقد زاد الاهتمام بالدراسات المورفومترية لشبكات الأنهار بعد الدراسة الرائدة لهورتون في النصف الأول من القرن الماضي (*Horton,1945*)، وحديثاً بدأ دخول نظم المعلومات الجغرافية في الدراسات الجيومورفولوجية والمورفومترية مثل الغامدي 2004 و 2006 وغيرها من الدراسات.

والواقع أن وسائل التحليل المورفومتري قد بدأت تأخذ مكاناً هاماً في الدراسات والبحوث الجيومورفولوجية المختلفة وتحل بشكل سريع محل وسائل وأساليب الوصف التقليدية وخاصةً فيما يختص بتحليل شبكات التصريف النهرية والسفوح والأحواض والأنهار وأشكال الإرساب الرملي والأشكال الساحلية والعمليات المؤثرة فيها (علاجي، 2010 : ص2).

ويعد حوض التصريف السطحي الوحدة الأساسية لإجراء البحوث الكمية ، لكونه يمثل وحدة جيومورفولوجية متكاملة تتحدد بموجبها خصائص يمكن قياسها، متمثلة في الخصائص الحوضية والشكلية والهندسية (الداغستاني والبناء، 2006 : 38)، ويعتمد التحليل المورفومتري الكمي على مدى دقة رسم شبكات أحواض التصريف السطحية، إذ يتم تحديد هذه الشبكات بالاعتماد على الخرائط الطوبوغرافية ذات المقياس المناسب، فقد كان المنهج السائد إلى وقت قريب في استخراج القياسات المورفومترية يتم عن طريق القياس من الخرائط الطبوغرافية (الكنتورية)، وحديثاً تم الاعتماد على تفسير الصور الجوية والمرئيات الفضائية، لغرض فهم واستيعاب طبيعة الخصائص الجيومورفولوجية للمناطق المدروسة؛ لذا سوف يتم دراسة الخصائص المورفومترية لحوض وادي جارف باستخدام وظائف برمجية (*Arc Hydro*) الذي يعد أحد البرامج المتكاملة مع برامج نظم المعلومات الجغرافية وتدعم التطبيقات الهيدرولوجية خاصةً في مجال المياه السطحية (*Surface Water*).

* محاضر بكلية الآداب والعلوم الكفرة جامعة بنغازي - للمراسلة hafidissa@yahoo.com

ومع تطور واستخدام نموذج الارتفاعات الرقمية *DEM* (*Digital Elevation Model*) توفرت وسيلة أخرى لاستخلاص وتحليل شبكات التصريف، وتُعرف نماذج الارتفاعات الرقمية أنها نمذجة عددية لتضاريس منطقة ما من خلال مجموعة من النقاط تم تعيين مواقعها المستوية X,Y,Z وتكون كل نقطة معرفة في الفراغ الفضائي بقيم، وهذه القيم تمثل تضاريس الأرض على نحو مستمر (المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني، 2006 : 111)، وتستخدم هذه البيانات الرقمية في تحليل التضاريس من حيث الارتفاع وفي تحديد درجات الانحدارات ومعرفة اتجاهاتها، كما يمكن عن طريقها تحديد أحواض التصريف واستخلاص الشبكات المائية وتقديم تحليلات جيومورفولوجية متكاملة لأحواض التصريف (الحربي، 1428هـ : 20)، غير أن مشكلة نماذج *DEM* غير متوفرة بقدرة التمييز المرغوبة لجهات كثيرة من العالم خاصةً في منطقتنا العربية، ومما يدعم أيضاً نجاح كثير من تطبيقات نماذج الارتفاعات الرقمية هو استخدام وظائف نظم المعلومات الجغرافية *GIS* (*Geographic Information Systems*) في تحليل هذه النماذج أو إعادة تمثيلها واستخلاص البيانات منها أو دمجها مع بيانات أخرى كاستعمالات الأرض وغطاءات الأرض والمرئيات الفضائية وغير ذلك من البيانات، وقد أثبت هذا الأسلوب فاعليته ودقته وتوفيره للجهد والوقت والتكاليف وبخاصةٍ فيما يتصل بالتطبيقات الهيدرولوجية والجيومورفولوجية (الغامدي، 2006 : 4). ونتيجةً لهذا الانتشار والتنوع في نماذج الارتفاعات الرقمية وتوافقها مع الحاسوب فقد استخدمت بيانات الارتفاعات الأرضية الرقمية بكثرة في السنوات الأخيرة في تطبيقات تتعلق بخصائص الظاهرات الجيومورفولوجية وتحليل خصائص التضاريس.

وقد اعتمد في هذه الدراسة على بيانات الرادار *SRTM* وهو أحد أهم مسوحات الفضاء للأرض التي قامت بها كل من وكالة *NASA* (*National Aeronautics and Space Administration*) ووكالة *NGIA* (*National Geospatial Intelligence Agency*) ووكالة *ISA* (*Italian Space Agency*) لإنتاج البيانات الرادارية (الجاف، 2008 : 127)، والبيانات الناتجة من هذا الرادار هي من نوع بيانات نماذج الارتفاعات الرقمية *DEM* والتي تكون بدقة 90 متراً، وبالتالي أصبحت نماذج الارتفاعات الرقمية *DEM* بديلاً ناجحاً للخرائط الكنتورية ذات المقياس 1:50000 ، وإحدى المكونات الأساسية لأنظمة المعلومات الجغرافية والقاعدة التي يعتمد عليها لاستنتاج الخواص المتعلقة بطبوغرافية الوديان واستقراء المعلومات عن تضاريسها وعملية المحاكاة الهيدرولوجية لجريان مياه الأمطار (العزاوي، ب ت : 2).

ويستعمل تعبير التحليل المورفومتري للدلالة على القياسات والخواص الهندسية لسطح الأرض التي تلعب عليه الأنهار ونظمها المختلفة دورها في تشكيله، ويعرف المورفومتري *Morphometry* في هذا الإطار بأنه علم قياس الخصائص الهندسية لسطح الأرض الناتجة عن التعرية النهرية (الغامدي، 2006 : 3)، أما التحليل المورفومتري *Morphometric analysis* فيقصد به ذلك التحليل الجيومورفولوجي لسطح الأرض الذي يعتمد على الأرقام والبيانات المأخوذة من الخريطة الكنتورية والصور الجوية والفضائية بجانب ما يستمد من الدراسات والقياسات الحقلية للأشكال المراد تحليلها ودراستها مثل حوض التصريف النهري أو مجموعة من الكثبان الرملية وغير ذلك من أشكال أرضية متنوعة.

أهمية موضوع الدراسة :

يتناول موضوع هذه الدراسة المدلول الهيدرولوجي للخصائص المورفومترية لحوض وادي جارف، حيث تتصف الدراسات الجيومورفولوجية في ليبيا عموماً بافتقارها لمنهج التقنيات الحديثة في دراسة أحواض التصريف التي تتصف بالدقة وقلة الوقت والجهد، ومن هنا فإن هذه الدراسة سوف تقدم نموذجاً تطبيقياً لنظم المعلومات الجغرافية في بناء قاعدة بيانات لأحواض التصريف، مما يجعل هذه الدراسة تسهم مع بقية الدراسات السابقة في هذا المجال إسهاماً علمياً يوضح جدوى وأهمية استخدام التقنيات الحديثة في الدراسات المائية المرتبطة بأحواض التصريف في ليبيا.

ويمكن تلخيص أهمية البحث في اعتماده على توفير أساليب دقيقة في تحليل البيانات المكانية وربطها بالبيانات الوصفية، الأمر الذي ساعد في دراسة الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لشبكة التصريف المائية لأحواض التصريف في منطقة الدراسة بطرق آلية متطورة وبناء قاعدة بيانات جغرافية ذات متغيرات مورفومترية معتمدة على مصادر بيانات متقدمة وإجراء التحليلات المكانية المتقدمة وصولاً إلى نتائج سريعة ودقيقة ومتنوعة مقارنة مع الطرق التقليدية ؛ بغية إبراز دور التقنيات الحديثة في توضيح الخصائص الجيومورفولوجية لأحواض التصريف والوصول إلى نمذجة آلية لجميع مخرجات الدراسة.

مشكلة الدراسة:

تعتمد أسس التحليل الموفومتري لشبكة التصريف المائي للأحواض على الطرق الكمية القائمة على إجراء العديد من القياسات والخواص الهندسية، ونظراً لدقة القياسات المورفومترية والتي تتطلب جهدًا كبيراً ووقتاً طويلاً وذلك عندما يتم إجرائها بالطرق التقليدية التي تعتمد على الأجهزة البسيطة

المتمثلة في (الآلة الحاسبة ، وجهاز عجلة القياس لقياس المسافات، وجهاز البلانوميتر لقياس المساحات) إضافةً إلى التكلفة المادية لتلك الطرق، ورغم الجهود المضنية والشاقة المتمثلة في تلك الطرق فقد لا تأتي القياسات بالدقة المتناهية والمرجوة خاصةً بعد زيادة الكم الهائل من البيانات والمعلومات وتعدد مصادرها التي تتطلب سرعة في التصنيف والمعالجة والتحليل مما يؤثر بدوره على النتائج المعتمدة على تلك القياسات؛ لذلك كان لا بد من تلافي تلك الإشكالية باللجوء إلى وسائل تقنية آلية لها مميزات متقدمة عن الطرق التقليدية والمتمثلة في نظم المعلومات الجغرافية ومصادر بياناتها الرقمية المتقدمة والتي من شأنها أن تحقق الدقة في القياس والسرعة في التصنيف والتنوع في المعالجة والتحليل إضافةً إلى تنوع تلك المصادر التي تعتمد عليها نظم المعلومات الجغرافية في إنشاء قواعد بياناتها والتي تعد المرئيات الفضائية (*Satellite Images*) ونموذج الارتفاعات الرقمية من أهمها.

