أثر الأمطار على شبكة الطرق في ولاية بوشر (مسقط - سلطنة عمان)
باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد

د. لطفي كمال عزاز*
نظيرة الحارثية

الملخص :

تقوم هذه الدراسة بتتبع أثر الأمطار على شبكة الطرق في ولاية بوشر – مسقط – سلطنة عمان باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، و على الرغم من وقوع منطقة الدراسة ضمن الإقليم المناخي شبه الصحراوي حيث لا يزيد معدل الأمطار عن ١٠٠ ملم سنويا؛ إلا أنها شهدت هطول أمطار غزيرة أدت إلى جريان الأودية بشكل فجائي بكميات أمطار ضخمة وصلت إلى ٦١٠ ملم أثناء إعصاري جونو Gonu (٢٠٠٧) و ٦٠٣ ملم أثناء إعصار فيت Phet (٢٠١٠)، مما أسفر عن خسائر ضخمة في الممتلكات والأرواح وآثار مدمرة على شبكة الطرق والعمران في المناطق الحضرية من سلطنة عمان، واعتمدت منهجية الدراسة على استخلاص شبكة المجاري المائية من نموذجي الارتفاعات المكانية بدقة ٣٠ و ٥ متر ثم تحليل شبكة المجاري المائية في ولاية بوشر، وبصفة خاصة وادي الأنصب – الوادي الأهم في المنطقة – وإنتاج خريطة الطرق حسب مستوياتها المدرجة في دليل التخطيط العمراني العماني، ثم تمت دراسة العلاقة بين شبكة الطرق ومجاري الأودية في ولاية بوشر، وتحديد الآثار الناتجة عن فيضان الأودية على شبكة الطرق خصوصاً في المناطق التي تتقاطع فيها الأودية مع الطرق، وعلى الرغم من أن هذه الدراسة تركز أساساً على دراسة تأثيرات الأمطار وجريانها في الأودية وعلاقتها بشبكة الطرق فقط، إلا أنه لا يمكن إغفال أو تجاهل هذه التأثيرات على المناطق العمرانية، ولذلك تم دراسة أثر فيضان الأودية على المناطق العمرانية وإجراء دراسة مسحية على سكان إحدى المناطق السكنية للتعرف على أثر جريان الأودية على منازلهم والتعرف على مقترحاتهم للوقاية من مخاطرها تطبيقاً لمبدأ المشاركة الشعبية في عملية التخطيط، وقد تم الاعتماد على تقنيات نظم المعلومات الجغرافية GIS باستخدم برمجيات ArcGIS 9.2 لجمع وإدخال ومعالجة البيانات المكانية وتحليل المعلومات التي تم الحصول عليها من الدراسة وتقديم التوصيات اللازمة لصناع القرار والمخططين للتعامل مع هذه المشكلة.

الكلمات المفتاحية : الأمطار – جريان الأودية – شبكة الطرق – ولاية بوشر – نظم المعلومات الجغرافية – الاستشعار عن بعد.

---

* أستاذ مشارك التخطيط الحضري ونظم المعلومات الجغرافية – جامعة المنوفية وجامعة القصيم.

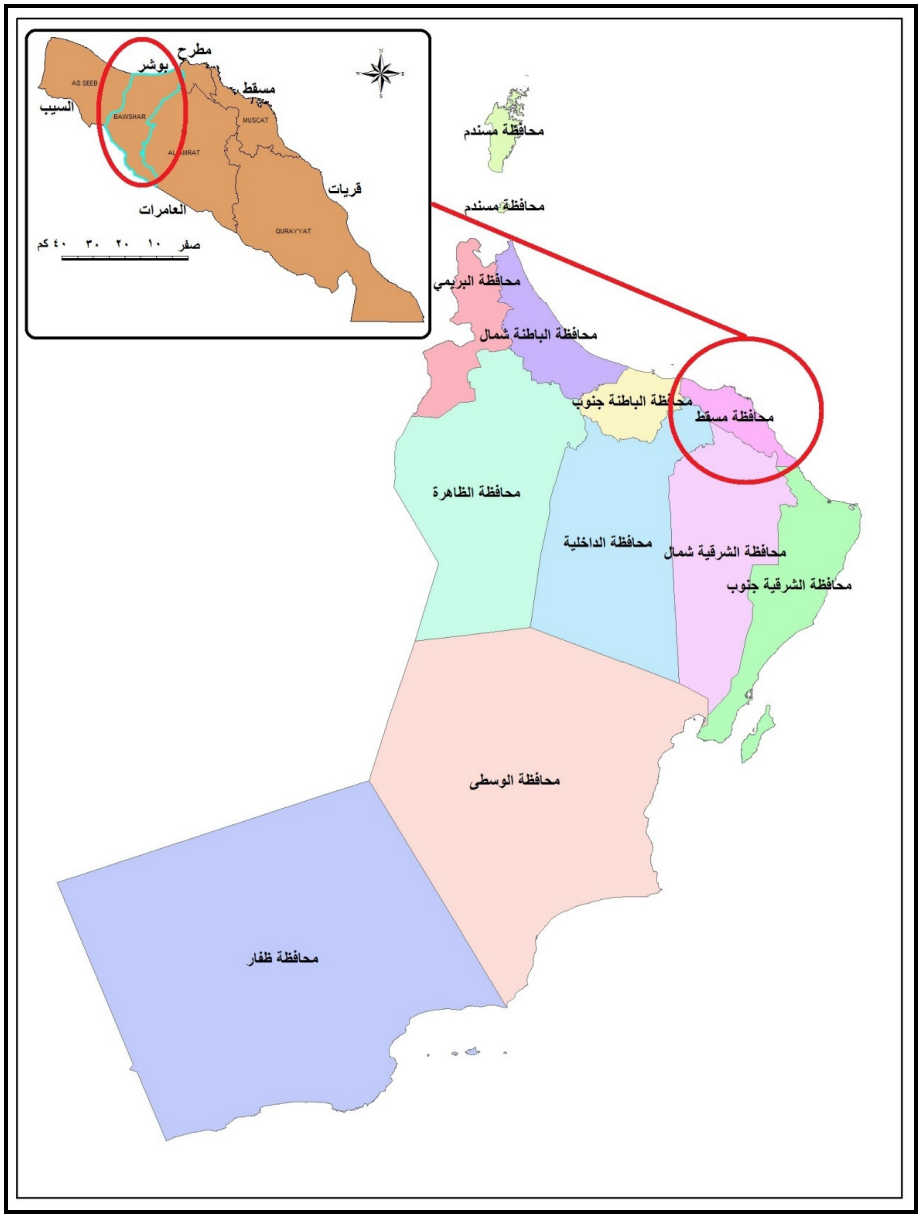
أهداف الدراسة :

- دراسة العلاقة بين شبكة الطرق ومجاري الأودية في ولاية بوشر.
- تحديد الآثار الناتجة عن فيضان الأودية على شبكة الطرق خصوصاً في المناطق التي تتقاطع فيها الأودية مع الطرق.
- دراسة أثر فيضان الأودية على المناطق العمرانية في منطقة الدراسة.
- التعرف على أثر جريان الأودية على المناطق السكنية والتعرف على مقترحات السكان للوقاية من مخاطرها تطبيقاً لمبدأ المشاركة الشعبية في عملية التخطيط.
- تقديم التوصيات اللازمة لصناع القرار والمخططين للتعامل مع هذه المشكلة.

منطقة الدراسة :

يبلغ عدد محافظات سلطنة عُمَان حسب التقسيم الإداري الجديد الذي تم وضعه بموجب المرسوم السلطاني رقم (٢٠١١/١١٤) الصادر في ٢٦ أكتوبر ٢٠١١م؛ ١١ محافظة، وزارة الإعلام، (٢٠١٤)، وهذه المحافظات هي : محافظة مسقط، ومحافظة ظفار، ومحافظة مسندم، ومحافظة البريمي، ومحافظة الداخلية، ومحافظة شمال الباطنة، ومحافظة جنوب الباطنة، ومحافظة شمال الشرقية، ومحافظة جنوب الشرقية، ومحافظة الظاهرة، ومحافظة الوسطى (شكل ١). وتتكون كل محافظة من المحافظات التي سبق ذكرها من مجموعة من الولايات التي يصل عددها في كل المحافظات إلى ٦١ ولاية. ولكل محافظة من المحافظات مركز إقليمي أو أكثر، حيث يصل عدد المراكز الإقليمية في كل المحافظات إلى ١٢ مركزاً، والمركز الإقليمي هو عاصمة المحافظة، ويمثل هذا المركز مدينة أو ولاية من ولايات المحافظة. ومحافظة مسقط من أهم المحافظات في سلطنة عُمَان، فهي عاصمة السلطنة، والمركز الإداري والسياسي والاقتصادي لها. وعاصمة هذه المحافظة هي ولاية مسقط. وهذه المحافظة هي أكبر محافظة في سلطنة عُمَان من حيث عدد السكان، كما أنها أكبر المحافظات العُمَانية من حيث الكثافة السكانية، وتتكون المحافظة من ست ولايات هي : مسقط – السيب – مطرح – العامرات – بوشر – قريات، و تقع ولاية بوشر شمال غرب محافظة مسقط، تتخذ موقعها بين البحر والجبل (شكل ١)، ويحدها من الشرق ولاية العامرات وولاية السيب تحدها من جهة الغرب، بينما تحدها ولاية مطرح من جهة الشمال الشرقي والخليج العربي شمالا وجبال الحجر الشرقي جنوبا. وتبلغ مساحتها ٤٢٠ كم^{٢} وتنتشر بها ٤٣ مدينة وقرية أهمها : بلدة بوشر – الخوير – مدينة السلطان قابوس – الغبرة – العذيبة – غلا – مرتفعات مدينة الإعلام – الصاروج – الأنصب – الحمام – العوابي – المسفاه، وتشير الروايات إلى أن تاريخها يرجع للآلف

الثاني قبل الميلاد، واسمها جاء نسبة إلى ما شهدته المنطقة من اضطرابات قديمة، مما دعا تسميتها (أبوشر) لكن حين استقرت الأوضاع تم حذف الهمزة ليصبح إسمها بوشر، بلدية مسقط، (٢٠١٣).



شكل (١) : موقع ولاية بوشر في محافظة مسقط وموقع محافظة مسقط على مستوى سلطنة عمان.

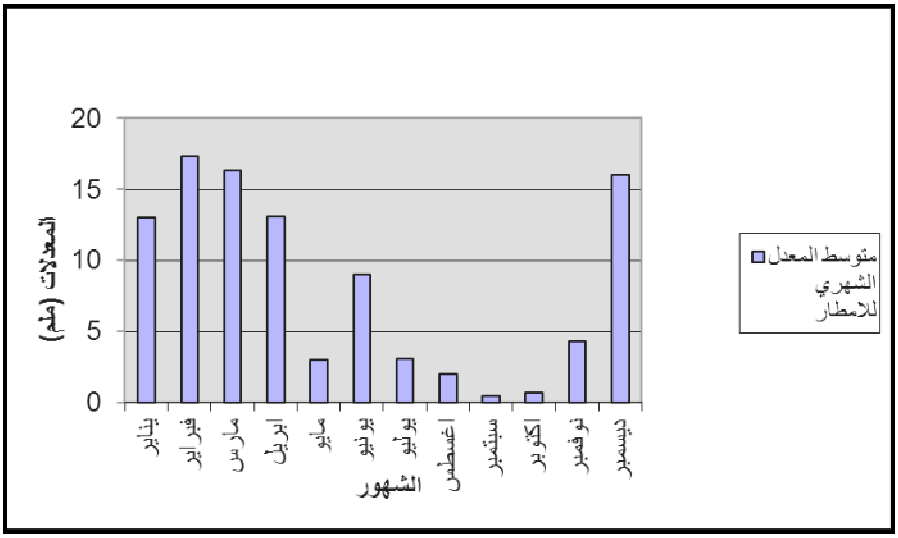
وتضم ولاية بوشر عدد من المنشآت الحكومية والخاصة ومن أهم أهمها مطار مسقط الدولي، والمستشفى السلطاني، ومنطقة غلا الصناعية، وجامع السلطان الأكبر، هذا بالإضافة إلى المباني السكنية والتجارية المقامة أو تلك التي قيد الإنشاء وتلك الأخرى التي وضعت ضمن عمليات التخطيط المستقبلية. كل هذا الزخم من المنشآت الحيوية جعل المنطقة تتحول لمركز جذب سكاني، وتم شق عدة طرق هامة مما أدى للنمو العمراني في الولاية وخاصة على مجاري الأودية مما يجعلها عرضة للفيضانات وتدفقات المياه على مجاري هذه الأودية والتي تترك آثارها المدمرة في النهاية على العمران و الطرق بها.

أ- مناخ منطقة الدراسة :

تنتمي منطقة الدراسة إلى الإقليم المناخي شبه الصحراوي حيث لا يزيد معدل الأمطار عن ١٠٠ ملم سنويا (شولتز، ١٩٨٠). ويتطابق الجفاف في المنطقة مع الارتفاع الكبير في درجات الحرارة حيث يبلغ ذلك في المتوسط ٣٥ درجة، وتتميز محافظة مسقط بموقع تطل به على ساحل بحر عمان بامتداد ٢٠٠ كم. ورغم أنها بحكم هذا الموضع عرضة للمؤثرات البحرية إلا أن هذه المؤثرات لا يتعدى أثرها كثيراً الجهات الساحلية من حيث انخفاض درجات الحرارة نسبياً وارتفاع الرطوبة خاصة في فصل الصيف، بينما تظل الأجزاء الداخلية أكثر جفافاً وحرارة أثناء تلك الفترة. أيضا، تؤثر التضاريس على المناخ في محافظة مسقط. فسلاسل الجبال المجاورة ترفع من درجات الحرارة أثناء الصيف وتؤدي إلى انخفاضها أثناء الشتاء. وكذلك تعمل هذه السلاسل الجبلية بسفوحها المواجهة للبحر على رفع كميات التساقط عليها مقارنة بالمناطق التي تقع في وسط السهل مثل منطقة القرم ومنطقة الخوير. هذا الوضع الطبيعي يحصر المحافظة عموما بين الجبال التي تنحدر منها الأودية والبحر مما يرفع درجة خطورة كميات المياه العالية التي تصرفها الأودية التي تشق المنطقة السهلية.

