



جامعة مؤتة
كلية الدراسات العليا

تقييم مخاطر الفيضانات والسيول في حوض وادي موسى عبر توظيف نظم المعلومات الجغرافية والإستشعار عن بعد

إعداد

وقاص عايد النوافله

إشراف

الأستاذ الدكتور إبراهيم العرود

رسالة مقدمة الى كلية الدراسات العليا إستكمالاً
لمتطلبات الحصول على درجة الماجستير في
نظم المعلومات الجغرافية GIS / قسم الجغرافيا

جامعة مؤتة 2021م

الآراء الواردة في الرسالة الجامعية لا تعبر
بالضرورة عن وجهة نظر جامعة مؤتة



قرار إجازة رسالة جامعية

تقرر إجازة الرسالة المقدمة من الطالب وقاص عايد علي النوافله
والموسومة بـ: تقييم مخاطر الفيضانات والسيول في حوض وادي موسى عبر
توظيف نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد

استكمالاً لمتطلبات الحصول على درجة الماجستير في
القسم: نظم المعلومات الجغرافية
من الساعة ١٠ إلى الساعة ١٢
نظم المعلومات الجغرافية
في تاريخ ٢٠٢١/٠٦/٠٢
قرار رقم ٤/٢٠٢١

التوقيع

أعضاء اللجنة:

مشرفا ومقررا

عضوا

عضوا

عضو خارجي

أ.د. ابراهيم مطيع ابراهيم العرود

أ.د. محمد جميل احمد القرالة

د. سطاتم سالم مقبل الشقور

د. خالد محمد أمين أحمد الهزيمة

عميد كلية الدراسات العليا



الإهداء

إلى مَنْ وقفًا بجانبِي طوالَ حياتِي

أبِي وأُمِّي

أهدي لكمَا ثمرةَ جُهدِي المُتواضعِ

أُهديه مليئاً بالحبِّ والتقدير، ولو أنني أوتيت كلَّ البلاغة، وأفنيت حياتي في النظم والنثر، لما كنت بعد قولِي وفعلِي إلا مقصراً، ومعتزلاً بالعجز عن واجب الشكر.

وقاص عايد النوافله

الشُّكْر والتقدير

الحمد لله كما ينبغي لجلال وجهه وعظيم سلطانه، الحمد لله الذي تتم بنعمته الصالحات،
والصلاة والسلام على المبعوث رحمة للعالمين وعلى آله وأصحابه أجمعين، والتابعين لهم إلى
يوم الدين، وبعد :

يقول سبحانه وتعالى: ﴿ أَنْ اشْكُرْ لِلَّهِ ۚ وَمَنْ يَشْكُرْ فَإِنَّمَا يَشْكُرُ لِنَفْسِهِ ۗ وَمَنْ كَفَرَ فَإِنَّ
اللَّهَ غَنِيٌّ حَمِيدٌ ﴾ [لقمان : 12]، أحمد الله العليّ القدير على جميع نعمه.

والقائل في محكم التنزيل: ﴿ أَنْ اشْكُرْ لِي وَلِوَالِدَيْكَ إِلَيَّ الْمَصِيرُ ﴾ [لقمان : 14]. فأحمده
على جميع نعمه ثم أتوجه بعظيم الامتنان والشكر لوالديّ اللذين أولياني عظيم العناية ولا زلت
أحظى باهتمامهما، أسأله تعالى أن يرضى عنهما ويبارك بهما ويحفظهما.

يسعدني ويشرفني أن أتقدم بجزيل الشكر والامتنان لمشرفي العزيز الأستاذ الدكتور إبراهيم
العرود على تفضله بالأشراف على هذه الدراسة، ولما بذله من جهد وقدمه من نصح كان له
الأثر البالغ في إخراجها بهذه الصورة فجزاه الله عني خير الجزاء.

كما اتقدم بالشكر الجزيل إلى أعضاء لجنة المناقشة؛ لتفضلهم بمناقشة هذه الرسالة وإبداء
الملاحظات والتوجيهات القيمة، التي ليست الا اثراء لهذا العمل.

وأخيرًا أتقدم بالشكر لكل من مد لي يد العون من أجل انجاز هذا العمل، وأخص بالذكر،
أ.د. محمد الفرجات، والخاله العزيزة أم صخر النوافله، وأ.د. زياد السلامين، د. مبروك الحمادين
د. حسين الحسنات، والزميل رمزي عياش.

وقاص عايد النوافله

فهرس المحتويات

رقم الصفحة	المحتوى
أ	الإهداء
ب	الشكر والتقدير
ج	فهرس المحتويات
هـ	قائمة الجداول
و	قائمة الأشكال
ط	الملخص باللغة العربية
ي	الملخص باللغة الإنجليزية
1	الفصل الأول: خلفية الدراسة ومشكلتها
1	1.1 المقدمة
2	2.1 مشكلة الدراسة
3	3.1 أهداف الدراسة
3	4.1 أهمية الدراسة
5	الفصل الثاني: مراجعة الادبيات السابقة
5	1.2 الدراسات العربية
7	2.2 الدراسات الأجنبية
13	الفصل الثالث: منطقة الدراسة والمنهجية
13	1.3 الموقع
14	2.3 طبوغرافية السطح
17	3.3 الخصائص الجيولوجية
23	4.3 التربة
25	5.3 الظروف المناخية
29	6.3 الغطاء الأرضي واستعمالاته

رقم الصفحة	المحتوى
35	7.3 المنهجية
37	8.3 جمع البيانات وتحضيرها
42	9.3 تصنيف الغطاء الأرضي وتقييم دقته
45	10.3 النمذجة الهيدرولوجية باستخدام ArcSWAT
66	الفصل الرابع: النتائج والمناقشة والتوصيات
66	1.4 نتائج النمذجة الهيدرولوجية باستخدام ArcSWAT
78	2.4 إدارة الفيضانات المفاجئة في الحوض
83	3.4 التوصيات
84	المراجع

قائمة الجداول

رقم الصفحة	العنوان	رقم الجدول
15	تصنيف شدة الانحدار تبعاً لدرجته	.1
31	نسبة مساحة الغطاء الأرضي من المساحة الكلية للحوض	.2
33	المراكز العمرانية في منطقة الدراسة ومساحتها	.3
37	البرامج والأدوات المستخدمة في الدراسة	.4
37	البيانات المستخدمة في الدراسة	.5
38	موقع المحطات المناخية وارتفاعها عن مستوى سطح البحر	.6
40	النطاقات الطيفية لقمر Landsat-8	.7
43	أصناف الغطاء الأرضي في وادي موسى حسب تصنيف (Anderson)	.8
44	مصفوفة الخطأ لتقييم دقة التصنيف في حوض وادي موسى 2019	.9
67	متوسط القيم الشهرية الناتجة عن نمذجة Arc-SWAT	.10

قائمة الأشكال

رقم الصفحة	العنوان	رقم الشكل
13	موقع منطقة الدراسة: حوض وادي موسى - الأردن	1.
15	الخريطة ثلاثية الابعاد (3D) لحوض وادي موسى	2.
16	درجات الانحدار في حوض وادي موسى	3.
17	الأزمنة الجيولوجية التي مر بها الحوض	4.
18	التركيب الجيولوجية في منطقة الدراسة	5.
19	المقطع الجيولوجي للحقبة الجيولوجية PALAEOZOIC	6.
20	المقطع الجيولوجي للحقبة الجيولوجية MESOZOIC	7.
22	المقطع الجيولوجي للحقبة الجيولوجية CENOZOIC	8.
23	صدع وادي موسى التحويلي	9.
25	أنواع التربة في حوض وادي موسى	10.
27	الأقاليم المناخية في حوض وادي موسى	11.
28	معدل الهطول (الشهري) في محطة وادي موسى	12.
29	معدل درجات الحرارة العظمى والصغرى في محطة وادي موسى	13.
30	أصناف الغطاء الأرضي في حوض وادي موسى عام 2019	14.
35	صور فوتوغرافية للغطاء الأرضي في وادي موسى	15.
36	المخطط الانسيابي للمنهجية المستخدمة في الدراسة	16.
39	المحطات المناخية المستخدمة في الدراسة	17.
42	المرئية الفضائية المحسنة لحوض وادي موسى 2019	18.
46	شريط أدوات برنامج ArcSWAT	19.
47	إعداد نموذج الإرتفاعات الرقمي DEM Setup	20.
48	تحديد المجاري المائية Stream Definition	21.
49	الشبكة المائية ومنافذها التي حددت على ArcSWAT	22.

رقم الصفحة	العنوان	رقم الشكل
50	تحديد المصب النهائي للحوض وترسيم احواض التصريف الفرعية	.23
50	Subbasin parameters حساب المعاملات للاحواض الفرعية	.24
52	USGS قائمة تصنيف الغطاء الأرضي إستنادا لنظام تصنيف	.25
53	قاعدة بيانات التربة التي تضم بيانات وحدات تربة الحوض	.26
54	قائمة تصنيف التربة	.27
54	Lookup Table جدول البحث لنوع التربة	.28
55	قائمة تصنيف الانحدارات	.29
57	HRU قائمة تعريف وحدات الاستجابة الهيدرولوجية	.30
58	SWAT Weather Database قاعدة البيانات المناخية	.31
59	WeatherDatabase نافذة تحديد قاعدة بيانات المحطات المناخية	.32
60	نافذة إدخال بيانات الهطول المطري	.33
60	ملف "إحداثيات المحطات" المرتبط بقياسات الهطول	.34
61	نافذة إدخال بيانات درجات الحرارة	.35
61	ملف "إحداثيات المحطات" المرتبط بقياسات درجات الحرارة	.36
62	Write SWAT Input Tables	.37
63	نافذة إعداد وتشغيل محاكاة نموذج SWAT لفترة الدراسة	.38
63	Read SWAT Output قراءة مخرجات النموذج	.39
64	نافذة إستخراج بيانات النمذجة	.40
66	الاحواض الفرعية في حوض وادي موسى	.41
69	الواقع الهيدرولوجي في حوض وادي موسى لفترة (2011-2019)	.42
72	الجريان السطحي الأقصى اليومي (ملم) لسنوات الدراسة	.43
73	متوسط الجريان السطحي الأقصى اليومي (ملم)	.44
75	الرتب النهرية في حوض وادي موسى تبعاً لإسلوب (Strahler)	.45

رقم الشكل	العنوان	رقم الصفحة
46.	خريطة الفيضانات التاريخية في حوض وادي موسى	75
47.	خريطة خطر الفيضانات المفاجئة في حوض وادي موسى	77
48.	التوزيع الجغرافي للسدود والخزانات المائية والينابيع داخل البتراء	80

المُلخَص

تقييم مخاطر الفيضانات والسيول في حوض وادي موسى عبر توظيف نظم المعلومات

الجغرافية والاستشعار عن بعد

وقاص عايد النوافله

جامعة مؤتة، 2021

جاءت هذه الدراسة في هدف تقييم مخاطر الفيضانات في الحوض باستخدام اسلوب النمذجة الهيدرولوجي باستخدام أداة ArcSWAT 2012؛ لتقدير كميات الجريان السطحي الذي يعد العامل الأهم في تقييم شدة الفيضانات والسيول. إذ أستخدمت طريقة الجريان السطحي الأقصى في ذلك والذي أنتجها النموذج، ومنها تم إنتاج خريطة خطر الفيضانات عبر دمجها بالخريطة التاريخية للفيضانات والمجري المائية المهددة.

لتشغيل النموذج فقد جمعت له البيانات المناخية للفترة 2011-2019 من دائرة الارصاد الجوية، ونموذج الارتفاعات الرقمي DEM من قمر Alos-Palsar، وبيانات التربة للمشروع الوطني 1993 بالإضافة لمرئية فضائية من قمر Landsat-8. وقد أظهرت نتائج الدراسة بأن جميع المجاري المائية بدءاً من الرتبة الثالثة شديدة الخطورة، وأن مقدار معدل الجريان السطحي الاقصى اليومي في الحوض يتراوح بين 2.19 ملم في المناطق الشرقية و10.8 ملم في المناطق الغربية.

كلمات مفتاحية: حوض وادي موسى، النمذجة الهيدرولوجية ArcSWAT، خريطة الفيضانات التاريخية، خريطة خطر الفيضانات.

Abstract

Floods and Torrents risk assessment in Wadi Mousa Basin through GIS and Remote Sensing

**Waqas Ayed Nawafleh
Mutah University, 2021**

This study aims at evaluating flood risks in Wadi Mousa Basin using hydrological model via Arc-SWAT 2012 to estimate surface runoff, which is one of the most important factors in evaluating the strength of flooding where the maximum surface runoff is applied. As a result, flooding risk map was exported through merging it with the flooding historical map and streams at risk.

For running the model, weather data for 2011-2019 was collected from Jordan metrological department, digital elevation model via Alos-Palsar satellite, soil data from the national project 1993, as well as satellite image gotten from landsat-8.

The study concludes that all the streams have third rank have high risk, and the Average daily maximum runoff for the basin is 2.19 mm in the eastern areas and 10.8 mm for the western areas.

Keywords: Wadi Mousa Basin, ArcSWAT Hydrological Modeling, Historical flood map, flash flood risk map.

الفصل الأول: خلفية الدراسة وأهميتها

1.1 المقدمة (Introduction)

تعتبر ظاهرة الفيضانات وسيول الأودية الجافة من أخطر الكوارث الطبيعية التي تتعرض لها المناطق الحضرية والعمرائية في البيئات الجافة وشبه الجافة، حيث تؤثر في حياة الإنسان ونشاطه الإقتصادي والاجتماعي، الأمر الذي يتطلب وضع الأسس العلمية لضبطها، وإدارة هذه الكوارث وذلك بالقيام بالإجراءات التي تحد من خطورتها (مصطفى عباس، 2015). تبقى ظاهرة الفيضانات والسيول ظاهرة طبيعية تقل خطورتها كلما ابتعدت عن نطاق التجمعات الحضرية، ولكن إذا ما حدثت ضمن نطاق النسيج العمراني فإنها تشكل تهديداً بيئياً كبيراً، قد يلحق خسائر في الأرواح والممتلكات. حيث يجب إتخاذ السبل المثلى لمكافحتها عبر الفهم الشامل للخصائص الهيدرولوجية لهذه الأحواض بتوظيف الأساليب والتقنيات الحديثة للعمل ضمن إطار منهجي صحيح في تنفيذ الاستراتيجيات اللازمة.

تعد الفيضانات المفاجئة أحد أخطر الفيضانات بسبب حدوثها بشكل مفاجئة خلال فترة قصيرة لا تتجاوز بعدها الأقصى عدة ساعات، حيث تكون حالة الجو مستقرة قبل هطول الأمطار بكميات كبيرة ووصولها لمستوى الفيضان بشكل سريع، الأمر الذي يجعل الوضع يزداد سوءاً حالة الهدوء والإطمئنان عند السكان التي تسبب خسائر وخيمة في الأرواح والممتلكات. بل ولا يمكن التنبؤ بوقت أو مكان حدوثها كما أثبتت الدراسات السابقة للفيضانات المفاجئة، حيث يمكن حدوثها خلال سنة، او خمسة سنوات، او عشرة، او لن تحدث.

لقد برز دور الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية كأدوات فعالة في تقييم كوارث الفيضانات والسيول نظراً لتمكنها من التعامل مع قواعد البيانات الجغرافية من حيث التنظيم والتحليل بكل سهولة، ولسرعة عرض واستخراج النتائج بصورة مفهومة للجميع. ذلك

وبربطها بأنظمة الإنذار المبكر من أجل الإستعداد والتأهب في مواجهة الفيضانات عبر التحذير المسبق للفيضان. بالإضافة للتوجيه الجيد والتخطيط السليم والمساعدة في عمليات الإغاثة والإسعاف وتقييم الأضرار والخسائر وتوثيقها.

في ضوء ما سبق فإن تطوير النموذج الهيدرولوجي لحوض وادي موسى باستخدام نموذج Arc-SWAT الذي يساعد في محاكاة بيانات المياه السطحية Runoff المتاحة ذو أهمية بالغة خاصة في تقييم الفيضانات المفاجئة التي يعاني منها الحوض، وتحديد نطاق خطر الفيضانات، وإنشاء المشاريع المائية مثل السدود ومشاريع البنية التحتية.

2.1 مشكلة الدراسة (Study Problem)

تاريخياً، لوحظ أن كوارث الفيضانات آخذة في الازدياد بسبب التغيرات البيئية الإقليمية المستمرة والتقلبات المناخية العالمية. لهذا السبب، تحثل المخاطر المرتبطة بالفيضانات حالياً مرتبة عالية بين الأسباب الرئيسية للدمار الذي يشكل قضايا إشكالية يجب مواجهتها على جميع مستويات المجتمع البشري؛ بحيث تتباطأ العمليات التنموية في العديد من البلدان أو تتوقف عن العمل (Ochege, 2016). وقد شهد الاردن في السنوات الماضية فيضانات وسيول غير مسبوقة تسببت بها عواصف مطرية مفاجئة، خلفت خسائر فادحة على مستوى الارواح والممتلكات ؛ مثل فيضان عمان وسط البلد عام 2015، وفيضان ماعين وفيضان البحر الميت عام 2018.

لقد حدث في حوض وادي موسى عدة فيضانات شديدة نتج عنها العديد من القتلى والاصابات ودمار في الممتلكات، منها ما حدث في 1963م، في هذا الحدث المتطرف تسبب هطول الأمطار الغزيرة والمفاجئة في تدفق مياه الفيضانات من جميع الوديان إلى منفذ وادي موسى. حمل الفيضان حمولة ضخمة من الرواسب مما أدى إلى سد معظم الهياكل الهيدروليكية في الوادي. وامتأ السد عند مدخل السيق بالرواسب. وبالتالي، تجاوزت مياه الفيضان السد ودخلت السيق. ورغم جهود الطوارئ الكبيرة، فقد عشرين سائناً فرنسياً حياتهم.

(Al-Weshah, 1999)

وفي عام 1991، أدى فيضان آخر، يعود إلى فترة مدتها 29 عاماً أو نحو ذلك، إلى جرف مجرى مائي أعلى السيق، وتسبب في مشكلة خطيرة للزوار والسياح في مدينة البترا . على الرغم من أن مياه السيول لم تدخل السيق، إلا أن آثار ارتفاع المياه في وادي المطاحة تشير إلى أن منسوب المياه وصل إلى ارتفاع يزيد عن 12 متراً فوق قاع الوادي. وبالتالي؛ تاريخياً تسببت الفيضانات المفاجئة في تهديد كبير لمدينة وادي موسى. ونتيجة لذلك، صنفه علماء المياه على أنه الوادي الأكثر خطورة في الأردن (Alhasanat, H. 2014). وتمثل العديد من العوامل الطبيعية خطراً على وجود المدينة التراثية (البترا) والتي يزداد تأثيرها باضطراب، وتتمثل بالسيول والفيضانات، والتعرية الريحية، وتبلور الاملاح وغيرها من أخطار يجب مكافحتها.

3.1 اهداف الدراسة (Study Aims)

يمكن تحديد أهداف الدراسة بما يلي:

1. اعتماد نمذجة Arc-SWAT في تقدير حجم الجريان السطحي في حوض وادي موسى.
2. إنتاج خريطة خطر الفيضانات المفاجئة النهائية للحوض.
3. إيجاد استراتيجيات عملية لإدارة السيول والفيضانات في الحوض.

4.1 أهمية الدراسة (Study Importance)

تعد الفيضانات أكثر الأخطار البيئية المهددة للمنطقة خصوصاً في الآونة الأخيرة؛ بسبب زيادة عدد العواصف المطرية المفاجئة على مستوى الأردن بل وفي الشرق الأوسط بأكمله. حيث حدثت فيضانات عارمة في مختلف دول الشرق الأوسط ذات المناخ الجاف وشبه الجاف، ونظراً لتهديدها الحقيقي لحياة الإنسان وممتلكاته ونشاطاته وللموارد الطبيعية في حوض وادي موسى، خاصة مع زيادة النمو السكانية بوتيرة كبيرة، وزيادة نشاطاته المختلفة، بالإضافة للحاجة للدراسات الهيدرولوجية في حوض وادي موسى خاصة فيما يتعلق بكونث الفيضانات.

وفي هذا الإطار جاءت هذه الدراسة لتقييم خطر الفيضانات والسيول في حوض وادي موسى . من خلال إستخدام النمذجة الهيدرولوجية عبر Arc-SWAT بالاستناد لبيانات جمعت للفترة ما بين (2011 - 2019)، وهي بيانات كميات الامطار اليومية ودرجات الحرارة العظمى والصغرى اليومية لمحطة وادي موسى للرصد الجوي الواقعة في حوض وادي موسى ومحطة الشوبك، لمعرفة مقدار الجريان السطحي الذي من خلال ربطه مع الخريطة التاريخية للفيضانات يمكننا إنتاج خريطة خطر الفيضانات المفاجئة في الحوض. لتقديم نظرة جغرافية متكاملة لمساعدة المسؤولين وصناع القرار في تنفيذ الاستراتيجيات اللازمة للحد من خطر الفيضانات وإدارته لحماية السكان وخدمتهم.

الفصل الثاني الدراسات السابقة

الدراسات السابقة (Previous Studies)

1.2 الدراسات العربية

دراسة الصبابة نوح سنة 2019 بعنوان:

" تقييم القابلية لحدوث الفيضان في الأقاليم الجافة من منظور جيومورفولوجي (وادي موسى جنوب الأردن : دراسة حالة) "

تهدف الدراسة إلى تقييم خطر الفيضان في الأقاليم الجافة من منظور جيومورفولوجي لحوض وادي موسى جنوب الأردن باستخدام طريقة الرتب المورفومترية Morphometric Ranking method، من خلال التكامل ما بين نظم المعلومات الجغرافية والنماذج الهيدرولوجية لتسعة أحواض ثانوية (روافد). حيث اعتمد الباحث على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) لاستخراج القياسات المورفومترية المتعلقة بالأحواض الثانوية التي تتضمن المتغيرات المساحية والطولية، والمتغيرات الشكلية، والمتغيرات التضاريسية، والمتغيرات المتعلقة بالشبكة المائية. بعد ذلك تم تصنيف المتغيرات المورفومترية الى خمس رتب من حيث قابلية الخطورة من (1) غير خطر الى (5) خطر جدا، ومن ثم تجميع قيم هذه الرتب وتصنيفها في ثلاث درجات خطورة من حيث قابلية حدوث الفيضان.

دراسة مطلق جمال سنة 2018 م بعنوان :

" إدارة كوارث الفيضانات والسيول في منطقة بحر النجف "

عملت الدراسة على تحديد نطاق خطر الفيضانات والسيول المحتملة على المستقرات البشرية في منطقة بحر النجف وتحديد اتجاهات التنمية المكانية، حيث توصلت الدراسة إلى وجود سبع مستقرات في مناطق عالية الخطورة واثنين في المناطق متوسطة الخطورة، وقد أوصت الدراسة بالتوعية السكانية بمخاطر السيول، وخطورة البناء والإقامة في مجاري الوديان

والسهل الفيضي مع التوجه بعدم منح رخصة للبناء في المناطق المعرضة للفيضانات، وتوجيه التنمية إلى المناطق منخفضة الخطورة البعيدة عن المجاري.

دراسة الميلود زروقي سنة 2016 م بعنوان :

" نمذجة فيضانات وادي كرت: نموذج مدينة الدرويش خلال استعمال ARCGis و-HEC
" GEORAS

دراسة لمخاطر الفيضانات بتطبيق النمذجة الهيدرولوجية في وادي كرت العابر لمدينة الدرويش في المغرب بالاستناد على نظم المعلومات الجغرافية ونموذج HEC-GEORAS، بهدف ضبط الفيضانات وتفاذي أخطارها على الأمد القريب والبعيد، وقد أظهرت الدراسة أن نمذجة الفيضانات تحمل معطيات دقيقة عن امتداد مجال الفيضانات، وأنها ذات فائدة في عمليات التخطيط.

دراسة مصطفى عباس سنة 2015 م بعنوان :

" التطبيقات الجيومورفولوجية لأغراض التنبؤ بكوارث وأخطار فيضان وسيول الأودية الجافة" ناقش فيها التطبيقات والنماذج الجيومورفولوجية لدراسة أحواض تصريف الأودية في البيئات الجافة وشبه الجافة من أجل التنبؤ بأزمات الفيضانات وكوارثها في تلك الأودية، وقد توصلت الدراسة إلى سبل الحد من خطورة الفيضانات تمثلت: بإعداد قواعد البيانات للأودية والأنهار التي تعرض الإنسان لخطر السيول، وسن القوانين والتشريعات التي تنظم استعمالات الأرض. وقد أشارت الدراسة بأن الاستغلال الأمثل للمناطق الواقعة تحت خطر الفيضانات يكون في مجال التنزه والترفيه والسياحة وساحات الرياضة بحيث يمكن إخلاؤها وتجنبها أثناء فترة الفيضانات.

دراسة الوهبي آلاء سنة 2013 م بعنوان :

" استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد في تقييم فيضان وادي النساء بمنطقة القصيم " تناولت الدراسة استخلاص الشبكة الهيدرولوجية لوادي النساء باستخدام نموذج الارتفاعات الرقمي DEM، وتحديد المستوطنات العمرانية الواقعة في حرم وادي النساء وروافده، وقد توصلت الدراسة أن التخطيط المستقبلي لمحافظة الرس لم يأخذ بالحسبان حرم ومجرى وادي

النساء، حيث إن غالب التخطيط يتركز في الأجزاء الدنيا من الحوض، لذلك فقد أوصت بوضع نظام صارم يمنع التعدي على حرم الوادي.

2.2 الدراسات الأجنبية

دراسة Alhasanat H. سنة 2014 بعنوان:

“Flash Flood Assessment for Wadi Mousa City–Jordan”

تهدف الدراسة الى تقييم المخاطر الناجمة عن الفيضانات المفاجئة المحتملة في وادي موسى وتحديد حجم تدفق الفيضانات إنشاء خرائط السهول الفيضية لفترات عودة الفيضان المختاره وهي (25، 50، 75، 100) سنة، قسمت الدراسة منطقة تصريف المياه ضمن أربعة مستجمعات فرعية هي ؛ وادي الصدر، ووادي جلوخ ووادي خليل، ووادي المغير. تصب جميعها في وادي الزرابة وهو ملتقى المستجمعات الفرعية الثلاثة. وقد بلغ متوسط هطول الأمطار السنوي لوادي موسى 178 ملم، ومتوسط التبخر النتح السنوي 1300 ملم في السنة. أشار تحليل الجريان السطحي إلى أن نتيجة هطول الأمطار التي تتجاوز 22 ملم خلال فترة 24 ساعة هي التي تولد الجريان السطحي.

دراسة Ashraf Abdel karim في عام 2019 م بعنوان:

“Assessment of the Expected Flood Hazards of the Jizan–Abha Highway, Kingdom of Saudi Arabia by Integrating Spatial–Based Hydrologic and Hydrodynamic Modeling”

قدمت الدراسة مقترحًا لطرق جديدة لتقييم مخاطر الفيضانات المتوقعة التي أثرت على مشاريع البنية التحتية من خلال محاكاة حالة نمذجة طريق جيزان - أبها السريع، حيث اعتمد النموذج على التكامل بين النمذجة الهيدرولوجية والهيدروليكية. قامت بوضع خريطة تصنيف للمناطق المتأثرة بمخاطر الفيضانات على طول طريق جيزان - أبها السريع، وتسوية خرائط الحلول مع البدائل المقترحة والمناسبة للتخلص من مخاطر الفيضانات. اعتمدت الدراسة على تطبيق برنامج WMS لرسم الوديان وأحواض التدفق وحساب سماتها المورفومترية. وحصلت

الدراسة على كميات التدفقات الخارجة المقدرة ومعدلات التدفق الخارج وفقاً لمنهج الهيدروغراف اعتماداً على SCS. واستخدم برنامج النمذجة HEC-RAS أيضاً لتقييم كفاءة السدود والجسور، وإنتاج خرائط ثنائية الأبعاد للسهول الغرينية لإظهار حدود التوزيع والعمق والسرعة لتدفق الحوض الخارج الذي أثر على الطريق. وقد أوصت الدراسة بمراعاة نتائجها عندما يقوم صانع القرار بتنفيذ خطة التخفيف من مخاطر الفيضانات، وتطوير كفاءة البنية التحتية للتخلص من الفائض في هطول الأمطار.

دراسة Piniewski وآخرون في عام 2017 بعنوان:

“ Future Hydrology Data Set : Projections of Water Balance and Stream flow for the Vistula and Orda Basins, Poland ”

اعتمدت على نموذج SWAT الهيدرولوجي في استنباط نماذج التغير المناخي وفي تقدير الميزانية المائية والجريان السطحي بحوضي فيستولا وأوردا عبر توظيف نظم المعلومات الجغرافية في تحليل بيانات الأمطار والتبخر والرطوبة والترشيح للوصول الى مدى تأثير التغير المناخي على الميزانية المائية بحوضي فيستولا وأوردا.

