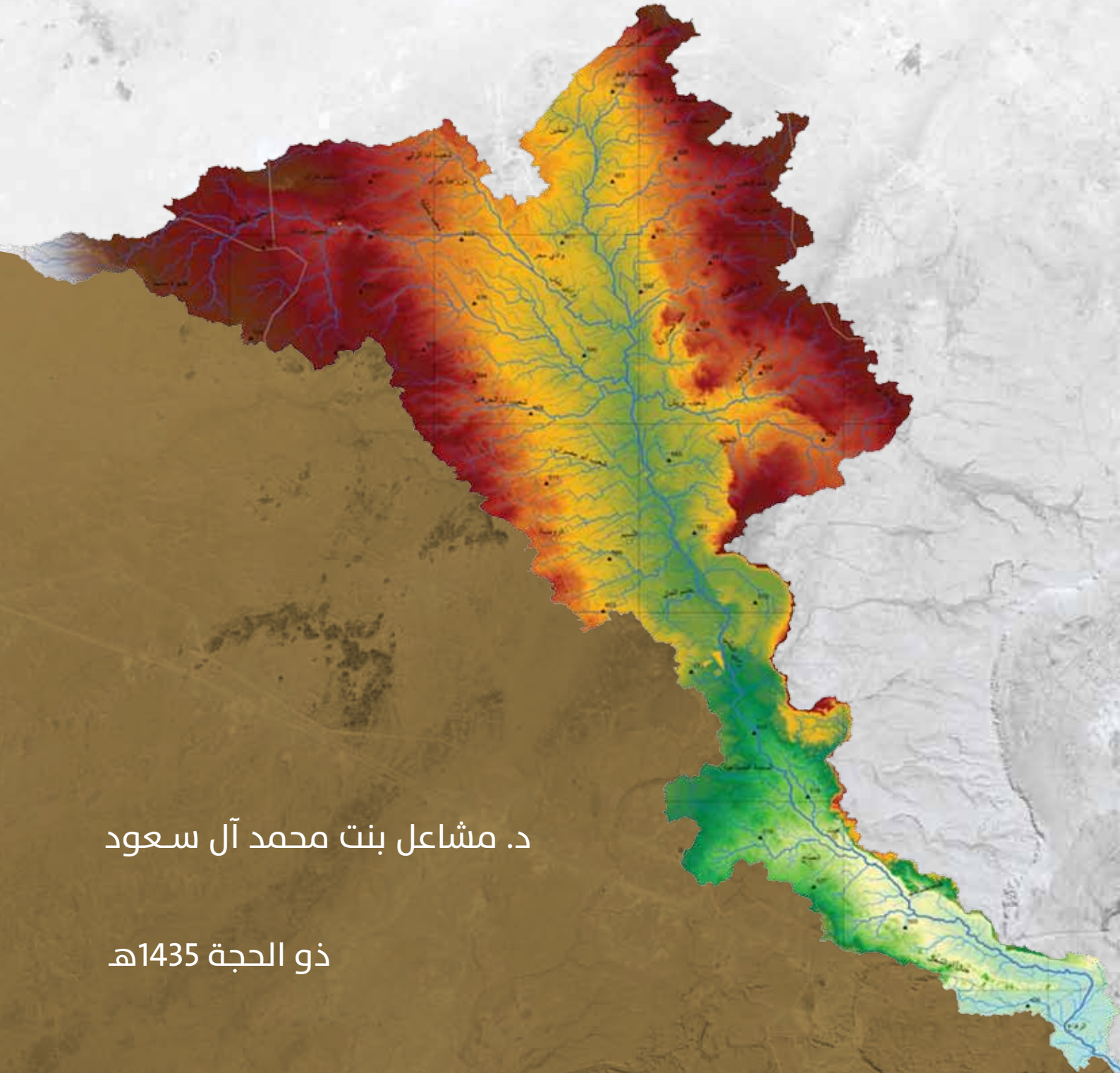
الهيئة العليا
لتطوير مدينة الرياض

دراسة هيدرولوجية
وادي السلي بمنطقة الرياض



د. مشاعل بنت محمد آل سعود

ذو الحجة 1435هـ

بسم الله الرحمن الرحيم

المحتويـــات

	صفحة رقم
الأشـــكال	4
الجـــداول	5
الملخص	6
مقدمة	9
أ – الأهـــــداف	12
ب – موقع وادي السلي	12
ت – وسائل الدراسة	12
ث – طريقة العمل	14
ث.1 – دراسة الوثائق ذات الصلة:	14
ث.2 – اعداد الخرائط الطوبوغرافية:	14
ث.3 – انتاج النماذج الأرضية الرقمية (DEMs)	15
ث.4. استخراج المنظومة المائية من الـDEM	18
ث.5. معالجة المرئيات الفضائية	19
ث.6. تطبيق نظم المعلومات الجغرافية	19
ث.7. العمل الحقلي	22
خصائص المنظومة المائية لحوض وادي السلي	23
ج. 1. الخصائص الجيومترية	24
1. الأبعاد الرئيسية للأحواض الفرعية	24
2. شكل الحوض	26
3. انحدار الأسطح	28
4. المسافة الى المنفذ (Outlet Distance)	28
ج. 2. الخصائص المورفومترية	29
1. كثافة الشبكة المائية	31
2. انحدار المجرى الرئيسي	31
3. نسب التعّرج (Meandering Ratio)	32
4. معدل التقاء الأودية (Confluence Ratio)	32
5. رُتب الأودية (Stream Order)	32

صفحة رقم

6. انحدار الأودية (Stream Slope) 34

7. الطول التراكمي (Cumulative Length) 35

8. حمولة الأودية (Stream capacity) 36

القنوات الاصطناعية 37

د.1. القنوات الاصطناعية في وادي السلي 38

1. القناة التي يتم حفرها 38

2. القناة (الاصطناعية) المفترضة 38

3. القنوات (الاصطناعية) الفرعية 40

د.2. مسار القنوات الاصطناعية في وادي السلي 40

المناطق المُعرضة لخطر السيول 43

هـ.1. مفاهيم الدراسة 44

هـ.2. منهجية العمل 45

هـ.3. عناصر التعرف على أماكن السيول 47

هـ.4. الأماكن الواقعة تحت خطر السيول 49

الخلاصة والتوصيات 52

1. خصائص المنظومة المائية لحوض وادي السلي 53

2. القنوات الاصطناعية في حوض وادي السلي: 54

3.المناطق المعرضة لخطر السيول في حوض وادي السلي 54

المراجع العربية 57

المراجع الأجنبية 57

الأشـــكال

صفحة رقم

شكل رقم 1: امتداد وادي السلي كما هو معروف حالياً حيث يظهر ما بين منطقة A ومنطقة B. 13

شكل رقم 2: النموذج الأرضي الرقمي لمنطقة وادي السلي كما تم استنتاجه من القمر الصناعي Aster. 17

شكل رقم 3: خطوات استخراج الأودية المائية من النموذج الأرضي الرقمي. 18

شكل رقم 4: المنظومة المائية لوادي السلي كما استخرجت من النموذج الأرضي GDEM. 20

شكل رقم 5: المنظومة المائية لوادي السلي كما استخرجت من النموذج الأرضي الرقمي للقمر الصناعي Spot-5. 21

شكل رقم 6: الأحواض الفرعية في وادي السلي. 25

شكل رقم 7: خريطة تبين انحدارات الأسطح المختلفة في حوض وادي السلي. 29

شكل رقم 8: خريطة تبين المسافة الى المنفذ من المناطق المختلفة في حوض وادي السلي. 30

شكل رقم 9: خريطة رتب الأودية لمنظومة المائية للمنظومة المائية لحوض وادي السلي. 33

شكل رقم 10: خريطة انحدار الأودية في حوض وداي السلي. 34

شكل رقم 11: خريطة أطول الأودية التراكمي في حوض وداي السلي. 35

شكل رقم 12: القنوات الاصطناعية الموجودة والمفترضة في حوض وداي السلي. 39

شكل رقم 13: احدى القنوات التي يتم حفرها في حوض وداي السلي. 40

شكل رقم 14: قناة سيل فرعية تستخدم كطريق تم حفرها في شعيب البرشاعة، منطقة النظيم. 41

شكل رقم 15: قناة فرعية من الصخور والاسمنت تم حفرها في منطقة البطين، خشم الجنادرية. 41

شكل رقم 16: منهجية العمل المتبعة لإنتاج خريطة الفيضانات والسيول في حوض وادي السلي. 45

شكل رقم 17: خريطة المناطق المعرضة للسيول في حوض وادي السلي. 48

شكل رقم 18: العناصر الرئيسية للتعرف على اماكن السيول من الصور الفضائية. 49

شكل رقم 19: مناطق تركيز خطر السيول والاتجاه العام لتدفقها في حوض وادي السلي. 51

شكل رقم 20: نموذج شكلي لمقترح التصريف النهائي للمياه في حوض وادي السلي. 55

الجـــــداول

صفحة رقم

جدول رقم 1. الأبعاد الرئيسة للأحواض الفرعية التابعة لوادي السلي. 26

جدول رقم 2. المواصفات الرئيسة لشكل الأحواض الفرعية التابعة لوادي السلي. 27

جدول رقم 3. انحدار الأسطح في الأحواض الفرعية التابعة لوادي السلي. 28

جدول رقم 4. المواصفات المورفومترية الرئيسة لحوض وادي السلي والأحواض الفرعية التابعة له. 31

جدول رقم 5: رتب الأودية وأطوالها ونسب التفرع في وادي السلي والأحواض التابعة له. 33

جدول رقم 6: حمولة الأودية في مواقع مُختارة على مجرى وادي السلي . 36

جدول رقم 7: الصور الفضائية التي استخدمت في دراسة السيول في حوض وادي السلي 46

جدول رقم 8: توزيع الرقع الجغرافية للسيول في حوض وادي السلي. 50

الملخص

أصبحت الأودية المائية في المملكة العربية السعودية مواقع جغرافية لها شأن ومحط اهتمام العديد من الدراسات والباحثين وكذلك فلقد أولاها أصحاب القرار أهمية بعد ادراكهم مدى الأهمية التي يجب ان تعطى لهذه النظم الجيومورفولوجية. فأولأودية في المملكة هي من المناطق الزراعية الهامة والتي تتمتع أيضاً بوجود المياه الجوفية، اضافة الى ذلك فالأودية المائية هي مواقع انشاء السدود والقنوات المائية وهي القنوات الطبيعية لجريان المياه وما قد ينتج عنه من سيول وفيضانات أصبحت تشهدها المملكة مؤخراً. لعل كل هذه الأسباب كافية لأن تكون للأودية المائية أهمية وان يتم دراستها بشكل مفصل من اجل الحفاظ على الثروة المائية وتجنب وقع اية كوارث طبيعية تنتج من جريان هذه المياه.

ولعل الأهمية دائماً هي للأودية المتاخمة أو التي تمر في المدن الكبرى، وفي هذه الدراسة يعتبر وادي السلي من الأمثلة الهامة التي يجب ان نتناولها وتسليط الضوء عليها. ان هذا الوادي الذي يشق طريقه في جزء كبير من مدينة الرياض أصبح في الأودنة الأخيرة موقع لمجموعة من المشاريع التي بنيت على أساس المتغيرات الجديدة والتي من اهمها التمدد العمراني السريع وكذلك تغير انماط الهطول المطري وما نتج عنهما من غموض في الرؤية لناحية مسار جريان الوادي الذي بات من المواقع الجغرافية المعرضة لخطر السيول في هذه المنطقة المكتظة سكانياً.

ومن أهم المشاريع التي تتم مؤخراً في منطقة وادي السلي هو شق قناة اصطناعية مفتوحة تعمل على جر المياه من الروافد المختلفة وتسريبها بشكل منتظم دون الحاق الضرر في البنى التحتية أو المظاهر السطحية للمنطقة وكذلك على ان تكون هذه القناة شريان أمان من أية سيول قد تحدث كما حدث في العديد من مناطق المملكة مؤخراً.

يمكن القول انه ليس هناك دراسات كاملة عن هيدرولوجية هذا الوادي وهذا كان يجب ان يتم قبل البدء بإتخاذ قرارت لأقامة أية مشروع ذات الصلة. كذلك الأمر فان التفكير ببناء حواجز مائية، قنوات فرعية، سدود ، اضافة الى عمل ضوابط مانعة لحدوث السيول كلها تحتاج الى دراسة توضح المبادئ الجيومورفولوجية والهيدرولوجية للوادي. لذلك تأتي هذه الدراسة كوثيقة علمية تتناول كل المفاهيم الهيدرولوجية المطلوبة، ولعل كل جانب من هذه الدراسة قد يحتاج الى توسع أكثر اذا ما اتخذ القرار في التركيز على عمل محدد وبشكل مفصل.

لقد استخدمت في هذه الدراسة أدوات وطرق بحثية حديثة كان لنظم الجيومعلوماتية والصور الفضائية الدور الرئيسي في استقاء المعلومات والبيانات ومعالجتها وبالتالي اخراجها بالشكل الأنسب التي تمكن المتخصصين وأصحاب القرار من فهم كل جوانبها. وتزامنت الدراسة مع زيارات حقلية على أرض الواقع لتصبح مكون داعم للبيانات المختلفة.

ويمكننا ان نختم بالقول بان النتائج التي تمخضت عن هذه الدراسة هي ذات أهمية كبيرة و لايمكن التغاضي عنها أو عدم أخذها بعين الاعتبار، وهي مبنية على الدليل الهيدرولوجي القاطع بغية الوصول الى أفضل الأساليب العلمية للمساعدة في تنفيذ الأعمال القائمة ووضعها في الركب السليم لبيئة أفضل وادارة مائية سليمة تحتاجهما المملكة أكثر من أي وقت مضى.

مشاعل بنت محمد آل سعود

بسم الله الرحمن الرحيم

«أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَسَالَتْ أَوْدِيَةٌ بِقَدَرِهَا فَاحْتَمَلَ السَّيْلُ زَبَدًا رَابِيًا وَمِمَّا يُوقِدُونَ عَلَيْهِ فِي النَّارِ ابْتِغَاءَ حِلْيَةٍ أَوْ مَتَاعٍ زَبَدٌ مِثْلُهُ كَذَلِكَ يَضْرِبُ اللَّهُ الْحَقَّ وَالْبَاطِلَ فَأَمَّا الزَّبَدُ فَيَذْهَبُ جُفَاءً وَأَمَّا مَا يَنْفَعُ النَّاسَ فَيَمْكُثُ فِي الْأَرْضِ كَذَلِكَ يَضْرِبُ اللَّهُ الْأَمْثَالَ»

صدق الله العظيم

سورة الرعد-١٧

مقدمة

تشكل الأودية المائية في المملكة العربية السعودية منظومة جيومورفولوجية معقدة بسبب تاثرها بالتراكيب الجيولوجية وكذلك بسبب التغيرات المناخية التي مرت بها شبه الجزيرة العربية في العصور الجيولوجية القديمة. هذا ما تظهره الصور الفضائية، حيث يتبين تداخل الأودية الحديثة نسبياً مع تلك القديمة اضافة الى تلاشي العديد من مسارات هذه الأودية والى ما هنالك من أنماط جيومورفولوجية غير مألوفة المظهر (Al Saud، 2007). حيث ينتج عن ذلك مغالطات عديدة تظهر عند رسم هذه الأودية وبالتالي في عملية رسم حدود الأحواض المائية رغم استخدام تقنيات الجيومعلوماتية الحديثة.

يوجد في المملكة العربية السعودية 14 وادي مائي من المقاييس الكبيرة جداً، حيث تتوزع في أرجاء المملكة بطول يزيد عن 4500 كيلومتر. كذلك فهنالك المئات من الأودية الكبيرة والى ما هنالك من كم كبير أيضاً من التشعبات والروافد المختلفة المظهر والمقاييس. هذا وقد أولي اهتمام متزايد لهذه الأودية في الآونة الأخيرة بسبب الكوارث التي نتجت عن السيول في مناطق عدة من المملكة.

يعتبر وادي السلي الواقع في منطقة الرياض احدى الأمثلة على الأودية الموجودة في المملكة والتي تمر خلال المدن الرئيسة او بالقرب منها، مما يجعلها مصدر للقلق لناحية ارتفاع منسوب مياه الوادي في الأوقات الماطرة مسبباً سيول عارمة كما حدث بالفعل حسب السجلات التاريخية القديمة. وكذلك ما حدث خلال الأعوام القليلة الماضية في عدة أودية من المملكة. حيث ان كان وادي السلي عُرضة لفيضانات وسيول كان آخرها بعد العاصفة الماطرة التي ضربت مدينة الرياض في العام 2010م وما صاحبها من سيول خلفت أضرار كبيرة وأدت الى إحتجاز عدد من الأحياء السكنية القريبة من مسار الوادي.

يقع وادي السلي في الجهة الشرقية لمدينة الرياض، حيث يعتبر موازياً تقريباً لوادي حنيفة الذي يقع غربها، ويمتد وادي السلي من الشمال عند وادي بنبان باتجاه الجنوب بطول تقريبي يزيد عن الـ 170 كيلومتر بشكل متقطع بسبب التمدد العمراني فيه وعلى ضفافه. حيث يمر في منطقة الدائري الشرقي ليقطع أحياء النسيم، الروضة، النظيم، السلي وأجزاء من المنطقة الصناعية القديمة، وهي بمجملها أحياء أصبحت مؤخراً ذات كثافه سكانيه عاليه ومن ثم يمتد جنوباً موازياً لطريق الرياض الخرج ليتلاشى مظهره بالقرب من منطقة دحل هيت.

وتقوم حالياً أمانة منطقة الرياض إعادة تطوير وتأهيل وادي السلي وتحديد مساره ليعود إلى طبيعته كمصرف لمياه الأمطار والسيول للحفاظ على سلامة المواطنين في العاصمة والمناطق المجاورة لها. ويأتي ذلك بعد النجاح الذي حققة مشروع وادي حنيفة من تطوير وتأهيل حيث اصبح ممر سالكاً لمياه الأمطار. وشرعت الأمانة ممثلة في الإدارة العامة للدراسات والتصاميم في عمل الدراسات الهندسية لتأهيل الوادي وفتح مساره وإدارة مصادر المياه فيه مع تطوير البنية العمرانية وتخطيطه حضرياً لخلق بيئة طبيعية وترفيهية على امتداد مساره.

ولازال يواجه مشروع تأهيل وادي السلي العديد من العقبات خصوصاً وان الطبيعية الجيومورفولوجية للوادي تختلف الى حداً ما عن غيرها خصوصاً فيما يتعلق بالانحدار الخفيف جداً لمجرى الوادي ووجود الكتل الرملية فيه وكذلك تزايد الأنشطة البشرية المختلفة وبالتالي اختفاء معظم معالمة الرئيسة. وهذا قد يسبب خطأً في تحديد مسار القنوات التي يتم شقها في الوادي والتي من المفترض ان تكون مسرب لمياه الأمطار والسيول. وكذلك فانه من اجدى المعوقات التي تواجه المشروع هو وجود العديد من المخططات التي كانت قد اعتمدت على امتداد مجرى الوادي ، منها ماهو مطور ومأهول. اضافة الى وجود العديد من التعديات والملكيات على مساره الرئيسي في غياب مجاري لتصريف السيول في كثير من الشوارع والأراضي الواقعة على جانبي ووسط الوادي مما يؤدي الى تجمع المياه واحتجازها بشكل متكرر بين الشوارع والمباني .

ويترقب أهالي الرياض بإهتمام إلى اكتمال هذاالمشروع الذي بدأت بالفعل الأمانة في دراسة الحلول الهندسية اللازمة له ووضع آلية لتصريف السيول كما تم تصميم قنوات صندوقية للتصريف لتصب في القناة المفتوحة بالمصب الرئيسي الواقعة نهاية وادي السلي جنوباً وتبلغ مساحة المناطق والأحياء التي تصرف على حوض الصرف لهذاالوادي 2300 كيلومترمربع .

أ - الأهـــــــداف

تعتبر هذه الدراسة وثيقة علمية متكاملة عن المكونات الجيومورفولوجية والهيدرولوجية الرئيسة لوادي السلي والتي تم انجازها باستخدام طرق التحليل المعتمدة اضافة الى استخدام التقنيات الفضائية والأنظمة الجيومعلوماتية والجيوماتيكية (Geomatic)، وعليه تهدف هذه الدراسة الى:

1. تحديد المنظومة الهيدرولوجية الدقيقة لحوض وادي السلي لتشمل الأودية والتفرعات مختلفة المقاييس اضافة الى حدود الحوض.
2. انتاج مجسم الاتفاعات الرقمي للحوض بدقة 10 متر، مع استنتاج اتصال او انقطاع روافد وادي السلي مع باقي الأودية.
3. حساب الصيغ المورفومترية للأودية والجيومترية للأحوض وعلاقتها بالفيضانات والسيول.
4. تحديد المسار الرئيسي للوادي والذي من المفترض ان تجري مياه السيول فيه ومطابقته مع مسار القنوات الذي يتم حفرة حالياً لتحديد فاعلية هذه القنوات.