لذلك تسعى هذه الدراسة إلى الاستفادة من التقنيات الحديثة لسد الفجوة التطبيقية والرقي بمستوى الدراسات الجغرافية في مجال الجيومورفولوجيا التطبيقية التقنية على بيانات الارتفاعات الرقمية لدراسة الأحواض المائية في ليبيا، **وتتلخص مشكلة الدراسة في المحاولة على الإجابة على التساؤلات التالية:**

1- ما مدى إمكانية استخدام المرئيات الفضائية *SRTM* وبيانات نموذج الارتفاعات الرقمية بوصفه مصدراً لبيانات الدراسة لأي حوض ؛ لما توفره من دقة تتناسب مع تفاصيل منطقة الدراسة التي توفرها الخرائط بمقياس (1:50000 فأكبر).
2- هل يمكن بناء قاعدة بيانات جغرافية تحتوي على متغيرات مورفومترية؟ واستخلاص شبكات التصريف المائي السطحية آلياً بدرجة من الصحة أفضل من تلك المستخلصة من الخرائط الكنتورية ذات مقياس رسم 1:50000 لحوض وادي جارف؟

أهداف الدراسة:

تعددت الدراسات التي تعرضت لدراسة الخصائص المورفومترية للأحواض النهرية مختلفة المساحة، خاصةً تلك الدراسات التي تدرس الحوض النهري باعتباره وحدةً جيومورفولوجية، ويلاحظ أن كل هذه الدراسات تعرضت لدراسة حوض نهري واحد أو مجموعة أحواض نهرية في بيئة جغرافية واحدة، وتعددت طرق ووسائل جمع المعلومات، إلي أن ظهرت برمجيات نظم المعلومات الجغرافية ودورها في استخراج بعض الخصائص المورفومترية، عن طريق معالجة نماذج الارتفاعات الرقمية بوصفها نموذجاً بديلاً صالحاً للأسلوب التقليدي المعتمد على الخرائط

الكنتورية الورقية؛ وللوصول إلى الهدف الرئيس فهناك مجموعة من الأهداف الأخرى سعى الباحث لتحقيقها:

1- توظيف نظم المعلومات الجغرافية لاشتقاق وبناء قاعدة بيانات جغرافية تحتوي على متغيرات مورفومترية لحوض وادي جارف، وإنشاء وتصميم خرائط رقمية مورفومترية دقيقة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية بالاعتماد على الامتداد *Arc Hydro* و برنامج *Global Mapper*.
2- دراسة الخواص المورفومترية لحوض وادي جارف وإنتاج نموذج ارتفاع رقمي لمنطقة الدراسة باستخدام المرئية الفضائية من نوع *STRM* وبقدرة تمييز (90*90 متراً) والاستفادة منها في استخلاص المعالم الهيدرولوجية.
3- دراسة الخواص الشكلية للحوض من مساحة ومحيط وأبعاد حوضية والخصائص التضاريسية والخصائص المورفولوجية للشبكة المائية والمتضمنة أعداد ورتب المجاري النهرية ونسب تشعبها إضافةً إلى دراسة المعامل الهبسومتري والذي يوضح الطور الذي وصل إليه الحوض من حيث مرحلة النضوج وذلك باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية.

منهج الدراسة:

منذ بداية الدراسات المورفومترية لشبكات التصريف النهري، تعددت طرق ووسائل البحث فيها لمواكبة الوسائل العلمية المتاحة، فاستخدمت الخرائط الكنتورية بمقاييس رسم مختلفة ، إذ تنحصر في مقاييس الخرائط الطبوغرافية المتوفرة في كل بلد، والصور الجوية المقياس الكبيرة ذاتها (المتوفرة لكل حالة). وفي هذه الدراسة تم الاعتماد على أكثر من منهج وأسلوب ؛ وذلك بما يتلاءم مع طبيعة الدراسة ؛ لاستخراج القياسات والمؤشرات المتعلقة بشكل حوض وادي جارف وأبعاده وتضاريسه وشبكة تصريفه، ولتحقيق ذلك فسيتم سيتم الاعتماد في هذا البحث على منهجين هما:

أولا المنهج التحليلي : ومن خلال هذا المنهج يمكن تحليل البيانات التي تشمل نموذج الارتفاعات الرقمية وإجراء القياسات وتطبيق المعادلات للمتغيرات المورفومترية ضمن التحليلات التالية:

1- تحليل المرئية الفضائية الخاصة بمنطقة الدراسة من أجل رفع حوض وادي جارف ورسم مجراه الرئيسي ورسم شبكة التصريف وقياس المساحات والمسافات من خلال برنامج *ArcGIS 9.3*.

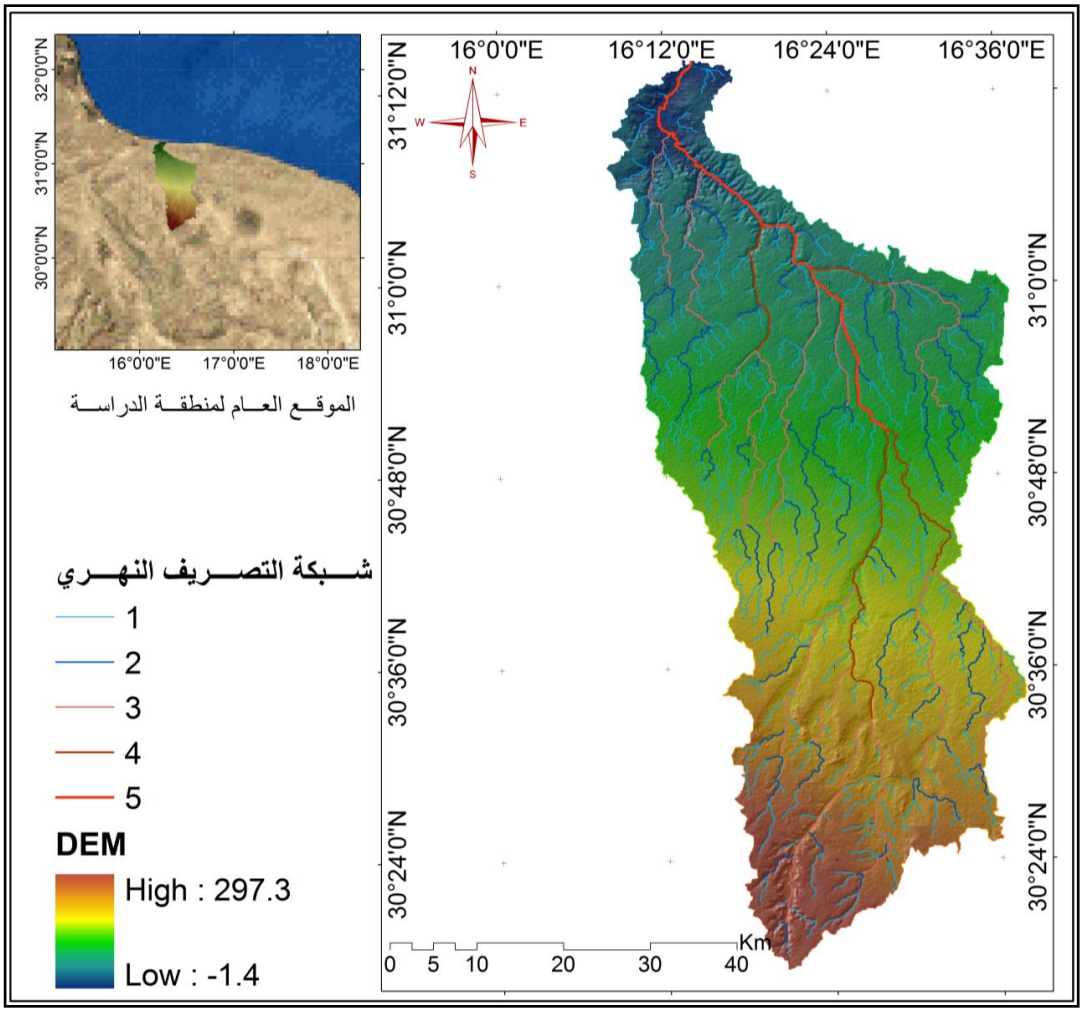
2- الاعتماد على نموذج الارتفاعات الرقمية لإجراء التحليلات المورفومترية بصورة آلية تلقائية.

ثانياً المنهج التجريبي الكمي : وهو منهج يعتمد على الطرق التجريبية الكمية في معالجة الأشكال الأرضية وذلك بوصف تلك الأشكال وصفاً كمياً من خلال إجراء القياسات الخاصة بمتغيرات الخصائص المورفومترية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، ومن ثم إنشاء قاعدة بيانات خاصة بتلك المتغيرات والقياسات المورفومترية ، ثم نمذجة وجدولة تلك القياسات التي تتضمن مسافات ومساحات ومعدلات ونسباً واتجاهات من اجل الاستعانة بها ؛ لإجراء التحليلات المورفومترية ضمن قاعدة البيانات وتشمل تلك القياسات:

1- الخصائص الشكلية للحوض المائي.
2- الخصائص المورفومترية للشبكة المائية.
3- الخصائص التضاريسية للحوض المائي.

منطقة الدراسة:

من خلال النظر إلى الأودية التي تقطع سهل سرت يلاحظ أنها أودية منحدرة من الجنوب الغربي، ومن الجهة الجنوبية الشرقية للجبل الغربي ومن المنحدرات الشمالية الشرقية للحمادة الحمراء وهي أودية طويلة ذات أعماق متباينة، فسيحة في مناطق وضيقة في أخرى وبطونها خصبة، ومن أهم تلك الأودية وادي جارف وغيرها من الجهة الغربية والوسطى ومعظمها متجهة نحو الشمال حتى يصل إلى مصبه عند منطقة الثلاثين، وفلكياً يقع حوض وادي جارف شكل (1) بين دائرتي عرض (″40 ′07 °30 و ″10 ′14 °31) شمالاً وخطي طول (″00 ′07 °16 و ″30 ′38 °16) شرقاً . وأوضح الدناصوري أن هذه الأودية ضحلة وقليلة الفيضان، وإن أكثر الأودية قد تم إنشاء سدود عليها بأماكن مختلفة داخل سرت، ولكن للأسف تلك الكمية تحملها هذه الأودية المشار إليها وتفقد جزءاً كبيراً منها بسبب التسرب والجفاف والتبخر، كما تجدر الإشارة أيضاً إلى أن معدل كمية المطر بهذه المناطق تقدر بـ 135 ملم سنوياً، إضافةً إلى ما تجره من مياه الأمطار لجريان الأودية. (الفيتوري، بدون تاريخ : 102).



شكل (1) خارطة حدود منطقة الدراسة

أدوات وطرق التحليل:

اعتمدت الدراسة في تحليلها للبيانات على العديد من البرامج التي يمكن إيجازها في الآتي:

1- برنامج *Arc Map 9.3* وهو أحد برامج نظم المعلومات الجغرافية التي أنتجتها شركة ازري *ESRI* الأمريكية المتخصصة في نظم المعلومات الجغرافية. *http://www.esri.com/products/index.html*

2- برنامج *Global Mapper.v9*: من أشهر البرامج التطبيقية المتخصصة في نظم المعلومات الجغرافية في مجال بناء نماذج الارتفاعات الرقمية *DEM* وإنتاج قاعدة بيانات مكانية رقمية.

3- برنامج *Arc Hydro* من أهم ملحقات برنامج *Arc GIS* 9.3 ومن خلال هذا البرنامج يتم إجراء معظم العمليات الهيدرولوجية.

مراحل بناء قاعدة بيانات لمنطقة الدراسة بواسطة برمجيات نظم المعلومات الجغرافية:

1- جمع البيانات، يتم تحديد البيانات المطلوبة استناداً على هدف الدراسة المتمثل في دراسة الخصائص المورفومترية بطرق آلية متمثلة في برامج نظم المعلومات الجغرافية، كالمرئيات الفضائية و بيانات الارتفاعات الرقمية ليسهل إدخالها وتخزينها في قاعدة البيانات.

2- معالجة نموذج الارتفاعات الرقمية في برنامج *Global Mapper.v9* المحور الأساسي التي تدور حوله معظم الدراسات الجيومورفولوجية والهيدرولوجية.

3- إنشاء نموذج الارتفاع الرقمي والذي يعد حجر الأساس الذي يبنى عليه تحليل السطوح الطبوغرافية، وقد تم اشتقاق هذا النموذج من خلال المرئيات الفضائية *STRM* .