دراسة Shiv. P. Aggarwal وآخرون سنة 2009 بعنوان :

“ Remote sensing and GIS Applications in Flood Management”

فصلت الدراسة طرق إدارة مخاطر الفيضانات وحماية الأرواح والممتلكات إلى ثلاث مراحل: مرحلة ما قبل الفيضانات والمتمثلة بالتنبؤ والوقاية وتخطيط استخدام الأراضي المعرضة للفيضانات، ومرحلة فترة الفيضانات من خلال العمل على المراقبة والإغاثة، وتحديد المناطق المتضررة بالفيضانات وتحديد المناطق التي يحتمل أن تغمرها الفيضانات، ومرحلة ما بعد الفيضانات من خلال استخدام قاعدة البيانات الجغرافية التي تم انشاؤها لاعتماد استراتيجيات الإخلاء وإعادة التأهيل والتخطيط بالإضافة إلى تقييم الضرر في حالة الفيضانات الحرجة.

دراسة Uchenna F. Ochege وآخرون سنة 2016 بعنوان :

“ An Overview of Flood Vulnerability Mapping: Strategy for Disaster Risk Reduction in the Niger Delta Region, Nigeria”

أوضحت الدراسة بأن فشل السياسات المؤسسية بشأن السيطرة على الفيضانات في منطقة دلتا النيجر هو أن أهمية براعة رسم الخرائط في جمع بيانات الفيضانات ورسم خرائط الفيضانات غير مفهومة جيداً، وتم التقليل من شأنها بشكل غير لائق، وبالتالي، نادراً ما يتم الإبلاغ عنها. وقد قدمت فهماً لرسم خرائط التعرض للفيضانات كتدبير غير هيكلي غالباً ما يتم تجاهله في المناطق المعرضة للفيضانات في البلدان النامية، وعرضت قابلية تطبيقه في منطقة دلتا النيجر في نيجيريا للحد من مخاطر الفيضانات. ولتحقيق ذلك، تم إجراء مراجعة منهجية واسعة النطاق حول قابلية التأثر عبر مراجعة مقالات ووثائق المجالات والموجودة في Web of Science و Scopus. وقد كشفت عن الإجراءات الأساسية لرسم خرائط التعرض للفيضانات كاستراتيجية قوية غير هيكلية يمكن الاعتماد عليها ويجب أن تسبق التدابير الهيكلية في إدارة مخاطر الفيضانات ومخاطر الفيضانات في النيجر.

دراسة H. de Moel وآخرون سنة 2009 بعنوان :

“ Flood maps in Europe – methods, availability and use”

قدمت هذه الدراسة لمحة عامة عن ممارسات رسم خرائط الفيضانات الحالية في 29 دولة في أوروبا، وكيفية القيام بذلك. حيث توصلت إلى أن ما يقرب من نصف الدول التي تم النظر فيها لديها خرائط تغطي أراضيها بأكملها، وثلاث آخر لديه خرائط تغطي أجزاء كبيرة من أراضيها. خمس الدول فقط لديها خرائط محدودة للغاية أو لا تتوفر خرائط للفيضانات حتى الآن. ووجدت أن من بين خرائط الفيضانات المختلفة المميّزة أن خرائط مدى الفيضان هي أكثر خرائط الفيضانات شيوعاً. ويتم أيضاً إنشاء خرائط عمق الفيضانات بانتظام (في سبعة بلدان). وقد طور عدد قليل جداً من البلدان خرائط مخاطر الفيضانات التي تتضمن معلومات عن عواقب الفيضانات. وغالباً ما تتطور خرائط الفيضانات المتاحة من قبل المنظمات الحكومية، وتستخدم بشكل أساسي في حالات الطوارئ التخطيط المكاني والتخطيط التوعوي.

دراسة Ramzi I. Ayyash سنة 2020 بعنوان :

“ Modeling Flash Floods Hazards in Zarqa River Basin”

تهدف الدراسة تقييم أحواض الدرجة الخامسة في حوض الزرقاء من حيث القابلية لحدوث الفيضانات المفاجئة، باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية وبالاعتماد على الدمج بين طريقة الرتب المورفومترية وأعلى معدل لجريان المياه السطحية لهذه الاحواض. تم إجراء التحليل الهيدرولوجي والمورفومتري في الجزء الأول من الدراسة باستخدام Arcmap 10.5 من أجل تحديد وتصنيف أحواض الرتبة الخامسة، واشتقاق الأودية حسب نظام سترالر، ومن ثم تم التصنيف لهذه الأحواض بالاعتماد على طريقة الرتب المورفومترية. أما في الجزء الثاني من الدراسة، تم استخدام نموذج (Arc-SWAT) لدراسة دورة المياه ضمن ثلاثة سيناريوهات، وتم استخدام مخرجات جريان المياه السطحية لنموذج ArcSWAT من أجل حساب أقصى جريان للمياه السطحية خلال الفترات (2000 - 2013) و (2022 - 2032) وأخيراً، فقد تم الجمع بين طريقة الرتب المورفومترية وأقصى معدل للجريان السطحي للمياه من للفترة بين (2000 - 2013) من أجل تصنيف أحواض الدرجة الخامسة ضمن خمسة فئات من حيث احتمالية حدوث الفيضانات المفاجئة.

دراسة W. Udin وآخرون سنة 2018 بعنوان :

“Flood risk analysis in Sg. Sam, Kuala Krai, Kelantan using remote sensing and GIS technique”

حددت الدراسة السبب الأساسي لحدوث مخاطر الفيضانات بشكل شائع بانها الخصائص الجغرافية لماليزيا وناتجة عن غزارة الأمطار خلال مواسم الرياح الموسمية وأمطار الحمل الحراري خلال الفترات الحارة والرطوبة. وتمثلت أهداف البحث في إنتاج خريطة مناطق مخاطر الفيضانات خلال أسوأ حدث فيضان وقع في ديسمبر 2014 من سان جرمان. من أجل تحقيق الأهداف، تم استخدام التكنولوجيا المكانية المتكاملة للاستشعار عن بعد ونظام المعلومات الجغرافية (GIS) كأدوات. وقد أنتجت خريطة مخاطر الفيضانات عبر بيانات نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، ومستوى المياه وعمق الفيضان، وكميات هطول الأمطار.

ومرئيات لاندسات لما قبل الفيضان وبعده لتحليل حدوث الفيضان. وتُظهر خريطة مخاطر الفيضانات التي تم إنتاجها بوضوح التوزيع المكاني للمنطقة التي غمرتها الفيضانات التي تقع في مناطق ذات إغاثة منخفضة نسبيًا. وأظهرت النتائج أن الانخفاض الكبير في مساحة المزارع قد حدث في منطقة الخطر المرتفع والمتوسط بينما تأثر استخدام الأراضي في المنطقة منخفضة المخاطر بعملية التحضر. وبالتالي، فإن تكامل نظم المعلومات الجغرافية مع نموذج التضاريس والبيانات المستشعرة عن بعد يمكن أن ينتج خريطة لمخاطر الفيضانات بدقة جيدة.

دراسة E. FRANK وآخرون سنة 2016 بعنوان :

“ FLOOD RISK ASSESSMENT AND PRIORITISATION OF MEASURES: TWO KEY TOOLS IN THE DEVELOPMENT OF A NATIONAL PROGRAMME OF FLOOD RISK MANAGEMENT MEASURES IN MOLDOVA”

في أعقاب الفيضانات الشديدة في عامي 2008 و 2010، طلبت حكومة مولدوفا المساعدة لتحسين الحماية من الفيضانات في جميع أنحاء البلاد. فجاءت الدراسة للعمل على نمذجة هيدروليكية مفصلة ثنائية الأبعاد للأبصار عالية الخطورة (حوالي 3400 كم) لإنتاج خرائط مخاطر الفيضانات، وتحديد التدابير للحد من مخاطر الفيضانات، ووضع خطة استثمار قصيرة الأجل. تم تقييم مخاطر الفيضانات باستخدام 12 مؤشرًا لمخاطر الفيضانات تمثل الآثار الاجتماعية والاقتصادية والبيئية للفيضانات. وقد صنفت درجات الخطر بأربعة درجات من قليل الخطورة الى خطورة عالية جدا. أثبتت هذه المنهجيات أنها أدوات قيّمة لتحديد المناطق ذات أعلى مخاطر بالفيضانات.

دراسة G. Ogato وآخرون سنة 2020 بعنوان :

“ Geographic information system (GIS)-Based multicriteria analysis of flooding hazard and risk in Ambo Town and its watershed, West shoa zone, oromia regional State, Ethiopia”

عملت الدراسة على تحليل مخاطر الفيضانات من منظور متعدد المعايير على أساس نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في مدينة أمبو واحواضها المائية واقترحت تدابير استراتيجية لإدارة مخاطر الكوارث في الفيضانات المستدامة في مستجمعات المياه الحضرية. أشارت الى أن استخدام الأراضي / الغطاء الأرضي، والارتفاع، والانحدار، وكثافة التصريف، والتربة، وهطول الأمطار أهم العوامل في تحديد خطر الفيضانات. تم إجراء تحليل مخاطر الفيضانات في أحواض بلدة أمبو باستخدام طبقة خطر الفيضانات والعنصران المعرضان للخطر، وهما السكان واستخدامات الأراضي حيث تم استخدام طريقة التركيب الخطي الموزون (WLC) في عملية تجميع طبقات المعايير. وقد أظهرت نتيجة خطر الفيضانات في الاحواض أن أكبر نسبة من مساحة الحوض (60.58%) ضمن نطاق الخطر المرتفع الى المرتفع جدا بالفيضانات. علاوة على ذلك فإن أكبر نسبة من المدينة (66.87%) ضمن نطاق الخطر المرتفع الى المرتفع جدا بالفيضانات. أوصت الدراسة بلزوم ممارسة نهج متكامل واسع النطاق لإدارة الفيضانات والتأكيد على بناء المسؤولية المدنية بين المواطنين.

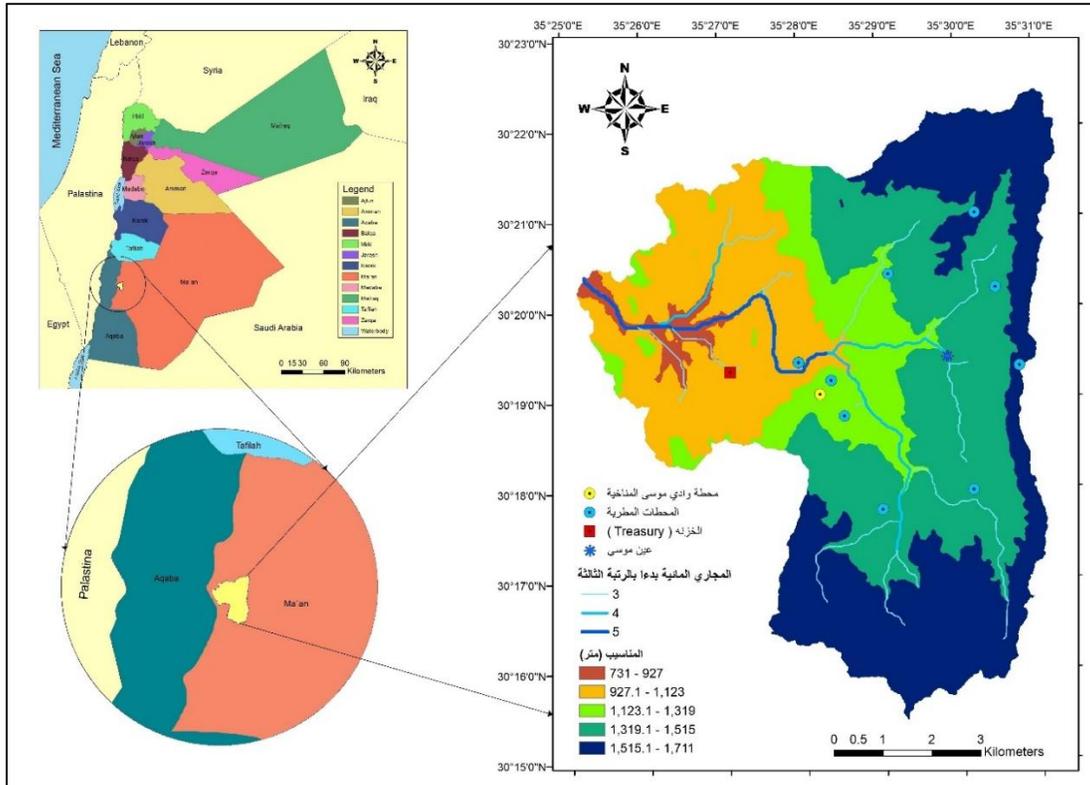
ولعل ما يميز هذه الدراسة تقييمها لمخاطر الفيضانات المفاجئة في حوض وادي موسى، الذي يعد أحد أخطر الأحواض في الأردن تعرض لها، من خلال ربط خريطة معدل الجريان السطحي الأقصى اليومي الذي تنتج النمذجة الهيدرولوجية باستخدام ArcSWAT، بالخريطة التاريخية للفيضانات.

الفصل الثالث

منطقة الدراسة والمنهجية

1.3 موقع منطقة الدراسة

يقع حوض وادي موسى في جنوب غرب الأردن ضمن الحدود الادارية لمحافظة معان، بين دائرتي عرض $30^{\circ}15'30''$ و $30^{\circ}22'30''$ شمالاً وبين خطي الطول $35^{\circ}25'00''$ و $35^{\circ}31'30''$ شرقاً، بمساحة تبلغ 74 كيلومتر مربع، وارتفاع يتراوح بين 731 و 1711 متر فوق مستوى سطح البحر. ويضم الحوض الإقليم شبه الصحراوي وإقليم البحر الأبيض، حيث تتراوح معدلات الأمطار السنوية بين (50 و 250) ملم، ويتراوح المعدل السنوي لدرجات الحرارة بين (12.3° س لدرجة الحرارة الصغرى و 21.5° س لدرجة الحرارة العظمى). يقع في الحوض مدينة وادي موسى بمساحة عمرانية تزيد عن ثمانية كيلومترات مربعة، وتعد أكبر المناطق السياحية في الاردن؛ حيث إنها تضم المدينة الأثرية (البترا)، الشكل (1).



الشكل (1) : موقع منطقة الدراسة : حوض وادي موسى - الأردن

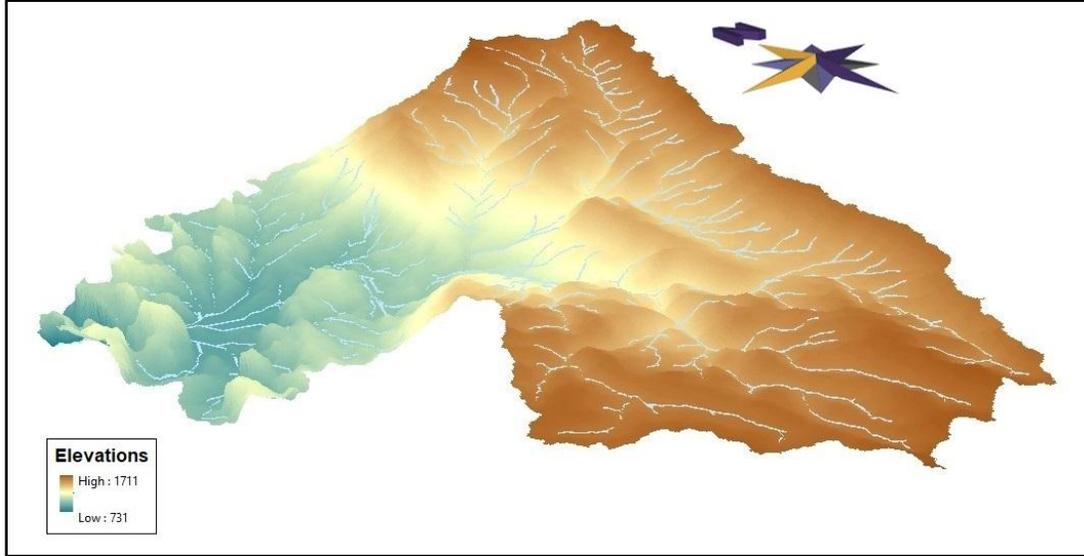
2.3 طبوغرافية السطح

تعد طبوغرافية سطح الأرض في مقدمة عناصر المكان ذات التأثير المباشر على الظروف المناخية من حيث مناسيب الارتفاع ودرجة الانحدار واتجاهه، ومواجهة السفوح لأشعة الشمس وغيرها من خصائص طبوغرافية، كما تتأثر الشبكات المائية بطبوغرافية سطح الأرض من حيث نشأتها وتطورها، إذ إن للانحدار الأثر الحاسم بين عناصر السطح في زيادة سرعة المياه ثم زيادة طاقتها الجيومورفولوجية، مما ينعكس على العمليات الجيومورفولوجية من حت ونقل وترسيب، بل يتعدى ذلك ليتدخل في تحديد أنواعها كالحث الرأسى والجانبى والتراجعى (سلوم، 2012).

وتتضمن الخصائص الطبوغرافية في الحوض ما يلي:

1.2.3 الارتفاعات

مع ظهور نماذج الارتفاع الرقمية DEM ساهمت في تمثيل الأرض بأبعادها الثلاثة 3D عبر توفير البعد الثالث (الارتفاع) الذي لا يمكن تمثيله في الخرائط الا بخطوط الكنتور، حيث ساعدت على بناء النماذج واجراء التحاليل المكانية الدقيقة، مثل حساب الميول ومقدار الانحدارات وتحديد المواقع المثلى للسدود وتحدد الاحواض المائية وشبكاتها المائية. تمثل الخرائط ثلاثية الابعاد (3D) إحدى أفضل أنواع الخرائط حيث أنها توفر أحدث الأساليب لتصور ومعرفة منطقة الدراسة بشكلها الواقعي، حيث يسهل جمع المعلومات ووضع المخططات عندما تتوفر رؤية ثلاثية الأبعاد لمنطقة قيد الدراسة، الشكل (2).



الشكل (2): الخريطة ثلاثية الابعاد (3D) لحوض وادي موسى
المصدر: عمل الباحث باستخدام ArcScene 10.2.2 وبالاعتماد على DEM

2.2.3 الانحدار

يعبر الانحدار عن ميل سطح الأرض عن خط الأفق، ويتراوح الانحدار بين الخفيف إذا ما قل عن 5 درجات والشديد إذا زاد عن 18 درجة كما يبين الجدول:

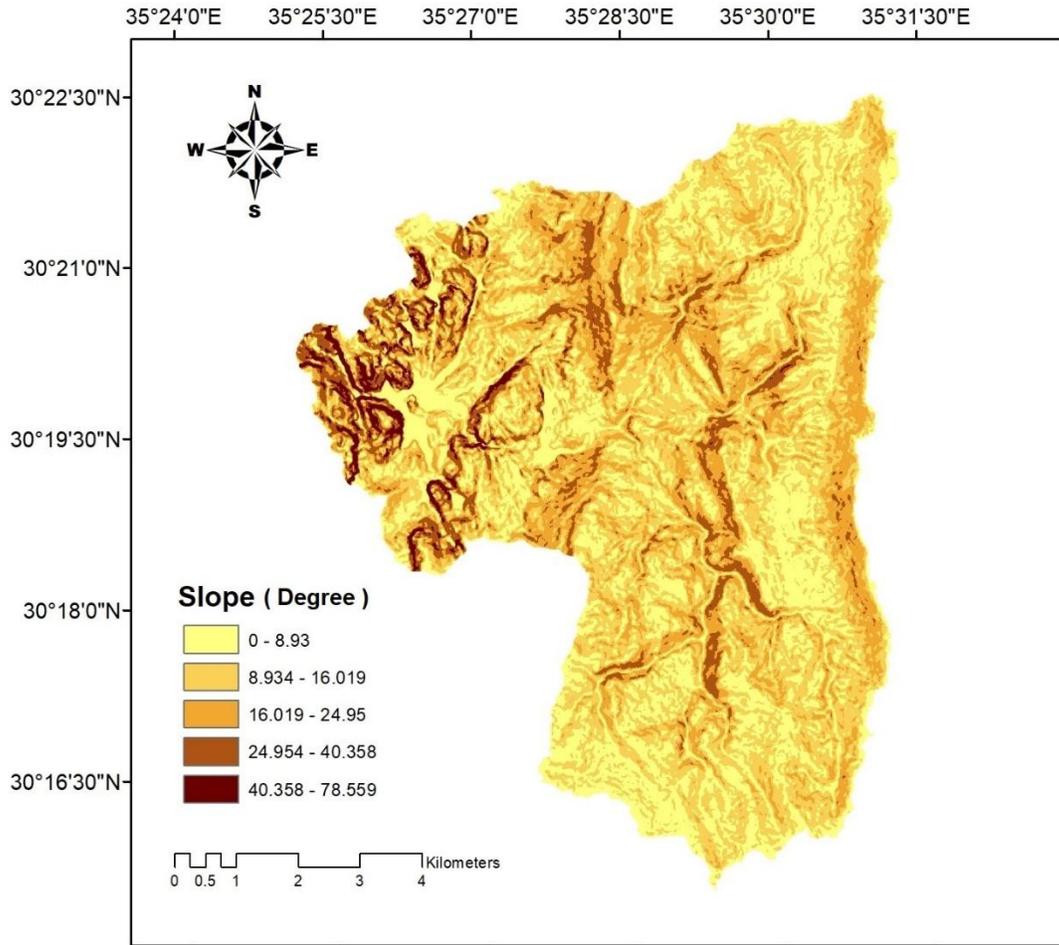
الجدول (1)

تصنيف شدة الانحدار تبعا لدرجته

الدرجة	شدة الإنحدار
2- 5 درجة	انحدار خفيف
5 - 10 درجة	انحدار متوسط
10 - 18 درجة	انحدار فوق المتوسط
18 - 30 درجة	انحدار شديد
30 - 45 درجة	انحدار شديد جدا
اكثر من 45	انحدار جرفي

المصدر: (سعيد، 2016)

وبدل الانحدار على مدى فعالية عمليات الحت أو ضعفها اعتمادا على قوة الجريان المائي ومدى تكرارته بالإضافة لصلابة الصخور، وتتمايز درجات الانحدار في حوض الدراسة بين (0 الى 78.56) درجة مما يدل على شدة الانحدارات في المنطقة خاصة في الجهة الغربية المتضمنة للمحمية الأثرية. هذا تتزايد شدة الفيضانات مع زيادة الانحدار نظرا لتزايد سرعة الجريان مع زيادة الانحدار، ويبين الشكل (3) درجات الانحدار في الحوض.

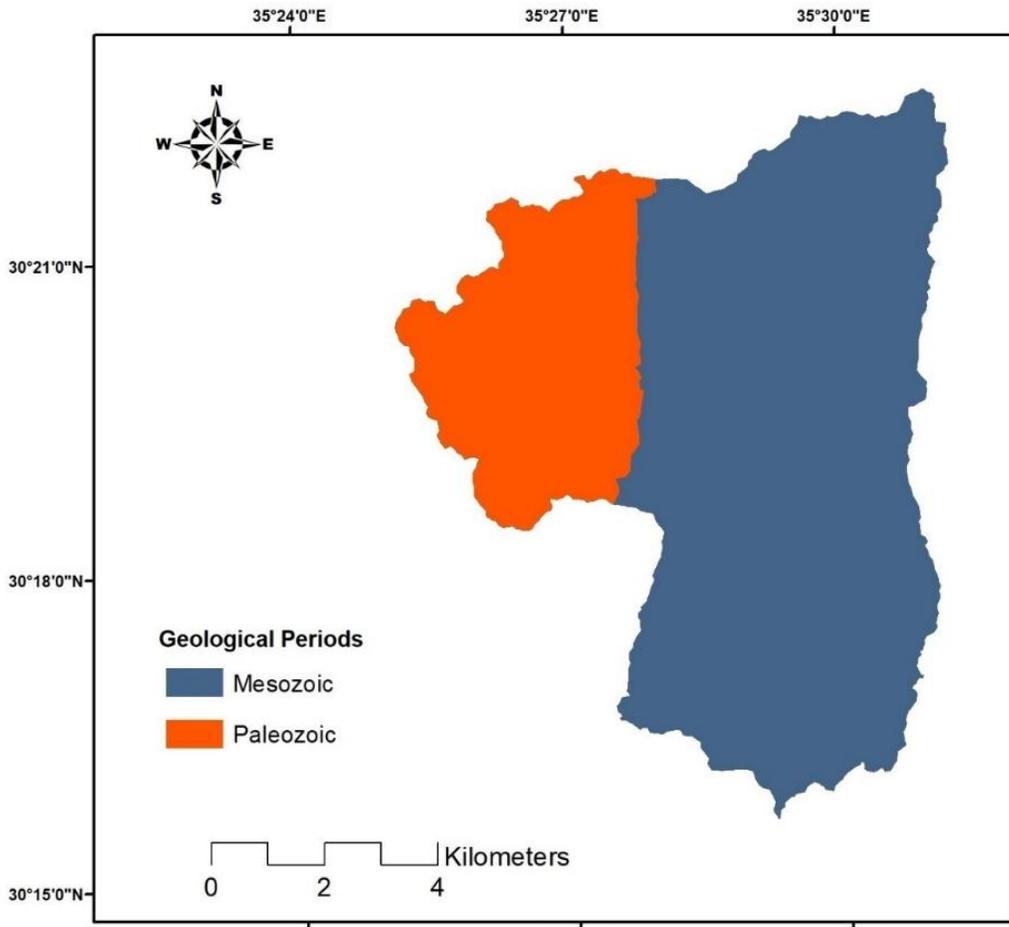


الشكل (3): درجات الانحدار في حوض وادي موسى

المصدر: عمل الباحث باستخدام ArcGIS 10.2.2 وبالاعتماد على DEM

3.3 الخصائص الجيولوجية

تعد جيولوجية المنطقة أحد العوامل الرئيسية المؤثرة في نظام تصريف المياه في الحوض. وقد مرت المنطقة بعدة مراحل جيولوجية ؛ حيث يظهر أنواع من الصخور تعود إلى فترة ما قبل الكامبري (600 مليون سنة) حتى العصر الحديث. يعود تنوع صخور المنطقة إلى ثلاث حقبة جيولوجية (Cenozoic ، Mesozoic ، Palaeozoic)، يبينها الشكل (4) يبدأ أساسها الطبقي بصخور القاعدة الغرانيتية في حقبة الباليوزويك حتى أعلى طبقة سطحية (حصباء الريشة) في الحقبة الحديثة.

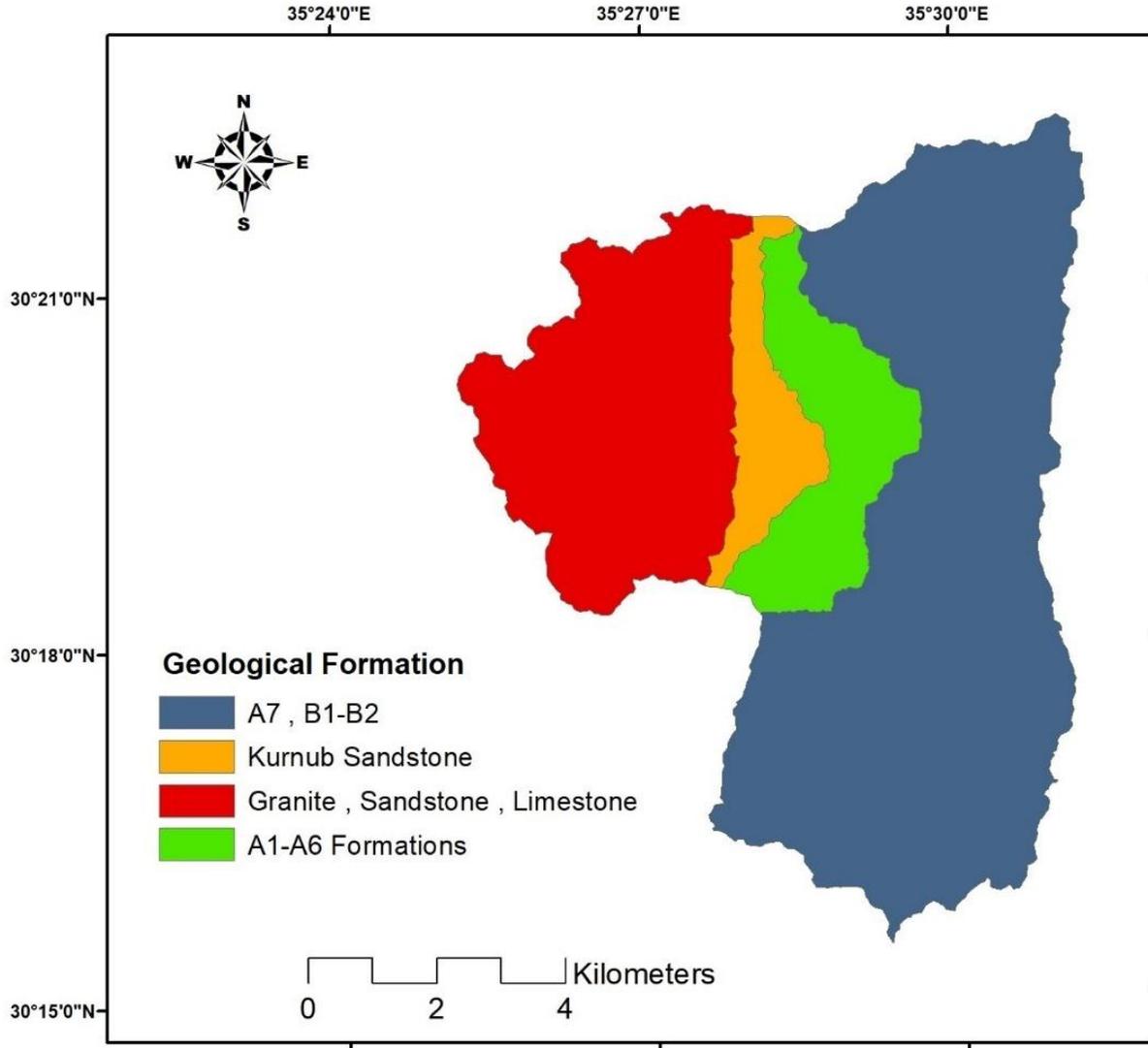


الشكل (4): الأزمنة الجيولوجية التي مر بها الحوض

المصدر: عمل الباحث باستخدام ArcGIS 10.2.2 بالاستناد الى (Al-Rawi, 2014)

1.3.3 صخور القاعدة النارية (Basement Complex)

تتكشف صخور القاعدة الغرانيتية في الجزء الغربي من الحوض، حيث تكونت نتيجة الحركة البانية الإفريقية وتنحدر إلى مجموعة وادي رم. يفصلها سطح التسوية عن الصخور الرملية (أم عشرين والديسي) التي تعلوها، الشكل (6).



