Journal of Agricultural, Environmental and Veterinary Sciences
Volume (6), Issue (1) : 30 Mar 2022
P: 118 - 128

ISSN: 2522-3364

مجلة العلوم الزراعية والبيئية والبيطرية
المجلد (6)، العدد (1) : 30 مارس 2022م
ص: 118 - 128

Managing flood disasters in the city of Mukalla using GIS techniques

Khaled Saleh Bawahidi
Faculty of Environmental Sciences & Marine Biology || Hadhramout University || Yemen
Hanan Omar Hamdoun
Office of Ministry of Agriculture & Irrigation || Hadhramout || Yemen

Abstract: This study aims to highlight the role of GIS technology in supporting decision makers in preventing flood hazards from populated areas, and mapping different areas most vulnerable to flood damage using GIS techniques. The data used in the study, such as the digital elevation model and satellite images, were downloaded from the Internet free of charge. The data was processed and used to identify wadis and streams which contribute to risk of floods in Mukalla city, capital of Hadramout province, Yemen, through spatial analysis using hydrological analysis tools such as flow accumulation, flow direction, etc. with the aim of building a spatial information base, resulting in the identification of the characteristics of wadis overlooking Mukalla, as well as identifying places at risk of flooding, including nearby communities. The study showed that some neighborhoods of Mukalla, particularly the Region of Dees al -Mukalla, are more vulnerable to flooding because there are several main wadis that flow into them and pose a significant risk to the population as a result of the severity of the drainage and its passage into communities.

Keywords: GIS, disasters, floods.

إدارة كوارث السيول في مدينة المكلا باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية

خالد صالح باواحدي
كلية العلوم البيئية والأحياء البحرية || جامعة حضرموت || اليمن
حنان عمر حمدون
مكتب وزارة الزراعة والري || محافظة حضرموت || اليمن

المستخلص: هدفت هذه الدراسة إلى إبراز دور تقنية نظم المعلومات الجغرافية في دعم متخذي القرار فيما يتعلق بدرءِ أخطار السيول عن المناطق المأهولة بالسكان، ورسم خرائط مختلفة للمناطق الأكثر عرضةً لأضرار السيول باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية. البيانات المستخدمة في الدراسة مثل نموذج الارتفاعات الرقمية والصور الجوية تم تنزيلها من الإنترنت مجاناً وبعد معالجتها تمَّ استخدامها لتحديد مجاري الأودية المعرَّضة لخطر السيول والفيضانات في مدينة المكلا، عاصمة محافظة حضرموت باليمن من خلال التحليل المكاني باستخدام أدوات التحليل الهيدرولوجي كتحديد أماكن تجميع المياه واتجاه جريانها وغيرها بهدف بناء قاعدة معلومات مكانية، نتج عن هذه الدراسة التعرف على خصائص الأودية المطلة على مدينة المكلا، إضافةً إلى تحديد الأماكن المعرَّضة لخطر السيول والتي تشمل التجمعات السكانية المجاورة لها. وأظهرت الدراسة أن بعض أحياء مدينة المكلا خاصة منطقة (ديس المكلا) تعدُّ أكثر عرضةً لخطر السيول؛ وذلك لوجود عدة أودية رئيسية تصب فيها وتشكل خطورةً كبيرة على السكان نتيجة لشدة التصريف المائي، ومرورها داخل التجمعات السكانية.

الكلمات المفتاحية: نظم المعلومات الجغرافية، الكوارث، السيول

1- المقدمة والإشكالية.

تعد الكوارث الطبيعية من أخطر التهديدات التي تواجه البشر، كما ينظر إلى هذه الأخطار الطبيعية على أنها أعمال عشوائية للطبيعة، يرمز إليها بالتطرف في العمليات الفيزيائية (تايوان، 2006)، حيث تخلِّف سنويًا الكثير من الخسائر البشرية والمادية، هذا بالإضافة إلى أضرارها الاقتصادية والاجتماعية والبيئية (العنزي، 2005). وأصبح التعامل معها من القضايا التي تؤرق الدول والمجتمعات الدولية خاصة في الدول النامية. وتعد السيول من أشد الأخطار الطبيعية التي تتأثر بها المنشآت العمرانية وشبكات الطرق، لا سيما وأن السياسات العمرانية قد أهملت هذا الجانب؛ حيث تعاني العديد من المدن من الزحف العمراني على حساب الأودية ومجاري السيول وطمس معالمها (الرشيدي، 2019).

حيث إنه من المستحيل دفع مخاطر السيول والفيضانات أو منع حدوثها، ولكن بالإمكان العمل على الحدِّ من تأثيراتها، والتقليل من خسائرها التي تنجم عنها، وذلك بتحديد المناطق المهدَّدة بالسيول والفيضانات، ووضع الخرائط المناسبة لها (جرارعة، 2016). إن عملية إدارة مخاطر السيول تشتمل على عدة مراحل منها مرحلة معرفة الخطر والتنبُّؤ بحجمه ومرحلة التعامل معه أثناء الحدث ومرحلة تحديد الأضرار وتحديد الفترة الزمنية للتعافي منها، ومن ثم تأتي عملية حصر المخاطر لدراستها وإيجاد حلول دائمة لها وتحديد أولوياتها. إلا أن تلك العمليات لا بد أن تترافق مع توفير بيانات ومعلومات صحيحة ودقيقة تكون على صيغة تقارير ورسوم بيانية وخرائط تساعده في تقدير الاحتياجات المستقبلية وبناء برنامج متكامل لدرء تلك المخاطر.

وتعد اليمن إحدى البلدان التي تأثرت وبشكل كبير من تأثيرات التذبذب في المناخ حيث أصبحت البلد تواجه كوارث السيول والفيضانات والجفاف وبصورة متكررة. وقد أسهمت العوامل الجيومرفولوجية والطبوغرافية والديموغرافية للبلد في زيادة الخسائر الناجمة عن تلك الكوارث خصوصًا تلك الناتجة عن السيول والفيضانات في إحداثِ دمارٍ كبيرٍ للممتلكات في أكثر من منطقة في اليمن (شمشير، 2009م).

