Journal of University Studies for inclusive Research (USRIJ)
مجلة الدراسات الجامعية للبحوث الشاملة

Journal of University Studies for inclusive Research

Vol.1, Issue 3 (2020), 83-147

USRIJ Pvt. Ltd.,

التحليل المورفومتري المقارن لأحواض روافد وادي العتك بشمال غربي مدينة الرياض بالمملكة العربية السعودية

عبد الله بن محمد الشيخ الأنصاري

قسم النبات والأحياء الدقيقة – كلية العلوم – جامعة الملك سعود

E-mail: alansari_4@hotmail.com

راشد بن حمد الدوسري

وزارة التعليم

E-mail: rashed22923@gmail.com

الملخص

موضوع الدراسة : يقدم هذا البحث تحليلاً مقارناً للخصائص التضاريسية والمورفومترية للأحواض المائية ولشبكات المجاري المائية التي تطورت داخل مساحات تصريفها باستخدام مخرجات نموذج الارتفاع الرقمي SRTM Dem 30m من جهة وبتطبيق العديد من النماذج الرياضية المستخدمة في تحديد وتحليل المتغيرات التضاريسية والمورفومترية.

أهداف الدراسة : تسعى هذه الدراسة إلى تحليل الخصائص التضاريسية والمورفومترية للأحواض المائية، ولشبكات المجاري المائية وللترتيب الهرمي لمجاريها بطريقة ستريلر Strahler (١٩٥٢) ومقارنة التباينات الناجمة عن اختلاف هذه الخصائص بتطبيق العديد من النماذج الرياضية باستخدام مخرجات التحليل الرقمي لنموذج SRTM Dem 30m.

Journal of University Studies for inclusive Research (USRIJ)
مجلة الدراسات الجامعية للبحوث الشاملة

منهجية الدراسة : تتناول منهجية هذه الدراسة تحليل الخصائص التضاريسية والمورفومترية للأحواض المائية ولشبكات المجاري المائية وللترتيب الهرمي لمجاريها باستخدام مخرجات التحليل الرقمي لنموذج SRTM Dem 30m وقيم المتغيرات التضاريسية والمورفومترية.

كما تعتمد منهجية هذه الدراسة على طريقة النسب Ratios Method في مقارنة الخصائص التضاريسية والمورفومترية للأحواض المائية والخصائص المورفومترية لشبكات المجاري المائية.

بيانات الدراسة : اعتمدت هذه الدراسة على البيانات المناخية للفترة ١٩٨٥-٢٠١٧ المتاحة بمحطة مطار الملك خالد بالرياض وكذلك البيانات المطرية المتاحة للفترات ١٩٦٨-٢٠١٧ بمحطة حوطة سدير و ١٩٦٧-٢٠١٧ بمحطة شقراء و للفترة ١٩٦٤-٢٠١٧ بمحطتي المجمعة وحريملاء المستخدمة في تحليل الخصائص الجغرافية الطبيعية لأحواض روافد وادي العتك المدروسة وبيانات الخريطة الطوبوغرافية ١/٢٥٠٠٠٠ ، لوحة المجمعة ، Sheet NG38-11 ، طبعة 1-SA-ASD ، التي أصدرتها إدارة المساحة الجوية بوزارة البترول والثروة المعدنية والخريطة الجيولوجية ، ١/٢٥٠٠٠٠ ، لوحة مربع شقراء ، Sheet 25H ، التي أصدرتها مديرية الثروة المعدنية بوزارة البترول والثروة المعدنية والقياسات المورفومترية المشتقة من مخرجات التحليل الرقمي لنموذج SRTM Dem 30m من جهة وعلى نتائج تطبيق معادلات حساب المتغيرات التضاريسية والمورفومترية من جهة ثانية.

نتائج الدراسة : توصلت هذه الدراسة إلى حساب ٨ متغيرات لتحليل الخصائص التضاريسية و ٩ متغيرات لتحليل الخصائص المورفومترية الشكلية والمساحية للأحواض المائية و ٧ متغيرات لتحليل المورفومترية لشبكات المجاري المائية ومقارنة تبايناتها بتطبيق طريقة النسب.

الخاتمة : تمكنت هذه الدراسة من تحديد ومقارنة الخصائص التضاريسية والمورفومترية للأحواض المائية ولشبكات المجاري التي تطورت بها.

الكلمات المفتاحية: الخصائص التضاريسية، الخصائص المورفومترية، الحوض المائي، شبكة المجاري المائية، طريقة النسب، حوض وادي العتك، حوض وادي سدير، حوض وادي المياه، المملكة العربية السعودية.

USRIJ
Journal of University Studies for inclusive Research (USRIJ)
مجلة الدراسات الجامعية للبحوث الشاملة

Abstract

Study subject: This research provides a comparative analysis of the relief and morphometric characteristics in watersheds and stream networks using the outputs of the SRTM Dem 30m digital analysis and by applying many mathematical models of morphometric and relief variables.

Objectives of the study: This study seeks to analyze the morphological and morphometric properties of studied watersheds, their stream networks and their streams order using the Srahler method and comparison the differences resulting by applying many mathematical models based on the digital analysis outputs of the SRTM Dem 30m model.

Study methodology: The study methodology deals with analyzing the morphological and morphometric properties of wadi Al Atek, Sudayr and Al Miyah watersheds, their stream networks and their streams order using the SRTM Dem 30m outputs and the analysis of morphological and morphometric variables. The methodology of this study also depends on the Ratios Method in comparing the relief and morphometric properties of the watersheds and their morphometric characteristics.

Study data: This study relied on climatic data for the periods (1985-2017 available at King Khalid Airport Station in Riyadh), the rain data available for the periods (1968-2017 in Hawtat Sudayr) , (1967-2017 in Shaqrá), (1964-2017 in Al Majma'ah and Huraymala) stations are used to analyze the physical geographic characteristics. Also, the Topographic map data 1/250000, Sheet NG38-11, Edition 1-SA-ASD, published

by the Arial Survey department of Ministry of Petroleum and Mineral Resources and Geological map data, 1/250000, Square Quadrangle, Sheet 25H, published by the Deputy of Mineral Resources related to the Ministry of Petroleum and Mineral Resources and morphometric data derived from the digital outputs of the SRTM Dem 30m model are used to analyze the physical geographic characteristics.

The results of equations application to calculate the relief and morphometric variables are used to compare the morphometric characteristics.

Results: This study reached to calculate 8 variables to analyze the relief characteristics, 9 variables to analyze morphometric characteristics of watersheds, and 7 variables to analyze morphometric of stream networks. The ratios method is used to compare their relief and morphometric characteristics.

Conclusion :This study was able to analyze and compare the relief and morphometric characteristics of the studied watersheds and their stream networks.

Keywords :Relief characteristics, morphometric characteristics, Watershed, Stream network, Ratio method, Wadi Al-Atek watershed, Wadi Sudayr watershed, Wadi Al-Miyah watershed, Saudi Arabia.

مقدمة

لعب التطور الكبير في تقنيات الاستشعار عن بعد وفي المعالجة الرقمية لبيانات المرئيات الفضائية ونماذج الارتفاع الرقمي Digital Elevation Model (DEM) دوراً كبيراً في الحصول على القياساسات المورفومترية لأحواض التصريف خاصة بالمناطق الجافة وشبه الجافة التي لا تتوفر على وسائل وإمكانيات العمل الحقلي الذي يساعد في إجراء القياسات المورفومترية ميدانياً

بسهولة كما هو الحال بمختلف أحواض التصريف بالمملكة العربية السعودية. وبالتالي فإن البيانات المورفومترية المشتقة بدقة كبيرة من المرئيات الفضائية ومن نماذج الارتفاع الرقمي وفرت البدائل الأمثل المعتمدة في الدراسات الجيومورفولوجية والهيدرولوجية والزراعية ومنها التحليل المورفومتري لخصائص أحواض التصريف بمختلف مناطق العالم.

وعليه فإن هذه الدراسة تعتمد على قياسات المتغيرات المورفومترية المشتقة من مخرجات التحليل الرقمي لنموذج الارتفاع الرقمي SRTM Dem 30m. ولقد تم توظيف هذه المخرجات في حساب ٨ متغيرات تضاريسية و ٩ متغيرات مورفومترية للحوض المائي و ٧ متغيرات لشبكة المجاري المائية بأحواض ثلاثة أودية رافدة لوادي العتك بشمالي غرب مدينة الرياض قبل أن تصب في روضة نورة، وهي وادي العتك (٤٦١,٠ كم^{٢}) ووادي سدير (٤٥٥,٦ كم^{٢}) ووادي المياه (٨٨٣,٤ كم^{٢}).

ويمثل التحليل المورفومتري لخصائص هذه الأحواض المائية أهمية كبيرة في الدراسات الجيومورفولوجية والهيدرولوجية والزراعية كونه يشكل قاعدة بيانات كمية يمكن توظيفها وتوسيعها وتحديثها في إجراء دراسات التدهور البيئي، وفي تقدير الموارد المائية السطحية وفي تصنيف الأراضي الزراعية. ولقد اعتمدت هذه الدراسة على المنهج التحليلي في مقارنة الخصائص التضاريسية والمورفومترية لأحواض الأودية المدروسة.

كما اعتمد المنهج التحليلي لهذه الدراسة على الاستعانة بأدوات التحليل المكاني Spatial Analyst وعلى أدوات ملحق ArcHydro ومعادلات حساب المتغيرات التضاريسية والمورفومترية المتاحة بأدوات DEM surface tools و 3D Analyst المتاحة ببرنامج ArcGIS. ولقد توصلت هذه الدراسة إلى جملة من النتائج التي سمحت بالتعرف على الخصائص التضاريسية والمورفومترية لأحواض التصريف المدروسة ومقارنتها بتطبيق طريقة النسب Ratios Method.

وتشكل نتائج هذه الدراسة نواة جيدة لبناء قاعدة بيانات مورفومترية لأحواض روافد وادي العتك الذي يصرف مساحة تعادل حوالي ١٣٨٩٩,٧ كم^{٢}. كما أنها تقدم منهجية متكاملة يمكن التوسع فيها بإدراج المزيد من المتغيرات التضاريسية والمورفومترية وتعميمها على باقي أحواض روافد وادي العتك.

(١)- منطقة الدراسة

تعتبر أودية المياه وسدير والعتك الروافد الئيسة التي يتشكل منها مجرى وادي العتك الذي يجري من الجنوب الغربي، شمالي مملحة القصب باتجاه الشمال الشرقي حتى يصب في روضة نورة. وتمتد أحواض التصريف لهذه الأودية بين خطي الطول ’45°17 و ’45°58 شرقاً وبين دائرتي العرض ’25°20 و ’25°50 شمالاً (الشكل ١).

ويحد أحواض التصريف لهذه الأودية الثلاثة حافات جبل طويق من الجنوب و حوض وادي النخل من الشمال الغربي وأحواض روافد مملحة القصب من الجنوب الغربي وحوض وادي الشوكي

من الشمال ومنخفض روضة نورة من الشرق و الحوض الأعلى لوادي المقرح من الغرب. ويتشكل مجرى وادي العتك بعد التقاء وادي المياه ووادي سدير على ارتفاع حوالي ٦١٥ م شمالي شرق روضة المشرات.

