

CIVIL ENGINEERING

The Use of GIS and Multi-Criteria Fuzzy Logic to Assess and Identify Flood-Prone Areas in the Greater Ghat Region

Hamed Algassie¹, Masoud Fakroun^{2,*}, Manssour Bin Miskeen¹, Ibrahim Gargar³

¹ Libyan Audit Bureau, Wadi Alshatti, Libya.

² Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Waddi Alshatti University, Brack, Libya.

³ Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Sebha University, Libya.

ARTICLE HISTORY

Received 17 July 2023
Revised 28 August 2023
Accepted 23 September 2023
Online 26 September 2023

KEYWORDS

Fuzzy logic;
Fuzzy overlay;
Geographic information system
(GIS);
Multi-criteria analysis.

ABSTRACT

This study presents an approach to integrate GIS with a multi-criteria fuzzy logic model to identify potential flood risk areas in Ghat region, Libya. The study included six criteria, namely, runoff number (CN) curve number, slope (S) Slope, elevations (E) elevation, Drainage density (Dd) and TWI Topographic Wetness Index, and Topographic Position Index (TPI) to prepare the risk index. Using the fuzzy logic analysis tools in ArcGIS, Fuzzy Function Membership functions are mapped to related raster values in criteria map layers between 0 and 1 and the Fuzzy overlay tools are used to integrate the multi-criteria ambiguous membership outcome maps into the flood risk map. Then, defuzzification was carried out by reclassification using a Natural Separation Classifier (Jenks) and transformed into a conventional final fitting map to identify the flood-prone areas of Ghat. In addition, historical flood inundation data obtained from the SENTINEL-2 satellite platform was used to validate the methodology. The analysis found that 40% of floods are associated with areas of high to very high flood risk. Residential land is more prone to flooding than other types of land use. The results showed that the GIS-based multi-criteria analysis framework can be effectively applied for flood risk analysis to support decision-making in disaster management.

استخدام نظم المعلومات الجغرافية والمنطق الضبابي متعدد المعايير لتقييم وتحديد المناطق المعرضة للفيضان في منطقة غات الكبرى

حامد القاسي¹، مسعود علي فكرون^{2,*}، منصور بن مسكين²، إبراهيم غرغار³

الكلمات المفتاحية

المنطق الضبابي
الترابك الضبابي
نظم المعلومات الجغرافية (GIS)
التحليل متعدد المعايير

المخلص

تقدم هذه الدراسة نهجاً لدمج نظم المعلومات الجغرافية مع نموذج المنطق الضبابي متعدد المعايير لتحديد مناطق خطر الفيضانات المحتملة في منطقة (غات - ليبيا). تضمنت الدراسة ستة معايير وهي رقم منحنى الجريان السطحي (CN) Curve Number، الانحدار أو الميول (S) Slope، الإرتفاعات أو المناسيب (E) Elevation، كثافة التصريف (Dd) Drainage Density، مؤشر الرطوبة الطبوغرافية (TPI) Topographic Wetness Index ومؤشر الموضع الطبوغرافي (TPI) Topographic Position Index لإعداد مؤشر الخطر باستخدام أدوات التحليل المنطقي الضبابي في برنامج ArcGIS، تم تعيين دوال العضوية الغامضة Fuzzy Function Membership لقيم البيانات النقطية ذات الصلة في طبقات خرائط المعايير بين 0 و 1 وتم استخدام أدوات التراكب الضبابي Fuzzy overlay لدمج خرائط نتائج العضوية الغامضة المتعددة المعايير في خريطة مخاطر الفيضان. بعد ذلك، تم إجراء عملية إزالة التغميض Defuzzification من خلال إعادة التصنيف باستخدام مصنف الفواصل الطبيعية (Jenks) وتحويلها إلى خريطة ملانمة نهائية تقليدية لتحديد المناطق المعرضة للفيضان في منطقة غات. بالإضافة إلى ذلك تم استخدام بيانات غمر الفيضانات التاريخية التي تم الحصول عليها من منصة أقمار 2-SENTINEL للتحقق من صحة المنهجية وجد التحليل أن 40٪ من الفيضانات مرتبطة بمناطق عالية إلى عالية جداً لخطر الفيضانات الأراضي السكنية أكثر عرضة للفيضانات من أنواع الأراضي الأخرى. وأظهرت النتائج أن إطار التحليل متعدد المعايير القائم على نظم المعلومات الجغرافية يمكن تطبيقه بشكل فعال لتحليل مخاطر الفيضانات لدعم اتخاذ القرار في إدارة الكوارث.