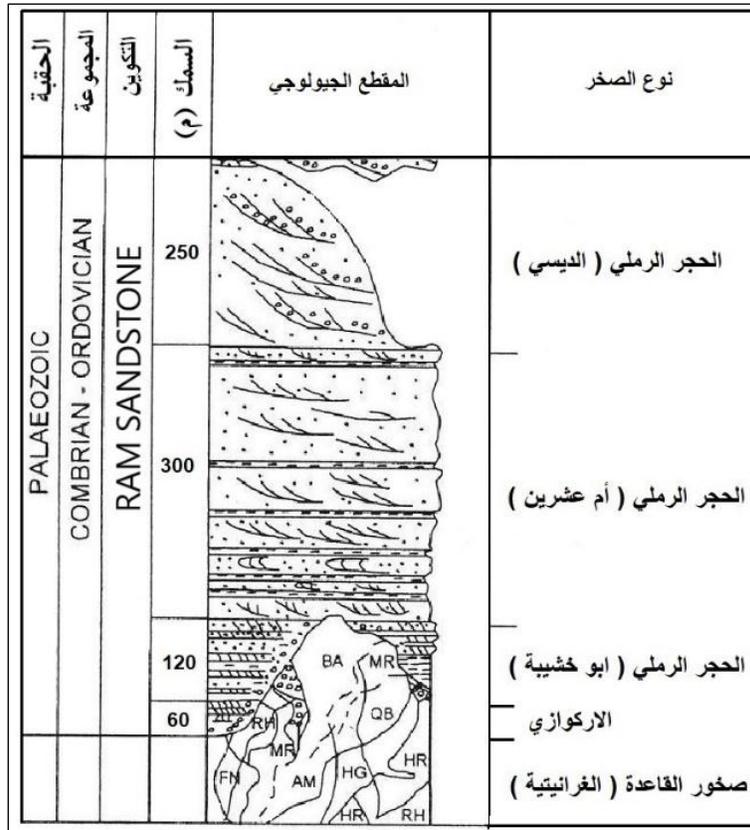
الشكل (5): التركيب الجيولوجية في منطقة الدراسة

المصدر: عمل الباحث باستخدام ArcGIS 10.2.2 بالاستناد الى (Al Kuisi, 2015)

2.3.3 صخور حقبة الباليوزويك (PALAEOZOIC)

إن أبرز أنواع صخور عصر الباليوزويك الحجر الرملي البني المسمى أم عشرين من العصر الكامبري في الجانب الغربي من الحوض الشكل (6)، حيث يبلغ سمكه ما يقارب 300 متراً بالإضافة إلى ألوانه المختلفة الصفراء والحمراء وغيرها من الألوان التي تميز مدينة البترا الوردية؛ بسبب أكسدة معادنه المتنوعة وتفاعلها الكيميائي مع المياه.

يعلوها تكوين الديسي المائل إلى الأشكال القبية حيث أن مقاومته قليلة نسبياً لظواهر التجوية المختلفة. حيث أثبت العالم بردايس أن كساداً يحدث لأسطح الغرف الداخلية في بعض المعالم الهامة كالخزنة مثلاً نتيجة ارتفاع نسبة الرطوبة.



الشكل (6): المقطع الجيولوجي للحقبة الجيولوجية PALAEOZOIC

المصدر: (النوافله، 2018)

3.3.3 صخور الحقبة المتوسطة (MESOZOIC)

أ. مجموعة الكرنب الرملية Kurnub

يعود تكوينه في الإقليم الى أصل نهري حيث يتكون بصورة أساسية من الحجر الرملي الفتاتي الخشن الى المتوسط الخشونة متعدد الألوان، ويظهر في الجانب الغربي من مدينة وادي موسى الشكل (5) والشكل (7).

ب. مجموعة عجلون AJLUN Group

1. تكوين ناعور

يبلغ سمكه ما يقارب 75 مترا، ويتكون من جزأين سفلي (A1) حجر جيرى حوري ناعم، وعلوي (A2) حجر جيرى عقدي، يظن أن بيئة الترسيب كانت أثناء ارتفاع مستوى (محيط التيثس القديم) فوق مستوى مجموعة الكرنب في رَف قاري عريض. (النوافله، 2018)

العمر	المجموعة	التكوين	السمك (م)	التنوع الصخري	ملاحظات
MESOZOIC CRETACEOUS	BELQA		200		الطباشير (الموقر)
			70		الحجر الجيري السيليسي و فوسفات الحسا (عمان)
			70		وادي أم الغدران
	AJLUN		115		الحجر الجيري (وادي السير)
			110		فحيص - حمر - شعيب
			75		الحجر الجيري (ناعور)
KURNUB		160		رمل الكرنب	

الشكل (7): المقطع الجيولوجي للحقبة الجيولوجية MESOZOIC

المصدر: (النوافله، 2018)

2. فحيص (A3)، الحمر (A4)، شعيب (A5, A6)

من الصعب ملاحظة هذه الانواع في الحوض خاصة بالنسبة لتكوين الحمر (A4) حيث

يصعب جدا تمييزه. وبشكل عام يلحظ ما يلي :

1. تكوين الفحيص (A3) الحجر الجيري الرملي والعقدي.
2. تكوين شعيب (A5, A6) له جزآن : العلوي الحجر الجيري المارلي والسفلي الحجر الجيري الرملي.
3. وادي السير (A7)

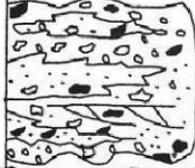
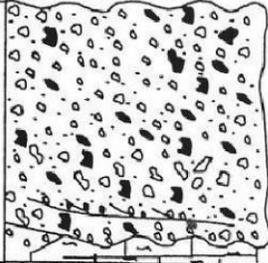
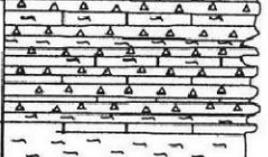
يصل سمك تكوينه الى 115 متراً، ويتركز في الجانب الشرقي من الإقليم الشكل (6)، ويتكون من الحجر الجيري (الدوماليتي والرملي)، ويعلوه تكوين وادي أم الغدران، الشكل (8).

ج. مجموعة البلقاء BELQA Group

1. تكوينات ام غدران (B1)، وتكوينات عمان (B2)، والطباشيري، الشكل (7).
1. (B1) تنتشر في المناطق الجبلية المرتفعة في المنطقة الشرقية من الحوض، تبلغ سماكته 70 متراً، وينقسم تكوينه إلى الحجر الجيري المارلي بالإضافة إلى الحجر الرملي.
2. (B2) تنتشر في المناطق الشمال شرقية من الحوض، ويبلغ سمكه 70 متراً.
3. الطباشيري يعد آخر تكوينات حقبه الميسوزويك على الطبقة السطحية بسمك 200 متر.

4.3.3 صخور الحقبة الحديثة (CENOZOIC)

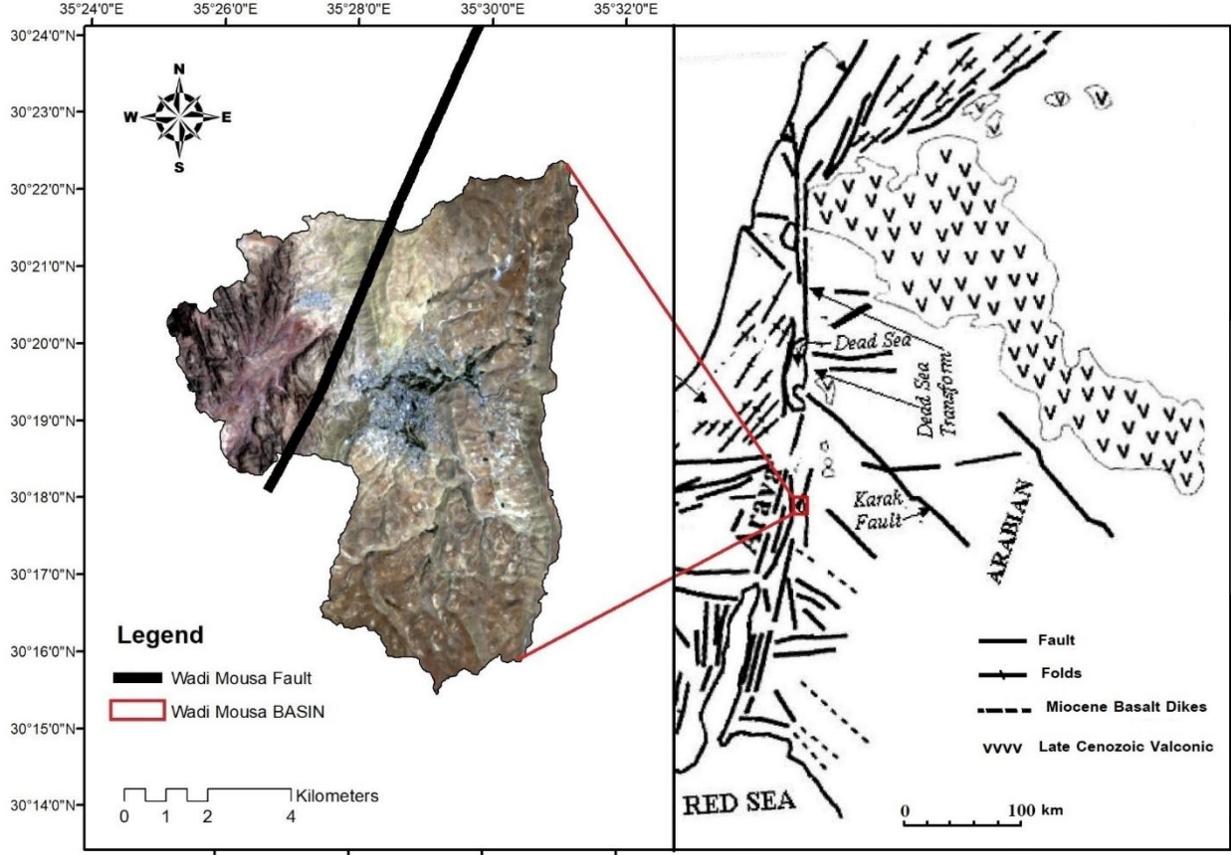
بشكل عام فإن صخور ورسوبيات هذه الحقبة تتكون بصورة أساسية من رسوبيات الأودية الناتجة عن عوامل التجوية والتعرية، وبذلك فهي تنتشر في جميع أجزاء الحوض. ويبين الشكل (8) المقطع الجيولوجي للحقبة الجيولوجية السينوزويك CENOZOIC.

العمر	المجموعة	التكوين	السمك (م)	النوع الصخري	ملاحظات	
CENOZOIC	QUATERNARY		100		حصباء الريشة	
		TERTIARY	DANA	400		كونجولوميرات ضانا
				220		الصوان والحجر الجيري

الشكل (8): المقطع الجيولوجي للحقبة الجيولوجية CENOZOIC
المصدر: (النوافله، 2018)

5.3.3 التركيب الجيولوجي

تسيطر سلسلة صدع البحر الميت (Dead Sea Transform) على تكتونية المنطقة حيث أن (صدع وادي موسى) الذي يعد جزء من هذه السلسلة يعد الحدث التكتوني الأهم في تشكيل التركيب الجيولوجي الحديث فيها الذي يمتد من الشمال إلى الجنوب بانحراف عن الشمال بزاوية 35 درجة الشكل (9)، هذا وتنتشر الطيات والفواصل في الحوض كتراكيب جيولوجية مترابطة.



الشكل (9): صدع وادي موسى التحويلي

المصدر: عمل الباحث باستخدام ArcGIS 10.2.2 بالاستناد الى (Arkin, 2013)

4.3 التربة

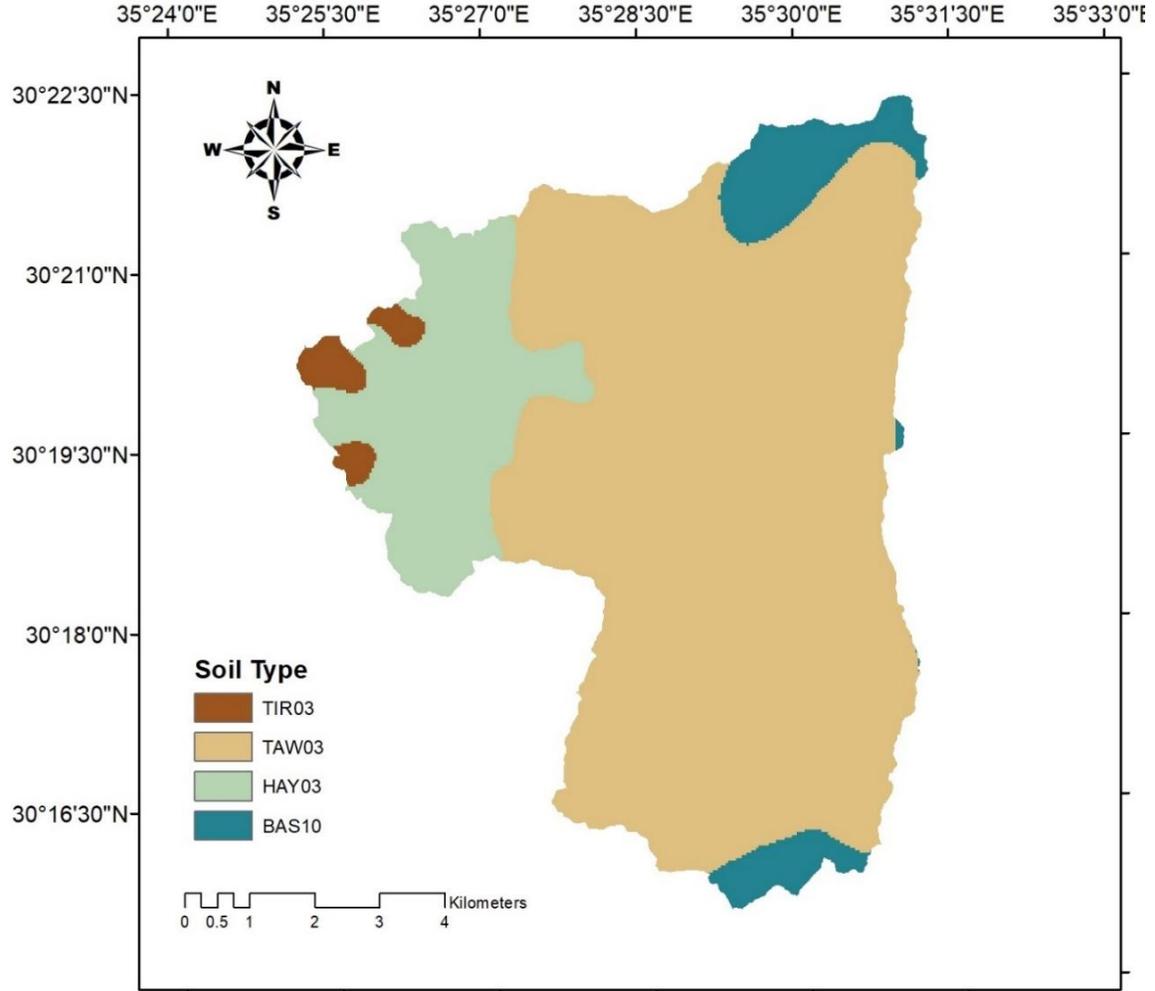
تعد التربة معياراً للتوازن القائم بين الظروف المناخية والتضاريس وخصائص الغطاء النباتي، حيث أنها المحصلة النهائية للتفاعلات الفيزيائية والكيميائية على الصخور في المنطقة. وترتبط خصائص التربة في منطقة الدراسة بالخصائص الطبيعية الأخرى السائدة من طبيعة مناخية وجيولوجية، حيث تقع المنطقة بين الإقليم شبه الصحراوي ذي نظام الرطوبة شبة الجافه وبين إقليم البحر الأبيض المتوسط ذي النظام المعتدل وهذا يعود بشكل مباشر على نوع التربة.

لا تتوفر للأردن حتى الآن خريطة تربة موثوقة وشاملة ومحدثة، على الرغم من إجراء عدة مسوحات للتربة. حيث أعدت FAO (منظمة الأغذية والزراعة الدولية) أول خريطة عامة لتربة

الأردن. لكنها لا تعد صالحة حالياً، وهي تستخدم مصطلحات قديمة. وقد نفذت عدة مسح اعتمدت عدة أنظمة تصنيف مثل مسح تربة وادي زقلاب (فشر وآخرون، 1966) ومسح وادي البقعة (وست، 1970م) الظروف المناخية. وقد أنتجت البعثة الجيولوجية الألمانية، التي أجرت أول مسح جيولوجي شامل، خريطة تربة (بندر، 1974م)، وكانت تعد لفترة من الزمان خريطة التربة الوحيدة على المستوى الوطني (زيادات، 2013م) .

ويعد تصنيف (Ministry of Agriculture, 1993) أحد أحدث التصنيفات المعترف بها، واستناداً له تصنف وحدات التربة في الحوض إلى أربعة أصناف الشكل (10)، تتمثل بوحدتي (TAW3)، وحدتي (HAY3)، وحدتي (BAS10)، وحدتي (TIR3).

تشكل وحدتي (TAW3) الوحدة الأكبر انتشاراً في حوض وادي موسى بمساحة بلغت 55.42 كم²، وتتكون من مزيج من الطفل والطين والحصى (Gravelly Silty Loam) فوق الصخور الرسوبية، تأتي بعدها، وحدتي (HAY3) بمساحة 12.117 كم² وتنتشر فوق الجروف شديد الانحدار المكونة من المواد الرسوبية كالطفل الطيني Clay Loam ثم وحدتي (BAS10) بمساحة 5.0283 كم² والمنتشرة فوق الأجزاء العليا من الحوض حول القمم والهضاب الصغيرة المكونة من الحجر الجيري، وفوق الحواف الصدعية المطلّة على وادي عربة، والمكونة من المواد الطينية الغرينية والطينية الحصوية (Silty Clay , Stony Silty Clay)، وآخرها وحدتي (TIR3) بمساحة 1.424 كم²، وتنتشر فوق الحواف المقطعة العميقة فوق صخور الجرانيت المعراة التي تتكون من الطفل الطيني الرملي (Sandy Clay Loam)، والمواد الحصوية.



الشكل (10): أنواع التربة في حوض وادي موسى
المصدر: عمل الباحث بالاستناد الى (Ministry of Agriculture ,1993)

5.3 الظروف المناخية

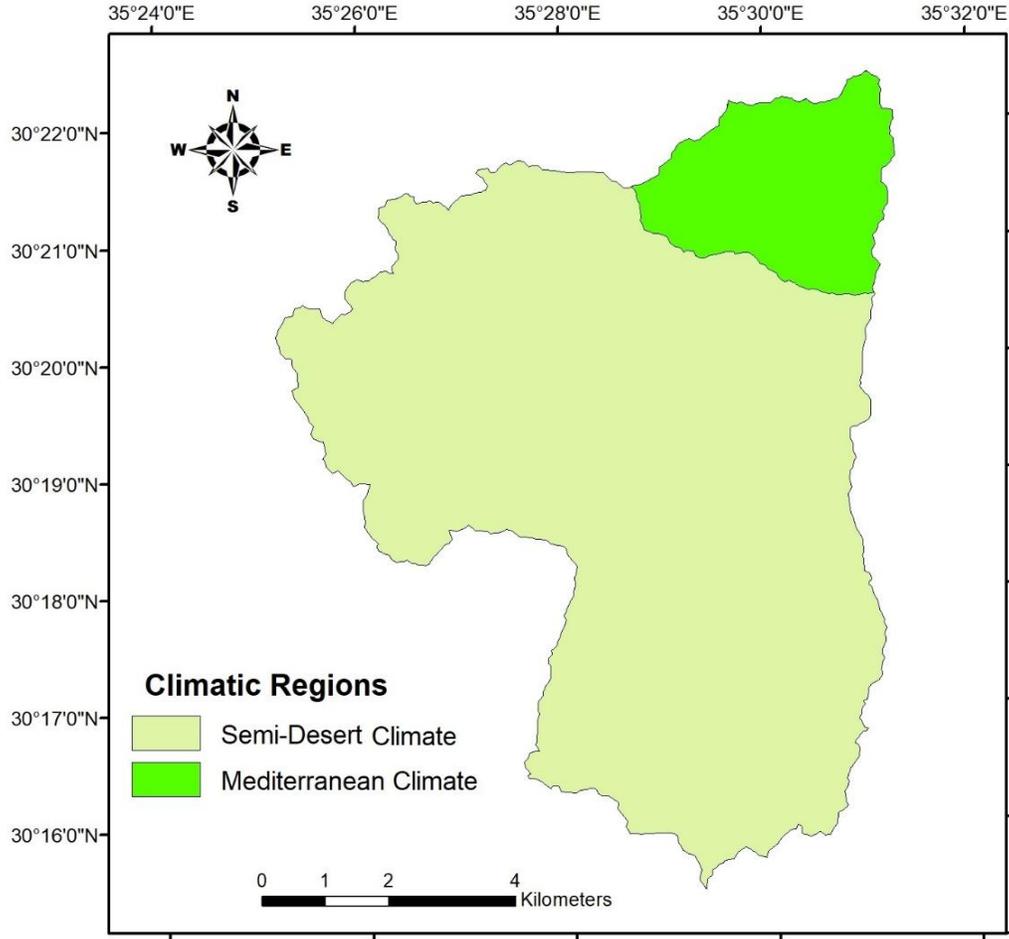
تستعمل البلدان التي تواجه إجهاداً مائياً شديداً ما يصل إلى 80% من إمدادات المياه السطحية والجوفية المتاحة في المتوسط العام، وحتى الصدمات الجافة الصغيرة التي من المتوقع أن تزداد بسبب تغير المناخ يمكن أن يكون لها تأثيرات شديدة، وفقاً لمؤسسة الموارد العالمية. ويُصنف الأردن حالياً في المرتبة الأولى كأكثر بلدان العالم ندرةً في المياه، حيث سجل درجة خطر كبيرة تقدر 4.56 تبعا لأطلس مخاطر المياه التابع لمعهد الموارد العالمية (Dormido, 2019) World Resources Institute's، حيث يتجه الأردن نحو أزمة

مائة حرجة نظراً لوجود عجز حاد حالياً، هذا يقودنا للزوم العمل على إيجاد الحلول المثلى في أسرع وقت ممكن بالاعتماد على نتائج مؤسسات البحث العلمي.

يؤثر المناخ في هيدرولوجية الحوض النهري مباشرةً عبر عمليات التجوية والتعرية؛ حيث تتباين أماكن نشاطها اعتماداً على الظروف المناخية السائدة. وتعتبر درجة الحرارة والأمطار أهم عناصر المناخ؛ ذلك بسبب التكيف البشري معها ولتأثيرها على باقي العناصر المناخية مثل الرطوبة والرياح، كل ذلك يحدد كمية الموارد المائية المتوفرة.

1.4.2 التصنيف المناخي في حوض وادي موسى

يسود ضمن حوض وادي موسى نمطان رئيسيان من المناخ، وهما المناخ شبه الصحراوي ومناخ البحر الأبيض المتوسط، يشكل مناخ البحر الأبيض المتوسط الجزء الشمالي من الحوض ويشكل ما نسبته 12.52% من المساحة الكلية أما شبه الصحراوي فيشكل النسبة الأكبر بنسبة 87.48% كما يبين الشكل (11) حيث تم قياسه عبر أداة Field calculator من ArcMap. يتصف مناخ الحوض بأنه حار في الصيف وشبه بارد في الشتاء بشكل عام، ذلك أن (فصل الصيف) يتميز بالجفاف ودرجات الحرارة المرتفعة، فالليل به قصير والنهار طويل والسماء تكون صافية مشمسة، أما فصل الشتاء فدرجات الحرارة منخفضة وتهطل الأمطار بين الحين والآخر.



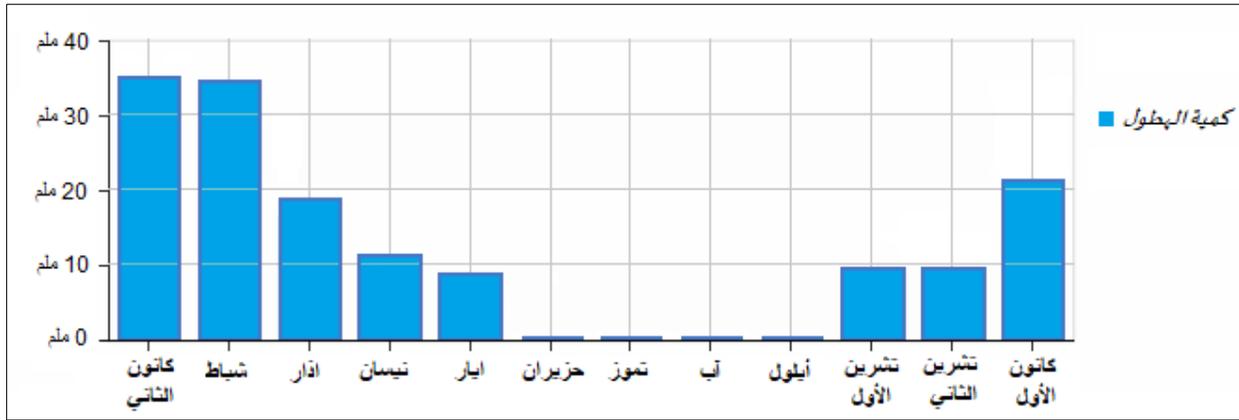
الشكل (11) : الأقاليم المناخية في حوض وادي موسى
المصدر: عمل الباحث باستخدام ArcGis 10.2.2 بالاستناد الى (Oroud, 2008)

2.4.2 العناصر المناخية

يعد قياس درجات الحرارة وكمية الأمطار في الحوض المائي أهم العناصر لحساب شدة الفيضانات والسيول، لذلك فقد تم جمع بيانات الأرصاد الجوية من بيانات الامطار ودرجات الحرارة العظمى والصغرى للفترة ما بين (2011 الى 2019م) لمحطتي وادي موسى ومحطة الشوبك، حيث جرى عليها تطبيق النمذجة الهيدرولوجية باستخدام ArcSWAT .

