وادي بطحان في المدينة المنورة
"دراسة مورفومترية بإستخدام نموذج الارتفاعات الرقمي"

د. حمد أحمد التويجري*

د. فرحان حسين الجعيدي*

خالد حامد الحربي**

خالد فرج القحطاني*

الملخص :

يعتبر حوض وادي بطحان أحد أهم أودية المدينة المنورة في التاثير على الحرم النبوي الشريف وذلك لوقوعه بشكل كامل ضمن الحوض الادنى للوادي الذي تبلغ مساحة التصريف ٢٧٢,١٦ كم^{٢}. وقد إعتمدت هذه الدراسة في منهجيتها على بيانات الارتفاعات الرقمية (DEM) لإستخلاص الخصائص المورفومترية وتحليلها باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS). ويعتبر وادي بطحان من اودية الرتبة الخامسة التي يبلغ عدد المجاري فيه ٢٢٢ رافدا وبمجموع أطوال تقدر بـ ٣٧١,٤٥٥ كم. وعلى الرغم من وقوع الحرم بشكل كامل في داخل حدود الحوض إلا أن نتائج الدراسة تشير الى محدودية تأثير السيول على الحرم النبوي الشريف بسبب انخفاض كثافة التصريف التي يصل معدلها الى ١,٣٦ كم/كم^{٢} حيث يقود ذلك إلى بطئ تأثير السيول.

الكلمات المفتاحية : نظم المعلومات الجغرافية، نموذج الارتفاعات الرقمية، مورفومترى، حوض التصريف، وادي بطحان.

المقدمة :

تلعب الأودية في المناطق الجافة دوراً مهماً في تزويد المكامن الجوفية بالمياه خلال فترات الجريان والتربة الخصبة (الدوعان، ١٩٩٩؛ آل سعود، ٢٠٠٣؛ الجعيدي، ٢٠٠٤م). غير أنها تتسبب أحياناً أخرى في حدوث سيول جارفة وغمر لكثير من المناطق الحضرية ينتج عنها كوارث بيئية مثلما حدث في سيول مدينة جدة عام ٢٠٠٩م. ويعد التحليل المورفومتري للأحواض الجافة أحد أهم العناصر

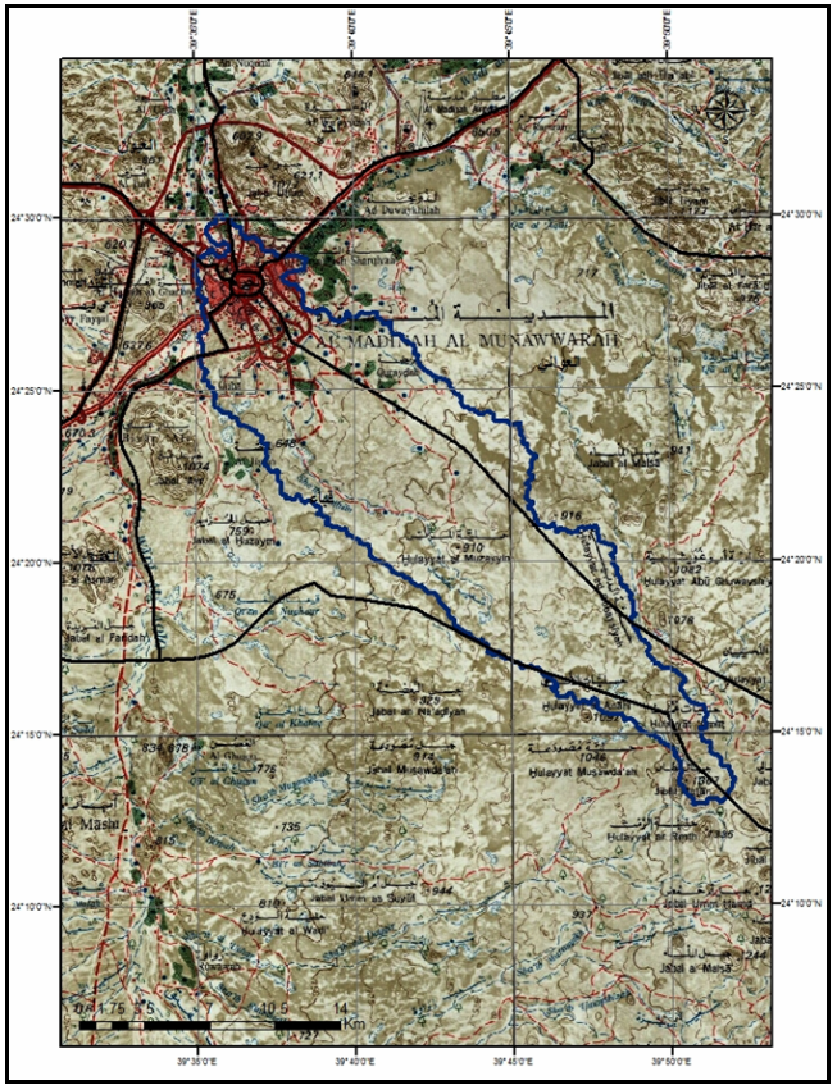
* قسم الجغرافيا، كلية الاداب، جامعة الملك سعود، المملكة العربية السعودية.

** قسم العلوم الاجتماعية، كلية الاداب والعلوم الانسانية، جامعة طيبة، المملكة العربية السعودية.

التي يعتمد عليها الباحث عند دراسة تأثير السيول على المناطق الحضرية والريفية الصحراوية (صالح، ١٩٩٩). فالقياسات المورفومترية للتضاريس والشبكة المائية هي إحدى أهم البيانات الكمية التي يحتاجها الجيومورفولوجي في تفسير وتحليل العمليات الجيومورفولوجية Geomorphological processes المتحكمة في نشأة وتطور أشكال الأرض Landforms. ولقد تطورت على مدى العقود الخمسة الماضية في المملكة أساليب الحصول على البيانات المورفومترية وتحليلها بدءاً من الخرائط الطبوغرافية والصور الجوية ومروراً بالصور الفضائية إلى أن وصلت إلى استخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS (آل سعود، ١٤٢٣هـ؛ الدوعان، ١٩٩٩م؛ الغامدي، ٢٠٠٤م؛ الحواس، ٢٠٠٧م، الجعيدي، ٢٠٠٤م). وتوفر الدراسات المورفومترية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية للأودية إمكانيات متقدمة في فهم خصائص الأودية وتحديد درجات خطورتها علي المناطق الحضرية.وقد ساهمت هذه النظم بما تمتلكه من قدرات عالية في المعالجة والتحليل في تسهيل وتيسير المعالجة الرقمية لتلك الخصائص وإنتاجها في شكل خرائط ذات درجة عالية من الدقة مع توفير الوقت والجهد المستغرق في إنجاز مثل تلك الدراسات مقارنة بالطرق التقليدية المتبعة في استخراج الخصائص المورفومترية للأودية. كما تتميز هذه النظم بتمكين أصحاب القرار والمخططين من التعديل والإضافة على قاعدة البيانات وموائمتها مع البرامج الخاصة بمعالجة صور الأقمار الصناعية مثل برنامج إرداس وتلك البرامج الخاصة بالرسم الهندسي مثل الأوتوكاد.

ويسيطر النطاق الحضري للمدينة المنورة على منطقة سهلية تحيط بها المرتفعات الجبلية التي تتكون من الصخور البركانية وبعض الصخور المتحولة. وتلعب هذه الصخور دوراً مهماً في تشكيل الأودية وأنماطها حيث يسود النمط الشجري (الدوعان، ١٩٩٩). ويخترق سهل المدينة ثلاثة مجاري اودية (وادي قناة والعقيق وبطحان). ويعد وادي بطحان الذي يبدأ من خط طول (٣٠" ٥١' ٣٩°) شرقا ودائرة عرض (.." ١٣' ٢٤°) شمالاً وينتهي عند خط طول (.." ٣٦' ٣٩°) شرقا ودائرة عرض (.." ٣٠' ٢٤°) شمالاً أحد أهم هذه الأودية التي تنحدر في سهل المدينة المنورة من الجهة الجنوبية الشرقية ماراً بمسجد قباء والمسجد النبوي الشريف حتى ينتهي عند منطقة التجمع بمنطقة الأسيال كما في الشكل رقم (١) حيث يلتقي بأودية قناة والعقيق (الدوعان، ١٩٩٩م؛ و الصيدلاني، ١٤٣٠هـ). وقد ذكر الصيدلاني (١٤٣٠هـ) أن المجاري الرئيسية للوادي طالتها عدد من التعديات في هيئة زيادة وتمدد للمزارع المخالفة وتوسع النطاق العمراني مما ينذر بمخاطر سيلية في حال الهطل المطري الشديد والمفاجئ. وتحتاج هذه الاستنتاجات إلى مزيداً من الدراسات المورفومترية لحوض هذا الوادي وما يمثله من درجة خطورة على المناطق العمرانية. فالدراسة المورفومترية لوادي بطحان مهمة للمخططين وأصحاب القرار المهتمين بالتخطيط العمراني وخاصةً محيط الحرم النبوي الشريف ووسط المدينة. كما ستعمل الدراسة على توفير قاعدة بيانات مهمة للدراسات المستقبلية التي تتناول الجوانب الهيدرولوجية