ويتسم حوض وادي العتك بظروف مناخية لا تختلف من حيث التغيرات الزمنية والمكانية عن الظروف المناخية لمنطقة الرياض. فمتوسط درجات الحرارة الشهري يتراوح بين ١٣,٧ م° خلال شهر يناير و ٣٦,٠ م° خلال شهري يوليو،

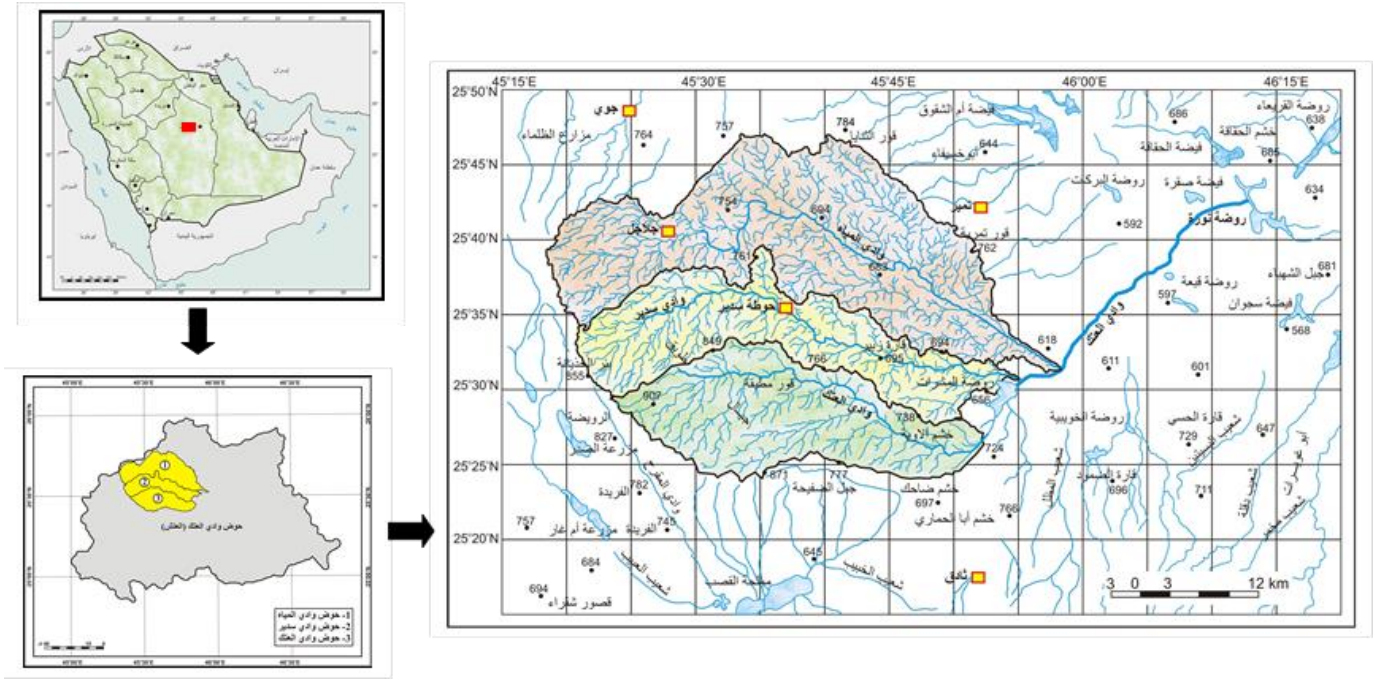
في حين تتراوح متوسطات درجة الحرارة العظمى بين ٢٠,٥ م° خلال شهر يناير و ٤٣,٨ م° خلال شهري يوليو. بينما تتراوح متوسطات درجة الحرارة الدنيا بين ٧,٢ م° خلال شهر يناير و ٢٦,٨ م° خلال شهري يوليو وأغسطس [١]. كما يتراوح متوسط الرطوبة النسبية الشهري بين ١٠,٧ % خلال شهري يونيو ويوليو و ٤٧,٩ % خلال شهر ديسمبر، في حين تتراوح متوسطات الرطوبة العظمى بين ١٧,٥ % خلال شهر يوليو و ٦٨,٩ % خلال شهر ديسمبر. بينما تتراوح متوسطات الرطوبة الدنيا بين ٦,٠ % خلال شهر يونيو و٢٩,٦ % خلال شهر ديسمبر[٢]. ويتأثر حوض وادي العتك بهبوب الرياح بمتوسط سرعة الرياح يتراوح بين ٧,٣ كم/ساعة خلال شهر أكتوبر و ١٢,٧ كم/ساعة خلال شهر يوليو، في حين تتراوح متوسطات السرعة القصوى بين ٣٠,٢ كم/ساعة خلال شهر

(١) و (٢) و (٣)- المتوسطات الشهرية لعناصر المناخ خلال الفترة ١٩٨٥-٢٠١٧ م بمحطة مطار الملك خالد المناخية.
(٤)- بيانات الأمطار للفترة ١٩٦٨-٢٠١٧ بمحطة حوطة سدير و ١٩٦٧-٢٠١٧ بمحطة شقراء و ١٩٦٤-٢٠١٧ بمحطتي المجمعة وحريملاء و ١٩٨٥-٢٠١٧ بمحطة مطار الملك خالد.

سبتمبر و ٥٧,٦ كم/ساعة خلال شهر يوليو. وتهب الرياح الشمالية شمالية شرقية على منطقة الدراسة خلال الفترة الممتدة من ديسمبر إلى أبريل والرياح الشمالية من مايو إلى سبتمبروالرياح الجنوبية خلال شهر سبتمبر[٣]. ويبلغ المعدل السنوي للأمطار على مساحة التصريف لحوض وادي العتك ١٠٠,٣ ملم بمتوسطات شهرية تتراوح بين ٨,٧ و ٢١,٠ ملم [٤].

وتعتبر التكوينات الجيولوجية لحوض وادي العتك جزءاً من تكوينات الرف العربي الرسوبية.

وتتنوع هذه التكوينات من حيث العمر والبنية الجيولوجية والتركيب الصخري كما تظهره الخريطة الجيولوجية لمربع شقراء (Valset et al., 1988). وتغطي مساحة التصريف لحوضي وادي العتك ووادي سدير رسوبات الزمن الرابع من الصفائح الحصوية ورسوبات الأودية والمصاطب النهرية بالاضافة إلى تكوينات الجوراسي المتأخر التي تتشكل بالأساس من تكوين الجبيلة وتكوين حنيفة ، في حين نجد أن التكوينات الجيولوجية لحوض وادي المياه أكثر تنوعاً من مثيلتيها بحوض وادي العتك ووادي سدير بسبب كبر مساحة التصريف. وتتشكل المنكشفات الصخرية لحوض وادي المياه من رسوبات الزمن الرابع (صفائح حصوية ، رواسب المصاطب النهرية والسفوح والمنحدرات بالاضافة للرمال الريحية) وصخور تكويني عرمة والوسيع التي تعود للكريتاسي المتأخر وصخور مجموعة شقراء وتكوين الجبيلة وتكوين حنيفة التي تعود إلى الجوراسي المتأخر (Valset et al., 1988).



الشكل ١ : الموقع الجغرافي للأحواض روافد وادي العتك المدروسة

المصدر : الخريطة الطوبوغرافية ١/٢٥٠٠٠٠ ، لوحة المجمعة ، Sheet NG38-11 ، طبعة 1-SA-ASD ، وزارة البترول والثروة المعدنية ، إدارة المساحة الجوية ، الرياض.

(٢)- منهجية الدراسة

تم استخدام مخرجات نموذج الإرتفاع الرقمي المنتج من المشروع الأمريكي والإيطالي والألماني المشترك عام ٢٠٠٠م (Shuttle Radar Topographic Mission) المعروف اختصاراً بمسمى (SRTM) بوضوح مكاني قدره ٣٠ متر لإشتقاق القياسات الخاصة بالمتغيرات التضاريسية والمورفومترية من ملفات رقمية توضح الإحداثيات ثلاثية الأبعاد غير المنتظمة (X,Y,Z) لأي نقطة على سطح الأرض مع ارتفاعها.

ولذا فإن هذا البحث يسعى إلى التعرف على الخصائص التضاريسية والمورفومترية باستخدام مخرجات التحليل المكاني Spatial Analysis في ملحق Arc Hydro من برنامج Arc GIS. ولقد تم اختيار هذه الأحواض المائية نظرا لأهميتها من الناحية الجيومورفولوجية والهيدرولوجية كونها تمثل نموذجاً لنظام الجريان التصريف الداخلي لوادي العتك الذي يصب في روضة نورة بشمالي غرب مدينة الرياض.

وتتلخص المراحل المنهجية المتبعة في الدراسة في الخطوات التالية :

١- جمع البيانات وتحليلها

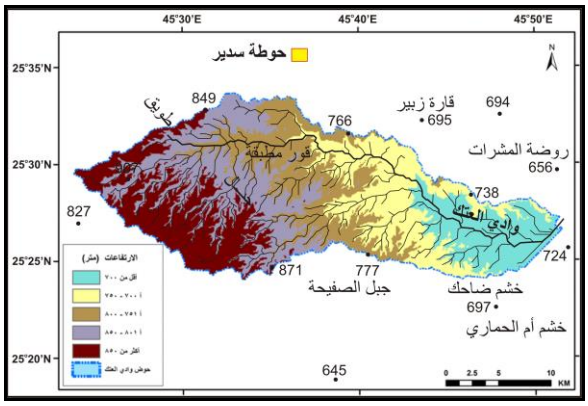
تتمثل البيانات المستخدمة في هذه الدراسة في ما يلي :

(أ)- البيانات المناخية للفترة ١٩٨٥-٢٠١٧ المتاحة بمحطة مطار الملك خالد بالرياض وكذلك البيانات المطرية المتاحة للفترات ١٩٦٨-٢٠١٧ بمحطة حوطة سدير و ١٩٦٧-٢٠١٧ بمحطة

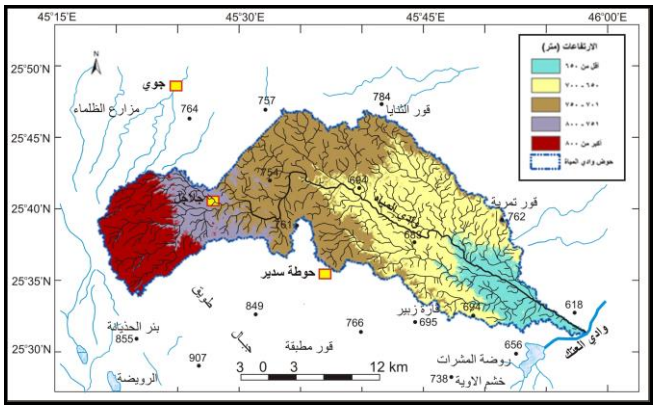
شقراء و للفترة ١٩٦٤-٢٠١٧ بمحطتي المجمعة وحريملاء المستخدمة في تحليل الخصائص الجغرافية الطبيعية لأحواض روافد وادي العتك المدروسة.

(ب)- البيانات المكانية المستخدمة في التحليل المورفومتري لخصائص أحواض الروافد لوادي العتك وهي:

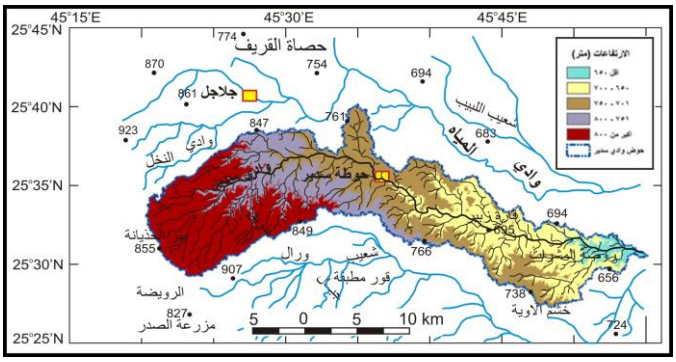
- البيانات المكانية المتاحة بالخريطة الطوبوغرافية ١:٢٥٠٠٠٠ ، لوحة المجمعة Sheet NG38-11 ، طبعة 1-AS-ASD التي أصدرتها إدارة المساحة الجوية لوزارة البترول والثروة المعدنية. ولقد تم استخدام هذه الخريطة لتحديد الموقع الجغرافي للأحواض المائية المدروسة وللتعرف على تضاريسها وعلى الظواهر الجغرافية الممتدة داخل مساحات تصريفها.
- البيانات المكانية المتاحة بالخريطة الجيولوجية ١:٢٥٠٠٠٠ ، مربع شقراء Sheet 25H، التي أصدرتها وكالة الثروة المعدنية بوزارة البترول والثروة المعدنية للتعرف على الخصائص الجيولوجية وعلى التكوينات الصخرية التي تتشكل منها مساحات التصريف للأحواض المدروسة.
- القياسات المورفومترية المطلوبة في تحليل تفاصيل الشبكات المائية لأحواض روافد وادي العتك المدروسة وهي قياسات مستخلصة من نموذج الارتفاعات الرقمي SRTM DEM بدقة مكانية ٣٠م (الشكل ٢).



