



التحليل المورفومتري لأحواض التصريف النهري باستخدام إحصاءات المتغيرات المتعددة ونظم المعلومات الجغرافية

حوض عمان الزرقاء كحالة دراسية

رامي نبيل موسى

طالب دكتوراه قسم الجغرافية/ الجامعة الأردنية_ الأردن email: Rami.musa@yahoo.com

أحمد حماد أبو حماد

أستاذ مساعد دائرة الجغرافيا/ جامعة بيرزيت- فلسطين. email: Ahammad@birzeit.edu

الملخص

هدفت هذه الدراسة إلى تحديد أهم الملامح الجيومورفولوجية لحوض نهر عمان الزرقاء في الأردن، وأبرز المتغيرات والخصائص المورفومترية التي يمكن قراءة قيمها كمؤشرات ترتبط ببيولوجية ومناخ وبيئة منطقة الدراسة، والتي تؤثر على هيدرولوجية الحوض وما يرتبط بها من كميات للمياه المتوفرة، لا سيما بعد التحولات الديموغرافية الحالية والمرتبطة بتدفق اللاجئين من بعض دول الجوار، حيث استقرت نسبة كبيرة من هؤلاء المهاجرين في التجمعات الحضرية الواقعة ضمن بيئة منطقة الدراسة مثل مدينة عمان والزرقاء والمفرق حيث يوجد مخيم الزعتري. واعتمدت الدراسة في معالجة البيانات على المنهج التحليلي، وقد تم الاستعانة ببعض البرامج والتقنيات الحاسوبية كنظم المعلومات الجغرافية ببرمجياتها المختلفة (Arc Map, Arc hydro & Arc Swat) وبعض المعادلات الرياضية وبرمجية (DEM surface tools & 3D Analyst)، وذلك من أجل تحليل الخصائص ذات الدلالات المورفومترية، وأنماط وأشكال شبكة التصريف المائي والمتغيرات المرتبطة بها ودلالاتها الإحصائية و المقاطع العرضية لمناطق مختارة من الحوض النهري.

من خلال تحليل المعطيات المورفومترية وجد تبين في مساحة الحوض ما بين الدراسات السابقة والحالية بزيادة حالية مقدارها حوالي 1156 كم²، وهذا ما انعكس بالضرورة على اختلاف قيم كافة المتغيرات والنتائج الأخرى كعدد وطول المجاري المائية ومحيط الحوض وغيرها من المتغيرات المورفومترية، ويشير تحليل المتغيرات المورفومترية بأن شكل الحوض النهري مقعر ويميل إلى الشكل المستطيل، وهو ما يعكس المرحلة العمرية والحتمية التي تمثل مرحلة الشباب، كما يشير هذا التحليل إلى خصائص الأحواض الفرعية من الرتبة الرابعة، وأن شكل المقطع العرضي لقناة النهر تتباين وفق موقع القناة النهري الرئيسية بالنسبة للحوض المائي، حيث يظهر اتساع القناة عند الأجزاء الدنيا من الحوض، كما أن تقعر قاع القناة النهري على شكل نصف دائرة، يعكس المستويات العمرية التي وصل لها النهر، أما الأجزاء العليا من القناة النهري فهي تشير إلى طغيان الحت الراسي على الحت الجانبي وكثرة الخوانق والشلالات التي تظهر واضحة في هذه المنطقة، وقد تم عرض بعض النتائج في خرائط تحليلية مكانية والتي تظهر نطاق التأثير الموقعي والحقيقي لبعض الخصائص المورفومترية، وهذا ما يتيح إمكانية تحديد الأولويات في دراسة المخاطر والخصائص الجيومورفولوجية لكل منطقة على حده وفقاً لخصائصها، هذه النتائج تدفعنا إلى الإهتمام بمنطقة الدراسة وعمل المزيد من الدراسات لتقييم مخاطر الفيضانات وتقييم الأولويات الجيومورفولوجية بناء على نتائج الدراسة الحالية.

الكلمات الدالة: حوض نهر عمان الزرقاء، التحليل المورفومتري، مقطع عرضي، نمط الشبكة النهري

المقدمة

تتمثل أهمية الدراسات المورفومترية والهيدرولوجية من خلال ارتباطها المباشر بالروافد المائية المؤثرة في توفر الموارد المائية ذات الأهمية الكبيرة في حياة الإنسان، وعلاقتها بتشكيل جيومورفولوجية المكان الذي يؤثر ويتأثر به الإنسان في حيزه المكاني، فالنشاط البشري لا يمكن عزله عن البيئة التي يتفاعل الإنسان مع مكوناتها المختلفة، فبناء المدن والموانئ البحرية والسدود ودراسة الفيضانات وكذلك الأنشطة التعدينية واستغلال الصخور والأنشطة السياحية والزراعية وغيرها الكثير، ولا يمكن إنجاز هذه الأنشطة بمعزل عن الدراسات المورفومترية والهيدرولوجية، التي بدورها تبرز الخصائص المتعلقة بالبيئة الطبيعية وعلاقتها بالأنشطة البشرية.

يعتبر حوض نهر عمان الزرقاء (Amman Zarqa Basin) (AZB) بيئة خصبة لعمل الدراسات الطبيعية والبشرية على حد سواء، وقد تم عمل عشرات الدراسات حوله، منها ما تناول قضايا المياه الجوفية وتوزيعها في منطقة الدراسة (Al Kuisi others 2008) والتلوث المائي بالنترات والحموضة والمخاطر الناتجة عنها وأثرها على البيئة الطبيعية والترية (Alqadi 2014; Al Kuisi & others 2014)، وجاءت دراسة تقييم توزيع المعادن الثقيلة في تربة القناة الرئيسية من الجزء العلوي لحوض عمان الزرقاء لتظهر مستويات كبيرة من التلوث ببعض العناصر الثقيلة، والتي ساهم وجود محطة المعالجة للمياه العادمة بتركزها في تلك المنطقة من نطاق الجريان السطحي للمياه المعالجة (Abderahman, 2006)، وكذلك استنزاف المياه الجوفية في مجموعة من الآبار الارتوازية الواقعة شرقي الحوض المائي المدروس شمال وشرق مدينة الزرقاء (Zyoud, 2015; Schulz & others, 2013)، ودراسة تأثيرات تغير المناخ على الموارد المائية في حوض عمان الزرقاء (Al-Qaisi, 2010)، وناقشت دراسة الحسبان (2015) الخصائص



المورفومترية لحوض نهر عمان الزرقاء باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ونموذج الارتفاعات الرقمية، حيث شملت الدراسة بعض الخصائص المورفومترية المرتبطة بمنطقة الدراسة، وكانت دراسة التحليل الإحصائي المكاني و التغيرات الزمنية المكانية لمستوى المياه الجوفية في حوض عمان الزرقاء (Rakad,2009) من أجل تقييم التباين المكاني والزمني لتقلبات مستوى المياه الجوفية في حوض عمان الزرقاء خلال الفترة الواقعة ما بين 2001-2005 كأضافة نوعية في هذا المجال، فيما تناولت دراسة (Shaqour & others 2016) نمذجة خصائص المياه الجوفية وإدارة الموارد المائية في ذات الحوض المدروس، من أجل تحديد مستويات الحدود الآمنة للاستهلاك، وذلك في أعقاب أزمات اللجوء من بعض دول الجوار إلى الأردن، وهي من الدراسات المميزة في هذا السياق، فيما جاءت دراسة (Al-Abed, 2005) كعمل متكامل بشكل كبير مع الدراسة التي قدمها (Al-Omari,2009) حول الإدارة المائية للحوض المائي، وكذلك مع دراسة (Al-Abed, 2008) حول استخدام النمذجة الهيدرولوجية لإدارة الموارد المائية في حوض نهر عمان الزرقاء وقضايا المياه والجفاف والندرة المائية وكيفية إدارتها، وكذلك استكشاف مزايا استخدام النماذج الهيدرولوجية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والمحاكاة الهيدرولوجية.

