٣

التحليل المورفومتري لحوض وادي حرض في الجمهورية اليمنية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية

إعداد الدكتور/ ياسين أحمد عبد الله القحطاني

أستاذ الجغرافيا الطبيعية المساعد كلية التربية -جامعة صنعاء

ملخص البحث:

تهدف الدراسة إلى دراسة وتحليل الخصائص المورفومترية لحوض وادي حرض وبناء قاعدة بيانات جغرافية للحوض باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية. يشغل حوض وادي حرض مساحة تبلغ ١٢٣٨,٦كم٢ ، وهو أحد أحواض الأودية المائية الهامة في الجزء الشمالي الغربي من اليمن ، والذي يقع فلكيا بين دائرتي عرض ٢٢ً ١٣َ ١٦ْ – ٧ً ٤٠َ ١٦ْ شمالا ، وخطي طول ٤٨ً ٤٥َ ٤٢ْ – ٤٠ً ٣٣َ ٤٣ْ شرقا بالقرب من الحدود اليمنية السعودية ، وقد تم اشتقاق الخصائص المورفومترية للحوض وشبكة تصريفه بطريقة آلية باستخدام برنامج ArcGIS 10.2 ، واعتمادا على ملفات الارتفاعات الرقمية DEM نموذج SRTM3 بدقة ٩٠ متر ، وبتطبيق عدد من المعادلات المورفومترية داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية وتخزينها في قاعدة البيانات الخاصة بالحوض ، و تمثل هذه الدراسة نموذجا تطبيقيا لإمكانية استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية في إنشاء قاعدة بيانات جغرافية لأي حوض تصريف مائي. وتوصلت الدراسة إلى أن الحوض يتألف من٩٦٨٠ مجرى يصل إجمالي أطولها إلى حوالي ٤١٥٥,٢ كم ، وأن الحوض يتألف من ١٥ حوضا ثانويا وينتمي إلى الرتبة السابعة.

المقدمة:

تعد الدراسات المورفومترية لأحواض التصريف أحد أهم الاتجاهات التطبيقية لعلم الجيومورفولوجيا ، وتعد الأساس الضروري الذي تعتمد عليه العديد من الدراسات الجغرافية و الهيدرولوجية والزراعية والبيئية أو أية دراسات تطبيقية أخرى لهذه الأحواض. وقد أخذ التحليل المورفومتري مكانا هاما في الدراسات الجيومورفولوجية المختلفة وحل بشكل سريع محل وسائل وأساليب الوصف التقليدية فيما يخص أغلب الموضوعات الجيومورفولوجية و منها تحليل أحواض وشبكات التصريف النهري (محمد صبري محسوب ، ٢٠٠١م ، صـ٢٠٢)

ويعرّف مصطلح المورفومتري (Morphometry) بقياس الشكل ، حيث يعتمد على قياس الأشكال الأرضية ومعالجتها كميا ، من خلال تطبيق العديد من المعادلات الرياضية والأساليب الإحصائية على البيانات المأخوذة من الخرائط الطبوغرافية والقياسات الحقلية والصور الجوية والمرئيات الفضائية (غزوان سلوم ، ٢٠١٢م ، صـ٣٧٥) ويستخدم القياس المورفومتري في التحليل الكمي لارتفاعات سطح الأرض وهيئة وأبعاد الأشكال الأرضية ، ولتسهيل وصف المظاهر التضاريسية وتحديد خصائصها بدقة عالية ، ويستخدم كذلك في التحليل المكثف للوحدات المورفولوجية الصغيرة خاصة أحواض التصريف (آمال إسماعيل شاور،١٩٨٢م ص ص ٤٠ ، ٤١) ، وتقوم مورفومترية حوض التصريف على أساس أنه عبارة عن نظام مورفولوجي تحكمه وتضبط خواصه الهندسية قوانين ذات علاقات وظيفية متبادلة ، ولا يمكن تعيين تلك العلاقات إلا بعد دراسة العناصر المختلفة للحوض التي يمكن قياسها (أحمد أحمد مصطفى ، ١٩٨٧م ، صـ ٢٤١)

وتعود بدايات الدراسات المورفومترية إلى أربعينات وخمسينات القرن العشرين متمثلة بالدراسات التي قام بها هورتن(Horton,1945) ومن تبعه من الباحثين أمثال استريلر (Strahler,1954) ، شوم(Schumm,1956) ، شورلي (Chorley,1966) وغيرهم . وقد اعتمدت الدراسات المورفومترية لأحواض التصريف في بداياتها على استخلاص وقياس المتغيرات المورفومترية - خاصة

شبكة التصريف - للأحواض من الخرائط الطبوغرافية والعمل الحقلي والصور الجوية ، وقد أثبتت كثير من الدراسات عدم دقة هذه المصادر ، حيث تخضع لاجتهادات الباحثين وخبراتهم ، وتتأثر كذلك بمقياس رسم الخرائط المستخدمة، كما أنها تحتاج إلى جهد ووقت كبيرين ، لذلك ظهرت محاولات جادة منذ نهاية الستينات لاستخدام بيانات الأقمار الصناعية لتلافي الأخطاء في الطرق التقليدية (سعد أبو راس الغامدي ، ٢٠٠٤م ، صـ ٢٩١)

وقد شهدت فترة ستينات القرن العشرين تطورا هائلا في صناعة الحاسوب والبرمجيات المرتبطة به ، وساعد ذلك على ظهور تقنية نظم المعلومات الجغرافية (قاسم الدويكات ، ٢٠٠٣م، صـ ٢٠) Geographic Information System(GIS) ، والتي أصبحت من أحدث مجالات الحاسب الالي التطبيقية التي تساهم في دعم الدراسات الجغرافية المعاصرة وتدعم الفكر الجغرافي التطبيقي المعاصر(محمد الخزامي عزيز ، ١٩٩٨م ، صـ٣) ونظرا لما تمتلكه هذه التقنيات من قدرات فائقة في تحليل ومعالجة و نمذجة البيانات التي يمكن استخلاصها من صور الاقمار الصناعية وغيرها من المصادر ، توالت الدراسات التي استخدمت هذه التقنيات في البحوث الجغرافية عامة و الجيومورفولوجية خاصة بما فيها مورفومترية أحواض وشبكات التصريف.

ومع ظهور وانتشار ملفات الارتفاعات الرقمية[1] Digital Elevation Model (Dem) أصبحت منذ نهاية الثمانينات من القرن العشرين وسيلة ومصدرا حديثا لاستخلاص المتغيرات المورفومترية لأحواض التصريف (سعد أبو راس الغامدي ،٢٠٠٦م ، ص٣) ونظرا لطبيعتها الرقمية المتوافقة مع الحاسوب ،إضافة إلى توافرها بصورة مجانية في كثير من مواقع الانترنت ، وبدقة تصل إلى ٣٠ متر لأغلب مناطق العالم ، ومع الانتشار الواسع والتطور الهائل لتقنيات نظم المعلومات

١) ملفات الارتفاعات الرقمية : هي نموذج رقمي أو تمثيل رقمي ثلاثي الابعاد لسطح الأرض يتم استنتاجها من الخرائط الطبوغرافية أو الأعمال الحقلية الجيوديسية أو الصور الجوية أو المرئيات الفضائية ، وتظهر على شكل مصفوفة منتظمة من الخلايا ذات الابعاد المتساوية لنقاط الارتفاعات المعرفّة الإحداثيات الطولية والعرضية ، بحيث تحتوى كل خلية منها على بيانات ثلاثية الابعاد (z.y.x) وكلما كان حجم الخلية اصغر كلما زادت قدرة التمييز المكانية والعكس صحيح.

الجغرافية ، الذي زاد من إمكانية القيام بالكثير من القياسات والتحليلات الكمية بدرجة عالية من الدقة والسرعة لا تتوفر في الطرق التقليدية ، كل ذلك جعلها من أكثر الأساليب المستخدمة في الدراسات الجيومورفولوجية عامة وأحواض التصريف خاصة ، وبديلا ناجحا للطرق التقليدية كما أكدت كثير من الدراسات الحديثة[٢]

٢) على سبيل المثال لا الحصر دراسات (سعد أبو رأس الغامدي ، ٢٠٠٤م) ، (Al-Ahmadi,2005)، (سعد أبو رأس الغامدي ، ٢٠٠٦م)، (نوير الحربي ، ٢٠٠٧) ، (حنان الغيلان ، ٢٠٠٨ م) ، (SREEDEVI, P. & Others ,2009) (ياسين القحطاني ، ٢٠١٠م) ، (هيفاء النفيعي ، ٢٠١٠م) ، (آمنة علاجي ، ٢٠١٠م) ، (يحي محمود ابو حصيرة ، ٢٠١٣م) ، (ماجدة الدعدي ، ٢٠١٤م)،(محمد عبدالله برقان ، ٢٠١٥م)

منطقة الدراسة:

يقع حوض وادي حرض في الجزء الشمالي الغربي من اليمن بالقرب من الحدود اليمنية السعودية ، ويقع فلكيا بين دائرتي عرض ٢٢ً ١٣َ ١٦ْ – ٧ً ٤٠َ ١٦ْ شمالا ، وخطي طول ٤٨ً ٤٥َ ٤٢ْ – ٤٠ ً ٣٣َ ٤٣ْ شرقا ، وهو يتبع هيدرولوجيا حوض البحر الأحمر[٣] ، و تشكل الأجزاء العليا والوسطى من الحوض جزءا من المرتفعات الغربية في حين تعد الأجزاء الدنيا منه جزءا من سهل تهامة الساحلي. ويشترك حوض وادي حرض بخط تقسيم المياه مع حوض وادي مور من الشرق وحوض وادي تعشر من الشمال وأحواض أودية حيران والشّعاب(رحبان) والحثيرة من الجنوب وينتهي إلى البحر الأحمر من ناحية الغرب شكل(١)

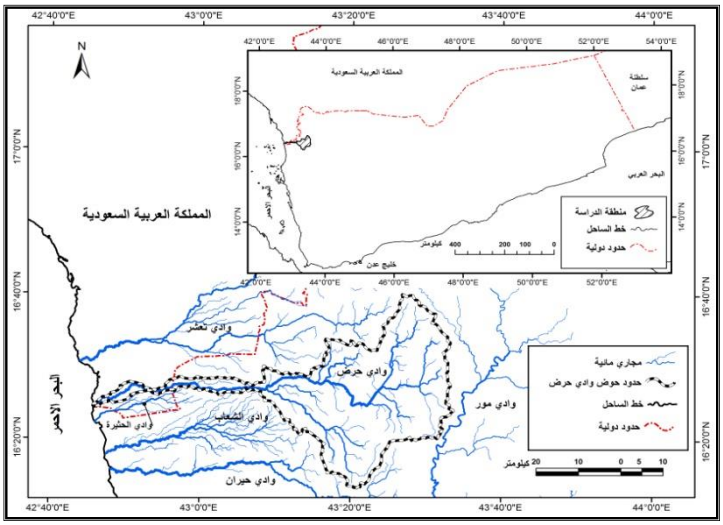
ويمتد حوض وادي حرض من الشرق إلى الغرب ، و يتميز بأتساعه في الشرق حيث يصل أقصى اتساع له إلى حوالي ٣٧ كم ، ويضيق كلما اتجهنا غربا ليصل إلى أقل من كيلومتر واحد في بعض المناطق ، وتمتد المنابع العليا له من السفوح الجنوبية لجبل شعران (٢٤٨٠متر) مرورا بجبل جرف النسور (٢١٢٠متر) في حيدان في أقصى الشمال الشرقي من الحوض ثم جبال البركة (١٧٥٠متر) وبعلان (١٤٨٠متر) ورحبان (١١٢٦متر) ونوّه (١٦٥٠متر) في بكيل المير وجبال الحويل (١٥٥٠متر) في قارة وجبل الكولة (١٨٠٠متر) وجبل المحرّق (١٨٧١متر) في وشحة ومرتفعات مستباء في الجنوب ، بينما تشغل الأجزاء الدنيا منه جزءاً من سهل تهامة الساحلي حيث يمتد مجراه شمال مدينة حرض ويستمر امتداده غربا ليقطع الحدود اليمنية السعودية ليصل إلى شمال قرية الموسم التابعة لمنطقة جازان السعودية ثم إلى البحر الأحمر(٤)

---

٣) يشمل حوض البحر الأحمر جميع المناطق الواقعة غرب خط تقسيم المياه الرئيسي - الذي يمر بذرى جبال اليمن ويقسم اليمن إلى عدة أحواض هيدرولوجية ليضم جميع الأودية المتجهة غربا ، والتي تضم العديد من الأودية أهمها من الشمال إلى الجنوب أودية حرض ، حيران ، مور ، سردد ، سهام ، رماع ، زبيد ، نخلة ، رسيان ، موزع ، و تمثل الأجزاء العليا والوسطى من أحواض الأودية الكبيرة منها جزءا من المرتفعات الغربية في حين تشكل الأجزاء الدنيا من أحواضها جزءا من سهل تهامة الساحلي.

٤) ابتداءً من شمال شرق مدينة حرض يتفرع المجرى الأدنى لوادي حرض إلى فرعين الأول يسمى وادي ابن عبدالله ويستمر ليقطع الحدود السعودية اليمنية ليصل إلى مصبه في البحر الأحمر (Tihama Development Authority,2001,p56) وهو المجرى الرئيسي الحالي والثاني وادي رحبان وهو المجرى القديم لوادي حرض ويصل

شكل(١) موقع و حدود منطقة الدراسة



من عمل الباحث

مشكلة الدراسة:

تتمحور مشكلة الدراسة في الإجابة على السؤالين التاليين:

- ماهي الخصائص المورفومترية لحوض وادي حرض؟

- كيف يمكن تطبيق تقنية نظم المعلومات الجغرافية في دراسة الخصائص المورفومترية لحوض وادي حرض وأحواضه الثانوية؟

أهمية الدراسة:

تكمن أهمية الدراسة في ثلاث نواحي الأولى: أهمية مكانية تتمثل بتناولها لأحد الأحواض المائية الهامة في الجزء الشمالي الغربي من اليمن (حوض وادي حرض) والذي يفتقر لأية دراسات ، باستثناء بعض الإشارات الطفيفة في دراسات عامة عن اليمن أوعن سهل تهامة ولذلك تأتي هذه الدراسة كحاجة ضرورية لإبراز الخصائص الطبيعية و المورفومترية لهذا الحوض الهام ، والناحية

إلى مدينة ميدي (الخريطة الطبوغرافية ١: ٥٠٠٠٠ لوحة ميدي رقم 1642 D2 ، مصلحة المساحة ، صنعاء ، ١٩٨٥م) ، (برنامج Google Earth)

الثانية: أهمية موضوعية تتمثل بتناولها لمورفومترية حوض وادي حرض ، والتي تعد من الموضوعات الأساسية والهامة للعديد من الدراسات التطبيقية سواءً الجيومورفولوجية أو الهيدرولوجية أو البيئية أو أي دراسات تساعد في وضع خطط تنمية الحوض أو تساعد في درء أخطار السيول المتكررة الحدوث ، بالإضافة إلى أنها تعد امتدادا لدراسات قام بها الباحث وباحثين آخرين لأودية حوض البحر الأحمر والأحواض الهيدرولوجية الأخرى في اليمن ، بهدف بناء قاعدة بيانات جغرافية تشمل الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لهذه الأحواض ، خاصة أن أغلبها تفتقر لوجود محطات أو بيانات هيدرولوجية. والناحية الثالثة: أهمية تقنية تتمثل في استخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية في استخلاص الخصائص المورفومترية لحوض وادي حرض بطريقة آلية ، والتي تعد أكثر سرعة و دقة من الطرق التقليدية التي كانت تعتمد في دراسات أحواض التصريف على استخلاص خصائصها المورفومترية من الخرائط الطبوغرافية والعمل الحقلي والصور الجوية ، حيث تتأثر دقة نتائج هذه الطرق بالعديد من العوامل مثل خبرة الباحث ومقياس الخريطة المستخدمة ، بالإضافة إلى أنها تحتاج إلى جهد ووقت كبيرين ، فقد جاءت هذه الدراسة لمعالجة ذلك من خلال إبراز كيفية تطبيق هذه التقنية الحديثة التي شاع استخدامها في كثير من المجالات والعلوم وخاصة العلوم المكانية والأرضية ومنها الجغرافيا.

أهداف الدراسة:

يتمثل الهدف الرئيسي للدراسة في دراسة و تحليل الخصائص المورفومترية لحوض وادي حرض وبناء قاعدة بيانات جغرافية للحوض باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية ، ولتلبية ذلك ينبغي تحقيق الأهداف الجزئية التالية:

١ - تحديد حوض وادي حرض وروافده واستخلاص شبكة تصريفه بطريقة آلية داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية بالاعتماد على ملفات الارتفاعات الرقمية Dem.

٢ - دراسة العوامل الطبيعية المؤثرة في الخصائص المورفومترية والمتمثلة في العوامل الجيولوجية ، و الطبوغرافية ، والمناخية للحوض ، وإبراز دورها في تحديد خصائصه المورفومترية.

٣ - اشتقاق المتغيرات المورفومترية على مستوى الحوض الرئيسي وأحواضه الثانوية ، وذلك بتطبيق المعادلات المورفومترية داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية وتخزينها في قاعدة بيانات خاصة بالحوض.

٤ - تحليل وتفسير الخصائص المورفومترية للحوض الرئيسي والأحواض الثانوية وابراز دلالاتها الجيومورفولوجية والهيدرولوجية.

٥ - إنشاء خرائط رقمية للمتغيرات المورفومترية وموضوعات الدراسة الأخرى.

مناهج وأساليب الدراسة:

اعتمدت الدراسة على المنهج الموضوعي في دراسة الخصائص الطبيعية لحوض وادي حرض ذات العلاقة بموضوع البحث، في إطار منهج موضوعي شامل للواقع الجغرافي بأبعاده الثلاثة التوزيع - الربط - التعليل. وعلى المنهج الإقليمي بدراسة حوض وادي حرض باعتباره إقليم جغرافي طبيعي محدد المعالم له خصائص وسمات متجانسة تميزه عن غيره من الأحواض ، وكذلك دراسة الأحواض الثانوية التي يتكون منها الحوض وإبراز التباين فيما بينها في الخصائص المورفومترية.

وقد اعتمدت الدراسة على الأساليب التالية:

الأسلوب الوصفي التحليلي: للخصائص الطبيعية المؤثرة في مورفومترية حوض التصريف وإبراز دورها في تحديد هذه الخصائص ، بالإضافة إلى وصف وتحليل ما نتج عن تطبيق المعادلات المختلفة من نتائج وعمل المقارنات حسب ما تقتضيه الحاجة.

الأسلوب الكمي: وذلك بتطبيق العديد من المعادلات الرياضية لإيجاد المتغيرات المورفومترية على مستوى الحوض وأحواضه الثانوية ، بالإضافة إلى معالجة البيانات باستخدام بعض الطرق الإحصائية كمعامل الارتباط والانحراف المعياري ومعامل الاختلاف.

الأسلوب الكارتوغرافي: لتمثيل الخصائص المورفومترية المدروسة في صورة خرائط موضوعية اعتمادا على قاعدة البيانات الخاصة بالحوض وأحواضه الثانوية والمخزنة في بيئة نظم المعلومات الجغرافية ، وذلك باستخدام برنامج ArcGIS v. 10.2 [٥].

تقنية نظم المعلومات الجغرافية : وهي عبارة عن منظومة أدوات برامجية حاسوبية تقوم بعدة مهام أو وظائف تتمثل في إدخال وتخزين ومعالجة وتحليل وعرض البيانات الجغرافية لتحقيق أهداف وأغراض محددة (بدر الدين طه عثمان ، ٢٠٠٧ ، صـ ٥٩) ويمكن أن ينظر لها على أنها طريقة أو أسلوب لتنظيم المعلومات الجغرافية (المكانية)Spatial والوصفية Descriptiveبواسطة الحاسوب، وربطها بمواقعها الجغرافية اعتمادا على إحداثيات Coordinates معينة ، وهي بذلك تتكون من ثلاثة أجزاء هي: النظم Systems والمعلومات Informationوالجغرافيا Geographic أو العنصر المكاني (قاسم الدويكات ، ٢٠٠٣م، صـ ١٩) ولذلك تمثل هذه التقنية الوسيلة الرئيسية لعمل قاعدة بيانات جغرافية للحوض المدروس عن طريق إدخال البيانات المكانية Spatial Data [٦] في هيئة شبكية Raster أو هيئة خطية Vector ، والبيانات غير المكانية أو الوصفية Descriptive Data مثل البيانات الإحصائية والبيانات المناخية وغيرها من البيانات الوصفية والربط بينهما ، وذلك لعمل المعالجة اللازمة والتحليل المناسب لهذه البيانات وعرضها وإخراجها في صورة جداول و خرائط موضوعية حسب

---

٥) يعد برنامج ArcGIS Desktop بإصداراته المختلفة من أشهر البرامج المستخدمة في تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية ، وهو من إنتاج شركة معهد أبحاث النظم البيئية Environmental Systems Research Institute (ESRI) في الولايات المتحدة الأمريكية ، والبرنامج يتكون من عدة نوافذ يكمل بعضها الآخر أهمها: نافذة Arc Catalog وتستخدم لإنشاء وادارة قواعد البيانات ، نافذة Arc Map وتستخدم في إدخال ومعالجة و تحرير وعرض وإخراج البيانات ، نافذة Arc Toolbox وتحتوي على العديد من الأدوات التي تستخدم في عمليات التحليل و النمذجة للبيانات الجغرافية.

