

الخصائص المورفومترية لحوض نهر الزرقاء في الأردن باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ونموذج التضرس الرقمي

يسرى الحسين، دلال زريقات*

ملخص

تعتبر دراسة مورفومترية الحوض النهري وسيلة للتحليل والقياس الرقمي والرياضي للجوانب المختلفة لحوض التصريف النهري، حيث تهدف هذه الدراسة إلى التحليل المورفومتري لحوض نهر الزرقاء باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ونموذج الارتفاع الرقمي، وتتضمن القياسات المورفومترية (المراتب، والعدد، والتشعب، والكثافة النتصريفية). تتميز المنطقة بشدة التباين في الخصائص الجيولوجية والبنائية، والمناخية، والطبوغرافية، وبالتالي تنوع أشكالها الأرضية، نتيجة لمساحتها الكبيرة البالغة 3731 كم²، ومجموع أطوال روافده من مختلف المراتب البالغة 4331 كم.

وتبين من نتائج التحليل المورفومتري وجود تباين في مساحات الأحواض المائية الفرعية ضمن حوض نهر الزرقاء، فأكبرها الحوض رقم 1 الذي يشكل ما نسبته 15,4% من مجموع مساحة منطقة الدراسة إلى 1,2% للحوض رقم 21. وبناءً على ذلك قُسمت منطقة الدراسة إلى ثلاثة أجزاء تتمثل في القسم الغربي الذي يمثل جزءاً من وادي الأردن الأخدودي الذي ينخفض عند مصبه في نهر الأردن إلى 370م، والقسم الجبلي المتمثل بمرتفعات عجلون، وجرش، وعمان يصل ارتفاعه إلى 1500م، والقسم الشمالي الشرقي الذي يمثل جزءاً من الهضبة الأردنية الشرقية بارتفاع يتراوح بين 550-1100م، في حين يصل ارتفاع منابعه في سوريا إلى 1580م. وتتصف منطقة الحوض بالتباين الشديد في درجات الانحدار إذ تراوحت ما بين المناطق المستوية التي شكلت 71,7% من مساحة منطقة الدراسة إلى المناطق الجرفية الشديدة بنسبة 3,6%. وبلغت نسبة تضرس الحوض 11,3م/كم. كما بلغت رتبة النهر عند المصب السابعة وبطول 103كم، في حين بلغ مجموع أطوال الروافد من المرتبة الأولى إلى السابعة 4331 كم - بلغت الكثافة التصريفية لحوض النهر 1,16كم³/كم².

الكلمات الدالة: حوض نهر الزرقاء، الشبكة المائية، المقطع الطولي، نموذج الارتفاع الرقمي، الانحدار.

المقدمة

يهدف هذا البحث لدراسة وتحليل الخصائص المورفومترية لحوض نهر الزرقاء من خلال الاعتماد على نموذج التضرس الرقمي (DEM) Digital Elevation Model والمشتق من نموذج (SRTM) Shuttle Radar Topographic Mission. ويتوفر نموذج التضرس الرقمي بقدرة تمييزية تصل إلى 30م، ولكن نظراً لكبر مساحة منطقة الدراسة استخدم نموذج التضرس الرقمي بقدرة تمييزية مقدارها 90م، وهذا مكن من تحديد وإنتاج كافة المعلومات الرقمية المساحية والخطية، إضافة لخرائط الشبكة المائية بدقة وسهولة، في حوض ذي مساحة كبيرة ويتصف بخصائص مناخية وجيولوجية وطبوغرافية متغايرة، ولاتوافرها خرائط طبوغرافية شاملة وبمقياس كبير.

منطقة الدراسة: تبليغ مساحة حوض نهر الزرقاء في الأردن

3405كم²، وتبدأ منابعه العليا من جبل الدروز جنوب سوريا، ورأس العين في مدينة عمان (وادي عمان، ووادي السايح)، ثم يتجه نهر الزرقاء شرقاً ليمر بمدينة الرصيفة ويلتقي بوادي الضليل الذي تكون من التقاء وادي العاقب والزعتري القادمين من جبل العرب جنوب سوريا، ثم يتجه النهر غرباً حتى منطقة دير علا باتجاه جنوب - غرب مسافة 14كم إلى أن يصل منطقة المصب في نهر الأردن شمال البحر الميت. وبالتالي فإن المجرى الرئيس لنهر الزرقاء يقطع مسافة قدرها 103 كم، في حين يبلغ مجموع أطوال المجاري المائية بمراتبها السبع 4331كم، ويبلغ أقصى عرض له حوالي 55كم في الحوض الأوسط، وينخفض عرضه إلى 1كم في الحوض الأعلى، وفي الحوض الأدنى 2كم، وبهذا فإن نهر الزرقاء ينحني من منبعه إلى مصبه 180° درجة، ومن نتائج هذا الامتداد والمساحة (بحيري، 2001)، الكبيرة أن تمايزت الأقاليم الأرضية الناتجة عن الاختلافات الجذرية في الجيولوجيا، والمناسيب، والمناخ، والتربة، والنبات، كما أن ارتباط نهر الزرقاء بالحفرة الانهدامية

* قسم الجغرافيا، كلية الآداب، الجامعة الأردنية. تاريخ استلام البحث 2014/9/11، وتاريخ قبوله 2015/2/10.

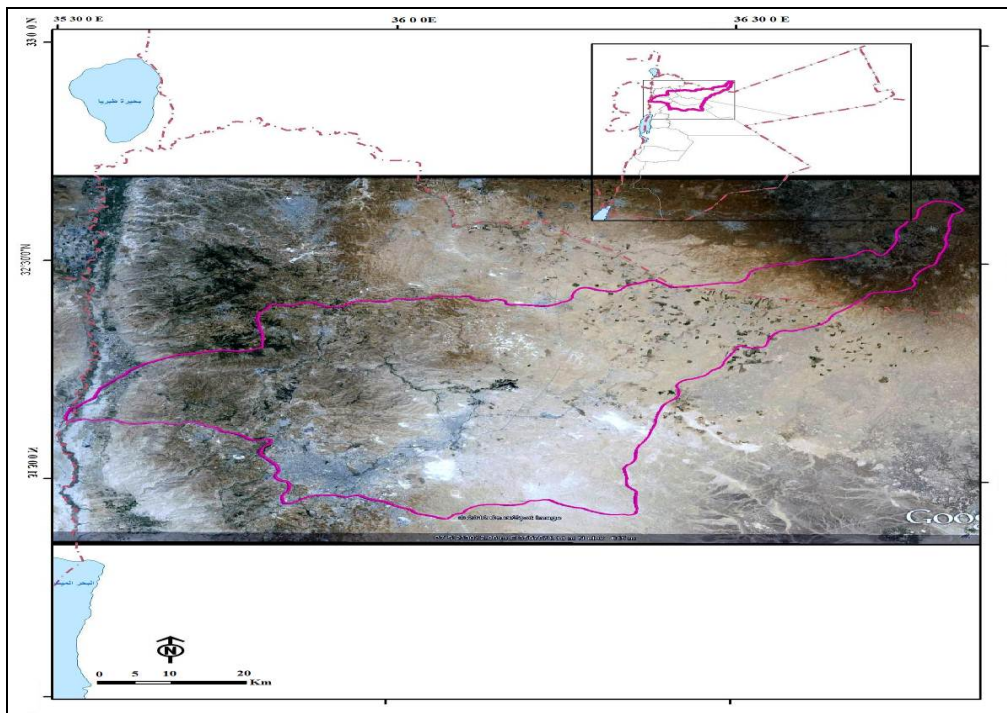
مجموعات جيولوجية وهي: مجموعة الكرنب المكونة من الصخور الجيرية الكثيفة والمارل والرمل الخشن والصخور الجيرية البحرية والتي تنتشر من نهر الزرقاء عند جسر جرش - الغور، ومجموعة عجلون التي تتكون من الحجر الكلسي والرسوبي والطباشيري، ومجموعة الزرقاء التي تتكون من الحجر الكلسي المتبلور والكلسي الرملي المارل، وتتميز التربة هنا بخصوبتها وتمثل تربة البحر المتوسط الحمراء في المناطق التي تزيد أمطارها عن 350 ملم، ومن أبرز مشكلات هذه التربة الانجراف، وأما الجزء الغربي من منطقة الدراسة فيتكون بشكل أساس من ترسبات الرباعي ومنها كونجولوميرات (تكوين الشاغور) (عابد، 1982).