ومن خلال ما تقدم، يلاحظ أن الدراسات السابقة تتركز في إطار معالجة قضايا التلوث المائي والترربة والخصائص المتعلقة بها، والجزء الآخر يعالج قضايا الوفرة المائية وإدارة المورد المائي وسبل الحصول عليه، لا سيما من خلال استغلال المياه الجوفية، لكن يبقى الجزء الآخر من الدراسات وهو المتعلق بالجيومورفولوجيا والخصائص المورفومترية لمنطقة الدراسة، وقد تناولت الحسبان في دراستها لعام 2015 بعض القضايا الهامة في هذا الصدد، ولكن تبقى دراسة التحليل المورفومتري لأحواض التصريف النهري باستخدام إحصاءات المتغيرات المتعددة ونظم المعلومات الجغرافية كمحاولة لإضافة أصيلة للمخزون المعرفي لأسباب عدة، منها الفترة الزمنية التي قدمت بها حيث أن هذا النوع من الدراسات بحاجة لتحديث مستمر لإرتباطه بالنمو السكاني وحاجة السكان لاستغلال الموارد، لذل لا بد من إعادة تقييم المشهد البيئي والطبيعي وفقاً للمعطيات الجديدة، لا سيما بعد تدفق ما يزيد عن 2 مليون لاجئ من الدول المجاورة خلال السنوات الخمس الماضية، إضافة لما تقدمه الدراسة من خلال وجود تباين في مدخلات العملية التحليلية للبيانات المتعلقة بمساحة الحوض المائي حيث أن نموذج الارتفاعات الرقمية لم يكن متاحاً بالدقة الكبيرة حتى وقت قريب، حيث أن غالبية الدراسات السابقة اعتمدت النموذج التقليدي في التحليل المكاني من خلال الخرائط الطبوغرافية الورقية ذات المقياس الكبير أو من خلال نموذج الارتفاعات الرقمية بدقة 90 م²، ومن هنا فإن أهمية شمولية البيانات للحوض المائي ودقة مصدرها له أثر كبير في المخرجات، إضافة إلى مدة صلاحية المعلومة وتغيرها مع الزمن، لا سيما إذا كانت المعلومات متعلقة بمصادر المياه (جاري، 2015)، حيث يعود هذا التغير في قيمة البيانات لطبيعة المعدات والأدوات المتاحة في كل مرحلة زمنية، ونتيجة لتقدم وتوفر معدات وتقنيات حديثة، فقد وجد تباين في مساحة الحوض ما بين الدراسات السابقة والدراسة الحالية بزيادة حوالي 1156 كم²، وهذا ما ينعكس ببساطة على كافة المتغيرات والنتائج الأخرى كعدد وطول المجاري المائية ومحيط الحوض وشكله وغير ذلك الكثير من المتغيرات المورفومترية.

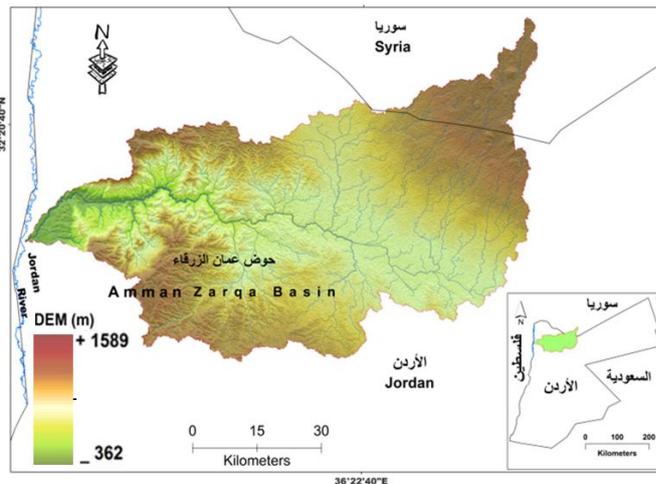
وتهدف هذه الدراسة أساساً إلى التحليل الجيومورفولوجي للحوض المائي لتحديد العلاقات المكانية بين أشكال سطح الأرض والأحواض المائية، باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، من أجل الوصول للمعلومات المطلوبة في تفسير الأنماط والأشكال الأرضية، والتصريف المائي والعلاقات الطبوغرافية، حيث ستحاول الدراسة تحديد أبرز الخصائص المورفومترية وعرضها على شكل خرائط مكانية، إضافة إلى توضيح خصائص أنماط التصريف المائي في منطقة الدراسة، وكذلك عمل مقاطع عرضية للحوض المائي وتفسيرها وربطها ببعض الخصائص الهيدرولوجية للحوض المائي، إضافة إلى ذلك تم تحديد بعض خصائص الأحواض الفرعية (Sub Basins) من الرتبة الرابعة والبالغ عددها 51 حوض.

منهجية الدراسة ومصادر البيانات والمعلومات

اتبعت الدراسة المنهج التحليلي (Analytical Approach) للبيانات المشتقة من خلال نموذج الارتفاعات الرقمية (Digital Elevation Model) (DEM) والمنبثق من نموذج Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)، ويتوفر نموذج التضاريس الرقمي بدقة تصل إلى 30 م² من الموقع الياباني الأمريكي-Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) (2016)، إضافة إلى الخرائط الطبوغرافية (1: 50000) من أجل تحديد منطقة الدراسة، وقد تم الاستعانة ببعض البرمجيات الحاسوبية في تحليل الخصائص المورفومترية وأنماط وأشكال شبكة التصريف المائي والمتغيرات المتعلقة بها ودلالاتها الإحصائية بالاستناد لنظم المعلومات الجغرافية ببرمجياتها المختلفة (Arc Map, Arc hydro & Arc Swat)، إضافة إلى بعض الطرق الرياضية والبرمجية (DEM surface tools & 3D Analyst) من أجل تحديد أشكال سطح المقاطع العرضية لمناطق مختارة من الحوض النهري، حيث تم تفسير المقاطع العرضية للحوض النهري وإظهار الخصائص الجيومورفولوجية والبنوية المكونة لكل مقطع من الحوض المائي المختلفة سواء بداية الحوض أو وسطه أو نهايته، وكذلك إبراز بعض خصائص الأحواض الفرعية من الرتبة الرابعة.

منطقة الدراسة

يعتبر حوض نهر عمان الزرقاء من الأحواض المائية الكبيرة الموجودة في الأردن (Al-Abed, 2005)، حيث تبلغ مساحته 4887 كم²، وتقع 93% من هذه المساحة في الأراضي الأردنية والباقية في الأراضي السورية، حيث يبدأ الحوض منها ويتجه غرباً في الأراضي الأردنية حتى يشكل مستوى أساس مع نهر الأردن (الفرحان، 2015) في منطقة الشونة الشمالية ودير علا شمال البحر الميت (الشكل رقم 1)، ويكتسب هذا الحوض المائي أهميته من خلال المنطقة الجغرافية الواقع فيها، حيث يضم حوالي 80% من المساحة الحضرية لمدينة عمان ومدينة الزرقاء كاملةً ومدينة المفرق وتجمعات سكنية أخرى كجرش، كما أن ارتباط حوض عمان الزرقاء بالحفرة الانهدامية وكونه أحد أحواض الحافة الصاعدة قد أضاف إليه خصائص أخرى انعكست على التنوع والتباين في تركيبته ومكوناته البيئية، فحجم التزايد المضطرد للسكان في منطقة الدراسة دفع بالكثير من الباحثين والمهتمين بالدراسات الهيدرولوجية لتحديث بيانات المنطقة باستمرار وبوتيرة توازي حجم الزيادة السكانية في المنطقة من أجل تلبية الاحتياجات المائية بالشكل الأمثل للسكان (Shaqour & others, 2016)، هذا بالإضافة إلى دراسة التغيرات والتحويلات المستجدة في الغطاء الأرضي، لاسيما الغطاء العمراني والتفاعلات والتأثيرات المتبادلة بين سكان أكبر تجمع حضري في الأردن وبين منطقة الدراسة والتي تضم أكثر من 60% من سكان الأردن.

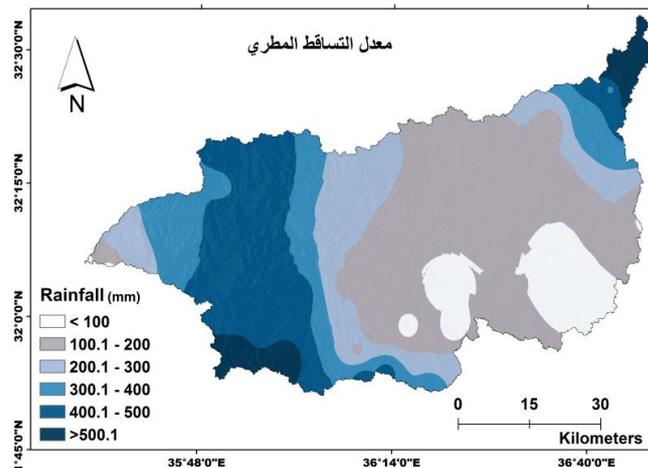


الشكل (1) حدود وموقع منطقة الدراسة

ونتيجة الظروف السياسية التي عصفت بالدول المجاورة للأردن حيث بدأت بفلسطين عام 1948 و 1967 مروراً بالعراق منذ 1990 إلى هذا الحين، ووصولاً إلى سوريا منذ 2011 وحتى الآن، كل هذا كان له دور كبير في التأثير على الموارد الطبيعية وعلى رأسها المورد المائي والأراضي الزراعية الخصبة، وما صاحبه من تغيير جوهري من خلال زيادة الطلب على مثل هذه المصادر الطبيعية المحدودة أصلاً و خلال زمن قياسي.

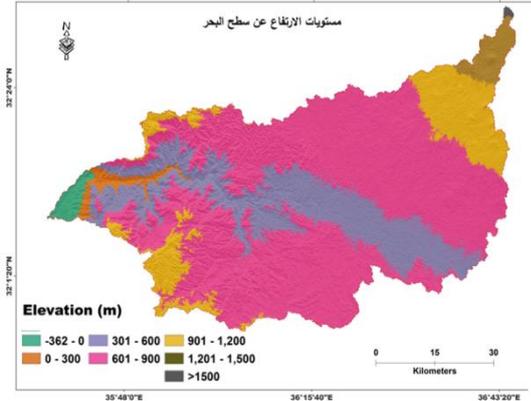
الأمطار و المناخ

يتبع حوض عمان الزرقاء مناخ البحر الأبيض المتوسط الجبلي شبه الجاف، وتتباين معدلات الأمطار السنوية في الحوض، وحيث تلعب الارتفاعات التضاريسية دوراً كبيراً في توزيع كمية الأمطار، فنلاحظ انخفاض معدلات التساقط المطري إلى ما دون 100 ملم غرب ووسط الحوض النهري (الشكل رقم 2).