٦) تنقسم البيانات المكانية في نظم المعلومات الجغرافية إلى نوعين رئيسيين هما: ١ - بيانات شبكية Raster وتكون البيانات فيها على هيئة مصفوفة من الخلايا Pixels تتكون من صفوف وأعمدة لتعريف الظاهرات المكانية التي تأخذ أشكال النقطة أو الخط أو المضلع ، ومن أمثلتها المرئيات الفضائية والصور الجوية والخرائط بعد عملية المسح الضوئي. ٢ - بيانات خطية Vector وهو نظام تستخدم فيه الإحداثيات الأفقية (س) والرأسية (ص) للخريطة لتعريف الظاهرات المكانية التي تأخذ شكل النقطة أو الخط أو المضلع (محمد إبراهيم شرف ، ٢٠٠٨م ، صـ٢٣)

الغرض المطلوب ، بالإضافة إلى الاستفادة من هذه التقنية في تحديد الحوض وأحواضه الجزيئة واستخلاص شبكات التصريف بطريقة آلية ، وإنشاء خريطة الانحدار من ملفات الارتفاعات الرقمية بطريقة آلية.

مصادر الدراسة:

اعتمدت الدراسة على المصادر التالية:

١ - ملفات الارتفاعات الرقمية DEM (Digital Elevation Models) بدقة ٩٠ متر[٧] وقد تم الحصول عليها من الموقع الالكتروني:https://earthexplorer.usgs.gov

٢ - الخرائط الطبوغرافية: تم الاعتماد على سبع لوحات طبوغرافية تغطي كامل الحوض و تأخذ الأرقام التالية:(1642D2، 1643A4، 1643B3 ،1643C1 ، 1643C2، 1643C3 ،1643D1) بمقياس رسم ١ :٥٠٠٠٠ صادرة في مصلحة المساحة ، صنعاء عامي ١٩٨٥م ، ١٩٨٦م.

٧) وهي عبارة عن بيانات رقمية تعرف باسم (SRTM3) اختصارا لعبارة Shuttle Rader Topography Mission مهمة الرادار الطبوغرافي بمكوك الفضاء ، وهو أسم البعثة التي قامت بعملية المسح بواسطة مكوك الفضاء Endeavour التابع لوكالة الفضاء الأمريكية ناسا عام ٢٠٠٠م بمشاركة قسم الدفاع في وكالة الاستخبارات الجيوفضائية الأمريكية National Geospatial Intelligence Agency ووكالتي الفضاء الألمانية والايطالية(عباس عبد الرحمن ، ٢٠١٣م ، صـ ٢٩) وقد طورتها هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية USGS ، و بالرغم من ان نموذج الارتفاعات SRTM3 اقل دقة مكانية (٩٠متر) من نموذج Aster (دقة مكانية ٣٠ متر) إلا انه يتفوق عليه في حيث الدقة الرأسية حيث ذكر في موقع وكالة الفضاء الأمريكية (NASA) ان نسبة الخطأ في منسوب النقاط المستنبطة من نموذج SRTM3 تتراوح بين ٦ - ١٠ متر مقارنة بين ٧ -١٤ متر في نموذج Aster ، كما توصل جمعة داوود وآخرون في دراستهم لمكة المكرمة إلى أن دقة نموذج SRTM3 تبلغ ٥,٨٥ متر مقارنة بـ ٨,٦٦ متر لنموذج Aster (جمعة داوود ، ٢٠١٢م ، صـ١٠٤) وقد توصل الباحث في هذه الدراسة من خلال تجربة النموذجين ومقارنة النتائج بالخرائط الطبوغرافية ١: ٥٠٠٠٠ والمرئية الفضائية TM بدقة تمييزية ١٥ متر إلى أن النموذج الأول SRTM3 أفضل من النموذج الثاني في تحديد حدود الحوض المدروس وفي تحديد المجرى الرئيسي للحوض في جزئه الأدنى . ولذلك تم الاعتماد على النموذج الأول في هذه الدراسة.

٣ - الخرائط الجيولوجية: لوحتي(حرض ، صعدة) بمقياس١: ٢٥٠٠٠٠ صادرة عن مشروع الموارد الطبيعية لهيئة المساحة الجيولوجية– صنعاء بالتعاون مع مجموعة Robertson Group البريطانية لعام١٩٩١م.

٤ - البيانات المناخية: وقد تم الاعتماد على بيانات ١٥محطة منها ٧ محطات مناخية و٨ محطات مطرية، تابعة لكل من: الهيئة العامة لتطوير تهامة - الحديدة ، الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد – صنعاء ، الرئاسة العامة للأرصاد وحماية البيئة السعودية (http://www.pme.gov.sa/Ar/Weather/LocalWeatherInfo/Pages/ClimateData.aspx)

٥ - الدراسات السابقة: - بالإضافة إلى الدراسات العامة التي تناولت اليمن بشكل عام ومن ضمنها منطقة الدراسة والمذكورة في المراجع. تعد دراسة هيئة تطوير تهامة (٢٠٠١م) Study of the Integrated Drainage Systems of the Tihama Plains and Wadi Basins ، الدراسة الوحيدة – على حد علم الباحث -التي تناولت حوض وادي حرض ضمن مشروع حماية البيئة التابع لهيئة تطوير تهامة ، وهي دراسة هيدرولوجية هدفت إلى دراسة أنظمة التصريف المتكاملة في أحواض أودية سهل تهامة وتأثير مياه الفيضانات الناجمة عن الأمطار وفهم دورها في عمليات التعرية والترسيب وتغذية خزانات المياه الجوفية ، وقد توصلت الدراسة الى أن مساحة حوض وادي حرض تبلغ ١٢٥١كم٢.

مراحل و إجراءات الدراسة:

المرحلة الأولى: جمع المادة العلمية والمتمثلة بالعديد من الدراسات التي تناولت جيومورفولوجية و مورفومترية أحواض التصريف ، بالإضافة إلى الدراسات والبيانات الخاصة بمنطقة الدراسة والمتمثلة بالخرائط الجيولوجية والطبوغرافية والبيانات المناخية ، و ملفات الارتفاعات الرقمية DEM.

المرحلة الثانية: بناء قاعدة بيانات Personal Geodatabase : وذلك باستخدام نافذة Arc Catalog إحدى نوافذ برنامج ArcGIS v10.2 وتم إنشاء ملفات من نوع Feature dataset داخل هذه القاعدة ، لكل موضوعات الدراسة ، وتحتوي هذه الملفات على طبقات

Layers من نوع Feature Class و Shapefile ، لمعالم نقطية Point ، وخطية Polyline ، ومساحية Polygon حسب الحاجة. وجميعها مسقطة حسب مسقط مركيتور المستعرض العالمي UTM نطاق 38N ، والمرجع الجيوديسي العالمي WGS84 .

المرحلة الثالثة: إدخال و تجهيز البيانات: وذلك بعمل مسح ضوئي Scanning للخرائط الورقية بدرجة وضوح ٣٠٠ dpi على هيئة (format) Jpg ، وذلك لتحويلها إلى خرائط رقمية Digital maps من النوع Raster ، تلي ذلك عمل تصحيح هندسي Geo-references للخرائط المدخلة باستخدام نافذة Arc map بناء على مسقط مركيتور المستعرض العالمي UTM نطاق 38N ، والمرجع الجيوديسي العالمي WGS84 بما يتفق مع قاعدة البيانات الخاصة بالحوض ، وتم تجميع الخرائط المتعددة Mosaic وحفظها داخل قاعدة البيانات الخاصة بالحوض ، كما تم جدولة البيانات المناخية واستخراج المعدلات السنوية والفصلية للحرارة والامطار لكل المحطات.

المرحلة الرابعة: التحليل الهيدرولوجي: وتهدف هذه المرحلة إلى تحديد حوض وادي حرض وأحواضه الثانوية واستخلاص شبكات التصريف ، وتم في هذه المرحلة تحديد أولي للحوض بالاستعانة بالخرائط الطبوغرافية لغرض المقارنة ، تلي ذلك تحديد الحوض وشبكة تصريفه بطريقة آلية بالاعتماد على ملفات الارتفاعات الرقمية DEM - المحفوظة في قاعدة البيانات الخاصة بالحوض – لكامل المنطقة الشمالية الغربية لليمن التي يقع فيها الحوض ، وذلك باستخدام الأمر Hydrology في صندوق الأوامر Spatial Analyst Tools ضمن نافذة Arc Toolbox وفق خطوات متتالية ويتم حفظ نتائجها في قاعدة البيانات الخاصة بالحوض وذلك كما يلي:

- معالجة الأخطاء عن طريق الأمر Fill ومهمته ملء المنخفضات والفراغات الموجودة في البيانات الرقمية ، وينتج عن ذلك ملف جديد مكتمل البيانات.
- تحديد اتجاه التدفق عن طريق الأمر Flow Direction .
- حساب تراكم الجريان عن طريق الأمر Flow Accumulation .
- حساب العتبة أو قيمة التحسس باستخدام الأمرMap Algebra داخل صندوق الادوات Spatial Analyst Tools وذلك بقيمة تحسس ٣٠ للخلية.

- عمل ربط للمجاري عن طريق الأمر Stream Link.
- تحديد رتب المجاري وفقا لتصنيف استريلر باستخدام الأمر Stream Order.
- تحويل طبقة شبكة الأودية السابقة Raster إلى نظام Vector بالأمر Stream to Feature وحفظها على هيئة ملف Shapefile.
- تحديد أحواض المنطقة الشمالية الغربية من اليمن عن طريق الامر Basin ، وينتج عن ذلك طبقة شبكية Raster يتم تحويلها إلىVector من نوع Polygon.
- تحديد حوض وادي حرض وتصديره وحفظه في قاعدة البيانات.
- اقتصاص شبكة الأودية الخاصة بحوض وادي حرض عن طريق الاداة Clip.
- تصحيح أعداد شبكة مجاري الأودية الخاصة بحوض وادي حرض [٨].
- تحديد الأحواض الثانوية لحوض وادي حرض عن طريق الأمرWatershed بعد تحديد نقطة المصب لكل حوض جزئي ، وينتج عن ذلك طبقة شبكية Raster تم تحويلها إلىVector من نوع Polygon.

المرحلة الخامسة: التحليل المورفومتري: وذلك بتطبيق جميع المعادلات المورفومترية كلا على حده داخل قاعدة بيانات حوض وادي حرض ، عن طريق بناء استفسار Building Query ضمن نافذة Field Calculator وحفظ نتائجها داخل قاعدة بيانات الحوض بغرض تمثيلها جدوليا وكارتوجرافيا.

المرحلة السادسة: التمثيل الكارتوغرافي: وتم في هذه المرحلة إنشاء الخرائط لجميع موضوعات الدراسة بآليات مختلفة وذلك كما يلي:

- إنشاء الخريطة الجيولوجية للحوض: تم اقتطاع الجزء الخاص بالحوض من الخريطة الجيولوجية المصححة ، والقيام بعملية ترقيم digitizing الخريطة يدويا على شاشة الحاسوب باستخدام أدوات Editor داخل نافذة Arc Map (إطار Data view) وتم

٨) بعد استخلاص شبكة المجاري المائية بطريقة آلية وفقا للخطوات السابقة تظهر المجاري مجزأة إلى عدة أجزاء فمثلا مجرى الرتبة السابعة والأخيرة في شبكة التصريف يجب أن يكون مجرى واحد الا أنه ظهر في قاعدة البيانات مجزأ إلى عدة أجزاء ، وكذلك الرتب الأدنى باستثناء الرتبة الأولى التي تكون صحيحة ، لذلك يجب معالجتها وتصحيح أعدادها قبل استخلاص المعلومات والبيانات المورفومترية منها وقد تم ذلك بطريقة شبه آلية بعدة خطوات لا يتسع المجال لذكر تفاصيلها.

بهذه العملية تحويلها من صيغة شبكية Raster إلى صيغة متجهه Vector من نوع Feature Class ، وقد تم انشاء خريطة مساحية Polygon للتكوينات الصخرية وخريطة خطية Polyline للانكسارات.

- انشاء خريطة درجات الانحدار: وتم ذلك اعتمادا على ملف الارتفاعات الرقمية DEM الخاص بالحوض ، وذلك باستخدام الامرSlope داخل ادوات Surface Analysis و صندوق الادوات Spatial Analyst Tools ضمن نافذة Arc Toolbox ، وتم اعادة تصنيف الخريطة المنتجة بالأمر Reclassify لغرض حساب مساحة فئات درجات الانحدار.
- إنشاء خرائط تساوي الحرارة والأمطار: وقد تم ذلك بعمل اشتقاق مكاني Interpolation لبيانات الأمطار والحرارة ، بطريقة Kriging داخل أدوات Raster Interpolation وصندوق الأدوات 3D Analyst Tools ضمن نافذة Arc Toolbox.
- إنشاء الخرائط الموضوعية للمتغيرات المورفومترية: وتم ذلك عبر تصنيف البيانات المخزنة داخل جدول السمات Attributes الخاص بالحوض وشبكة تصريفه ، وذلك في نافذة Arc Map عن طريق Symbology ، وتصنف البيانات إلى عدة فئات حسب قيمة المتغير المورفومتري المعين عن طريق الأمر Categories أو حسب الكميات بالأمر Quantities.
- إخراج الخرائط : وتم ذلك عن طريق إطار Layout view في نافذة Arc Map ، وتم في هذه العملية إخراج جميع خرائط الدراسة بعد إضافة العناصر الأساسية لها مثل مقياس الرسم وسهم الشمال ومفتاح الخريطة وعنوانها والإحداثيات الطولية والعرضية ، وتم تصديرها إلى صور على هيئة Jpg (format) بدقة ٣٠٠dpi ، وتكون بذلك جاهزة لإدراجها في متن الدراسة.

المرحلة السابعة: التحليل والمناقشة: وتم في هذه المرحلة تحليل و مناقشة وتفسير نتائج مختلف العمليات التي تمت في المراحل السابقة وإبراز أهم مدلولاتها بما يحقق أهداف الدراسة.

المبحث الأول: الخصائص الطبيعية لحوض وادي حرض:

تتكون أي منطقة أو إقليم جغرافي من ستة عناصر طبيعية هي: الجيولوجيا (التكوين الصخري والبنية) ، الطبوغرافيا ، المناخ ، التربة ، المياه ، النبات الطبيعي ، وتعد دراستها الأساس التي تعتمد عليها الغالبية العظمى من الدراسات الجغرافية سواء الطبيعية منها أو البشرية ، كونها تمثل مدخلا ضروريا يعطي صورة واضحة عن طبيعة الإقليم أو المنطقة المدروسة ، وتتفاوت الدراسات الجغرافية فيما بينها في مدى تناول هذه العناصر حسب الهدف من الدراسة وعلاقتها بموضوع الدراسة ، فبعض الدراسات تتطلب دراسة جميع العناصر بلا استثناء ، في حين تكتفي دراسات أخرى بدراسة أهم هذه العناصر والتي لها علاقة مباشرة وكبيرة بموضوع البحث ، ومن هذا المنطلق سيتم – في هذه الدراسة - الاكتفاء بدراسة أكثر العناصر تأثيرا في تحديد مورفومترية حوض وادي حرض والمتمثلة بجيولوجية الحوض ، وخصائصه الطبوغرافية ، وظروفه المناخية ، ولن تدرس بقية العناصر لتأثيرها المحدود - من وجهة نظر الباحث - في تحديد الخصائص المورفومترية للحوض المدروس.

أولا: جيولوجية حوض وادي حرض:

تكمن أهمية دراسة الخصائص الجيولوجية لحوض تصريف وادي حرض لدورها الواضح بالتحكم في الكثير من المتغيرات المورفومترية سواءً المتعلقة بهندسة الحوض وتضاريسه أو بخصائص شبكة المجاري المائية ، والتي تنعكس على مختلف العمليات الهيدرولوجية داخل الحوض ، ويمكن إبراز ذلك من خلال دراسة التكوينات الصخرية ، والبنية الجيولوجية للحوض وذلك كما يلي:

أ - التكوينات الصخرية:

تمثل التكوينات الصخرية أحد أهم العناصر التي ينبغي دراستها وإبراز دورها في تحديد الكثير من الخصائص المورفومترية لأحواض التصريف ، إضافة إلى أن معرفة أنواع الصخور في أحواض التصريف يساعد في تفسير طبيعة خصائصها المورفومترية وخصائص شبكة تصريفها ، وكذلك تفسير طبيعة العمليات الهيدرولوجية المختلفة داخل أحواض التصريف.

ومن ملحق (١) يتضح أن أعمار التكوينات الصخرية المنكشفة في حوض وادي حرض تتدرج من زمن ما قبل الكامبري وحتى عصر الهولوسين ، إلا أن الغالبية العظمى منها (٦٧,٤٪) تنتمي إلى ما قبل الكامبري كجزء من صخور القاعدة الصلبة المعقدة ، ويأتي زمن الحياة الحديثة في المرتبة

الثانية بنسبة ٢١,٩٪ ، ثم الزمن الوسيط بنسبة ٨,٤٪ فقط ، بينما يحظى الزمن القديم بنسبة لا تتعدى ٢,٢٪ من مساحة الحوض. ولتسليط الضوء على تأثير هذه التكوينات على الخصائص التضاريسية و المورفومترية وما يرتبط بها من عمليات هيدرولوجية في حوض وادي حرض قد يكون من الأفضل تصنيف التكوينات الجيولوجية للأحواض المدروسة التي يوضحها شكل (٢) حسب نوع الصخر وليس حسب الزمن ، وذلك كما يلي:

١ - صخور القاعدة:

تمثل صخور القاعدة أقدم الصخور في اليمن كونها جزءاً من الدرع العربي - النوبي القديم ، ونظرا لذلك فقد تعرضت هذه الصخور لعمليات التحول والتشوه والصهر نتيجة للحركات التكتونية المرتبطة بأطوار نشوء وترسخ هذا الدرع ، وقد انعكس ذلك على طبيعتها الصخرية حيث تتكون من أحزمة من الصخور البركانية والرسوبية المتحولة بالإضافة إلى المتداخلات الجرانيتية والقواطع الحامضية والقاعدية (صلاح الخرباش ومحمد الانبعاوي ،١٩٩٦م ، صـ٤٨) تتميز هذه الصخور بانها مختلفة في طبيعة تكوينها ودرجة تحولها فتقع الصخور المتحولة منها في سحن تحولية تتراوح بين التحول المنخفض إلى المتوسط وجزء منها من التحول المتوسط إلى العالي (عبده شرف غالب ، ١٩٨٨م ، صـ ٢١٢) وتشغل صخور القاعدة مساحة تقدر بحوالي ٨٣٥,٢ كم٢ و بنسبة٦٧,٤٪ من مساحة الحوض ، ومن الطبيعي أن يكون لهذا الانتشار الواسع لصخور القاعدة في حوض وادي حرض دورا كبيرا في الجريان السيلي ، حيث تعمل هذه الصخور - في ظل سقوط كمية الأمطار الغزيرة على الأجزاء العليا من الحوض - على تقليل كمية المياه المتسربة ، مما يزيد من كمية المياه الجارية ، وبالتالي تزداد خطورة الجريان السيلي في الحوض. وتشمل صخور القاعدة الوحدات الصخرية التالية:

- وحدة النايس: وتظهر على شكل نطاق طولي يمتد من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي في الأجزاء العليا من الحوض. وهي عبارة صخور متحولة تتمثل بـ نيس كوارتزي – فلسبار و نيس بيوتيتي - امفيبوليت تعرضت لظروف تحول متوسطة (عبده شرف غالب ، ١٩٩٠م ، صـ ٢٣٣) وتعد أقدم الصخور المتحولة في الدرع العربي (صلاح الخرباش ومحمد الانبعاوي ،١٩٩٦م ، صـ٤١) تشغل هذه الصخور حوالي ٢٣٪ من مساحة حوض وادي حرض.