أ. الأمطار

تعد الأمطار المصدر الرئيس للموارد المائية، والذي يعد عصب الحياة على الأرض سواء للنبات أو الكائنات الحية. كما تعد الأمطار بمثابة المحرك الديناميكي للمجري المائية من حيث تأثيره على الجريان السطحي. ومن المعلوم أن كميات الأمطار في الأردن تتناقص من الشمال إلى الجنوب لعدة أسباب منها الموقع الجغرافي للأردن حيث يقع إلى الجنوب من المسارات الرئيسية للمنخفضات الجوية، وبالتالي عندما يتأثر الأردن بمنخفض الجوي فإن الأمطار المرافقة له تبدأ في السقوط على المناطق الشمالية والوسطى أولاً ثم يمتد تأثيرها إلى المناطق الجنوبية بعد ذلك (شحادة، 1991)



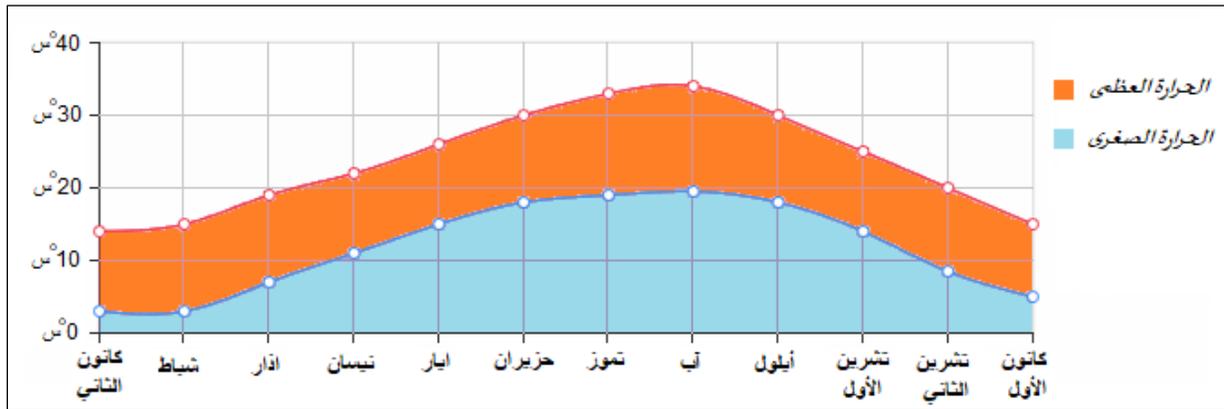
الشكل (12): معدل الهطول (الشهري) في محطة وادي موسى

تتميز منطقة الدراسة بتذبذب كمية الأمطار فيها، وعدم انتظامها بصورة عامة من سنة إلى أخرى، كما هو الحال بالنسبة لباقي أنحاء مناطق الأردن، وبالاستناد إلى الشكل (12) الذي يبين معدل الهطول المطري (الشهري) في الحوض، يلحظ تسجيل أعلى معدل لتساقط الأمطار خلال فصل الشتاء في شهر كانون الثاني بكمية 34.21 ملم في حين ينعدم تساقط الأمطار في أشهر الصيف من حزيران إلى أيلول.

وبتركز الأمطار في فصل الشتاء وخاصةً في شهري كانون الأول وكانون الثاني بسبب المنخفضات الجوية، والانحدارات الشديدة، واتساع المنطقة العمرانية وغيرها من العوامل الطبيعية والبشرية كل ذلك يؤدي إلى تجمع المياه في شكل سيول جارفة عند وصول مستوى المياه إلى حد الفيضان.

ب. درجات الحرارة

لقد تراوح المعدل السنوي لدرجات الحرارة في المناطق التي يشغلها حوض وادي موسى خلال فترة الدراسة بين (12.3° س لدرجة الحرارة الصغرى و 21.5° س لدرجة الحرارة العظمى)، حيث تزداد في المناطق الغربية من الحوض، وتتناقص في المناطق الشرقية نسبياً؛ وذلك ناتج عن اختلاف مناسيب الارتفاع بين الشرق الذي يتميز بطبيعته المرتفعة عنه في المنطقة الغربية ذات المناسيب المنخفضة.

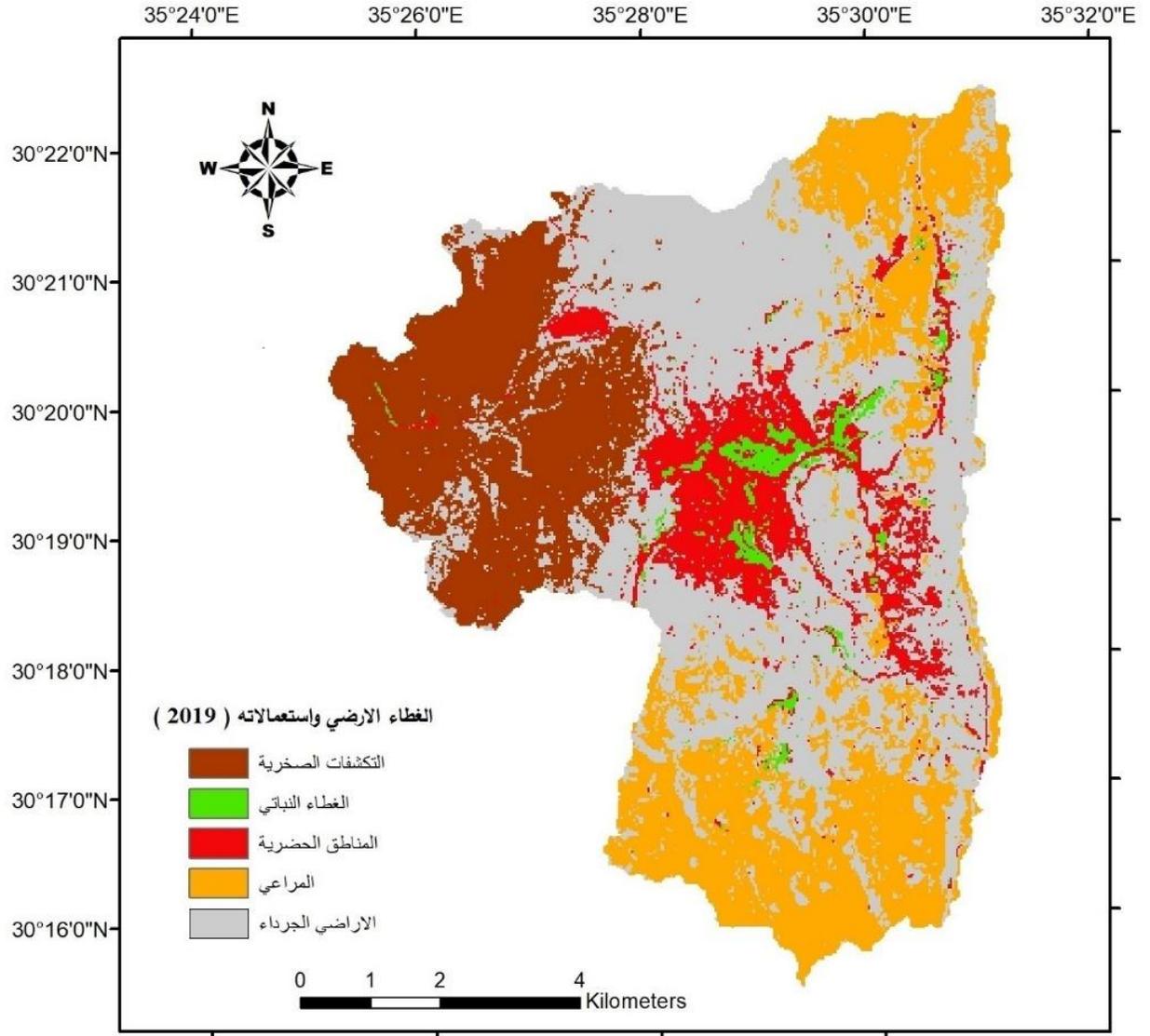


الشكل (13): معدل درجات الحرارة العظمى والصغرى (الشهرية) في محطة وادي موسى

وتتباين درجات الحرارة في الحوض على اختلاف شهور السنة فيبلغ أعلى معدل لدرجة الحرارة العظمى في (فصل الصيف) شهر آب 34.1° س وأدنى معدل لدرجة الحرارة الصغرى في (فصل الشتاء) شهر كانون الثاني 3.1° س، الشكل (13).

6.3 الغطاء الأرضي واستعمالاته

يتنوع الغطاء الأرضي واستعمالاته في حوض وادي موسى، وهذا يرتبط أساساً بما تتميز به المنطقة من خصائص طبيعية وبشرية. وتنقسم عموماً ضمن خمسة أصناف (التكشفات الصخرية، والغطاء النباتي، والمناطق الحضرية، والمراعي، والأراضي الجرداء)، الشكل (14) والجدول (2).



الشكل(14): أصناف الغطاء الأرضي واستعمالاته في حوض وادي موسى عام 2019

المصدر: عمل الباحث باستخدام ArcGis 10.2.2 وبالاستناد الى USGS

الجدول (2)

نسبة مساحة الغطاء الأرضي من المساحة الكلية للحوض

المساحة		الغطاء الأرضي واستعمالاته
النسبة %	كيلومتر مربع	
19.3%	14.29	التكشفات الصخرية
2.175%	1.61	الغطاء النباتي
10.81%	8	المناطق الحضرية
23.945%	17.72	المراعي
43.756%	32.38	الأراضي الجرداء
100	74	المجموع

1.6.3 التكشفات الصخرية

تشكل سلسلة الجبال الصخرية المكونة من الصخور الجرانيتية تحفة بيئية غاية في الجمال، وتظهر ألوانها المتفاوتة بين الأحمر الداكن والأحمر والوردي مكوناً يعزز تميزها على مثيلاتها في الطبيعة. تشمل التكشفات الصخرية الجبال الصخرية في المنطقة الغربية من الحوض بالإضافة إلى التكشفات الصخرية المتوزعة في المنطقة. وتضم مساحة كبيرة تشغل ما نسبته 19.3% من إجمالي مساحة الحوض، الجدول (2).

2.6.3 الغطاء النباتي

لقد عرفت المنطقة الزراعة منذ أكثر من عشرة آلاف عام، وساعد على نموها وتطورها مجموعة من المقومات البشرية والطبيعية، وحدّ من تطورهما بعض المشكلات أحياناً؛ كانهخفاض معدلات الهطول، وطوبوغرافية السطح، وخير مثال على ممارسة الإنسان للزراعة في المنطقة خلال العصر الحجري الحديث موقع بيضا شمال البترا الذي قدم أدلة على بداية ممارسة الإنسان للزراعة خلال تلك الفترة، ويبدو أن الإنسان قد استمر في فلاحه أرضه خلال العصور اللاحقة معتمداً على البيناييع ومياه الامطار (السلامين، 2018).

تعمل النباتات على تقليل الأثر الفيزيائي لارتطام قطرات المطر بسطح التربة، وزيادة تماسك الطبقة السطحية من التربة التي تنتشر فيها الجذور كما تخفض النباتات من الجريان السطحي، وهذا يساعد على زيادة التسرب المائي إلى داخل التربة، كما يزداد التسرب نتيجة لزيادة مسامية التربة الناجمة عن ارتفاع نسبة المادة العضوية، بالإضافة لما تخلفه الجذور من قنوات بعد تحللها، وهذا يقلل انجراف التربة إضافة إلى ان النباتات تخفف شدة الرياح لتحمي الترب من الانجراف الريحي.

يتركز الغطاء النباتي في وسط الحوض إذ يشغل نسبة 2.175% من إجمالي مساحة الحوض كما يبين الشكل (14)، وهذه النسبة قليلة نسبة لإجمالي المساحة؛ وذلك بحكم الظروف المناخية، ولكنها كبيرة نسبياً مقارنة بمساحة المناطق العمرانية؛ وذلك لمحافظة السكان على مجال الزراعة المروية؛ لوجود عدة عيون مائية تتمثل بعين موسى الموجودة على مدخل المدينة الشمالي وعين الصدر وهما العينان الأكبر مورداً، والمعتمد عليهما في ري الأشجار المروية الواقعه في منتصف الحوض، بالإضافة لعين المقر، والعدمل، وعين الطينة، وعين الفرع، وعين الحاجلة، وعين امون والبريكة. ونظراً للانحدار الشديد ينتشر استخدام المصاطب للزراعة.

3.6.3 المناطق الحضرية

لقد كانت المنطقة الحضرية في المنطقة سابقاً حتى الثمانينيات من القرن 20 تتمثل بعدة قرى سكنية مصنوعة من بيوت حجرية هي: قرية النوافله وقرية الجي، وقرية الحي، بالإضافة إلى عدة بيوت متوزعة في المنطقة. يلحظ تركزها بالقرب من العيون المائية حيث كانت حياتهم تعتمد على الزراعة المروية والمحاصيل الزراعية (كالقمح والحمص) بالإضافة إلى تربية الانعام والدواجن. وبهذا فقد كان تنوع الغطاء الأرضي محدوداً. أما حالياً فقد تنوع الغطاء الأرضي واستعمالاته بشكل كبير نظراً لأنها أصبحت مدينة ذات كثافة سكانية كبيرة نسبياً وبمساحة عمرانية وصلت إلى 8.025 كيلومتر خاصة مع وجود المدينة الأثرية التي يزورها السياح من جميع انحاء العالم.

يبين الجدول (3) المراكز العمرانية الأربعة في المنطقة وتتمثل بالمدينة (وادي موسى) ذات المساحة الأكبر حيث بلغت نسبتها 69.7819% من المساحة العمرانية الكلية يأتي بعدها البقعة ثم ام صيحون والمديرج.

الجدول (3)

المراكز العمرانية في منطقة الدراسة ومساحتها

النسبة %	كم مربع	متر مربع	المركز
69.7819	5.6	5600000	وادي موسى
19.5638	1.57	1570000	البقعه
4.6728	0.375	375000	ام صيحون
5.9813	0.48	480000	المديرج
100	8.025	8025000	المجموع

يتبين بالمقارنة مع السنوات السابقة اتساع المنطقة الحضرية بشكل سريع خاصة في الآونة الأخيرة، وذلك لعدة أسباب تتمثل بالآتي:

1. الزيادة السكانية الكبيرة حيث وصل عدد السكان الى (19828) نسمة في عام 2015م وهذا يؤدي لزيادة مساحة المنطقة العمرانية.
2. وجود مدينة البترا الأثرية في الحوض.
3. التنوع الجيولوجي للمنطقة، وطبيعتها المناخية المناسبة للأنشطة البشرية.
4. محافظة السكان على مجال الزراعة المرورية لوجود عدة ينابيع مائية التي يستفاد منها غذائياً بالإضافة إلى تصفية الجو والمنظر الجمالي الخلاب لها.
5. كل ذلك ساعد على تمسك السكان بالمنطقة ومنع الهجرة الداخلية منها.

4.6.3 المراعي

يقصد بالمراعي المساحات الواسعة من الأراضي التي يكسوها غطاء نباتي يستخدم بشكل أساسي كغذاء للحيوانات. ومنذ أن استأنس الإنسان تربية الحيوانات وأدرك أهمية المراعي كوسط لتربيتها، وهي تلعب دوراً جوهرياً في استقراره وتأمين غذائه وكسائه وتطور حضارته،

فهي نعمة عظيمة حيث توفر الكساء والغذاء، وتعمل على صيانة التربة وتحسين بنيتها وزيادة خصوبتها.

تشكل المراعي ما نسبته 23.945% من المساحة الكلية للحوض الشكل (14)، وتصنف المراعي بشكل عام الى قسمين:

1. المراعي الطبيعية الأراضي الواسعة التي ينبت فيها الكأ تلقائياً دون أي جهد بشري، وتتنوع بين المراعي قليلة الأمطار أو مياه الري مثل مراعي البوادي، والمراعي الوعورة مثل المراعي الجبلية، ومراعي السبخات ذات الملوحة المرتفعة، ومراعي المستنقعات.
2. المراعي الصناعية: هي الأراضي البعلية أو المروية التي تُزرع بالمحاصيل الزراعية مثل الشعير والبرسيم، وتكون محدودة الانتشار في الحوض، ينافسها في الوقت الحاضر الزراعة المروية الخضار، والزراعة البعلية، حيث يفضل الفلاحين الحصول على البذور لاستعمالها أعلافاً لتسمين المواشي، وعموماً يعتبر التوسع في المراعي البعلية محدوداً بسبب تدني جدواها الاقتصادي.

ويلحظ وجود كلا القسمين في الحوض غير أن النسبة الأكبر للمراعي الطبيعية المتمثلة بمراعي البوادي قليلة الأمطار والمراعي الجبلية، حيث تنتشر فيها النباتات البرية كالشوح والقيسوم والشومر. أما المراعي الصناعية في المنطقة فتتشكل من محصول القمح الذي يزرعه الفلاحين لإنتاج الطحين.

5.6.3 الأراضي الجرداء

تشكل الأراضي الجرداء المساحة الأكبر من المساحة الكلية للحوض حيث تبلغ 43.756% ويقصد بها الأراضي التي تخلو من مظاهر الحياة النباتية، الشكل (14).

تتيح الصور الفوتوغرافية سهولة فهم خصائص الغطاء الأرضي واستعمالاته في المنطقة، وتعطي تفسيراً أبسط من الكلمات للقارئ، يبين الشكل (15) أربعة صور أُخذت في مواقع متوزعة في الحوض.

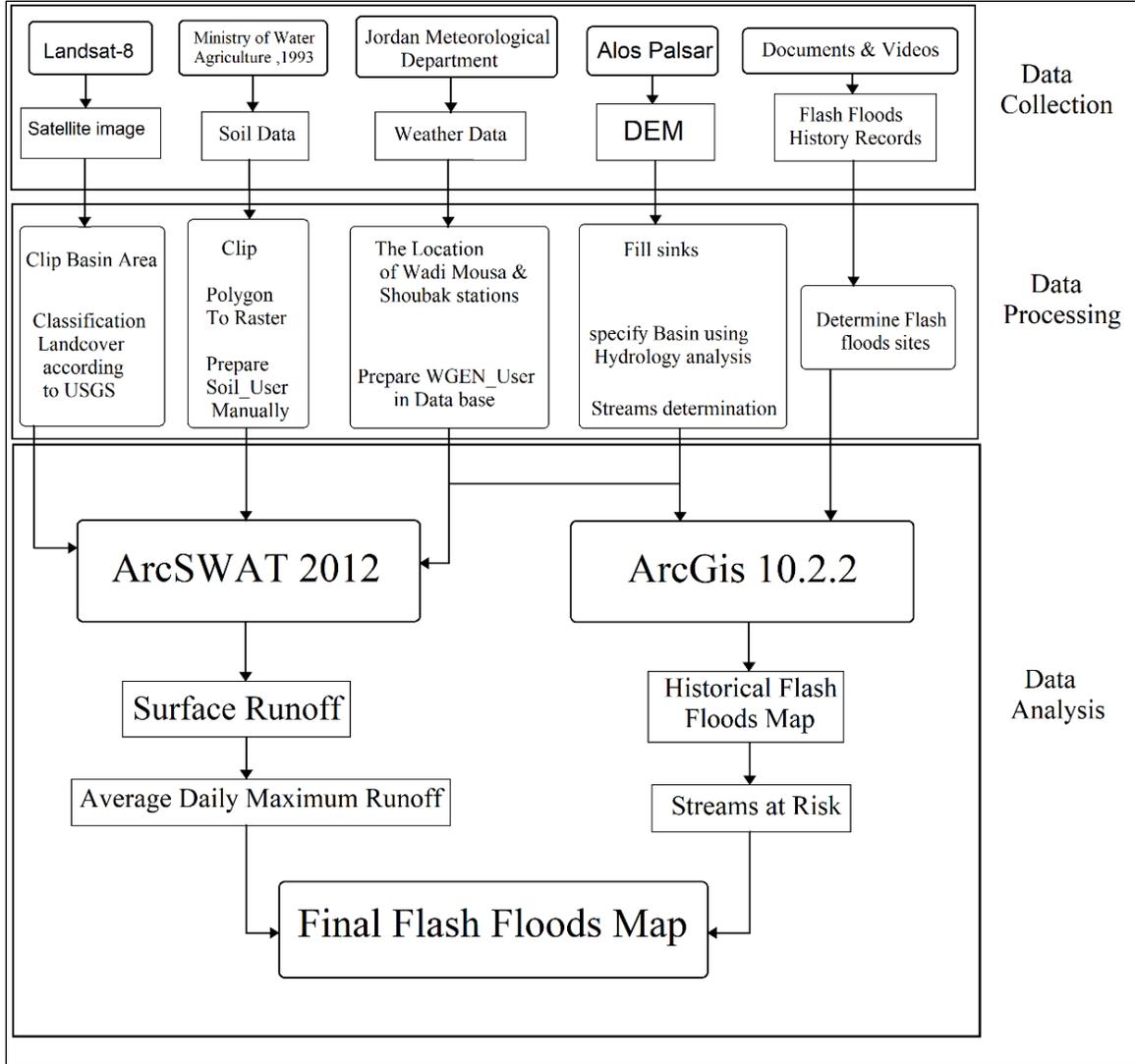


الشكل (15): صور فوتوغرافية للغطاء الأرضي واستعمالاته في حوض وادي موسى
المصدر: تصوير الباحث، (2021/4/25)

7.3 المنهجية

المقدمة

تتشكل البيانات المستخدمة هنا من البيانات المكانية المتمثلة بالمرئيات الفضائية، ونموذج الارتفاعات الرقمية DEM، والخرائط الجيولوجية والتربة، والبيانات المناخية (كمية الأمطار اليومية ودرجات الحرارة العظمى والصغرى اليومية) الشكل (16)، بالإضافة إلى الأبحاث العلمية والرسائل الجامعية والتقارير المختلفة.



الشكل (16): المخطط الإنسيابي للمنهجية المستخدمة في الدراسة

جرى إعداد البيانات المُدخلة على برمجية ArcSWAT من أجل النمذجة الهيدرولوجية باستخدام برمجية Arcmap. وتتمثل بنموذج الارتفاعات الرقمي DEM، وبيانات التربة واستعمالات الأراضي لحوض وادي موسى. بالإضافة إلى البيانات المناخية التي يتم إعدادها عبر برمجية Microsoft EXCEL. وتم عمل النمذجة الهيدرولوجية بتوظيف نمذجة ArcSWAT 2012 لإستخراج الجريان السطحي الأقصى لفترة الدراسة للفترة بين (2011-2019) لاشتقاق الخريطة النهائية متمثلة بالأحواض الفرعية مصنفة حسب قابليتها للتأثر بالفيضانات المفاجئة في حوض وادي موسى. وقد اعتمدت الدراسة العديد من البرمجيات ذات مهام متنوعة يبينها الجدول (4) كل حسب وظيفته.

الجدول (4)

البرامج والأدوات المستخدمة في الدراسة

الوظيفة	البرمجية
التحليلات المكانية واشتقاق الخرائط	ArcGIS 10.2.2
تحديد النقاط المرجعية لقياس دقة تصنيف الغطاء الأرضي	Google Earth Pro
إعداد البيانات المناخية وقاعدتها WGEN	Weather Database
النمذجة الهيدرولوجية لحوض وادي موسى	ArcSWAT 2012
معالجة مخرجات نمذجة ArcSWAT	Microsoft Excel

8.3 جمع البيانات وتحضيرها

تعتمد صحة البيانات على مهارات الباحث وقدراته على تمييز البيانات الصحيحة وتقديرها لمنطقة الدراسة، وطرق توظيف هذه البيانات لتحقيق هدف الدراسة. ويجب أن تُلبي البيانات التي جمعت للدراسة الجدول (5) متطلبات نمذجة ArcSWAT، من حيث الاكتمال، وسهولة القراءة والدقة والموثوقية.

الجدول (5)

البيانات المستخدمة في الدراسة

التاريخ	الدقة / المقياس	المصدر	البيانات
كانون الثاني/2009	12.5M	Alos-Palsar	نموذج الارتفاعات الرقمي DEM
2019-2011	محطتا وادي موسى والشوبك	الأرصاد الجوية	البيانات المناخية
2019	30 M	USGS	مرئية فضائية
2003	1:50000	Ministry of Agriculture	التربة
2019	30 M	Supervised classification for Landsat 8	الغطاء الأرضي واستعمالاته

1.8.3 نموذج الارتفاعات الرقمي DEM

من أجل الحصول على نتائج دقيقة ولتحديد حوض الصرف والأحواض الفرعية فقد تم الحصول على نموذج الارتفاعات الرقمي DEM من قمر ALOS-PALSAR يغطي منطقة الدراسة عام 2009 والذي يقدم دقة مكانية 12.5م، إذ تم التحليل الهيدرولوجي من خلاله لاستخراج نموذج الارتفاعات لحوض الدراسة، ومن ثم أُجريت النمذجة الهيدرولوجية عليه. كانت ALOS إحدى مشاريع الوكالة اليابانية لاستكشاف الفضاء (JAXA)، وقد كانت PALSAR واحدة من الأجهزة الثلاثة المستخدمة في المراقبة المتقدمة للأراضي (ALOS)، تم تطويره للمساهمة في مجالات رسم الخرائط والمراقبة الدقيقة للتغطية الأرضية الإقليمية ورصد الكوارث ومسح الموارد ومن عام 2006 إلى عام 2011، وقد قدم رادار الفتحة الاصطناعية (SAR) التابع لـ PALSAR رصدًا تفصيليًا لجميع الأحوال الجوية، ليلاً ونهاراً. (Facility Alaska Satellite, n.d.)

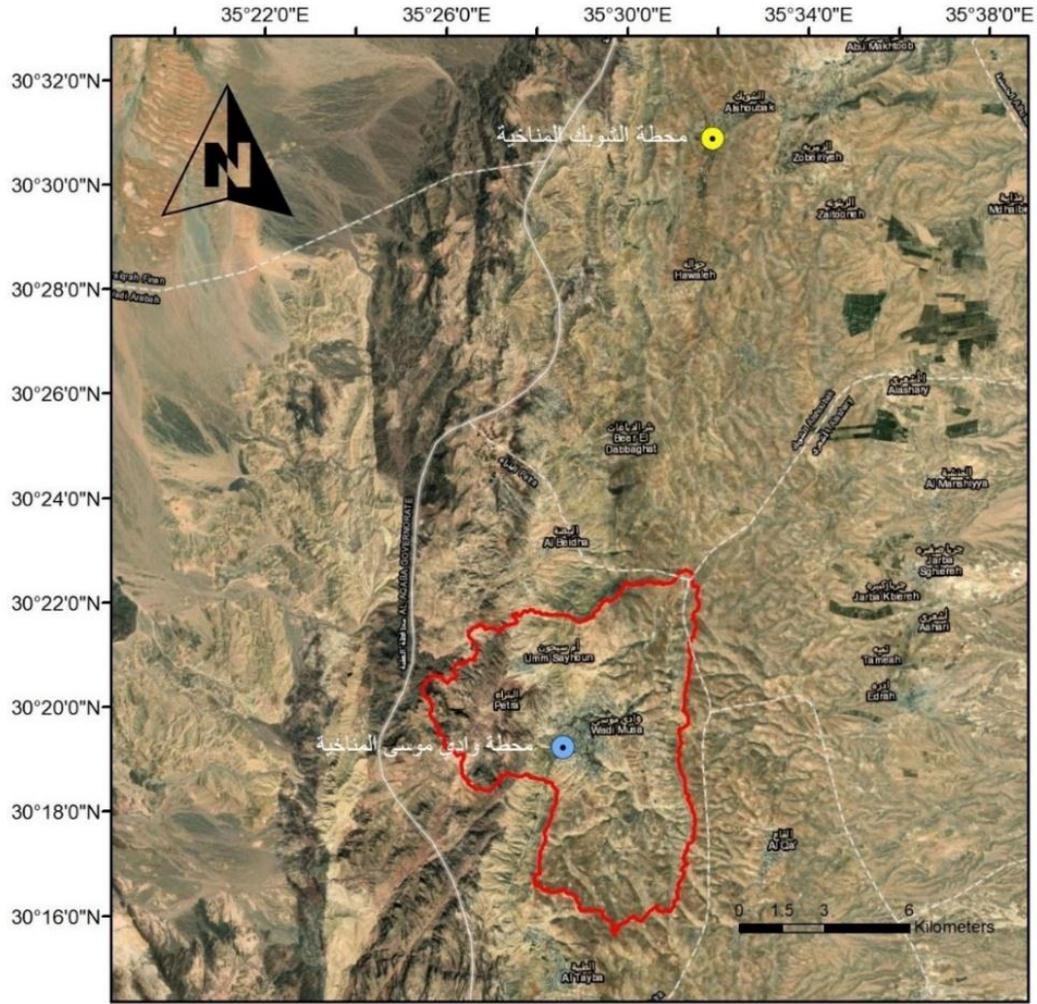
2.8.3 البيانات المناخية

لقد جُمعت البيانات المناخية المتمثلة بكميات الأمطار اليومية ودرجات الحرارة العظمى والصغرى اليومية اللازمة لتشغيل نموذج Arc-Swat 2012 من الأرصاد الجوية الأردنية للفترة ما بين (2011 - 2019) لمحطتي وادي موسى والشوبك كما يبين الجدول (6)، والشكل (17).

الجدول (6)

موقع المحطات المناخية وارتفاعها عن مستوى سطح البحر

المحطة المناخية	خط الطول	دائرة العرض	الارتفاع عن سطح البحر (m)
وادي موسى	35°28'14.16"E	30°19'3.47"N	1235
الشوبك	35°31'49.94"E	30°30'38.20"N	1442



الشكل (17)

المحطات المناخية المستخدمة في الدراسة

المصدر: عمل الباحث باستخدام ArcGis 10.2.2 بالاستناد الى Google Earth Pro

3.8.3 المرئية الفضائية Satellite Image

لقد اعتمد تصنيف الغطاء الارضي على مرئية فضائية توفرت من موقع (USGS) التابع لهيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية، ملتقطة بتاريخ 2019/5/22 عبر قمر Landsat-8 الذي يعد أحدث قمر صناعي تم إطلاقه من قبل لاندسات، يستقطب Landsat-8 حوالي 740 مشهداً يومياً، وتغطي أبعاد المشهد 185 كم × 180 كم ويدور Landsat-8 حول

الأرض في مدار متزامن مع الشمس، بمدار شبة قطبي، على ارتفاع 705 كم
(U.S. Geological Survey, 2017).