وتوصف الأمطار الساقطة على السلطنة، باستثناء المناطق الجبلية، بعدم انتظامها وشحها. ورغم ذلك، فإن أهم ما يميز هذه الأمطار الشحيحة هو سقوطها المفاجئ وغزارة المياه التي تسقط عليها وأمدها الذي لا يتعدى كثيراً نصف الساعة وهوأمر يرفع كثيراً من مخاطر الفيضانات الفجائية السريعة (Flash Floods). وتسقط الأمطار على محافظة مسقط في أشهر الشتاء (ديسمبر، يناير، فبراير، مارس)، وتتفق غالبية الدراسات المناخية على أن سبب سقوط المطر في هذه الأشهر على المنطقة هو تأثرها بالمنخفاضات الجوية الشتوية من منطقة البحر المتوسط المتأثرة بالمرتفع الازوري على المحيط الأطلسي. والجدير بالذكر أن المحافظة لا تتلقي أمطارا صيفية إلا فيما ندر وإن حدث ذلك فإنها في الغالب تكون مصاحبة للأعاصير المدارية الصيفية والتي غالبا ما تسبب هطول

الأمطار الفجائية الغزيرة التي تسبب جريان الأودية بفيضانات تهدد حياة البشر والمنشآت كما حدث مع إعصاري جونو في ٢٠٠٧ وفيت في ٢٠١٠ (Saleh &. Al-Hatrushiy, 2009)، ويوضح الشكل رقم (٢) المتوسط الشهري للأمطار في محطة السيب، أقرب محطة لمنطقة الدراسة، خلال الفترة من ١٩٧٥ إلى ٢٠٠٧م.



شكل (٢) : المتوسط الشهري للأمطار في الفترة من ١٩٧٥ إلى ٢٠٠٧.

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادا على بيانات المديرية العامة للطيران المدني.

ب- شبكة الطرق في منطقة الدراسة :

بداية ينبغي الإشارة إلى أن عملية التنمية والتطوير في السلطنة لم تبدأ بصورة جادة إلا بعد عام ١٩٧٠ بعد تولي السلطان قابوس دفة الحكم في البلاد. والجدير بالذكر أن السلطنة قبل هذا التاريخ لم تشهد وسيلة نقل أكثر من القوافل التي يتنقل بها السكان ضمن أرجاء البلاد المترامية الأطراف (وزارة الإعلام، ١٩٩٥). لذلك، فقد كان على قمة أولويات المجهود التنموي الذي بدأ بعد سبعينيات القرن الماضي تطوير البنى التحتية وعلى رأس ذلك إنشاء شبكة من الطرق التي تلبي المتطلبات الأساسية لعملية التنمية. ولما كانت مسقط تشكل العاصمة فقد نالت معظم الاهتمام ليس فقط لربط أجزائها بعضها ببعض وإنما أيضا ربطها بباقي أجزاء السلطنة والدول المجاورة ليشكل ذلك نقطة الانطلاق للتنمية الاقتصادية والاجتماعية والثقافية. ونسبة لما للطرق من أهمية، فقد بُدئ في إنشائها على عجلة من الأمر. ويبدو أن الجهات التي أوكلت لها تلك المسئولية كانت بدورها أيضا

تحت ضغط الزمن المطلوب فيه انجاز العمل ولذلك لم تولي الأمر أكثر من تحقيق الجودة الهندسية للطرق دون وضع الاعتبار الكافي للوضع التضاريسي والجيومورفولوجي المعقد للمدينة في الاعتبار. ولقد ظلت مشاريع إنشاء الطرق في البداية تتبع لوزارة النقل والمواصلات إلا انه بمرور الوقت تبين أن طرق مسقط العاصمة لابد أن تتبع للجهة المناط بها تطوير المدينة. لذلك، ومنذ العام ١٩٨٦م، أصبحت بلدية مسقط هي الجهة المسئولة عن تنفيذ مشاريع الطرق داخل محافظة مسقط حسب ما أفادت به طفول اللواتيا مدير دائرة البحوث والدراسات الفنية ببلدية مسقط (اللواتيا، ٢٠١١) ولابد من الإشارة هنا إلى أن بلدية مسقط قامت بجهد ملحوظ في شق شبكة من الطرق الجيدة داخل مدينة معقدة التضاريس وشريطية الشكل وتحدها الجبال من جهة والبحر من الجهة الأخرى.

منهجية الدراسة :

اعتمدت منهجية الدراسة على استخلاص شبكة المجاري المائية من نموذجي الارتفاعات المكانية بدقة ٣٠ و ٥ متر ثم تحليل شبكة المجاري المائية في ولاية بوشر، وبصفة خاصة وادي الأنصب – الوادي الأهم في المنطقة – وإنتاج خريطة الطرق حسب مستوياتها المدرجة في دليل التخطيط العمراني العماني دليل التخطيط العمراني (٢٠٠٩)، ثم تمت دراسة العلاقة بين شبكة الطرق ومجاري الأودية في ولاية بوشر، وتحديد الآثار الناتجة عن فيضان الأودية على شبكة الطرق خصوصاً في المناطق التي تتقاطع فيها الأودية مع الطرق، وعلى الرغم من أن هذه الدراسة تركز أساساً على دراسة تأثيرات الأمطار وجريانها في الأودية وعلاقتها بشبكة الطرق فقط، إلا أنه لا يمكن إغفال أو تجاهل هذه التأثيرات على المناطق العمرانية، و لذلك تم دراسة أثر فيضان الأودية على المناطق العمرانية وإجراء دراسة مسحية على سكان إحدى المناطق السكنية للتعرف على أثر جريان الأودية على منازلهم والتعرف على مقترحاتهم للوقاية من مخاطرها تطبيقاً لمبدأ المشاركة الشعبية في عملية التخطيط، وقد تم الاعتماد على تقنيات نظم المعلومات الجغرافية GIS باستخدم برمجيات ArcGIS 9.2 لجمع وإدخال ومعالجة البيانات المكانية وتحليل المعلومات التي تم الحصول عليها من الدراسة وتقديم التوصيات اللازمة لصناع القرار والمخططين للتعامل مع هذه المشكلة، وفيما يلي عرض للمراحل التي مرت بها الدراسة :

أ- مرحلة جمع البيانات المكانية :

يوضح الجدول رقم (١) قائمة البيانات المكانية التي تم جمعها من أجل الدراسة.

جدول (١) : البيانات المكانية المستخدمة في الدراسة ونوعها.

البيانات	نوعها
شبكة الشوارع في ولاية بوشر	البيانات الخطية Vector Data
شبكة المجاري المائية في ولاية بوشر	البيانات الخطية Vector Data
المخطط العمراني لولاية بوشر	البيانات الخطية Vector Data
مخاطر الفيضانات في ولاية بوشر	البيانات الخطية Vector Data
نموذج الارتفاعات الرقمية ٣٠م	بيانات شبكية Raster Data
نموذج الارتفاعات الرقمية ٥ م	بيانات شبكية Raster Data
صورة فضائية IKONOS، ٢٠٠٧	بيانات شبكية Raster Data

ب- معالجة وتحليل البيانات المكانية :

- بعد إدخال كافة البيانات الخطية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية من خلال برنامج (ArcGIS 9.2). تطلبت البيانات بعض المعالجات مثل توحيد نظام الإحداثيات إلى WGS _ 1984 نطاق ٤٠ شمالا (Zone 40 N) على جميع البيانات تجنبا لأية مشاكل أثناء إجراء عمليات التحليل عليها.
- ونظرا لعدم توافر خريطة لشبكة لأودية منطقة الدراسة تتطابق مع الواقع، كان من اللازم إنتاج خريطة شبكة المجاري المائية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية حيث لم يكن ممكناً الاعتماد كلياً على الخريطة الطبوغرافية المتاحة (شكل ٣)، وإنما تم الاستعانة بها فقط في التعرف على الأودية وتحديدهم. ولذلك تم استخلاص شبكة المجاري المائية من نموذجي الارتفاعات المكانية بدقة ٣٠ و ٥ متر.
- تم إنتاج خريطة الطرق حسب مستوياتها المدرجة في دليل التخطيط العمراني العماني.
- تم إنتاج خريطة شبكة الطرق مع فيضانات ذات تكرار من ١-٥ سنوات في منطقة الدراسة.
- تم إنتاج خريطة مناطق تقاطعات الأودية مع الطرق في ولاية بوشر والمناطق المعرضة للفيضان.
- وبما أن تحديد مناطق تقاطعات الأودية مع الطرق من أهم ما تعتني به هذه الدراسة، فقد تم تحديد نقاط التقاطعات هذه ميدانيا وتوقيع إحداثياتها على الخرائط وإضافة خصائصها في جدول البيانات الوصفية Attribute table في قاعدة البيانات المكانية التي تم بناءها داخل برنامج Arc GIS 9.2 وربط كل منطقة تقاطع مع البيانات الخاصة بها. وتم تحديد مناطق التقاطعات.

- تم إنتاج خريطة تقاطع شبكة الطرق مع المجرى المائي لوادي الانصب (الوادي الأهم في منطقة الدراسة).
- تم دراسة أثر فيضان الأودية على المناطق العمرانية عن طريق إنتاج خريطة توضح العلاقة بين العمران والأودية في ولاية بوشر.
- تم إجراء دراسة مسحية على سكان إحدى المناطق السكنية للتعرف على أثر جريان الأودية على منازلهم والتعرف على مقترحاتهم للوقاية من مخاطرها تطبيقاً لمبدأ المشاركة الشعبية في عملية التخطيط.

ج- وضع التوصيات اللازمة لصناع القرار والمخططين للتعامل مع هذه المشكلة.

نتائج الدراسة :

١) تصنيف شبكة الطرق في منطقة الدراسة :

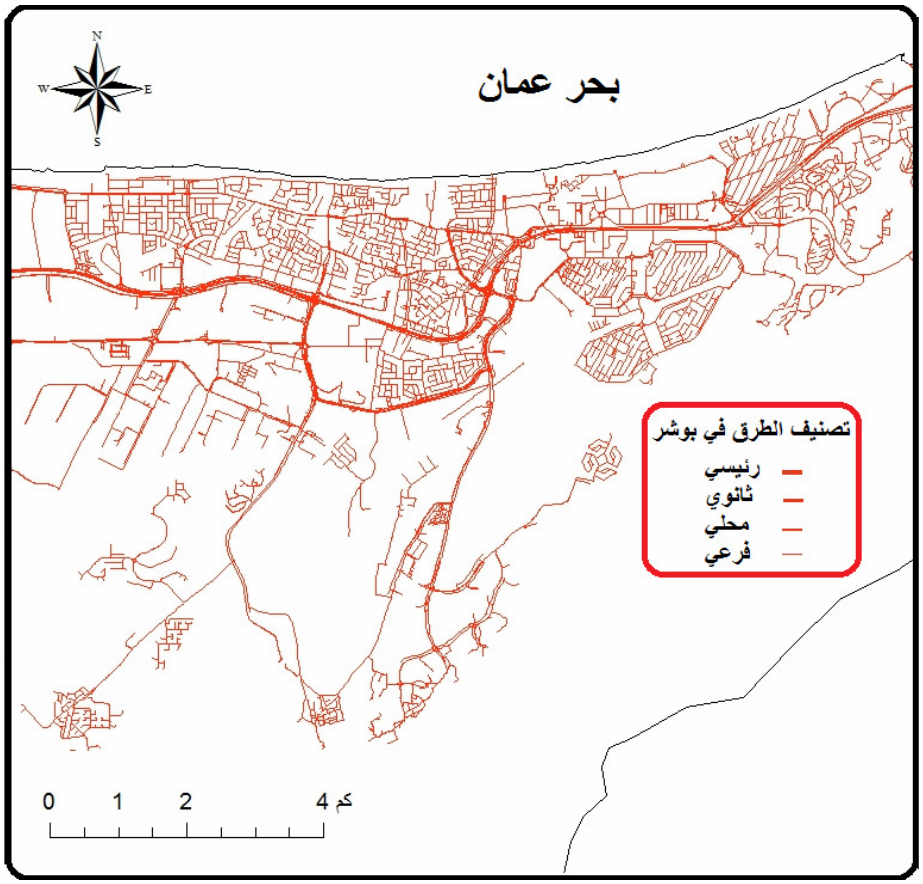
ورد في دليل التخطيط العمراني العماني تصنيف الشوارع ووظائفها والاحرامات، جدول (٢)

جدول (٢) : التسلسل الهرمي لشوارع المناطق الحضرية.

التسلسل الهرمي للشوارع	الوظيفـــــة	الإحرامات (م)
شوارع رئيسية	تربط المدن والأحياء الكبيرة بالشوارع الرئيسية.	٨٠ - ١٢٠
شوارع ثانوية	تـربـط الأحـيـاء والحارات بالشوارع الرئيسية.	٣٠ - ٥٠
شوارع محلية	توفر الوصول إلى الأملاك وتربطها بالشوارع الثانوية.	٢٠
شوارع فرعية	توفر الوصول إلى الأملاك.	١٢ - ١٥

المصدر: دليل التخطيط العمراني لسلطنة عمان، ٢٠٠٩.

وقد تم إنتاج خريطة رقم (٣) التي توضح التسلسل الهرمي لشوارع المناطق الحضرية في ولاية بوشر اعتمادا على بيانات الجدول السابق.



شكل (٣) : شبكة الطرق في ولاية بوشر ٢٠١٠.

المصدر: من إعداد الباحثين.

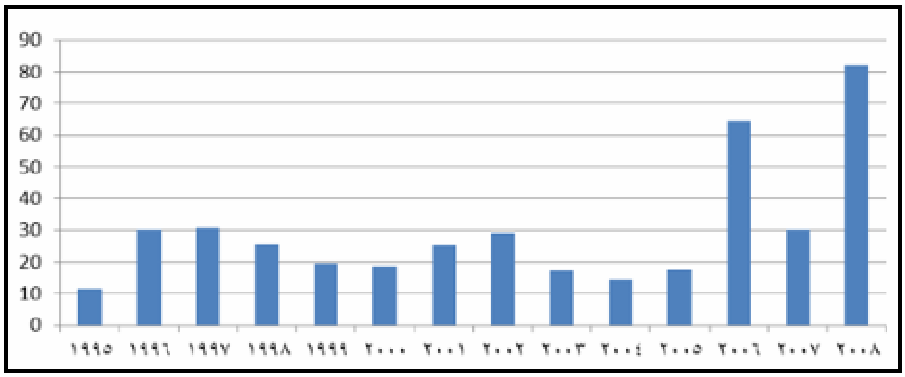
ويوضح الشكل السابق رقم (٣) خريطة الطرق المنتجة ببرنامج ArcGIS 9.2 الشوارع الرئيسية والثانوية والمحلية والفرعية في ولاية بوشر؛ حيث يوجد هناك شارع واحد (طريق) رئيسي يربط الولاية وباقي أجزاء محافظة مسقط وهو شارع السلطان قابوس الشهير في مسقط، ومنه تتفرع الشوارع الثانوية، ومنها تتفرع الشوارع المحلية ويقصد بها تلك التي تربط التجمعات السكنية بعضها ببعض. أما الشوارع الفرعية فهي تلك التي تمتد داخل التجمعات السكنية نفسها. ويوضح الجدول رقم (٣) أطوال الطرق في ولاية بوشر بأنواعها الأربعة.

