

**الخصائص الجيومورفولوجية والهيدرولوجية لحوض وادي  
دلوة بمدينة المجرادة، عسير، المملكة العربية السعودية،  
باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والنهذجة الهيدرولوجية**

**د. محسن محمد علي عواودة  
جامعة الملك فيصل**

تاريخ استلام البحث: ٢٥ / ١٠ / ٢٠١٩

تاريخ قبول البحث: ٣ / ٢ / ٢٠٢٠

## الخصائص الجيومورفولوجية والهيدرولوجية لحوض وادي دلوة بمدينة المجرادة، عسير، المملكة العربية السعودية، باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والنهذجة الهيدرولوجية

د. محسن محمد علي عواودة \*

### المخلص:

تهدف هذه الدراسة إلى التعرف على الخصائص الجيومورفولوجية والهيدرولوجية لحوض وادي دلوة بمدينة المجرادة، وذلك بتطبيق النموذج الهيدرولوجي (HEC-1) ضمن حزمة برنامج (WMS)، وتقدير حساب كميات مياه السيول ومعدلات تدفقها اعتماداً على طريقة (SCS Unit Hydrograph) كما استعانت الدراسة بنظم المعلومات الجغرافية في إنتاج ورصد خرائط التربة والجيولوجيا والمجموعة الهيدرولوجية والتوسعات العمرانية لبيان تأثيرها بالمخاطر، وتم تحليل وتقدير عمق الأمطار للمحطات (٤٩٨ - ٥٣٤ - ٨٠ - ١٥) لفترات رجوع مختلفة (١٠٠،٥٠،٢٥،١٠،٥ سنة)، باستخدام برنامج التحليل الإحصائي Hyfran. وكشفت نتائج الدراسة ان حوض وادي دلوة يمتد بطول بنحو ٢٨،٧٤ كم، بمساحة قدرها ٥٦،٢٦ كيلومتر مربع، ويتراوح حجم السيول له من ١،١٧٩٩٨١٧ م<sup>٣</sup> إلى ٥،٥٢٠٧٧٤٤ م<sup>٣</sup>، وتتراوح قيمة التدفق من ٦٤،٥١ م<sup>٣</sup>/ث إلى ٢٢١٥،٥٧ م<sup>٣</sup>/ث، وكشفت نتائج الدراسة الخطورة التي يشكلها حوض وادي دلوة على التوسعات العمرانية شمال غرب مدينة المجرادة.

### مقدمة:

تعتبر احواض التصريف النهري هي المسرح الذي تتم عليه العمليات الجيومورفولوجية المختلفة التي من خلالها نستطيع التعرف على الخصائص الطبيعية لها، عادة ما تتعرض احواض التصريف في المناطق الجافة لسيول فجائية وغير منتظمة مما يعرض المناطق البشرية الى خطر ويزداد الامر خطورة حال تغير استعمالات ارض الحوض (إزالة الغطاء النباتي) مما يزيد من معدلات الجريان السطحي وانخفاض معدلات التسرب وهذا يزيد المخاطر في الحوض الناتجة، لذا لا بد من العديد من التدابير البشرية وذلك لضمان درء

مخاطر السيول ما امكن ذلك (انشاء سدود، تحويل مسارات الاودية وغيرها) تلك الحلول تركز بصورة رئيسة على تقدير كمية الجريان السطحي ومعرفة مقدار حجم المخاطر الناجمة عنه وحيث أن معظم أحواض التصريف تفتقر لوجود محطات رصد السيول لذلك فإنه من خلال الحلول الرياضية يمكن معرفة مقدار المياه الجارية عقب سقوط الأمطار في أحواض التصريف.

يعتبر رسم وتحديد حدود حوض التصريف الرئيس والفرعية الأساس في الدراسات الهيدرولوجية والجيومورفولوجية حيث يعتمد عليها بشكل أساسي في تقدير حجم التصريف الأساسي (base flow) والجريان السطحي (runoff) والجريان الكلي (total flow) كما يعتمد في تقدير حجم الفيضان العام في حوض التصريف خلال فترات زمنية مختلفة والذي يعتبر العامل الأساسي في تصميم المنشآت الهيدروليكية الهندسية الخاصة بدرء أخطار السيول والفيضانات، وبناءً عليه تم اختيار أحد البرامج الهيدرولوجية المتطورة وهو نموذج (WMS)، لاشتقاق الاحواض بمنطقة الدراسة حيث يساعد هذا النموذج في تدقيق حساب منحنى الهيدروجراف بطرق متعددة طبقاً لأحواض التصريف السهلة والمعقدة وذلك بالطرق الطبيعية حال توفر محطات رصد أو الإصطناعية حال عدم توفر محطات من خلال تطبيق النموذج الهيدرولوجي HEC-1 (عبد الكريم، أشرف أحمد علي، ٢٠١٩م) كما يتميز النموذج بإمكانية تقدير السيول المدمرة عن طريق تكامل المساحة تحت المنحنى التكراري للإستعانة في تقييم الأعمال الصناعية المقترحة، وقد تم تغذية النموذج الرياضي بنتائج التحليلات من الدراسات الجيولوجية والمورفولوجية والمتيورولوجية، ونظراً لعدم توافر بيانات مقاسة عن السيول بالمنطقة، فقد تم استخدام الطرق الإصطناعية لحساب منحنيات وحدة الهيدروجراف لأحواض التصريف المختلفة، حيث تم استخدام طريقة SCS-UH لعاصفة الأزمنة التكرارية ٢٥ و ٥٠ و ١٠٠ عام (عبد الكريم، أشرف أحمد علي، ٢٠١٩م)، وذلك للحصول على هيدروجراف مياه السيول المطلوب لتصميم الأعمال الصناعية المناسبة لحماية منشآت البنية التحتية في منطقة الدراسة.

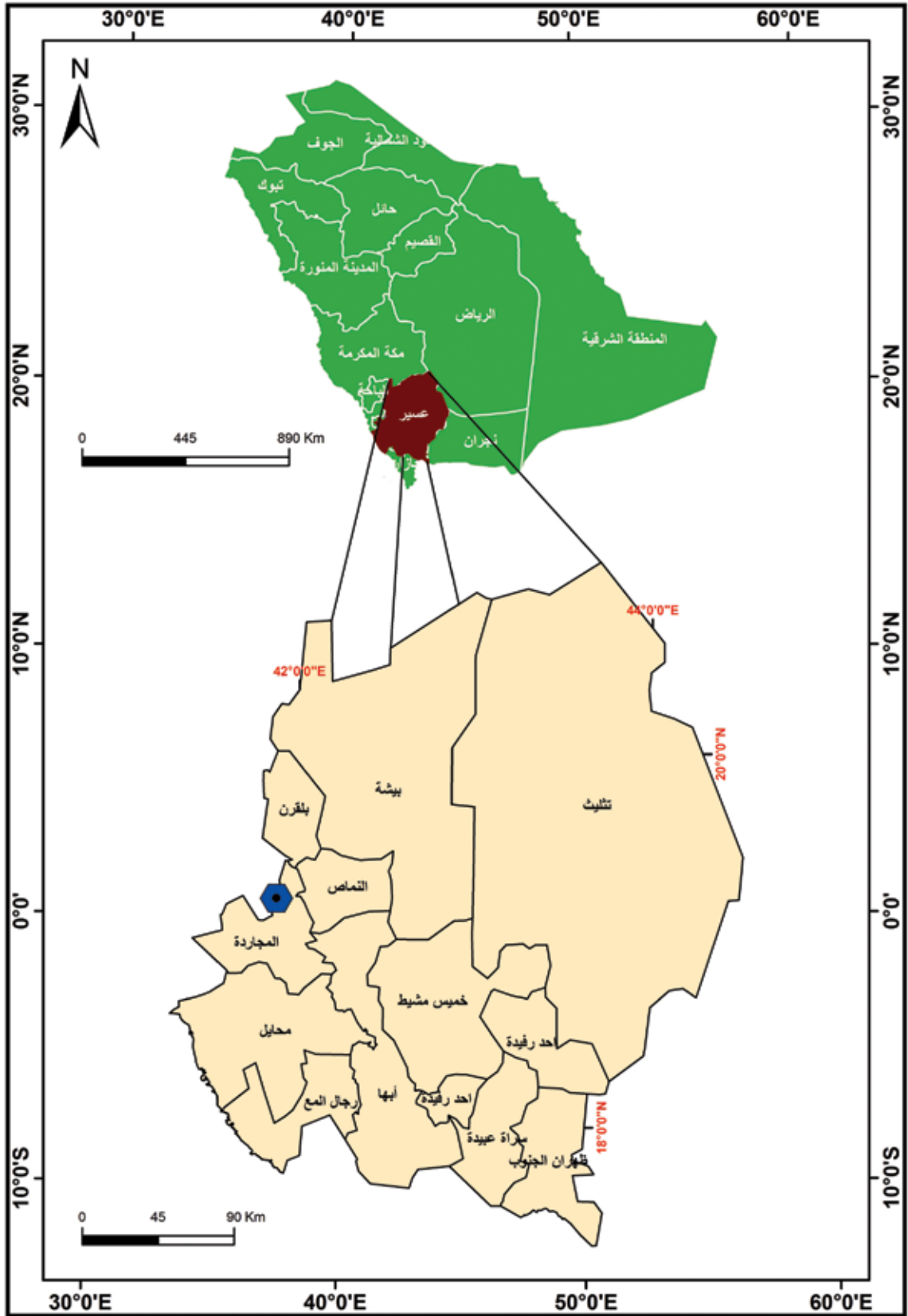
\* استاذ الجيومورفولوجيا المساعد بقسم الدراسات الاجتماعية بكلية الآداب بجامعة الملك فيصل، المملكة العربية السعودية

تهدف الدراسة إلى تقدير الجريان السطحي ومخاطره السيلية لحوض وادي دلوة بمدينة المجرادة بتطبيق النموذج الهيدرولوجي (HEC-1) ضمن حزمة برنامج (WMS)، وتقدير حساب كميات مياه السيول ومعدلات تدفقها اعتماداً على طريقة (SCS Unit Hydrograph) كما استعانته الدراسة بنظم المعلومات الجغرافية لإنتاج خرائط التربة والجيولوجيا والهيدرولوجيا والعمران لبيان تأثيرها بالمخاطر.

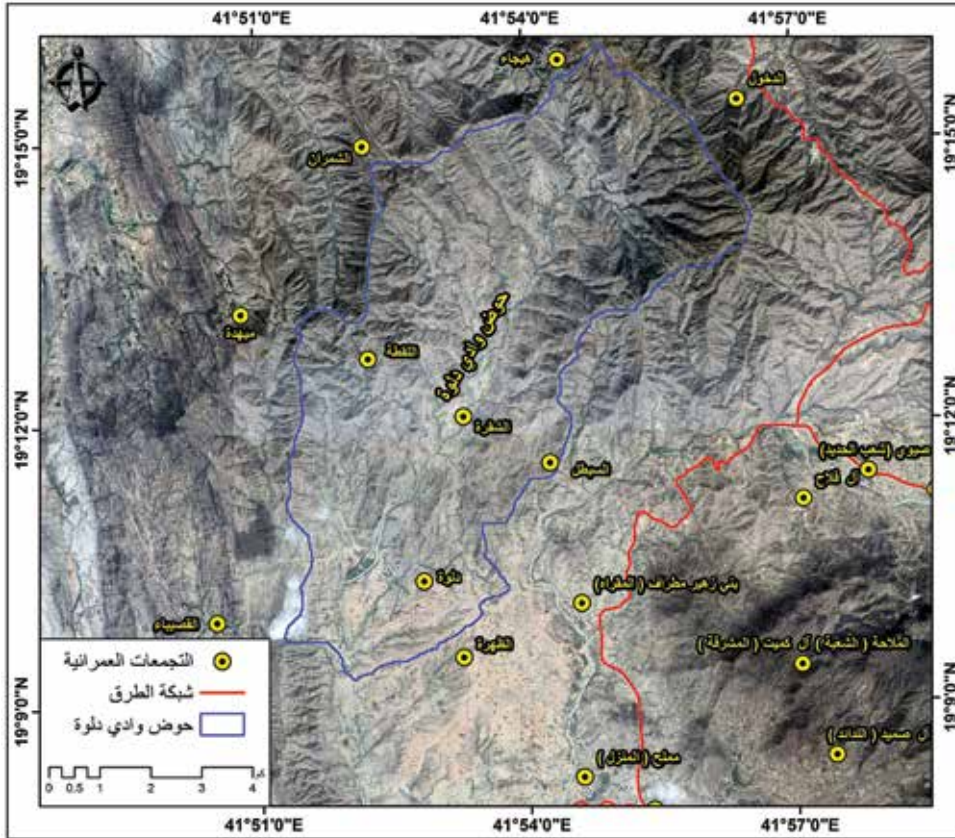
### منطقة الدراسة:

تقع مدينة دلوة المجرادة ضمن منطقة عسير في الجزء الجنوبي الغربي من المملكة العربية السعودية، وتقع بين دائرتي عرض ٦٣، ٥١°١٩'٨"، ٣٤، ١٣°١٩'٥" شمالاً، وبين خطي طول ١١، ٢٣°٤١'٥٤"، ٠٥، ٥٩°٤١'٥٦" شرقاً، ويحد منطقة عسير من الشرق منطقة نجران ومن الشمال منطقة الرياض، مكة والعقيق ومن الغرب البحر الأحمر، أما من جهة الجنوب فيحدها منطقة جازان، أشكال رقم (٢،١)، ويبين الشكل رقم (٢) الاستخدامات المختلفة للأراضي المحيطة بالحوض.

أما حوض وادي دلوة يقع على هضبة سهل تهامة، بين دائرتي عرض ٢٨، ٥٥°١٩'١٥"، ٩٨، ٢٠°١٩'٩" شمالاً، وبين خطي طول ٥١، ٥٢°٤١'٥٤"، ٧٦، ٢°٤١'٥٢" شرقاً، ويمتد بطول بنحو ٧٤، ٢٨ كم، بمساحة قدرها ٣٦، ٥٦ كم<sup>٢</sup>، يحد حوض وادي دلوة من الشمال أودية ثمران، وحلف، والجوف، وتشية، وبعض المناطق الزراعية، وتنتشر القرى التابعة لمحافظة المجرادة (هيجاء والدخول، والحدبات...)، أما من الشرق فيحدها أودية الأعقص، والعنقة وبعض القرى (مليحة، والمشرف، والكاربة...) ومناطق زراعية، ومن الغرب يحدها وادي الويد، والحقو، ونعمة، والجازر، وجبال سيال.

