

جيومورفولوجية المساقط المائية في وادي الوالة - شمال الأردن

علي حمدي أبو سليم*

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل الخصائص الجيومورفولوجية لنشأة وتطور المساقط المائية على طول مجرى الوادي في ظل تباين ظروفه الحوضية على طول مجرى الوادي، بالإضافة إلى تحليل الخصائص المورفومترية للمساقط المائية في الوادي، وما يرتبط بها من دلالات جيومورفولوجية.

ولتحقيق أهداف الدراسة، فقد اعتمدت الدراسة - بعد مراجعة الأدبيات المتعلقة بموضوع الدراسة - على إجراء قياسات ميدانية للخصائص المائية والمورفومترية للمساقط المائية على طول المقطع الطولي للوادي، وقد خضعت نتائج تلك القياسات مع المتغيرات الجيومورفولوجية الأخرى للتحليل الإحصائي المتقدم باستخدام الانحدار المتعدد الخطوات Stepwise Regression؛ لبيان دورها الجيومورفولوجي في تحديد الطاقة النهرية للتصريف المائي وانعكاسها المباشر على جيومورفولوجية المساقط المائية في وادي الوالة. وقد أظهرت نتائج الدراسة، أن تطور الجيومورفولوجي للمساقط المائية، واختلاف خصائصها المورفومترية في وادي الوالة يعكس استجابة مباشرة للمتغيرات التي تطرأ على خصائص بيئته الحوضية، والتي تتمثل في: درجة انحدار المجرى، وكمية تصريفه المائي، ومورفولوجية السرير النهرية، ونوعية الصخر.

وقد دلت نتائج التحليل الإحصائي للانحدار المتعدد الخطوات على أهمية التصريف المائي، ودرجة انحدار المجرى في تفسير التباين في الطاقة النهرية للمساقط المائية، فقد بلغ معامل التفسير لمتغير التصريف المائي (21%)، وبدلالة إحصائية (0.001)، فيما بلغ معامل التفسير لمتغير الانحدار (13%)، وبدلالة إحصائية (0.001).

الكلمات الدالة: وادي الوالة، المساقط المائية، الخصائص المورفومترية، مورفولوجية السرير النهرية، التصريف المائي.

المقدمة

تعد دراسة المساقط المائية - من حيث عوامل نشأتها وتطورها، وتحليل خصائصها المورفومترية - من الموضوعات التي شغلت بال الباحثين في مجال الجيومورفولوجيا التطبيقية خلال السنوات الأخيرة؛ لما لها من ارتباط مباشر بمورفولوجية الأسرة النهرية وتطورها، وانعكاسها المباشر على هيدرولوجية الأنهار في الأحواض النهرية، وقد تبلور هذا الاهتمام في العديد من الدراسات التي تناولت دور الحتّ القاعدي Basal Erosion، وانهيار الضفاف Bank Failure، والحتّ التراجعي

Recession في تحديد خصائص المساقط المائية على امتداد مجرى القناة النهرية، كما ركزت هذه الدراسات على أهمية العوامل الهيدرولوجية والطبوغرافية والجيولوجية في تشكيل مورفولوجية المساقط المائية (Young, 1985; Sakai, 1998; Hayakaw and Matsukura, 2002; Darby and Delbono, 2002; Chena et al., 2004; Crosby and Whipple, 2006; Nicholas and Martina, 2008).

الدراسات السابقة

فيما يأتي توضيح لبعض الدراسات الحديثة ذات العلاقة بموضوع الدراسة:

قيّم هايكاو وماتسوكيرا (Hayakaw and Matsukura, 2010) مدى استقرارية واجهة منحدر المسقط المائي لشلال

* قسم الجغرافيا، جامعة الحسين بن طلال.

تاريخ استلام البحث 2013/10/29 وتاريخ قبوله 2014/6/12.

النهرية Unconfined Compressive of Bedrock .
 ودرس اوبانوا وآخرون (Obanawa et al., 2009) تراجع
 الجروف الصخرية والمساقط المائية في نهر شوميو Shomyo
 River في اليابان اعتماداً على المسح الميداني لتسعة عشر
 موقعاً، وخلصت الدراسة إلى أن تراجع الجرف Cliff يرتبط
 بالخصائص المورفولوجية للمنحدرات Morphologic
 Characteristics of Slope، ومنطقة التصريف المائي
 Drainage Area، وكمية المياه المتدفقة في النهر .
 وأعد لامب وديتريش (Lamb and Dietrich, 2009) دراسة
 حول أهمية الشقوق الصخرية Fractured rock في تشكيل
 المساقط المائية، وخلصت الدراسة إلى دور الشقوق في تحديد
 مورفولوجية المساقط المائية وتطورها، كما أوضحت أن تراجع
 المساقط المائية وسقوط Toppling الطبقة الصلبة Crest في
 المساقط المائية يحدث نتيجة ضغط التدفق السطحي للجريان
 المائي Surface Flow Pressure .
 كما درس لامب وآخرون (Lamb et al., 2007) دور
 المساقط المائية في تشكيل مورفولوجية الأودية الرأسية
 المتدرجة Formation of Amphitheater – Headed Valleys
 في جزيرة هاواي Hawai'i، واستخدم الباحثون التحليل
 الطبوغرافي Topographic Analyses لتحديد أثر المساقط
 المائية في تشكيل الجدران الرأسية على امتداد السرير النهرية .
 وخلصت الدراسة إلى أن اتساع نطاق الحوائط الرأسية
 المتدرجة يعتمد على قوة تصريفها المائي Flow Magnitude،
 وطاقة الرواسب المتدفقة في المساقط المائية، حيث أن قوة
 التصريف المائي والطاقة الحثية للرواسب المتدفقة Sediment
 Flux، تعملان على حث وتراجع الحوائط الرأسية باتجاه منطقة
 المنابع.
 ودرس كرادوك وهاورد (Craddock and Howard, 2002)
 دور العمليات الجيومورفولوجية في تراجع الحوائط الرأسية على
 المجاري النهرية في جزيرة هاواي، وتوصلا إلى أهمية
 التصريف المائي في تحديد معدل تراجع المساقط المائية.
 وتوصل نوت وبريس (Nott and Price, 1999) في
 دراستهما للمساقط المائية والفيضانات في المناطق المدارية
 Tropical في أستراليا Australia أن المساقط المائية تزداد
 فعاليتها الجيومورفولوجية وقدرتها على تشكيل برك الغطس

نيجارا في الولايات المتحدة الأمريكية، وبين الباحثان أن
 استقرار المنحدر تعتمد على صلابة التكوينات الصخرية
 ومقاومتها لقوى الحث الرأسي Under Cutting، وخلصت
 الدراسة إلى أن عملية تراجع المسقط تبدأ بحدوث انفصال
 تدريجي لصخور واجهة المسقط؛ نتيجة لوقوعها تحت تأثير
 قوى الحث المائي، ثم تتعرض القمة الصخرية Rock Cap
 للمسقط للانهار Collapse بفعل الجاذبية الأرضية
 Gravitational، ويحدث الانهيار في الجزء الأعلى عندما
 يتجاوز ضغط الانحناء Bending Stress المؤثرة على
 التكوينات الصخرية قوة الشد Tensile Strength. كما خلصت
 الدراسة إلى أن الانجراف السريع في المساقط المائية يؤدي
 إلى اتساع شق الروافد العليا ويجدد شباب القطاع الطولي
 للأنهار Rejuvenation of Longitudinal Profile.

كما درس هايكاو وماتسوكورا (Hayakawa and Matsukura,
 2009) التغيير في شكل المسقط المائي Changes in
 Waterfall Shape وفحصا تأثير العوامل الطبيعية Physical
 Factors على اختلاف معدلات تراجع شلال نيجارا Niagara،
 واستخدم الباحثان المعادلة التجريبية Empirical Equation
 لبناء نموذج يفسر عوامل تراجع الشلال، ومن المتغيرات التي
 اعتمد عليها في بناء النموذج: حجم التدفق المائي Flow
 Volume، وشكل المسقط، وقوة صخور السرير Bedrock،
 وطول الحواف Lip Length، وقد أوضحت الدراسة أن الحث
 الرأسي للمساقط يؤدي إلى تراجع العمليات الجيومورفولوجية
 المائية Fluvial Geomorphology؛ لأن معدل تراجع المساقط
 عادة يكون أعظم من عمليات الحث التي تتعرض إليها
 الصخور داخل السرير النهرية Incision of the Entire
 Processes، كما أوضحت أن حث السرير النهرية بواسطة
 المسقط المائي يكون فعال مع احتواء التيار المائي على
 رواسب منقولة Transported Sediment. وخلصت الدراسة إلى
 أن معدل تراجع المساقط المائية يعتمد على مجموعة من
 المعطيات، أهمها: قوة الحث Erosional Force، وقوة مقاومة
 صخور السرير، ومساحة منطقة التصريف المائي في الحوض
 الأعلى Upstream Drainage Area، ومعدل الأمطار في
 حوض التصريف المائي، وطول حافة المسقط المائي، وكثافة
 المياه Water Density، والقوة الضاغطة غير المنفذة للسرير

وباعتمادها على المسح الميداني، والأسلوب الإحصائي المتقدم، وربما تمثل هذه الدراسة إضافة علمية في مجال المورفولوجية التطبيقية للأحواض النهرية.