الشكل (2) توزيع كمية التساقط المطري في منطقة الدراسة

حيث منطقة الأغوار المنخفضة عن سطح البحر ما دون (370م) عند التقاء مصب نهر عمان الزرقاء مع نهر الأردن، وكلما اتجهنا شرقاً ترتفع معدلات التساقط المطري لتتراوح ما بين 200-500ملم ومن ثم تعود تدريجياً بالانخفاض وذلك كلما تعمقت في المناطق الشرقية الصحراوية لتصل ما دون 100ملم، فيما تعود بالإرتفاع مرة أخرى عند المرتفعات السورية في جبل العرب حيث تبلغ مستويات الإرتفاع حوالي 1590م (الشكل 3) وقد كان للمساحة الكبيرة للحوض المائي دوراً في زيادة حجم التباين في مستويات الإرتفاع والإنخفاض عن سطح البحر.

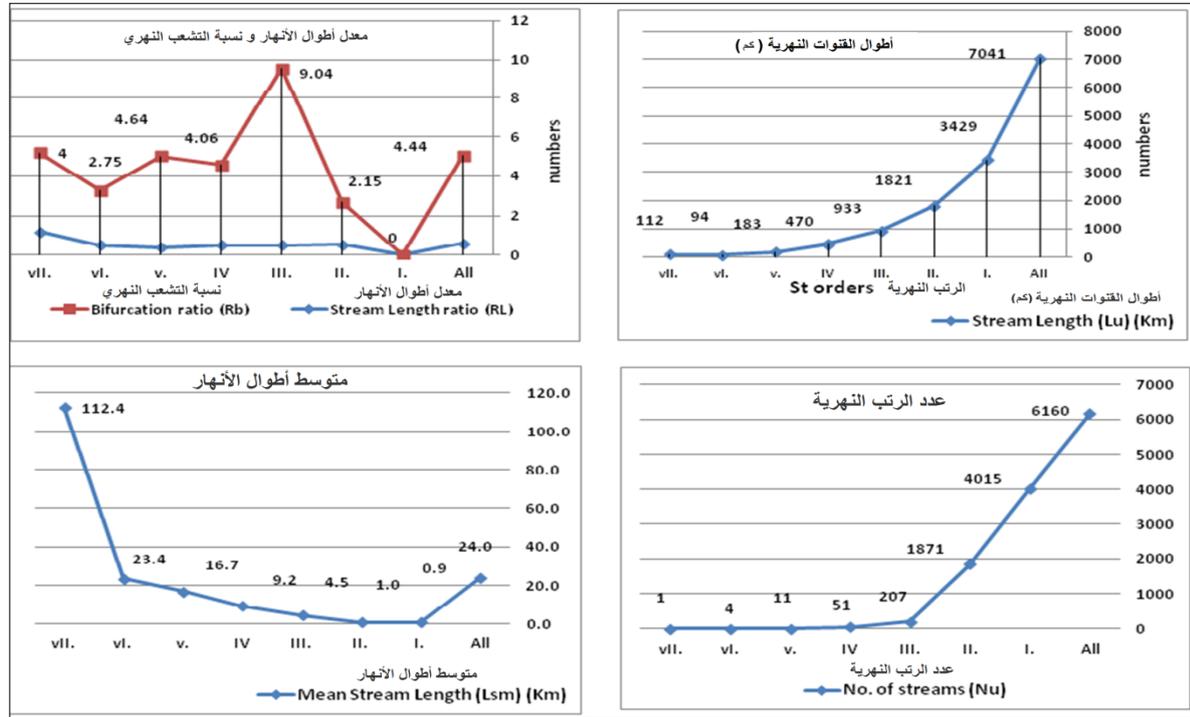


الشكل (3) توزيع مستويات الارتفاع عن سطح البحر

نتائج بعض الخصائص المورفومترية وناقشها
يمكن إدراج الخصائص المورفومترية ضمن مجموعات رئيسية، يتم من خلالها التصنيف والتحليل المورفومتري بشكل شامل ومترايط، مما يتيح إمكانية الحصول على تصور تفصيلي ومتكامل لطبيعة منطقة الدراسة، حيث أن كل مجموعة تضم المتغيرات والخصائص المتشابهة، وتتمثل هذه المجموعات بما يلي:

أولاً: الخصائص الخطية والمساحية (Linear & Areal Parameters)

لقد تم في هذه المجموعة دراسة الخصائص المتعلقة بالرتب النهرية وأعدادها وأطوالها وكثافتها وأنماطها، وأطوال المجاري المائية وعددها، والتكرار النهرية، وغيرها (الشكل رقم4)، حيث تؤثر الخصائص المتعلقة بأبعاد الحوض النهرية ومساحتها بشكل كبير على مصادر وكمية التصريف المائي النهرية.



الشكل رقم (4) خصائص أطوال المجاري المائية (نسبة التشعب، عدد الروافد وأطوال الروافد ومتوسط أطوالها)

يظهر الشكل رقم(4) وجود علاقة طردية بين عدد الروافد ومجموع أطوالها، إضافة إلى مستويات نسبة التشعب التي بلغت 4.4 للحوض النهرية، فيما أن الروافد من الرتبة الثالثة حازت على أعلى معدل للتشعب وهو 9، ويرجع هذا إلى التفرعات الكثيرة للرتبة الثالثة والأدنى منها، والذي يعود سببه إلى أشكال السطح المحدبة في للأحواض الفرعية إضافة إلى نوع الصخر الرسوبي الطري الذي يسمح بسهولة التعرية وشق قنوات متعددة ذات رتب صغيرة.