الجدول (7)

النطاقات الطيفية لقمر 8-Landsat

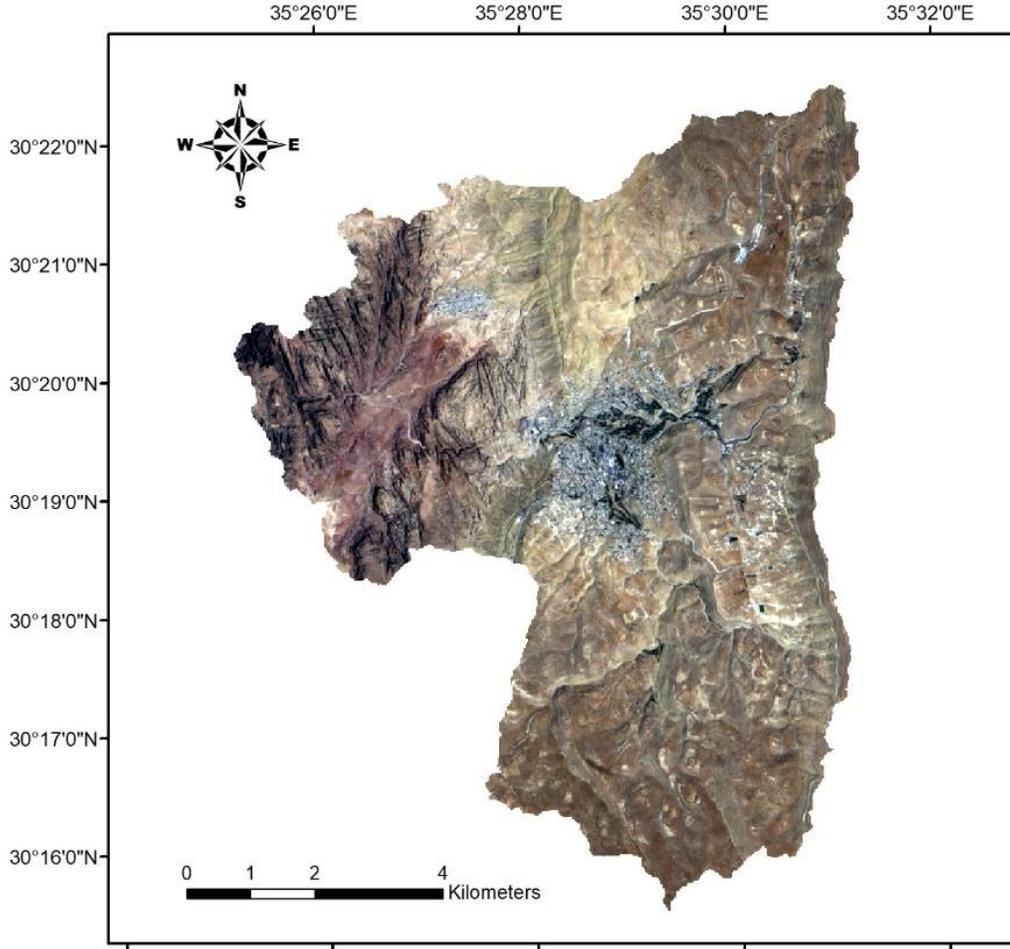
Band Num	Band Type	Band Length (µm)	Resolution (M)	Used in Study
Band 1	Visible	0.45 – 0.43	30	Yes
Band 2	Visible	0.51 – 0.450	30	Yes
Band 3	Visible	0.59 – 0.53	30	Yes
Band 4	Red	0.67 – 0.64	30	-
Band 5	Near-Infrared	0.88 – 0.85	30	-
Band 6	SWIR 1	1.65 – 1.57	30	-
Band 7	SWIR 2	2.29 – 2.11	30	-
Band 8	Panchromatic	0.68 – 0.50	15	Yes
Band 9	Cirrus	1.38 – 1.36	30	-
Band 10	TIRS 1	10.6 – 11.19	100	-
Band 11	TIRS 2	11.5 – 12.51	100	-

المصدر: (U.S. Geological Survey, 2017)

تتعدد النطاقات الطيفية التي يستشعرها 8-Landsat، ضمن تسعة نطاقات طيفية يستشعرها جهاز OLI ونطاقين يستشعرها TIRS، وقد أُعتمد على أربعة نطاقات منها في الدراسة، الجدول (7).

تتكون أجهزة الاستشعار في 8-Landsat من مستشعر OLI الذي يلتقط البيانات بدقة إشعاعية محسنة عبر نطاق ديناميكي 12 بت، مما يحسن النسبة الإجمالية للإشارة إلى التشويش. ويترجم هذا إلى 4096 مستوى رمادي محتمل، مقارنة بـ 256 مستوى رمادي فقط في مجسات 5,7 Landsat. ويتيح تحسين أداء الإشارة إلى زيادة دقة توصيف حالة الغطاء

الأرضي. بالإضافة إلى مستشعر الأشعة تحت الحمراء الحرارية TIRS الذي يستشعر في
النطاق الحراري. (U.S. Geological Survey، 2017)
وقد جرى تحسين وضوحها المكاني إلى (15م) عبر أداة Pansharpening التي تعمل
على دمج مجموعة بيانات المرئية البانكروماتية ذات الدقة 15م مع مجموعة بيانات المرئية
متعددة النطاقات ذات الدقة (30م) لإنشاء مرئية متعددة النطاقات بدقة مكانية محسنة (15م)،
الشكل (18).



الشكل (18): المرئية الفضائية المحسنة Pansharpened لحوض وادي موسى 2019
المصدر: عمل الباحث اعتمادا على (U.S Geological Survey, 2019)

9.3 تصنيف الغطاء الأرضي وتقييم دقته

1.9.3 أسلوب تصنيف الغطاء الأرضي

يستعان في عملية التعرف على أنماط استعمالات الأرض بأسلوبين متعارف عليهما هما: التفسير البصري المعتمد على العين البشرية في معرفة الظواهر الطبيعية والبشرية وهذا يعتمد بشكل كلي على خبرة المفسر باستخدام عناصر متعددة تشمل الشكل والحجم واللون ودرجته والنمط وغيرها من علاقات مكانية.

أما الأسلوب الأكثر شيوعاً فهو التصنيف الرقمي المعتمد على البصمة الطيفية المميزة لكل جسم على سطح الأرض، ويتضمن طريقتين هما: التصنيف المراقب (الموجه) Supervised Classification وغير المراقب (غير موجه Unsupervised Classification)، إذ أن الفرق الرئيسي بينهما بأن الموجه يكون دور المُصنّف بارزاً عبر تحديد نطاقات تدريب للظواهر المتشابهة بمجموعة واحدة، بينما غير الموجه يكون من خلال البرمجية عبر معادلات علمية تحدد المجموعات وفقاً للعلاقة بين قيم الخلايا Pixel في نطاقات المرئية Bands المرئية.

بتطبيق نظام اندرسون Anderson على منطقة الدراسة فقد تباينت أصناف الغطاء الأرضي للمنطقة في خمسة أصناف عبر استخدام طريقة التصنيف الموجه Supervised Classification بطريقة الاحتمالية العظمى Maximum Likelihood Classification على المرئية الفضائية لقمر Landsat-8 عام 2019 (محسنة الدقة) .

الجدول (8)

أصناف الغطاء الأرضي في وادي موسى حسب نظام تصنيف (Anderson)

الرقم	التصنيف	التفصيل
1	التكشفات الصخرية	المناطق التي تضم تكشفات صخرية بمساحة كبيرة نسبياً
2	الغطاء النباتي	يضم البساتين والحدائق والمنطقة الزراعية البعلية والمروية
3	المناطق الحضرية	المناطق السكنية والصناعية والمجمعات التجارية والخدمية
4	المراعي	تشمل مناطق الحشائش الصغيرة والمراعي العشبية
5	الأراضي الجرداء	تضم المناطق الرملية والحصوية التي لا تنتشر فيها النباتات

المصدر: عمل الباحث بالاستناد لنظام التصنيف الأمريكي (Anderson)

يصنف الغطاء الأرضي في منطقة الدراسة عام 2019 إلى خمسة أصناف رئيسية يبينها الجدول (8). وتعد خريطة الغطاء الأرضي الناتجة إحدى البيانات الأساسية من أجل النمذجة الهيدرولوجية باستخدام برنامج Arc-Swat 2012 .

2.9.3 دقة التصنيف Accuracy Assessment

إن وجود أخطاء التصنيف أمرٌ شائع يصعب التخلص منه في المرئيات المتاحة ذات الوضوح المكاني المتوسط (10 - 30 م). لقد حُققت دقة التصنيف من خلال تحديد نقاط مرجعية عبر برمجية Google Earth Pro، بالإضافة إلى الزيارة الميدانية للتحقق من مدى مماثلة التصنيف للواقع المشهود، إذ أُخذت 74 عينة لكل صنف بمجموع 370 عينة في الحوض، باستخدام أسلوب العينة العشوائية المنتظمة.

الجدول (9)

مصفوفة الخطأ لتقييم دقة التصنيف في حوض وادي موسى عام 2019

دقة المستخدم	مجموع الصفوف	الأراضي الجرداء	المراعي	المناطق الحضرية	الغطاء النباتي	التكشفات الصخرية	الغطاء الأرضي واستعمالاته
98.65	74	1	0	0	0	73	التكشفات الصخرية
87.84	74	0	0	9	65	0	الغطاء النباتي
100	74	0	0	74	0	0	المناطق الحضرية
83.7	74	12	62	0	0	0	المراعي
93.2	74	69	0	5	0	0	الأراضي الجرداء
	370	82	62	88	65	73	مجموع الأعمدة
		84.1	100	84	100	100	دقة المنتج
			92.7				الدقة الإجمالية

مصفوفة الخطأ Error Matrix، وهي: مصفوفة مكونة من أعمدة وصفوف للغطاء الأرضي واستعمالاته تساعد على تقييم دقة تصنيفها بطرق علمية تتمثل بالدقة الإجمالية التي تساوي مجموع عدد العينات الممثلة لتصنيف دقيق مقسومة على المجموع الكلي للعينات (دقيقة وغير دقيقة)، وقد بلغت الدقة الإجمالية لتصنيف 92.7% أي أن نسبة الخطأ لم تتجاوز 8%، وهذا يدل على أن دقة التصنيف عالية. أما دقة المنتج ودقة المستخدم فهما أسلوبان يقيسان دقة التصنيف لكل صنف بشكل منفرد، فدقة المنتج يمثل نتيجة قسمة عدد العينات المصنفة بشكل دقيق على مجموع العينات كاملة في نفس عامود العينة. ودقة المستخدم يمثل نتيجة قسمة عدد

العينات المصنفة بشكل دقيق على مجموع العينات كاملة في نفس صف العينة، وقد بلغ كلاهما نسب دقة عالية، الجدول (9).

10.3 النمذجة الهيدرولوجية باستخدام ArcSWAT

نموذج **Soil & Water Assessment Tool** SWAT تم تطويره من قبل خدمة البحوث الزراعية التابعة لوزارة الزراعة الأمريكية (ARS) وجامعة تكساس (A&M) وهو حالياً أحد النماذج الهيدرولوجية المستخدمة في جميع أنحاء العالم (Khalid, 2017). صُمم بداية التسعينيات أساساً للتنبؤ بتأثير غطاء الأراضي وإستعمالاته على المياه (كمياً ونوعياً)، والرواسب، والعوائد الكيميائية الزراعية. وقد استندت عليه الدراسة نظراً لأنه قائم على أساس فيزيائي (مادي)، وبالتالي فنتيجة واقعية.

تعتمد النمذجة الهيدرولوجية على معادلة توازن المياه الموضحة تالياً :

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{Per} - Q_{gw})_i$$

المصدر: (Neitsch SL, 2011) حيث أن؛

SWt: المحتوى المائي النهائي للتربة

SW0: المحتوى المائي الأولي للتربة

Rday: كمية الهطول اليومي

Qsurf: الجريان السطحي اليومي

Ea: مقدار التبخر اليومي

WPer: التغلغل اليومي

Qgw: التدفق العائد اليومي

تُنتج عملية المحاكاه باستخدام ArcSWAT الكثير من المخرجات المتعلقة بتوازن المياه مثل الجريان السطحي (mm)، الامطار (mm)، الإرسابات (T/HA)، الثلوج (mm)، التبخر الفعلي (mm)، التبخر المحتمل (mm).

يعد ArcSWAT وظيفة إضافية مرتبط مباشرةً ببرمجية ArcGIS ليقبل الطبقات المكانية ويعمل النمذجة الهيدرولوجية من خلالها. وتمر النمذجة الهيدرولوجية بثلاث مراحل متمثلة بعمليات الإدخال والمعالجة والإخراج كأى نظام. غير أننا سنشرحها اعتماداً على تسلسل عمل

المشروع على البرنامج (نظراً للتداخل بشكلٍ عام)، يبدأ ذلك بإدخال البيانات الأساسية للنموذج التي جُهزت سابقاً وتحليلها بإجراءات تلقائية عبر البرنامج ثم تشغيل النموذج Run SWAT، ونهايةً إخراج نتائج المحاكاة SWAT Output على شكل قاعدة بيانات تضم الكثير من المخرجات، يؤخذ منها المطلوب للدراسة بعد التحقق من دقتها من Error Checker. بدايةً يتم إدراج شريط أدوات ArcSWAT في واجهة برنامج Arcmap 10.2.2 بعد تنزيله من الموقع الرسمي، وتثبيتها بعدها تُفعل ملحقاته من قائمة Extensions، وبهذا تتكامل واجهة ArcSWAT 2012 مع Arcmap 10.2.2 الشكل (19).



الشكل (19): شريط أدوات برنامج ArcSWAT

ينتج المشروع بعد إنشائه قواعد بياناته تلقائياً RasterStorage.mdb و SWAT2012.mdb وقاعدة بيانات تأخذ اسم المشروع نفسه، ويتم فيها تخزين المعلومات.

1.10.3 إدخال البيانات وتحليلها الآلي

يتميز نموذج ArcSWAT بعدم حاجته إلى حجم هائل من البيانات من أجل نمذجته، فهو يحتاج إلى ثلاث طبقات: 1. نموذج الارتفاعات الرقمي، 2. طبقة التربة، 3. الغطاء الأرضي واستعمالاته، 4. الإنحدار بالإضافة إلى البيانات المناخية (كميات الأمطار ودرجات الحرارة العظمى والصغرى على أقل تقدير). من خلال الواجهات الرئيسية للبرنامج الشكل (19) يتم إدخال البيانات فيقوم البرنامج بتحليلها (آلياً)، ليتعامل معها على أنها وحدات إستجابة هيدرولوجية متجانسة Hydrologic Response Units (HRU) ليتمكن من نمذجتها.

أولاً: تحديد حوض التصريف Watershed Delineator

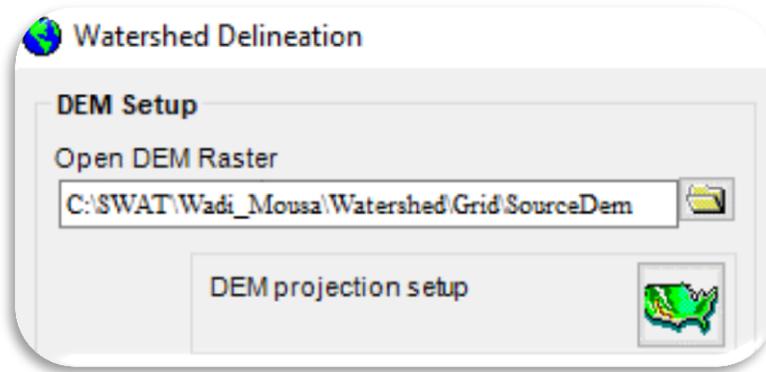
تتيح هذه الواجهة للباحث تحديد الأحواض المائية الفرعية بناءً على إجراء تلقائي باستخدام بيانات نموذج الارتفاع الرقمي (DEM). ينفذ ترسيم أحواض تصريف المياه عبر وظائف نظم المعلومات الجغرافية المتقدمة لمساعدة المستخدم في تقسيمها إلى عدة أحواض تصريف فرعية

متصلة "هيدرولوجياً" لاستخدامها في نمذجة مستجمعات المياه باستخدام SWAT. (Ayyash, 2020).

بمجرد الانتهاء من الترسيم، تتم إضافة تقرير مفصل (تقرير طبوغرافي) إلى المشروع الحالي، وستتم إضافة عدة طبقات إلى الخريطة الحالية، بما في ذلك أحواض التصريف، المصب. يصف التقرير الطبوغرافي توزيع الارتفاع داخل أحواض التصريف ("هيدرولوجياً") أحواض التصريف غير المتصلة)، وداخل كل وحدة مستجمعات مائية فرعية (حوض فرعي) (M.WINCHELL, 2013).

من أجل عملية الترسيم للأحواض الفرعية في حوض وادي موسى باستخدام أداة ArcSWAT داخل برنامج Arcmap 10.2.2، فإن البيانات المطلوبة هي نموذج الارتفاعات الرقمي DEM، الذي حصلنا عليه من القمر الصناعي ALOS-PALSAR بدقة 12.5 م. يجب أن يكون نظام الإحداثيات لجميع الطبقات في المشروع متوافق بنفس النظام، حيث استندت جميعها على نظام إسقاط ميركاتور المستعرض (WGS_1984_UTM_Zone_36N).

إعداد نموذج الإرتفاعات الرقمي DEM Set up



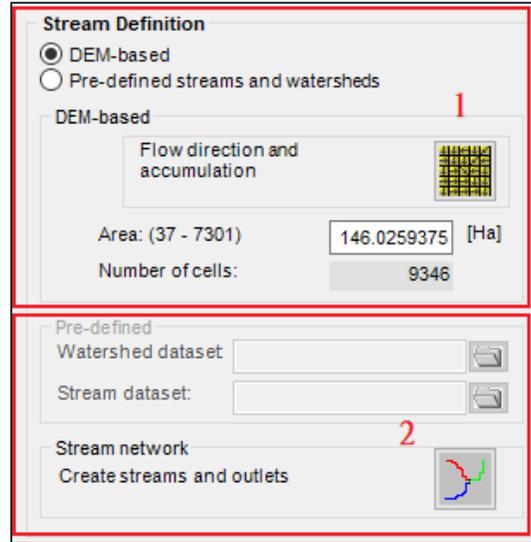
الشكل (20): إعداد نموذج الإرتفاعات الرقمي DEM Setup

تبدأ عملية ترسيم Watershed Delineator بإدراج نموذج الارتفاعات الرقمي لمنطقة

الدراسة الشكل (20)، وإعداده باختيار وحدة الأمتار باستخدام واجهة DEM projection setup إستناداً لهدف الدراسة.

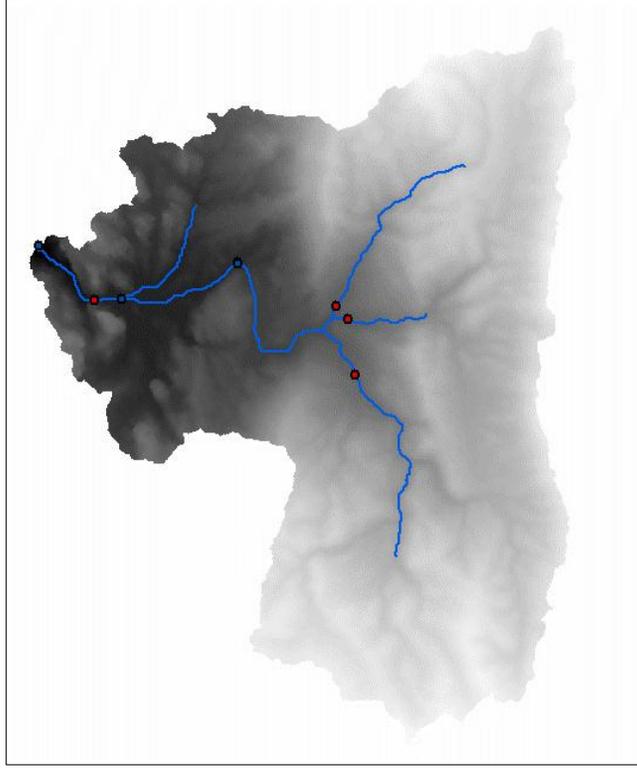
تحديد شبكة المجاري المائية Stream Definition

تستغرق عملية تعريف الشبكة وقتا أطول مع زيادة مساحة الحوض، وقد استغرقت هنا لحظات نظرا للمساحة الصغيرة للحوض 74 كم²، وتتمثل بخطوتين هما: حساب اتجاه الجريان وتراكمه Follow the direction and accumulation ثم تحديد المجاري المائية Stream network ومصباتها Outlets الشكل (21).



الشكل (21): تحديد المجاري المائية Stream Definition

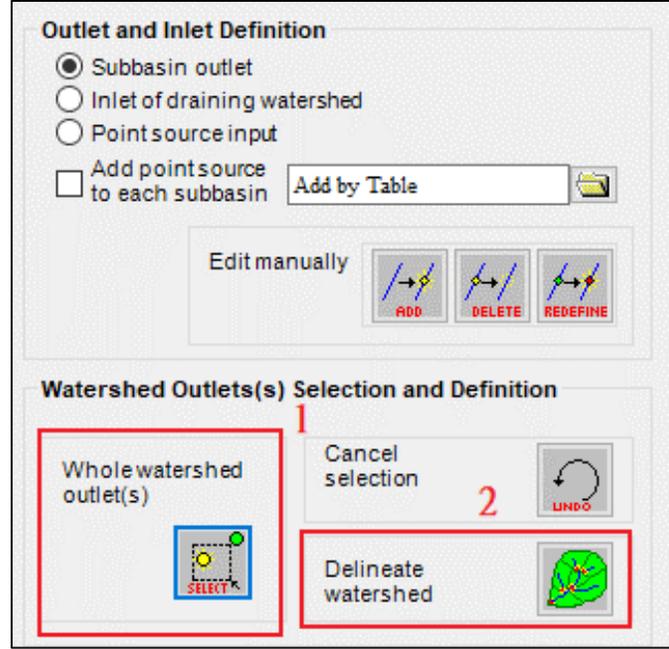
طبقتي المجري المائية Reach ومنفذها Outlets ومحطات المراقبة monitoring stations، ينتج عبرها ترسيم الأحواض الفرعية Sub-Basin، الشكل (21).



الشكل (22): الشبكة المائية ومنافذها التي حددت على ArcSWAT

تتيح قائمة Outlet and Inlet Definition إضافة نقاط تصريف (منافذ) الأحواض الفرعية المجهزة مسبقاً، والعمل على تعديل غير المطلوب وحذفه بشكل يدوي. بعدها يؤخذ المصب النهائي في الحوض من خلال أداة Whole watershed outlet(s)، وباستخدام أداة Delineate watershed يتم ترسيم خطوط تقسيم المياه لتحديد الأحواض الفرعية، يبينها الشكل (23).

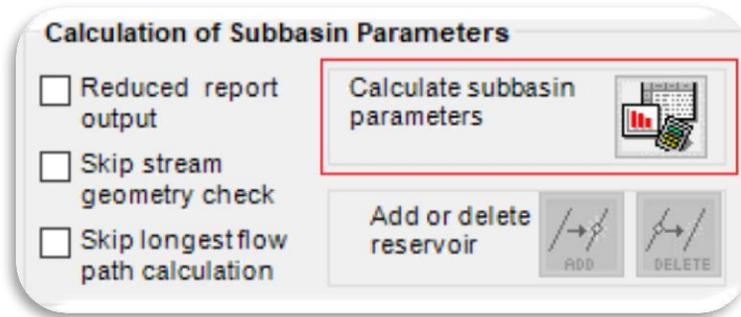
يفترن كل حوض فرعي بمدخل تيار واحد. فإذا قام المستخدم بإزالة أي من المنافذ المحددة بواسطة الواجهة أثناء التحليل الأولي لنموذج الارتفاعات الرقمي، فالمفترض أن المجرى الرئيسي داخل منطقة الحوض الفرعي يمثل امتداداً للمجرى الفردي المرتبط بالحوض الفرعي، وبذلك يرتبط ترسيمه بالمجرى الرئيسي ليتكون حوض فرعي أكبر مساحة. (M.WINCHELL, 2013).



الشكل (23): تحديد المصب النهائي للحوض وترسيم احواض التصريف الفرعية

حساب المتغيرات للاحواض الفرعية Calculation of Subbasin parameters

يقصد بالمتغيرات الخصائص الجيومورفولوجية للأحواض الفرعية وروافده، تتيح أداة Calculate subbasin parameters حسابها وتخزين نتائجها تلقائياً داخل الاحواض الفرعية في الجدول (Attribute Tables) الشكل (24).



الشكل (24): حساب المعاملات للاحواض الفرعية Subbasin parameters

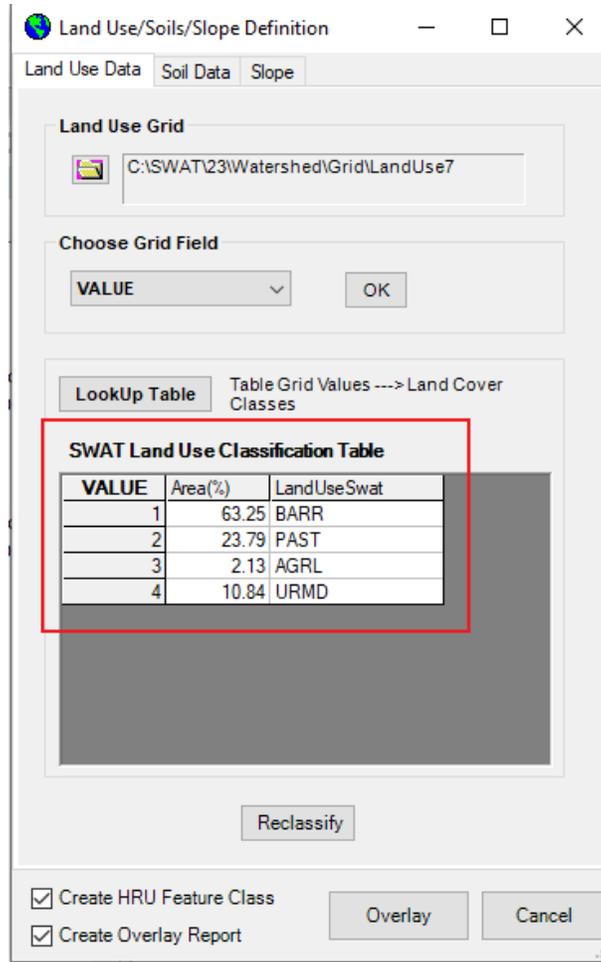
بمجرد الانتهاء من حسابها، يتوافر تقارير طبوغرافية جديدة في قائمة ترسيم مستجمعات المياه تحتوي على كافة التوزيعات الإحصائية لارتفاعات السطح في حوض وادي موسى وجميع الأحواض الفرعية. (M.WINCHELL, 2013)

ثانياً: وحدات الاستجابة الهيدرولوجية Hydrological Response Units

يعد تأثير الإنحدارات ونسيج التربة ونوعها واستخدامات الأراضي في الحوض ذو أهمية قصوى في حساب الجريان السطحي وحمولته من الرواسب، لاعتماد الجريان السطحي على الحالة الهيدرولوجية الفعلية لكل منها في الاحواض الفرعية. بعد تحديد الحوض الرئيسي وأحواضه الفرعية، يتم استخدام القائمة الثالثة لواجهة ArcSWAT لتقسيم كل حوض فرعي إلى وحدات استجابة هيدرولوجية (HRUs) SWAT، والتي تعد المكون الحسابي الأساسي والأكثر حلاً مكانياً لنموذج SWAT (C. Karcher, 2013).

بيانات استخدامات الأراضي Land Use Data

بعد إدراج طبقة استخدامات الأراضي يعمل المشروع على قطع حدودها لنتناسب مع حدود الحوض الذي أنتجه سابقاً. هناك طريقتان لاختيار أصناف الغطاء من الجدول الأولى إدراج ملف Text file، يضم تعيين كود Code أصناف الغطاء (يجب أن يتفق مع تصنيف النظام)، أما الطريقة الثانية والمستخدمه فهي تعيين الأصناف يدوياً، بينها الشكل (25).



الشكل (25): قائمة تصنيف الغطاء الأرضي إستنادا لنظام تصنيف USGS

بعد إتمام تعريف التصنيف اليدوي يتم النقر على Reclassify إعادة تصنيف لتظهر طبقة جديدة باسم SwatLanduseClass.

بيانات التربة Soil Data

تعد بيانات التربة أحد أهم المدخلات لتشغيل نموذج SWAT، نظراً لأثرها المباشر على الدورة الهيدرولوجية للمياه. نظراً لضيق وفرة بيانات التربة في منطقة الدراسة فقد تم اعتماد بيانات التربة التي صممتها وزارة الزراعة والمياه سنة 1993 (Ministry of Agriculture)، وبشكل عام تعتبر ذات دقة جيدة وتلبي احتياجات الدراسة.

لا تتوفر قاعدة بيانات التربة (التلقائية) Database في البرنامج على أنواع التربة لمشروع وزارة الزراعة ولهذا تم تنزيل قاعدة بيانات MWSWAT من الموقع الرسمي

https://swat.tamu.edu ثم استيرادها لقاعدة بيانات SWAT2012، ووجد أيضا أنها لا تتعرف بيانات أنواع تربة مشروع وزارة الزراعة 1993، لذلك فقد تم إدخال بيانات أنواع التربة الى القاعدة بشكل يدوي لتستخدم في تعريف التربة الشكل (26).