- وحدة الشست: تظهر هذه الوحدة الصخرية في الاجزاء الوسطى من الحوض على شكل نطاق يمتد من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي ، وتشغل حوالي ٨,١٪ من مساحة الحوض. وتتمثل هذه الوحدة بصخور شست كلورايتي وشست كوارتزي مع كلورايت وشست كربوني متداخل معها طبقات من الشست الجرافيتي مع الكوارتز وشست جرافيتي، هذا التكوين الصخري كان عبارة عن رواسب طينية وجيرية متداخل معها إنسيابات لافا تحت بحرية ومواد بركانية فتاتية تحولت جميعها إلى سحنة الشست الاخضر، تتميز هذه الصخور بظاهرة التصفح الرأسي والتصفح المائل (عبده شرف غالب ، ١٩٩٠م ، صـ ٢٣٧)

-وحدة الجرانيت و الجرانودوريت و الجابرو: وهي عبارة عن صخور جوفية متداخلة ضمن التكوينات السابقة لها ، وتتميز بأشكال مستديرة أو ذوات حواف منتظمة أو في هيئة أسنمة تمتد لعدة كيلومترات ، تتكون من الفلسبار البوتاسي والكوارتز والبيوتيت ذات لون بنفسجي(عبده شرف غالب ، ١٩٩٠م ، صـ ٢٤١) و تظهر هذه الوحدة في الجزء الجنوبي من المنابع العليا من الحوض متمثلة بمرتفعات وشحة ، وبعض مناطق مستبأ ، وتشغل حوالي ١٢,٢٪ من مساحة الحوض.

- وحدة الصخور المتحولة: وهي عبارة عن صخور تعرضت لمستويات متفاوتة من درجات التحول وتشمل الصخور المتحولة القاعدية والحامضية والنارية والرخام الديولوميتي وتشغل مساحة تبلغ ٢٤٪ من مساحة حوض وادي حرض ، وتمتد على شكل نطاقات طولية ، أحدها يمتد بشكل متصل من شمال شرق الحوض عند جبل البركة مرورا بجبال بعلان وجبال بكيل المير وبعض القمم الأخرى حتى يصل إلى أطراف مستبأ جنوب غرب الحوض ، كما يمتد نطاق آخر من الشمال عند جبال بكيل المير إلى الجنوب مرورا بجبال الحويل في قارة ووشحة.

٢ - الصخور النارية:

وهي عبارة عن صخور نارية بركانية تشكلت نتيجة النشاط البركاني الواسع الذي رافق تكون أخدود البحر الأحمر خلال الثلاثي ، وتشمل صخور بركانيات اليمن والمتداخلات الجرانيتية وصخور مجموعة جيزان ، وتغطي مساحة تصل إلى ١٤٤,٦كم٢ وبنسبة ١١,٧٪ من مساحة الحوض.

تتكون صخور بركانيات اليمن من صخور طفوح بركانية كالبازلت والتراكيت والريوليت بالإضافة إلى الرماد البركاني والاجنمبرايت وغيرها ، ويتخللها بعض أنواع الرواسب القارية التي تمثل فترة الهدوء البركاني. أما المتداخلات الجرانيتية فهي تمثل النشاط الناري اللاحق لتكون بركانيات اليمن ، التي جاءت نتيجة لاستمرار الحركات التكتونية في منطقة الدرع العربي النوبي والمصاحبة لتطور أخدود البحر الأحمر والتي أدت إلى صعود كميات كبيرة من المواد الصهيرية ظهرت على شكل كتل جرانيتية قاعدية على شكل قواطع Dikes وجذوع Stocks وقباب نارية قطعت الصخور الاقدم عمرا (صلاح الخرباش ومحمد الانبعاوي ،١٩٩٦م ، صـ١٠٥) وفيما يتعلق بصخور مجموعة جيزان فهي عبارة عن تتابعات من صخور بركانية ورسوبية قاعدية إلى فلسية ، وتتكون غالبية صخورها الظاهرة من بازلت وأنديزايت، وتحتوي السحنة الفلسية على توف ريولايت طبقي إلى غير طبقي ، وتحتوي الصخور الرسوبية المتطبقة والمتداخلة مع الصخور البركانية على بريشيا بركانية ،كونجلوميرات ، حجر رملي، حجر طيني ، حجر جيري نادر[٩] وتظهر صخور مجموعة جيزان في الطرف الغربي من حوض وادي حرض وتشغل مساحة لا تتجاوز ١,٦ كم٢ وبنسبة ضئيلة لا تزيد عن ٠,١٣٪ من مساحته.

٣ - الصخور الرسوبية:

تغطي هذه الصخور حوالي٢٥٨,٨كم٢بما يمثل ٢٠,٩٪ من مساحة حوض وادي حرض وتتكون من ثلاثة انواع من الصخور هي:

أ - الصخور الرملية: وتتمثل بصخور وجيد الرملية وتشكل حوالي ٢,٢٪ من مساحة حوض وادي حرض و١٠,٦٪ من الصخور الرسوبية ، وينسب عمرها إلى ما قبل البرمي[١٠]، وهي

٩) قسمت مجموعة جيزان إلى عدة متكونات هي: الدرب، لية، ضمد، البيض وحجر رمل عيانه ، تتكشف على طول الحافة الشرقية للسهل الساحلي و السمك الأصلي لهذه المجموعة غير معروف لأن جذور صخور هذه المجموعة قلما تتكشف للعيان ، أما الجزء العلوي منها فهو متصدع في كل مكان، وتقطعه صخور من العصر الثلاثي وقد تراوحت تقديرات سمك هذه المجموعة من ١٠٠ متر إلى ٢٠٠٠ متر.((www.sgs.org.sa/Arabic/studies/Pages/Tehama.aspx

١٠) مثّل عمر هذا التكوين موضوع جدل بين الباحثين لعدم وجود احافير مرشدة ، فقد نسب عمره في دراسة النخال إلى العصر الكربوني المتأخر - العصر البرمي المبكر(حامد أحمد النخال ، ١٩٩٠م صـ١٥٥) أما في دراسة شرف فقد

ترتكز مباشرة لا توافقيا على صخور القاعدة (Beydoun,1998,p217) وتمثل أول دوره ترسيبيه في أرض اليمن ، وتتكون أساسا من الحجر الرملي الابيض الذي يتكون من حبيبات جيدة الاستدارة من معدن الكوارتز ، وتحتوي على عدسات رقيقة من الكونجلوميرات ، وتتميز بالإضافة إلى التطابق العادي بوجود تطابق متعامد أو متقاطع شديد الوضوح (أحمد مختار أبو خضره ، ١٩٨١م ، صـ٦) وتنقسم إلى جزأين الأول: جزء سفلي يتكون من مستويات رفيعة من الكونجلوميرات في قاعدته ، ومستويات من حجر رمل كوارتزي أبيض إلى أصفر ، وكذلك يحتوي على مستويات متداخلة من حجر رمل كوارتزي حديدي تتداخل معها طبقات رقيقة من الطفل رمادي اللون ، وقد ترسب في بيئة قارية نهرية إلى دلتيه. و الثاني: جزء علوي يتكون من حجر رمل كوارتزي تتخلله متداخلات رفيعة من المارل ، وقد ترسب في بيئة دلتيه إلى بيئة قرب شاطئية (عبده شرف غالب ، ١٩٨٨م ، ص ص ٢١٦ - ٢١٧)

ب - الصخور الجيرية: وتتمثل بصخور عمران الجيرية والتي ترسبت في بيئة بحرية خلال عصر الجوارسي نتيجة غمر بحر تش للأراضي اليمنية ، مما جعلها غنية بالأحافير البحرية مثل الرخويات والمرجان وغيرها ، وتتميز بتغير سحنتها من مكان إلى آخر ، إلا أن طبيعتها الجيرية تظل السائدة بالرغم من احتوائها على الطفل والحجر الرملي (أحمد مختار أبو خضره ، ١٩٨١م ، صـ٧) وتشكل هذه الصخور نحو ٨,٤ ٪ من مساحة حوض وادي حرض ، وحوالي ٤٠,١ ٪ من الصخور الرسوبية ، وتظهر في الأجزاء العليا من الحوض.

ج - الرواسب الحديثة: تشغل هذه الرواسب حوالي ١٢٧,٧كم٢ بنسبة ١٠,٢٪ من مساحة حوض وادي حرض ، وحوالي ٤٩,٣٪ من الصخور الرسوبية وتتركز في الأجزاء الدنيا من الحوض وتعود هذه الرواسب إلى العصر الرباعي وتشمل أنواع مختلفة من التكوينات وتتمثل بما يلي:

د - كثبان قديمة ولويس: وهي عبارة عن رواسب من التربة الريحية والكثبان القديمة الثابتة ، وتغطي نحو ٢,٢٪ من مساحة الحوض، ويتركز ظهورها في الأجزاء الوسطى من حوض وادي حرض.

نسب عمره إلى العصر الاردوفيشي - الكربوني (عبده شرف غالب ، ١٩٨٨م ، صـ ٢١٧)

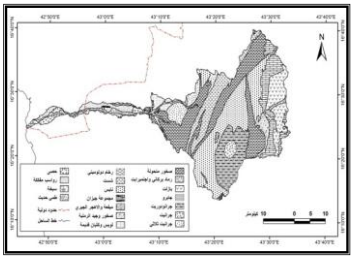
ه - الحصى: وهي عبارة عن فرشات وسهول حصوية تغطي المروحة الفيضية عند مخرج وادي حرض بالإضافة إلى وتحف بالمجرى في الأطراف الغربية القريبة من المصب ، وتغطي حوالي ١,٨٪ من مساحة الحوض.

و - الطمي الحديث: عبارة رواسب وديان تتكون من الحصى المختلط بالطين والرمال الناعمة ، يملأ المجري الرئيسي لوادي حرض ، ويغطي نحو ٢,٢٪ من مساحة الحوض.

ز - السبخة: وهي عبارة عن رواسب متبخرات وكربونات كالسيوم مختلطة مع الطين والرمل ، وهي من السباخ الرطبة القريبة من البحر والتي تدخل ضمن نطاق المد ، وتشغل مساحة ضئيلة لا تتجاوز ١,٨كم٢ بنسبة ٠,١٥٪ من مساحة الحوض.

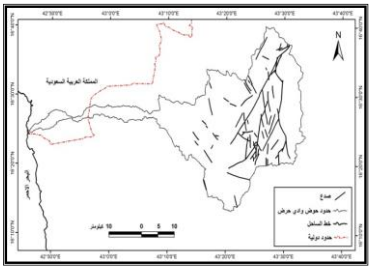
ح - الرواسب المفككة: وتشمل اشكال متنوعة من الرواسب مثل الفرشات الرملية وحقول الكثبان الرملية بالإضافة إلى ترب الأراضي الزراعية ، وتغطي نسبة تصل إلى ٣,٢٪ من مساحة الحوض.

شكل(٢) التكوين الصخري لحوض وادي حرض



من عمل الباحث اعتمادا على
(Robertson Group plc, 1991)

شكل(٣) الانكسارات في حوض وادي حرض



من عمل الباحث اعتمادا على
(Robertson Group plc, 1991)

ب - البنية الجيولوجية: تعد الكتلة الجبلية التي ينبع منها وادي حرض من أبرز جهات اليمن تأثرا بالظاهرات البنيوية ، وقد تأثرت بالحركات التكتونية المختلفة خلال عمرها الجيولوجي ، خاصة الحركات المصاحبة لتكون أخدود البحر الأحمر التي تمثل الجانب الشرقي منه ، بالإضافة إلى الحركات المصاحبة لتكون خليج عدن. وقد نتج عن هذه الحركات الكثير من الظاهرات البنيوية المحلية والإقليمية ، ونظرا للنشأة الصدعية للمنطقة كجزء من الدرع العربي

النوبي ، إضافة إلى صلابة صخور الأساس - التي ترتكز عليها أرض اليمن - كانت الصدوع أكثر الظاهرات البنيوية انتشارا(محمد متولي ومحمود أبو العلا ، ١٩٧٨م، ص٧٣) بحيث أصبحت الظاهرة الرئيسية المؤثرة في تركيب المنطقة ، وهذا يعني أن الظاهرات البنيوية الأخرى ما هي إلا صدى لعمليات التصدع. ونتيجة لذلك فقد تحولت إلى كتل صدعيه على شكل ظهور وأغوار، ونتج عنها تكوّن العديد من الأخاديد والجبال الانكسارية والحافات الصدعية وخروج طفوح اللافا ، والتي عملت على تعقد المظاهر التضاريسية للكتلة الجبلية بما فيها الاجزاء العليا والوسطى لحوض وادي حرض. وكما هو واضح من شكل(٣) فان الأجزاء العليا والوسطى من حوض وادي حرض - التي تدخل ضمن الكتلة الجبلية - قد تعرضت لعمليات تصدع شديدة نتج عنها نحو ٧٦ صدعا[١١]، يصل إجمالي طولها إلى حوالي ٢٨٦,٢ كم، وتتراوح أطوالها بين ٠,٧ - ٢٧,٤ كم ، وبمتوسط طول٣,٨ كم. وقد اخذت غالبية هذه الصدوع اتجاهين رئيسيين هما الاتجاه الموازي لأخدود البحر الاحمر(شمال شمال غرب – جنوب جنوب شرق) و الاتجاه الموازي لخليج عدن والعمودي على البحر الأحمر (شرق شمال شرق - غرب جنوب غرب) وعدد قليل منها اخذ اتجاه شمال جنوب وشرق غرب.

وبالإضافة إلى دور الصدوع في تعقد المظهر التضاريسي للأجزاء العليا من الحوض ، وتحديد اتجاه ودرجات انحداره ، فقد عملت الصدوع على تحديد شكل وأبعاد الحوض وأحواضه الثانوية ، حيث يميل شكلها إلى الاستطالة كما سيتضح فيما بعد ، كما أن امتدادها الطولي من الشرق إلى الغرب جعل الطول فيها يتفوق على العرض ، وقد يكون للصدوع العمودية وشبه العمودية على أخدود البحر الأحمر دورا في ذلك ، كما أن للصدوع دور في توجيه مسار بعض المجاري المائية ، فكثيرا ما تتبع بعض المجاري صدع أو أكثر.

١١) مقياس الخريطة لا يسمح بظهور الصدوع الصغيرة والتي لها تأثير على شبكة تصريف الأودية خاصة المجاري التي تنتمي للرتب الدنيا.

ثانيا: طبوغرافية حوض وادي حرض:

تعد الخصائص الطبوغرافية لأحواض التصريف كذلك من الجوانب الهامة التي ينبغي دراستها لإبراز دورها الفاعل والمؤثر في تحديد كثير من المتغيرات داخل الأحواض ، حيث تلعب دورا مهما في تحديد الخصائص المورفومترية للحوض وشبكة تصريفه ، بالإضافة إلى تأثيرها المباشر في العمليات الجيومورفولوجية والهيدرولوجية المختلفة ، وكثيرا ما تتباين الأحواض في خصائصها المورفومترية والهيدرولوجية بناءً على تباينها الطبوغرافي. وسيتم تناول الأقسام الطبوغرافية للحوض والانحدار و ذلك كما يلي:

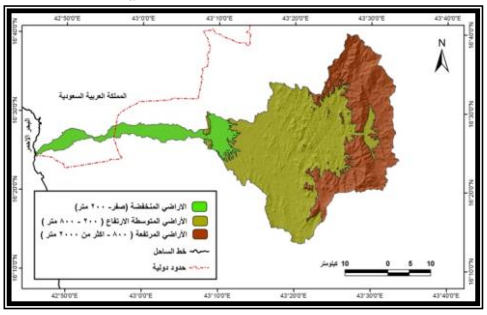
أ - الأقسام الطبوغرافية للحوض: تعد الخصائص الطبوغرافية لحوض وادي حرض نتاج لكل من التكوينات الصخرية التي يغلب عليه صخور القاعدة الصلبة ، بالإضافة إلى بنيته الصدعية ، ونتاج للأحداث التكتونية التي مرت بها المنطقة خلال العصور الجيولوجية المختلفة ، وخاصة تلك التي صاحبت تكون أخدود البحر الأحمر، بالإضافة إلى ظروف المناخ القديم والحالي ، وما ارتبط بها من عوامل وعمليات تعرية مختلفة تضافرت في صياغة مظهره التضاريسي في صورته الحالية ، ومن شكل (٤) يتضح أن حوض وادي حرض يتميز بمظهر تضاريسي معقد نسبيا في الاجزاء العليا والوسطى مقارنة بالجزء الأدنى منه - الذي يدخل ضمن إقليم سهل تهامة الساحلي - والذي يتميز ببساطة تضاريسية ، وقد ساعد هذا الوضع التضاريسي للحوض على تطور نظام شبكة التصريف المائي مما انعكس على خصائصه المورفومترية ، ومن ثم على نشاط العمليات الهيدرولوجية فيه. و يمكن تقسيم الحوض إلى ثلاثة أقسام تضاريسية هي:

١ - الأراضي المنخفضة : تنحصر هذه الأراضي بين مستوى سطح البحر وخط كنتور ٢٠٠ متر ، وتشغل مساحة تصل إلى حوالي ١٤٣,٩ كم٢ بنسبة ١١,٦٪ من مساحة الحوض ، وتتميز بمظهر تضاريسي بسيط ، حيث تبدو على شكل سهل تراكمي ضيق مستوي ومنبسط متموج قليل الانحدار (أقل من ١°) يميل ببطء باتجاه البحر. ويظهر في هذه الأجزاء المجرى الرئيسي لوادي حرض أكثر اتساعا وأقل عمقا ، لذلك يمكن أن يطلق عليها منطقة السهل الفيضي لوادي حرض. تغطي الأطراف

الشرقية من هذه الأراضي الرواسب المفككة - المكونة من الطمي والرمل والحصي - المنقولة بواسطة المياه الجارية من الأجزاء العليا من الحوض ، أما أطرافها الغربية فتغطيها الرمال الشاطئية وبعض الكثبان ، بالإضافة إلى المستنقعات والسبخات الساحلية .

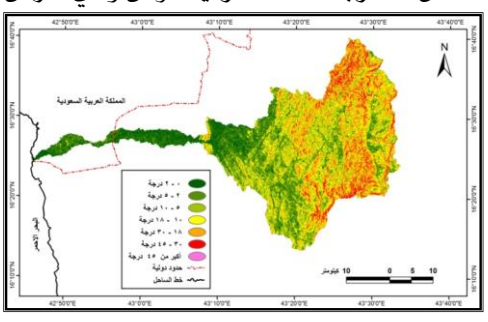
٢ - الأراضي المتوسطة الارتفاع : تنحصر هذه الأراضي بين خطي كنتور ٢٠٠ متر في الغرب و ٨٠٠ متر في الشرق ، وتشغل مساحة تقدر بحوالي ٦٨٤,٧ كم٢ ، بنسبة ٥٥,٣ ٪ من مساحة الحوض ، تغطيها صخور القاعدة الصلبة لذلك تبدو أكثر تضرسا من الأراضي المنخفضة ، تضم هذه الأراضي في الأجزاء الغربية منها سهل البيدمنت التحاتي Pediment ، بالإضافة إلى بعض التلال المنعزلة والتي كانت جزءاً من الكتلة الجبلية مثل جبل المشبّه (٣٧٠ متر) وجبل أبو جرّة (٣٨٨متر) وجبل الوزيفي (٣٤٠ متر) وغيرها (الخرائط الطبوغرافية ١: ٥٠٠٠٠) ، ويزداد تضرس هذه الأراضي باتجاه الشرق وتظهر بعض الكل الجبلية الأكثر ارتفاعا والأكبر حجما مثل كتلة جبل رفشة (٥٦٠ متر) وكتلة جبل محصي (٤٨٠ متر) وجبل الشعور (٤٩٠متر) وكتلة جبل دنام (٦٨٠ متر) وجبل الفقع (٧٤١متر) وكتلة جبل الطريف (٦٨٠ متر) وغيرها ، كما ان مجاري الأودية في هذه الأجزاء أكثر عمقا وأقل اتساعا.