التخفيف/الوقاية والاستعداد، وتتألف المرحلة الثانية من الإغاثة في حالات الكوارث وإعادة التأهيل والتعمير، تُعرف هذه الخطوات الخمس بدورة إدارة الكوارث [1]. أحد الجوانب المهمة للتخطيط لأجل التخفيف من الكوارث هو رسم خرائط مخاطر الكوارث الطبيعية المتكررة في مدينة غات هي فيضانات السيول المفاجئة، لذلك تحتاج مدينة غات إلى معلومات مكانية من خلال

المقدمة

تصف منظمة الأمم المتحدة للإغاثة في حالات الكوارث والتي تُعرف الآن باسم مكتب الأمم المتحدة لتنسيق الشؤون الإنسانية، إدارة الكوارث بأنها تتكون من خمس خطوات يتم تجميعها في مرحلتين. تحدث المرحلة الأولى قبل وقوع الحدث الكارثي وتحدث المرحلة الثانية بعد الحدث. تتألف المرحلة الأولى من

يتم وصف امتداد أو توسع المنطق الثنائي الكلاسيكي بالمنطق الضبابي ويتميز باحتمالية تحديد مجموعات بدون حدود واضحة أو عضوية جزئية partial membership لعناصر تنتمي إلى مجموعة معينة [10]. تُعرّف المجموعة الغامضة بأنها فئة من الكائنات ذات الأعضاء التي لديهم درجات عضوية تتراوح بين 0 و 1 بينما تحتوي المجموعة الكلاسيكية على عناصر يجب أن تكون درجة العضوية فيها إما 0 أو 1 دالة العضوية membership function هي المفهوم الأساسي لنظرية المجموعة الغامضة ويتم تمثيلها عددياً على أنها الدرجة التي ينتمي إليها عنصر معين إلى المجموعة. تصف نظرية المجموعة الضبابية إطاراً لحل عدم اليقين المتعلق بالغموض وعدم الدقة ونقص المعلومات. هناك ثلاث طرق لتعريف العضوية الغامضة أو الضبابية تتضمن نموذج الأهمية اللغوية أو اللفظية semantic import ، ونموذج علاقة التشابه similarity relation ، والتحليل التجريبي experimental analysis يستخدم نموذج الأهمية اللغوية شكلاً من أشكال المعرفة المتخصصة لتعيين عضوية متعلقة بقياس الخاصية بينما يقوم نموذج علاقة التشابه بتشغيل عمليات البحث عن البيانات للعضوية الغامضة بناءً على خوارزميات التعرف على الأنماط. بالإضافة إلى ذلك يمكن استخدام التجارب التي تشمل البشر لتحديد وظائف العضوية بشكل تجريبي [12].