أهداف الدراسة:

تسعى هذه الدراسة إلى تحقيق مجموعة من الأهداف:

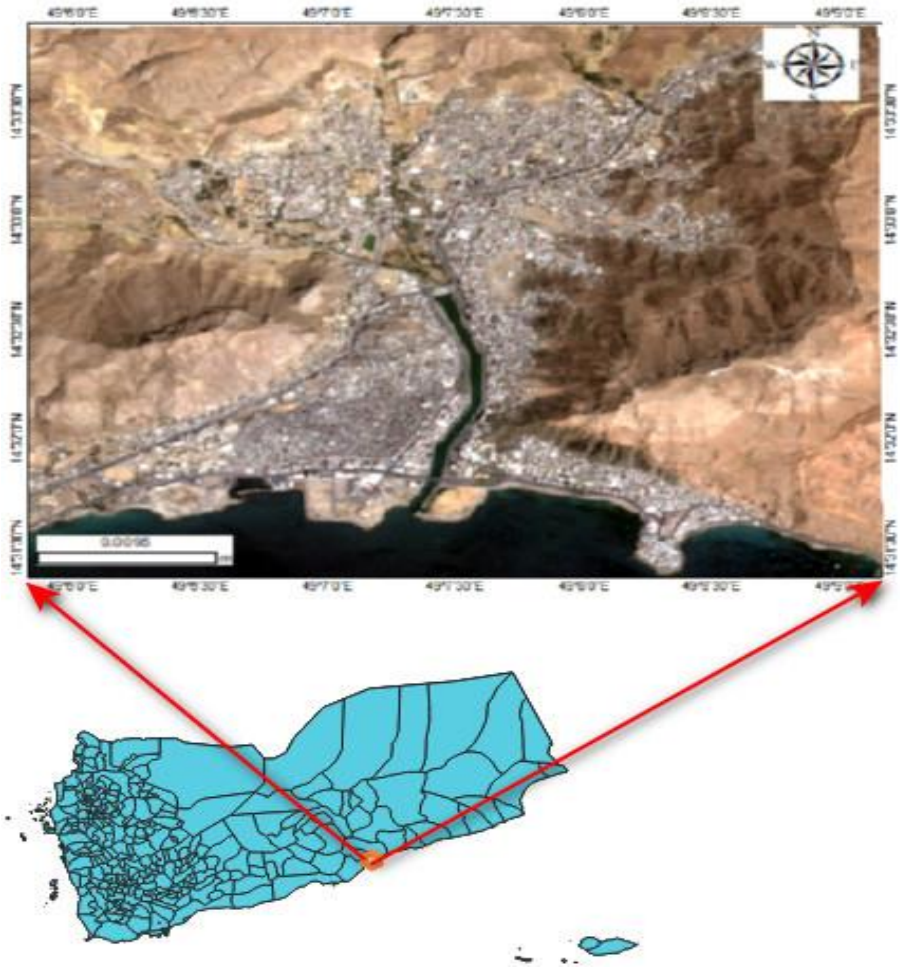
- تحديد عناصر مخاطر السيول في منطقة الدراسة (الأودية) وتمثيلها في نظام المعلومات الجغرافية (GIS)، لتحديد المواقع المهدَّدة بالسيول ومعرفتها.
- إجراء عمليات التحليل المكاني باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لمنطقة الدراسة خاصَّة المواقع المهدَّدة بالسيول.
- دعم متخذي القرار بالبيانات التي يمكن أن تساهم في الإدارة الصحيحة لكوارث السيول ومشاريع تصريف مياه الأمطار.

منطقة الدراسة:

مدينة المكلا عاصمة محافظة حضرموت ومركز مديريات ساحل حضرموت والهضبة. تقع المكلا في الجزء الجنوبي لحضرموت في الجزء الشرقي من ساحل الجمهورية اليمنية بين خطي طول "11′6 ^{0}49 و"54′8 ^{0}49 شرقاً وخطي عرض "28′31 ^{0}14 و "48′33 ^{0}14 شمالاً (شكل رقم 1)، وعلى بعد حوالي 620 كيلومترًا من مدينة عدن، وتحيط بالمكلا مجموعة من الجبال متوسطة الارتفاع على شكل دائرة. مدينة المكلا منطقة ساحلية يلعب البحر دوراً مهماً في التغيرات اليومية لكلاً من حرارة الجو، الضغط الجوي، الرطوبة والرياح المحلية، ويعدّ الطقس فيها حار صيفا

ومعتدل شتاءً وتهطل الأمطار فيها شبه موسمية. تحيط بها مجموعة من الجبال متوسطة الارتفاع بشكل دائري كما يمر من خلالها عدة أودية تصب في سواحلها. يبلغ المعدل السنوي لدرجة الحرارة الصغرى فيها 28.3 م^0 في شهر يناير، وذلك بسبب ميلان أشعة الشمس على منطقة الدراسة، بينما يعد شهر يونيو أعلى شهور السنة حرارة، إذْ يصل المعدل السنوي للحرارة العظمى فيه إلى 35.0 م^0 بسبب تعامد أشعة الشمس على منطقة الدراسة، كما تتميز منطقة الدراسة بندرة سقوط الأمطار على مدى عدة سنوات متعاقبة وفجأة تسقط عاصفة مطرية واحدة وفي ساعات قليلة أمطار فيضانيه (مشكلة قمة مطرية) مما يدل على أن هذه القمم المطرية مرتبطة ارتباط كبير بالمنخفضات الجوية التي تصيب البحر العربي في موسمين، الأول (من ابريل حتى يوليو) والثاني (من سبتمبر حتى يناير) والتي تمتاز بهذا النمط من التساقط، إلى جانب ميزة العشوائية في التساقط على منطقة الدراسة توجد الندرة وتباعد فترات التساقط يبلغ الإجمالي السنوي للأمطار الساقطة على منطقة الدراسة 61.1 ملم (دار حضرموت، 2021).

ويبلغ عدد سكانها 352452 نسمة حسب ما ورد في إحصائيات عام 2021م (الجهاز المركزي للإحصاء، 2021). وتبلغ مساحتها 1963.05 كم^2.



شكل رقم (1) خريطة للجمهورية اليمنية وصورة جوية منطقة الدراسة مأخوذة من القمر الصناعي الأوروبي Sentinel-2 (وكالة الفضاء الأوربية ESA)

2- منهجية الدراسة وإجراءاتها.