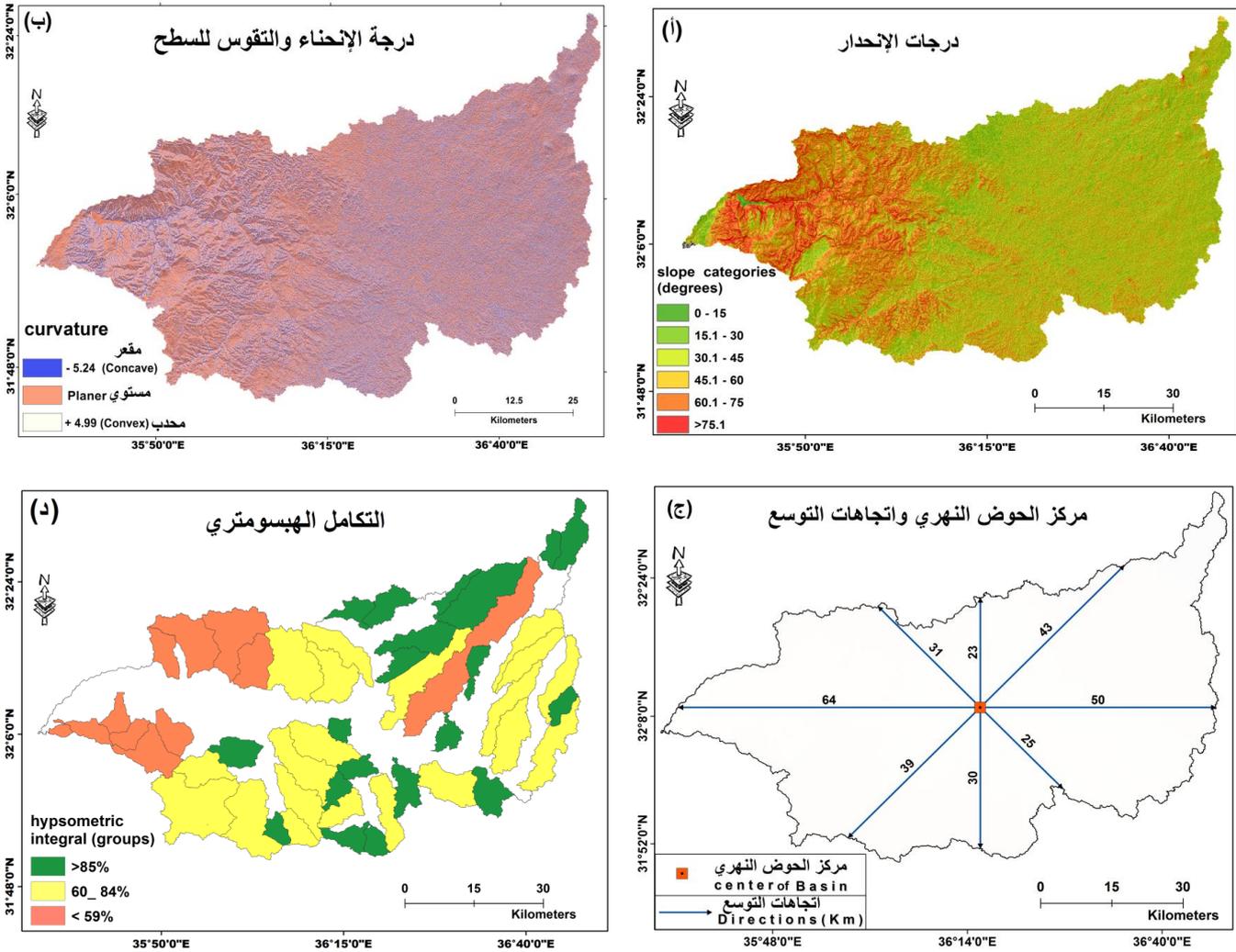
الشبكة المائية

يظهر من الشكل (5) أن أطوال الروافد ذات الرتب العالية ليس كبيراً، مقارنة بتلك ذات الرتب الصغيرة، فقد بلغ عدد الروافد الكلي 6160 رافد موزعة كما في الشكل (5) والذي يظهر توزيع الشبكة المائية والرتب النهرية لنهر عمان الزرقاء والذي يعتبر من الرتبة السابعة، ويضم أربعة أحواض من الرتبة السادسة وأحد عشر من الرتبة الخامسة فيما بلغت أعداد أحواض الرتبة الرابعة 51 حوض، كما بلغت أحواض الرتبة الثالثة 207 أحواض. أما بالنسبة لمتوسط أطوال الأحواض الكلي فقد بلغ 24 كيلومتراً، فيما بلغ مجموع أطوال المجاري المائية 7041 كيلومتراً، وهو مؤشر يعكس مستويات التباين الكبير في بيئية الحوض المائي، فكلما ازدادت أطوال المجاري واتسعت تقل سرعة التيار المائي (الأنصاري، 2014)، ولكن هذا ينطبق في حالتنا على أطوال المجاري، أما عرضها فهي ضيقة إلى حد ما، الأمر الذي يزيد من قدرة النهر على الحت والتعرية، عدا عن المساحة الكبيرة للحوض المائي والبالغة (4887 كم²) حيث التنوع الطبوغرافي للحوض وبنية الجيولوجية المتباينة، وارتباط ذلك بوجود مناطق منخفضة، وانحدار كبير نسبياً يزداد كلما اتجهنا إلى الغرب وكذلك من الجنوب والشمال باتجاه المناطق الوسطى الغربية للحوض المائي حيث القناة الرئيسية للمجرى، كما أنه يرتبط بنوع الصخور خاصة الصخور الكلسية القاسية والتي تحتاج إلى وقت كبير نسبياً لحت وشق مجاري مائية طويلة فيها. (أبو سالم، 2010) ومن خلال خريطة الانحدار (أ) في الشكل (6) يتضح شكل وتوزيع درجات الانحدار، التي تعتبر من أهم المتغيرات التي تعكس خصائص السطح المكون للحوض المائي المدروس (Smith, 1939)، إضافة إلى تركيز الانحدارات القليلة نسبياً (0-30) في شرق ووسط الحوض المائي، مما ساعد على تكون روافد ثانوية متعددة وذات رتب صغيرة (1,2,3) في هذه المناطق كون الانحدار القليل وتحذب شكل الأحواض الفرعية يتيح الفرصة لتكون روافد متعددة لكنها قصيرة وغير عميقة بسبب قلة عوامل الحت الرأسي المرتبط بقلة الانحدار في أعالي الحوض، والخريطة (د) من الشكل (6) توضح قيمة التكامل الهيسومتري الذي يمثل مرحلة الشباب في معظم الأحواض، وقد امتازت تلك المنطقة بأحواض فرعية ذات مساحة كبيرة مقارنة مع الأحواض الواقعة في الجهة الغربية من الحوض المائي وهي من الرتبة الرابعة، ففي المناطق الغربية للحوض تتركز فيها نسب الانحدارات المرتفعة وكذلك الأشكال المقعرة والتي تحفز الحت الرأسي وزيادة عمق المجاري المائية على حساب قلة عددها.

كما يتضح هذا من خارطة شكل الانحناء للسطح (الخارطة 6ب) حيث تتركز معظم المناطق المحدبة (Convex) في شرق وأطراف الحوض بينما تتركز المناطق والأحواض الفرعية المستوية وشبه المقعرة (Quasi concave) في الجنوب الغربي وشمال وسط الحوض المائي، كل هذا يشير إلى أن الصخور الطرية وتنوع أشكال السطح ودرجات الانحدار تتركز في المناطق الشرقية والوسطى للحوض المائي وتقل في المنطقة السفلى منه، ويتخذ الحوض المائي الرئيسي الشكل المتطاوول باتجاه شرق-غرب مع ميله إلى جهة الغرب، ولكن يتجه مركز الحوض أكثر نحو الشرق وفق الخريطة (6ج) التي توضح أبعاد واتجاهات إمتداد الحوض ومركزه (Center of Basin)، كذلك يمكن القول أن الميل في المقطع الشمالي-الجنوبي للحوض يتركز من الجهة الشمالية نحو مركز الحوض وكذلك الحال من الجهة الجنوبية، وهذا يدعونا للاستنتاج بأن شكل الحوض المائي العام يميل للتقعر.



الشكل رقم (5) رتب المجاري والقنوات المائية في الحوض النهرية (AZB)



الشكل (6) الخرائط (أ) تضم الإندثار، (ب) درجة الإنحناء، (ج) مركز الحوض النهري، (د) التكامل الهيسومتري، لأحواض الدرجة الرابعة

ونستنتج مما سبق بأن المناطق التي تشكل عامل اهتمام وألوية هي التي تقع في العروض الوسطى والغربية من الحوض النهري، حيث يتركز فيها الانحدار الشديد وكذلك الارتفاع التضاريسي والتساقط المطري، والأهم من ذلك تركيز السكان في مدينة عمان والزرقاء في تلك المنطقة أو قريباً منها، مما يؤكد ضرورة عمل المزيد من الدراسات المتعمقة والتي تولي اهتمام أكبر لدراسة خصائص منظومة الفيضانات وأثارها، لا سيما في البيئات الحضرية التي تمتاز بسرعة الجريان السطحي والفيضانات السريعة، نتيجة ازدياد الرقعة غير المنفذة للمياه، والمتمثلة بالبنائيات العمرانية والصناعية والشوارع، و بعد اتساع مساحة المنطقة الحضرية في داخل حدود الحوض النهري بشكل عام وفي مدينتي عمان والزرقاء على وجه الخصوص، وما حدث في بداية شهر (Nov, 2015) يعتبر بمثابة جرس انذار من أجل إعادة النظر في طبيعة البيئة العمرانية والتخطيط لها بما يتلاءم مع خصائص هيدرولوجية الحوض، مع أخذ شروط تحقيق الاستدامة والسلامة.

معدل بقاء المجاري Stream Maintenance

يعتبر (Schumm, 1956) أول من قدم هذا المعامل وذلك للتعبير عن مقدار المساحة اللازمة لإمداد مجاري الشبكة المائية (جاري، 2015)، وقد بلغت هذه القيمة حوالي (700) أي أن كل واحد كيلومتر من الشبكة المائية يتغذى من مساحة قدرها 700م²، وهذا إن دل على شيء فإنما يدل على اتساع مساحة الحوض المائي والتصريف المائي الكبير نسبياً، وهذا طبعاً يرتبط بكميات الأمطار الساقطة بشكل عام.

متوسط أطوال المجاري main Stream length

لمتوسط أطوال المجاري دلالة جوهرية على حجم التصريف وشكل الحوض النهري، فكلما ازدادت أطوال المجاري فإم هذا يعمل على التقليل من سرعة التيار لاسيما في حالة اتساع المجرى، الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض كمية الرواسب المنقولة إلى منطقة المصب، وأما إذا كان المجرى قصيراً فإن الحوض المائي يشهد قدرة عالية على الحث نتيجة ارتفاع