ب - موقع وادي السلي

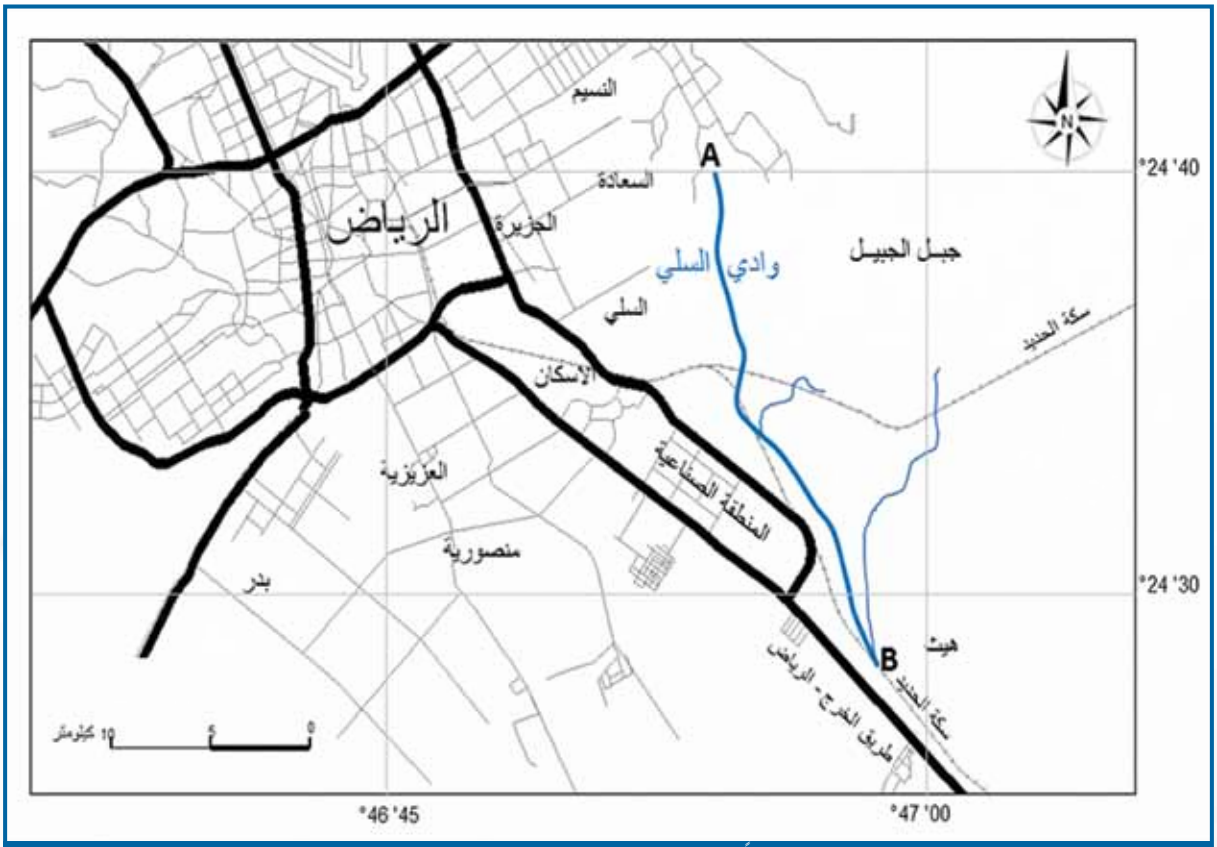
بعيداً عن الاعتبارات الجيومورفولوجية وخصوصاً منها حدود نطاق التجميع المائي لحوض وادي السلي، فانه يمكن وصف المنطقة الجغرافية التي يقع فيها هذا الوادي حسب المفاهيم المحلية العامة، بانها الرقعة الجغرافية الذي يبدأ فيها الرافد الرئيسي للوادي بالظهور وهو في منطقة السلي (″00 ′40 °24 شمالاً و ″00 ′54 °46 شرقاً) و التي هي تعتبر احدى الأحياء الشرقية لمدينة الرياض (شكل رقم 1) وهي منطقة أصبحت ذات كثافة سكانية عاليه من خلال التمدد العمراني والصناعي الذي انتشر فيها مؤخراً. حيث يمتد الوادي باتجاه الجنوب لمسافة حوالي 20 كيلومتر ويبدأ بالتلاشي بالقرب من بلدة هيت (″00 ′28 °24 شمالاً و ″00 ′58 °46 شرقاً) كما هو في الشكل رقم 1.

تتخذ المنطقة التي يقع فيها وادي السلي شكل مثلث حيث يزيد عرضها في الشمال عن أكثر من 20 كيلومترعند الامتداد ما بين أحياء السعادة، الجزيرة والسلي مع جبل الجبيل شرقاً والذي يرتفع الى اكثر من 650 م ومن ثم تبدأ رقعة المنطقة في الانحسار جنوبا حتى تنتهي عند منطقة هيت وطريق الرياض – الخرج. في حين ان متوسط الارتفاع في منطقة السلي (المنطقة الشمالية للوادي) هي حوالي 600م لتصل في منطقة هيت الى حوالي 530م، حيث ان الانحدار من ناحية جبل الجبيل هي أكبر و تشكل عدة منحدرات باتجاه الغرب والجنوب الغربي.

ت - وسائل الدراسة

بما ان هذه الدراسة تهدف الى تحديد المنظومة الهيدرولوجية لوادي السلي، ومع وجود بعض المعوقات التي من اهمها عدم وضوح التمدد الجغرافي لمسار الوادي في الوقت الذي يُعمل على شق قنوات لجر مياه السيول، كان لابد من استخدام تقنيات تحليل مختلفة مع التركيز على التقنيات الحديثة المتطورة لتحديد المسارات الفعلية لجريان المياه في الأوقات الماطرة ومدى تطابق موقعها الجغرافي مع القنوات التي يتم حفرها وكذلك تحديد الأماكن تحت خطر السيول، لذلك تم استخدام ما يلي:

1. خرائط.



شكل رقم ١: امتداد وادي السلي كما هو معروف حالياً حيث يظهر ما بين منطقة A ومنطقة B.

2. مرئيات فضائية مُحسّنة (Enhanced) للتابع الصنعي Spot-5 بقدرة تمييز 2,5 متر، ومقياس تصوير 11 كلم2 (معهد بحوث الفضاء والطيران- مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية) ملتقطة في اوقات مختلفة من العامين 2009م و 2012م. حيث تتألف من نطاق طيفي واحد فقط لوادي السلي.
3. مرئيات فضائية مُحسّنة (Enhanced) للتابع الصنعي Ikonos بقدرة تمييز حوالي 1 متر، ومقياس تصوير 11x11 كيلومتر ملتقطة في اوقات مختافة من العاميين 2013م و 2014م. حيث تتألف أربعة نطاقات طيفية لكافة منطقة الرياض.
4. مرئيات فضائية مُحسّنة (Enhanced) للتابع الصنعي Geo-eye بقدرة تمييز 0,5 متر، ومقياس تصوير 15 كلم2 (معهد بحوث الفضاء والطيران - مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية) ملتقطة في أوقات مختلفة من الأعوام 2012م و2013م، حيث تتألف هذه المرئيات من نطاقين طيفيين.
5. المجسم الأرضي الرقمي (DEM) ثلاثي الأبعاد المُستخرج من التابع الصنعي Aster بقدرة تمييز 30 متر والملتقط في العام 2009.
6. المجسم الأرضي الرقمي (DEM) ثلاثي الأبعاد المُستخرج من التابع الصنعي Spot-5 بقدرة تمييز 10 أمتار والملتقط في العام 2013.
7. برمجية ERDAS - Imagine -11 (Leica product) لمعالجة المرئيات الفضائية.
8. برمجية Arc-GIS-10.2 (Esri product) لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية. ويتكون هذا البرنامج من ثلاث تطبيقات هامة وهي: أ) برنامج Arc-Map يقوم تحرير الخرائط وعرض بيانات الرقمية، والتعامل

مع الطبقات وعملياتاخراج الخريطة، ب) برنامج Arc-Catalogue وهو يساعد على تنظيم وإدارة البيانات والتصفح والبحث، ويقوم بتسجيل وعرض المعلومات، ج) برنامج Arc-Toolbox: وهو برنامج بسيط يحتوي على أدوات نظا م المعلومات الجغرافية.

9. وثائق وبيانات ودراسات ذات الصلة بالموضوع من مصادر مختلفة.

ث - طريقة العمل

وفقاً للأهداف المطلوبة من انجاز هذه الدراسة، تم تنفيذ العمل عبر مراحل متتالية ومتداخة في بعض الأحيان، حيث بُنيت منهجية العمل بشكل أساسي على الدراسات المكتبية لتحليل البيانات الخرائط وكذلك الدراسات المخبرية لمعالجة المرئيات الفضائية وتطبيق نظم الجيومعلوماتية والجيوماتيكية ونماذج الارتفاعات الرقمية، ليتم بعدها القيام بأعمال ميدانية للتحقق من مصداقية النتائج وكذلك القيام بأعمال التصحيح اللازمة. ومن هنا تم اتباع طرق وأساليب عمل تقليدية واخرى حديثة بغية الوصول الى أفضل وأدق النتائج حيث تم تطبيق مراحل العمل التالية:

ث.1 - دراسة الوثائق ذات الصلة:

تم مراجعة مجموعة من الدراسات والوثائق ذات الصلة بالموضوع وتحديداً كل ما يتعلق بوادي السلي او اتى بالذكر عنه. حيث ان هناك بعض الدراسات التي تتناول في معظمها معلومات غير مباشرة عن هذا الوادي (الشمراني، 2006؛ الحربي، 2011). ويتضح عدم وجود دراسة هيدرولوجية مخصصة للوادي نفسه مما يزيد حافز عمل هذه الدراسة. ويتبين بشكل جلي الاهتمام مؤخراً بتنظيم جريان المياه وتصاريفها ليس في وادي السلي فحسب بل بمعظم الأودية في منطقة الرياض خصوصاً منها تلك التي شهدت سيول في الاعوام القليلة الماضية. ويتضح أيضاً ان معظم المعلومات عن المشاريع القائمة بهذا الخصوص يتم تداولها في المواقع الالكترونية المختلفة . وهذه المعلومات التي لا تستند الى مفاهيم علمية متخصصة يمكن الأخذ بها، ورغم ان هذه المواقع تركز في بعض الأحيان على الجانب الأجتماعي-الأقتصادي وخصوصاً منه ما يتعلق بنزع الملكيات الخاصة للمواقع العقارية الواقعة في مسار القناة التي يتم تشييدها حالياً، الا انها في أحياناً اخرى تصدر بعض التحذيرات للواطنين الغير واقعية .

وعليه تمت الاستفادة من الدراسات والوثائق التي تم الحصول عليها وحتى البيانات معلومات المواقع الالكترونية. حيث تم الاستدلال على الطرق والوسائل المتبعة في بعض الدراسات ومدى مصداقيتها تحديداً وان للمملكة خصوصيتها من الناحية الجيومورفولوجية.وكذلك يتضح بعض المعلومات الهامة عن مسار القنوات التي يتم حفرها وما هي المشكلات التي تواجه عملها والى ما هنالك من معلومات تصب في زيادة المفهوم العام عن وادي السلي.

ث.2 - اعداد الخرائط الطوبوغرافية:

كان للخرائط الطوبوغرافية (1:50,000) دوراً رئيساً في هذه الدراسة حيث تم من خلالها تتبع مسار الروافد والأودية المائية المطلوب دراستها والتعرف على معالم سطح الأرض التي كانت موجودة في تاريخ انتاج وتحديث هذه الخرائط في العام 1983م. حيث كان للخرائط الطوبوغرافية دوراً هاماً خلال الزيارات الحقلية للمنطقة لناحية التعرف على أسماء وتضاريس المنطقة التي يمر فيها الوادي وما يترابط معه من روافد وكذلك معرفة

الوضع القائم لامتداد هذا الوادي لناحية انفصال اجزاء منه بسبب التمدد السكاني والانشطة البشرية، او تغير مساره عن وضعه الطبيعي والى ما هنالك من متغيرات طبيعية وهذا بدوره يساعد في عمليات المقارنة وتقييم مدى التدخل البشري في الأودية المائية. وبناءاً عليه سوف يتم استخدام هذه النتائج في الدراسات المتعلقة بانشاء قنوات جر مياه السيول وكذلك له دوراً اساسياً في تحيد المناطق الواقعة تحت خطر الفيضانات والسيول.

استخدمت في هذه الدراسة ثلاث لوحات (Sheets) لخرائط من اجل تغطية وادي السلي والروافد التي هي من المفترض ان تصب فيه، وهذه اللوحات هي:

- لوحة الرياض، رقم (NG38 - 16)
- لوحة رماح، رقم (NG38 - 12)
- لوحة المجمعة، رقم (NG38-11)

تم من خلال نظم المعلومات الجغرافية ربط فسيفسائي (Mosaicking) للوحات الثلاثة معاً باستخدام برمجية Arc-GIS وذلك بعد تحديد الموقع الجغرافي المُعرف (Geo-referencing) لكل خريطة. ويتم ذلك بعد انتقاء على الأقل أربعة نقاط أو أكثر (معرفة الأحداثيات) في كل خريطة.

تم من الخريطة الطبوغرافية تتبع مسار وادي السلي والروافد الرئيسية والفرعية المعروفة عموماً ،حيث تم الاخذ بعين الاعتبار المعاييرالجيومورفولوجية والهيدرولوجية . الا ان الوادي المعروف حالياً (كما في الشكل رقم 1) ليس هو الا جزءاً من وادي ذو امتداد اكبر حيث ينحدر مساره من ناحية الشمال من الفرع الرئيسي لوادي بنبان والذي انفصل بسبب وجود المناطق العمرانية والطرقات التي حالة دون استمرارية تمدد الوادي جنوباً ليشكل وحدتين مائيتين منفصلتين تماما.

اما المناطق العمرانية فهي تتمثل اساساً بأحياء قرطبة، الرماية والنظيم. في حين ان هنالك مجموعة كبيرة من الطرقات تتجة بشكل متقاطع تماماً مع الوادي الممتد من وادي بنبان الى وادي السلي، ومن اهمهما طريق الدمام رقم 40، طريق الامام عبدالله بن سعود بن عبدالعزيز، طريق الملك عبدالله، طريق خريص رقم 522 وغيرها من الطرقات الرئيسة.

ث.3 - انتاج النماذج الأرضية الرقمية (DEMs) :

لايزال العديد من الباحثون في المملكة (Chorley، et al.، 1985؛ الحربي، 2011) وغيرها يرون أن هناك مشكلة حول دقة وصحة البيانات المستخرجة من التطبيقات الجيومورفولوجية والهيدرولوجية، خاصة وان مصادر هذه البيانات هي إما من الخرائط الطوبوغرافية أو الصور الجوية، وتتطلب جميعها عملاً يدوياً مملاً وزمناً طويلاً تصاحبه الأخطاء. وان كانت للخرائط الطوبوغرافية دوراً رائداً في تحديد المسارات الآنية للأودية المائية والتي هي في معظم الأحيان تُعتمد في دراسات السيول والجريان المائي السطحي بمختلف أشكاله، الا ان آلية حركة المياه على سطح الأرض بما فيها اتجاهها وطاقة جريانها (Al Saud، 2014) لهما دوراص كبيراً في نظام الجريان من السطح الأرضية باتجاه الروافد.

وتستخدم خرائط النماذج الرقمية في انتاج مجموعة كبيرة من الخرائط، مثل خرائط الميل (Slope) والمظهر (Aspect) وخرائط ظلال التلال (Hill shade) والخرائط الكنتورية ومقاطع الارتفاعات (Profiles) وخط مستوى النظر (Line of sight) وتحديد مدى الرؤية (View shade) وغيرها من الخرائط التي ينتج عنها الحسابات المورفومترية والجيومترية اللازمة

لقد أصبح نموذج الارتفاع الرقمي (Digital Elevation Model) من أهم الوسائل المتبعة في اسخراج مظاهر سطح الأرض وبالتالي في التطبيقات الحديثة المستخدمة ضمن برنامج نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والذي يتيح رؤية ثلاثية الابعاد للتضاريس الأرضية من الفضاء بشكل مُجسّم حيث يمكّن من مشاهدة الأرتفاعات والأعماق بمقاييسها المختلفة.

ويستخرج نموذج الارتفاع الرقمي بشكل رئيسي من المرئيات الفضائية والصور الجوية والخرائط الطبوغرافية (الكونتورية) المرقمّة والتي تهيئ قياسات وتحاليل ونتائج دقيقة للارتفاعات، وهذا يساعد في العديد من التطبيقيات المتعلقة بدراسة سطح الأرض والعمليات الطبيعية القائمة عليه خصوصاً في مجال العلوم الجيومورفولوجية وما ينتج عنها من تطبيقات هيدرولوجية وجيولوجية ويتح الفرصة للقيام بعمليات لمعرفة اتجاه التدفق وكمياته.

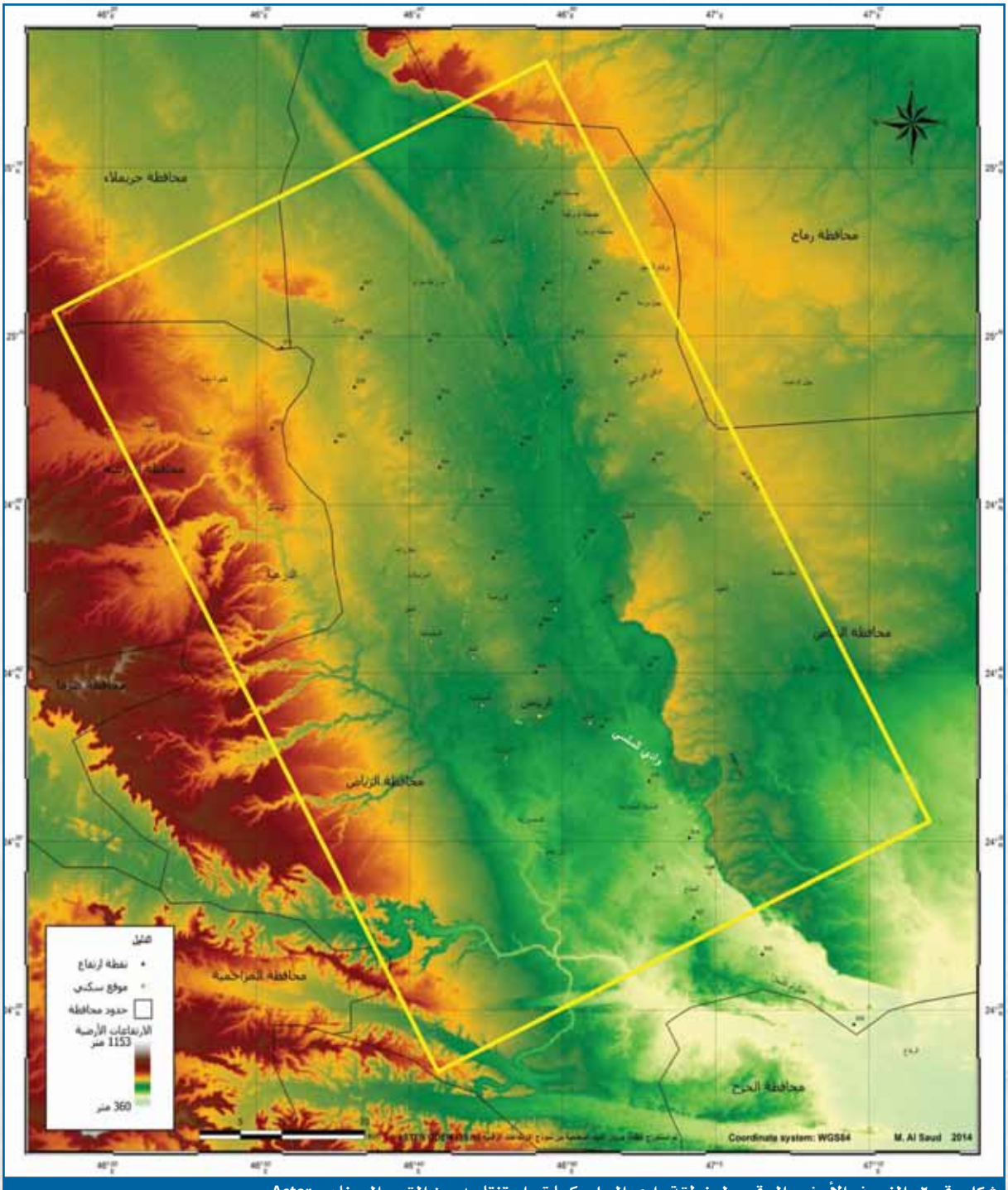
ان الملفات التي يتكون منها الـ DEMهي لبيانات رقمية على شكل Raster حيث تتكون من مجموعة من النطاقات المربعّة «بكسل» أو الـPixels ولكل منها قيمة رقمية تمثل متوسط ارتفاع سطح الارض في مساحة هذا النطاق. ويمكن الحصول على هذه الملفات ضمن برامج الـGIS وتكون عادة كبيرة المقياس. يستخدم هذا النموذج اما شبكة الاحداثيات الجغرافية اي شبكة خطوط الطول والعرض وخاصة ان هناك بيانات تتغير وتنفصل بسبب انحناء الارض او تستخدم شبكة الـ UTMفي حالة وجود مجموعة بيانات مشتركة.

اما عملية بناء النموذج الأرضي الرقمي فهي تتم من احدى طريقتين، اما مباشرة من الخرائط الكونتورية التي يتم ربطها بشبكة احداثيات ومن ثم ترقيمها بدقة متناهية مع التأكد من عدم وجود أي شوائب، ومن ثم يتم تسجيل الارتفاع لكل خط من خطوط الكونتورية وتحويلها الى صورة نقطية أو شبكة تعكس اختلاف الارتفاعات للمنطقة، أو تتم من خلال المرئيات الفضائية الستريوسكوبية او الرادارية. والتي يجب اولاً بناء ما يسمى بالشبكة المثلثية الغير منتظمة "Triangulated Irregulated Network" الـ TIN وهي تركيبة ارتفاعات رقمية تدخل في نظام المعلومات الجغرافية، وتتألف الـTIN من ثلاثة متغيرات للارتفاعات (X, Y, Z). ويمكن تمثيل الـTINs في برمجية Arc-GIS باستخدام 3D-Analyst Toolbar. وكذلك فانه من أهم الطرق لإنشاء نماذج الارتفاعات هي الـInterferometry والتي تتم باستخدام الصور الرادارية أوباستخدام القمر الصناعي SRTM الراداري أيضاً لسهولة استخراج خرائط الارتفاعات من خلاله.

في هذه الدراسة تم أولاً استخدام النموذج الرقمي GDEM المستخرج من صور القمر الصناعي Aster باستخدام طريقة الستريوسكوبي بقدرة تمييز 30 متر للبيكسل، والذي مكّن من انشاء مجسم رقمي ثلاثي الأبعاد للمنطقة يظهر فيها معالم سطح الأرض بشكله الطبيعي من مناطق سهلة ومنحدرات ومناطق جبلية والى ما هنالك من تضاريس سطحية تظهر بشكل رقمي يمكن من خلالها حساب المعايير الجيومترية للأسطح ومن ثم القدرة على نمذجة الأودية والروافد المائية المختلفة. ويبين الشكل رقم 2 النموذج الأرضي الرقمي (GDEM) لمنطقة الدراسة.

ومن المعروف انه كلما زادت قدرة تمييز المرئية الفضائية، أو صغر فارق المناسيب الكنتورية في حال الخرائط الطبوغرافية، زاد معه تفاصيل مرفولوجيا الأرض ودقة النموذج وبالتالي عدد الأودية والتشعبات المائية حتى الصغيرة منها والآنية. ان الشكل رقم 2 للمجسم الرقمي يبين التضاريس والارتفاعات الواقعية على سطح الأرض لمنطقة وادي السلي، حيث يتبين ان تمدد المنطقة بشكل عام هو باتجاه شمال -جنوب يتوسطها انخفاض بشكل طولي وهو الذي يمثل مسار الوادي الرئيسي. وتتميز المنطقة المُستنتجة من الـDEM باختلاف متوسط للإرتفاعات، حيث ان اعلى ارتفاع في المنطقة هو 850 متر واقلها هو 450 متر في حين ان الارتفاع المتوسط في هذه المنطقة هو 616 متر فوق مستوى سطح البحر.