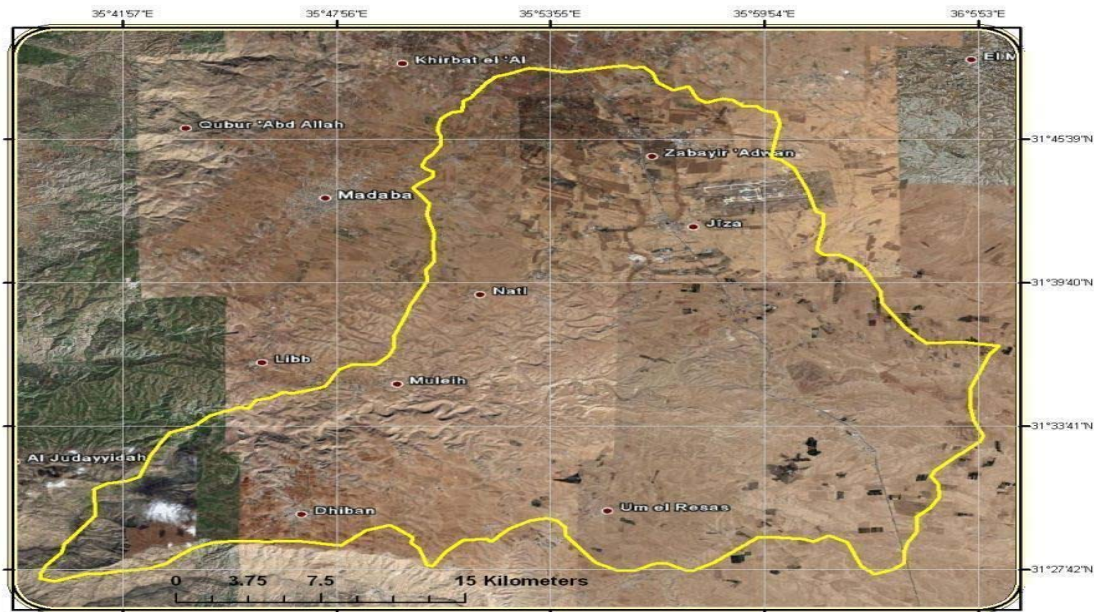
منطقة الدراسة

يقع وادي الوالة في الجزء الأوسط من المملكة الأردنية الهاشمية، ويمتد بين خطي طول 12° 35' و 38° 36' شرقاً، ودائرتي عرض 20° 30' و 31° 50' شمالاً، ويبلغ أقصى طول للحوض (71 كم) من الشرق إلى الغرب، بينما يصل امتداده من الشمال إلى الجنوب (33.6 كم)، أما مساحته الحوضية فتقدر بحوالي (2050 كم²). ويلتقي وادي الوالة مع وادي الهيدان ليشكلا معاً مجرى واحداً يلتقي مع وادي الموجب الذي يصب في البحر الميت. وتمتاز البيئة الحوضية للوادي بالتضرس الشديد. إذ بلغت نسبة التضرس (15.1م/كم) (شكل 1).

Plunge Pool والحواجز Levees وقت الفيضان، كما توصلت الدراسة إلى أن الفيضان يؤدي إلى زيادة حدود قوة القص Boundary Shear Stress وإلى تعميق القناة النهرية مما يعمل على تشكيل المساقط المائية.

وأخيراً، ناقش بيشوب وكولدريك Bishop and Coldrick (1992) مورفولوجية المساقط المائية Waterfall Morphology وعملية تشكلها وتطورها في منطقة كورا Cowra جنوب ويلز، وخلصت الدراسة إلى أن تطور المساقط المائية يرتبط بالخصائص الحوضية للسريير النهري Bedrock river.

توضح نتائج الدراسات السابقة عوامل تشكل المساقط المائية، ومن أهمها: الخصائص الهيدرولوجية للجريان المائي، ونوعية التكوينات الصخرية لسريير ومواد الضفاف، وطبوغرافية الحوض، ودرجة إنحدار المجرى النهري، واعتمدت في منهجيتها على التحليل الوصفي والمخبري وتطبيق النماذج والمعادلات الرياضية. بينما تتميز هذه الدراسة بمنهجيتها التحليلية في تناولها للمساقط المائية،



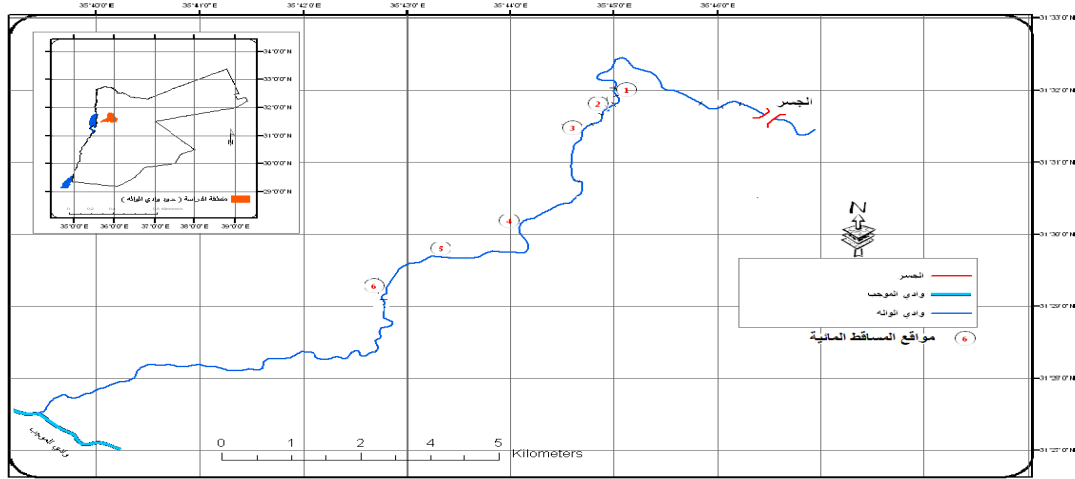
شكل (1) صورة فضائية لحوض وادي الوالة

الوادي حيث أظهرت نتائج العمل الميداني وتحليل الصور الجوية، والخرائط الطبوغرافية لوادي الوالة وتحليل القطاع

وقد أثرت خصائص البيئة الحوضية للوادي بشكل مباشر في نشأة وتطور ظاهرة المساقط المائية على امتداد مجرى

نتيجةً لتداخل عددٍ من المتغيرات الجيومورفولوجية التي أدت إلى استواء سطح السرير النهري في الحوض الأدنى، وأهمها: استجابة التكوينات الصخرية الرملية لقوى الحث المائي، وتدني انحدار السرير النهري.

الطولي لمجرى الوادي وجود عددٍ من المساقط المائية والتي تميزت بأنها ذات فاعلية جيومورفولوجية. ويظهر الشكل (2) التوزيع المكاني لعددٍ من المساقط المائية الرئيسة على طول مجرى الوادي، والبالغ عددها (6) مساقطٍ موزعةً على امتداد الحوضين الأعلى والأوسط، فيما خلى الحوض الأدنى منها؛



شكل (2) التوزيع المكاني لمواقع المساقط المائية في الحوض الأعلى والأوسط

Morphometric Characteristics في ظلّ حالات عدم الاستقرار، والتغير في الظروف المناخية والجيولوجية والجيومورفولوجية التي تتباين - بشكل ملحوظ - على طول المقطع الطولي للوادي.

وتفصي دراسة الخصائص المورفومترية للمساقط المائية إلى دلالات جيومورفولوجية نظرية وتطبيقية، توضح دور العمليات النهرية في تحديد مورفولوجية السرير النهري للوادي، كما أنها تلقي الضوء على القواعد البيئية والحوضية التي تطورت من خلالها تلك المساقط، وعليه فإن مشكلة الدراسة ارتكزت على معالجة المواضيع الآتية:

1. دراسة المعطيات الجيومورفولوجية التي تتحكم في ديناميكية تشكل المساقط المائية في وادي الوالة.
2. تحديد مدى انتشار ظاهرة المساقط المائية على طول مجرى الوادي، وأثر اختلاف الخصائص المائية للوادي في تحديد أبعادها المورفومترية.
3. الدلالات الجيومورفولوجية للخصائص المورفومترية التي

إن قدرة وادي الوالة على تكوين المساقط المائية تزداد بشكل واضح في الحوضين الأعلى والأوسط؛ نتيجة لوجود تباين في تأثير قوى الحث الرأسي في ظل اختلاف صلابة التكوينات الصخرية للسرير النهري ومقاومتها لقوى الحث المائي، بحيث تتشكل المساقط في المناطق التي يتغلب فيها قوى مقاومة التكوينات الصخرية على قوى الحث المائي. وتنهض قوى الحث المائي للمساقط مع زيادة طاقتها النهرية التي تعتمد على نحو مباشر على حجم التصريف المائي وسرعته، فيما تعتمد قوة المقاومة على صلابة التكوينات الصخرية (Gilbert, 1907; Leopold, 1964 Whipple and Hancock, 2000).

مشكلة الدراسة ومبرراتها

تحدد مشكلة البحث في دراسة جيومورفولوجية المساقط المائية على امتداد مجرى وادي الوالة من خلال تحليل عوامل نشأتها وتطورها وتحليل خصائصها المورفومترية

4. تحليل نتائج القياسات المورفومترية للمساقط المائية في وادي الوالة، وربط القيم الناتجة عن القياس بظروف بيئته الحوضية.
5. تحليل الدلالات الجيومورفولوجية المرتبطة بعملية تشكل المساقط المائية وتطورها ضمن البيئة الحوضية للوادي.

منهجية البحث

تتبنى الدراسة منهجاً تحليلياً Analytical Approach للبيانات المشتقة من الخرائط الطبوغرافية والجيولوجية (1-50000 لعام (2000)، والصور الجوية (1-25000) لعام (2008) والصور الفضائية (1 - 250000) لعام (2010)، علاوة على تحليل البيانات التي تم جمعها من المصادر المكتبية والدوائر الرسمية ذات الصلة بموضوع الدراسة. أما العمل الميداني فقد ارتكز على إجراء قياسات ميدانية للخصائص المائية والمورفومترية للمساقط المائية على طول المقطع الطولي لمجرى وادي الوالة، واشتملت القياسات على:

أ. القياسات المورفومترية:

1. قياس طول الحافة الصخرية للمسقط المائي.
2. قياس مساحة الواجهة الأمامية للمسقط المائي.
3. قياس مساحة البحيرة الأمامية للمسقط المائي.
4. قياس عمق البحيرة الأمامية للمسقط المائي.