جدول (٣) : أطوال الطرق بأنواعها في ولاية بوشر.

نوع الطريق	طول الطريق
طرق رئيسية	٩٦,٥٣ كم
طرق ثانوية	٤٧,٣٨ كم
طرق محلية	٥٢,١٢ كم
طرق فرعية	٢٢٨,١٢ كم
الإجمالي	٤٢٤,١٥ كم

المصدر: بلدية مسقط (أ)، ٢٠١٠.

تتضح الأهمية المتزايدة لشبكات الطرق من خلال استمرارية زيادة أطوالها خاصة في الفترة من العام ١٩٩٥ إلى ٢٠٠٨ وهو ما يشير إلى الدور الحكومي الفاعل في تنمية هذه الشبكة التي لم تكن موجودة قبل ٤٠ عاما. ويوضح الشكل رقم (٤) مقدار الإضافة في شبكة الطرق بالكيلومتر في ولاية بوشر فيما بين ١٩٩٥ و ٢٠٠٨.



شكل (٤) : مقدار الإضافة السنوية لشبكة الطرق في ولاية بوشر للفترة من ١٩٩٥-٢٠٠٨.

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادا على بيانات (بلدية مسقط (ب)، ٢٠١٠).

ومن الشكل نلاحظ تفاوت الزيادة في أطوال الطرق المضافة بين الارتفاع والانخفاض في عدد الكيلومترات سنويا. ويمثل العام ٢٠٠٨ أعلى زيادة في أطوال الطرق المضافة منذ عام ١٩٩٥، ويبرر ذلك حجم الأضرار الضخمة التي تعرضت لها الطرق في ولاية بوشر عقب الإعصار المداري "جونو" في عام ٢٠٠٧، مما أستلزم إعادة إنشاء عدد كبير من الطرق في الولاية.

٢) أودية منطقة الدراسة :

وقبل الحديث تفصيلا عن الأودية يجب أن نشير أولا إلى الحلول الهندسية التي يتم تبنيها للتعامل مع تقاطعات الأودية مع شبكات الطرق كما وردت في دليل تصميم الطرق العماني (٢٠٠٩) والتي تتمثل في ما يلي :

- **الجسور** Bridges : تقام عادة على الأودية الكبيرة ذات معدلات التصريف العالية حيث يتوقع أن يكون لها تأثير كبير على الطريق، مع الوضع في الاعتبار آن تكاليف إنشائها عالية، شكل (٥) يوضح جسر وادي عدي في مسقط.
- **المعابر الايرلندية** Irish Crossing : ينخفض فيها منسوب الشارع إلى مستوى قاع الوادي، لتعبر المياه أعلى الطريق، ويتميز بتكلفته المادية المنخفضة، شكل (٦) يوضح نموذج لمعبر إيرلندي في حالة الجفاف، وشكل (٧) يوضح معبر إيرلندي تمر عليه مياه الأمطار في مسقط.
- **عبارات صندوقية** Culverts : تحتوي هذه الجسور عادة على فتحات لعبور المياه توجد أسفل الطريق تتراوح أقطار فتحاتها من ١-٤م. شكل (٨) يوضح عبارات صندوقية في منطقة القرم – مسقط، وشكل (٩) يوضح عبارات صندوقية Culvert بعد سقوط الأمطار على شارع ١٨ نوفمبر

شكل (٥) : جسر وادي عدي.

المصدر: Sering, 2017.

شكل (٦) : نموذج لمعبر إيرلندي في حالة الجفاف.

شكل (٧) : معبر ايرلندي Irish Bridge في محافظة مسقط أثناء سقوط الأمطار.

المصدر: مركز رذاذ للأرصاد الجوية (٢٠١٠).

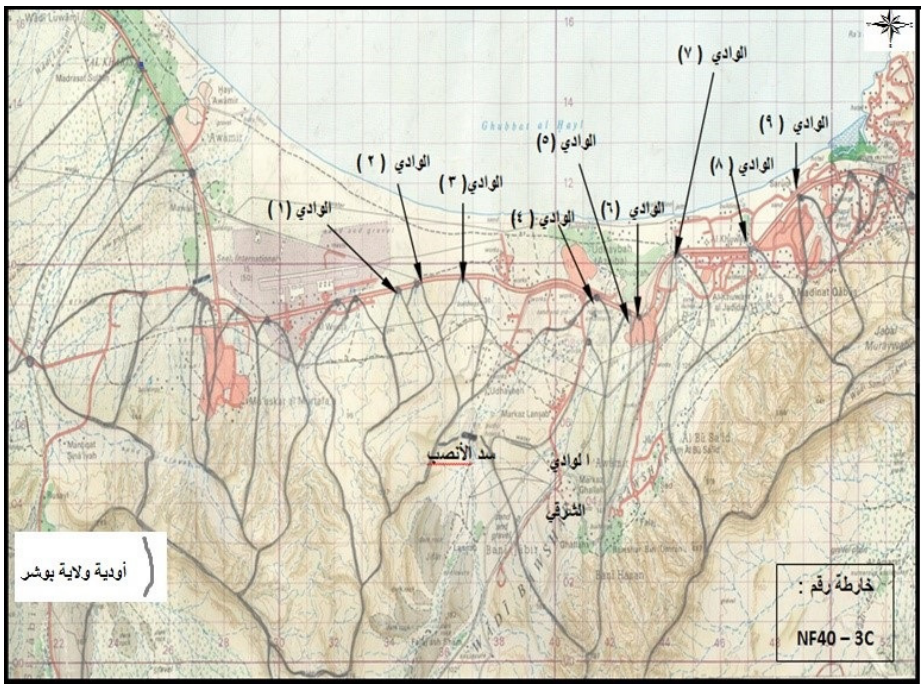
شكل (٨) : يوضح عبارات صندوقية مع جسر في منطقة القرم – مسقط.
المصدر: Batco, 2017.

شكل (٩) : يوضح عبارات صندوقية Culvert بعد سقوط الأمطار على شارع ١٨ نوفمبر.
المصدر: تصوير الباحثين.

أودية ولاية بوشر :

تنتمي الأودية في السلطنة إلى المجموعة التي يطلق عليها أودية الفيضانات الفجائية (Saleh & Al-Hatrushiy, 2009) وهي من نوع الأودية التي تنتشر بصورة خاصة في المناطق الجافة. وتتميز بسرعتها الشديدة لندرة ما يعترضها من حواجز طبيعية وانخفاض معدل البخر بسبب سرعة اختفائها واستمرار جريانها طوال فترات سقوط الأمطار، حيث تكون فيها حالة الجو لا تزال غائمة

مما يقلل من عملية البخر، كما يندر تسرب المياه لسرعة الجريان بسبب الانحدار القوي، وبما أن هذه الدراسة تهدف لتحديد العلاقات بين مجرى الوادي والطريق الذي يتقاطع معه فقد كان من اللازم بداية دراسة شبكة الأودية في منطقة الدراسة من حيث تحديد الموقع الجغرافي للمجاري الموجودة في منطقة الدراسة وقياس أطوالها. ومن أجل تحقيق ذلك، اعتمدت الدراسة في البداية على الخريطة الطوبوغرافية ذات مقياس الرسم ١ : ١٠٠,٠٠٠، حيث تم تحديد أهم الأودية التي تقع في ولاية بوشر وذلك بغرض تحديد الأودية التابعة للولاية ومواقعها واتجاهاتها. وبتحليل الخريطة الطبوغرافية للمنطقة تم استخراج تسعة أودية تنحدر من جبال الحجر الشرقي متجهة إلى بحر عمان ضمن ولاية بوشر من الناحية الإدارية (شكل ١٠).



شكل (١٠) : أودية ولاية بوشر.

المصدر: وزارة البلديات الإقليمية وموارد المياه، ٢٠٠٨.

بناءً على الخريطة الطبوغرافية، اتضح وجود ثلاثة أودية في المنطقة الواقعة بين العذيبة ومطار مسقط الدولي تجري من الجنوب إلى الشمال متقاطعة بذلك مع شارع السلطان قابوس وهي الأودية رقم (١ و٢ و٣) كما هو مبين في الشكل رقم (١٠). وتقطع هذه الأودية شارع المعارض

(طريق فرعي) من خلال عبارة صندوقية Culvert بأحجام مختلفة بالإضافة إلى معابر أيرلندية Irish Bridges، ثم تعبر شارع السلطان قابوس في مسيرتها نحو البحر دون المرور بمنشآت عمرانية عديدة لكون المنطقة تابعة في معظمها للجهات العسكرية.

ومن الملاحظ أن هذه الأودية لم يكن لها سابقا مجاري واضحة، إلا أنه الآن ومع التحديثات والتوسعات التي تتم في منطقة مطار مسقط الدولي فإنه يتم العمل حاليا على إنشاء قنوات وعبارات لتصريف مياه الأودية والمياه السطحية بطول ١٣ كم يصلها بالبحر (جريدة الوطن، ٢٠٠٩).

أما الوادي رقم (٤) فهو وادي الانصب. وكما يتضح من الخريطة فإن هذا الوادي يحتل موقعا متوسطا بين الأودية الأخرى في الولاية، ويجري الوادي رقم (٥) عبر طريق داخلي بين مجمع السلطان قابوس الرياضي في بوشر والمستشفى السلطاني من خلال معابر صندوقية ايرلندية Culvert ليتجه بعدها إلى المنطقة السكنية خلف المستشفى السلطاني.

من الملاحظ أن هذا الوادي وبسبب المنشات العمرانية المقامة عليه لا يوجد له حالياً مجرى محدد ويستدل عليه من العبارة الصندوقية التي تشير إلى أن المكان به مجري مائي. هذه المنشآت تسببت في اعتراض مسار تصريف الوادي بحيث كلما سقطت الأمطار وسال الوادي انتشرت المياه على الشوارع المحيطة وبين المباني لتصبح المنطقة بذلك معرضة لخطرغمرها بمياه الوادي وتجمع البرك المائية على الأراضي المنخفضة كلما سقطت الأمطار. وتتفاقم هذه المشكلة خاصة مع عدم وجود منافذ لتصريف المياه السطحية وغياب مجرى للوادي. النتيجة الحتمية لذلك هي غمر المنطقة بالمياه وتحول الطرقات إلى مجاري مائية بديلة تتبع مستويات الانحدار للشوارع وتفرعاتها داخل المناطق العمرانية المجاورة.

أما الوادي رقم (٦) فهو يجري عبر مجمع السلطان قابوس الرياضي في بوشر عبر طريق داخلي إلى المنطقة السكنية الواقعة أسفل المجمع الرياضي. هذا الوادي هو أيضا بدون مجرى واضح لوجود المباني والمنشآت العمرانية المنتشرة على امتداد المجرى. هذا الوضع يشبه إلى حد كبير وضع الوادي رقم (٧) الذي يقع إلى الغرب من الخوير ويمتد مجراه حتى شارع السلطان قابوس ومن ثم إلى الغبرة حيث تزداد كثافة المنشآت العمرانية بأنواعها المختلفة على جوانبه خاصة في الغبرة الجنوبية. ومما يدلل على الوضع الخطير في هذه المنطقة تعرضها للغمر تماما أثناء إعصار "جونو" في ٢٠٠٧، وإعصار "فيت" في ٢٠١٠.

يجري الوادي رقم (٨) عبر الخوير بمجرى واضح يمتد إلى شارع السلطان قابوس وقد خصص له في منطقة تقاطعه مع الطريق ثمانية عبارات صندوقية بحجم (٢ × ٢م) لكل معبر، ثم يستمر المجرى إلى شارع الوزارات ومنها لمصبه في البحر. وتتميز المنطقة القريبة من مصب هذا الوادي

بالإنخفاض الكبير كما يشير تجمع مياه الوادي وبقائها راكدة لفترات طويلة مما سمح بانتشار النباتات والأشجار عليها.

أما الوادي الأخير رقم (٩) فإنه يمر على مدينة السلطان قابوس عبر مجرى، أيضا، غير محدد، حيث تجري مياه الوادي عبر شارع السلطان قابوس خلال منطقة الصاروج ومنها عبر مجرى محدد وصولا إلى البحر. تجدر الإشارة إلى أن هذه المنطقة يكاد يمر عليها الحد الفاصل بين مسقط المنخفضة ومسقط المرتفعة ولذلك يتميز سطحها بالارتفاع الطفيف عن سطح البحر مقارنة بالمنطقة السهلية المجاورة لها.

ويوضح الجدول رقم (٤) أطوال أودية ولاية بوشر مع مساحات أحواض التصريف الخاصة بها، مع ملاحظة أن أرقام الأودية في الجدول مرتبطة بالشكل رقم (١٠)، حيث تم قياس اطوال المجاري المائية وحساب مساحات الأحواض ميدانيا من قبل وزارة البلديات الاقليمية وموارد المياه، وكان الغرض من استخدام هذا الجدول هو التعرف على خصائص الأودية في منطقة الدراسة و تحديد أهم الأودية الموجودة في المنطقة (وادي الانصب) حيث أنه يمثل أكبر مساحة حوض تصريف فضلا عن كونه أطول أودية الولاية.

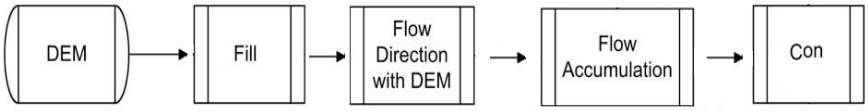
جدول (٤) : مساحة الأحواض وطول المجاري المائية لأودية ولاية بوشر.

رقم الوادي	مساحة الحوض (كم٢)	طول المجرى كم
الوادي ١	٢,٦٤	٣,٣٢
الوادي ٢	٦,٦١	٨,٣٥
الوادي 3	٣,٥٦	٣,٦١
الوادي٤*	١٤٢	٢٩،٥
الوادي ٥	٢,٦٣	٤,٥٢
الوادي ٦	٢,٢٩	٤,٨٢
الوادي ٧	٢٣,١٠	١٣,٧٠
الوادي٨	٢٣,٩٦	١١,٧٠
الوادي٩	٥,٥٤	٥,٤٠

*ملاحظة : الوادي رقم (٤) عبارة عن التقاء واديان هما وادي الانصب والوادي الشرقي ولقد تم حساب مساحة كل منهما قبل نقطة التقائهما أعلى الجامع الأكبر.

المصدر: وزارة البلديات الإقليمية وموارد المياه ٢٠٠٥.