والجيومورفولوجية لأودية المدينة المنورة للحد من أخطارها على البنية الأساسية والتطوير المستقبلي للنطاق العمراني للمدينة. ونظراً لقلة الدراسات المورفومترية والهيدرومورفومترية لهذه الأودية ونظراً لتطور التقنية وتوفر بيانات متقدمة تمكّن الباحثون من إشتقاق المجاري المائية برتبها المختلفة بصورة دقيقة فإن هذه الدراسة تهدف إلى إستخدام نموذج الإرتفاعات الرقمية DEM عالية الوضوح المكاني لإشتقاق الخصائص المورفومترية لحوض وادي بطحان وخطورته على الحرم النبوي الشريف.



شكل (١) : منطقة الدراسة حيث يظهر فيها وادي بطحان مخترقا النطاق العمراني للمدينة.

منهجية الدراسة :

تعتمد هذه الدراسة علي المنهج التحليلي والكمي حيث تستخدم نموذج الارتفاعات الرقمية DEM التي تم الحصول عليها من قمر Aster بدرجة وضوح مكاني تصل إلي ٣٠م. فقد تم انشاء الأحواض والرتب المائية لمنطقة المدينة المنورة عبر إستخلاص "Extraction" نقطة الإلتقاء بعد حدود الحرم النبوي. وقد تم استخدام المنهج الكمي لإجراء التحليلات المتعلقة بالمتغيرات المورفومترية لحوض وادي بطحان وهي كالتالي كما هو موضح في الجدول (١):

جدول (١) : المتغيرات المورفومترية.

	المتغيرات المورفومترية	المعادلة	المراجع
الخصائص الشكلية	محيط الحوض Basin Perimeter (P)	GIS software - Raster Calculator	Schumm (1956)
	مساحة الحوض Basin Area (A)	GIS software - Raster Calculator	Schumm (1956)
	طول الحوض Basin Length (Lb)	GIS software - Raster Calculator	Schumm (1956)
	عرض الحوض Basin Width (Wb)	BW= A/Lb	Schumm (1956)
	معامل شكل الحوض Form Factor (Rf)	$Ff = A / Lb^2$	Horton (1932)
	معامل استدارة الحوض Circularity ratio (Rc)	$Rc= 4*3.14*A/P^2$	Strahler (1964)
	نسبةالاستطالة Elongation ratio (Re)	$Re= (2\sqrt{(A/\pi)})/Lb$	Schumm (1956)
الخصائص التضاريسية	الارتفاع الأقصى Maximum Elevation (Z)	GIS software - Raster Calculator	Schumm (1956)
	الارتفاع الأدنى Minimum Elevation (z)	GIS software - Raster Calculator	Schumm (1956)
	درجة الانحدار للحوض Degree of Slope (S)	GIS software - Raster Calculator	Burrough (1986)
	التضرس Relief (R)	R = Z - z	Strahler (1957)
	التضاريس النسبية Relief ratio (Rr)	Rr = R/Lb	Schumm (1956)
خصائص الشبكة المائية	رتب المجاري Stream Order (U)	Hierarchial rank	Strahler (1957)
	عدد المجاري حسب الرتبة Stream numbers (Nu)	Nu = N1+N2+ +Nn	Horton (1945)
	طول الرتب Stream length (Lu)	Length of the stream	Horton (1945)
	معدل طول الرتب Stream length ratio (Lur)	Lur =Lu/(Lu-1)	Horton (1945)
	نسبة التشعب Bifurcation ratio (Rb)	1+Nu / Nu=Rb	Strahler (1964)
خصائص نسيج الحوض	كثافة التصريف Drainage density (Dd)	Dd = Lu/A	Horton (1932)
	تكرار الرتب Stream Frequency (Fs)	Fs = Nu/A	Horton (1932)
	نسيج التصريف Drainage texture (T)	T = Dd * Fs	Smith (1950)
	طول التدفق الارضي Length of overland flow (Lo)	Lo = 1/ Dd*2	Horton (1945)

التحليل والمناقشة

١) الخصائص الشكلية :

يوضح الجدول رقم (٢) نتائج قياس المتغيرات الشكلية لحوض وادي بطحان على النحو التالي:

- **محيط الحوض** (Basin Perimeter): الذي يأخذ رمز (P) ويحسب بالكيلومتر وتتمحور أهمية حسابه لإرتباط بالمتغيرات المورفومترية الأخرى للحوض به كمساحة الحوض وشكله وعرضه وطوله (Miller, 1953). ويسمى أحيانا محيط الحوض بخط تقسيم المياه. وتم قياس محيط الحوض بالاعتماد علي نموذج الارتفاعات الرقمية DEM وبدرجة وضوح ٣٠م لحوض وادي بطحان. ولقد بلغ محيط حوض وادي بطحان ١٢٦,٢٥ كم.
- **مساحة الحوض** (Basin Area) : ورمزه (A) ويحسب بالكيلومتر مربع ويتم حسابه آليا بعدما يتم تعيين وتحديد خط تقسيم المياه. حيث يتم حساب مساحة الحوض باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (ArcMap10.2) من خلال الاوامر التالية: Spatial Analyst Tools- Hydrology- Basin Raster Calculator أو مباشرة من خلال جدول بيانات الحوض واختيار امر Geometry Calculator. ولمساحة الحوض تأثيرا طرديا علي مقدار حجم التصريف المائي داخل الحوض (محسوب، ٢٠٠٣). ولقد بلغت مساحة حوض وادي بطحان بناء علي ذلك ٢٧٢,١٦ كم^{٢}.
- **طول الحوض** Basin Length ورمزه (Lb) ويحسب بالكيلومتر أو بالمتر. ويتم قياس طول الحوض باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (ArcMap10.2) من خلال استخدام ادوات القياس. بقياس الخط المستقيم الذي يصل ابعد نقطة على المنبع بنقطة المصب في اسفل الحوض. وهذا الذي تم اتباعه عند قياس طول حوض وادي بطحان حيث بلغ ٤١,٠٧ كم.
- **عرض الحوض** Basin Width ورمزه (Wb) ويحسب اما بالكيلومتر أو بالمتر. يُعد قياس عرض الحوض من القياسات المورفومترية التي تستخدم كمؤشر لتحديد حجم أخطار السيول والفيضانات لتأثيره علي حجم التصريف. ويتم قياسه وفقا لمعادلة عرض الحوض جدول (١) (مساحة الحوض/طول الحوض) فلقد بلغ عرض حوض وادي بطحان حوالي ٦,٦٢ كم. ويحدد طول الحوض وعرضة شكل الحوض حيث ان الاحواض الطولية اكثر سرعة في التدفق واقل في التصريف (Singh and Singh, 1997).
- **معامل شكل الحوض** Form Factor ورمز (Ff) وهو مؤشر يدل علي مدي تناسق الحوض في شكله العام. ويتراوح ناتجه مابين صفر الي ١. فكلما اقترب المعامل من رقم ١ دل علي

اتخاذ الحوض شك لا دائريا وهذا بدوره مؤشرا لسرعة تحويل مياه الأمطار إلي مياه سيول بينما اذا قلت قيمته وقربت من الصفر دل علي عدم تناسق شكل الحوض وعدم انتظامه (محسوب، ٢٠٠٣م). ويتم حساب معامل شكل الحوض بالتعويض في المعادلة (جدول ١). فمعامل شكل الحوض هو ناتج قسمة مساحة الحوض (كم^{٢}) علي مربع أقصى طول للحوض (كلم). ولقد بلغ معامل الشكل في حوض وادي بطحان ٠,١٦. وتدل النتيجة على عدم تناسق شكل الحوض مما يعني بطء في تحويل مياه الأمطار إلي مياه سيول.