ب. القياسات المائية:

1. معدل عرض القناة المبللة / سم. حُسِب باستخدام الشريط، وذلك بأخذ ثلاثة قياسات رئيسية لعرض المجرى عند كل مسقط مائي، ثم حسب متوسط هذه القياسات للحصول على عرض القناة المبللة عند كل مسقط.

2. معدل عمق القناة المبللة / سم.

حُسِب العمق عن طريق تجزئة عرض المجرى عند المسقط إلى ثلاثة أجزاء متساوية وأخذ العمق عند كل جزء، ومن ثم حسب متوسط هذه الأعماق للحصول على عمق المياه في القناة المبللة عند كل مسقط.

تتميز بها المساقط المائية في وادي الوالة. أما مبررات الدراسة، فتنبع من المنطلقات الآتية:

- أ. قلة الدراسات التي تناولت جيومورفولوجية المساقط المائية - محلياً وعربياً - على الرغم من أهميتها التطبيقية في المجالات الزراعية والهيدرولوجية وتوليد الطاقة الكهربائية.

ب. إن دراسة الخصائص المورفومترية للمساقط المائية في وادي الوالة تُلقي الضوء على العديد من العوامل الجيومورفولوجية التي تحدد تطور مورفولوجية Morphology مجرى وادي الوالة وسريه النهري.

ج. ما يرتبط بالخصائص المورفومترية للمساقط المائية في وادي الوالة من دلالات وآثار جيومورفولوجية نظرية وتطبيقية توضح السلوك النمطي لمجرى الوادي في ظل ظروف حوضية ونهرية مختلفة.

د. وتأتي الأهمية الجيومورفولوجية لدراسة ظاهرة المساقط المائية Phenomenon Waterfall من أنها ذات طبيعة ديناميكية متغيرة، تبعاً لتغير الظروف الحوضية للسريه النهري؛ لذا فإن دراسة خصائصها المورفومترية، وما يرتبط بها من دلالات بيئية، سوف تسهم في تحديد التغيرات التي تتعرض لها المساقط المائية وامتدادها المكاني، تمهيداً لوضع الحلول المناسبة للحد من بعض آثارها السلبية على التربة والمشاريع المائية، والاستفادة منها في البعد السياحي وتوليد الكهرباء.

هـ. يشكل وادي الوالة بيئة مناسبة للدراسة كنموذج يمكن تعميم نتائجها على أحواض نهريّة مشابهة له في خصائصه الطبيعية، إذ تتميز بيئة حوضه بالتنوع في خصائصها المناخية والجيولوجية والجيومورفولوجية.

أهداف الدراسة

- تتمحور أهداف الدراسة في عدة نقاط، نوجزها بما يأتي:
1. تحليل المعطيات الجيومورفولوجية المحددة لظاهرة المساقط المائية على طول مجرى وادي الوالة.
 2. تحليل ديناميكية تشكل المساقط المائية في وادي الوالة.
 3. دراسة التوزيع المكاني للمساقط المائية على طول مجرى الوادي.

3. معدل سرعة الجريان المائي م / ث.

تم حساب معدل السرعة بأخذ ثلاث قراءات لسرعة المياه عند كل مسقط، ثم حساب معدل هذه القراءات.

4. التصريف المائي م³ / ث.

تم حسابه عن طريق ضرب عمق المياه في عرضها وفي سرعتها للحصول على كمية التصريف المائي بالمتري المكعب في الثانية عند كل مسقط، وذلك حسب المعادلة:

$$Q = AV, \text{ حيث أن } Q = \text{كمية التصريف المائي م}^3/\text{ث.}$$

$$A = \text{مساحة مقطع النهر م}^2 = V^2 = \text{سرعة مياه النهر م} / \text{ث.}$$

ج. قياس الطاقة النهرية Energy stream:

تم قياس الطاقة النهرية وفقاً للمعادلة الآتية:

$$EQ = \frac{A(V)^2}{2}$$

$$A = \text{كمية التصريف المائي م}^3/\text{ث،}$$

$$V = \text{سرعة التصريف المائي م/ث}$$

د. قياس معامل شكل القناة:

تم حساب المعامل وفقاً للمعادلة الآتية: $F = W / d$

حيث إن $W = \text{عرض القناة م}$ ، $d = \text{عمق القناة م}$

وقد خضعت البيانات المورفومترية والمائية والجيومورفولوجية للتحليل الإحصائي المتقدم، باستخدام الإنحدار المتعدد الخطوات Stepwise Regression، وذلك لتحليل دورها الجيومورفولوجي في تحديد الطاقة النهرية للتصريف المائي وانعكاسها المباشر على جيومورفولوجية المساقط المائية في وادي الوالة.

جيومورفولوجية المساقط المائية في وادي الوالة:**ديناميكية تشكل المساقط المائية في وادي الوالة:**

تنشأ المساقط المائية في وادي الوالة؛ نتيجة لمقاومة الطبقات الصخرية التي يتشكل منها السرير النهرى للوادي لقوى القص الرأسية التي تحدثها عمليات الحت النهرى بفعل التيار المائي، حيث تؤدي هذه القوى إلى نحت الطبقات قليلة الصلابة في مناطق معينة بمعدل أسرع من المناطق الأخرى،

مما يؤدي إلى إحداث فروقات في مناسيب السرير النهرى تعمل على إحداث تغير مفاجئ في هيدرولوجية التدفق المائي للوادي عند تلك المواضع، وتتمثل هذه التغيرات في سرعة اندفاع التيار المائي باتجاه الأسفل بفعل الجاذبية الأرضية الناجمة عن فرق الارتفاع وزيادة حجم التصريف المائي. ويعمل اندفاع المياه المتسارع باتجاه الأسفل إلى تعرض الطبقات الصخرية السفلى لجسم المسقط المائي لعملية الحت بما يتناسب مع طاقته النهرية ليتكوّن أسفل المسقط فجوات صخرية تكون أسقفها من الطبقة الصخرية الصلبة التي لا يلبث جزء منها طويلاً في مكانه لينهار إلى الأسفل عندما يتجاوز ضغط الإنحناء المؤثرة على الطبقة الصخرية قوة شدّها وتماسكها، ليتراجع منحدر المسقط باتجاه المنابع.

وتتسط ظاهرة المساقط المائية في الحوضين الأعلى والأوسط؛ نتيجة لتدخل عوامل بيئية أخرى أسهمت في زيادة قدرة النهر على حث سريره النهرى في هذين الحوضين، ومنها: حدوث الهبوط التكتوني في بيئة المصب (البحر الميت) وما يفضي إليه هذا الهبوط من تفعيل للحت الرأسى لمجرى الوادي على حساب الحت الجانبي، كما يمكن تفسير ذلك باختلاف خصائص التكوينات الصخرية على طول المجرى من حيث درجة صلابتها ومقاومتها للقوى الحثية، وتباين معدلات الإنحدار في كثير من المناطق في الحوضين الأعلى والأوسط.

مورفولوجية المساقط المائية في وادي الوالة:

يتغير الشكل المورفولوجي للمساقط المائية في وادي الوالة تبعاً للتغيرات التي تطرأ على الطاقة النهرية للجريان المائي وقدرته على تفعيل عمليات الحت النهرى الرأسية والجانبية، ويعمل اختلاف الطاقة النهرية للجريان المائي على امتداد مجرى الوادي واختلاف نوعية تكويناته الصخرية إلى تباين مورفولوجية مساقطه المائية، فنجد أن المساقط المائية في الحوض الأعلى للوادي تتخذ شكل الجرف الصخري ذي نتوءات وتجاويف صخرية غير مستقرة ويكثر في واجهته الأمامية الشقوق نتيجة لتعرضه للتجوية الميكانيكية والكيميائية، كما تبرز المفاصل الصخرية بين الطبقات الصخرية بشكل واضح. ويعمل ضعف البناء الجيومورفولوجي

منطقة المنابع، وأحداث تغيّرات مستمرة على مورفولوجية المساقط المائية (شكل 3،4).

لهذه المساقط وتميّزها بالإنحدار الشديد الذي يتراوح ما بين (85°-90°) على تفعيل عمليات الحت التراجعي باتجاه



شكل (3) التجاويف والمفاصل الصخرية التي تحتويها الطبقات الصخرية التي يتشكل منها المسقط المائي



شكل (4) انهيار التكوينات الصخرية التي يتشكل منها جسم المسقط المائي في الحوض الأعلى

السرير النهري أمام قوى الحت المائي ودرجة انحدار سريره، وشكل القناة وكمية التصريف المائي، وقد أنتجت هذه المتغيّرات شكلاً مورفولوجياً يشبه العتبة الصخرية شبه

أما المساقط المائية في الحوض الأوسط، فقد تداخلت العديد من المتغيّرات الجيومورفولوجية المحددة لشكلها المورفولوجي، ومنها صلابة صخور البازلت التي يتشكل منها

صغيرة قبل وصولها إلى المسقط الرئيسي الأكبر حجماً (شكل 5، 6)، وقد تميّزت هذه المساقط بأنها أكثر استقراراً في بنائها الجيومورفولوجي من مساقط الحوض الأعلى.

