The Spatial modeling for the dangers of torrents in valley Al-Makhrouk basin, north of Qurayyat, Saudi Arabia

Dr. Mohsen Muhammad Ali Awouda
College of Arts - King Faisal University
E-mail: Mohsenawawdeh@gmail.com

Abstract :

Due to the excessive amount rainfall, flash flooding's take place in dry areas as it cause significant properties and lives loss. Urban and agricultural areas, railway route down the mouth of Al-Makhroug Valley north of Quryate city, which are placed in danger of frequent flooding's. It is crucial to take such flooding's into consideration as the decision maker must set rapid measures to minimize the dangers of such flooding's. The current study aims are to analyze the hydromorfemetric features, estimate the amount of flooding's to the basin of Al-Makhroug Valley, to identify the urban and agricultural areas in dangers, the dangers that threatens the north rout of the railway which located in the area of Al-Makhroug Valley, the tributaries and estuaries which are exposed to the dangers of the flooding's.

To accomplish such goals, the warehouse management system (WMS) was used to calculate the credit of the hydromorfemetric features. Moreover, the geometric hydrology model (HEC-HMS) was used to calculate the hydrographic flooding curve to the different draingag basins, to estimate the calculation of the amounts of the flooded water, and to also calculate the rates of its flow based on (SCS Unit Hydrograph). The rainfall periods have been analyzed and estimated its depth in the previous years (100, 50, 25, 20, 10, 5) according to the Al-Hadethah city station (SK 114).

The study results revealed that Al-Makhroug Valley stretch's long is 92.42 kilometers, the space area of the basin is about 1327,6 Km2, and the amount of the flooding's is estimated between 21400-8676400 m2 during the previous year's 5-100.

The maximum flooding flow amount to Al-Makhroug Valley is between 61.9-0.2 m3/s during the periods 5-100. The result of the estimated risks of Al-Makhroug Valley flooding's is about 14% of Al-Hadithah port which is exposed to the flooding's that contains existing facilities which are presented in farries and bridges cannot pass the maximum flow to Al-Makhroug Valley basin. Therefore, this matter increases the dangers of flooding's against the North railway. However, the present study has come up with important recommendations to reduce the risks of Al-Makhroug Valley flooding's.

Keywords: Hydromorfemetric study,Hydrology Model,Al-Makhroug Valley Basin, Al-Hadithah Village,The North Railway,Flooding risksAreas exposed to flooding's.

النمذجة المكانية لأخطار السيول في حوض وادي المخروق شمال مدينة القريات، المملكة العربية السعودية

د.محسن محمد علي عواودة[1]
جامعة الملك فيصل /كلية الآداب
E-mail: Mohsenawawdeh@gmail.com

المخلص:

تحدث السيول المفاجئة في المناطق الجافة وشبه الجافة كنتيجة لتساقط الأمطار المفرط مما تسبب خسائر فادحة في الأرواح والممتلكات، وتتعرض المناطق العمرانية والزراعية ومسار السكة الحديد أسفل مصب وادي المخروق شمال مدينة القريات لمخاطر سيول متكررة أصبح من الضروري الوقوف على مدى خطورتها وتمكين متخذ القرار من اتخاذ تدابير كافية للحد من أخطارها، والهدف الرئيس من هذه الدراسة هو تحليل الخصائص الهيدرومورفومترية، وتقدير أحجام السيول لحوض وادي المخروق، وتحديد المناطق العمرانية والزراعية، والمخاطر التي تهدد سكة قطار مسار الشمال الواقعة في حرم وادي المخروق وروافده ومصباته والمعرضة لمخاطر السيول.

ولتحقيق هذه الأهداف تم استعمال برنامج نظام نمذجة الأحواض المائية (WMS) لحساب الخصائص الجيومروفومترية، وتم استعمال النموذج الهيدرولوجي ذو النظام الهندسي (HEC-HMS) لحساب منحنى هيدروجراف السيول لأحواض التصريف المختلفة، وتقدير حساب كميات مياه السيول، ومعدلات تدفقها اعتمادًا على طريقة (SCS Unit Hydrograph)، وتم تحليل وتقدير عمق الأمطار لفترات رجوع مختلفة (٥،١٠،٢٠،٢٥،٥٠،١٠٠ سنة) بالاعتماد على محطة منطقة الحديثة (SK114).

وكشفت نتائج الدراسة أن حوض وادي المخروق يمتد بطول يصل إلى ٩٢.٤٢ كم، وتبلغ مساحة الحوض نحو ١٣٢٧.٦ كم^{2}، وحجم السيول يتراوح ما بين ٢١٤٠٠ – ٨٦٧٦٤٠٠ م^{3} خلال فترات الرجوع (٥ – ١٠٠ سنة)، وقد بلغت قيمة التدفق الأقصى للسيول لحوض وادي المخروق ما بين ٠.٢ – ٦١.٩م^{3}/ث خلال فترة الرجوع المختلفة (٥ – ١٠٠ سنة)، وأظهرت نتائج تقييم مخاطر السيول لوداي المخروق أن نحو ١٤% من مساحة منفذ مجمع الحديثة يتعرض للغمر، كما أن المنشآت القائمة والمتمثلة في العبارات والجسور لا تستطيع تمرير تدفقات الذروة لحوض وادي المخروق، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة مخاطر السيول أمام سكة حديد قطار الشمال، وقد توصلت الدراسة إلى مجموعة من التوصيات الهامة لتخفيف حدة مخاطر السيول لوداي المخروق.

الكلمات المفتاحية: الدراسة الهيدرومورفومترية –النموذج الهيدرولوجي –حوض وادي المخروق – قرية الحديثة – مسار قطار الشمال – مخاطر السيول – المناطق المعرضة للغمر.

١) تخصص الجيومورفولوجيا، قسم الدراسات الاجتماعية، كلية الآداب بجامعة الملك فيصل، المملكة العربية السعودية.

أولًا: مقدمة:

تعد دراسة مخاطر وفصلية السيول امرا مهما محكم ٣ لتحديد المناطق المناسبة أو المثلى لاستعمالات الأرض إضافة إلى تفادي القدر الممكن من اثآر السيول من خلال الاعتماد على خرائط مخاطر السيول (Bapalu and Sinha, 2005)

تنتج السيول نتيجة هطول الأمطار الغزيرة التي تسبب زيادة في كمية المياه في أحواض التصريف، إضافة إلى تغيرات استعمالات الأرض في أحوض التصريف نتيجة للأنشطة البشرية والتطبيقات الهندسية المختلفة مما ساعد في زيادة حجم وتكرارية السيول، هناك حاجة ملحة لإيجاد طرق ونماذج للتفسير والفهم للعوامل التي تسبب كل هذه المشاكل، وبالتالي العمل على تخفيف الآثار المدمرة للفيضانات، والتي زادت في السنوات الأخيرة (Pradhan and Lee, 2010).

هناك عوامل أخرى تؤثر بشكل رئيس في السيول، خاصة في المناطق الصحراوية حيث شملت هذه العوامل شبكات التصريف المائي، ورتب المجاري المائية، وفقدان المياه، والعمليات التي تربط الأنسان بالبيئة، وخصائص هطول الأمطار وخصائص أحواض التصريف المائي (Youssef, et al, 2009)، وتمت دراسة خصائص أحواض التصريف الرئيسة والفرعية في مناطق مختلفة من العالم باستخدام الطرق التقليدية (Horton, 1945; Strahler, 1957; Al Saud, 2009).

في هذه الدراسة تم تطبيق النموذج الهيدرولوجي ذو النظام الهندسي (Hydrologic Engineering Centre– Hydrologic Modelling System, (HEC–HMS) الذى يعد أحد النماذج الهيدرولوجية التي تستوفي المعايير المحلية والعالمية، وبرنامج مركز الهندسة الهيدرولوجية – نظام النمذجة الهيدرولوجية (HEC–HMS): هو برنامج حاسوبي هيدرولوجي يختص بنمذجة ومحاكاة علاقة الأمطار بالجريان السطحي في أحواض التصريف المائية، وهو النسخة المحدثة وذات الواجهة الرسومية من برنامج HEC–1، ويستخدم البرنامج في عمل كافة الحسابات الهيدرولوجية، ومن أهم مخرجاته حساب التصرفات، والتسرب للمياه الجوفية، وحركة الماء في المجاري المائية، والفاقد، والرشح الكلي، والمطر المتبقي، وقيم الجريان المباشر (أشرف، ٢٠٢٠م)، ومن أبرز الدراسات التي استعملت برنامج (HEC–HMS) دراسات (Saliya, et al, 2015; Khalil, et al, 2017).

تتعرض مدينة القريات لتأثير العديد من الأودية القادمة من الحدود الأردنية، ويعد وادي المخروق أحد الاودية الخمسة التي تؤثر على مدينة القريات وهذه الأودية هي من الجنوب إلى الشمال وادي سرمداء الذي يؤثر على قرى الناصفة وجماجم والرديفة، ووادي باير الذي يؤثر على قريتي غطى وباير، ووادي حصيدة أم نخلة الذي يؤثر على مدينة القريات، ووادي حصيدة الغربية الذي يؤثر على الجزء الشمالي من

مدينة القريات، وادي المخروق من الشمال الذي يؤثر على قرية الحديثة، ويعد وادي المخروق ثالث الأودية من حيث المساحة بعد واديي باير وسرمداء، وتحاول هذه الدراسة تقييم أخطار السيول لحوض وادي المخروق على المناطق الزراعية والعمرانية والبنية التحتية.

ثانيًا: إشكالية الدراسة:

تتلخص إشكالية الدراسة في نقاط محددة وهي:

- تتعرض قرية الحديثة ومنفذ مجمع الحديثة إلى كميات كبيرة من الجريان السطحي كل عام بسبب وقوعهما أسفل مصبات وادي المخروق، ما يجعلهما تحت خطر دائم من حدوث السيول الفجائية.
- تتسبب السيول المتكررة والفجائية لحوض وادي المخروق على قرية الحديثة ومنفذ مجمع الحديثة في خسائر في بشرية وعمرانية وغمر الأراضي الزراعية بالمياه.
- عدم مواكبة التوسعات العمرانية لقرية الحديثة دراسات هيدرولوجية للسيول مما أدى لتعرض معظم المخططات الجديدة لمخاطر سيول وادي المخروق.
- صعوبة الحصول على البيانات الأساسية، من خرائط جيولوجية وخرائط طبوغرافية وبيانات مناخية لوقوع معظم أجزاء أحواض التصريف المؤثرة على قرية الحديثة ومنها وادي المخروق في الجانب التابع لحدود المملكة الأردنية الهاشمية، مما حد من توجه الباحثين دراسة مخاطر السيول في المنطقة على الرغم من أنها تحتاج إلى دراسات مكثفة وذلك لتكرار مخاطر السيول بها.

ثالثًا: أهداف الدراسة: تتلخص أهداف الدراسة في نقاط محددة وهي:

- دراسة العوامل الجغرافية المؤثرة على حدوث السيول في حوض وادي المخروق، وتوزيعها المكاني، ومدى تأثيرها في حدوث السيول.
- تقدير أحجام السيول وتدفق الذروة وحساب منحنى الهيدروجراف لحوض وادي المخروق باستعمال النموذج الهيدرولوجي ذو النظام الهندسي (HEC-HMS).
- تحديد مناطق الغمر العمرانية والزراعية الواقعة في وادي المخروق وروافده ومصباته، والمعرضة لمخاطر السيول ومستويات الخطر.
- تحديد المقاطع الطولية لمسار سكة حديد قطار الشمال الواقعة في وادي المخروق وروافده ومصباته، والمعرضة لمخاطر السيول ومستويات الخطر.
- وضع حلول وتوصيات للتخفيف والحماية من الأثار السلبية الناجمة عن السيول بمنطقة الدراسة.

رابعًا: تساؤلات الدراسة:

- هل للخصائص الجيومترية والمورفومترية لحوض التصريف أثر واضح في زيادة مخاطره السيلية؟
- تقدير حجم السيول ودراسة مخاطرها وتدفق الذروة لحوض وادي المخروق خلال فترات الرجوع المختلفة (١٠،٢٥،٥٠،١٠٠ سنة).
- هل للتوسعات العمرانية وتغير استعمالات الأرض أثر على زيادة مخاطر السيول بمنطقة الدراسة؟
- ما كفاءة الاستخراج الآلي للخصائص الجيومترية والمورفومترية لبرنامج نمذجة الأحواض المائية (WMS)؟
- هل يعد النموذج الهيدرولوجي (HEC-HMS) النموذج الأكثر ملاءمة لدراسة الخصائص الهيدرولوجية في المناطق الجافة وشبه الجافة؟
- ما حجم المخاطر السيلية المتوقعة على مسار قطار الشمال والتجمعات العمرانية القريبة؟

خامسًا: منطقة الدراسة:

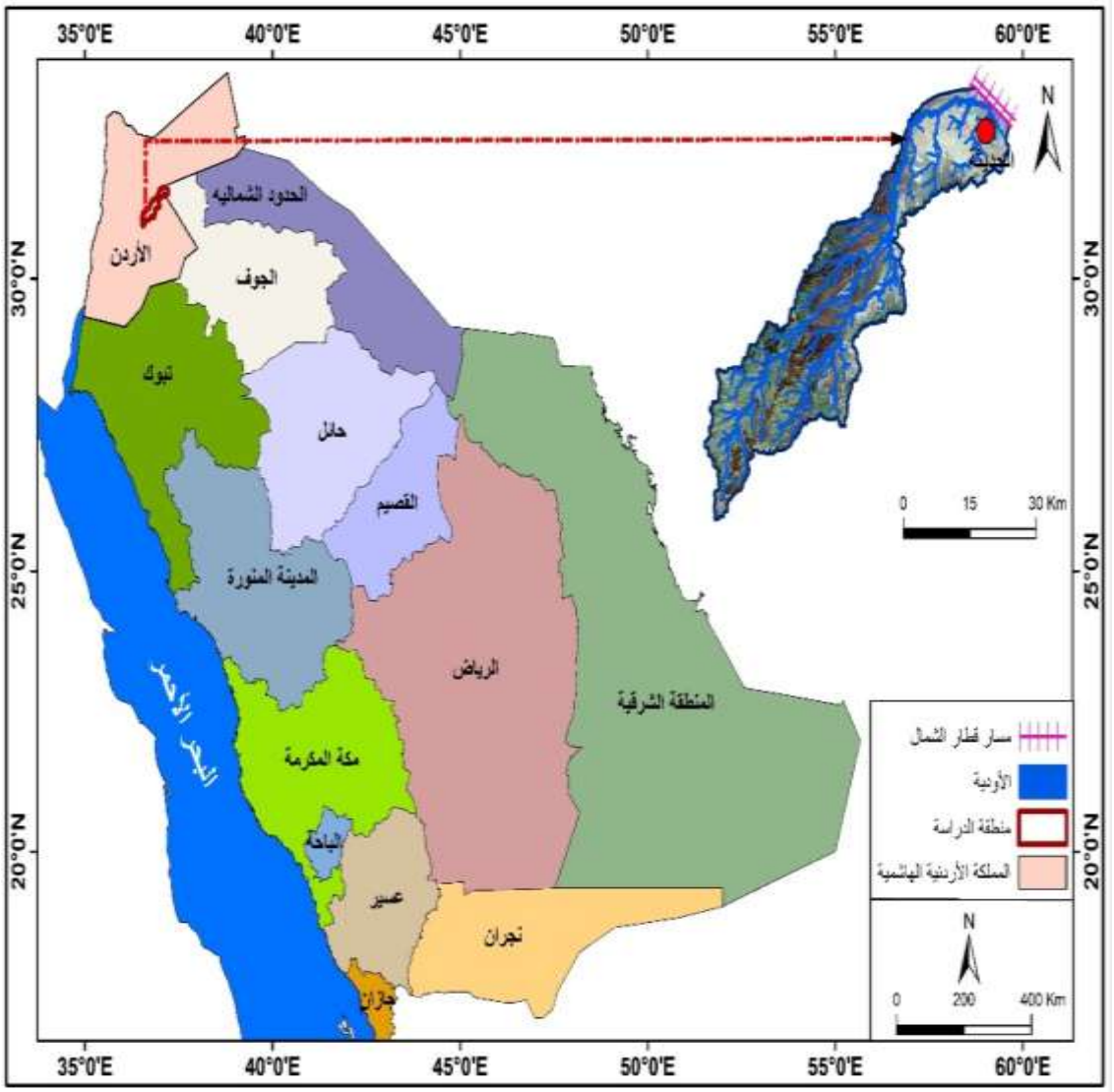
يقع حوض وادي المخروق إداريًا على الحدود الدولية بين المملكة العربية السعودية والمملكة الأردنية الهاشمية، شكل (١) بمساحة تقدر بحوالي ١٣٢٧.٦٠ كم^{٢}، يقع منها حوالي ١٨٣.٥٦ كم^{٢} في المملكة العربية السعودية بنسبة ١٣.٨٣٪، بينما يقع منها حوالي ١١٤٤.٠٤ كم^{٢} في المملكة الأردنية الهاشمية بنسبة ٨٦.١٧٪، وتقع مصبات حوض وادي المخروق جغرافيًا عند قرية الحديثة ومنفذ مجمع الحديثة، أما منابع الحوض تبدأ عند جبل الراحة في المملكة الأردنية الهاشمية، أما الموقع الفلكي فيقع حوض وادي المخروق بين دائرتي عرض ٣٦.٨٥" ٥٢' ٣٠° و٥.٥٦" ٢٩' ٣١° شمالًا، وبين خطي طول ٣٣.٧٢" ٣٢' ٣٦° و٢٣.٤٤" ١٠' ٣٧° شرقًا، الشكل (٢).