- **نسبة استدارة الحوض المائي** Basin Circularity Ratio ورمزه (Rc) وهو ناتج قسمة مساحة الحوض على مساحة دائرة لها نفس المحيط الحوضي. ويتم حسابه من خلال التعويض في المعادلات كما في الجدول رقم (١). بلغ معامل الاستدارة لحوض وادي بطحان ٠,٢. وهو مايعني بعده عن الشكل الدائري الكامل يعطي ذلك مؤشرا أن الحوض غير منتظم الأجزاء وممتد مع تعرج في خط تقسيم المياه.
- **نسبة الاستطالة** Elongation ratio ورمزه (Re) وهو نسبة قطر الدائرة التي لها نفس مساحة الحوض والحد الأقصى لطول الحوض (Schumm, 1956). ويتم حسابه من خلال التعويض في المعادلات كما في جدول (١). وتتراوح نسبة الاستطالة في أغلب الأحواض ما بين ٠,٦ الى ١,٠. فاذا اقتربت القيمة من ١,٠ فانها تشير الى تضرس منخفض للغاية مع شكل دائري (Magesh, et al., 2011). وتبلغ نسبة الاستطالة لحوض وادي بطحان ٠,٤٥. وهذا يدل على وجود تضرس عالي مع شكل حوض ممتد وبعيد عن الشكل الدائري.

جدول (٢) : نتائج قياس المتغيرات الهندسية لحوض وادي بطحان.

محيط الحوض كم	مساحة الحوض كم^{٢}	طول الحوض كم	عرض الحوض كم	معامل شكل الحوض	معامل استدارة الحوض	نسبة الاستطالة
١٢٦,٢٥	٢٧٢,١٦	٤١,٠٧	٦,٦٢	٠,١٦	٠,٢	٠,٤٥

٢) الخصائص التضاريسية :

يوضح الجدول رقم (٣) نتائج قياس المتغيرات التضاريسية لحوض وادي بطحان وهو التالي:

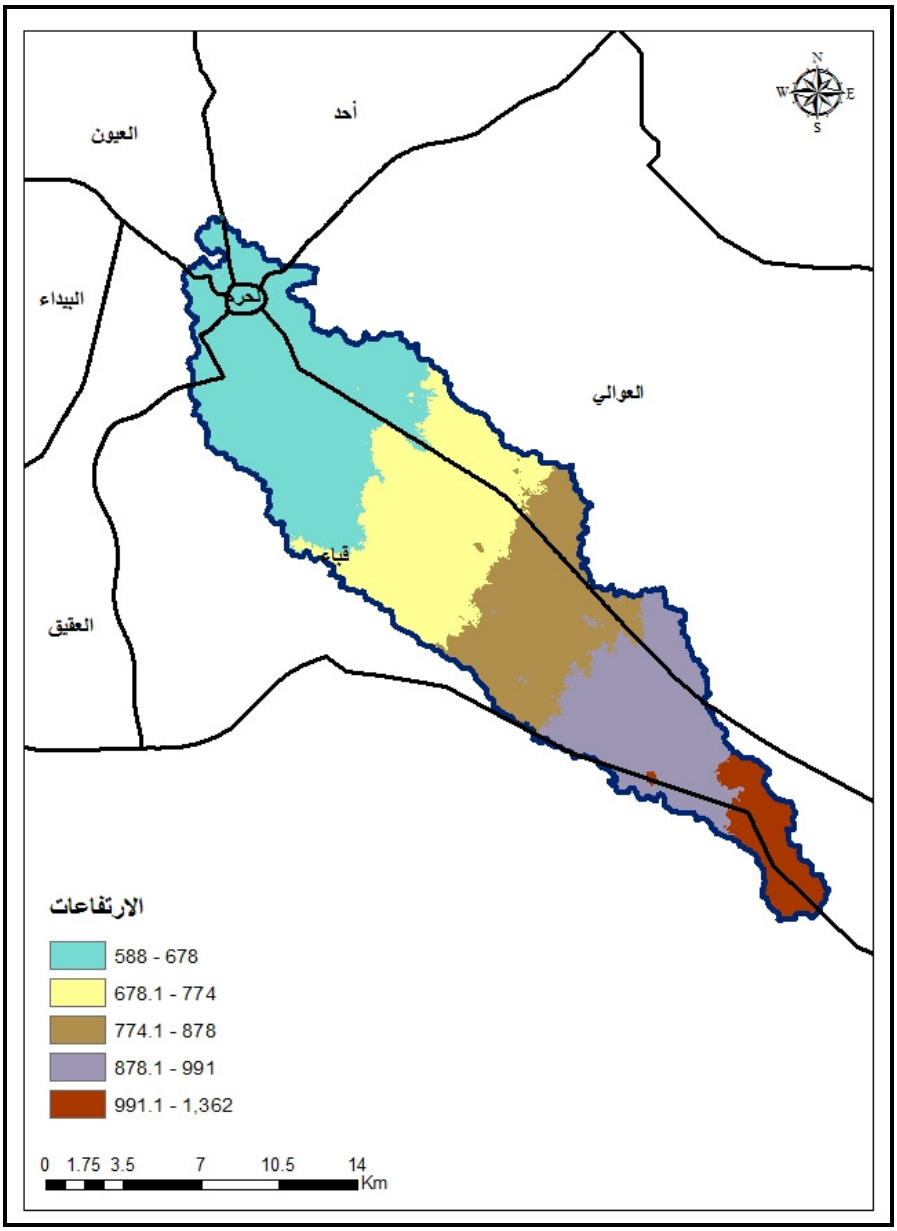
- **الارتفاع الأقصى والأدنى** (Maximum and Minimum Basin Height) : ورمز اعلى ارتفاع (Z) وادنى ارتفاع (z) وهو يعكس أعلي واقل قيمة منسوب علي خط تقسيم المياه. ولقد بلغ اعلي ارتفاع بوادي بطحان ١٣٦٢ مترا. أما أدني منسوب على خط تقسيم المياه وهي

تمثل نقطة المصب للحوض قد بلغت ارتفاع ٥٨٨ مترا. ويوضح شكل رقم (٢) مناسيب الارتفاعات لحوض وادي بطحان بالاعتماد علي نموذج الارتفاعات الرقمية ذات درجة وضوح ٣٠ م.