لقد تعرضت محافظة حضرموت عامة ومدينة المكلا خاصةً في السنوات الأخيرة للعديد من السيول الجارفة والتي تسببت في خسائر مادية وبشرية بفعل الفيضانات المباغتة الناجمة عن سقوط أمطار غزيرة في فترة زمنية قصيرة، كما هو الحال في أعوام 2008، 2015، 2018م. في هذه الدراسة تم استخدام المنهج الوصفي والتحليلي للبيانات المستخدمة، وهي على نوعين:

أ- بيانات الاستشعار عن بعد التي تم تنزيلها من الإنترنت (نموذج الارتفاعات الرقمية، مرئيات فضائية).

ب- بيانات تم جمعها من خلال النزولات الميدانية لمنطقة الدراسة مواقع الأودية والمصبات).

لذلك ولغرض تحقيق أهداف الدراسة تم الاستعانة بتقنيات نظم المعلومات الجغرافية في معالجة البيانات والمعلومات وتحليلهما، وإنشاء قاعدة بيانات خاصة بمخاطر السيول في مدينة المكلا، حيث إن هناك حاجة ملحة إلى استخدام نظم المعلومات الجغرافية في دراسة الكثير من المجالات خاصة التخطيط الحضري والبيئي لا سيما مع تغير وجه المدينة بسبب التوسع العمراني والنمو السكاني بفعل الهجرة المطردة من الريف وعودة الكثير من المهاجرين للعيش في المدينة إضافة إلى النازحين من المحافظات الأخرى.

وأخيرا يستخدم البحث أدوات التحليل البصري Visual Analysis في تحديد بعض عناصر استخدامات الأرض التي تتطلب خبرة حقلية خاصة أثناء الدراسة الميدانية التي تمت على مراحل خلال فترة الدراسة، إضافة إلى اللقاءات بالمختصين في مجالات المياه. هذا الجهد أثمر إنجاز عدد من الخرائط الهيدرولوجية المختلفة لمنطقة الدراسة والتي تؤسس لبناء قاعدة بيانات مستقبلية للإدارة الفعالة لدرء مخاطر الكوارث خاصة كوارث السيول.

يمكن إجمال الخطوات المتبعة لإنجاز الخرائط المستخدمة في الدراسة باستخدام برنامج Arc GIS (الإصدار 10.8):

أولاً- إجراء التحليل الهيدرولوجي باستخدام بيانات نموذج الارتفاع الرقمي (DEM):

حيث تمت أولاً معالجة البيانات الأولية والتي تضمنت استقطاع منطقة الدراسة من كامل النموذج، ثم بعد ذلك أخضعت البيانات المستقطعة لعدة معالجات لإجراء التحليل الهيدرولوجي والذي تضمن العمليات الآتية:

1- Fill: ملء الانخفاضات غير المتوقعة (sinks). وهذه ناتجة من عيوب في نموذج الارتفاعات الرقمية، ومن ثم يتوجب إزالتها وإنشاء ملف جديد خالٍ من العيوب.
2- تحديد اتجاه الجريان Flow direction
3- تجميع الجريان Flow accumulation
4- تحديد الأودية والمصبات وتحويلها من شبكي إلى خطي.
5- إنتاج خريطة الانحدارات الرقمية.

ثانيًا: في هذه الخطوة تم إنتاج خريطة الأحياء السكنية لمنطقة الدراسة وخريطة الشوارع العامة. عن طريق الترقيم (digitizing) باستخدام مرئية القمر الصناعي الأوروبي sentinel-2 كخريطة أساس، وخريطة تم تنزيلها بواسطة برنامج QGIS من خدمات شركة إيزري (شركة ايزري).

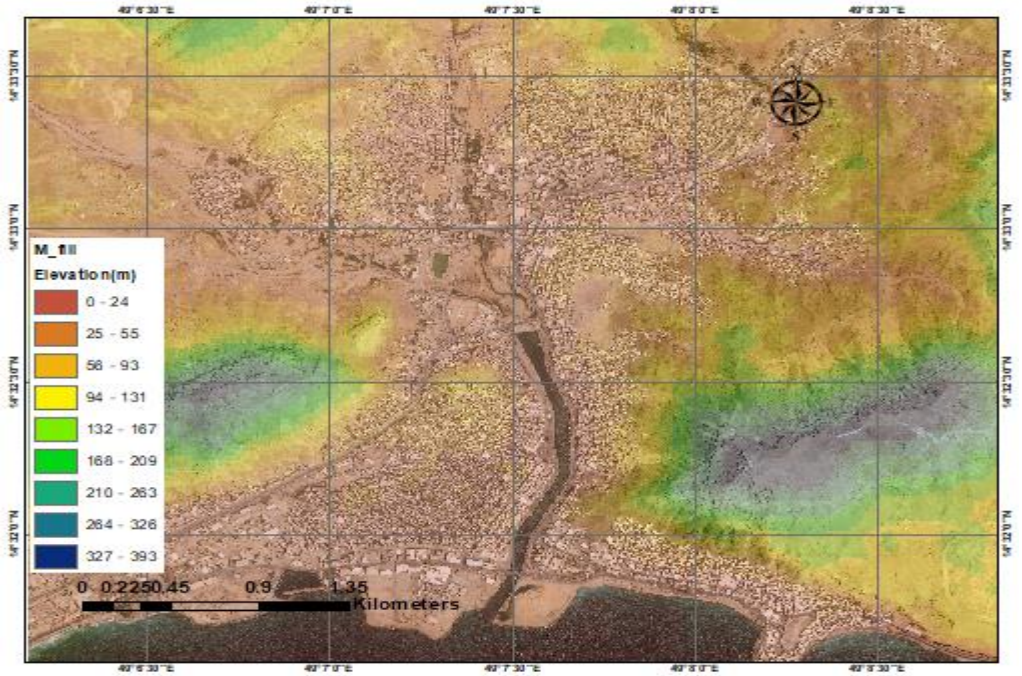
3- عرض النتائج ومناقشتها.