شكل(٤) تضاريس حوض وادي حرض



من عمل الباحث

شكل(٥) درجات الانحدار في حوض وادي حرض



من عمل الباحث

٣ - الأراضي المرتفعة: يتراوح ارتفاعها بين ٨٠٠ متر وأكثر من ٢٠٠٠متر ، وتشغل مساحة تصل إلى ٤١٠كم٢ بنسبة ٣٣,١ ٪ من مساحة الحوض ، وتظهر كنطاق هلالي الشكل يمتد من الشمال إلى الجنوب في أقصى شرق الحوض ، وتعد أكثر أجزاء الحوض تضرسا والأشد انحدارا ، وتضم هذه الأراضي عدد من الكتل الجبلية تعد الأكثر ارتفاعا والأكثر امتدادا في الحوض أهمها جبل جرف النسور (٢١٢٠متر) وجبل المحرّق (١٨٧٠متر) وجبل الكولة (١٨٠٠متر) وجبال البركة (١٧٥٠متر) وكتلة جبال نوّه (١٦٥٠متر) وجبال الحويل (١٥٥٠متر) وبعلان (١٤٨٠متر) ورحبان (١١٢٦متر) ، المجاري المائية في هذه المناطق عميقة وضيقة وتأخذ بعضها شكل الخوانق.

ب - الانحدار:

يؤثر الانحدار بشكل مباشر في الكثير من العمليات الجيومورفولوجية والهيدرولوجية داخل أحواض التصريف ، فكمية الجريان وسرعته ترتبط ارتباطا طرديا بالانحدار ، فكلما زاد الانحدار زادت سرعة المياه الجارية وزادت قدرتها الجيومورفولوجية في عملية النحت بأشكاله المختلفة ويحدث العكس عندما يقل الانحدار الذي يؤدي إلى سيادة الإرساب ، إضافة إلى أن زيادة الانحدار يزيد من خطورة المياه الجارية داخل الحوض ، ويحدد الانحدار كذلك زمن الاستجابة (الوقت الفصل بين بداية سقوط المطر وبداية الجريان) حيث يكون مرتفعا في الأحواض ذات الأسطح قليلة الانحدار ، ومنخفضا في الأسطح شديدة الانحدار ، حيث تؤدي الانحدارات الشديدة إلى انخفاض الفواقد وقلة زمن الاستجابة وبالتالي سرعة وزيادة حجم التصريف (أحمد سالم صالح ،١٩٩٩م ، صـ٥٠) ومن تحليل خريطة الانحدار لحوض وادي حرض شكل(٥) يتضح أن درجات الانحدارات في الحوض تتراوح بين ٠ - ٥١ْبمتوسط ١١ْ ، وهذا المتوسط جعله يدخل ضمن فئة الانحدارات المتوسطة حسب تصنيف يونج (Young,A.,1972,P 173-175)

جدول (١) درجات الانحدار في حوض وادي حرض حسب تصنيف يونج

فئات الانحدار بالدرجة	صفة الانحدار	المساحة كم٢	النسبة ٪
٠ - ٢	مستوي	١٤٥,١	١١,٧
٢ - ٥	انحدار خفيف	٢٢٣,٣	١٨
٥ – ١٠	قليل الانحدار	٢٤٢,٢	١٩,٦
١٠ - ١٨	انحدار متوسط	٢٨٣,٢	٢٢,٩
١٨ - ٣٠	منحدر جدا	٢٦١,٢	٢١,١
٣٠ – ٤٥	شديد الانحدار	٨١	٦,٥
اكبر من ٤٥	جرف	٢,٦	٠,٢

المصدر: من حساب الباحث اعتمادا على القياس من شكل (٥)

ومن جدول (١) وشكل (٥) يتضح أن درجات الانحدار في حوض وادي حرض تتوزع بشكل متوازن إلى حدٍ ما بين الانحدارات الخفيفة والمتوسطة والشديدة ، إلا أن الانحدارات الشديدة تتركز في الأجزاء العليا من الحوض بسبب زيادة تضرسها ، في حين أن الانحدارات المتوسطة والخفيفة تتركز في الأجزاء الوسطى والدنيا من الحوض ، ولهذا التوزيع انعكاس واضح على خصائص شبكة التصريف في هذه الأجزاء حيث تظهر أكثر طولا مقارن بالأجزاء العليا.

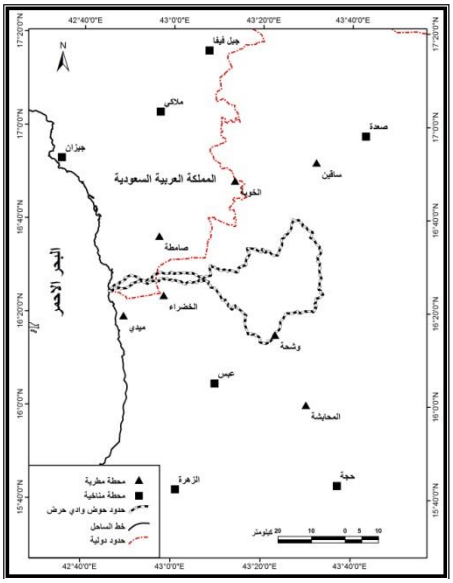
ثالثا: الظروف المناخية:

تعد ظروف المناخ القديم و الحالي من العوامل المؤثرة في تطور حوض وادي حرض مثله مثل بقية أحواض التصريف المائي في اليمن ، وذلك من خلال دورها الواضح في تحديد نوع العمليات الجيومورفولوجية السائدة داخل هذه الأحواض ، وتحديد خصائص العناصر البيئية داخل الأحواض.

ونتيجة لامتداد حوض وادي حرض ضمن إقليمين مختلفين طبيعيا وبيئيا - هما إقليم المرتفعات الغربية في الشرق وإقليم سهل تهامة الساحلي في الغرب - تتباين الظروف المناخية فيه تباينا واضحا ، حيث تدخل الأجزاء العليا منه ضمن إقليم المناخ شبه الجاف والأجزاء الدنيا ضمن الإقليم الجاف ، ويبرز هذا التباين في الظروف الحرارية والمطرية بشكل خاص ، ولذلك سيقتصر الحديث عن عنصري الحرارة و الأمطار على اعتبار أنهما أهم مدخلات نظم التصريف المائي كنظم

طبيعية مفتوحة ، ولارتباطها الوثيق بتطور هذه النظم ، وسيتم ذلك اعتمادا على بيانات عدة محطات مطرية وأخرى مناخية[١٢] تقع حول الحوض يوضحها شكل(٦)

شكل(٦) التوزيع الجغرافي للمحطات المناخية والمطرية



من عمل الباحث

١٢) من العوائق التي واجهت الباحث عدم توفر محطات مناخية أو مطرية داخل الحوض لذلك تم الاستعانة بمحطات تقع حول الحوض بعضها قريبة منه والبعض الآخر بعيدة نسبيا وقد استخدمت بياناتها في عمل خرائط التساوي سواء للحرارة أو الأمطار للمنطقة التي يقع فيها الحوض وبعد ذلك تم اقتطاع الجز الخاص بالحوض.

١ - الحرارة:

يتميز حوض وادي حرض بتباين درجة الحرارة بين أجزائه العليا وأجزائه الدنيا فمن جدول(٢) يتضح أن الأجزاء الدنيا من الحوض تتميز بالارتفاع النسبي في درجة الحرارة حيث يتراوح متوسط درجة الحرارة التي تمثلها محطة عبس بين٢٦,٣ ْم في شهر يناير - الذي يعد أبرد الشهور - و٣٤,٨ ْم في شهر يونيو - الذي يمثل أحر الشهور - وبمتوسط سنوي مرتفع يبلغ حوالي ٣٠,٦ ْم ، ويعود ذلك لانخفاض منسوبها الذي لا يزيد عن ٢٠٠ متر فوق مستوى سطح الأرض فضلا عن موقعها الفلكي المداري الذي يجعلها تتعرض لتعامد الشمس مرتين في العام.

جدول (٢) المتوسطات الشهرية لدرجة الحرارة في محطتي عبس(٢٠٠٩ -٢٠١٣م) وجبل فيفا(١٩٨٠ -٢٠٠٥م)

المحطة	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المتوسط السنوي
جبل فيفا	٢١,٣	٢١,٨	٢٣,٥	٢٦	٢٨,٣	٢٩,٢	٢٩,٥	٢٨,٩	٢٨,٣	٢٦,١	٢٤	٢٢,١	٢٥,٧
عبس	٢٦,٣	٢٦,٧	٢٨,٠	٣٠,٣	٣٢,٩	٣٤,٨	٣٤,٢	٣٣,٩	٣٣,٢	٣١,١	٢٩,٢	٢٧,٣	٣٠,٦

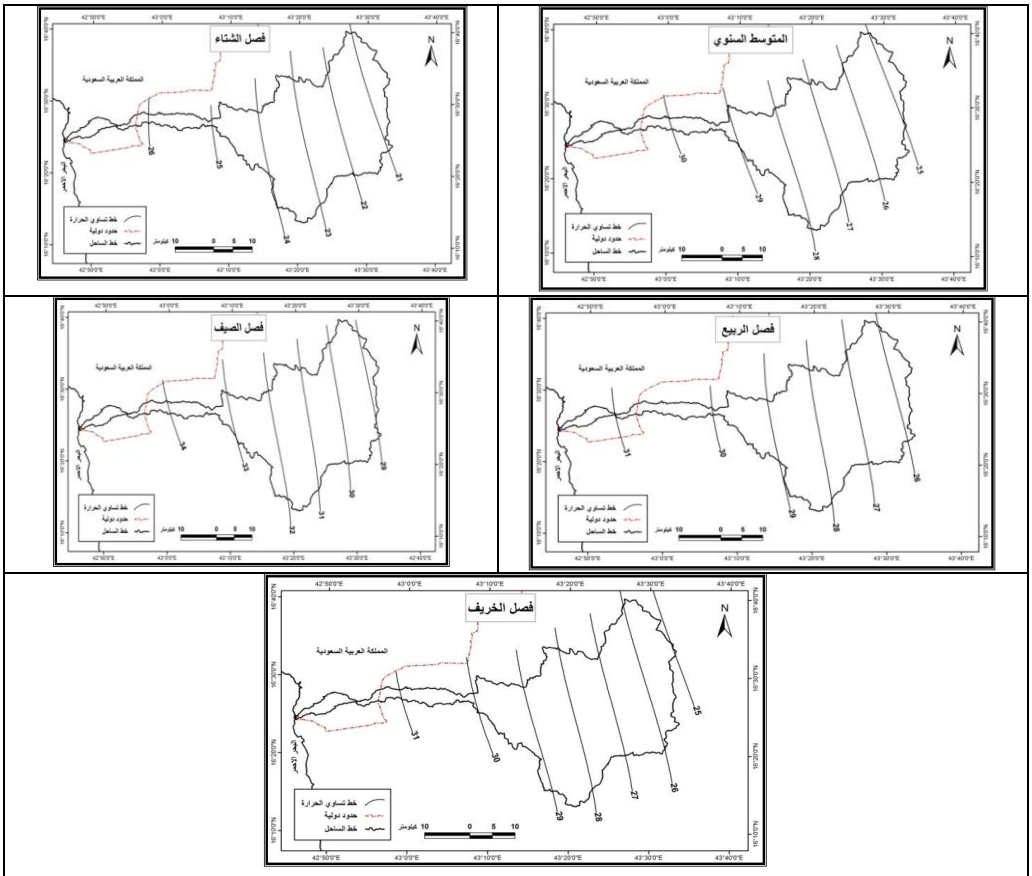
المصدر: ١ - وزارة المياه والكهرباء بالمملكة العربية السعودية شعبة الهيدرولوجيا ، عن عائشة علي عريشي ،٢٠١١م، صـ٢٨)

2. https://en.tutiempo.net/climate/yemen.html

أما الأجزاء العليا التي تمثلها محطة جبل فيفا فيتراوح المتوسط الشهري بين٢١,٣ ْم في شهر يناير - الذي يعد أبرد الشهور - و٢٩,٥ ْم في شهر يوليو - الذي يمثل أحر الشهور - وبمتوسط سنوي يصل إلى ٢٥,٧ ْم.

أما التوزيع السنوي للحرارة فمن شكل(٧) يمكن ملاحظة أن الأجزاء الدنيا من الحوض تحظى بمتوسط حراري سنوي يزيد عن ٣١ ْم ويقل المتوسط السنوي تدريجيا بالاتجاه ناحية الشرق وذلك نتيجة للارتفاع ليصل إلى ٢٨ ْم في الأجزاء الوسطى ويقل إلى٢٦ ْم في الأجزاء العليا ثم إلى ٢٥ ْم في أكثر أجزاء الحوض ارتفاعا.

شكل(٧) المتوسط السنوي والفصلي للحرارة في حوض وادي حرض



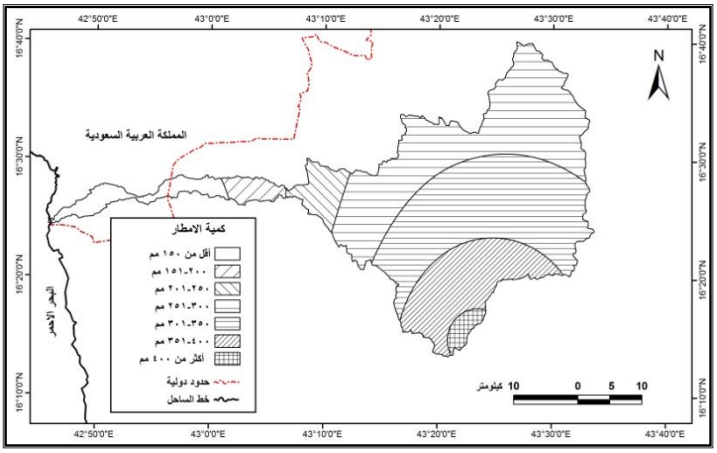
من عمل الباحث

أما في فصل الشتاء فيبلغ متوسط الحرارة أكثر من ٢٦ م في الأجزاء الدنيا وينخفض تدريجيا بالاتجاه نحو الشرق ليصل إلى ٢٤ م في الأجزاء الوسطى ويستمر بالانخفاض التدريجي ليصل إلى ٢١ م في الأجزاء العليا من الحوض. وترتفع الحرارة تدريجيا خلال شهور فصل الربيع ليزيد المتوسط الفصلي إلى أكثر من ٣١ م في الأجزاء الدنيا ثم إلى ٢٩ م في الأجزاء الوسطى في حين تسجل الأجزاء العليا حوالي ٢٦ م ، وتواصل الحرارة ارتفاعها الملحوظ خلال شهور فصل الصيف لتسجل الأجزاء الدنيا متوسطا فصليا يصل إلى ٣٥ م وحوالي٣٢ م في الأجزاء الوسطى من الحوض وينخفض ليصل إلى ٢٩ م في أقصى شرق الحوض. أما في فصل الخريف فتبدأ درجات الحرارة انخفاضها التدريجي ولكنها تضل حول المعدل السنوي فلا يقل المتوسط الفصلي عن ٣١ م في الأجزاء الدنيا من الحوض ولا يقل عن ٢٦ م في الأجزاء العليا.

٢ - الأمطار:

تتميز الأجزاء العليا والوسطى من حوض وادي حرض بوفرة أمطارها مقارنة بالأجزاء الدنيا شكل(٨) ويعود ذلك بدرجة أساسية إلى عامل الارتفاع التضاريسي الذي تتميز به ، والذي يعد من العوامل الثابتة التي ترتبط إلى حد ما بمناطق الأمطار الغزيرة (فهمي هلالي أبو العطا ، ١٩٨٨م ، صـ١١٢) مما جعل هذه الأجزاء تحظى بكميات أمطار سنوية تتراوح بين ٢٧٥ مم في شمالها ، وأكثر من ٤٠٠ مم في جنوبها ، وهذه الكمية العالية نسبيا من الأمطار تزيد من كمية المياه الجارية وبالتالي نشاط عمليات النحت والتعرية في هذه الأجزاء مما يزيد من إعداد المجاري وبالتالي زيادة نسب التشعب فيها كما سيتضح لاحقا ، أما الأجزاء الدنيا من الحوض والتي تتميز بانخفاض منسوبها جعل الأمطار السنوية فيها تقل عن ٢٥٠ مم ، ولذلك يمكن القول ان الأمطار في حوض وادي حرض تزداد بشكل واضح من الغرب إلى الشرق ، وتقل كذلك كلما اتجهنا شمالا.

شكل(٨) توزيع الأمطار في حوض وادي حرض



من عمل الباحث

أما التوزيع الشهري والفصلي فمن جدول(٣) يتضح أن الأمطار تسقط على الأجزاء العليا والوسطى من الحوض خلال الفترة من مارس إلى سبتمبر ويسقط خلالها حوالي ٨٠٪ من مجموع الأمطار السنوية ، ويتزامن ذلك مع قدوم المنخفض السوداني ، وتحركه باتجاه الشرق في الربيع ، و تحت تأثير الرياح الموسمية الجنوبية الغربية في الصيف وبداية الخريف ، وهناك تباين بين المحطات في

التوزيع الفصلي للأمطار ، ففي حين يسجل فصل الربيع المرتبة الأولى في محطة ساقين بنسبة ٥٠,١٪ يليه فصل الصيف بنسبة ٣٤,٨٪ ، يسجل فصل الصيف المرتبة الأولى في محطتي وشحة والخوبة بنسبة ٤٠,٢٪ ، ٤١,٦ ٪ على التوالي ، يليه فصل الربيع بنسبة ٣٥,٧٪ في ومحطة شحة ، وفصل الخريف بنسبة ٣٣,٣٪ في محطة الخوبة.

أما محطات الأجزاء الدنيا فبالإضافة إلى انخفاض كميات الأمطار فيها بشكل عام ، تتميز كذلك بأن الأمطار فيها تكاد تكون موزعة على جميع الشهور إلا أن سقوطها يتركز خلال الفترة من يوليو إلى أكتوبر أي خلال فصل الصيف والخريف ، حيث يسجل فصل الخريف المرتبة الأولى في محطات (ميدي ، صامطة ، الخضراء ، الربوع بنسب ٣١,٩٪ ، ٣٨,٥٪ ، ٤٠,٣٪ ، ٤٥,١٪ على التوالي ، في حين يأتي فصل الصيف في المرتبة الثانية في محطات صامطة ، الخضراء ، الربوع بنسب ٢٩,٤٪ ، ٣٤,٢٪ ، ٣٧٪ على التوالي وتشذ محطة ميدي حيث يسجل فصل الشتاء المرتبة الثانية بنسبة ٢٨٪ متقدما على فصل الصيف الذي يسجل نسبة ٢١,٤٪ فقط.