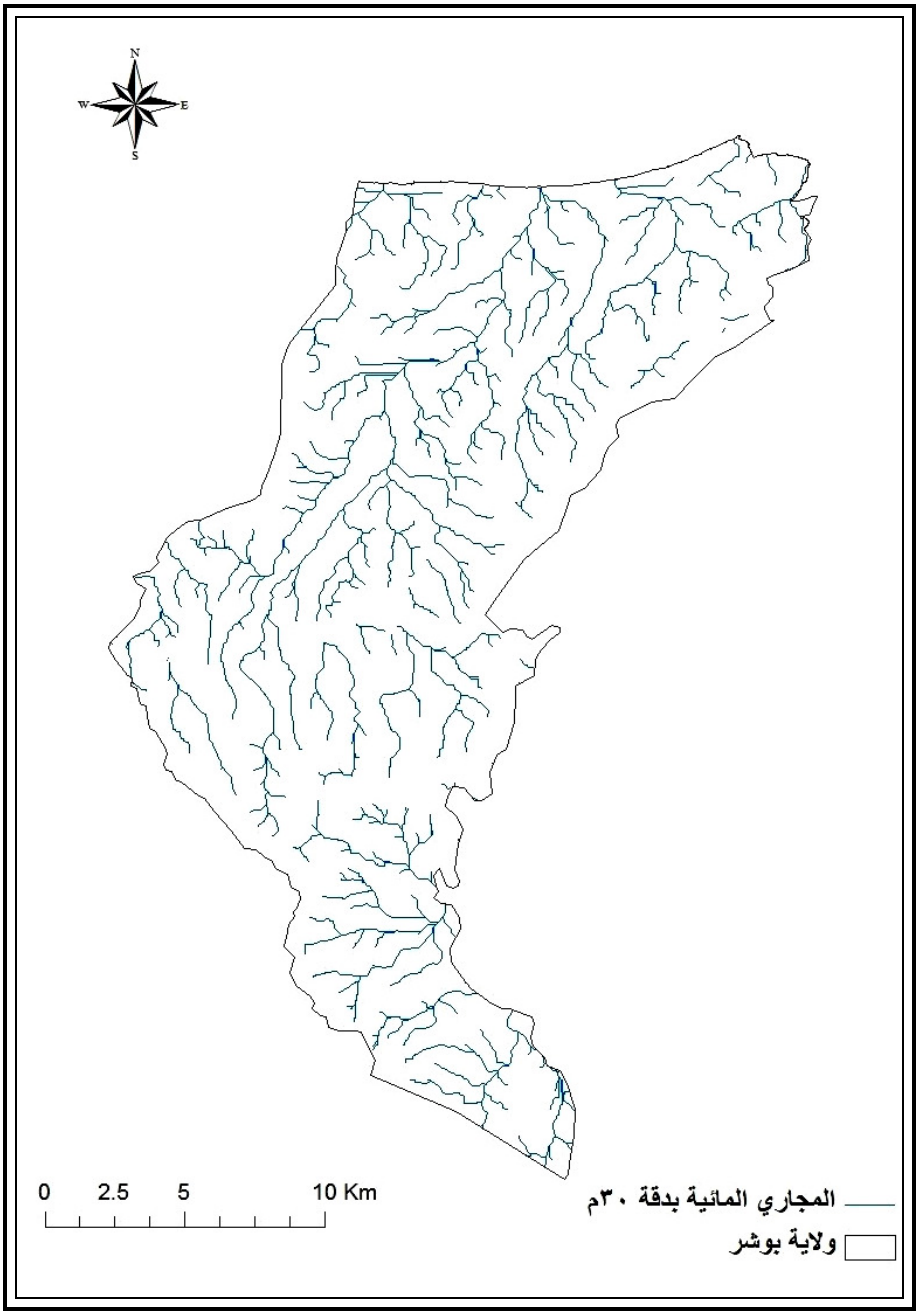
بعد مقارنة ما ورد في الخريطة الطبوغرافية مع الواقع من خلال الزيارات الميدانية تبين أنها مطابقة للواقع لكن يؤخذ عليها انقطاع في مسارات بعض مجاري الأودية في الولاية. ومن أجل الحصول على نتائج أفضل، تم اللجوء لمصدر آخر أكثر دقه ومصداقية في إنتاج شبكة المجاري المائية وهو نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) والذي يعتمد عليه اليوم في العديد من الدراسات، ذلك لأنه يوفر خرائط دقة مكانية عالية تساهم بقدر كبير في تحقيق الأهداف المرجوة من التطبيقات التي تجرى عليه خاصة التطبيقات الهيدرولوجية، (Li & Wong, 2009) في هذا الصدد تم استخدم نموذجين بدقة مكانية تبلغ ٣٠ متر و ٥ متر. وذلك لاستخراج شبكة المجاري المائية وحوض التصريف وخط تقسيم المياه، وتم استخلاص شبكة المجاري المائية بالخطوات الواردة في الشكل رقم (١١).



شكل (١١) : خطوات إستخلاص شبكة المجاري المائية من نموذج الارتفاع الرقميDEM.

وبمقارنة شبكة التصريف المنتجة من النموذجين، اتضح الفرق الكبير في مستوى التفاصيل التي أمكن الحصول عليها في الشكلين (١٢) و (١٣) في شبكة المجاري المائية التي تقع ضمن ولاية بوشر بما فيها وادي الانصب، وتبين بالمقارنة بين الخريطتين السابقتين بأن شبكة المجاري المائية المستخرجة من النموذج ذو دقة (٥ متر) هي الأفضل حيث تظهر تفاصيل المجرى المائي بجميع روافدها وتفرعاتها، بينما الآخرى التي أنتجت من نموذج الارتفاع دقة (٣٠ متر)، تبين أنه لا يمكن الاعتماد عليها في الدراسة لأنها يظهر بعض الأودية متقطعة وغير كاملة كما أنها لا تتطابق مع الواقع خاصة في المناطق السهلية القريبة من مستوى سطح البحر، ولذلك تم اعتماد شبكة المجاري المائية التي تم استخلاصها من نموذج الارتفاعات المكانية ذات درجة الوضوح ٥م.

ومن خلال جدول رقم (٤) الذي يوضح مساحة الأحواض وطول المجاري المائية لأودية ولاية بوشر، يتبين أن الوادي رقم ٤ (وادي الأنصب) هو الوادي الأهم في منطقة الدراسة بالنظر لمساحة حوضه وطول مجراه، ولذلك سيتم التركيز على دراسته تفصيلاً فيما يلي.



شكل (١٢) : شبكة المجاري المائية لولاية بوشر، بدقة مكانية ٣٠م.

المصدر: من إعداد الباحثين.

شكل (١٣) : شبكة المجاري المائية لولاية بوشر، بدقة مكانية ٥م.

المصدر: من إعداد الباحثين.

أ- الخصائص المورفومترية لوادي الانصب :

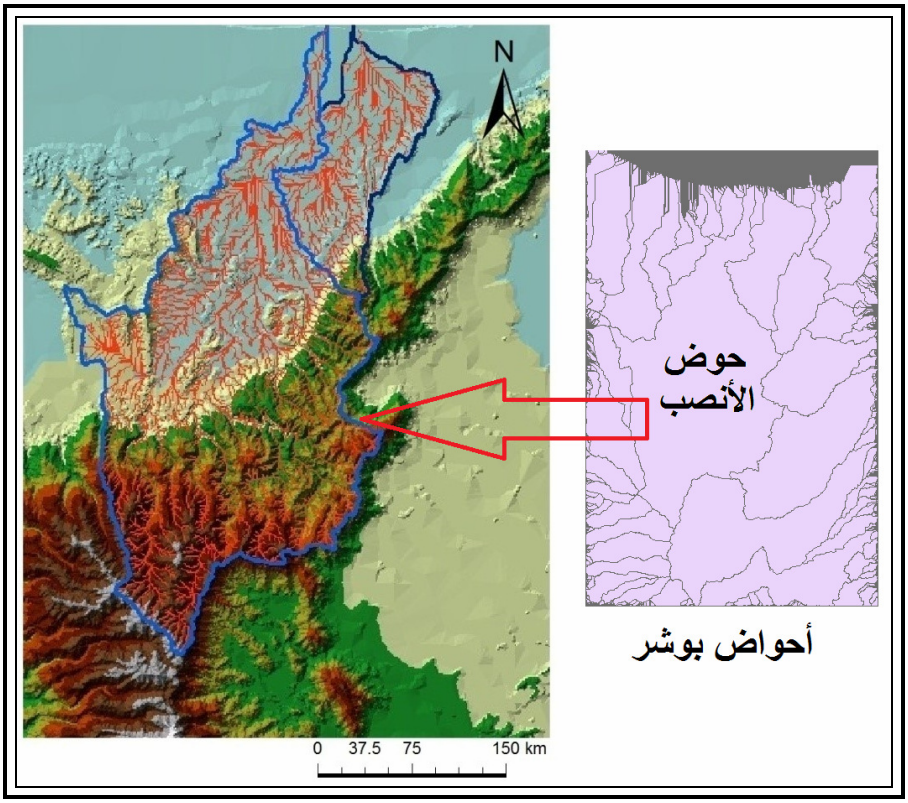
ينبع وادي الانصب والموضح بالرقم (٤) على الشكل رقم (١٠) من جبال الحجر الشرقي ويصب في بحر عُمان وهو يعد أحد أهم الأودية في محافظة مسقط إذ تبلغ مساحة مستجمعه المائي حوالي ١٤٢كم٢ تقريباً حتى السد، ومجرى مائي بطول ٣٠كم تقريبا (وزارة البلديات الإقليمية وموارد المياه (أ)، ٢٠٠٥). وتم اختيار هذا الوادي كحالة دراسية دونا عن بقية أودية الولاية لأنه الوادي الأكبر من حيث مساحة حوضه المائي والأطول من حيث طول المجرى الجدول رقم (٤)، وبناء على ذلك فإن كميات التدفق المتوقعة له خلال فترات التكرار المختلفة تكون الأعلى بين أودية الولاية وبالتالي الأكثر خطورة، جدول رقم (٥)، كما إنه يتوسط الولاية ويتقاطع مع طرق المنطقة في تسعة نقاط معظمها تقع على مراكز حيوية، وينبع وادي الانصب من جبال الحجر الشرقي بعد قرية الانصب عبر مجرى يصل إلى طريق المستشفى السلطاني بواسطة جسر مكون من فتحتين (٢ × ١٠م) ليمر بعدها بالعديد من المنشآت الحيوية على مستوى الولاية ومستوى السلطنة مثل جامع السلطان قابوس الأكبر (اكبر مساجد السلطنة) حيث يلتقي بالوادي الشرقي (سمي بالوادي الشرقي لأنه يجري من شرق وادي الانصب ويلتقي به غرب جامع السلطان قابوس الأكبر وتبلغ مساحة الوادي الشرقي حتى نقطة التقائه بوادي الانصب ١٧,٩٣ كم٢) (وزارة البلديات الإقليمية وموارد المياه (ب)، ٢٠٠٥).

ويجري وادي الانصب الناتج عن التقاء الواديين على مجرى عريض ينخفض من مستوى ارتفاع المنطقة، ويعبر ٣٤ فتحة أسفل شارع ثانوي حجم كل واحدة منها (٥,١ × ٥,١ متر) ليستمر المجرى بعدها في مسيرته حتى يصل إلي جسر آخر له فتحتان حجم الواحدة منها (٢ × ١٠م) ليصل إلى تحت الشارع العام ومن ثم عبر ٣٤ فتحة صندوقية حجم الواحدة منها (٥,١ × ٥,١ متر) إلى الطريق الداخلي وبعد ذلك يعبر منطقة الغبرة شاقاً مجراه عبر المساكن التي تتكدس مباشرة على ضفتيه وتستمر مناطق التقاطع بين الطريق و وادي الانصب وصولا إلى شارع ١٨ نوفمبر وشارع وادي العذيبة، حيث يعبرهما الوادي بعد أن يكون قطع معبر ايرلندي بينهما وجسر الضيافة وهو جسر عند منطقة المصب لا يزال قيد الإنشاء بعد الدمار الذي لحق بالطريق القديم أثناء إعصار جونو.

ب- حوض تصريف وادي الانصب :

يشكل حوض التصريف النهري مساحة اليابس التي تغذي أقنية أو أودية محددة بالماء اللازم لجريانها (سلامة، ٢٠١٠). تبلغ مساحة حوض التصريف المائي لوادي الانصب ١٤٨ كم٢ حسب نتائج التحليل المستخلصة من برنامج ArcGIS 9.2 وهذا يختلف قليلا عن البيانات التي وردت

في الجدول رقم (٤) لاختلاف مصادرها، إلا أنها تظل متقاربة من بعضها. وبصورة عامة يميل شكل الحوض للشكل البيضاوي وهي خاصية تساعد عادة على تكون فيضان قوي ومرتفع، ذلك لأن كل الروافد تتجه نحو المجرى الرئيس لتغذيه بالمياه مما يزيد من قوة الدفع المائي (محسوب، ١٩٩٦)، ويظهر من الشكل (١٤) أن حوض التصريف المائي لوادي الانصب هو الأكبر مساحة بين الأحواض الأخرى. بالإضافة إلى ذلك يعد حوض الانصب من المناطق الحيوية في العاصمة مسقط إذ تقوم علي جانبيه العديد من الإنشاءات التي تطلب الربط بينها وبين أجزاء المدينة الأخرى إقامة العديد من الجسور، الأمر الذي كان له أثر كبير على استمرارية الوادي (stream continuity).



شكل (١٤) : أحواض التصريف المائي في ولاية بوشر،
مع تحديد حوض التصريف المائي لوادي الانصب.

المصدر: من إعداد الباحثين.

وبناء على مساحة الأحواض المائية للأودية وخصائصها الأخرى يتم حساب القيم القصوى لتدفق الفيضانات، وذلك ضمن تكرارات مختلفة، ويتضح من الجدول (٥) قيم التدفق لأودية ولاية بوشر والتي سبق وأن أشير لها في الخريطة الطبوغرافية السابقة، حيث نجد أن وادي الانصب هو الأعلى في قيم التدفق ،حيث يظهر بأن تكرارات ١٠٠سنة تصل إلى معدل كبير جدا يبلغ ١٥٠٦م^{3}/ث، وبالرغم من أن هذا الجدول بني على قيم افتراضية إلا أنه ليس ببعيد عن الواقع حيث انه يعتمد في مقاربة نتائجه على نتائج محطات الأودية، وغالبا ما يعتمد على هذا الجدول في التقارير المقدمة إلى المختصين عن الطرق قبل البدء في تنفيذ أي طريق.

جدول (٥) : قيم التدفق القصوى للفيضانات لأودية ولاية بوشر.