كذلك الأمرفقد تم في هذه الدراسة استنتاج المجسم الأرضي الرقمي (DEM) لمنطقة الدراسة من صور القمر الصناعي Spot-5 التي تتميز بدقة 2,5 متر، الا انه يتم تقليل هذه الدقة لتصل الى 10 أمتار و ذلك من اجل التخفيف من الاخطاء الناشئة خلال تصنيع النموذج، ويهدف هذا الاستخدام الى الحصول على نتائج اكثر دقة خصوصاً فيما يتعلق باستخراج منظومة الأودية المائية (Drainage system) المفصلة ليتم بعدها التطبيقات الجيومورفولوجية والهيدرولوجية المختلفة.

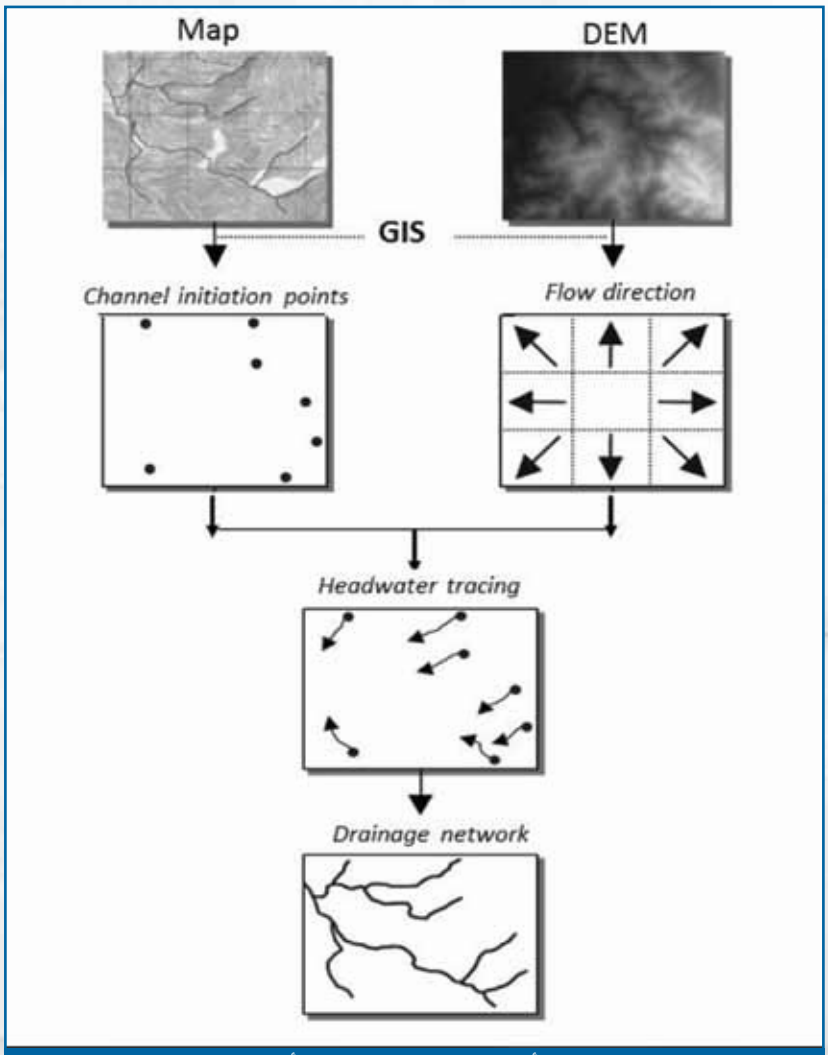


شكل رقم ٢: النموذج الأرضي الرقمي لمنطقة وادي السلي كما تم استنتاجه من القمر الصناعي Aster.

ث.4. استخراج المنظومة المائية من الـDEM:

ان استنتاج النموذج الأرضي الرقمي لوادي السلي بدقة تمييز مختلفة (30 متر و 10 امتار) تعد مرحلة عملية اولى ليتم بعدها رسم الأودية المائية الرئيسة والروافد التابعة لها، وبالتالي تحديد نقاط القاسم المائي (Water divide) ومن ثم نطاق الحوض المائي والذي يمثل وحدة هيدرولوجية مستقلة يمكن من خلالها حساب عدة معايير هيدرولوجية وكذلك تقييم خطر السيول في هذا الحوض.

وتتم عملية استخراج الأودية والروافد المائية من المجسمات والنماذج الرقمية الأرضية من خلال عدة طرق الكترونية تعتمد بشكل اساس على برمجيات نظم المعلومات الجغرافية والتي تقوم بمعاجة الخرائط المرقمة والصور الجوية والفضائية الستريوسكوبية. حيث يتم تحديد نقاط نشؤ المسارات للقنوات المختلفة (Channel initiation points) من المصادر الألكترونية لارتفاعات التضاريس والتي تعتمد بشكل اساسي على تحديد اتجاه الجريان المائي السطحي الأولي (Incipient flow direction) وبالتالي تتنج أشكال شبكات الأودية بطريقة التتبع الحركي الأولي للمياه (Headwater tracing method). ويمكن تمثيل عملية استخراج النماذج الأرضية الرقمية من المصادر المختلفة في الشكل رقم 3.



شكل رقم ٣: خطوات استخراج الأودية المائية من النموذج الأرضي الرقمي.

ان استخدام النموذج الأرضي الرقمي المستخرج من GDEM في هذه الدراسة هو مرحلة اعداد للشكل العام للتضاريس والذي يمكن من خلاله ايضاً رسم الأودية المائية ولكن بدقة اقل منها في تلك المستخرجة من Spot. كذلك يمكن استخدام الـ DEM المستنتج من GDEM الذي يمكن الحصول عليه مجاناً في حال عدم توفر DEM غير مجاني او اية مصادر اخرى اكثر دقة. اضافة الى ان الـ GDEM لا يظهر بعض الشوائب (مثل الأشكال الطولية المتقاطعة) عند رسم الأودية والتشعبات المائية والناتجة عن تأثير وجود المناطق السكنية، وذلك بسبب حجم البيكسل 30 متر.

ففي هذه الدراسة استخدم (D8) Arc-Map من خلال ملف Spatial Analyst الذي يحتوي على قسم متعلق بالتطبيقات الهيدرولوجية حيث يتم اعتبار كل المنخفضات كمناطق تصريف وبالتالي نقوم بتعبأة هذه المنخفضات بشكل الكتروني من خلال برمجية نظم المعلومات الجغرافية. حيث ان قسم التطبيقات الهيدرولوجية في هذا الملف يمكنها استنباط العلاقات المطلوبة والتي من اهمها اتجاه الجريان وتجمع الجريان وكذلك رتب Strahler. حيث ان تحديد اتجاه الجريان واستنتاج شبكة الأودية المائية اعتمد على الإنحدارات القصوى (Maximum slope). ومن خلال الاساليب والطرق الآنفة الذكر للحصول على شبكات الأودية والروافد المائية، يتم بعدها تتبع مسار المناطق العلوية المتاخمة تماماً لمناطق التصريف والتي منها يمكن رسم حدود الأحواض المائية، الرئيسية منها والفرعية، بدقة. وتمت هذه التطبيقات على النموذجين GDEM والSpot للحصول على خريطتين للأودية والحوض المائي لوادي السلي بتفاصيل مختلفة حسب قدرة التمييز لكلٍ منهما حسب الشكل رقم 4 والشكل رقم 5.

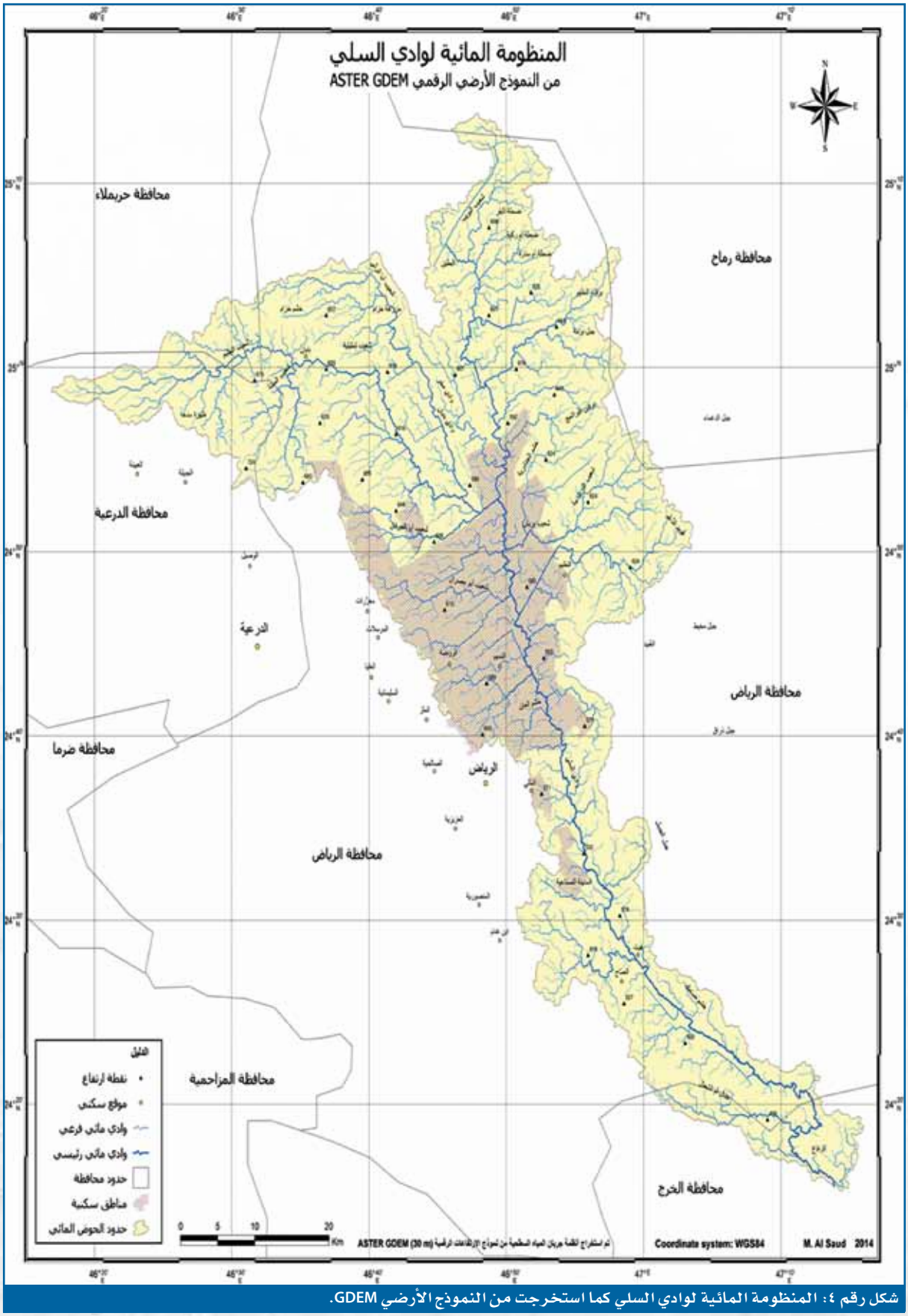
ث.5. معالجة المرئيات الفضائية:

تم في هذه الدراسة اختيار نوعين من المرئيات الفضائية للتوابع الصناعية Geo-eyeوSpot-5، حيث تتميز كل منها بمواصفات تقنية مختلفة من اهمها قدرة التمييز (Spatial resolution) وبالتالي فان لكلٍ منها دوراً محدداً في إستقاء المعلومات والبيانات المطلوبة للدراسة. أما عملية معالجة هذه المرئيات فتمت باستخدام برمجيات إلكترونية متخصصة وذات قدرة على للتحليل. حيث استخدمت في هذه الدراسة برمجية ERDAS-Imagine-11 . وهذه البرمجية تحتوي على مجموعة من التطبيقات الرقمية والطيفية مثل: تحسين الرؤية الطيفية (Enhancement) من خلال التمثيل البياني، تصنيف للأطياف، الكثافة الطيفية (Density slicing)، تدرج الألوان (Coloring)، تمييز الجوانب (Edge detection)، ودمج الموجات الطيفية (Band combination)، وإلى ما هنالك من تطبيقات رقمية وبصرية مختلفة.

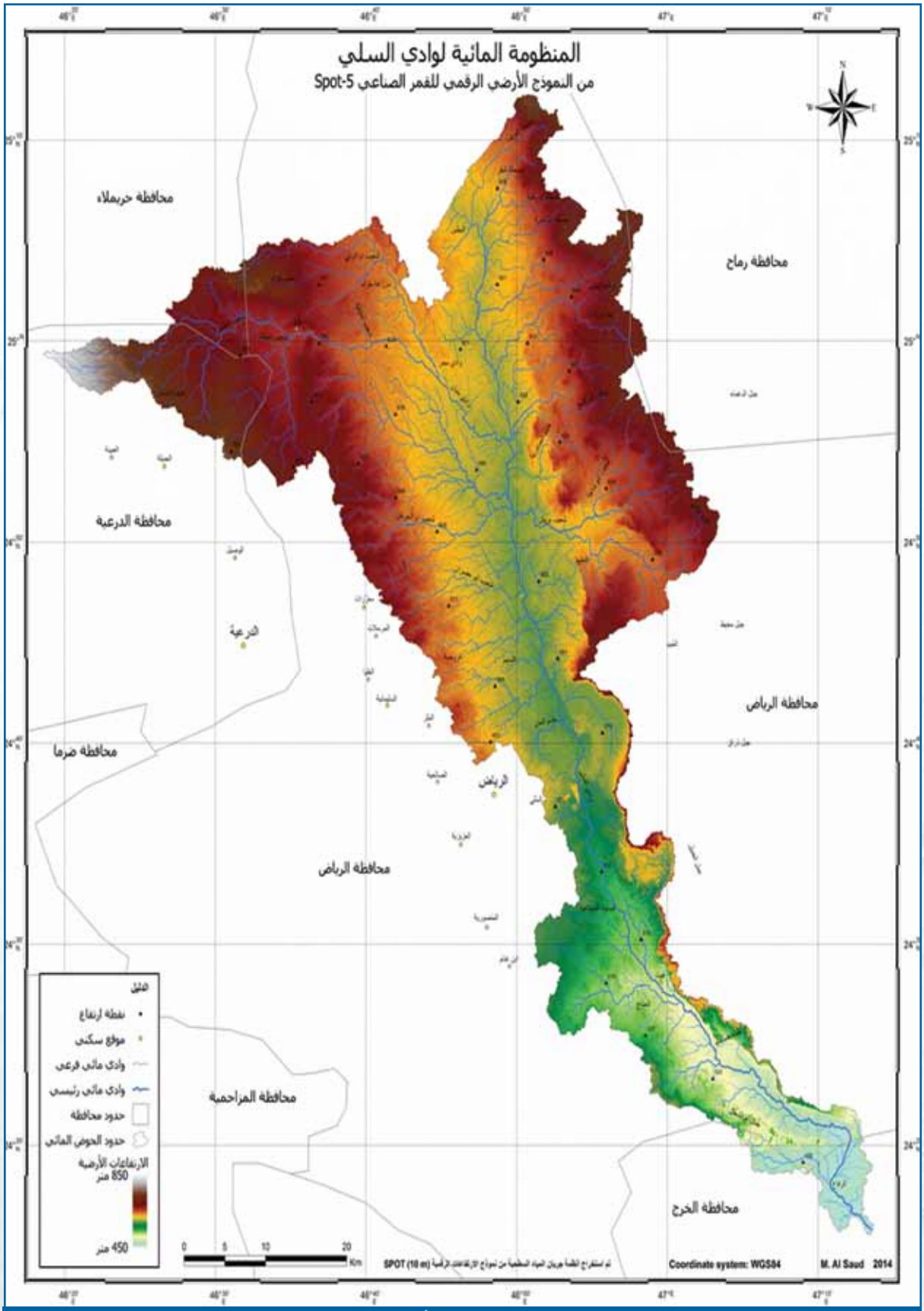
ث.6. تطبيق نظم المعلومات الجغرافية:

تُعد تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) مرحلة متزامنة او بعد معالجة المرئيات الفضائية، حيث استخدمت في هذه الدراسة برمجية Arc GIS 10,2 والتي لها القدرة على حفظ المعلومات الأرضية (Geo-spatial data) والتي تم بواسطتها رسم النطاقات الجغرافية للأودية والأحواض المائية ووضعها في نماذج رقمية مستقلة (Layers) ليتم مقارنتها مع تلك التي استنتجت من النماذج الرقمية.

ومن خلال الGIS تم إخراج الخرائط المختلفة وبشكل رقمي «إلكتروني». وكذلك تم حفظ بيانات الخرائط الموضوعية (Thematic maps) بشكل متتالي في الحاسب الآلي مع انتاج سجلات حسابية ضمن جداول (Attribute tables) لكل نطاق جغرافي تم تحديده وبالتالي يمكن استعراض النماذج الأرضية المختلفة في آنٍ واحد ودمجها معاً بطرق رقمية وتطبيق عمليات المقارنة إذا لزم الأمر. وهذا ساعد في استنتاج أماكن المواقع



شكل رقم ٤: المنظومة المائية لوادي السلي كما استخرجت من النموذج الأرضي GDEM.



شكل رقم ٥: المنظومة المائية لوادي السلي كما استخرجت من النموذج الأرضي الرقمي للقمر الصناعي Spot-5.

المرادة دراستها في المنظومات الجغرافية المختلفة وحساب أبعادها الأرضية وتحديد مقاييسها وتطبيق الصيغ الرياضية المطلوبة وبالتالي إخراج البيانات بطرق يسهل التعاطي معها وفهمها وقراءتها. كذلك فان الGIS يساعد في تطبيق الصيغ الحسابية والاحصائية المختلفة وحساب المنحدرات وأنماط اتجاهها وكل المقاييس المورفومترية الأخرى (أطوال الاودية وعددها وكثافتها، الخ).

ث.7. العمل الحقلي:

لقد تم العمل الحقلي على فترات متلاحقة في منطقة وادي السلي ليتسنى التدقيق الميداني بكل التفاصيل المتعلقة بالموضوع، حيث تم القيام بخمسة جولات ميدانية للمنطقة الممتدة من عرق وادي بنبان شمالاً وحتى مدينة الخرج جنوباً، ومن منطقة جبل مذكور شرقاً الى طريق الرياض- الخرج واطراف مدينة الرياض غرباً. حيث اعتمد العمل الحقلي بشكل اساسي على الخرائط الطوبوغرافية (1:50,000) والمرئيات الفضائية للتابع الصناعي Spot-5. كذلك فقد تم الاستعانة ببعض الأجهزة الحقلية اللازمة مثل جهاز تحديد المواقع العالمي (GPS)، وجهاز قياس اعماق الأودية والمسافات عن بعد (Range-meter).

ويهدف العمل الحقلي الي: 1) التدقيق في وجود التشعبات الصغيرة للأودية المستخرجة من النموذج الأرضي للارتفاعات وكذلك الأمر للتحقق من الأودية المرسومة على الخرائط الطوبوغرافية، 2) التدقيق في مسارات القنوات التي يتم حفرها على امتداد الوادي، 3) التحقق من عمق الأودية وعرض المقاطع المختلفة لها، 4) تحديد اماكن تجمع المياه والاعمال السلبية القائمة على مسار الوادي.

خصائص المنظومة المائية لحوض وادي السلي

تمثل المنظومة المائية (Drainage System) وحدة أرضية مترابطة لسطح الأرض والتي تتالف من من الأودية المائية بمقاييسها المختلفة والتي تكون شبكة تصريف مائي لها نطاق جغرافي مُحدد. وتعتمد العديد من الدراسات الجيومورفولوجية والهيدرولوجية على تحليل الخصائص الشكلية للمنظومة المائية وهي تتمثل بشكل رئيسي بكل من: الخصائص الجيومترية للحوض المائي والخصائص المورفومترية للأودية المائية ضمن هذا الحوض:

ج. 1. الخصائص الجيومترية

تمثل الخصائص الجيومترية للأحواض المائية المواصفات الهندسية للحوض المائي بحد ذاته بغض النظر عن تشكيلة الاودية والروافد (شبكة التصريف المائي) الموجودة ضمنة. حيث ان الحوض المائي يتحدد نطاقه الجغرافي بالمناطق المرتفعة حول شبكة التصريف المائي و التي منها يبدأ تغذية الروافد المائية. وبالتالي يعتبر الحوض المائي كوحدة مساحية لها خصائصها التي يمكن قياسها كمياً، وعلى هذا يمكن تحليلها وتصنيفها، وكذلك يمكن معالجة الحوض المائي على أنه نظام تدخله كمية من الطاقة المتمثلة في كمية الامطار ثم تخرج منه كتصريف مائي.

ومن المعروف ان لكل مجرى في الحوض أيا كانت رتبته حدوداً حوضية يصرف فيها مياهه، اي ان عدد الأحواض المائية الصغيرة (ضمن الحوض الرئيسي الكبير) تساوي عدد الروافد المائية مهما كان قياسها. وهنا نجد ان حوض وادي السلي (حسب النموذج الرقمي المستخرج من صورة SPOT) يضم 2574 مجرى (حسب الشكل رقم 5) ابتداءً من مجاري الرتبة الأولى وانتهاء بالمجرى الرئيسي من الرتبة السادسة وفقا لنظام Strahler للرتب النهرية وبهذا العدد الكبير من الأحواض المحتملة فإنه يصبح من غير المجدي استخراج القياسات المورفومترية لجميع الأحواض المحتملة وعوضا عن ذلك فإنه من الممكن استخراج القياسات المورفومترية للأحواض الفرعية (Sub-catchments) وكذلك للحوض ككل كوحدة واحدة.

في هذه الدراسة تم اعتماد الأحواض الفرعية أساس انها تلك الأحواض المائية للرتب العليا في الحوض الرئيسي ابتد اءً من الرتبة الخامسة فأعلى، على ان تتصل بالمجرى الرئيسي للحوض. وعليه فقد نتج عن ذلك وجود ثلاثة احواض فرعية ضمن نطاق وادي السلي (شكل رقم 6). وقد تم تسمية هذه الأحواض حسب الأودية الرئيسة الموجودة فيها لتشمل: حوض وادي بنبان، حوض وادي البويب وحوض وادي السلي (جنوبي).

ان التركيز على الأحواض ذات الرتب العليا له أهميته في حساب التباينات في التغذية المائية بالحوض والمرتبطة بالمقاييس المورفومترية المستخلصة (Miller, 1953; Thorn et al, 1998). وذلك بحكم أن الأحواض ذات الر تبة الأقل تصرف مياهها في الأحواض التالية لها في الرتبة، ومن ثم فإن أحواض الرتب العليا هي ما ينصب عليه الاهتمام في إدارة الأحواض وفي هندستها المائية.