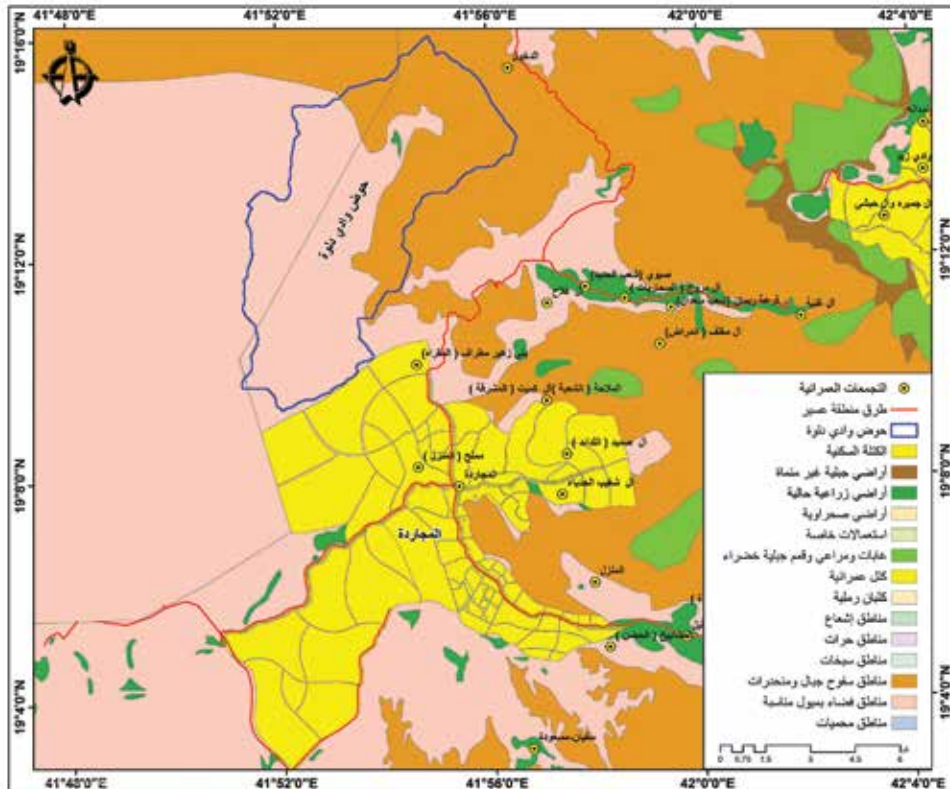


المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على مخطط مناطق المملكة، وكالة تخطيط المدن، وزارة الشؤون البلدية والقروية  
 شكل (١) موقع حوض وادي دلو بمنطقة عسير في المملكة العربية السعودية لعام ٢٠١٩م



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على برنامج النمذجة الهيدرولوجية (WMS)

شكل (٢) موقع حوض وادي دلوة بمدينة المجرادة لعام ٢٠١٩م



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على برنامج النمذجة الهيدرولوجية (WMS)، وتصنيف المرئية الفضائية Landsat-7

شكل (٣) حوض وادي دلوة واثره على التوسعات العمرانية بمدينة المجرادة لعام ٢٠١٩م

### فرضيات الدراسة

لطبيعة الحوض تأثير في تكون السيول. هناك ممارسات بشرية لها دور في زيادة تكون السيول (إزالة الغطاء النباتي، زيادة المساحة الحضرية). يمكن التقليل من مخاطر السيول (بناء سدود، إقامة شبكات صرف).

### مصادر البيانات المستخدمة في الدراسة

يبين الشكل رقم (٤) اعتماد الباحث على عدد من المصادر لرصد التغيرات لإودية منطقة الدراسة وهي: الصور الفضائية (LANDSAT-7) إذ تم رسم شبكات التصريف المائي، والطرق، والتوسع العمراني والتعرف على مواقع المناطق الخطرة، وكذلك الأودية. الخرائط الطبوغرافية مقياس رسم ١:٥٠٠٠٠٠ وقد تم الحصول عليها من الهيئة العامة للمساحة.

من الجنوب يحد وادي دلوة بعض القرى السكنية (الظهرة، قرن ثريان، عمارة...)، ووادي جريه، ويمر وادي دلوة الرئيس شمال مدينة المجاردة ويستمر في جهة الغرب ليصب في وادي خاط، ويعد وادي دلوة من ضمن أودية هضبة سهل تهامة والتي تتساب من جبال السروات.

### أهداف الدراسة:

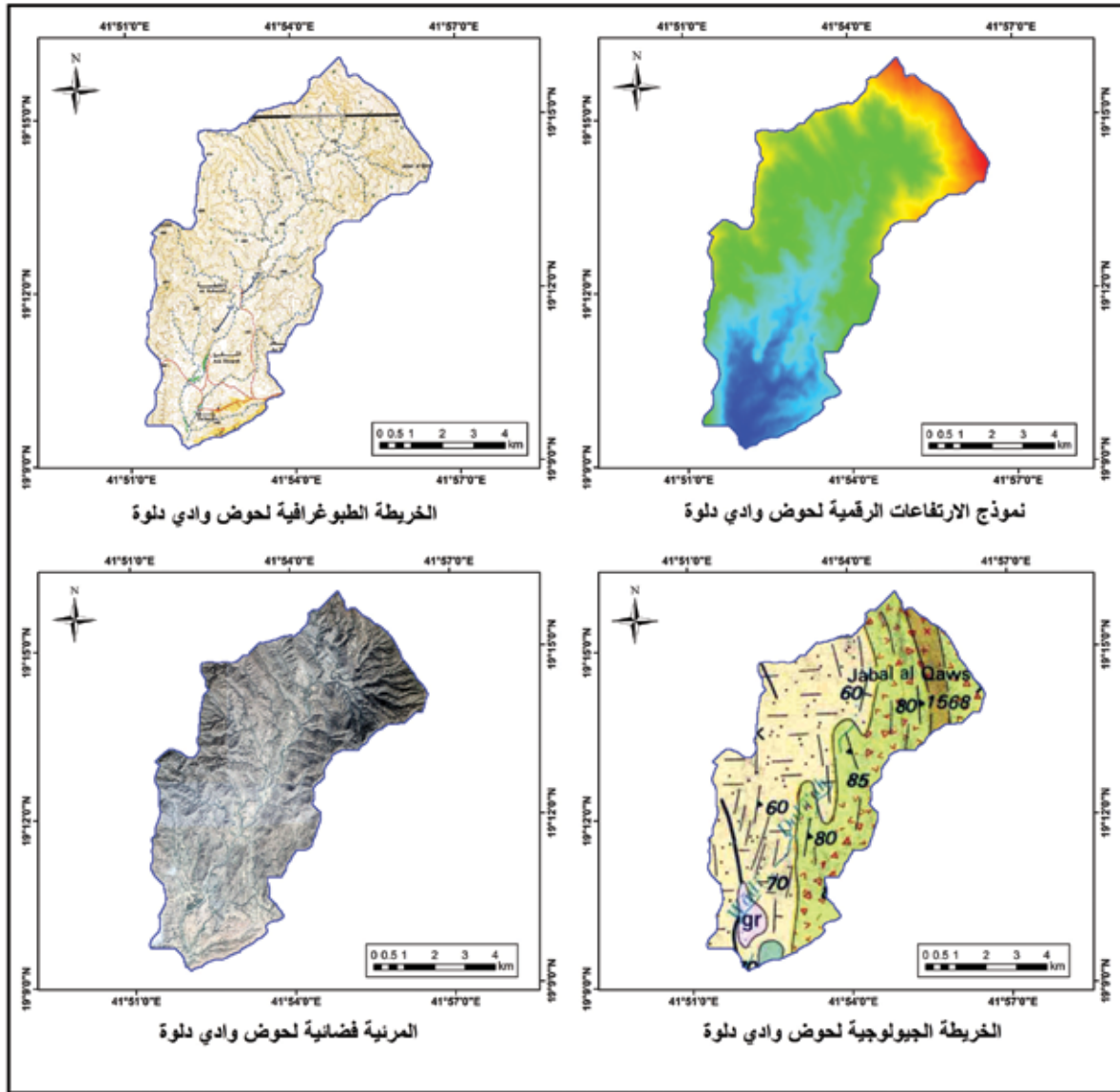
التعرف على الخصائص الجيومورفولوجية والمورفومترية لحوض وادي دلوة بمنطقة عسير باستخدام برنامج نظام نمذجة الأحواض المائية (WMS) بالاعتماد على نماذج الارتفاعات الرقمية (DEMs). التعرف على الخصائص الهيدرولوجية وتقدير أحجام السيول وتدفق الذروة وزمن وصول السيول بتطبيق النموذج الهيدرولوجي (HEC-1) التابع لبرنامج (WMS) باستخدام طريقة (SCS Unit Hydrograph).

### تساؤلات الدراسة:

هل تتعرض منطقة الدراسة الى اخطار السيول وخاصة المناطق العمرانية.  
هل الخصائص الجيومورفولوجية والمورفومترية والهيدرولوجية ذات أثر في تكون السيول.  
ما مدى أثر التوسعات العمرانية على زيادة مخاطر السيول على منطقة الدراسة؟

### منهجية الدراسة:

اعتمدت الدراسة على نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد (RS)، في التحليل والنمذجة للخصائص الجيومورفولوجية والمورفومترية وللمخاطر الطبيعية والمناطق المهددة بالسيول والفيضانات، وبناء نموذج باستخدام النظم الهيدرولوجية ونظم المعلومات الجغرافية (WMS&GIS) وفق العلاقة المعتمدة بين مسارات السيول ومعرفة احتمالية عدم تحمل منطقة الدراسة للفيضانات لمئة (عام) ١٠٠ سنة) وجدوى بناء النظم الطبيعية والإنشائية لمثل هذه التوقعات.



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة ٣٠ متر، والخرائط الطبوغرافية مقياس ١:٥٠٠٠٠، والخرائط الجيولوجية مقياس ١:٢٥٠٠٠٠، والمرئثة الفضائية Landsat-7.

شكل (٤) مصادر البيانات التي تم الاعتماد عليها في الدراسة لحوض وادي دلوة لعام ٢٠١٩م

- الخرائط الجيولوجية مقياس رسم ١:٢٥٠٠٠٠ وقد تم الحصول عليها من هيئة المساحة الجيولوجية ومنها أمكن تحديد أنواع التكوينات الجيولوجية التي تغطي أحواض التصريف.
- نموذج الارتفاعات الرقمية DEM بدقة (٣٠م) وتم الاعتماد عليها في تحليل تضاريس السطح لرسم الخريطة الكنتورية وتحليل الانحدار واستخراج شبكات التصريف والمنابع والمصببات.
- بيانات الامطار لتحليل تكرار السيول من سجلات وزارة البيئة والمياه والزراعة.

## الدراسات السابقة:

١. دراسة تقدير تدفق الذروة للسيول بحوض وادي العين بمحافظة الخرج في المملكة العربية السعودية، (الجعدي، وبوروبه، ٢٠٠٧م)، التي اعتمدت على المتغيرات المورفومترية المستخلصة من صور القمر الصناعي سبوت Spot-5 (٥متر) وتحليلها باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. وفدي قدمت الدراسة القيم القصوى والوسطى والدنيا لتدفق الذروة وأحجام الجريان، وهذه الدراسة كسابقتها لم تحدد القيم المناسبة لمعاملتي الـ  $Ct$  و  $Cp$  التي يمكن على أساسها تحيد القيم الأقرب إلى الواقع للتنبؤ بخصائص السيول.

٢. دراسة الخصائص الهيدرولوجية وخصائص السيول في أحواض السدود المقترحة على أودية عليا في محافظة الخرج، (الجعدي، ٢٠٠٨م)، والتي اعتمدت على تطبيق نموذج سنايدر لتحديد الخصائص الهيدرولوجية وخصائص السيول في أحواض السدود المقترحة على وادي العين وماوان. ووجد بأن الفارق بين القيم الدنيا والقصوى في كلا الحوضين متساوية، بينما بلغت فترة استجابة سد حوض وادي العين لأقصى ذروة تدفق ١,٤٩ ساعة وفي سد حوض وادي ماوان بلغت ١,٢٨ بفارق ٢٠ دقيقة.

٣. دراسة تقييم مخاطر الفيضانات المفاجئة بمدينة مكة المكرمة بالاعتماد على نظم المعلومات الجغرافية (داوود، وآخرون، ٢٠١٢م) حيث تم في هذه الدراسة تطوير نظام معلومات جغرافي لتحديد حجم وتوزيع خصائص الفيضانات مكانياً، وذلك عن طريق دمج عدة قواعد معلومات طبوغرافية ومناخية وجيولوجية واستخدامات الأراضي، في إطار متكامل يستخدم طريقة منحني الأرقام CN لنمذجة الفيضانات في الأودية القاحلة التي لا تتوافر عندها قياسات حقيقية للفيضان.

٤. دراسة التحليل الهيدرولوجي وتقدير حجم السيول في حوض وادي الوطاة بمنطقة القصيم (الدغيري، والوعوضي، ٢٠١٧م)، حيث اعتمدت الدراسة على اعتماد الباحثان على نموذج سنايدر Snyder ونموذج الهيئة الأمريكية لحماية التربة ( Soil Conservation serves ) (SCS) في حساب قيم الهيدرولوجراف القياس لحوض الوادي،

وتم استخدام قيم الهيدرولوجراف القياسي وتنسيقاته Unit hydrographic ordinates في حساب متغيرات وقيم هيدرولوجراف السيول (هيدرولوجراف العاصفة) Storm hydrograph، وأظهرت الدراسة أن تدفق الذروة في وادي الوطاة المحسوب بنموذج سنايدر Snyder في فترات الرجوع (١٠,٥، ٢٥,٥، ٥٠,١٠٠ سنة) يبلغ ٣,٢٦ م<sup>٣</sup>/ث، ٢٨,٥٦ م<sup>٣</sup>/ث، ١٦٦,٥٨ م<sup>٣</sup>/ث، ٦٧,٦٧ م<sup>٣</sup>/ث، ٥٦٠,٠٤ م<sup>٣</sup>/ث على التوالي، بينما بلغ تدفق الذروة في وادي الوطاة المحسوب بنموذج الهيئة الأمريكية لخدمة صيانة التربة SCS في فترات الرجوع المشار إليها ١,٥٨ م<sup>٣</sup>/ث، ١٨,٦٥ م<sup>٣</sup>/ث، ٨٠,٥٨ م<sup>٣</sup>/ث، ١٦٠,٤٣ م<sup>٣</sup>/ث، ٢٧٠,٩٠ م<sup>٣</sup>/ث على التوالي.

٥. دراسة هيدرولوجية لتقدير حجم سيول حوض وادي عتود بالمملكة العربية السعودية، (بوروبه، ٢٠٠٧م) تم من خلالها تقدير حجم السيول وتدفق الذروة الأقصى والمتوسط والأدنى لأحواض أودية عتود الأعلى، ومربا، وضيع، بتطبيق نموذج سنايدر Snyder، وقد تراوحت قيم تدفق الذروة الأقصى بين ٩,١٣٥٤ و ٥,١٨٨٦ م<sup>٣</sup>/ث، وقيم تدفق الذروة المتوسط بين ٤,١٢٦ و ١,١٨٥ م<sup>٣</sup>/ث، وقيم تدفق الذروة الأدنى بين ١,٢٦ و ٨,٤٩ م<sup>٣</sup>/ث في حوضي عتود الأعلى ووادي ضلع على التوالي، ومن ثم فهي دراسة لثلاثة روافد صغيرة من حوض وادي عتود.