المستديرة وبخصائص انحدارية أقل حدةً من مساقط الحوض الأعلى، كما ظهرت المساقط في بعض المناطق على شكل عتبات صخرية متدرجة تتدفق المياه فوقها على شكل شلالات



شكل (5) المساقط المائية في الحوض الأوسط



شكل (6) المساقط المائية المتدرجة في الحوض الأوسط

الديناميكي بين قوى الحت المائي ومقاومة التكوينات الصخرية التي يتشكل منها السرير النهري لتلك القوى، وقد ساعد تنوع البنية الجيولوجية للسرير النهري، وتباين حجم التصريف

المعطيات الجيومورفولوجية المحددة لنشأة وتطور المساقط المائية في وادي الوالة:

تمثل المساقط المائية في وادي الوالة نوعاً من التوازن

أولاً- التكوينات الصخرية:

أمكن تحديد التكوينات الصخرية لسرير النهري في وادي الوالة على النحو التالي (شكل 7):

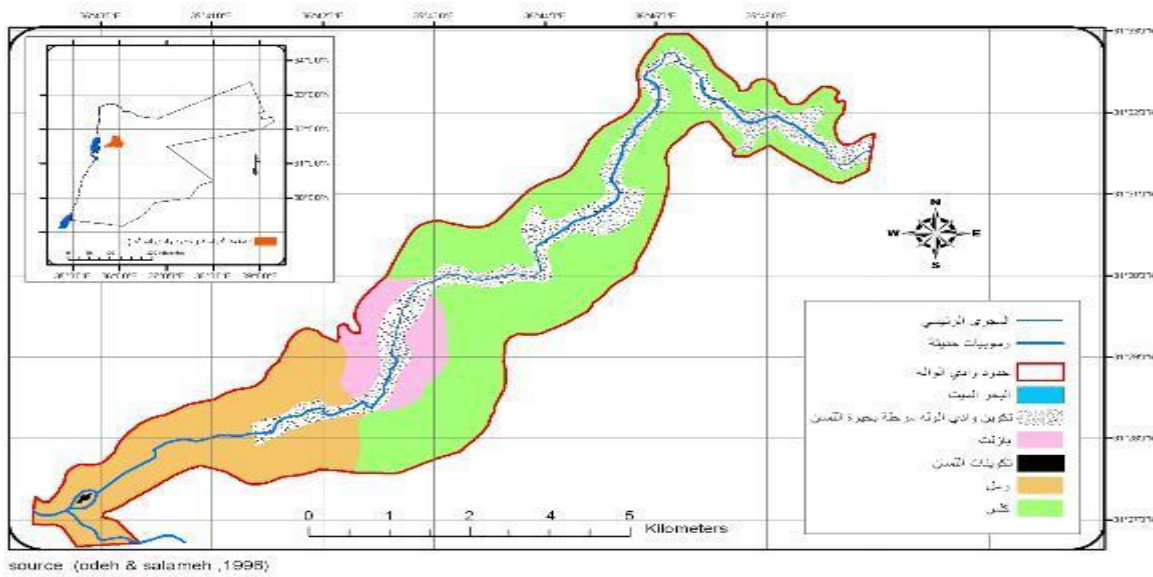
- الصخر الجيري:

يتموضع الصخر الجيري في الحوض الأعلى لوادي الوالة، ويشكل القسم الأكبر من الصخور المحاذية للوادي، حيث تمتد بطول يزيد عن (11 كم)، وتتماز هذه الصخور بالصلابة، ووجود الشقوق والمفاصل، كما أنها تحتوي المارل والدولمايت (سلطة المصادر الطبيعية، 2000)، ويعود عمر هذه الصخور إلى الكريتاسي الأعلى، ويعمل تميز هذه الصخور بالصلابة في بعض المواضع على تشكل المساقط المائية، وإحداث فروقات في الارتفاع بين أجزاء السرير النهري في الحوض الأعلى، كما تظهر الحفر الوعائية بالقرب من المسقط المائي (شكل 8).

المائي وطاقته النهرية في وادي الوالة على إيجاد ظروف ملائمة لنشأة وتطور المساقط المائية ذات الخصائص المورفومترية المتباينة على طول مجراه الرئيس. وفيما يلي توضيح لأهم هذه المعطيات:

البنية الجيولوجية لسرير النهري:

تعتمد قدرة وادي الوالة على تشكيل المساقط المائية على كفاءته النهرية في نحت مجراه عمودياً وأفقياً، وتعتمد هذه الكفاءة بشكل غير مباشر على البنية الجيولوجية لسرير النهري، إذ تستجيب الصخور اللينة لعملية الحت بصورة أسرع من الصخور الصلبة. كما أن النهر يتبع في مساره مناطق الضعف الصخري كالصدوع والشقوق الصخرية والمفاصل، وتعد هذه المناطق بيئات ملائمة لتشكل المساقط المائية بسبب اختلاف ارتفاع مستوياتها السطحية. وفيما يلي توضيح للبنية الجيولوجية، ودورها في تشكيل المساقط المائية في وادي الوالة:



شكل (7) التكوينات السطحية في وادي الوالة



شكل (8) الحفر الوعائية في السرير النهري في الحوض الاعلى

الصخر بشدة الصلابة والمقاومة لعمليات الحت المائي، وقد تتميز مجرى الوادي الأوسط بوجود عددٍ من المساقط المائية؛ نتيجة حدوث فروقات طبوغرافية في مستوى ارتفاع السرير النهري (شكل 9).

- الصخر البازلتى:

تعرض مجرى وادي الوالة الأوسط تكوينات بازلتية يزيد طولها عن (6.5 كم)، وهي حديثة التكوين حيث أنها تكوّنت بعد أن تكون وادي الوالة، وتختلف سماكة الصخر البازلتى من موضع إلى آخر على طول مجرى الوادي، ويمتاز هذا



شكل (9) توضع صخور البازلت في الحوض الأوسط لوادي الوالة

بين نقطة التقائه بوادي الموجب حتى مسافة (6 كم) شرقاً، وتمتاز هذه الصخور بأنها قليلة الصلابة، وسريعة الاستجابة

- الصخر الرملي:

توجد هذه الصخور في المجرى الأدنى من وادي الوالة، ما

والأثل Juncaceae، والصفصاف الأبيض *Salix alba*، والدفلى و *Nerium oleander*، وتزداد كثافتها في المناطق التي تزداد فيها سماكة التربة، كما تنتشر على جانبي الوادي العديد من الأنواع النباتية، والتي يمكن تصنيفها إلى مجموعتين:

أ. نباتات الحوضين الأعلى والأوسط:

1. الشجيرات، وأهمها: القطف الملحي *Atriplex halimus*، والرتم *Retama raetam*، والسويد *Rhammus palaestine*، والمرار *Launaea spinosa*، والبصلية *Allium neapolitanum*، والخرشاف *Echinops asenocaulos*، والشوك الأصفر *Scorzonera judaica*. وتمتاز بانخفاض كثافتها؛ نتيجة لتعرضها للتدهور، مما أدى إلى زيادة معدلات الجريان السطحي وقدرته الحثية في الحوض الأعلى.

2. الأعشاب، وأهمها: الأقحوان الفلسطيني *Anthemis palaestine*، والشعير البري *Hyoscyamus aureus*، والشيح *Artemisia herba*، والنجيل *Cyndon dactylon*. وتمتاز بزيادة كثافتها عقب الموسم المطري.

ب. نباتات الحوض الأدنى:

تصنف نباتات هذا الحوض ضمن مجموعة نباتات المناطق الحارة والجافة، وأهم أنواعها: القطف الملحي *Atriplex halimus*، والشيح *Artemisia herba*، والسودة *Suaeda pp*، والأقحوان *Anthemis palaestine*، وشجيرات السنط *Acacia arabica*. وتمتاز بأنها قليلة الكثافة، ولا يتجاوز معدل ارتفاعها (30 سم)،

التصريف المائي وطاقته النهريّة:

ترتبط نشأة وتطور المساقط المائية، واختلاف خصائصها المورفومترية في وادي الوالة بالتغيرات التي تطرأ على حجم تصريفه المائي وسرعة جريانه، وما يتبع ذلك من تغير تابع في طاقته النهريّة، وترتبط هذه التغيرات على نحو مباشر بالظروف المناخية للحوض وسرعة التقاء الروافد النهريّة من الرتب المختلفة بالمجرى الرئيسي (شكل 10، 11)، فزيادة معدلات الأمطار في ظل تدني درجات الحرارة، وانخفاض

للحتم المائي الذي أدى إلى تكوين وادٍ آخر ذي سرير شبه منتظم خالٍ من المساقط المائية (Odeh and Salmeh, 1996)، وتزيد سماكة هذه الصخور في بعض المواضع عن (300م)، وتتخذ ألواناً متعددة، وتظهر بشكل بارز في منطقة الهيدان ملتقى وادي الوالة مع وادي الموجب، ويعود عمر هذه الصخور إلى العصر الكريستالي الأسفل.

- صخور العصر الرباعي:

تتكون هذه الصخور من مفتتات الحجر الجيري والحصى والرمل وبقايا الحجر الصوّاني والغضار، وتمتاز بسرعة استجابتها لعملية الحث المائي، وتعدّ تكوينات العصر الرباعي أحدث الصخور والرواسب التي توضع في وادي الوالة حيث توجد رسوبيات هذا العصر في مجرى الوادي الرئيسي (Odeh and Salmeh, 1996)، ويعود عمر هذه الصخور إلى حقبة الحياة الحديثة (السينوزويك).

ثانياً - الصدوع والمفاصل:

توجد في وادي الوالة العديد من المفاصل والصدوع التي أثرت على مسار مجراه وقدرته على تشكيل المساقط المائية، ويعد صدع القسطل وصدع زرقاء ماعين من أهم الصدوع التي تنتشر على طول مجرى وادي الوالة، ويمتد صدع القسطل من الشمال إلى الجنوب الشرقي. أما صدع زرقاء ماعين فيمتد شرقاً بدرجة (70°) طولية لمسافة (100 م). وفيما يتعلق بالمفاصل؛ ينتشر على طول مجرى الوادي العديد من المفاصل والشقوق الصخرية، وهي عائدة إلى صدع سواقة في جنوب الوادي (سلطة المصادر الطبيعية، 2000).