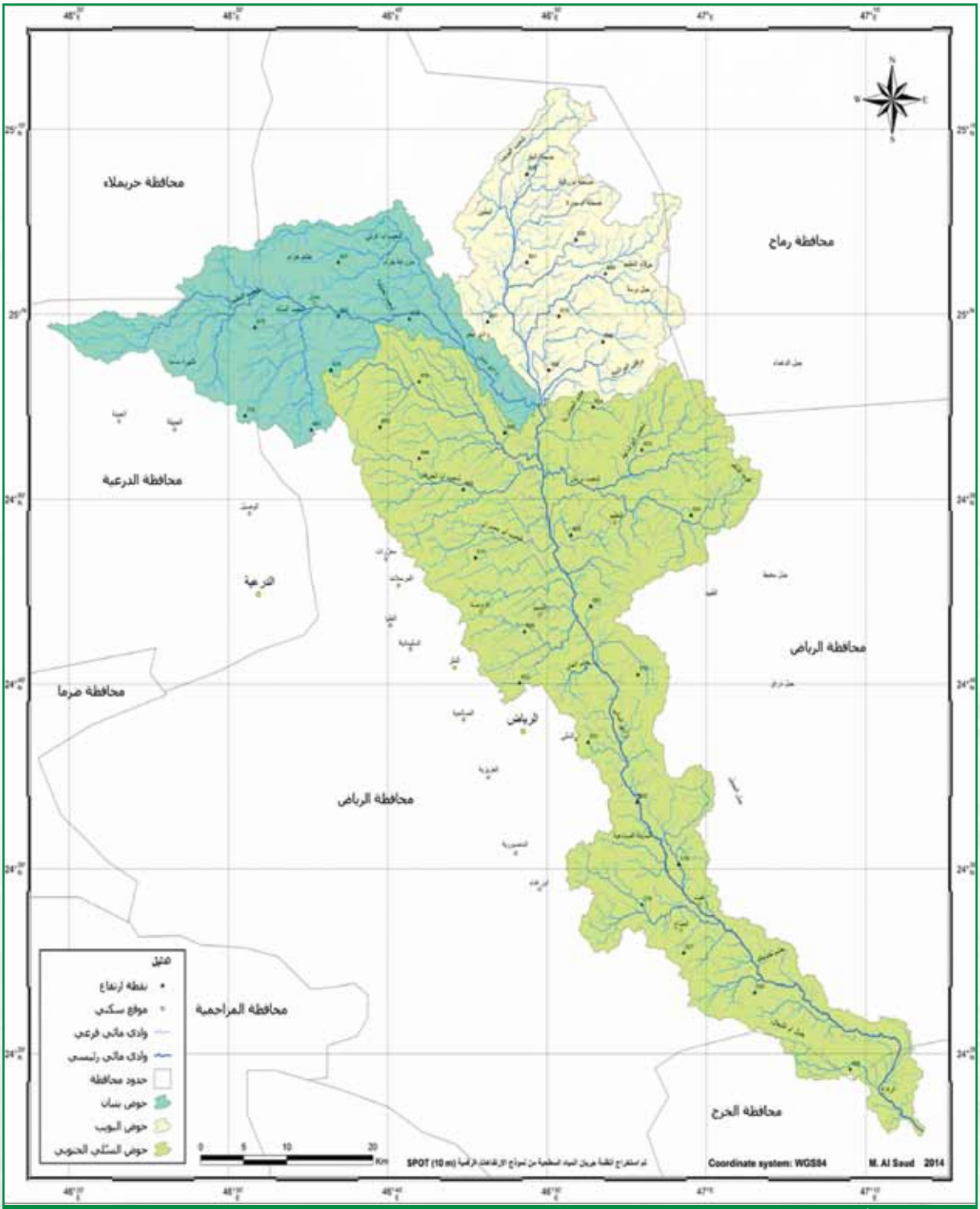
ان تحليل المواصفات الجيومترية للأحواض المائية تساعد في تقييم آلية تصريف المياه من الروافد ذات الرتب الصغيرة الى المجرى الرئيسي وبالتالي يمكن من خلالها تقدير الفترات الزمنية لوصول المياه وكذلك حجم التدفق بعد الاخذ بعين الاعتبار مجموعة كبيرة من العوامل أهمها انحدار الاسطح ضمن الحوض المائي. وفي هذه الدراسة تم تحليل المواصفات الجيومترية التالية لحوض وادي السلي:

1. الأبعاد الرئيسية للأحواض الفرعية:

1.1. مساحة حوض التصريف: تعد مساحة الحوض من الخصائص المؤثرة على حجم التصريف النهائي للحوض، فمن الطبيعي انه كلما كبرت مساحة الحوض زادت كمية متساقطات الأمطار مما يؤدي إلى زيادة حمولة الوادي،

مع الاخذ بعين الاعتبار ثبات المتغيرات الأخرى مثل نوع الصخر وتركيبته والتضرس وشكل شبكة التصريف ومن ثم فان هناك علاقة طردية بين المساحة الحوضية وحجم التصريف المائي لشبكة التصريف النهري.

هذا وقد تم حساب مساحة حوض وادي السلي والتي تشمل الاحواض الفرعية الثلاثة حيث انها تساوي حوالي 2481 كيلومتر مربع، حيث تتوزع على لأحواض الفرعية كما في الجدول رقم 1.



شكل رقم ٦: الأحواض الفرعية في وادي السلي.

اسم الحوض	الأبعاد الرئيسية					
	مساحة حوض التصريف (كلم^2)	أقصى طول (كلم)	عرض الحوض (كلم)	طول/ عرض	محيط الحوض (كلم)	محيط/ مساحة
حوض بنبان	518	52	5-26	2,05	253	0,49
حوض البويب	467	32	18-24	1,52	194	0,42
حوض السلي (جنوبي)	1496	100	10-36	4,34	578	0,35

جدول رقم ١. الأبعاد الرئيسة للأحواض الفرعية التابعة لوادي السلي.

2.1. أقصى طول للحوض: وهذا البعد الجيومتري يمثل الخصائص التضاريسية للأحواض المائية، حيث ينعكس على أطوال الشبكات المائية داخل الحوض، مما يزيد من كفاءة هذه الشبكات من حيث زيادة كمية المياه الجارية فيها وزيادة معدل التدفق المائي وبالتالي زيادة قدرة هذه الروافد على الحت و النقل لمسافات طويلة نسبيا. كذلك فان للطول الأقصى للحوض دوراً في سرعة الجريان وبالتالي يتحكم في وقت عمليات التسرب والتبخر والنتح. ويقاس هذا البعد بخط مستقيم على امتداد لمجرى الرئيسي بتداء من نقطة المصب إلى أعلى نقطة في الحوض. حيث ان اقصى طول لحوض وادي السلي هو 123 كيلومتر والذي كان قد تم قياسه من اعلى وأقل نقطة ارتفاع وهما 840 متر و 244 متر على التوالى. كذلك فان أقصى طول للأحواض الفرعية تم حسابه (جدول رقم 1).

3.1. عرض الحوض: يؤثر هذا المقياس على كمية المياه المتساقطة من الأمطار وعلى حجم التدفق وكذلك التسرب والتبخر والنتح. فكلما زاد عرض الحوض زاد ما يتلقاه من المتساقطات وبالتالي زاد الجريان. ومن المعروف ان الأحواض العريضة نسبيا تصل فيها المياه إلى المجرى الرئيسي في وقت واحد تقريبا مما يؤدي إلى زيادة حمولة المجرى الرئسي التي تتركز في فترة زمنية محدودة ويعمل ذلك بدوره على زيادة حجم وكمية الرواسب التي يحملها الوادي أيضاً. أما الأحواض التي تتميز بزيادة طولها مقارنة بعرضها، فإنها تتميز بوصول المياه الى المجرى الرئيسي في أوقات مختلفة، وبالتالي يستمر الجريان لمدة أطول مع انخفاض قمة الفيض المائي.

اما العرض الوسطي لحوض وادي السلي فهو حوالي 25 كيلومتر والذي كان قد تم قياسه على عدة نقاط متعامدة ما بين العرض والطول. كذلك فان العرض الوسطي للأحواض الفرعية تم حسابها بشكل منفرد ليتم بعدها حساب الطول بالنسبة للعرض(جدول رقم 1) والتي لها دور في تقييم قابلية الحواض للفيض المائي.

4.1. محيط الحوض: يتناسب محيط الحوض المائي بشكل طردي مع مساحته، فكلما زاد طول المحيط زادة معه المساحة، ولكن ما يمكن الاستفادة منه في هذا الحال هو النسبة ما بين محيط الحوض والمساحة والتي تستخدم لتقييم تعرج الحدود الخارجية للحوض، وعليه فكلما زادة هذه النسبة تزداد معها معدل التعرج لمحيط الحوض والعكس صحيح.

ان طول محيط وادي السلي هو 719 كيلومتر، واذا ما نُسب الى المساحة فنجد النسبة هي 0.3. كذلك يبين الجدول رقم 1 النسب المختلفة مابين المحيط والمساحة لأحواض الفرعية الثلاثة.

2. شكل الحوض:

يرتبط الشكل العام للحوض أساساً بطبيعة التركيب الصخري ونوعيته، وبالتالي بالعوامل الجيومورفولوجية والمناخية القديمة. وهو يتحكم بشكل رئيسي في آلية تدفق المياه من تصريف وسرعة في الروافد وفي وقت

وصولها إلى المصب. ويتم عادةً تقييم شكل الحوض من خلال مقارنته بالأشكال الهندسية الشائعة. فان كان الحوض دائرياً، فأن مياه الحوض تصل إلى المصب الرئيسي في نفس الوقت تقريبا ومن ثم يحدث ارتفاع سريع في منسوب المياه، اما اذا كان مستطيلا فتصل المياه بشكل متتلاي، وفي حالة الحوض المخروطي فاذا كان رأس المخروط هو المصب فان المياه تصل إلي المصب في فترة زمنية طويلة، اما اذا كان المصب على الجهة العريضة للحوض فأن المياه تصل إلى المصب الرئيسي بشكل سريع، وهكذا.

كذلك فهناك خصائص اخرى تُعتمد في دراسة شكل الحوض المائي من حيث الاندماج أو الانبعاج، ومن خلال قياس النسبة بين طول الحوض وعرضه، الخ. في هذه الدراسة سوف نركز على حساب ثلاثة خصائص هامة لشكل الحوض المائي كما يلي:

1.2. معامل الاستطالة (Elongation Index):

وهي النسبة ما بين قطر الدائرة التي تحتوي على نفس مساحة الحوض والمسافة ما بين ابعد نقطتين في الحوض (Schumm, 1956) حسب المعادلة التالية:

$$E = \frac{2\sqrt{A}}{L\sqrt{\pi}}$$

ويتبين ان نسبة الاستطالة لحوض وادي السلي هي 0.52، بينما يوضح الجدول رقم 2 نسب الاستطالة للأحواض الفرعية.

اسم الحوض	معامل الاستطالة	معامل الشكل	معامل كرافيلي
حوض بنبان	0.49	0.19	3.11
حوض البويب	0.79	0.46	2.51
حوض السلي (جنوبي)	0.53	0.15	3.76
حوض وادي السلي	0.52	0.16	4.07

جدول رقم ٢. المواصفات الرئيسة لشكل الأحواض الفرعية التابعة لوادي السلي.

2.2. معامل الشكل (Shape Index):

وهو النسبة ما بين مساحة الحوض الى ضعف المسافة ما بين ابعد نقطتين في الحوض (Horton,1932).

$$F = \frac{A}{L^2}$$

3.2. معامل كرافيلي (Gravelius Index):

وهو النسبة ما بين محيط الحوض والدائرة التي تحتوي على نفس مساحة الحوض (Gravelius، 1914)، وهذا المعامل هو دائما اكبر من 1ن حيث ان القيمة القريبة من 1 تعني ان الحوض هو دائري، بينما القيم العليا تعني ان الحوض هو بشكل استطالي.

$$K = \frac{P}{2\sqrt{\pi.A}}$$

3. انحـدار الأسـطح:

يعتبر انحدار سطح الأرض من العوامل الهيدرولوجية المؤثرة في جريان المياه. وهنالك مجموعة كبيرة من تقسيم الانحدارات ولكنه في الاغلب فان الانحدار الذي يزيد عن 40 درجة هو الأقصى، ليصبح بعدها سطح الأرض جرف (Cliff) لا يمكن حمولة أية مواد عليه.

فكلما زاد معدل انحدار الاسطح زادة سرعة جريان المياه في الأودية والقدرة على جرف المواد الموجودة في مسارها. فمن خلال الاسطح يبدا الجريان عبر المنحدرات باتجاه الروافد المائية. ومن الطبيعي فان طاقة اندفاع المياه المتلاقية في الأودية تكون اكبر عندما يكون معدلات انحدار الأسطح عالية والعكس صحيح (آل سعود، a2010). وفي هذه الدراسة تم انتاج خريطة تبين انحدارات الأسطح من خلال استخدام النموذج الرقمي الأرضي DEM المستخرج من القمر الصناعي SPOT بدقة 10 امتار، والذي يمكن من خلاله رسم وتحديد الانحدارات المختلفة باستخدام ArcMap في منظومة الـ GIS.

حيث تم تقسيم الانحدارات كما في الشكل رقم 7 والجدول رقم 3.

- منطقة منبسطة = أقل من 2 درجات، انحدار خفيف جداً= 2 - 4 درجات
- انحدار خفيف = 4 - 8 درجات، انحدار متوسط = 8 - 12 درجات
- تلال خفيفة = 12 - 25 درجة، تلال = 24 - 40 درجة
- انحدار كبير = أكبر من 40 درجة

ويوضح الجدول رقم 3 معدلات انحدار الاسطح في حوض وادي السلي والأحواض الفرعية التابعة له وكذلك النسب المئوية لكل منها، حيث يتبين ان ما نسبته 71.2 % من وادي السلي منطقة سهلة ومنبسطة. كذلك الأمر فان الأودية الفرعية أيضاً تتميز بانها مناطق منبسطة بشكل عام خصوصاً منها حوض البويب الذي تشكل منه المناطق السهلة حوالي 84.4 % من مساحته الاجمالية.

4. المسافة الى المنفذ (Outlet Distance):

هي المسافة ما بين منطقة محددة الى المنفذ (آخر نقطة في الحوض عند نقطة التصريف)، حيث يمكن استخدام هذه الخاصية الجيومترية في حساب الوقت المطلوب لوصول المياه الى نقطة التصريف اذا ما أُضيف

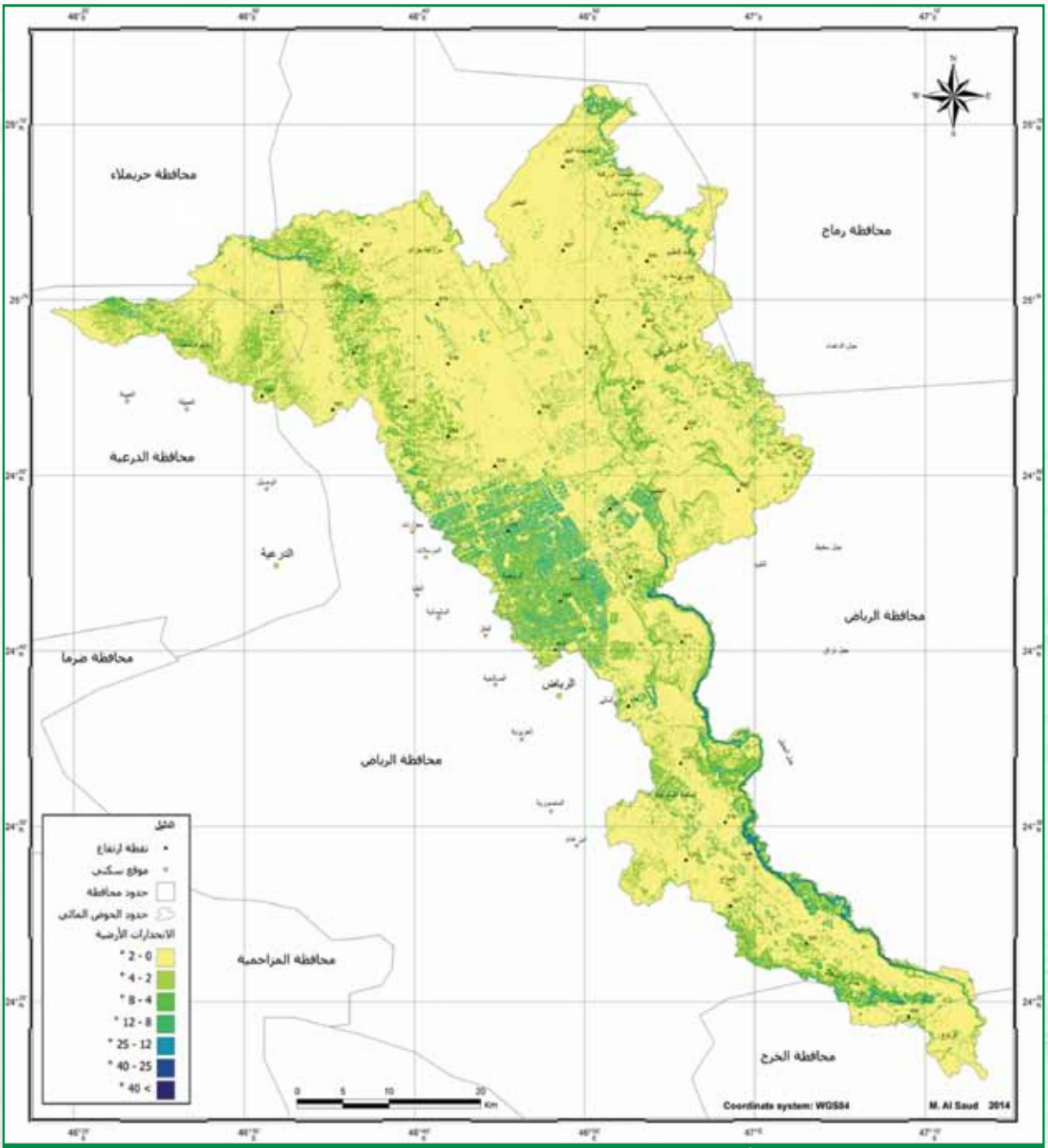
الانحدار	حوض وادي السلي (%)	نسب المساحة في الأحواض الفرعية		
		حوض بنبان(%)	حوض البويب(%)	حوض السلي (جنوبي)(%)
أقل من 2	71.2	73.4	84.4	66.4
°4 - °2	15.7	18.6	11.2	16.1
°8 - °4	7.3	6.2	2.7	9
°12 - °8	2.7	1.1	0.7	3.9
°25 - °12	2.7	0.6	0.8	4.1
°40 - °24	0.3	0.05	0.12	0.4
أكبر من °40	0.1	0.05	0.08	0.1
المعدل العام	°2.2	°1.67	°1.3	°2.68

جدول رقم ٣. انحدار الأسطح في الأحواض الفرعية التابعة لوادي السلي.

عليها معايير اخرى من أهمها: انحدار الأودية ومعدل الأمطار. وفي هذه الدراسة تم تقسيم المسافات من المناطق المختلفة الى المنفذ الى سبعة نطاقات ابتداءاً من (0-20كلم) وحتى نطاق (155-185 كلم) حسب الشكل رقم 8.

ج. 2. الخصائص المورفومترية

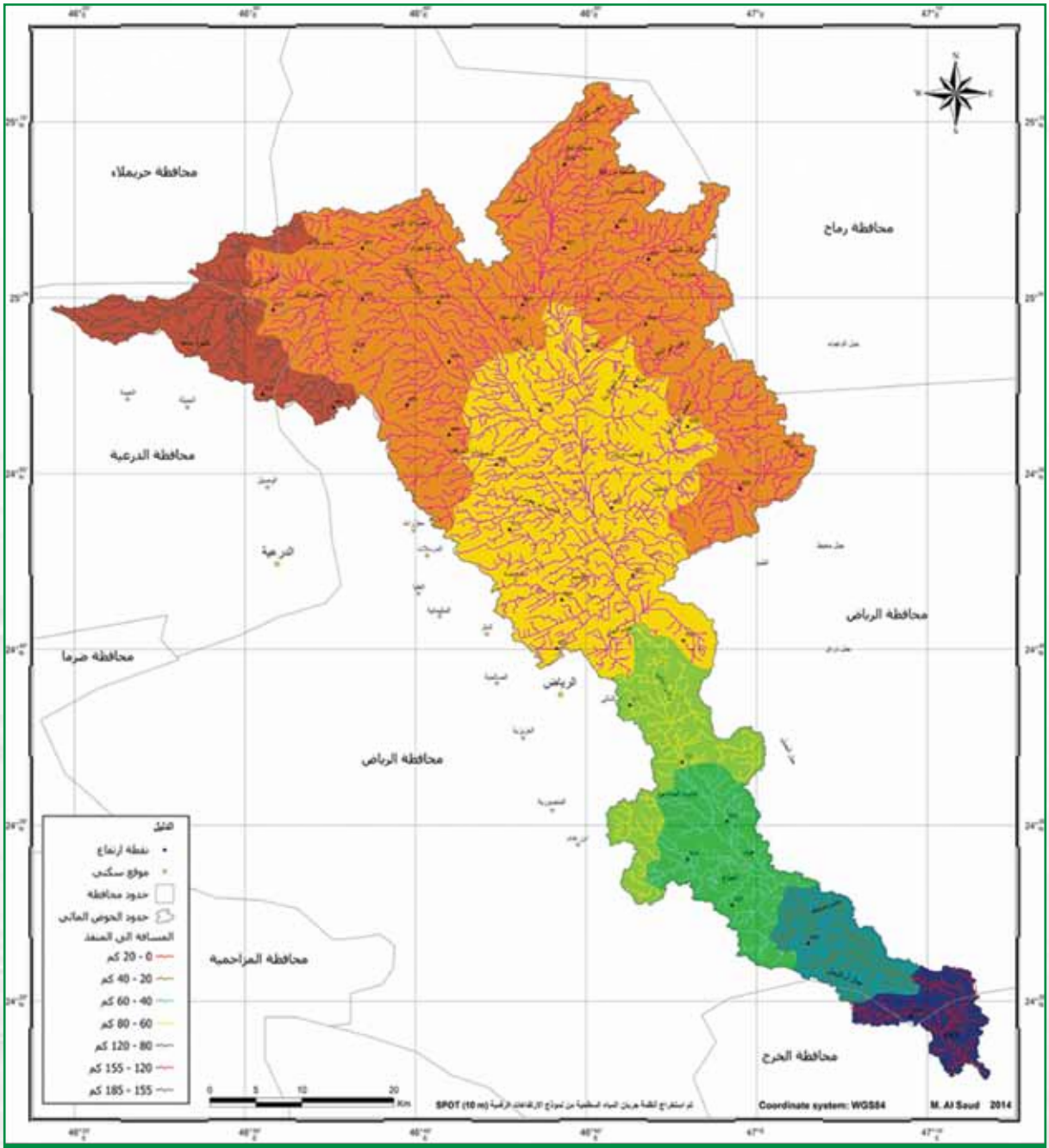
في حين ان الخصائص الجيومترية للحوض المائي تُعنى بالشكل الهندسي له، الا ان الخصائص المورفومترية تتميز عنها في انها تتناول كل مواصفات ومقاييس الروافد المائية (أودية رئيسة وفرعية) وطريقة ترابطها والتشكيلة النسيجية المكونة لشبكة التصريف المتكاملة. وترتبط الخصائص المورفومترية لشبكات التصريف المائي بأصل النشأة وكيفية التطور، ومظاهر التشكيل الجيومورفولوجي وآليات البناء الجيولوجي.