جدول(٣) متوسط كمية الأمطار الفصلية في محطات منطقة الدراسة

المحطات / الفصل	محطات الاجزاء الدنيا				محطات الاجزاء العليا		
	ميدي	الخضراء	الربوع	صامطة	الخوبة	وشحة	ساقين
الشتاء	٢٥,٨	١٠,٩	٨,٦	١٧,٩	١٥,٨	٢٩,٩	٣٣,٧
الربيع	١٧	١٦	٤٧,٤	٢٨	٦١,٦	١٥٠,٥	١٣٨,٥
الصيف	١٩,٨	٣٦,٤	١١٥,١	٤٢,١	١٢٨,٥	١٦٩,٧	٩٦,١
الخريف	٢٩,٥	٤٢,٨	١٤٠,٤	٥٥,١	١٠٢,٨	٧١,٩	٨,٤
المجموع السنوي	٩٢,١	١٠٦,٣	٣١١,٥	١٤٣,١	٣٠٨,٧	٤٢٢	٢٧٦,٧

المصدر: ١ - وزارة المياه والكهرباء بالمملكة العربية السعودية شعبة الهيدرولوجيا ، عن عائشة علي عريشي ،٢٠١١م، صـ٢٨)

٢ - الهيئة العامة لتطوير تهامة ، الحديدة ، بيانات غير منشورة

المبحث الثاني: الخصائص المورفومترية لحوض وادي حرض:

بعد تنفيذ عملية التحليل الهيدرولوجي لحوض وادي حرض داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية اتضح أنه يتألف من ١٥ رافدا (أحواض ثانوية) تصب جميعها في المجرى الرئيسي لوادي حرض شكل(٩) تشغل مساحة تبلغ حوالي ١٠٨٧,٤ كم٢ ، بنسبة ٨٧,٨ ٪ من إجمالي مساحة الحوض ، والنسبة الباقية يشغلها المجرى الرئيسي للحوض. ولتحقيق الهدف الرئيسي لهذه الدراسة سيتم دراسة الخصائص الهندسية والشكلية والتضاريسية للحوض ولأحواضه الثانوية ، وكذلك دراسة الخصائص المورفومترية لشبكة تصريف الحوض وأحواضه الثانوية وذلك كما يلي:

أولا: خصائص حوض وادي حرض وروافده:

أ - الخصائص الهندسية: تعتمد الخصائص الهندسية لأحواض التصريف على قياس وتحديد أربعة متغيرات هي: المحيط ، المساحة ، الطول ، العرض ، وسيتم تناولها كما يلي:

١ - المحيط : يمثل محيط أي حوض تصريف خط تقسيم المياه الذي يفصله عن الأحواض الأخرى ، ويعد أول المتغيرات الهندسية التي يجب تحديده بدقة لارتباطه بالخصائص المورفومترية الأخرى للحوض مثل المساحة والشكل وغيرها. كما انه من الأبعاد التي تعطي مؤشرا على طبيعة الجريان ، فصغره يعد مؤشرا هاما على سرعة الجريان (سمير سامي ،٢٠٠٠م ، صـ ٤٥١)

وقد بلغ طول محيط حوض وادي حرض ٢٩٢,٦ كم ، أما الأحواض الثانوية فقد تراوحت أطوال محيطاتها بين ١٢,٥ كم لحوضي الموسم وملب و ١٠٩,٨ كم لحوض وادي رام ، و ، بمتوسط ٤٠ كم ، وانحراف معياري (١٣) ٢٩,٧ كم ، ومعامل اختلاف[١٤] ٧٤,٣ ٪ وهذا يدل على تباين محيطاتها ، ويمكن تقسيمها إلى أربع فئات يوضحها شكل(١٠)

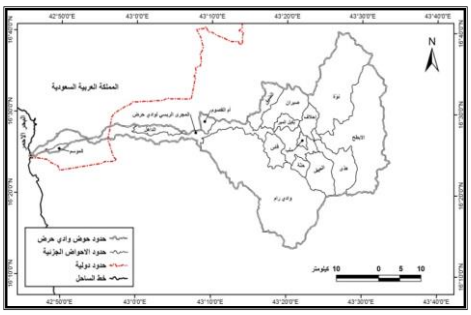
٢ - المساحة: تعد مساحة أحواض الأودية من المحددات الهامة لحجم الجريان السيلي ، وذلك للدور الذي تلعبه في تحديد أعداد وأطوال المجاري ، وما ينتج عنه من تأثير على كمية التصريف ، وقد اختلفت الآراء حول تحديد العلاقة بين مساحة حوض التصريف وحجم الجريان السطحي، فمثلا

---

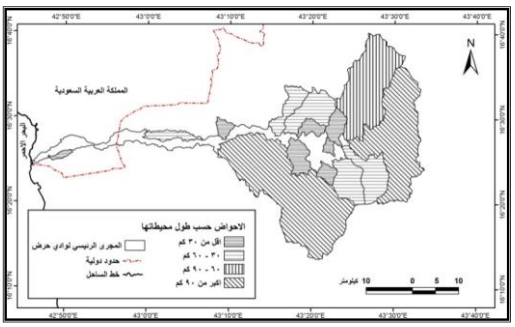
١٣) الانحراف المعياري = $\sqrt{\frac{مجـ(س - س)^2}{ن}}$ حيث: س= القيم ، سَ= المتوسط الحسابي ، ن= عدد القيم

١٤) معامل الاختلاف = الانحراف المعياري / المتوسط الحسابي × ١٠٠

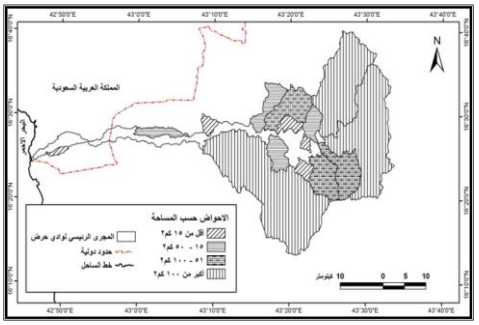
يرى ليبولد وميلر (Leopold and Miller,1956) أن كمية التصريف تتناسب طرديا مع مساحة حوض التصريف (محمود خضر ١٩٩٧م صـ ٢٢٠) ، لأنه من الطبيعي كلما كبرت مساحة الحوض كلما زادت كمية الأمطار التي يستقبلها ، مما يؤدي إلى زيادة حجم الجريان مع افتراض ثبات العوامل الأخرى مثل نوع الصخر ونظامه و التضرس وشكل شبكة التصريف (محمد محمود عاشور، ومجدي تراب ،١٩٩١م صـ ٢٨٩) ويرى البعض انه لا يوجد ارتباط شرطي بين كبر مساحة الحوض وحدوث جريان سيلي ضخم إلا إذا توفرت بعض العوامل الأخرى مثل سقوط المطر بغزاره على إجمالي مساحة الحوض أو معظمه ، بالإضافة إلى انخفاض مسامية ونفاذية الصخر وقلة معدلات التبخر وزيادة الانحدار (سمير سامي محمود ، ٢٠٠٠م ،صـ٤٥٠)



شكل(٩) الأحواض الثانوية لحوض وادي حرض من عمل الباحث



شكل(١٠) توزيع الأحواض حسب طول المحيط من عمل الباحث اعتمادا على جدول(٤)



شكل(١١) توزيع الأحواض حسب المساحة من عمل الباحث اعتمادا على جدول(٤)

أما هورتون (Horton,1945,p320) فيرى أن كمية الفائض من مياه الأمطار التي يتولد عنها جريان سطحي تتناسب عكسيا مع مساحة حوض التصريف ، وذلك للعلاقة الطردية بين مساحة الحوض وكمية الفاقد ، وبالتالي قلة حجم الجريان ، وكذلك يرى شورلي (Chorley,1969) أن العلاقة بين كمية الجريان ومساحة حوض التصريف علاقة عكسية (محمود خضر ١٩٩٧م صـ ٢٢٠) ويرجع ذلك إلى أن اغلب العواصف المطرية لا تغطي سوى جزء صغير من مساحة الحوض ، مما يجعل الجريان في الأحواض الكبيرة المساحة مقصورا على أحد الروافد أو جزء معين من الحوض ، وعلى ذلك يصبح وصول جريان هذا الرافد إلى الوادي الرئيسي أو إلى مخرج الوادي مرهونا بكمية الجريان والخصائص المختلفة للرافد (أحمد سالم صالح ، ١٩٩٩م ، صـ٤٢) بدليل أن بعض الأحواض صغيرة المساحة تحدث بها سيولا مدمرة. وعموما فقد أثبتت الدراسات أن هناك علاقة طردية بين مساحة الأحواض الصغيرة وحجم التصريف ، وعلاقة عكسية بين الأحواض الكبيرة وحجم التصريف المائي (غزوان سلوم ، ٢٠١٢م ، صـ ٤٠٠)

وهناك أمر آخر ينبغي الانتباه إليه وهو أن التوزيع المساحي لأجزاء الحوض المختلفة يؤثر في سرعة تزايد التصريف المائي نحو القمة ، ففي حالة تزايد المساحة الحوضية تجاه بيئة المصب يشكل التصريف المائي قمته مباشرة بعد سقوط الأمطار ، بينما إذا زادت المساحة الحوضية تجاه المنابع فان التصريف المائي المتجمع عن هذه المنطقة يحتاج إلى وقت أطول كي يصل إلى بيئة المصب ، مما يعني تزايدا تدريجيا في كمية التصريف المائي (حسن رمضان سلامة ، ١٩٨٥م ، صـ ٥٨) عند المنابع وبالتالي تكون السيول أقل ضررا.

وكما هو واضح من جدول(٤) أن حوض وادي حرض يشغل مساحة تقدر بـ ١٢٣٨,٦كم٢ ، وهي مساحة كبيرة نسبيا تساعد على تلقي الحوض كميات اكبر من مياه الأمطار مما ينعكس على العمليات الهيدرولوجية في الحوض خاصة أن الأجزاء العليا والوسطى من الحوض تزيد مساحتها على حساب الأجزاء الدنيا أي أن المساحة تقل باتجاه المصب ، وهذا يساعد على نمو الرتب النهرية في هذه الأجزاء ، كما يساعد ذلك على نشاط عملية النحت لشدة انحدارها ، مما يؤدي إلى زيادة نسب التشعب ولهذا انعكاس واضح على طبيعة الجريان في الحوض. أما الأحواض الثانوية فتتراوح مساحاتها بين ٥,٢ - ٣٥٤,٩ كم٢ وبمتوسط ٧٢,٥ كم٢ ، وانحراف معياري ٩٨,٤كم٢ ، ومعامل

اختلاف ١٣٥,٧٪ مما يعني أنها متفاوتة جدا في مساحتها ، ويمكن تقسيمها من حيث المساحة إلى أربع فئات شكل(١١)

٣ - الطول : يعد طول الحوض من الأبعاد الرئيسية التي يتم قياسها لحساب بعض المعاملات المورفومترية مثل شكل الحوض ونسبة التضرس وغيرها ، وهناك عدة طرق لقياس طول الحوض مثل قياسه كخط مواز للمجرى الرئيسي أو قياسه من نقطة المصب إلى أعلى نقطة على المحيط (محمد محمود عاشور، ١٩٩١م صـ ٢٩٠ -٢٩١) إلا أن جريجوري اعتبر أن طول الحوض هو المسافة بين نقطة المصب و ابعد نقطة على محيط الحوض(Gregory &Walling,1979p50) ، وسيتم إتباع الطريقة الأخيرة في هذه الدراسة.

ولطول الحوض تأثير واضح على الجريان السيلي ، فالأحواض قصيرة الطول تتميز غالبا بأن مياه السيول فيها تستطيع الوصول إلى المجرى الرئيسي في وقت اقصر عن مثيلاتها بالأحواض الطويلة ، والتي غالبا ما تكون اكبر مساحة ، ويساهم ذلك في تقليل نسبة التبخر والتسرب ، ومن ثم زيادة حجم الجريان السيلي (سمير سامي ، ٢٠٠٠م ، صـ ٤٥١)

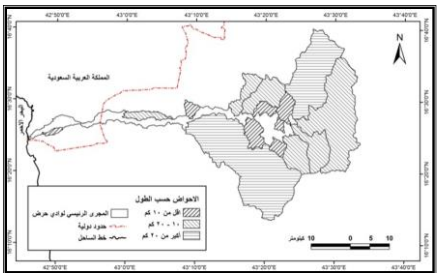
وقد بلغ طول حوض وادي حرض من نقطة المصب إلى أبعد نقطه على المحيط حوالي ٨٥,٢ كم، وهو طول كبير نسبيا يزيد من زمن التركيز[١٥] مما يعرض المياه الجارية للتبخر والتسرب ، أما الأحواض الثانوية فقد تراوحت أطوالها بين ٤,٣ – ٣٣,٦ كم بمتوسط ١٢,٢ كم وانحراف معياري ٧,٦ كم ومعامل اختلاف ٦٢,٣٪ مما يدل على عدم تجانس أطوالها ، ويمكن تقسيمها إلى ثلاث فئات شكل(١٢)

١٥) يقصد بزمن التركيز الفترة الزمنية التي تستغرقها مياه الأمطار للوصول من أبعد نقطة على خط تقسيم المياه إلى مصب الوادي.

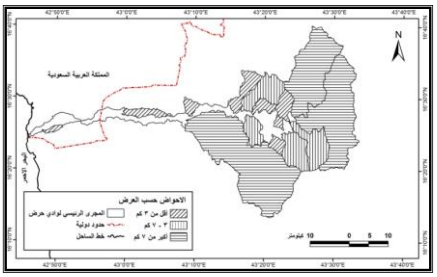
جدول(٤) الخصائص الهندسية لحوض وادي حرض وروافده

الحوض	المحيط كم	المساحة كم٢	الطول كم	العرض كم
حوض وادي حرض	٢٩٢,٦	١٢٣٨,٦	٨٥,٢	١٤,٥
وادي صبران	٤١,٧	٥٧,٩	١٢,٩	٤,٥
وادي الضيّق	٣٦,٧	٣٣,٧	١٢	٢,٨
بكيل المير	٢٠,٨	١٤,٨	٧,٣	٢
وادي الابطح	١٠٠,٥	٢٣١	١٦	١٤,٤
وادي نوّه	٧٣,٤	١٧٨,٩	٢٤,١	٧,٤
الدّاهل	٣٢,٢	١٩,٤	١٢,٩	١,٥
وادي إحلاف	٢٣,٤	٢٢,٩	٨,٦	٢,٧
وادي هذى	٤٣,٦	٥٨,٣	١٤	٤,٢
وادي الحيف	٣٣,٦	٥١,٥	١١,٦	٤,٤
وادي فاس	٢٧,٤	٢٩,٣	٨,٨	٣,٣
وادي حنّة	١٥,٩	١٢,٧	٥,٧	٢,٢
وادي رام	١٠٩,٨	٣٥٤,٩	٣٣,٦	١٠,٦
أم القصوم	١٥,٦	١١,٢	٤,٣	٢,٦
الموسم	١٢,٥	٥,٢	٥,٥	٠,٩
ملب	١٢,٥	٦	٥,٥	١,١

من حساب الباحث



شكل(١٢) توزيع الأحواض حسب الطول
من عمل الباحث اعتمادا على جدول(٤)



شكل(١٣) توزيع الأحواض حسب العرض
من عمل الباحث اعتمادا على جدول(٤)

٤ - العرض: يعد عرض الحوض من المتغيرات الهامة التي تستخدم للدلالة على شكل الحوض عند قياس نسبة الطول إلى العرض ، ويؤثر عرض الحوض على سرعة الجريان ، حيث يساعد صغر عرض الحوض على حدوث الجريان السريع ، لأن المياه تستطيع الوصول إلى المجرى الرئيسي في وقت قصير. وهناك عدة طرق لقياس عرض الحوض مثل إيجاد متوسط لعدة قياسات على مسافات متساوية ، أو بأخذ أقصى عرض للحوض ، أو بقسمة مساحة الحوض على طوله (محمود عاشور ، ومجدي تراب ، ١٩٩١م ، صـ٢٩٣) وسيتم تطبيق الطريقة الأخيرة ، وذلك بقسمة مساحة الأحواض على أطوالها. وقد بلغ متوسط عرض حوض وادي حرض ١٤,٥ كم ، وهذا متوسط منخفض مقارنة بالطول ، وقد يكون ذلك نتيجة الخصائص الجيولوجية للحوض ، فسيادة صخور القاعدة التي تتميز بالصلابة ومقاومتها للتعرية والنشأة الصدعية كما سبق الذكر كانا عائقا أمام توسيع الحوض ، وينطبق الحال على الأحواض الثانوية فقد تراوح عرضها بين ٠,٩ – ١٤,٤ كم ، بمتوسط ٤,٣ كم ، وانحراف معياري ٣,٦ كم ، ومعامل اختلاف ٨٣,٧٪ مما يدل على تباينها الكبير ، ويمكن تقسيمها إلى ثلاث فئات شكل(١٣)

ب - الخصائص الشكلية:

بالإضافة إلى استخدام النظر في تحديد شكل الحوض هناك عدة متغيرات مورفومترية تستخدم لتحديد شكل الحوض المائي كنسبة الاستدارة ونسبة الاستطالة ومعامل الشكل وغيرها. ويعد شكل الحوض أحد أهم العوامل المؤثرة في عملية الجريان السيلي ؛ من خلال التأثير على زمن التركيز ، حيث يتزايد زمن التركيز مع تزايد استطالة الحوض المائي ، ويتناقص كلما كان أكثر

استدارة ، وعلية فان الفائض المائي الذي يتحكم في حجم الجريان السيلي بالأودية يتعرض للتبخر والتسرب مع زيادة زمن التركيز في الأحواض الأكثر استطالة. كما يؤثر شكل الحوض المائي في زمن الاستجابة[١٦] ، حيث تكون فترة استجابة الحوض المستدير لمياه الأمطار سريعة بالمقارنة مع نظيرة الأكثر استطالة ؛ لان الجريان السيلي في الروافد يصل إلى المجرى الرئيسي في فترة زمنية متماثلة تقريبا ، مما يؤدي إلى حدوث سيول سريعة وكبيرة نتيجة قلة التبخر والتسرب (محمد بوروبة ، ٢٠٠٧م ، ص ص٥٣ -٥٥)

وفي حالة إذا تساوى حوضان في المساحة وفي كثافة التصريف واختلفا في الشكل فكان أحدهما يميل للاستطالة والآخر يميل للاستدارة ، فإنه إذا ما سقطت أمطار وسببت جريانا فإن هذا الجريان سوف يأخذ وقتا طويلا حتى يصل إلى مخرج الحوض الأول ، نظرا لطول الحوض وطول مسافة الانتقال مما يصنع منحنيا مائيا زمنيا عريضا ، على حين أن الجريان في الحوض الثاني يكّون منحنيا مائيا زمنيا ذو قمة حادة ، نظرا لوصول المياه من روافده في وقت واحد تقريبا (أحمد سالم صالح ، ١٩٩٩م ، صـ٤٨) ولمعرفة الخصائص الشكلية لأحواض التصريف في منطقة الدراسة سوف يتم دراسة المتغيرات التالية:

١ - نسبة الاستدارة: تشير نسبة الاستدارة إلى النسبة بين مساحة الحوض ومساحة دائرة بنفس طول محيط الحوض ، ويتم إيجادها من قسمة مساحة الحوض على مساحة الدائرة التي لها نفس محيط الحوض[١٧]، ويعني ارتفاع قيمة ناتج القسمة باتجاه الواحد الصحيح اقتراب شكل الحوض من الدائرة ، وعكس ذلك كلما ابتعدت عنه (محمد صبري محسوب ، ٢٠٠١م ، صـ ٢٠٨) وتدل القيم المنخفضة للاستدارة إلى عدم انتظام وتعرج خطوط تقسيم المياه ، مما يؤثر في طول المجاري المائية فيه ، خاصة ذات الرتب النهرية الدنيا التي تقع عادة عند مناطق تقسيم المياه ، كذلك فان القيم المرتفعة من الاستدارة تشير إلى تقدم الأحواض المائية في دورتها الحتية حيث

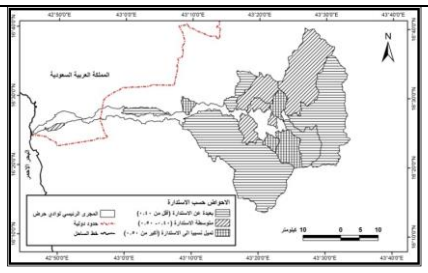
١٦) يقصد بزمن الاستجابة الفترة الزمنية الفاصلة بين ذروة هطول الأمطار وذروة التدفق السيلي أي الفترة التي تتحول فيها الأمطار إلى جريان سيلي

١٧) وتأخذ المعالة الشكل التالي: $C=4*\pi A/P2$ (Gregory &Walling, 1979 p51) حيث : A = مساحة الحوض ، π = ٧/٢٢ ، P= محيط الحوض

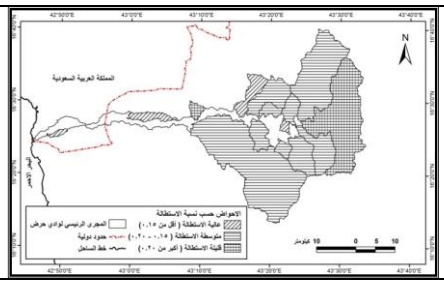
أنها تزداد مع الزمن ، وهذا يعود إلى ميل الأنهار إلى حفر وتعميق مجاريها قبل الشروع في توسيعها (حسن رمضان سلامة ، ١٩٨٢م ، ص٦)

وبصفة عامة يمكن القول أن الأحواض المستديرة أو التي تميل للاستدارة تتجمع فيها مصبات معظم الروافد في منطقة واحدة تمثل المركز ، ومع حدوث الجريان في هذه الروافد فإنه يصل إلى هذه المنطقة في وقت متقارب ، مما ينتج عنه فيضان كبير وسريع في الوادي الرئيسي ويصنع قمة حادة (أحمد سالم صالح ، ١٩٩٩م ، ص٤٦) وبالتالي تزداد خطورة السيول في هذه الأحواض.