يمثل ملف نموذج الارتفاعات الرقمية (Digital Elevation Model, DEM) من نوع (SRTM) (Shuttle Radar Topography Mission) ذو دقة مكانية 30م ويمثل تضاريس وطوبوغرافية سطح الأرض في صورة شبكية، ومن ثم فإن دراسة وتحليل هذا النوع من الملفات يعطي بيانات غاية في الأهمية للعديد من التطبيقات الهندسية والبيئية والجغرافية. من تطبيقات دراسة ملفات DEM استنباط الخصائص الهيدرولوجية لمنطقة الدراسة خاصة معرفة اتجاه سريان وتجمع المياه السطحية عقب هطول الأمطار، وهو ما يعرف بالتحليل الهيدرولوجي في إطار نظم المعلومات الجغرافية. تم تنزيل بيانات SRTM من الموقع (https://earthexplorer.usgs.gov)

هذه المعلومات أصبح توفيرها أمرًا ممكنًا باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والتي استخدمت في هذه الدراسة بشكل أساسي لإنتاج قاعدة بيانات تتكون من خرائط متنوعة لدراسة كارثة السيول التي تتعرض لها مدينة المكلا من حين لآخر. نتائج التحليل الهيدرولوجي لبيانات الاستشعار عن بعد باستخدام برنامج ArcGis 10.8 أنتجت ما يلي (ArcGIS Help Library):

1- ملف نموذج الارتفاعات الرقمية المستخدم (SRTM) يحتوي على بعض الأخطاء التي تمت معالجتها باستخدام الأمر (FILL). في هذه الخطوة تم إنتاج بيانات نموذج الارتفاعات الرقمية لمدينة المكلا شكل رقم (2).

يقوم الأمر Fill بملء الانخفاضات غير المتوقعة (sinks) في بيانات ملف الارتفاعات الرقمية، وهي الخلايا التي تحتوي على قيمة ارتفاع منخفضة بصورة كبيرة عن قيم ارتفاعات الخلايا المجاورة لها. وغالبًا فإن هذه المنخفضات المفاجئة ناتجة من عيوب في نموذج الارتفاعات الرقمية، ومن ثم يجب إزالتها وإنشاء ملف DEM جديد خالٍ من المنخفضات.



شكل رقم (2) نموذج الارتفاعات الرقمية بعد تصحيحه ومن تحته صورة فضائية من شركة إيزري

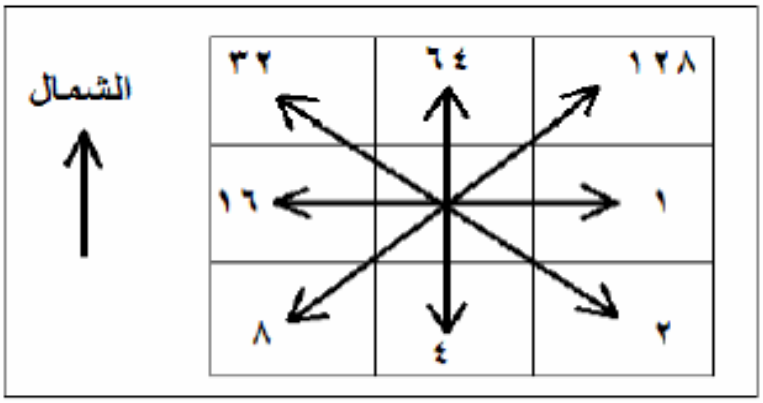
من الشكل أعلاه يتبين بصورة واضحة أن معظم أحياء مدينة المكلا تقع على ارتفاعات منخفضة نسبيًا حيث يتراوح الارتفاع بين 5م-24م للمناطق القريبة نسبيًا من البحر وفي ظل الزحف العمراني على المدينة فقد

استحدثت أحياء جديدة فوق مناطق مرتفعة قد تصل إلى 50 م فوق مستوى سطح البحر. كما يتضح من نموذج الارتفاعات الرقمية أن أعلى قمم المدينة يتراوح ارتفاعها بين 300 – 400م فوق مستوى سطح البحر مثل حارة المكلا على يسار الخريطة.

2- إنتاج خريطة اتجاه الجريان Flow Direction

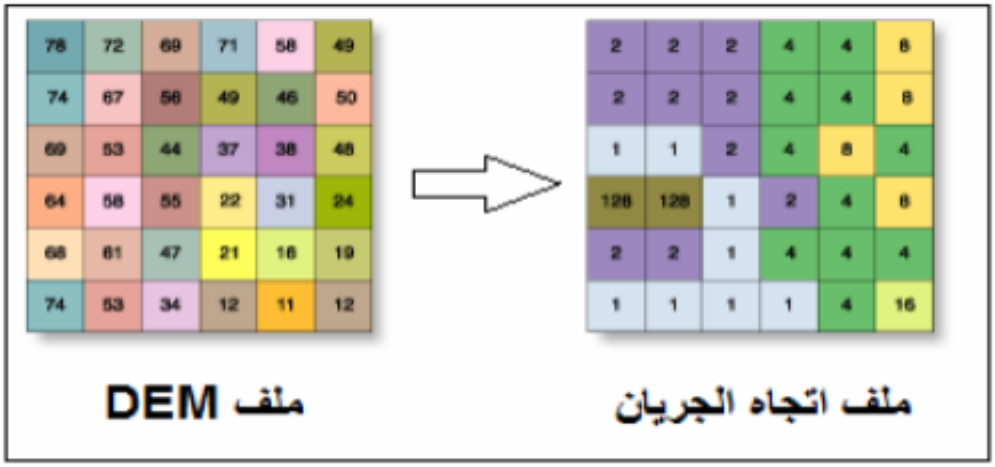
ثم تأتي الخطوة الآتية باستخدام أمر اتجاه الجريان Flow Direction لتحديد الاتجاه الذي يتوجب على المياه أن تسلكه عبر تضاريس الخلايا وهذه الخطوة مهمة جدًا لمعرفة ما يحصل على الأرض فعليًا حيث سيتحدد أشد انحدار لكل خلية مقارنة بثماني خلايا محيطة بها من مجاوراتها فيقوم المعالج الرقمي بتحديد أكثر الخلايا انخفاضًا بالنسبة للخلية المركزية، بعدها سيقرر اتجاه الجريان منها إلى إحدى الخلايا المحيطة بها، وهكذا تستمر السلسلة المتتالية لتنتج في النهاية طبقة تحوي قيمًا معينة لكل خلية ومعروفة الإحداثيات، وينتج عن هذه الطبقة بعد تكاملها اتجاه الجريان لعموم شبكة التصريف السطحية لمنطقة الدراسة.

وتعتمد أداة Flow Direction على إعطاء قيمة لكل اتجاه ستجري به المياه، فعلى سبيل المثال أن كانت المياه ستجري في اتجاه الشرق فستأخذ الاتجاه 1، بينما اتجاه الجنوب الشرقي سيأخذ الاتجاه 2..... وهكذا شكل رقم (3).