OBJECTID	SNAM	NLAYERS	HYDGRP	SOL_ZM	ANION_EXCL	SOL_CRK	TEXTURE
1	C	1	D	810	0.48	0.5	clay
2	HAY03	1	D	840	0.46	0.5	clay loam
3	L	1	B	940	0.46	0.5	loam
4	LS	1	A	920	0.44	0.5	loamy sand
5	S	1	A	950	0.44	0.5	sand
6	SC	1	B	750	0.43	0.5	sandy clay
7	TIR03	1	D	830	0.4	0.5	sandy clay loam
8	SI	1	C	920	0.45	0.5	silt
9	BAS10	1	D	880	0.48	0.5	silty clay
10	TAW03	1	D	920	0.47	0.5	silty clay loam
11	SIL	1	C	970	0.5	0.5	silt loam
12	SL	1	B	910	0.45	0.5	sandy loam
13	WA	1	D	25.4	0.5	0.5	water

الشكل (26): قاعدة بيانات التربة التي تضم بيانات وحدات تربة حوض وادي موسى بعد إدراج طبقة التربة يعمل المشروع على قطع حدودها لتتناسب مع حدود الحوض، يجب ربط فئات خريطة التربة بإحدى قواعد البيانات الثلاث: قاعدة بيانات ArcSWAT STATSGO أو قاعدة بيانات SSURGO أو قاعدة بيانات المستخدم User Soil وهي المستخدمة هنا يبين ذلك الشكل (27) .

Choose Grid Field
 VALUE [v] [OK]

Soil Database Options
 ArcSWAT STATS ArcSWAT SSU
 UserSoil

LookUp Tab Table Grid Values --> Soils
 Attributes

SWAT Soil Classification

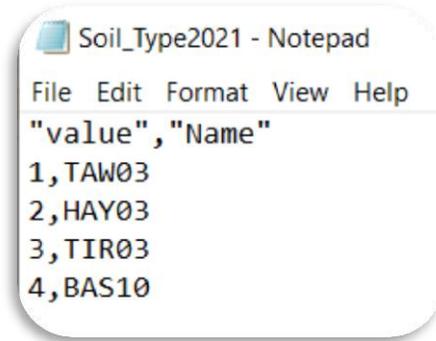
VALUE	Area(%)	Name
1	75.29	TAW03
2	16.35	HAY03
3	1.83	TIR03
4	6.52	BAS10

[Reclassif]

Create HRU Feature Class [Overlay] [Cancel]
 Create Overlay Report

الشكل (27): قائمة تصنيف التربة

بالنقر على زر الاستيراد Lookup Table يتم إستيراد الملف المُجهز يدويا الشكل (28)، لتعيين كود Code أنواع التربة حسب ترتيبها في جدول الطبقة Attribute Table.



الشكل (28): جدول البحث لنوع التربة Lookup Table

بعد إتمام تعريف كود Code أنواع التربة يتم النقر على Reclassify لإعادة التصنيف لتظهر طبقة جديدة باسم SwatSoilClass.

تصنيف الانحدارات SLOPE CLASSIFICATION

يتطلب تحليل وحدات الاستجابة الهيدرولوجية HRU في ArcSWAT تقسيم وحدات HRU حسب فئات الانحدار. خاصةً إذا كانت الأحواض الفرعية تتضمن تباين كبير من المنحدرات داخلها. ويستخدم فئة انحدار واحدة على الأقل، غير أنه بسبب تباين الارتفاعات الشديد في حوض وادي موسى بين (731 - 1711م) فقد أُستخدمت طريقة الفئات المتعددة ضمن خمس فئات انحدار حسب شدتها من خفيف الى انحدار جرفي (سعيد، 2016)، الشكل (29).

Land Use/Soils/Slope Definition

Land Use Data Soil Data Slope

Slope Discretization

Single Slope Watershed Min: 0.00 Mean: 26.0
Slope Stats: Max: 494. St Dev: 21.6

Multiple Slope

Slope Classes

Number of Slope Classes: 5

Current Slope Class: 4

Class Upper Limit (%): 45 [Add]

SWAT Slope Classification Table

Class	> Lower Limit	<= Upper Limit
1	0	5
2	5	18
3	18	30
4	30	45
5	45	9999

Reclassify

Create HRU Feature Class

Create Overlay Report

Overlay Cancel

الشكل (29): قائمة تصنيف الانحدارات

بعد إتمام تصنيف الانحدارات يتم النقر على Reclassify إعادة تصنيف لتظهر طبقة جديدة باسم LandSlope.

يتاح بعد إتمام التصنيفات الثلاثة المذكوره سابقا عملية التراكم Overlay. لإنشاء طبقة HRU نحدد خيار Create HRU Feature Class قبل النقر على Overlay. بعد إتمام العملية تظهر الطبقة باسم FullHRU.

تمثل الطبقة الناتجة تقسيم الأحواض الفرعية للحوض الرئيسي إلى وحدات استجابة هيدرولوجية منفصلة صغيرة ومتجانسة (HRU) Hydrologic Response Unit.

تعريف وحدات الإستجابة HRU Definition

يقصد بها تحديد المعايير المستخدمة في تحديد توزيع HRU حيث يمكن من خلاله التحكم بعدد وحدات الاستجابة HURs الشكل (30).

يتيح تقسيم الأحواض الفرعية إلى وحدات استجابة HURs للغطاء الأرضي ومجموعات الترب والانحدارات للنموذج أن يعكس الاختلافات في الظروف الهيدرولوجية لمختلف الأغشية الأرضية. يتم توقع الجريان السطحي بشكل منفصل لكل وحدة HRU، وتوجيهه للحصول على إجمالي الجريان السطحي لمستجمعات المياه، مما يزيد من دقة تنبؤات الحمل، ويوفر وصفاً فيزيائياً أفضل بكثير لتوازن المياه.

لدى المستخدم خياران في تحديد توزيع HRU تعيين وحدة HRU واحدة Dominant HRU لكل حوض فرعي أو تعيين وحدات HRUs متعددة Multiple HRUs لكل مستجمعات المياه الفرعية. (M.WINCHELL, 2013)

لقد جرى استخدام طريقة الوحدات المتعددة Multiple HRUs، لتحديد حساسية بيانات استعمالات الأراضي والتربة والمنحدرات يدوياً .

HRU Definition

HRU Thresholds Land Use Refinement (Optional) Elevation Bands

HRU Definition

Dominant Land Use, Soils, SI

Dominant HRU

Target Number of HRUs

Multiple HRUs

Threshold

Percenta

Are

Target # HRU

0

Land use percentage (%) over subbasin area

10 %

0 99

Soil class percentage (%) over land use area

5 %

0 100

Slope class percentage (%) over soil area

10 %

0 100

Write HRU Report

Create HRUs

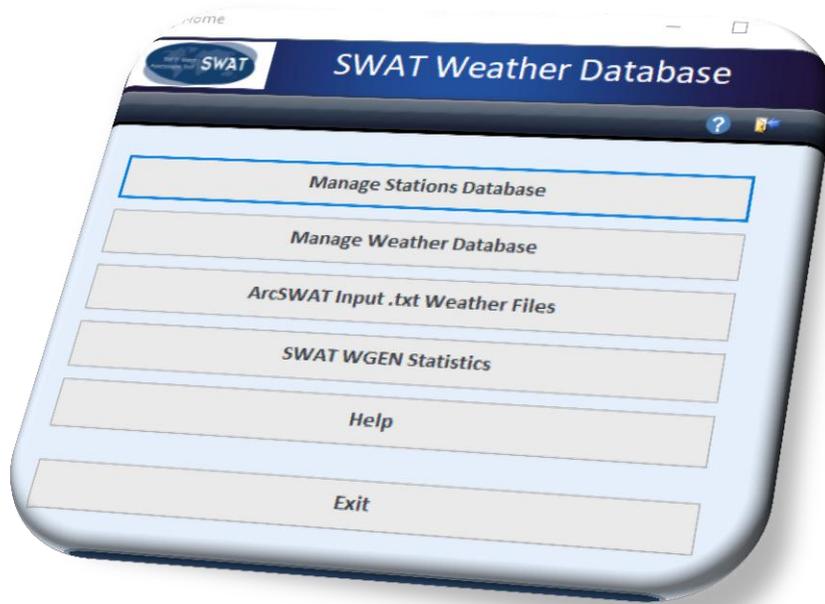
Cancel

الشكل (30): قائمة تعريف وحدات الاستجابة الهيدرولوجية

بمجرد اكتمال جميع إعدادات وحدات الاستجابة الهيدرولوجية يتم تعريفها من خلال Create HRUs، وينشأ جدول قاعدة بيانات ArcSWAT الجغرافية المسمى HRUs. يقدم الجدول توزيعاً مفصلاً لوحدات الاستجابة الهيدرولوجية، واستخدام الأراضي، والتربة، وفئات المنحدرات في حوض وادي موسى المياه وجميع مستجمعات المياه الفرعية.

ثالثاً: استيراد البيانات المناخية Import Weather Data قاعدة البيانات المناخية SWAT Weather Database

بداية يتم تجهيز البيانات المناخية من خلال قاعدة البيانات المناخية SWAT Weather Database التي يتم تحميلها وتثبيتها من الموقع الرسمي <https://swat.tamu.edu> باسم WGN Parameters Estimation Tool يبينها الشكل (31).



الشكل (31): قاعدة البيانات المناخية SWAT Weather Database

بعد تحضير جداول الإكسل سابقا التي تحتوي بيانات المحطات (موقعها وارتفاعها عن مستوى سطح البحر)، والبيانات المناخية (كميات الامطار ودرجات الحرارة العظمى والصغرى على أقل تقدير). يتم إدراجها الى قاعدة البيانات SWAT Weather Database لإعدادها واستخراجها بما يتناسب مع ArcSWAT من خلال إجراءات محددة يجب القيام بها على النحو الآتي:

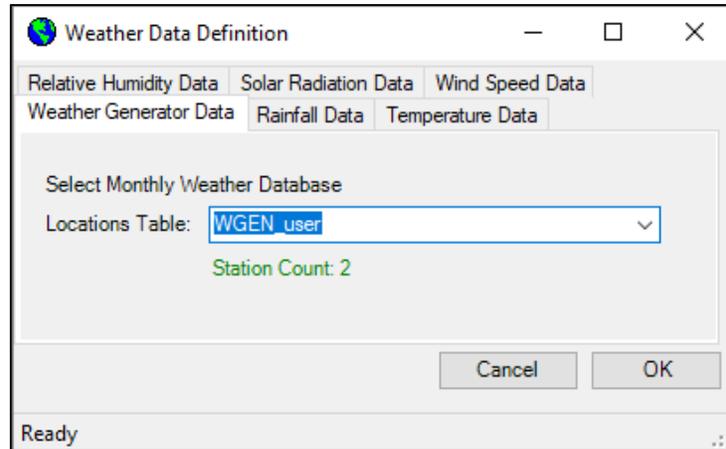
1. إدراج بيانات المحطات (محطة وادي موسى ومحطة الشوبك) من قائمة Manage Stations Database.

2. إدراج البيانات المناخية من قائمة Manage Weather Database.

3. استخراجها على شكل ملف txt من ArcSwat Input .txt Weather Files.
 4. من قائمة SWAT WGEN Statistics يستخرج ملف الملف الإحصائي WGEN المتوافق مع قاعدة بيانات ArcSWAT بناءً على بيانات المناخ المدرجه سابقا بصيغة ملف إخراج Excel.
 5. ينسخ محتوى الملف الإحصائي للمحطات وتستبدل قاعدة البيانات WGEN_USER التلقائية به ويسمى بنفس اسمه بعدها WGEN_USER. ليتعرف برنامج ArcSWAT على محطات الدراسة.
- تجدد الإشارة إلى أنه يجب أن تستخدم قيمة 99.0- لملء البيانات اليومية المجهولة، ويجب أن يكون السجل التاريخي لجميع جداول البيانات متوافق بنفس البداية والنهاية.

تعريف البيانات المناخية Weather Data Definition

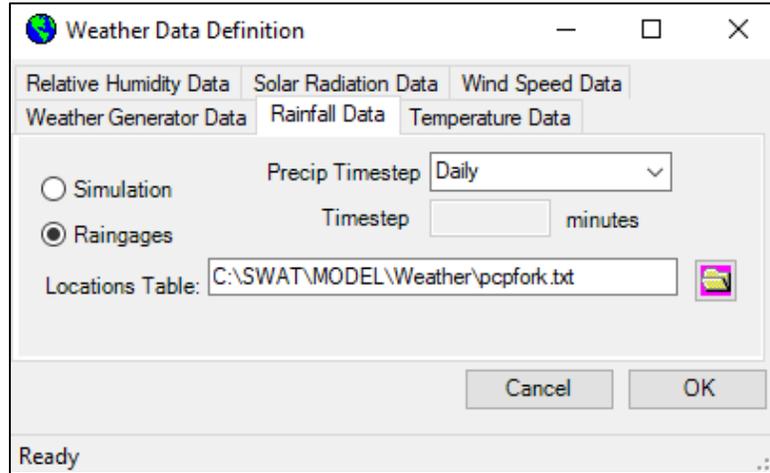
تنقسم عملية إدخال البيانات المناخية في ست نوافذ. النافذة الأولى Weather Generator Data يتم منها اختيار قاعدة بيانات المحطات WGEN_user، الشكل (32).



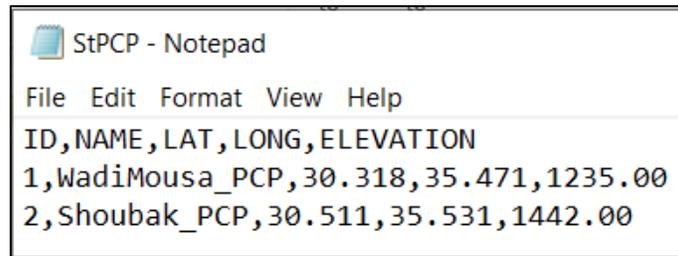
الشكل (32): نافذة تحديد قاعدة بيانات المحطات المناخية Weather Database
 أما النوافذ الخمس الباقية فندخل البيانات المناخية. غير أن الدراسة وفرت البيانات المناخية الأساسية للنمذجة الهيدرولوجية للحوض وهي (كميات الأمطار ودرجات الحرارة).

البيانات المطرية Rain Data

تتيح نافذة Rainfall Data للمستخدم استيراد بيانات هطول الأمطار المجهزة للمشروع، نحدد Raingages الشكل (33)، ونختار ملف "إحداثيات المحطات" المرتبط بقياسات الهطول، الشكل (34).



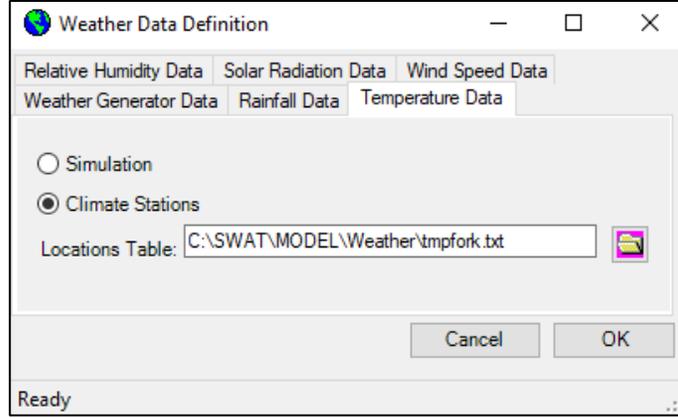
الشكل (33): نافذة إدخال بيانات الهطول المطري



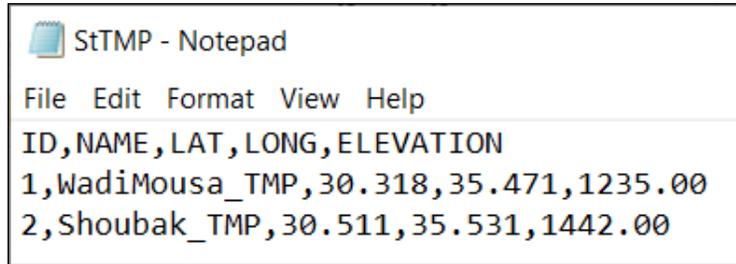
الشكل (34): ملف "إحداثيات المحطات" المرتبط بقياسات الهطول

بيانات درجات الحرارة Temperature Data

تتيح نافذة Rainfall Data للمستخدم استيراد بيانات هطول الأمطار المجهزة للمشروع، نحدد Raingages الشكل (35)، ونختار الملف الذي يحتوي جدول "موقع" قياسات درجات الحرارة الشكل (36).



الشكل (35): نافذة إدخال بيانات درجات الحرارة



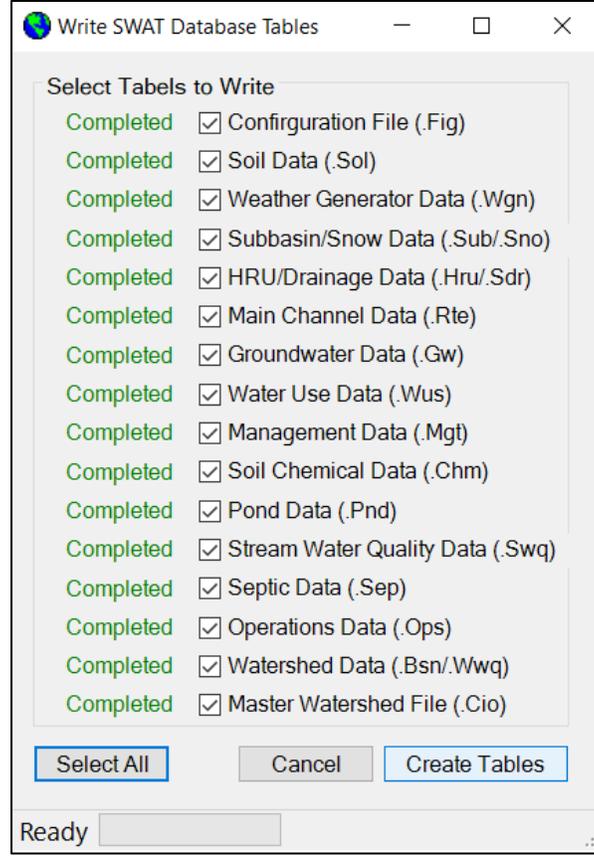
الشكل (36): ملف "إحداثيات المحطات" المرتبط بقياسات درجات الحرارة

بالنقر على زر موافق "OK" يتم إعداد قاعدة بيانات الطقس هذا ويمكن استيراد الملفات من أي مجلد وليس بالضرورة على مجلد SWAT .

Write SWAT Input Tables

بعد الانتهاء من تحديد البيانات المناخية، تأتي الخطوة الآتية في كتابة جداول الإدخال لجميع بيانات المُدخلة، ويتم ذلك من خلال قائمة Write SWAT Input Tables. عبر تحديد جميع الجداول ثم النقر على موافق "OK". وبذلك تم إنشاء ملفات قاعدة البيانات المطلوبة لنمذجة SWAT الشكل (37).

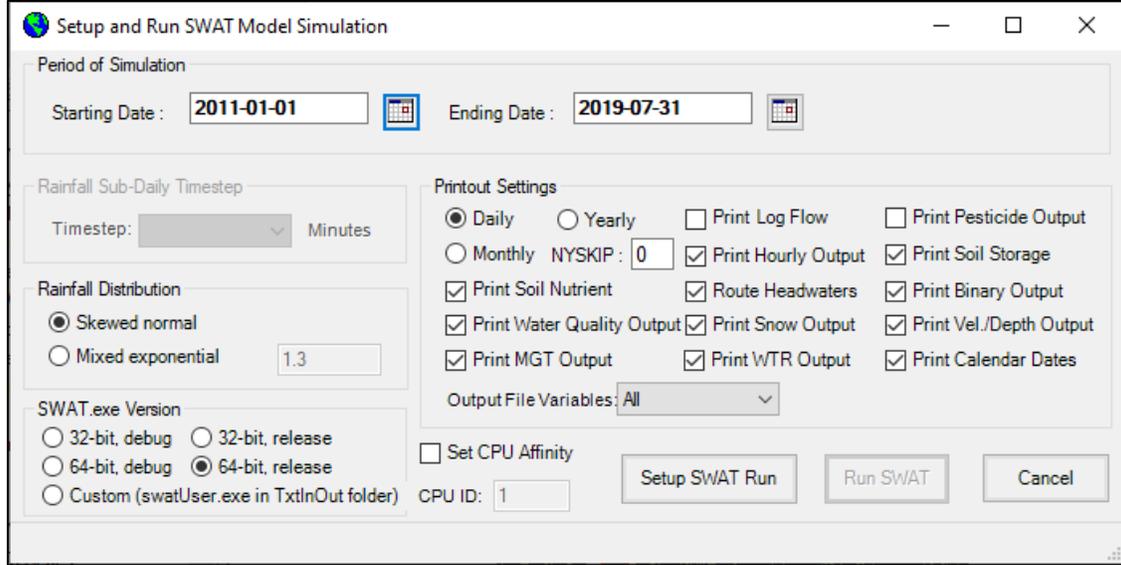
يرجى الإشارة إلى إن الهدف من كتابة الجداول Write SWAT Input table ؛ لمعالجتها وإنشاء جداول قاعدة البيانات الجغرافية. نحتاج إجراؤه مرة واحدة فقط للمشروع، ومع ذلك إذا قام المستخدم بتعديل توزيع HRU بعد إنشاء ملفات قاعدة بيانات الإدخال، فستحتاج جداول الإدخال لجميع بيانات المُدخلة إلى المعالجة مرة أخرى (M.WINCHELL, 2013).



الشكل (37): Write SWAT Input Tables

2.10.3 إجراء النمذجة الهيدرولوجية Run SWAT Model

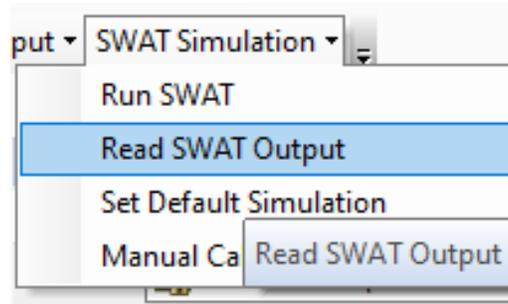
أخيراً تتمثل الخطوة الأخيرة في تشغيل نموذج SWAT لفترة الدراسة بتسع سنوات لتبدأ 2011/1/1 وتنتهي 2019/7/31. بدايةً يتم إختيار نظام التشغيل للجهاز 64-bit. ثم نختار الإعدادات المطلوبة وهي أن البيانات المطلوب إستخراجها يومية، إبقاء عدد السنين التي يتخطاها البرنامج صفر من خيار NYSKIP لتتم المحاكاة لفترة الدراسة كاملة. هكذا تكون جميع الإعدادات قد تمت بنجاح، بذلك نقوم بتشغيل النموذج Run SWAT الشكل (38).



الشكل (38): نافذة إعداد وتشغيل محاكاة نموذج SWAT لفترة الدراسة

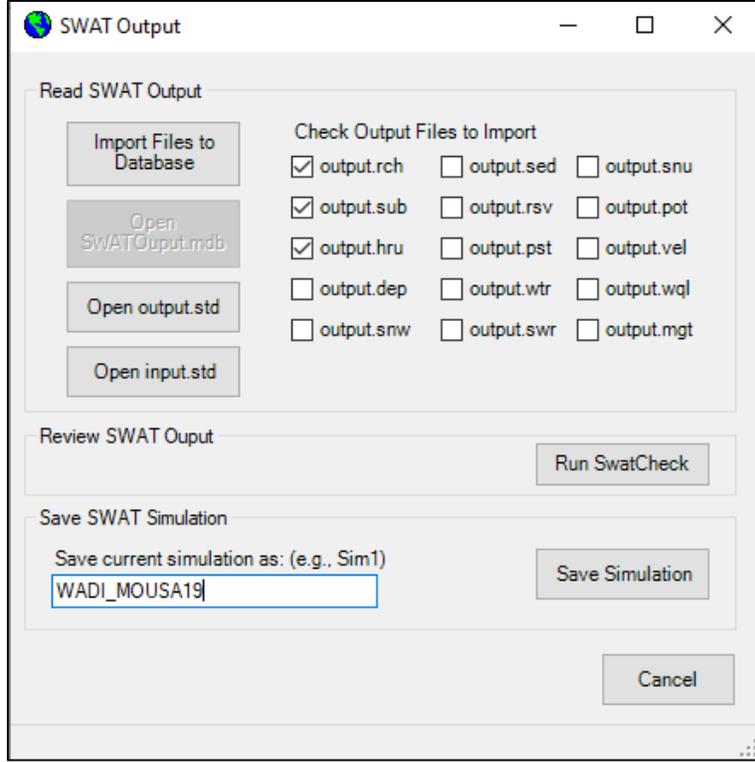
3.10.3 إستخراج النتائج

تتيح قائمة Read SWAT Output من SWAT Simulation، استخراج نتائج المحاكاه في قواعد بيانات mdb. الشكل (39).



الشكل (39): قراءة مخرجات النموذج Read SWAT Output

بداية ننقر على Import Files لتدرج البيانات في قواعد البيانات. يتم التأكد من دقة النتائج عبر مقارنة واقعية البيانات الهيدرولوجية التي نجدها في Hydrology من SWATCheck. وبالتأكد منها نستخرجها بكتابة اسم المحاكاه ثم ينقر على Save Simulation، الشكل (40).



الشكل (40): نافذة إستخراج بيانات النمذجة

توجد بيانات الإخراج في SWATOutput.mdb في مجلد يسمى scenarios داخل TablesOut. أكثر البيانات أهمية في دراسة مخاطر الفيضانات المفاجئة هو بيانات الجريان السطحي (SURFQ ملم) لتصنيف الأحواض الفرعية ومعرفة الأكثر عرضة للفيضانات.

4.10.3 إسلوب الجريان السطحي الأقصى Maximum Runoff

يُشير الحد الأقصى للجريان السطحي اليومي (SURFQ) إلى مستوى خطر الفيضان في الحوض. ولهذا فُدرّ الجريان السطحي اليومي لكل أيام السنة عبر نموذج ArcSWAT ولجميع الأحواض الفرعية. وربطها مع برمجية Excel أتيح تصور الحد الأقصى للجريان السطحي اليومي في كل سنة على حده . وبهذا تمكنا من التحقق من أكثر الأحواض فرعية المعرضة للخطر.

بيانات السيناريو للفترة 2011/1/1 إلى 2019/7/31

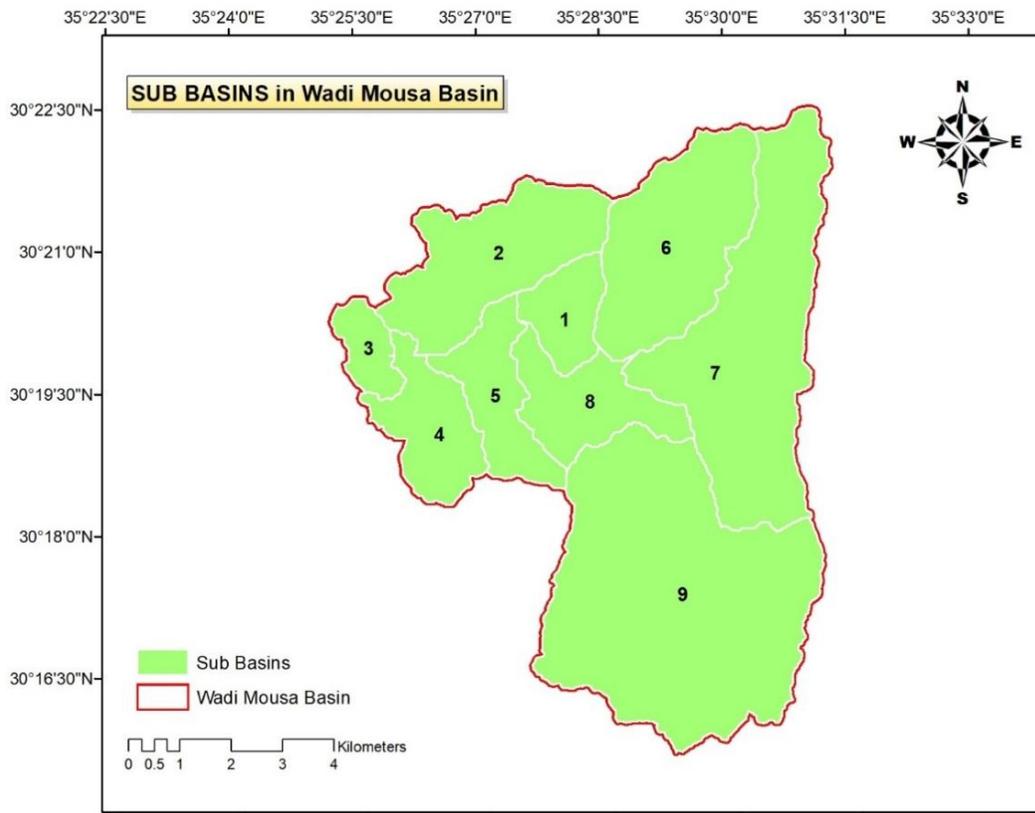
بداية تم استخراج قاعدة بيانات السيناريو (2011 - 2019) الموجودة في ملف Scenarios الذي تحفظ عليه قاعدة البيانات بشكل تلقائي إلى برنامج Excel وهكذا يسهل استخراج بيانات الجريان السطحي اليومي منفصلة، ومن خلال وظيفة Max في البرنامج تم تحديد الحد الأقصى للجريان السطحي اليومي بشكل فردي لكل سنة من سنوات السيناريو للسنوات ما بين (2011 - 2019) ويحفظ على ورقة عمل منفصلة Excel Worksheet ، ومن خلال وظيفة AVG تُنتج معدل الجريان الاقصى اليومي.