الشكل ٢ أ : خريطة فئات الارتفاع لحوض وادي العتك



الشكل ٢ ب : خريطة فئات الارتفاع لحوض وادي المياه



الشكل ٢ ج : خريطة فئات الارتفاع لحوض وادي سدير

٢- استخلاص الخصائص التضاريسية

تتنوع طرق تحديد المتغيرات التضاريسية لأحواض التصريف بين القياس المباشر بأدوات التحليل المكاني Spatial Analyst المتوفرة في برامج نظم المعلومات الجغرافية كملحق Arc Hydro وبرناج WMS و Global Mapper المستخدمة في حساب الارتفاعات والأطوال والمساحات.

وتعد دراسات هورتون Horton بمثابة الأبحاث المؤسسة لهذه المتغيرات ذات المدلول الجيومورفولوجي ويرجع له الفضل الكبير في استنباط المفاهيم التي تأسست عليها مناهج التحليل الجيومورفولوجي الكمي لاحقاً (Horton, 1932). ومن أهم المتغيرات التضاريسية التي تم الحصول عليها بواسطة هذه الأدوات قيم الارتفاعات وطول محيط الحوض المائي وطول ومتوسط انحدار الحوض المائي وطول ومتوسط انحدار المجرى الرئيس وأقصى طول للجريان. كما تم تحديد العديد من المتغيرات التضاريسية بواسطة النماذج الرياضية التي تمت صياغتها في هذا الصدد وهي كما يلي : (الجدول ١)

الجدول ١ : المتغيرات التضاريسية للأحواض المائية

المتغير		الرمز	المصدر
الارتفاع المتوسط (متر)	Mean elevation (m)	**H' (m)**	(Horton, 1932)
الارتفاع الأدنى (متر)	Minimum elevation (m)	**h min (m)**	Software output
الارتفاع الأقصى (متر)	Maximum elevation (m)	**H max (m)**	Software output
طول المجرى المائي الرئيس	Main channel length	**L_b (km)**	Software

output		(km)	(كلم)
(Melton, 1957)	$\mathbf{R_{hp}}$ **(m/km)**	Relative relief ratio (m/km)	نسبة التضاريس النسبية (م/كلم)
(Schumm, 1956)	$\mathbf{R_h}$ **(m/km)**	Relief ratio (m/km)	نسبة التضاريس (م/كلم)
(Strahler, 1952)	**Z−z (m)**	Total basin relief (m)	إجمالي تضاريس الحوض (متر)
(Pike et al., 1971)	$\mathbf{H_i}$	Hypsometric Integral (%)	التكامل الهيبسومتري (كلم^2/متر)

ويتم حساب الارتفاعات الأقصى والدنيا والمتوسط وطول محيط الحوض وطول المجرى الرئيس من مخرجات ملحق Arc Hydro في برنامج نظم المعلومات الجغرافية ArcGIS أو من مخرجات أدوات التحليل المكاني في برنامج WMS. في حين يتم حساب المتغيرات التضاريسية الأخرى بتطبيق المعادلات الرياضية المرجعية التالية :

- نسبة التضاريس النسبية Relative relief ratio

هي عبارة عن العلاقة النسبية بين المدى التضاريسي وطول محيطه. ويعبر عن قيمة التضاريس النسبية بواسطة المعادلة التالية : (Melton, 1957)

$$R_{hp} = \frac{1000\,H}{P}$$

وفيها :

H : المدى التضاريسي وهو فارق الارتفاع بين أقصى وأدنى ارتفاعين بالحوض المائي (متر).

P : طول محيط الحوض المائي (كم).

ولقد أشار جريجوري وولنج في دراستهما لمجموع ٧٦ حوض تصريف ببريطانيا إلى وجود علاقة عكسية بين مساحة الحوض والتضاريس النسبية بحيث اتسمت الأحواض الصغيرة بتضاريس نسبية عالية (Gregory and Walling, 1973).

- نسبة التضاريس Relief ratio

هي عبارة عن العلاقة النسبية بين ارتفاعات الحوض وطول المجرى الرئيس. ويعبر عن قيمة هذه النسبة بواسطة المعادلة التالية : (Schumm, 1956)

$$R_h = \frac{H}{L_b}$$

وفيها :

H : فارق الارتفاع بين أقصى وأدنى ارتفاعين بالحوض المائي (متر) .

L_b : طول المجرى المائي الرئيس (كم) .

- إجمالي تضاريس الحوض Total basin relief

هي عبارة المدى التضاريسي للحوض الذي يمثله فارق الارتفاع بين أقصى وأدنى ارتفاعين بالحوض المائي (متر). ويعبر عن قيمة هذا المدى بواسطة المعادلة التالية:

$$H(m) = Z(m) - z(m) \quad \text{(Strahler, 1952)}$$

بحيث يمثل :

Z (m) : الارتفاع الأقصى بالحوض المائي (متر).

z (m) : الارتفاع الأدنى (ارتفاع المصب) (متر).

- التكامل الهيبسومتري Hypsometric Integral

هو عبارة عن العلاقة النسبية بين فارق الارتفاع بين الارتفاعين المتوسط والأدنى من جهة والمدى التضاريسي من جهة ثانية. وتحسب قيمة التكامل الهيبسومتري بتطبيق المعادلة التالية :

$$H_i = \frac{Z' - Z_o}{Z_{max} - Z_o} \quad \text{(Pike and Wilson, 1971)}$$

وفيها :

Z' : الارتفاع المتوسط للحوض المائي (متر).

Z_o : الارتفاع الأدنى للحوض المائي (ارتفاع المصب) (متر).

Z_{max} : الارتفاع الأقصى للحوض المائي (متر).

ويعتبر التكامل الهيبسومتري أفضل المعاملات المورفومترية لقياس درجة تضرس سطح الحوض المائي لأنه يعكس المرحلة التي قطعها هذا الأخير في دورة التعرية (بوروبه ، ٢٠١٦ ، ص ١٣٥٧). وتشير القيم المنخفضة لهذا المعامل إلى توسع مساحة التصريف مع انخفاض المدى التضاريسي لها بسبب تقدم مرحلة التعرية التي يمر بها الحوض المائي بحيث أن هناك علاقة عكسية بين قيم التكامل الهيبسومتري والفترة الزمنية لدورة التعرية. وتعكس قيمة التكامل الهيبسومتري نسبة ما تبقى من الرسوبات الصخرية للحوض لم يتم تعريتها أو نقلها إلى مناطق الترسيب.

٣- استخلاص الخصائص المورفومترية للحوض المائي

يتم الحصول على قيم المتغيرات المورفومترية الدالة عن الخصائص الهندسية للحوض المائي (مساحة التصريف ، طول محيط الحوض، متوسط عرض الحوض، طول الحوض) من مخرجات ملحق Arc Hydro في برنامج نظم المعلومات الجغرافية ArcGIS أو من مخرجات أدوات التحليل المكاني في برنامج WMS. في حين يتم حساب المتغيرات المورفومترية الأخرى ذات المدلول الجيومورفولوجي بتطبيق المعادلات الرياضية المرجعية التالية : (الجدول ٢)

الجدول ٢ : المتغيرات المورفومترية لحوض وادي العتك

المتغير		الرمز	المصدر
المساحة (كلم^2)	Area (km^2)	**A**	WMS software output
طول محيط الحوض (كلم)	Basin perimeter (km)	**P (km)**	(Schumm, 1956)
طول الحوض (كلم)	Basin length (km)	**L_b**	WMS software output
متوسط عرض الحوض (كلم)	Mean basin width (km)	**W_b**	Horton,1932
نسبة معامل الشكل	Form factor ratio	**F_f**	Horton,1932
نسبة الاستطالة	Elongation ratio	**R_e**	Schumm, 1956
نسبة الاستدارة	Circularity ratio	**R_c**	Miller, 1953
معامل الاندماج	Compactness cœfficient	**C_c**	Gravelius, 1914
معامل الانبعاج	Lemniscate factor	**k**	Chorley, 1957

- متوسط عرض الحوض Mean basin width

هو عبارة عن العلاقة النسبية بين مساحة الحوض وطوله. ويحسب هذا المتوسط بتطبيق المعادلة التالية :

$$W_b = \frac{A}{L_b} \quad \text{(Horton, 1932)}$$

وفيها :

W_b : متوسط عرض الحوض المائي (كم).

A : مساحة التصريف للحوض المائي (كم^2).

L_b : طول الحوض المائي (كم).

- نسبة معامل الشكل Form factor ratio

الجدول ٣ : القيم المعيارية للمعاملات المورفومترية الخاصة بالشكل الهندسي للحوض المائي

المعامل		المصدر	الشكل الدائري
نسبة معامل الشكل	Form factor ratio	Horton,1932	1.277
معامل الاندماج	Compactness cœfficient	Gravelius,1914	1.000
نسبة الاستدارة	Circularity ratio	Miller,1953	1.000

١,٠٠٠	Schumm,1956	Elongation ratio	نسبة الاستطالة
1.130	Diaconu & Lăzărescu, 1965	Elongation degree	درجة الاستطالة
1.277	Zăvoinau,1978	Form factor	معامل الشكل
1.000	Chorley,1957	Lemniscate factor	معامل الانبعاج

المصدر: (Zăvoinau, 1978, p. 105)

يؤثر شكل الحوض على كمية الجريان السطحي وتدفق السيول. وتحسب قيمة معامل شكل الحوض المائي بواسطة العلاقة النسبية التي وضعها هورتون بين مساحة التصريف ومربع طول الحوض المائي التالية :

$$F_f = \frac{A}{L_b{}^2} \quad \text{(Horton, 1932)}$$

وفيها :

L_b : طول الحوض المائي (كم) .

A : مساحة التصريف للحوض المائي (كم^2).

ويعتبر معامل الشكل من المؤشرات الإحصائية الدالة على شكل مساحة التصريف للحوض المائي التي ترتبط بها عملية الجريان السطحي وكمية التدفق السيلي للحوض المائي . وعليه فإن قيمة هذا المعامل المرجعية تكون ١,٢٧٧ إذا كانت مساحة التصريف دائرية تماماً (الجدول ٣).

وباقتراب شكل الحوض من الشكل الدائري يكون يساعد على تجمع المياه الجارية السطحية في مدة زمنية تكون أيضاً متماثلة بالنسبة لجميع الروافد مما يساعد على سرعة تحويل مياه الأمطار إلى مياه جارية سطحية ومياه تدفق غزير سرعان ما تتحول إلى سيول خطيرة.

- نسبة الاستطالة Elongation ratio

عرف شوم نسبة الاستطالة بالعلاقة النسبية بين أقصى طول للحوض المائي وقطر دائرة لها مساحة تساوي مساحة التصريف لنفس الحوض . وتحسب قيمة نسبة الاستطالة بتطبيق المعادلة التالية :

$$R_e = \left[\frac{2}{L_b}\right]\left[\frac{A}{\pi}\right]^{0.5} \quad \text{(Schumm, 1956)}$$

وفيها :

L_b : طول الحوض المائي (كم).

A : مساحة التصريف للحوض المائي (كم^2) .

وتبلغ قيمة هذا المعامل المرجعية ١,٠٠٠ إذا كانت مساحة التصريف دائرية تماماً (الجدول ٣).

ولقد توصل شوم Schumm إلى تصنيف للأحواض المائية اعتمادا على قيمة نسبة الاستطالة على النحو التالي :

- الأحواض المستديرة بنسبة استطالة تتراوح بين 0.9 و ١,٠.
- الأحواض البيضوية بنسبة استطالة تتراوح بين ٠,٨ و ٠,٩.
- الأحواض المستطيلة نسبياً بنسبة استطالة تتراوح بين ٠,٧ و ٠,٨.