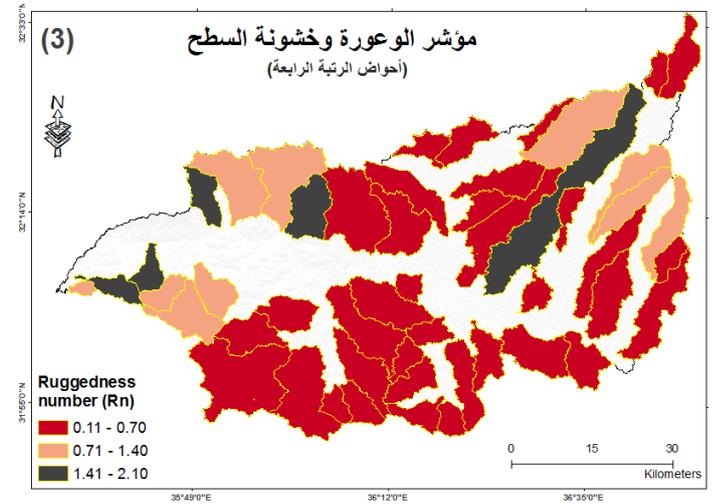
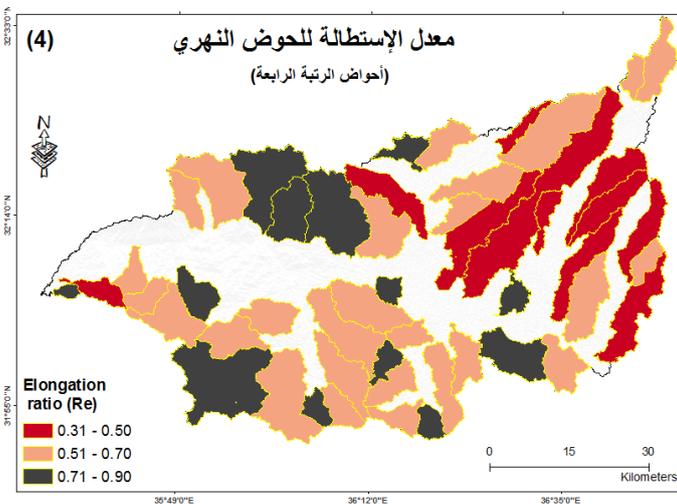
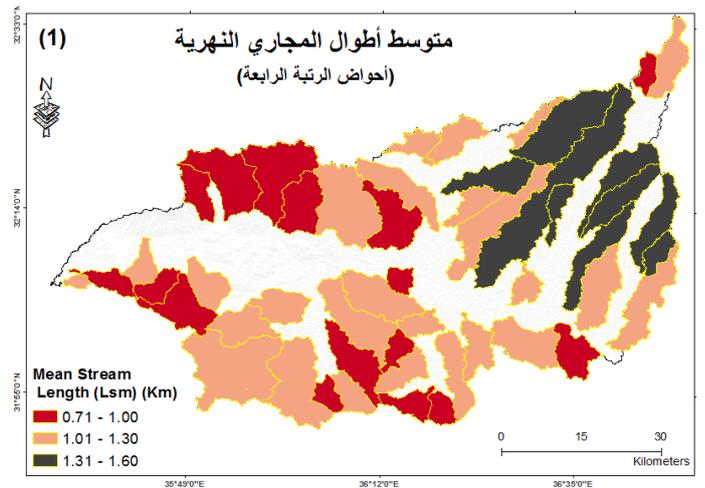
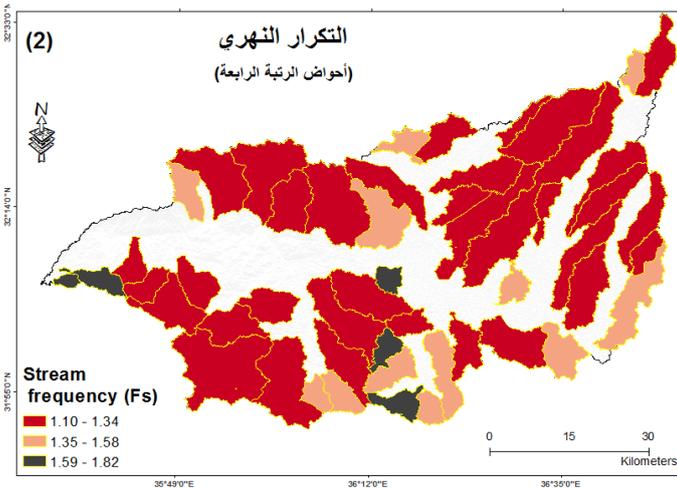
معامل الطاقة النهرية، والمرتبطة بشدة الانحدار والظروف المناخية، (الانصاري، 2014)، وقد أظهرت الخريطة (1) في الشكل رقم (7) معدل أطوال المجاري النهرية لأحواض الرتبة الرابعة (Main Stream length) تركز الأحواض الفرعية ذات المجاري المائية الطويلة في الجزء الشرقي من الحوض النهري لعمان الزرقاء، وهذا أيضاً يدعم الاستنتاجات السابقة حول الأولوية والمخاطرة، فالمجاري المائية القصيرة تتركز إجمالاً في الجزء الغربي من الحوض النهري، حيث الكثافة السكانية العالية ومعدل الأمطار المرتفعة إلى حد ما.

Drainage Density – الكثافة التصريفية

ترتبط الكثافة التصريفية لنهر عمان الزرقاء بطبيعة المناخ وبالخصائص الجيولوجية ومظاهر السطح السائدة، فالمناطق التي تسقط عليها كميات كبيرة من الأمطار، ويقبل فيها التبخر، مع وجود صخور قليلة النفاذية وسطح منحدر بشكل كبير فإن معدلات التسرب في هذه الأحواض تقل، ويزداد فيها حجم التصريف المائي السطحي، مما يؤدي إلى ارتفاع الكثافة التصريفية فيها، وتظهر الخريطة 8 المتعلقة بالكثافة التصريفية (Drainage Density) (Horton, 1932) كثافة الشبكة المائية في العروض العيا والوسطى من الحوض المائي حيث أن أعلى معدل للكثافة بلغ 1.44 كم².

Stream Frequency - التكرار النهري

يشير التكرار النهري لطبيعة العلاقة بين عدد المجاري المائية من كافة الرتب الواقعة ضمن الحوض النهري والمساحة الكلية للحوض النهري، (Horton, 1945) حيث بلغ مقدار التكرار النهري لحوض نهر عمان الزرقاء 1.260 مجرى \ كم² وتعتبر هذه نسبة قليلة وقد تأثرت باتساع مساحة الحوض، ما أدى لإنخفاض عدد المجاري في وحدة المساحة (كم²) الأمر الذي انعكس سلباً على الحمولة النهرية والنتائج الرسوبية للحوض النهري، ويمكن ملاحظة مقدار التكرار النهري على مستوى حوض عمان الزرقاء (AZB) من خلال الخريطة (2) في الشكل رقم (7) التي تمثل التكرار النهري (Stream Frequency) لأحواض الدرجة الرابعة.



الشكل (7): الخرائط (1) تضم أطوال المجاري النهرية، (2) التكرار النهري، (3) مؤشر خشونة السطح (4) معدل الاستطالة، لأحواض الدرجة الرابعة البالغ عددها (51)



مؤشر الوعورة أو الخشونة (Ruggedness number)

يُفيد هذا المؤشر في معرفة درجة تقطع سطح حوض الوادي النهري، وتعكس درجة الوعورة طبيعة العلاقة الطردية بين تضاريس أحواض التصريف والكثافة التصريفية، ومقدار تقطع السطح بالمجري المائية الكلية، (Strahler, 1964)، وتتركز المناطق الوعرة في الشرق والوسط الغربي من الحوض المائي (AZB) والأقل وعورة وشبه المستوية في شمال وجنوب إلى وسط الحوض المائي، حيث تظهر قيم الوعورة العالية في المناطق الشرقية والوسطى (الشكل 7-3)، كما تؤكد هذه الخريطة حقيقة تحدد الأحواض الفرعية وتعددها وتطولها في شرق ووسط الحوض المائي مما ساعد بشكل كبير على خلق الوعورة الكبيرة، كما قد يرتبط هذا بسهولة التعرية للصخور في المناطق الشرقية والوسطى مقارنة بالمناطق الأخرى، إضافة إلى وجود صدوع جيولوجية وكسور متعددة في هذه المناطق مما ساعد على تواجد الوعورة الكبيرة وبالتالي السماح بتشكيل مجاري مائية متعددة وقصيرة.