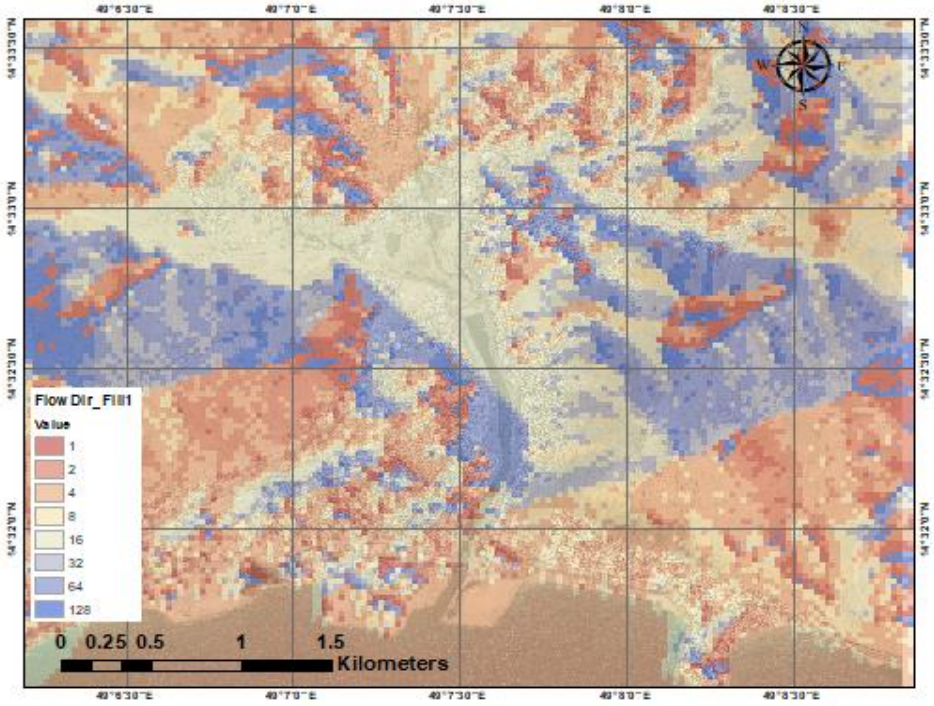
شكل رقم (3) يوضح اتجاه سريان المياه من خلية إلى أخرى

وبذلك سيتم تحويل ملف الارتفاعات الرقمية الخالي من المنخفضات إلى ملف شبكي raster تحتوي كل خلية على قيمة اتجاه الجريان شكل رقم (4).



شكل رقم (4) يبين كيفية حساب جريان المياه باستخدام DEM

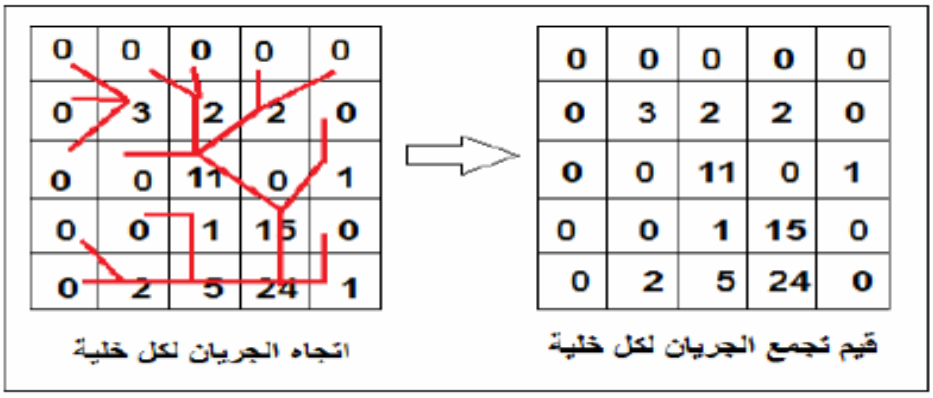
شكل رقم (5) يوضح جريان المياه من مختلف أجزاء مدينة المكلا، ونتيجة لتنوع التضاريس لمنطقة الدراسة فإن اتجاه الجريان يتخذ اتجاهات مختلفة كما هو موضح في الشكل، إضافة إلى أن التوسع العمراني في المدينة والبناء العشوائي في مجاري ومصبات المياه كان له الدور الأساسي في تغيير كثير من المجاري الطبيعية للمياه أثناء هطول الأمطار الغزيرة. وفي الغالب فإن اتجاه جريان المياه في منطقة الدراسة يتخذ اتجاهات عدة منها الاتجاه من المرتفعات الشمالية ومرتفعات شرق وغرب المدينة لتصب معظمها في مناطق التجمع خاصة في أحياء الديس ومنه إلى خور المكلا ومنه إلى البحر.



شكل رقم (5) تبين اتجاه جريان المياه

3- تجميع الجريان:

تقوم أداة تجميع الجريان Flow accumulation عند كل خلية بحساب عدد الخلايا التي ستصب المياه فيها. أي أن كل خلية في الملف الشبكي الجديد ستحتوي عدد الخلايا التي ستتدفق منها المياه إلى هذه الخلية. وبالتالي يمكن تحديد شكل المجاري الرئيسية لمنطقة الدراسة (شكل رقم (6)).



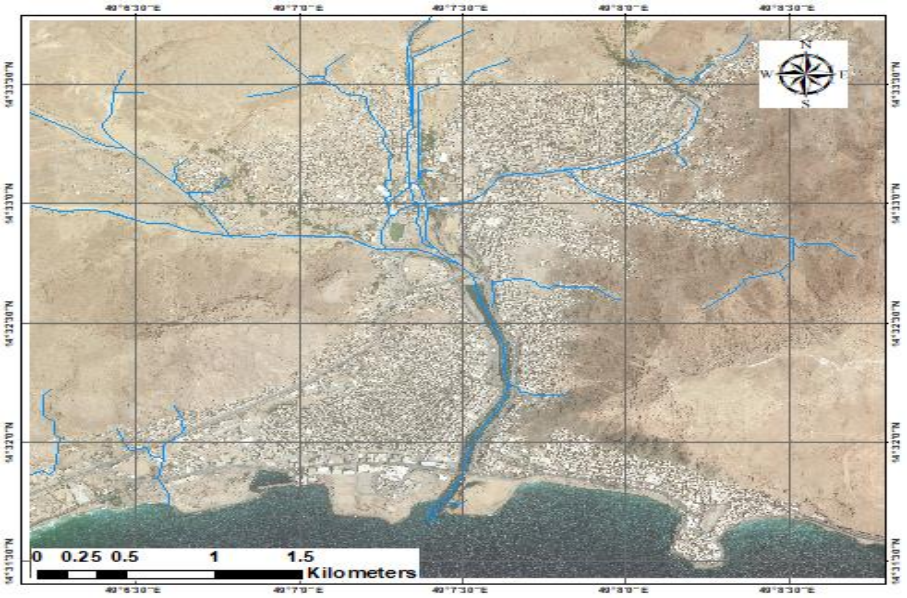
شكل رقم (6) يبين كيفية حساب تجمع الجريان باستخدام طبقة اتجاه الجريان