المناخ: تتباين الخصائص المناخية في حوض نهر الزرقاء نتيجة امتداد الحوض ضمن مناطق مختلفة طبيعياً وبيئياً مما أوجد تبايناً في الأقاليم المناخية للحوض؛ إذ تتباين كميات الأمطار ما بين 50 ملم/ سنوياً في المنطقة الشمالية الشرقية إلى 600 مل/ سنوياً في المنطقة الجبلية؛ فيسود المناخ الجاف والحر في الجزء الشمالي الشرقي (الحوض الأعلى) نتيجة للبعد عن مسالك المنخفضات الجوية، إضافة إلى تدني المنسوب إلى 550م في المتوسط، ويسود مناخ البحر المتوسط ممثلاً بمرتفعات جرش وعمان والبلقاء، وأخيراً المناخ المداري الجاف في الحوض الأدنى للنهر (شحادة، 1991).

من خلال مصبه جعله يتأثر بهبوط مستوى الأساس، وما ترتب على ذلك من عمليات التصابي (إعادة الشباب) التي تتعرض لها كافة الأودية المتجهة صوب منطقة الصدع الأردني ويبين الشكل (1) موقع منطقة الدراسة (Alhusban, 2014).

الخصائص الطبيعية: نتيجة لكبر مساحة حوض نهر الزرقاء، وامتداد مجراه الأساسي لأكثر من 103 كم ما بين الأراضي الأردنية والسورية فإن هناك تبايناً واضحاً في الخصائص الطبيعية والمناخية والجيولوجيا، والتكوينات السطحية كما يلي:

الجيولوجيا: تختلف جيولوجية حوض نهر الزرقاء على طول امتداده، ففي المنابع العليا للنهر تسود تكوينات البازلت البركاني العائدة للعصرين الثلاثي والرباعي، والتي تغطي مساحة قدرها 1278 كم² من الأرض الأردنية كجزء من المنطقة الشمالية الشرقية، وتنتشر على شكل حقول، وتدفقات بركانية (عابد، 1982)، وقد أثرت هذه التكوينات البازلتية في الشبكة المائية حيث المسامية المنخفضة والنفاذية العالية والتي تؤثر في الكثافة التصريفية وبالتالي ضعف الشبكة المائية، دليل ذلك غنى هذه المنطقة بالمياه الجوفية على حساب معامل الجريان، كما أثرت الصبات البازلتية خصائص المقاطع العرضية للأودية النهرية التي امتازت بقلّة عمقها، واتساع عرضها حيث تتكشف الصبات البازلتية المقاومة لعمليات التعرية المختلفة (رمضان، 207). أما في الحوض الأوسط والذي يمثل المنطقة الجبلية فيوجد ثلاث



الشكل (1) امتداد منطقة الدراسة (بين دول الحوض).

تم حساب الخصائص الرقمية للحوض المائي، والشبكة المائية.

الدراسات السابقة

تعد دراسة وتحليل الخصائص المورفومترية المساحية، والخطية للأحواض المائية، والشبكة المائية من الموضوعات الجيومورفولوجية التي تلقى اهتماماً كبيراً من قبل الجيومورفولوجيين، فقد درس رمضان الخصائص المورفومترية لمجموعة من الاحواض المائية في الأردن مبرزاً أثر العوامل الجيولوجية، ونوع الصخور وبنيتها، والمناخ على خصائص الشبكة المائية، وقد أوضح بإيجاز أثر كبر مساحة حوض نهر الزرقاء على تنوع الخصائص الجيولوجية، والتضاريسية، والمناخية، وقام بتصنيف الحوض إلى ثلاثة أنماط أرضية مختلفة (رمضان، 1980). أما ملاوي فقد درس حوض نهر الزرقاء الأدنى (غرب سد الملك طلال) من حيث الأشكال الأرضية، والعوامل التي ميزت هذه الأشكال، وتقسيم المنطقة إلى أنماط أرضية كبرى ووحدات أرضية، تفصيلية (ملاوي، 1989). كما درس الشخاترة الخصائص الجيولوجية، والمناخية، والتربة لمنطقة الدراسة وأثر تلك الخصائص في إدارة مياه النهر والتنمية الزراعية (الشخاترة، 1983)، وناقش ابراهيم وآخرون العلاقة بين كمية الأمطار والكثافة التصريفية فتردي الكثافة التصريفية مع زيادة كمية الأمطار (Abrahams and Ponczyaski, 1985) وفي دراسة حسان وكن لطرق تكيف مجرى نهر الأردن الأدنى مع انخفاض مستوى الأساس للبحر الميت، تمثلت نتائج الدراسة بزيادة معدل التعرج النهري، وتناقص عرض الوادي النهري، وزيادة نشاط عمليات الحث الرأسي (Hassan & Kilen 2002).

كما اعتمدت الكثير من الأبحاث على نموذج الارتفاع الرقمي المشتق من SRTM في تحليل الخصائص الجيومترية المساحية منها والخطية للأحواض النهرية ومن هذه الدراسات: دراسة (Kuldeep & Upasana, 2011) بعنوان التحليل الكمي للخصائص المورفومترية لحوض نهر يامونا في الهند باستخدام نموذج التضرس الرقمي المشتق من SRTM أما دراسة (Jurgen, et al 2003) للخصائص البيئية باتباع منهجية جديدة بعنوان اشتقاق خصائص الشبكة المائية، والأحواض المائية باستخدام نموذج الارتفاع الرقمي.

دراسة (Hui-Ping et al, 2006) الذي اعتمد في استخلاصه للخصائص الجيومورفومترية لحوض نهر مينجيانغ وخصائصه التكتونية بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي بقدرة تمييزية 30م كما درس (Zhou Lin et al, 2004) بعض

مشكلة الدراسة ومبرراتها: تهدف هذه الدراسة إلى:

التحليل المورفومتري لحوض نهر الزرقاء بالاعتماد على نموذج التضرس الرقمي (DEM) والمتاح بقدرة تمييزية 90م، بدلاً من الاعتماد على الخرائط ذلك أن الحوض يمتد ما بين الأردن وسوريا ولا تتوفر خرائط طبوغرافية للجزء الممتد في الأراضي السورية، كما أن كبر مساحة منطقة الحوض وبالبالغة 3731 كم² يلزمها عدد كبير من الخرائط الطبوغرافية ذات المقياس الكبير غير المتوفر.

أهمية البحث وأهدافه: تمتاز منطقة الدراسة بخصائص

جيومورفولوجية مميزة نتجت عن الامتداد الكبير لهذا الحوض وبالبالغة 103 كم من منابعه العليا في سوريا وحتى منطقة المصب ماراً بخمس محافظات أردنية، ويضم أكثر من 65 % من سكان الأردن، وفي بيئة متنوعة جيولوجياً ومناخياً، لذلك يهدف هذا البحث لدراسة هذه الخصائص الجيومورفولوجية للحوض، والشبكة المائية والتحليل المتقدم لنظم المعلومات الجغرافية بصورة تفصيلية بالاعتماد على نموذج التضرس الرقمي (DEM) المشتق من (SRTM).

منهجية الدراسة ومصادر البيانات والمعلومات:

أُشتقت كافة المعلومات والبيانات من نموذج الارتفاع الرقمي العالمي المتوافر بدقة 90 م بعد تحديد منطقة الدراسة وفقاً للإحداثيات الجغرافية الأردنية (Jordan JTM) Transverse Mercator.

وتحميل النموذج باتباع الخطوات التالية: (*)

- تحويل نموذج الارتفاع الرقمي إلى خارطة كنتورية، بعد أن تم تحويل مقدار الفاصل الرأسي إلى 100م بدلاً من 10م نظراً لكبر مساحة منطقة الدراسة وتباينها الشديد تضاريسياً، بحيث تصبح بحاجة إلى ملحق خاص حتى تتضح معالم هذه الخارطة الكنتورية ويمكن قراءتها - انتاج نموذج شبكة المثلثات غير المنتظمة من الخارطة الكنتورية، ومنه نقسم مساحة الحوض وفقاً للارتفاعات، والخصائص الانحدارية. - اعادة نموذج شبكة المثلثات غير المنتظمة إلى نموذج التضرس الرقمي لاستخلاص خصائص الشبكة المائية والأحواض المائية.

وأخيراً باستخدام تقنيات نظم المعلومات المتقدمة Spatial Analyst tool in ArcGIS-10.1 software.

(*) SRTM-Virtual Terrain Project (vterrain.org/elevation/SRTM).

(SRTM) Shuttle Radar Topographic Mission.

للاختلاف الشديد في الخصائص المناخية، والطبوغرافية (البحيري، 2001).