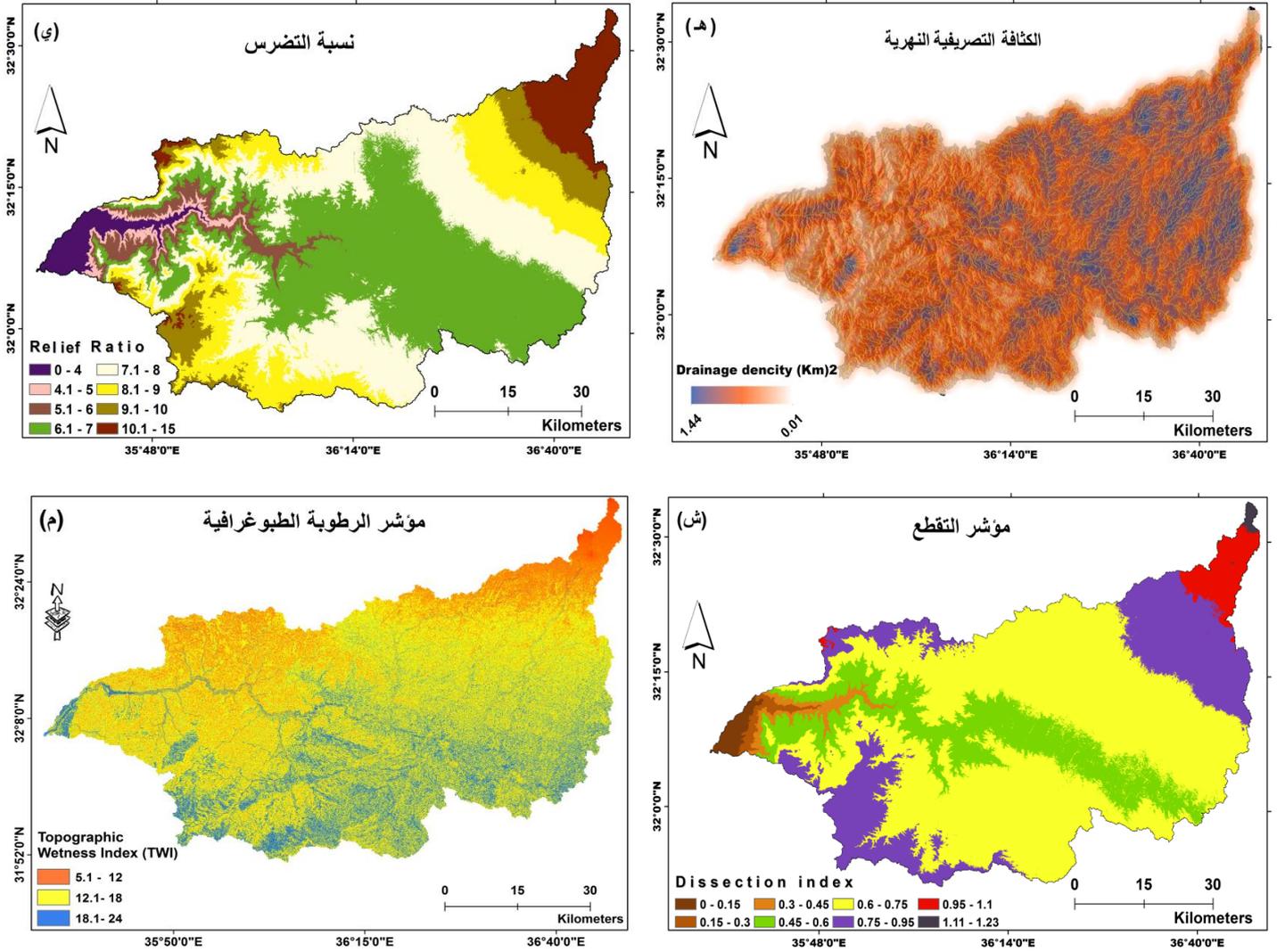
ويعتبر هذا مؤشراً على المرحلة الجيومورفولوجية النهائية التي شهدتها الأحواض الفرعية، والنتيجة عن النحت والتعرية للمجري المائية، وتفيد الدراسة المورفومترية للوعورة بما يتصل بدرجة قيمة التصريف والفيضانات المتكررة، (Strahler, 1952)، ويشير الشكل 7-3 إلى مؤشر الخشونة لسطح الحوض المائي المدروس (Ruggedness number) حيث كانت قيمة مؤشر الوعورة منخفضة بشكل عام، وهذا يعني أن أحواض التصريف الفرعية تمر بمرحلة الشباب في دورتها النهائية، ولكن يمكن الملاحظة بارتفاع قيمة الوعورة في الجزء الشرقي من الحوض النهري وكذلك الجزء الغربي منه، الأمر الذي يعطي لتلك الأحواض أولوية في الدراسة لارتفاع معامل الخطورة فيها.

نسبة الاستطالة (Elongation ratio (Re))

تصف نسبة الاستطالة امتداد مساحة الحوض بشكل مستطيل أو قريب منه، فكلما اقتربت من الواحد صحيح كان شكل الحوض يميل إلى الشكل الدائري وكلما اقترب إلى الصفر يكون الشكل يميل إلى الاستطالة، وقد بلغت نسبة الاستطالة في حوض عمان الزرقاء (0.217) وهذا يفيد بأن الحوض أبعد ما يكون عن الشكل المستدير، ويميل بشكل كبير إلى الاستطالة التي بلغت (0.62)، ويظهر الشكل 7-4 نسبة الاستطالة (Elongation ratio) حيث يظهر توزيع الأحواض من الدرجة الرابعة، وتتركز الأحواض ذات الشكل المستطيل في الجانب الشرقي العلوي من الحوض النهري، حيث الإنحدار القليل والصخور البازلتية الصلبة، العسيرة على الحت المائي، فيما تتركز الأحواض ذات الشكل الأقرب للإستدارة في الوسط الغربي من الحوض، حيث الصخور الرسوبية والإنحدار الشديد والأمطار الوفيرة.

ثانياً: خصائص النسيج التضاريسي والتصريف (Relief & Drainage texture Parameters)

إن دراسة هذا النوع من الخصائص يمكن من الاستدلال على مستويات النحت والتعرية التي وصل إليها الحوض النهري، وكذلك التقطع السطحي، وهذا بدوره يعد مؤشراً يمكن الاستدلال من خلاله بشكل عام على السمات البنيوية والجيولوجية للمنطقة، فخصائص الصخور (الطراوة وسهولة التعرية) أنتج عدداً كبيراً من الروافد المائية ذات الرتب الصغيرة (1، 2، 3) والقصيرة والمتطاولة ويتضح هذا من الشكل 8-8 الذي يشير إلى كثافة التصريف (Drainage density)، والتي تظهر أن معظم تركز التفرعات للرتب الصغيرة موجود في الجزء الشرقي والأوسط للحوض المائي، وقد ظهر واضحاً أن نمط التصريف الشجري هو السائد ويرتبط ذلك بوجود مرتفعات محيطة تتركز على أطراف الحوض المائي والموضحة في الشكل 8-8 والتي توضح نسبة التضرس (relief ratio)، حيث أن النسب العالية للمناطق ذات التضرس الكبير (ما بين 7.1-15) تتركز في شرق وجنوب غرب الحوض المائي وكذلك على أطرافه، بينما تتركز المناطق قليلة التضرس والمستوية وشبه المستوية في وسط وغرب الحوض المائي وهذا ما يظهره الشكل 8-8 لمؤشر التقطع (dissection index)، مع وجود الروافد القصيرة وتتركزها في شمال وشرق الحوض المائي، فقد خلق هذا نمطاً من مقياس الرطوبة المتدني في شمال وأقصى شرق الحوض (الشكل 8-8 م)، ويرتبط هذا في الغالب بقصر الروافد، إضافة إلى صغر مساحة الأحواض الفرعية في تلك المنطقة والمرتبطة بشكل الحوض المحدب في تلك الأجزاء، والذي لا يسمح بتجميع كميات كبيرة من المياه في داخل الحوض، الأمر الذي يختلف بعض الشيء في الجانب الأوسط والجنوبي من الحوض المائي حيث معامل الرطوبة مرتفع نوعاً ما، نتيجة تقعر الأحواض الفرعية وقلة إنحدارها، عدا عن اتجاه السطح إلى الشمال والذي يحتفظ بمقدار أكبر من الرطوبة؛ لتعرضها لقسط أقل من الإشعاع الشمسي.



الشكل (8) الخريطة (هـ) الكثافة التصريفية، (ي) نسبة التضرس، (ش) مؤشر التقطع السطحي، (م) مؤشر الرطوبة الطبوغرافية

أنماط شبكات التصريف المائي

تتباين أنماط الشبكات النهرية وفقاً للظروف الجيولوجية، وحجم كمية التساقط المطري، إضافة لدرجة الانحدار لسطح الأرض ونوع الغطاء النباتي في منطقة الدراسة.

ولشبكات التصريف النهرية أنماط متعددة، يحدد من خلالها وصف المسارات التي تتخذها المجاري المائية المكونة لشبكة النهر، والمكونة للحوض المائي المدروس، فالتصنيف على أساس الاتجاه العام يعتبر تصريف داخلي ينتهي في بحيرات داخلية مغلقة أو لقاع طية مقعرة، وفي حالتنا الدراسية، ينتهي التصريف النهرية في نهر الأردن والذي يشكل مستوى قاعدة لحوض عمان الزرقاء (فرحان، 2015) ومن ثم إلى البحر الميت، أما التصنيف على أساس الشكل فيتخذ عدة أنماط وأشكال (الجراري، 1986) في منطقة الدراسة، ويعتمد على أساس البيئة الجيولوجية للحوض النهرية، فيسود النمط الشجري في غالبية أجزاء الحوض النهرية، لا سيما في منطقة وسط وغرب الحوض النهرية، ويرجع سيادة هذا النمط لعامل التضرس والانحدار فهو المسؤول عن شكل التصريف، ويظهر في منطقة نهاية الحوض النهرية لعمان الزرقاء نمط التصريف الريشي، حيث يرتبط هذا النظام بالحافات الانكسارية، التي يمتد المجرى الرئيسي للنهر موازياً لها، مع إتصال الروافد الصغرة للحافة الانكسارية بصورة عمودية على المجرى الرئيسي، وبهذا تتعامد الروافد المقطعة للحافة الانكسارية مع المجرى الرئيسي، وما يميز الشبكة النهرية في تلك المنطقة هو ارتفاع معامل النحت والتعرية للخور الرسوبية.