وبتطبيق المعادلة السابقة والتي ظهرت نتائجها في جدول (٥) يتضح ان نسبة استدارة حوض وادي حرض بلغت ٠,١٨ وهذا يعني أنه يبتعد عن الشكل الدائري ويقترب من شكل المستطيل كما سيتضح ، أما الأحواض الثانوية فقد تراوحت نسب استدارتها بين ٠,٢٤ - ٠,٦٣ بمتوسط ٠,٤٤ ، وانحراف معياري٠,١١ ، ومعامل اختلاف ٢٥٪ مما يعني انها متجانسة إلى حد كبير ، وأنها جميعا تبتعد عن الاستدارة ، ويشير هذا إلى أنها لم تقطع شوطا كبيرا في دورتها الحياتية ، كما يشير إلى شدة تعرج خطوط تقسيم المياه ، ويمكن تقسيمها إلى ثلاث فئات شكل(١٤)



شكل(١٤) توزيع الأحواض حسب نسبة الاستدارة



شكل(١٥) توزيع الأحواض حسب نسبة الاستطالة

من عمل الباحث اعتمادا على جدول(٥)

٢ - نسبة الاستطالة: يدل هذا المؤشر على النسبة بين قطر دائرة بنفس مساحة الحوض و أقصى طول للحوض (Schumm,1956,p612) ، ويقيس مدى التشابه بين شكل الحوض والمستطيل[١٨] ، وكلما انخفض الناتج إلى أدنى قيمة له دل ذلك على اقتراب الحوض من الشكل المستطيل ،

١٨) وتؤخذ من المعادلة التالية: $E=2\sqrt{A/\pi}/L$ (Gregory &Walling, 1979 p51) حيث : A = مساحة الحوض ، π = ٧/٢٢ ، L طول الحوض

وكلما اقترب الناتج من الواحد الصحيح دل على ابتعاده من شكل المستطيل واقترابه من الشكل الدائري (محمد محمود عاشور، ومجدي تراب ،١٩٩١م صـ ٣١٧) هذا وتؤثر نسبة الاستطالة في أطوال المجاري المائية وعددها ، خاصة التي تنتمي إلى الرتب الدنيا منها وكذلك المجاري الرئيسية فيها ، إذ تميل مجاري الرتب الدنيا إلى زيادة أطوالها وتقليل عددها في حالة انخفاض نسبة الاستطالة ، في حين تقلل من أطوال الرتب الدنيا وتزيد من أعدادها ومن طول المجرى الرئيسي مع ارتفاع نسبة الاستطالة (حسن رمضان سلامة ، ١٩٨٢م ، صـ ٦) وهذا ينعكس على كمية وسرعة الجريان السيلي وبالتالي خطورته ، فالأحواض المستطيلة أو التي تميل للاستطالة يكون فيها الجريان ضعيفا وذو قمة ضعيفة (أحمد سالم صالح ، ١٩٩٩م ، ص ص٤٦ ،٤٨) أي أنه يكون أقل خطورة ، لان المياه تتجمع من الروافد القصيرة التي تصب في المجرى الرئيسي مباشرة وتنصرف في تتابع تدريجي نحو مخرج الحوض. إضافة إلى أن الروافد الواقعة في الأجزاء الدنيا من الحوض سوف تصرف مياهها في الوادي الرئيسي قبل وصول مياه الروافد الواقعة في الأجزاء العليا من الحوض (أحمد سالم صالح ، ١٩٩٩م ، ص ٤٨)

ويرى استريلر (Strahler,1964) أن الأحواض التي تتراوح نسبة استطالتها بين ٠,٦ – ١ ترجع إلى الاختلافات الكبيرة في صلابة التكوينات الجيولوجية لأحواضها أو التي تتفاوت الظروف المناخية بين أجزائها ، أما القيمة المرتفعة التي تقترب من الواحد الصحيح فهي لأحواض ذات تضاريس حوضيه تتميز بالبساطة ، على حين تتم الاستطالة المنخفضة عن أحواض شديدة التضرس (محمود عاشور ، ومجدي تراب ، ١٩٩١م ، صـ٣١٨).

جدول(٥) الخصائص الشكلية لحوض وادي حرض وروافده

الحوض	نسبة الاستدارة	نسبة الاستطالة	معامل الشكل
وادي حرض	٠,١٨	٠,١٣	٠,١٧
وادي صبران	٠,٤٢	٠,١٩	٠,٣٥
وادي الضيّق	٠,٣١	٠,١٥	٠,٢٣
بكيل المير	٠,٤٣	٠,١٧	٠,٢٨
وادي الابطح	٠,٢٩	٠,٣٠	٠,٩٠
وادي نوّه	٠,٤٢	٠,١٨	٠,٣١
الدّاهل	٠,٢٤	٠,١١	٠,١٢
وادي إحلاف	٠,٥٣	٠,١٨	٠,٣١
وادي هذى	٠,٣٨	٠,١٧	٠,٣٠
وادي الحيف	٠,٥٧	٠,٢٠	٠,٣٨
وادي فاس	٠,٤٩	٠,٢٠	٠,٣٨
وادي حنّة	٠,٦٣	٠,٢٠	٠,٣٩
وادي رام	٠,٣٧	٠,١٨	٠,٣١
أم القصوم	٠,٥٨	٠,٢٥	٠,٦٠
الموسم	٠,٤٢	٠,١٣	٠,١٧
ملب	٠,٤٨	٠,١٤	٠,٢٠

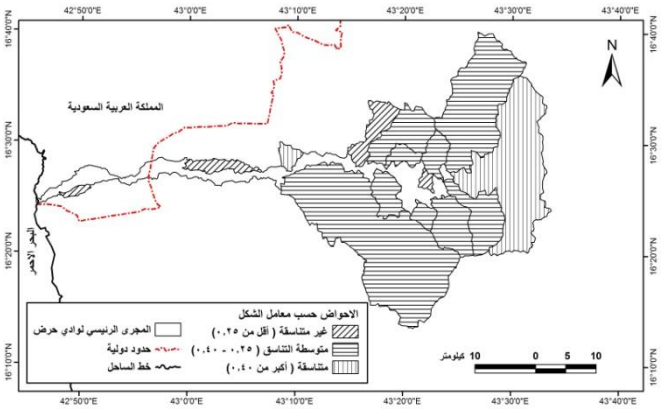
من حساب الباحث

وبتطبيق المعادلة السابقة والتي ظهرت نتائجها في جدول(٥) يتضح أن نسبة الاستطالة في حوض وادي حرض بلغت ٠,١٣ ، وهذا يعني أن الحوض يميل إلى الاستطالة بشكل كبير ، أما الأحواض الثانوية فقد تراوحت نسب استطالتها بين ٠,١١ - ٠,٣٠ ، بمتوسط ٠,١٨ ، وانحراف معياري ٠,٠٤ ، ومعامل اختلاف ٢٢,٢ ٪ مما يدل على تجانسها الكبير ، كما يشير المتوسط الحسابي إلى أنها تميل إلى الاستطالة ، وقد يكون ذلك بسبب تجانس الصخور المنكشفة في الحوض التي يغلب عليها صخور القاعدة الصلبة كما سبق الذكر ، إضافة إلى تأثير الصدوع التي تقطّع سطح الأحواض ، وتشير ارتفاع نسبة الاستطالة في الأحواض إلى شدة تضرسّها ، وزيادة عمليات النحت وأنها لا زالت نشطه في دورتها التحاتية ويمكن تقسيمها إلى ثلاث فئات شكل(١٥)

٣ - معامل الشكل: اقترح هورتون (Horton,1932) هذا المعامل الذي يعطي مؤشرا لمدى تناسق أجزاء الحوض ومدى انتظام الشكل العام له (متولي عبد الصمد ، ٢٠٠١م ، صـ٩٠) ويعبر هذا المعامل عن العلاقة بين طول وعرض الحوض[١٩] ، وتدل القيم المنخفضة لهذا المعامل إلى اقتراب الحوض من شكل المثلث ، أما القيم المرتفعة فتدل على اقتراب الحوض من شكل المربع (محمود عاشور ، ومجدي تراب ، ١٩٩١م ، صـ٣١٩)

وبتطبيق المعادلة السابقة والتي ظهرت نتائجها في جدول(٥) يتضح ان معامل شكل حوض وادي حرض بلغ ٠,١٧ وهذا رقم منخفض يدل على عدم تناسق شكل الحوض ، وقد يكون ذلك بسبب تأثر مناطق تقسيم المياه بالظروف البنيوية الصدعية. أما الأحواض الثانوية فقد تراوحت قيم معامل الشكل فيها بين ٠,١٢ - ٠,٩٠ ، بمتوسط ٠,٣٥ و انحراف معياري ٠,١٨ ومعامل اختلاف ٥١,٤٪ ، وهذا يعني عدم تجانسها نسبيا في هذا المعامل ، و أنها غير متناسقة الشكل وتميل إلى شكل المثلث. ويمكن تقسيمها إلى ثلاث فئات شكل(١٦)

شكل(١٦) توزيع الأحواض حسب معامل الشكل



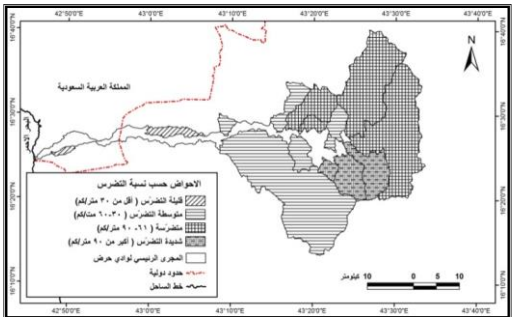
من عمل الباحث اعتمادا على جدول(٥)

١٩) ويمكن إيجاده من المعادلة التالية: F=A/L2 (Gregory &Walling, 1979 p51) حيث : A = مساحة الحوض ، L = طول الحوض

جـ - الخصائص التضاريسية: تأتي أهمية دراسة الخصائص التضاريسية لأحواض التصريف كونها انعكاسا واضحا للخصائص الليثولوجية و التكتونية للحوض ومؤشر لمدى نشاط وفعالية عمليات التعرية النهرية ودورها في تشكيل تضاريس الحوض ، وسيتم تناول ذلك من خلال ما يلي:

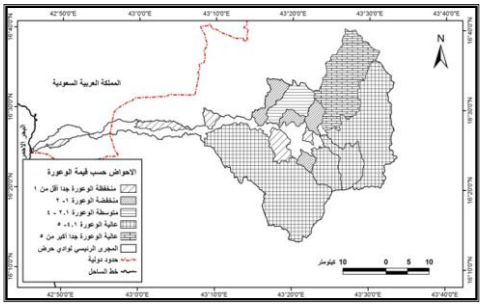
١ - نسبة التضرس: تعد نسبة التضرس من المؤشرات المورفومترية الهامة الذي تعطي فكرة جيدة عن تضرس الحوض ، وتشير إلى النسبة بين التضاريس الكلية للحوض وأقصى طول له (Schumm,1956,p612) وتدل نسبة التضرس على العلاقة بين طول الحوض وتضاريسه القصوى ، ومن الطبيعي أنه كلما ارتفعت قيمة هذا المؤشر في حوض التصريف كلما زادت كمية الجريان السيلي وسرعته في الحوض وبالتالي زادت خطورته. ويؤخذ هذا المؤشر من قسمة الفرق بين أعلى وأقل منسوب في الحوض على طول الحوض[٢٠] وفي جدول (٦) تظهر نتائج تطبيق ذلك على حوض وادي حرض وأحواضه الثانوية و منه يتضح أن نسبة التضرس في حوض وادي حرض بلغت ٢٦,٦ متر/كم ، أما على مستوى الأحواض الثانوية فقد تراوحت نسب التضرس بين ٣,٣ متر/كم - ١٠٩,٢ متر/كم ، بمتوسط ٥٨,١ متر/كم وانحراف معياري ٣٠,٤ متر/كم ، ومعامل اختلاف ٥٢,٣٪ وهذا يعني أنها غير متجانسة نسبيا في تضرسها ويمكن تقسيمها إلى أربع فئات شكل(١٧) ومنه يتضح أن الأحواض قليلة التضرس تقع في الجزء الأدنى من حوض وادي حرض الذي يتميز ببساطة تضاريسه كما سبقت الإشارة. والأحواض متوسطة التضرس تقع ضمن الأراضي الوسطى من الحوض والتي تتميز بارتفاعاتها المتوسطة ، إضافة إلى أنها تتميز بانخفاض المدى التضاريسي مقارنة بالأحواض الأخرى. أما حوض وادي رام فيعود انخفاض نسبة تضرسه بالرغم من زيادة المدى التضاريسي فيه إلى زيادة طوله ، والأحواض المتضرّسة تتميز بأنها تقع في أكثر أجزاء الحوض ارتفاعا إلا أن كبر مساحتها وزيادة أطوالها قلل من تضرّسها مقارنة بالأحواض شديدة التضرس التي تعود زيادة تضرسها إلى انخفاض أطوالها ، وزيادة المدى التضاريسي فيها ، كما أنها متجاورة وتنبع من كتله جبلية واحدة.

٢٠) كما في المعادلة التالية: Rr=H/L (Gregory &Walling, 1979, p60) حيث H= الفرق بين أدنى وأقل منسوب في الحوض(بالمتر) ، L = طول الحوض كم



شكل(١٧) توزيع الأحواض حسب نسبة التضرس

من عمل الباحث اعتمادا على جدول(٦)



شكل(١٨) توزيع الأحواض حسب قيمة الوعورة

من عمل الباحث اعتمادا على جدول(٦)

جدول(٦) الخصائص التضاريسية لحوض وادي حرض وروافده

الحوض	اعلى ارتفاع	ادنى ارتفاع	فارق الارتفاع	نسبة التضرس	قيمة الوعورة
وادي حرض	٢٢٦٧	صفر	٢٢٦٧	٢٦,٦	٧,٦
وادي صبران	١١٠٤	٢٨٥	٨١٩	٦٣,٥	٢,٥
وادي الضيّق	٧٨٤	٢٧٠	٥١٤	٤٢,٨	١,٦
بكيل المير	٧٨٢	٣١٥	٤٦٧	٦٤	١,٤
وادي الابطح	١٨٨١	٤٩٨	١٣٨٣	٨٦,٤	٤,٩
وادي نوّه	٢٢٦٧	٤٨٧	١٧٧٠	٧٣,٤	٥,٨
الدّاهل	١٤٥	٦٩	٧٦	٥,٩	٠,٣
وادي إحلاف	٩٨٦	٤٨٣	٥٠٣	٥٨,٥	١,٥
وادي هذى	١٨٥٦	٤٨٤	١٣٧٢	٩٨	٤,٣
وادي الحيف	١٧٠٩	٤٤٢	١٢٦٧	١٠٩,٢	٤,٣
وادي فاس	٥٩٥	٣٠٠	٢٩٥	٣٣,٥	٠,٩
وادي حنّة	٩٦٨	٤١٥	٥٥٣	٩٧	١,٨
وادي رام	١٦٨٠	١٥٦	١٥٢٤	٤٥,٤	٥
أم القصوم	٣٥٦	١٦٢	١٩٤	٤٥,١	٠,٨
الموسم	٢٨	١٠	١٨	٣,٣	٠,٠٧
ملب	٧١١	٤٥٨	٢٥٣	٤٦	٠,٧

من حساب الباحث

٢ - قيمة الوعورة: تعد قيمة الوعورة من أهم المقاييس المورفومترية التي تعالج العلاقة المتبادلة بين أكثر من متغيرين في حوض التصريف ، فهي تقيس العلاقة بين كل من التضرس الحوضي وأطوال المجاري والمساحة الحوضية ، أي تقيس العلاقة بين تضرس الحوض و كثافة التصريف (محمد محمود عاشور، ومجدي تراب ،١٩٩١م صـ ٣٢٨) ولذلك فمن الطبيعي أن تدل القيم المرتفعة من هذا المعامل على تضرس الحوض ، وبالتالي زيادة خطورة السيول فيه ، كما تدل القيم المرتفعة أيضا على كفاءة شبكة التصريف في سرعة نقل المياه إلى المجرى الرئيسي للحوض. ويتم الحصول على قيمة الوعورة من ضرب التضاريس القصوى للحوض(الفرق بين أعلى وأدنى ارتفاع) في كثافة التصريف D (Strahler,1958,p289) ويقسم الناتج على١٠٠٠.

ومن جدول(٦) يمكن ملاحظة أن قيمة الوعورة في حوض وادي حرض بلغت ٧,٦ ، أما الأحواض الثانوية فقد تراوحت قيم الوعورة فيها بين ٠,٠٧ -٥,٨ ، بمتوسط ٢,٤ ، وانحراف معياري ١,٩ ، ومعامل اختلاف٧٩,٢٪ مما يدل على تباينها الكبير في هذا المتغير. ويمكن تقسيمها إلى خمس فئات يوضحها شكل(١٨) وهنا تنبغي الإشارة إلى أن هناك علاقة ارتباط قوية بلغت حوالي ٠,٧٧ بين نسبة التضرس وقيمة الوعورة ، مما يعني أن الأحواض عالية التضرس غالبا تكون عالية الوعورة والعكس صحيح.

ثانيا: خصائص شبكات التصريف:

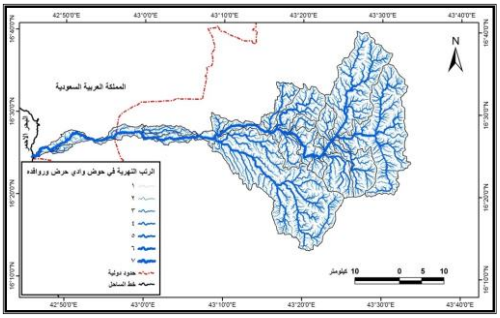
تمثل شبكة التصريف لأي حوض مائي المحصلة النهائية للعلاقة المتبادلة بين العوامل الجيولوجية والتضاريسية من جهة والعوامل المناخية من جهة أخرى. ولهذه الخصائص تأثير كبير في المتغيرات الهيدرولوجية في أحواض التصريف ، واهم الخصائص المورفومترية التي سيتم دراستها : الرتبة ، أعداد المجاري ، أطوال المجاري ، نسبة التشعب ، تكرار الأودية ، كثافة التصريف ، وذلك كما يلي:

١) الرتبة: تمثل دراسة رتب مجاري الأودية أولى خطوات تحليل شبكات تصريف الأحواض(Strahler,A.N,1957,p914) ويقصد بالرتبة معرفة موقع مجرى ما بالنسبة للشكل التسلسلي لشبكة التصريف في حوض ما ، وتمثل أعلى رتبة بالحوض موقع آخر مجرى فيه ، والذي يمثل مركز الحوض أو المسيل المائي الرئيسي الذي يتجمع به جريان

جميع الأودية بالحوض ، وتكمن أهمية معرفة آخر رتبة في الحوض في أنها تعطي مؤشرا تقريبيا عن كمية الجريان فيه ، فمن المتوقع أن تكون كمية المياه في الحوض كبيرة كلما زادت رتبته بسبب زيادة عدد الروافد التي تغذية ، ولذلك يرى جريجوري ووالنج (Gregory &Walling, 1979 p41) أن رتب المجاري المائية في الحوض يجب أن تتناسب طرديا مع حجم شبكة التصريف بشرط ثبات العوامل الأخرى المؤثرة في حوض التصريف ، وأن أي زيادة في رتب مجاري الشبكة سوف يصاحبها زيادة في التصريف والجريان.

ولمعرفة رتبة حوض ما يتم ترتيب شبكة التصريف فيه إلى مجموعة من القنوات(الرتب) المنفصلة ، بحيث تأخذ كل مجموعة من المجاري رتبة معينة ، وتختلف هذه الرتبة حسب الطريقة المستخدمة في التصنيف ، وتعد طريقة استريلر (Strahler,A.N,1957,p914) أكثر الطرق شيوعا واستخداما بين الدارسين نظرا لسهولة تطبيقها[٢١]، وقد تم استخدام هذه الطريقة في تصنيف شبكات التصريف في حوض وادي حرض كما في شكل(١٩) وجدول(٧) ومن دراستهما يتضح أن حوض وادي حرض ينتهي بالرتبة السابعة ، وقد تكون مجراه الرئيسي من التقاء واديي الابطح ونوّه. أما الأحواض الثانوية فقد تراوحت رتبها بين الرابعة والسادسة شكل (٢٠) وهذه الرتب هي محصلة للخصائص التضاريسية والمساحية للأحواض.