طول الحوض

يمكن قياس طول الحوض من خلال حساب المسافة الخطية الفاصلة ما بين المنبع والمصب، (Horton, 1945) وقد بلغ طول حوض نهر الزرقاء حوالي 103 كم، ومن الدلالات الجيومورفولوجية لطول الحوض هذا الاختلاف الكبير في كافة الخصائص الطبيعية وما ترتب عليه من اختلاف في شكل الحوض واختلاف عرضه وفقاً لأقسامه الثلاثة، وهذا الطول الكبير لا يعني أن كمية التصريف المائي كبيرة، بل أن هذه من خصائص الأحواض المائية في المناطق الجافة، ذات النظام المطري الفيضي الناجمة عن فجائية وغزارة الأمطار.

عرض حوض النهر

يختلف عرض الحوض النهر من المنبع إلى المصب فقد بلغ عرض الحوض في الأحواض الثلاثة الأعلى والأوسط والأدنى 6 كم، و50 كم، و2 كم على التوالي، والدلالة الجيومورفولوجية لهذا الاختلاف ما بين منطقة المنبع والمصب نتيجة لاختلاف الخصائص المناخية، والانحدارية.

معامل الشكل

تُشير قيم معامل شكل الحوض إلى مدى انتظام عرض الحوض على طول امتداده من منطقة المنبع إلى منطقة المصب، وقد تميز حوض نهر الزرقاء بأقصى عرض له في الحوض الأوسط، وأقله للحوض الأدنى، ويُحسب معامل الشكل من خلال العلاقة التالية: (Horton, 1932)

$$Rf = A/Lb^2$$

حيث:

$$A = \text{مساحة الحوض}$$

$$L^2 = \text{مربع طول الحوض}$$

بلغ معامل شكل حوض نهر الزرقاء حوالي 35.، وتعد زيادة عرض الحوض مؤشراً على تقدم الحت التراجعي للشبكة المائية، كما أن هذا الاختلاف ما بين العرض والطول يشير إلى اختلاف معدلات الحت الجانبي، نتيجة لاختلاف الظروف المناخية ما بين منطقة الحوض الأوسط الأكثر أمطاراً وارتفاعاً.

نسبة إستدارة الحوض

تكمن أهمية معرفة نسبة إستدارة الحوض النهرى لمعرفة مدى اقتراب أو ابتعاد شكل الحوض المائي من الشكل الدائري

الخصائص الجيومورفولوجية ومنها الكثافة التصريفية، والانحدار وتصنيف الأراضي الجرداء بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي ذي الدقة العالية.

النتائج والتحليل: تناول هذا الجزء من البحث تحليل بعض

الخصائص الحوضية المساحية، والشكلية والتضاريسية (المساحة، معامل الشكل، التضرس، وخصائص الانحدار). ثم تحديد أبرز خصائص الشبكة المائية (الكثافة التصريفية، والتكرار النهري، والرتبة، وعدد المجاري المائية).

الأحواض المائية الثانوية وامتدادها: يمكن دراسة

الخصائص الحوضية من حيث المساحات الحوضية، ومعامل الشكل، والتضرس، والانحدار، الشكل (2)، ويضم حوض نهر الزرقاء مجموعة من الأحواض الداخلية الثانوية بلغ عددها 17 حوضاً رئيساً محلية المنبع والمصب، وخمسة أحواض مشتركة مع جنوب سوريا، ويوضح وتتميز المساحات الحوضية بكبرها مقارنة بكمية التصريف المائي نتيجة لغزارة الأمطار مما يسهم في سرعة الفيضانات والتي تقطع مسافات طويلة خلال فترة زمنية قصيرة مما يسهم في زيادة مساحة الأحواض المائية، وهذا ما يميز الأحواض المائية في المناطق الجافة حيث تقل فعالية الأمطار الهاطلة في حدوث التصريف النهري (رمضان، 1980)، وعلى الرغم من أن الطبيعة الفيضية للأمطار، والأحواض المائية كبيرة المساحة قليلة التضرس إلا أن ذلك لا ينطبق على حوض نهر الزرقاء نتيجة لامتداده وتباينه بيئياً، وجيولوجياً بخصائص المناطق المتباينة جيولوجياً، ومناخياً، وتأثره بطبيعة منطقة المصب التي تتعرض لهبوط رأسي مستمر مما يؤدي إلى تجدد دورة التعرية المائية، أما الأحواض المائية في المنطقة البازلتية فبعضها صغير المساحة بسبب مقاومة الصخر لعمليات الحت المائية، وتتميز بأشكالها المستطيلة، الجدول (1).

المساحات الحوضية (كم²)

يمكن تقسيم حوض نهر الزرقاء إلى 21 حوضاً مائياً ثانوياً بناءً على خطوط تقسيم المياه حيث يوجد خمسة أحواض مشتركة مع سوريا وهي الأحواض ذوات الأرقام (1، 7، 8، 15، 16)، وتتباين في مساحاتها ما بين 575 كم² للحوض رقم 1 - 51 كم² للحوض رقم (16) وبقيّة الأحواض والبالغة (17) حوضاً مائياً داخل الأرض الأردنية، وتتباين الأحواض المائية في مساحاتها فأكبرها الحوض رقم (1) الذي يشكل ما نسبته 15.4% من مجموع مساحة منطقة الدراسة إلى 1.012% للحوض رقم (21) وهذا التباين عائد

دورة التعرية وكما ذكر سابقاً يرتبط بوقوع الحوض الأدنى للنهر ضمن الحفرة الصدمية الأردنية وما ترتب عليها من إعادة تجدد دورة التعرية، كما يدل ذلك على شدة تعرج خطوط تقسيم المياه التي تحدد محيط الحوض (Hassan And kelin, 2002)

ولكن إذا ما نظرنا إلى الأحواض الثانوية الشكل (2)، والجدول (1)، يمكن تقسيم هذه الأحواض إلى قسمين: الأول ويمثل مجموعة الأحواض التي ترتفع بها نسبة الاستدارة وتتمثل في الأحواض ذات الأرقام (4، 21، 17، 6، 5، 10، 13) وقد اقترب الحوض رقم (10) من الشكل الدائري. والثاني يمثل أحواضاً مائبة تتخفف فيها نسبة الاستدارة وتتمثل ببقية الأحواض. ومما يبرهن على مرحلة الشباب التي يمر بها نهر الزرقاء وجود كميات كبيرة من الرواسب الكبيرة بسبب الانحدار، وطبيعة الجريان الفيضي الوميضي غير المنتظم الذي يشهده النهر.

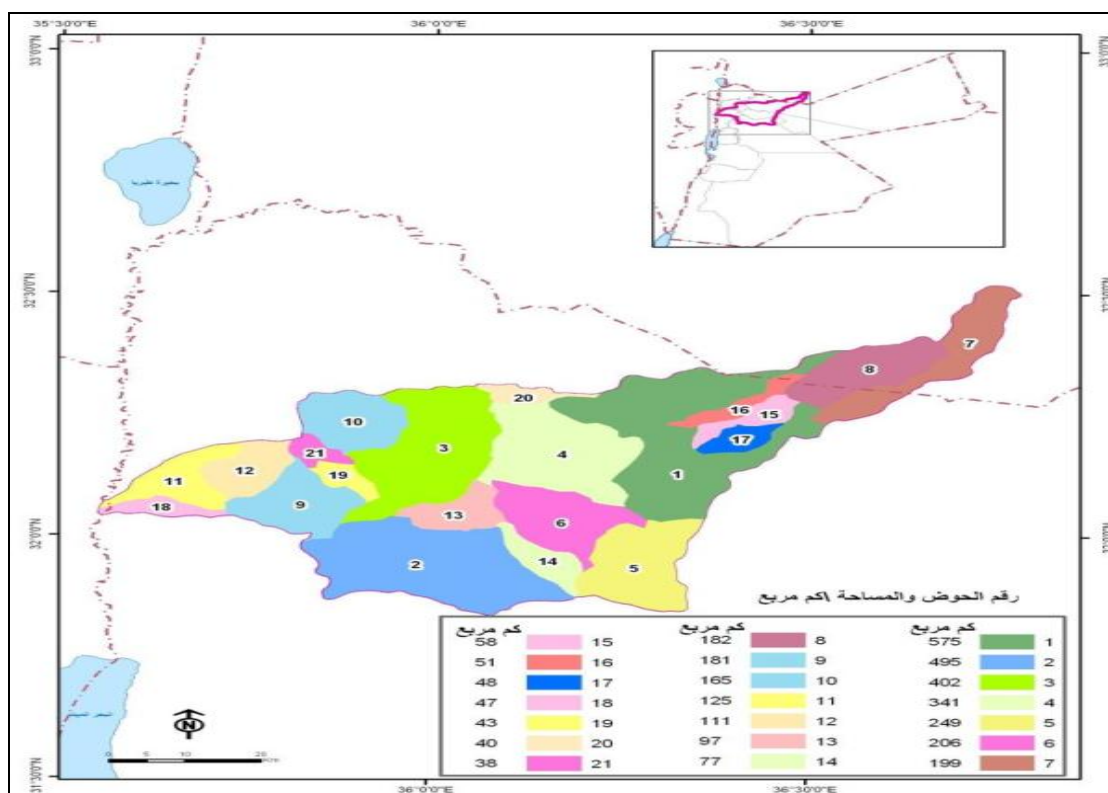
وتتراوح نسبة الاستدارة ما بين 0-1 ويكون الحوض قريباً من الإستدارة كلما اقتربت النسبة من الواحد الصحيح. وكلما قلت النسبة دل ذلك على تعرج القنوات المائية، لذلك فإن نسبة الاستدارة تصف مدى تعرج خطوط تقسيم المياه وارتفاع نسبة الاستدارة تدل على المرحلة الحثية التي يمر بها النهر متقدمة من خلال تطور الحث الجانبي والتراجعي (Strahler, 1964). يمكن تحديد نسبة الاستدارة من خلال المعادلة التالية: (Miller, 1953)