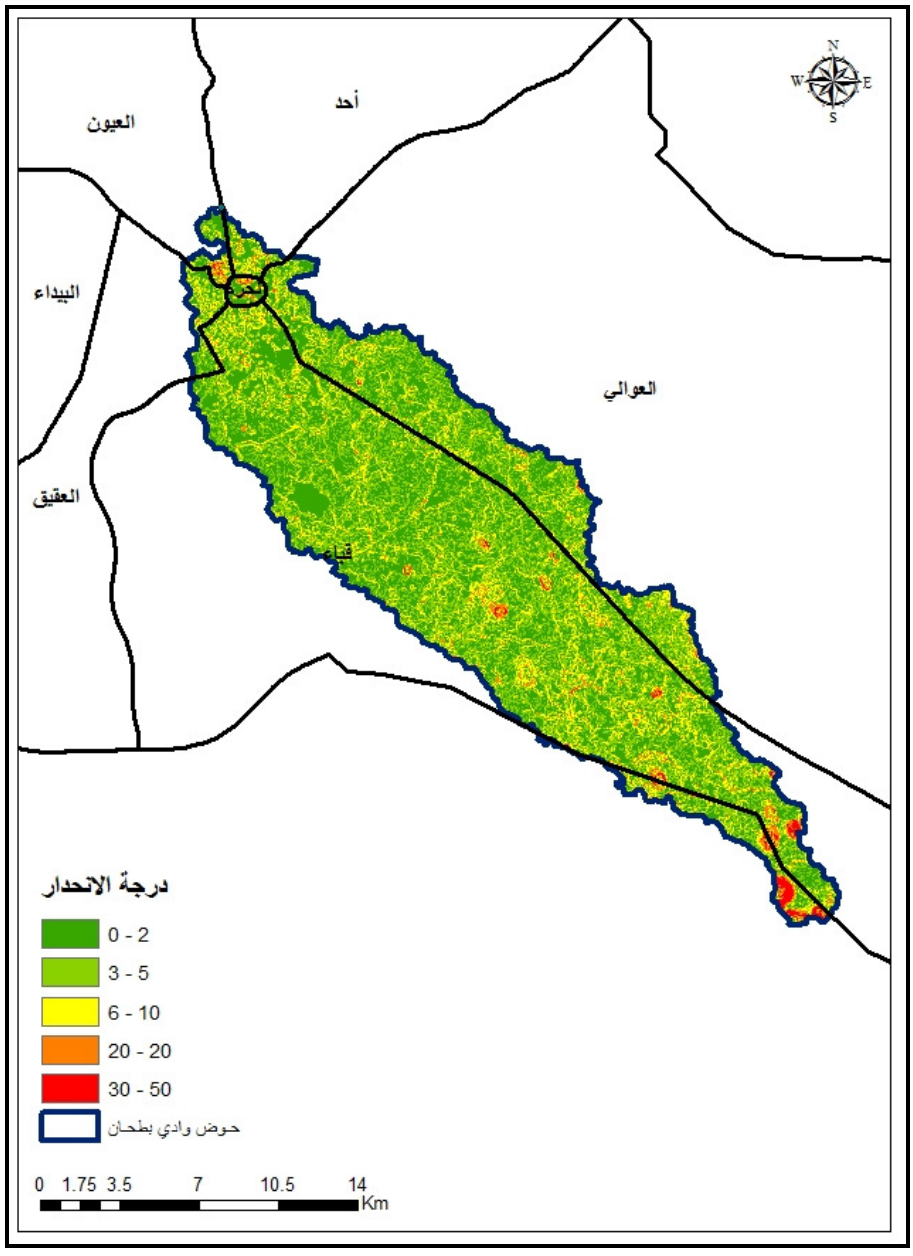
- **درجة الانحدار للحوض** (Degree of Slope). تحليل الانحدار هو متغير هام في الدراسات المورفمترية. وتعرف شبكة الميول (المنحدرات) على انه الحد الاعلى لمعدل التغيير في القيمة من كل خلية إلى الخلايا المجاورة (Burrough, 1986). ويوضح شكل (٣) مستويات الانحدار لوادي بطحان بالاعتماد علي البيانات المستخدمة من نموذج الارتفاعات الرقمي. ويظهر من الشكل توزع فئات الانحدار لوادي بطحان إلي فئات ست اقلها ما بين ٠-٢ وأعلاها ما بين ٢٤-٥٢ درجة. ونلحظ من الشكل أن معظم مساحة الحوض ينحصر درجة انحدارها ما بين ٢-٥ مع مساحات ضيقة ترتفع فيها درجات الانحدار الي ٢٤ عند مصاب مجاريه العليا. كما توضح شكل رقم (٤) جهات الانحدار لحوض وادي بطحان حيث يلحظ توزع اتجاهان لانحدار الوادي ما بين الجنوب والجنبوب الشرقي وجهة الغرب في أغلبه.
- **التضرس** (Relief) ويرمز له (R): يعرف التضرس هو الفرق بين اعلى وادنى ارتفاع في الاحواض. وهو متغير مهم لفهم خصائص الاحواض وتدفقات المياه السطحية والجوفية وكذالك نفاذية المياة في الاحواض (Magesh, et al., 2011). القيمة المرتفعة للتضرس يدل على خطورة تدفق المياه. في هذة الدراسة اظهرت النتائج ان التضرس في وادي بطحان ٧٧٤ متر وهذا ما يعني ان التضرس متوسط وغير مرتفع وبالتالي فان تدفق المياه في وادي بطحان لايشكل خطورة.
- **التضاريس النسبية** (Relief ratio) ويرمز له (Rr): التضاريس النسبية فعالة لقياس الانحدار الكلي من الحوض والتعرف على المحيط (Schumm,1956). حيث ان هنالك علاقة بين التضاريس النسبية وتدرج القنوات المائية والعكس صحيح. وتبلغ نسبة التضاريس النسبية لحوض وادي بطحان ٠,١٨٨ مايدل على ان نسبة التغيير منخفضة داخل الحوض بسبب مرحله متقدمة في عمليات التعرية التي تعرضت لها السفوح الجبلية داخل الحوض.

جدول (٣) : نتائج قياس المتغيرات المورفومترية لحوض وادي بطحان.

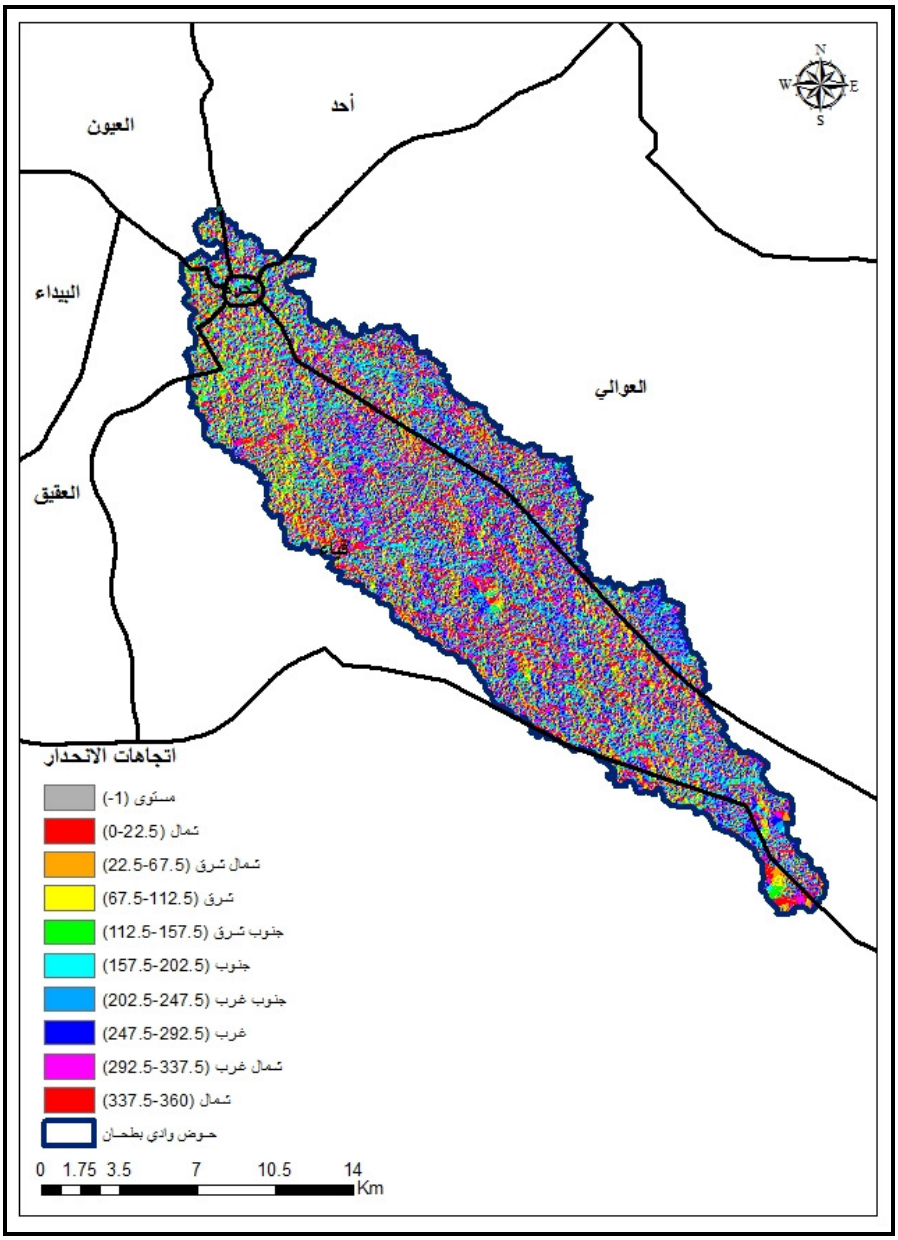
أقصى ارتفاع (م)	أدنى ارتفاع (م)	درجة الانحدار للحوض	التضرس	التضاريس النسبية
١٣٦٢	٥٨٨	°٥٢ – °٠	٧٧٤ م	٠,١٨٨



شكل (٢) : الارتفاعات لحوض وادي بطحان بالاعتماد على نموذج الارتفاعات الرقمية (بالمتر).



شكل (٣) : درجة الانحدار لحوض وادي بطحان.



شكل (٤) : جهات الانحدار لوادي بطحان.