4- تطبيق المعادلات المورفومترية من خلال قاعدة البيانات الجغرافية التي تم بناؤها وعمل استعلام لها *Building Query* بصورة آلية من خلال خيارات (*Select by* *Select by attribute-location*) بالإضافة إلى عمل *Summarize* لبعض الحقول في قاعدة البيانات المورفومترية والهيدرولوجية.

نتائج الدراسة:

أولا الخصائص الشكلية للحوض المائي:

تعرف الخصائص الشكلية بخصائص هندسة الحوض *Basin Geometry*، والتي تشمل المسافات والمساحات المتعلقة بالحوض ومجراه وروافده، وتعد هذه القياسات متغيرات أساسية ؛ لاستخلاص المعادلات الرياضية المورفومترية الأخرى وتشمل:-

1- محيط الحوض المائي *Basin Perimeter*: ويرمز له *P* ويحسب *Km*، ويعد أول المتغيرات الأساسية المورفومترية الذي يجب تحديده ورسمه ؛ لارتباطه بالعديد من الخصائص المورفومترية الأخرى، ويتمثل محيط الحوض بخط تقسيم المياه *Water divide* الذي يشكل الحدود الخارجية للأحواض المائية ويفصلها عن بعضها البعض بالوقت ذاته، ويتأثر محيط الحوض بشكل مباشر بتطور المجاري المائية من الرتبة الأولى ونموها، وبعمليات الأسر النهري، ونشوء المجاري الموسمية عقب كل عاصفة مطيرة (سلوم، 2012 : 404)، والشكل (2) يوضح محيط حوض وادي جارف الذي تم رسمه من نموذج الارتفاعات الرقمية الذي بلغ مقداره (358.31 كم). وهذا الطول الكبير للمحيط يعكس مدى تعرج خط تقسيم المياه المحيط بالحوض بالإضافة إلى انه يعكس مساحة الحوض الكبيرة، وبتحديد محيط الحوض يتحدد شكله ومساحته.

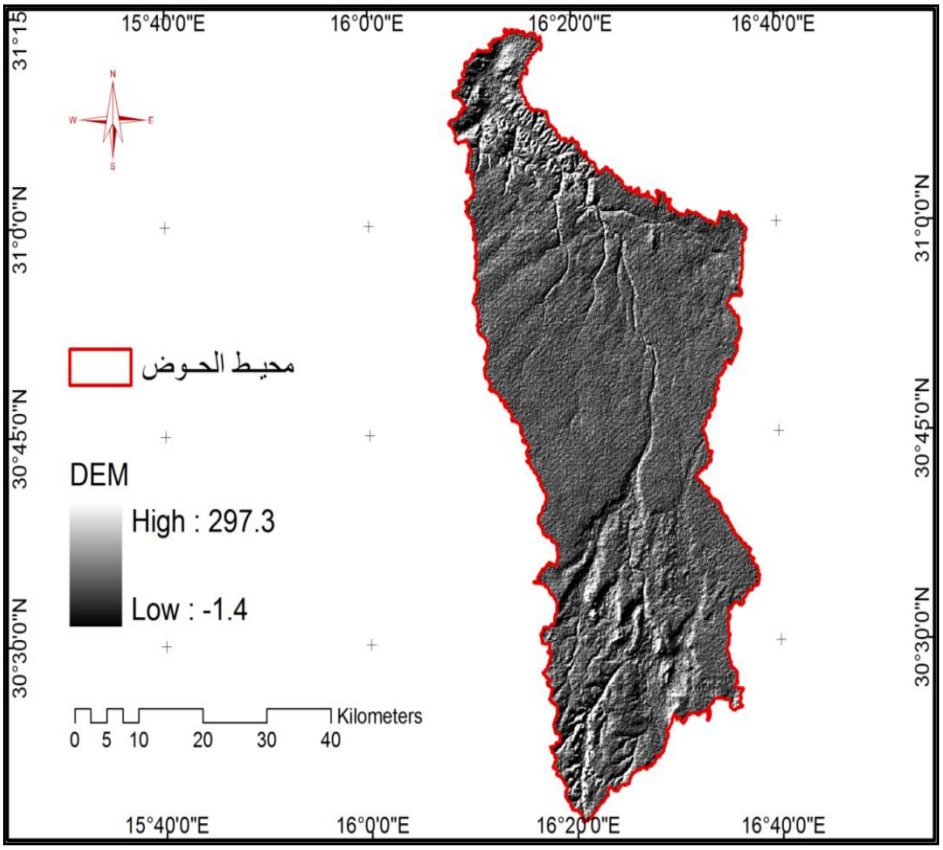
2- مساحة الحوض *Basin Area*: ويرمز لها بالرمز *A* وتحسب km^2 ، وتعد مساحة الحوض من أهم الخواص المساحية المستخدمة كثيراً في النماذج الهيدرولوجية وتستخدم في حساب الكثير من المقاييس المهمة مثل : كثافة التصريف ومنحنى التكامل الهيبسومتري للمساحة وغير ذلك (الحواس، 1428هـ : 29)، وتعرف مساحة حوض التصريف : بأنها كامل المساحة التي يحدها خط تقسيم المياه ويصرفها النهر، أو المساحة التي بها الجريان السطحي له مخرج سطحي واحد (حمدان وأبو عمرة، 2010 : 611). وتحسب مساحة الحوض بعد تعيين حدود حوض التصريف، وتقاس قيمة مساحة الحوض في قاعدة البيانات الجغرافية لحوض وادي جارف بالمتر مربع ولقد بلغت مساحة الحوض (2738.15 كم مربع).

3- طول الحوض المائي *Basin Length*: ويرمز له *L* ويحسب *Km* ، ويمثل أحد المتغيرات المورفومترية الهامة التي ترتبط بالعديد من الخصائص الأخرى الخاصة بحوض التصريف، حيث يؤدي طول الحوض دوراً مهماً في عملية الجريان السطحي، والتحكم بمدة تفريغ

الحوض لمياهه وحمولته الرسوبية، كما تتناسب معدلات التسرب والتبخر مع طول الحوض تناسباً طردياً، (سلوم، 2012 : 401)، ويعرف طول الحوض المائي بأنه الخط الذي ينصف مساحة التصريف إلى قسمين متماثلين *Potter* 1961، أما *Ongley* 1968 فيرى أن طول الحوض عبارة عن الخط الذي يمثل محور الحوض المائي ، و يتم استخراج طول الحوض من العلاقة بين المساحة وعرض الحوض ويتم اشتقاقها من المعادلة التالية (الغيلان، 2008 : 174):

$$L = \frac{A\ (km^2)}{Bw\ (km)}$$

بحيث يمثل: L أقصى طول للحوض المائي و A مساحة الحوض المائي km^2 و Bw عرض الحوض المائي km. وقد بلغ الطول الحوضي لوادي جارف 138.25 كم. وبقسمة الطول على العرض نجد أن الطول يعادل سبعة أضعاف العرض وهذا يدل على استطالة الحوض وبالتالي زيادة زمن التركيز.



شكل (2) خريطة خط تقسيم المياه لحوض وادي جارف اعتماداً على نموذج الارتفاع الرقمي DEM

4- عرض الحوض *Basin Width*: ويرمز له B_w ، ويؤدي اتساع الحوض دوراً مماثلاً لما يؤديه الطول في تحديد شكل الحوض، وزيادة طول المدة اللازمة لتصريف كامل مياهه وحمولة الحوض، فضلاً عن تحديد زمن قمة الفيضان وحدتها، فزيادة اتساع الحوض على جانبي محوره يقترب به من الشكل المستدير، وينتج عنه قمة فيضان عالية وخطيرة، أما في حال اتساع الحوض من جهة واحدة واقتراب شكله من الشكل المثلث، فإن قمة فيضانه ستكون منخفضة مقارنة بسابقه، وفي حال اتسع الحوض من جهتين متقابلتين فسيقرب شكله من الشكل الكمثري أو البيضوي، ويعطي قمة فيضان متوسطة بين الشكلين السابقين، (سلوم، 2012 : 402). ويتم اشتقاقه من المعادلة المورفومترية التالية (أبو راضي، 2006 : 123):

$$Bw = \frac{A(km^2)}{L(km)}$$

بحيث يمثل B_w عرض الحوض المائي و A مساحة الحوض المائي km^2 و L أقصى طول للحوض المائي km. وقد بلغ عرض حوض وادي جارف 19.81 كم، وبلغت نسبة الطول إلى العرض 6.98 أي سبعة أضعاف عرض الحوض وهذا يعني استطالة الحوض وبالتالي زيادة زمن التركيز *time of concentration* أي وصول المياه إلى المجرى الرئيسي في أوقات مختلفة واستمرار الجريان لفترة أطول مع انخفاض قمة الجريان.

5- معامل شكل الحوض *Form Factor*: ويرمز له F، ويصف هذا المعامل مدى انتظام عرض الحوض المائي على طول امتداده من منطقة المنابع وحتى بيئة المصب (سلامة، 1425هـ : 181)، ويلعب شكل الحوض دوراً هاماً في تحديد قمة الجريان والكثير من الخصائص الهيدرولوجية الأخرى ، وخاصةً عند مقارنته بالسمات الشكلية الأخرى كالاستدارة والاستطالة وغيرها (البارودي، 2012 : 11)، فهو يعطي فكرة عن مدى تناسق الشكل العام لأجزاء الحوض المختلفة اعتماداً على قيمته، فكلما قل معامل الشكل دل على عدم تناسقه وانتظامه والعكس صحيح (المشاط، 1995 : 246)، أما ارتفاع قيمته فتدل على الشكل الدائري للحوض الذي له الدور في سرعة تحويل مياه الأمطار إلى مياه سيول، ويمكن الحصول عليه من خلال المعادلة التالية (Abdulla, 2011 : 138 و علاجي، 2010 : 25):

$$F = \frac{A(km)^2}{L^2(km)}$$

حيث يمثل F معامل شكل الحوض و A مساحة الحوض المائي km^2 و L^2 مربع أقصى طول للحوض المائي km. ومن تحليل بيانات الجدول (1) يتضح أن معامل الشكل لحوض وادي جارف بلغ 0.14 مما يدل على انخفاض قيمته، ويتضح من خلال هذه القيمة أن حوض وادي جارف بعيد جداً عن القيمة المطلقة لعامل الشكل والبالغة (0.785) حيث تتجمع معظم روافده عند مجراه الأدنى، بينما يتسم حوضه الأعلى بالضيق بشكل واضح، وهذا يدل على عدم تناسق وانتظام الشكل العام لأجزائه وعلى استطالة الحوض.

6- نسبة الاستدارة *Circularity Ratio*: ويرمز له R_c ، وتوضح مدى اقتراب الحوض من الشكل الدائري أو ابتعاده عنه، وتكون النسبة من 0 – 1 ، وكلما اقتربت القيمة من الواحد الصحيح اقترب الحوض من الشكل الدائري والعكس صحيح،ويتم حساب معادلة معامل شكل الحوض حسب الصيغة الرياضية التالية (مصطفى، 2010 : 259):

$$R_c = \frac{4\,\pi\,A}{P^2}$$

حيث يمثل R_c معامل استدارة الحوض المائي و A مساحة الحوض المائي km^2 و P محيط الحوض المائي و π النسبة التقريبية الثابتة ط = 3.1416 ومن خلال النتيجة التي تم التوصل إليها الموضحة في جدول (1) لمعامل الاستدارة المعتمد على مساحة ومربع محيط الحوض لوادي جارف يتضح بأن المعامل بعيد عن (1) صحيح حيث بلغت 0.27، مما يدل على أن حوض وادي جارف ليس مستديراً.