$$\text{مساحة الحوض/كم}^2 \times 100 = \frac{\text{مساحة دائرة محيطها يساوي محيط الحوض نفسه/كم}^2}{100}$$

بلغت نسبة الاستدارة لحوض نهر الزرقاء 32.32%، وتشير هذه النسبة إلى ابتعاد محيط الحوض عن الشكل الدائري مما يعنى جيومورفولوجياً أن النهر ما زال في مرحلة الشباب من

الجدول (1) بعض خصائص الأحواض المائية المساحية والشكلية

رقم الحوض	المساحة كم ²	معامل الشكل	رقم الحوض	المساحة كم ²	معامل الشكل
1	575	0.36	12	111	0.62
2	495	0.45	13	97	0.77
3	402	0.52	14	77	0.3
4	341	0.87	15	58	0.32
5	249	0.75	16	51	0.22
6	206	0.79	17	48	0.65
7	199	0.22	18	47	0.22
8	182	0.32	19	43	0.35
9	181	0.92	20	40	0.37
10	165	0.95	21	39	0.65
11	125	0.32			
مجموع الأحواض 21	مجموع مساحات الأحواض 3731 كم ²				



الشكل (2) الأحواض المائية الثانوية لحوض نهر الزرقاء وفقاً لمواقعها ومساحتها

هبوط متوالٍ باعتباره جزءاً من الصدع الأردني، إضافة للاختلاف التركيب الجيولوجي، والمناخي (Alhusban, 2014)

نسبة التضرس

تُحسب نسبة التضرس من خلال المعادلة التالية: (Schumm, 1965)

$$L/RH$$

حيث أن:

الفرق بين أعلى وأدنى ارتفاع: RH

طول الحوض: L

وبذلك بلغت نسبة التضرس 11.3م/كم، وبلغت نسبة التضرس للحوض الأعلى 31.8م/كم وفي الحوض الأوسط 28.5م/كم، و61م/كم للحوض الأدنى. وقد قُسم حوض النهر إلى أقسام رئيسية، وأخرى ثانوية كما يأتي:

- الأقسام الرئيسية: يمتد نهر الزرقاء ضمن تنوع طبوغرافي وجيولوجي يعكس خصائص الأردن بأشكالها الأرضية المميزة الثلاثة وهي الهضبة الشمالية الشرقية وجنوب سوريا وتشكل ما مساحته 79.8%، والمرتفعات الأردنية تمثل ما مساحته 15.9%، والغور الصدعي 4.3%.

- الأقسام الثانوية: هناك اختلافات واضحة في الخصائص

التضرس: تشتمل خصائص تضرس الحوض، ونسبة التضرس حيث تم تقسيم منطقة الدراسة حسب الارتفاعات المشتقة من نموذج الارتفاع الرقمي إلى ثلاثة أقسام رئيسية تمثل المقطع الطولي للنهر (الحوض الأعلى، الحوض الأوسط، والحوض الأدنى)، وأقسام ثانوية تُبرز اختلاف الخصائص الطبوغرافية، وقد دمجت الخارطة الكنتورية مع الخارطة الانحدارية لتقليل عدد الخرائط في البحث الشكل (3).

تضرس الحوض: يوضح الشكل (3) الخارطة الكنتورية بعد أن تم تحويل مقدار الفاصل الرأسى إلى 100م بدلاً من 10م نظراً لكبر مساحة منطقة الدراسة وتباينها الشديد تضاريسياً، بحيث تصبح بحاجة إلى ملحق خاص حتى تتضح معالم هذه الخارطة الكنتورية ويمكن قراءتها، وهذا ما يوضحه الشكل (4) نموذج التضرس الرقمي حيث تشير الدكونة إلى شدة تقارب خطوط الكنتور يمكن حساب تضرس الحوض من خلال الفرق بين أعلى وأدنى منسوب للحوض المائي (م) حيث بلغ مقدار التضرس 1947م، وبلغ أدنى منسوب لمنطقة الحوض 370م عند المصب في نهر الأردن، وأعلى منسوب هو 1580م في سوريا، وتعكس قيمة التضرس ما تتعرض له بيئة المصب من

الحوض الكلية، في حين أن أجزاء الحوض الأعلى تتميز بقلة انحدارها، ولا تعكس شدة عمليات التعرية بدرجة الانحدار فقط؛ بل تساهم عوامل أخرى في شدة عمليات التعرية والانجراف منها كثافة الغطاء النباتي، وغزارة الأمطار، والذي يؤثر بدوره في حجم الناتج الرسوبي في مناطق الحوض الأعلى. وهذا يقلل من عرض المجرى النهري حيث نظام الأمطار النباتي (Jurgen, et al, 2003) والحوض الأوسط الفيضي، وفقر الغطاء.

ويوضح الشكل (3أ+ب) خارطتي الارتفاع والانحدار، أما الشكل (4) فيوضح اتجاه الانحدار. وتبرز أهمية دراسة اتجاه الانحدار في الدراسات التفصيلية والتخطيط الموضوعي للمشروعات الاقتصادية خصوصاً الزراعية؛ إذ يمكن تحديد ساعات السطوع الشمسي، ومعدلات التبخر، إضافة لتحديد نقطة تجمع مياه الأودية لتحديد مواقع السدود.

الشبكة المائية

تعكس الخصائص العامة للشبكة المائية في منطقة الدراسة المتأثرة بالخصائص المناخية المتباينة، التركيب الجيولوجي والعمليات التكتونية (Horton, 1945) ويمكن دراسة الشبكة المائية من حيث:

أنماطها، ومراتبها، كثافتها التصريفية، وأطوال المجاري المائية وعددها، والتكرار النهري، الشكل (6).

نمط الشبكة المائية

تحدد خصائص المنطقة الجيولوجية، وتكويناتها السطحية، ونظامها المطري أنماط الشبكة المائية (Howard, 1967)، (Zwnnitz, 1932).

حيث يمكن التمييز بين نمطين أساسيين: النمط الشجري والذي يميز معظم مناطق الشبكة المائية في منطقة الدراسة، والنمط المتوازي في مناطق الحوض الأعلى حيث التكوينات البركانية.

الرتب النهري

أظهرت نتائج التحليل المتقدم للبيانات الجغرافية المكانية (Spatial Analyst) مراتب الشبكة المائية ومجموع أطوال كل مرتبة، وقد بلغ مجموع أطوال الروافد كافة المراتب 4331 كم، وعدد الروافد كافة 2695 رافداً وفقاً لتصنيف استيلر شكلت المرتبة الأولى ما نسبته 48.5% من مجموع أطوال الشبكة المائية (Strahler, 1964).

ويُعد هذا العدد الكبير للروافد من المرتبة الأولى مؤشراً لمرحلة الشباب التي ما زال يعيشها نهر الزرقاء، نتيجة لعاملين أساسيين هما ارتباط نهر الزرقاء بالحفرة الصاعدة الأردنية ويترتب على الهبوط المتوالي للبحر الميت تجدد دورة التعرية النهرية، ونشاط عمليات الحت الرأس (Hassan and kilen, 2002).