٦. دراسة تقييم مخاطر السيول لحوض وادي نعمان، مكة المكرمة، المملكة العربية السعودية خلال الفترة ١٩٨٨-٢٠١٩م، (Ashraf and Ahmed, 2019)، التي استخدمت طريقة النمذجة الهيدروليكية للنموذج ثنائي الأبعاد استناداً إلى التكامل بين الجيوماتكس والنمذجة الهيدروليكية، تهدف الدراسة إلى تقييم التأثير للفيضانات المفاجئة لحوض وادي نعمان على المناطق الحضرية شرق مدينة مكة المكرمة خلال الفترة ١٩٨٨-٢٠١٩م والتي تتعرض لسيول متكررة. من خلال نهج متكامل للجيوماتكس والنمذجة الهيدروليكية، وذلك بإنتاج وتحليل خريطة المناطق العمرانية المعرضة للغمر بمياه الفيضان خلال الفترة ١٩٨٨-٢٠١٩م، وتقديم خريطة مخاطر فيضان وادي نعمان استناداً لخريطة مصفوفة المخاطر، وتقديم خريطة تدابير والحماية المقترحة.

٧. عبد الكريم، أشرف، وآخرون ( Ashraf, et al, 2019) قام بتطبيق طريقة لتحديد المناطق العمرانية المعرضة لمخاطر السيول لمدينة تبوك مع تقديم آلية مقترحة



١٢. دراسة تقييم مخاطر الفيضانات في المناطق الحضرية للبيئات الجافة، دراسة حالة جامعة طيبة بالمدينة المنورة، عبد الرازق، محمد، وآخرون (Mohamed, et al, 2019) اعتمدت الدراسة على النموذج الهيدرولوجي (HEC-HMS) وتكامله مع النموذج الهيدروليكي (HEC-RAS) واستخرجت الدراسة خريطة المناطق المعرضة للمخاطر.

١٤. استخدم ميلنيغ وآخرون (Meiling, et al, 2016) نموذج HEC-HMS، لمحاكاة جريان المياه في المنطقة شبه الجافة شمال غرب الصين.

١٥. قام نورهان وآخرون (Norhan, et al, 2016) بمحاكاة علاقات جريان المياه، وهطول الأمطار، باستخدام نموذج HEC-HMS في البيئة الجافة في وادي العقيق، المدينة المنورة، المملكة العربية السعودية

### تحليل كميات الأمطار لفترات رجوع مختلفة:

يعتبر التحديد الدقيق لكميات الأمطار التي هطلت على الحوض المائي، من أهم العوامل التي تساعد على حسابات السيول المتجمعة من تلك الأمطار بشكل دقيق كما تعتبر الأساس الصحيح للإحصائيات المائية واحتمالات تكرار السيول، ومن خلال الرجوع إلى بيانات نظام نشرة السدود والأمطار اليومية، في وزارة البيئة والمياه والزراعة، وجد أن منطقة الدراسة تتأثر بمحطة أرصاد المجرادة (SA122)، ووجد أنها تغطي فترة ٣٦ سنة، وقد تم تحديد عمق المطر لفترات تكرار مختلفة (١٠٠، ٥٠، ٢٥، ١٠، ٥ سنة)، باستخدام برنامج التحليل الإحصائي Hyfran، وتم تطبيق التوزيعات الإحصائية المختلفة مثل (Normal, Log-Normal, Log-Pearson Type III, Pearson Type III, Gumbel, Exponential)، وتم التوصل إلى أن طريقة (Log-Normal) هي الطريقة الأمثل أرصاد المجرادة (SA122)، أشكال (٦، ٥)، والجداول (٢، ١).

لحماية المدينة عن طريق التكامل بين النمذجة الهيدرولوجية والهيدروليكية.

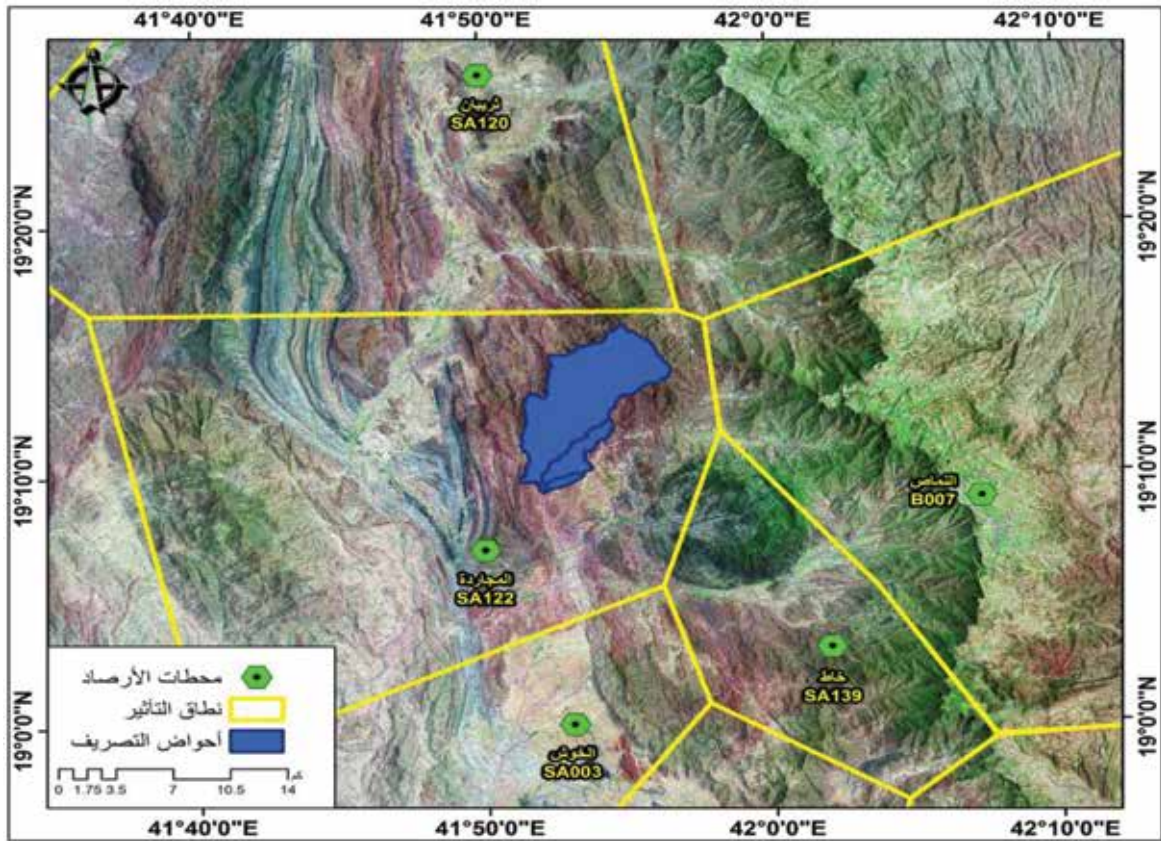
٨. دراسة تقييم مخاطر السيول المحتملة على طريق جازان - أبها، المملكة العربية السعودية، عبد الكريم، أشرف (Ashraf, 2019) هدفت الدراسة لتقديم مقترح لتقييم مخاطر السيول المحتملة لمشاريع البنية التحتية حالة طريق جازان - أبها من خلال إنشاء خريطة لتصنيف المناطق المعرضة لمخاطر السيول لطريق، ووضع خرائط الحلول والبدائل المناسبة لدرء مخاطر السيول.

٩. عبد الكريم، أشرف، وآخرون (Ashraf, et al, 2019) تكامل الاستشعار عن بعد والنمذجة الهيدرولوجية في تقييم أثر تغير مورفولوجية استخدامات الأرض على زيادة مخاطر السيول، مسار قطار الرياض - الدمام، دراسة حالة، هدفت الدراسة لقياس أثر تغير مورفولوجية استخدامات الأرض على زيادة مخاطر السيول على حالة انحراف مسار قطار الرياض - الدمام التي تسببت في انحراف القطار عن مساره ونتج أضرار في الأرواح والممتلكات نتيجة التدخلات البشرية في إعادة تخطيط استخدامات الأرض وتغير مورفولوجيتها بالتعدي على الأودية الطبيعية مما أدى إلى فقدان التوازن البيئي والأيكولوجي لخصائص منطقة الدراسة.

١٠. إعداد خرائط لمخاطر الفيضانات باستخدام صور الأقمار الصناعية ونظم المعلومات الجغرافية، دراسة حالة لمدينة نجران، المملكة العربية السعودية، إسماعيل، الخراشي (Ismail, 2015) بهدف إنتاج خريطة لمخاطر الفيضانات باستخدام صور الأقمار الصناعية وعملية التحليل التسلسلي الهرمي (AHP) لتحديد التأثير النسبي للعوامل المسببة للفيضانات للحصول على مؤشر لمخاطر الفيضانات. (FHI)

١١. دراسة نموذج HEC-HMS، باستخدام العاصفة التكرارية، لمحاكاة جريان المياه في مستجمعات المياه الحضرية شمال شرق الجزائر، لواتشاريا ومنصوري (Laouacheria and Mansouri, 2015).

١٢. دراسة فقدان التدفق المائي للمستجمعات الفرعية، باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، لوادي الليث، بالمملكة العربية السعودية، خليل وآخرون (Khalil, et al, 2017) واستخدم نموذج HEC-HMS، وطريقة Muskingum-Cunge



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على برنامج ArcGIS

شكل (5) مواقع محطات قياس الأمطار المحيطة والمثلة لحوض وادي دلوة بطريقة (Tyson polygons) لعام ٢٠١٩م

الجدول (١) كميات الأمطار اليومية القصوى بمحطة أرصاد أبها (A005)

الأمطار اليومية القصوى (مم)	السنة	الأمطار اليومية القصوى (مم)	السنة	الأمطار اليومية القصوى (مم)	السنة
٢٠	١٩٩٣	١٠	١٩٨١	١٥	١٩٦٩
٣٠,٥	١٩٩٤	٤٠,١	١٩٨٢	٦٠	١٩٧٠
٢٠	١٩٩٥	٢٠	١٩٨٣	٥٢	١٩٧١
٤٠	١٩٩٦	٢٠,٦	١٩٨٤	٥٧,٤	١٩٧٢
٣٠	١٩٩٩	٣٠,٥	١٩٨٥	٤٠	١٩٧٣
٤	٢٠٠١	٣٠,٥	١٩٨٦	٥٠,٢	١٩٧٤
١٠,٢	٢٠٠٢	٢٠,٥	١٩٨٧	٩٩	١٩٧٥
١٠,٨	٢٠٠٤	١٠,٥	١٩٨٨	٥٠	١٩٧٦
٢٥	٢٠٠٦	٢٠	١٩٨٩	٦٠,١	١٩٧٧
٢٠	٢٠٠٧	٣٠	١٩٩٠	٣٠	١٩٧٨
٢٥	٢٠١٧	١٠	١٩٩١	٣٠,٤	١٩٧٩
٩	٢٠١٨	٣٠	١٩٩٢	٦٠,٤	١٩٨٠
		٩٩			القيمة العظمى
		٣١,٤٤			القيمة المتوسطة
		٤			القيمة الصغرى
		١٩,٧٧			الانحراف المعياري

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على بيانات نظام نشرة السدود والأمطار اليومية، في وزارة البيئة والمياه والزراعة

الجدول (٢) التوزيع الإحصائي للأمطار لموقع محطة أرصاد المجرادة (SA122) عند الأزمنة التكرارية المختلفة

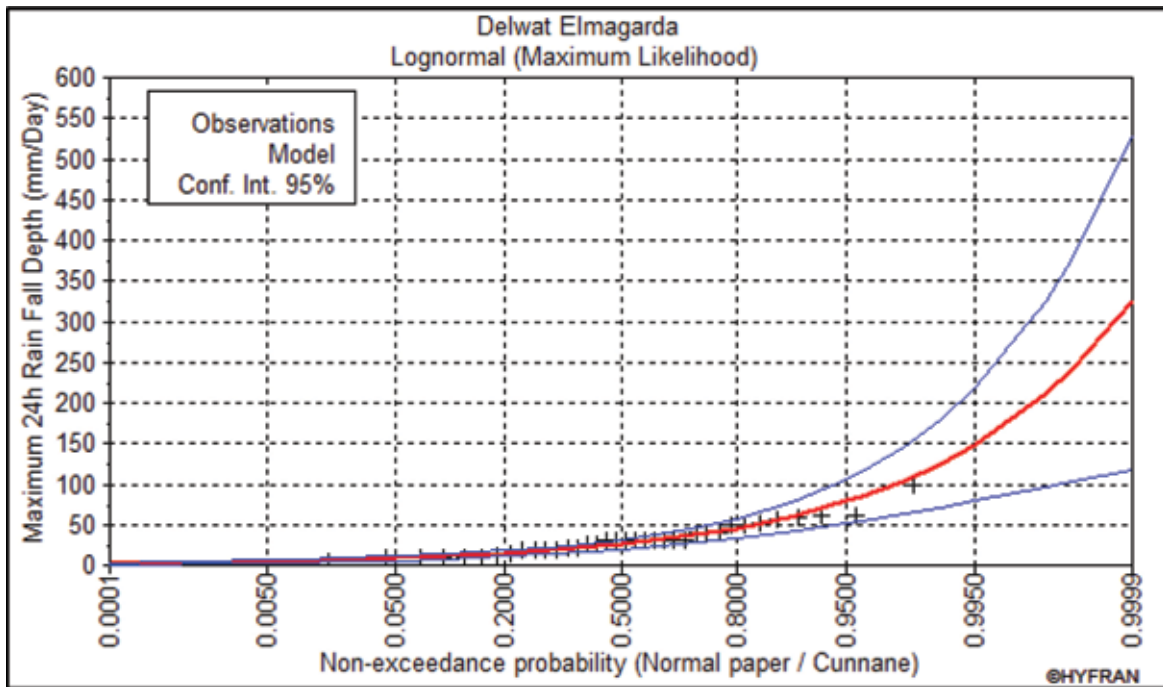
عمق المطر التصميمي للأزمنة التكرارية المختلفة (مم)								التوزيع الإحصائي
١٠٠	٥٠	٢٥	٢٠	١٠	٥	٣	٢	
٧٧,٤	٧٢,٠	٦٦,٠	٦٤,٠	٥٦,٨	٤٨,١	٣٩,٩	٣١,٤	Normal
١٢٥	١٠٤	٨٤,٧	٧٨,٨	٦١,٥	٤٥,٦	٣٤,٥	٢٥,٧	Log-Normal
٩٥,٥	٨٥,١	٧٤,٢	٧٠,٥	٥٨,٧	٤٦,١	٣٦,١	٢٧,٣	Log-Pearson Type III
٩٥,٨	٨٤,٨	٧٣,٥	٦٩,٨	٥٨,٠	٤٥,٦	٣٦,١	٢٧,١	Pearson Type III
٩٣,٤	٨٢,٧	٧١,٨	٦٨,٣	٥٧,٢	٤٥,٧	٣٦,٥	٢٨,٢	Gumbel
١٢٣	١١٤	٩٤,١	٨٧,٨	٦٨,٢	٤٨,٦	٣٤,٢	٢٢,٨	Exponential

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على التحليل الإحصائي عن طريق برنامج Hyfran

الجدول (٣) عمق الأمطار لموقع محطة أرصاد المجرادة (SA122) عند الأزمنة التكرارية المختلفة

١٠٠	٥٠	٢٥	٢٠	١٠	٥	٣	٢	فترات تكرارية
١٢٥	١٠٤	٨٤,٧	٧٨,٨	٦١,٥	٤٥,٦	٣٤,٥	٢٥,٧	المجرادة (SA122)

المصدر: التحليل الإحصائي للبيانات بواسطة برنامج Hyfran، وطريقة Lognormal



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على التحليل الإحصائي عن طريق برنامج Hyfran

شكل (٦) منحني التوزيع الاحتمالي لبيانات محطة أرصاد المجرادة (SA122) بطريقة Log-Normal

الفرعية لوادي دلوة، نجد أن متوسطات الارتفاعات لأحواض التصريف الفرعية تتراوح ما بين ٢,٣م إلى ٩,٢٧٤م لحوض التصريف رقم (A) إلى ٩,٢٧٤م لحوض التصريف رقم (D). بمعنى ان هناك فرق بينهما قد بلغ ٢٧٦,٤م في حين ان فرق الاحواض الفرعية قد بلغ ٤٤٥,٢م في حوض C مع ٩,٢٧٤م في حوض D أي ان الفرق بسيط قد بلغ ٢٧,٣م.