شكل رقم ٧: خريطة تبين انحدارات الأسطح المختلفة في حوض وادي السلي.

حيث ان دور هذه الشبكات هام جداً في آلية جريان المياه وتصريفها وبالتالي فهي لا تقل أهمية عن الخصائص الجيومترية للحوض، لذلك لابد من دراسة كلاهما معاً للحصول على تقييم هيدرولوجي متكامل للنظام الجريان السطحي الذي له دوراً في التحكم بآلية جريان المياه وتدفقها في الأودية وكذلك لها دوراً في حدوث السيول والفيضانات (Wisler & Brater, 1959).

هنالك العديد من المواصفات المورفومترية والتي يستند تحديدها الى تطبيق مجموعة من الصيغ الحسابية المورفولوجية، وسوف نتناول في هذه الدراسة أهم هذه الخصائص والتي سنعرضها بشكل حسابي مجرد يمكن الاستفادة منها لاحقاً في أية تطبيقات تتعلق بآلية جريان المياه (سرعة واتجاه وتجميع) وكذلك المناطق التي



شكل رقم ٨: خريطة تبين المسافة الى المنفذ من المناطق المختلفة في حوض وادي السلي.

يمكن ان تكون عرضة لخطر السيول. ومن هنا يمكن الاستفادة من النتائج في تحديد مواقع السدود والتصريف المائي وكذلك الأمر يمكن الاستفادة منها ايضاً في التخطيط العمراني والحفاظ على مسارات الأودية، اضافة الى وضع الضوابط المطلوبة للحد من الفيضانات والسيول.

1. كثافة الشبكة المائية:

يختلف نظام الجريان والتدفق في الأحواض المائية اذا ما كانت شبكات التصريف كثيفة او قليلة الكثافة. فمن المعروف انه كلما زادة كثافة شبكة التصريف فهو دليل على قلة معدل الرشح المائي من سطح الأرض الى داخلها والعكس صحيح. كذلك الأمر فان الأحواض المائية التي تتميز بكثافة شبكات التصريف يمكنها تنظيم آلية الجريان، عند تساقط الأمطار، والتي سوف يكون جريانها ضمن الروافد (الأودية المائية) المكونة لهذ الشبكة.

ويتم حساب كثافة الشبكة المائية من خلال مجموع طول الروافد كاملة بالنسبة لمساحة الحوض، حيث تُحسب عادةً بالكيلومتر للكيلومترالمربع، حسب المعادلة التالية:

$$\frac{\Sigma L}{A} = \frac{\text{مجموع أطوال الروافد المائية في مساحة محددة}}{\text{مساحة المنطقة}} = \text{كثافة الشبكة}$$

ويتضح ان المعدل العام لكثافة الشبكة المائية لوادي السلي هي 1.47 كم/كم^2، بينما يبين الجدول رقم 4 كثافة الشبكة المائية للأحواض الفرعية.

2. انحدار المجرى الرئيسي:

من الطبيعي ان يكون المجرى الرئيسي (Primary watercourse) هو الناقل المائي الأساسي لأي شبكة تصريف حيث تصب فيه كل الروافد المائية المترابطة معه. فاذا كان انحدار هذا المجرى كبير فهذا يمكنه من القدرة على تصريف المياه الواصلة اليه من الروافد، اما اذا كان انحداره خفيف فسوف يرتفع منسوبه وبالتالي ينتج عنه فيض مائي، وبطبيعة الحال فان هذه العملية مرتبطة بعوامل اخرى.

ويقاس انحدر المجرى الرئيسي بالمعادلة التالية:

$$\frac{\Delta h}{L} = \frac{\text{فرق الارتفاع}}{\text{طول الرافد}}$$

ويتبين ان المعدل العام لإنحدار المجرى الرئيسي لوادي السلي هو 1.32م/كم، بينما يبين الجدول رقم 4 الأنحدار العام للأحواض الفرعية.

اسم الحوض	كثافة شبكة التصريف (كلم/كلم^2)	انحدر المجرى الرئيسي (م/كلم)	نسبة التعرج (للمجرى الرئسي)	معدل التقاء الأودية (نقطة التقاء)
حوض بنبان	1.46	1.84	1.32	405
حوض البويب	1.56	0.58	1.16	373
حوض السلي (جنوبي)	1.45	1.32	1.31	1192
حوض وادي السلي	1.47	1.32	1.34	1970

جدول رقم ٤. المواصفات المورفومترية الرئيسة لحوض وادي السلي والأحواض الفرعية التابعة له.

3. نسب التعرج (Meandering Ratio):

تختلف الأودية والروافد المائية في تمدد مسارها فالبعض يكون بنسبة تعرج أكبر من الأخرى حتى ضمن مجرى الوادي الواحد. ويتوقف ذلك على مجموعة من العوامل الجيومورفولوجية والهيدرولوجية، مثل الإنحدار، أنواع الصخور والى ما هنالك من عوامل اخرى. ويلعب عامل التعرج دور في فيضان المياه، حيث ان زيادة نسبة التعرج قد تخفف من طاقة الجريان وتزيد قدرة الوادي على الحمولة بسبب عمليات الحت المباشر على نقاط التعرج، أي مساحة مقاطع الأودية في نقاط التعرج تزداد، رغم ان بعض نقاط التعرج تكون عُرضة للفيض المائي ولكن فاعلية الخاصية بمجملها تعمل على إستيعاب الكم الأكبر من المياه الجارية (Al Saud, 2014).

وتُحسب نسبة التعرج (Mr) من خلال المعادلة التالية:

$$\frac{Lm}{Ls} = \frac{\text{طول المجرى الرئيسي (متعرج)}}{\text{طول المجرى الرئيسي (مستقيم)}}$$

حيث ان نسبة التعرج ضمن حوض وادي السلي بشكل عام هي 1.34 ويوضح الجدول رقم 4 نسب تعرج الأودية الرئيسة في الأحواض المائية الفرعية.

4. معدل التقاء الأودية (Confluence Ratio):

يتضح من تطبيقات جيومورفولوجية عديدة اهمية تحديد نسب الالتقاء للأودية والتشعبات المائية المختلفة حتى اصبحت من بين الخصائص المورفومترية الهامة والتي يُمكن الحصول عليها من عملية رسم نقاط الإلتقاء. حيث انه يتم وصفها بعدد تقاطعات الأودية والروافد في الكيلومترمربع .

وبطبيعة الحال فهي تعبر عن معدل التواصل ما بين الأودية وتشعباتها وليس للطول أي دورٍ فيها، لذلك تعكس هذه الخاصية آلية توصيل جيدة تساعد الروافد المختلفة المقاييس على تنظيم عمليات التصريف وبالتالي القليل من إحتمالية حدوث الفيضانات. أي ان ارتفاع معدل التقاطع يتناسب بشكل عكسي مع احتمالية الفيضانات والسيول (Al Saud, 2009).

ان نسبة الإلتقاء لكامل حوض وادي السلي بشكل عام هي 1970، بينما يوضح الجدول رقم 4 نسب تعرج والإلتقاء في الأحواض المائية الفرعية.

5. رُتب الأودية (Stream Order):

يبدأ الجريان السطحي للمياه في الأودية وتشعباتها المختلفة من التفرعات الصغيرة (Reaches) التي تكون غالباً في اعلى المناطق حتى تصل الى المصب، ومن هنا تم إستنتاج علاقة رُتب الأودية. وهذه التفرعات تكون متصلة من طرف واحد فقط ويتم إعطاؤها الرُتبة الأولى، وإذا ما إلتقيا فرعين من الرُتبة الأولى ينتج عنهما فرع من الرتبة الثانية وهكذا الأمر حسب طريقة Strahler المُتبعة.

في هذه الدراسة تم إستخدام برمجية Arc-GIS 10.2 لتصنيف الأودية كلٍ الى رُتبه (شكل رقم 9). ليتم بعدها القيام بحساب المتغيرات المورفومترية المطلوبة، حيث ان جميع الأودية وتشعباتها هي بشكل مرقم ويسهل القيام بالعمليات الحسابية المطلوبة (جدول رقم 5).

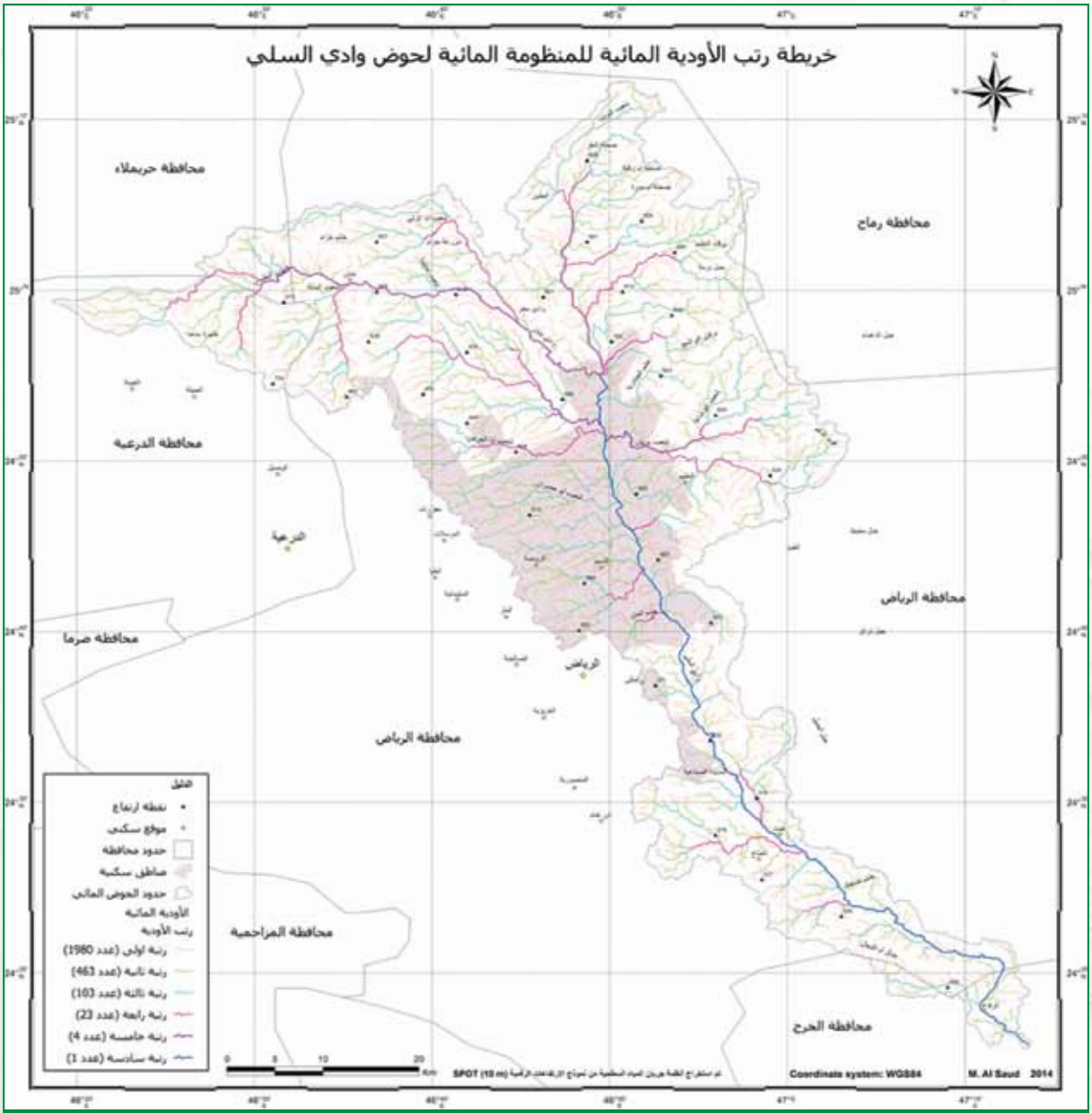
ان عملية فرز رُتب الأودية في هذه الدراسة ليست هي وسيلة لتحليل العلاقة ما بين أعداد هذه الرُتب، وخصوصاً منها علاقة «نسبة التشعب» أو الـ Bifurcation ration والتي تُحسب من المعادلة التالية:

$$B_r = N_r / N_{r+1}$$

حيث ان N_r هي عدد الأودية في الرتبة r و N_{r+1} هي عدد الأودية في الرتبة الأعلى منها. وللعلم فان النسب المرتفعة لرُتب الأودية تتناسب طردياً مع احتمالية حدوث السيول والعكس صحيح.

اسم الحوض	عدد رُتب الأوديـــة						الطول الكُلي للأودية (كيلومتر)	متوسط نسبة التشعب (Br)
	1	2	3	4	5	6		
حوض بنبان	409	97	18	5	1	-	758	-1.50
حوض البويب	374	84	18	5	1	-	726	-1.47
حوض السلي (جنوبي)	1198	282	67	13	2	1	2165	-1.48

جدول رقم ٥: رتب الأودية وأطوالها ونسب التفرع في وادي السلي والأحواض التابعة له.



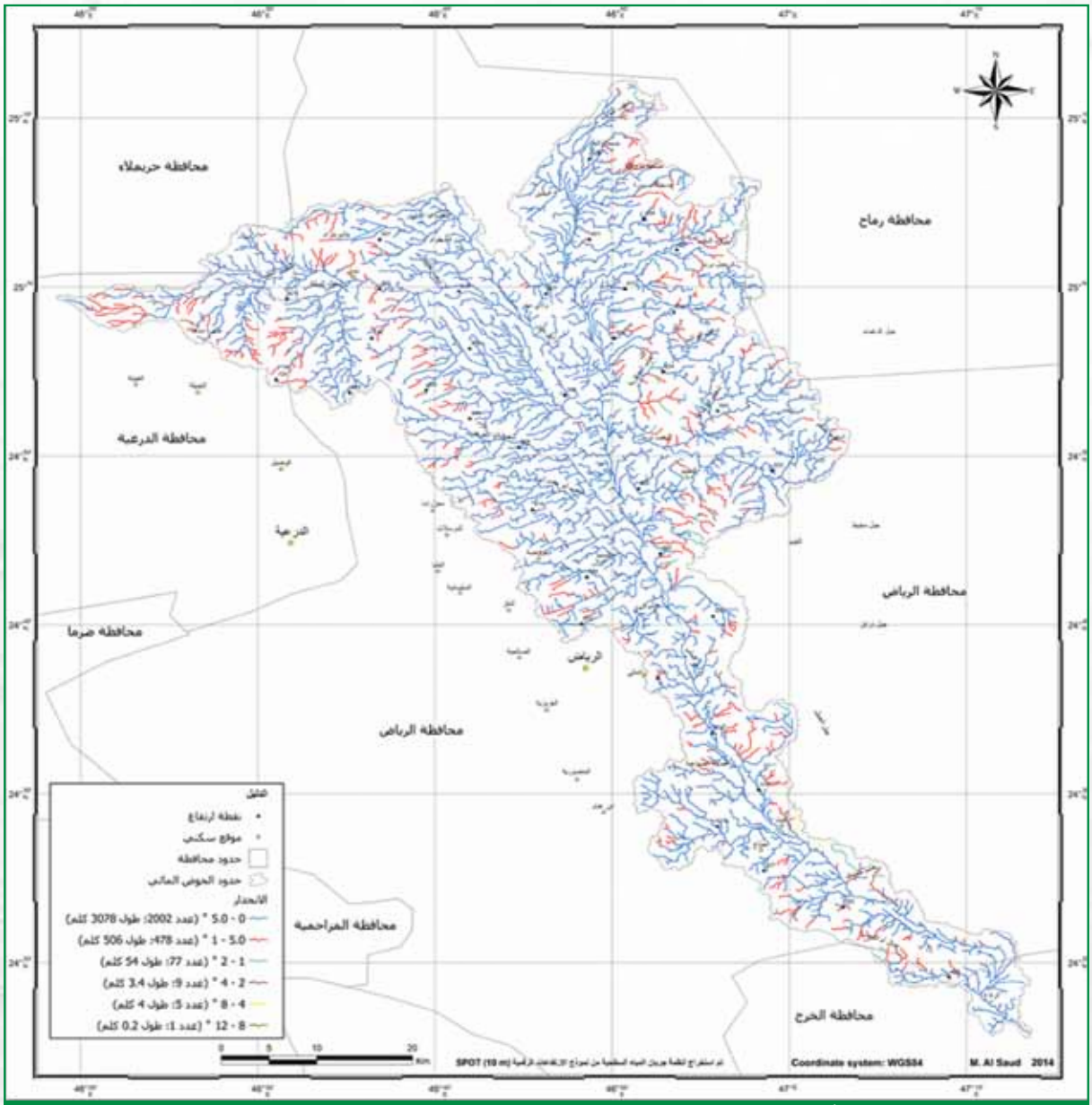
شكل رقم ٩: خريطة رتب الأودية لمنظومة المائية للمنظومة المائية لحوض وادي السلي.

6. انحدار الأودية (Stream Slope):

يتم حساب انحدار الأودية بواسطة ArcMap، حيث يتم تحديد طول كل وادي (أو رافد) على حدة، ليتم بعدها استخدام الـ DEM لمعرفة نقاط الارتفاع عن نقاط البداية والنهاية لهذا الوادي وذلك حسب المعادلة التالي:

انحدار الوادي = $\grave{\alpha}$ (فرق الارتفاع/ الطول) x π/180

في هذه الدراسة تم تقسم معدل انحدار الأودية الى ستة نطاقات تبتدأ من (0 - 0.5^{o}) وحتى (8 - 12^{o}) حسب الشكل رقم 10. ويتبين من هذه التقسيمة ان الأودية الموجودة في حوض وادي السلي هي أودية ذات انحدار خفيف جداً حيث ان ما مجموعه 2002 وادي ،بطول اجماي هو حوالي 3078 كيلومتر،هم بانحدار تحت 0.5 درجة ميل. ويتبين أيضاً ان الأودية ذات الانحدارات الأكبر نسبياً هي الواقعة عند أطراف الحوض وتحديداً في المناطق الجبلية المتاخمة لطراف الحوض.

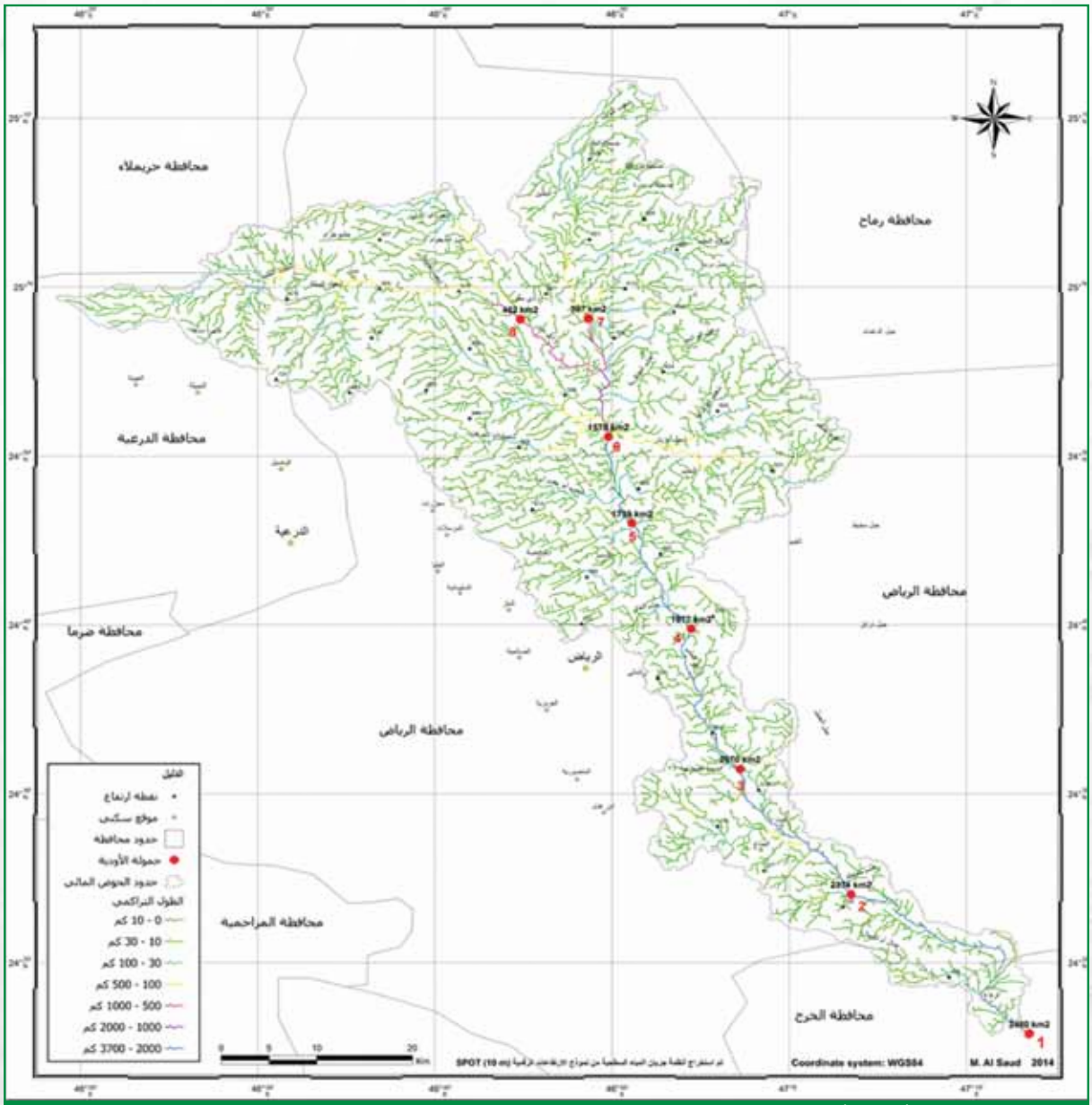


شكل رقم ١٠: خريطة انحدار الأودية في حوض وادي السلي.

ويمكن استخدام هذه الخاصية المورفومترية في حساب سرعة الجريان من كل وادي (أو رافد أو شعيب) حيث ان ذلك يتناسب طردياً مع طاقة الجريان. وبذلك يمكن الاستفادة من هذه الخاصية عند بناء السدود والحواجز المائية المختلفة المقاييس والاشكال الهندسية.