الطوبوغرافية المحلية ضمن المنطقة الجغرافية الواحدة وهذا ما توضحه الخارطة الكنتورية الشكل (3) والجدول (2)، وهو أن المنطقة الاخودية تشكل النسبة الأقل من مساحة الحوض والبالغة 2.92% فقط، وترتفع إلى 81% للمنطقة الهضبية مما يعني سيادة الطابع الهضبي على مساحة الحوض النهري.

الجدول (2) تقسيم منطقة الدراسة حسب الارتفاع والمساحة

الارتفاع (م)	المساحة (كم ²)	النسبة المئوية (%)
> 0	111	2.92
0-300	149	4
301-500	161	4.3
501-1000	3025	81.1
<1000	285	7.6
المجموع	3731 ² كم	100%

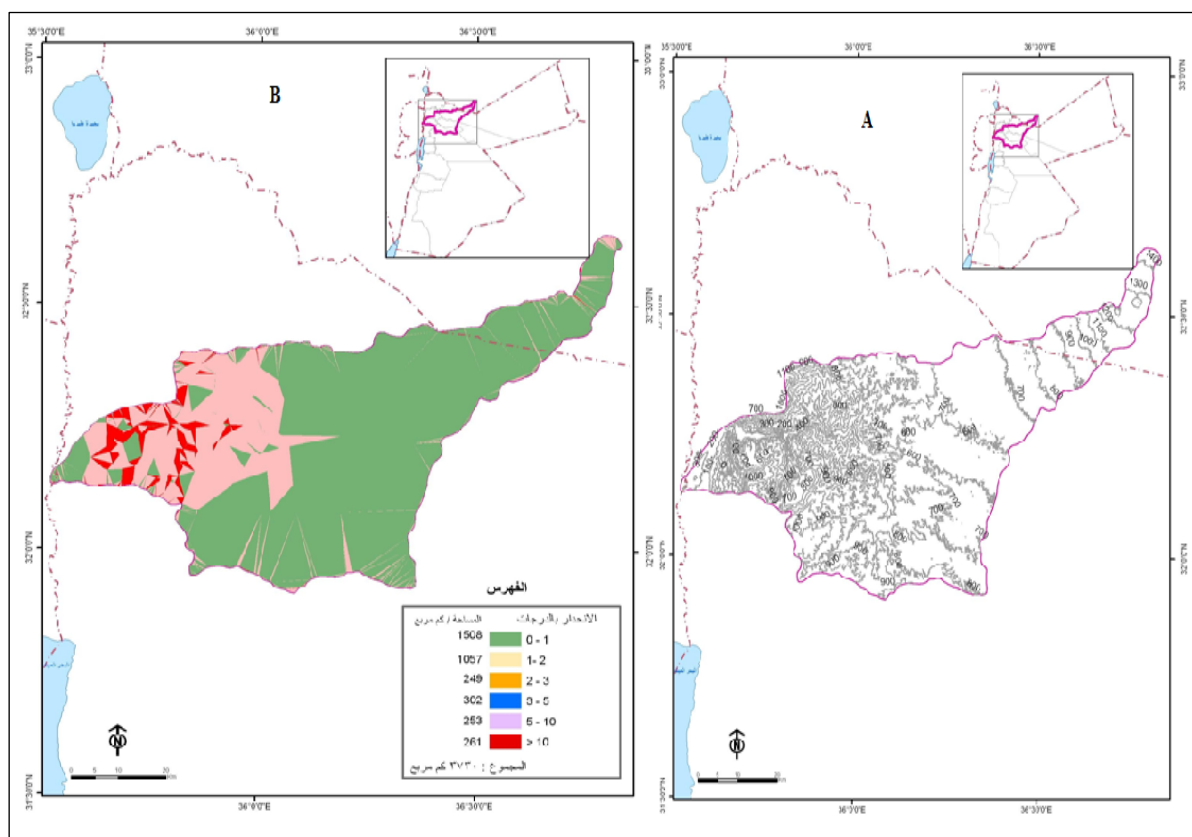
خصائص الانحدار: تعكس خصائص الانحدار العلاقة ما

بين الارتفاع والخصائص الجيولوجية المساحة الحوضية وطول الحوض، تم تقسيم منطقة الدراسة حسب نتائج نموذج الارتفاع الرقمي إلى ستة أقسام انحدارية: المناطق المستوية ذات الدرجات الانحدارية 0-1 التي تغطي ما مساحته 40.4% من منطقة الدراسة، والمناطق شديدة الوعورة تشكل 7% فقط من مساحة منطقة الدراسة والمناطق الجرفية شديدة الوعورة تنتشط فيها عمليات الحت الراسي، وتمثل مرتفعات عجلون وجرش والبلقاء، في حين تتميز بقية أجزاء منطقة الدراسة بكونها تتباين في انحدارها ما بين لطيفة الانحدار ومعتدلة ومنحدرة.

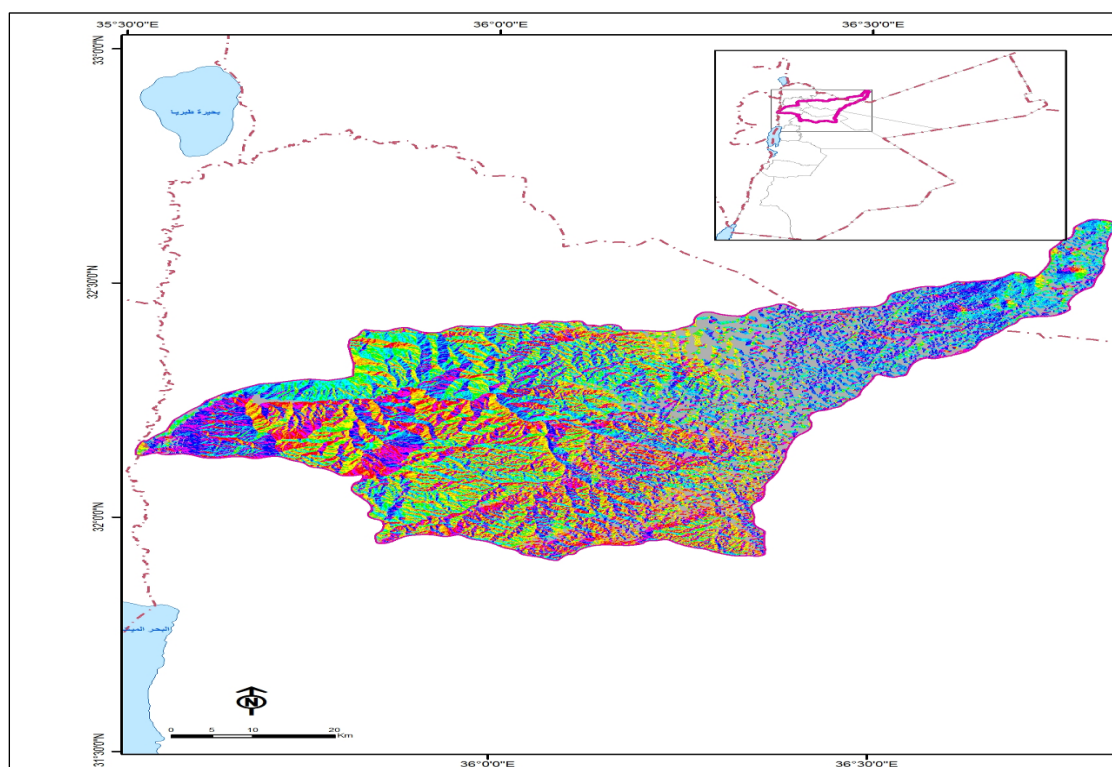
الجدول (3) الخصائص الانحدارية حسب المساحة

درجة الانحدار	المساحة كم ²	النسبة المئوية %
0-1	1540	41.3
1-2	1124	30.1
2-3	249	6.7
3-5	304	8.1
5-10	253	6.7
10>	261	7
المجموع	3731 كم ²	100%

تعكس درجة الانحدار شدة عمليات التعرية بحيث يمكن التمييز بين المناطق التي تنتشط فيها عمليات التعرية وتتركز في المرتفعات الغربية والتي تراوح درجات انحدارها ما بين 5- أكثر من 10، وهذه تغطي مساحة قدرها 13.3% من إجمالي مساحة



الشكل (3أ+ب) خارطتي الارتفاعات، والانحدارات لمنطقة الدراسة.



الشكل (4) اتجاه الانحدار في حوض نهر الزرقاء.