نتيجة هذه العملية ستمكننا من تحديد الأماكن المعرضة أكثر من غيرها لأخطار السيول عند حصول أمطار وسواقط غزيرة لكونها ستحدد الخلايا التي تتجمع فيها أكبر كمية من الجريان المائي المتجمع فيها وينتج عن هذه

الخطوة طبقة ستمثل كمية المياه الواصلة إلى كل أجزاء الحوض لذلك ستتركز الخلايا ذات الجريان الأعظم في أسفل المجاري المائية وسيسهل تحديد أكثر أماكن الحوض تعرضًا للفيضان.

في الخريطة أدناه تم دمج طبقة تجمع الجريان مع صورة فضائية لمنطقة الدراسة لبيان أكثر المناطق التي تتجمع فيها مياه الأمطار الغزيرة شكل رقم (7).

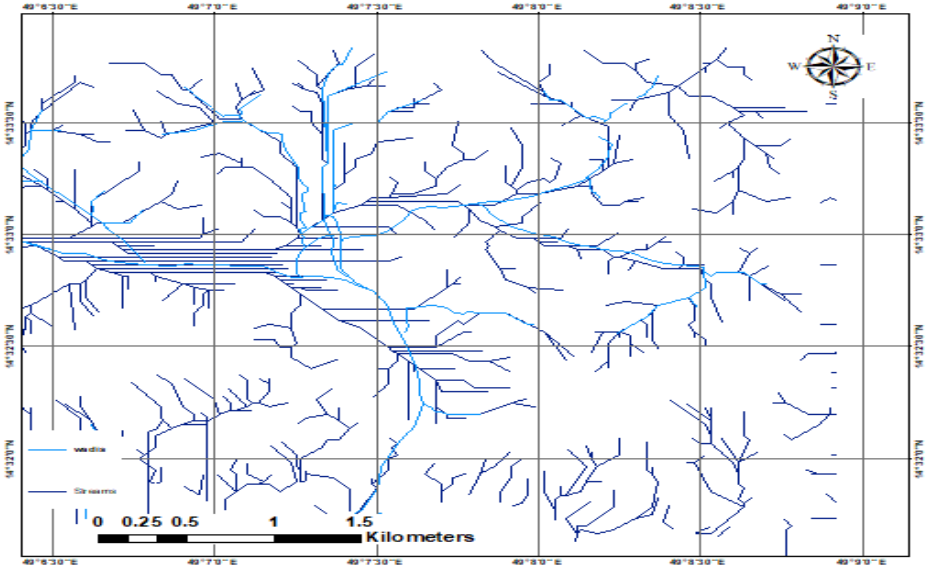
من هذه الطبقة سنتمكن من اشتقاق طبقة خطية Vector Layer تمثل شبكة مجاري التصريف السطحية Drainage Layer للأودية والمسيلات المائية الواقعة ضمن منطقة الدراسة، وحينما نقارن هذه الطبقة الناتجة مع ما يتوفر لدينا من خرائط طبوغرافية وبيانات النزولات الميدانية سنجد تقاربًا كبيرًا في النتائج.



شكل رقم (7) تبين أماكن انسياب المياه وتجميعها بعد معالجتها وتراكبها مع مرئية فضائية

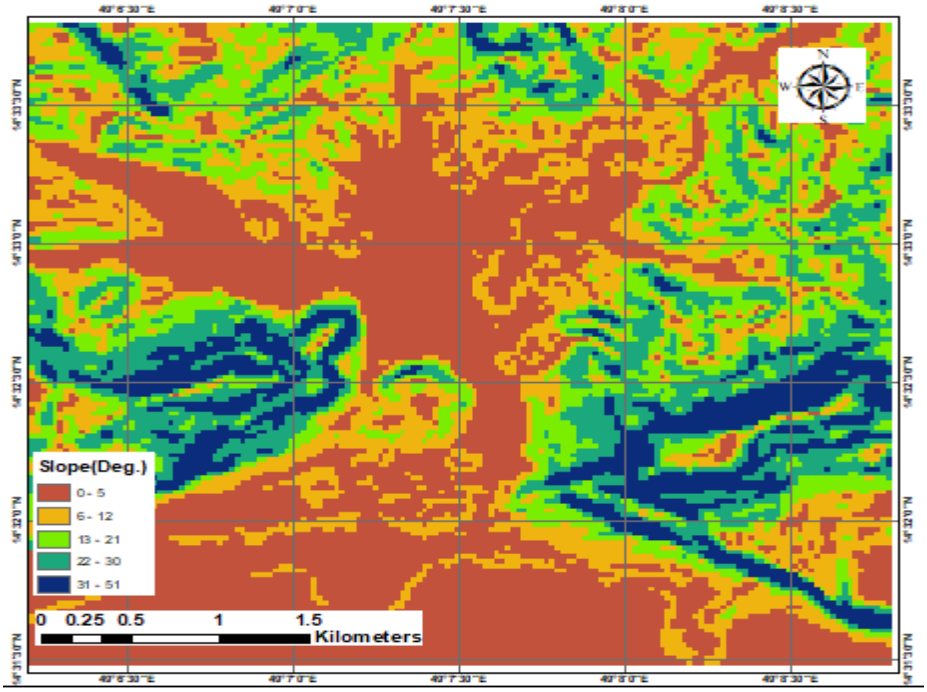
4- **تحديد الأودية والمصبات:**

في هذه الخطوة تم تحويل ملف الأودية من الصورة الشبكية raster إلى الصورة الخطية vector لتصبح طبقة خطوط، وسنستخدم الأداة stream to feature من أدوات التحليل الهيدرولوجي لإنجاز هذه العملية.