## الخصائص الجيومترية اعتماداً على برنامج نظام نهضة الأحواض المائية (WMS):

### مجموعة القياسات الطبوغرافية:

#### متوسط الارتفاع:

من تحليل الجداول رقم (٥,٤) والأشكال (٧,٨,٩,١٠) الخاص بمجموعة القياسات الطبوغرافية لأحواض التصريف

جدول (٤) الخصائص الجيومترية لأحواض التصريف الفرعية لوادي دلو

حوض وادي دلو				
D	C	B	A	رقم الحوض
٢كم٠,٣٨	٢كم١,٣٤	٢كم٦,٧٥	٢كم٤٧,٩٠	المساحة
م/م٠,٠٦٢٨	م/م٠,٠٥٢٠	م/م٠,١٠٦٠	م/م٠,٢٥٥٢	ميل الحوض
م١٩٥,٣٦	م١٩٢,٢٢	م٢١٠,٧٣	م٢٥٨,١١	معدل التدفق السطحي
م١٩٤٥,٤٤٩	م٢٩٣٠,٨٣٦	م٧٩٠٨,٨٤٦	م١٥٩٥٩,٤٨٩	طول الحوض
م٥٨٨٨,٩٠	م٧٣٩٦,٥٥	م١٩٤٩٠,٨٧	م٤٦١٤٩,٥٤	محيط الحوض
(%) ٤,٣٧	(%) ٥,١٠	(%) ٥,٦٢	(%) ٣,٤١	معامل الشكل
م١٩٤٥,٤٥	م٢٩٣٠,٨٤	م٧٩٠٨,٨٥	م١٥٩٥٩,٤٩	أطول مسار في الحوض
م/م٠,١٠٨٥	م/م٠,٠٢٥٦	م/م٠,٠٥٠٧	م/م٠,٠٧١٦	أكبر ميل في الحوض

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على النمذجة الهيدرولوجية (WMS)

ويعبر عن قيمة التضاريس النسبية بواسطة المعادلة التالية:

$$Rhp = \frac{100H}{P}$$

بحيث يمثل H فارق الارتفاع بين أقصى وأدنى ارتفاعين بالحوض المائي (متر)، و P طول محيط الحوض المائي وهو عبارة عن طول خط تقسيم المياه (كلم). حيث تتراوح التضاريس النسبية ما بين ٢,٣٥٩٩% لحوض التصريف رقم (D) إلى ١٠,٢٧% لحوض التصريف (C).

#### قيمة الوعورة Ruggedness Value:

هي العلاقة بين تضاريس الحوض واطوال المجاري الشبكية التصريفية وإذا كانت القيم متدنية دل ذلك على أن الحوض في بداية مراحل الحثية وتوضح قيمة الوعورة العلاقة بين كثافة التصريف والتضرس المحلي، وتم تطبيق المعادلة التالية:

$$I = \frac{K * H}{1000}$$

يمثل K كثافة التصريف (متر) و H فارق الارتفاع بين أقصى وأدنى ارتفاعين بالحوض (متر) (التضرس المحلي) وتتراوح قيمة الوعورة بين ٠,٨٥% لحوض رقم (C) إلى ٢,٩٥% لحوض التصريف رقم (D).

#### التكامل العبسومتري:

يعبر عن العلاقة بين مساحة الحوض وتضاريس الحوض وما يتضمنه من تضرس فاذا كانت النتيجة منخفضة يعني ان الحوض شديد التضرس اما اذا كانت القيم مرتفعة دل على

#### التضرس المحلي:

هو الفارق الرأسى فى المنسوب بين أعلى وأدنى نقطة، ويمكن حساب هذا المعامل من خلال تطبيق معادلة:

$$H = Z(\max) - Z(\min)$$

يمثل  $Z_{\max}$  الارتفاع الأقصى للحوض المائي (متر)، و  $Z_{\min}$  الارتفاع الأدنى للحوض المائي (متر).

يتراوح التضرس المحلي لأحواض التصريف ما بين ٧٦م لحوض التصريف رقم (C) إلى ١١٤٢م لحوض التصريف رقم (A). بمعنى ان الفارق في معاملات التضرس قد بلغت ١٠٦٦م والتي تمثل الفرق بين الحوضين الفرعيين C و A وهذا يدل ان معامل تضرس واضح بين الاحواض وداخل كل حوض فرعي.

#### التضاريس النسبية Relative Relief:

يمكن استخدام مقياس التضاريس النسبية كمقياس آخر ليدل على شدة التضرس داخل الحوض مما يعكس الصورة على معدلات التعرية وكلما ارتفعت قيم التضاريس النسبية دل أن هناك مقاومة من الصخور المكونة للحوض لعمليات التعرية والعكس صحيح اذ نجد العلاقة عكسية بين التضاريس النسبية والمساحة لحوض D وان العلاقة تصبح طردية في الحوضين A و B بمعنى انه كلما قلت مساحة الحوض ازدادت نسبة التضاريس النسبية في الحوض اما العكس يؤدي الى قلة التضاريس.

بينما التضاريس النسبية هي عبارة عن العلاقة النسبية بين ارتفاعات الحوض وطول محيطه (Melton, 1957)،

**نسبة الانحدار:**

هي عبارة عن العلاقة النسبية بين فارق الارتفاع بين الارتفاعين الأقصى والأدنى من جهة وطول الحوض المائي من جهة ثانية (Sreedevi, 2001)، وتحسب هذه العلاقة بتطبيق المعادلة التالية:

$$Rg = \frac{Z-z}{Lb}$$

R نسبة الانحدار (متر/كم)، و Z أقصى ارتفاع (م)،

z أدى ارتفاع (م)، و Lb طول الحوض (كم).

وتتراوح نسبة الانحدار من ٢٦,٢٪ لحوض التصريف رقم

(C) إلى ١١١,٦٪ لحوض التصريف (D).

كبر المساحة الحوضية وانخفاض قيم تضرس الحوض وهو عبارة عن العلاقة النسبية بين فارق الارتفاع بين الارتفاعين المتوسط والأدنى والمدى التضاريسي (Pike and Wilson, 1971)، ويمكن حسابه عن طريق المعادلة التالية:

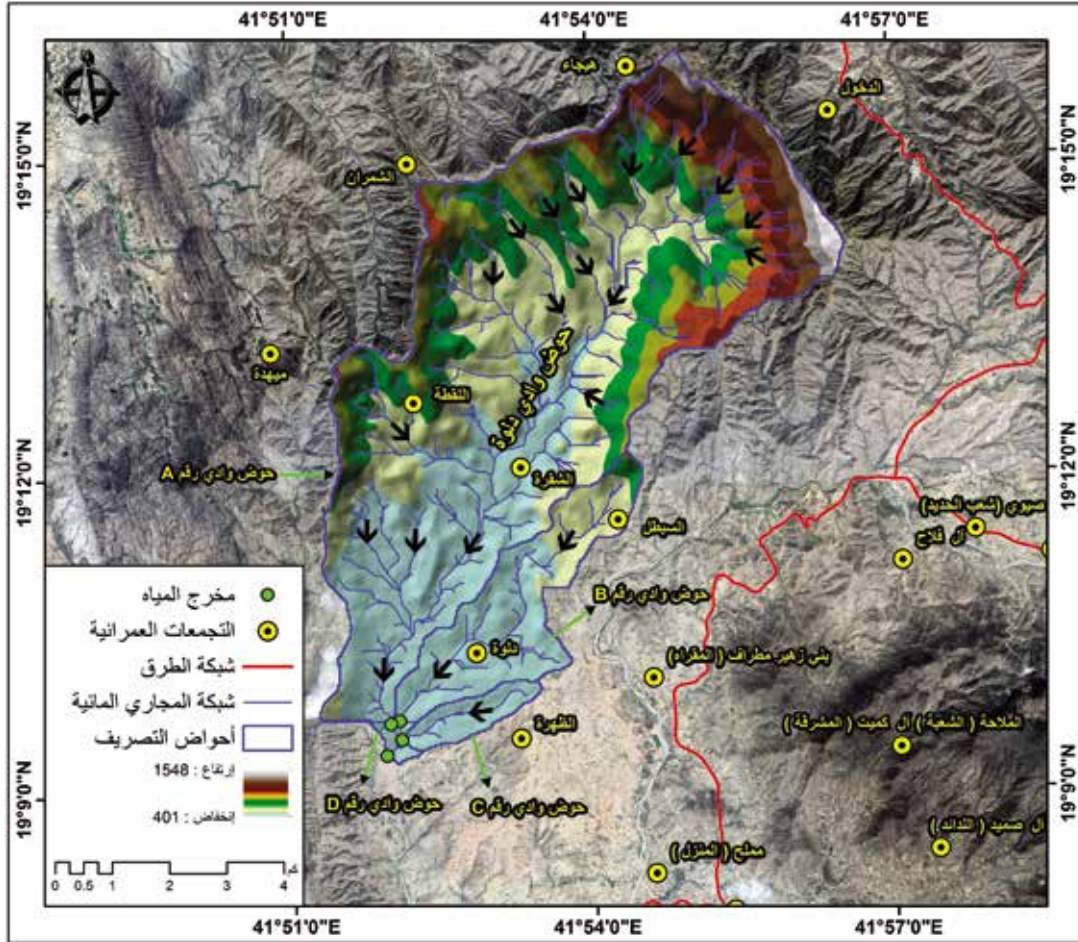
$$Hi = \frac{Z'-Zo}{Zmax-Zo}$$

يمثل 'Z' الارتفاع المتوسط للحوض المائي (متر)، و Zo الارتفاع الأدنى للحوض المائي (متر)، و Zmax الارتفاع الأقصى للحوض المائي (متر).

تتراوح قيمة التكامل الهيسومتري بين ٠,٠٨ كم/٢م

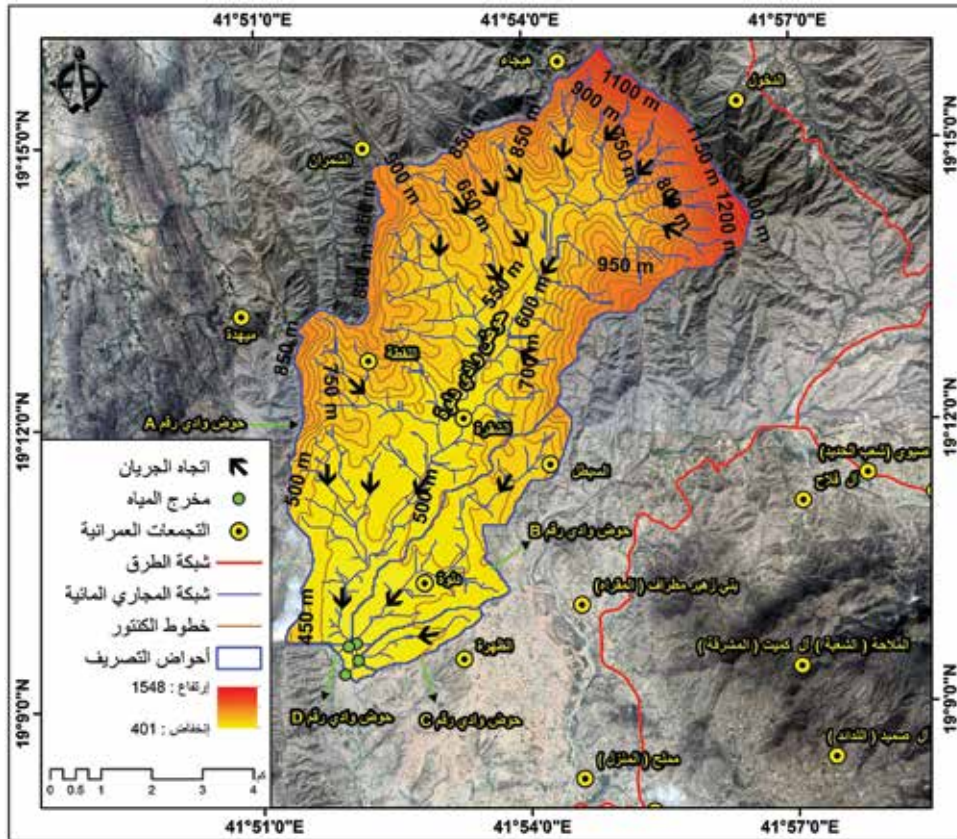
لحوض رقم (D) إلى ٠,٥٧ كم/٢م لحوض رقم (C).

هذا يعني ان القيم منخفضة وان الاحواض في بداية دورتها الحتية أي مرحلة الشباب.