4,4، ومن ذلك أن زاد معدل التشعب للمرتبة الثالثة إذ بلغت 4,7، والخامسة 3,6 وللمرتبة الثانية بلغت 3,2، وأما المرتبة السابعة فبلغت 2,7، ويعود الاختلاف في معامل التشعب تبعاً للمراتب النهرية وعدم انتظامها إلى الاختلاف في الخصائص المناخية، والانحدارية بالدرجة الأولى، ويمكن حساب معامل التشعب من خلال العلاقة التالية: (Schumm,1956)

$$Rb=Nu+Nu+1$$

(N) / عدد الألفية من رتبة ما، عدد الألفية من الرتبة التالية (N+1)
الجدول (4) يلخص بعضاً من خصائص الشبكة المائية.

إضافة لخصائص التساقط المطري الفيضي الوميضي الذي يساهم في سرعة تطوير مجاري من (Edgado,2008) الرتبة الأولى في المنحدرات التي يقل معدل المطر السنوي فيها عن 100 ملم، ويتناقص مجموع أطوال المراتب النهرية مع زيادة الرتبة فتبلغ للرتبة الثانية 25.4% من مجموع أطوال الشبكة المائية، وباستثناء المرتبة السادسة فقد شكلت ما نسبته 69%، في حين شكلت المرتبة السابعة وهي الأخيرة ما نسبته 2,4%، الجدول (3).

معامل التشعب النهرية:

تعود أهمية حساب معامل التشعب النهرية إلى تحديد العلاقة ما بين الروافد النهرية وزيادة المرتبة النهرية، أظهرت القيم تناقصاً غير متوالٍ مع زيادة المرتبة، فقد بلغ للرتبة الأولى

الجدول (4) بعض الخصائص من المورفومترية (القياسات الهندسية)

الرتبة النهرية	الطول (كم)	نسبة مجموع الطول %	عدد الروافد	نسبة عدد الروافد %
1	2100	48.5%	2039	75.6%
2	1100	25.4%	467	17.3%
3	631	14.6%	146	5.4%
4	293	6.8%	31	1.2%
5	74	1.7%	8	0.30%
6	30	0.69%	3	0.11%
7	103	2.4%	1	0.04%

الكثافة التصريفية

تحتسب الكثافة التصريفية بقسمة مجموع أطوال الشبكة المائية بجميع مراتبها على مساحة الحوض النهرية كم² ككل (Horton,1945)، كثيرة هي الدراسات التي تناولت موضوع العوامل المؤثرة والمحددة للكثافة التصريفية ومنها المناخ والجيولوجيا، فالمناخ الرطب المقترن بتركيب جيولوجي، وتكوين سطحي ذي نفاذية منخفضة يزيد من معامل الجريان مما يساهم في ارتفاع معدل الكثافة التصريفية، كما أن العمليات التكتونية تؤثر إيجاباً في كمية تصريف النهرية، كما تشير بعض الدراسات إلى وجود عكسية ما بين غزارة الأمطار وكمية التصريف إذا زادت كمية الأمطار عن 50 ملم/اليوم (Hui, et al, 2006).

كما أن طبيعة الغطاء النباتي وكثافته، ودرجة الانحدار القليلة تزيد من معامل التسرب (Gergory, et al, 2001) وقد اتضح أثر العوامل المناخية والتكتونية والنباتية والانحدارية على امتداد أجزاء الحوض الثلاثة وقد بلغت الكثافة التصريفية

للحوض ككل حوالي 1,16 كم²/كم² وهنا لا بد من الإشارة إلى الجريان المائي موسمياً، لذلك تنخفض الكثافة التصريفية لحوالي 1 كم²/كم² للحوض الأوسط ذي المناخ المتوسطي، في حين نجدها للحوض الأعلى 54 كم²/كم² و 66 كم²/كم² للحوض الأدنى، وهنا يبرز دور المناخ والنبات فالحوض الأعلى يسوده المناخ الصحراوي، في حين يسود المناخ المداري الجاف في منطقة الحوض الأدنى، الجدول (4). (Zhou,et al).

عدد المجاري المائية وأطوالها

بلغ عدد المجاري المائية بجميع مراتبها السبع 2695 نهراً، ومجموع أطوالها حوالي 4331 كم، ويتأثر عدد المجاري المائية، وأطوالها بمجموعة من العوامل أبرزها خصائص المناخ من حيث كمية الأمطار وتركيزها * Rain Intensity، وفاعليتها Effectiveness of Precipitation وتكرارها، فعلى الرغم من قلة التساقط المطري إلا أن خصائص التساقط المطري الفيضي تسهم في تطور شبكة مائية كثيفة، كما يؤثر نوع الصخر في

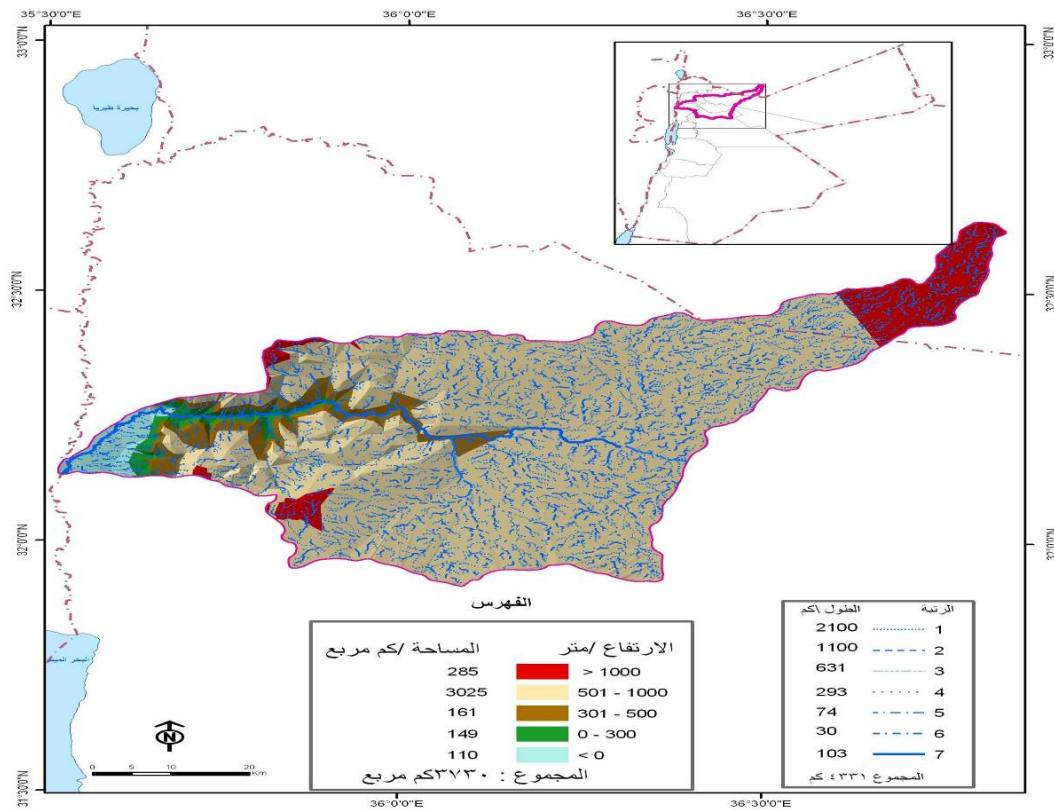
(*) غزارة الأمطار = كمية الأمطار ملم/ زمن العاصفة الماطرة/وحدة زمنية

إلا أن هناك اختلافات في التكرار النهري وفقاً لأقسام الحوض فتتخفص لحوض نهر الزرقاء الأعلى إلى 55، نهراً/كم²، ونجدها ترتفع للحوض الأوسط إلى نهراً واحد/كم²، ثم تتخفص للحوض الأدنى إلى 22، نهراً/كم²، ويمكن تفسير كثافة الشبكة المائية المرتفعة على الرغم من سيادة المناخ الصحراوي الحار والجاف فيما يزيد عن 50% من مساحة الحوض النهري، إضافة لتعرضه لفترات من الجفاف وطبيعة النظام المطري الفيضي، والعوامل الجيولوجية. ويوضح الشكل (6) الشبكة المائية بمراتبها ومجموع أطوالها، ومساحاتها حسب الارتفاع. والشكل (7) يبين العلاقة بين الرتبة النهري وعدد الروافد ومجموع أطوالها.