7- نسبة الاستطالة *Elongation Ratio*: ويرمز له E ، ويمكن تعريف استطالة الحوض بأنها تصف مساحة الحوض مقارنةً إياها بالشكل المستطيل، ويدل على مدى التشابه بين مساحة الحوض والشكل المستطيل، ويشير المدلول الجيومورفولوجي لمعدل الاستطالة إلى تشابه شكل الحوض بالمستطيل عندما تنخفض قيمته إلى أدنى قيمة، كما يرتفع هذا المعدل ليصل إلى الواحد الصحيح عندما يتساوى قطر الدائرة المساوية لمساحة الحوض مع أقصى طول للحوض ، وبالتالي يقترب الشكل من الاستدارة الكاملة، (أبو راضي 2006 ص123)، وتكون النسبة بين 0 – 1 ، وقد وجد *Schumm*,1956 أن نسبة الاستطالة تتراوح بين (0.6 – 1.0) لأحواض التصريف التي يوجد فوق أجزائها اختلاف شاسع في المناخ وفي تركيبه الصخري (Abdulla, 2011 : 137) ويتم حساب معادلة معامل شكل الحوض حسب الصيغة الرياضية التالية (البارودي، 2012 : 12):

$$Re = \frac{Dc}{Lb}$$

حيث: Re : نسبة استطالة الحوض و Dc : طول قطر دائرة مساحتها تكافيء مساحة الحوض km^2 و Lb : أقصى طول الحوض Km. وقد أظهرت النتائج أن نسبة استطالة حوض وادي جارف عالية بلغت (0.43)، مما يدل على استطالة الحوض وهو يتوافق مع القيم المحسوبة لكل من معاملي الشكل و الاستدارة.

8- نسبة التفلطح *Lemniscate Ratio*: ويرمز لها K ، ويعد هذا المعامل الحل الأمثل لمشكلة مقارنة شكل الحوض الطبيعي بالأشكال الهندسية المجردة، بحيث يكشف عن مدى قرب شكل الحوض من الشكل الكمثري *Pear – shape* وقد وضع (*Chorly*, 1957) معادلة هذا المعامل والتي تتخذ الشكل الآتي (سلوم، 2012 : 407):

$$K = \frac{L^2}{4A}$$

حيث: K نسبة التفلطح و L أقصى طول للحوض المائي km و A مساحة الحوض المائي km^2.

ومن خلال الجدول (1) يتضح نسبة التفلطح لحوض وادي جارف مقدارها 1.75، مما يدل على أن حوض وادي جارف قريب من الاستطالة وبذلك تتوافق نسبة التفلطح مع معامل الشكل والاستدارة والاستطالة.

جدول (1) الخصائص الشكلية لحوض وادي جارف

محيط الحوض km	مساحة الحوض km^2	طول الحوض km	عرض الحوض km	معامل الشكل	الاستدارة	الاستطالة	نسبة التفلطح
358.31	2738.15	138.25	19.81	0.14	0.27	0.43	1.75

9- معامل التماسك أو الاندماج للحوض المائي *Compactness Coefficient*: ويرمز له C ، ويشير هذا المعامل إلى مدى تناسق وتجانس شكل الحوض مع مساحته الكلية، ودرجة انتظام وتعرض خطوط تقسيم المياه ومدى تباعدها عن المحور الحوضي، وتدل القيم المرتفعة في تلك الأحواض التي تتميز بمحيطها الحوضي الكبير على حساب مساحتها الحوضية، أي ترتفع نسبة تعرجات محيطها الحوضي وتقل درجة انتظام شكل الحوض، ويتشابه هذا المعامل مع استدارة شكل الحوض، ولكن يقاس الشكل هنا بدلالة المحيط الحوضي كأساس

للقياس والمقارنة بدلاً من المساحة الحوضية (أبو راضي، 2006 : 124)، ويمكننا الحصول عليه من خلال الصيغة الرياضية التالية:

$$C\frac{P}{2\sqrt{M\,\pi}}$$

حيث: C معامل التماسك للحوض المائي و P محيط الحوض المائي كم و M محيط دائرة لها نفس مساحة الحوض المائي كم و π النسبة المئوية الثابتة ط = 3.14 ومن خلال الجدول (2) فإن قيمة معامل التماسك لحوض وادي جارف بلغت 4.19 وهو معدل مرتفع يدل على كبر محيطه الحوضي ومساحته.

جدول (2) قيمة معامل التماسك لحوض وادي جارف

محيط الحوض km	مساحة الحوض km^2	نق مساحة الحوض (R) (المساحة ÷ π)	محيط الدائرة (M) (2 نق π)	قيمة معامل التماسك
358.31	2738.15	92.724	582.308	4.19

ثانيا الخصائص المورفومترية للشبكة المائية:

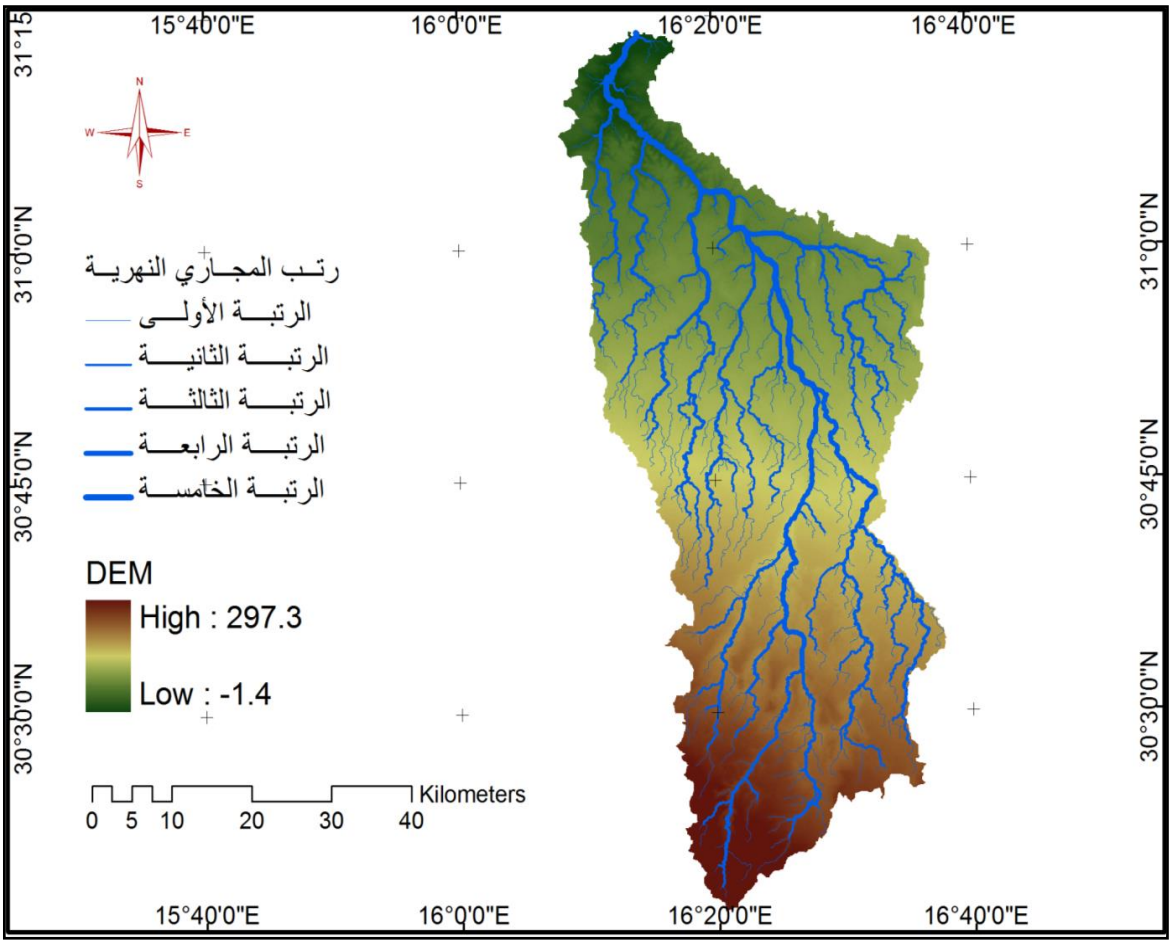
يعد هورتون *Horton* 1945 المؤسس الحقيقي للدراسات المورفومترية لأحواض التصريف النهري، وهو من أشهر الهيدرولوجيين في تلك الفترة، ولا تزال قوانينه مفيدة ومطبقة حتى الآن على الرغم من التعديلات الكثيرة والطرق الأحدث التي تناولت مثل هذا النوع من الدراسات، أمثال ستريلر *Strahler* 1953، ليوبولد *Leopold* وكيركبي *Kirkby* 1969 (مرزا و البارودي، 2005 : 62).

وقد اتبعت طريقة ستريلر *Strahler* في ترتيب المجاري النهرية حسب تدرجها الهرمي، بينما استخدمت قوانين هورتون *Horton* غالباً في عمليات التحليل المورفومتري لأودية المنطقة، وتتوزع المجاري المائية في حوض وادي جارف بشكل رتب كمثيلاتها من أحواض التصريف، حيث تبدأ بروافد صغيرة وكثيرة تمثل الرتبة الأولى والتي تلتقي مع بعضها لتكون الرتبة الثانية، وهكذا حتى نصل إلى آخر رتبة في الحوض والتي تمثل الرتبة الخامسة، وقد تم رسم شبكة التصريف بالوادي بالطرق الآلية وذلك باستخدام *Arc Hydro Tools* اعتماداً على نموذج الارتفاعات الرقمية لحوض

جارف بدقة (90*90 متراً) كبيانات مساحية محولة بهيئة *Grid*. وسيتم دراسة المتغيرات المورفومترية لخصائص الشبكة المائية في الخصائص التالية:

1- أعداد المجاري المائية ورتبها: تعد أعداد المجاري المائية - فضلاً عن أطوالها - من المؤشرات المهمة على حجم شبكة التصريف التي تتناسب كفاءتها طرداً مع أعداد مجاريها المائية ، كما تدل بشكل واضح على مرحلة التطور التي بلغها الحوض حيث يزداد عدد المجاري مع تقدم الحوض في دورته الحتية وصولاً إلى مرحلة النضج (سلوم، 2010 : 410). ويعد هورتون 1945 1932 *Horton,* أول من استخدم نظام الرتب النهرية في الدراسة الجيومورفولوجية وتبعه مجموعة من الباحثين الذين استخدموا أساليب مختلفة لتحديد الرتب النهرية، وقد أوضح ستريلر 1945 *Strahler* بأن تصنيف حوض النهر إلى مراتب مختلفة بهذا الشكل تفيد عند دراسة كمية التصريف المائي الخاصة بكل وادي نهري أو بمجموعة من الأودية النهرية ذات مرتبة معينة من حوض النهر الرئيسي (أبو العينين، 1976 : 437). وتتيح لنا نظم المعلومات الجغرافية إمكانيات كبيرة في تصنيف الرتب وترميزها مما يسهل لنا عملية حساب رتبها وحساب أعداد الروافد في كل رتبة بكل يسر وسهولة، حيث تخزن كل رتبة في قاعدة البيانات برمز تعريفي محدد، وتتعدى دقة نظم المعلومات الجغرافية في تخزين كل رافد برمز تعريفي وموقع إحداثي يمكننا من تحديد موقع كل رافد مهما بلغ طولها، كذلك تساعدنا نظم المعلومات الجغرافية في تصحيح وتعديل وتحديث بيانات تلك المجاري وإعادة ترميزها انظر الشكل (3).