سادسًا: منهج الدراسة:

اعتمدت الدراسة على منهج التحليل المكاني (Spatial Analysis) الذي يعتمد على الأساليب الكمية في نشأة وتطور الظاهرات من خلال تطبيق وبناء نموذج ثنائي الأبعاد لبرنامج (HEC-RAS)، لتحديد حركة انتشار وعمق وسرعة مياه سيول وادي المخروق من خلال تطبيق طريقة مصفوفة المخاطر (Hazard Matrix)، كما تم توظيف النموذج الهيدرولوجي (HEC-HMS) لبرنامج الـ (WMS) في حساب منحنى هيدروجراف السيول لأحواض التصريف، وتقدير كميات مياه السيول ومعدلات تدفقها اعتمادًا على طريقة (SCS Unit Hydrograph)، وتم حساب خصائص الأمطار (Rainfall depth)

ومنحنيات الشدة المطرية (IDF Curve) لحوض وادي المخروق خلال فترات رجوع مختلفة باستعمال برنامج (HYFRAN)، كما تم توظيف (GIS&R.S) في إنتاج خرائط استعمالات الأرض وخرائط التربة والجيولوجيا لأحواض التصريف التي تعد المدخلات الأساس لتشغيل النموذج الهيدرولوجي.

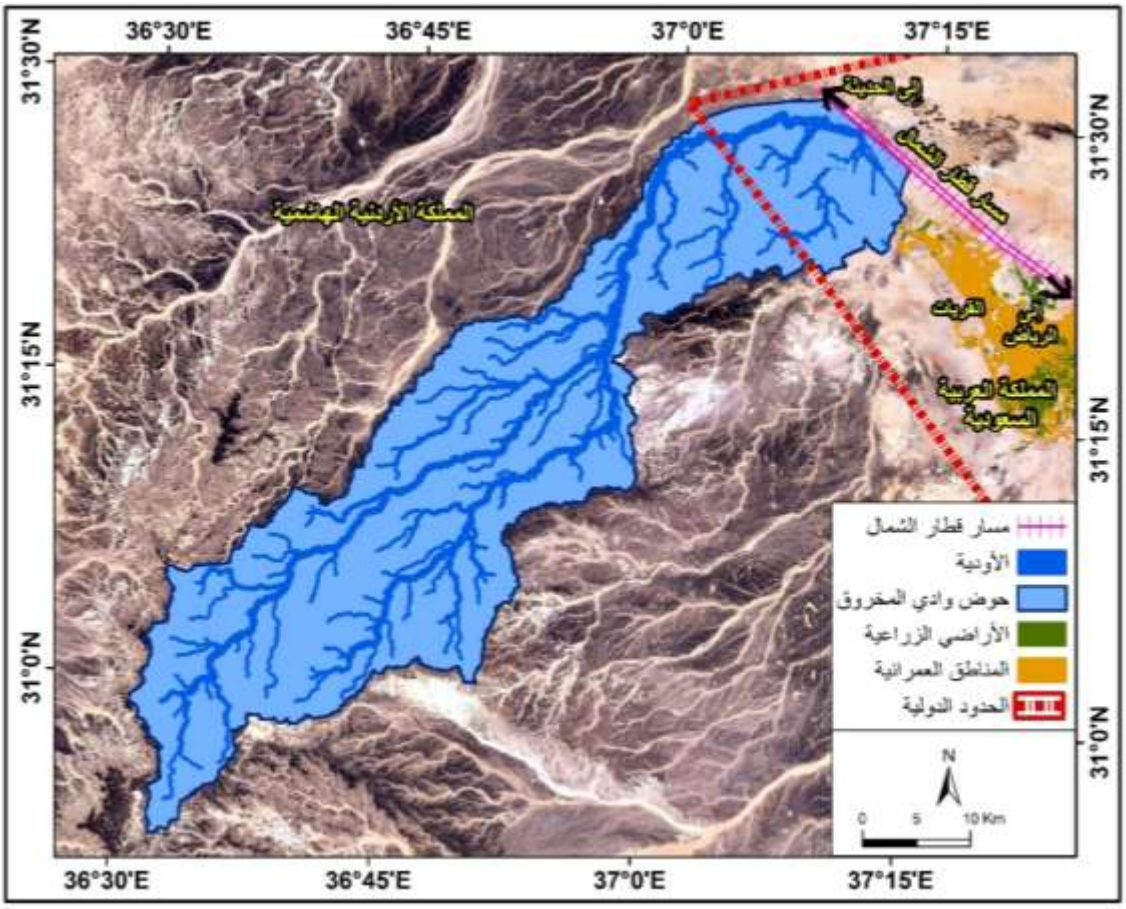
شكل (١) موقع حوض وادي المخروق من المملكة العربية السعودية



المصدر: الهيئة العامة للمساحة.

شكل (٢)

الموقع والموضع لحوض وادي المخروق



المصدر: المرئية الفضائية Landsat8/OLI، ونموذج الارتفاع الرقمي بدقة ١٢.٥م

سابعاً: إجراءات الدراسة ومعالجة البيانات لتشغيل النماذج الهيدرولوجية والهيدروليكية:

يمكن عرض إجراءات الدراسة ومعالجة البيانات لتشغيل النموذج الهيدرولوجي (HEC-HMS) والمستخدم حسابات هيدروجرافات مياه السيول بشيء من التفصيل من خلال سبعة خطوات أساسية وترتيبها كالتالي:

١- مصادر البيانات:

جدول (١)

مصادر البيانات

م	مصادر البيانات	جهات الحصول عليها
١	نموذج الارتفاع الرقمي بدقة ١٢.٥م	موقع (Vertex) التابع لوكالة الفضاء الأمريكية (NASA)
٢	الخرائط طبوغرافية بمقياس رسم ١:٥٠٠٠٠	هيئة المساحة الجيولوجية السعودية
٣	المرئية الفضائية Landsat 8/OLI	موقع المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS)
٤	الخرائط جيولوجية بمقياس رسم ١:٢٥٠٠٠٠	هيئة المساحة الجيولوجية السعودية
٥	محطة الأمطار الحديثة (SK114)	وزارة البيئة والمياه والزراعة

٢- تحديد كميات الأمطار لفترات رجوع مختلفة وتحديد منحنيات الشدة والكثافة (IDF CURVE):

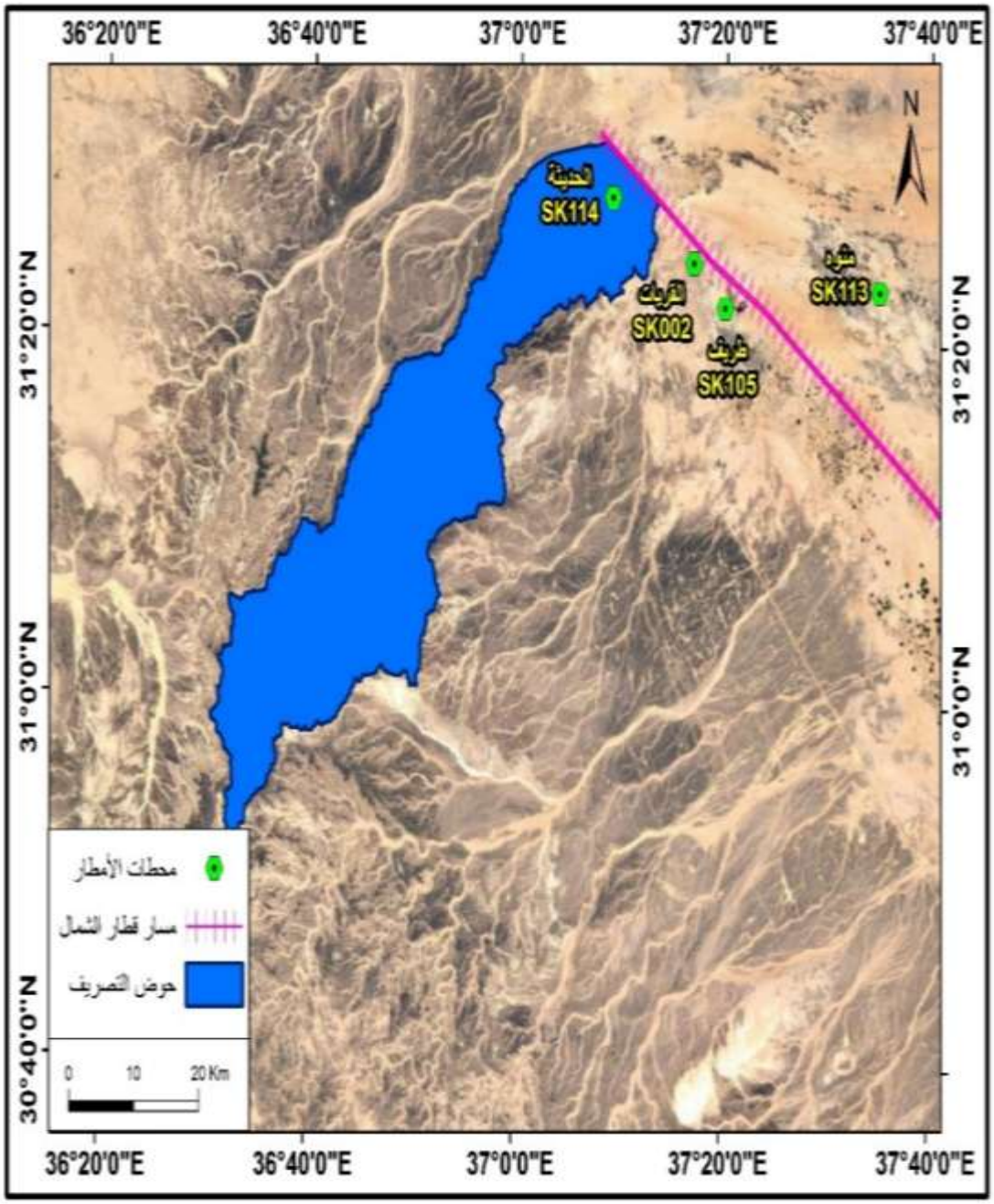
أ- تحديد أقصى كمية مطر يومي وتحديد عمق المطر لفترات تكرار مختلفة:

يغطي منطقة الدراسة خمس محطات وهي: القريات (SK002) – منوه (SK113) – الحديثة (SK114) – طريف (SK105)، تم الاعتماد على محطة الحديثة (SK114) لكونها أقرب محطات قياس الأمطار لمنطقة الدراسة الشكل رقم (٣)، وتم استبعاد كل من محطتي منوه (SK113) وطريف (SK105) لقلة البيانات بهما، وقد تم استبعاد محطة القريات لبعدها عن منطقة الدراسة.

ويشير تحليل الجدول رقم (٢) إلى كميات الأمطار اليومية القصوى لمحطة مطر الحديثة (SK114)، ووجد أنها تغطي فترة من ١٩٨٣م وحتى ٢٠١٢م والتي تمثل حوالي ٣٠ سنة، ويشير الجدول رقم (٣) إلى التوزيع الإحصائي للأمطار للأزمنة التكرارية المختلفة من خلال تطبيق التوزيعات الاحتمالية المختلفة مثل Normal، وLog-Normal، وLog-Pearson Type III، وPearson Type III، وGumbel باستخدام برنامج التحليل الإحصائي Hyfran، بينما يشير الجدول رقم (٤) والشكل رقم (٤) إلى عمق الأمطار لمحطة الحديثة (SK114) المؤثرة على الحوض عند الأزمنة التكرارية المختلفة، واتضح أن توزيع Log- Normal هو التوزيع الأنسب لمحطة الحديثة (SK114).

الشكل رقم (٣)

مواقع محطات رصد مياه الأمطار المختلفة ومواقعها بالنسبة لمنطقة الدراسة



المصدر: وزارة البيئة والمياه والزراعة، نظم المعلومات الجغرافية

جدول (٢)

كميات الأمطار اليومية القصوى بمحطة أرصاد الحديثة (SK114)

السنة	الأمطار اليومية القصوى (مم)	السنة	الأمطار اليومية القصوى (مم)	السنة	الأمطار اليومية القصوى (ملم)
١٩٨٣	٤.٥	١٩٩٣	١٢	٢٠٠٣	٦
١٩٨٤	٩.١	١٩٩٤	١٤	٢٠٠٤	٦
١٩٨٥	١٤	١٩٩٥	٨	٢٠٠٥	١٠
١٩٨٦	١٦	١٩٩٦	١٥	٢٠٠٦	٥
١٩٨٧	١٧.٥	١٩٩٧	١٩.٥	٢٠٠٧	٤
١٩٨٨	٢٧	١٩٩٨	٦.٥	٢٠٠٨	٧
١٩٨٩	٧	١٩٩٩	٩	٢٠٠٩	١٤
١٩٩٠	١٢.٥	٢٠٠٠	٣	٢٠١٠	٦
١٩٩١	٢٦.٥	٢٠٠١	٣٩	٢٠١١	٧.٥
١٩٩٢	١١	٢٠٠٢	٩	٢٠١٢	٣.٥
القيمة العظمي	٣٩				
القيمة المتوسطة	١١.٦٤				
القيمة الصغرى	٣				
الانحراف المعياري	٨.٠١				

المصدر: وزارة البيئة والمياه والزراعة، نظم المعلومات الجغرافية

جدول (٣)

التوزيع الإحصائي للأمطار لموقع محطة أرصاد الحديثة (SK114) عند الأزمنة التكرارية المختلفة

التوزيع الإحصائي	عمق المطر التصميمي للازمنة التكرارية المختلفة (مم)							
	٢	٣	٥	١٠	٢٠	٢٥	٥٠	١٠٠
Normal	١١.٦	١٥.١	١٨.٤	٢١.٩	٢٤.٨	٢٥.٧	٢٨.١	٣٠.٣
Log- Normal	٩.٦٠	١٢.٥	١٦.٢	٢١.٣	٢٦.٧	٢٨.٥	٣٤.٤	٤٠.٨
Log-Pearson Type III	٩.٣٩	١٢.٤	١٦.١	٢١.٦	٢٧.٧	٢٩.٩	٣٧.٠	٤٥.١
Pearson Type III	٩.٣٩	١٢.٩	١٦.٨	٢٢.٢	٢٧.٥	٢٩.٢	٣٤.٤	٣٩.٦
Gumbel	١٠.٣	١٣.٧	١٧.٤	٢٢.١	٢٦.٦	٢٨.٠	٣٢.٤	٣٦.٨
Exponential	٨.٩٠	١٢.٥	١٧.١	٢٣.٣	٢٩.٥	٣١.٥	٣٧.٧	٤٣.٨

المصدر: التحليل الإحصائي باستعمال طريق برنامج Hyfran

جدول (٤)