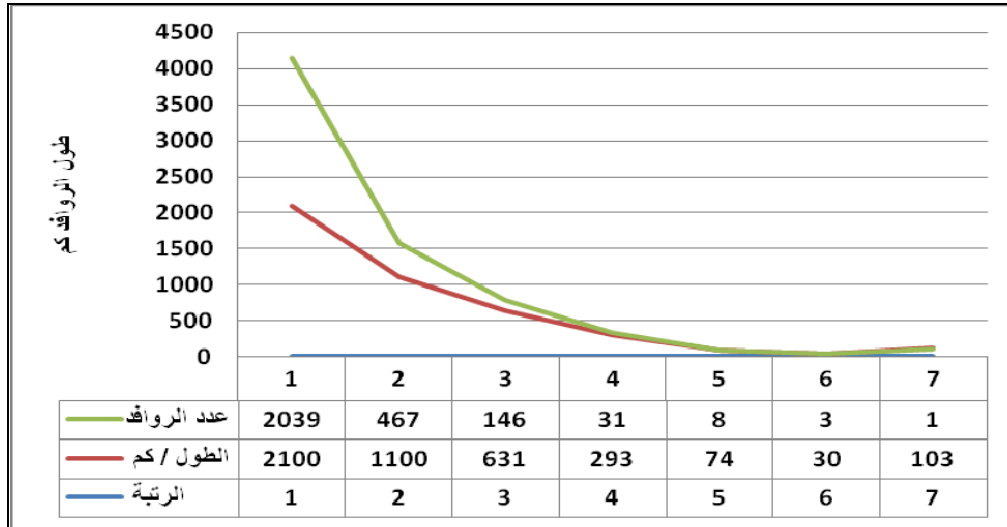
طول وعدد الجريانات المائية من خلال درجة قابليتها للحت (Horton, 1945) (Miller, 1953) وقسمت منطقة الدراسة إلى مناطق ذات كثافة تصريفية مختلفة وفقاً لدرجة الانحدار.

التكرار النهري

التكرار النهري يُعبر عن العلاقة النسبية بين عدد الروافد النهري ومساحة الحوض، وعلى فان زيادة عدد الروافد يزيد من الكثافة التصريفية وكمية الصبيب المائي، وبالتالي نشاط عمليات التعرية، ويُحسب التكرار النهري من خلال قسمة عدد المجاري المائية بجميع مراتبها /المساحة الحوضية كم²، وقد بلغت قيمة التكرار النهري 72، نهراً /كم² لحوض نهر الزرقاء؛



الشكل (6) الشبكة المائية بمراتبها ومجموع أطوالها، ومساحاتها حسب الارتفاع.



الشكل (7) العلاقة بين الرتب النهرية وعدد الروافد ومجموع أطوالها

ومن خلال هذا الاستعراض السريع للخصائص الجيومورفومترية لحوض نهر الزرقاء يمكن تحديد أفضل المواقع للسدود التخزينية بشرط توافر بيانات التربة، والتكوينات الجيولوجية، و مقدار الجريان الفيضي للروافد الرئيسة، ومن خلال ربطها بخصائص الانحدار، يمكن تحديد معامل الجريان السطحي، وبالتالي حساب كمية المياه التي يمكن أن تتجمع خلف كل سد فيما يعرف بنقطة التجمع، ويوضح الشكل (9) المواقع المقترحة بناءً على الخصائص الجيومورفولوجية.

النتائج والتوصيات

يمكن إجمال أبرز نتائج الدراسة في الآتي:

- تباين الخصائص المناخية، والجيولوجية، والانحدارية لمنطقة الدراسة. - ارتفاع الكثافة التصريفية على الرغم من السمة الصحراوية المميزة لمنطقة الدراسة في مساحة تزيد نسبتها عن 50% من مساحة الحوض الكلية - تباين خصائص أشكال الأرض بحيث تتمثل فيها كافة أنماط الأشكال الأرضية البركانية، والإلتوائية، والصدعية. تباين مساحات الأحواض المائية، واختلاف أطوالها، ومراتبها.

وتوصي الدراسة بناءً على النتائج بما هو أ:

- تُعد صور الأقمار الصناعية مقترنة باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية وسيلة فعالة لاشتقاق كافة الخصائص الجيومورفولوجية للأحواض المائية والشبكة المائية بالاعتماد على نموذج SRTM والمتوفر بدقة بحجم الخلية المستخدمة والبالغة (90*90 م) نظراً لكبر مساحة منطقة الدراسة، ولمزيد من التحليل الدقيق لغايات التخطيط الموضعي

معامل التعرج

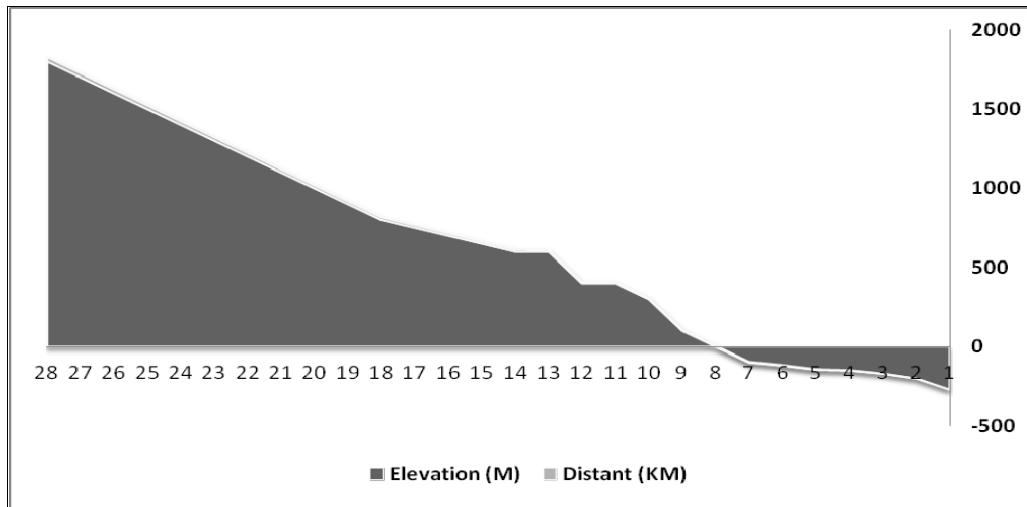
تشير درجة انعطاف المجرى المائي إلى كمية الصبيب المائي فكلما زادت درجة الانعطاف كان ذلك مؤشراً على قلة كمية الصبيب المائي، ويعود ذلك إلى طبيعة المناخ الجاف الذي يسود جزءاً كبيراً من مساحته إضافة للتغيرات المناخية، والعوامل البشرية، وبحسب معامل التعرج من خلال العلاقة ما بين طول النهر إلى طول الوادي $(P \text{ (sinuosity)} = LC/LV)$ ويدل معامل التعرج على الخصائص التصريفية (Horton, 1945) النهرية للنهر فزيادة معدل التعرج يرافقها زيادة في معدل التبخر والتسرب، وزيادة عمليات الارساب، وتُشكل الحواجز الارسابية والجزر الارسابية، خصوصاً في منطقة الحوض الأدنى التي ارتفعت من 1,4 عام 1963 إلى 2,1 عام 2011 بعد بناء سد الملك طلال سنة 1977 ارتفاع منسوب مستوى القاعدة الجديد لنهر الزرقاء ما يقارب 514م فوق مستوى سطح البحر عند مستوى الأساس القديم المتمثل بنهر الأردن، وما ترتب على ذلك من تغير في خصائص المقطعين الطولي والعرضي للسهل الفيضي للنهر (Alhusban, 2014).