شكل(١٩) شبكة التصريف حسب الرتبة في حوض وادي حرض وروافده

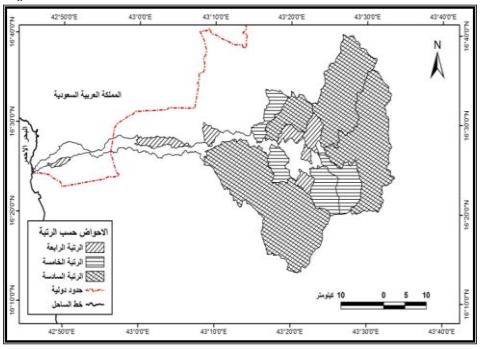


من عمل الباحث اعتمادا على جدول(٧)

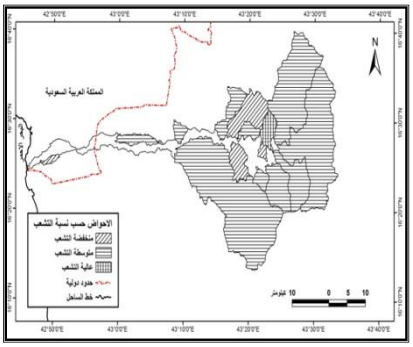
٢١) يتم ترتيب المجاري وفقا لهذه الطريقة بتحديد الروافد العليا التي لا تنتهي إليها روافد أخرى لتكون مجاري الرتبة الأولى ، وعندما يلتقي رافدان من الرتبة الأولى يتكون مجرى رتبة ثانية ، ويظهر مجرى رتبة ثالثة إذا التقى مجريان من الرتبة الثانية وهكذا

٢) أعداد المجاري: تؤثر أعداد مجاري الأودية تأثيرا كبيرا في الجريان السيلي ، حيث تعد الأحواض التي تضم أعدادا كبيرة من المجاري ذات كفاءة عالية في نقل الجريان السيلي والعكس صحيح ، وبشكل عام تميل أحواض التصريف في المناطق الجافة والصحراوية إلى زيادة عدد المجاري في الرتبة الأولى ، بسبب سيادة ظروف التجوية وتراكم كميات كبيرة من المواد المفككة والمفتتات بالإضافة إلى ندرة الغطاء النباتي ، وهذا يعني كفاءة عالية في نقل الجريان السطحي من السطوح المجاورة إلى المجاري ، مما يساعد على سرعة الجريان من جهة وانخفاض الفواقد مما لو استمر لمدة أطول ومنتشرا على مساحة كبيرة في شكل انسياب سطحي من جهة أخرى ، كما أن زيادة عدد المجاري يعني أن جزء كبيرا من الأمطار الساقطة سوف تتلقاها هذه المجاري ، وهذا يقلل من عملية التسرب في الأجزاء المحيطة بهذه المجاري (أحمد سالم صالح ، ١٩٩٩م ، صـ ٥٣)

ومن دراسة ملحق(٢) يتضح أن عدد مجاري حوض وادي حرض تبلغ ٩٦٨٠ مجرى ، تمثل مجاري الرتبة الأولى نسبة تصل إلى ٧٩,٩٪ ، أما الرتبة الثانية فتمثل ١٥,٨٪ ، أي ان الرتبتين الأولى والثانية تستحوذ على ٩٥,٧٪ من مجاري الحوض ومثلت بقية الرتب من الثالثة إلى السابعة النسبة الباقية ، وهذه خاصية من خصائص أحواض التصريف في المناطق الجافة وكذلك أحواض المناطق الجبلية المتضرسة كما هو حوض وادي حرض ، وهذه النسب تقترب إلى حد كبير مما هي عليه في أحواض أودية سردد ، سهام ، رماع - الواقعة إلى الجنوب من الحوض المدروس - التي شكلت نسبة مجاري الرتبتين الأولى والثانية فيها ٩٥,٨٪ ، ٩٥,٤٪ ، ٩٥,٨٪ على التوالي (ياسين أحمد القحطاني ، ٢٠١٠م ، صـ٢٤٩) وتقترب كذلك مما هي عليه في حوض وادي زبيد حيث مثلت مجاري الرتبة الأولى والثانية ما نسبته ٩٥,٨٪ من اجمالي مجاري الحوض (Ahmad, S.A, 2004,p126)



شكل(٢٠) توزيع الأحواض حسب الرتبة
من عمل الباحث اعتمادا على جدول(٧)



شكل(٢١) توزيع الأحواض حسب نسبة التشعب
من عمل الباحث اعتمادا على جدول(٧)

أما الأحواض الثانوية فقد بلغ إجمالي أعداد المجاري فيها ٨٥٤١ مجرى بنسبة ٨٨,٢٪ من إجمالي مجاري حوض وادي حرض[٢٢] وبلغ متوسطها ٥٦٩ مجري وانحراف معياري ٧٧٨,٤ مجرى ، ومعامل اختلاف ١٣٦,٨٪ ، وهذا يدل على عدم تجانس الأحواض في أعداد المجاري ، نتيجة الاختلاف الكبير في مساحاتها ، لان هناك علاقة ارتباط طردية قوية جدا بين المساحة وأعداد المجاري بلغت ٠,٩٩٩. كما يتضح أيضا أن جميع الأحواض الثانوية تميل إلى زيادة أعداد مجاري الرتب الدنيا الأولى والثانية والثالثة حيث تمثل هذه الرتب نسبة تصل إلى أكثر من ٩٩٪ من إجمالي عدد المجاري في الأحواض الثانوية.

٣) نسبة التشعب: تعرف بأنها النسبة بين عدد المجاري لرتبة ما وعدد المجاري للرتبة التي تليها مباشرة[٢٣]، وتؤثر نسبة التشعب في طول مدة الجريان ورفع كمية المياه الجارية مما يؤدي الى زيادة عمليات التعرية خاصة في المراتب العليا من الحوض ، وتعبر كذلك عن احتمالية حدوث السيول في حوض ما ، فعندما تكون نسبة التشعب منخفضة فإن الحوض يعطي جريانا سطحيا بطيءً يسمح بتسرب المياه إلى باطن الأرض ، وتكون فرصة السيول منخفضة والعكس صحيح (إبراهيم زكريا الشامي، ١٩٩٥م ،صـ ٦٤) كما تعد نسبة التشعب من المؤشرات المهمة لتقدير خطورة الجريان في حوض التصريف ، نظرا لأنها ترتبط بعلاقة عكسية مع كمية الجريان ، التي تتناسب طرديا مع درجة الخطورة ، وبالتالي كلما قلت نسبة التشعب وزادت كمية الجريان كلما زادت درجة الخطورة[٢٤].

وبتطبيق المعادلة والتي ظهرت نتائجها في جدول(٧) يتضح ان نسبة التشعب في حوض وادي حرض تبلغ ٤,٥ ، وهذه النتيجة تقترب من الحد الاعلى لنسب التشعب الطبيعية لأحواض التصريف التي حددها استريلر بين ٣ - ٥ (سعد أبو راس الغامدي ، ٢٠٠٦م ، ص ٣٨) وهذه النسبة تقترب مما هي عليه في حوض وادي زبيد التي بلغت ٤,٤ (Ahmad, S.A, 2004,p126) وتقترب كذلك مما هي في حوض وادي سهام التي بلغت ٤,٤ (ياسين أحمد القحطاني ، ٢٠١٠م ، صـ٢٥٣) أما الأحواض الثانوية فتتراوح نسب التشعب فيها بين ٣,٥ في كلا من صبران ، ملب و ٥,٢ في إحلاف ، بمتوسط ٤,٣ ، وانحراف معياري ٠,٥ ، ومعامل اختلاف ١١,٦٪ ، مما يعني ان هناك تجانس كبير بين الأحواض في نسب تشعبها. ويمكن تصنيفها إلى عدة فئات يوضحها شكل(٢١)

---

٢٢) بقية المجاري (١١٣٩ مجرى) توجد في المجرى الرئيسي لحوض وادي حرض .

٢٣) وتحسب بالمعادلة التالية: نسبة التشعب= عدد المجاري في رتبة ما / عدد مجاري الرتبة التي تليها مباشرة ونسبة التشعب لحوض ما يتم إيجادها بحساب نسب التشعب للرتب المختلفة في الحوض ثم يؤخذ المتوسط (محمد عبدالله الصالح ، ١٩٩٢م ، صـ ٧٨)

٢٤) فمثلا إذا سقطت كمية من الأمطار على حوضين متجاورين يتشابهان في خصائصهما المختلفة ، إلا أنهما يختلفان في نسبة التشعب فكانت في الحوض الأول ٤ مجاري وكانت في الثاني ٢ ، فان كمية المياه التي ستجري في المجاري الأربعة التابعة للحوض الأول أقل من الكمية التي ستجري في مجاري الحوض الثاني ، مما يعني أن الجريان في الحوض الثاني يكون أكثر خطرا مما هو علية في الحوض الأول نظرا لزيادة كمية المياه الجارية.

جدول(٧) الخصائص المورفومترية لشبكة التصريف المائي لحوض وادي حرض وروافده

الحوض	الرتبة	أعداد المجاري	مجموع أطوال المجاري كم	نسبة التشعب	كثافة التصريف كم/كم٢	تكرار المجاري مجرى/كم٢
حرض	٧	٩٦٨٠	٤١٥٥,٢	٤,٥	٣,٤	٧,٨
صبران	٦	٤٣٨	١٧٨,٧	٣,٥	٣,١	٧,٦
الضيّق	٥	٢٧٠	١٠٥,٩	٤,١	٣,١	٨
بكيل المير	٤	١٢٢	٤٤,٨	٤,٦	٣	٨,٢
الابطح	٦	١٩١٢	٨٢٠,٨	٤,٤	٣,٦	٨,٣
نوّه	٦	١٤٢١	٥٨٨,٧	٤,٢	٣,٣	٧,٩
الدّاهل	٤	١٣٢	٧٢	٤,٨	٣,٧	٦,٨
إحلاف	٤	١٦١	٦٦,٦	٥,٢	٢,٩	٧
هذى	٥	٤٣٦	١٨٣	٤,٤	٣,١	٧,٥
الحيف	٥	٤١٦	١٧٤,١	٤,٥	٣,٤	٨,١
فاس	٥	٢٠٦	٨٨,٦	٣,٨	٣	٧
حنّة	٤	١٠٤	٤١,٣	٤,٦	٣,٣	٨,٢
رام	٦	٢٧٤٣	١١٧٤,٥	٤,٧	٣,٣	٧,٧
أم القصوم	٤	٩٣	٤٥,٣	٤,١	٤,١	٨,٣
الموسم	٤	٤٣	٢٠,٨	٣,٦	٤	٨,٣
ملب	٤	٤٤	١٧,٤	٣,٥	٢,٩	٧,٣

من حساب الباحث

٤) أطوال المجاري: يتأثر الجريان السيلي في أحواض التصريف بأطوال مجاري الأودية ، وذلك من خلال تأثيرها على المسافة التي يقطعها الجريان في الروافد حتى يصل إلى الوادي الرئيسي ، وبالتالي فإن زيادة متوسط الطول في الرتبة الواحدة يعني زيادة طول الرحلة بالنسبة للجريان ، وبالتالي زيادة طول الوقت و الفواقد ومع زيادة الفواقد في الأودية الطويلة يؤدي ذلك إلى انقطاع الجريان وعدم تواصله ، وفي المقابل فإن المجاري القصيرة يقل فيها طول الرحلة ، وبالتالي ينخفض كل من الوقت و الفواقد مما يترتب عليه وصول الجريان بسرعة ودون فواقد تذكر(أحمد سالم صالح ، ١٩٩٩م ، ص صـ ٥٤، ٥٥).

ومن جدول(٧) يتضح أن مجموع أطوال المجاري في حوض وادي حرض بلغ ٤١٥٥,٢ كم ، أما الأحواض الثانوية فيتراوح مجموع أطوال المجاري فيها بين ١٧,٤ كم - ١١٧٤,٥ كم ، بمتوسط

٢٤١,٥ كم ، وانحراف معياري ٣٣٢,٥ كم ، ومعامل اختلاف ١٣٧,٦٪ وهذا يدل على التباين الكبير بين الأحواض في هذا المتغير ، ويعود ذلك إلى اختلافها الكبير في المساحة وفي أعداد المجاري كما سبق الذكر.

٥) كثافة التصريف: تعبر عن العلاقة النسبية بين مجموع أطوال المجاري المائية في حوض ما ومساحته ، وتعد من المقاييس الهامة التي تعكس اثر كلا من الخصائص الصخرية والتضاريسية في حوض التصريف (محمود محمد عاشور ، ١٩٨٦م ،صـ ٤٦٥) إضافة إلى الظروف المناخية خاصة كمية الأمطار ، فالمناطق التي تسقط عليها كميات كبيرة من الامطار ترتفع فيها كثافة التصريف ، خاصة إذا كانت صخورها قليلة النفاذية ومنحدرة بشكل ملحوظ بحيث يقل فيها التسرب ، وقد وجد ميلتون سنة ١٩٥٧م في دراسته للعوامل المتحكمة في كثافة التصريف أن المناخ والطبوغرافيا مسئولان عن اختلاف كثافة التصريف بنسبة ٩٣,٢٪ (آمال إسماعيل شاور، ١٩٨٠م ، صـ٥٤) و تعد كثافة التصريف هيدرولوجيا عاملا مهما في تحديد الزمن الذي تنتقل فيه المياه عبر الروافد إلى المجرى الرئيسي (Gregory &Walling, 1979 p45) حيث تزيد سرعة انتقال المياه أي يقل الزمن مع تزايد كثافة التصريف ، ويؤدي هذا إلى ارتفاع كمية التصريف وسرعة وصوله إلى مرحلة القمة التصريفية (حسن رمضان سلامة ، ١٩٨٥م ، صـ ٥٩) وتستخدم أحيانا كمؤشر على احتمالية حدوث السيول فعندما تكون عالية تكون احتمالية حدوث السيول عالية والعكس(إبراهيم زكريا الشامي، ١٩٩٥م ،صـ ٦٥) ويمكن إيجاد كثافة التصريف من خلال المعادلة التي اقترحها هورتون[٢٥]، وبتطبيق المعادلة والتي ظهرت نتائجها في جدول(٧) يمكن ملاحظة أن كثافة التصريف في حوض وادي حرض بلغت ٣,٤ كم/كم٢ ، وهذا يعني أنه يدخل ضمن الأحواض الخشنة حسب تصنيف استريلر[٢٦] ، أما الأحواض الثانوية فتتراوح كثافة تصريفها بين ٤,١ في حوض أم القصوم و٢,٩ كم/كم٢ في حوضي إحلاف وملب ، بمتوسط ٣,٣ كم/كم٢ ، وانحراف معياري ٠,٣٥ كم/كم٢ ومعامل اختلاف ١٠,٦٪ مما يدل على تجانسها الكبير وأنها جميعا تدخل ضمن الأحواض الخشنة حسب تصنيف استريلر. ويمكن تصنيفها الى ثلاث فئات شكل(٢٢)

---

٢٥) والتي تأخذ الشكل التالي: Dd=∑L/A (Horton,1945,p283) حيث :Dd = كثافة التصريف ، ∑ L= مجموع أطوال مجاري الحوض كم ، A = مساحة الحوض كم٢

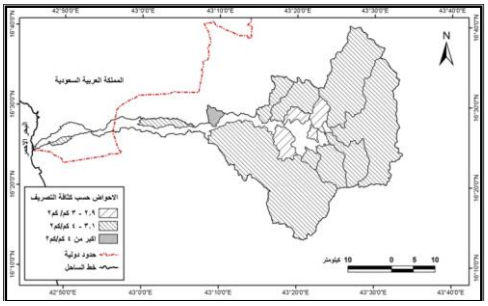
٢٦) يصنف استريلر كثافة التصريف إلى أربعة فئات هي :

١ - أقل من ٥ خشن ٢ - من ٥ - ١٣,٧ متوسط الخشونة

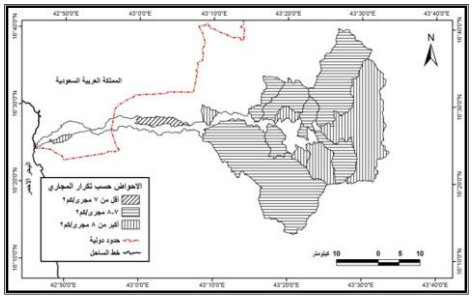
٣ - من ١٣,٧ - ١٥٥ ناعم ٤ - اكبر من ١٥٥ ناعم جدا (Gregory &Walling, 1979 p47)

٦) تكرار المجاري: يقصد به عدد المجاري في الوحدة المساحية ، و يعبر هذا المتغير عن مدى تقطع سطح الحوض بالمجاري ، و يقيس النسبة بين أعداد المجاري ومساحة حوض التصريف[٢٧] ، بغض النظر عن أطوالها (محمد محمود عاشور، ومجدي تراب ،١٩٩١م صـ ٣٤٠) ، وتدل القيم المرتفعة لهذا المعامل على إمكانية عالية لتجميع المياه داخل حوض التصريف نتيجة لزيادة أعداد المجاري ومن ثم حدوث الجريان بصورة اكبر، وغالبا ينخفض معدل تكرارية المجاري في الأحواض الكبيرة المساحة ويرتفع في الأحواض صغيرة المساحة ، ويزداد كذلك في الأحواض التي تغطيها صخور ضعيفة غير مقاومة للتعرية المائية.

وفي جدول(٧) تظهر نتائج تطبيق المعادلة ومنه يتضح أن تكرار المجاري في حوض وادي حرض بلغ ٧,٨ مجرى/كم٢ ، وهي قيمة متوسطة نسبيا تعكس طبيعة الخصائص الصخرية والتضاريسية والمطرية للحوض. أما الأحواض الثانوية فقد تراوح تكرار المجاري فيها بين ٦,٨ مجرى /كم٢ في الداهل - ٨,٣ مجرى /كم٢ في الابطح والموسم وأم القصوم ، بمتوسط ٧,٨ مجرى /كم٢ وانحراف معياري ٠,٥ مجرى /كم٢ ، ومعامل اختلاف ٦,٤ ٪ مما يدل على أن هناك تجانسا كبيرا بين الأحواض في هذا المتغير شكل(٢٣)



شكل(٢٢) توزيع الأحواض حسب كثافة التصريف



شكل(٢٣) توزيع الأحواض حسب تكرار المجاري

من عمل الباحث اعتمادا على جدول(٧)

٢٧) ويمكن الحصول عليه من المعادلة التالية: F =∑Nu /A (أحمد أحمد مصطفى ، ١٩٨٧م ، صـ ٢٤٩) حيث :F = تكرار المجاري ، ∑ Nu= مجموع أعداد مجاري الحوض برتبها المختلفة كم ، A = مساحة الحوض كم٢

النتائج والتوصيات:

تمثل هذه الدراسة نموذجا تطبيقيا لإمكانية استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية في إنشاء قاعدة بيانات جغرافية لأي حوض تصريف مائي تحتوي على العديد من المتغيرات المورفومترية التي تم اشتقاقها بطريقة آلية اعتمادا على ملفات الارتفاعات الرقمية ، وبتطبيق الكثير من المعادلات المورفومترية داخل قاعدة البيانات الخاصة بالحوض.

وقد توصلت الدراسة إلى أن حوض وادي حرض يشغل مساحة تقدر بحوالي ١٢٣٨,٦كم٢ ، وطول ٨٥,٢ كم ، ومتوسط عرض ١٤,٥ كم ، أما محيطه فبلغ ٢٩٢,٦ كم ، ويتكون جيولوجيا من صخور القاعدة والتي تشكل حوالي ٦٧,٤٪ من مساحته في حين تتوزع النسبة الباقية بين الصخور الرسوبية والنارية بنسبة ٢٠,٩٪ ، ١١,٧٪ على التوالي ، ويمتد الحوض من الشرق إلى الغرب بين إقليمين متباينتين طبوغرافيا وبيئيا مما أنعكس على مناخ الحوض و طبيعة العمليات الجيومورفولوجية السائدة وبالتالي على خصائصه المورفومترية. ومن خلال التحليل المورفومتري والهيدرولوجي للحوض داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية وجد أنه يتبع الرتبة السابعة ويتألف من ١٥ رافدا (أحواض ثانوية) تتراوح رتبها بين الرتبة الرابعة والسادسة. وقد تكوّن مجراه الرئيسي الذي يشغل الرتبة السابعة من التقاء واديي الابطح ونوّه ، ويتميز حوض وادي حرض وأحواضه الثانوية بأنه غير متناسق الشكل ، ويميل بشكل كبير إلى الاستطالة ويبتعد عن الاستدارة ، مما يعني أنه لم يقطع شوطا كبيرا من دورته الحتية. كما سجل الحوض نسبة تضرس بلغت ٢٦,٦ متر/كم وقيمة وعورة بلغت ٧,٦ ، ونظرا للعلاقة القوية بين المتغيرين والتي بلغت حوالي ٠,٧٧ فقد سجلت الأحواض الواقعة في الأجزاء العليا والوسطى من الحوض ارتفاعا ملحوظا في نسبة تضرسها ووعورتها في حين سجلت أحواض الأجزاء الدنيا قيما منخفضة في المتغيرين. ومن خلال التحليل المورفومتري لشبكة تصريف حوض وادي حرض وجد أنه يتكون من٩٦٨٠ مجرى ، تستحوذ الرتبتين الأولى والثانية على ٩٥,٧٪ من مجموع مجاري الحوض ، لذلك سجل الحوض نسبة تشعب تبلغ ٤,٥ ، وهذه القيمة تقترب من الحد الأعلى لنسب التشعب الطبيعية لأحواض التصريف التي حددها استريلر ، كما أن هذا العدد من المجاري جعل تكرارها في الحوض تصل الى ٧,٨ مجرى/كم٢ وهي قيمة متوسطة نسبيا جاءت انعكاسا للخصائص الصخرية والتضاريسية والمطرية للحوض وقد بلغ مجموع أطوال المجاري

في الحوض حوالي ٤١٥٥,٢ كم ، مما انعكس على كثافة التصريف التي بلغت ٣,٤ كم/كم٢ مما جعل الحوض يدخل ضمن الأحواض الخشنة حسب تصنيف استريلر.