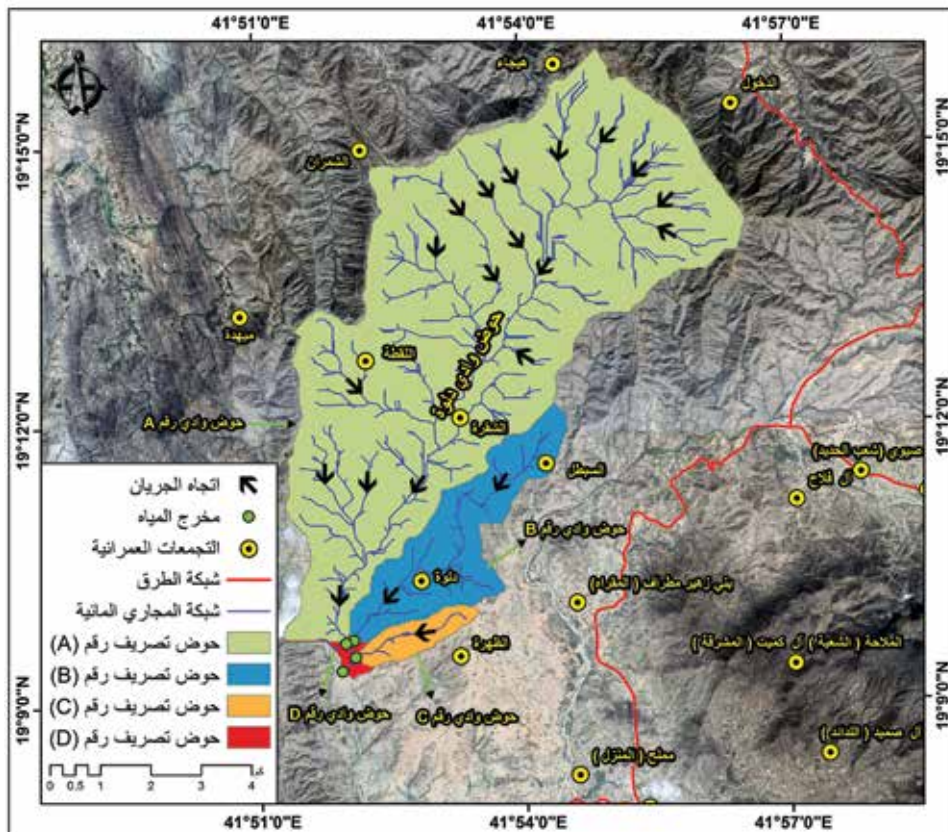


المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على النمذجة الهيدرولوجية (WMS)، نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة ٢٠ متر

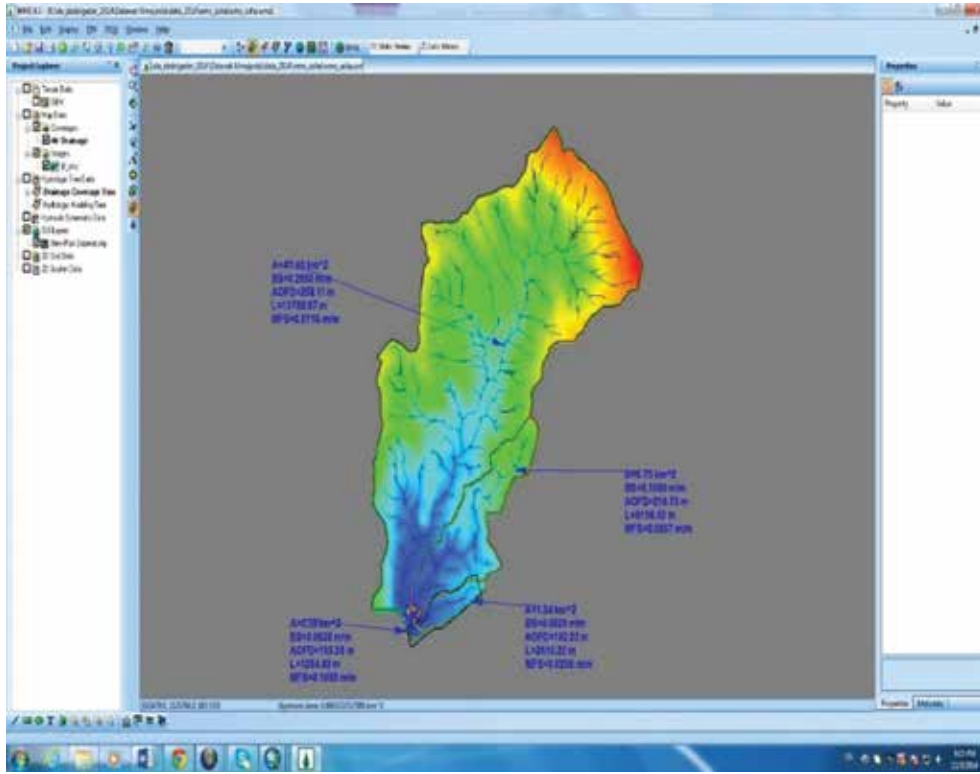
شكل (٧) التضاريس ثلاثية الأبعاد لأحواض تصريف وادي دلوة



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على النمذجة الهيدرولوجية (WMS). نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة ٣٠ متر  
شكل (٨) مناسيب وخطوط الكنتور لأحواض تصريف وادي دلو



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على النمذجة الهيدرولوجية (WMS)  
شكل (٩) شبكة الأودية وأحواض تصريف وادي دلو بمدينة المجاردة لعام ٢٠١٩م



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على النمذجة الهيدرولوجية (WMS)

شكل (١٠) واجه برنامج WMS لحساب الخصائص المورفومترية والمورفولوجية لأحواض التصريف الفرعية

جدول (٥) القياسات الطبوغرافية لأحواض التصريف الفرعية لوادي دلوة بمدينة المجرادة

حوض وادي دلوة				
D	C	B	A	رقم الحوض
٤١٧,٩	٤٤٥,٢	٤٩٦,٧	٦٩٤,٣	متوسط الارتفاع (م)
٢١٢	٧٦	٤٠١	١١٤٢	التضرس المحلي (م)
٣٥٩٩,٣	١٠٢٧,٠	٢٠٥٧,٥	٢٤٧٤,٥	التضاريس النسبية (%)
٢,٩٥	٠,٨٥	٢,٧١	١,٩٨	قيمة الوعورة (%)
٠,٠٨	٠,٥٧	٠,٢٣	٠,٢٥	التكامل الهيسومتري (كم/م)
١١١,٦	٢٦,٢	٥٠,٨	٧١,٨	نسبة الإنحدار (%)

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على النمذجة الهيدرولوجية (WMS)

### الخصائص الشكلية للأحواض:

#### معامل الاستدارة Circularity Rotio:

وهو معامل يدل على اقتراب شكل الحوض من شكل الدائرة وتعنى القيم المرتفعة والقريبة من الواحد الصحيح أن شكل الحوض يقترب من شكل الدائرة (Miller, 1953)، ويمكن حسابه بالمعادلة التالية:

$$Rc = \frac{12.57A}{P^2}$$

جدول (٦) أعلى ارتفاع وادني ارتفاع للأودية الفرعية

اسم الوادي	أعلى ارتفاع (م)	أدني ارتفاع (م)
A	١٥٤٨,٠	٤٠٦,٠
B	٨٠٧,٠	٤٠٦,٠
C	٤٧٨,٠	٤٠٢,٠
D	٦١٢,٠	٤٠١,٠

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة ٢٠ متر

التصريف رقم (D). هذا يعني عدم تناسب الاحواض بسبب اختلاف طول محيط الحوض بالنسبة لمساحته بسبب كثرة تعرجاته وابتعاد خطوط تقسيم المياه عن مراكز الاحواض.

#### معامل الانبعاج Lemniscate Factor:

يوضح هذا المعامل بعض السلبيات التي تظهر من معدل الاستدارة وقد تتخذ الاحواض شكلاً كمثرياً أو اهليجي وعندما تكون القيم عالية تدل على تفلطح الحوض وزيادة اعداد وأطوال المجاري في الرتب الدنيا وهذا يعني زيادة عمليات التعرية الرأسية والتراجعية وإذا كانت النتيجة أكثر من ٢ يعني أن محيط الحوض منبعج وقل من ذلك غير منبعج.

كثيراً ما يكون شكل مساحة التصريف واسعاً بالحوض العلوي ويضيق تدريجياً كلما اتجهنا نحو المصب بالحوض الأدنى، ولذا اقترح شورلي معامل الانبعاج للتعبير عن هذا الشكل الهندسي لأحواض التصريف (Chorley, 1957)، وتحسب قيمة معامل الانبعاج بواسطة المعادلة التالية:

$$K = \frac{\pi L_b^2}{4A}$$

بحيث يمثل K معامل الانبعاج للحوض المائي و A مساحة التصريف للحوض المائي (كم<sup>٢</sup>) و L<sub>b</sub> طول الحوض المائي (كم). تتراوح قيمة معامل الانبعاج لأحواض التصريف بين ١,٣٢ لحوض رقم (A) إلى ٢,٢٨ لحوض رقم (D). ومن خلال الجدول (٥) يستدل ان هناك حوضين منبعجين هما B و D لان معامل الانبعاج اكثر من (٢) في حين أن الحوض A و C اقل من ٢ مما يعني انهما غير منبعجين.

يمثل R<sub>c</sub> نسبة الاستدارة للحوض المائي، و A مساحة التصريف للحوض المائي (كم<sup>٢</sup>)، و P محيط الحوض المائي (كم). بلغ معامل الاستدارة لأحواض التصريف ما بين ٠,١٤ لحوض التصريف رقم (D) إلى ٠,٣١ لحوض التصريف رقم (C).

#### معامل الاستطالة:

معامل الاستطالة يدل على مدى تشابه شكل الحوض مع المستطيل وكلما اقتربت القيمة الناتجة من الصفر (Schumm, 1956)، ويمكن حسابه من خلال المعادلة التالية:

$$Re = \left[ \frac{2}{Lb} \right] \left[ \frac{A}{\pi} \right]^{0.5}$$

تراوحت قيمة معامل الاستطالة بين ٠,١٨ لحوض رقم (D) إلى ٠,٢٥ لحوض رقم (A).

#### معامل الاندماج Compactness Factor:

معامل الاندماج يوضح لنا المرحلة التحاتية للحوض وقد عرف Gravelius معامل الاندماج بالعلاقة النسبية بين محيط الحوض المائي ومحيط دائرة لها مساحة تساوي مساحة التصريف لنفس الحوض (Gravelius, 1914)، وتحسب قيمة معامل الاندماج بواسطة المعادلة التالية:

$$C_c = \frac{0.2841P}{A^{0.5}}$$

يمثل C<sub>c</sub> معامل الاندماج للحوض و A مساحة التصريف للحوض (كم<sup>٢</sup>) و P محيط الحوض (كم).

تتراوح قيمة معامل الاندماج لأحواض التصريف ما بين ١,٨٢ لحوض التصريف رقم (C) إلى ٢,٧١ لحوض

جدول (٧) مجموعة قياسات شكل أحواض التصريف الفرعية لوادي دلو بمدينة المجرادة

حوض وادي دلو				
D	C	B	A	رقم الحوض
٠,١٤	٠,٣١	٠,٢٢	٠,٢٨	معامل الاستدارة (نسبة)
٠,١٨	٠,٢٢	٠,١٩	٠,٢٥	معامل الاستطالة (نسبة)
٠,١١	٠,١٦	٠,١١	٠,١٩	نسبة معامل الشكل (نسبة)
٢,٧١	١,٨٢	٢,١٣	١,٨٩	معامل الاندماج (نسبة)
٢,٣٨	١,٥٨	٢,٣١	١,٣٢	معامل الانبعاج (نسبة)

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على النمذجة الهيدرولوجية (WMS)



## الخصائص المورفولوجية لشبكة التصريف في الحوض باستخدام نمذجة الأحواض المائية (WMS):

### عدد وأطوال المجاري:

هناك علاقة طردية واضحة بين المساحة واعداد المجاري المائية المكونة الفرعية داخل الحوض كامل (الدلوة) ومن الطبيعي وجود علاقة طردية بين اعداد المجاري وأطوالها لذلك كان اعداد والاطوال مرتبة بشكل تنازلي على A و B و C و D التوالي.

من تحليل الجدول رقم (٨) الخاص بالخصائص المورفومترية لأحواض التصريف الفرعية لوادي دلوة، نجد أنه بلغ مجموع أعداد المجاري بالحوض نحو ٢١٩ مجرى، وقد تباينت أعداد المجاري على مستوى الأحواض والرتب، وبلغ مجموع أطوال المجاري لشبكة التصريف لأحواض المنطقة ١٤٨,٧٨ كم.

### تكرارية المجاري:

بينما تقيس تكرارية المجاري النسبة بين أعداد مجاري التصريف بالنسبة لمساحة الحوض (Horton, 1945)، من خلال المعادلة التالية:

معدل تكرار المجاري (مجرى/كم<sup>٢</sup>) = مجموع أعداد المجاري ÷ مساحة حوض التصريف (كم<sup>٢</sup>)  
تتراوح تكرارية المجاري ٢,٥١ مجرى/كم<sup>٢</sup> لحوض رقم (A) إلى ٢٣,٦٨ مجرى/كم<sup>٢</sup> لحوض رقم (D).

### كثافة التصريف:

تعد كثافة التصريف من المؤشرات الهامة التي توضح مدى تعرض سطح الأحواض لعمليات التقطع والتعرية، كما تعد انعكاساً للخصائص الليثولوجية للحوض ونظام بنيته ودرجة النفاذية إلى جانب نوع الغطاء النباتي والظروف المناخية السائد (Doornkamp and King, 1971)، من المعادلة التالية:

كثافة التصريف (كم/كم<sup>٢</sup>) = مجموع اطوال المجاري (كم) ÷ مساحة حوض التصريف (كم<sup>٢</sup>)  
تتراوح كثافة التصريف بين ١,٧٣ كم/كم<sup>٢</sup> لحوض رقم (A) إلى ١٣,٨٩ كم/كم<sup>٢</sup> لحوض رقم (D).

### معدل النسيج:

يتحدد النسيج الطبوغرافي بمجموعة من العوامل المؤثرة في الجريان مثل المناخ والغطاء النباتي والتكوين الصخري ويعبر معدل النسيج عن مدى تقطع الحوض بمجاري التصريف (Smith, 1950)، ويمكن حسابه من خلال المعادلة التالية

$$E = \frac{M}{P}$$

بحيث M عدد المجاري (كلم) و P طول محيط الحوض وهو طول خط تقسيم المياه (كم).  
ويتراوح معدل النسيج ما بين ١,٥ لحوض التصريف (D) إلى ٣,٧ لحوض التصريف (B). وهذا يدل على تباين في الاحواض الفرعية بمعنى كلما انخفضت قيمة معدل النسيج دل انه خشن والعكس صحيح.