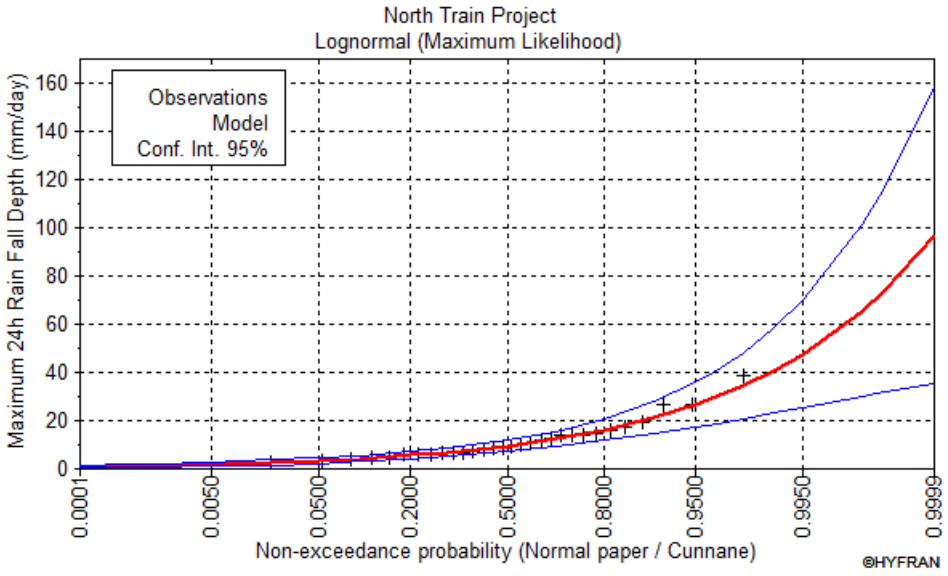
عمق أمطار المحطة المناخية لمنطقة الحديثة (SK114) عند الأزمنة التكرارية المختلفة

فترات تكرارية	٢	٣	٥	١٠	٢٠	٢٥	٥٠	١٠٠
الحديثة (SK114)	٩.٦٠	١٢.٥	١٦.٢	٢١.٣	٢٦.٧	٢٨.٥	٣٤.٤	٤٠.٨

المصدر: التحليل الإحصائي باستعمال طريق برنامج Hyfran

شكل رقم (٤)

منحنى التوزيع الاحتمالي لبيانات محطة أرصاد الحديثة (SK114) بطريقة Lognormal



المصدر: التحليل الإحصائي باستخدام طريق برنامج Hyfran

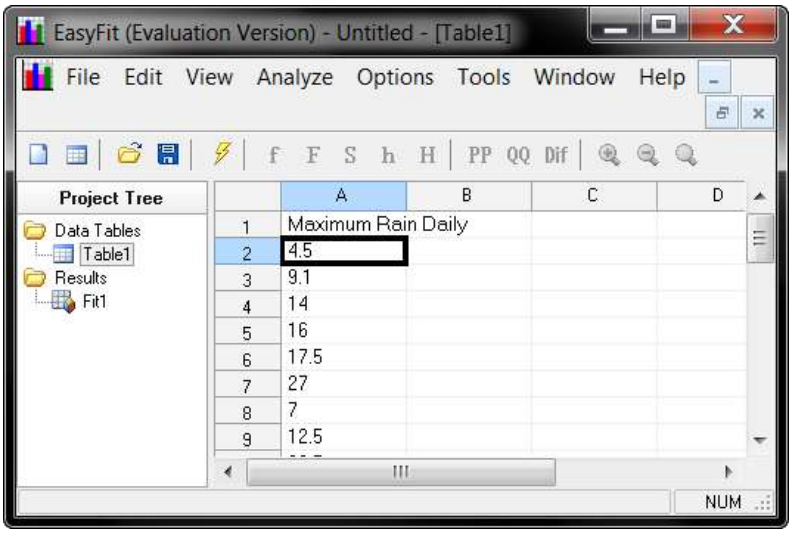
ب- التحقق من طريقة التوزيع الاحتمالي المختارة باستخدام اختبار Kolmogorov Smirnov واختبار Anderson Darling:

تجدر الإشارة أنه يتم اختيار أفضل توزيع احتمالي لمحطة أرصاد الحديثة (SK114) على أساس جودة اختبار الملاءمة، وقد تم التحقق من ملاءمة طريقة التوزيع الاحتمالي (Log- Normal) لمحطة أرصاد الحديثة (SK114) ومقارنتها بطرق التوزيع الاحتمالية سابقة الذكر عن طريق تطبيق اختبار Kolmogorov Smirnov واختبار Anderson Darling وذلك من خلال استخدام برنامج (Easy fit)، والذي نلاحظ أن طريقة (Log- Normal) هي الطريقة الأكثر ملاءمة، ويوضح الشكل (٥) تحليل

بيانات أقصى مطر يومي لمحطة أرصاد الحديثة (SK114)، في حين يوضح الشكل (٦) منحنيات جودة الملاءمة لطرق التوزيع الاحتمالية، ويوضح الشكل (٧) التحقق من الطرق المستعملة عن طريق تطبيق اختبار Kolmogorov Smirnov واختبار Anderson Darling.

شكل رقم (٥)

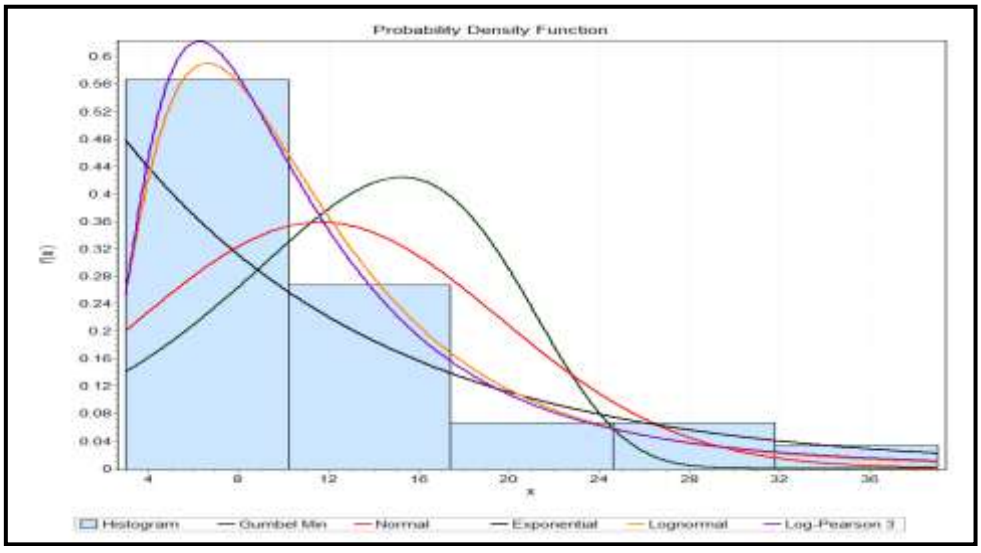
تحليل بيانات أقصى مطر يومي لمحطة الحديثة (SK114) المؤثرة على منطقة الدراسة



المصدر: التحليل الإحصائي باستخدام طريق برنامج EasyFit

شكل رقم (٦)

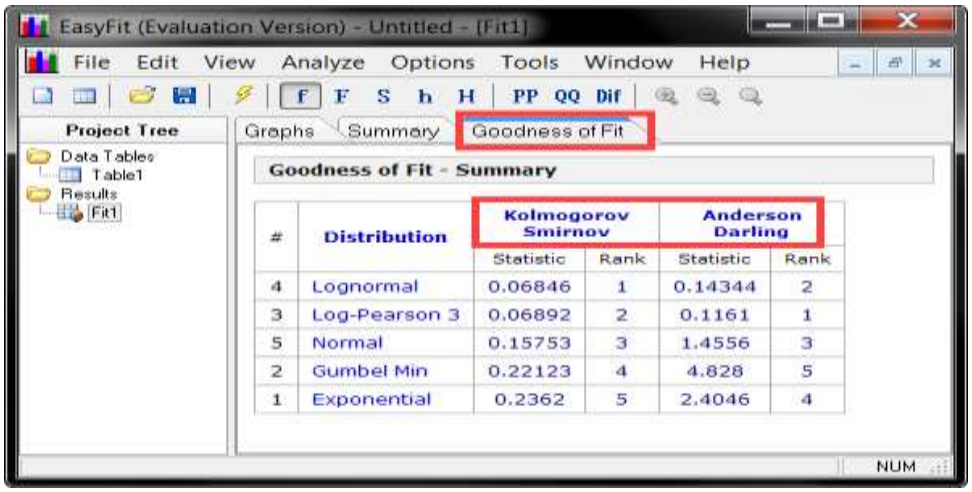
منحنيات الملاءمة للطرق الإحصائية التي تظهر أن طريقة Log- Normal هي الأكثر ملاءمة



المصدر: التحليل الإحصائي باستخدام طريق برنامج EasyFit

شكل رقم (٧)

التحقق من الطرائق المستعملة عن طريق تطبيق اختبار Kolmogorov Smirnov واختبار Anderson Darling التي تظهر أن طريقة Log- Normal هي الأكثر ملاءمة



#	Distribution	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling	
		Statistic	Rank	Statistic	Rank
4	Lognormal	0.06846	1	0.14344	2
3	Log-Pearson 3	0.06892	2	0.1161	1
5	Normal	0.15753	3	1.4556	3
2	Gumbel Min	0.22123	4	4.828	5
1	Exponential	0.2362	5	2.4046	4

المصدر: التحليل الإحصائي باستخدام طريق برنامج EasyFit

ج- تصميم منحنيات كثافة الأمطار IDF Curves:

نظرًا لعدم توافر بيانات عن شدة الأمطار أو ما يسمى بالكثافة المطرية عند محطة قياس الأمطار تم اشتقاق منحنيات IDF Curves باستعمال بيانات الأمطار اليومية، وذلك باتباع الخطوات الآتية:

- إجراء التحليل الإحصائي لسلسلة بيانات أقصى مطر يومي وتقدير كميات الأمطار اليومية القصوى للتوزيعات الإحصائية المختلفة كما تم سابقًا.
- اختيار أعلى قيمة للأمطار اليومية من التوزيعات السابقة عند الأزمنة التكرارية المختلفة (٣-٥-١٠-٢٠-٢٥-٥٠-١٠٠ عام).
- تصحيح هذه القيم بمعامل أمان قدره ١.١٤ باستخدام المعادلة (١).

$$\mathbf{XT = 1.14\ (HYFRAN\ XT)} \qquad (١)$$

- حساب قيمة الأمطار للمدد الزمنية ١٠،٢٠،٣٠ دقيقة و١، ٢، ٣، ٦، ١٢ و٢٤ ساعة كنسبة من قيمة المطر اليومية السابق حسابها للأزمنة التكرارية المختلفة باستعمال معادلة Bell's Ratios والمبينة في الجدول رقم (٥) واستعمال المعادلة (٢).

$$\mathbf{(B * XT)} \qquad (٢)$$

حيث أن: XT = ١.١٤ (عمق المطر)، B = معدل بيل من الجدول رقم (٥).

جدول (٥)

النسبة المئوية لقيمة الأمطار عند المدد الزمنية المختلفة

باستخدام معادلة Bell's Ratios

المدة (دقيقة)	١٠	٢٠	٣٠	٦٠	١٢٠	١٨٠	٣٦٠	٧٢٠	١٤٤٠
معدل بيل	٠.٢	٠.٢٧٩	٠.٣٤٣	٠.٤٣٥	٠.٥٦٥	٠.٦٢٦	٠.٧٥	٠.٨٧٧	١

- ثم استنتاج قيم منحنيات الكثافة – المدة –التكرار الموضحة بالجدول (٦) باستخدام المعادلة (٣).

$$\mathbf{I = (XT * B) / (T/60)} \qquad (٣)$$

حيث أن: I = كثافة المطر (مم/ساعة)، XT = ١.١٤ (عمق المطر)، B = معدل بيل من الجدول رقم (٤)، T = المدة (دقيقة).

جدول (٦)

قيم منحنيات الكثافة – المدة – التكرار لفترات رجوع مختلفة لمحطة أرصاد الحديثة (SK114) المؤثرة على حوض وادي المخروق

فترات التردد	المدة (دقيقة)								
	١٠	٢٠	٣٠	٦٠	١٢٠	١٨٠	٣٦٠	٧٢٠	١٤٤٠
١٠٠	٥٥.٨١	٣٨.٩٣	٣١.٩١	٢٠.٢٣	١٣.١٤	٩.٧١	٥.٨١	٣.٤٠	١.٩٤
٥٠	٤٧.٠٦	٣٢.٨٢	٢٦.٩٠	١٧.٠٦	١١.٠٨	٨.١٨	٤.٩٠	٢.٨٧	١.٦٣
٢٥	٣٨.٩٩	٢٧.١٩	٢٢.٢٩	١٤.١٣	٩.١٨	٦.٧٨	٤.٠٦	٢.٣٧	١.٣٥
٢٠	٣٦.٥٣	٢٥.٤٨	٢٠.٨٨	١٣.٢٤	٨.٦٠	٦.٣٥	٣.٨٠	٢.٢٢	١.٢٧
١٠	٢٩.١٤	٢٠.٣٢	١٦.٦٦	١٠.٥٦	٦.٨٦	٥.٠٧	٣.٠٤	١.٧٧	١.٠١
٥	٢٢.١٦	١٥.٤٦	١٢.٦٧	٨.٠٣	٥.٢٢	٣.٨٥	٢.٣١	١.٣٥	٠.٧٧
٣	١٧.١٠	١١.٩٣	٩.٧٨	٦.٢٠	٤.٠٣	٢.٩٧	١.٧٨	١.٠٤	٠.٥٩
٢	١٣.١٣	٩.١٦	٧.٥١	٤.٧٦	٣.٠٩	٢.٢٨	١.٣٧	٠.٨٠	٠.٤٦

المصدر: عمق المطر ومعدل بيل (Bell's Ratios)

- ومن ثم رسم العلاقة بين الكثافة – المدة – التكرار (IDF Curve) كما هو موضح بالشكل (٨).
- وتم استنتاج قيم عمق المطر الموضحة بالجدول (٧) بالتعويض في المعادلة رقم (٤):

$$\mathbf{D = (I * T)/60} \qquad (٤)$$

حيث أن: D = عمق المطر (مم)، I = كثافة المطر (مم/ساعة)، T = المدة (دقيقة).