شكل رقم (8) تبين الأودية والمسيلات المائية التي تتخذ النمط الشعري التي تغذي الأودية الرئيسية في مدينة المكلا

من الشكل رقم (8) يتضح جليًا أهم الأودية والمصبات التي تتدفق مياهها إلى مدينة المكلا، تبدأ من أحياء ديس المكلا، وهي أودية معروفة محليًا، من أهمها وادي الغليلة غرب مدينة المكلا، وادي سقم في اتجاه شمال المكلا، ووادي السدد الذي يجري باتجاه مدينة المكلا من جهة الشمال الشرقي، كما تمتاز بأنها أودية جافة على مدار السنة وفي فترة الأمطار الغزيرة تتجمع فيها المياه بكميات كبيرة من اتجاهات مختلفة ومن مسيلات متعددة كما في الخريطة رقم (8) نتيجة للانحدار النسبي العالي في هذه المناطق التي قد تصل إلى 30 درجة شكل رقم (9)، هذه المياه الجارفة تتدفق من هذه الأودية لتتجمع في أمكان معينة تتسبب في كوارث لا تحمد عقباها. وتوفر خصائص الانحدار أهمية بارزة في الجريان السطحي للمياه، وتحدد درجة الانحدار سرعة المياه ودرجة تدفقها أو مدى تأثيرها على الاستخدامات الأخرى للأراضي في المنطقة قيد الدراسة (الحلبي، 2018م).



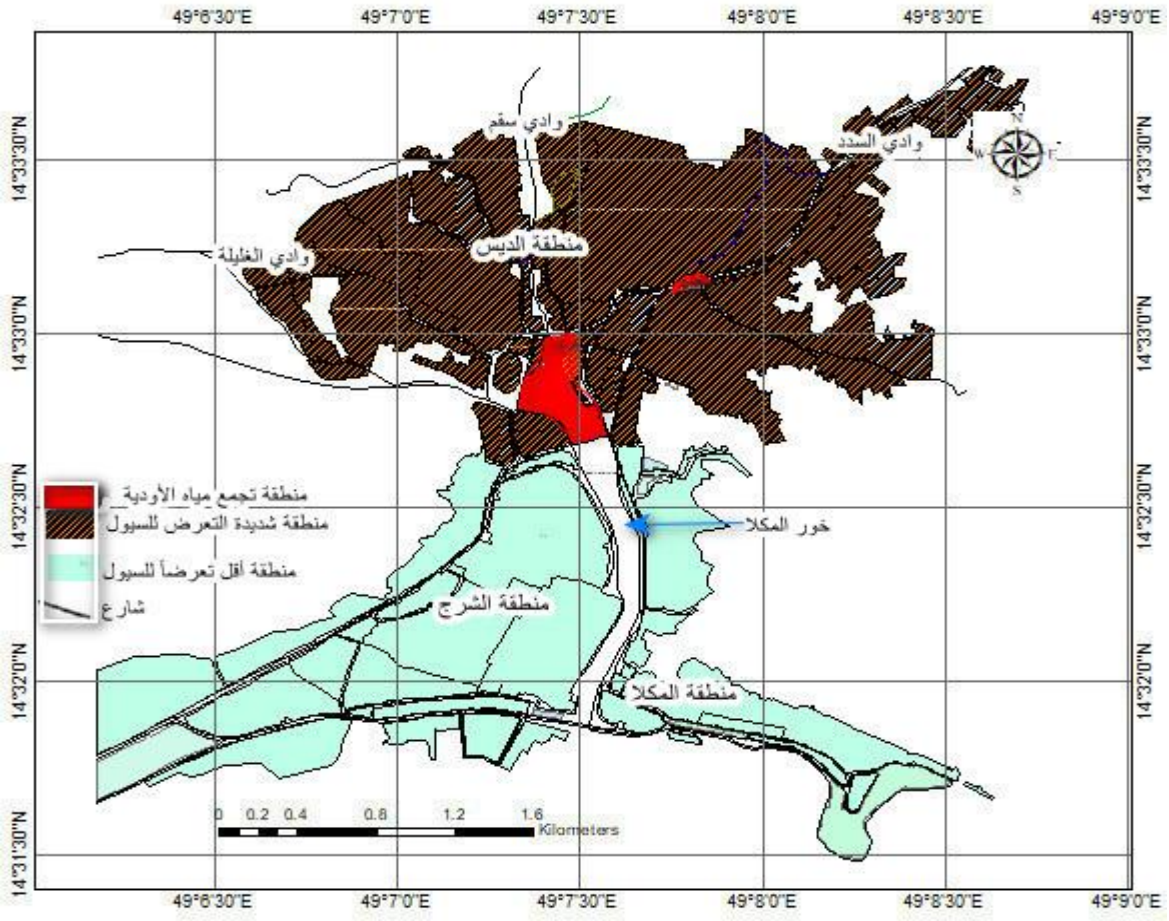
شكل رقم (9) تبين الانحدارات لمنطقة الدراسة (بالدرجات)

ثانيًا: إنتاج خريطة الأحياء السكنية لمنطقة الدراسة، وخريطة الشوارع العامة شكل رقم (10). عن طريق الترقيم (digitizing) باستخدام مرئية القمر الصناعي الأوروبي sentinel-2 كخريطة أساس، وخريطة تم تنزيلها بواسطة برنامج Qgis من خدمات شركة إيزري.

هذه الطبقات تعد مهمة جدًا لمعرفة الأحياء السكنية المعرضة لخطر السيول وتحديد الأماكن الأكثر عرضة لهذه السيول لإيجاد حلول مناسبة لها. النزول الميداني لمنطقة الدراسة بمعية أحد أفراد مكتب إدارة الزراعة والري بالمحافظة من ذوي الخبرة في مجال السيول كان له دور كبير في تحديد أهم المسيلات المائية ومقارنتها وتفرعات الأودية وأماكن تجمع المياه أثناء مواسم الأمطار الشديدة والعواصف التي تجتاح البلاد من حين لآخر، كما تم استخدام جهاز تحديد المواقع العالمي من نوع Garmin-GPS 72H لتحديد أهم النقاط التي لم نستطع تفسيرها في صور الأقمار الصناعية المستخدمة، وكان لها تأثير كبير في حدوث الكوارث مثل قنوات عبور المياه الطبيعية التي تعرضت لتغيير معالمها والبناء عليها، واستخدامها لأغراض أخرى.