- الأحواض المستطيلة بنسبة استطالة تتراوح بين ٠,٥ و ٠,٧.

- الأحواض الأكثر استطالة بنسبة استطالة تقل عن ٠,٥.

- نسبة الاستدارة Circularity ratio

تحسب قيمة نسبة الاستدارة بواسطة العلاقة النسبية التي وضعها ميلر بين مساحة التصريف للحوض المائي ومربع محيطه بتطبيق المعادلة التالية :

$$R_c = \frac{12.57A}{P^2} \qquad \text{(Miller, 1953)}$$

وفيها :

R_c : نسبة الاستدارة للحوض المائي .

A : مساحة التصريف للحوض المائي (كم^2) .

P : محيط الحوض المائي (كم) .

وتبلغ القيمة المرجعية لهذه النسبة ١,٠٠٠ المرجعية إذا كانت مساحة التصريف دائرية تماماً (الجدول ٣).

١-٧- معامل الاندماج Compactness cœfficient

عرف Gravelius معامل الاندماج بالعلاقة النسبية بين محيط الحوض المائي ومحيط دائرة لها مساحة تساوي مساحة التصريف لنفس الحوض. وتحسب قيمة معامل الاندماج بواسطة المعادلة التالية : $C_c = \frac{0.2841P}{A^{0.5}}$ (Gravelius, 1914)

وفيها :

C_c : معامل الاندماج للحوض المائي .

A : مساحة التصريف للحوض المائي (كم^2) .

P : محيط الحوض المائي (كم) .

وتبلغ قيمة هذا المعامل المرجعية ١,٠٠٠ إذا كانت مساحة التصريف دائرية تماماً (الجدول ٣).

وتشير القيم المرتفعة لهذا المعامل إلى زيادة طول محيط الحوض.

١-٨- معامل الانبعاج Lemniscate factor

اقترح شورلي معادلة لحساب معامل الانبعاج للتعبير عن الشكل الهندسي لأحواض التصريف

الجدول ٤ : المعاملات المورفومترية لتحليل خصائص الشبكة المائية

(Chorley, 1957). وتحسب قيمة معامل الانبعاج بواسطة المعادلة التالية :

$$k = \frac{\pi L_b^{\,2}}{4A} \qquad \text{(Chorley, 1957)}$$

المعامل		الرمز	النموذج	المصدر
عدد المجاري	Stream number	N_μ	Software output	Software output
كثافة المجاري	Drainage density	D_d	$D_d = L_\mu / A$	Horton, 1932
طول المجاري	Stream length	L_μ	Software output	Software output
تكرارية المجاري	Drainage frequency	F_s	$F_s = N_\mu / A$	Horton, 1932
متوسط طول المجاري	Mean steam length	L_{am}	$L_{am} = L_\mu / N_\mu$	Strahler, 1964
كثافة (شدة) التصريف	Drainage Intensity	D_i	$D_i = F_s / D_d$	Faniran, 1968
نسيج التصريف	Drainage texture	D_t	$D_t = N_\mu / P$	Smith, 1950

وفيها :

k : معامل الانبعاج للحوض المائي .

A : مساحة التصريف للحوض المائي (كم^2) .

L_b : طول الحوض المائي (كم) .

وتبلغ قيمة هذا المعامل المرجعية ١,٠٠٠ إذا كانت مساحة التصريف دائرية تماماً (الجدول ٣)

٤- استخلاص الخصائص المورفومترية للشبكة المائية

يتم الحصول على قيم عدد المجاري وأطوالها من مخرجات ملحق Arc Hydro في برنامج نظم المعلومات الجغرافية ArcGIS أو من مخرجات أدوات التحليل المكاني في برنامج WMS. في حين يتم حساب المتغيرات المورفومترية الأخرى ذات المدلول الجيومورفولوجي بتطبيق المعادلات الرياضية المرجعية التالية : (الجدول ٤)

ومن أهم المتغيرات التي تساعد في تحديد الخصائص المورفومترية للشبكة المائية:

- الترتيب الهرمي لمجاري الشبكة المائية

يرى كل من جريجوري ووالنج (١٩٧٣) Gregory and Walling: "أنه لو ثبتنا كل العوامل المؤثرة في حوض التصريف فإن رتب المجاري المائية في الحوض يجب أن تتناسب مع حجم شبكة التصريف وأن أي زيادة في رتب مجاري الشبكة المائية سوف يصاحبها المزيد من التصريف والجريان".

وتعتبر طريقة ستريلر (Strahler, 1964) الأكثر إستعمالا لبساطتها وسهولة تطبيقها على شبكات المجاري ذات النمط الشجري Dendritic drainage كما هو الحال بالنسبة لحوض وادي

العتك. ويساعد الترتيب الهرمي لمجاري الشبكة المائية على تحديد قدرة الحوض المائي على تحويل مياه الأمطار إلى مياه جارية سطحية وعلى تحديد دورة التعرية المناسبة لتطور مجاري الشبكة المائية بحوض التصريف.

- كثافة المجاري للحوض المائي : Drainage density

وهي تحسب من العلاقة النسبية بين أطوال المجاري المائية ومساحة التصريف للحوض المائي وفقا للمعادلة الآتية : (Horton, 1932) (الجدول ٤)

$$D_d = \frac{L_\mu}{A}$$

بحيث يمثل :

L_μ = مجموع أطوال المجاري المائية (كلم) .

A = مساحة التصريف للحوض المائي (كلم^2) .

- تكرارية المجاري للحوض المائي : Stream Frequency

ويقصد بها العلاقة النسبية بين أعداد المجاري المائية ومساحة التصريف للحوض المائي وفقا للمعادلة الآتية :(Horton, 1932) (الجدول ٤)

$$F_s = \frac{N_\mu}{A}$$

بحيث يمثل :

$N\mu$ = مجموع عدد المجاري بالحوض المائي (مجرى).

A = مساحة التصريف للحوض المائي (كلم^2).

- كثافة (شدة) التصريف Drainage intensity

يعبر عن كثافة أو شدة التصريف بالعلاقة النسبية التالية :(Faniran, 1968) (الجدول ٤)

$$D_i = \frac{F_s}{D_d}$$

بحيث يمثل :

F_s = تكرارية المجاري (مجرى/كم^2).

D_d = كثافة المجاري (كم/كم^2).

- متوسط طول المجاري المائية Mean length

يعبر عن متوسط أطوال المجاري بالعلاقة التالية : (Schumm, 1964)

$$L_{am} = \frac{\sum L_\mu}{\sum N_\mu}$$

بحيث يمثل :

$\Sigma N\mu$ = مجموع عدد المجاري المائية (مجرى) .

$\Sigma L\mu$ = مجموع أطوال المجاري المائية (كم).

- نسيج التصريف Drainage texture

يعبر عن نسيج التصريف بالعلاقة التالية : (Smith, 1950) (الجدول ٤)

$$D_t = \frac{N_\mu}{P}$$

بحيث يمثل :

N_μ = عدد المجاري المائية (مجرى).

P = محيط الحوض المائي (كم).

(٣)- الدراسات السابقة

لقد ساعد كثيراً استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد Remote Sensing (RS) ونظم المعلومات الجغرافية Geographic Information System (GIS) في سرعة الحصول على القياسات المورفومترية للأحواض المائية خاصة تلك التي تمتد مساحات تصريفها بمناطق يصعب فيها الحصول على قياسات مورفومترية ميدانية. ومع التطور المتسارع لتقنيات التحليل المكاني باستخدام RS و GIS تزايد اهتمام المختصين والباحثين بتطبيقات الدراسة المورفومترية وتنوعت مجالات استخداماتها في الهيدرولوجيا والجيومورفولوجيا والتخطيط وغيرها.

وفي هذا الصدد ظهرت توجهات جديدة في الدراسة الجيومورفولوجية التطبيقية اعتمدت على توظيف مخرجات المعالجة الرقمية لنماذج الارتفاع الرقمي Digital Elevation Model (DEM) وعلى توظيف التحليل الرقمي للمرئيات الفضائية في اشتقاق المتغيرات المورفومترية المستخدمة في تحديد الخصائص التضاريسية والهندسية للأحواض المائية والخصائص المورفومترية للشبكة المائية (Kabite & Gessess, 2018).

ومنذ ثمانينات القرن الماضي اتجهت الدراسات الجيومورفولوجية الكمية إلى استخدام التحليل المورفومتري في دراسة خصائص أحواض التصريف بمختلف مناطق العالم كالدراسات التي أنجزها في عام ١٩٩٩ المعهد الوطني الهيدرولوجي الهندي National Hydrologic Institute عن حوض نهر Devak. ولقد اعتمدت هذه الدراسة على تطبيقات برنامج ILWIS في تحليل الخصائص التضاريسية والخطية والمساحية لحوض التصريف، وهي دراسة شكلت الأساس بعد ذلك لكثير من الدراسات المورفومترية لأحواض الأنهار التي اعتمدت على مخرجات DEM بمختلف مناطق الهند كدراسات (Pareta & Pareta, 2011 ; Ansari et al., 2013 ; Waikar, M.I. and Nilawar, 2014 ; Rao et al., 2013 ; Mandi & Soren, 2015 ; Sidral & Zende, 2016 ; Shrivastava, 2017)

ولقد تنوع توظيف التحليل المورفومتري في الدراسات الهيدرولوجية، بحيث ظهرت كثير من الدراسات التي اعتمدت على مخرجات التحليل المورفومتري في تقدير الجريان السطحي للسيول ولتدفقها بكثير من مناطق العالم كدراسات (Sreedevi & Sreekamth., 2012 ; Hajam, 2013 ; Altaf et al., 2013 ; Gupta et al., 2014 ; Abdel-Fattah et al., 2017 ;

(White et al., 2014. كما اعتمدت دراسات هيدروجية أخرى على استخدام التحليل المورفومتري المستخرجة من نماذج الارتفاع الرقمي في تقدير التعرية بالأحواض المائية (Singh et al., 2008 .; Ali et al., 2018)

وفي الوطن العربي ظهرت العديد من الدراسات الجيومورفولوجية الكمية التي اعتمدت على توظيف تقنيات RS و GIS في تحليل الخصائص المورفومترية لأحواض الأودية كدراسات (حبيب، ٢٠١٢ ؛ جاري والحسين، ٢٠١١ ؛ Al Shammary, 2012 ؛ الخفاجي، ٢٠١٥ ؛ بدر، ٢٠١٢ ؛ تيم، ٢٠١٥ ؛ الطريقي، ٢٠١٦ ؛ عبد الغني وآخرون، ٢٠١٧ ؛ الرواشدة وآخرون، ٢٠١٧).