7. الطول التراكمي (Cumulative Length):

هي خاصية مورفومترية تُعنى بمجموع أطوال الأودية المائية يمكن استنتاجها من خريطة المنظومة المائية (شكل رقم 11). وتستخدم لتحديد معدلات التدفق عند نقاط محددة. فكلما زاد الطول التراكمي يزداد معه معدل التدفق. وفي هذه الدراسة تم تقسيم حوض وادي السلي الى سبعة نطاقات للطول التراكمي تبتدأ من (0 - 10) الى (2000 - 3700) كيلومتر، ولكنه يمكن اختيار اية نقاط اخرى لحساب الطول التراكمي حسب الغرض المطلوب. في حين انه تستخدم أيضاً هذه الخاصية في حساب الحمولة المائية المفترضة عند أية نقطة، حيث يستخدم الطول التراكمي مع مساحة مقطع الوادي كمتغيرات رئيسية.



شكل رقم ١١: خريطة أطول الأودية التراكمي في حوض وداي السلي.

8. حمولة الأودية (Stream capacity):

يمكن من خلال استخدام طرق الجيوماتيكية النُظمية (Systematic) حساب الحمولة المائية التي يمكن ان تتوفر في اعلى الحوض (Upstream) بالنسبة لنقطة محددة. بمعنى آخر يمكن حساب كمية المياه القصوى الموجودة في الأودية الواقعة ما قبل نقطة محددة. وتتم هذه العملية بحساب عدد الـ Pixels مباشرة من تراكم التدفق accumulation (flow) لتمثل متغير المساحة. واذا ما تم معرفة عمق الأودية التي تم حساب عدد الـ Pixels يمكن حينها حساب الحجم الكُلي وهو يمثل الحمولة القصوى للوادي عند النقطة المحددة.

وفي هذه الدراسة تم انتقاء ثمانية نقاط ليتم حساب حمولة الاودية فيها (شكل رقم 11) ، وهي نقاط واقعة اما على مواقع التقاء (Confluences) هامة لوادي السلي أو على المجرى الرئيسي له.

اما عمق الأودية المائية لهذه النقاط فهو متغير وتم حساب العديد منها خلال العمل الحقلية على عدة مسارات وروافد لوادي السلي. ويبين الجول رقم 6 حجم الحمولة المائية القصوى على المواقع الثمانية التي تم اختيارها. حيث يمكن استخدام هذه المتغيرات عند اخذ القرار ببناء السدود لتقدير حمولتها، كذلك المر في تقييم مدى عرضة المنطقة الواقعة في محيط كل نقطة لخطر الفيض المائي.

ويبين الجدول ان حمولة الأودية عند هذه المواقع هي كبيرة نسبياً ويعود ذلك لعرض الأودية. وبطبيعة الحال فان هذه التقديرات للحمولة هي أيضاً مرتبطة بكميات الهاطل المطري والفترة الزمنية للهطول، وبالتالي فان تسارع معدل الهطول سوف لن يعطي الوقت الكافي لهذه الأودية لتفريغ حمولتها مما ينتج عنه ارتفاع منسوب المياه في المجرى الرئيسي وبالتالي حدوث سيول.

نقطة رقم	عدد الـ Pixels	مساحة الـ Pixels ($م^2$)	متوسط اعماق الأودية (م)	الحجم الكُلي (مليون $م^3$)
1	24802164	2480×10^6	1.40	3472
2	23340464	2334×10^6	1.85	4318
3	20697260	2069×10^6	2.35	4862
4	19772694	1977×10^6	2.55	5041
5	17385904	1738×10^6	3.05	5301
6	15784766	1578×10^6	2.85	4497
7	3671597	367×10^6	1.95	716
8	4823336	482×10^6	3.55	1711

جدول رقم ٦: حمولة الأودية في مواقع مُختارة على مجرى وادي السلي .

القنوات الاصطناعية

لعله من الحلول الناجحة والتي يتم تطبيقها في عدة مناطق من العالم هي بناء قنوات مفتوحة لتتحكم في توجيه جريان المياه والحفاظ على اكبر قدر ممكن من المياه التي تجري على سطح الأرض بدل من الجريان العشوائي والتي ينتهي بتبخر نسبة عالية من هذه المياه. ولبناء هذه القنوات المائية، هناك عدة طرق وكذلك فان المقاييس التي تُعتمد تختلف حسب كميات المياه والأبعاد الموفولوجية للأودية المائية الطبيعية. فهناك قنوات بمقاييس صغيرة وتُبنى عادةً من الصخور التي يتم ربطها بالاسمنت أو بطرق تثبيت بدائية وكذلك فهناك قنوات من الأسمنت وهي الأكثر انتشاراً حالياً.

ففي حين انه يعتبر البعض ان شق القنوات هو عمل يخل بالنظام الهيدرولوجي من حيث ان القنوات تعمل على تقليل نسبة التسرب المائي (Infiltration) الى الطبقات الجوفية، يعتبره البعض الأخر طريقة مُجدية لحصر الجريان السطحي للمياه والاستفادة منها. ولكنه في معظم الأحيان فان جر المياه عبر القنوات الأصطناعية ينتهي بتسريب هذه المياه الى البحر، مثلما الحال في مدينة جدة يتم إفلات المياه عند نهاية هذه القنوات بشكل عشوائي، بمعنى آخر لا يتم تحديد موقع لتجمع المياه التي تجري عند نهاية القنا وقد يكون هذاهو الحال في وادي السلي. ففي كلتا الحالتين (تسرب المياه الى البحر او افلاتها عند نهاية القنوات) هي طرق غير سليمة خصوصاً في المناطق الفقير مائياً مثل المملكة العربية السعودية.

د.1. القنوات الاصطناعية في وادي السلي

من خلال تتبع المسارات الطولية في الصور الفضائية عالية الدقة (Geo-eye و SPOT) والتي يمكن بسهولة التعرف عليها من خلال التمييز البصري المباشر، يمكن تحديد القنوات المحفورة بمقاييسها المختلفة. وهذا ما قد تم في هذه الدراسة حيث تزامن تحليل الصور الفضائية مع دراسة ميدانية للتعرف على مواصفات القنوات الموجود ضمن نطاق حوض وادي السلي، كذلك الأمر فلقد تم أيضاً التعرف على مسار القناة التي سيتم حفرها على طول مجرى الوادي [1] (القناة المفترض حفرها) ويمكن تقسيم هذه القنوات حسب الشكل رقم 12 كما يلي:

1. القناة التي يتم حفرها:

وهي قناة يجري حفرها حالياً حيث تظهر على مراحل متقطعة بسبب وجود الأبنية في المسار الذي حُدد لها حيث تمتد من جنوب منطقة هيت تقريباً (″19 ′59 °46 شرقا & ″02 ′28 °24 شمالا) باتجاه الشمال لتنتهي في هذه المرحلة في منطقة الحرس الوطني وعند نقطة تبعد بضعة مئات من الأمتار قبل استاد الملك فهد (′50 °46 ″42 شرقا & ″26 ′46 °24 شمالا).

يبدو من قياسات صور القمر الصناعي (Geo-eye) ان طول هذه القناة وبشكل متقطع لتاريخه هو حوالي 32 كيلومتر. وتنحصر مقاييس هذه القناة بأبعاد محددة حيث ان عرضها هو حوالي 40 متر وبعمق حوالي خمسة أمتار (المقاييس لم يتم تحدبدها بدقة بسبب عدم اكتمال الحفر بشكل نهائي) لتتخذ شكل حرف U مع وجود أسطح ضفافية كما في الشكل رقم 13. ويتضح ان هذه القناة تحتوي على مياه في بعض المناطق لتكون أكبرها في منطقة السلي حيث تشكل بحيرة من المياه المبتذلة والأرض رطبة بمساحة حوالي 2 كلم2.

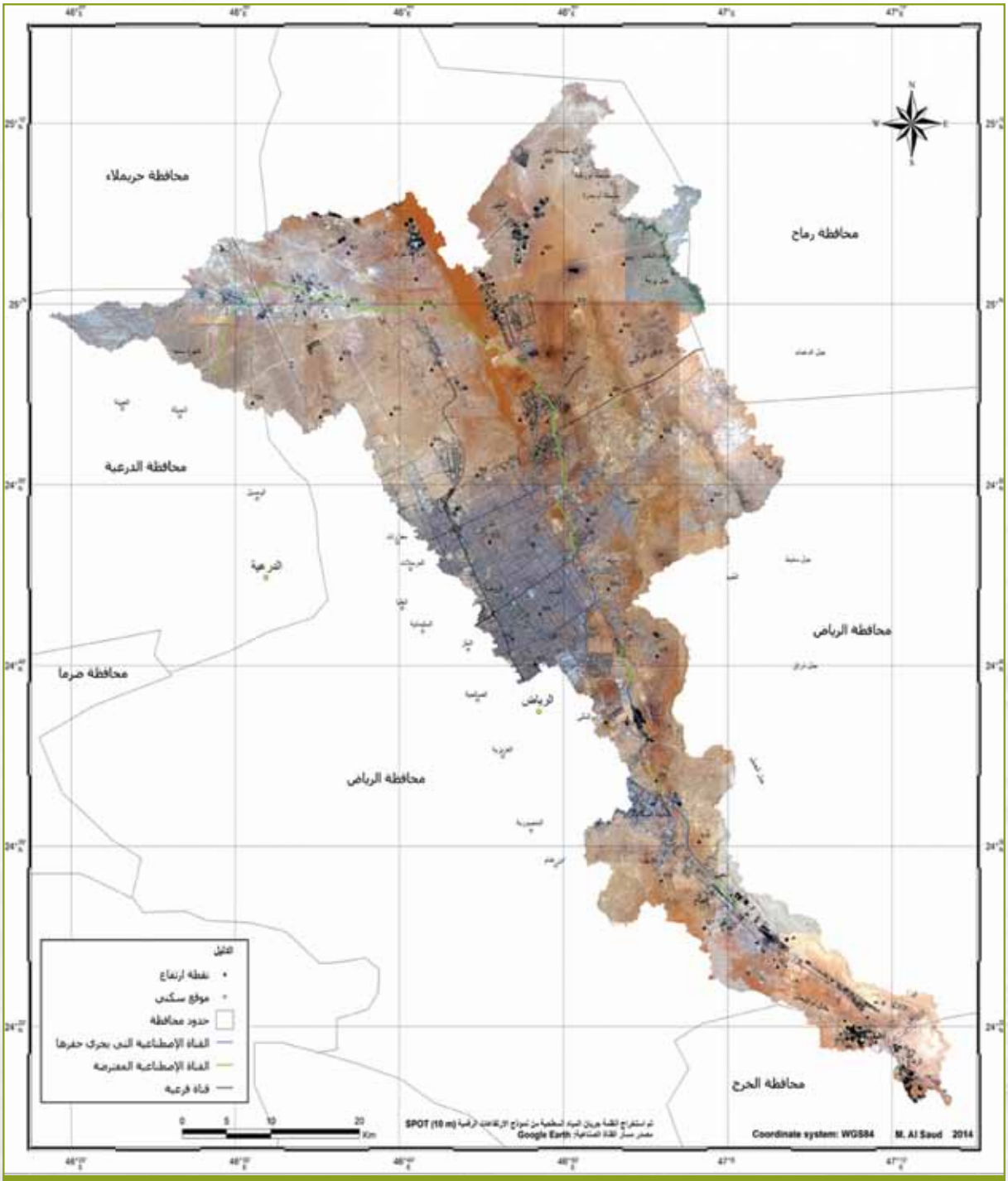
2. القناة (الاصطناعية) المفترضة:

من خلال العمل الحقلي في المنطقة تم أخذ العلم من الفنيين الذين يشرفون على حفر القناة المذكورة أعلاه، بأنه سوف يتم الاستمرار بحفر هذه القناة لتصل الى شمال مطار الملك خالد الدولي عند منطقة بنبان، اي على

(1) https://www.youtube.com/watch?v=xSF6f9QAdpQ&feature=kp

امتداد كل وادي السلي. ونظراً لعدم توفر البيانات ذات الصلة بالموضوع من الجهات المختصة تم الحصول على بيانات من مواقع الكترونية [2] توضح مسار القناة المفترضة وبشكل تلفزيوني تم تحويله الى بيانات جيومعلوماتية ضمن الـ GIS للتعرف على المسار المفترض لهذه القناة كما يبدو من مسارها الممتد شمال غرب - جنوب شرق.

ويبين الشكل رقم 12 مسار هذه القناة المفترضة حسب الموقع الالكتروني الذي تم استخدامه، حيث يتضح انسجام مسار القناة المفرضة الى حداً ما مع مسار المجرى الرئيسي لوادي السلي وامتداده في وادي بنبان مع



شكل رقم ١٢: القنوات الاصطناعية الموجودة والمفترضة في حوض وداي السلي.

(2) https://www.youtube.com/watch?v=xSF6f9QAdpQ&feature=kp

شكل رقم ١٣: احدى القنوات التي يتم حفرها في حوض وداي السلي.

وجود نقاط اختلاف في عدة مناطق. حيث ان هذا المسار أيضاً يتضارب في مواقع عدة مع المناطق السكنية. وتم حساب طول القناة المفترضة والذي هو 79 كيلومتر، اي ان مجموع طول القناة التي بدأ العمل فيها (التي تم حفرها والمفترضة) على امتداد وادي السلي هي حوالي 111 كيلومتر.

3. القنوات (الاصطناعية) الفرعية:

هي القنوات التي تم التعرف عليها من الصور الفضائية للقمر الصناعي (Geo-eye) وكذلك التحقق منها في العمل الحقلي، حيث ان هناك عدد كبير من هذه القنوات والتي في معظمها بدائية النوعية الا انه في هذه الدراسة تم تناول خمسة منها كمثال حيث يبلغ طول القنوات التي تم التعرف عليها هو حوالي 23 كيلومتر. وتختلف هذه القنوات عن سابقتيها بانها لا تتبع امتداد وادي السلي الرئيسي اضافة الى انها ذات أبعاد وأشكال هندسية مختلفة وكذلك فان طرق وتاريخ انشاؤها مختلف (شكل رقم 12).

وهناك نوع من هذه القنوات تم تشييدها من خلال حفر التربة بأعماق ضحلة لذلك فكان هناك صعوبة في التفرقة ما اذا كان المقصود منها حفرمجرى للسيل او هي طرق فرعية وبكلتا الحالتين فان هذه القنوات تستعمل كطرق للتنقل (شكل رقم 14). وهذا النوع من القنوات الترابية متعدد في المنطقة ويبدو انه وسيلة قديمة لجر مياه السيل بدليل ان البعض منها أصبح غير ظاهر بشكل واضح على سطح الأرض.

وهناك أنواع من القنوات الفرعية التي تم بناؤها من الصخور والاسمنت وبمقاييس صغيرة. وهي تبدو مهملة بسبب موقعها الغير ملائم بالنسبة لمجرى الأودية وبالتالي فليس لها دوراً واضحاً في جر مياه السيول (شكل رقم 15).

د.2. مسار القنوات الاصطناعية في وادي السلي

يتم انشاء القنوات الاصطناعية بشكل عام للحفاظ على مسار المجرى المائي وعلى كمية المياه التي تمر فيه، حيث يمكن تلخيص ذلك كما يلي:

1. الحفاظ على المجرى المائي من عمليات التآكل والانهيار خصوصاً في المناطق الرملية والغير متماسكة مما قد يعيق حركة المياه.

شكل رقم ١٤: قناة سيل فرعية تستخدم كطريق تم حفرها في شعيب البرشاعة، منطقة النظيم.

شكل رقم ١٥: قناة فرعية من الصخور والاسمنت تم حفرها في منطقة البطين، خشم الجنادرية.

2. خلق مسار محدد لجريان المياه في المناطق التي كانت قد تلاشت معالم الأودية فيها لأسباب طبيعية أوأسباب من فعل البشر، مما يعمل على تفادي والتقليل من خطر السيول.
3. لتجميع المياه المنتشرة في مناطق متفرقة وبشكل عشوائي الى داخل المجرى.
4. لحصر المياه وتجميعها بغية استغلالها بشكل رشيد.

ويمكن القول ان النقاط الثلاثة الأولى تنطبق على منطقة الدراسة من حيث وجود الانهيارات وتحرك الكتل الترابية على ضفاف مجرى وادي السلي، وكذلك عدم وضوح مسار الوادي بسبب التدخل البشري وقلة الأمطار في العقود الأخيرة، بالاضافة الى انتشار البقع المائية بشكل متفرق بعد كل هطول مطري في المنطقة. الا ان النقطة الرابعة لم تزل غير واضحة وليس هناك أية دلائل على ماهية منطقة التصريف

للقناة التي يتم حفرها حالياً والتي يفترض ان تنتهي في موقع ما بالقرب من منطقة خشم ضاحك او خشم ثنايا بلال.

ومن خلال اجراء عملية تطابق بواسطة نظم المعلومات الجغرافية ما بين مسار وادي السلي الرئيسي والذي تم استخراجة من النموذج الأرضي الرقمي للقمر الصناعي Spot-5 مع القنوات الإصطناعية (التي يتم حفرها والمفترضة) يتبين ان التطابق ما بينهم ليس بشكل تام ويمكن تلخيصه ذلك كما يلي:

- ان طول القناة الاصطناعية المفترضة 79 كلم منها 40 كلم متطابق مع المسار الرئيسي لوادي (المستخرج من نموذج الإرتفاع الرقمي للقمر الصناعي SPOT) أي حوالي 50,6%.
- طول القناة الاصطناعية التي تم حفرها لتاريخه هو 32 كلم منها 12 كلم متطابق مع المسار الرئيسي لوادي أي حوالي 37.5%.
- ان القنوات الإصطناعية (التي يتم حفرها والمفترضة) هي فقط للمجرى الرئسيس لوادي السلي وليس هناك أية قناة على الأودية الفرعية.
- يتبين ان القنوات الإصطناعية (التي يتم حفرها والمفترضة) لاتتعامل مع تعرجات مسار الوادي الرئيسي بل انها تتخذ مسارات طولية مما يزيد في نسبة عدم التطابق.
- تصطدم مسارات القنوات الأصطناعية في مناطق عدة مع منشآت عمرانية، تشمل مناطق سكنية، تجارية وصناعية مما ينتج عنه مشاكل ديموغرافية وكذلك فان ذلك يدل على التخطيط العشوائي.

المناطق المُعرضة لخطر السيول

يعتبر موضوع الفيضانات والسيول في هذه الدراسة جزءاً اساسياً، حيث ان قضية السيول باتت متناول كل مواطن في المملكة نظراً للتجارب المأساوية التي عانى منها المواطنون في عدة مناطق من المملكة بما فيها العاصمة الرياض. ويرجع ذلك الى التغيرات المناخية الحاصلة في المنطقة، خصوصاً فيما يتعلق بإختلاف طاقة الإشعاع الشمسي القادمة إلى الأرض مع الإشعاع الأرضي الخارج منها، وهذا بدوره يؤدي إلى اختلافات في هطول الأمطار في عديد من المناطق المناخية وتعرض البعض للجفاف والبعض الآخر لزيادة في معدلات الأمطار التي تؤدي إلى فيضانات وسيول. وتشير أحدث التقارير الصادرة من المركز العالمي لمناخيات الهطول GPCC والشبكة العالمية للمناخات التاريخية GHCN إلى أن معدلات هطول الأمطار على الأرض خلال القرن العشرين ازدادت بصفة خاصة في المناطق الواقعة في نصف الكرة الشمالي .

اضافة الى التغيرات المناخية الحاصلة يلعب التدخل البشري دوراً سلبياً من خلال التمدد العمراني العشوائي، حيث ان التصاريف الطبيعية للمياه السطحية قد تأثرت بشكل كبير بالأبنية والأنشطة السكنية مما نتج عنه سد مسارات الأودية المائية أحياناً أو تغير إتجاهها أحياناً أخرى. وحسب الارقام التي يقدمها موقع (EM-DAT: The OFDA/CRED International) العالمي لإحصائيات الكوارث الطبيعية وكذلك البيانات التي تم الحصول عليها من مصادر مختلفة يتبين ان الخسائر المادية الناتجة عن الفيضانات والسيول في المملكة كانت حوالي 450 مليون دولار امريكي في العام 1980م ليتضاعف الرقم الى 900 مليون دولار امريكي في العام 2010م اي بمعدل 30 مليون دولار امريكي في العام الواحد.

ان الدراسات المتوفرة عن هذا النوع من الكوارث الطبيعة لازالت غير كافية ولكنها بدأت تظهر في الآونة الأخيرة وهي في معظمها دراسات عن تقييم الفيضانات بشكل عام حيث يتم تناول كل أراضي المملكة (Sorman , et al, 1991, Abdulrazzak et al, 1995). إلا ان هناك أحدى الدراسات التي انجزت في 2009م ركزت على مواضيع الفيضانات في مجموعة من الأحواض على الساحل الغربي للمملكة (Subyani et al, 2009). ومؤخراً انجزت دراسات متخصصة عن التقييم الشامل للفيضانات وتحديد الاماكن المتضررة وكذلك انتاج خرائط المناطق المعرضة لخطر الفيضانات والسيول ومن ثم دراسات عن ادارة الضوابط الفنية المطلوبة للتخفيف والحد من هذا النوع من الخطر (Al Saud, 2013a).

هـ.1. مفاهيم الدراسة

هنالك عدة منهجيات عمل لدراسة المناطق المعّرضة لخطر الفيضانات والسيول، وعادةً يتم أولاً تحديد العوامل المؤثرة في هذه العملية الهيدرولوجية والتي قد تختلف ما بين منطقة واخرى. واذا ما تم التعرف السليم على هذه العوامل يمكن من خلالها تحديد أسباب المشكلة. وعليه يتم تحليل هذه العوامل مجتمعة بطرق نُظمية (Systematic) من خلال تقنيات الجيومعلوماتية. وتتم المرحلة التالية من خلال دمج هذه العوامل المؤثرة لتحديد أماكن الخطر حيث يتنج عنها خريطة تبين عُرضة المنطقة للفيضانات والسيول، ونرى في معظم الأحيان نتائج غير دقيقة وبالتالي يتم تحديد أماكن بأنها آمنة من خطر الفيضانات والسيول في حين أنها في الواقع هي عُرضة لهذا الخطر الطبيعي والعكس صحيح، ليتضح بعدها انه قد يكون هناك عامل ذو فاعلية عالية يعمل على تغيير الآلية العامة لجريان المياه، إضافة الى وجود عوامل ذات أهمية كُبرى تم التعرف عليها مؤخراً من خلال إستخدام التقنيات الفضائية (آل سعود، 2010 a & b).