٣) خصائص الشبكة المائية :

جاءت البحوث الجيومورفولوجية الكمية منذ منتصف الأربعينات الميلادية من القرن الماضي بالعديد من طرق الترتيب الهرمي لمجاري الشبكة المائية والتي من أهمها طريقة هورتون Horton، وطريقة سترايلر Strahler وطريقة شريف Shreve. وحيث أن التباينات المورفومترية الكمية بين المجاري تنتهي إلى ترتيب هرمي يعكس مختلف العلاقات المكانية القائمة بين الروافد المتشعبة بالشبكة المائية فإن هذا الترتيب الهرمي لمختلف مجاري الشبكة المائية يدل على مرحلة التعرية أو الدورة التحاتية التي وصل إليها الحوض الهيدروغرافي (الجعيدي وبوروبة، ١٤٢٨هـ). وتعتبر طريقة سترايلر Strahler A.N المعتمدة في هذه الدراسة أكثر الطرق المورفومترية المستعملة في تحديد الترتيب الهرمي للشبكة المائية وتصنيف التطور المورفوديناميكي لأحواض التصريف نظرا لسهولة وسرعة تطبيقها في ArcGIS. كما وتساعد هذه الطريقة في الوصول إلى مقارنات كمية بين مختلف الأحواض المائية تسمح بمقارنة حوض وادي بطحان ببعض الأحواض الهيدروغرافية الأخرى التي تمت دراستها بنفس الطريقة في مناطق أخرى من المملكة العربية السعودية. ويوضح الجدول رقم (٤) نتائج قياس المتغيرات للشبكة المائية لحوض وادي بطحان والتي تاتي على النحو التالي:

- **رتب المجاري المائيه (Stream Order)** ويرمز لها **(U)** وفيها يتم تصنيف المجاري المائيه إلي رتب وفقا لتدرجها الهرمي داخل الحوض لكي تستخرج اماكن الرتب المائية واحجامها (الصالح، ١٩٩٢ ;Leopold, et al., 1964). وتعتبر طريقة سترايلر (Strahler) من أهم الطرق المستخدمة لتصنيف المجاري وفيها يتم حساب رتبة المجرى بناء على الترتيب الهرمي. فتكون الرتبة الاولى من المجاري الفرعية التي ليس لها فروع و في حال التقى اثنين من رتبة الدرجة الاولى يتكون مجرى الرتبة الثانية وكذالك في الرتب التالية (Chow, et al., 1988). تشير النتائج ان وادي بطحان يتكون من خمسة رتب كما يوضح ذالك في الشكل رقم (٥).
- **عدد المجاري المائيه واطوالها (Stream Number)** ويرمز لها **(Nu)**. وهي مجموع الروافد المكونة لرتبة معينة بشكل عام حيث يقل عدد الروافد بالتدريج كلما زادة الرتبة. ويبلغ مجموع عدد المجاري لجميع الرتب لوادي بطحان خمسة رتب بمجموع روافد ٢٢٢ رافدا وبمجموع أطوال تقدر بـ ٣٧١,٤٥٥ كم.
- **طول الرتب (Stream length)** ويرمز لها **(Lu)**. طول الرتب تقاس من المصب الى منبع الروافد المائية. وهي تقيس متوسط مجموع طول الرتبة في كل الرتب. في المناطق التي توجد بها طبقات نفاذية عالية لديها القليل من الرتب الطويلة. بينما الاحواض ذات المسامية العالية تكون لديها اعداد كبيرة من الرتب ذات اطوال صغيرة (Abdulkareem, 2018). ويبلغ مجموع اطوال الرتب في حوض وادي بطحان ٣٧١,٤٦ كم.

شكل (٥) : شبكة المجاري المائية لحوض وادي بطحان.

- **معدل طول الرتب Stream length ratio** ويرمز له **(Lur)**. وهو معدل يعبر به عن مدى العلاقة بين مجموع أطوال الرتبة الواحدة ومجموع أطوال الرتبة التي تليها في الترتيب (Horton, 1932). ويتراوح مقدار معدل طول الرتب بحوض وادي بطحان ما بين ٠,٣٥-٣,٢٥ وهو مدىً مرتفعاً ينبئ عن مدى تأثير طبوغرافية وانحدار سطح الوادي على معدل طول رتب الحوض.
- **نسبة التشعب Bifurcation ratio** ويرمز له **(Rb)**. تعد نسبة التشعب من أهم مقاييس التحليل المورفومتري لدلالته على التغيرات التي تصاحب مجاري الحوض نتيجة لتظافر عوامل التعرية والبنية الجيولوجية والتركيب الصخري في الحوض (Schumm, 1956). فهي تعكس مدى توسع المجاري المائية ومدى التأثر الذي يعانيه سطح الحوض من الحفر الرأسي بواسطة الروافد (Strahler, 1964). تشير النتائج على ان معدل مدى التشعب لوادي بطحان ما بين ٣,٨٨ إلى ٤,٧ كما في الجدول رقم (٤). فلقد سجلت رتب الوادي معدلات متباينة لمدى التشعب إذ بلغت في المرتبة الثانية ٣,٨٨ بينما بلغت ٤,٧٨ و ٤,٥٠ في المرتبتين الثالثة والرابعة قبل أن تنخفض انخفاضاً حاداً في المرتبة الخامسة اذ بلغت ٢,٥٠. ويُعزى ذلك لاختلافات البنية الجيولوجية والتركيب الصخري للوادي. فنجد أن الرتب ذات المدى المنخفض لمعدل التشعب تعطي مؤشراً لعدم انتظام البنية الجيولوجية ونفاذية التركيب الصخري لها ولضعف فعالية عوامل التعرية بها على عكس الرتب التي تسجل مدىً أعلى من التشعب إذ تعطي مؤشراً لمدى التعقيد للبنية الجيولوجية وفعالية عوامل التعرية وضعف نفاذية التركيب الصخري لحوض الوادي (Strahler, 1964). وبلغ متوسط معدل التشعب لحوض وادي بطحان ٣,٧٩ وهو يدل على محدودية تأثير البنية الجيولوجية وعوامل التعرية ونفاذية التركيب الصخري بالوادي.

جدول (٤) : نتائج قياس متغيرات شبكة التصريف لحوض وادي بطحان.

الرتبة	عدد المجاري	الطول (كم)	متوسط طول الرتبة	معدل طول الرتب	نسبة التشعب
الاولى	١٦٧	١٦٤,٤٢	٠,٩٨		
الثانية	٤٣	٩٧,٢٧	٢,٢٦	٢,٣٠	٣,٨٨
الثالثة	٩	٦٦,١٣	٧,٣٥	٣,٢٥	٤,٧٨
الرابعة	٢	٣٧,١٣	١٨,٥٦	٢,٥٣	٤,٥٠
الخامسة	١	٦,٥١	٦,٥١	٠,٣٥	٢,٠٠
المجموع	**٢٢٢**	**٣٧١,٤٦**	**١,٦٧**	**٨,٤٢**	
متوسط نسبة التشعب					**٣,٧٩**

٤) خصائص نسيج الحوض :

يوضح الجدول رقم (٥) نتائج قياس المتغيرات خصائص نسيج حوض وادي بطحان والذي بلغة كثافة تصريف المياه في الحوض ١,٣٦ كم/كم^{٢} وتأتي نتائج متغيرات نسيج الحوض على النحو التالي:

- **كثافة التصريف Drainage density** ويرمز له **(Dd)**. وهو مؤشر يستخدم للدلالة على قياس تقطع أرضية الحوض وتأثيرها على قدرة الجريان السطحي (Chorley, 1969). ويؤثر في حساب الكثافة التصريفية للحوض خصائص التركيب الصخري والتربة (Smith 1958; Kelson and Wells 1989)؛ العوامل المناخية وكثافة الغطاء النباتي (Moglen et al. 1998)، والانسان كعامل جيومورفولوجي (الحواس، ١٤٢٨). وبالتالي تلعب كثافة التصريف دورا كبيرا في تأثير السيول على المنطقة الحضرية الواقعة في أسفل الوادي وذلك للاسباب التالية:

١- يزداد زمن التركيز للحوض المائي كلما زادت كثافة التصريف بواسطة زيادة أطوال المجاري مما يؤدي إلى تمديد الفترة الزمنية لعملية تسرب المياه إلى باطن التكوينات الصخرية ومن ثم تأخر ظهور السيول على السطح.

٢- يتقلص زمن التركيز للحوض المائي كلما زادت كثافة التصريف بواسطة عدد مجاري الرتب الدنيا مما يساعد على سرعة إستجابة التكوينات الصخرية لمياه الأمطار وسرعة ظهور السيول نتيجة سهولة عملية الجريان السطحي بواسطة المجاري القصيرة (الجعيدي وبوروبة، ١٤٢٨هـ).