ومن خلال ما سبق يوصي الباحث بما يلي:

١ - إجراء دراسات تطبيقية مكملة لحوض وادي حرض (جيومورفولوجية ، وهيدرولوجية ، وأخطار طبيعية وغيرها) والاستفادة من البيانات والمعلومات التي تضمنتها هذه الدراسة.

٢ - تبني استخدام التقنيات الحديثة وتوظيفها في الدراسات الجغرافية عموما وفي التحليلات المورفومترية خصوصا لدقتها العالية وتوفيرها للوقت والجهد مقارنة بالطرق التقليدية.

٣ - التشجيع على ضرورة استخدام مصادر البيانات الجغرافية الحديثة والمتجددة المتمثلة بنماذج الارتفاعات الرقمية والمرئيات الفضائية في الدراسات الجغرافية.

٤ - ضرورة إجراء دراسات مماثله لهذه الدراسة لبقية أحواض أودية التصريف في اليمن وعمل المقارنات فيما بينها لخدمة الدراسات الجغرافية التطبيقية لهذه الأحواض.

المراجع

١ - إبراهيم زكريا الشامي، التحكم في السيول والاستفادة من مياهها ودرء أخطارها ، بحوث ندوة المياه في الوطن العربي ، المجلد الأول ، الجمعية الجغرافية المصرية، القاهرة ،١٩٩٥م.

٢ - أحمد أحمد مصطفى (١٩٨٧م) الخرائط الكنتورية تفسيرها وقطاعاتها ، دار المعرفة الجامعية ، الإسكندرية

٣ - أحمد سالم صالح (١٩٩٩م)السيول في الصحاري نظريا وعمليا ، دار الكتاب الحديث ، القاهرة.

٤ - أحمد مختار أبو خضرة (١٩٨١م) التتابع الطباقي والتاريخ الترسيبي للجمهورية العربية اليمنية ، نشرة دورية يصدرها قسم الجغرافيا ، جامعة الكويت والجمعية الجغرافية الكويتية، الكويت ،العدد ٣٥ ، نوفمبر.

٥ - آمال إسماعيل شاور(١٩٨٠م) الجيومورفولوجيا والمناخ ، مكتبة الخانجي ، القاهرة.

٦ - ـــ (١٩٨٢م) التعبير الكمي لدورة التعرية عند ديفيز مع التطبيق على بعض الأودية في مصر، المجلة الجغرافية العربية – مجلة الجمعية الجغرافية المصرية، القاهرة ، العدد ١٤

٧ - آمنة بنت أحمد بن محمد علاجي(٢٠١٠م) تطبيق نظم المعلومات الجغرافية في بناء قاعدة بيانات للخصائص المورفومترية ومدلولاتها الهيدرولوجية في حوض وادي يلملم ، رسالة ماجستير ، قسم الجغرافيا ، كلية العلوم الاجتماعية ، جامعة ام القرى ، مكة المكرمة.

٨ - بدر الدين طه عثمان (٢٠٠٧ م) نظم المعلومات الجغرافية ، مكتبة الرشد ، الرياض ، ط١

٩ - جمعة محمد داوود (٢٠١٢م) اسس التحليل المكاني في اطار نظم المعلومات الجغرافية ، مكة المكرمة.

١٠ - حامد أحمد النخال (١٩٩٠م) مراجعة طبقية زمان الحياة الظاهرة في الجمهورية اليمنية ، صنعاء ، مجلة دراسات يمنية ، مركز الدراسات والبحوث اليمني العدد٤٢،أكتوبر ونوفمبر وديسمبر، صـ ١٥٢ -١٩٩.

١١ - حسن رمضان سلامة (١٩٨٢م) الخصائص الشكلية ودلالاتها الجيومورفولوجية ، نشرة دورية يصدرها قسم الجغرافيا، جامعة الكويت والجمعية الجغرافية الكويتية ، الكويت ،العدد٤٣ ، يوليو.

١٢ -———— (١٩٨٥م) اختلاف التصريف المائي للأودية الصحراوية في الأردن ، نشرة دورية يصدرها قسم الجغرافيا، جامعة الكويت والجمعية الجغرافية الكويتية، الكويت ، العدد٧٥، مارس.

١٣ - حنان بنت عبد اللطيف بن حسن الغيلان(٢٠٠٨م) دور نظم المعلومات الجغرافية في دراسة الخصائص المورفومترية لحوض وادي لبن ، رسالة ماجستير ، قسم الجغرافيا، كلية الآداب ،

جامعة الملك سعود ، الرياض.

١٤ - سعد أبو راس الغامدي (٢٠٠٤م) استخلاص شبكة التصريف السطحي للمياه باستعمال المعالجة الالية لبيانات صور الاقمار الصناعية : دراسة على منطقة نعمان، مجلة جامعة ام القرى للعلوم التربوية والاجتماعية والانسانية ، المجلد ١٦ - العدد٢ - يوليو صـ ٢٨٧ -٣١٠.

١٥ - ـــ (٢٠٠٦ م) توظيف نظم المعلومات الجغرافية في استخراج بعض القياسات المورفومترية من نماذج الارتفاعات الرقمية دراسة حالة وادي ذرى في المملكة العربية السعودية ، نشرة دورية يصدرها قسم الجغرافيا، جامعة الكويت والجمعية الجغرافية الكويتية، الكويت ، العدد٣١٧ ، أكتوبر.

١٦ - سمير سامي محمود (٢٠٠٠م) المخاطر البيئية في مصر من منظور جيومورفولوجي، مجلة كلية الآداب -جامعة القاهرة ، مجلد ٦٠ ، عدد ٤ أكتوبر، ص ص - ٥٠٥

١٧ - صلاح الخرباش ومحمد الانبعاوي(١٩٩٦م)جيولوجية اليمن، مركز عبادي للدراسات والنشر، صنعاء، ط١.

١٨ - عائشة علي عريشي (٢٠١١م) تأثير المناخ على انتشار مرض الملاريا في منطقة جازان (محطة ملاكي المناخية كدراسة حالة) سلسلة بحوث جغرافية تصدرها الجمعية الجغرافية السعودية - جامعة الملك سعود - الرياض ، العدد ٩٤.

١٩ - عباس عبدالرحمن (٢٠١٣م) تقييم دقة تمييز النموذج الارتفاعي الرقمي في دراسات تحديد الاحواض الساكبة للأنهار المتشاطئة ، مجلة جامعة تشرين للبحوث و الدراسات العلمية ، سلسلة العلوم الهندسية - المجلد ٣٥ - العدد٩.

٢٠ - عبده شرف غالب (١٩٨٨م)جيولوجية الجمهورية العربية اليمنية، مجلة دراسات يمنية، مركز الدراسات والبحوث ، صنعاء ،العدد ٣٤ أكتوبر ونوفمبر وديسمبر، ص ص ٢٠٩ -٢٢٩

٢١ - ـــ (١٩٩٠م) استدلال على النشوء الجيولوجي لما قبل الكامبري في الجمهورية اليمنية ، مجلة دراسات يمنية، مركز الدراسات والبحوث ، صنعاء ،العدد ٤ اغسطس -سبتمبر ص ص ٢٣١ -٢٤٦.

٢٢ - غزوان سلوم (٢٠١٢ م) حوض وادي القنديل دراسة مورفومترية ، مجلة جامعة دمشق ، المجلد ٢٨ ، العدد الأول ص ص ٣٧٣ -٤٣٨.

٢٣ - قاسم الدويكات (٢٠٠٣م) نظم المعلومات الجغرافية النظرية والتطبيق ، أربد ، ط١

٢٤ - ماجدة بنت عبدالله بن عبيد الله الدعدي (٢٠١٤م) استخدام تقنية الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لدراسة الحصاد المائي لمياه السيول في منطقة القصيم ، رسالة ماجستير ، قسم الجغرافيا، كلية العلوم الاجتماعية ، جامعة ام القرى ، مكة المكرمة.

٢٥ - متولي عبد الصمد عبدالعزيز علي (٢٠٠١م) حوض وادي وتير شرق سيناء دراسة جيومورفولوجية ، رسالة دكتوراه غير منشورة ، كلية الآداب ، جامعة القاهرة.

٢٦ - محمد إبراهيم شرف (٢٠٠٨م) نظم المعلومات الجغرافية أسس وتدريبات ، دار المعرفة الجامعية ، الإسكندرية

٢٧ - محمد الخزامي عزيز (١٩٩٨م) نظم المعلومات الجغرافية اساسيات وتطبيقات للجغرافيين ، منشأة المعارف ، الإسكندرية.

٢٨ - محمد بن فضيل بوروبة (٢٠٠٧م) دراسة هيدرومورفومترية لتقدير حجم سيول حوض وادي عتود بالمملكة العربية السعودية ، مركز دراسات الخليج والجزيرة العربية ، جامعة الكويت ، سلسلة الإصدارات الخاصة ، العدد ٢١ ، فبراير

٢٩ - محمد صبري محسوب (٢٠٠١م) جيومورفولوجية الأشكال الأرضية ، دار الفكر العربي ، القاهرة.

٣٠ - محمد عبدالله الصالح (١٩٩٢م) بعض طرق قياس المتغيرات في أحواض التصريف ، مركز البحوث ، كلية الآداب ، جامعة الملك سعود ، الرياض ، رقم ٢٥.

٣١ - محمد عبدالله برقان (٢٠١٥م) دراسة الخصائص المورفومترية لحوض وادي غزة والحصاد المائي لحوضه الاعلى باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ، رسالة ماجستير ، كلية الدراسات العليا ، جامعة النجاح الوطنية ، نابلس.

٣٢ - محمود محمد خضر (١٩٩٧م) الأخطار الجيومورفولوجية في مصر مع التركيز على السيول في بعض مناطق وادي النيل، رسالة ماجستير غير منشورة ، كلية الآداب ، جامعة عين شمس.

٣٣ - محمود محمد عاشور (١٩٨٦م) طرق التحليل المورفومتري لشبكات التصريف المائي ، حولية كلية الإنسانيات والعلوم الاجتماعية ، جامعة قطر.

٣٤ - محمود محمد عاشور، محمد مجدي تراب (١٩٩١م) التحليل المورفومتري لأحواض وشبكات التصريف ، في جودة حسنين جودة وآخرون ، وسائل التحليل الجيومورفولوجي ، ط١.

٣٥ - نوير مسري ناعم الحربي(١٤٢٨هـ) النمذجة الآلية لحوض وادي ملكان باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ونماذج الارتفاعات الرقمية دراسة من منظور جيومورفولوجي ، رسالة ماجستير ، قسم الجغرافيا، كلية العلوم الاجتماعية ، جامعة ام القرى ، مكة المكرمة.

٣٦ - هيفاء محمد النفيعي (٢٠١٠م) تقدير الجريان السطحي و مخاطره السيلية في الحوض الاعلى لوادي عرنة شرق مكة المكرمة بوسائل الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية ، رسالة ماجستير ، قسم الجغرافيا، كلية العلوم الاجتماعية ، جامعة ام القرى ، مكة المكرمة.

٣٧ - ياسين أحمد عبدالله القحطاني(٢٠١٠م) المشكلات البيئية المرتبطة بالمناخ في الجزء الأوسط من سهل تهامة بالجمهورية اليمنية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ، رسالة دكتوراه غير

منشورة ، كلية الآداب جامعة القاهرة.

٣٨ - يحي محمود ابو حصيرة (٢٠١٣م) تطبيق نظم المعلومات الجغرافية في دراسة الخصائص المورفومترية لحوض نهر العوجاء فلسطين ، رسالة ماجستير ، قسم الجغرافيا ، كلية الآداب ، الجامعة الاسلامية ، غزة.

39-Ahmad, S.A,(2004) Surface Water Hydrology and Management of Water Resources، A case Study of Wadi Zabid from Tihama plain–Yemen A thesis Submitted to Univ. of Bouna, India

40- Beydoun, Z.R, et al.,(1998) International Lexicon of Stratigraphy, IUGS and Ministry of Oil and Mineral Resources, Sana'a, Republic of Yemen, first Edition.

41-El-Anbaawy, N.I.,(1985) Geology of The Yemen Arab Republic, Cairo, El Topgy Press.

42-Gregory, K.J &Walling, D.E, (1979) Drainage Basin: Form and Process - A Geomorphological Approach , Edward Arnold , London.

43- Horton, R.E,(1945) Erosional Development of Streams and their Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology, Bulletin the Geological Society of America , Vol.56,pp275-370.

44-Robertson Group plc,(1991) The Natural Resources Project – Geological Map, Sheets Harad and S'adah , Republic of Yemen.

45-Schumm, S.A (1956) Evolution of Drainage Systems and Slops in Badland at Perth Amboy, New Jersey , Bulletin the Geological Society of America , Vol.67,pp597-646

46-Sreedevi ,P., Owais, S., Khan, H. H. & Ahmed, S. (2009) Morphometric Analysis of a Watershed of South India Using SRTM Data and GIS, Journal of the Geological Society of India, Vol.73 pp 543-552

47-Strahler, A.N,(1957) Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology, Tran. American Geophysical Union,pp914-920.

48- (1958) Dimensional Analysis Applied to Fluvially Eroded ——————

Landforms ,Geo. Soc. America Bull. Vol. 69 , pp 279-300.

49- Tihama Development Authority,(2001), Study of the Integrated Drainage Systems of the Tihama Plains and Wadi Basins, HTS Development Ltd.

50-Young , A.(1972) Slopes ,Oliver &Boyd , Edinburgh.

51-/https://earthexplorer.usgs.gov

52-https://en.tutiempo.net/climate/yemen.html.

53-www.sgs.org.sa/Arabic/studies/Pages/Tehama.aspx

54- http://www.pme.gov.sa/Ar/Weather/LocalWeatherInfo/Pages/ClimateData.aspx

ملحق (١) مساحة ونسبة التكوينات الجيولوجية الظاهرة في حوض وادي حرض

المصدر: من حساب الباحث اعتمادا على شكل(٢)

الحقب	الزمن الجيولوجي	الوحدة الصخرية		المساحة كم٢	النسبة %	نوع التكوين الصخري	المساحة كم٢	النسبة %
حديث	رباعي	رواسب حديثة		١٢٧,٧	١٠,٢	حصى	٢٢,٥	١,٨
						رواسب مفككة	٣٩,٦	٣,٢
						سبخات	١,٨	٠,١
						طمي حديث	٣٦,٣	٢,٩
						كثبان قديمة ولويس	٢٧,٥	٢,٢
	ثلاثي	صخور بركانية		١٤٤,٦	١١,٧	بازلت	٩٣,٧	٧,٦
						جرانيت ثلاثي	٤٤,٨	٣,٧
						رماد بركاني واجنميرايت	٤,٥	٠,٤
						مجموعة جيزان	١,٦	٠,١٣
وسيط	جوارسي	صخور رسوبية	صخور جيرية	١٠٣,٧	٨,٤	صخور عمران الجيرية	١٠٣,٧	٨,٤
قديم	الكربوني المتأخر – البرمي المبكر		صخور رملية	٢٧,٤	٢,٢	صخور وجيد الرملية	٢٧,٤	٢,٢
ما قبل الكامبري		صخور القاعدة		٨٣٥,٢	٦٧,٤	جابرو	٢,٦	٠,٢١
						جرانودوريت	١٢٣,٣	١٠
						رخام دولوميتي	١,٩	٠,١٥
						شست	١٠٠,٥	٨,١
						صخور متحولة حامضية	٢٣,٨	١,٩
						صخور متحولة قاعدية	١٥٩,٤	١٢,٩
						صخور متحولة نارية	١١٣,٢	٩,١
						جرانيت ما قبل الكامبري	٢٥,٢	٢
						نايس	٢٨٥,٣	٢٣

ملحق(٢) أعداد المجاري ونسبتها في حوض وادي حرض وروافده حسب الرتب

	الحوض / الرتبة		الأولى	الثانية	الثالثة	الرابعة	الخامسة	السادسة	السابعة	المجموع
١	الذّاهل	العدد	١٠٨	١٩	٤	١				١٣٢
		النسبة %	٨١,٨	١٤,٤	٣	٠,٨				%١٠٠
٢	بكيل المير	العدد	٩٥	٢٢	٤	١				١٢٢
		النسبة%	٧٧,٩	١٨	٣,٣	٠,٨				%١٠٠
٣	إحلاف	العدد	١٣٥	٢١	٤	١				١٦١
		النسبة %	٨٣,٩	١٣	٢,٥	٠,٦				%١٠٠
٤	ام القصوم	العدد	٧١	١٧	٤	١				٩٣
		النسبة %	٧٦,٣	١٨,٣	٤,٣	١,١				%١٠٠
٥	حنّة	العدد	٨٦	١٤	٣	١				١٠٤
		النسبة%	٨٢,٧	١٣,٥	٢,٩	٠,٩				%١٠٠
٦	الحيف	العدد	٣٣٩	٦١	١١	٤	١			٤١٦
		النسبة %	٨١,٥	١٤,٧	٢,٦	١	٠,٢			%١٠٠
٧	الضيّق	العدد	٢١٢	٤٥	١٠	٢	١			٢٧٠
		النسبة%	٧٨,٥	١٦,٧	٣,٧	٠,٧	٠,٤			%١٠٠
٨	فاس	العدد	١٦٠	٣٣	١٠	٢	١			٢٠٦
		النسبة%	٧٧,٧	١٦	٤,٨	١	٠,٥			%١٠٠
٩	هدّى	العدد	٣٥٠	٦٦	١٥	٤	١			٤٣٦
		النسبة %	٨٠,٣	١٥,١	٣,٤	١,٢				%١٠٠
١٠	صبران	العدد	٣٥٣	٦١	١٥	٦	٢	١		٤٣٨
		النسبة %	٨٠,٦	١٣,٩	٣,٤	١,٤	٠,٥	٠,٢		%١٠٠
١١	نوّه	العدد	١١٣٤	٢٢٧	٤٥	١١	٣	١		١٤٢١
		النسبة%	٧٩,٨	١٦	٣,٢	١				%١٠٠
١٢	رام	العدد	٢١٧٦	٤٥٠	٩٣	١٩	٤	١		٢٧٤٣
		النسبة%	٧٩,٣	١٦,٤	٣,٤	٠,٩				%١٠٠
١٣	الابطح	العدد	١٥١٤	٣٠٧	٧٣	١٤	٣	١		١٩١٢
		النسبة %	٧٩,٢	١٦,١	٣,٨	٠,٩				%١٠٠
١٤	الموسم	العدد	٣٤	٦	٢	١				٤٣
		النسبة %	٧٩	١٤	٤,٧	٢,٣				١٠٠
١٥	ملب	العدد	٣٤	٧	٢	١				٤٤
		النسبة %	٧٧,٣	١٥,٩	٤,٥	٢,٣				١٠٠
١٦	حرض	العدد	٧٧٣٨	١٥٣٢	٣٢٠	٦٩	١٦	٤	١	٩٦٨٠
		النسبة %	٧٩,٩	١٥,٨	٤,٣					١٠٠

المصدر: من حساب الباحث اعتمادا على شكل(١٩)