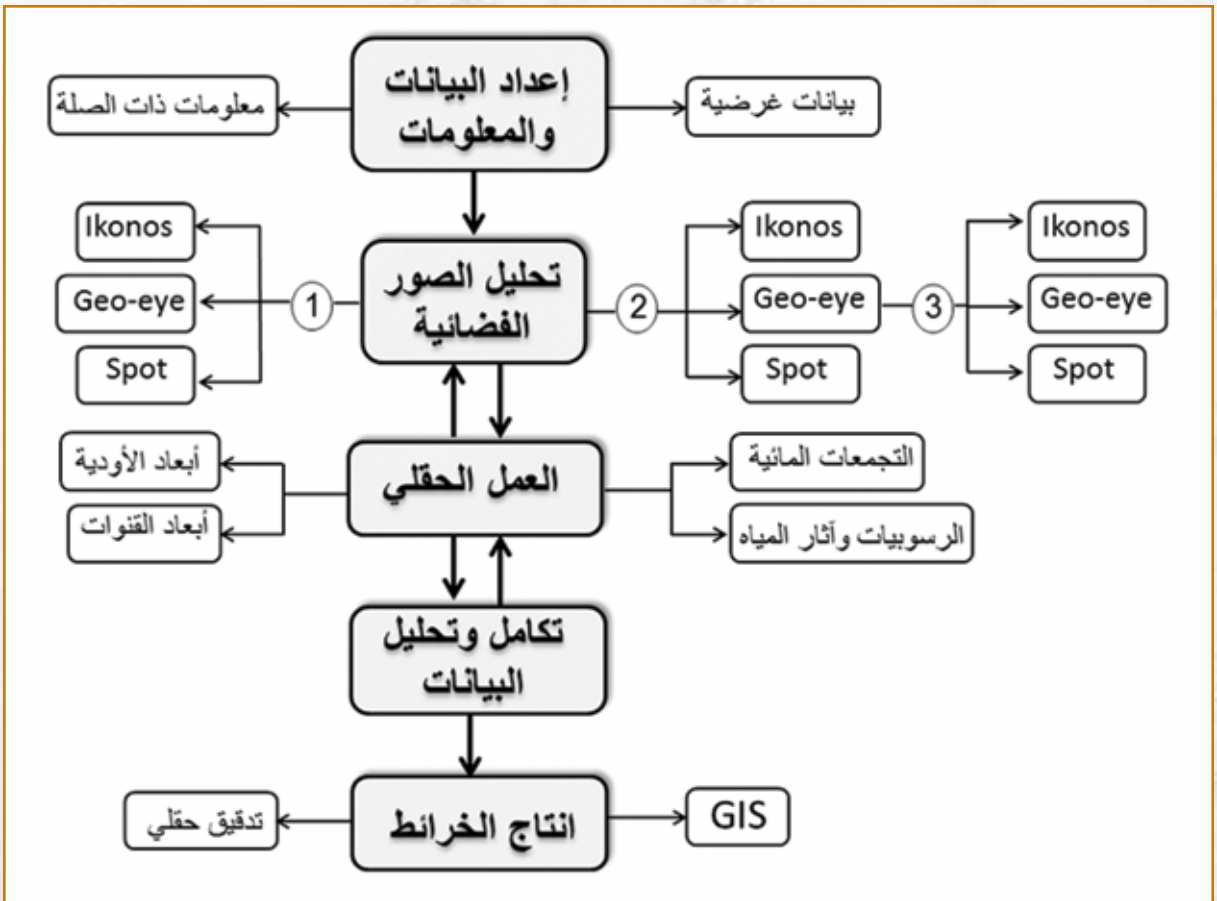
لعله الأكثر دقة في هذا الخصوص هو اتباع طرق ومنهجيات تعتمد على واقع الحدث الطبيعي من حيث توزيعه الجغرافي وحجم تأثير وتحديد أماكن الضرر الناتجة عنه، بمعنى آخر ان يتم دراسة المواقع المتضررة من الخطر

الطبيعي مثل الفيضانات والسيول وبالتالي تحليل وجود العوامل الفاعلة في هذه المواقع ومدى تأثير كل عامل منها وذلك لمعرفة الأسباب بشكل دقيق. وهذا ما تم اتباعه في دراسة حديثة اعتمدتها الباحثة عن طرق استخدام المرئيات الفضائية والنظم الجيومعلوماتية والتي من خلالهما وبالتزامن مع الاعمال الحقلية والنماذج ثلاثية الابعاد (DEM) تم احتساب الصيغ الجيومورفولوجية والهيدرولوجية المختلفة (Al Saud, 2014).

تم في هذه الدراسة اتباع نفس المنهجية تم تطبيقها مؤخراً بعد فيضانات جدة في العامين 2009م و2011م. حيث كانت رقعة الضرر كبيرة لتزيد عن حوالي 20000 كيلومترمربع مما يجعل منها منطقة نموذجية يمكن من خلالها تطبيق نفس المكونات التحليلية على باقي مناطق المملكة العربية السعودية. وهي تعتمد بشكل رئيسي على تحديد اماكن الضرر بعد الوقات الماطرة وبالتالي اعتبارها مناطق واقعة تحت خطر السيول. ولقد اعتمدت الباحثة هذه المنهجية من خلال نشر العديد من الدراسات والتقارير عن الموضوع.

هـ.2. منهجية العمل

في هذه الدراسة تم اتباع نفس المنهجية، اي دراسة الصور الفضائية عالية الدقة والتي تُظهر اماكن تجمع المياه والسيول ومسارات انتقالها الغير مالوفة وهي بالتالي التي ستكون عُرضة مرة اخرى لنفس المشكلة طالما ان الضوابط الهيدرولوجية لم توجد بعد. ويبين الشكل رقم 16 الأطار العام للدراسة التي ترتكز بشكل رئيسي على تحليل الصور الفضائية والعمل الحقلي التدقيقي مروراً بدراسة ودمج (Manipulation) للبيانات المختلفة حتى الوصول الى انتاج الخريطة النهائية.



شكل رقم ١٦: منهجية العمل المتبعة لإنتاج خريطة الفيضانات والسيول في حوض وادي السلي.

ويمكن شرح خطوات العمل على النحو التالي:

1. **اعداد البيانات والمعلومات:** وهي البيانات المتعلقة بالموضوع فاما ان تكون غرضية مثل الخرائط الطوبوغرافية وغيرها وكذلك سجلات تاريخية اضافة الى المعلومات والبيانات التي تنشرها وسائل الاعلام عن اماكن السيول وآثارها السلبية.
2. **تحليل الصور الفضائية:** وهي مرئيات رقمية عالية الدقة تمت معالجتها باستخدام برمجية ERDAS-Imagine-11. وتم تطبيق الخصائص الرقمية والالكترونية المختلفة الموجودة في برمجية الـ ERDAS ومن اهمها: دمج الموجات الطيفية (Band combination)، استخدام تطبيقات التمييز اللوني (Colour slicing) والتحسين الطيفي والى ما هنالك من تطبيقات تساعد في تمييز الأشكال على سطح الأرض. كل هذه التطبيقات تساعد من التعرف بشكل مباشر على البقع المائية للسيول وكذلك على آثار وجودها سابقاً في الأماكن المختلفة من منطقة الدراسة.

وتتألف هذه الصور من ثلاثة أنواع حسب الجدول رقم 7. كل صورة لها تاريخ التقاط مختلف وفي معظم الأحيان تكون لمناطق مختلفة، وهذا يمكن من عمل تداخل (Overlap) لتواريخ الالتقاط مع المناطق المختلفة مما يساعد في عملية المقارنة وبالتالي الاستدلال على المناطق التي تعرضت للسيول.

الصور الفضائية المستخدمة					
IKONOS		Geo-eye		SPOT	
التاريخ	التغطية الأرضية	التاريخ	التغطية الأرضية	التاريخ	التغطية الأرضية
14 /9/ 2013	طريق الرياض- الخرج	31 /10/ 2012	جزء من شمال الرياض	December 2009	كامل المنطقة
9 /4/ 2013	منطقة بنبان	14 /2/ 2013	وادي بنبان، مطار الملك خالد	February 2012	
9 /2 /2013	منطقة مطار الملك خالد – القادسية	15 /2/ 2013	منطقة السلي والمنطقة الصناعية		
4 /10/ 2013	المدينة الصناعية، الثمامة، النظيم	24 /1/ 2013	منطقة هيت		
1 /4/ 2014	منطقة هيت، وادي الحنية				
2 /5/ 2014	منطقة الرمال، قرطبة، السلي حتى جنوب الرياض				

جدول رقم ٧: الصور الفضائية التي استخدمت في دراسة السيول في حوض وادي السلي

3. **العمل الحقلي:** تعتبر الدراسة الميدانية من اهم العناصر المطلوبة للحصول على عمل متكامل وسليم لناحية تحديد الأماكن الواقعة تحت خطر الفيضانات والسيول. وكما اسلفنا سابقاً فان المعطيات التي يتم استنتاجها من الصور الفضائية وكذلك تلك البيانات الهيدرولوجية، بما فيها الخصائص الجيومترية والمورفومترية، كلها تحتاج الى الوجود على أرض الواقع والتحقق من مصداقيتها.

وينقسم العمل الحقلي في هذه الدراسة الى اربعة اقسام لتشمل التعرف على وجود البقع المائية المختلفة (أماكنها، مساحتها وآالية تجمعها)، التعرف على المواقع التي كانت عُرضة للسيول من خلال آثار ودلائل عن تجمعلت أو مسارات مائية، قياس أبعاد الأودية وبشكل اخص الأعماق بواسطة جهاز الـLaser Range-meter، اضافة الى التعرف على القنوات التي يتم حفرها والقنوات الفرعية الموجودة في المنطقة مع دراسة مواصفاتها المختلفة.

وخلال العمل الحقلي تم الاستعانة بالصور الفضائية والخرائط الطوبوغرافية بالاضافة الى الخرائط التي تم انتاجها للتحقق من مدى مصداقيتها. ومن الطبيعي فقد تم تسجيل احاثيات كل المواقع المدروسة باستخدام نظام المواقع العالمي (GPS).

4. **تكامل (Manipulation) وتحليل البيانات:** وهي العملية التي يتم فيها دراسة كل البيانات والمعلومات والخرئط التي تم الحصول عليها من الطرق والمصادر المختلفة، ومن ثم القيام بربطها ومقارنتها وتحليل العناصر المختلفة التي لها دور في حدوث الفيضانات والسيول. وتعتبر مرحلة تحليل البيانات من المراحل الحساسة لناحية المعرفة والخبرة المطلوبة. حيث انه في هذه المرحلة يلزم في اغلب الأحيان الرجوع الى الوثائق الغرضية (خرائط، سجلات، الخ) والصور الفضائية.

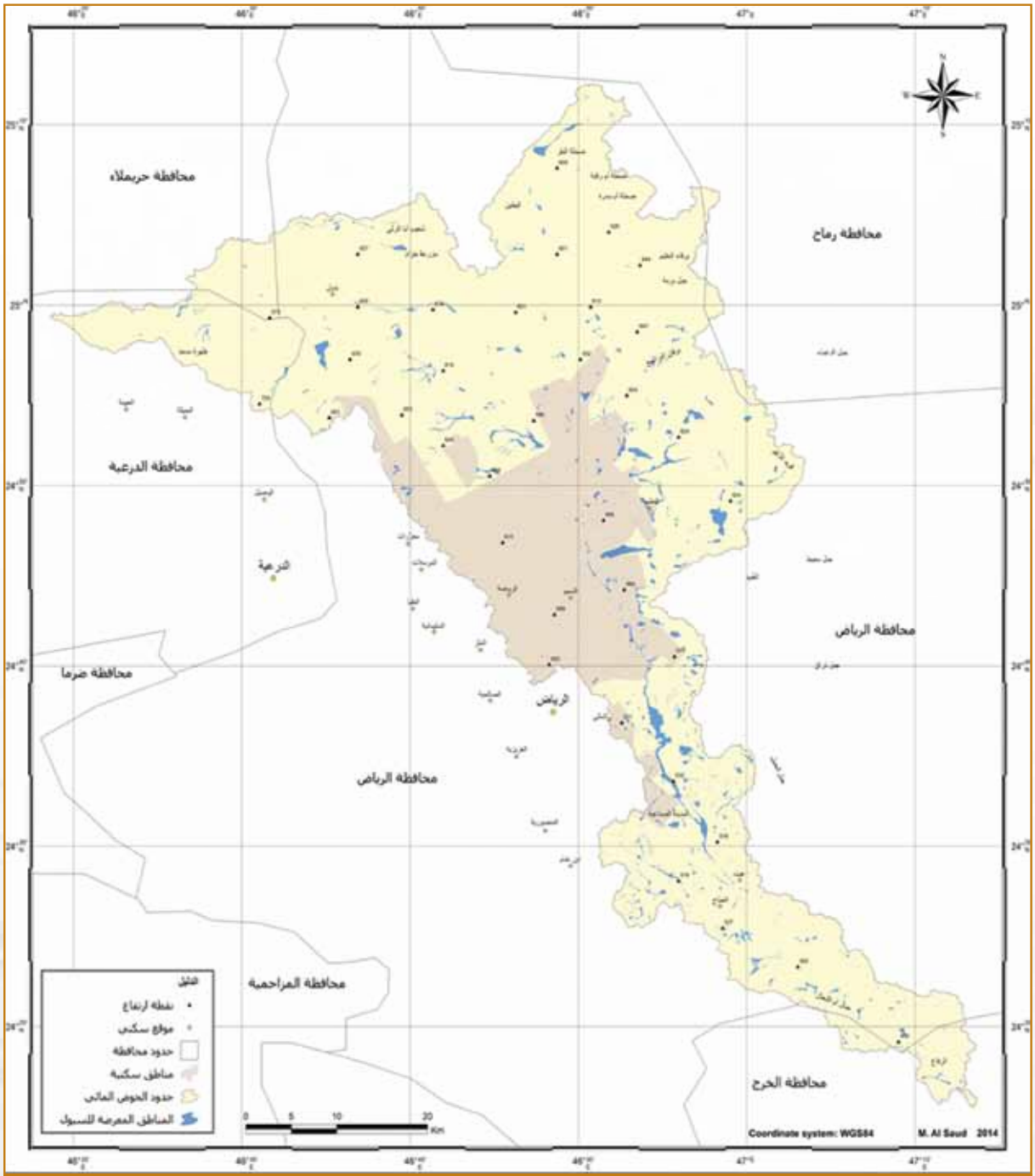
وتعتبر هذه المرحلة هي مرحلة التدقيق النهائية والجزم بمصداقية البيانات والمعطيات التي نتجت عن كل المراحل السابقة وبالتالي فهي المرحلة والاعدادية لإنتاج خريطة خطر السيول المكون الأساسي للموضوع بما يتماشى مع اهداف الموضوع.

5. **انتاج الخرائط:** وهي مرحلة الناتج النهائي لكل ما سبق حيث ان خريطة المناطق المعرضة لخطر السيول بأشكالها المختلفة يتم اخراجها باستخدام نظم المعلومات الجغرافية بعد عملية دمج البيانات الرقمية ومعايرتها وبالتالي اخراجها بالشكل الأفضل. وفي هذه الدراسة تم استخدام برمجية Arc-GIS-10.2 للقيام بعملية الاخراج الالكتروني وكذلك تطبيق القياسات الرقمية المختلفة. حيث يمكن القول ان الصور الفضائية هي مصدر المعلومات والبيانات لرئيسة في هذه الدراسة بينما التطبيقات الجيوماتكية هي وسيلة لأخراج هذه المعلومات.

وبعد الانتهاء من انتاج خريطة مخاطر السيول (شكل رقم 17) وتحديد المواقع الواقعة تحت الخطرالطبيعي، يلزم القيام بأعمال التحقق الميداني الذي قد يتم اعادته لبعض المواقع ان لزم الأمر للتأكد من امتداد الرقع المائية او آثارها، ماهية الضرر والعمال القائمة في هذه المناطق ومدى جدواها في رأب خطر السيول.

هـ.3. عناصر التعرف على أماكن السيول

تم ذكرنا سابقاً، فلقد تم التعرف المباشر من الصور الفضائية على التوزيع الجغرافي لمياه السيول، حيث ان ذلك من السهل بسبب وجود معظم الصور الفضائية المأخوذة في الأوقات الماطرة وكذلك لتنوع الصور المستخدمة مما يمكن من رؤية التوزيع المائي باشكاله المختلفة. كذلك الأمر فانه من الممكن أيضاً مشاهدة الماكن التي كانت عُرضة للجريان والتجمع المائي. أما المظاهر التي اعتمدت في التعرف على مناطق السيول والتجمعات المائية فهي:



شكل رقم ١٧: خريطة المناطق المعرضة للسيول في حوض وادي السلي.

1. ظهور تجمعات مائية واضحة او بقايا من المياه الطُحلبية الراكدة والناتجة عن الأمطار حيث يمكن ان تتكون في مسارات للأودية او منخفضات طبيعية أو في حفريات من الأعمال المختلفة (شكل رقم 18 – أ).
2. وجود رسوبيات حصوية وصلصالية مختلفة الأحجام (Gravels، pebbles، clay، etc.) وبشكل واضح في مسارات الأودية (شكل رقم 18 – ب) والتي تُظهر أشكال خطية طولية (Striations) كدليل على جريان مياه السيول وبطاقة كبيرة نسبياً. وفي معظم الحيان تظهر هذه الخطوط الطولية بشكل متداخل مما يدل على وجود اكثر من مرحلة تدفق مائي.

شكل رقم ١٨: العناصر الرئيسية للتعرف على اماكن السيول من الصور الفضائية.

3. تجمع رسوبي (Sedimentation) في مناطق محصورة حيث انها تتكون في الغالب من رسوبيات طينية ناعمة (Clayey) وهي دليل على تجمع مائي من مياه الأمطار او جريان بطيئ ينحصر عند أي عائق طبيعي او من صنع البشر. وفي معظم الأحيان يظهر في هذه المواقع انتشار للبقع الخضراء المكونة بشكل اساسي من الشجيرات (Shrubs) والتي تكون دليل على وجود منطقة ترابية رطبة تكونت أساساً من وجود المياه الراكدة (شكل رقم 18 – ج).
4. توزيع الرسوبيات بشكل دلتا (Delta) كدليل على موقع التصريف النهائي للمياه، وبطبيعة الحال فان حجم الدلتا هو كناية عن طاقة التدفق المائي (شكل رقم 18 – د).

ان كل هذه العناصر المذكورة اعلاه ظهرت خلال تحليل الصور الفضائية بمقاييس مختلفة واحياناً بانماط متفاوتة قليلاً. ويمكن من خلال شكل الموقع الذي تتجمع فيه المياه او الممرات المائية التنبؤ بالمساحة الكُلية للمياه التي يمكن ان يحتويها أي موقع في حال هطول كميات كبيرة من الأمطار.

هـ.4. الأماكن الواقعة تحت خطر السيول

بعد القيام برسم كل المواقع التي تبين انها تحتوي على مياه او كانت مجمع للمياه والرسوبيات او ممر لهما، يتضح التوزيع الجغرافي لهذه المواقع حسب الخريطة في الشكل رقم 17 والذي انتجت من التحليل الدقيق للصور الفضائية عالية الدقة (جدول رقم 7). ويظهر التوزيع الجغرافي العام لكل الرقع المتعرف عليها والتي تتخذ أشكال مختلفة حسب طبيعة الأرض الموجودة عليها وكذلك حسب وجود المعوقات الطبيعية

والأخرى التي هي من صنع الأنسان. ومن خلال العمليات الجيوماتيكية يتضح ان هناك حوالي 566 موقع يمكن ان تمر المياه من خلاله او تتجمع فيه ضمن نطاق حوض وادي السلي. وهذه المواقع التي تختلف في مساحتها بشكل كبير وتتالف من حوالي 65 كيلومترمربع اي حوالي 2,6% من حوض وادي السلي.

تتوزع مناطق السيول في الرقع الجغرافية المختلفة لحوض وادي السلي كما في الجدول رقم 8. حيث ان المساحة الأكثر تكراراً هي للرقع الجغرافية الأقل من0.1 كلم^2، في حين ان أكبر مساحة هي للرقع الجغرافية للسيول ما بين 0.1 - 0.5 كلم2 أي ما نسبته 0,8% من كامل الحوض. ومن الطبيعي انه كلما كانت مساحة الرقعة الجغرافية لمنطقة السيول كبيرة زاد معها معدل الضرر الحاصل والعكس صحيح. كذلك الأمر للرقع المتصلة والتي يكون الضرر أيضاً أكبر من الرقع المنفصلة بسبب تزايد الحمولة من مياه السيل والرسوبيات وبالتالي تزداد مهع طاقة الدفع للأجسام الواقعة في مسار جريان المياه الجارفة، وهذا ما حدث في مدينة جدة في نوفمبر 2009.

مساحة الرقعة الجغرافية	عدد الرقع	المساحة الاجمالية	نسبتها من مساحة الحوض
أقل من 0.1 كلم^2	445	9.86	0.4%
0.1 – 0.5 كلم^2	95	20.39	0.8%
0.5 - 1.5 كلم^2	16	12.29	0.5%
1.5 – 2.5 كلم^2	8	15.74	0.63%
أكبر من 2.5 كلم^2	2	6.74	0.3%

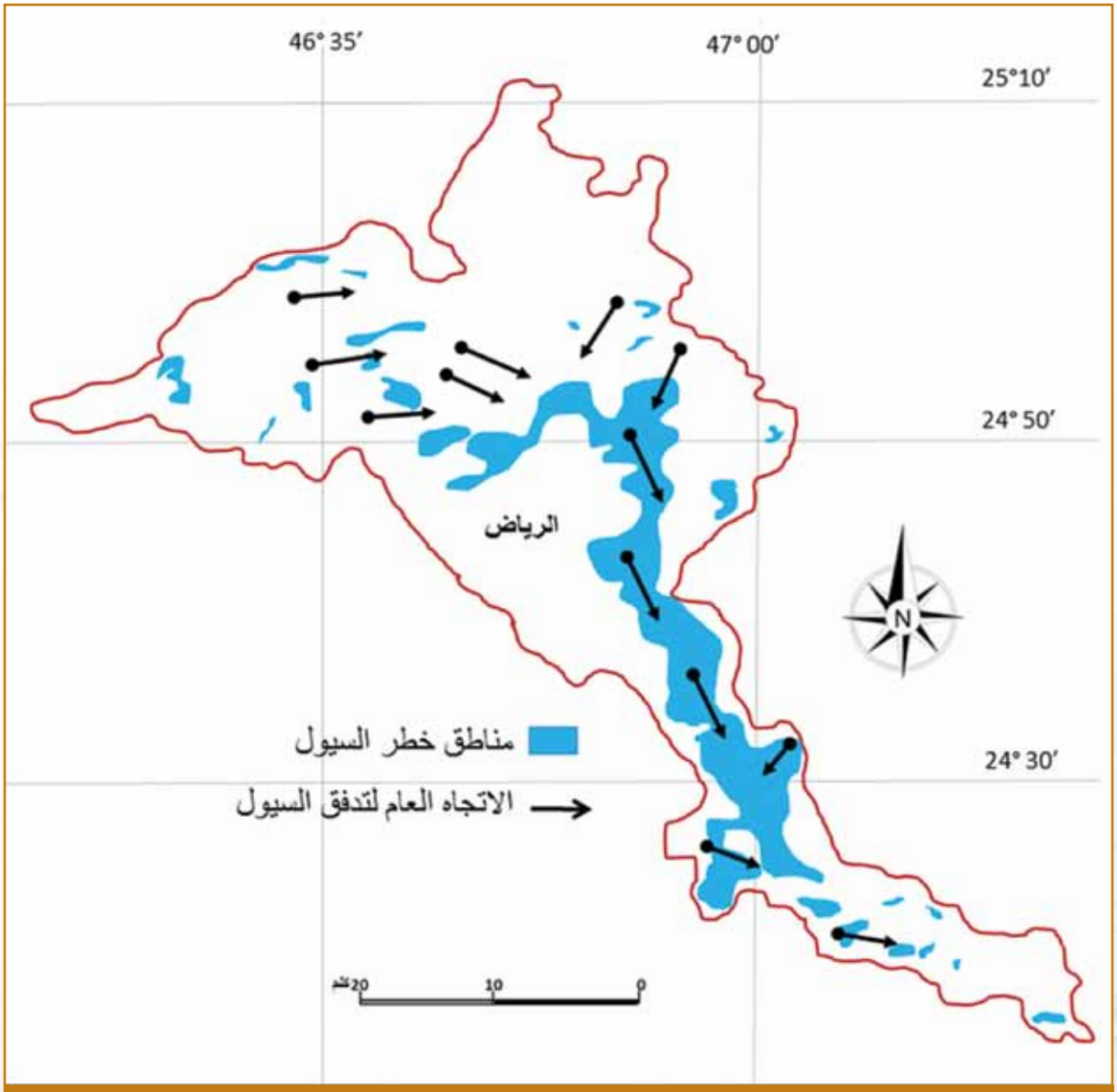
جدول رقم ٨: توزيع الرقع الجغرافية للسيول في حوض وادي السلي.