جدول (٧)

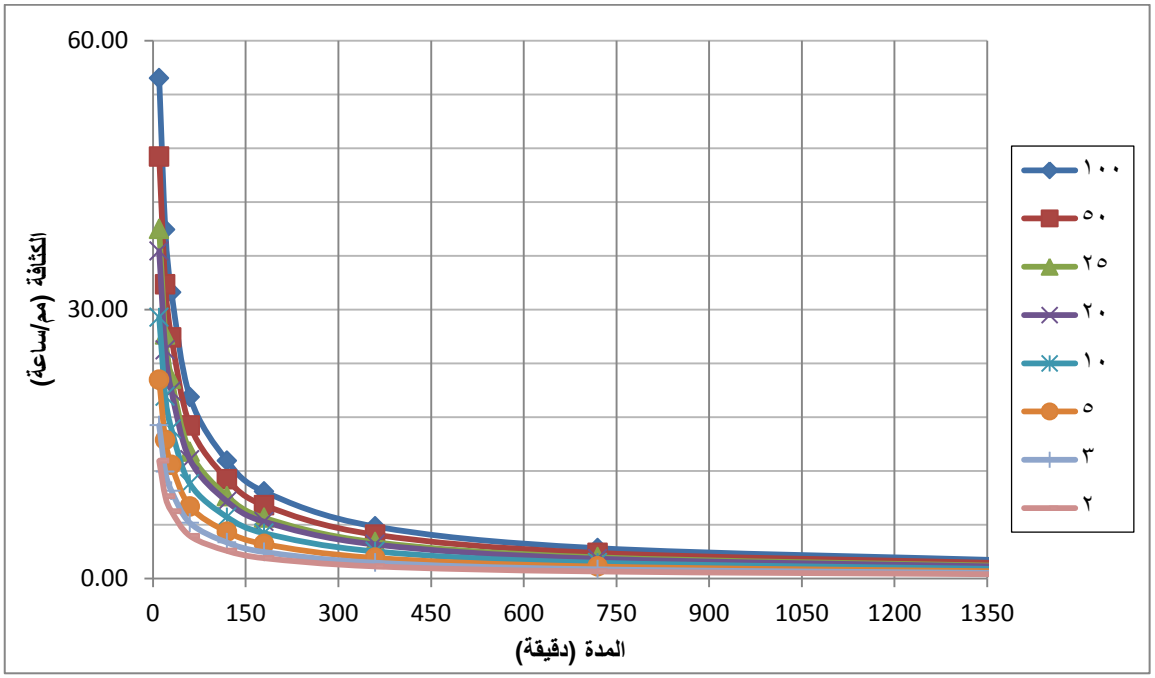
عمق الأمطار لفترات رجوع مختلفة لمحطة أرصاد الحديثة (SK114) المؤثرة على حوض وادي المخروق

فترات التردد	المدة (دقيقة)								
	١٠	٢٠	٣٠	٦٠	١٢٠	١٨٠	٣٦٠	٧٢٠	١٤٤٠
١٠٠	٩.٣٠	١٢.٩٨	١٥.٩٥	٢٠.٢٣	٢٦.٢٨	٢٩.١٢	٣٤.٨٨	٤٠.٧٩	٤٦.٥١
٥٠	٧.٨٤	١٠.٩٤	١٣.٤٥	١٧.٠٦	٢٢.١٦	٢٤.٥٥	٢٩.٤١	٣٤.٣٩	٣٩.٢٢
٢٥	٦.٥٠	٩.٠٦	١١.١٤	١٤.١٣	١٨.٣٦	٢٠.٣٤	٢٤.٣٧	٢٨.٤٩	٣٢.٤٩
٢٠	٦.٠٩	٨.٤٩	١٠.٤٤	١٠.٢٤	١٧.٢٠	١٩.٠٥	٢٢.٨٣	٢٦.٩٦	٣٠.٤٤
١٠	٤.٨٦	٦.٧٧	٨.٣٣	١٠.٥٦	١٣.٧٢	١٥.٢٠	١٨.٢١	٢١.٣٠	٢٤.٢٨
٥	٣.٦٩	٥.١٥	٦.٣٣	٨.٠٣	١٠.٤٣	١١.٥٦	١٣.٨٥	١٦.٢٠	١٨.٤٧
٣	٢.٨٥	٣.٩٨	٤.٨٩	٦.٢٠	٨.٠٥	٨.٩٢	١٠.٦٩	١٢.٥٠	١٤.٢٥
٢	٢.١٩	٣.٠٥	٣.٧٥	٤.٧٦	٦.١٨	٦.٨٥	٨.٢١	٩.٦٠	١٠.٩٤

المصدر: عمق المطر وقيم منحنيات الكثافة – المدة – التكرار (IDF Curve)

شكل (٨)

منحنيات الكثافة–المدة–التكرار(IDF Curve) لمحطة أرصاد الحديثة (SK114) المؤثرة على حوض وادي المخروق



المصدر: عمق المطر ومعدل بيل (Bell's Ratios)

٣- استخراج زمن التركيز والتأخير:

في هذه الدراسة تم استعمال معادلة Kirpich لحساب زمن التركيز وهو الزمن اللازم لتجمع مياه الأمطار المتساقطة على سطح الحوض حتى النقطة المطلوب حساب التدفق عندها، وقد بلغت قيمة زمن التركيز نحو ٥٩١٦.٦ دقيقة، وذلك عن طريق المعادلة رقم (٥).

$$t_c = 0.0195\left(\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}\right) \qquad (٥)$$

حيث أن: Tc = زمن التركيز (دقيقة)، L = طول المسار الحرج للمياه (كم)، S = انحدار سطح الحوض (%).

وتم حساب زمن التأخير باستعمال معادلة SCS Method وهو الزمن الذي ينقضي بين حدوث وحدة من المطر وحدوث وحدة من الجريان، وقد بلغت قيمة زمن التأخير نحو ٣٥٤٩.٩٦ دقيقة، وذلك عن طريق المعادلة (٦).

$$T_{LAG} = \frac{L^{0.8}[Sr+1]^{0.7}}{1900\sqrt{Y}} \qquad (٦)$$

حيث أن: T_{LAG} = زمن التأخير (ساعة)، L = أطول مسار للمياه (قدم)، Sr = أقصى جهد لرطوبة التربة (Maximum retention) ويحسب من معامل المنحنى، Y = الميل العام للحوض (نسبة%).

٤- المجموعة الهيدرولوجية للتربة:

لتحديد المجموعة الهيدرولوجية للتربة تم الاعتماد على خصائص الخرائط الجيولوجية لحوض وادي المخروق بمقياس رسم ١:٢٥٠٠٠٠، شكل رقم (٩)، وتتألف منطقة حوض تصريف وادي المخروق من تكوين الحجر الجيري والمارل والصوان في المرتبة الأولى بمساحة تقدر بحوالي ٧٢٦.٥٦ كم^2 بنسبة ٥٤.٧٣٪، ويليه رواسب الأودية ويبلغ مساحتها حوالي ٢٠١.٨٦ كم^2 بنسبة ١٥.٢٠٪، وفي المرتبة الثالثة رواسب السهل الفيضي ويبلغ مساحتها حوالي ١٣٣.٩١ كم^2 بنسبة ١٠.٠٩٪، ثم يليها رواسب المسطحات الطينية ويبلغ مساحتها حوالي ٧.٩٨ كم^2 بنسبة ٠.٦٠٪، ويليها رواسب طمي وغرين ويبلغ مساحتها حوالي ٧.١٣ كم^2 بنسبة ٠.٥٤٪، وفي المرتبة الأخيرة يأتي تكوين السرحان الذي يتكون من

الحجر الجيري والحجر الرملي الكلسي بمساحة تقدر بحوالي ٢٥٠.١٦ كم^{٢} بنسبة ١٨.٨٤٪، ويتمثل حوض تصريف وادي المخروق في المجموعات الهيدرولوجية للتربة (A–B–C)، حيث تمثل المجموعة الهيدرولوجية للتربة (A) مساحة قدرها ٣٥٠.٨٨ كم^{٢} بنسبة ٢٦.٤٣%، في حين تمثل المجموعة الهيدرولوجية للتربة (B) مساحة قدرها ٤٨٣.٦٤ كم^{٢} بنسبة ٣٦.٤٣%، وتمثل المجموعة الهيدرولوجية للتربة (C) مساحة قدرها ٤٩٣.٠٨ كم^{٢} بنسبة ٣٧.١٤%، شكل (١٠)، والجدول (٨) يوضح الطريقة التي تم الاعتماد عليها في المجموعات الهيدرولوجية للتربة حسب طريقة (SCS)

جدول (٨)

المجموعات الهيدرولوجية للتربة حسب طريقة (SCS)

المجموعة الهيدرولوجية للتربة	صفات التربة
A	طبقة رملية عميقة مع كمية قليلة جدًا من الطين والغرين
B	طبقة رملية أقل عمق من صنف A مع معدل ارتشاح متوسط بعد ترطب التربة
C	طبقة طينية محددة العمق مع معدل ارتشاح دون الوسط قبل وصول التربة إلى حالة التشبع
D	طبقة طينية ذات نسبة انتفاخ عالية مع وجود طبقة ضحلة مع التربة الناعمة الغرينية في السطح

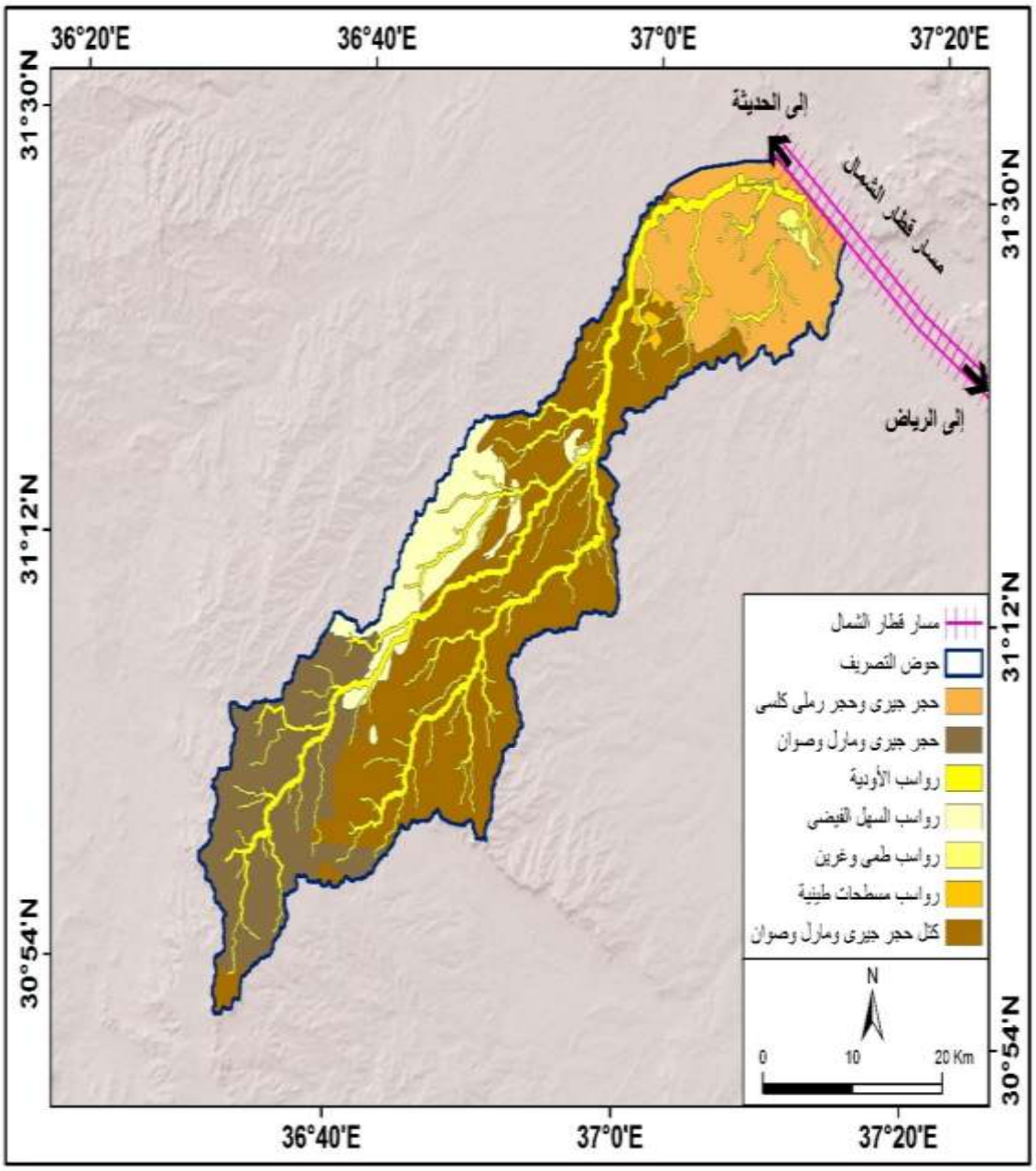
المصدر: USDA–SCS, 1985

٥- استعمالات الأرض:

تم الحصول على استعمالات الأرض بتصنيف المرئيات الفضائية لاندسات Landsat8/OLI لعام ٢٠٢٠م بواسطة برنامج (Erdas Imagine)، وتتألف منطقة حوض تصريف وادي المخروق من أربعة أنواع لاستعمالات الأرض، في المرتبة الأولى المناطق العمرانية بمساحة بلغت نحو ٧.٢٦ كم^{٢} بنسبة ٠.٥٥٪، يليها الأراضي الزراعية بمساحة حوالي ٤.٧٥ كم^{٢} بنسبة ٠.٣٦٪، والمرتبة الثالثة شبكة الأودية الجافة بالحوض وتبلغ مساحتها بحوالي ٢٠١.٨٦ كم^{٢} بنسبة ١٥.٢٠٪، أما المرتبة الأخيرة المناطق الصحراوية المنتشرة أرجاء الحوض بمساحة حوالي ١١١٣.٧٣ كم^{٢} بنسبة ٨٣.٨٩٪، شكل (١١)، الجدول رقم (٩) يوضح الطريقة التي تم الاعتماد عليها في رقم المنحنى حسب استعمالات الأرض.

شكل (٩)

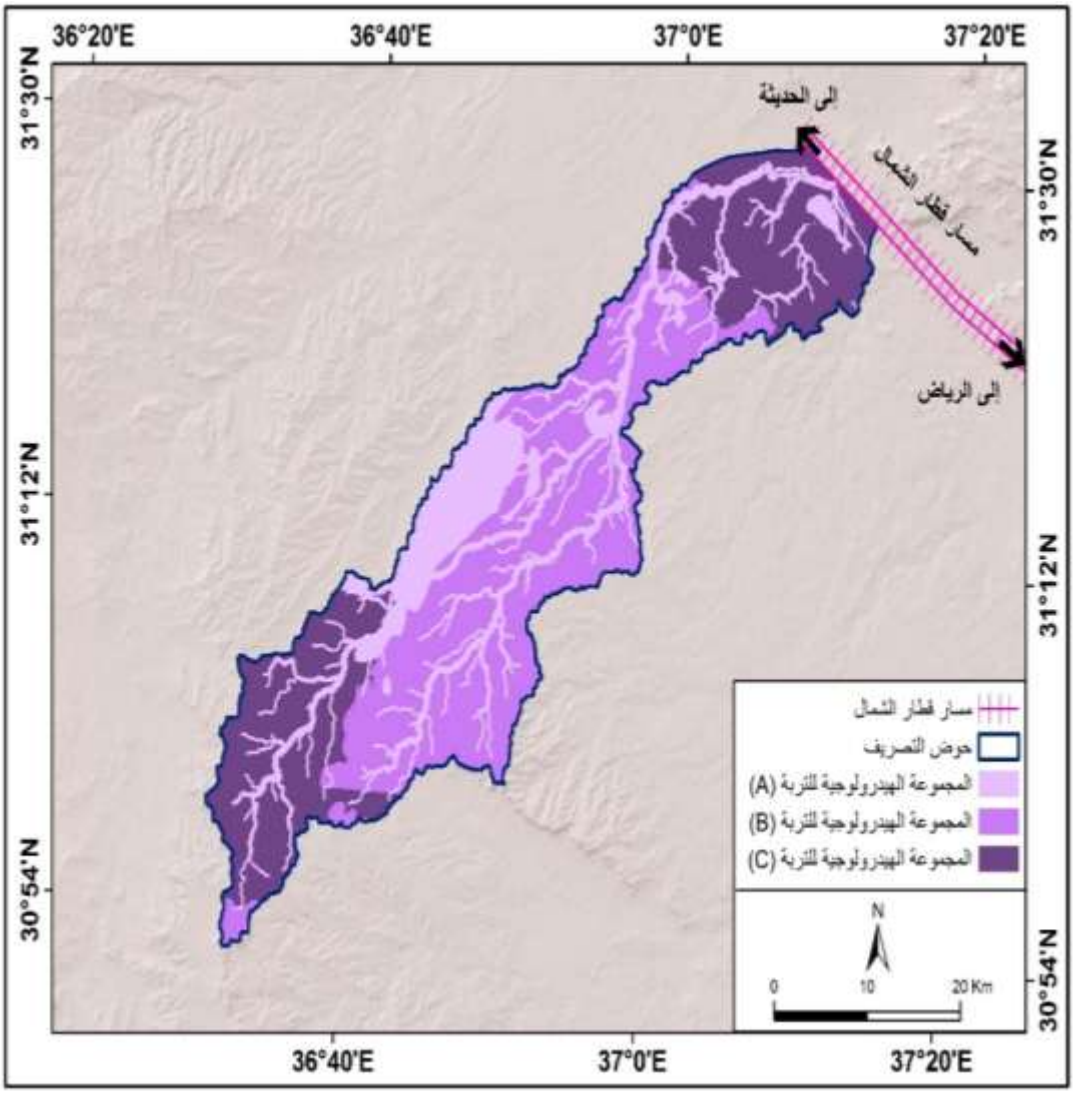
جيولوجية حوض وادي المخروق توضح من خلالها التكوينات الجيولوجية



المصدر: هيئة المساحة الجيولوجية السعودية، الخرائط الجيولوجية مقياس رسم ١:٢٥٠٠٠٠

شكل (١٠)