استناداً إلى مراجعة العديد من الدراسات القائمة على نظم المعلومات الجغرافية التي تستخدم مفهوم المنطق الضبابي ووظيفة العضوية في الدراسات السابقة التي تتضمن اختيار الموقع ورسم خرائط مخاطر الفيضانات و السيول. بناءً على ذلك، لم يتم إجراء أي بحث يطبق تقنيات تقييم مكانية متعددة المعايير في مجال اختيار المناطق المعرضة للفيضان وتحليل الملائمة لمنطقة غات بليبيا. تم ذكر العديد من مزايا تطبيق المنطق الضبابي على الطرق التقليدية كما هو مطبق على مشاكل صنع القرار المكاني ونمذجة مخاطر الفيضانات من قبل بعض الباحثين. صنف سونميزو وبيزيمانا [13] جميع المواقع الموجودة في المناطق ذات الارتفاع المنخفض والمسافة القريبة من النهر على أنها مخاطر عالية لفيضان المنطقة من خلال دوال العضوية الضبابية، والنتائج أكثر توافقاً مع خرائط الفيضانات الحقيقية مقارنة بالحالة التي تم فيها استخدام تحليل التراكب مع المنطق الكلاسيكي Boolean classic logic بالمقارنة مع المنطق الكلاسيكي [14] يسمح المنطق الضبابي باستخدام القيم دون تحديد حدود صارمة بين الفئات. يساعد المنطق الضبابي أيضاً في حل السيناريوهات في بيئة غير كاملة أو غير دقيقة أو غير موثوقة تماماً، لأن المنطق الضبابي يتعامل مع عدم اليقين والتقريب في الغالب بدلاً من الدقة. كما أن الكوارث الطبيعية مصحوبة بالغموض بدرجة كبيرة و مع التغيرات المناخية، يتزايد عدم دقة سبب حدوث كارثة طبيعية معينة [13] لتقدير مخاطر الفيضان، تم استخدام تخصيص الأوزان weight allocation من قبل الخبراء والطرق الإحصائية وطرق التضبيب العصبي neuro-fuzzy في الغالب من قبل باحثين مختلفين، السبب الرئيسي وراء ذلك هو أن أحكام الخبراء تعتبر طريقة تقليدية والطريقة الإحصائية شائعة بين غيرها والمنطق الضبابي هو توفير للوقت وتقنيات متقدمة بدقة أكبر [15].

مشكلة الدراسة

في الثالث من يونيو 2019 أثرت الفيضانات المدمرة التي اجتاحت غات في جنوب غرب ليبيا على حوالي 20 ألف شخص وتركتهم في حاجة ماسة إلى

القيام بعدة عمليات رسم لخرائط المخاطر وذلك لدعم تخطيط التخفيف من الكوارث. تعتبر وظائف تراكب الطبقات overlay techniques في أنظمة المعلومات الجغرافية GIS من المهام الأساسية التي تقوم بها هذه الأنظمة، وغالباً ما يتم دمج مجموعة من البيانات المختلفة المخزنة في طبقات لتوليد طبقات جديدة تحتوي على معلومات مفيدة لصانعي القرار. إن الاستخدام المشترك لتقنيات تحليل القرار متعدد المعايير Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) وأنظمة المعلومات الجغرافية Geographic Information Systems (GIS)، التي يشار إليها باسم GIS-MCDA كان أمراً ملحاً إلى تعزيز قدرات نظم المعلومات الجغرافية لاتخاذ القرار والتخطيط. تدمج GIS-MCDA البيانات الجغرافية (خرائط الإدخال input maps) وتفضيلات و آراء الخبراء أو صانعي القرار (DMs) experts or Decision-Makers لتتم معالجتها في خريطة القرار (المخرجات output) [2]. خلال العقدين الماضيين تضمنت العديد من طرق التقييم متعددة المعايير المطبقة مع نظم المعلومات الجغرافية تطبيقات إدارة مخاطر الفيضانات والسيول [3,4]، على سبيل المثال طريقة الدمج الخطي الموزون (WLC) Weighted Linear Combination أو الترجيح البسيط الإضافي (SAW) simple additive weighting [5]. برمجة الحلول الوسطية المكانية (SCP) Spatial Compromise Programming [6]، الإقصاء والاختيار للتعبير عن الواقعية (ELECTRE) Elimination et Choice Translating (AHP) Analytic Hierarchy Reality [7]، عملية التحليل التسلسلي الهرمي (TOPSIS) Process [8]. وتقنية ترتيب أفضلية التشابه إلى الحل المثالي (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) [9]. في مثل هذه الأساليب شارك DMs أو الخبراء بشكل مباشر أو غير مباشر في تعيين أوزان المعايير للبيانات الوصفية لكل طبقة خريطة لغرض التجميع aggregation باستخدام تقنيات التراكب overlay techniques لتحديد خريطة المخاطر أو طبقة الخريطة المركبة (الإخراج). ومع ذلك توجد بعض القيود في تقييم نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير لإجراءات صنع القرار مثل عدم الدقة inaccuracy وعدم الوضوح imprecision والغموض ambiguity في بيانات الإدخال (القيم الوصفية وتفضيلات الخبراء) التي يمكن حلها باستخدام تقنيات الذكاء الصناعي (AI) artificial intelligence، على وجه الخصوص المنطق الضبابي Fuzzy Logic [10]. تم انتقاد إجراءات تحليل ملائمة استخدام الأراضي التقليدية بسبب الافتراضات الأساسية غير الواقعية بأن بيانات الإدخال واضحة crisp دقيقة (precise) في سيناريوهات العالم الحقيقي المعقدة لتحليل ملائمة استخدام الأراضي واتخاذ القرار، من الصعب تحديد المعلومات الرياضية الدقيقة المطلوبة من التقنيات التقليدية القائمة على الجبر المنطقي Boolean algebra على سبيل المثال في العديد من الحالات تفتقر القيم الوصفية attributes المتعلقة بخرائط ميول سطح الأرض إلى العتبات أو القيود التي تحدد حدوداً مميزة بين المناطق المناسبة وغير المناسبة. عادة ما يكون هناك غموض وعدم دقة وافترض أن أوزان المعيار يتم تقديمها في شكل رقمي (على عكس المتغيرات اللغوية التي تشير إلى أهمية الأوزان) عند تحديد هذه العتبات، لذلك يمكن للمنطق الضبابي fuzzy logic ونظرية المجموعة الغامضة fuzzy set theory معالجة هذه القضايا المرتبطة بالغموض وعدم الدقة وعدم الوضوح لحل مشاكل اتخاذ القرار المتعلقة باستعمال الأراضي [10,11].