كما ظهرت بالمملكة العربية السعودية العديد من الدراسات الجيومورفولوجية الكمية التي اتجهت إلى توظيف التحليل المورفومتري في دراسة بعض أحواض الأودية الجافة كدراسات (الصالح، ١٩٩٩) التي استخدمت صور الماسح الموضوعي المحسنة والخرائط الطوبوغرافية في التحليل المورفومتري لوادي عنان ووادي مزيرعة و(آل سعود، ٢٠٠٠) التي تناولت نمذجة التحليل المورفومتري لشعيب نساح و (الحربي، ٢٠٠٧) التي اعتمدت على النمذجة الآلية لحوض وادي ملكان باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ونماذج الارتفاعات الرقمية و(علاجي، ٢٠١٠) التي توصلت إلى بناء قاعدة بيانات للخصائص المورفومترية ومدلولاتها الهيدرولجية في حوض وادي يلملم و(النفيعي، ٢٠١٠) التي تمكنت من تقدير الجريان السطحي ومخاطر السيول في الحوض الأعلى لوادي عُرنة شرق مكة المكرمة بوسائل الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية و(الحواس، ٢٠٠٧) التي أظهرت إمكانية التوظيف التكاملي لتقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية فيتحديد وتحليل الخصائص الهيدرومورفومترية لأحواض التصريف الصحراوية

و(بوروبه والجعيدي، ٢٠٠٧) التي اعتمدت على بيانات المرئيات الفضائية للقمر الصناعي Spot–5 بوضوح مكاني قدره ٥م في تطبيق نموذج سنايدر Snyder لتقدير تدفق الذروة للسيول بحوض وادي العين و(الرشدان، ٢٠١١) عن التحليل الكمي للمتغيرات المورفومترية لشبكة التصريف المائي السطحي لشعيب مزيرعة و(سقا، ٢٠١١) التي اعتمدت على استخدام مرئية الأقمار الصناعية والتحليل الكمي في نظم المعلومات الجغرافية لتحديد المتغيرات المورفومترية في حوض تصريف وادي لبن رافد وادي حنيفة بمنطقة الرياض و(البريدي، ٢٠١٣) التي كشفت عن إمكانية الاستفادة من المؤشرات المورفومترية للأحواض المائية الجافة كحوض وادي العمارية في تقدير كميات التدفق اليومي الأقصى للسيول مع توظيف بدائل أخرى كنماذج سنايدر Snyder والطريقة العقلانية SCS Dimensionless Unit Hydrograph, Rational Method التي تعتمد على المخرجات المورفومترية لنماذج الارتفاع الرقمي في تقدير التدفق الأقصى للسيول في ظل غياب توفر قياسات هيدرومترية للجريان السطحي و(المغير، ٢٠١٤) عن دور المؤشرات المورفومترية للأحواض المائية الجافة المحسوبة من مخرجات نموذج الارتفاع الرقمي DEM في تقدير كميات التدفق اليومي الأقصى للسيول بتطبيق النماذج الهيدرولوجية العالمية بحوض وادي نمار رافد وادي حنيفة بمنطقة الرياض.

(٤)- النتائج والمناقشة

(أ)- تحليل الخصائص التضاريسية

تؤثرالخصائص التضاريسية بشكل كبير على الخصائص المورفومترية لأحواض التصريف خاصة أحواض الأودية الجافة كما هو الحال بالنسبة لحوض وادي العتك ورولفده بشمالي غرب منطقة الرياض. وتتحكم كذلك الخصائص التضاريسية في قدرة الحوض المائي على تصريف مياه الأمطار عند تساقطها من المنبع حتى المصب وعلى تحويلها إلى مياه جريان سطحي ومياه سيول غزيرة. ويرتبط تباين الخصائص المورفومترية من حوض لأخر بتباين الخصائص التضاريسية. ويرتكز تحليل الخصائص التضاريسية على تحديد جملة من المتغيرات التي يتم حسابها بواسطة معادلات رياضية تساعد في فهم هذه الخصائص.

وتتنوع طرق تحديد المتغيرات التضاريسية لأحواض التصريف بين القياس المباشر بأدوات التحليل المكاني Spatial Analyst المتوفرة في برامج نظم المعلومات الجغرافية كملحق ArcHydro وبرناج WMS و Global Mapper المستخدمة بشكل كبير في حساب الارتفاعات والأطوال والمساحات. ومن أهم المتغيرات التضاريسية التي يمكن الحصول عليها بواسطة هذه الأدوات قيم الارتفاعين الأقصى والأدنى والارتفاع المتوسط وطول محيط الحوض المائي وطول ومتوسط انحدار الحوض المائي وطول المجرى الرئيس (الجدول ٥). وتعد دراسات هورتون Horton بمثابة الأبحاث المؤسسة للنماذج الرياضية لحساب المستخدمة في حساب هذه المتغيرات ويرجع له الفضل الكبير في استنباط المفاهيم التي تأسست عليها مناهج التحليل المورفومتري لاحقاً (Horton, 1932).

وسوف نتناول بالتحليل المتغيرات التضاريسية المؤثرة مباشرة في الخصائص المورفومترية لأحواض روافد وادي العتك المدروسة والتي تسمح بالمقارنة بين هذه الأحواض. ويتم الحصول على قيم المتغيرات المستخدمة في حساب معادلات النماذج المورفومترية من مخرجات نموذج الارتفاعات الرقمية Digital Elevation Model (DEM) باستخدام تطبيقات برنامج Watershed (WMS) Modeling Systems وأدوات التحليل المكاني Spatial Analysis في برنامج ArcGIS.

وتتلخص المتغيرات التضاريسية للأحواض المدروسة في ما يلي : (الجدول ٥)

الجدول ٥ : المتغيرات التضاريسية لأحواض التصريف المدروسة

المتغير	**حوض وادي العتك**	**حوض وادي سدير**	**حوض وادي المياه**
الارتفاع المتوسط (متر)	٧٩١,٥	٧٧٢	٧٧٠
الارتفاع الأدنى (متر)	657	٦٢٨	٦٢٠
الارتفاع الأقصى (متر)	934	٩٢٦	٩٢٨
طول محيط الحوض (كلم)	122.7	١٩١,٢	٢٤٧,٠
طول المجرى المائي الرئيس (كلم)	56.2	٧٢,١	٩٢,٢
نسبة التضاريس النسبية (م/كلم)	٢,٢٦	١,٥٦	١,٢٥

نسبة التضاريس (م/كلم)	٤,٩٣	٤,١٣	٣,٣٤
إجمالي تضاريس الحوض (متر)	٢٧٧,٠	٢٩٨	٣٠٨
التكامل الهيبسومتري (كلم٢/متر)	٠,٤٩	٠,٧٥	٠,٤٩

الجدول ٦ : نتائج المقارنة بين الخصائص التضاريسية لأحواض روافد وادي العتك بطريقة النسب

المتغير	حوض وادي العتك/حوض وادي سدير	حوض وادي العتك/حوض وادي المياه	حوض وادي سدير/حوض وادي المياه
الارتفاع المتوسط (متر)	١,٠٣	1.03	1.00
الارتفاع الأدنى (متر)	1.05	1.06	1.01
الارتفاع الأقصى (متر)	1.01	1.01	1.00
طول محيط الحوض (كلم)	0.64	0.50	0.77
طول المجرى المائي الرئيس (كلم)	0.78	0.61	0.78
نسبة التضاريس النسبية (م/كلم)	1.45	1.81	1.25
نسبة التضاريس (م/كلم)	1.19	1.48	1.24
إجمالي تضاريس الحوض (متر)	0.93	0.90	0.97
التكامل الهيبسومتري	0.65	1.00	1.53

(كلم٢/متر)			

ولقد تم تطبيق طريقة النسب Ratios Method للمقارنة بين الخصائص التضاريسية لأحواض روافد وادي العتك المدروسة (الجدول ٦).

ويتبين من بيانات الجدول ٦ أن الارتفاع المتوسط لحوض وادي العتك يفوق مثيله بحوضي وادي سدير والمياه بما يعادل ٣%، في حين يتماثل الارتفاع المتوسط لحوضي سدير ووادي المياه.

ويفوق كذلك الارتفاع الأدنى لحوض وادي العتك مثيله بحوضي وادي سدير ووادي المياه بما يعادل على التوالي ٥% و ٦% على التوالي. كما يفوق الادنى لحوض وادي سدير نظيره لحوض وادي المياه بما يعادل ١%. أما بالنسبة للارتفاع الأقصى فإن الفروق لم تتعد ١% بين حوضي وادي العتك من جهة ووادي سدير ووادي المياه من جهة ثانية، في حين يتماثل يتماثل الارتفاع الأقصى لحوض وادي سدير مع نظيره لحوض وادي المياه.

ونظراً لارتباط طول محيط الحوض المائي بمساحة تصريفه فإن طول محيط حوض وادي المياه يفوق مثيله بحوضي وادي سدير ووادي العتك بما يعادل على التوالي ٢٣% و ٥٠% كما يفوق طول محيط حوض وادي سدير مثيله لحوض وادي العتك بما يعادل ٣٦%. ونستنتج من هذه الفروق أن خط تقسيم المياه لحوض وادي المياه يتسم بأكبر طول نظراً لكبر مساحة التصريف وأن خط تقسيم المياه لحوض وادي سدير هو أكثر تعرجاً من نظيره لحوض وادي العتك نظراً لتماثل مساحة التصريف بينهما. وتتماثل الفروق بين طول المجرى الرئيس مع الفروق بين طول محيط

الحوض، بحيث نجد أن طول مجرى وادي المياه يفوق مثيله لوادي سدير ولوادي العتك بما يعادل على التوالي ٢٢% و ٣٩% كما يفوق طول مجرى وادي سدير نظيره لوادي العتك بما يعادل ٢٢%.

وعلى العكس من الفروق بين طول محيط الحوض وطول المجرى الرئيس فإن التضاريس النسبية لحوض وادي تفوق مثيلتيها لحوضي وادي سدير ووادي المياه بما يعادل على التوالي ٤٥% و ٨١%، في حين تفوق التضاريس النسبية لحوض وادي سدير نظيرتها لحوض وادي المياه بما يعادل ٢٥%. وتتوافق الفروق بين نسبة التضاريس مع فروق التضاريس النسبية، بحيث أن نسبة تضاريس حوض وادي تفوق نظرتيها بحوضي وادي سدير ووادي المياه بما يعادل على التوالي ١٩% و ٤٨%. كما أن نسبة تضاريس حوض وادي سدير تفوق بما يعادل ٢٤%مثيلتها لحوض وادي المياه. وعلى العكس من التضاريس النسبية ونسبة التضاريس نجد أن إجمالي التضاريس لحوض وادي المياه يفوق مثيله لحوضي وادي سدير ووادي العتك بما يعادل على التوالي ٣% و ١٠%، في حين يفوق إجمالي التضاريس لحوض وادي سدير بما يعادل ١٠% نظيره لحوض وادي العتك.

وتتباين الفروق بين معامل التكامل الهيبسومتري بين الأحواض المدروسة نتيجة اختلاف ديناميكة التعرية بالأحواض المدروسة، بحيث نجد أن معامل التكامل الهيبسومتري لحوض وادي العتك يقل عن نظيره لحوض وادي سدير بما يعادل ٣٥% ويتماثل مع نظيره لحوض وادي المياه. في حين أن معامل التكامل الهيبسومتري لحوض وادي سدير يفوق نظيره لحوض وادي المياه بما

يعادل ٥٣%. وعليه نستنتج أن نشاط التعرية بحوض وادي سدير قطع مرحلة متقدمة من الدورة التحاتية مقارنة بحوضي وادي المياه ووادي العتك.

ومن ما تقدم يتبين أن حوض وادي العتك هو أكثر الأحواض تضرساً وأن حوض وادي سدير قد قطع ٧٥% من دورة التعرية وتمكن من إزالة ¾ المواد الصخرية المنحوتة داخل مساحة تصريفه.

(ب)- تحليل الخصائص المورفومترية للحوض المائي

هناك الكثير من الخصائص المورفومترية الشكلية والمساحية الدالة على الخصائص الهندسية للحوض المائي التي يمكن تحديدها بواسطة معادلات رياضية تمثل العلاقات بين المتغيرات المورفومترية للحوض المائي. ويتم الحصول على قيم هذه المتغيرات من مخرجات نموذج الارتفاعات الرقمية Digital Elevation Model (DEM) باستخدام تطبيقات برنامج نظم المعلومات الجغرافية مثل Watershed Modeling Systems (WMS) وأدوات التحليل المكاني Spatial Analysis في برنامج ArcGIS. وتتمثل أهم هذه الخصائص في ما يلي: (الجدول ٧)

الجدول ٧ : المتغيرات المورفومترية لأحواض الروافد المدروسة

المتغير	الرمز	**حوض وادي العتك**	**حوض وادي سدير**	**حوض وادي المياه**

المساحة (كلم^2)	A	٤٦١,٠	٤٥٥,٦	883.4
طول الحوض (كلم)	L_b	٤٦,٦	٥٤,٠	74.0
متوسط عرض الحوض (كلم)	W_b	٩,٨٩	٦,٣	1119.4
نسبة معامل الشكل	F_f	0.21	0.16	0.16
نسبة الاستطالة	R_e	0.52	0.45	0.45
نسبة الاستدارة	R_c	0.38	0.16	0.18
معامل الاندماج	C_c	1.62	2.54	2.36
معامل الانبعاج	k	3.70	5.03	4.87

الجدول ٨ : القيم المعيارية للمعاملات المورفومترية الخاصة بالشكل الهندسي للحوض المائي

وللمقارنة بين الخصائص الشكلية والمساحية للأحواض المائية المدروسة تم مقارنة قيم المتغيرات المورفومترية للخصائص الشكلية والمساحية للحوض المائي بالقيم المعيارية للشكل الدرائري (الجدول ٨) وكذلك تطبيق طريقة النسب (الجدول ٩).