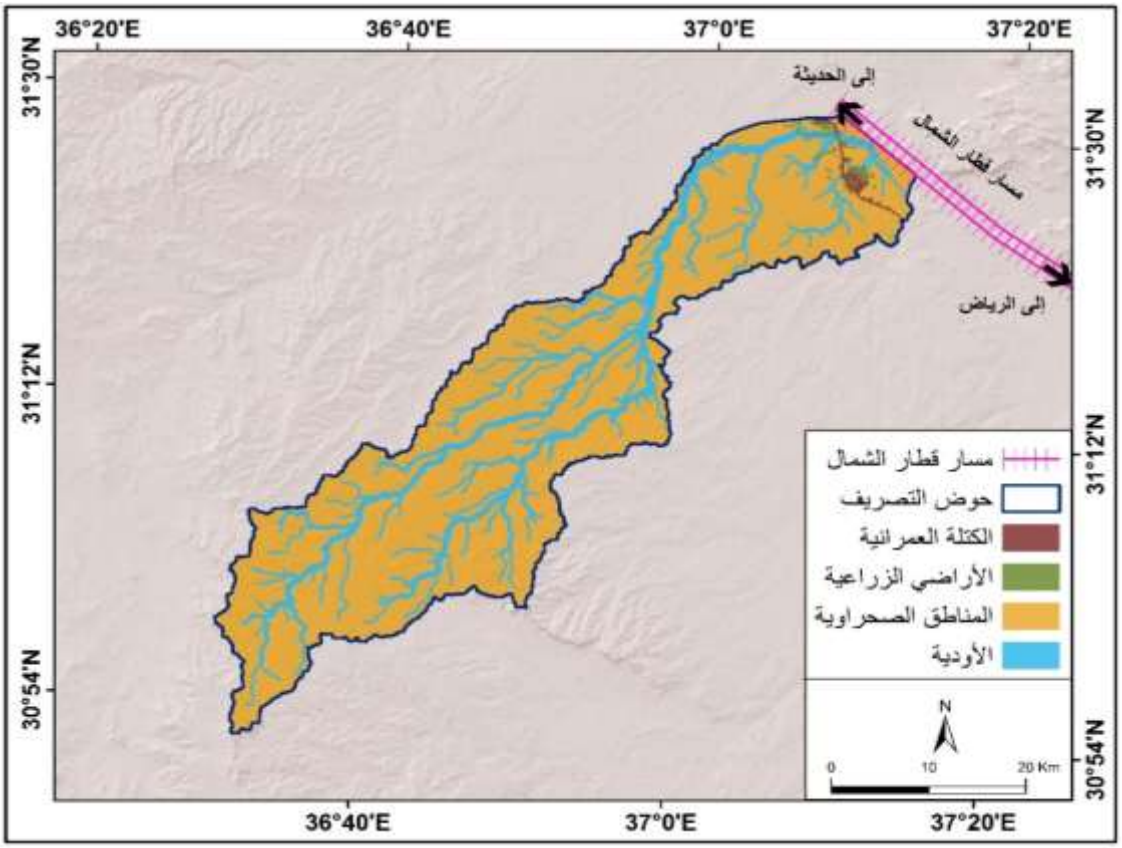
المجموعة الهيدرولوجية للتربة لحوض وادي المخروق



المصدر: هيئة المساحة الجيولوجية السعودية، الخريطة الجيولوجية مقياس رسم ١:٢٥٠٠٠٠

شكل (١١)

استعمالات الأرض لحوض وادي المخروق



المصدر: المرئية الفضائية Landsat8/OLI لعام ٢٠٢٠م

جدول (٩)

رقم المنحنى حسب استخدامات الأرض

وصف الاستخدام	وصف الغطاء		رقم المنحنى للمجموعة الهيدرولوجية للتربة			
	نوع الغطاء والحالة الهيدرولوجية	متوسط المناطق المنيعة %	A	B	C	D
زراعي	محاصيل الصفوف –صفوف مستقيمة + بقايا محصول (١) غطاء –حالة جيدة		٦٤	٧٥	٨٢	٨٥
تجاري	المناطق الحضرية: التجارية	٨٥	٨٩	٩٢	٩٤	٩٥
الصحراء	المناظر الطبيعية الصحراوية		٦٣	٧٧	٨٥	٨٨
سكني	١/٨ هكتار أو أقل	٦٥	٧٧	٨٥	٩٠	٩٢

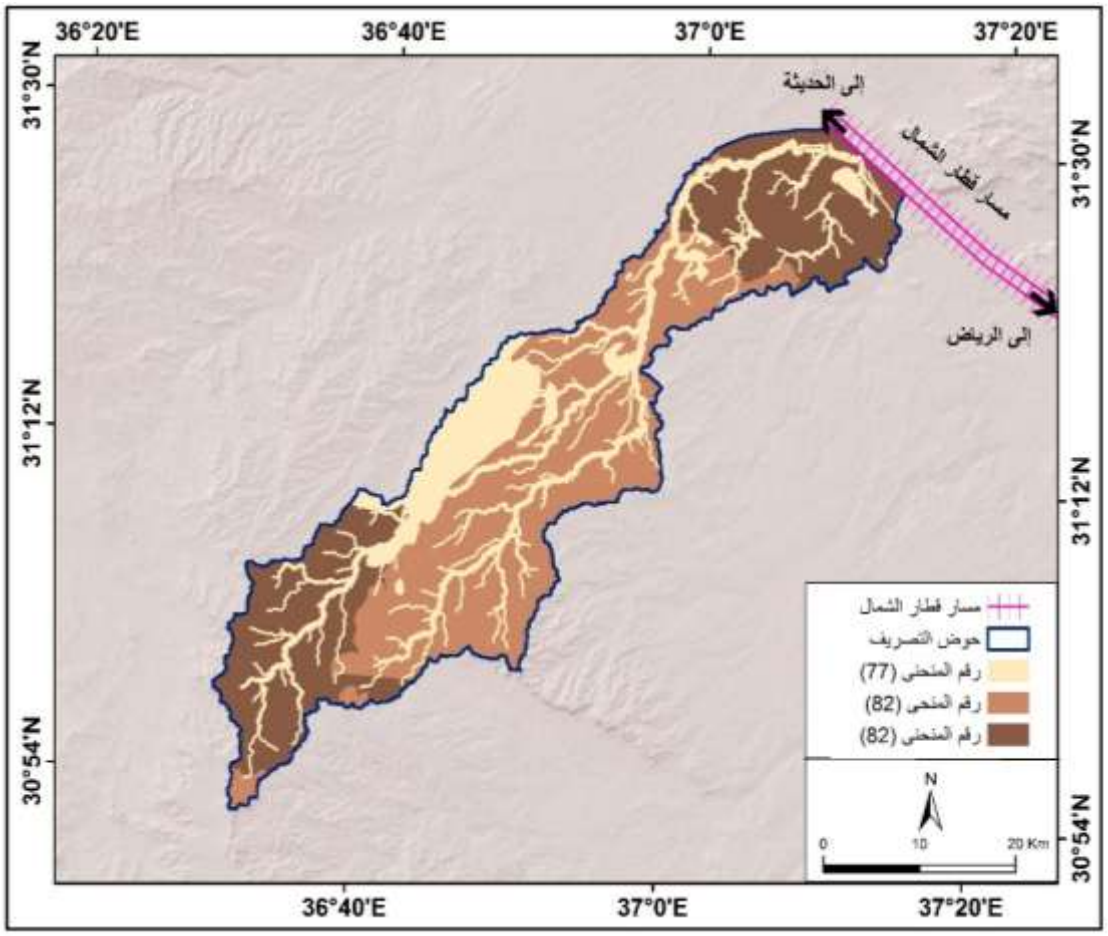
المصدر: USDA, 1986

٦- حساب رقم المنحنى وتحديد العاصفة التصميمة:

تم استعمال طريقة رقم المنحنى ((Curve Number (CN) لتقدير كميات المياه المفقودة بالتسرب لباطن الأرض، وتعتمد هذه الطريقة على عناصر (الحالة المسبقة لرطوبة التربة، غطاءات الأرض، الجريان السطحي) (Henk, 1994) وتتراوح قيمتها بين صفر إلى ١٠٠، وتعبر عن الاستجابة المائية لمكونات غطاءات الأرض في أحواض التصريف، وعن مقدار صماته السطح، فكلما اتجهت القيم ناحية ١٠٠ فإن الأسطح تكون أقل صماته (Victor and Richard, 1996)، وتنوعت قيم رقم المنحنى بحوض وادي المخروق ما بين ٧٧ و٨٨ شكل (١٢).

شكل (١٢)

رقم المنحنى (Curve Number) لحوض وادي المخروق



المصدر: برنامج نظام نمذجة الأحواض المائية (WMS)

ثامناً: النتائج والمناقشة:

١- تحليل الخصائص الجيومترية والمورفومترية لحوض وادي المخروق:

من تحليل بيانات الجدول (١٠) والشكل رقم (١٣) يتضح أن حوض وادي المخروق يمتد بطول يصل إلى ٩٢.٤٢ كم، وتبلغ مساحة الحوض نحو ١٣٢٧.٦ كم^{٢}، وبدراسة نموذج الارتفاعات الرقمية لحوض وادي المخروق تبين أن مناسيب سطح الأرض بالمنطقة تتراوح بين ٥٢٣ م فوق سطح البحر عند نهاية مصبات الحوض والتي تتمثل بشكل رئيس عند قرية الحديثة ومنفذ مجمع الحديثة، و١٠٥٣ م فوق سطح البحر عند بداية منابع الحوض شرق المملكة الأردنية الهاشمية، ومن تحليل الجدول رقم (٨) يتضح أنه بلغ إجمالي تضاريس الحوض لوادي المخروق نحو ٥٢٦ متر.

وتوضح درجة الوعورة (Ruggedness Number) العلاقة بين تضرس الأرض داخل الحوض وأطوال شبكة المجاري المائية قياسًا على محيط الحوض، وذلك على النحو الآتي: كثافة التصريف x الفرق بين ارتفاع أعلى وأدنى نقطة في الحوض (م) ويقصد بها تضاريس الحوض/١٠٠٠ (محسوب، ١٩٩٧م)، أي أن قيمة الوعورة تزداد مع زيادة كثافة التصريف في الحوض من ناحية ومع زيادة تضرس الحوض من ناحية أخرى، وبالتالي زيادة عمليات النحت المائي وعمليات نقل الترسبات والعكس صحيح.

جدول رقم (١٠)

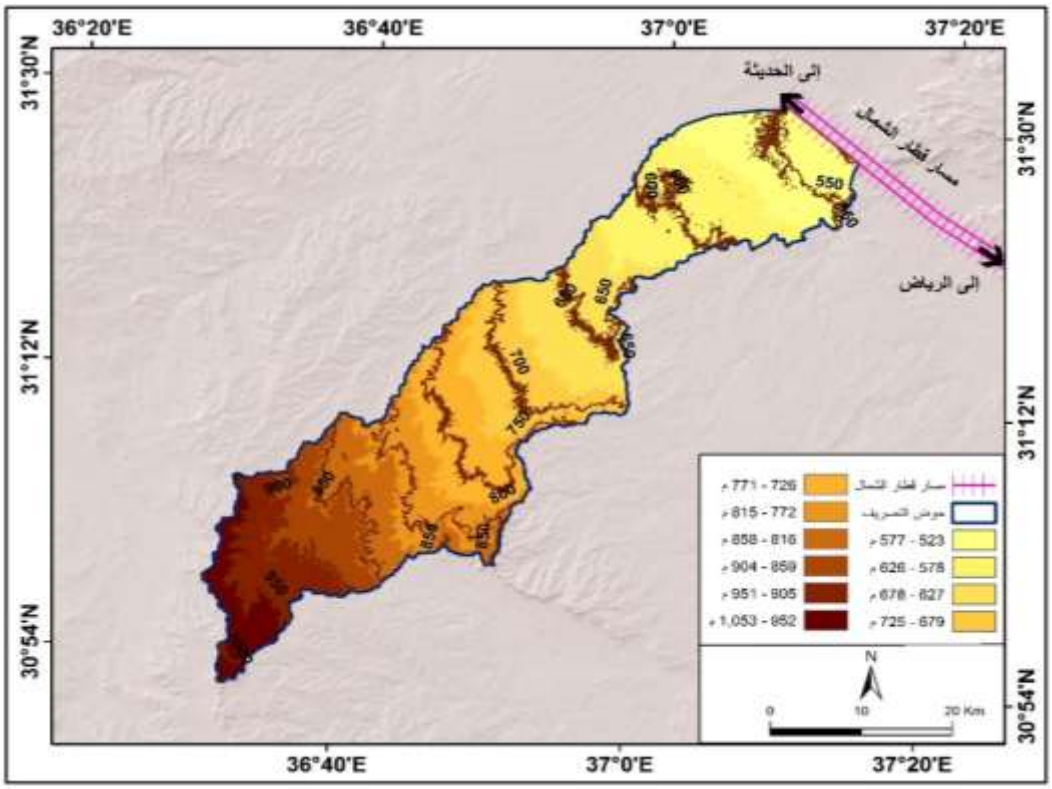
تحليل الخصائص الجيومترية والموروفومترية لحوض تصريف وادي المخروق

M	المعايير	المعادلة	المرجع	حوض وادي المخروق
١	المساحة (كم^2)	برنامج (WMS)	Luna, et al, 1964	١٣٢٧.٦
٢	الطول (كم)	برنامج (WMS)	Stanley, 1956	٩٢.٤٢
٣	الرتب (مجرى)	برنامج (ArcGIS)	Arthur, 1952	١٧٩٣٨
٤	إجمالي تضاريس الحوض(م)	H(m)=Z(m) − z(m)	Arthur, 1952	٥٢٦
٥	قيمة الوعورة	R_n=(D*Rh)/1000	Arthur, 1968	٢.١١
٦	تكرارية المجاري (مجرى/كم^2)	F= ∑ Nu/A	Robert, 1945	١٣.٨١
٧	كثافة التصريف (كم/كم^2)	D = ∑ LU/A	Arthur, 1957	٤.٠٠
٨	معدل التشعب	Rb = Nu/Nu+1	Robert, 1945	١.٦٠
٩	معدل التفرع المرجح	WMRb= ∑(Rbu/Rbu+1)/(Nu+Nu+1)/∑N	Arthur, 1952	٣.٠١
١٠	معامل الاستدارة (نسبة)	$R_c = 12.57A/P2$	Melton, 1957	٠.١٥
١١	معامل الاستطالة (نسبة)	$R_e = \sqrt[2]{(A/\pi)}/L$	Stanley, 1956	٠.٢٢
١٢	المحيط النسبي (كم)	P_r=A/P	Stanley, 1956	٣.٩
١٣	متوسط عرض الحوض (كم)	W_b=A/L	Robert, 1932	١٤.٤
١٤	نسبة معامل الشكل (نسبة)	$F_f = A/L_b^2$	Robert, 1932	٠.١٦

المصدر: برنامج (WMS)، وتطبيق المعادلات المذكورة في الجدول.