الوادي	المساحة (كم٢)	كميات التدفق القصوى لفترات التكرار المختلفة – م٣/ث				
		Qmaf	٥ سنوات	١٠ سنوات	٢٠ سنة	٥٠ سنة	١٠٠ سنة
الوادي رقم (1)	٢,٦٤		١٦	٢٠	٢٥	٣٥	٥١
الوادي رقم (2)	٧,١٦		٢٧	٣٢	٤١	٥٨	٨٤
الوادي رقم (3)	٣,٥٦		١٩	٢٣	٢٨	٤٠	٥٩
الوادي رقم (4) وادي الأنصب الوادي الشرقي	١٤٢	٢٥٥	٤٨٥	٧١٥	٩٧٠	١٢٧٧	١٥٠٦
الوادي رقم (5)	٢,٦٣		١٤	١٧	٢١	٣٠	٤٣
الوادي رقم (6)	٢,٢٩		١٢	١٥	١٨	٢٦	٣٨
الوادي رقم (7)	٢٣,١٠	٦٩	١٣١	١٩٢	٢٦١	٣٤٤	٤٠٦
الوادي رقم (8)	٢٣,٩٦	٧٢	١٣٦	٢٠٠	٢٧٢	٣٥٨	٤٢٢
الوادي رقم (9)	٥,٥٤		٣٤	٤٢	٥٢	٧٤	١٠٧

Qmaf = متوسط التدفق السنوي للأودية.

المصدر: وزارة البلديات الاقليمية وموارد المياه، (أ) (٢٠٠٥).

لقد اتضح من الزيارات الميدانية لمنطقة الدراسة ودراسة البيانات المتوفرة عن أهم المجاري المائية بولاية بوشر إن هذه الولاية تأتي في المرتبة الثانية بعد ولاية السيب من حيث التأثير المتبادل بين البنية الأساسية و المجاري المائية ذلك لأن معظم الطرق والمنشآت والمناطق السكنية في الولاية مبنية أما على المجرى نفسه أو على ضفافه، وفي أحسن الحالات،

ليس بعيداً عنه مما يجعلها عرضة للتأثر بغمر المياه في أي وقت يرتفع فيه تصريف الأودية أو الروافد التابعة له. إن التوسع العمراني في هذه الولاية تمثل بشكل واضح في المنطقة أسفل سد الانصب، حيث تم تضييق المجرى الرئيسي لوادي الانصب ببناء الشركات والمخازن والمباني السكنية الأخرى على مجراه بحيث تم تحويله إلى قناة أخرى باتجاه الشرق. كما تم التعرض لمجراه في منطقة غلا والعذيبة والغبرة، مما جعل من المنطقة منطقة خطر عند حدوث أي فيضانات متوسطة أو كبيرة ومن المتوقع أن يزداد الأمر سوءاً كلما ازداد البناء ومد شبكة الطرق على مساحات اكبر على مجرى الوادي والذي يبدو أنه عملية شبه مستمرة، ولا شك أن ذلك سوف يؤدي إلى نتائج وخيمة . ولهذا فإن الوضع الحالي يستوجب توفير الحماية الكافية للمنشآت والمباني السكنية القائمة على مجرى وادي الانصب والأودية الأخرى التي تمر في ولاية بوشر.

العلاقة بين شبكة الطرق ومجاري الأودية في ولاية بوشر :

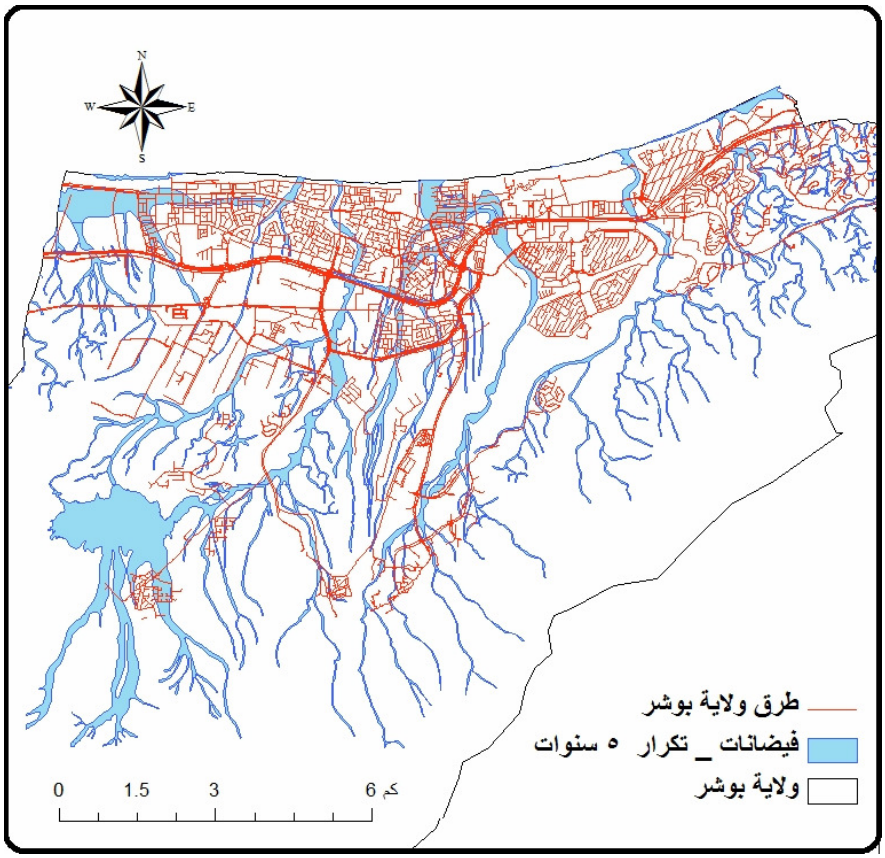
أشار عبدالسلام (٢٠٠٠) إلى وجود ثلاثة أشكال رئيسة للكيفية التي يلتقي فيها المجرى المائي مع الطريق في السلطنة وهي على النحو الآتي :

- عمودي أو مائل، وهو النوع الأكثر انتشاراً في بوشر.
- موازاة الطريق للمجرى المائي.
- عبور الطريق بانحدار نحو صحن الوادي (المعبر الايرلندي).

ومهما يكن من أمر هذا التصنيف، فإن هذه الدراسة تركز بصورة رئيسية على النوع الأول من هذه التقاطعات وهو النوع الذي يتقاطع فيه الطريق مع المجرى. ويشكل تقاطع الطريق مع مجري الوادي مشكلة تحتاج في العادة إلى معالجات هندسية واعية بالخصائص الجيومورفولوجية للمنطقة وسلوكيات المياه بهدف توفير انسيابية الحركة والنقل خاصة في المناطق الحضرية. وينطبق هذا بصورة واضحة على مسقط التي تشكل في واقع الأمر، مثالاً فريداً للصعوبات التضاريسية والجيومورفولوجية التي ينبغي على المهندسين عدم تجاهلها عند مد الطرق في داخل المدينة. فكثرة المجاري المائية الواضحة للعيان أو تلك التي لا تتضح مواضعها واتجاهات جريانها إلا عندما تنزل الأمطار وبالإضافة إلى المنحدرات الفيضية، على ضعفها، تشكل تحديات هندسية تتطلب النظر إليها ليس من زاوية هندسية فحسب وإنما من عدد من الزوايا الأخرى ذات الصبغة الايكولوجية والجيومورفولوجية والبشرية والاقتصادية وحتى السيكولوجية باعتبار التأثير النفسي السلبي على المواطن عندما يصبح سقوط الأمطار أحد مهددات حياته.

ولتحديد هذه التقاطعات في ولاية بوشر تم إنشاء خريطة تجمع بين طبقة الفيضانات بتكرار من ١-٥ سنوات التي قامت بها وزارة موارد البلديات الإقليمية وموارد المياه بهدف تحديد احتمالات مخاطر الفيضانات. وتعرف الأودية الأكثر خطورة بأنها التي تتعرض المنطقة لجريانها ما بين سنة إلى خمس سنوات (اللجنة العليا لتخطيط المدن، ٢٠٠٩) مع طبقة الطرق والتي تشمل جميع فئات الطرق الحالية في الولاية في ولاية بوشر. وقد تبين من شكل (١٥) ما يلي :

- وجود عدد كبير من الأودية في الولاية.
- هناك شبكة طرق كثيفة تتركز على المنطقة السهلية الضيقة للولاية.
- يحيط العمران والمنشآت إحاطة شبه تامة بالمجرى المائي
- تقاطع جميع المجاري المائية مع شبكات الطرق بصورة شبه عمودية.



شكل (١٥) : شبكة الطرق مع فيضانات ذات تكرار من ١-٥ سنوات في ولاية بوشر.

المصدر: من إعداد الباحثين.

إن تقاطعات الطرق مع الكثير من الأودية في مسقط يتم تجاوزها هندسياً عن طريق بناء الجسور التي تمر فوق الوادي أو العبارات الصندوقية (culverts) أو المعابر الايرلندية التي تنحدر نحو صحن الوادي. وتشكل مثل هذه الإنشاءات الهندسية عند تقاطع الطريق مع الوادي في العادة أحد الحلقات الضعيفة في البنية الهيدروجيومورفولوجية الموجودة في المنطقة. فالجسور لها تأثيرات محلية حيث يؤدي بناؤها إلى تضييق المجرى الذي يقع تحتها مما يؤدي إلى حصر التصريف في حيز محدد عادة ما يكون أضيق من المجرى المائي الطبيعي للوادي، الأمر الذي يقود في النهاية إلى رفع كفاءة المجرى (Efficiency) وبالتالي قدرة المياه على النحر (Sparks, 1972). بالإضافة إلى ذلك، فإن المعابر تحت الجسر قد تكون في بداية إنشائها كافية لمرور التصريف، لكن بمرور الزمن تتراكم عليها النفايات التي تعترض مسار التصريف فيحدث في مثل هذه الحالة حجز للمياه يتولد عنه ضغط كبير على ضفاف المجرى تتقوض Undercutting معها الضفاف فتتراجع إلى الخلف متسببة من خلال هذه العملية في توسيع المجرى. وتشكل هذه العملية واحدة من تهديدات التدخلات الهندسية في المجاري المائية على البنية الأساسية.

أما في حالة العبارات الصندوقية، فإن نقاط التقائها تتميز بنشاط النحر على جانبها المواجه لاتجاه التيار وربما الإرساب على الجانب الآخر شكل (١٦) والتي تظهر الجسر الواقع على شارع السلطان قابوس والتي تمثل منطقة التقاطع الرابعة التي تقع على مجرى وادي الانصب، تتتبع الخطوط البيضاء في الصورة مستوى النحر الذي حدث بفعل إعاقة الاستمرارية الطبيعية للوادي.

وكنتيجة طبيعية لتركز جريان مياه الوادي على جانب واحد من العبارة فقد حدث أن تعرض للنحر وصولا إلى مستوى قاعدة الأساس كما يظهر ذلك واضحا من الصورة شكل (١٧) لنفس منطقة التقاطع الرابعة الواقعة على جسر شارع السلطان قابوس، لكن مهما يكن من أمر، فإن هذه المعابر تكون دائماً عرضة لأن تتراكم عليها الرواسب التي تحملها المياه العابرة لها مما يتسبب في كثير من الأحيان في إعاقة حركة النقل عليها بعد انحسار المياه. بالإضافة، فإن التحسينات الهندسية و المراجعات التي تدخل على هذه العبارات لاحقاً تؤدي في أحيان كثيرة إلى انتشار الماء من المجرى ليغمر المناطق المجاورة.

إن الدول المتقدمة قد أدركت منذ زمن بعيد أن الطرق، خاصة تلك التي تخدم المناطق الحضرية، يمكن أن تستخدم في تصريف مياه الأمطار التي تتجمع من الأسطح غير المنفذة. ولتحقيق هذا الدور المزدوج للطرق يحرص التخطيط الهندسي على إجراء المسوحات الجيومورفولوجية الدقيقة للمجال وذلك لتفادي غمر المياه للمنشآت والأحياء السكنية و لضمان تصريف المياه حتى لا تعيق انسياب حركة النقل داخل المدينة. يتم هذا عادة من خلال، أولاً، مسح الطريق مسحاً جيداً بناءً على المعطيات الجيومورفولوجية وانحدارات السطح بحيث تنساب المياه على الطريق دون أن تتجمع

وثانياً، عمل مصارف على النقاط التي يمكن أن تتجمع فيها المياه على الطريق نفسه يطلق عليها هندسياً اسم Manhole لتصريف هذه المياه إلى ما تحت السطح ليتم تجمعيها هناك عبر شبكة واسعة من الأنفاق أو الأنابيب إلى محطات متخصصة ويقوم على صيانتها مجموعة من العمال الدائمين لضمان انسياب المياه السطحية إليها وتنظيف هذه المياه من الشوائب العالقة عليها ليتم بعد ذلك توجيهها إلى مراكز تجمع المياه العادمة في المدينة. وعلى ما يبدو، فإن هذا الإجراء قد يكون مكلفاً بعض الشيء لكن ضروراته قد تتفوق على تكلفته المادية في مدينة تسعى لأن تكون عصرية. نتيجة لذلك فقد نشأ داخل العلوم الهندسية تخصص يعتني بهذه المسائل أطلق عليه الجيومورفولوجيا الهندسية (Engineering Geomorphology) (Fookes, et al., 2007).

شكل (١٦) : مستوى النحر كما تبينه قواعد الجسر.

المصدر: تصوير الباحثين.

شكل (١٧) : انكشاف طبقة الأساس على الجانب الذي تعرض للنحر.

المصدر: تصوير الباحثين.

إن أوجه التشابه بين شبكة الأنهار وشبكة الطرق في المناطق الحضرية ليس ببعيد. فكما تنقسم شبكة حوض نهري معين إلى مجاري رئيسة ومجموعة روافد (Tributaries) وفروع (Distributaries) ومصب، وتتشابه شبكة الطرق في المدينة بطرقها الرئيسية والفرعية مع شبكات التصريف النهري. إن مهندسي الطرق في المدينة يضعون في العادة هذا التشابه في الاعتبار ولذلك يحرصون بقدر الإمكان أن تكون الطرق الفرعية التي تلتقي بالطرق الرئيسية ذات انحدار يسمح فعلاً بتحريك المياه كما هو الحال في روافد النهر، ورغم بساطة هذه الفكرة، فإنه من الواضح أن القائمين على تخطيط و تنفيذ شبكة الطرق في مسقط لم يعيروها ما يكفي من الاعتبار و يدلل على ذلك العديد من الملاحظات التي تشمل ما يلي :

- لا توجد في الطرق، إلا نادراً، أنظمة تصرف مياه المباني المجاورة للطرق عندما تسقط الأمطار.
- يقام الطريق بدون مسارب بعض الأحيان وبصورة تعترض مجرى خامل لا تجري فيه المياه إلا إذا كانت معدلاتها عالية.