وتشير نتائج التحليل إلى أنخفاض معدل كثافة التصريف في حوض وادي بطحان التي تبلغ ١,٣٦ كم/كم^{٢} مما يدل على القابلية النفاذية لطبقات التركيب الصخري مما يؤدي إلى بطئ تأثير السيول (جدول ٥).

- **تكرار الرتب Stream Frequency** ويرمز له **(Fs)** : تعبر تكرارية المجاري عن العلاقة النسبية بين عدد المجاري ومساحة التصريف المائي وهي تعكس من الناحية المورفوديناميكية درجة تخدد سفوح الحوض الهيدروغرافي تحت تأثير عمليات الحت بواسطة المياه الجارية السطحية على ضفتي المجرى الرئيس بين خط تقسيم المياه ومصب الحوض الهيدروغرافي وعليه فإن زيادة عدد المجاري بواسطة التعرية المائية يؤدي بالضرورة إلى زيادة أطوالها المؤدية بدورها إلى زيادة كثافة التصريف. ويبدو أن تكرارية المجاري بحوض وادي بطحان منخفضة لانخفاض عدد المجاري وبالتالي تتوافق مع إنخفاض كثافة التصريف. ولقد بلغ

مقدار تكرار الرتب في وادي بطحان ٠,٨٢ مما يدل على التأثير الهامشي للتساقط ونفاذية التربة في حوض وادي بطحان.

- **نسيج التصريف Drainage Texture** ويرمز له **(T)** : وهو نتيجة للعلاقة ما بين تكرارية الرتب ومعدل كثافة التصريف للحوض. ويؤثر في حسابه عدة عوامل منها: البنية الصخرية؛ قدرة التصريف؛ ومقدار الانحدار لسطح الحوض. ولقد صنف (Smith, 1950) فئات نسيج التصريف إلى أربع فئات وهي كالتالي:

الفئة الأولى: خشنة أقل من ٤

الفئة الثانية: متوسطة الخشونة ٤-١٠

الفئة الثالثة: الناعمة فوق ١٠

الفئة الرابعة: ناعمه جدا اكثر من ١٥

ولقد بلغ معدل نسيج التصريف بوادي بطحان ١,١١ مما يدل على خشونة نسيج التصريف لوادي بطحان. وهذا قد يعزى الي انحدار الوادي الي الغرب والشمالي الغربي في أغلبه وبمتوسط انحدار ٢,٢%.

- **طول التدفق الأرضي Length of overland flow** : ويرمز له **(Lo)**. وهو يعبر عن طول امتداد الجريان السطحي للماء قبل أن يتم تركز جريانه في روافد الحوض. بمعني آخر هو متوسط طول جريان السطح المستوي من خط تقسيم المياه قبل أن يتم تكوين مجاري الرتبة الأولى (Chorley, 1969). وهو يقيس اتساع المجاري ودرجات التقطع الأرضي لسطح الحوض. ويدل انخفاض معدل طول التدفق الأرضي أن مياه الأمطار ستجتاز مسافات طويلة حتي تستطيع تكوين روافد مجاري الرتبة الأولى علي العكس عندما يكون المعدل مرتفعاً (Chitra, et al., 2011). ولقد بلغ طول التدفق الأرضي لحوض وادي بطحان ١,٤٧ ويدل هذا المعدل أن مياه الأمطار بالحوض تحتاج إلى قطع مسافات طويلة حتى تكوّن مجاري الرتبة الأولى.

جدول (٥) : نتائج قياس متغيرات تحليل نسيج التصريف لحوض وادي بطحان.

كثافة التصريف	تكرارية الرتب	معدل النسيج	طول التدفق الارضي
١,٣٦	٠,٨٢	١,١١	١,٤٧

النتائج :

يوضح الشكل رقم (٦) موقع الحرم النبوي الشريف في مصب وادي بطحان. حيث يقع الحرم بشكل كامل في الحوض الأدنى للوادي الذي يمر مجراه الرئيسي من الجهة الشرقية لمنطقة الحرم. وبالتالي يلتقي المجرى الرئيسي لوادي بطحان مع المجرى الرئيسي لوادي قناة في شمال الحرم النبوي بالقرب من جبل أحد (شكل ٧). كما يظهر على الشكل السدود التي اقامتها امانة منطقة المدينة المنورة للحد من تدفق السيول وتقليل اخطارها على الحرم النبوي. وتبلغ مساحة حوض التصريف للوادي ما يقارب ٢٧٢ كم^{٢} وطول محيطه ١٢٦ كم. وتبلغ نسبة متوسط إنحدار الحوض ٢,٢% بين أقصى إرتفاع (١٣٦٢م) وأدنى إرتفاع (٥٨٨م) بمتوسط إرتفاع يصل إلى ٩٧٥م. أما خصائص الحوض الشكلية والتضاريسية فيميل سطح الحوض تدريجياً وبانتظام من الجنوب الشرقي نحو الشمال الغربي بإنحدارات تتوزع فئاتها إلي ست فئات أقلها ما بين ٠-٢ وأعلاها مابين ٢٤-٥٢ درجة حتى ينتهي بالقرب من الحرم النبوي الشريف. ومن حيث الشكل يأخذ هذا الحوض شكلا مستطيلا بطول يبلغ ٤١ كم في حين تبلغ المسافة الفاصلة بين مركز ثقل الحوض ومصبه٢٠ كم. ولذا فإن معامل الإستطالة هذا الحوض لا يتعدى ٠,٤٥ وهو يعكس الشكل المتطاول والمساحة الصغيرة لهذا الحوض بينما يبلغ معامل الشكل ٠,١٦ بإستدارة تصل إلى ٠,٢. وتتميز شبكة المجاري المائية في نظام شجري (Dendritic) تظهر فيه المجاري المائية محدودة وضيقة وقصيرة عند المنابع في أعلى الحوض بالقرب من خط تقسيم المياة ثم تتناقص عدديا وتدريجيا كلما اتجهنا نحو الحوضين الأوسط والأدنى. أما بالنسبة لكمية تدفق الذروة القصوى فقد تم تقديرها في وادي بطحان فقد جرى تقديرها في الحوض الأعلى للوادي بما يقارب ١٣٢ م^{٣}/ث (AlAhmadi and AbdRahman, 2018). وتظهر نتائج التحليل المورفومتري لهذة الدراسة اختلافا في حدود ومساحة حوض التصريف لوادي بطحان عن الدراسة التي اشار لها الاحمدي (٢٠١٦). فقد أثر تحويل بعض مجاري المياة في الحوض الاوسط لوادي بطحان في عام ١٩٩٥م الى وادي العقيق المجاور على شكل الحوض الذي كان يقترب من الشكل الدائري قبل (شكل ٨).

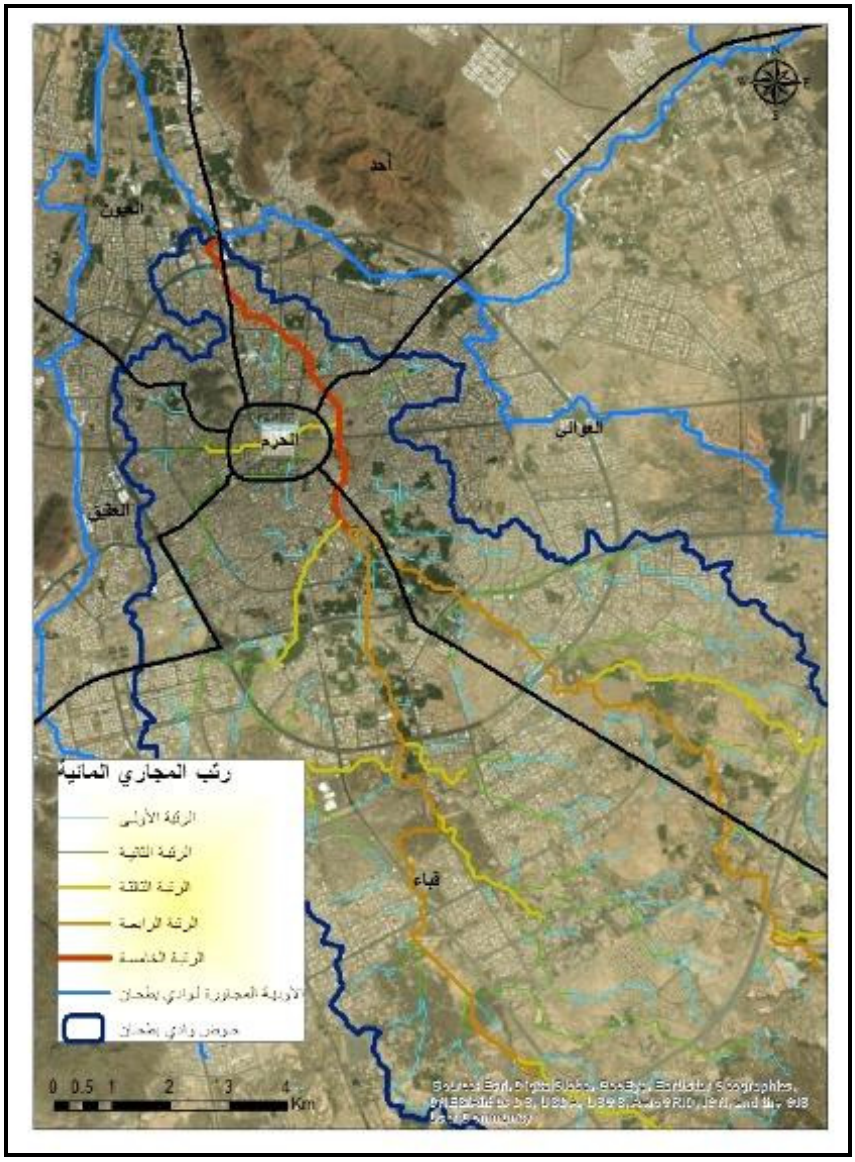
وتأتي تفاصيل شبكة المجاري المائية على النحو التالي:

١) يبلغ مجموع مجاري المسيلات الصغيرة المسماة جيومورفولوجياً بالرتبة الأولى ما يقارب ١٦٧ مجرى أي ما يعادل ٧٥% من مجموع مجاري حوض وادي بطحان.

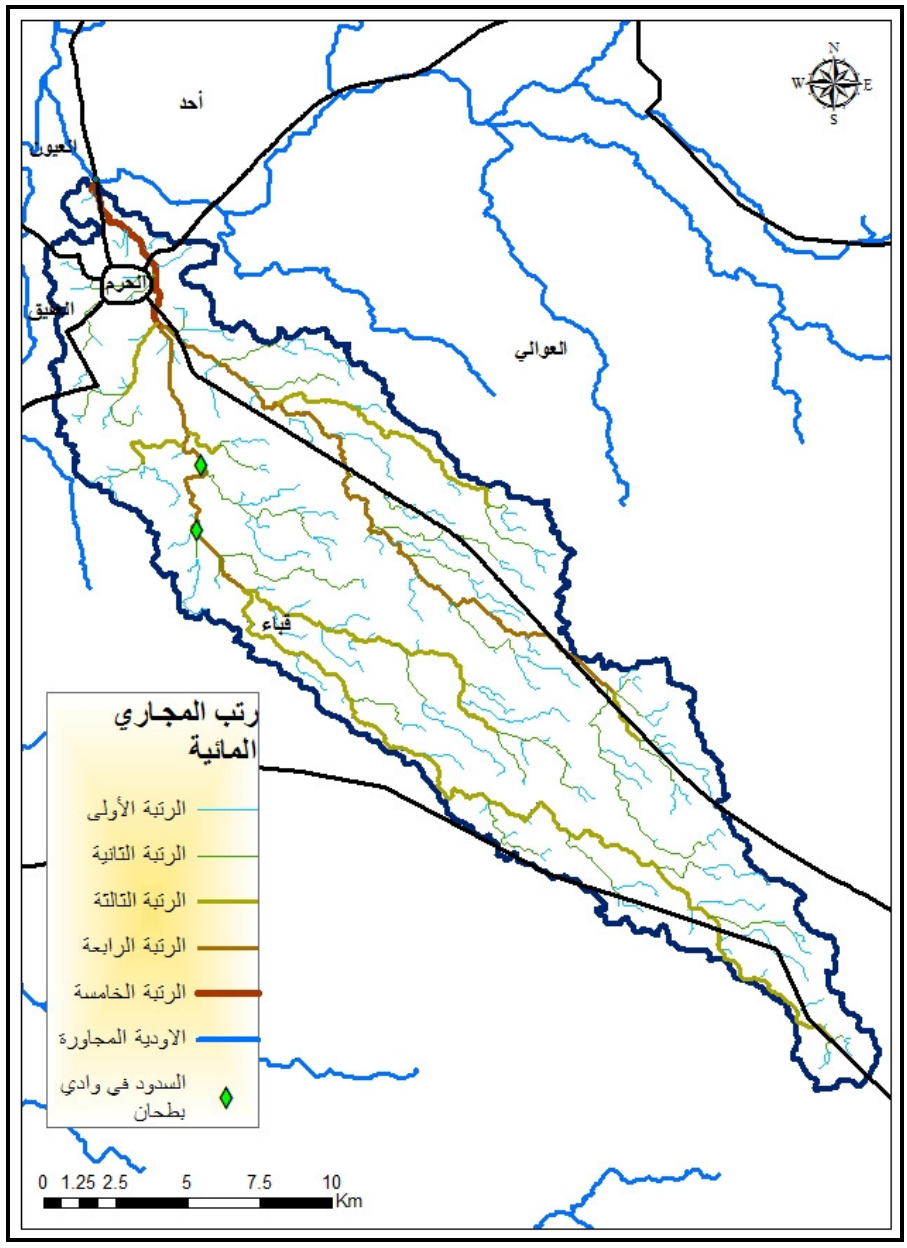
٢) يبلغ مجموع مجاري الرتبة الثانية ما يقارب ٤٣ مجرى أي ما يعادل ١٩,٣% من مجموع مجاري حوض وادي بطحان.

٣) يبلغ مجموع مجاري الرتبة الثالثة ما يقارب ٩ مجرى أي ما يعادل ٤ % من مجموع مجاري حوض وادي بطحان.

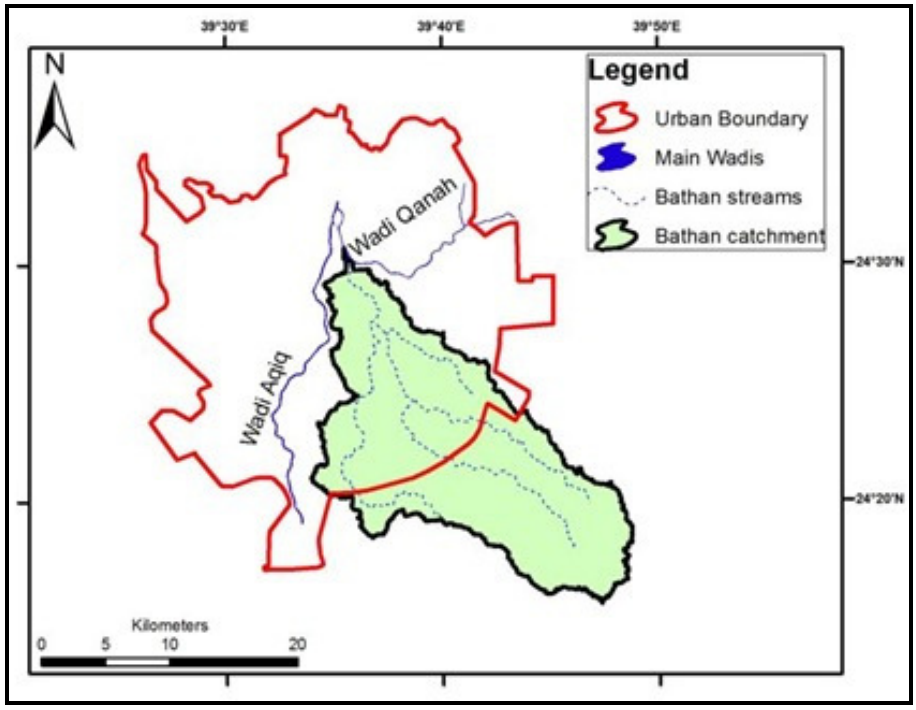
٤) يبلغ مجموع مجاري الرتبة الرابعة ٢ مجرى أي ما يعادل ٠,٩ % من مجموع مجاري حوض وادي بطحان. وتتناسب هذه الرتبة مع نسبة التشعب المرتفعة التي تقارب ٤ بين مجاري الرتب الأولى والخامسة.



شكل (٦) : علاقة وادي بطحان بالحرم النبوي الشريف.



شكل (٧) : علاقة حوض وادي بطحان بالمجاري الرئيسية للأودية المجاورة.