واذ ما تم دمج المواقع التي تم التعرف عليها والتي هي تحت خطر السيول للحصول على خريطة توضيحية لمناطق الكثافة يتبين ان هناك تركيز في لهذه المواقع في مناطق محددة كما هو في الشكل التوضيحي رقم 19، هذا في حال حدوث امطار غزيرة وبوتيرة كبيرة. كذلك الأمر فان الاتجاهات العامة لحركة السيول يمكن تقديرها من خلال الإمتدادات الطولية لمسار هذه السيول خصوصاً عبر الاودية المائية او اسطح الأرض المنحدرة. حيث يبين الشكل رقم 19 التمدد الجغرافي العام للمناطق الواقعة تحت خطر السيول، والذي يتضح مدى تأثره بمواصفات سطح الأرض من ناحية والتمدد العمراني من ناحية اخرى وأهم.

حيث يتبين ان الرقعة الجغرافية الكبرى هي رقعة متصلة تتمدد في وسط الحوض بينما هنالك رقع صغيرة نسبياً تتواجد شمال وجنوب الحوض. ويظهر ان رقعة المناطق المعرضة للسيول هي بشكل طولي مع امتداد الحوض القليل العرض نسبياً.

ويمكن استنتاج آلية تدفق السيول في حوض وادي السلي على النحو التالي:

1. يبدا تدفق السيول من المناطق المرتفعة في الغرب من منطقة بنبان والتي هي في معظمها مواقع لسيول بأشكال طولية تتحرك عبر الأودية لتتجه الى الشرق وجنوب – الشرق.
2. تتحرك كتل اخرى من السيول من ناحية الشرق والشمال – شرق ولكن بكميات أقل من سابقتها ليلتقيان في وسط شمال الحوض.
3. يتضح قلة حركة السيول في المناطق الواقع فيها كثبان رملية، ويعود السبب لسماكة الكتل الرملية.



شكل رقم ١٩: مناطق تركيز خطر السيول والاتجاه العام لتدفقها في حوض وادي السلي.

4. تتحرك كتل السيول (المذكورة أعلاه) من الغرب والشرق باتجاه الجنوب ونظراً لوجود المناطق السكنية لضواحي مدينة الرياض فان مسار هذه السيول يصطدم مع المناطق العمرانية خصوصا منها الطرقات الرئيسة لينحرف مسار الجريان الى الشرق ويعود بالاتجاه جنوباً مع الرافد الرئيسي لوادي السلي والذي هو ممر ضيق نسبياً ممايجعل طاقة التدفق كبيرة.
5. وجود الأنشطة العمرانية العشوائية، خصوصا منها الحفريات، يعمل على اعاقة حركة المياه وبالتالي نتج عنه تموضعات لكل مائية متفرقة وراكدة.
6. هناك تدفق للسيول من الشرق والغرب للمنطقة الواقعة مباشرة بعد خط عرض 24° 30′.
7. يتضح ان الرقعة الجغرافية للسيول تقل في الناحية الجنوبية للحوض، ويعود السبب لوجود معوقات لعملية التدفق من المنطقة الوسطى للحوض وقلة الأمطار بشكل عام.

الخلاصة والتوصيات

تشمل هذه الدراسة جوانب متفرقة للوضع الهيدرولوجي لوادي السلي، احدى الأودية الهامة المتاخمة لمدينة الرياض والذي يتعرض لتغيرات طبيعية وبشرية متسارعة جعلت منه بدون أية معالم جيومورفولوجية واضحة وبالتالي يفتقد الى المفاهيم الهيدرولوجية التي يجب ان تكون مقدمة يُبنى عليها المشاريع والأعمال ذات الصلة بحركة المياه السطحية بطريقة منتظمة ودون التأثير على البيئة المحيطة ولا على السكان في المنطقة.

تاتي هذه الدراسة الشاملة لكل المفاهيم الهيدرولوجية لتكون اداة علمية تساعد في تحليل الوضع القائم لحركة المياه السطحية، ولكنه من الممكن التوسع في أي من هذه المفاهيم حسب الطلب واذا ما كان هناك حاجة الى عمل يتعلق بتنظيم حركة المياه السطحية لتشمل شق القنوات،بناء السدود، التغذية الاصطناعية والى ما هنالك من اعمال تنموية تصب في برنامج استغلال المياه بشكل رشيد وتجنب المخاطر الناتجة عنها.

ان كل النتائج والصيغ الحسابية الموجودة في هذه الدراسة هي بيانات ومعطيات موثّقة الكترونياً وكذلك الأمر فان الخرائط المنتجة هي وثائق رقمية (Digital) تم انتاجها في النظم الجيوماتيكية الحديثة. اضافة الى ذلك، فان المعلومات الجيومكانية (Geo-spatial) تم استخلاصها من التقنيات الفضائية المتطورة، حيث تم تحليل صور فضائية عالية الدقة يمكنها مراقبة سطح الأرض ومتغيراته بقدرة تمييز عالية تعادل ارتفاع بضعة عشرات من الامتار من الفضاء. وهناك دراسات عديدة قامت بها الباحثة في مناطق عدة على الساحل الغربي للمملكة مما يدعم تطبيق دراسات مشابهة مثل الدراسة الحالية بعد اتباع منهجيات واساليب مختلفة آلة الى أفضل النتائج واكثرها موضوعية وواقعية.

بالأضافة الى المبادئ الاساسية لتنفيذ هذه الدراسة والأساليب المستخدمة، يمكن تقسيم البنود الرئيسة المكونة لها الى ثلاثة أقسام هي: 1) خصائص المنظومة المائية لحوض وادي السلي، 2) القنوات الاصطناعية و 3) المناطق المعرضة لخطر السيول في الحوض. حيث ان القسم الأول يُعنى باعداد الصيغ الحسابية الجيومورفولوجية والهيدرولوجية للحوض والأودية والروافد الموجودة فيه، والتي يمكن الاستفادة منها والتوسع في مفاهيمها عند تطبيق المشاريع المائية المختلفة، بينما القسم الثاني يتناول احدى الاعمال الهامة التي تُعنى بحركة المياه السطحية وبالتالي تم معرفة الوضع التقني لهذه الأعمال. اما القسم الثالث فهو يتعلق بتقييم خطر السيول ضمن الحوض والذي هو عرضة لهذا النوع من المخاطر الطبيعية. ومن هنا يمكن تفصيل النتائج لهذ الأقسام الثلاثة كما يلي:

1. خصائص المنظومة المائية لحوض وادي السلي:

- يعتبر حوض وادي السلي (2481 كلم^2) من الأحواض الصغيرة نسبياً بالنسبة للأحواض في المملكة.
- تم تقسيم الحوض الى ثلاثة أحواض فرعية ولكنه من الممكن التعمق في تقسيمات اضافية حسب الغرض المطلوب. ويتضح ان حوضي البويب وبنبان يشكلان أحواض تغذية لحوض السلي الجنوبي والذي تشكل مساحته ثلاثة أضعاف كلٍ منهما تقريباً.
- طول حوض وادي السلي الجنوبي يساوي تقريبا أربعة أضعاف عرضه مما يحصر كميات المياه المتجمعة من الحوضين الفرعيين وبالتالي تصبح طاقة الجريان كبيرة.
- المحيط بالنسبة للمساحة في الأحواض الفرعية الثلاثة تعتبر عادية.
- معمل الاستطالة وكذلك كرافيلي للأحواض الفرعية الثلاثة تعتبر عادية، الا ان معامل الشكل في حوض البويب هو كبير نسبياً ما يعطية القرب من الشكل الدائري وبالتالي الجريان المنتظم.

- معدلات انحدار الاسطح في الأحواض الفرعية الثلاثة هي خفيفة جداً، مما يقلل من طاقة الجريان السطحي بإستثناء بعض المناطق الجبلية المتاخمة.
- يتبين ان المسافة الى المنفذ (الشكل رقم 8) هي بشكل متداخل مما يدل على استطالة الحوض بشكل عام.
- تعتبر كثافة شبكة التصريف ومعدل التعرج عادية في الأحواض الفرعية الثلاثة.
- انحدار المجرى الرئيسي لوادي البويب هو خفيف (0.58 م/كلم) بسبب الكثبان الرملية.
- تعتبر معدلات التقاء الأودية في الأحواض الفرعية الثلاثة متساوية تقريباً (0.80 نقطة التقاء/كلم^2).
- هناك تقارب كبير في عدد رتب الأودية في حوض بنبان وحوض البويب.
- ان حوض وادي السلي من الرتبة السادسة يعني انه يتلقى كم كبير من المياه الموسمية على شكل جريان سطحي في الأوقات الماطرة.
- تقارب نسبة التشعب (Bifurcation ratio) تعكس تقارب النفاذة وسعة الترشيح المائي (بدر، 2012).
- تم انتاج خريطة الطول التراكمي والتي يمكن ان تستخدم في تقدير الحمولة عند نقاط محددة على مجى الوادي كما يتبين من الجدول رقم 6.

2. القنوات الاصطناعية في حوض وادي السلي:

- يتبين ان مجريات العمل في شق القناة الاصطناعية بطيئ (32 كلم لتاريخه) وبشكل متقطع وتصاميم مقطع القناة مختلف.
- الطول الكلي للقناة الاصطناعة (المحفورة والمفترضة) هو حوالي 111 كيلومتر.
- ليس هناك وضوح عن منطقة التصريف النهائية للقناة الاصطناعية.
- هناك قنوات سيل فرعية تم انشاؤها بطرق غير مدروسة، وهي عبارة عن حفريات طولية في مناطق ترابية تستخدم ايضاً كطرقات فرعية.
- لا يوجد قنوات اصطناعية مماثلة للقناة التي يتم حفرها في المناطق الجبلية، والتي يجب ان تكون لتوجيه الجريان السطحي من المناطق الجبلية المتاخمة وتوصيله مع القناة الاصطناعية الرئيسة.
- التطابق ما بين القناة الاصطناعية والمجرى الرئيسي للوادي غير دقيق. فهناك نسبة تطابق حوالي 38% ما بين القناة المحفورة والمجرى الرئيسي لوادي السلي، بينما تزداد هذه النسبة ما مع القناة المفترضة لتصل الى حوالي 51%.

3.المناطق المعرضة لخطر السيول في حوض وادي السلي:

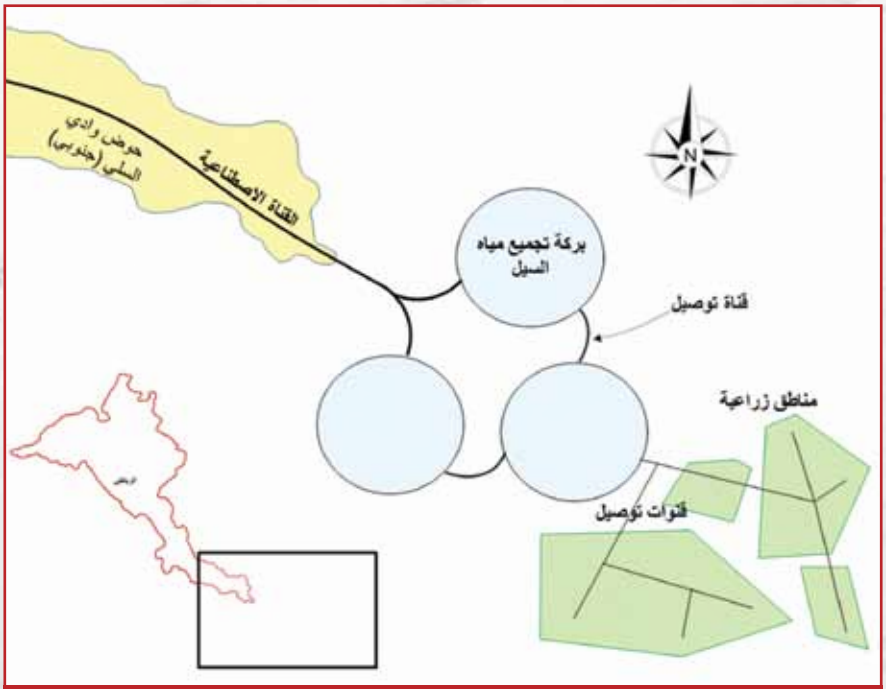
- تم اعتماد منهجية مبنية على الواقع في تحديد المناطق المعرضة لخطر السيول، حيث استخدمت الصور الفضائية عالية الدقة كوسيلة أساسية للتعرف على الأماكن والممرات التي شهدت سيول ومازالت تترك آثاراً واضحة.
- بينت الدراسة الميدانية صحة المعلومات المكانية المستقاه من الصور الفضائية وهذا ساعد في تحديد العناصر الرئيسة التي يمكن من خلالها تحديد مواقع الخطر.
- يمكن اعتبار حوض وادي السلي منطقة جغرافية تحت خطر السيول والفيضانات نظراً لأن حوالي 2.6% من مساحة الحوض هي مناطق مؤاتية لحدوث هذا النوع من الكوارث الطبيعية كما تظهر الخريطة المُنتجة (شكل رقم 17).
- يتركز انتشار السيول في المناطق الوسطى لحوض وادي السلي نظراً لإنحدار الاسطح المحيطة باتجاه

المنطقة الوسطى، اضافة الى ضيق الحوض المتصل بحوضين فرعيين أكثر اتساعاً وبالتالي القدرة لهما على تجميع قد كبير من المياه.

- ان الرقعة الجغرافية للسيول التي مساحتها تزيد عن 0.5 كلم^2 هي عددها 27 رقعة، وهي تعتبر كبيرة نسبياً وهذا يزيد فرضية ان حجم الضرر سيكون كبير عند حدوث امطار غزيرة.
- من خلال تحليل المرئيات الفضائية تبين ان هناك مواقع عدة شهدت سيول ولكن لم تكتمل عملية الجريان السطحى للمياه والرسوبيات بل توقفت عند المعوقات العمرانية والبعض الآخر توقف بسبب ضعف طاقة الجريان. وهذا يعني ان هذه المواقع هي لازالت خطرة ولكن مع ازدياد الذروات المطرية العاصفة، وهي متوقعة، فسوف تشهد هذه المواقع سيول عارمة.
- لم يتبين في الخريطة المنتجة (شكل رقم 17) ان المناطق السكنية هي تحت خطر السيول، وهذا بسبب عدم وجود آثار للمياه التي ما تلبث ان تتلاشى بسبب سهولة الجريان ما بين الطرقات. الا ان هذه المناطق ليست مستبعدة من خطر السيول وهذا متوقف على فاعلية البُنى التحتية في هذه المنطقة السكنية.

بناءاً على المعطيات التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة والمتمثلة بالبنود الرئيسة المكونة لها والتي تمت مناقشة خلاصتها اعلاه، يمكن طرح التوصيات التي تتناسب مع هذه البنود من منطلق المعطيات الهيدرولوجية للحوض وكذلك العمال القائمة ووضع الحوض لناحية خطر السيول. يمكن تلخيص هذه التوصيات كما يلي:

1. الأخذ بعين الاعتبار كل البيانات الرقمية للخصائص الجيومترية والمورفومترية للمنظومة المائية للحوض واعتبارها قاعدة بيانات (Database) يمكن الاعتماد عليها في انشاء مشاريع المياة السطحية.
2. تحديد منطقة رئيسية لتصريف المياه التي سوف تتجمع في القناة الاصطناعية جنوبي الحوض. ومن الممكن عمل برك للتجميع يتم تصريف المياه منها بشكل منتظم لتغذية المناطق الزراعية جنوباً باتجاه محافظة الخرج. ويبين الشكل رقم 20 نموذج شكلي (Schematic) لمواقع هذه البرك وطرق اتصالها.



شكل رقم ٢٠: نموذج شكلي لمقترح التصريف النهائي للمياه في حوض وادي السلي.

3. ضرورة توجيه مسار القناة الاصطناعية المفترض حفرها بما يتناسب مع مسار المجرى الرئيسي لوادي السلي، وهنا يمكن استخدام المعطيات الجيومكانية (Geo-spatial data) المتوفرة في ذهنه الدراسة.
4. العمل على تحديد قنوات اصطناعية فرعية تمتد مساراتها من الأودية الكبيرة نسبياً الى القناة الاصطناعية الرئيسة. ويمكن الاعتماد هنا على الخريطة المنتجة (شكل 17) لتحديد الأولوية لهذه الأودية.
5. لا يمكن اعتماد القنوات الفرعية الترابية كطرقات للتنقل، حيث انها معرضة لجريان السيول مما ينتج عنه أضرار كبيرة وتقطيع أوصال المناطق المختلفة.
6. ضرورة اعتماد بُنى تحتية عالية التقنية في مناطق التماس ما بين مجرى السيول والمناطق العمرانية.
7. العمل الضروري عبى معالجة مشكلة البحيرة الواقعة في منطقة السلي والتي تحتوي على مياه مبتذلة وما يترتب عليه من ضربيئي كبير يتفاقم يوماً بعد يوم.
8. انشاء مجموعة من السدود متوسطة المقاييس على معظم الأودية الموجودة في المناطق الجبلية والتي تصب في المجرى الرئيسي لوادي السلي.
9. ضرورة اعتبار عملية "التغذية الصناعية" (Artificial recharge) في المواقع التي تكون فيهلا حركة المياه السطحية بطئية وبالتالي تعمل على تجميع المياه بكميات كبيرة. وهنا يمكن تطبيق عمليات التشقق الصناعي لسطح الأرض (Cracking) من اجل زيادة معدل النفاذية.

المراجع العربية:

آل سعود، م. 2010a. خريطة مخاطر الفيضانات والسيول في مدينة جدة. مجلة بحوث جغرافية. العدد 91. 2010.

آل سعود، م. 2010b .تطبيق تقنيات الجيومعلوماتية في دراسة الفيضانات والسيول في منطقة جدة عام 2009 م. المجلة العربية لنظم الجيومعلوماتية. العدد 3 (1)، 2010.

الحربي، ن. 2007.النمذجة الآلية لحوض وادي ملكان باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ونماذج الارتفاعات الرقمية: دراسة من منظور جيومورفولوجي. رسالة ماجستير غير منشورة. جامعة ام القرى. 317 صفحة.

بدر،ه. 2012. التحليل المورفومتري الكمي لحوض وادي المر وتقييم نوعية المياه الجارية فيه. مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية المجلد الثامن والعشرون- العدد الأول. 39-52.

الشمراني، ع. 2011. التحليل المكاني للمناطق المهددة بالسيول في شمالي مدينة الرياض باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. رسالة ماجستير غير منشورة. جامعة الملك سعود.

المراجع الأجنبية:

Abdulrazzak M., J., Sorman, A., Onder, K., and Al-Sari, A. 1995. Flood estimation and impact: Southwestren region of Saudi Arabia. King Abdulaziz City for Science and Technology; Project No. ARP-1051-, Riyadh. Saudi Arabia.

Al Saud M, 2007. Using satellite imageries to study drainage pattern anomalies in Saudi Arabia. Environmental Hydrology Journal 15(30), 115-.

Al Saud M, 2014. Flood Control Management for Jeddah City (Saudi Arabia) and its Surroundings. Springer Inc. (Under publishing).

Al-Saud, M. 2009. Morphometric Analysis of Wadi Aurnah Drainage System, Western Arabian Peninsula, the Open Hydrology Journal, Vol.3: 110-.

Chorley, R., S. Shumm, and D. Sugden, (1985), Geomorphology, Methuen Inc., NY, USA

EM-DAT: The OFDA/CRED International. Prevention Web. 2013. Saudi Arabia- Disaster Statistics. Available at: http://www.preventionweb.net/english/countries/statistics/?cid=150

Miller, V. 1953. A Quantitive Geomorphic Study for Drainage Basin Characteristics in the Clinch Mountain Area, Virginia and Tennessee, Technical Report No.3, I-30, N6 ONR 27130-, Geology Depart., Colombia University, n.d.

Schumm, S. 1956. The elevation of drainage systems and slopes in Bad Lands at Perth Amboy, New Jersey. Geol. Soc. Amer. Bull., Vol. 67, pp. 597646-

Sorman, A., Abdulrazzak, M., J., and Onder, H., 1991. Analysis of Maximum Flood Events and their Probability Functions Under Arid Climate Conditions in Saudi Arabia, International Hydrology and Water Resources Symposium, Perth.

Subyani, A., Qari, M., Matsah, M., Al-Modayan, A. and Al-Ahmadi, F. 2009. Utilizing remote sensing and GIS technologies to produce hydrological and environmental hazards in some Wadis, western Saudi Arabia (Jeddah-Yanbu). Dept of Hydrology. King Abdulaziz City For Science and Technology. General Directorate of Research Grants Program. Kingdom of Saudi Arabia.

Wisler C. & Brater E. (1959) Hydrology. John Wiley & Sons, New York.

الهَـيـْـئـة العُـلـيَـا
لتطـويـْـر مَـدينـة الـريـَـاض