كما ويرتبط عادة بالأنهار التي تشق مجاريها في مناطق متجانسة من حيث صلابة تكويناتها الجيولوجية وهذا مطابق لحالتنا الدراسية حيث يسود نمط التصريف المتوازي في الجزء الشرقي العلوي من الحوض المائي ويرجع هذا إلى دور العوامل البنوية من التواءات وإنكسارات حيث تعتبر تلك المنطقة ذات تركيبة صخرية بازلتية - بركانية (الحسان 2015)

تمتاز بانخفاض معامل التسرب والترشيح المائي بسبب انخفاض نفاذية الصخور البازلتية، لكن في المقابل يرتفع فيها معامل الجريان السطحي.

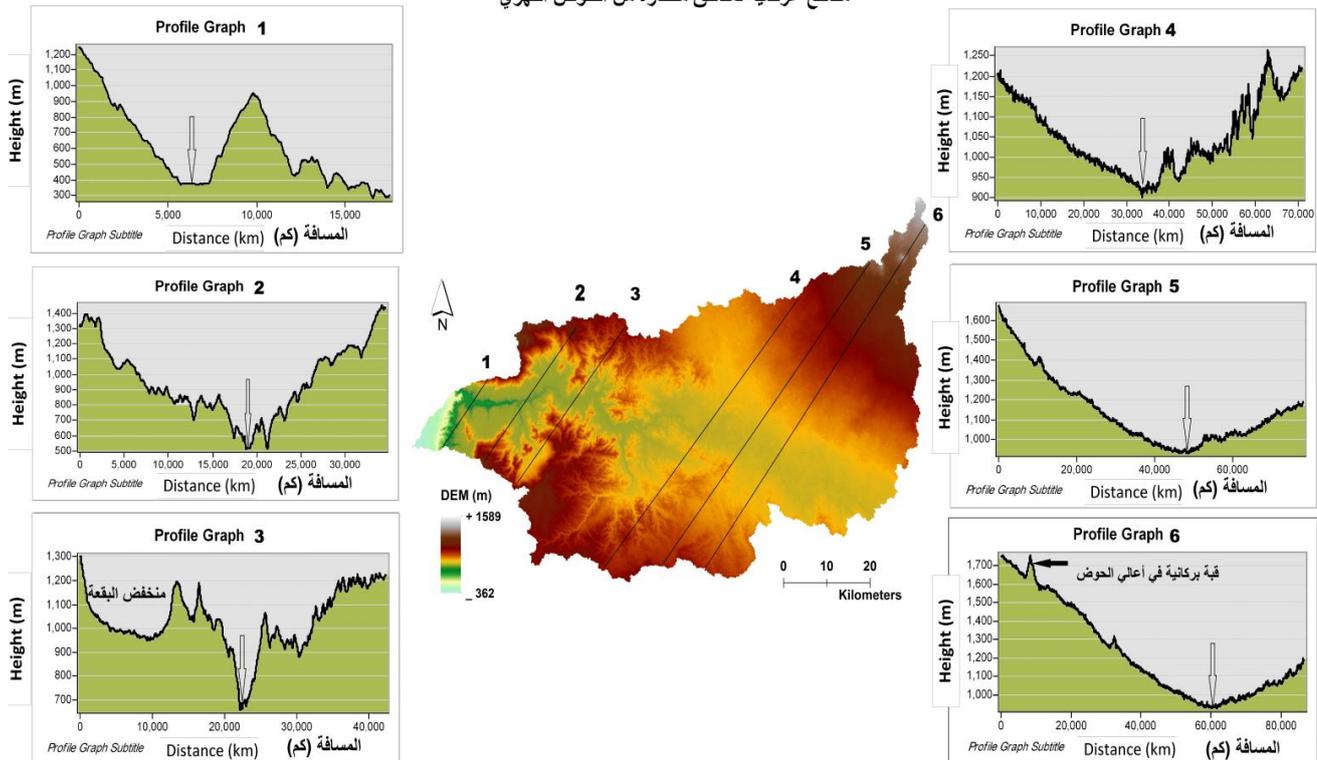
بينما يمكن اعتبار النمط الحلقي الذي يرتبط بالقباب البنيوية موجود على نطاق ضيق في أقصى شمال شرق الحوض المائي عند قمة جبل العرب (الدروز) في سوريا، والذي تنتشر الشبكة من المركز باتجاهات مختلفة وفق الانحدار، وعلى عكس النظام السابق ومن خلال نظرة اجمالية لتكوينة الشبكة المائية في حوض عمان الزرقاء كأحد أحواض الحافة الصدعية المكونة لوادي الأردن، فإن التصريف النهري المركزي يرتبط بالمناطق الحوضية، حيث تصب النظم المائية نحو نقطة مركزية داخلية متمثلة بنهر الأردن الذي تتجه المياه فيه من الشمال إلى الجنوب حتى البحر الميت.

المقاطع العرضية

يعكس المقطع العرضي للحوض المائي الكثير من الخصائص المتعلقة بظروف السطح والعمليات الجيومورفولوجية من تعرية وترسيب وغيرها، وتعتمد قدرة النهر وطاقته على سرعة الجريان المرتبطة بشكل أساسي بدرجة ومستويات الانحدار وكذلك كمية المياه المتدفقة، والبنية الجيولوجية والطبيعة التكتونية التي يقع فيها الحوض المائي، إضافة إلى الظروف المناخية والغطاء الأرضي له، فشكل المقطع العرضي لقناة النهر تتباين وفق الجزء الواقعة فيه القناة النهرية الرئيسية بالنسبة لبقيّة المنطقة من الحوض النهري الكلي، فاتساع القناة عند الأجزاء الدنيا من الحوض، وتقع قاع القناة النهرية على شكل نصف دائرة، يعكس المستويات العمرية التي وصل لها النهر، كمرحلة الشباب وتجدد الشباب في بعض المناطق، أما الأجزاء العليا من القناة النهرية والتي تشير إلى غلبة الحت الراسي على الحت الجانبي وكثرة الخوانق والشلالات تظهر واضحة في منطقة الدراسة من خلال الشكل رقم (9) الذي يشير إلى توزيع المقاطع العرضية لمناطق مختارة من الحوض النهري المدروس.

يظهر من خلال الشكل (9) حجم التباين في أشكال نطاقات المقاطع العرضية، فالمقطع الأول يظهر اتساع ملحوظ في قاعدة القناة الرئيسية للمجرى المائي، فيما ترتفع قيمة التضرس وتضيق القناة المائية في المقطع الثاني، ويستمر تعمق القناة

مقاطع عرضية لمناطق مختارة من الحوض النهري



الشكل (9) نطاقات المقاطع العرضية لأجزاء مختلفة من الحوض النهري في منطقة الدراسة.

مع الابتعاد عن منطقة المصب ويظهر بوضوح في المقطع الثالث، والذي يظهر على شكل خانق مائي، إضافة لظهور منخفض البقعة الذي تكون نتيجة حدوث إنقلاب طوبوغرافي نتج في طية محدبة، وتحول لمنخفض نتيجة الحت والتعرية المائية المستمرة والفعالة خلال عصر ما قبل (Miocene)، أي قبل حوالي 30 مليون عام، وهذا يعني قبل حدوث الإنهدام



الصدعي الذي شكل الأغوار والبحر الميت (الفرحان، 2016)، وفي المقطع العرضي في النطاق الرابع يزداد حجم التباين في النسيج التضاريسي، ولكن القناة النهرية تكون متسعة وهو ما يفسر النطاقات السابقة التي تقع ضمن منطقة الحافة الصدعية للبحر الميت والتي تمتاز بالإنحدار الشديد والتقطع التضاريسي وكثرة الشلالات والخوانق، فيما النطاقين الخامس والسادس في أعالي الحوض والقريب من المناخ الصحراوي، فإنها تتميز بقلة الانحدار مقارنة مع النطاقات الأولى.

الخاتمة (Conclusion)

شكلت دراسة التحليل المورفومتري لأحواض التصريف النهري باستخدام إحصاءات المتغيرات المتعددة ونظم المعلومات الجغرافية لحوض عمان الزرقاء، محاولة مختلفة في دراسة الخصائص المورفومترية من خلال تحليل المتغيرات، وعرضها من خلال البيئة المكانية التي تمثل نطاق التأثير الموقعي والحققي، وهذا ما يتيح إمكانية تحديد الأولويات في دراسة المخاطر والخصائص الجيومورفولوجية لكل منطقة على حده وفقاً لحالتها الخاصة، فقد أظهر التحليل بأن شكل الحوض النهري يميل إلى الشكل المستطيل، وهو ما يعكس المرحلة العمرية والحتية التي تمثل مرحلة الشباب، ويصنف نهر عمان الزرقاء بأنه من الرتبة السابعة، يضم أربعة أحواض من الرتبة السادسة وأحد عشر من الرتبة الخامسة فيما بلغ عدد أحواض الرتبة الرابعة 51 حوض والثالثة 207 حوض. كما بلغ متوسط أطوال الأحواض الكلي 24 كم فيما بلغ مجموع أطوال المجاري المائية 7041 كم وهو ما يعكس مستويات التباين الكبير في بيئة الحوض المائي وذلك نتيجة المساحة الكبيرة للحوض المائي البالغة 4887 كم، وكذلك لتنوع طوبوغرافية الحوض وبنية الجيولوجية، إضافة لما تمتاز به منطقة الدراسة من تركيز سكاني وحضري حيث أن أكثر من 60% من سكان الأردن يتركزون في منطقة هذا الحوض النهري.