انطلاقاً من هذا المنظور العام، سعت الدراسة أولا إلى تحديد الأجزاء من شبكة المجاري المائية في ولاية بوشر التي يتقاطع فيها الطريق مع الوادي والتي تتمثل فيها قابلية الطريق للتحول لمجرى مائي عند سقوط الأمطار. لتحقيق ذلك، اعتمدت الدراسة على البيانات السابقة الموضحة في

الشكل (١٩) بالإضافة إلى رصد الأحوال ميدانياً في أوقات سقوط الأمطار وبصفة خاصة أثناء إعصار فيت Phet في ٢٠١٠، من خلال ذلك، تبين أن هناك أجزاء من الشوارع، خاصة في منطقة الغبرة، تكون مغمورة تماماً بالمياه وتتحول عملياً لتصبح أشبه بالأودية، وذلك لعدم وجود أنظمة تصريف للمياه السطحية على الطرقات. وقد تبين من الزيارات الميدانية للمنطقة سبب ذلك أن المنشآت والمباني والطرق قد قامت على موضع لمجرى مائي قديم وغير نشط كما هو الحال في مجاري المراوح الفيضية.

فمن الناحية الجيومورفولوجية تظل مثل هذه المجاري خاملة حتى حدوث دفعة قوية من التصريف تؤدي إلى تنشيطها فتغمر، عندئذ، الشوارع والمساكن كما هو واضح في الشكل رقم (١٨) التي توضح قوة تدفق مياه الوادي على الشوارع وبين المساكن.

شكل (١٨) : الشارع يتحول إلى مجرى مائي بين المناطق السكنية.

المصدر: مركز رذاذ للأرصاد الجوية، ٢٠١٠.

وقد أفاد الشكيلي (٢٠١٠) مدير دائرة التصميم المديرية العامة للطرق والنقل البري بوزارة النقل والمواصلات بأن الطريق في مثل هذه الحالة تتحول وظيفته إلى وظيفة جيومورفولوجية حيث يقوم بدورالمجرى المائي، وتتكرر هذه الظاهرة في العديد من المواضع الأخرى في منطقة الدراسة بعد سقوط الأمطار. ونظرا لقرب البحر من المنطقة تنشأ مشكلة أخرى وهي ارتداد مياه البحر بسبب المد العالي الذي يحدث أثناء الأعاصير المدارية. وكان ذلك جليا في إعصار "جونو٢٠٠٧م"، الذي سجل أعلى كمية هطول للأمطار بلغت حوالي ٦١٠ ملم في حين أن المتوسط السنوي لا يتجاوز ٥٨ ملم، والعاصفة المدارية "فيت" ٢٠١٠م والتي بلغ مجمل التساقط أثناءها ٦٠٣ ملم (AZAZ, 2010).

وتشهد محافظة مسقط بعد سقوط الأمطار ارتفاع ملحوظ في الحوادث المرورية التي تتسبب فيها تجمعات البرك المائية في عرض الشوارع الرئيسة التي ليس لها نظام تصريف سطحي فاعل، مما يؤدي إلى أضرار جسيمة على المنشآت. وهذا في حد ذاته مؤشر على أن التخطيط لم يراع مسارات الأودية بشكل دقيق. وهناك علاقة بين زيادة معدلات الحوادث المرورية وسقوط الأمطار (Edwards, 1996). ففي العام ٢٠٠٨ تسببت الأمطار في ٣٦ حادث مروري في السلطنة نتج عنها وفاة شخصين ٨٤ مصابا (الإدارة العامة للمرور، ٢٠٠٩) هذا بالإضافة إلى حالات الغرق في مياه الفيضانات كون معظم الطرق تتقاطع مع مسارات الأودية، وكونها غير مهيأة بنظام مناسب لتصريف المياه. وبما أن السيارات هي وسيلة النقل الوحيدة داخل مسقط فإن هذا الأمر يؤدي غالبا إلى تعطل الحياة والأعمال والمدارس في المنطقة، رغم أن فترة التساقط متقطعة قد لا تتجاوز ٥-١٠ دقائق إلى نصف الساعة.

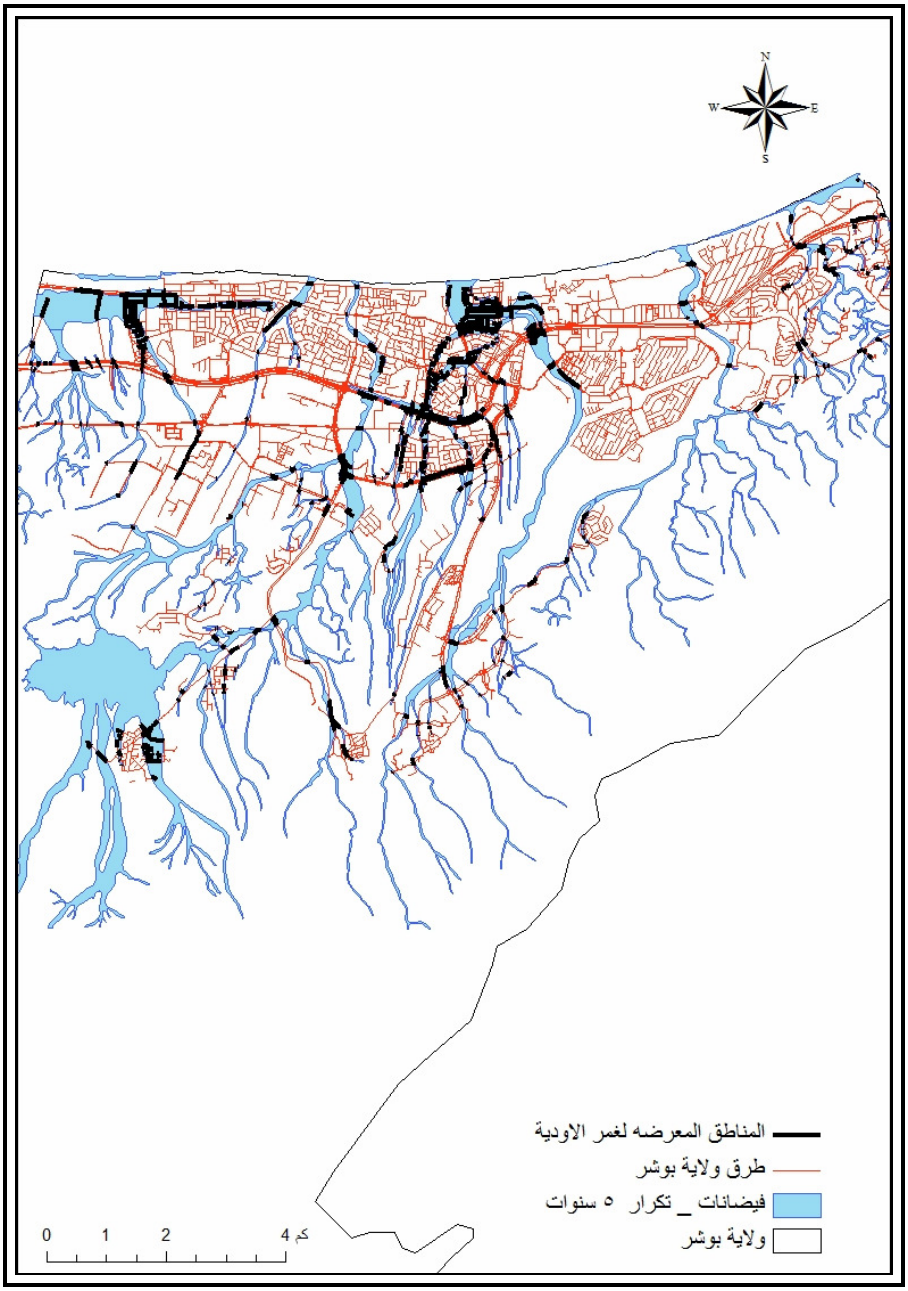
ولتوضيح أكبر لأثر الأنشطة البشرية على مجاري الأودية تم تحديد التأثير البشري على المجرى المائي بتقاطعه مع الطريق والمنشآت السكنية على النحو الآتي :

- الأودية التي لها مجاري مائية واضحة تظهر متقاطعة بزاوية شبة قائمة مع الطريق وذلك لسهولة ووضوح التعامل معها هندسياً.
- الأودية التي اختفت معالم مجاريها المائية أو انطمرت بفعل احتلال الأنشطة البشرية لمجاريها المائية تكون اتجاهاتها موازية للطريق ذلك لان الطريق يشكل عائقاً أمام استمراريتها.
- الطرق داخل المناطق المعمورة تتحول في العادة عند سقوط الأمطار إلى مصارف سطحية للمياه وذلك لانخفاض مستواها عن مستوى المنازل.

بالنظر إلى الشكل رقم (١٩)، تظهر المناطق المعرضة للغمر بفعل أودية ولاية بوشر باللون الأسود، ومنها يمكن أن يستدل أن المنطقة المعرضة لخطر غمر مياه الأودية ضمن تكرارات الأودية لخمس سنوات هي الغبره وغيرها من مناطق الولاية.

مما سبق يتبين أن إنشاء الطرق الحديثة في الولاية قد كان له تأثير سلبي على المجاري المائية المتقاطعة معها. هذه التأثيرات السلبية يمكن تلخيصها في الآتي :

- عدم وجود المنافذ التي يمكن أن تساعد مياه الأودية على الانسياب.
- إهمال المحافظة على مسارب المجاري المائية مما أدى إلى ارتداد المياه باتجاه الطرق أولا والأحياء السكنية ثانيا.
- عدم وجود حمايات كافية لهذه الطرق الأمر الذي أدى إلى انجرافها.



شكل (١٩) : مناطق تقاطعات الأودية مع الطرق في ولاية بوشر والمناطق المعرضة للفيضان.

المصدر: من إعداد الباحثين.

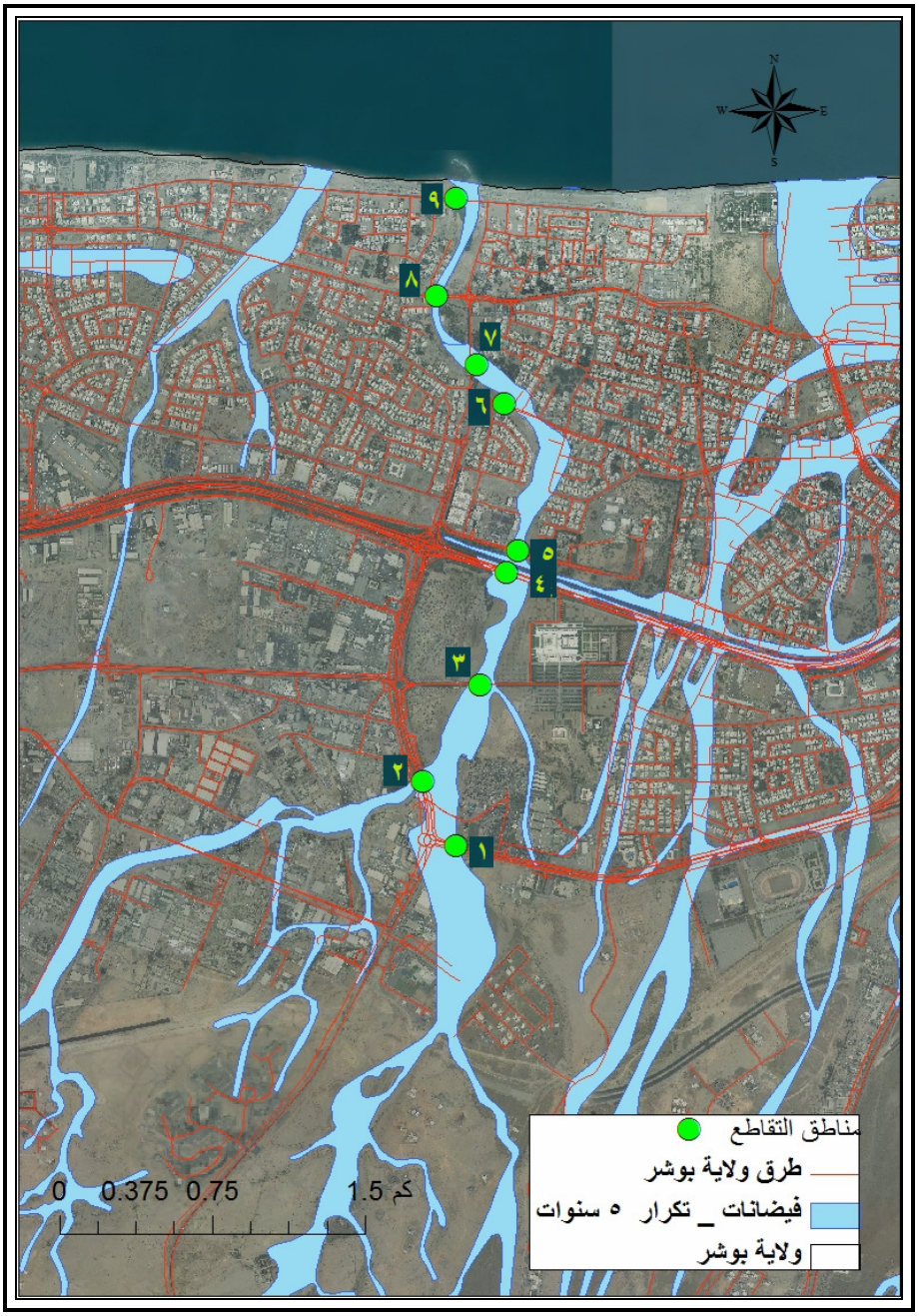
أ- تقاطع شبكة الطرق مع المجرى المائي لوادي الانصب :

يتضح من الخرائط المنتجة ببرنامج (ArcGIS 9.2) وتحليل الصورة الفضائية IKONOS 2007 ومطابقتها بالخريطة الطبوغرافية مقياس (١٠٠,٠٠٠)، بأن ولاية بوشر تضم تسعة مجاري مائية جميعها يتقاطع مع شبكة الطرق. وبما أن هذه الدراسة تركز بصورة رئيسة علي وادي الأنصب باعتبار انه الوادي الأهم في ولاية بوشر، فقد تم فصل الوادي من شبكة المجاري المائية التي تم استخلاصها من نموذج الارتفاع الرقمي للولاية ثم تم تحديد مناطق التقاطعات على امتداد وادي الانصب بمختلف أصنافها سابقة الذكر ابتداء من الجسر الواقع أسفل المستشفى السلطاني وهي المنطقة التي تشكل البداية الفعلية لدراسة تأثيرات تقاطع الوادي مع الطريق. وتراوحت مناطق التقاطعات في أنواعها بين الجسور وما تحتها من عبارات صندوقية والمعابر الايرلندية التي سبق عرضها.