شكل (١٣)

خصائص الشكل لحوض وادي المخروق



المصدر: نموذج الارتفاع الرقمي بدقة ١٢.٥م من موقع (Vertex)

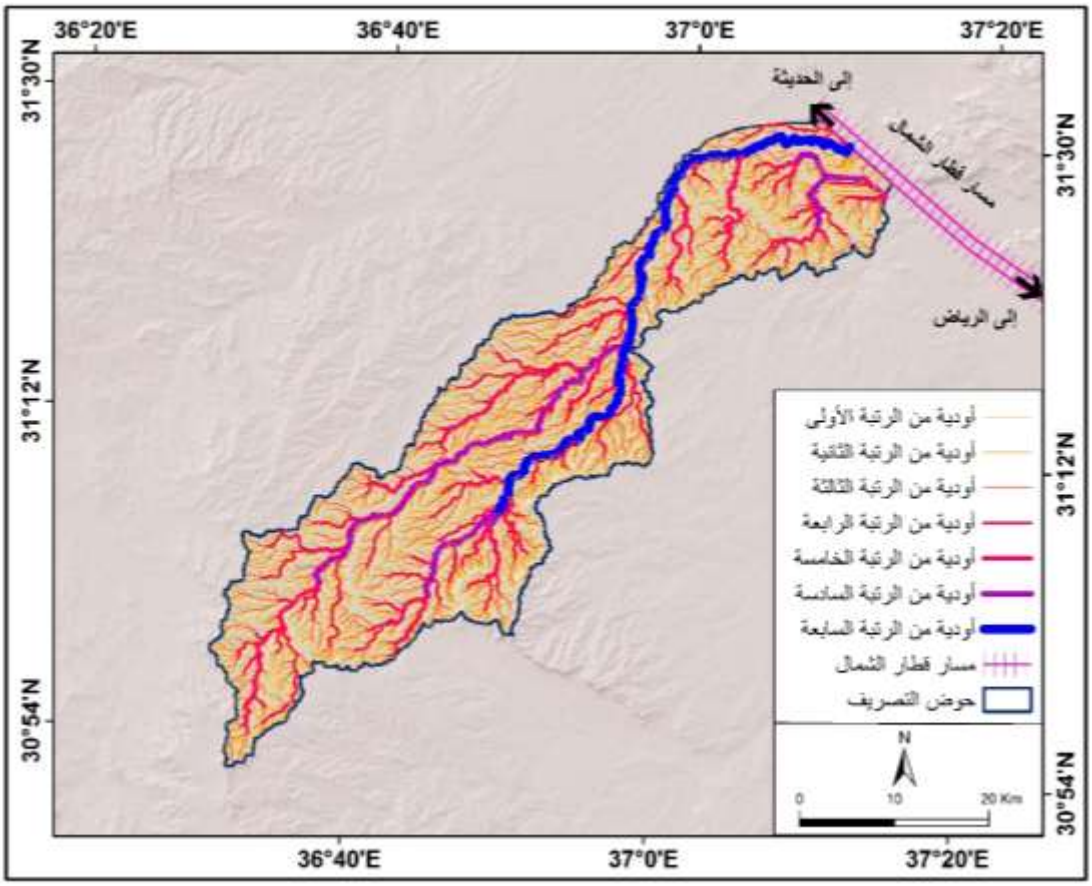
وقد بلغت درجة الوعورة لحوض وادي المخروق ٢.١١ وهي قيمة منخفضة جدًا، ويدل ذلك على أن حوض وادي المخروق منخفض التضرس في أجزاء واسعة منه، مما يعني أن انخفاض معدل الوعورة قد يزيد من احتمالية الجريان السطحي بدون عوائق أي زيادة السرعة للماء اثناء التساقط وهذا يزيد من فعالية الفيضان حال حدوثه، ويعد معدل التشعب أحد المقاييس الهامة التي تتحكم في معدل التصريف، وقد بلغ معدل التشعب لحوض وادي المخروق نحو ١.٥٧، في حين معدل التفرع المرجح أكثر دقة، إذ أنها تأخذ في الاعتبار أعداد المجاري بكل رتبة في الحوض، ويعد هذا المعدل قريبًا من الثبات أكثر من نسبة التشعب العام، وقد بلغ معدل التفرع المرجح في حوض وادي المخروق ٣.٠، بينما يدل معامل الاستطالة على مدى تشابه شكل الحوض مع المستطيل وذلك كلما اقتربت القيمة الناتجة من الصفر (Stanley, 1956)، وقد بلغ معامل الاستطالة في حوض وادي المخروق نحو ٠.٢٢ وتعد هذه القيمة تقترب من الصفر إلى حد ما أي أن الحوض يميل إلى الاستطالة اكثر من ميله إلى الاستدارة في ظل أن قيمة

الاستدارة تبتعد عن الواحد الصحيح حيث تبين ان قيمتها قد بلغت ٠.١٥، في حين يدل معامل الاستدارة على اقتراب شكل الحوض من شكل الدائرة، وتعنى القيم المرتفعة والقريبة من الواحد الصحيح أن شكل الحوض يقترب من شكل الدائرة (Victor, 1953).

اعتمد الباحث في التحليل المورفومتري على طريقة ستريلر (Arthur, 1968)، ومن تحليل الشكل (١٤) والجدول (١١) اتضح أن أعداد المجاري بلغت نحو ١٨٠٠٤ مجرى، في حين بلغ مجموع أطوال المجاري نحو ٥٢١١.٠ كم، وبلغ معامل تكرارية المجاري نحو ١٣.٥٦ مجرى/كم^{٢}، في حين بلغت كثافة التصريف لحوض وادي المخروق نحو ٣.٩٣ كم/كم^{٢} واستنادًا إلى ما ذكره ستريلر فإن المنطقة تصنف ضمن الكثافة الخشنة التي أقل من (٥) (Arthur, 1957) حيث أن أقل من (٥) خشنة، و (٥-١٣.٧) متوسطة، و(١٣.٧ – ١٥٥.٣) ناعمة، وأكثر من ١٥٥.٣ أكثر نعومة.

شكل (١٤)

رتب الأودية لحوض وادي المخروق



المصدر: برنامج (ArcGIS)

جدول (١١) أعداد وأطوال الرتب لحوض تصريف وادي المخروق

رتب الأودية	أعداد الرتب (مجرى)	أطوال الرتب (كم)
١	٩٢١٨	٢٦٢٧.٦
٢	٤١٤١	١٢٧٤.٨
٣	٢٢٢٨	٦٥٧.٨
٤	١٢٣٦	٣٣٥.٠
٥	٥٧٠	١٥٤.٧
٦	٣٠٢	٨٢.١
٧	٢٤٣	٦٨.٧
الإجمالي	١٧٩٣٨	٥٢٠٠.٧

المصدر: برنامج (ArcGIS)

٢- تحليل خصائص مياه السيول لحوض وادي المخروق:

تم تطبيق النموذج الهيدرولوجي (HEC-HMS) لقدرته في حساب منحنى الهيدروجراف بطرق متعددة طبقًا لأحواض التصريف السهلة والمعقدة، وذلك بالطرق الطبيعية أو الاصطناعية (Radmanesh, et al, 2006)، وتم استعمال عاصفة تصميمية بمدة زمنية ٢٤ ساعة، واستعمال توزيع SCS TYPE II، واستعمال طريقة SCS لحساب زمن التأخير والتركيز، وذلك للأزمنة التكرارية المختلفة ١٠٠،٥٠،٢٥،٢٠،١٠،٥ عام، وقد تبين من تحليل هيدروجراف مياه السيول لحوض تصريف وادي المخروق أن حجم السيول يتراوح ما بين ٢١٤٠٠ – ٨٦٧٦٤٠٠ م^{٣} خلال فترات الرجوع (٥ – ١٠٠ سنة)، وقد بلغت قيمة التدفق الأقصى للسيول لحوض وادي المخروق ما بين ٠.٢ – ٦١.٩م^{٣}/ث خلال فترة الرجوع المختلفة (٥ – ١٠٠ سنة)، والجدول (١٢) والأشكال (١٦،١٥) يوضحان خصائص مياه السيول لحوض تصريف وادي المخروق باستخدام النموذج الهيدرولوجي (HEC-HMS).

جدول (١٢)

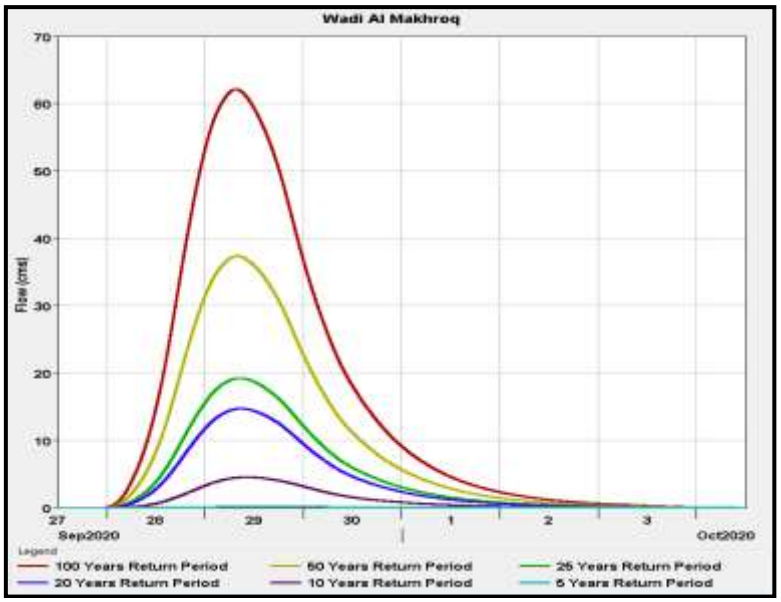
خصائص مياه السيول لحوض وادي المخروق لفترات الرجوع المختلفة

الفترات	٥	١٠	٢٠	٢٥	٥٠	١٠٠
المطر الكلي (ملم)	١٦.٢٠	٢١.٣٠	٢٦.٧٠	٢٨.٥٠	٣٤.٤٠	٤٠.٨٠
الفاقد الكلي (ملم)	١٦.١٨	٢٠.٨٣	٢٥.١٥	٢٦.٤٨	٣٠.٤٦	٣٤.٢٦
المطر المتبقي (ملم)	٠.٠٢	٠.٤٧	١.٥٥	٢.٠٢	٣.٩٤	٦.٥٤
حجم السيول (١٠٠٠م^{٣})	٢١.٤	٦٢٧.٣	٢٠٥٦.٢	٢٦٨٧.٥	٥٢٢٥.٢	٨٦٧٦.٤
أقصى تدفق (م^{٣}/ث)	٠.٢	٤.٥	١٤.٦	١٩.١	٣٧.٢	٦١.٩

المصدر: النموذج الهيدرولوجي (HEC-HMS)

شكل (١٥)

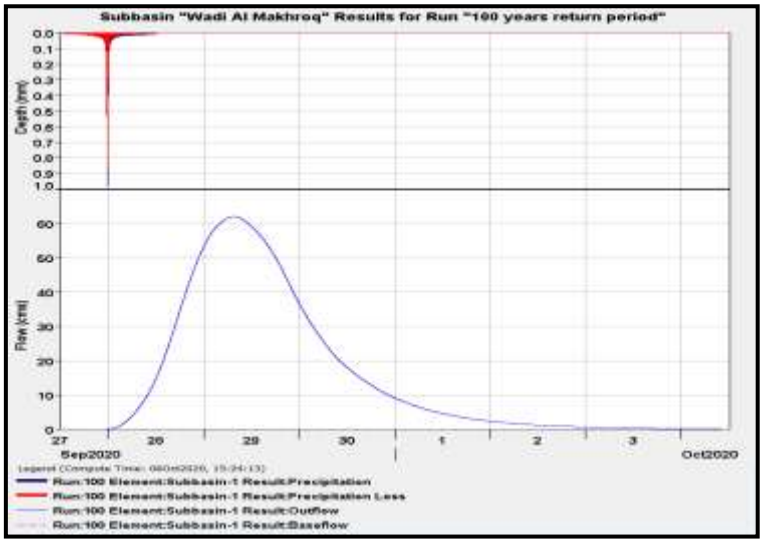
هيدروجراف مياه السيول لحوض وادي المخروق لفترات الرجوع المختلفة (٥،١٠،٢٠،٢٥،٥٠،١٠٠ سنة)



المصدر: النموذج الهيدرولوجي (HEC-HMS)

شكل (١٦)

هيدروجراف مياه السيول لحوض وادي المخروق لفترة الرجوع (١٠٠ سنة)



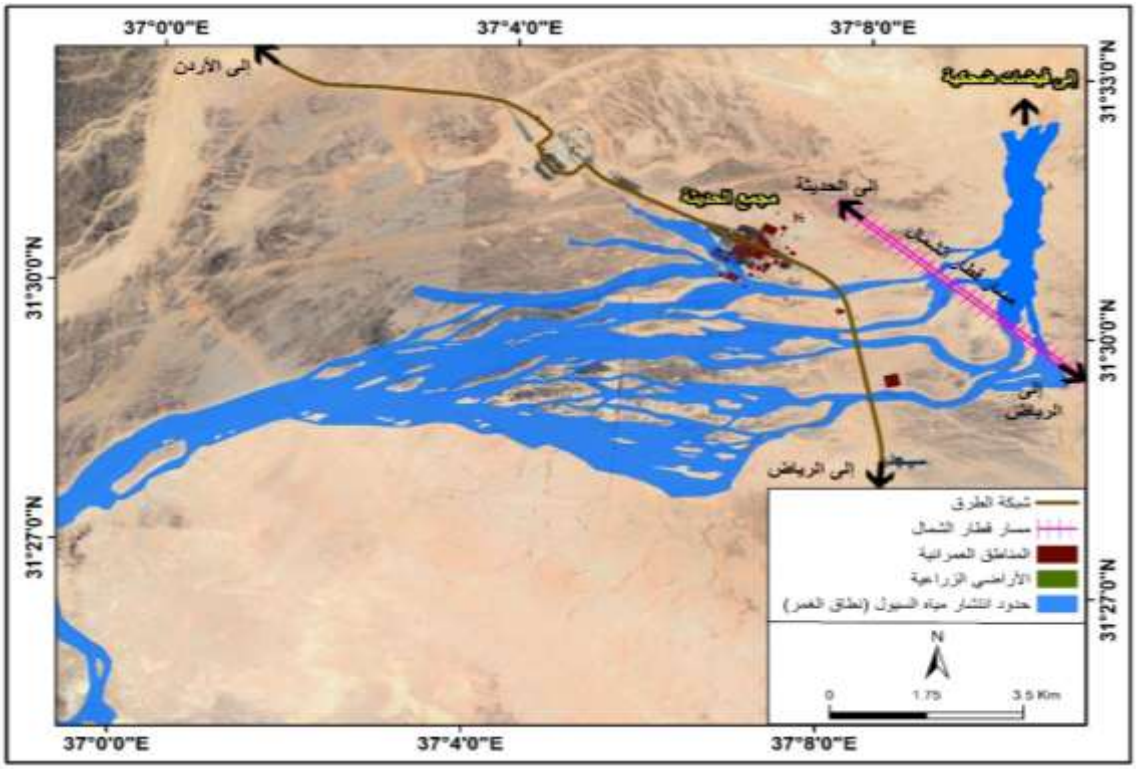
المصدر: النموذج الهيدرولوجي (HEC-HMS)

٣- تقييم مخاطر السيول لوادي المخروق:

أ-**المناطق العمرانية المعرضة للغمر**: كشفت الدراسة الميدانية والخرائط الطبوغرافية بمقياس ١:٥٠٠٠٠ والشكل (١٧) عن تحديد المناطق العمرانية المعرضة للغمر نتيجة سيول وادي المخروق، أن قرية الحديثة لا تتعرض لسيول وادي المخروق حيث تبعد عنه بنحو ٣ كم، وعليه لا يشكل وادي المخروق أي خطورة على قرية الحديثة، في حين يتعرض نحو ٠.٠٥ كم^{٢} بنسبة ١٤.٢٩% من منفذ مجمع الحديثة إلى الغمر من سيول وادي المخروق، وذلك بسبب أنه لم يراعى عند إنشاء منفذ مجمع الحديثة القيام بدراسات لمعرفة تأثير مياه سيول وادي المخروق على مجمع الحديثة، وقد يشكل ذلك خطرًا في المستقبل على مجمع الحديثة باعتباره أحد أهم وأكبر المنافذ البرية المهمة، وعليه لا بد من توفير بدائل وحلول لدرء أخطار السيول عن منفذ مجمع الحديثة، والشكل رقم (١٨) يوضح جانب من سيول وادي المخروق في ١٠ نوفمبر ٢٠١٨م.