ويضم حوض وادي جارف عدداً من المجاري المائية التي تترافد مكونة شبكة شجرية الشكل يحمل مجراها الرئيس الرتبة الخامسة، ويبين الجدول رقم (3) أعداد المجاري المائية حسب رتبها، وينتمي إلى الرتبة الأولى نحو (78.78%) من مجموع أعداد المجاري المائية البالغ (443) مجرى، في حين تشكل نسب المجاري المائية من الرتبة الثانية (16.93%)، بينما تشكل بقية الرتب الثالثة والرابعة والخامسة (4.19%) من المجموع الكلي على التوالي (3.16%) (0.90%) (0.23%)، بمعنى أن عدد المجاري يتناقص كما هو متوقع مع علو الرتبة ويتوافق هذا كثيراً مع قانون هورتون *Horton* للتوالي الهندسي في أعداد المجاري وفقاً للرتب (الغامدي، 2006 : 38).



شكل (3) خريطة الترتيب الهرمي لمجاري الشبكة المائية لحوض وادي جارف بطريقة استريلر اعتمادا على DEM

وبما أن نظم المعلومات الجغرافية تنظم بيانات القاعدة في جداول مفهرسة ومصنفة فيما يتعلق في الرتب وعدد المجاري وأطوالها في كل رتبة فإن ذلك يسهل عملية الاستعلام عن أعدادها وأطوالها في كل رتبة، حيث توفر عملية أوامر (*Selection*) في برنامج (*Arc Map*) سهولة الوصول لكل الروافد ومعرفة أعدادها وأطوالها بصورة سهلة ودقيقة وسريعة دون الحاجة لاستخدام الآلة الحاسبة التي تستغرق وقتاً طويلاً في حساب روافد كل رتبة خاصةً عندما تكون أعدادها كبيرةً جداً، وتتعدى مميزات برنامج نظم المعلومات الجغرافية في حساب أعداد الروافد في رتبة معينة أو مجموعها في شبكة التصريف إلى بعض القيم الإحصائية بنفس النافذة موفرة بذلك الكثير من الجهد، وتتعلق تلك القيم مثلاً (عدد الروافد في رتبة معينة، اقصر رافد في تلك الرتبة، أطول رافد في تلك الرتبة، مجموع أطوال روافد تلك الرتبة، المتوسط الحسابي لأطوال الرتبة، الانحراف المعياري لمجموع أطوال روافد الرتبة) مما يسهل عملية إجراء بقية المعادلات المورفومترية.

2- معدل طول المجاري المائية *Stream Length Ratio*: إن كانت أعداد المجاري ترتبط أساساً بعملية تشكيل المجرى بفعل الحت النهري، فإن أطوالها ترتبط بتطور هذا المجرى ونموه، بسبب نشوء الأكواع والتعرجات النهرية، وقد بلغ مجموع أطوال المجاري المائية في حوض وادي جارف نحو 1776.86 كم ، شكلت منها أطوال مجاري الرتبة الأولى ما نسبته (49.67%) والرتب الثانية والثالثة والرابعة والخامسة على التوالي (22.77%) (18.83%) (5.16%) (3.57%) كما هو موضح بالجدول (3).

ولاستخراج **متوسط الطول** لمجاري رتبة معينة يتم بقسمة مجموع أطوال المجاري الرتبة على عدد مجاري الرتبة وهكذا بقية الرتب، أما بالنسبة **للمتوسط التجميعي** فيتم عن طريق حساب متوسط الرتبة الثانية مع إضافة متوسط الرتبة الأولى، وكذلك متوسط طول مجاري الرتبة الثالثة عبارة عن حاصل جمع متوسط مجاري الرتبة الثانية التي تم الحصول عليها من الخطوة السابقة على متوسط طول مجاري الرتبة الثالثة وهكذا بالنسبة لبقية الرتب، وتسمى هذه الطريقة في حساب متوسط أطوال المجاري النهرية من الرتب المختلفة بعد الرتبة الأولى بالطريقة التجميعية *Cumulative*. (مصطفى، 2010 : 242- 250)، وعلى أساس متوسط الطول التجميعي للرتب يحسب **معدل طول المجاري المائية** الذي هو عبارة عن قسمة متوسط الطول التجميعي لرتبة ما على متوسط الطول التجميعي للرتبة الأدنى وفقاً للمعادلة التالية (أبو راضي، 2006 : 138):

معدل طول المجاري المائية = متوسط الطول التجميعي لرتبة ما ÷ متوسط الطول التجميعي للرتبة الأدنى.

جدول (3) رتب المجاري المائية لحوض وادي جارف ومتوسط طولها

الرتبة	عدد المجاري	نسبة الأعداد %	مجموع أطوال المجاري km	أطوال المجاري %	متوسط طول المجرى km	متوسط الطول التجميعي km	معدل طول المجاري المائية
1	349	78.78	882.6	49.67	2.53	2.53	0.32
2	75	16.93	404.7	22.77	5.40	7.93	0.25
3	14	3.16	334.5	18.83	23.89	31.82	0.58
4	4	0.90	91.64	5.16	22.91	54.73	0.46
5	1	0.23	63.42	3.57	63.42	118.15	
المجموع	443	100	1776.86				

3- نسبة التشعب للمجاري المائية *Bifurcation Ratio*: ويرمز لنسبة التشعب R_b ، وتعرف بأنها النسبة بين عدد المجاري التابعة لرتبة معينة وعدد المجاري التابعة لرتبة أعلى منها مباشرةً (الصالح، 1992 : 78)، ويعد معدل التشعب من المقاييس المورفومترية الهامة ؛ نظراً لأنه يعد أحد العوامل التي تتحكم في معدل التصرف *Discharge* إلى جانب أنه كلما زاد معدله (أي التشعب) زاد خطر الفيضان، ويتم حسابه من المعادلة الرياضية التالية (السلاوي، 1989 : 469).:

$$R_b = \frac{N_u}{N_u + 1}$$

حيث R_b نسبة التشعب و N_u عدد مجاري رتبة ما و $N_u + 1$ عدد مجاري الرتبة التي تليها.

وبالنظر إلى نسبة التشعب من الجدول (4) لبيانات حوض وادي جارف نجد أن نسبة التشعب بلغت بالنسبة إلى المرتبة الأولى والثانية (4.65) ومعدل التشعب للرتبة الثانية والثالثة (5.36) والرتبة الثالثة والرابعة (3.5) والرتبة الرابعة والخامسة (4) ولا توجد اختلافات كبيرة في قيم نسب التشعب في الحوض من منطقة إلى أخرى لتشابه التكوينات البنيوية لسطح الأرض، وبلغ مجموع معدل التشعب لجميع الرتب (4.4)، وهذه النسبة لحوض جارف لا تخرج عن معدل النسبة الطبيعية للأحواض التي تتراوح نسبتها بين 3 – 5 (الغامدي، 2006 : 38) وبالتالي فهي تقترب من الحد الأعلى للنسبة التي حددها استريلر

Starhler مما يدل على شدة تقطع الحوض بفعل مجاريه وتطور نظام شبكة التصريف للحوض، وبالتالي لا يوجد هناك خطر للفيضان لزيادة نسبة التشعب وكثافة التصريف، وعليه فإن مياه الأمطار الساقطة ستتجمع في مجاري كثيرة وستصل إلى مصب الحوض مشتتة وضعيفة.

4- معدل نسبة التشعب المرجحة *Weighted Bifurcation Ratio*: قد يكون في بعض نسب التشعب لكل مجموعتين متتاليتين بعض الشذوذ يؤدي إلى اختلال في المتوالية الهندسية، لذا فقد اقترح استريلر *Strahler* أسلوباً آخر لحساب نسبة التشعب على مستوى حوض التصريف أطلق عليه معدل نسبة التشعب المرجحة (*WBR*) (أبو راضي، 2006 : 131) وذلك بضرب نسبة التشعب لكل مجموعتين متتاليتين من رتب المجاري في مجموع عدد مجاري هاتين الرتبتين ثم جمع القيم الناتجة وقسمتها على إجمالي مجموع أعداد المجاري لكل رتبتين متتاليتين بالحوض، ويتضح بالنسبة لوادي جارف أن كل من نسبة التشعب ومعدلها المرجح قد ارتفعت من 4.38 إلى 4.72 وهي تتفق تماماً مع نسبة التشعب.

جدول (4) بعض الخصائص المورفومترية لحوض وادي جارف

الرتبة	عدد المجاري	نسبة التشعب	مجموع أعداد المجاري لكل رتبتين متتاليتين	نسبة التشعب المرجحة
1	349			
2	75	4.65	424	1971.6
3	14	5.36	89	477.04
4	4	3.5	18	63
5	1	4	5	20
المجموع	443	4.38	536	4.72

5- تكرارية المجاري للحوض المائي *Stream Frequency*: وهو يشير إلى مدى تكرار المجاري المائية في وحدة مساحة ثابتة وعادةً ما تكون مجرى / كم مربع، ولذلك فإن تغير مساحة الأحواض يلعب دوراً أساسياً في ارتفاع أو انخفاض معدل تكرارية المجاري المائية، وعلى الرغم من التشابه بينها وبين كثافة التصريف النهري إلا أن تكرارية المجاري تتأثر بأعداد المجاري وليس بمجموع أطوالها كما في الكثافة (مرزا و البارودي، 2005 : 76)، وبالتالي عادةً ما تكون القيمة معدل التكرار النهري منخفضة في حالة الأحواض النهرية كبيرة المساحة بينما تكون هذه القيمة كبيرة في حالة الأحواض النهرية صغيرة المساحة،

ويعزى ذلك إلى أنه في الحالة الأولى تكون الأحواض النهرية قد فقدت كميات كبيرة من محتوى موادها الصخرية ذات القابلية الشديدة للتعرية المائية ؛ وبالتالي تقل بها مسارات التصريف المائي للوحدة المساحية، بينما يوافق زيادة معدل أطوال المجاري المائية في الوحدة المساحية زيادة أخرى في عددها وهذا يحدث عادةً في الأحواض التي ينحدر سطحها بشكل ملحوظ (أبو راضي، 2006 : 130)، ويتم قياسها حسب المعادلة المورفومترية التالية (الغيلان، 2008 : 191):

$$F_s = \frac{\sum N_u}{A_u(km^2)}$$

حيث: F_s تكرارية المجاري للحوض المائي و $\sum N_u$ مجموع عدد المجاري للحوض المائي و $A_u(km^2)$ مساحة الحوض المائي كم مربع.