تتكامل البرمجية ArcGIS مع Excel عبر أداة Join لإنتاج جميع طبقات الجريان السطحي الأقصى اليومي (ملم). وبهذا يمكننا إنتاج خريطة خطر الفيضانات عبر متوسط الجريان السطحي الأقصى اليومي.

الفصل الرابع النتائج ومناقشتها والتوصيات

1.4 نتائج النمذجة الهيدرولوجية باستخدام Arc-SWAT

يستخدم SWAT بشكل متزايد في العمليات الهيدرولوجية لمستجمعات المياه على نطاق واسع ؛ نظرا لنتائج المقبولة والمفهومة في تطبيق النمذجة، واستكشافه درجة التعقيد بين المتغيرات المكانية المختلفة في الاحواض المائية الفرعية.



الشكل (41): الأحواض الفرعية في حوض وادي موسى

المصدر : عمل الباحث بالاعتماد على ArcSWAT 2012

تتنوع النتائج التي تستخرج عبر نمذجة ArcSWAT نظراً لغايات الأداة المختلفة التي تستند أيضاً إلى مدخلات متنوعة تستند عليها من بيانات تربة، ونموذج الارتفاع الرقمي DEM، وبيانات استعمال الأرض، وانتهاءً بالبيانات المناخية اليومية. تصنف النتائج التي

يستحصل عليها عبر المحاكاة إلى صنفين: نتائج سطحية (فوق السطح)، وتحت سطحية التي تمتد إلى المياه الجوفية العميقة في باطن الأرض بارتباط مع كل حوض من الأحواض التسعة الفرعية في حوض وادي موسى، الشكل (41).

1.1.4 نتائج السيناريو للفترة (2011 حتى 2019)

الجدول (10)

متوسط القيم الشهرية الناتجة عن نمذجة Arc-SWAT

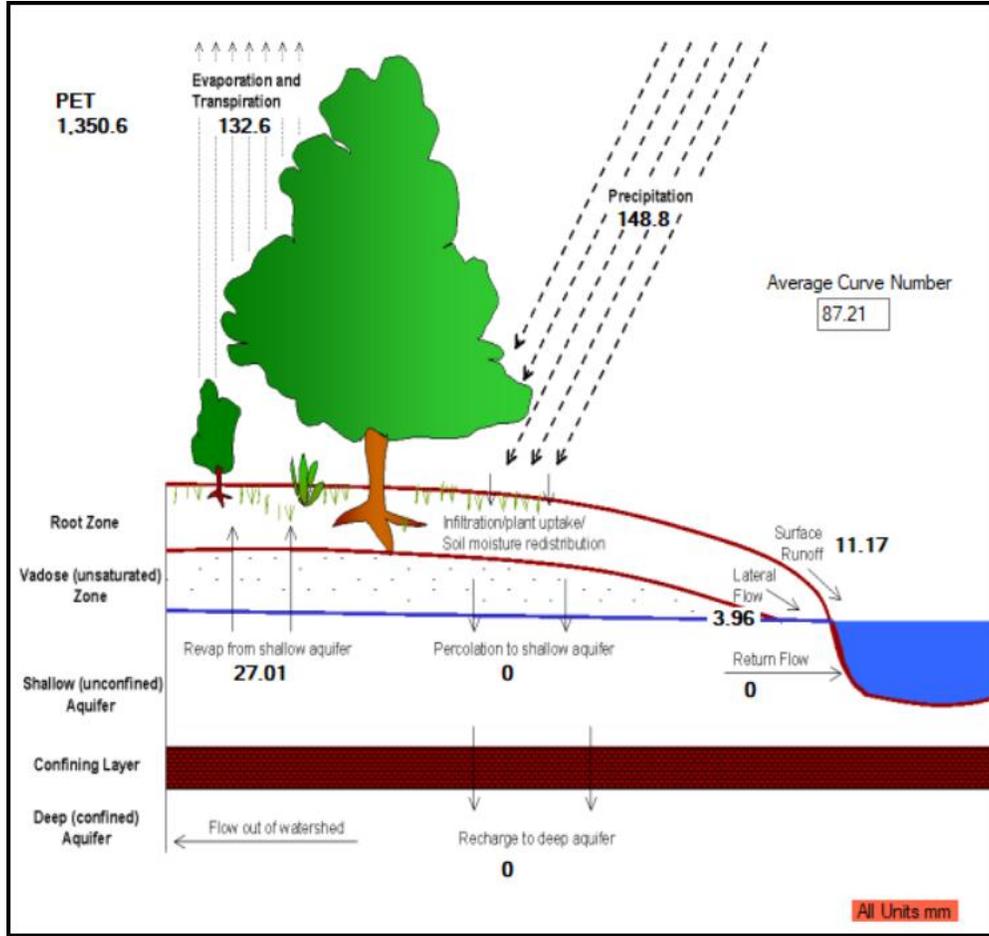
MON	RAIN (MM)	SNOW FALL (MM)	SURF Q (MM)	LAT Q (MM)	WATER YIELD (MM)	ET (MM)	SED YIELD (T/HA)	PET (MM)
1	34.21	8.49	1.79	0.45	2.24	9.7	0.44	70.24
2	33.9	2.26	3.36	0.58	3.94	12.97	1.98	81.68
3	18.32	0.98	2.01	0.66	2.67	15.96	0.77	113.43
4	11.37	0	0.6	0.52	1.12	20.28	0.18	133.34
5	8.03	0	1.02	0.45	1.47	21.62	0.22	158.32
6	0	0	0	0.28	0.28	11.34	0	156.36
7	0	0	0	0.18	0.18	8.45	0	146.81
8	0	0	0	0.13	0.13	6.6	0	131.66
9	0	0	0	0.08	0.08	4.67	0	110.48
10	9.35	0	0.76	0.09	0.84	4.58	0.28	96.68
11	9.31	0	0.12	0.16	0.28	6.63	0.02	72.93
12	21.6	5.09	1.2	0.27	1.46	6.76	0.41	68.5
Total	146.09	16.82	10.86	3.85	14.69	129.56	4.3	1340.43

حيث أن:

SURF Q: الجريان السطحي، LATQ: الجريان الجانبي، WATER YIELD: العائد المائي، ET: التبخر الفعلي، SED YIELD: ناتج الإرساب، PET: التبخر المحتمل. يوضح الجدول (10) القيم الشهرية المتوسطة للنواتج السطحية للمحاكاة والتي تم الحصول عليها من خلال نافذة SWAT Output، ويظهر متوسط النتائج الشهرية انخفاضاً واضحاً في

قيم كميات الأمطار والجريان السطحي، حيث تقدر معدل كميات الأمطار السنوية 146.09 ملم سنوي بقيم تتراوح بين (صفر إلى 34.21 ملم)، وبالتالي فإن أكثر الشهور الممطرة في هذا السيناريو هو شهر كانون الثاني بقيمة 34.21 ملم يليه شباط بقيمة 33.9 ملم يليه كانون الأول 21.6 ملم، ويقدر معدل الجريان السطحي السنوي 11.17 ملم، بقيم تتراوح بين (صفر إلى 3.36 ملم) بحيث أن أكثر الشهور جرياناً سطحياً هو شهر شباط.

مما يؤكد على جودة مخرجات أداة Arc-SWAT 2012 نمذجة الواقع الهيدرولوجي الذي يتيح ArcSWAT، التي تلخص لنا كافة نتائج القيم الشهرية السابقة في شكل واحد يمثل الدورة الهيدرولوجية الطبيعية في الحوض والتي نحصل عليها من نافذة SWAT Error Checker، الشكل (42).



الشكل (42): نمذجة الواقع الهيدرولوجي في حوض وادي موسى لفترة (2011 – 2019) يشمل التمثيل الهيدرولوجي القيم السنوية للدورة الهيدرولوجية من كميات الهطول، والجريان السطحي، والتبخر الفعلي والتبخر المحتمل، رقم المنحنى (CN)، الارتداد من طبقة المياه الجوفية الضحلة، الترشيح إلى طبقة المياه الجوفية الضحلة، إعادة التغذية إلى طبقة المياه الجوفية العميقة، التدفق الجانبي والتدفق العائد.

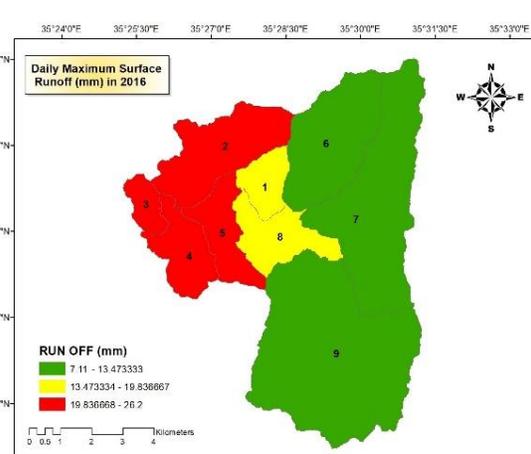
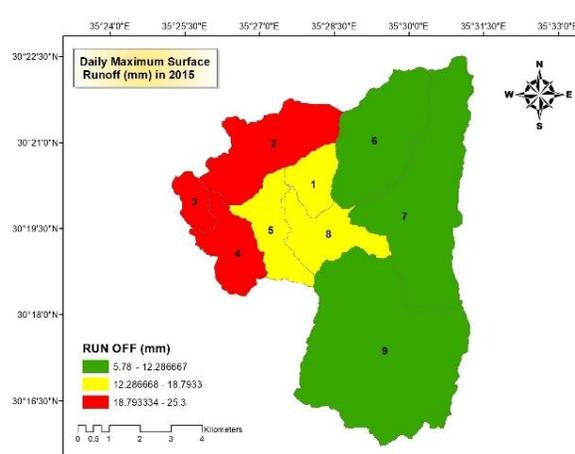
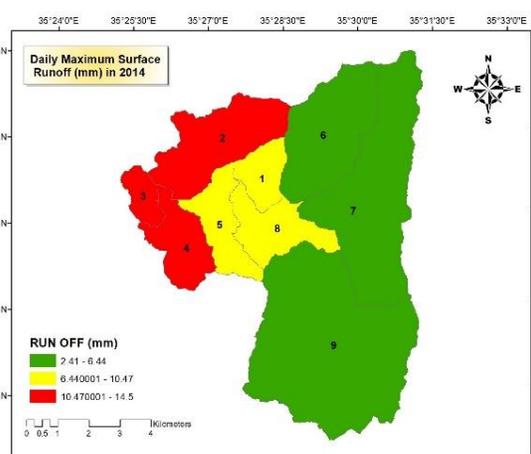
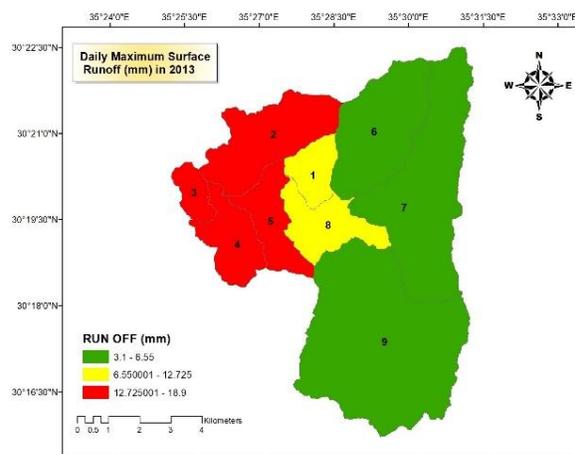
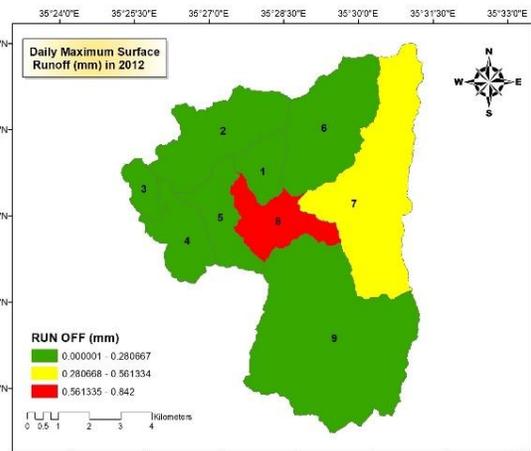
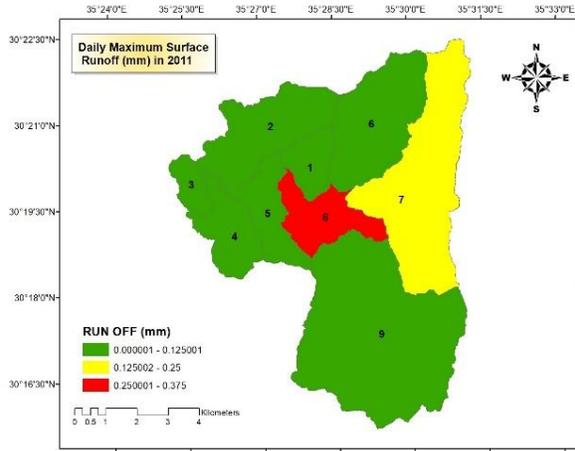
يساعد هذا التمثيل للمتوسط السنوي لقيم الدورة الهيدرولوجية في الحوض إلى المقارنة والتحقق بين مخرجات دورة المياه وفقاً لسيناريو فترة الدراسة 2011 – 2019 الذي تم إجراؤه، حيث أشار بصورة جلية لجودة النتائج.

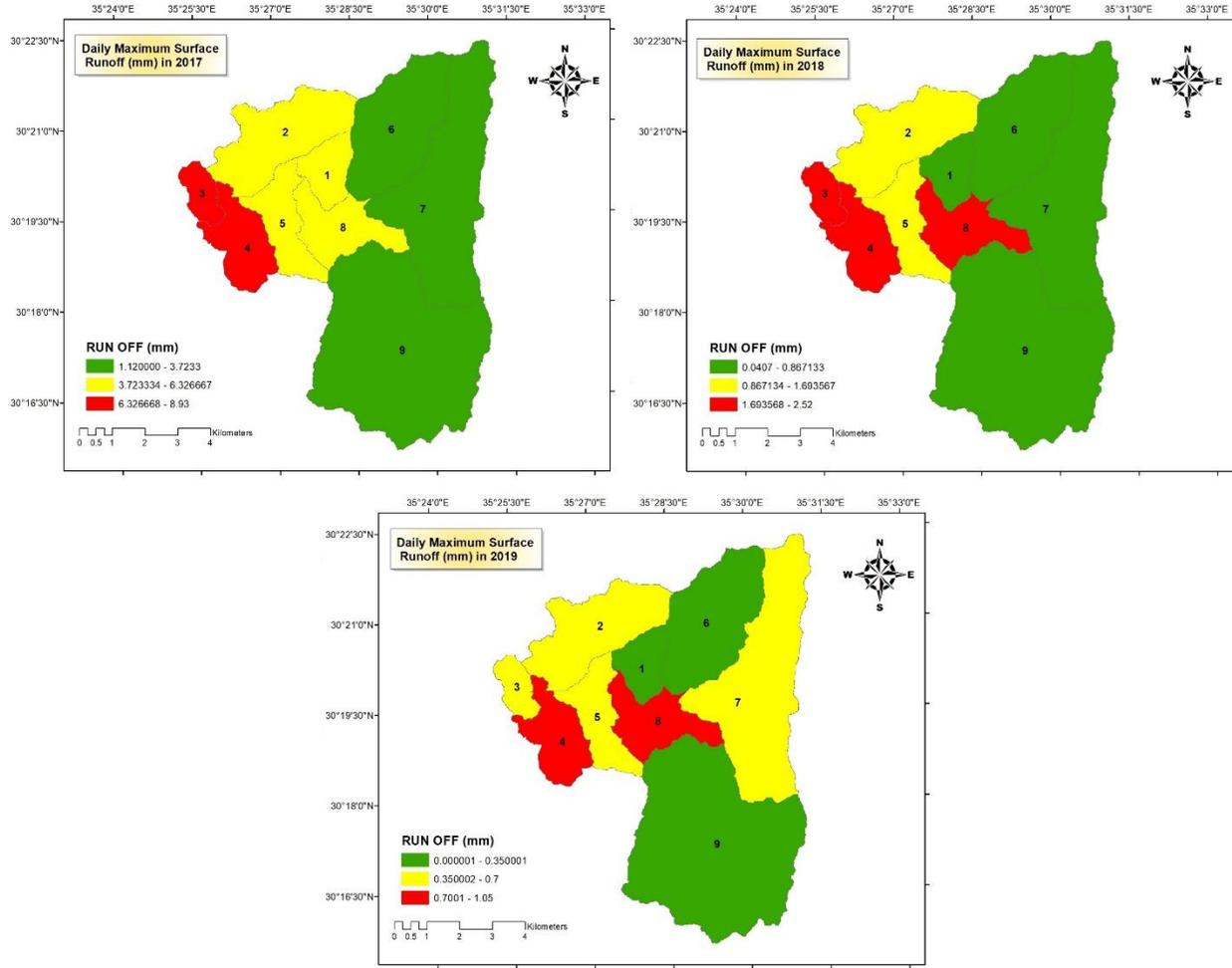
2.1.4 نتائج قياس الجريان السطحي

تعتبر نتائج Arc-SWAT 2012 ضرورية في هذه الدراسة لتقدير كميات الجريان السطحي في حوض وادي موسى من أجل تقييم قابلية التأثر بالفيضانات المفاجئة. ونظراً لأن ما يهمننا هنا هو بيانات الجريان السطحي Surface Runoff، فقط نظراً لعلاقتها المباشرة بالفيضانات فإننا نستخلصها وحدها، ونستبعد باقي نواتج النمذجة؛ لتوظيفها بالتكامل مع Excel لتصنيف الأحواض الفرعية وفقاً لكمية الجريان السطحي الأقصى اليومي لكل سنة من سنوات الدراسة بين 2011 حتى 2019 والتي يبينها الشكل (43)، حيث صنفت ضمن ثلاث فئات.

وتجدر الإشارة إلا أن الفيضانات المفاجئة تحدث في غضون وقت قصير لا يتجاوز ساعتين إلى ثلاث ساعات بحده الأقصى، ونظراً لأن البيانات التي تمكنا من توفيرها بيانات يومية للأمطار ودرجات الحرارة فإن أفضل طريقة ممكنة لتقديم نتائج مرضية هي طريقة التقييم عبر نمذجة الجريان السطحي اليومي، كما أن تصنيف الأحواض الفرعية من حيث كمية الجريان من أعلاها إلى أقلها جرياناً لن يختلف سواء أكان في ساعات المطر أم كان يومياً. بشكل عام، تتضح نتائج الحد الأقصى اليومي لمواقع الجريان السطحي خلال السيناريو في الفترة 2011 إلى 2019 من خلال الشكل (43)، حيث صنف الجريان في ثلاث فئات في جميع الأحواض الفرعية بناءً على المعادلة التي وُضحت مسبقاً. ويستخلص منه عدة أمور كالاتي:

1. وجود تفاوت كبير بين كميات الجريان السطحي الأقصى اليومي بين سنوات الدراسة نظراً للطبيعة المناخية في الحوض.
2. بلغ الجريان السطحي الأقصى أعلى درجاته في عامي 2015 و2016 على التوالي.
3. سجل الجريان السطحي أقل القيم في عامي 2011 و2012 على التوالي.
4. رغم تفاوت كميات الجريان السطحي الأقصى اليومي خلال السيناريو إلى ان تصنيف الأحواض ضمن ثلاث فئات يكاد يتفق بين الأحواض الفرعية من حيث الفئة الأقل جريان إلى الفئة الأعلى جرياناً.





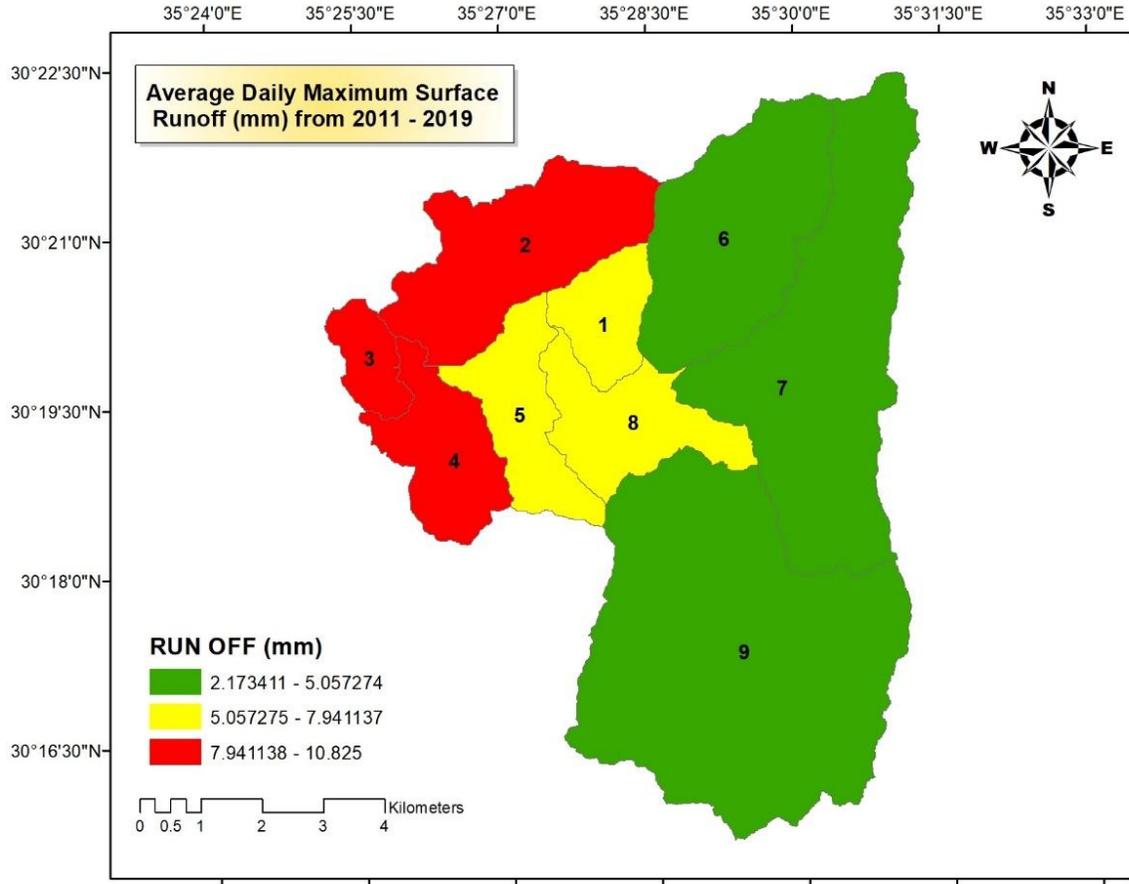
الشكل (43): الجريان السطحي الأقصى اليومي (مم) ضمن ثلاث فئات لسنوات الدراسة

المصدر : عمل الباحث بالاعتماد على Microsoft Excel و ArcSWAT 2012

ومن هنا فإن الغاية من حساب الجريان السطحي الأقصى اليومي استخراج متوسط

الجريان اليومي الأقصى للفترة من (2011 - 2019)، والذي يساعد نهايةً في تقييم قابلية

الأحواض الفرعية من حيث تعرضها للفيضانات المفاجئة، الشكل (44).



الشكل (44): متوسط الجريان السطحي الأقصى اليومي (مم)

يَظهر بذلك أن الحد الأقصى لمتوسط قيمة الجريان السطحي اليومي يتركز في المناطق الغربية من الحوض، وقيم الجريان المتوسطة في منتصف الحوض، أما المنخفضة ففي المناطق الشرقية من الحوض ذات المناسيب المرتفعة، وفي هذا إشارة إلى أن المناطق المنخفضة الغربية هي الأكثر قابلية من حيث التعرض الفيضانات.

3.1.4 خرائط خطر الفيضانات المفاجئة

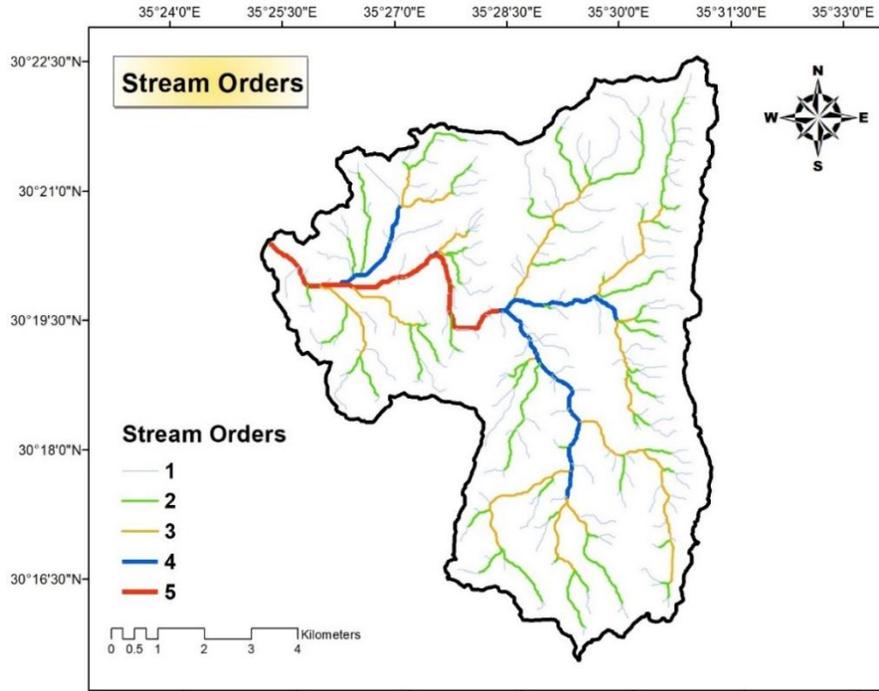
تعتبر كمية الجريان السطحي في من أهم عوامل الفيضانات، خاصة فيما يتعلق في رسم خرائط مخاطر الفيضانات. ومع ذلك، تعد بعض العوامل الأخرى، مثل السرعة والانتشار والزمن، مهمة جداً أيضاً بحسب الغرض من الخريطة. وبهذا فقط استندت الدراسة لتقييم

الفيضانات في وادي موسى على تقدير كميات الجريان السطحي، بالإضافة إلى الدراسة التاريخية لها في منطقة الدراسة.

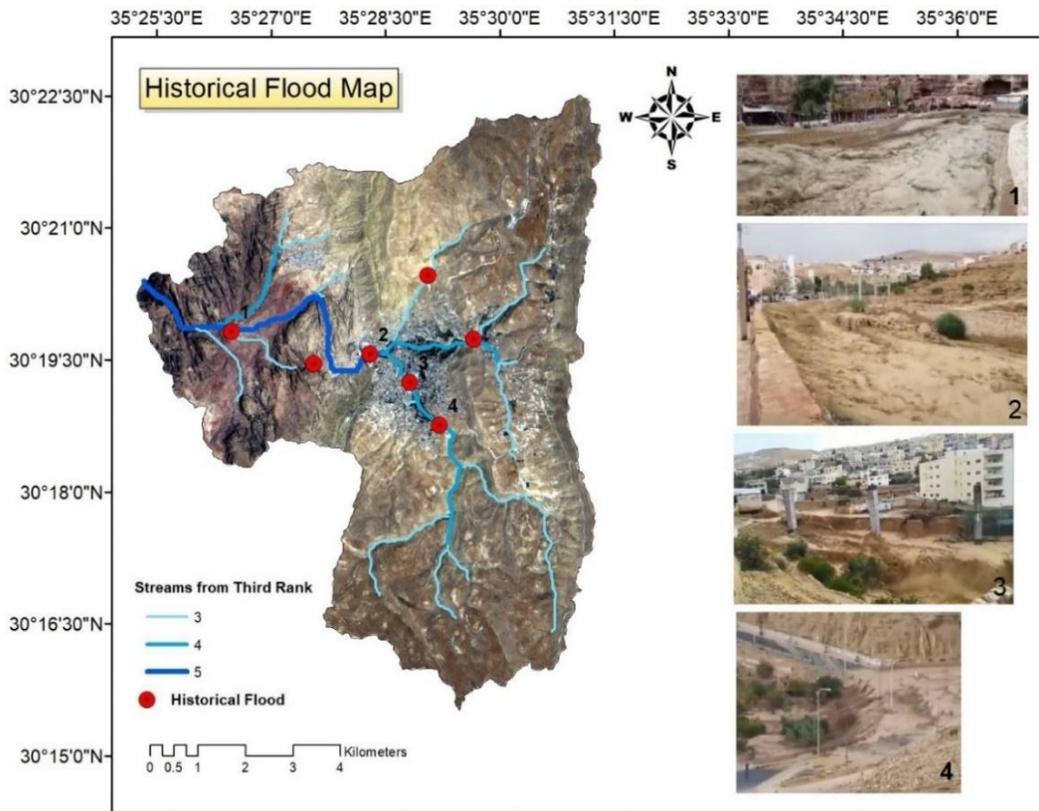
إعتمدت الدراسة على عامل كمية الجريان السطحي في تقييم الفيضانات، واستخراج خريطة خطر الفيضانات في حوض وادي موسى. ولكن بالإشارة إلى عامل السرعة ونظراً لتضاريس المنطقة المتفاوتة، وبشكل كبير بشكل انحداري من الشرق إلى الغرب ضمن مساحة الحوض الصغيرة والتي لا تزيد عن 74 كم² فإن في ذلك دلالة واضحة على السرعة الكبيرة للجريان المائي. وبالنسبة لعامل الزمن؛ فالفيضانات المفاجئة تحدث بشكل سريع، بحيث لا يمكن التنبؤ بوقت حدوثها.