شكل (١٧)

المناطق المعرضة للغمر لحوض وادي المخروق



المصدر: الخرائط الطبوغرافية مقياس رسم ١:٥٠٠٠٠ والزيارة الميدانية في سيول وادي المخروق في ١٠ نوفمبر ٢٠١٨م

شكل (١٨)

جانب من أخطار سيول وادي المخروق وجهود بلدية محافظة القريات في تقليل أخطاره

جانب من سيول وادي المخروق في ١٠ نوفمبر ٢٠١٨م، ناظرًا صوب الشرق

احتجاز مياه سيول وادي المخروق في ١٠ نوفمبر ٢٠١٨م، ناظرًا صوب الشرق

جانب من جهود بلدية محافظة القريات في تحويل مسار مياه سيول وادي المخروق ناظرًا صوب الشرق

جانب من جهود بلدية محافظة القريات في صيانة المنشآت الهيدروليكية أسفل مسار قطار الشمال ناظرًا صوب الشرق

المصدر: بلدية محافظة القريات، الإدارة العامة للأعلام، جوانب من سيول وادي المخروق في ١٠ نوفمبر ٢٠١٨م

ب- تقييم أثر مخاطر سيول وادي المخروق على مسار قطار الشمال:

لتقييم مخاطر السيول وادي المخروق على مسار قطار الشمال يجب أن يتم تقييم المنشآت الهيدروليكية القائمة أسفله سواء كانت جسور أو عبارات، حيث يعد الهدف الرئيس من تقييم العبارات والجسور القائمة أسفل مسار قطار الشمال هو إظهار قدرتها الاستيعابية على تمرير تدفقات الذروة لحوض وادي المخروق، حيث أنه في حال هذه العبارات والجسور قادرة على تمرير التدفق ونقله من الغرب إلى الشرق أسفل مسار القطار فأن ذلك يعد دورًا إيجابيًا في النمذجة إلا لم تكن هذه العبارات والجسور قادرة على تمرير تدفقات الذروة فأن هذا يشكل تهديدًا وخطرًا بالغ الأهمية على مسار قطار الشمال نفسه لذا تم استكشاف منطقة الدراسة وتقييمها، وتفقد العبارات القائمة أسفل مسار قطار الشمال لأخذها في الاعتبار عند إجراء الدراسات التفصيلية، واتضح وجود عدد ٩ عبارات قائمة تقع أسفل مسار قطار الشمال وعبارة و٣ جسور أسفل الطريق الإقليمي، ومن خلال الشكل (١٩) والجدول رقم (١٣،١٤،١٥،١٦،١٧،١٨) اتضح أن هناك عبارتان غير قادرتان على تمرير التدفق لحوض وادي المخروق ويشكل هذا خطر بالغ الأهمية ساعد على تفاقم مشكلة السيول بالمنطقة، كما اتضح أن هناك عبارتان أسفل مسار قطار الشمال قادرتان على تمرير التدفق لحوض وادي المخروق، وتبين أيضًا وجود ٥ عبارات أسفل مسار قطار الشمال لا تقوم بنقل أي تدفقات لحوض وادي المخروق، بالإضافة إلى ذلك وجود عبارة و٣ جسور أسفل الطريق الإقليمي قادرات على تمرير التدفق.

جدول (١٣)

خصائص الجسور القائمة على مسار قطار الشمال

رقم الجسر	عدد الفتحات	عرض الفتحة (م)	العرض الكلى (م)
B1	٧	١٥	١٠٥
B2	٦	١٥	٩٠
B3	٩	١٦	١٤٤

المصدر: الزيارة الميدانية في سيول وادي المخروق في ١٠ نوفمبر ٢٠١٨م

جدول (١٤)

التحليل الهيدروليكي للجسور القائمة أسفل الطريق الإقليمي

رقم الجسر	التدفق الأقصى (م^3/ث)	الخلوص الحر (م)
B1	٢٠.٦٣	١
B2	٢٠.٦٣	١
B3	٢٠.٦٣	١

المصدر: برنامج HEC-RAS.

جدول (١٥)

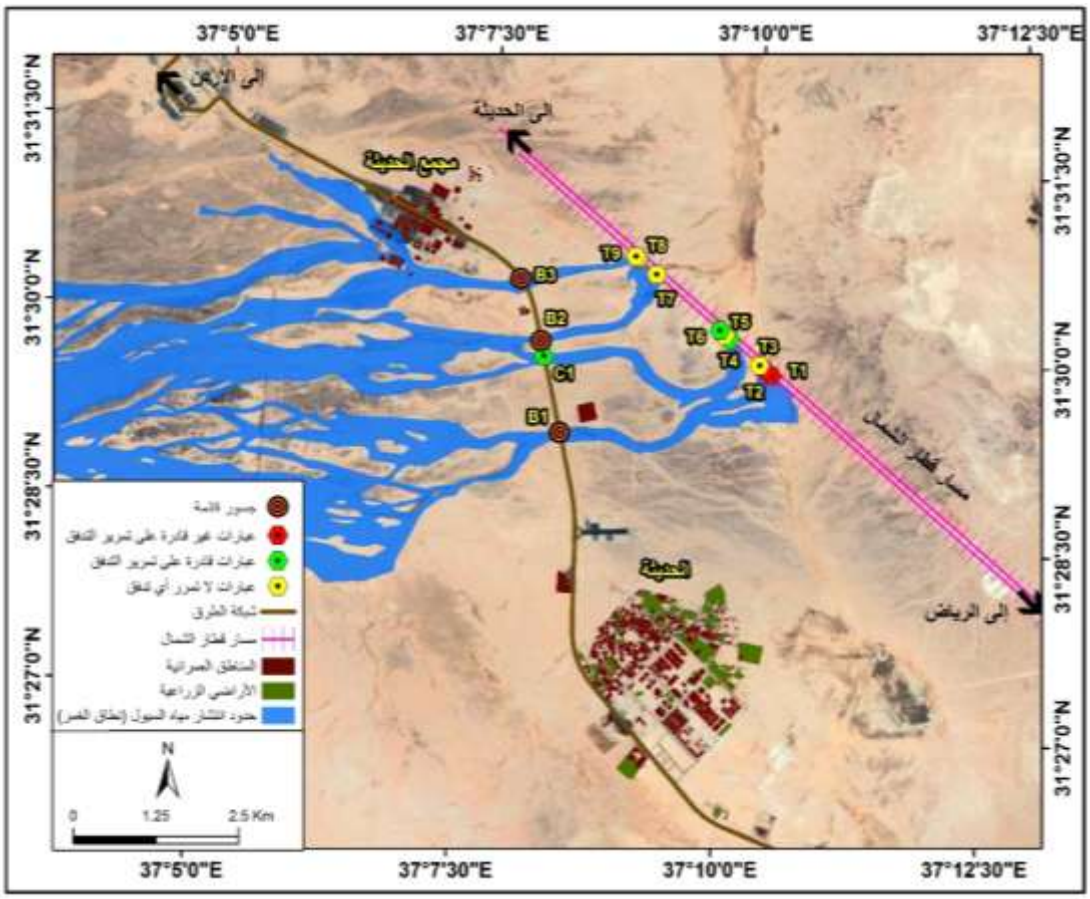
خصائص العبارات القائمة أسفل الطريق الإقليمي

العبارة	نوع العبارة	عدد الفتحات	عرض الفتحة (م)	ارتفاع الفتحة (م)	طول الفتحة (م)	انحراف العبارة	إحداثيات العبارة	
							شمال	شرق
C1	صندوقية	٤	٢	٢	٧٣.٨٢	٢٧.٨٣	٣٤٨٦١٩٤.٣١	٣٢٢٨٩٣.٩٦

المصدر: الزيارة الميدانية في سيول وادي المخروق في ١٠ نوفمبر ٢٠١٨م

شكل (١٩)

العبارات والجسور القائمة



المصدر: الخرائط الطبوغرافية مقياس رسم ١:٥٠٠٠٠ والزيارة الميدانية في سيول وادي المخروق في ١٠ نوفمبر ٢٠١٨م

جدول (١٦) التحليل الهيدروليكي للعبارات القائمة أسفل الطريق الإقليمي

العبارة	سرعة التدفق عند مخرج العبارة	ارتفاع المياه عند مدخل العبارة (م)	التدفق الأقصى (م٣/ث)	منسوب مدخل العبارة (م)	منسوب مخرج العبارة (م)
C1	٤.٦٠	١.٦٨	٦١.٩	٥٣٠.٣٢٥	٥٢٩.٨٣٢

المصدر: الزيارة الميدانية في سيول وادي المخروق في ١٠ نوفمبر ٢٠١٨م

جدول (١٧) خصائص العبارات القائمة أسفل مسار قطار الشمال

العبارة	نوع العبارة	عدد الفتحات	عرض الفتحة (م)	ارتفاع الفتحة (م)	طول الفتحة (م)	انحراف العبارة	إحداثيات العبارة	
							شمال	شرق
T1	صندوقية	٢	٢	٢	١٣.١٤	٤٤.٢٥	٣٤٨٥٧٨٨.٦٥	٣٢٦٧١٥.٠٦
T2	صندوقية	٣	٢	٢	١٢.٤٢	٣٣.١٨	٣٤٨٦٠٨٩.٣٠	٣٢٦٣٢٤.٧٣
T3	صندوقية	٤	٢	٢	١٠.١٦	٣١.٨٩	٣٤٨٦١٦٨.٧٤	٣٢٦٢٢١.٦٠
T4	صندوقية	٤	٢	٢	١٠.٨٨	٣٧.٤٢	٣٤٨٦٥٩٢.٤٩	٣٢٥٦٧١.٤٥
T5	صندوقية	٤	٢	٢	١٢.٨٠	٣٨.٦٥	٣٤٨٦٦٥١.٤٩	٣٢٥٥٩٤.٨٥
T6	صندوقية	٤	٢	٢	١٤.٧٢	٣٧.٩٢	٣٤٨٦٧١٤.٢٤	٣٢٥٥١٣.٣٨
T7	صندوقية	٤	٢	٢	١٨.٢٢	٣١.٩٣	٣٤٨٧٤٨٠.٨٠	٣٢٤٥١٨.١٧
T8	صندوقية	٣	١.٥٠	١.٥٠	١٧.٨٣	٦٢.٨٣	٣٤٨٧٧٠٣.٣٥	٣٢٤٢٢٩.٢٣
T9	صندوقية	٥	٢	٢	٢١.٩٤	٦٦.٠٥	٣٤٨٧٧٢٩.٠٢	٣٢٤١٩٥.٩١

المصدر: برنامج Culvert master صندوقية (شكل الصندوق)

جدول (١٨) التحليل الهيدروليكي للعبارات القائمة أسفل مسار قطار الشمال

العبارة	سرعة التدفق عند مخرج العبارة	ارتفاع المياه عند مدخل العبارة (م)	التدفق الأقصى (م٣/ث)	منسوب مدخل العبارة (م)	منسوب مخرج العبارة (م)
T1	٧.٩٢	١.٩٥	٦١.٩	٥٢٠.٣٢١	٥١٩.٩٥٢
T2	٧.٩٣	١.٢٥		٥١٦.٤٥٢	٥١٥.٠٥٤
T3	٠.٠٠	٠.٠٠		٥٢١.١٢٣	٥٢٠.٨٤٢
T4	٢.٩١	٠.١٤		٥٢٠.٢٣٠	٥١٩.٨٧١
T5	٠.٠٠	٠.٠٠		٥١٩.٦١٠	٥١٩.١٢٣
T6	٢.٣٠	٠.١٧		٥٢٠.١٢٠	٥١٩.٩٢١
T7	٠.٠٠	٠.٠٠		٥٢٣.٧٨٤	٥٢٣.٣٦٢
T8	٠.٠٠	٠.٠٠		٥٢٤.٦٩٢	٥٢٤.١٢٩
T9	٠.٠٠	٠.٠٠		٥٢٣.٤٢٣	٥٢٣.٠٢٣

المصدر: برنامج Culvert master

٤- الآلية المقترحة لدرء مخاطر السيول عن منطقة الدراسة:

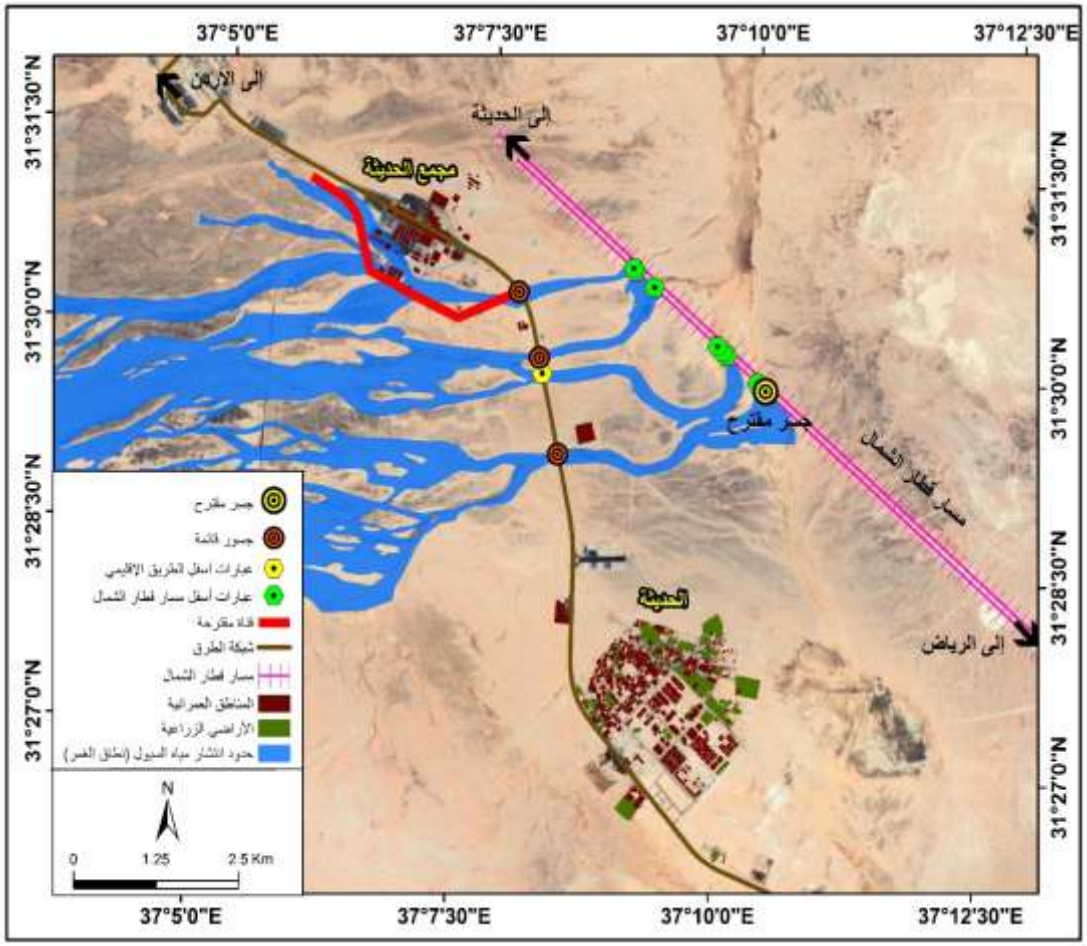
من تحليل الشكل رقم (٢٠) يتضح أن نحو ٠.٠٥ كم^{٢}من منفذ مجمع الحديثة يتعرض إلى مخاطر سيول وادي المخروق خاصة في الجزء الغربي والجنوب الغربي لمجمع الحديثة، ولدرء مخاطر سيول وادي المخروق عن مجمع الحديثة ومسار قطار الشمال تم اقتراح حلول هندسية تتمثل في:

أ- إنشاء وتنفيذ قناة مقترحة لحماية مجمع الحديثة بطول ٤١٥٦.٢٥ م واتجاه القناة من غرب-جنوب شرق مجموع الحديثة ويبلغ عرض قاع القناة ١٥ متر وعمق القناة ١ متر، وتقوم القناة باستيعاب وتستوعب هذه القناة تدفق وادي المخروق البالغ ٦١.٩ م^{٣}/ث.

ب- عمل جسر أسفل مسار قطار الشمال بعدد ٤ فتحات وارتفاع ٤م وعرض الفتحة الواحدة ٢٠م، ويقع هذا الجسر مكان العبارات القائمة رقم (T2,T1) الغير قادرة على تمرير التدفق، حيث يقوم الجسر بنقل مياه سيول وادي المخروق إلى الجهة الشرقية من مسار قطار الشمال حتى تصل إلى فيضانات ضعيفة الواقعة شمال شرق مجمع الحديثة.