ومن خلال الجدول (5) نجد أن تكرارية المجاري لحوض وادي جارف قد بلغت 0.1617 مجرى / كم مربع، وهي نسبة منخفضة جداً تؤكد قصر مجاري الحوض بالنسبة لعددها، والذي نتج عنه كثافة التصريف المنخفضة ، وهذا ما يقلل من فرصة حدوث السيول، كما يعزى انخفاض التكرارية إلى فقدان الحوض لكميات كبيرة من محتوى مواده الصخرية ذات القابلية الشديدة للتعرية المائية وبالتالي تقل بها مسارات التصريف المائي للوحدة المساحية (أبو راضي، 2006 : 130).

6- كثافة التصريف *Drainage density*: ويرمز له D_d ، وتعد من أهم المعاملات المورفومترية التي توضح خصائص حوض التصريف، وعلى الرغم من سهولة الحصول على قيمتها إلا أنها ذات تأثير واضح على خصائص الحوض المورفومترية الأخرى ، وكذلك مدخلات حوض التصريف *Inputs* ومخرجاته *Outputs* ، فهي تعكس نصيب كل واحد كيلومتر مربع من مساحة الحوض من شبكة المجاري المائية بالكيلومتر، ويستفاد من ذلك بتقدير كفاءة الشبكة في نقل المياه والرواسب من الحوض (سلوم، 2012 : 420).

وتدل القيمة المرتفعة لكثافة التصريف على شدة تأثر الحوض بعوامل التعرية وشدة تمزق وتقطع الحوض، أي أن نسيجه الطبوغرافي ناعم، كما تدل على زيادة أطوال وأعداد المجاري في الحوض، أما القيمة المنخفضة فتدل على العكس تماماً أي أن الحوض يكون قليل التأثر بعوامل التعرية وبالتالي قلة تقطعه، أي أن نسيجه الطبوغرافي خشن إضافة إلى قلة أعداد وأطوال المجاري في الحوض (علاجي، 2010 : 111) وتحسب من خلال المعادلة التالية (السلاوي، 1989 : 471):

$$D_{\mathrm{d}} = \frac{\sum L_{u\,(km)}}{\mathrm{A_u(km^2)}}$$

حيث: D_{d} كثافة التصريف و $\sum L_{u\,(km)}$ مجموع اطوال المجاري في الحوض المائي كم و $\mathrm{A_u(km^2)}$ مساحة الحوض كم مربع. ومن خلال الجدول (5) نلاحظ أن مقدار كثافة التصريف بحوض وادي جارف بلغت 0.65 وهي كثافة منخفضة، مما يعني أن كل كيلومتر مربع من مساحة الحوض تمتلك نظيراً قدره 0.65 كيلومتر من المجاري المائية لتصريف مياهها وحمولتها، ويرجع ذلك إلى نفاذية صخور المنطقة وقلة سقوط الأمطار، بالإضافة إلى قصر المجاري المائية، وهذا ما يتطابق مع هورتون *Horton* الذي يرى أن الكثافة التصريفية ترتفع إلى 1.24 كم في الكيلومتر المربع الواحد في المناطق المتضرسة ذات الصخور الصماء والمطر الغزير، بينما تنخفض في المناطق التي تجري فيها الأنهار في صخور عاليةالنفاذية (محسوب، 2003 : 214-215).

7- معامل التعرج النهري *Sinuosity Factor*: ويعد هذا المعامل مؤشراً لمعرفة المرحلة الحتية التي يمر بها الوادي بالإضافة إلى قدرته على الإزاحة والحركة الجانبية مما يؤثر على استعمالات الأرض، وتكمن أهمية إيجاد هذا المعامل في معرفة مدى انعطاف المجرى وما لذلك من تأثير على كمية المياه في المجرى، حيث أنه كلما ازدادت درجة انعطاف الوادي ازدادت احتمالات التبخر والترشيح، بينما تقل هذه الاحتمالات عندما تنقص درجة الانعطاف، وذلك نتيجة سرعة الجريان، ووصول المياه إلى منطقة المصب في فترة زمنية قصيرة (الحربي، 1428هـ : 30) ويحسب من المعادلة الآتية (علاجي، 2010 : 32):

VI = VL / Air

حيث: VL = طول المجرى و Air = اقصر امتدا ما بين المصب والمنبع.

وتوصف المجاري بالاستقامة *Straight Streams* إذا قل تعرجها عن 1.05 (الغامدي، 2006 : 36)، وإذا تراوح المعدل بين 1.05 و 1.5 يوصف المجرى بالتعرج Sinuous (دسوقي، 2005 : 40)، بينما يرى *Chorley* 1977 بأنه نمط المجرى يكون نمطاً منعطفاً إذا زاد الطول الفعلي للمجرى عن الطول المستقيم بمقدار 1.5 مرة (عبدالله، 2004 : 291) ومن خلال التطبيق على مجرى الوادي الرئيس لوادي جارف تبين أن معامل التعرج بلغ 1.34 وهو من النمط المتعرج.

8- ثابت بقاء المجرى المائي *Constant of Channel Maintenance*: ويرمز له بالرمز C ويعرف بأنه عبارة عن النسبة بين الوحدة المساحية اللازمة لتغذية الوحدة الطولية الواحدة من مجاري الشبكة النهرية (أبو راضي، 2006 : 142)، ويحسب هذا المعدل على أساس أنه يساوي المقلوب الجبري للكثافة التصريفية للشبكة، واقترحه *Shumm* للدلالة على متوسط الوحدة المساحية اللازمة لتغذية الوحدة الطولية الواحدة من قنوات شبكة التصريف، (محسوب، 2003 : 215). ويتم حسابه وفقًا للمعادلة الرياضية التالية:

$$C = \frac{1}{Dd} = \frac{A_u\ (km^2)}{\sum_{i=1}^{k}\sum_{i=1}^{N} L_u}$$

حيث: C ثابت بقاء المجرى المائي و Dd كثافة التصريف لمجاري الحوض المائي و A_u مساحة الحوض المائي كم مربع و $\sum_{i=1}^{k}\sum_{i=1}^{N} L_u$ مجموع أطوال عدد المجاري لجميع الرتب.

ويدل معامل ثابت بقاء المجرى المائي أن هناك مساحة صغيرة من الحوض لم يغطها امتداد الشبكة المائية تصل إلى 1.54 كم مربع في المستقبل لكل مجرى بطول (1 كم).

9- معدل النسيج الطبوغرافي *Texture Topography*: ويستخدم في بعض المراجع مرادف آخر لمعدل النسيج الطبوغرافي وهو نسبة التقطيع أو معدل التقيطع *Dissection Ratio* ، ويعرف معدل النسيج الطبوغرافي على أنه يوضح درجة تقطيع الشبكة المائية لحوض التصريف، ويمكن حساب معدل النسيج أو نسبة التقطيع بالمعادلة التالية (Abdulla, 2011: 139):

$$Dr = \Sigma Nu/Bc$$

حيث: Dr هي نسبة التقطيع و ΣNu هي مجموع عدد المجاري في الحوض، و Bc هي محيط الحوض كم.

وقد بلغ النسيج الطبوغرافي لحوض وادي جارف 1.24 وهو بذلك من الأحواض ذات النسيج الطبوغرافي الخشن جداً، وفق تصنيف (*Small* , 1978, p221) و تصنيف (*Smith*, 1950, p661) كما هو مبين بالجدول (6).

جدول (5) بعض السمات المورفومترية لحوض وادي جارف

مجموع أطوال المجاري *km*	تكرارية المجاري	كثافة التصريف	معامل التعرج	ثابت بقاء المجرى المائي (معامل التماسك)	معدل النسيج الطبوغرافي
11503.05	0.1617	0.65	1.34	1.54	1.24

جدول رقم (6) يبين تصنيف أحواض التصريف المائي وفق (*Small*) و (*Smith*)

التصنيف	*Smith (1950)*	*Smith (1978)*
خشن جداً	-----	2 – 1.8
خشن	أقل من 4	4 – 2
متوسط	10 – 4	10 – 4
ناعم	50 – 10	200 – 10
ناعم جداً	50 +	400 - 200

سلوم، 2012 : 428

ثالثاً الخصائص التضاريسية للحوض المائي:

انات الجغرافية للحوض وذلك من خلال نموذج الارتفاعات الرقمية للحوض. تهدف دراسة السمات التضاريسية عادةً إلى إظهار المدى الذي وصل إليه تقطيع المنطقة بواسطة عمليات التعرية السائدة والتي تتمثل في هذه المنطقة بشبكة تصريف وادي جارف ، وتأتي أهمية دراسة الخصائص التضاريسية للحوض في أنها تلقي الضوء على نشاط عامل التعرية وقوته، وكذلك تحديد المرحلة العمرية بالنسبة لدورة التعرية، بالإضافة إلى تفسير الخصائص الحوضية الأخرى خاصةً المساحة وخصائص الشبكة المائية، وكذلك إمكانية حدوث ظاهرة الأسر النهري، (مصطفى، 2010 : 260).

وتشمل الخصائص التضاريسية المتغيرات التالية:

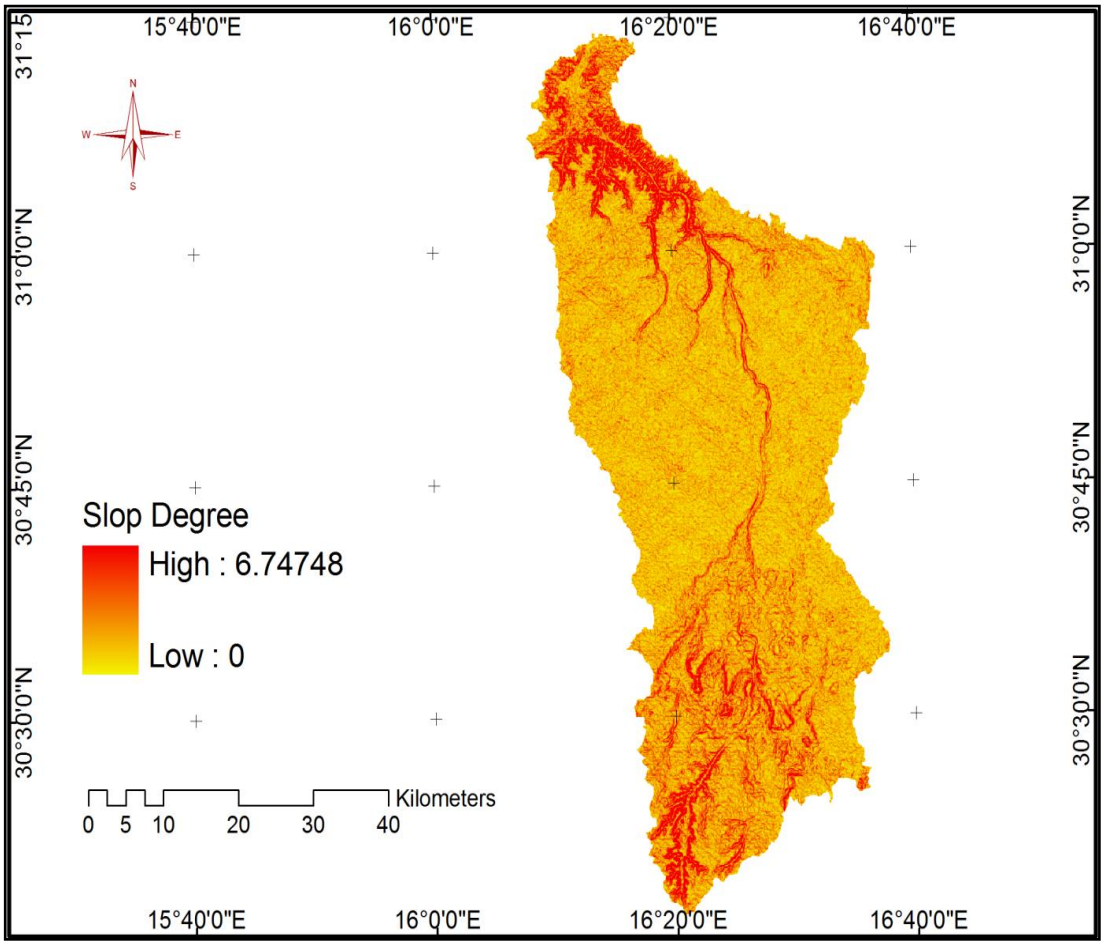
1- الارتفاع الأقصى *Maximum Elevation*: ويرمز له *Z Max* أو *H Max* ويمثل أعلى منسوب على خط تقسيم المياه، وقد تم تحديد أقصى ارتفاع على خط تقسيم المياه للحوض بـ 296 متراً.
2- الارتفاع الأدنى *Minimum Elevation*: ويرمز له *Z Min* أو *h min* وهو أدنى منسوب على خط تقسيم المياه، وهي تمثل كذلك نقطة المصب *Estuary* والتي تم تحديدها بقيمة صفر.