وبما أن تحديد مناطق التقاطع هذه تشكل ظاهرة هامة تعني بها هذه الدراسة، فانه من المهم توضيح الخصائص العامة لها، ومن ثم حساب القدرة الاستيعابية للتدفق المائي عبرها. ولتحقيق ذلك تم أولا تحديد نقاط التقاطعات هذه ميدانيا والحصول على إحداثياتها وتوقيع هذه الإحداثيات على الخرائط وإضافة خصائصها في جدول البيانات الوصفية Attribute table في قاعدة البيانات المنشأة داخل برنامج Arc GIS 9.2 وربط كل منطقة تقاطع مع البيانات الوصفية الخاصة بها. وتم تحديد مناطق التقاطعات باستخدام برنامج ArcGIS 9.2 حيث يتضح من الشكل (٢٠) وادي الانصب موقعا عليه مناطق التقاطعات على امتداد المجرى المائي.

ويتضح من الجدول (٦) البيانات الخاصة بمناطق التقاطعات وخصائصها التي أدرجت في جدول البيانات الوصفية على برنامج ArcGIS وهي على النحو الآتي :

- المسمى الإداري للطريق.
- نوع الطريق.
- المسمى الهندسي للمسرب المائي.
- عدد فتحات التقاطع.
- الإحداثيات الجغرافية لمنطقة التقاطع.
- حجم منطقة التقاطع (الطول، العرض، الارتفاع).



شكل (٢٠) : مناطق التقاطعات على الصورة الفضائية IKONOS.

المصدر: من إعداد الباحثين.

أما الجدول (٥) والذي يعرض كافة البيانات الضرورية لمناطق التقاطعات على امتداد مجرى وادي الانصب حيث يضم الجدول التسع نقاط التي ظهرت في الشكل رقم (٢٠) مرتبة ابتداء من الجنوب إلى المصب على بحر عمان، وبعض هذه البيانات وصفية تتمثل في اسم ونوع الشارع حسب التصنيف السائد لوزارة النقل والاتصالات، ونوع منطقة التقاطع ويقصد بها المسمى الهندسي للمسرب المائي الواقع على الطريق، ويقابلها البيانات الكمية وتتمثل في عدد نقاط التقاطع ويقصد بها عدد فتحات المسرب المائي، حيث أن كل مسرب مائي يتكون من أكثر من فتحة واحد لعبور المياه، ويعتمد عدد هذه الفتحات على نوع المسرب المائي، وقد تم حسابها في هذه الدراسة للحصول على إجمالي حجم المسرب المائي. ويعد حجم المعبر المعيار الأهم وذلك من أجل الحصول على القدرة الإجمالية لاستيعاب مياه الأودية، من خلال المسارب، وتم إيجاد الحجم على النحو الآتي :

الطول × العرض × الارتفاع (للطريق) × عدد المسارب على الطريق الواحد

وذلك لإيجاد الحجم الإجمالي للمسرب المائي لكل طريق ومقارنته لاحقا بكمية تدفق مياه الأودية.

جدول (٦) : مناطق تقاطعات الطرق مع المجرى المائي لوادي الانصب.

رقم النقطة	اسم الشارع	نوع الشارع	نوع منطقة التقاطع	عدد المسارب (الفتحات)	حجم المعبر			
					الطول (م)	العرض (م)	الارتفاع (م)	الحجم م٣
١	دوار غلا	ثانوي	جسر	٢	٢	١٠	٤	١٦٠
٢		ثانوي	معابر صندوقية	١٢	٥,٣	٥,١	٤٢	٢٦٤٦
٣	الجامع الأكبر	فرعي	معابر صندوقية	٣٠	٣	٥,٢	٩٠	٢٠٢٥٠
٤	السلطان قابوس	رئيسي	جسر	٢	٢	١٠	٤	١٦٠
٥	الضيافة	ثانوي	معابر صندوقية	٣٤	٥,١	٥,١	٥١	٣٩٠١,٥
٦		فرعي	معبر ايرلندي	–	–	–	–	–
٧	١٨ نوفمبر	ثانوي	معابر صندوقية	١٨	٥	٣	٩٠	٢٤٣٠٠
٨	١٨ نوفمبر	ثانوي	معابر صندوقية	١٨	٥	٣	٩٠	٢٤٣٠٠
٩	الكورنيش	ثانوي	جسر	٤	٣٠	٢	١٢٠	٢٨٨٠٠

المصدر: وزارة البلديات الإقليمية وموارد المياه، ٢٠٠٥.

وبتحليل الجدول السابق يتبين أن هناك تباين في أحجام مناطق التقاطعات وقد أخذت هذه القياسات من أكثر من جهة مسئولة وتم التأكد منها من خلال الزيارات الميدانية مع الأخذ بعين الاعتبار عدد الفتحات في كل منطقة تقاطع، وتختلف مناطق التقاطعات عن بعضها البعض بطبيعة الحال من وادٍ إلى آخر حسب اتساع المجرى أيضا، وهذا له دور كبير في تغير سلوكيات المجرى المائي (Chin & Gregory, 2005). وينبغي أن يؤخذ في الاعتبار أحجام نقاط التقاطع لتحديد إلى أي مدى يمكن أن تساهم مثل هذه المنشآت في إعاقة أو تسهيل انسياب مياه الوادي المعني. ويعتبر شارع ١٨ نوفمبر الذي تعرض جزء كبير منه إلي التدمير بسبب كمية التدفق المائي الهائل في وادي الانصب أثناء إعصار "جونو" في ٢٠٠٧ أبرزالأمثلة على ذلك، حيث أن الوادي لم تكن به عبارات صندوقية وإنما معابر ايرلندية فقط وهذه تم استبدالها من بعد ٢٠٠٧ بعبارات صندوقية، بعد أن وقعت الكارثة. والجدير بالذكر، أن شارع ١٨ نوفمبر في الجزء منه القريب لشارع الكورنيش في العذيبة والمطل على بحر عمان ، قد تعرض للإزالة التامة بفعل الاندفاع العنيف لمياه الأودية مما دفع القائمين علي الأمر لإنشاء جسر عريض لا يزال قيد الإنشاء لحمايته من الفيضانات القادمة ومن التدمير مرة أخرى. وقد تم مقارنة أحجام مناطق التقاطعات على الشوارع بجميع أنواعها مع قيم التدفق القصوى للفيضانات لأودية ولاية بوشر الواردة في الجدول رقم (٧) في هذه الدراسة.

جدول (٧) : قيم التدفق وأحجام مناطق التقاطعات.

اسم الشارع	الحجم م٣	كميات التدفق القصوى لفترات التكرار المختلفة – م ^{3} / ث				
		٥ سنوات	١٠ سنوات	٢٠ سنة	٥٠ سنة	١٠٠ سنة
دوار غلا	١٦٠	٤٨٥	٧١٥	٩٧٠	١٢٧٧	١٥٠٦
	٢٦٤٦	٤٨٥	٧١٥	٩٧٠	١٢٧٧	١٥٠٦
الجامع الأكبر	٢٠٢٥٠	٤٨٥	٧١٥	٩٧٠	١٢٧٧	١٥٠٦
السلطان قابوس	١٦٠	٤٨٥	٧١٥	٩٧٠	١٢٧٧	١٥٠٦
الضيافة	٣٩٠١.٥	٤٨٥	٧١٥	٩٧٠	١٢٧٧	١٥٠٦
	–	٤٨٥	٧١٥	٩٧٠	١٢٧٧	١٥٠٦
١٨ نوفمبر	٢٤٣٠٠	٤٨٥	٧١٥	٩٧٠	١٢٧٧	١٥٠٦
١٨ نوفمبر	٢٤٣٠٠	٤٨٥	٧١٥	٩٧٠	١٢٧٧	١٥٠٦
الكورنيش	٢٨٨٠٠	٤٨٥	٧١٥	٩٧٠	١٢٧٧	١٥٠٦

المصدر: وزارة البلديات الإقليمية وموارد المياه، ٢٠٠٥.

ويتضح من الجدول (٧) مقارنة كميات التدفق القصوى لفترات التكرار المختلفة، علما بأن كميات التدفق الواردة في الجدول معدة مسبقا من وزارة البلديات الإقليمية وموارد المياه، مقارنة مع الحجم الإجمالي للمسرب المائي أو منطقة التقاطع والذي سبق حسابه في الجدول رقم (٦) ويتضح أن مناطق التقاطعات المظللة في الجدول لا تستوعب أحجامها تدفق الأودية، بينما الخانة المظللة والتي لا تحوي رقم أو لا قيمة للحجم لها فإن ذلك يعود إلى أن منطقة التقاطع هذه تمثل معبرا ايرلنديا وحسب ما ورد في تعريف المعبر الايرلندي يصعب إيجاد حجم محدد له إلا لأن مياه الوادي تنتشر وتغمر الشارع والمناطق المجاورة.

ب- العلاقة بين وادي الأنصب والمنطقة العمرانية :

على الرغم من أن هذه الدراسة تركز أساساً على دراسة تأثيرات الأمطار وجريانها في الأودية وعلاقتها بشبكة الطرق فقط، إلا أنه لا يمكن إغفال أو تجاهل هذه التأثيرات على المناطق العمرانية، ولذلك فقد تم إجراء مسح ميداني على منطقة الغبرة الشمالية وذلك لأن جزءً كبيراً منها يطل على وادي الانصب (موضوع الدراسة). ومن هذه المنطقة تم اختيار العينة بالطريقة العشوائية من خلال جداول الأرقام العشوائية التي أعدت لهذه المنطقة حيث تم ترقيم المنازل بالاستعانة بالمخطط السكني للمنطقة من وزارة الإسكان، وتم اختيار ١٠٠ منزل لإجراء الاستبيان، ٥٠ منها على الضفة الشرقية و ٥٠ على الضفة الغربية للوادي وذلك للوصول إلى حقيقة تأثير مياه الأمطار على المناطق العمرانية، وقد تم استبعاد ١٥ استمارة لعدم اكتمالها أو لوجود أخطاء بها، وتبقت ٨٥ استمارة صحيحة من العينة الفعلية التي تم الحصول على النتائج منها والتي تمثلت فيما يلي :

١. ٤١% من المنازل تتعرض لغمر مياه الأمطار، وهي المنازل التي تقع علي مستوى منخفض من مستوى الشارع، بينما النسبة الباقية (٥٩%) لا تتعرض لغمر مياه الأمطار، وهي المنازل التي تقع على مستوى أعلى من مستوى الشارع، ولقد تمت مناقشة تلك النتيجة مع المسئولين في بلدية مسقط الذين أشاروا بوضوح إلى أن القوانين التخطيطية تنص على أن يكون المنزل مرتفعا عن مستوى الشارع المطل عليه (وزارة النقل والمواصلات، ٢٠٠٩). إلا أن المشكلة التي تواجه المخططين هي عدم التزام بعض السكان بذلك، وهو ما اضطر المنفذون للطرق للرضوخ للأمر الواقع، وقد لجأ بعض سكان المنازل الذين يشكلون ٤١% والمعرضة منازلهم لغمر مياه الأمطار، والتي تبين أن معظمها منازل قديمة اضطر مالكوها إلى حل مشكلة الغمر ببناء قنوات تصريفية سطحية من داخل فناء المنزل باتجاه الشارع، أو بناء طبقة إسمنتية إضافية بميل خفيف نحو الشارع وقد لوحظ من الزيارات الميدانية أن فتحات تصريف المياه السطحية في ولاية بوشر ليس لها نظام محدد واضح، حيث أن هناك فتحات تصريف

على الشارع، وأخرى بنيت على هيئة ممرات على جوانب الشوارع وشوارع أخرى لا يوجد بها أي من النوعين السابقين من نظم تصريف المياه السطحية. أي انه لا يوجد نظام واضح ومحدد لنظم تصريف المياه السطحية على الشوارع.

٢. حوالي ٥١% من العينة أشاروا إلى أن هناك أثارا سلبية كبيرة يعاني منها سكان المنطقة تظهر تلقائيا مع سقوط الأمطار، وهذه الآثار يترتب عليها ضياع الوقت بالدرجة الأولى لصعوبة الحركة والتنقل من والى المنطقة السكنية وهذه الآثار كما أشار لها سكان المنطقة هي كالتالي :

- تجمعات مائية عند انحناءات الطريق.
- تجمعات مائية على جوانب الطريق.
- المنازل القديمة تتأثر أكثر لانخفاضها عن مستوى الطريق.
- إعاقة حركة السير بسبب التجمعات المائية على الطريق.

٣. أكدت نسبة ٩٠% من العينة أن بعض خدمات البنية التحتية ومن بينها الطرق كانت تصل للمناطق السكنية متأخرة بعد إنشاء المنازل، وهذا سبب مشكلة وبما أن كل منخفض في الطريق هو عائق ولو كان في المستويات الدنيا ١٥ سم كما ورد في دليل تصميم الطرق (وزارة النقل والمواصلات، ٢٠٠٩) فهذا العائق يعمل على إبطاء حركة المياه التي تتخذ من هذه الشوارع مجاري لها ويعرقل الحركة على امتداد ذلك الشارع، ويترتب على ذلك كله خسارة الوقت والجهد والأموال المبذولة في هذه المشاريع.

٤. وبمناقشة توقعات أصحاب المنازل للخطورة المستقبلية على منازلهم في حالة عدم وجود نظام تصريف للمياه السطحية، أكد ٨٨% من العينة بأنهم يتوقعون حدوث مشكلات لمنازلهم بسبب عدم عدم وجود نظام تصريف للمياه السطحية في منطقتهم.

٥. وتطبيقاً لمبدأ المشاركة الشعبية Public Partcipation في عملية التخطيط؛ فقد تم سؤال عينة مجتمع الدراسة عن اقتراحاتهم لحماية منازلهم من خطر الغمر بمياه الأمطار أو الوادي مستقبلا وتحسباً لتجمع المياه على الطريق أو ضياع الوقت في انتظار سحب برك المياه المتجمعة على الشارع أو على جوانب الشارع وما قد تخافه من مشاكل أخرى، فقد أقترح ٨٧% من حجم العينة منع الامتداد السكني باتجاه الطريق ومجرى الوادي واقترح ٧٩% من حجم العينة بناء نظام لتصريف المياه السطحية. وطالب ٦١% من حجم العينة بضرورة مراعاة مناطق مجاري الأودية واعتبارها أراضي غير صالحة للسكن أو إقامة آي منشآت عليها عند توزيع قطع الأراضي على السكان, وهي المشكلة التي لم تدركها وزارة الإسكان إلا مؤخراً بعدما حدثت المشاكل بعد الأعاصير التي مرت بالسلطنة. وتؤكد الدراسة هذا القصور من

خلال الشكل رقم (٢١) التي يبين المخطط العمراني لولاية بوشر و التي يتضح منها أن بعض التجمعات السكنية تقع مباشرة على مجاري الأودية وهو ما يشكل أخطاء جسيمة في عمليات التخطيط أدت إلى خسائر بشرية وعمرانية كان يمكن تلافيها إذا تم إشراك المتخصصين في عمليات اتخاذ القرارات التخطيطية، كما اقترح ١٥% من حجم العينة بناء جدار حماية يحيط بمجرى الوادي تحسباً لارتفاع منسوب مياه الوادي خلال الفيضان. وأشار السكان هنا إلى ارتفاع منسوب مياه وادي الانصب وقت حدوث إعصار "جونو" حيث تعرضت المنازل جراء ذلك للغمر من قبل مياه الوادي ومياه الأمطار أيضا مما شكل خطورة مضاعفة عليهم لذا لا بد من إيجاد الحلول السريعة لحماية أرواحهم وممتلكاتهم.