أ. خريطة الفيضانات التاريخية

تُظهر الخريطة التاريخية للفيضانات المناطق التي تعرضت في السابق للفيضانات من الحوض، وقد حُددت مواقعها استناداً على الوثائق والفيديوهات المتاحة لتلك الفيضانات في الصحف اليومية (الجرائد)، وعلى الرغم من أننا نحتفظ بتفاصيل محدودة حول حوادث الفيضانات المفاجئة، فإن ما يهم هنا معرفة مواقعها حيث تمكنا من خلالها تحديد المجاري التي تبدأ عندها الفيضانات، إذ تم إقتطاعها بدءاً من الرتبة النهرية التي سجلت الفيضانات بداياتها منها، الشكل (45)، والشكل (46).



الشكل (45): الرتب النهرية في حوض وادي موسى تبعاً لإسلوب (Strahler)



الشكل (46): خريطة الفيضانات التاريخية في حوض وادي موسى

تبيين من خلال الدراسة التاريخية للفيضانات في الحوض ما يلي:

1. تتوافر العديد من التسجيلات التي تبين أماكن بدا السيول في الرتبة الثالثة من الشبكة المائية نظراً لوجود السكان في المنطقة الحضرية هناك، مع عدم توافر الكثير من الوثائق والتسجيلات في المنطقة الغربية عند المصب، ولكن الغاية كما أسلفنا الذكر من الخريطة التاريخية للفيضانات هنا؛ تحديد الشبكة المائية المعرضة لخطر الفيضانات فقط وليس تحديد أماكن تركزها.

2. تبدأ الفيضانات المفاجئة من المجاري المائية ذات الرتبة الثالثة.

3. تقتصر الفيضانات على المجاري المائية فقط ذات الرتب الثالثة والرابعة ثم الخامسة.

4. تحدث الفيضانات في الحوض على امتداد المجاري المائية في مختلف المواقع.

5. حدث في المنطقة عدة فيضانات شديدة نتج عنها العديد من القتلى والاصابات، ودمار

في الممتلكات، منها ما حدث في 1963م والتي تسببت بقتل 20 سائحاً.

6. في عام 1991، أدى فيضان إلى جرف مجرى مائي أعلى السيق، وتسبب في مشكلة خطيرة للزوار والسياح.

ب. خريطة خطر الفيضانات المفاجئة النهائية

تستخدم خرائط الفيضانات لأغراض متنوعة من قبل الجهات المسؤولة، غالباً في

التخطيط المكاني وتخطيط حالات الطوارئ (حظر الاقتراب من نطاق الخطر والإخلاء)

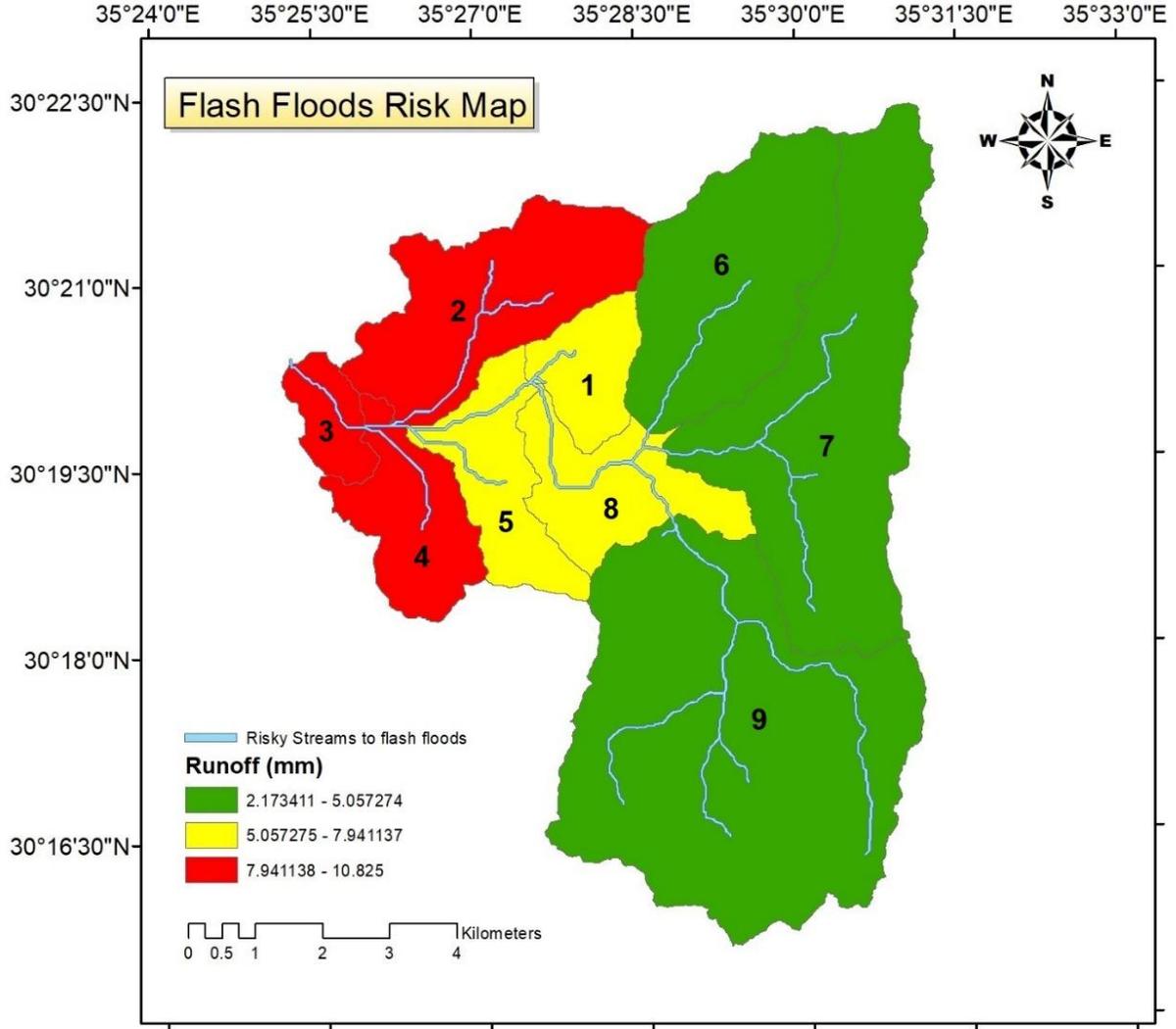
وتستخدم أيضاً لنشر الوعي بالفيضانات لدى عامة الناس.

تمكننا السيناريوهات السابقة من تشكيل صورة عامة لخطر الفيضان، ولكننا نستطيع

عبر دمج نتائج هذه السيناريوهات في خريطة واحدة إنشاء خريطة خطر الفيضانات في

المنطقة. إذ دُمجت نتائج الخريطة التاريخية والمجاري المائية وكميات الجريان السطحي لإنتاج

خريطة خطر الفيضانات المفاجئة النهائية، الشكل (47).



الشكل (47): خريطة خطر الفيضانات المفاجئة النهائية في حوض وادي موسى

يتبين من خلال خريطة خطر الفيضانات المفاجئة في حوض وادي موسى ما يلي:

1. تعد الأحواض الفرعية 2، 3، 4 الأحواض الأكبر قابلية لحدوث الفيضانات، تأتي بعدها الأحواض 1، 5، 8 ثم الأحواض 6، 7، 9 لكن هذا التفاوت بسيط جداً نظراً لمساحة الحوض الصغيرة.
2. جميع المجاري من الرتبة الثالثة وحتى الخامسة خطيرة بسبب حدة الفيضانات عند حدوثها.

3. يشتد الجريان شيئاً فشيئاً حتى يصل إلى أوجه في المجاري الغربية من الحوض وحتى المصب.

4. أن أخطر المجاري هما المجرى الذي يقطع الوادي بجانب منطقة السوق التجاري والمجرى الذي يقطع المدينة الأثرية؛ بسبب فاعلية النشاط السكاني هناك.

5. يقع كل من شارع مجمع الباصات السفلي وشارع عين الصدر على مجرى مائي شديد الخطورة؛ وقد غمرته الفيضانات سابقاً في فيضان وادي موسى الكبير عام 2018.

أما بالنسبة لمدينة البترا الأثرية فيتبين الآتي:

أ. يقطع المدينة الأثرية مجرى مائي شديد الخطورة.

ب. نظراً لصغر عرض السيق (الطريق الرئيسي المؤدي لمدينة البترا والذي ينتهي عند الخزنة، وهو عبارة عن شق صخري يتلوى بطول حوالي 1200م، وبعرض 3-12م)، فلم يتضح في المجاري التي تم استخلاصها لصعوبة استشعار الأقمار الصناعية له نظراً لاختفائها عنها تحت الجبال الصخرية.

ت. يعد السيق أحد أكثر المواقع نشاطاً للسياح، ويقع ضمن مجرى مائي شديد الخطورة.

2.4 إدارة الفيضانات المفاجئة في الحوض Flash Floods Management

يُصنف الأردن حالياً في المرتبة الأولى كأكثر بلدان العالم ندرةً في المياه. حيث سجل درجة خطر كبيرة تقدر 4.56 تبعاً لأطلس مخاطر المياه التابع لمعهد الموارد العالمية World Resources Institute's (Dormido, 2019)، وبهذا فإن الأردن يتجه نحو أزمة مائية حرجة مع احتمالية حدوث عجز حاد في السنوات القليلة المقبلة، هذا يقودنا للزوم العمل على إيجاد الحلول المثلى بأسرع وقت ممكن بالاعتماد على نتائج أبحاث مؤسسات البحث العلمي.

يحدّد الوضع المائي المستقبلي في الأردن بشكل أساسي من قبل التوازن المائي في المناطق الجبلية، حيث إن معظم الأمطار المفيدة في الدولة تحدث هناك، من ناحية أخرى تُزرع الزراعة البعلية (المياه الخضراء) هناك، بالإضافة إلى كمية كبيرة من الجريان السطحي، والتحت سطحي. (Oroud, 2008)، ويتمثل الجريان السطحي بالفيضانات والسيول التي يُتاح إدارتها بدل أثرها التدميري، وضياعها دون الاستفادة منها.

استقرت في منطقة وادي موسى عدة شعوب بداية بالادوميين مروراً بالأنباط، وإلى عصرنا الحديث، حيث تعد جزءاً من الدولة الأردنية ويسكنها قبائل بني ليث الذي بلغ عددهم 19828 نسمة في آخر إحصائية سكانية عام 2015 (دائرة الإحصاءات العامة، 2015)، غير أننا سنناقش واقع إدارة الفيضانات عند الأنباط خصوصاً، حيث لا تزال كثير من أجزاء أنظمة المياه النبطية موجودة في المدينة حتى حاضراً، وقد وجهت جهود اللجان المختصة للاستفادة من خبرات الأنباط في معالجة قضية الفيضانات والسيول في المنطقة.

1.2.4 إدارة الفيضانات عند الأنباط

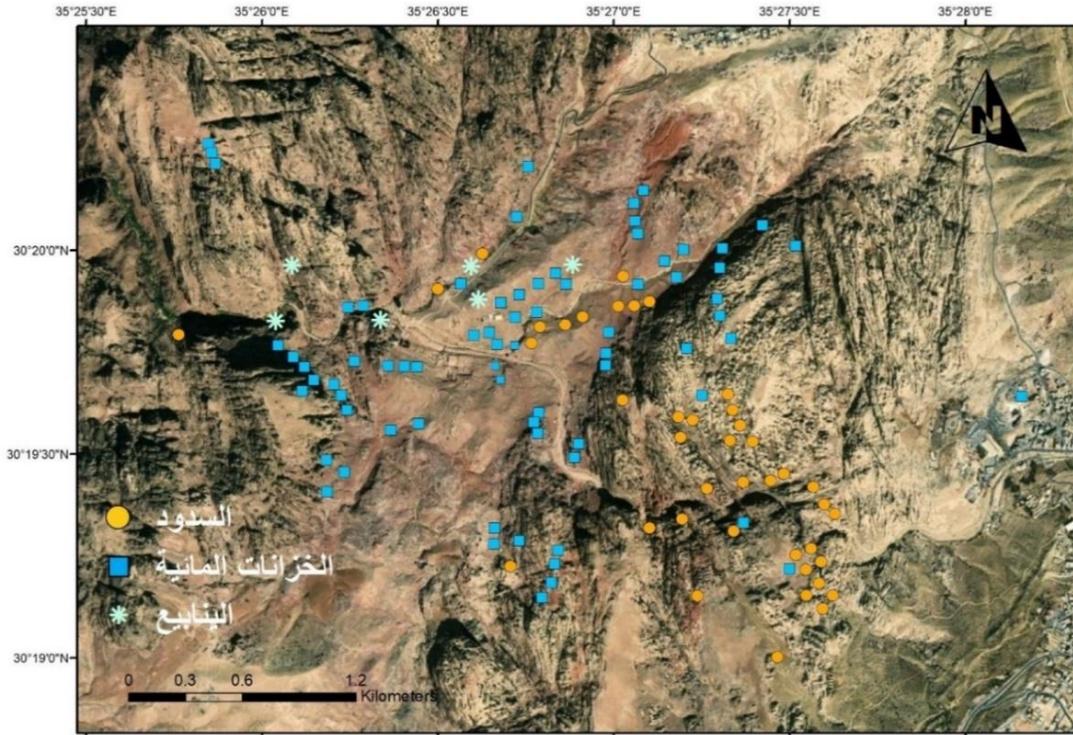
تميزت الحضارة النبطية عن غيرها من الحضارات القديمة أنها لم تنشأ على ضفاف الأنهار كحضارة بلاد الرافدين والحضارة المصرية القديمة . بل قامت في منطقة جافة شحيحة الموارد المائية، ونظراً لإحتياجات السكان فقد حاول الأنباط ابتكار أساليب متعددة في كيفية تجميع مياه الأمطار والحفاظ عليها، واتبعوا عدة تقنيات لخص المياه السطحية، حيث ابتكروا العديد من تقنيات الحصاد المائي منها بناء السدود والحوجز الأرضية، إضافة إلى بناء البرك والقنوات وتقنية تصريف مياه الامطار من المنازل. (السلامين، 2018)

تطورت في البترا وجوارها في الفترة النبطية تقنية الحفاظ على الماء وإدارته واستدامته، وأصبح الاستيطان غير مرتبط بشكل مباشر بمياه الينابيع، وكانت الزراعة خلال الفترة النبطية في هذه المنطقة قائمة على جمع مياه الامطار والاستفادة منها، إذ تشير الدراسات المناخية الى ان المناخ كان جافاً خلال الفترة النبطية، كما كانت معدلات الهطول أفضل بقليل مما هي عليه في هذه الأيام. (Kouki, 2012)

لقد دُفع الأنباط لإبتكار تقنيات وأساليب لمواجهة خطر الفيضانات وللإستفادة من مياه الأمطار بالإضافة إلى البحث عن مصادرها لإستخدامها في حاجاتهم المختلفة، نظراً للشح المائي فقد كانت حياتهم منقسمة ما بين المناطق الصحراوية وشبه صحراوية، حيث كانت معدلات الهطول المطري في المملكة النبطية تتراوح بين (100 - 300) ملم، لهذا فقد ابتكروا عدة أساليب وتقنيات لحصاد المياه لضمان عيشهم عبر جمع مياه الامطار، ونقلها وإستخدامها

لأغراض الشرب والزراعة وإرواء الحيوانات ضمن نظام مائي مُحكم، يضم جميع أحياء المدينة لتلبية احتياجات الناس اليومية كلها، ويتكون هذا النظام المائي من القنوات والسدود والآبار والخزانات. (الفرجات، 2020)

يبين التوزيع الجغرافي للسدود والخزانات المائية والينابيع المكتشفة داخل البترا، توزع السدود في أرجاء الأودية بعدد قد بلغ 41 سد، يلحظ تركيز السدود في الناحية الشرقية التي التي تتوجّه بها الفيضانات والسيول نحو السيق، يشير ذلك إلى أنه الاتجاه الأكثر خطراً على المدينة، وهذا ما يلحظ في يومنا هذا، أما وجود أعداد الخزانات الكبير 70 خزان مائي لجمع المياه القادمة من مياه الامطار والينابيع الداخلية (داخل حدود المدينة) والخارجية فيشير إلى مدى استغلالهم لمياه السيول والفيضانات، وتقديرهم لاهمية كل قطرة مطر، ويوضح مدى براعة الأنباط في مجال الهندسة المائية، الشكل (48).



الشكل (48): التوزيع الجغرافي للسدود والخزانات المائية والينابيع داخل البترا
المصدر : عمل الباحث باستخدام ArcGis 10.2.2 بالاستناد الى (Ortloff, 2014)

ومن الأساليب التي اتخذها الأنباط في إدارة الفيضانات :

1. تحويل الفيضان عبر الوادي المظلم لكي لا تدخل السيق وتهدهم وممتلكاتهم.
2. استخدام الهندسة المائية في تصميم القنوات والخزانات المائية .
3. عمل سدود مائية في الجهات العليا لتخفيف حدة الفيضانات ورواسبها قبل وصولها إلى المدينة.

4. شحن الخزانات الجوفية المحلية المستفاد منها في الشرب والزراعة وري الحيوانات. لا يزال هذا النظام المائي المبتكر موجودة في المدينة إلى وقتنا الحاضر كما وضحنا، وعلى الرغم من حالة الخراب السائدة بسبب عدم الترميم لا زال الكثير من أجزاء النظام نشطاً حتى وقتنا الحاضر، حيث يمكن إعادة ترميمه بتكلفة منخفضة لاستغلال مياه الامطار التي تذهب في الاودية هباءً، واستخدامها في سقاية الحيوانات والزراعة بدل من ذلك.

ويبدو أن جميع المنشآت التي كانت تستخدم لتخزين الماء كانت ذات جدران مقصورة، وكانت مسقوفة للحد من التبخر والتلوث. وقد ابتكر الأنباط نظامهم المائي في منتصف القرن الأول قبل الميلاد، واستمر هذا النظام فعالاً حتى عام 363م، حيث حدثت هزة أرضية أدت الى تعطل الكثير من أجزاء هذا النظام. وقد أدى اتباع هذه الأنظمة المميزة والمتطورة إلى مكافحة مخاطر الفيضانات المدمرة، وتخزين كميات أكبر من الماء، وبالتالي فلاحه أكبر رقعة جغرافية ممكنة، الامر الذي أدى إلى استغلال أمثل لكل الموارد الزراعية المتاحة في كافة أرجاء المملكة النبطية، وخصوصاً تلك التي تحوي تربة ملائمة للزراعة. (السلامين، 2018).

تعد الآثار الباقية من النظام المائي النبطي وفعاليتها إلى وقتنا الحاضر رغم غياب الترميم والإصلاح لقرونا ممتدة علامة واضحة على إستدامة الانباط لتلبية حاجات الأجيال مع منع الاضرار بالبيئة، ذلك يقودنا بأن إصلاح هذا النظام النبطي وترميمه واستثماره في حاضرنا يعد أحد الإجراءات المثلى التي علينا اتخاذها.

2.2.4 واقع إدارة الفيضانات حديثاً

لقد عملت اللجان المختصة بإدارة الكوارث في سلطة إقليم البتراء التتموي السياحي على الاستفادة من خبرات الأنباط والخبرات العالمية وطبقت الأساليب الحديثة في إدارة كوارث الفيضانات والسيول لحل المشكلة، وتتمثل الإجراءات التي قامت بها السلطة بالآتي :

1. تأسيس قسم إدارة الكوارث وغرف العمليات المتخصصة في مواجهة الكوارث الطبيعية وتجهيزها بأجهزة الحاسوب والمعدات اللازمة، وتدريب الكوادر في السلطة.
2. إنشاء نظام الإنذار المبكر للفيضانات الذي يعمل بآلية رصد كميات الأمطار عبر المحطات الموزعة في المدينة ثم تقدير الجريان السطحي ليعطي الحاسوب إنذاراً صوتياً بالخطر، إذا وصلت كمية الجريان إلى حد خطر الفيضان، يعطى التنبيه الصوتي للسياح والمزارعين والسكان للخروج من نطاق الخطر والنجاة قبل وصول الفيضان.
3. عمل حواجز وسدود على الأودية عبر العشرين سنة الماضية (منذ عام 2000)، وعمل شبكة تصريف داخلية لمياه الأمطار مكونة من قنوات وعبارات.

3.4 التوصيات

1. نشر التوعية بين المواطنين وإرشادهم من خلال تحذيرهم من التواجد في حرم الأودية وتدريبهم على التعامل مع الكارثة.
2. عدم إعطاء الرخص ومنع البناء في حرم الأودية، مع الحفاظ على الغطاء النباتي وزيادة مساحته.
3. نشر صافرات الإنذار وتوصيلها بحيث تغطي كامل أنحاء محمية المدينة الأثرية (البترا) بالإضافة للأودية المعرضة للخطر، عبر إستغلال نظم المعلومات الجغرافية التي تقدم أفضل نتائج ممكنه.
4. العمل على إنشاء خرائط خطر الفيضانات في المنطقة وفي جميع أنحاء المناطق المعرضة لخطر الفيضانات في الدولة، حيث يستفاد من خبرات الدول التي تعمل على توفيرها.
5. من المهم التعامل بشكل صحيح مع الفيضانات المفاجئة، والأخذ بجميع التدابير الوقائية اللازمة فهي الحل الأفضل مع المراعاة بعين الاعتبار عدم اليقين المحيطة بفشلها.
6. العمل على التوسع في مشاريع الحصاد المائي في الحوض. ونظرا لوجوب عدم الإضرار بالنظام الطبيعي، فإن حصاد مياه الفيضانات يجب أن يكون متوازن الكمية على إمتداد الأودية، بحيث لا يضر في منطقة المصب (وادي عربه)؛ إذ تصب مياه الفيضانات في وادي عربه لحقن المياه الجوفية وزيادة المخزون فيها وزيادة رطوبة التربة، واستخدامها في نمو النباتات الرعوية، وبالتالي فإنها مصدر مائي أساسي للحياة البيولوجية هناك؛ بسبب شح مخزون المياه السطحية لإنخفاض معدلات سقوط الأمطار وتذبذبها.
7. مراعاة إجراء عملية المعايرة والتحقق في نمذجة ArcSWAT عبر بيانات جريان سطحي "مقاسة" لإنتاج بيانات جريان سطحي يومي ذات دقة أفضل.

المراجع

المراجع العربية

- الإسكو، الامم المتحدة. (2016). التوسع العمراني والتنمية المستدامة في المنطقة العربية. لبنان: الإسكو، بيروت.
- البكري، جواد. (2008). تربة الاردن. الأردن: الجامعة الاردنية.
- دائرة الاحصاءات العامة (2015). عدد سكان المملكة حسب التقسيمات الادارية والجنس والأسر استناداً لنتائج التعداد العام للسكان والمساكن. عمان، الأردن: مديرية الإحصاءات السكانية والإجتماعية.
- دائرة الأرصاد الجوية (2019). بيانات مناخية غير منشورة (كميات الأمطار اليومية ودرجات الحرارة الصغرى والعظمى اليومية للفترة من 2011 الى 2019).
- دائرة الارصاد الجوية (بدون تاريخ). الفرق بين مقياس الحرارة في محطات الرصد الجوي والمركبات. دائرة الارصاد الجوية : <https://2u.pw/mMRBo>
- زيادات، فراس. (2013). ترب الاردن. المعهد الفرنسي للشرق الأدنى.
- سعيد، صلاح. (2016). انواع المنحدرات. مصر: مركز الابحاث الجغرافي.
- السلامين، زياد. (2018). البتراء تاريخها وآثارها. عمان، الأردن: مطبعة السفير.
- شحادة، نعمان. (1991). مناخ الاردن. عمان: دار البشير.
- الصبابحة، نوح. (2018). تقييم قابلية حدوث السيول في الأقاليم الجافة من منظور جيومورفولوجي (وادي موسى-جنوب الاردن-) دراسة حالة. مجلة كلية الآداب. القاهرة، 78(عدد اكتوبر علوم اجتماعية)، 1-30.
- فريق المحمية. (2015). منشور لفريق محمية البتراء. الأردن: فريق محمية البتراء.
- محمد الفرجات. (2020, NOV 23). مقابلة بعنوان إدارة الفيضانات والسيول في حوض وادي موسى. (الباحث وقاص عايد).
- النوافله، هاني. (2018). جيولوجية إقليم البتراء. عمان، الأردن: مجلة جامعة الحسين للبحوث، المجلد (4)، العدد. 2018 (1).

- Al Kuisi, M. a. (2015). Hydrogeochemistry of groundwater from karstic limestone aquifer highlighting arsenic contamination: case study from Jordan. **Arab J Geosci**, 9700 - 9720.
- Alhasanat, H. (2014). Flash Flood Assessment for Wadi Mousa City-Jordan. **Procedia Economics and Finance** 18 (2014) 675 – 683.
- Al-Rawi, C. D. (2014, 9). **Petra The Rose-Red Wonder**. Retrieved from **GEO ExPro**: <https://www.geoexpro.com/articles/2014/04/petra-the-rose-red-wonder>
- Al-Weshah, R. a.-K. (1999). Flood Analysis and Mitigation for Petra Area in Jordan. **Journal of Water Resources Planning and Management** 125 (3): 170-177.
- Ayyash, R. (2020). **Modeling Flash Floods Hazards in Zarqa River Basin**. **Mutah University**, College of Graduate Studies, Mu`tah University.
- Bellwald, U. (2007). **The Hydraulic Infrastructure of Petra: Model for Water Strategies in Arid Land**. From: Studies in the History and Archaeology of Jordan pp. 315-324.
- C. Karcher, and other. (2013). Alternative Land-Use Method for Spatially Informed Watershed Management Decision Making Using SWAT. **JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING** © ASCE, 1413-1423.
- Dormido, H. (2019, 8). **These Countries Are the Most at Risk From a Water Crisis**. Retrieved from **Bloomberg**: <https://www.bloomberg.com/graphics/2019-countries-facing-water-crisis/>
- Facility Alaska Satellite, F. (n.d.). **ALOS PALSAR – About**. Retrieved from **EARTHDATA**: <https://asf.alaska.edu/data-sets/sar-data-sets/alos-palsar/alos-palsar-about/>
- Khalid, C. (2017). **Hydrological modeling of the Mikke´s watershed (Morocco) using ARCSWAT model**. *Sustain. Water Resour. Manag.* DOI 10.1007/s40899-017-0145-0.
- Kouki, P. (2012). **The Hinterland of a City : Rural settlement and land use in the Petra region from the Nabataean-Roman to the Early Islamic period**. Helsinki Finland: University of Helsinki.
- M.WINCHELL. (2013). **ARCSWAT INTERFACE FOR SWAT 2012**. Retrieved from <https://swat.tamu.edu/docs/>
- Neitsch SL, A. J. (2011). **Soil and water assessment tool theoretical documentation—version 2009**. Texas water resources institute. Technical report No. 406. Texas A&M University system, College station, Texas 77843-2118.

- Oroud, I. M. (2008). **The Impacts of Climate Change on Water Resources in Jordan. Kerak, Jordan**: Mu'tah University.
- Ortloff, C. R. (2014). **Hydraulic Engineering in Petra**. Encyclopaedia of the History of Science, and Medicine in Non-Western Cultures 1-13.
- U.S Geological Survey. (2019). **EarthExplorer**. Retrieved from <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- U.S. Geological Survey. (2017, July 18). **Landsat-8**. Retrieved from U.S. Geological Survey: <https://2u.pw/StOqA>

المعلومات الشخصية

الاسم: وقاص عايد النوافله

التخصص: الماجستير في نظم المعلومات الجغرافية GIS

الكلية: العلوم الاجتماعية

سنة التخرج: 2021