3- نقطة المنبع *Fountainhead* ونقطة المصب *Estuary*: حيث تمثل نقطة المصب أدنى نقطة ارتفاع على خط تقسيم المياه بمقدار صفر متر، وفيما يتعلق بنقطة المنبع والتي يجب أن لا تتقاطع مع خط تقسيم المياه وتكون قيمتها أقل من نقطة أقصى ارتفاع على خط تقسيم المياه لحوض وادي جارف حيث تم تحديدها بـ 276 متراً.

4- درجة الانحدار للحوض المائي *Degree of Slope* : يعد الانحدار من المتغيرات المورفومترية التي تحتاج جهداً ووقتاً في قياسها بالطرق التقليدية ؛ وذلك لأنها تؤخذ القياسات الميدانية للانحدار بين المواقع التي تختلف مناسيبها وتكون واضحة الرؤيا حسب وعورة السطح وتضرسه، (الغيلان، 2008 : 208)، ومما زاد أهمية دراسة المنحدرات مدى التطور الحديث في وسائل التكنولوجيا المتقدمة من خلال استخدام أنظمة المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد ودخول الحاسب الآلي ومصدر البيانات الحديثة المتمثلة في نموذج الارتفاعات الرقمية *DEM* ، وذلك في حساب وإجراء عمليات المعالجة والتحليل والمخرجات سواء كانت خاصة بالانحدار أو بتحليلات أخرى معتمدة على ذلك النوع من البيانات، وقد تم استخراج درجة انحدار حوض وادي جارف اعتمادًا على نوع البيانات المتوفرة في قاعدة البيانات الجغرافية للحوض وذلك من خلال نموذج الارتفاعات الرقمية للحوض .

وأهم ما يميز أغلب التحليلات التي يتم إجراؤها على نموذج الارتفاعات الرقمية *DEM* بهيئة *Grid* ضمن أدوات التحليل (*Spatial Analyst Tools*) خريطة توضح ذلك التحليل، كما هو بالنسبة لتحليل الانحدار *Slope* حيث يمثل الشكل (4) خريطة الانحدار لحوض وادي جارف بعدما تم استخراجها من نموذج الارتفاعات الرقمية *DEM* وهي مصنفة حسب المقياس الرمادي لقيم البكسل *Pixel* ومعتمدة على الأعداد الكسرية *Floating*.

ويشير المقياس الرمادي للخريطة في الشكل (4) درجة الانحدار التي تم استخراجها اعتماداً على نموذج الارتفاعات الرقمية إلى أعلى قيمة انحدار 6.7 درجة وأدنى قيمة صفر درجة، وبناء على تصنيف يونج (*Young*, 1972) فإن حوض وادي جارف يعد ذا انحدار متوسط إذ بلغ انحداره 6.7 وذلك نظراً لكبر مساحته.



شكل (4) خريطة الانحدار لحوض وادي جارف اعتماداً على نموذج الارتفاعات الرقمية

5- التضرس الكلي للحوض *Total Relief*: ويرمز لها *H* ، و يقصد به الفارق الرأسي بين أعلى نقطة بالحوض وأدناها، وينعكس التضرس المحلي بشكل إيجابي على معدلات الحت والإزالة، فكلما زاد الفارق الرأسي بين نقاط الحوض اكتسبت المياه المندفعة من المناطق العليا قدرة وطاقة جيومورفولوجية تصرف في عمليات الحت والتخفيض والنقل، أي أن العلاقة بين معدلات التضرس المحلي وانحدار السطح والطاقة الجيومورفولوجية للمياه الجارية علاقة طردية (سلوم، 2012 : 385). ويتم حسابه من خلال الفرق بين أعلى نقطة على خط تقسيم المياه وأدنى نقطة حسب الصيغة الرياضية التالية:

$$H = H_{MAX}\,(M) - h_{min}(m)$$

حيث: H التضاريس القصوى و $H_{MAX}\,(M)$ الارتفاع الاقصى للحوض المائي متر و $h_{min}(m)$ الارتفاع الأدنى للحوض المائي متر. ولقد بلغت نسبة قيم التضرس الكلي أو الأقصى لحوض وادي جارف 296 متراً كما موضح بالجدول (7).

6- نسبة التضرس للحوض المائي *Relief Ratio*: ويرمز له R_{h} ، ويرتبط تضرس الحوض بمناخ و جيولوجية المنطقة وبنوعية الصخور في حوض التصريف وباستجابات هذه الصخور لعمليات التعرية النشطة في حوض الوادي (الدوغان، 1419هـ : 20)، ويعد هذا المعامل من أكثر عوامل طوبوغرافية الحوض أهمية، وبالتالي فهي تعكس درجة انحدار السطح وفقاً للمعادلة الرياضية لـ (العمري، بدون تاريخ : 409):

$$R_{\mathrm{h}} = \frac{H\,(m)}{L\,(km)}$$

بحيث تمثل: R_{h} نسبة التضرس للحوض المائي و $H\,(m)$ فارق الارتفاع بين أقصى نقطة وأدنى نقطة على خط تقسيم المياه متر و $L\,(km)$ أقصى طول للحوض المائي كم.

وتساعد هذه النسبة على إدراك قيمة التضرس النسبي للحوض بغض النظر عن نسيجه الطبوغرافي، وتشير انخفاض قيم نسبة التضرس في وادي جارف والتي بلغت 2.14 انظر الجدول (7) إلى كبر المساحة الحوضية، مما يدل على نشاط عملية النحت والتراجع نحو المنابع وتقويض مناطق تقسيم المياه، وعلى العكس من ذلك فإن الأحواض العالية في نسبة تضرسها تكون صغيرة المساحة ونشطة في عملية النحت في ظل ظروف تضرس مرتفع، ويعني هذا أنها ما زالت في المراحل الأولى من دورة التعرية النهرية.

7- معامل التضرس للحوض المائي *Relief index*: ويحسب من خلال قسمة مساحة الحوض المائي كم مربع على أقصى طول للحوض km وذلك حسب الصيغة الرياضية التالية (الغيلان، 2008 : 224):

$$R_i = \frac{A\,(km^2)}{L\,(km)}$$

حيث تمثل: R_{i} معامل التضرس للحوض المائي و $A\,(km^2)$ مساحة الحوض المائي كم مربع و $L\,(km)$ أقصى طول للحوض المائي كم، وقد بلغ معامل التضرس بحوض وادي جارف 19.81 .

8- التضاريس النسبية للحوض المائي *Relative Relief*: تساعد هذه النسبة على إدراك قيمة التضرس النسبي للحوض بغض النظر عن نسيجه الطبوغرافي، ويعبر عنها بالعلاقة التالية (مصطفى، 2010 : 261):

$$R_{hp} = \frac{H}{p} \times 100$$

حيث تمثل: R_{hp} التضاريس النسبية للحوض المائي و H التضاريس القصوى للحوض المائي متر و p محيط الحوض المائي km، ولقد بلغت نسبة التضاريس النسبية بحوض وادي جارف 82.61%. ويشير ارتفاع نسبة التضاريس النسبية إلى صغر مساحة الحوض ونشاط عمليات النحت وأنها لا تزال في المراحل الأولى من دورة التعرية النهرية.

9- قيمة وعورة التضاريس *Ruggedness Value*: ويرمز له N_{R} ، وهى تدرس العلاقة بين تضرس سطح أرض الحوض وأطوال شبكته التصريفية، وتعد قيمة الوعورة من أهم المقاييس المورفومترية التي تعالج العلاقة التبادلية المركبة بين أكثر من متغيرين، (أبو راضي، 2006 : 125)، وترتفع هذه القيمة عند زيادة التضرس الحوضي إلى جانب زيادة أطوال المجاري المائية على حساب المساحة الحوضية، وتحسب كما يرى *Strahler* 1958 بقسمة حاصل ضرب التضاريس الحوضية بالمتر في الكثافة التصريفية بالكيلومتر للكيلومتر المربع على العدد 1000:

$$N_{\mathrm{R}} = \frac{H\ Dd}{1000}$$

حيث تمثل: N_{R} قيمة وعورة الحوض المائي و H التضاريس القصوى للحوض المائي متر و Dd كثافة المجاري المائية كم على كم مربع.

وقد أوضح استريلر *Strahler* عند دراسته لقيم درجات الوعورة لمجموعة من أحواض الولايات المتحدة الأمريكية أنها تتفاوت مابين 0.06 للأحواض قليلة التضرس وأكثر من 1 صحيح للأحواض شديدة التضرس (الحربي، 1428هـ : 147)، وقد أشار عاشور بأن قيمة الوعورة تنخفض من وإلى مراحل الدورة التحاتية للحوض ثم تبدأ في التزايد حتى تصل إلى حدها الأقصى عند بداية مرحلة النضج ومن ثم تبدأ قيمتها بالانخفاض مرة أخرى عند نهاية الدورة التحاتية (وهذا ما نلاحظه متوافقاً مع قيمة الوعورة في حوض وادي جارف والذي يدل على نهاية دورته التحاتية حيث بلغت 0.19) (عاشور، 1986 : 466).