جدول (٨) الخصائص المورفومترية لأحواض التصريف الفرعية لوادي دلوة بمدينة المجرادة

حوض وادي دلوة				
D	C	B	A	رقم الحوض
٩	١٨	٧٢	١٢٠	عدد المجاري (مجرى)
٥,٣	١٤,٩	٤٥,٧	٨٢,٩	أطوال المجاري (كم)
٢٣,٦٨	١٣,٥٣	١٠,٦٧	٢,٥١	تكرارية المجاري (مجرى/كم <sup>٢</sup> )
١٣,٨٩	١١,٢٠	٦,٧٧	١,٧٣	كثافة التصريف (كم/كم <sup>٢</sup> )
١,١٠	١,٣١	١,٣٣	١,٢٠	معدل التشعب
١,٥	٢,٤	٣,٧	٢,٦	معدل النسيج (نسبة)
٦٤,٥١	٨٨,٣٤	٣٢٨,٣٩	٢٢١٥,٥٧	الجريان (م <sup>٣</sup> /ث)
٣,١	٢,٥	٢,٥	٢,٩	نسبة الانعطاف
٠,٢٦	٠,٦٢	١,٠٢	١,٥٤	زمن التركيز (ساعة)

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على النمذجة الهيدرولوجية (WMS)

جدول رقم (٩) أعداد الرتب (مجرى)

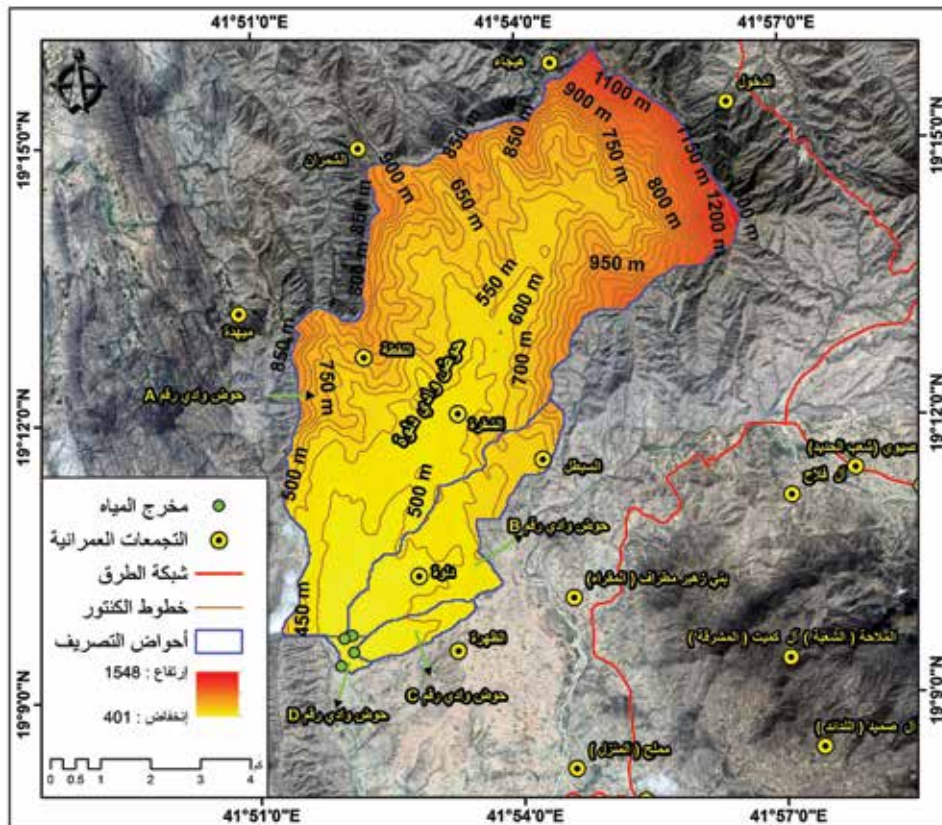
الوادي	الأولى	الثانية	الثالثة	الرابعة	الخامسة	الجملة	%
A	٤٥	٣٢	٢٠	١٤	٩	١٢٠	٥٤,٨%
B	٢٨	١٩	١٢	٩	٤	٧٢	٣٢,٩%
C	٧	٥	٣	٢	١	١٨	٨,٢%
D	٣	٢	٢	١	١	٩	٤,١%
الجملة	٨٣	٥٨	٣٧	٢٦	١٥	٢٠١٩	١٠٠%
%	٣٧,٩%	٢٦,٥%	١٦,٩%	١١,٩%	٦,٨%	١٠٠%	%

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على النمذجة الهيدرولوجية (WMS)

جدول رقم (١٠) أطوال الرتب (كم)

الوادي	الأولى	الثانية	الثالثة	الرابعة	الخامسة	الجملة	%
A	٢٢,٣٠	٢٠,٤٠	١٤,٦٠	١٢,٤٠	١٣,٢٠	٨٢,٩	٥٥,٧%
B	١٧,٥٠	١٠,٢٠	٧,٣٠	٥,٣٠	٥,٤٠	٤٥,٧	٣٠,٧%
C	٦,٤٠	٣,٥٠	٢,٧٠	١,٧٠	٠,٦٠	١٤,٩	١٠%
D	١,٧٨	١,٢٠	١,٣٠	٠,٦٠	٠,٤٠	٥,٢٨	٣,٥%
الجملة	٤٨	٣٥	٢٦	٢٠	٢٠	١٤٨,٧٨	١٠٠%
%	٣٢,٢%	٢٣,٧%	١٧,٤%	١٣,٤%	١٣,٢%	١٠٠%	%

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على النمذجة الهيدرولوجية (WMS)

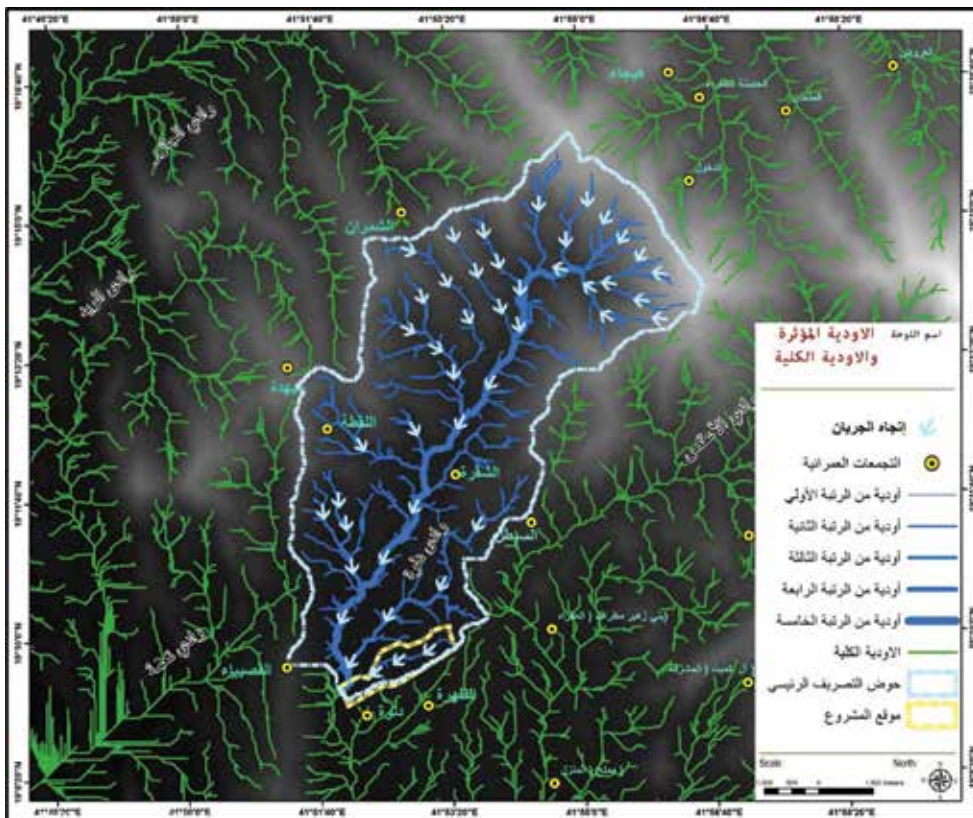


المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على النمذجة الهيدرولوجية (WMS)

شكل (١١) مناسيب الارتفاعات للحوض



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على النمذجة الهيدرولوجية (WMS)  
شكل (١٢) خريطة رتب الأودية لحوض وادي دلوة المؤثر على التوسعات العمرانية شمال مدينة المجرادة لعام ٢٠١٩م

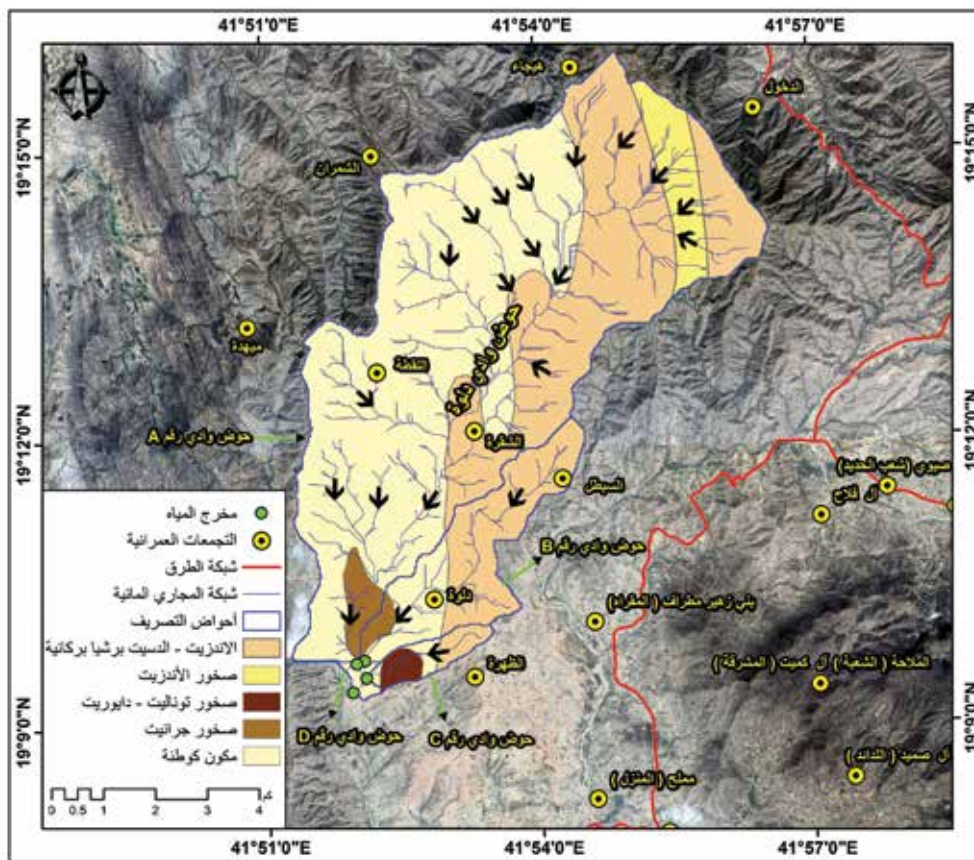


المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على النمذجة الهيدرولوجية (WMS)  
شكل (١٣) الأودية المؤثرة والأودية الكلية لحوض وادي دلوة على التوسعات العمرانية شمال مدينة المجرادة لعام ٢٠١٩م

تم الحصول على إستخدامات الأرض بتصنيف المرئيات الفضائية لاندسات Landsat8/OLI بواسطة برنامج (Erdas Imagine)، (عبد الكريم، أشرف أحمد علي، ٢٠١٣م)، وتم تعريف طبقة استخدامات الأرض ببرنامج النمذجة الهيدرولوجية (WMS) من خلال إدخال طبقة استخدامات الأرض بعد تعريف الطبقات باختيار (New coverage)، عن طريق GIS data، وأختار Add shape file data، وهناك فئتين لإستخدامات الأرض في حوض وادي دلوة، الفئة الأولى هي المناطق الجبلية بمساحة نحو ٥٦,٤ كم<sup>٢</sup>، والفئة الثانية، المناطق الزراعية وتمثل ٠,٢ كم<sup>٢</sup> من حوض تصريف وادي دلوة.

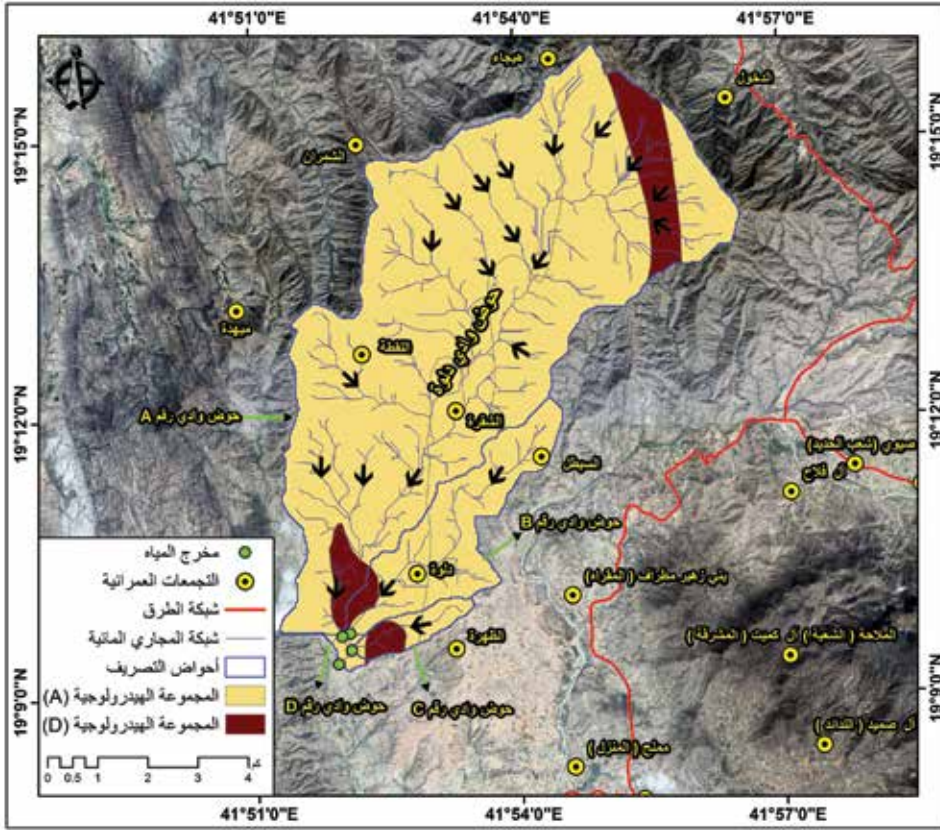
### الخصائص الهيدرولوجية لأحواض التصريف اعتماداً على برنامج نظام نمذجة الأحواض المائية (WMS): المجموعة الهيدرولوجية للتربة واستخدامات الترض لحوض وادي دلوة:

من المعاملات الرئيسية لحساب رقم المنحنى (CN) تعريف المجموعة الهيدرولوجية للتربة واستخدامات الأرض، وتعتمد قيمة رقم المنحنى على هذين المتغيرين، وقد حددت طريقة (SCS) أربعة مجموعات هيدرولوجية للتربة (Soil Conservation Services, (SCS), 1985)، وهي (A-B-C-D)، وتمثل أحواض تصريف وادي دلوة في المجموعات الهيدرولوجية للتربة (A-D)، اذ تمثل المجموعة الهيدرولوجية للتربة (A) مساحة ٥١,٩ كم<sup>٢</sup>، وتمثل في التربة عالية النفاذية، في حين تمثل المجموعة الهيدرولوجية للتربة (D) مساحة ٤,٥ كم<sup>٢</sup>، وتمثل التربة منخفضة النفاذية، شكل (١٤، ١٥).