المعامل	المصدر	الشكل الدائري
نسبة معامل الشكل	Horton,1932	1.277
معامل الاندماج	Gravelius,1914	1.000
نسبة الاستدارة	Miller,1953	1.000
نسبة الاستطالة	Schumm,1956	١,٠٠٠
درجة الاستطالة	Lăzărescu, &Diaconu 1965	1.130
معامل الشكل	Zăvoinau,1978	1.277
معامل الانبعاج	Chorley,1957	1.000

المصدر : عمل الباحث بتصرف عن (Zăvoinau, 1978, p. 105)

الجدول ٩ : نتائج المقارنة بين الخصائص المورفومترية لأحواض روافد وادي العتك بطريقة النسب

المتغير	حوض وادي العتك/حوض وادي سدير	حوض وادي العتك/حوض وادي المياه	حوض وادي سدير/حوض وادي المياه
المساحة (كلم^2)	1.01	0.52	0.52
طول الحوض (كلم)	0.86	0.63	0.73
متوسط عرض الحوض (كلم)	1.17	0.83	0.71
نسبة معامل الشكل	1.36	1.32	0.97

نسبة الاستطالة	1.17	1.15	0.98
نسبة الاستدارة	2.46	2.11	0.86
معامل الاندماج	0.64	0.69	1.08
معامل الانبعاج	0.74	0.76	1.03

يتضح من بيانات الجدول ٩ أن هناك تماثل واضح بين مساحة التصريف لحوضي وادي العتك ووادي سدير، في حين تفوق مساحة التصريف لحوض وادي المياه بما يعادل ٤٨% نظيرتها بحوض وادي العتك ووادي سدير. ويقل طول حوض وادي العتك بما يعادل ١٤% عن نظيره لحوض وادي سدير بما يعادل ٣٧% عن نظيره لحوض وادي المياه، في حين يقل طول حوض وادي سدير عن مثيله لحوض وادي المياه بما يعادل ٢٧%. وترجع هذه التباينات إلى الفروق بين مساحة التصريف لهذه الأحواض من جهة وإلى استطالتها من جهة ثانية.

ونظراً لارتباط متوسط عرض الحوض بالعلاقة بين مساحة التصريف وطول الحوض المائي فإن متوسط عرض حوض وادي العتك يفوق بما يعادل ١٧% نظيره لحوض وادي سدير ويقل بما يعادل ١٧% عن نظيره لحوض وادي المياه، في حين يقل متوسط عرض حوض وادي سدير بما يعادل ٢٩% عن نظيره لحوض وادي المياه. كما يتضح من بيانات الجدول ٩ أن شكل الأحواض المائية الثلاثة يختلف تماماً عن الشكل الدائري كما تعكسه قيم معامل الشكل التي تقل عن القيمة المعيارية ١,٢٧٧. وتتماثل قيم باقي المعاملات الشكلية الأخرى مع معامل الشكل، بحيث تقل قيم

جميع هذه المعاملات عن القيمة المعيارية ١,٠٠٠ التي تدل على الشكل الدائري للحوض المائي. وعليه فإن الخصائص الشكلية للأحواض المائية المدروسة تتماثل بالرغم من الفروق النسبية بينها.

(ج)- تحليل الخصائص المورفومترية للشبكة المائية

تبلغ مجاري حوضي وادي العتك ووادي سدير الرتبة الخامسة بمجموع ٢٠٤ مجرى و ٣٦٦ مجرى على التوالي، في حين تبلغ مجاري حوض وادي المياه الرتبة السادسة بمحموع ٧٤٠ مجرى (الجدول ١٠) و (الشكل ٤ والشكل ٥).

بالاضافة إلى الفروق الموجودة على مستوى إجمالي أعداد المجاري المائية بالأحواض المدروسة فإن هناك فروق أخرى يتسم بها توزيع المجاري حسب الرتب. فمن خلال بيانات الجدول ١٠ نجد أن عدد المجاري التي ساهمت في تشكيل الترتيب الهرمي لمجاري الشبكة المائية بطريقة ستراىلر Strahler يتباين من رتبة لأخرى ومن حوض لأخر. ويبلغ عدد هذه المجاري ٦٤ مجرى في الرتبة الأولى و ٢٢ مجرى في الرتبة الثانية و ٩ مجاري في الرتبة الثالثة بحوض وادي العتك و ١٢٠ مجرى في الرتبة الأولى و ٣٤ مجرى في الرتبة الثانية و ٤ مجاري في الرتبة الثالثة بحوض وادي سدير و ٢٥٠ مجرى في الرتبة الأولى و ٥٢ مجرى في الرتبة الثانية و ١٨ مجرى في الرتبة الثالثة بحوض وادي المياه.

الجدول ١٠ : عدد المجاري ورتبها بالأحواض المائية المدروسة

الرتبة	عدد المجاري		
	حوض وادي العنك	حوض وادي سدير	حوض وادي المياه
الأولى	١٥٧	٢٨٦	572
الثانية	٣٢	٦٠	125
الثالثة	١١	١٧	31
الرابعة	٣	٢	9
الخامسة	١	١	2
السادسة	---	---	1
المجموع	**٢٠٤**	**٣٦٦**	**740**

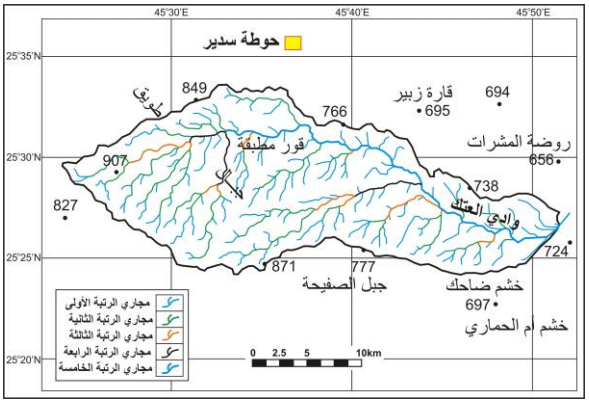
وعليه نجد أن نسبة عدد المجاري التي لم تساهم في الترتيب الهرمي لمجاري الشبكة المائية والتي ترتبط بنشاط التعرية بكل حوض تبلغ ٥٩,٢% من مجاري الرتبة الأولى و ٣١,٣% من مجاري الرتبة الثانية و ١٨,٢% من مجاري الرتبة الثالثة بحوض وادي العنك و ٥٨,٠% من مجاري الرتبة الأولى و ٤٣,٣% من مجاري الرتبة الثانية و ٧٦,٥% من مجاري الرتبة الثالثة بحوض وادي سدير و ٥٦,٣% من مجاري الرتبة الأولى و ٥٠,٤% من مجاري الرتبة الثانية و ٤١,٩% من مجاري الرتبة الثالثة بحوض وادي المياه.

ومن ما تقدم نجد أن إجمالي عدد المجاري التي طورها نشاط التعرية المائية ولم تدخل في الترتيب الهرمي لمجاري الشبكة ١٠٥ مجاري بحوض وادي العتك و ٢٠٥ مجاري بحوض وادي سدير و ٣٩٨ مجرى بحوض وادي المياه. وعليه نجد ان نسبة عدد هذه المجاري يفوق بحوض وادي سدير نظيره بحوض وادي العتك بما يعادل ٤٨,٨%، بينما يفوق عدد هذه المجاري أيضاً بحوض وادي المياه بما يعادل ٧٣,٦% و ٤٨,٥% بحوضي وادي العتك ووادي سدير على التوالي.

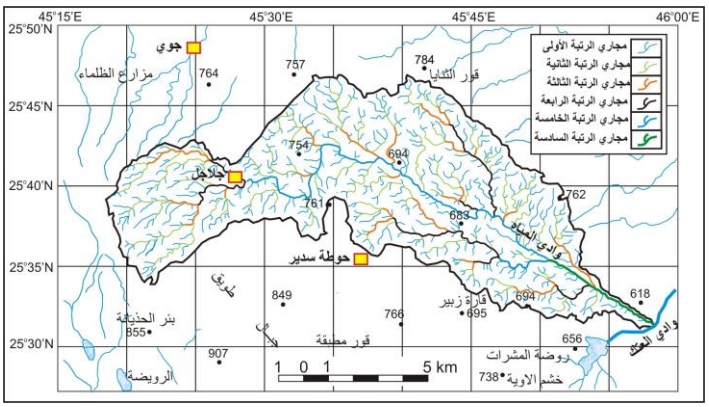
وتتوافق هذه الفروق مع قيم المعامل الهيبسومتري، بحيث يتضح أن نشاط التعرية بحوض وادي سدير أكثر تأثيراً على الترتيب الهرمي لمجاري الشبكة المائية مقارنة مع نظيره بحوض وادي العتك الذي يتماثل معه من حيث مساحة التصريف. في حين يعزى ارتفاع أعداد المجاري المائية بحوض وادي المياه إلى سعة الحوض المائي وكبر مساحة تصريفه بما يعاد ٤٧,٨% و ٤٨,٤% عن مساحة التصريف لحوضي وادي العتك ووادي سدير على التوالي.

ولقد انعكست هذه التباينات على الفروق بين توزيع أعداد مجاري حسب الرتب، بحيث نجد أن عدد مجاري الرتبة الأولى يقل بحوض وادي العتك بما يعادل ٤٥% و ٧٣% عن نظيره بحوضي وادي سدير ووادي المياه. كما أن عدد مجاري هذه الرتبة يقل بحوض وادي سدير بما يعادل ٥٠% عن نظيره بحوض وادي المياه (الجدول١١). ويقل كذلك عدد مجاري الرتبة الثانية بحوض وادي العتك بما يعادل ٤٧% و ٧٤% عن نظيره بحوضي وادي سدير ووادي المياه. كما أن عدد مجاري هذه الرتبة يقل بحوض وادي سدير بما يعادل ٥٢% عن نظيره بحوض وادي المياه. ولا تختلف الفروق بين أعداد مجاري الرتبتين الثالثة والرابعة أيضاً عن هذه الفروق، بحيث يقل عدد مجاري هاتين الرتبتين بحوض وادي العتك بما يعادل ٣٥% و ٦٥% بالنسبة للرتبة الثالثة و بما

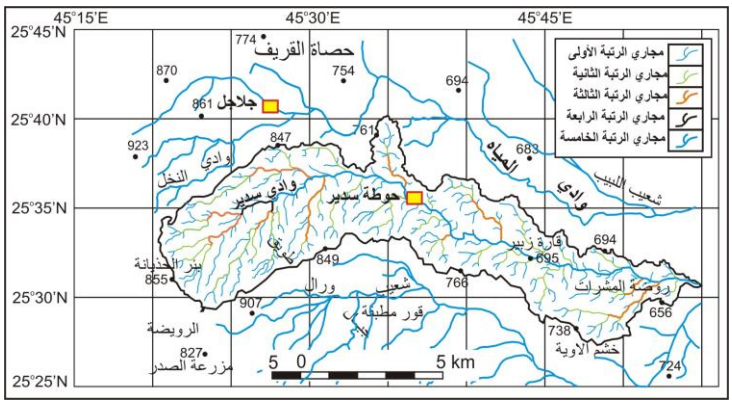
يعادل ٥٠% و ٦٧% بالنسبة للرتبة الرابعة عن نظيره بحوضي وادي سدير ووادي المياه. كما يفوق عدد مجاري الرتبتين الثالثة والرابعة بحوض وادي المياه بما يعادل على التوالي ٤٥% و ٧٨% نظيره بحوض وادي سدير.