10- التكامل الهبسومتري *Hypsometric integral*: يعد من أدق المعاملات المورفومترية تمثيلاً للفترة الزمنية المقطوعة من الدورة التحاتية للأحواض التصريفية، ويتم حساب

التكامل الهبسومتري عن طريق قسمة المساحة الحوضية على التضاريس الحوضية، وتتكامل قيمة هذا التكامل من صفر إلى 100 (أبو راضي، 2006 : 125)، ويحسب بالقانون التالي (مصطفى، 2010 : 264):

التكامل الهبسومتري= كثافة التصريف × مساحة الحوض ÷ كثافة التصريف × تضاريس الحوض

وتضاريس الحوض = أعلى منسوب في الحوض – أدنى منسوب في الحوض

وقد بلغت قيمة التكامل الهبسومتري بحوض وادي جارف 9.25 وتشير زيادة قيم التكامل الهبسومتري على كبر المساحة الحوضية نتيجة الكثافة التصريفية الكبيرة مع انخفاض قيم تضاريسها الحوضية، وهذا يدل أيضا على تقدم عمر الحوض، أي تتناسب قيم التكامل الهبسومتري طردياً مع الفترة التي قطعها الحوض في دورته التحاتية والعكس صحيح، أي أن انخفاض قيم هذا المعامل تشير إلى حداثة عمر الحوض من جهة والى صغر مساحته من جهة أخرى وأنه لازال في بداية دورته التحاتية.

جدول (7) الخصائص التضاريسية لحوض وادي جارف

الارتفاع الأقصى متر	الارتفاع الأدنى متر	درجة الانحدار درجة	التضاريس القصوى	نسبة التضرس	معامل التضرس	التضاريس النسبية	قيمة وعورة	التكامل الهبسومتري
296	0	56 - 0	296	2.14	19.81	82.61	0.19	9.25

الخاتمة :

قد تبين من خلال هذه الدراسة إمكانية معالجة بيانات الأقمار الصناعية آلياً ؛ لاستخلاص شبكات التصريف السطحي للمياه، وذلك من خلال استخدام نماذج الارتفاعات الرقمية بدقة تمييز 90 متراً التي تعد بديلاً ناجحاً للخرائط الكنتورية ذات مقياس رسم 1:50000 ، كما تهيىء نظم المعلومات الجغرافية الوسيلة المثلى لمعالجة وتحليل بيانات نماذج الارتفاعات الرقمية مدعومة بعدد من المزايا التي من أهمها السرعة في الانجاز والدقة في النتائج، ودرجة الصحة العالية مقارنةً بالوسائل التقليدية، وقابلية العمل على استخراج عشرات من القياسات المورفومترية لعشرات من الأحواض في آن واحد، وتخلص هذه الدراسة أيضاً إلى أنه بالإمكان التكامل بين عدد من برامج الحاسوب في إجراء مجموعة كبيرة من الحسابات والقياسات المورفومترية المتعلقة بالشكل والمساحة والتضاريس ونظم التصريف، كما يمكن أن يبنى على البيانات المستخلصة لاستخراج بقية المتغيرات التي لم توظف لها تلك البرامج باعتبار أن البيانات المستخلصة عن طريق هذه البرامج قد اشتملت على معظم المتغيرات المورفومترية الأساسية.

كما توصلت هذه الدراسة إلى نتائج متقدمة تتعلق بمورفومترية حوض وادي جارف، إذ تبين أن الوادي من الرتبة الخامسة وفقاً لنظام استريلر، وأنه قد قطع شوطاً كبيراً في دورته التحاتية، كما اتضح أن أهم خصائص الحوض المؤثرة على مجموع المتغيرات المورفومترية هي خصائص الشكل والمساحة، فقد أثر شكل الحوض باستطالته، وباتساع أعلاه وضيق أدناه على تطور الرتب وطول وعدد المجاري.

وعليه فإن الباحث يعتقد بناءً على النتائج التي توصلت إليها الدراسة بأن القدرة التمييزية المكانية لبيانات *SRTM* 90 متراً ملائمة جداً لهذا النوع من التطبيقات ويوصي باستخدامها بديلاً ناجحاً للخرائط الكنتورية ذات مقياس رسم 1:50000 في استخلاص شبكة التصريف السطحي للمياه.

المراجع :

1 - المراجع العربية:

- **أبو العينين**، حسن سيد أحمد (1976): أصول الجيومورفولوجيا، الطبعة الخامسة، دار النهضة العربية، بيروت، لبنان.
- **أبو راضي**، فتحي عبد العزيز (2006): الأصول العامة في الجيومورفولوجيا، الجزء الثاني، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية.
- **البارودي**، محمد سعيد (2012): تقدير أحجام السيول ومخاطرها عند المجرى الأدنى لوادي عرنة جنوب شرق مدينة مكة المكرمة "باستخدام نظم المعلومات الجغرافية"، الجمعية الجغرافية المصرية، سلسلة بحوث جغرافية، العدد 48.
- **الجاف**، ارسلان احمد عثمان (2008): التحسس النائي ونظم المعلومات الجغرافية في دراسة بعض الظواهر الجيولوجية والترسبات المعدنية في الصحراء الغربية في العراق، رسالة ماجستير ، كلية العلوم ، جامعة بغداد.
- **الحربي**، نوير مسري ناعم (1428هـ): النمذجة الآلية لحوض وادي ملكان باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ونماذج الارتفاعات الرقمية دراسة من منظور جيومورفولوجي، جامعة أم القرى، المملكة العربية السعودية.
- **حمدان**، صبري محمد و أبو عمرة، صالح محمد (2010): بعض الخصائص المورفومترية للجزء الأعلى من حوض الرميمين وسط غرب الأردن باستخدام الطرق التقليدية وبرمجيات نظم المعلومات الجغرافية (دراسة مقارنة)، مجلة جامعة الأزهر بغزة، سلسلة العلوم الإنسانية، المجلد 12، العدد 2.
- **الحواس**، علي عساف (1428هـ): توظيف تكاملي لتقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لتحديد وتحليل الخصائص الهيدرومورفومترية لأحواض التصريف الصحراوي، بحوث جغرافية (18)، الجمعية الجغرافية السعودية، الرياض.
- **الداغستاني**، حكمت صبحي و البناء، ريان غازي (2006): مقارنة في التحليل المورفوتكتوني لأحواض مختارة في محافظة نينوى شمال العراق.

http://www.iasj.net/iasj?func=fullext&ald=4020

- **دسوقي**، صابر أمين (2005): دراسات في جيومورفولوجية الأراضي المصرية، الجزء الثاني، منشاة المعارف الإسكندرية.

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

- **سلامة**، حسن رمضان (1425هـ): أصول الجيومورفولوجيا، الطبعة الأولى، دار المسيرة، عمان.
- **سلوم**، غزوان (2012): حوض وادي القنديل (دراسة مورفومترية)، مجلة جامعة دمشق، المجلد 28، العدد الأول.
- **السلاوي**، محمود سعيد (1989): هيدرولوجية المياه السطحية، الدار الجماهيرية للنشر والتوزيع والإعلان ، مصراتة ، ليبيا.
- **الصالح**، محمد (1992): مرئية الاستشعار عن بعد جمع بياناتها وتحليلها، الطبعة الأولى، جامعة الملك سعود ، الرياض ، المملكة العربية السعودية ، بحوث جغرافية ، العدد 27.
- **عاشور**، محمد محمود (1986): طرق التحليل المورفومتري لشبكات التصريف المائي، حولية الإنسانيات والعلوم الاجتماعية ، جامعة قطر ، العدد 9.
- **عبد الله**، عزة أحمد (2004): دراسات جيومورفولوجية في مناطق مختارة من الأراضي المصرية والسعودية ، منشاة المعارف الإسكندرية.
- **العزاوي**، علي عبد عباس (بدون تاريخ): استقراء المعلومات من نموذج التضرس الرقمي لدعم النمذجة الهيدرولوجية لحوض اشور شمال العراق باستخدام نظم المعلومات الجغرافية.
- **علاجي**، آمنة بنت احمد بن محمد (2010): تطبيق نظم المعلومات الجغرافية في بناء قاعدة بيانات للخصائص المورفومترية ومدلولاتها في حوض وادي يلملم ، دراسة مقدمة لنيل الماجستير قسم الجغرافيا كلية العلوم الاجتماعية جامعة أم القرى المملكة العربية السعودية.
- **العمري**، عبد المحسن صالح (بدون تاريخ): (تحليل الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لأحواض التصريف في منطقة كريتر عدن باستخدام معطيات المعلومات الجغرافية GIS): ندوة عدن بوابة اليمن الحضارية.

http://aden-univ.net/uploads/Ndwat/Aden/28.pdf

- **الغامدي**، سعد أبوراس (2004): استخلاص شبكة التصريف السطحي للمياه باستعمال المعالجة الآلية لبيانات صور الأقمار الصناعية: دراسة على منطقة جبال نعمان، مجلة جامعة أم القرى للعلوم التربوية والاجتماعية والإنسانية، المجلد 16، العدد 2.
- **الغامدي**، سعد أبوراس (2006): توظيف نظم المعلومات الجغرافية في استخراج بعض القياسات المورفومترية من نماذج الارتفاعات الرقمية دراسة حالة وادي ذري في المملكة العربية السعودية، مجلة الجمعية الجغرافية الكويتية 317.
- **الغيلان**، حنان بنت عبداللطيف بن حسن (2008): دور نظم المعلومات الجغرافية في دراسة الخصائص المورفومترية لحوض وادي لبن، رسالة ماجستير جامعة الملك سعود المملكة العربية السعودية، كلية الآداب قسم الجغرافيا (رسائل ماجستير)
- **الفيتوري**، محمد العماري (بدون تاريخ): التركيب الوظيفي لمدينة سرت وعلاقتها بمجاوراتها، المؤسسة العامة للثقافة.
- **محسوب**، محمد صبري (2003): جيومورفولوجية الأشكال الأرضية، دار الفكر العربي، القاهرة.
- **مرزا**، معراج نواب و البارودي، محمد سعيد (2005): السمات المورفولوجية والخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لأودية الحرم المكي، مجلة جامعة أم القرى للعلوم التربوية والاجتماعية والإنسانية ، عدد خاص بمناسبة اختيار مكة المكرمة عاصمة للثقافة الإسلامية .
- **المشاط**، هند عبد الرحمن (1995): حوض وادي لية بالمملكة العربية السعودية دراسة جيومورفولوجية ، رسالة دكتوراه غير منشورة ، كلية التربية ، جدة ، المملكة العربية السعودية.
- **مصطفى**، أحمد أحمد (2010): الخرائط الكنتورية إنشاؤها وتفسيرها وقطاعاتها وتطبيقاتها، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية.
- **المؤسسة** العامة للتعليم الفني والتدريب المهني، (2006): المساحة، نظم المعلومات الجغرافية، الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج، المملكة العربية السعودية.

2 - المراجع الأجنبية:

- **Abdulla**, H, Hassan,(April 2011) Morphometric parameters study for the lower part of lesser zap using GIS technique, Diyala Journal For Pure Sciences, Vol: 7 No: 2.
- **Small**, R.J ; (1978) : the Study of Landforms , University Press , Cambridge, London
- **Smith**, K, G; (1950); Standard for Grading Textures of Erosional Topography- Am. Jour SCI. v. 248**.**