الغطاء النباتي:

يعد الغطاء النباتي من العوامل المؤثرة في نشأة وتطور المساقط المائية في وادي الوالة، إذ يعمل الغطاء النباتي على زيادة تماسك ضفاف المجرى، وتوجيه التيار المائي باتجاه مركز القناة ليندفع بقوة باتجاه البحيرة الذي يشكلها المسقط أمامه، ويظهر على امتداد مجرى وادي الوالة العديد من الأنواع النباتية التي تتباين في كثافتها ودرجة انتشارها، ففي المجرى الرئيسي تنمو نباتات الحور *Populus euphratica*،

(17.7م، 183.7 ملم) على التوالي. كما نجد أن قصر أطوال الروافد النهرية في الشبكة المائية للوادي يزيد من حجم التدفق المائي في المجرى الرئيسي؛ نتيجة لقصر المسافة التي يقطعها التصريف المائي في الروافد النهرية باتجاه مصباتها (شكل 12).

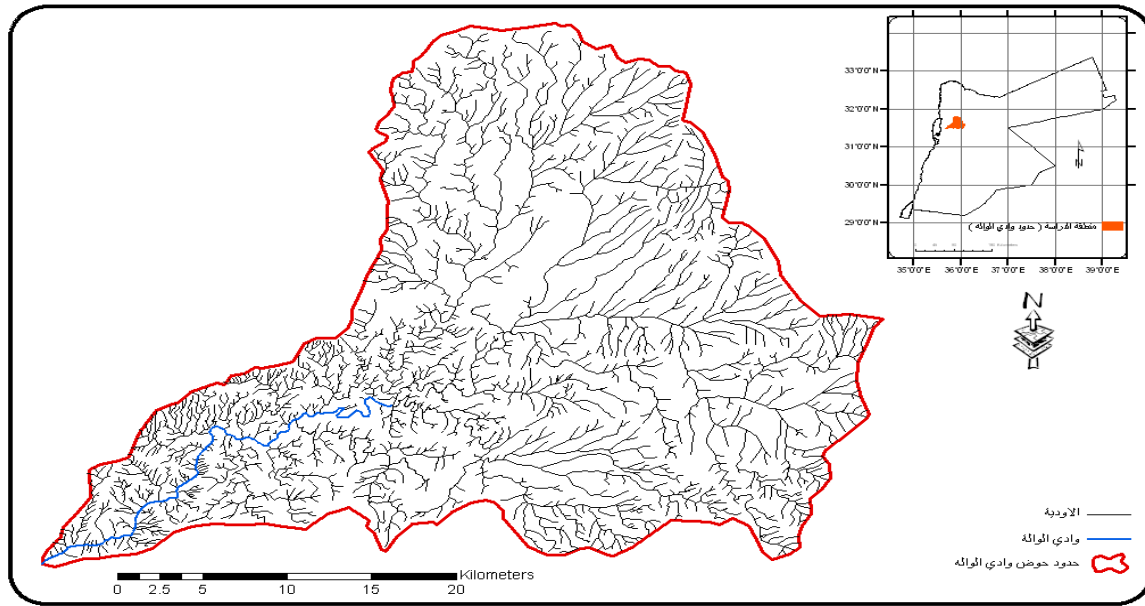
معدلات التبخر يؤدبان إلى زيادة كمية التصريف المائي وطاقته الحثية، ويتميز معدل الأمطار في وادي الوالة بالانخفاض نسبياً؛ نظراً لوقوع الحوض في المنطقة شبه الجافة، إذ يبلغ معدل الأمطار الساقطة على الحوض حوالي (250 ملم)، فيما بلغ معدل الحرارة والتبخر في الحوض



شكل (10) حجم التصريف المائي في الحوض الأعلى



شكل (11) التصريف المائي في الحوض الأوسط



شكل (12) الشبكة المائية في حوض وادي الوالة. المصدر: تم إعدادها اعتماداً على الخرائط الطبوغرافية (1-50000).

هذه الأشهر على تفعيل نشاط الحت الرأسي للمساقط المائية وخذقة سرير النهر في الجزء المقابل للمسقط المائي واتساع نطاق بحيرته نتيجة الحت القاعدي لسرير النهري وانهيار ضفافه، وقد تراوح معدّل الطاقة النهريّة للمساقط المائية في هذه الأشهر ما بين (0.44 - 0.75) في الحوض الأوسط و(0.67 - 1.1) في الحوض الأعلى، فيما تراوح معدّل تصريفها النهري في الحوضين الأوسط والأعلى في هذه الأشهر ما بين (1.3 م³/ث - 1.88 م³/ث)، (1.9 م³/ث - 2.73 م³/ث) على التوالي.

3. تقلّ الفاعلية الجيومورفولوجية للطاقة النهريّة للمساقط المائية في نهاية فصل الشتاء (شباط - نيسان)؛ نتيجة انخفاض كمية التصريف المائي وانعكاسه سلباً على قدرة المسقط المائي على خندقة السرير النهري واتساع نطاق بحيرته، وقد تراوح معدّل الطاقة النهريّة للمساقط المائية في هذه الأشهر ما بين (0.11 - 0.17) في الحوض الأوسط و(0.144-0.45) في الحوض الأعلى، فيما تراوح معدّل تصريفها النهري في الحوضين الأوسط والأعلى في هذه الأشهر (0.35 م³/ث - 0.53 م³/ث)، (0.45 م³/ث - 1.21 م³/ث) على التوالي.

وبوضح الجدولان رقم (2,1) الخصائص الهيدرولوجية للمساقط المائية وطاقتها النهريّة في الحوضين الأعلى والأوسط في وادي الوالة خلال فترة الدراسة الممتدة من تشرين الأول - نيسان (2012/2013). حيث يظهر من تحليل هذين الجدولين مدى ارتباط الطاقة النهريّة بالتغير الحاصل في كمية التصريف المائي للمساقط المائية وسرعة تدفّقه، وفيما يلي توضيح لهذا الارتباط:

1. يزداد معدّل الطاقة النهريّة للمساقط المائية بالاتجاه نحو الحوض الأعلى، فقد بلغ معدّل الطاقة النهريّة للمساقط المائية في الحوض الأعلى (0.63)، فيما تدنى معدّلها في الحوض الأوسط إلى (0.40)؛ ويفسر الاختلاف الحاصل في معدّل الطاقة بين الحوضين باختلاف معدّل التصريف المائي للمساقط المائية وسرعة سقوطه بفعل الجاذبية الأرضية، ولتميز القناة النهريّة عند حافة المساقط المائية في الحوض الأعلى باتساع عرضها وعمقها.
2. تزداد الفاعلية الجيومورفولوجية للطاقة النهريّة في تشكيل السرير النهري في بداية فصل الشتاء (تشرين الأول - كانون الثاني)؛ نتيجة زيادة كمية التصريف المائي بفعل زيادة معدّلات الأمطار الساقطة، وتعمل زيادة الطاقة في

4. تعتمد زيادة فاعلية الطاقة النهرية للمساقط على عدد من المتغيرات الهيدروديناميكية من أهمها: سرعة التصريف المائي، ومعدل عرض وعمق القناة المبللة عند الحافة الصخرية للمسقط المائي حيث ترتبط هذه المتغيرات بعلاقة إيجابية مع الطاقة النهرية للمسقط المائي، فزيادة معدل سرعة التصريف المائي للوادي يزيد من طاقته على تعميق سريره النهري وحت ضفافه، كما أن زيادة عرض وعمق القناة المبللة عند الحافة الصخرية للمسقط يزيد من حجم التصريف المائي وطاقته على حت ضفاف القناة النهرية. وقد بلغ معدل سرعة التصريف النهري للمساقط المائية في الحوضين الأوسط والأعلى (0.83 م/ث، 0.864 م/ث) على التوالي، فيما بلغ معدل عرض وعمق القناة المبللة عند الحافة الصخرية للمسقط في الحوضين الأوسط والأعلى (4.61 م، 25.3 سم) (6.5 م، 25 سم) على التوالي.

5. تميز شهر كانون الثاني بارتفاع معدل كمية التصريف المائي في المساقط المائية على طول مجرى الوادي، حيث بلغ المعدل في الحوض الأوسط والأعلى (1.88 م³/ث،

6. يعمل عدم استقرارية البناء المورفولوجي للمسقط المائي على تراجع المنحدر الذي يتشكل عليه المسقط المائي باتجاه منطقة المنابع، ويعتمد مقدار التراجع على الطاقة النهرية، فزيادة الطاقة النهرية تزيد من مسافة التراجع باتجاه المنابع، وترتبط الطاقة النهرية بمجموعة من المتغيرات الجيومورفولوجية أهمها: التصريف المائي وسرعته، وطبيعة التكوينات الصخرية للقناة النهرية، ومدى تغطية ضفاف الأنهار بالنباتات (Vegetated Stream Banks Gregory and Walling, 1973).