توصيات الدراسة :

درجت، تقليدياً، التدخلات الهندسية على بناء الجسور والمعابر الصندوقية، بأنواعها المختلفة، بغية تفادي التأثيرات السالبة لمياه هذه الأودية عند سقوط الأمطار في مناطق التقاطعات هذه. ورغم معقولية ومنطقية هذا التدخل الهندسي، إلا أن الأمر يحتاج إلى ترتيبات أخرى مهمة وهي، مثلاً، الحساب الدقيق لحجم المياه وسرعتها وكمية ونوعية ما تجلبه معها من مواد ذلك لأن بناء الجسر أو المعبر يمكن أن يؤدي إلى تضييق المجرى ويرفع بالتالي من مقاومته للمياه في النقاط التي يتقاطع فيها مع الأودية مما يؤدي إلى زيادة النحر الجانبي والرأسي والتقويض قبل وتحت وبعد الجسر. كذلك، فإن المواد المحمولة مثل الأنقاض وبقايا الأشجار التي جرفتها المياه يمكن أن تتراكم عند مداخل الجسور والمعابر فتزيد بالتالي من مقاومة المجرى. لكن، بالرغم من أن هذه المسائل صارت مفهومة ضمنياً في الهندسة البيئية، إلا أنه كما يبدو لم تؤخذ في الاعتبار عند إنشاء الجسور والمعابر في مسقط مما جعل المدينة تعاني معاناة ملحوظة عند نزول الأمطار. ولعل السبب وراء عدم الأخذ بمثل هذه الاحتياطات الضرورية هو الافتراض أن معدلات الأمطار في مسقط أصلا ضعيفة ولا تستدعي أخذ تأثيراتها في الاعتبار لأن ذلك ربما يرفع من التكلفة المالية للمشروعات. ولا جدال أن معدلات الأمطار في مسقط ضعيفة. لكن هذا ينبغي إلا يحجب حقيقة أخرى وهي أن امتداد العمران و الطرق يزيد في واقع الأمر من المساحة غير المنفذة للمياه مما يؤدي إلى ارتفاع معدلات الجريان السطحي (Runoff) الذي يؤدي إلى ارتفاع حجم التصريف في الأودية و يرفع بالتالي من قدرته على النحت والنقل.

شكل (٢١) : العمران والأودية في ولاية بوشر.

المصدر: من إعداد الباحثين.

١. لمسألة تصميم الطرق في المناطق الحضرية جانب تطبيقي هام إذا تم التعامل معه كظاهرة جيومورفولوجية نهرية (Fluvial Geomorphic Phenomenon)؛ ففي العديد من الدول المتقدمة يعمل القائمون على إدارة المياه في مدنها الكبرى للاستفادة من المياه التي تجري على الطرق رغم عدم وجود الحاجة الماسة لها انطلاقاً من حقيقة أن الماء هو عصب الحياة، ويتم ذلك من خلال ترتيبات هندسية عديدة تقود في النهاية إلى تجميع هذه المياه في محطات خاصة لتنقيتها وإعادة استعمالها. فإذا كانت الدول التي ليست في حاجة للماء تقوم بمثل هذا العمل، فالأحرى بمدن المناطق الجافة في العالم النامي التي تعاني فعلاً من مشكلات كبيرة في توفير الماء العذب لسكانها أن تسعى بقدر الإمكان في حصاد مياه الأمطار التي تسقط عليها. ومن الجائز أن المسئولين عن الطرق في مسقط يدركون هذه الحقيقة خاصة عندما نرى الجهود الهندسية الحثيثة الرامية لتجميع مياه الصرف الصحي عبر شبكة واسعة من الأنابيب قيد الإنشاء وقت إعداد الدراسة. لكن ما ينقص هذه الشبكة التي هي قيد الإنشاء أنها لم تسعى للاستفادة من مياه الأمطار التي تجري على الطرق بها وهو ما يمكن أن يشكل إضافة كبيرة لجهود معالجة المياه في المدينة لتخفيف الضغط المتزايد على المصادر الأخرى.

٢. من الضروري إجراء دراسات هيدروجيومورفولوجية متعمقة قبل القيام بأي إنشاءات على امتداد مجاري الأودية والاعتماد على الجيومورفولوجيا الهندسية (Engineerin Geomorphology) قبل الشروع في تنفيذ أي مشروع، لتجنب الكثير من المشاكل الناتجة عن التغيرات الجيومورفولوجية.

٣. ضرورة الرجوع إلى مختصين جيومورفولوجيين، ليضعوا الظاهرات الجيومورفولوجية ضمن التخطيط قبل تنفيذ المشاريع على مجاري الأودية و قبل توزيع أي قطع أراضي على المجاري المائية للأودية.

٤. ضرورة تنظيم مجاري الأودية، لضمان حصر وتحديد قوة التدفق تجنبا لأي مفاجآت ببناء قنوات إسمنتية ،وتتبع المجاري المائية الصغيرة داخل الأحياء السكنية وتحويلها إلى مسارات الأودية الرئيسية ضمن دراسات عن طبيعة مجاري الأودية في المنطقة. وضرورة شق وتعميق الأودية من مع عمل خرسانات حماية على ضفافها.

٥. عدم السماح بالتوسع العمراني في المناطق الواقعة خلف السدود ودراسة أي مخططات مقترحة للامتداد العمراني على مجاري الأودية وإيجاد حلول ناجعة لها لتلك القائمة فعلا.

٦. ضرورة تعديل أحجام ومواقع الجسور والعبارات الصندوقية للطرق التي تتقاطع مع مجاري الأودية لضمان استيعاب المياه المتدفقة من الأودية.

٧. بناء شبكة لتصريف مياه الأمطار على الطرق مع ضرورة الأخذ بالاعتبار الكميات القصوى للهطول المطري وهذا ما تؤكد عليه الدراسة حيث بالإمكان لاحقا الاستفادة من هذه المياه بعد معالجتها، وتعويض النقص في المياه الذي تعاني منه المنطقة.
٨. تنفيذ مشروع لدراسة مخاطر الأنشطة البشرية على مجاري الأودية مع ضرورة تنفيذ مسح سريع للأودية المتأثرة بهذه الإنشاءات.

الملاحق
(نموذج الاستبيان)

الاسم : .....

المنطقة : .....

رقم المنزل : .....

الموقع : .....

الأسئلة :

١- هل حدث أن تأثر منزلكم بغمر المياه عندما تنزل الأمطار ؟

٢- إذا كانت الإجابة "نعم" ما هو حجم التأثير ؟

(خفيف، متوسط، كبير)

٣- ما هي الأسباب (برأيكم).

٤- ماذا فعلتم لدرء هذا الخطر ؟

٥- إذا كانت الإجابة "لا" ما هو السبب ؟

٦- هل لاختلاف مستوى الارتفاع بين الشارع و المنزل أي تأثير ؟

٧- هل تتوقع أي أخطار مستقبليه على الشارع أو المنازل المجاورة نتيجة عدم وجود نظام لتصريف المياه السطحية ؟

٨- هل لديكم أي اقتراحات لحماية منزلكم من خطر الغمر بمياه الأمطار أو الوادي ؟

تاريخ الزيارة .....

المراجع

أولا – المراجع العربية :

١. الإدارة العامة للمرور (٢٠٠٩)، الإحصاءات العامة، شرطة عمان السلطانية، سلطنة عمان.

٢. بلدية مسقط (٢٠١٣)، الولايات التابعة لمحافظة مسقط،
http://www.mm.gov.om/ar/Page.aspx?PAID=3#Details&MID=22&PGID=158

٣. بلدية مسقط (أ) (٢٠١٠)، خريطة أطوال الطرق في محافظة مسقط، قسم نظم المعلومات الجغرافية.

٤. بلدية مسقط (ب) (٢٠١٠)، جداول أطوال الطرق في محافظة مسقط، دائرة البحوث والدراسات الفنية.

٥. جريدة الوطن، العدد ٩٤٣٦، (٢٠٠٩).

٦. سلامة، حسن رمضان (٢٠١٠)، أصول الجيومورفولوجيا، دار المسيرة للنشر والتوزيع والطباعة، عمان، الأردن.

٧. الشكيلي، صلاح (٢٠١٠)، مدير دائرة التصميم المديرية العامة للطرق والنقل البري بوزارة النقل والمواصلات: ٢٦/١/٢٠١٠م. (مقابلة شخصية)

٨. شولتز، فريد (١٩٨٠)، سلطنة عمان مقدمة جغرافية، مطابع ارنست كلينت، ألمانيا.

٩. عبدالسلام، أحمد (٢٠٠٠)، بعض الأخطار الطبيعية على الطرق البرية في شمال سلطنة عمان ، الجمعية الجغرافية الكويتية، قسم الجغرافيا بجامعة الكويت، العدد ٢٤٧، الكويت.

١٠. اللجنة العليا لتخطيط المدن (٢٠٠٩)، دليل التخطيط العمراني، سلطنة عمان.

١١. اللواتيا، طفول (٢٠١١)، مدير دائرة البحوث والدراسات الفنية، بلدية مسقط: ٣/٢/٢٠١١م. (مقابلة شخصية)

١٢. محسوب، محمد صبري (١٩٩٦)، الجغرافيا الطبيعية، دار الفكر العربي، مصر.

١٣. المديرية العامة للطيران المدني (٢٠٠٧)، بيانات الأمطار

١٤. مركز رذاذ للارصاد الجوية (٢٠١٠)،
http://rthmc.net/vb/forumdisplay.php?f=108&order=desc&page=17

١٥. وزارة النقل والمواصلات (٢٠٠٩)، دليل تصميم الطرق، سلطنة عمان

١٦. وزارة الإعلام (١٩٩٥)، عمان في التاريخ، سلطنة عمان ودار إميل للنشر المحدودة، لندن.

١٧. وزارة الإعلام العمانية، (٢٠١٤)، سلطنة عمان،
https://www.omaninfo.om/module.php?module=pages-showpage&CatID=161&ID=519

١٨. وزارة البلديات الإقليمية وموارد المياه (٢٠٠٨)، تقرير الموارد المائية، مطبعة مزون، مسقط.

١٩. وزارة البلديات الإقليمية وموارد المياه (أ) (٢٠٠٥)، حماية مدينة مسقط من أخطار الفيضانات، (بحث غير منشو)، سلطنة عمان.

٢٠. وزارة البلديات الإقليمية وموارد المياه (ب) (٢٠٠٥)، موارد المياه في سلطنة عمان، مطبعة مزون، مسقط.

ثانيا – المراجع الأجنبية :

1. AZAZ L., (2010), Capabilities of Using Remote Sensing and GIS for Tropical Cyclones Forecasting, Monitoring and Damage Assessment, in Indian Ocean Tropical Cyclones and Climate Change Book, PP : 177 - 186, ISBN : 978 -90 - 481 – 3108 - 2 (Print) 978 – 90 – 481 – 31 09-9 (Online), SpringerLink, 2010.
2. Batco, 2017 http://www.batco-group.com/index.php/projects/22-design-and-construction-of-wadi-bridges-and-culverts-in-al-qurm.html
3. Blanton, P. & W. Andrew Marcus (2009): Railroads, roads and lateral disconnection in the river landscapes of the continental United States. Geomorphology, Vol. 112.
4. Chin, A., & Gregory K. J. (2005).Managing urban river channel adjustments,Geomorphology, 69: 28-45.
5. Edwards, B. Julia (1996): Weather-RelatedRoad Accidents In England And Wales : A Spatial Analysis . Journal Of Transport Geography, Vol. 4, No. 3 pp. 201-212.
6. Fookes, J. Peter, Griffiths, Mark Lee,(2007): Engineering Geomorphology; Theory and Practice, Whittles Publishing
7. li, jing & wong, W. S (2009), Effects of DEM sources on hydrologic applications, Department of Geography and GeoInformation Science, George Mason University.
8. Saleh, A.S. &. Al-Hatrushiy, S.M (2009): Torrential Flood Hazards assessment, Management and Mitigation in Wadi Adai, Muscat Area, Sultanate of Oman- A GIS and Rs Approach. Journal of Zagazig University, Faculty of Arts, Geography Department, 2.
9. Sering, 2017, http://www.seringingegneria.it/project/wadi-adai/
10. Sparks, B.W. (1972): Geomorphology. Prentice Hall.

Impact of rain on the road network in Bowcher, Muscat, Sultanate of Oman using GIS and remote sensing

Dr. Lotfy Kamal Azaz and Nadhira Al-Harthiya

The study traces the impact of rain on the road network in Bowcher - Muscat - Sultanate of Oman using GIS and remote sensing. In spite of the location of study area within the semi-desert climate region, where the rainfall rate is not more than 100 mm per year; Oman has witnessed heavy rainfall reached up to 610 mm during Gonu cyclone in 2007 and 603 mm during Phet cyclone in 2010. This heavy rains led to flash floods, resulting in huge loss of property and lives and devastating impacts on the road network and built-up area of Oman. In this study, waterways have been extracted from the Digital Elevation Model (DEM) with the spatial resolution of 30 meter and 5 meter respectively. Waterways have been analysed including Wadi Al-Ansab, the most important Wadi in Bowcher. Road network map has been produced according to the Roads levels listed in the Omani Urban Planning Manual. The relationship between the road network and the wadis in Bowcher has been studied to determine the effects of the flood of valleys on the road network, especially in the areas where the valleys intersect with roads. Though this study focuses mainly on the study of the effects of rainfall and its flow in the wadis and its relationship with the road network only, but rain effects on built-up area cannot be overlooked or ignored, therefore, the effect of the flood of wadis on urban areas have been highlighted and a questionnaire survey has been applied on the population of one of the residential areas. GIS techniques was utilized in all stages of study using ArcGIS 9.2 software package to collect, input and process spatial data and analyze the information obtained from the study, and make recommendations to the decision makers and planners.

Key Words: rain - runoff of wadis - road network - Bowcher - GIS - remote sensing