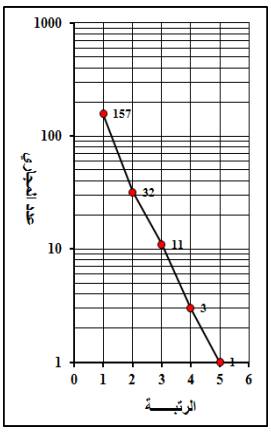
الشكل ٤ أ : خريطة الترتيب الهرمي لمجاري حوض وادي العتك



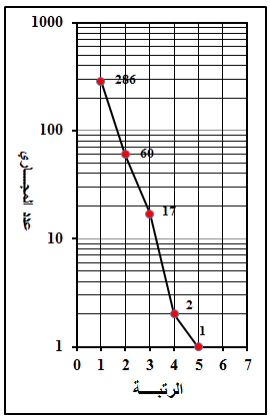
الشكل ٤ ب : خريطة الترتيب الهرمي لمجاري حوض وادي المياه



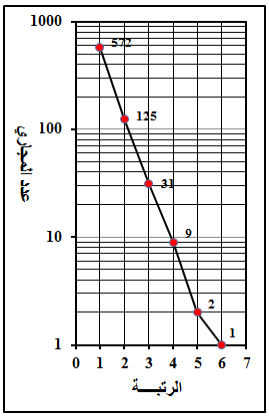
الشكل ٤ ج : خريطة الترتيب الهرمي لمجاري حوض وادي سدير



الشكل أ :حوض وادي العتك



الشكل ب : حوض وادي سدير



الشكل ج :حوض وادي المياه

الشكل ٥ : علاقة عدد المجاري بالرتبة بالأحواض المائية المدروسة

الجدول ١١ : نتائج المقارنة بين أعداد المجاري المائية لأحواض روافد وادي العتك بطريقة النسب

الرتبة	حوض وادي العتك/حوض وادي سدير	حوض وادي العتك/حوض وادي المياه	حوض وادي سدير/حوض وادي المياه
الأولى	٠,٥٥	٠,٢٧	٠,٥٠
الثانية	٠,٥٣	٠,٢٦	٠,٤٨
الثالثة	٠,٦٥	٠,٣٥	٠,٥٥
الرابعة	١,٥٠	٠,٣٣	٠,٢٢
الخامسة	١,٠٠	٠,٥٠	٠,٥٠
المجموع	٠,٥٦	٠,٢٨	٠,٤٩

لقد انعكست الفروق في توزيع أعداد المجاري حسب الرتب على خصائص شبكة المجاري المائية بكل حوض (الجدول ١٢).

الجدول ١٢ : قيم المتغيرات المورفومترية لشبكة المجاري المائية لحوض وادي المياه

المتغير	الرمز	حوض وادي العنك	حوض وادي سدير	حوض وادي المياه
مساحة الحوض (كم^{٢})	**A**	٤٦١,٠	٤٥٥,٦	٨٨٣,٤
محيط الحوض (كم)	**P**	١٢٢,٧	١٩١,٢	٢٤٧,٠
عدد المجاري (مجرى)	**N_u**	٢٠٤	٣٦٦	٧٤٠
مجموع أطوال المجاري (كم)	**L_u**	٤٠٧,٣	٥٣٨,٤	١١١٩,٤
كثافة المجاري (كم/كم^{٢})	**D_d**	٠,٨٨	١,١٨	١,٢٧
تكرارية المجاري (مجرى/كم^{٢})	**F_s**	٠,٤٤	٠,٨٠	٠,٨٤
متوسط أطوال المجاري (كم)	**L_{am}**	٢,٠٠	١,٤٧	١,٥١
كثافة (شدة) التصريف (مجرى/كم^{٢})	**D_i**	٠,٥٠	٠,٦٨	٠,٦٦
نسيج التصريف (مجرى/كم)	**D_t**	١,٦٦	١,٩١	٣,٠٠

يرتبط مجموع أطوال المجاري بأعدادها، بحيث نجد أن إجمالي أطوا المجاري بلغ ٤٠٧,٣ كم بحوض وادي العتك و ٥٣٨,٤ كم بحوض وادي سدير و ١١١٩,٤ كم بحوض وادي المياه. ولا يتناسب إجمالي أطوال المجاري مع الفروق بين مساحة التصريف بالأحواض المذكورة بقدر تناسبه مع معامل التكامل الهيبسومتري الذي يعبر عن مرحلة التعرية التي قطعها كل حوض مائي. وعليه نجد أن مجموع أطوال المجاري لحوض وادي العتك يقل بما يعادل ٢٤% عن نظيره بحوض وادي سدير و ٦٤% عن نظيره بحوض وادي المياه، في حين أن إجمالي أطوال المجاري المائية لحوض وادي المياه يفوق بما يعادل ٥٢% نظيره بحوض وادي سدير.

ولقد انعكست الفروق في العلاقة بين إجمالي أطوال المجاري ومساحات التصريف على كثافة التصريف التي بلغت ٠,٨٨ كم/كم^{٢} بحوض وادي العتك و ١,١٨ كم/كم^{٢} بحوض وادي سدير و ١,٢٧ كم/كم^{٢} بحوض وادي المياه. وعليه فإن كثافة التصريف لحوض وادي العتك تقل بما يعادل ٢٥% و ٣١% عن نظيرتها بحوضي وادي سدير ووادي المياه على التوالي. في حين تفوق كثافة التصريف لحوض وادي المياه تفوق بما يعادل ٧% نظيرتها بحوض وادي سدير. ولا تختلف الفروق بين تكرارية المجاري عن نظيرتها لكثافة المجاري نظراً لارتباط هذه التكرارية بالعلاقة بين عدد المجاري ومساحة التصريف. وعليه نجد أن تكرارية المجاري بلغت ٠,٤٤ مجرى/كم^{٢} بحوض وادي العتك و ٠,٨٠ مجرى/كم^{٢} بحوض وادي سدير و ٠,٨٤ مجرى/كم^{٢} بحوض وادي المياه. وبالتالي فإن تكرارية المجاري لحوض وادي العتك تقل بما يعادل ٤٥% و ٤٨% عن نظيرتها بحوضي وادي سدير ووادي المياه، في حين تقل تكرارية المجاري لحوض وادي سدير بما يعادل ٥% عن نظيرتها لحوض وادي المياه.

ولقد انعكست كذلك الفروق بين عدد المجاري وأطوالها على متوسط أطوال المجاري الذي تمثله العلاقة بين عدد وأطوال المجاري، بحيث بلغ متوسط أطوال المجاري ٢,٠٠ كم بحوض وادي العتك و ١,٤٧ كم بحوض وادي سدير و ١,٥١ كم بحوض وادي المياه. وترتبط هذه المتوسطات بعدد المجاري أكثر من ارتباطها بأطوالها، بحيث يفوق متوسط المجاري بحوض وادي العتك الذي يتسم بأقل عدد من المجاري المائية بما يعادل ٣٦% و ٣٢% عن نظيره بحوضي وادي سدير ووادي المياه على التوالي، في حين يفوق متوسط طول المجاري لحوض وادي المياه بما يعادل ٣% نظيره بحوض وادي سدير.

وتتناسب الفروق في شدة التصريف التي تمثل العلاقة بين تكرارية وكثافة المجاري بين الأحواض الثلاثة مع الفروق بين تكرارية المجاري أكثر من تناسبها مع كثافة المجاري، بحيث نجد أن شدة التصريف تقل بما يعادل ٢٦% و ٢٤% عن نظيرتها بحوضي وادي سدير ووادي المياه، في حين تفوق شدة التصريف بحوض وادي سدير بما يعادل ٣% عن نظيرتها بحوض وادي المياه.

ومن جهة أخرى تتناسب الفروق في نسيج التصريف بين الأحواض المدروسة مع الفروق في تكرارية المجاري وشدة التصريف في نفس الوقت، بحيث يقل نسيج التصريف بحوض وادي العتك بما يعادل ١٣% و ٤٥% عن نظيره بحوضي وادي سدير ووادي المياهعلى التوالي، في حين يفوق نسيج التصريف بحوض وادي المياه بما يعادل ٣٦% عن نظيره بحوض وادي المياه.

الخـلاصة

لقد ساعدت تقنيات التحليل الرقمي على توفير القياسات المورفومترية الأساسية لتحليل الخصائص التضاريسية والمورفومترية للأحواض المائية وللشبكات المائية التي تطورت داخلها باستخدام نماذج الارتفاع الرقمي. وبالتالي فإن البيانات المتاحة التي وفرتها مخرجات نموذج الإرتفاع الرقمي المنتج من المشروع الأمريكي والإيطالي والألماني المشترك عام ٢٠٠٠م SRTM بوضوح مكاني قدره ٣٠ متر عن أحواض أودية العتك وسدير والمياه (روافد وادي العتك) أتاح الفرصة لتحليل الخصائص التضاريسية والمورفومترية لها.

ولقد أظهرت نتائج تحليل الخصائص التضاريسية أن هناك تفاوتاً نسبياً بين ارتفاعات الأحواض المدروسة بنسبة تتراوح بين ١% و ٦%، في حين أن الفروق في طول محيط الحوض تراوح بين ٢٣% و ٥٠% وأن طول المجرى الرئيس يتباين أيضاً بنسبة تتراوح بين ٢٢% و ٣٩%. كما تباينت المؤشرات التضاريسية بين الأحواض الثلاثة، بحيث تراوحت نسبة الفروق بين التضاريس النسبية بين ٢٥% و ٨١% وبين ١٩% و ٤٨% بالنسبة لنسبة التضرس وبين ٣% و ١٠% بالنسبة لإجمالي التضاريس. ولقد أدت البانيات في الخصائص التضاريسية إلى تباين نشاط التعرية بالأحواض المدروسة، بحيث اتسم حوض وادي سدير بمرحلة متقدمة في دورة التعرية أظهرها معامل التكامل الهيبسومتري الذي بلغ ٧٥%.

أما على مستوى الخصائص المورفومترية الشكلية المساحية للأحواض المائية المدروسة فإن المؤشرات المؤشرات المورفومترية المحسوبة دلت على اختلاف طول الأحواض ومتوسط عرضها ومساحة تصريفها بين حوضي وادي العتك ووادي سدير من جهة وحوض وادي المياه من جهة

ثانية. وقد تراوحت الفروق في مساحة التصريف بين ١% و ٤٨% وفي طول الحوض بين ١٤% و ٣٧% وفي متوسط عرض الحوض بين ١٧% و ٢٩%.

ولقد أدت الفروق في الخصائص التضاريسية والمورفومترية إلى وجود فروق واضحة في الخصائص المورفومترية للشبكة المائية، بحيث بلغ عدد المجاري التي ساهمت في الترتيب الهرمي للمجاري المائية ٩٩ مجرى بحوض وادي العتك و ١٦١ مجرى بحوض وادي سدير و ٣٤٢ مجرى بحوض وادي المياه، أي بما يعادل نسبة ٤٨,٥% و ٤٤,٠% و ٤٦,٢% من إجمالي عدد مجاري الشبكة المائية بكل حوض.

المـــراجع

- البريدي، تركي بن جار الله (٢٠١٣) : التحليل المورفومتري وتقدير التدفق السيلي لشبكة التصريف المائي السطحي لحوض وادي العمارية ، رسالة ماجستير غير منشورة ، قسم الجغرافيا ، كلية الآداب ، جامعة الملك سعود ، الرياض.

- الحربي، نوير مسري (٢٠٠٧) : النمذجة الآلية لحوض وادي ملكان باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ونماذج، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، جامعة أم القرى ، مكة المكرمة.

– الحواس، عساف علي (٢٠٠٧) : توظيف تكاملي لتقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية لتحديد وتحليل الخصائص الهيدرومورفومترية لأحواض التصريف الصحراوية، الجمعية الجغرافية السعودية، الرياض.