كما دل تحليل الخصائص المورفومترية على وجوب إيلاء أهمية وتركيز أكبر للمناطق في الوسطى والغربية من الحوض النهري، حيث يتركز فيها الانحدار الشديد وكذلك الارتفاع التضاريسي والتساقط المطري والاحتمالية الأكبر للفيضانات مع تركيز كبير للسكان فيها، مما يزيد من نسب الخطورة وضرورة إيجاد حلول لمثل هذه المخاطر على السكان.

ABSTRACT

The main objective of the study is to identify important geomorphologic features of Amman-Zarqa River basin in Jordan, in addition to important morphometric characteristics and its values as indicators to the basin geology, climate, and environment, which affect the basin hydrology and the available water, especially after the current demographic changes that is linked to the flow of refugees from some neighboring countries, where large numbers of the refugees settled in urban communities that are located inside the study area (such as Amman, Zarqa and Mafraq city; where the Zaatari refugee camp is located).

The study depended on an analytical methodology, where some computer programs and techniques were adopted such as geographic information with its associated models and programs (such as Arc Map, Arc hydro & Arc Swat), in addition to some mathematical equations and software (DEM surface tools & 3D Analyst), in order to analyze the morphometric characteristics, patterns, and forms of the drainage network as well as associated variables and its statistical significance, in addition to selected cross-sectional areas alongside the basin.

The analysis of the morphometric data indicated variation in the basin area between the previous studies and the current one; where the current study found an increase of about 1156 km², this increase has an implication on the values of all the associated variables such as the number and length of tributaries, basin perimeter and other morphometric variables. The morphometric analysis also revealed that the shape of the basin is concave and tends to be rectangular in shape, reflecting the degradation age and phase that is representing the freshness and young hood phase of the river basin. The previous analysis, in addition to the analysis of some sub-basins properties, also indicated that the shape of the cross-section of the channel network varied according to its location with respect to the river main route, where the cross-section widen up nearby the lower part of the basin, and the circular concavity of



river bed reflects the age levels the river had reached, whereas it indicated, in the upper parts of the river basin, the predominance of vertical degradation rather than horizontal ones with the presence of many waterways and falls. The study also drew out some of the important results in maps that revealed the on-site impact on some morphometric characteristics; which makes it possible to determine the priorities and options to cope for existing risks as well as other associated geomorphologic characteristics. These results shed light on the necessity to pay more attention to the study area, and to make more detailed studies on erosion and flood risk assessment, and to identify geomorphologic based priorities based on the results of the current study.

المراجع العربية

1. الحسيان، يسرى، زريقات، دلال (2015) الخصائص المورفومترية لحوض نهر الزرقاء باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ونموذج الارتفاعات الرقمية 2015، دراسات، العلوم الإنسانية والاجتماعية، المجلد 42، ملحق 1
2. فرحان، يحيى (2015) جيومورفولوجية الأحواض المائية، محاضرة جامعية، بتاريخ 10\18، قسم الجغرافيا. الجامعة الأردنية.
3. جاري طلال وعبد الحسين ضياء الدين (2015) مورفومترية حوض نهر الزعفران شمال شرق محافظة ميسان دراسة في الجيومورفولوجيا التطبيقية، مجلة كلية التربية واسط، جامعة واسط العدد 10، ص 329.
4. الأنصاري، ساميه عواد (2014) تطبيقات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في دراسة البيئة العاملة لحوض وادي فاطمة بالمملكة العربية السعودية. المجلة الدولية للبيئة والمياه، المجلد 2، عدد 3، ص 51.
5. أبو سالم، علي حمدي (2010) الدور الجيومورفولوجي للخصائص المورفومترية والتصريف المائي في الناتج الرسوبي لوادي الوالة، المجلة الأردنية للعلوم الاجتماعية، المجلد 3، العدد 2.
6. الجراري مصطفى، (1986) أوليات في الهيدرولوجة، ص 256، مطبعة بيروت للنشر والتوزيع.

المراجع الأجنبية

1. Mustafa Al Kuisi, Taiseer Aljazzar, Mohammed Al-Qinna, Armin Margane. (2008) Spatial assessment of salinity and nitrate pollution in Amman Zarqa Basin: a case study Environmental Earth Sciences November 2009, Volume 59, Issue 1, pp 117-129
2. Mustafa Al Kuisi¹, Kholoud Mashal², Mohammed Al-Qinna², Abdallah Abu Hamad¹, Armin Margana³ (2014) Groundwater Vulnerability and Hazard Mapping in an Arid Region: Case Study, Amman-Zarqa Basin (AZB)-Jordan Journal of Water Resource and Protection, 2014, 6, 297-318
3. Khaled A. Alqadi Lalit Kumar, Hassan M. Khormi (2014) Mapping hotspots of underground water quality based on the variation of chemical concentration in Amman, Zarqa and Balqa regions, Jordan, Environmental Earth Sciences March 2014, Volume 71, Issue 5, pp 2309-2317
4. Nabil Abderahman Y. H. Abu-Rukah (2006) An assessment study of heavy metal distribution within soil in upper course of Zarqa River basin/Jordan, April 2006, Volume 49, Issue 8, pp 1116-1124
5. Stephan Schulz Christian Siebert, Tino Rödiger, Marwan M. Al-Raggad, Ralf Merz (2013) Application of the water balance model J2000 to estimate groundwater recharge in a semi-arid environment: a case study in the Zarqa River catchment, NW-Jordan Environmental Earth Sciences May 2013, Volume 69, Issue 2, pp 605-615
6. Sana'a Al-Zyoud¹, Wolfram Rühaak, Ehsan Frootan, and Ingo Sass (2015) Over Exploitation of Groundwater in the Centre of Amman Zarqa Basin—Jordan Resources 2015, 4, 819-830; doi:10.3390/resources4040819



7. Bassam Al-Qaisi (2010) Climate Change effects on Water Resources in Amman Zarqa Basin – Jordan Ministry of Water and Irrigation –Water Authority of Jordan – Jordan Amman -11131
8. Rakad A. Ta'any, Alaeddin B. Tahboub Ghazi A. Saffarini (2009) Geostatistical analysis of spatiotemporal variability of groundwater level fluctuations in Amman–Zarqa basin, Jordan: a case study *Environmental Geology* April 2009, Volume 57, Issue 3, pp 525-535
9. F. Shaqour R. Taany, O. Rimawi, G. Saffarini (2016) Quantifying specific capacity and salinity variability in Amman Zarqa Basin, Central Jordan, using empirical statistical and geostatistical techniques *Environmental Monitoring and Assessment* January 2016, 188:46
10. N. Al-Abed, F. Abdulla, A. Abu Khyarah (2005) GIS-hydrological models for managing water resources in the Zarqa River basin, *Environmental Geology* February 2005, Volume 47, Issue 3, pp 405-411
11. Al-Omari, Abbas, Saleh Al-Quraan Adnan Al-Salihi, Fayez Abdulla (2009) A Water Management Support System for Amman Zarqa Basin in Jordan, *Water Resources Management* December 2009, 3165-3189
12. Al-Abed, Nassim, Munjed Al-Sharif (2008) Hydrological Modeling of Zarqa River Basin – Jordan Using the Hydrological Simulation Program – FORTRAN (HSPF) Model *Water Resources Management* September 2008, Volume 22, Issue 9, pp 1203-1220
13. ASTER (2016) Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, NASA in 1999.
http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/#utf8=%E2%9C%93&spatial_map=satellite&spatial_type=rectangle <http://gdem.ersdac.jp/spacesystems.or.jp/search.jsp>
14. Smith, G.H (1939), “The Morphometry of Ohio: The Average Slope of the Land (abstract)”, *Annals of the Association of American Geographers*, 29, pp 94.
15. Horton, R.E. (1932) Drainage-Basin Characteristics. *Transactions, American Geophysical Union*, 13, 350-361.
16. Strahler, A.N. (1952) Hypsometric (Area-Altitude) Analysis of Erosional Topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63, 1117-1142. [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63%5B1117:HAAOET%5D2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63%5B1117:HAAOET%5D2.0.CO;2)
17. Horton, R.E., 1932. Drainage basin characteristics. *Transactions American Geophysics Union* 13, 350-361.
18. Schumm, S.A (1956), “Evolution of Drainage Systems & Slopes in Badlands at Perth Anboy, New Jersey”, *Bulletin of the Geological Society of America*, 67, pp 597-646.
19. Horton, R.E. (1945) Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins; Hydrophysical Approach to Quantitative
20. Strahler AN (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: *Handbook of Applied Hydrology*, edited by Chow VT (McGraw Hill, New York) 4-76.
21. Strahler, A. (1952) Hypsometric (Area-Altitude) Analysis of Erosional Topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63, 1117-1142. <http://dx.doi.org/10.1130/0016-Morphology>. *Geological Society of America Bulletin*, 56, 275-370. [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56%5B275:EDOSAT%5D2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56%5B275:EDOSAT%5D2.0.CO;2)