جدول (1)

الخصائص الهيدرولوجية للمساقط المائية وطاقاتها النهرية في الحوض الأعلى في وادي الوالة خلال فترة الدراسة الممتدة من تشرين الأول - نيسان (2012/2013)

الشهر	معدل عرض القناة المبللة عند حافة المسقط /م	معدل عمق القناة المبللة عند المسقط /سم	معدل سرعة التصريف المائي /م ³ /ث	معدل التصريف المائي للمسقط م ³ /ث	معدل الطاقة النهرية للمسقط المائي
تشرين الأول	7.56	30	0.84	1.9	0.67
تشرين الثاني	8.26	30.4	0.85	2.134	0.77
كانون الأول	8.24	31.6	0.93	2.42	1.05
كانون الثاني	9.62	31.5	0.90	2.73	1.11
شباط	5.6	25.2	0.86	1.21	0.45
آذار	3.3	20	0.84	0.56	0.20
نيسان	2.9	19.2	0.80	0.45	0.144
المعدل	6.5	25.7	0.864	1.63	0.63

المصدر: إعداد الباحث/الدراسة الميدانية

جدول (2)

الخصائص الهيدرولوجية للمسايق المائية وطاقاتها النهرية في الحوض الأوسط في وادي الوالة خلال فترة الدراسة الممتدة من تشرين الأول - نيسان (2013/2012)

الشهر	معدل عرض القناة المبلة عند حافة المسقط/م	معدل عمق القناة المبلة عند حافة المسقط /سم	معدل سرعة التصريف المائي م/ث	معدل التصريف المائي للمسقط م ³ /ث	معدل الطاقة النهرية للمسقط المائي
تشرين الأول	5.3	29	0.82	1.3	0.44
تشرين الثاني	5.4	30	0.83	1.35	0.47
كانون الأول	6.2	30.2	0.91	1.7	0.70
كانون الثاني	6.8	31.1	0.89	1.88	0.75
شباط	3.1	21.2	0.81	0.53	0.17
آذار	2.8	19	0.8	0.43	0.14
نيسان	2.7	16.6	0.78	0.35	0.11
المعدل	4.61	25.3	0.83	1.08	0.40

المصدر: إعداد الباحث/الدراسة الميدانية

إحصائية (0.001)، ودل معامل الارتباط على وجود علاقة قوية بين المتغيرين بلغ (78%)، وبدلالة إحصائية (0.001)، وقد جاء متغير صلابة التكوينات الصخرية في المرتبة الثالثة، إذ بلغت نسبة التفسير لهذا المتغير (7%)، وبدلالة إحصائية (0.05)، فيما دل معامل الارتباط على علاقة متوسطة بين المتغيرين بلغ (65%) وبدلالة إحصائية (0.038)، وقد جاء متغير الغطاء النباتي في المرتبة الرابعة، حيث جاءت نسبة التفسير لهذا المتغير منخفضة بلغت (2%)، وبدلالة إحصائية ضعيفة (0.08)، كما دلّ معامل الارتباط على علاقة ضعيفة بين المتغيرين بلغ (18%) وبدلالة إحصائية (0.07).

ويظهر الجدول (3) نتائج التحليل الإحصائي للانحدار المتعدد الخطوات للمتغيرات الجيومورفولوجية المؤثرة في الطاقة النهرية للمسايق المائية، حيث فسرت هذه المتغيرات حوالي (43%) من مجمل التباين في الطاقة، وقد جاء متغير التصريف المائي في المرتبة الأولى من حيث الأهمية في تفسير التباين، إذ بلغت نسبة التفسير لهذا المتغير (21%)، وبدلالة إحصائية (0.001) فيما دلّ معامل الارتباط على علاقة إيجابية قوية بين المتغيرين بلغ (81%) وبدلالة إحصائية (0.001)، وجاء متغير الانحدار في المرتبة الثانية. إذ فسّر ما نسبته (13%) من مجمل التباين، وبدلالة

جدول (3)

نتائج الانحدار المتعدد الخطوات للمتغيرات الجيومورفولوجية المحددة للطاقة النهرية للمسقط المائي في وادي الوالة

اسم المتغير	معامل الارتباط %	الدلالة الإحصائية	نسبة التباين المفسر للمتغير %	الدلالة الإحصائية
التصريف المائي	81	0.001	21	0.001
درجة الإنحدار	78	0.001	13	0.001
صلابة التكوينات الصخرية	65	0.038	7	0.05
الغطاء النباتي	18	0.07	2	0.08

المصدر: إعداد الباحث

إنحدار مجرى الوادي:

على تعميق مجراه؛ بسبب زيادة درجة إنحداره وكفاءته النهرية على الحت الرأسي (شكل 13).

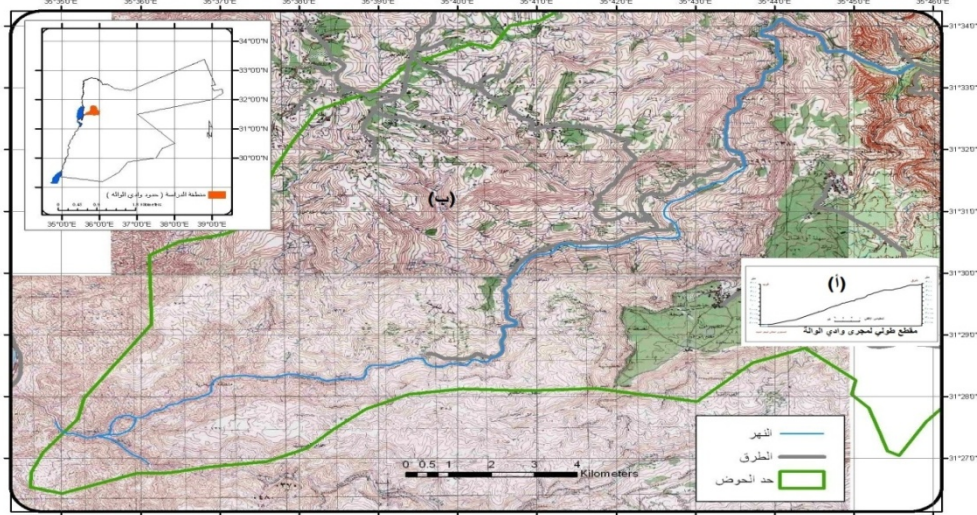
تنشط المساقط المائية في وادي الوالة، مع زيادة قدرته



شكل (13) عملية التعمق الرأسي للسرير النهرية في الحوض الاوسط

على أن المساقط المائية لتي يزيد معدّل انحدار سريرها النهرية عن (5[°])، تميّز معظمها بارتفاع طاقتها الحثية وفعاليتها الجيومورفولوجية؛ وتفسّر العلاقة الإيجابية بين الانحدار والفاعلية الجيومورفولوجية للمساقط المائية، بأن زيادة درجة انحدار مجرى النهر تزيد من طاقتها النهرية، وقدرتها على تعميق مجرى النهر، مما يعمق من فرق الارتفاع بين أجزاء السرير النهرية ويفعل من ديناميكية تشكل المساقط المائية.

ويظهر الشكل رقم (14أ) المقطع الطولي لمجرى وادي الوالة - الذي بلغت درجة انحداره (6°7) - عدم الانتظام في توزيع الدرجات الانحدارية على امتداد المقطع الطولي للوادي وتميز بعض الأجزاء الانحدارية بشدة انحدارها، مما زاد من فاعلية المساقط المائية على طول مجراه، ولمعرفة مدى تأثير الانحدار على ظاهرة تشكل المساقط المائية، فقد تمّ قياس درجة الانحدار عند كل مسقط، وقد دلت نتائج تلك القياسات،



المصدر: الخرائط الطبوغرافية (1:50,000)

شكل (14): أ- المقطع الطولي لمجرى وادي الوالة . ب- طبوغرافية حوض وادي الوالة.

مورفولوجية السرير النهري:

يعد البعد المورفولوجي للسرير النهري في وادي الوالة نتاجاً لعملية الحتّ من جهة، والإرساب من جهة أخرى، ويتميز سطح السرير في بداية دورة التعرية النهرية بأنه أقل خشونة وأكثر تقارباً في مناسيبه، ويكون اتجاه الجريان المائي موازياً لضفاف القناة النهرية بحيث ينشط النهر في نحت ضفافه، إلا أن تغير الظروف الحوضية للوادي في الفترات اللاحقة من دورة التعرية تعمل على إعادة تشكيل مورفولوجية السرير النهري. ويشير المعامل الهيسومتري للحوض (77%) إلى أن الوادي يمرّ في مرحلة الشباب (التصابي) التي يتميز فيها السطح بالخشونة والتعمق؛ نتيجة لنشاط الحت الرأسي الذي تعرض له السرير النهري بفعل الهبوط التكتوني في منطقة المصب، والتغيرات التي طرأت على طاقة الجريان المائي في الوادي في هذه المرحلة (شكل 14ب).

ويعمل تغير مورفولوجية السرير النهري في فترة الشباب على توجيه التيار المائي باتجاه مركز القناة النهرية بحيث يلتقي التيار المائي السطحي الموازي للضفة المقعرة من السرير مع التيار المائي الموازي للضفة المحدبة محدثاً تسارعاً في التدفق المائي باتجاه المناطق المنحدرة، مما يفعل من قدرة التيار على الحت الرأسي لمواد السرير النهري وإحداث فروقات في مستويات ارتفاع السرير النهري بحيث تشكل مناطق التباين في الارتفاع بيئات ملائمة لتشكل المساقط المائية. وتعمل آلية تشكل المساقط المائية على توجيه النشاط الحثي لتيار المائي بحيث يمكن أن نميز أنماط مختلفة من النشاط الحثي تحددها الظروف الحوضية للوادي، فالمناطق التي تسبق تشكل المساقط المائية ينشط التيار المائي في خندقه سريره وضفافه، بينما ينشط التيار المائي في حثّ ضفافه في المناطق التي تعترضه تكوينات صخرية ذات صلابة، وتقضي هذه العملية إلى زيادة في عرض سرير المجرى واتساع نطاق حافة المساقط المائية. إلا أن نشاط التيار ما يلبث أن يتغير بعد اجتيازه العتبة الصخرية ليتجه نحو تعميق سريره النهري.