– الخريطة الطوبوغرافية ١/٢٥٠٠٠٠ ، لوحة المجمعة ، Sheet NG38-11 ، طبعة 1-SA- ASD ، وزارة البترول والثروة المعدنية ، إدارة المساحة الجوية ، الرياض.

– الخفاجي، سرحان نعيم (٢٠١٥). الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لحوض وادي قرين الثماد في بادية العراق الجنوبية (بادية النجف)، قسم الجغرافيا، كلية التربية للعلوم الانسانية، جامعة المثنى، ٣٦ صفحة.

– الرشدان، سعيداء بادي (٢٠١١). التحليل المورفومتري وتقدير التدفق السيلي لشبكة التصريف المائي السطحي لحوض شعيب مزيرعة، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الملك سعود، الرياض.

– الرواشدة، شذا ؛ مصاوره، طالب ؛ طاران، عايد (٢٠١٧). الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لحوض وادي الحسا باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ونماذج الارتفاعات الرقمية، مجلة جامعة النجاح (العلوم الانسانية)، المجلد ٣١ ، العدد ٦: ٩٦٥-٩٩٦.

– آل سعود ، مشاعل بنت محمد (٢٠٠٠) : نمذجة التحليل المورفومتري لشعيب نساح، سلسلة بحوث جغرافية ، العدد ٤٥ ، الجمعية الجغرافية السعودية، الرياض.

– الصالح، محمد عبدالله، (١٩٩٩) : استخدام صور الماسح الموضوعي المحسنة والخرائط الطبوغرافية للتحليل المورفومتري في حوضي وادي عنان ووادي مزيرعة بوسط المملكة العربية السعودية، مجلة جامعة الملك سعود مجلد (١١) الآداب (٢) ص ص ٢٨٧ – ٣٠٤.

– الطريقي ، إنتصار أبو عاقلة (٢٠١٦) : الخصائص المورفومترية لحوض الدندر، مجلة آداب النيلين – كلية الآداب – جامعة النيلين – السودان.

– المغير، ندى محمد (٢٠١٤) : تقدير التدفق السيلي لشبكة التصريف المائي السطحي بحوض وادي نمار ، رسالة ماجستير غير منشورة ، قسم الجغرافيا ، كلية الآداب ، جامعة الملك سعود ، الرياض.

– النفيعي، هيفاء محمد (٢٠١٠). تقدير الجريان السطحي ومخاطره السيلية في الحوض الأعلى لوادي عرنه شرق مكة المكرمة بوسائل الاستشعار عن ونظم المعلومات الجغرافية، قسم الجغرافيا، كلية العلوم الاجتماعية، جامعة أم القرى.

– بدر، هدى هاشم (٢٠١٢). التحليل المورفومتري الكمي لحوض وادي المرو وتقييم توعية المياه الجارية فيه، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، المجلد ٢٨، العدد : ٣٩–٥٢.

– بوروبة ، محمد فضيل (٢٠٠٧) : دراسة هيدرومورفومترية لتقدير حجم سيول حوض وادي عتود بالمملكة العربية السعودية ، سلسلة الإصدارات الخاصة ، العدد ٢١ ، السنة ٣٣ ، مركز دراسات الخليج والجزيرة العربية ، مجلس النشر العلمي ، جامعة الكويت ، محرم ١٤٢٧ هـ (فبراير ٢٠٠٧م).

– بوروبة ، محمد فضيل ؛ الجعيدي ، فرحان الحسين (٢٠٠٧). تقدير تدفق الذروة للسيول بحوض وادي العين بمحافظة الخرج في المملكة العربية السعودية ، مركز بحوث كلية الاداب ، العدد ١٢١ ، عمادة البحث العلمي ، جامعة الملك سعود.

– تيم، فيروز كامل (٢٠١٥). حوض وادي زفلاب (الأردن) : دراسة جيومورفولوجية، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، شؤون البحث العلمي والدراسات العليا، الجامعة الاسلامية، غزة، فلسطين.

- جاري ، طلال مريوش و الحسين، ضياء الدين (٢٠١٢) : مورفومترية حوض نهر الزعفران شمال شرق محافظة ميسان دراسة في الجيومورفولوجيا التطبيقية ، مجلة كلية التربية ، قسم الجغرافيا، جامعة واسط ، العدد ١٠ : ٣٢٩ - ٣٤٦.

- حبيب، زينب حسن (٢٠١٢). التحليل المورفومتري لشبكة التصريف المائي لحوض وادي شنان باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية، مجلة البحوث الجغرافية، العدد ١ : ٣٤٣-٣٥٥، جامعة الكوفة.

- علاجي ، آمنة أحمد (٢٠١٠) : تطبيق نظم المعلومات الجغرافية في بناء قاعدة بيانات للخصائص المورفومترية ومدلولاتها الهيدرولوجية في حوض وادي يلملم، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية العلوم االجتماعية، جامعة أم القرى.

- عبد الغني، عماد طلفاح ؛ إبراهيم، مثنى خليل ؛ عبد الحميد، عصام محمد (٢٠١٧). التحليل المورفومتري لوادي حوران باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، مجلة الأنبار للعلوم الزراعية، المجلد **١٥** ، عدد ١ : ٣٧-٥٤.

- Abdel-Fattah, M., Mohamed Saber M., Kantoush, S. A., Khalil, M. F., Sumi, T., & Sefelnasr, A. M. (2017). A Hydrological and

Geomorphometric Approach to Understanding the Generation of Wadi Flash Floods, *Water*, **9**, 2-27.

- Ali, U., Ali, S. A., Ikbal, J., Bachir, M., Fadhl, M., Ahmad, M., Al-Dharab, H., & Ali, S. (2018). Soil Erosion Risk and Flood Behaviour Assessment of Sukhnag catchment, Kashmir Basin: Using GIS and Remote Sensing, *Journal of Remote Sensing & GIS*, *7*, (1) 1-8.

- Al-Shammary, S. (2012). Morphometric Analysis of Diwearege River Basin (Iraq Iran cross border River- Messan province (Iraq) Using Remote Sensing and GIS Techniques, *Wasit Journal for Science & Medicine*, *5*, (1), 49-59.

- Altaf, F., Meraj, G., & Romshoo, S. A. (2013). Morphometric Analysis to Infer Hydrological Behaviour of Lidder Watershed, Western Himalaya, India, *Hindawi Publishing Corporation Geography Journal*, Volume **2013**, Article ID 178021, 14 pages.

- Ansari, Z. R., Rao Laqat, A. K., & Saran, S. (2013). Comparative Study of Morphometric Parameters derived from Topographic Maps and ASTER DEM, *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 8, 508-528.

- Chorley, R. J. (1957). Illustrating the Laws of Morphometry , Geologic Magazine , vol. XCIV. No 2.

- Diaconu, D., & Lăzărescu, D. (1965). Hydrology, Ed. Didactică şi pedagogic, Bucarest.

- Faniran, A. (1968). The index of drainage intensity : A provisional new drainage factor, *Australian Journal of Science, **31***, pp. 328-330.

- Gravelius, H. (1914). Flußkunde , Gosche'sche Verlagshandlung , Berlin.

- Gregory, K. J., & Walling, D. E (1973). Drainage basin Form and Process : A Geomorphological Approach , Edward Arnold (Publisher Ltd) , London.

- Gupta, C., Palimar, V., Saxena, A., Sylvan, A., & D'souza, A. S. (2014). A morphometric study of measurements of heart in adults and its relation with age and height of the individual: A post-mortem study, ***1***, 4 (2), 63-265.

- Hajam, R. A., Hamid, A., Dar, N. A., & Ullah Bhat, S. (2013). Morphometric analysis of vishav drainage basin using geo-spatial technology (GST), *International Research Journal of Geology and Mining (IRJGM)* (2276-6618), Vol. ***3***,(3), 136-146.

- Horton, R. E. (1932), Drainage basin characteristics, Trans American Geophysics Union, ***13***, pp 350-361.

-- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins, *Geological Society American Bulletin*, **56**, pp. 275-370.

- Kabite, G., Gessesse, B. (2018). Hydro-geomorphological characterization of Dhidhessa River Basin, Ethiopia, *International Soil and Water Conservation Research* ***6***, 175-183.

- Mandi, S. & Soren, K. (2015). Morphometric Analysis of Daluaghat Drainage basin in Giridih District, Jharkhand, India, *International Journal of Science and Research*, ***5***, 7, 597-601.

- Miller, V. C. (1953). A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristic in the clinch, Mountain area, Verdinia and Tennessee, Project NR Tech. Rept.3 Columbia University, Department of Geology, ONR, Geography branch, New York, pp 389-042

- Pareta, K. & Pareta, U. (2011). Quantitative Morphometric Analysis of a Watershed of Yamuna Basin, India using ASTER (DEM) Data and GIS, *International Journal of Geomatics and Geoscinces, Volume* ***2,*** 12, 48-269.

- Pike, R. J, & Wilson, S. E. (1971), Elevation-relief ratio: hypsometric integral and geomorphic area-altitude analysis, *Geological Society American Bulletin 82*, 1079-1084.

- Rao, L. A. K., & Yusuf, A. A. (2013). Morphometric analysis for soil erosion assessment in parts of Chambal basin using remote sensing and GIS, Madhya Pradesh, *International Journal of Advanced Technology & Engineering Research (IJATER), **3***, 3,134-141.

- Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey, *Geological Society American Bulletin*, ***67***, pp. 597-646.

- Shrivastava, L., Nag, S., & Rani, R. (2017). GIS - based morphometric analysis of Pench river basin, *International Journal of Recent Scientific Research*, ***8***, 5, 16953-16969.

- Sidral, A., & Zende, A. M. (2016). Quantitative evaluation of Morphometric parameters of Sakli river using Geospatial Techniques, *National Conference on Water Resources & Flood Management with special reference to Flood Modeling, October 14*-15, 2016 SVNIT Surat, WRM-16-1.

- Singh, O., Sarangi, A, & Sharma, M. C. (2008). Hypsometric Integral Estimation Methods and its Relevance on Erosion Status of North - Western Lesser Himalayan Watersheds, *Water Resources Management* ***22***,1545-1560.

- Smith, K. G. (1950). Standards for grading texture of erosional topography, *American Journal of Science, 248,* 655-668.

- Sreedevi, P. D., Sreekanth, P. D., Khan, H. H. & Ahmed, S. (2013). Drainage morphometry and its influence on hydrology in an semiarid region Using SRTM data and GIS, *Environment Earth Science*, ***70***, 839-848.

- Sreenivasulu Laqat. V., Rai, S. P. & Kumar, K. (2017). Geomorphological Study of Devak Basin, Report CS/AR-33, National Institute of Hydrology, Jal Vigyan Bhawan , Roorkee, India.

- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric Analysis of Erosional Topography, Bulletin of the Geological Society of America, 63, pp 1117-42.

- Strahler, A. N. (1964). Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks , In V.T. Chow (ed.), Handbook of Applied Hydrology , 4-39/4-76.

- Valset, D., Brosse, J. M., Breton, J. P., Manivit, J. ; LeStrat, P. ; Fourniguet, J. & Shorbaji, H. (1988) : Geologic map of Shaqrã' quadrangle, 1/250000, Sheet 25H, Deputy for mineral resources, Ministry of petroleum and mineral resources.

- Waikar, M. I. & Nilawar, A. P. (2014). Morphometric Analysis of a Drainage Basin Using Geographical Information System: A Case study,

International Journal of Multidisciplinary and Current Research, Jan/Feb 2014: 179-184,

Available at: http://ijmcr.com.

- White, J., Hall, R, I., Wolfe, B. B., Light, E. M., Macrae, M. L., & Fishback, L.A. (2014). Hydrological Connectivity and Basin Morphometry Influence Seasonal Water-Chemistry Variations in Tundra, Ponds of the Northwestern Hudson Bay Lowlands, *Arctic, Antarctic, and Alpine Research,* ***46***, 1, 218-235.

- Zăvoinau I. (1978). Morphometry of hydrographic basins, Ed. Academiei Bucarest.