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على الخريطة الجيولوجية مقياس 1:250000

شكل (١٤) الخريطة الجيولوجية لحوض وادي دلوة لعام ٢٠١٩م



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على النمذجة الهيدرولوجية (WMS)

شكل (١٥) المجموعة الهيدرولوجية لحوض وادي دلوة لعام ٢٠١٩م

وذلك للأزمنة التكرارية المختلفة ١٠٠، ٢٥، ١٠، ٥، عام، وتم استنتاج مخرجات النموذج الهيدرولوجي (HEC-1) لاستنتاج هيدروجراف مياه السيول لأحواض التصريف المختلفة، (عبد الكريم، أشرف أحمد علي، ٢٠١٨م)، وقد تبين من تحليل هيدروجراف مياه السيول لأحواض تصريف لوادي دلوة أن حجم السيول يتباين من حوض تصريف لآخر، حيث جاء حوض تصريف الوادي رقم (A) في المرتبة الأولى بمتوسط حجم سيول بلغ ٢٥٢٠٧٧٤٤،٥٦ م<sup>٣</sup>، وبليته حوض تصريف رقم (B) بمتوسط حجم سيول بلغ ٣٥٥١٥٦٢،٩ م<sup>٣</sup>، وبليته حوض تصريف رقم (C) بمتوسط حجم سيول بلغ ٧٠٢٥٢٦،٥ م<sup>٣</sup>، وفي المرتبة الأخيرة حوض تصريف رقم (D) بمتوسط حجم سيول بلغ ١٩٩٨١٧،١ م<sup>٣</sup> وذلك خلال فترة الرجوع ١٠٠ عام، جدول (٦)، أشكال (١٦، ١٧، ١٨، ١٩). هذا يعني ان الأودية تقوم بنقل كميات كبيرة من المياه لتلقي بها عند المصب بعد فقدان كميات نتيجة التسرب والتبخر مثلاً.

### تحديد رقم المنحنى لحوض وادي دلوة:

تم استخدام أحد الطرق واسعة الانتشار لتقدير كميات المياه المفقودة بالتسرب لباطن الأرض وتسمى هذه الطريقة بطريقة رقم المنحنى ((Curve Number (CN)). وتعتمد هذه الطريقة على ثلاث عناصر هي الحالة المسبقة لرتوبة التربة، وغطاءات الأرض، والمجموعات الهيدرولوجية للتربة، وتتراوح قيمتها بين (صفر) إلى (١٠٠) وتعبر عن الإستجابة المائية لمكونات غطاءات الأرض في أحواض التصريف، وتعتبر بذلك عن مقدار صماتة السطح، فكما إتجهت القيم ناحية (١٠٠) فإن الأسطح تكون أقل صماتة (Ponce and Hawkins, 1996)، وبلغت قيمة رقم المنحنى لحوض وادي دلوة ٣٥، ٨٩.

### خصائص مياه السيول:

#### ١- تقدير حجم السيول:

تم تطبيق النموذج الرياضي باستخدام عاصفة تصميمية بمدة زمنية ٢٤ ساعة، واستخدام توزيع SCS TYPE II، وتم استخدام طريقة SCS لحساب زمن التأخير والتركيز،

**٢- تقدير التدفق الأقصى للسيول:**

تتباين قيم التدفق الأقصى للسيول لحوض وادي دلوة المؤثر على منطقة الدراسة، نظراً لتباين حجم الأمطار المتساقطة على مساحة التصريف لكل حوض، وتتباين حجم السيول التي يصرفها كل حوض، وعليه نجد أن قيم التدفق الأقصى للسيول بمنطقة الدراسة تتراوح ما بين ٦٤,٥١ – ٢٢١٥,٥٧ م<sup>٣</sup>/ثانية، ويعتبر حوض تصريف رقم (A) هو أكبر أحواض التصريف في قيمة التدفق الأقصى، حيث بلغت قيمة التدفق الأقصى للحوض ٢٢١٥,٥٧ م<sup>٣</sup>/ثانية، ثم حوض تصريف رقم (B) في المرتبة الثانية بتدفق بلغ ٢٣٢٨,٣٩ م<sup>٣</sup>/ثانية، ويليه حوض تصريف رقم (C) بتدفق

بلغ ٨٨,٣٤ م<sup>٣</sup>/ثانية، وفي المرتبة الأخيرة حوض تصريف رقم (D) بتدفق بلغ ٦٤,٥١ م<sup>٣</sup>/ثانية وذلك خلال فترة الرجوع ١٠٠ عام، جدول (٦)، أشكال (١٦، ١٧، ١٨، ١٩).

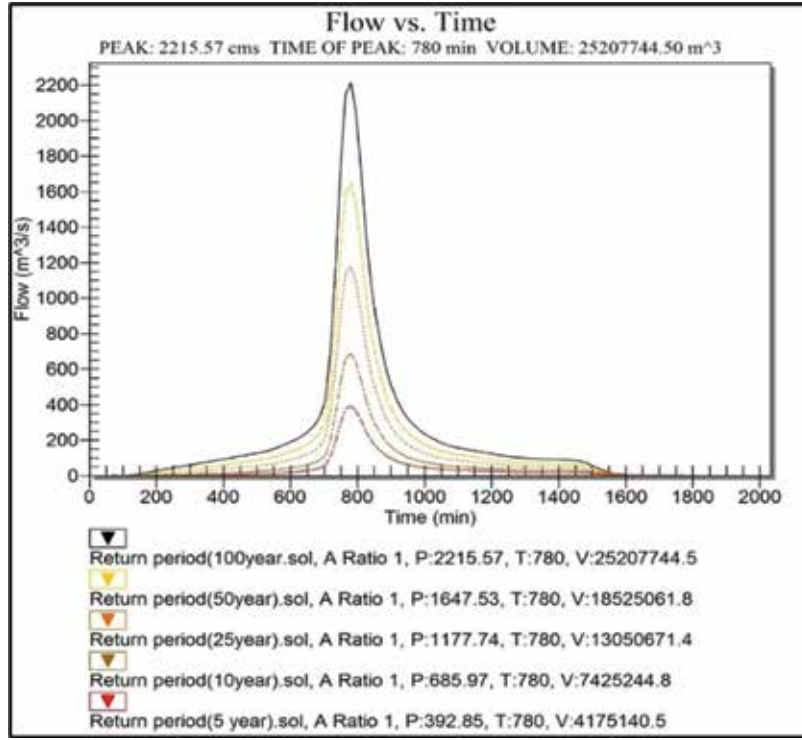
**٣- تقدير زمن الوصول لأقصى تدفق للسيول:**

تبين من تحليل هيدروجراف مياه السيول لأحواض تصريف وادي دلوة أن زمن الوصول إلى أقصى تدفق يتراوح ما بين ٤٥ دقيقة لحوض وادي (D) إلى ٧٨٠ دقيقة لحوض وادي (A) وذلك خلال فترة الرجوع ١٠٠ عام، جدول (١١)، أشكال (١٦، ١٧، ١٨، ١٩).

جدول (١١) خصائص مياه السيول لأحواض التصريف لوادي دلوة للأزمنة التكرارية المختلفة

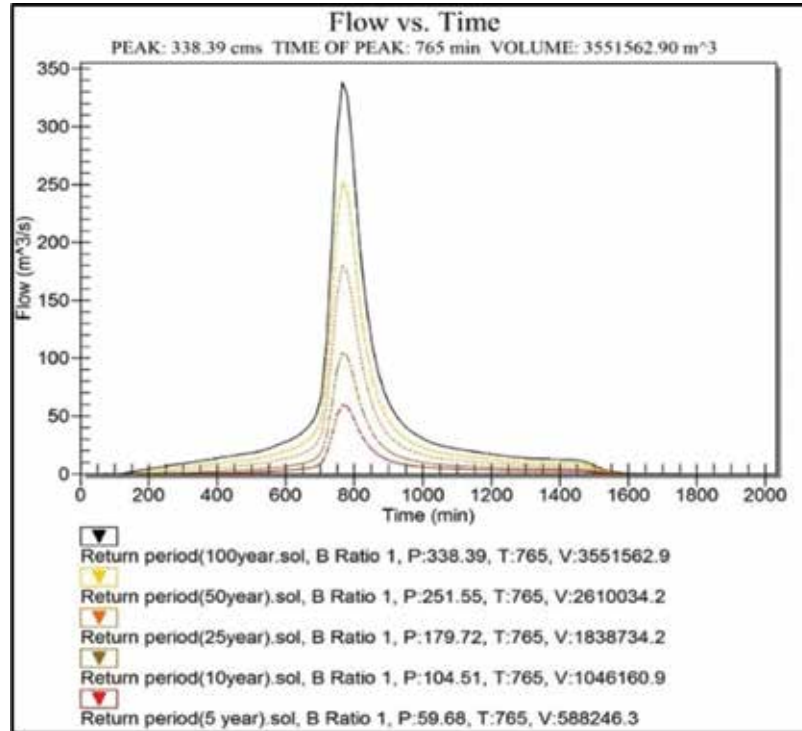
أسم الحوض	المتغيرات	خصائص مياه السيول لأحواض التصريف الفرعية للأزمنة التكرارية المختلفة				
		١٠٠	٥٠	٢٥	١٠	٥
A	أقصى تصرف (م <sup>٣</sup> /ث)	٢٢١٥,٥٧	١٦٤٧,٥٣	١١٧٧,٧٤	٦٨٥,٩٧	٣٩٢,٨٥
	حجم السيل (م <sup>٣</sup> )	٢٥٢٠٧٧٤٤,٥	١٨٥٢٥٠٦١,٨	١٣٠٥٠٦٧١,٤	٧٤٢٥٢٤٤,٨	٤١٧٥١٤٠,٥
	زمن الوصول (دقيقة)	٧٨٠	٧٨٠	٧٨٠	٧٨٠	٧٨٠
B	أقصى تصرف (م <sup>٣</sup> /ث)	٢٣٢٨,٣٩	٢٥١,٥٥	١٧٩,٧٢	١٠٤,٥١	٥٩,٦٨
	حجم السيل (م <sup>٣</sup> )	٢٥٥١٥٦٢,٩	٢٦١٠٠٣٤,٢	١٨٢٨٧٢٤,٢	١٠٤٦١٦٠,٩	٥٨٨٢٤٦,٣
	زمن الوصول (دقيقة)	٧٦٥	٧٦٥	٧٦٥	٧٦٥	٧٦٥
C	أقصى تصرف (م <sup>٣</sup> /ث)	٨٨,٣٤	٦٥,٧٢	٤٧,٠٢	٢٧,٤٤	١٥,٧٥
	حجم السيل (م <sup>٣</sup> )	٧٠٢٥٢٦,٥	٥١٦٢٨٠,٥	٣٦٣٧١٥,٢	٢٠٦٩٣٥,٢	١١٦٣٥٧,٤
	زمن الوصول (دقيقة)	٧٥٠	٧٥٠	٧٥٠	٧٥٠	٧٥٠
D	أقصى تصرف (م <sup>٣</sup> /ث)	٦٤,٥١	٤٧,٤٠	٣٣,٣٧	١٨,٩٣	١٠,٥٦
	حجم السيل (م <sup>٣</sup> )	١٩٩٨١٧,١	١٤٦١٨٣,٤	١٠٢٩٨٣,٤	٥٨٥٩٤,٥	٣٢٩٤٧,٢
	زمن الوصول (دقيقة)	٤٥	٤٥	٤٥	٤٥	٤٥

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على النمذجة الهيدرولوجية (WMS)



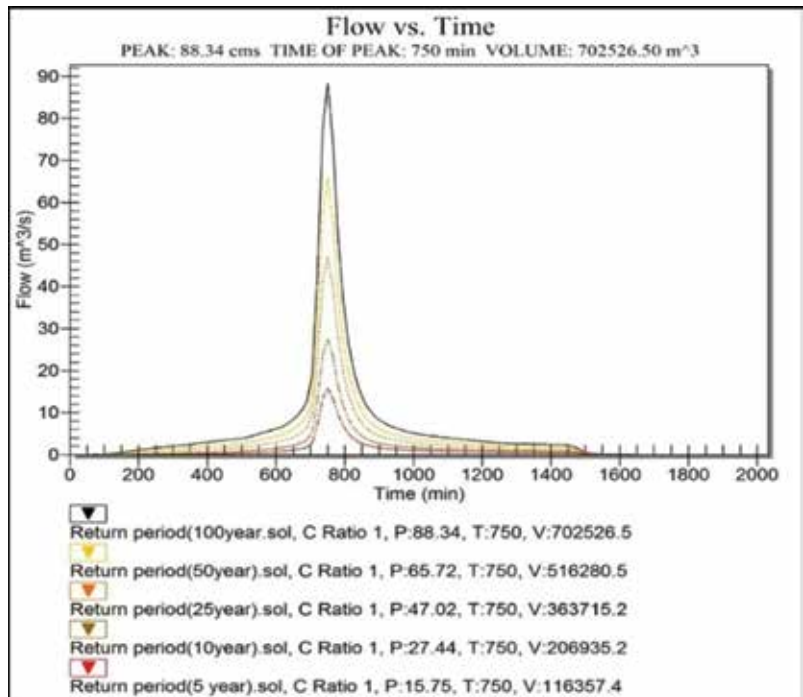
المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على النمذجة الهيدرولوجية (WMS)

شكل (١٦) هيدروجراف تدفق السيول لحوض وادي (A) لفترات الرجوع (١٠٠،٥٠،٢٥،١٠،٥ سنة)



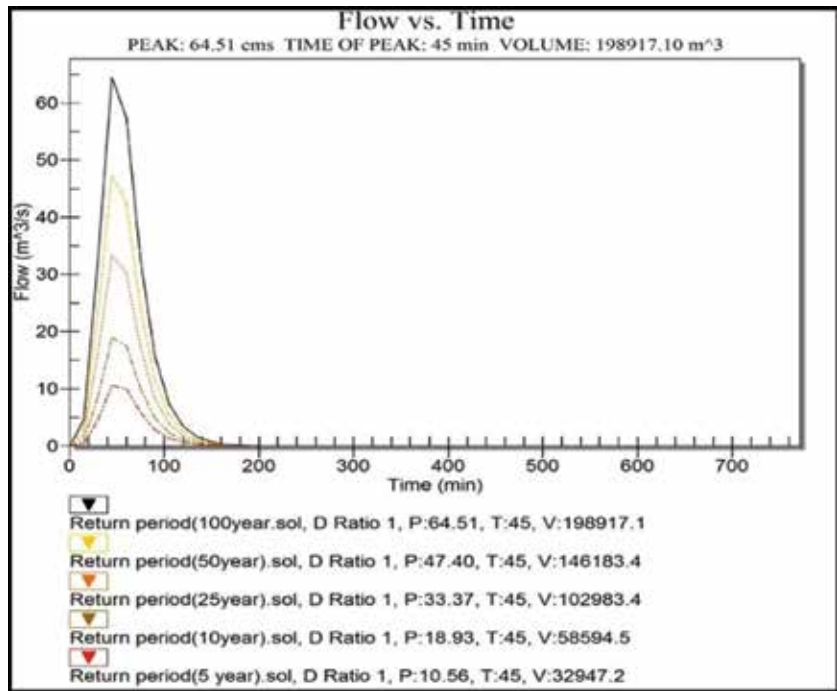
المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على النمذجة الهيدرولوجية (WMS)

شكل (١٧) هيدروجراف تدفق السيول لحوض وادي (B) لفترات الرجوع (١٠٠،٥٠،٢٥،١٠،٥ سنة)



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على النمذجة الهيدرولوجية (WMS)

شكل (١٨) هيدروجراف تدفق السيول لحوض وادي (C) لفترات الرجوع (١٠٠،٥٠،٢٥،١٠،٥ سنة)



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على النمذجة الهيدرولوجية (WMS)

شكل (١٩) هيدروجراف تدفق السيول لحوض وادي (D) لفترات الرجوع (١٠٠،٥٠،٢٥،١٠،٥ سنة)



## النتائج والتوصيات:

### أولاً: النتائج:

تم إجراء التحليل الجيومورفولوجي والمورفومتري والنمذجة الهيدرولوجية لحوض وادي دلوة باستخدام نظام نمذجة الأحواض المائية (Watershed Modeling System (WMS). وتم استخدام النموذج في تحديد أحواض تصريف الأودية الفرعية وشبكات تصريف الأودية الرئيسية والفرعية من خلال استخدام نموذج الارتفاع الرقمي وبيانات الرفع المساحي للمنطقة وتحديد المخارج التي تتركز بها تصرفات مياه السيول، حيث يساعد هذا النموذج في تدقيق حساب منحني الهيدرولوجراف بطرق متعددة طبقاً لأحواض التصريف وذلك بالطرق الطبيعية أو الاصطناعية، كما يتميز النموذج بإمكانية تقدير السيول المدمرة، وقد تم تغذية النموذج الرياضي بنتائج التحليلات من الدراسات الجيولوجية والمورفولوجية والمتيورولوجية، حيث تم استخدام طريقة SCS-UH لعاصفة الأزمنة التكرارية ١٠، ٢٥ و ٥٠ و ١٠٠ عام، للحصول على هيدرولوجراف مياه السيول المطلوب تصميم الأعمال الصناعية المناسبة لحماية منشآت البنية التحتية في منطقة الدراسة.