شكل (٢٠)

الألية المقترحة لدرء مخاطر السيول عن مجمع الحديثة ومسار قطار الشمال



المصدر: برنامج Flow master، وبرنامج HEC–RAS، ونتائج الدراسة

النتائج والتوصيات:

أولًا: النتائج:

- يعد وادي المخروق أحد خمسة أودية رئيسة تؤثر على مدينة القريات وهذه الأودية هي من الجنوب إلى الشمال وادي سرمداء الذي يؤثر على قرى الناصفة وجماجم والرديفة، ووادي باير الذي يؤثر على قريتي غطى وباير، ووادي حصيدة أم نخلة الذي يؤثر على مدينة القريات، ووادي حصيدة الغربية الذي يؤثر على الجزء الشمالي من مدينة القريات، وادي المخروق من الشمال الذي يؤثر على قرية الحديثة، ويمتد حوض وادي المخروق بطول يصل إلى ٩٢.٤٢ كم، وتبلغ مساحة الحوض نحو ١٣٢٧.٦ كم^{٢}، وبدراسة نموذج الارتفاعات الرقمية لحوض وادي المخروق تبين أن مناسيب سطح الأرض بالمنطقة تتراوح بين ٥٢٣ م و١٠٥٣ م، وبلغت أعداد المجاري لحوض وادي المخروق بلغت نحو ١٨٠٠٤ مجرًا، في حين بلغ مجموع أطوال المجاري نحو ٥٢١١.٠ كم.
- يقع وادي المخروق ضمن محطة أرصاد منطقة الحديثة (SK114) لكونها أقرب محطات قياس الأمطار لمنطقة الدراسة، واتضح أن كميات الأمطار اليومية القصوى تغطي فترة من ١٩٨٣م وحتى ٢٠١٢م والتي تمثل حوالي ٣٠ سنة، واتضح أن توزيع Lognormal هو التوزيع الأنسب لمحطة الحديثة (SK114)، وقد تم التحقق من ملاءمة طريقة التوزيع الاحتمالي (Log- Normal) عن طريق تطبيق اختبار Kolmogorov Smirnov واختبار Anderson Darling.
- تتألف منطقة حوض تصريف وادي المخروق من تكوين الحجر الجيري والمارل والصوان في المرتبة الأولى بمساحة ٧٢٦.٥٦ كم^{٢} تشكل ٥٤.٧٣٪، ثم رواسب الأودية بمساحة ٢٠١.٨٦ كم^{٢} تمثل ١٥.٢٠٪، ثم رواسب السهل الفيضي بنحو ١٣٣.٩١ كم^{٢} بنسبة ١٠.٠٩٪، ثم رواسب المسطحات الطينية بنحو ٧.٩٨ كم^{٢} بنسبة ٠.٦٠٪، ويليها رواسب طمي وغرين بمساحة ٧.١٣ كم^{٢} بنسبة ٠.٥٤٪، وفي الأخير الحجر الجيري والحجر الرملي الكلسي بنحو ٢٥٠.١٦ كم^{٢} بنسبة ١٨.٨٤٪.
- يتمثل حوض تصريف وادي المخروق في المجموعات الهيدرولوجية للتربة (A–B–C)، حيث تمثل المجموعة الهيدرولوجية للتربة (A) نحو ٣٥٠.٨٨ كم^{٢} بنسبة ٢٦.٤٣%، في حين تمثل المجموعة الهيدرولوجية للتربة (B) مساحة قدرها ٤٨٣.٦٤ كم^{٢} تشكل ٣٦.٤٣%، وتمثل المجموعة الهيدرولوجية للتربة (C) مساحة قدرها ٤٩٣.٠٨ كم^{٢} بنسبة ٣٧.١٤%.
- تتألف منطقة حوض تصريف وادي المخروق من أربعة أنواع لاستخدامات الأرض، في المرتبة الأولى المناطق العمرانية بمساحة بلغت نحو ٧.٢٦ كم^{٢} بنسبة ٠.٥٥٪، يليها الأراضي الزراعية بمساحة حوالي ٤.٧٥ كم^{٢} بنسبة ٠.٣٦٪، ثم شبكة الأودية الجافة بالحوض بمساحة ٢٠١.٨٦ كم^{٢} بنسبة

١٥.٢٠٪، أما في المرتبة الأخيرة المناطق الصحراوية بنحو ١١١٣.٧٣ كم^{٢} بنسبة ٨٣.٨٩٪، وتنوعت قيم رقم المنحنى بحوض وادي المخروق ما بين ٧٧ و٨٨.

- يتراوح حجم السيول يتراوح ما بين ٢١٤٠٠ – ٨٦٧٦٤٠٠ م^{٣} خلال فترات الرجوع (٥ – ١٠٠ سنة)، وقد بلغت قيمة التدفق الأقصى للسيول لحوض وادي المخروق ما بين ٠.٢ – ٦١.٩م^{٣}/ث خلال فترة الرجوع المختلفة (٥ – ١٠٠ سنة) باستخدام النموذج الهيدرولوجي (HEC-HMS).
- هناك عبارتان غير قادرتان على تمرير التدفق لحوض وادي المخروق ويشكل هذا خطر بالغ الأهمية ساعد على تفاقم مشكلة السيول بالمنطقة، كما اتضح أن هناك عبارتان أسفل مسار قطار الشمال قادرتان على تمرير التدفق لحوض وادي المخروق، وتبين أيضًا وجود ٥ عبارات أسفل مسار قطار الشمال لا تقوم بنقل أي تدفقات لحوض وادي المخروق، بالإضافة إلى ذلك وجود عبارة و٣ جسور أسفل الطريق الإقليمي قادرين على تمرير التدفق.
- أن نحو ٠.٠٥ كم^{٢} من منفذ مجمع الحديثة يتعرض إلى مخاطر سيول وادي المخروق، ولدرء مخاطر سيول وادي المخروق عن مجمع الحديثة تم اقتراح مجموعة من الحلول الهندسية تتمثل في: إنشاء وتنفيذ قناة مقترحة لحماية مجمع الحديثة بطول ٤١٥٦.٢٥ م واتجاه القناة من غرب–جنوب شرق مجموع الحديثة ويبلغ عرض قاع القناة ١٥ متر وعمق القناة ١ متر، وتقوم القناة باستيعاب وتستوعب هذه القناة تدفق وادي المخروق البالغ ٦١.٩ م^{٣}/ث، كما اقترحت أيضًا الدراسة تنفيذ جسر أسفل مسار قطار الشمال بعدد ٤ فتحات وارتفاع ٤م وعرض الفتحة الواحدة ٢٠م؛ ويقع هذا الجسر مكان العبارات القائمة رقم (T2,T1) الغير قادرة على تمرير التدفق.

ثانيًا التوصيات:

- إنشاء وتنفيذ قناة مقترحة لحماية مجمع الحديثة بطول ٤١٥٦.٢٥ م واتجاه القناة من غرب–جنوب شرق مجموع الحديثة ويبلغ عرض قاع القناة ١٥ متر وعمق القناة ١ متر، وتقوم القناة باستيعاب وتستوعب هذه القناة تدفق وادي المخروق البالغ ٦١.٩ م^{٣}/ث.
- إنشاء وتنفيذ جسر أسفل مسار قطار الشمال بعدد ٤ فتحات وارتفاع ٤م وعرض الفتحة الواحدة ٢٠م؛ ويقع هذا الجسر مكان العبارات القائمة رقم (T2,T1) الغير قادرة على تمرير التدفق، حيث يقوم الجسر بنقل مياه سيول وادي المخروق إلى الجهة الشرقية من مسار قطار الشمال حتى تصل إلى فيضان ضعيف الواقعة شمال شرق مجمع الحديثة.
- المحافظة على مجاري الوديان وفروعها وإزالة جميع التعديات الموجودة في حرم الوادي مع حماية مجرى الوادي من أية عوائق محتملة، مثل العقوم والمزارع والمنشآت التي ينتج عنها منع تدفق المياه في مجرى الوادي وأخذ ذلك بعين الاعتبار.
- هناك فرصة ناشئة ومستمرة لاستعمال مجموعات البيانات المتزايدة لتحسين التنبؤات الهيدرولوجية والنمذجة المكانية لمخاطر السيول، الأمر الذي يوفر وسائل لرصد متغيرات الحالة الهيدرولوجية والهيدروليكية؛ لذا توصي الدراسة بتطبيق النموذج الهيدرولوجي HEC–HMS في دراسات الوقاية من مخاطر السيول وإدارة مرافق البنية التحية، حيث أثبت دمج هذه التقنيات مع برامج النمذجة المكانية (GIS وRS) فعاليته الكبيرة في تحديد المناطق المعرضة لمخاطر السيول والمساهمة في إدارة البنية التحتية وتخفيف المخاطر.
- ينبغي أن تقوم شركة سار المالكة للمشروع بأخذ كافة التدابير الخاصة بإعادة النظر في مدى ملاءمة موقع وموضع مسار قطار الشمال البالغ طوله ٢٧٥٠ كم من مدينة الرياض في الجنوب إلى قرية الحديثة في الشمال، وذلك من خلال تكثيف دراسات المخاطر سواء كانت دراسات مخاطر السيول أو المخاطر الجيومورفولوجية أو مخاطر زحف الرمال لتامين سلامة الأرواح والممتلكات.

المراجع والمصادر:

المراجع العربية:

١. إبراهيم عبد الله قائد درويش، (٢٠١٧م)، " النمذجة الخرائطية لمخاطر السيول في حوض وادي منى مكلة المكرمة باستخدام طريقة CN"، المجلة العربية لنظم المعلومات الجغرافية، الجمعية الجغرافية السعودية، العدد ٨٤، ص ص٤١-٨٣.

٢. أحمد بن عبد الله بن محمد الدغيري، حمدينة عبد القادر السيد العوضي، (٢٠١٧م)، "التحليل الهيدرومورفومتري وتقدير حجم السيول في حوض وادي الوطاة بمنطقة القصيم"، مجلة العلوم الإنسانية والاجتماعية، العدد ٤٧، جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية، ص ص ١٨٦-٢٦٠.

٣. أشرف أحمد علي عبد الكريم (٢٠٢٠م)، "النمذجة الهيدرولوجية والهيدروليكية للسيول باستخدام برنامج نظام نمذجة الأحواض المائية (Watershed Modeling System (WMS))، أساسيات ومفاهيم وتدريبات وتطبيقات عربية"، الطبعة الأولى، دار نشر العكبيان، ص ص ١-٤٨٤.

٤. أشرف أحمد علي عبد الكريم ، (٢٠١٣م)، " أثر التغيرات المكانية للنمو العمراني واستخدامات الأرض على زيادة مخاطر السيول في مدينة حائل باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد (RS)"، مجلة العربية لنظم المعلومات الجغرافية، الجمعية الجغرافية السعودية، المجلد السادس، العدد ٢، ص ص ١-١٠٣.

٥. جمعة داوود وزميله، (٢٠١٢م)، "تقييم مخاطر الفيضانات المفاجئة بمدينة مكة المكرمة بالاعتماد على نظم المعلومات الجغرافية"، مجلة إيجي ماتكس، العدد ٣، ص ص ١-١٣.

٦. محسوب، محمد صبري (١٩٩٧م)، "جيومورفولوجية الأشكال الأرضية"، دار الفكر العربي، القاهرة، الطبعة الأولى، ص ص ١-٤٨٨.

٧. محمد بوروبه، (٢٠٠٧م)، "دراسة هيدرومورفومترية لتقدير حجم سيول وادي عتود بالمملكة العربية السعودية"، سلسة الإصدارات الخاصة، عدد ٢١، مركز دراسات الخليج والجزيرة العربية، الكويت.

المراجع الأجنبية:

1. Al Saud, M. (2009): Morphometric analysis of Wadi Aurnah drainage system, western Arabian Peninsula.0T 0TOpen Hydro J,0T 0T3, 1-10.
2. Arthur Strahler, (1957), Quantitative analysis of watershed geomorphology.0T 0TEos, Transactions American Geophysical Union,0T 0T38(6), 913-920.
3. Arthur Strahler, (1968), "Quantitataive Geomorphology in Encyclopedia of Geomorphology, Edited by R. W. Fairbridge, Reinhold, New York.
4. Ashraf Abdelkarim, Ahmed Gaber, (2019), "Flood Risk Assessment of the Wadi Nu'man Basin, Mecca, Saudi Arabia (During the Period, 1988–2019) Based on the Integration of Geomatics and Hydraulic Modeling: A Case Study". MDPI, Water, Vol. 11, pp 1-32. https://doi.org/10.3390/w11091887.
5. Ashraf Abdelkarim, Ahmed Gaber, Ahmed Youssef, Biswajeet Pradhan, (2019), "Flood Hazard Assessment of the Urban Area of Tabuk City, Kingdom of Saudi Arabia by Integrating Spatial-Based Hydrologic and Hydrodynamic Modeling". MDPI, Sensors, Vol. 19, pp 1-23. https://doi.org/10.3390/s19051024.
6. Ashraf Abdelkarim, Mohsen Awawdeh, Haya Alogayell, Seham Al-Alola, (2020), "Intergration Remote Sensing and Hydrologic, Hydroulic Modelling on Assessment Flood Risk and Mitigation: Al-Lith City, KSA". Int. J. GEOMATE, Vol. 18, pp 252–280, https://doi.org/10.21660/2020.70.68180.
7. Ashraf Abdelkarim, Seham Al-Alola, Haya Alogayell, Soha Mohamed, Ibtesam Alkadi, Ismail Youssef, (2020), "Mapping of GIS-Flood Hazard Using the Geomorphometric-Hazard Model: Case Study of the Al-Shamal Train Pathway in the City of Qurayyat, Kingdom of Saudi Arabia", geosciences, Volume 10, pp 1-32. doi:10.3390/geosciences10090333.
8. Bapalu GV, Sinha, R (2005) GIS in flood hazard mapping: a case study of Kosi River Basin, India. GIS Development Weekly, 1(13):1–3. http://www.gisdevelopment.net/application/natural_hazards/floods.
9. Henk Ritzema, (1994), "Drainage Principles and Applications", International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Publication 16, second revised edition, pp 1-1124.
10. Khalil Ur Rahman, Khaled Balkhair, Mansour Almazroui, Amjad Masood, (2017), "Sub-catchments flow losses computation using Muskingum–Cunge routing method and HEC-HMS GIS based techniques, case study of Wadi Al -Lith, Saudi Arabia". Model. Earth Syst. Environ, Vol. 92, pp 1027-1049. https://doi.org/10.1007/s40808-017-0268-1.
11. Luna Bergere Leopold, Gordon Wolaman, John Miller, (1964), "Fluvial Process in Geomorphology", Dover Publications, pp 1-544.
12. Melton, A. (1957), "An Analysis of the relations among elements of climate", Surface properties and geomorphology, Project NR 389042, Tech. Rep. 11, Columbia University, pp 389–642.

13. Pradhan, B., & Lee, S. (2010b): Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: back-propagation arti-ficial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling". Environmental Modelling & Software, Volume 6, pp 747-759.
14. Radmanesh F, Hemat JP, Behnia A, Khond A, Mohamad BA, (2006), "Calibration and assessment of HEC-1 model in Roodzard watershed". In: 17 th international conference of river engineering. University of Shahid Chamran. Ahva. pp 85-99.
15. Robert Horton, (1932), "Drainage basin characteristics", Eos, Transactions American Geophysical Union, Vol. 13, pp 350-361, https://doi.org/10.1029/TR013i001p00350.
16. Saliya Sampath DS, Weerakoon SB, Srikantha Herath, (2015), "HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment with intra-basin diversions case study of the Deduru Oya River Basin, Sri Lanka". Engineer**,** Vol. 48, pp 1-9. http://doi.org/10.4038/engineer.v48i1.6843.
17. Stanley Schumm, (1956), "Evolution of drainage system and slope in badlands of Perth Amboy, New Jersey". Bull. Geol. Soc. Am. Vol. 67, pp 597-46. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2
18. United States Department of Agriculture (1986), "Urban Hydrology for Small Watersheds TR-55", Natural Resource Conservation Service (USDA-NRCS), Conservation Engineering Division.
19. USDA, TR-55, (1986), "US. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Urban Hydrology for Small Watersheds". Tech. Release 55, 1986.
20. USDA-SCS. (1985), "National Engineering Handbook", USDA-SCS, Section 4 - Hydrology. Washington, D.C.
21. Victor Miller, (1953), "A Quantitataive Geomorphic Study of Drainage basin Characteristics in the Clinch Mountain Area, Virginia and Tennessee", Dept. of Geology, Columbia University, Tech Rep. Vol. 3,.
22. Victor Ponce, Richard Hawkins, (1996), "Runoff Curve Number: Has It Reached Maturity?". Journal of Hyrologic Engineering. Vol. 1, pp 9-20. doi:org/10.1061/(ASCE)1084-0699(1996)1:1(11).
23. Youssef AM, Pradhan B, Gaber AFD, Buchroithner M F, (2009), "Geomorphological hazard analysis along the Egyptian red sea coast between Safaga and Quseir", Natural Hazards and Earth System Science, Volume 3, pp 751-766.