جزء من مرتفعات الهوقار التي تغطي معظم جنوب شرق الجزائر. تنحصر المدينة بين جبلين على مفترق واديين و على ارتفاع 700 مترا فوق مستوى سطح البحر بين جبال أكاكوس من الشرق بارتفاع حوالي 1400 متر فوق مستوى سطح البحر، وجبال تاسيلي من الغرب بارتفاع 880 مترا فوق مستوى سطح البحر وعند هطول الأمطار بغزارة تتجمع الأودية الفرعية النازلة من الجبال في الوادي الرئيسي (تنزوت) فيتجه السيل المنحدر من الوادي إلى المدينة مباشرة. في هذه الدراسة، تم تحديد الحوض الرئيسي لمنطقة الدراسة باستخدام أدوات التحليل الهيدرولوجي في برنامج ArcGIS 10.8 وكما موضح في الشكل (1).

منهجية الدراسة

في هذه الدراسة، تم استخدام المنهج الوصفي والتحليلي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS لتحديد المناطق المعرضة لخطر الفيضانات والسيول. يهتم المنهج الوصفي بعرض ومناقشة المحاور العلمية ووصف لموضوع الدراسة وطبيعة منطقة الدراسة وكذلك الدراسات السابقة، يركز المنهج التحليلي التطبيقي على إمكانية تحقيق الهدف التطبيقي للدراسة وهو تحليل مكاني للمعايير التي تدخل في تحديد المناطق المعرضة لخطر الفيضانات والسيول، تم جمع البيانات من مواقع الإنترنت مفتوحة المصدر باستخدام برامج SAGA GIS و ESRI ArcGIS، تمت معالجة هذه البيانات وتحليلها وتحويلها إلى تنسيقات طبقة خريطة المعايير النقطية (Raster Map) بدقة خلية مكانية تبلغ 12.5×12.5 متراً مربعاً، تم إجراء تحليل التراكم الضبابي لتجميع طبقات خريطة المعايير الضبابية في خريطة مخاطر ضبابية، بعد ذلك تم إجراء عملية إزالة التغميض من خلال إعادة التصنيف باستخدام مصنف الفواصل الطبيعية (Jenks) وتحويلها إلى خريطة ملائمة نهائية تقليدية لتحديد المناطق المعرضة للفيضانات في منطقة غات بالإضافة إلى ذلك تم استخدام بيانات غمر الفيضانات التاريخية التي تم الحصول عليها من منصة أقمار SENTINEL-2.