مدينة المكلا تقسم عادة الى ثلاث مناطق رئيسية (شكل رقم (10)) هي الديس، المكلا والشرج. في منطقة الديس تصب ثلاثة أودية رئيسية عند هطول الأمطار الغزيرة على المدينة هي: وادي السدد من الجهة الشمالية الشرقية، وادي سقم من الجهة الشمالية ووادي الغليلة من الجهة الغربية. تتجمع مياه هذه الأودية في المنطقة

الحمراء (شكل رقم 10و 11) ومنها الى خور المكلا وتصب في البحر غالبا ما تحمل معها هذه المياه المتدفقة ما يقابلها من أشجار وسيارات مما يزيد وغيرها، لذلك فمنطقة الديس تعتبر منطقة شديدة التعرض لمخاطر السيول بينما تبقى منطقة المكلا والشرج الأقل تأثيرا.



شكل رقم (10) تبين مناطق مدينة المكلا وشوارعها

4- التوصيات والمقترحات.

استناداً إلى نتائج الدراسة يوصي الباحثان ويقترحان الآتي:

1- الاستفادة من نظم المعلومات الجغرافية GIS في دراسات السيول والفيضانات لما تقدمه من إمكانات ستسهم في التنبؤ المبكر لمخاطرها، وتدعم التخطيط السليم والمساعدة للوصول إلى أفضل القرارات للتخفيف من الأضرار البشرية والمادية.

2- استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية GIS في جمع البيانات المختلفة وإدارتها للحصول على خرائط للمخاطر الطبيعية وأماكن حدوثها.

3- تحسين مصادر البيانات واستخداماتها التطبيقية الحديثة المتمثلة في المرئيات الفضائية ونماذج الارتفاعات الرقمية DEM ذات الدقة التميزية العالية لزيادة دقة النتائج المستخلصة في عمليات التحليل ضمن نظم المعلومات الجغرافية.

4- إجراء دراسات تطبيقية مماثلة لبقية المناطق والأحواض المائية، ودراسة الشبكات المائية، وبناء قواعد بيانات مورفومترية تساعد على الاستفادة منها في حصاد المياه خصوصًا وأن المنطقة عمومًا تعاني من شحة في مصادر المياه.

5- توفير كوادر متخصصة في استخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية GIS.
6- إنشاء قنوات أو عَبَّارات لتصريف مياه الأمطار والسيول في المناطق المكتظة بالعمران والسكان والمناطق الواقعة تحت المنحدرات وأماكن جريان السيول، وتحذير السكان من أخطار السيول وأماكن الخطر وإرشادهم إلى الأماكن الآمنة للتوسع العمراني والزراعي.
7- الأخذ في الاعتبار كميات السيول ومساراتها عند وضع مشاريع كالطرق مع مراعاة مستوى الطرق حتى لا تشكل حاجزًا للسيول، وتنفيذ حلول لتصريف مياه الأمطار والسيول التي تتجمع فيها.
8- اختيار أماكن آمنة كملجأ للسكان خلال حدوث خطر الفيضانات للتوجه إليها تتبع توجيهات هيئة الدفاع المدني.
9- ضرورة تنظيف بطون الأودية والمجاري الطبيعية من المخلفات وإزالة جميع العوائق أمام مجرى المياه، وتنظيف العَبَّارات وإصلاحها وتوسيعها، إضافةً إلى منع كب النفايات والمخلفات المختلفة في مجاري الأودية.
10- من الضروري وضع خطة للاستعداد المبكر قبل فصل الأمطار بفترة كافية للتخفيف من الأضرار والخسائر الناجمة، وإشراك المجتمع في وضع الخطة حتى تتم الاستفادة من خبراته مع الكوارث.
11- الاستفادة من مياه السيل عن طريق إنشاء مصارف تصل لمناطق شاسعة وذلك لاستخدامها في الشرب أو الزراعة، وبالتالي تخفيف الضغط على مشروع المياه الذي يمد مدينة المكلا بمياه الشرب وتغذية المخزون الجوفي.
12- من الضروري رفع الوعي المجتمعي بأخطار الكوارث عن طريق وسائل الإعلام المختلفة، والتركيز على عدم البناء العشوائي وسط مجاري الأودية أو تغيير مسارات المسيلات المائية.

قائمة المراجع.

- الجهاز المركزي للإحصاء. يناير2021. محافظة حضرموت.
- الحلبي، رائد صالح. (2018). التحليل المكاني للمناطق المهددة بالسيول والفيضان في محافظة أريحا باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS والاستشعار عن بعد. مجلة الاستقلال للأبحاث. العدد ا، يونيو، 2018، المجلد 3، صفحة 127.
- العنزي، قاسم بن فهد. (2005). فعالية إجراءات الدفاع المدني في مواجهة كوارث السيول: دراسة مسحية على مدينة القريات. رسالة ماجستير. جامعة نايف العربية للعلوم الأمنية. الرياض. المملكة العربية السعودية.
- جرارعة، جهاد إحسان. (2016). تحديد المناطق المعرضة للفيضانات في شمالي الضفة الغربية وسبل مواجهتها باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS). رسالة ماجستير. جامعة النجاح الوطنية. نابلس. فلسطين.
- شمشير، فيصل. (2009). دراسة مسببات السيول وحجم أضرارها في محافظة حضرموت. الندوة العلمية التخصصية حول: دراسة وتشخيص كارثة السيول بحضرموت والإسهام في المعالجات والحلول، يناير 2009، سيئون م/حضرموت، اليمن، مركز الإبداع الثقافي للدراسات وخدمات التراث ومنتديات وادي حضرموت.
- مكتب دار حضرموت (2021): دراسة تقييم الأثر البيئي لمشروع فندق 4-نجوم، خلف – مديرية المكلا، مدينة المكلا
- موقع وكالة الفضاء الأوربية ((European Space Agency-ESA. https://www.esa.int، (تاريخ الدخول 2021/1/7)
- شركة ايزري https://www.esri.com (تاريخ الدخول 2021/1/7)