ويتضح من تحليل معامل شكل القناة عند المساقط المائية في وادي الوالة انخفاض قيمة المعامل الذي بلغ معدله (3.9) مما يعطي دلالة واضحة على أن إمكانية تشكل المساقط

المائية تزداد مع تناقص عرض القناة وزيادة عمقها.

الخصائص المورفومترية للمساقط المائية في وادي الوالة ودلالاتها الجيومورفولوجية:

تحدد الخصائص المورفومترية للمساقط المائية في وادي الوالة بمجموعة من المتغيرات، أهمها: ارتفاع المسقط المائي عن السرير النهري، وعرض حافته الصخرية، ومساحة واجهته الأمامية، والأبعاد المساحية لبحيرته، ويظهر الجدول رقم (4) الخصائص المورفومترية للمساقط المائية على النحو الآتي:

ارتفاع المسقط المائي عن السرير النهري

تختلف المساقط المائية في وادي الوالة في ارتفاعاتها عن السرير النهري تبعاً لاختلاف المتغيرات الجيومورفولوجية المحددة لمورفولوجية السرير النهري، وأهمها: نوعية التكوينات الصخرية ودرجة مقاومتها لعملية الحت الرأسي، ومقدار الطاقة النهرية المؤثرة على وحدة المساحة. وقد أثرت هذه المتغيرات على مستوى ارتفاع المسقط المائي حيث نجد أن المساقط المائية في الحوض الأعلى تميّزت بزيادة ملحوظة في ارتفاعاتها مقارنة مع المساقط المائية في الحوض الأوسط، وقد تراوح ارتفاعها في الحوض الأعلى ما بين (4.75م - 5.81م)، وبمعدل بلغ (5.17م)، فيما تراوح ارتفاعها في الحوض الأوسط ما بين (3.59م - 4.83م)، وبمعدل (4.05م)؛ ويعزى هذا الاختلاف إلى تفاوت درجة صلابة التكوينات، والطاقة النهرية للتيار المائي، وقدرته على خندقه سريره النهري، فتكوّن الطبقة السطحية العليا من السرير النهري في الحوض الأوسط من صخور البازلت وتميزها بالصلابة والمقاومة أضعف من طاقة التيار المائي على قص مكونات السرير وإزالتها بكميات كبيرة، بينما نجد أن تكوّن الطبقة السطحية للسرير النهري في الحوض الأعلى من الصخور الحبيرية وتميزها في بعض المواضع بالضعف والتشقّق قد زاد من قدرة التيار على قص مكونات السرير وإزالتها لنجد فرقاً واضحاً في مستوى ارتفاع السرير في المواضع التي تزداد فيها قدرة التيار المائي على الحت الرأسي.

عرض حافة المسقط المائي

تمثل حافة المساقط المائية المدى الأفقي الذي يصل إليه التيار المائي في نحت ضفاف المسقط المائي، ويزداد هذا المدى مع زيادة طاقة الجريان المائي على حث ضفاف السرير النهري، ويرتبط انجراف الضفاف Bank Erosion بعمليتين طبيعيتين، هما: الانجراف القاعدي، وانهيار الضفاف، ويظهر دور الانجراف القاعدي في قدرته على نقل مواد الضفاف الفيضية Fluvial Bank Material عن طريق زيادة قوى تدفق الجريان المائي التي تعمل على سطح الضفاف، وهي: قوى السحب Drag Force، وقوى المقاومة Resistance Force، وقوى الرفع Lift Force. أما عملية انهيار الضفاف، فتحدث نتيجة لعوامل عدم استقرار الضفاف الجيوتكنيكية Instability Geotechnical، وهي: الانهيار السطحي Planer Failure، والانهيار الدائري لمواد الضفاف Rotational Failure، والانهيار الأنبوبي (Duan and Sapping, 2001; Julien, 2005). وتتأثر عملية انجراف ضفاف المساقط المائية بدرجة تماسك مواد الضفاف، ومقدار خشونتها Roughness حيث نجد أن اختلاف تجانس المواد على جانبي

المسقط المائي يحدد قدرة التيار المائي على تشكيل ضفافه وبالتالي اتساع نطاق الحافة الصخرية للمسقط المائي، فالضفاف التي تتكون من مواد غير متماسكة تنتشط عليها عمليات الحث المائي بدرجة أكبر من المواد المتماسكة لنتميز المساقط المائية في هذه المواضع باتساع عرض حافتها الصخرية.

وقد درس ثورن وفاربيش (Thorne and Furbish, 1995) بالطريقة التجريبية تأثير خشونة الضفاف في الجريان المائي، وقد وجد الباحثان أنه بعد إزالة الغطاء النباتي Removing Vegetation، وجعل الضفاف الخارجية Outer Bank أقل خشونة، ولطيفة، يقترب مركز سرعة الجريان العالية Velocity Flow Core من ضفاف الخارجية بسرعة شديدة ومحكمه، مما يزيد من قدرة الجريان المائي على حث ضفاف السرير واتساع الحافة الصخرية للمساقط المائية، بالمقابل نجد أن آلية انجراف الضفاف وانهيارها تؤثر في مورفولوجية الضفاف وخشونتها وتحديد الخصائص المورفومترية للمساقط المائية؛ ويعود ذلك لاختلاف الآليات التي يمكن أن تؤدي إلى اختلاف أنماط الحث التراجعي للضفاف.

جدول (4)

الخصائص المورفومترية للمساقط المائية المدروسة في وادي الوالة

رقم المسقط المائي	ارتفاع المسقط المائي (م)	عرض حافة المسقط المائي (م)	المساحة الأمامية للمسقط المائي (م ²)	مساحة بحيرة المسقط المائي (م ²)	عمق البحيرة (م)	الإنحدار/درجة	نوع الصخر
1/الحوض	5.81	4.59	26.67	48.77	1.91	90	جيري
2/الحوض	4.94	3.82	18.87	23.98	1.75	90	جيري
3/الحوض	4.75	3.45	16.39	17.6	0.85	90	جيري
المعدل	5.17	3.95	20.42	30.12	1.50	90	جيري
4/الحوض	4.83	3.65	17.63	18.2	1.43	90	بازلت
5/الحوض	3.72	3.47	12.91	15.3	0.66	90	بازلت
6/الحوض	3.59	3.17	11.38	13.6	0.60	85	بازلت
المعدل	4.05	3.43	13.89	15.7	0.90	88.3	بازلت

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على المسح الميداني.

مساحة واجهة المسقط الأمامية

وتزداد عرض الحافة الصخرية للمسايط المائية في الحوض الأعلى ليتراوح ما بين (3.45م - 4.59م)، وبمعدل بلغ (4م)، بينما يتناقص عرض الحافة بشكل واضح في الحوض الأوسط ليتراوح ما بين (3.17م - 3.65م) وبمعدل بلغ (3.45م)؛ ويعزى ذلك لصلابة صخور البازلت ومقاومتها لعمليات الحت المائي في الحوض الأوسط مقارنة مع الصخور الجيرية الأقل صلابة وتماسك في الحوض الأعلى. تعتمد مساحة الواجهة على متغيرين، هما: ارتفاع المسقط المائي عن مستوى سريره النهري، وعرض حافته الصخرية، فزيادة إحداها أو كلاهما يؤدي إلى زيادة مساحة الواجهة وما يتبع ذلك من زيادة في حجم التدفق المائي للمسقط المائي وتساعد فاعلية العمليات النهريّة على إحداث سلسلة من التغيرات في مورفولوجية المسقط المائي والسرير النهري للوادي.

وتتراوح مساحة الواجهة للمسايط المائية في الحوض الأعلى ما بين (16.39م² - 26.67م²) وبمعدل (20.42م²)، حيث تزداد مساحة الواجهة في الحوض الأعلى؛ لزيادة فاعلية القوى المائية في حث التكوينات الصخرية التي يتكون منها قاع السرير ووضفاه، بينما تقل فاعلية الحت المائي في الحوض الأوسط لصلابة التكوينات الصخرية التي يتشكل

منها السرير ووضفاه، حيث تتراوح مساحة الواجهة للمسايط المائية في الحوض الأوسط ما بين (11.38م² - 17.63م²) وبمعدل (13.89م²).

الأبعاد المساحية لبحيرة المسقط المائي

تمثل البحيرة نتاجاً لتسارع تدفق الجريان المائي عند الحافة الصخرية للمسقط المائي، وسقوطه بسرعة عالية بفعل الجاذبية الأرضية باتجاه المناطق المنخفضة من السرير النهري إذ يعمل التسارع على زيادة فاعلية عملية الحت الرأسي لمكونات السرير النهري وخذقته بما يتناسب مع طاقة الجريان المائي، ومع استمرار تدفق المياه في المسقط المائي تستمر عملية الحت الرأسي ليتشكل في وسط السرير النهري حفرة شبه مستديرة تزداد في أبعادها المساحية مع استمرار عملية الحت الرأسي والجانبية للسرير النهري لتتخذ في مرحلة متقدمة من تطور المسايط المائية شكل البحيرة.

ويتخذ الشكل المورفولوجي للبحيرة الشكل البيضوي، حيث تؤثر قوى الحت المائي للتيار المائي على الجهات الأربعة للبحيرة إلا أن مركز البحيرة يكون أكثر تأثراً؛ نتيجة لزيادة الطاقة النهريّة لتيار المائي المتدفق في المسايط المائية بفعل الجاذبية الأرضية باتجاه مركز البحيرة (شكل 15).