المساعدة الإنسانية، حيث نزح أكثر من 2500 شخص إلى المناطق المجاورة وتم إنقاذ 500 شخص، فيما قتل أربعة أشخاص بينهم ثلاثة أطفال، وألحقت الفيضانات أضراراً بالطرق والمنازل وأثرت بشدة على توفير الخدمات الأساسية بما في ذلك الماء والغذاء والكهرباء والصحة و إنشاء التجمعات السكنية على الأراضي الخطرة المعرضة للفيضانات والسيول وما تسببه من مشاكل في إهمال وتشريد للسكان وخسائر مالية وبشرية بسبب قلة الوعي بأهمية إدارة مخاطر كوارث الفيضانات والسيول في تحديد اتجاهات نمو الأحياء السكنية الحالية والمستقبلية [16].

هدف الدراسة

تحديد نطاق خطر الفيضانات والسيول المحتملة على الأحياء السكنية الواقعة في نطاق ذلك الخطر في منطقة غات، ووضعه أمام الإدارات الحكومية لاتخاذ الإجراءات اللازمة للحد من مخاطرها وتحديد اتجاهات التنمية في ضوء محددات هذه المخاطر.

فرضية الدراسة

إدارة كوارث الفيضانات والسيول وتحديد مناطق خطر السيول يحدد اتجاهات النمو المكاني للأحياء السكنية الحالية والمستقبلية الممكنة لتجنب مناطق الخطر وتقليل تشريد السكان وخاصة ذوي الدخل المحدود وتقليل الخسائر المالية المحتملة.

حدود منطقة الدراسة

تقع مدينة غات (منطقة الدراسة) ضمن منطقة غات الكبرى في الجزء الجنوبي الغربي من ليبيا، حيث يحد منطقة غات من جهة الشمال الشرقي منطقة وادي الشاطئ ومن الشرق منطقة أوباري ومن الجنوب الشرقي منطقة مرزق ومن الغرب والجنوب الغربي الحدود الجزائرية، مدينة غات والقرى المجاورة لها تقع في منطقة منخفضة على مسار وادي تنزفت بين سلسلي جبال أكاكوس في الجانب الشرقي وجبال تاسيليا والأليزي في الجانب الجزائري وهي



الشكل 1: حدود منطقة الدراسة

عالية جداً (الشكل 2)، الانحدار هو أحد تحاليل التضاريس لـ DEM والذي تم إنشاؤه عن طريق حساب القيمة الأعلى لقيم الارتفاع المتغيرة من المسافة بين كل خلية والخلايا الثمانية المجاورة لها في DEM. يمكن اشتقاقه من الـ DEM باستخدام أدوات تحليل الأسطح في برنامج ArcGIS 10.8 كما هو موضح في الشكل (3).

(Dd) Drainage density كثافة التصريف

هي نظام بيئي ضروري للتحكم في مخاطر الفيضانات، لذلك سادت كثافتها الطبيعية فوق معيار التربة وخصائصها الجيوتقنية. تشير كثافة التصريف إلى أنه كلما زادت منطقة الكثافة كلما كانت منطقة مستجمعات المياه catchment area معرضة للتآكل أو الانجراف مما يؤدي إلى الترسيب في الأراضي المنخفضة، تم تطوير خريطة كثافة التصريف عن طريق تراكب overlying خريطة رتب المجارى المائية stream order map على خريطة مستجمعات المياه الرئيسية main watershed map لمعرفة نسبة الطول الإجمالي للتيارات في الحوض الرئيسي إلى المساحة الإجمالية لوادي تزوفت، وقد تم ذلك باستخدام أداة Line Density tool في برنامج ArcGIS 10.8 كما هو موضح في الشكل (3)، تم حساب مؤشر كثافة الصرف لكل خلية من خلال المعادلة رقم (1):

$$D_d = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{D_i}{A} \quad (1)$$

حيث $\sum D_i$ هي مجموع اطوال المجارى المائية بالكيلومتر (km) في داخل كل خلية i و A تعبر عن مساحة الخلية.