تم تقسيم حوض وادي دلوة إلى أربعة أحوض تصريف فرعية وهما: حوض وادي A وحوض وادي B وحوض وادي C وحوض وادي D، وقد تبين أن حوض تصريف الوادي A هو أكبر أحواض التصريف من حيث المساحة والطول، حيث يمتد بطول يصل إلى ١٦ كم، وتصل مساحة حوض التجميع للوادي حوالي ٩، ٤٧ كم<sup>٢</sup>، وانحدار حوض الوادي بلغ ٢٥٥، ٠ م/م، ويعتبر الحوض من الأحواض المائية الناقلة لمياه السيول وينقل هذا الحوض مياه الأمطار من الشمال إلى الجنوب، ويمتد الوادي (B) بطول يصل إلى ٩، ٧ كم، وتصل مساحة حوض التجميع للوادي حوالي ٦، ٧٥ كم<sup>٢</sup>، وانحدار حوض الوادي بلغ ١٠٦، ٠ م/م، وهو من الأحواض الناقلة أيضاً لمياه السيول، يليهم الوادي (C) حيث يمتد بطول يصل إلى ٩، ٢ كم، وتصل مساحة الحوض إلى ١، ٢ كم<sup>٢</sup>، وانحدار الحوض بلغ ٠، ٢٦ م/م، ويعتبر الحوض (D) أصغر الأحواض حيث يمتد بطول ٩، ١ كم، وتصل مساحته إلى نحو ٢٨، ٠ كم<sup>٢</sup>، وبلغ انحدار الحوض ٠، ٦٣ م/م.

من تحليل هيدرولوجراف مياه السيول لأحواض التصريف تبين أن حجم السيول يتباين من حوض لآخر، حيث يتراوح من ٢٥٢٠٧٧٤٤، ٥ م<sup>٣</sup> إلى ١، ١٩٩٨١٧، ٢ م<sup>٣</sup>، وتتراوح قيم التدفق

الأقصى للسيول ما بين ٥١، ٦٤- ٥٧، ٢٢١٥ م<sup>٣</sup>/ث، أما زمن الوصول يتراوح إلى أقصى تدفق ما بين ٤٥ : ٧٨٠ دقيقة. وقد تبين أن احتواء مشكلات التوسع العمراني والتعامل مع مشاكل نمو المدينة ودراسة درء أخطار السيول قبل إعداد المخططات العمرانية، قد واجه بعض الصعوبات بالمدينة فلم تكن المعرفة والمعلومات والخبرة الإدارية على المستوى الذي يمكن معه الاعتماد عليها للتصدي لهذه المشكلات، والتعامل مع تحديات نمو عمراني سريع الخطى وواسع النطاق وشامل الأبعاد ومتباين الأنماط وربطه بمخاطر السيول المحتملة، يثقل كاهل أي حكومة أو إدارة محلية مهما كانت عراققتها وطول باعها، ومن ثم تأتي هذه الدراسة لتوضح مكامن الخطورة في استمرار التوسع العمراني باتجاه مجاري الأودية ومراوحها الفيضية، وتقديم تصوراً ورؤية للمناطق الصالحة للتنمية العمرانية.

### ثانياً: التوصيات:

- ١- المحافظة على الأودية والمسائل المائية وتحريرها من أي عوائق وتحديد مساراتها خارج منطقة التطوير بالإضافة إلى تنظيف وعمل المجاري المائية داخل منطقة الدراسة عند التطوير المستقبلي.
- ٢- وقف التوسعات العمرانية باتجاه وادي دلوة وضرورة تدخل الجهات المعنية بعمل بعض التدخلات الهندسية مثل القنوات وذلك لدرء مخاطر السيول عن التوسعات العمرانية شمال مدينة المجرادة.
- ٣- إحترام مجاري الأودية والإلتزام بالحرم المحدد لكل وادي وتطبيقه على كل مخرجات التخطيط والتطوير المستقبلي بالمنطقة.
- ٤- ضرورة التأكد من عدم وجود أية عوائق أو منشآت قائمة في مسار الأودية الفرعية المؤثرة على منطقة المشروع أو المحيطة بهربط شبكة التصريف المقترحة بشبكات التصريف للمخططات المجاورة.
- ٥- المحافظة على مجاري الوديان وفروعها وخاصة للأجزاء المخترقة للمدينة ويتم ذلك بإزالة جميع التعديات والأملك الموجودة في حرم الوادي مع حماية مجرى الوادي من أي تعديات محتملة مثل العقوم والمزارع والمنشآت... الخ والتي ينتج عنها إعاقة المياه المتدفقة في مجرى الوادي.
- ٦- يجب تعديل المخططات الهيكلية المستقبلية بناءً على

٧. عبد الكريم، أشرف أحمد علي، (٢٠١٨م)، "أثر التغيرات المناخية والتوسعات العمرانية على زيادة مخاطر السيول: قرية حجازة - محافظة قنا - نموذج باستخدام النمذجة الهيدرولوجية والهيدروليكية (WMS & HEC-RAS) ونظم المعلومات الجغرافية والإستشعار عن بعد (GIS & R.S)" المؤتمر الدولي الأول للمجموعة المناخية المصرية (المناخ والبيئة - مصر - أفريقيا والعالم)، جمهورية مصر العربية، خلال الفترة ١٣-١٥ أكتوبر ٢٠١٨م، ص ١-٤٧.

٨. عبد الكريم، أشرف أحمد علي، (٢٠١٩م)، "النمذجة الهيدرولوجية والهيدروليكية للسيول باستخدام برنامج نظام نمذجة الأحواض المائية (WMS) (Watershed Modeling System)، أساسيات ومفاهيم وتدريبات وتطبيقات عربية"، الطبعة الأولى، دار نشر العكيان، ص ٢٨٥-٣٠٧.

#### المراجع غير العربية:

1. Abdel Karim, A. Assessment of the expected flood hazards of the Jizan-Abha Highway, Kingdom of Saudi Arabia by Integrating Spatial-Based Hydrologic and Hydrodynamic Modeling. The Global Journal of Researches in Engineering, 2019, 19, <https://engineeringresearch.org/index.php/GJRE/article/view/1948>.
2. Abdel Karim, A.; Gaber, D.; Youssef, M.; Pradhan, B. Flood Hazard Assessment of the Urban Area of Tabuk City, Kingdom of Saudi Arabia by Integrating Spatial-Based Hydrologic and Hydrodynamic Modeling. Sensors, 2019, 19, 1024. doi:10.3390/s19051024.
3. Abdelkarim, A.; Gaber, A.F. Flood Risk Assessment of the Wadi Nu'man Basin, Mecca, Saudi Arabia (During the Period, 1988–2019) Based on the Integration of Geomatics and Hy-

الهندسي المزمع تنفيذه بحيث يتم الأخذ في الاعتبار حرم مسارات الأودية واتجاهاتها ومناسبتها لكي يتم تصريف مياه الأمطار للمناطق المحيطة بالوادي عليه.

#### المراجع:

#### المراجع العربية:

١. الجعيدى، فرحان (٢٠٠٨م)، "الخصائص الهيدرولوجية وخصائص السيول في أحواض السدود المقترحة على أودية عليية في محافظة الخرج"، الجمعية الجغرافية السعودية، بحوث جغرافية، العدد ٨٤، جامعة الملك سعود، الرياض. ص ١-٥٧.
٢. الجعيدى، فرحان وبورويبه، محمد (٢٠٠٧م)، "تقدير تدفق الذروة للسيول بحوض وادي العين بمحافظة الخرج في المملكة العربية السعودية" مركز البحوث، كلية الآداب، جامعة الملك سعود، عدد ١٢١، الرياض.
٣. الدغيري، أحمد بن عبدالله بن محمد والعضوي، حمدينة عبد القادر السيد (٢٠١٧م)، "التحليل الهيدرولوجي وتقدير حجم السيول في حوض وادي الوطاة بمنطقة القصيم"، مجلة العلوم الإنسانية والاجتماعية، العدد ٤٧، جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية، ص ١٨٦-٢٦٠.
٤. بورويبه، محمد (٢٠٠٧م)، "دراسة هيدرولوجية وتقدير حجم سيول وادي عتود بالمملكة العربية السعودية"، سلسلة الإصدارات الخاصة، عدد ٢١، مركز دراسات الخليج والجزيرة العربية، الكويت.
٥. داود، جمعة ومزرا، معراج نواب والغامدي، خالد بن عبد الرحمن (٢٠١٢م)، "تقييم مخاطر الفيضانات المفاجئة بمدينة مكة المكرمة بالاعتماد على نظم المعلومات الجغرافية"، مجلة إيجي ماتكس، العدد ٢، ص ١-١٣.
٦. عبد الكريم، أشرف أحمد علي، (٢٠١٣م)، "أثر التغيرات المكانية للنمو العمراني واستخدامات الأرض على زيادة مخاطر السيول في المدينة السعودية: دراسة حالة مدينة حائل باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS والاستشعار عن بعد RS"، المجلة العربية لنظم المعلومات الجغرافية، الجمعية الجغرافية السعودية، جامعة الملك سعود، الرياض، سلسلة بحوث جغرافية، المجلد السادس، العدد (٢)، ص ١-١٠٣.

(KSA). The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 2015, 18, 261–278, <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.06.007>.

11. Khalil, R.; Khaled, B.; Amjad, M. 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, 2017, 92, 1027-1049. doi:10.1007/s40808-017-0268-1.

12. Laouacheria, F.; Mansouri, R. Comparison of WBNM and HEC-HMS for runoff hydrograph prediction in a small urban catchment. Water Resources Management, 2015, 29, 2485–2501. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-0953-7>.

13. Meiling, W.; Lei Z.; Thelma, D. Hydrological modeling in a semi-arid region using HEC-HMS. Journal of Water Resources and Hydraulic Engineering, 2016, 5, 105-115. DOI: 10.5963/JWRHE0503004.

14. Meltin, M. An Analysis of The Relations among Elements of Climate, Surface Properties and Geomorphology , Project NR 389 – 042, tech Rept.11, Columbia University, 1957.

15. Miller, C. A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristic in the Clinch, Mountain area, Verdinia and Tennessee, Project NR Tech. Rept.3 Columbia University, Department of Geology, ONR, Geography branch, New York, 1953, 389-042.

draulic Modeling: A Case Study. Water 2019, 11, 1887. doi: 10.3390/w11091887.

4. Abdelkarim, A.; Gaber, A.F.D.; Alkadi, I.I.; Alogayell, H.M. Integrating Remote Sensing and Hydrologic Modeling to Assess the Impact of Land-Use Changes on the Increase of Flood Risk: A Case Study of the Riyadh–Dammam Train Track, Saudi Arabia. Sustainability 2019, 11, 6003. doi: 10.3390/su11216003.

5. Chorley, R. Illustrating the Laws of Morphometry, Geologic Magazine, 1957, 94, 140-150, <https://doi.org/10.1017/S0016756800068412>.

6. Doornkamp, G.; King, C. Numerical Analysis in Geomorphology: an introduction, 1971, Longman , London.

7. Gravelius, H. Flußkunde, Gosche'sche Verlagshandlung, Berlin, 1914.

8. Hatim, S.; Farhan, A.; Abdulaziz, A.; Ibrahim, A.; Eyad, F.; Salem, J.; Almutaz, E. Flood hazards in an urbanizing watershed in Riyadh, Saudi Arabia. Geomatics. Natural Hazards and Risk, 2016, 7, 702-720, <http://dx.doi.org/10.1080/19475705.2014.945101>.

9. Horton, E. Erosional Development of Stream and their Drainage Age Basins, Hydro physical Approach to Quantitative Morphology, Geol. Soc. Amer. Bull. 1945, 56, 275 – 370.

10. Ismail, E. Flash Flood Hazard Mapping Using Satellite Images and GIS Tools: A case study of Najran City, Kingdom of Saudi Arabia

22. Smith, G. Standards for Grading Texture of Erosional topography, Amer. Jour. Sci., 1950, 248, 655-668.
23. Soil Conservation Services, (SCS), National Engineering Handbook. Section 4: Hydrology. US Department of Agriculture. Soil Conservation Service. Engineering Division. Washington DC. 1985.
24. Sreedevi, D.; Srinivasalu, S.; Kesava, K. Hydrogeomorphological and groundwater prospects of the Pageru River basin by using remote sensing data. Environ Geol, 2001, 40, 1088-1094, <https://doi.org/10.1007/s002540100295>.
16. Mohamed, A.; Amro, E.; Ahmed, K.; Moustafa, K.; Nassir, A.; Anis, C.; Kashif, N. Flash flood risk assessment in urban arid environment: case study of Taibah and Islamic universities' campuses, Medina, Kingdom of Saudi Arabia. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 2019, 10, 780-796. DOI: 10.1080/19475705.2018.1545705.
17. Norhan, A.; Saud, T.; Fahad, A.; Kamarul, A. Arid hydrological modeling at wadi Alaqiq, Madinah, Saudi Arabia. Jurnal Teknologi, 2016, 78, 51-58. doi:10.11113/jt.v78.4516.
18. Pike, J.; Wilson, E. Elevation - relief ratio, hypsometric integral, and geomorphic area - altitude analysis. Geol. Soc. Am. Bull. 1971, 82, 1079-1084.
19. Ponce, V.M.; Hawkins, R.H. Runoff Curve Number: Has It Reached Maturity?. Journal of Hydrologic Engineering, 1996, 1, 9-20. DOI: 10.1061/(ASCE)1084-0699(1996)1:1(11) .
20. Sampath, D.; Weerakoon, S.; Herath, S. 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, 2015, 48, 1-9. <http://doi.org/10.4038/engineer.v48i1.6843>.
21. Schumm, A. Evolution of drainage system and slope in badlands of Perth Amboy, New Jersey. Bull. Geol. Soc. Am. 1956, 67, 597-646, [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:E-ODSAS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:E-ODSAS]2.0.CO;2).