شكل (15) الشكل البيضوي لبحيرة المسقط المائي في الحوض الأعلى

الظروف الحوضية للوادي، فالمناطق التي تسبق تشكل المساقط المائية ينشط التيار المائي في خندقه سريره وضافه، بينما ينشط التيار المائي في حت ضفافه في المناطق التي تعترضه تكوينات صخرية ذات صلابة، إلا أن نشاط التيار يتجه نحو تعميق سريره النهري بعد اجتيازه العتبة الصخرية. وتعد ديناميكية تشكل المساقط المائية في وادي الوالة واختلاف خصائصها المورفومترية ذات دلالات جيومورفولوجية تعكس استجابة مباشرة للتغير في درجة انحدار مجراه، وكمية تصريفه المائي، ونوعية الصخر، ومورفولوجية السرير النهري، وتعد هذه المتغيرات من العوامل الرئيسية التي تحدد مورفولوجية المساقط المائية في وادي الوالة، وتقدم لنا تفسيراً واضحاً لأسباب تشكل المساقط المائية.

ويعتمد التطور الجيومورفولوجي للمساقط المائية في وادي الوالة على عدد من المتغيرات الهيدروديناميكية، من أهمها: التصريف المائي وسرعة تدفقه، ويرتبط هذان المتغيران بعلاقة إيجابية مع الطاقة النهرية للمسقط المائي، فزيادة معدل التصريف المائي للوادي يزيد من طاقته على تعميق سريره النهري وحت ضفافه، كما أن زيادة سرعته عند الحافة الصخرية للمسقط يزيد من حجم التصريف المائي وطاقته على حت مكونات السرير النهري وإحداث فروقات في مناسيب السرير النهري. وقد دلت نتائج التحليل الإحصائي للانحدار المتعدد الخطوات على أهمية التصريف المائي، ودرجة انحدار المجرى في تفسير التباين في الطاقة النهرية للمساقط المائية في وادي الوالة، فقد بلغ معامل التفسير لمتغير التصريف المائي (21%)، وبدلالة إحصائية (0.001)، فيما بلغ معامل التفسير لمتغير الانحدار (13%)، وبدلالة إحصائية (0.001).

عمان، الأردن.

المركز الجغرافي الملكي (2010)، *الخرائط الطبوغرافية 1-5000 لمنطقة حوض وادي الوالة*، عمان، الأردن.

وتختلف الأبعاد المساحية لبحيرات المساقط المائية على امتداد السرير النهري إذ بلغ معدل مساحتها في الحوض الأعلى حوالي (30.12م²) فيما بلغ معدل عمقها حوالي (1.50م) على التوالي. وتناقصت الأبعاد المساحية للبحيرات في الحوض الأوسط، إذ بلغ معدل مساحتها حوالي (15.7م²)، فيما وصل معدل عمقها إلى (0.90م) على التوالي. ويرتبط هذا التناقص بخصائص السرير النهري الذي يتكون من صخور البازلت التي تتميز بالصلابة ومقاومتها لقوى الحت المائي.

الخلاصة

تعد ظاهرة المساقط المائية في وادي الوالة أبرز مظهر جيومورفولوجي يظهر على سلوك مجرى الوادي بعد تزايد طاقته النهرية على تعميق سريره النهري ومواجهته في مواضع معينة من السرير لتكوينات صخرية تتميز بصلابتها ومقاومتها لقوى الحت الرأسي، بحيث تتغلب قوى المقاومة لهذه التكوينات على قوى الحت الرأسي لتشكل هذه التكوينات حاجزاً صخرياً يحد من قدرة النهر على خندقه سريره، كما تعمل هذه التكوينات على إحداث تباين واضح في فروقات الارتفاع بين مناطق تواجدها والمناطق الأخرى ضمن السرير النهري، وتؤدي هذه الفروقات إلى إحداث تسارع مفاجئ في حجم التدفق المائي ووقوعه تحت تأثير الجاذبية الأرضية التي تدفع التيار المائي باتجاه سقوطه إلى الأسفل لتشكل هذه العملية مظهراً جيومورفولوجياً يعرف بالمساقط المائية. وتعمل المساقط المائية بعد تشكلها على توجيه النشاط الحثي لتيار المائي بحيث يمكن أن يميز أنماط مختلفة من النشاط الحثي تحدها

المصادر والمراجع

المراجع العربية

سلطة المصادر الطبيعية (2000)، *التقرير السنوي*، ط1، العدد1،

المراجع الأجنبية

Bishop, P. and Coldrick, G. 1992. Morphology, processes and evolution of two waterfalls near

Cowra, New South Wales. *Aust. Geogr.*, 23, 116, 121.

- Chena, J., Zhangb, D., Wanga ,S., Tangfu Xiaoa, Ronggui. 2004. Factors controlling tufa deposition in natural waters at waterfall sites, *Huan Sedimentary Geology*, 166, 353-366g.
- Craddock, R.A., Howard, A.D. 2002. The case for rainfall on a warm, wet early Mars, *Journal of Geophysical Research-Planets*, V, 107, E11doi: 10.
- Crosby, B.T. and Whipple, K.X. 2006. Knickpoint initiation and distribution within fluvial networks: 236 waterfalls in the Waipaoa River, North Island, New Zealand, *Geomorphology*, 82, 16-38.
- Darby, S. and Delbono, I. 2002. A model of equilibrium bed topography for mean bends with erodible banks. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27 (10): 1057 – 1085.
- Duan, J. G. 2001. Simulation of stream bank erosion processes with a two – dimensional numerical model. In Landscape Erosion and Evolution Modelling, Harmon RS, Doe WW III (eds). Kluwer Academic / Plenum Publishers: New York, 389-427.
- Duan, J. G. and Julien, P. Y. 2005) Numerical simulation of the inception of channel meandering; *Earth surface processes and Landforms*, 30, 1093-1110.
- Gregory, K.J. and Walling, K.E. 1973. Drainage Basin form and process, Arnold, London.
- Gilbert, G.K. 1907. Rate of recession of Niagara Falls, U.S. *Geol. Sur. Bull.*, 306, 1-31.
- Hayakawa, A,Y. and Matsukura, Y. 2010. Stability analysis of waterfall cliff face at Niagara Falls: *An implication to erosional mechanism of waterfall Engineering Geology*, 116, 178-1831.
- Hayakawa, Y., Matsukura, Y. 2009. Factors influencing the recession rate of Niagara Falls since the 19th century, *Geomorphology*, 110 (2009) 212-216.
- Hayakawa, Y. and Matsukura, Y. 2002. Recession rates of waterfalls: a brief review. Annual Report of Institute of Geoscience, University of Tsukuba, 28, 1-4.
- Lamb, M.P., Dietrich, W.E. 2009. The persistence of waterfalls in fractured rock. *GSA, Bulletin*, 121, 1123-1134.
- Lamb, P.M., Howard, D., Dietrich, E., Perron, T. 2007. Formation of amphitheater-headed valleys by waterfall erosion after large-scale slumping on Hawai'i, *GSA Bulletin*, v. 119 (78), 805-82.
- Leopold, L.B. Wolman, M., Miller, J. 1964. Fluvial Process in Geomorphology, W. H. Freeman, San Francisco.
- Nicholas, J.W. and Martina, Z. 2008. The surface and deep structure of the waterfall illusion, *Psychological Research* 72, 593-600.
- Nott, J., Price, D. 1999. Waterfalls, floods and climate change: evidence from tropical Australia, *Earth and Planetary Science Letters*, 171, 267-276.
- Obanawa, H., Hayakawa, Y.S. and Matsukura, Y. 2009. Rates of slope decline, talus growth and cliff retreats along the Shomyo River in central Japan: A space–time substitution approach. *Geogr. Ann.*, 91 A (4): 269-278.
- Odeh, S. and Salameh, R. 1996. Geomorphology of Wala Hidan Valley Terraces in Jordan, *Bulletin of the Egyptian Geographical Society*, 69 (1): 16-46.
- Sakai, H. 1998. Causes of high-density waterfall distribution in Japanese. Nature of Tokyo Metropolis, Takao Natural Science Museum, Tokyo, 24, 1-21.
- Thorne, C. and Furbish, E. 1995. Development and testing of river bank –stability analysis. *Journal of Hydraulic Engineering*, 122 (8): 443-454.
- Whipple, K.X., Hancock, G.S. 2000. River incision into bedrock: mechanics and relative efficacy of

plucking, abrasion, and cavitation. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 112, 490-503.

Zeitschrift für Geomorphologie, v. NF, *suppl. Bd.*, 55, 81-95.

Young, R. 1985. Waterfalls: Form and process:

Geomorphological Waterfalls in Wadi Al-Wala-North of Jordan

*Ali Hamdi Abu Salim**

ABSTRACT

This study aims at analyzing the geomorphological characteristics of the waterfalls in Wadi Al-Wala, North of Jordan. This study attempts to clarify the physical factors that affect the phenomenon of waterfalls along the longitudinal profile of the valley. In addition, it attempts to analyze the morphometric characteristics of the waterfalls in Wadi Al-wala and their geomorphological indications.

To achieve the objectives of this study, the researcher reviewed the related literature and conducted field measurements of water and morphometric characteristics of waterfalls along the longitudinal profile of the valley. The findings of the study were tested using advanced statistical analysis with stepwise regression to indicate their role in determining the stream energy of the waterfalls.

The findings of the study showed that the waterfalls geomorphological development and the different morphometric characteristics of waterfalls in Wadi Al-wala reflect the direct response to the changes that affect the environmental characteristics of the basin: the degree of slope, the amount of water discharge, the morphology of river bed, and the types of rocks.

The findings of the statistical analysis indicated the importance of water discharge and the slope degree in explaining the variance in the stream energy of the waterfalls, and the two variables are statistically significant. The water discharge variable was (21%), and it was statistically significant at the level (0.001) and the variable of slope was (13%) which was statistically significant at the level (0,001).

Keywords: Wadi Al-Wala, Waterfalls, Morphometric Characteristics Morphology Streambed, Water Discharge.

* Department of Geography, Al-Hussein Bin Talal University.

Received on 29/10/2013 and Accepted for Publication on 12/6/2014.