المقطع الطولي لنهر الزرقاء

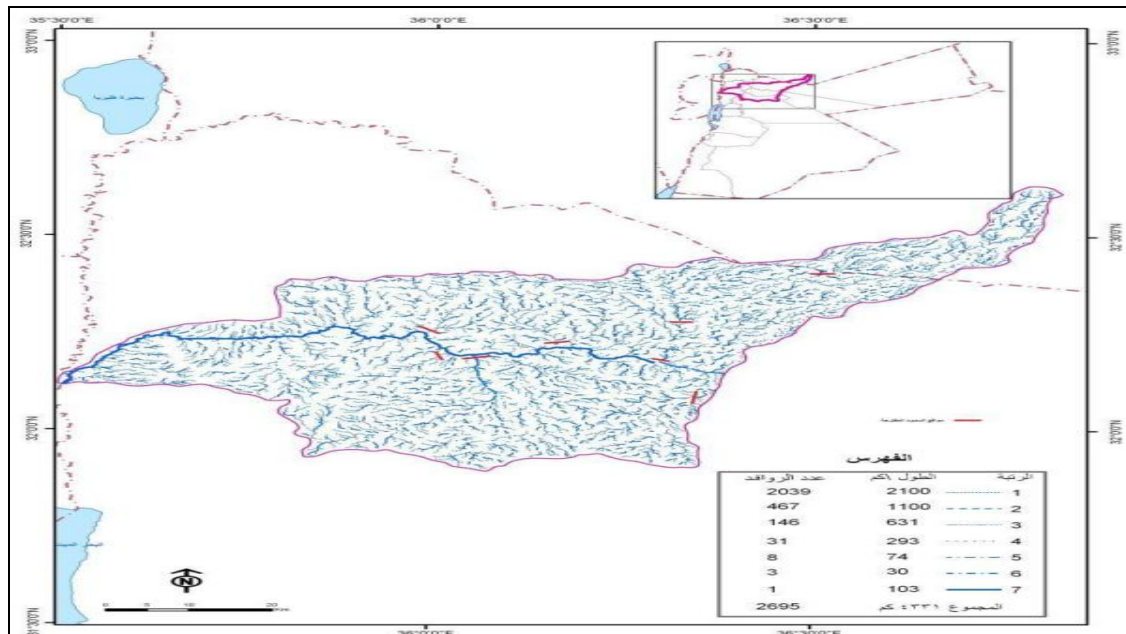
يوضح الشكل (8) المقطع الطولي لجزء من نهر الزرقاء ضمن مسافة أفقية قُدرت بحوالي 28 كم بدءاً من المصب، ويلخص المقطع الطولي للنهر الخصائص التضاريسية المتغايرة التي يتميز بها هذا النهر، حيث يقطع كافة الأنماط الطبوغرافية للمملكة الأردنية الهاشمية من المنطقة الصدعية دون مستوى سطح البحر إلى المناطق الجبلية والهضبة الأردنية.

والجريان، وفعالية الأمطار بحيث يمكن استغلاله من خلال إقامة السدود الترابية التخزينية التي تغذي المياه الجوفية في مناطق البازلت نتيجة لارتفاع معامل التسرب. - يمكن تحديد وإقامة السدود الترابية التخزينية بتكاليف منخفضة، اعتماداً على تحديد كمية التساقط، والجريان الفيضي الخارجي، ومعدل التسرب، ورتبة الوادي النهري، وقعت الحكومة الأردنية اتفاقية انشاء 12 سداً ترابياً في البادية الأردنية بتاريخ 2012/3/19.

يمكن الاعتماد على دقة أكبر وهي متوفرة (30*30م).
- إيلاء هذه المنطقة المتزامية الأطراف، والمتباينة في خصائصها ومقوماتها الطبيعية (المناخ، والجيولوجيا، والتربة، والطبوغرافيا)، الاهتمام الذي تستحق فيما يتعلق بإدارة مياه كافة الأودية المتجهة صوب المجرى الأساس لنهر الزرقاء، من خلال رصد كميات الجريان الفيضي بصورة دقيقة ومنتظمة.
- نتيجة لاختلاف الخصائص الجيولوجية، والجيومورفولوجية لمنطقة الدراسة، تختلف معدلات التسرب،



الشكل (8) المقطع الطولي لنهر الزرقاء ضمن مسافة أفقية 28 كم



الشكل (9) الشبكة المائية، ومواقع السدود المقترحة

المصادر والمراجع

- quantitative geomorphology. Geol. Soc. Amer. Bull., no.56, pp.275-370
- Howard, A.D. 1967. Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. Bulletin of American Association of Petroleum Geology., 51, 2246-59S, some basic drainage patterns were described and related to geological conditions, International Association of Scientific Hydrology, 36, pp 216-219.
- Hui-Ping Zhang, Hao-Fengliu, Nong Yang, Yue-Qiaozhang, and Guo-Weizhang, Geomorphic characteristics of the Minjiang drainage basin (eastern Tibetan Plateau) and its tectonic implications: New insights from a digital elevation model study, *Island Arc* (2006) 15, 239-250.
- Jurgen V. Vogt, R., Colombo, F.B., 2003, Deriving drainage networks and catchment boundaries: a new methodology combining digital elevation data and environmental characteristics, *Geomorphology* 53, 281-298.
- Miller, V.C. 1953. A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. Columbia University, Department of Geology, Technical Report, No.3, Contract N6 ONR 271-300, Network", Handbook of Applied Hydrology, pp 39-76.
- Schumm, S.A. 1956. Evolution of drainage systems & slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey, Bulletin of the Geological Society of America, 67, 597-646.
- Strahler, A.N. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basin and channel network, Handbook of Applied Hydrology, 39-76.
- Uldeep P., Upasana P., 2011, Quantitative Morphometric Analysis of a Watershed of Yamuna Basin, India using ASTER (DEM) Data and GIS, *International Journal of Geomatics and Geosciences* Volume 2, No 1, PP248-269.
- Zhou, L., Takashi, O. 2004, Drainage density, slope angle, and relative basin position in Japanese bare lands from high-resolution DEMs, *Geomorphology* 63, 159-173.
- بحيري، صلاح الدين، 2001 جغرافية الأردن، ط1، المكتبة الإسلامية، عمان.
- رمضان، سلامة، 2007، أصول الجيومورفولوجيا، دار المسيرة، ط2، عمان، ص، 177، 182، 173.
- رمضان، سلامة، 1980، التحليل الجيومورفولوجي للخصائص المورفومترية للحواس المائية في الأردن، مجلة دراسات-العلوم الإنسانية مجلد 7 عدد 2 ص 97-132.
- شحادة، نعمان، 1991، مناخ الأردن، دار البشير، ط1، عمان، الأردن.
- الشخاترة، محمد، 1983م، حماية وإدارة حوض نهر الزرقاء في الأردن، المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (أكساد)، دمشق، ص1، 2، 4، 17، 25.
- عابد، عبد القادر، 1982، جيولوجيا الأردن، مكتبة النهضة الإسلامية، عمان، ص 96+89+106.
- ملاوي، مفلح، 1989، حوض نهر الزرقاء الأدنى، رسالة ماجستير، غير منشورة، الجامعة الأردنية، عمان.
- Abrahams A., D. And Ponczynski, J. J., 1984-1985, Drainage density in relation to precipitation intensity , in the U.S.A. *Journal of Hydrology*, 75, 383-388.
- Alhuban, Y., 2014 Monitoring the Geomorphological Characteristics of the Lower Zarqa River Changes in Jordan, during the Time Period from 1963 to 2011, *International Journal of Applied Environmental Sciences*, Volume 9, Number 2, pp. 153-164.
- Edgardo M. Latrubesse, 2008, Patterns of a branching channels: The ultimate end-member adjustment of mega rivers, *Geomorphology* 101, 130-145.
- Gregory E Tucker , Filipo Catani, Andrea Rinaldo, Rafaeil, 2001, Statistical analysis of drainage density from digital terrain data, *Geomorphology* 36 - 187-202.
- Hassan, M. A. , Klein, M, 2002 Fluvial adjustment of the Lower Jordan River to a drop in the Dead Sea level, *Geomorphology* 45, 21-33.
- Horton, R.E. 1932. Drainage basin characteristics, Transactions, American Geophysical Union, 13, 350-61.
- Horton, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage density: hydrophysical approach to

Morphometric Characteristics of the Zarqa River Basin in Jordan, Using GIS and DEM

*Yusra Alhusban, Dalal Zrekat**

ABSTRACT

This study deals with Zarqa River Basin in terms of analyzing the geo-morphological characteristics: watershed area (area, shape, elevation, slope), and network properties (drainage density, Stream order, and patterns, Stream number). Depending of the digital elevation model (DEM) acquired by the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), and using spatial analyst (GIS). Within an area differences in geology, climatic, and topographic. With large area 3730 km² which form 4.2% from the total area of Jordan, and Syria, extends from Amman, Zarqa, to Mafraq Balqa, Jerash, and southern Syria. The main results of the study could be summarized in the followings:

Different areas of Sub- watershed; the largest one of No. 1 which forms 15.4% of the total area, and the smallest N 21. Area classified as relief to three main parts: the western, which is part of the Jordan Valley drops to -370 m, the mountainous area represented by Ajloun, and Amman reaches a height of 1500m, and the North-east rise by between 550-1100m, while rising up to 1580 m in southern Syria. Variation in slope degrees ranging between flat (level) accounted for 71.7% of the study, to the severe cliffs by 3.6%. - Basin relief 1.3m/km. - Drainage density 1.16km/km² – Stream order seventh with 103km length. The total length of the tributaries from first order – seventh order 4331km.

Keywords: Zarqa River, Network, Slope, Longitudinal Profile, DEM.

* Department of Geography, Faculty of Arts, The University of Jordan. Received on 11/9/2014 and Accepted for Publication on 10/2/2015.