شكل (٨) : حدود حوض وادي بطحان قبل تحويل مجاري المياه الى وادي العقيق في عام ١٩٩٥م.
المصدر: (Alahmad, 2016).

يتشابه الترتيب الهرمي للمجاري المائية لحوض وادي بطحان برتبته الخامسة مع الترتيب الهرمي لبعض الأودية المجاورة التي تصرف صخور الدرع العربي مثل وادي قناة ووادي العقيق (الدوعان، ١٩٩٩) وذلك بسبب تماثل التكوين الجيولوجي. ويدل إنخفاض كثافة التصريف (١,٣٦ كم/كم^{٢}) في الحوض على القابلية النفاذية لطبقات التركيب الصخري مما يؤدي إلى بطئ تأثير السيول على المنطقة الحضرية.

وتوضح هذه الدراسة أن تناول الأحواض النهرية بطريقة تكاملية تجمع ما بين امكانيات نظم المعلومات الجغرافية ونموذج الارتفاعات الرقمية DEM ودراسة سلوكيات الوادي يعطي بعدا أوسع وأدق من الدراسات أحادية الاتجاه. ولقد اوضحت دراسة المتغيرات الموفومترية لحوض وادي بطحان أن مجرى القناة الرئيسية لا يشكل خطورة على الحرم النبوي الشريف. ولكن قد يؤدي التوسع العمراني باتجاة المجاري الرئيسية دون المحافظة على ابعادها الطبيعية الى التاثير على المنطقة العمرانية والحرم النبوي الشريف.

كما أن هذه الدراسة لاتعد متكاملة بذاتها إلا اذا دعمت بدراسات توضح جوانب التغير في النطاق العمراني وما صاحبه من تغير لمجاري الوادي وروافده. كا الدراسات التي تعني بالجوانب الهيدروجيومورفولجية التي تقدم بعدا آخر لقياس مدى تفاعل العوامل المختلفة وتحكمها في تشكل الوادي وتحديد سلوكه السيلي.

المراجع

أولاً : المراجع العربية.

١. آل سعود، مشاعل بنت محمد، (١٤٢٣هـ)، تطبيقات تقنية الاستشعار عن بعد والأساليب الجيوديسية المتطورة في دراسة مورفومترية الوديان الجافة، بحوث جغرافية، الندوة السابعة، أقسام الجغرافيا بجامعات المملكة العربية السعودية، المملكة العربية السعودية.

٢. الجعيدي، فرحان بن حسين، (٢٠٠٤م)، استخدام صور الاستشعار عن بعد الرقمية عالية الوضوح المكاني لتحديد امتداد فيضانات السيول في سهل الخرج، بحوث جغرافية، الجمعية الجغرافية السعودية، جامعة الملك سعود، العدد (٧١)، الرياض، المملكة العربية السعودية.

٣. الحواس، عساف بن علي، (٢٠٠٧م)، توظيف تكاملي لتقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لتحديد وتحليل الخصائص الهيدروموفومترية لأحواض التصريف الصحراوية، الجمعية الجغرافية السعودية، جامعة الملك سعود، العدد (٨١)، الرياض، المملكة العربية السعودية.

٤. الدوعان، محمود بن ابراهيم، (١٩٩٩)، الأودية الداخلة إلى منطقة الحرم بالمدينة المنورة، الجمعية الجغرافية السعودية، جامعة الملك سعود، العدد (٣٨)، الرياض، المملكة العربية السعودية.

٥. سلامة، حسن رمضان، (١٩٨٠م)، التحليل الجيومورفولوجي للخصائص المورفومترية للأحواض المائية في الأردن، دراسات العلوم الانسانية، مجلد (٧)، العدد (١)، عمانن الأردن.

٦. الصالح، محمد بن عبدالله، (١٩٩٢م)، بعض طرق قياس المتغيرات في أحواض التصريف، بحوث جغرافية، العدد (٢٧)، مركز البحوث – جامعة الملك سعود، الرياضن المملكة العربية السعودية.

٧. الصيدلاني، خالد بن عتيق، (١٤٣٠هـ)، السلوك المتوقع لفيضان وادي بطحان وأخطاره علي المنطقة المركزية في المدينة المنورة، الندوة الولية عن ادارة الكوارث، وزارة الداخلية، الرياضن المملكة العربية السعودية.

٨. عبدالعزيز، متولي عبدالصمد، (٢٠١٢هـ)، التحليل الكمي المقارن لكثافة التصريف مع التطبيق علي حوض وادي العاقول بالمدينة المنورة، بحوث جغرافية، الجمعية الجغرافية السعودية، جامعة الملك سعود، العدد (٩٧)، الرياض، المملكة العربية السعودية.

٩. الغامدي، سعد ابوراس، (٢٠٠٤م)، استخلاص الشبكة التصريف السطحي للمياه باستعمال المعالجة الآلية لبيانات الاقمار الصناعية: دراسة علي منطقة جبال نعمان، مجلة جامعة أم القرى للعلوم التربوية والاجتماعية والانسانية، المجلد (١٦)، العدد (٢)، مكه المكرمة، المملكة العربية السعودية.

١٠. محسوب، محمد صبري، (٢٠٠٣م)، القاموس الجغرافي الجوانب الطبيعية والبيئية، الطبعة الأولى، مطبعة الاسراء، القاهرة، مصر.

ثانياً : المراجع غير العربية.

1. Alahmadi, F. and Absrahman, N. (2015): Rainfall-Runoff Modeling At Upper Bathan Catchment, Madinah, Western Saudi Arabia. The 3rd International Conference on WATER RESOURCES (ICWR-2015), Langkawi, Malaysia.
2. Alahmadi, F.S. (2016): Flood Modeling of Ungauged Arid Volcanic Environment of WadiBathan in Almadinah, Saudi Arabia, (doctoral dissertation). Faculty of Civil Engineering, University of Teknologi Malaysia, Malaysia.
3. Burrough, P.A. (1986): Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford University Press, New York, p. 50.
4. Horton, R.E. (1932): Drainage basin characteristics. Transactions of the American Geophysical Union, 13: 350-361.
5. Horton, R.E. (1945): Erosional development of streams and their drainage basins; Hydro-physical approach to quantitative morphology. Bulletin of the Geological Society of America, 56: 275-370.
6. Miller, V.C. (1953): A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in Clinch Mountain Area, Virginia and Tennessee. Technical Report, 3. Office of the Naval Research. Dept. of Geology, Columbia University, New York.
7. Schumm, S.A. (1956): Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. Bulletin of the Geological Society of America, 67: 597-646.
8. Singh, S. and Singh, M.C. (1997): Morphometric analysis of Kanhar river basin. National Geographical Journal of India, 43: 31-43.
9. Smith, K.G. (1950): Standards for grading texture of erosional topography. American Journal of Science, 248: 655-668.
10. Strahler, A.N. (1957): Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transactions of the American Geophysical Union, 38: 913-920.
11. Strahler, A.N. (1964): Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: Chow Chow, V., Ed., Handbook of applied hydrology. McGraw Hill, New York, pp. 439-476.
12. Magesh NS, Chandrasekar N, Soundranayagam JP (2011): Morphometric evaluation of Papanasam and Manimuthar watersheds,parts of Western Ghats, Tirunelveli district, Tamil Nadu, India: A GIS approach. Environ Earth Sci., 64(2): 373-381.
13. Abdulkareem, J.H., Pradhan, B., Sulaiman, W.N.A., Jamil, N.R. (2018b). Quantification ofrunoffas ininfluenced by morphometric characteristics in a rural complex catchment. Earth Syst. Environ., 2 (1): 145-162. https://doi.org/10.1007/s41748-018-0043-0

Wadi Bathan (Al-Madīnah Al-Munawwarah): A Morphometric Study Using the Digital Elevation Model (DEM)

ABSTRACT

Wadi Bathan, one of the most important valleys of Madinah in the impact on the Prophet's Mosque, is fully covered within the basin of the lowest valley, which has a drainage area 272.16 km^2. This study adopted its methodology for the digital elevation model capabilities to extract morphometric properties and analysis using GIS. Wadi Bathan considered the valleys of the fifth rank with a total of 222 streams and a total length of 371.455 km. Despite the fact that the Prophet's Mosque is completely located within the boundaries of the basin, the results indicated the limited impact of floods on the Prophet's Mosque due to a low drainage density of 1.36 km/km^2, which leads to a slower effect of floods.

Key Word: GIS, DEM, Morphometric, Draining Basin, Wadi Bathan.