مؤشر الرطوبة الطبوغرافية SAGA Wetness Index (TWI_{SAGA})

مؤشر الرطوبة (TWI_{SAGA}) أو مؤشر الرطوبة الطبوغرافية (TWI) المحسن هو خاصية فيزيائية لمناطق غمر الفيضان، مشتق من DEMs ويشير إلى ما إذا كان يمكن للموقع خلق جريان سطحي أم لا، يمكن أيضاً اقتراح مؤشر الرطوبة الطبوغرافية (TWI) في الدراسة الحالية كعامل مسبب للفيضانات المفاجئة، لأنه يعكس تأثير الخصائص الطبوغرافية على حجم وموقع المناطق المشبعة بالمياه الناتجة عن الجريان السطحي. يتم حساب TWI بالمعادلة (2):

$$TWI = \ln\left(\frac{\alpha}{\tan \beta}\right) \quad (2)$$

اختيار المعايير وجمع البيانات ومعالجتها

استناداً إلى مراجعة الدراسات السابقة التي أجراها [17-19] تم تحديد ستة معايير كعوامل مؤثرة لرسم خرائط المناطق المعرضة لخطر الفيضانات والسيول في منطقة غات، كانت هذه المعايير المختارة هي رقم منحنى الجريان السطحي curve number (CN)، والانحدار أو الميول (S) Slope، والارتفاعات أو المناسيب (E) Elevation، وكثافة التصريف Drainage density (Dd)، ومؤشر الرطوبة الطبوغرافية Topographic Wetness Index (TWI)، مؤشر الموضع الطبوغرافي Topographic Position Index (TPI).

رقم منحنى الجريان السطحي curve number (CN)

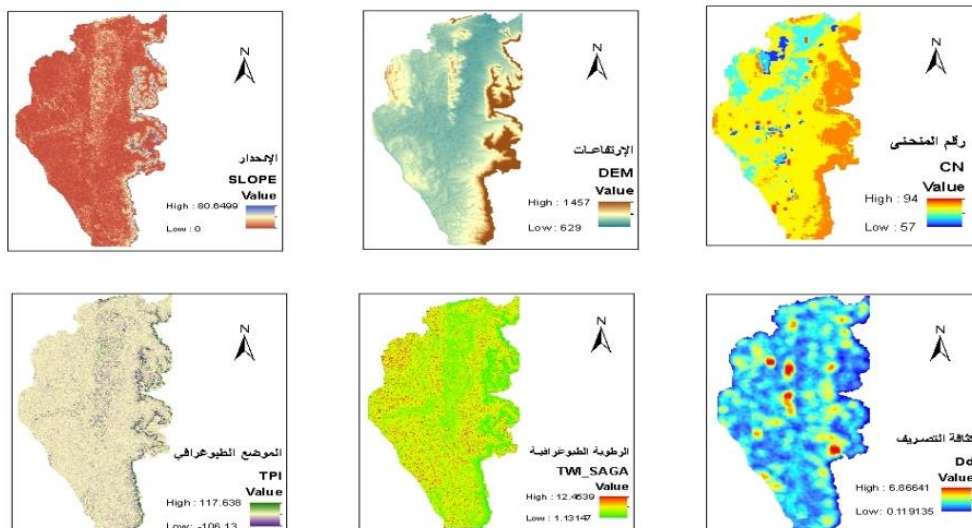
تعبر قيم CN عن هيدرولوجية التربة من حيث قدرتها على امتصاص المياه، وتتراوح قيم CN بين 0 – 100 والقيم المرتفعة تشير إلى عدم نفاذية التربة وهي الأكثر قدرة على توليد الجريان السطحي، والقيم القريبة من الصفر تدل على ارتفاع معدلات نفاذية التربة، مما يؤثر سلباً على كمية الجريان السطحي، أما القيمة المتوسطة بين الحدين المتطرفين فهي 50، وتعبر عن الأسطح متوسطة النفاذية بحيث تكون كميات التسرب مساوية لمعدلات التساقط المطري. في هذه الدراسة، تم استخدام مجموعة بيانات نقطية عالمية لمعامل رقم المنحنى للنموذج والتصميم الهيدرولوجي [20]. كما موضح في الشكل (2).

الارتفاعات أو المناسيب (E) Elevation

نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) Digital Elevation Model هو التمثيل الرقمي لتضاريس سطح الأرض، تم إنشاء DEM لحوض وادي تزوفت من بيانات القمر الصناعي المتقدم لرصد الأرض (ALOS) The Advanced Land Observing Satellite (ALOS) بدقة مكانية 12.5 متراً وهي متاحة مجاناً على موقع خدمات الأقمار الصناعية في ألاسكا الأمريكية The Alaska Satellite Facility [21]، كما هو موضح في الشكل (2).

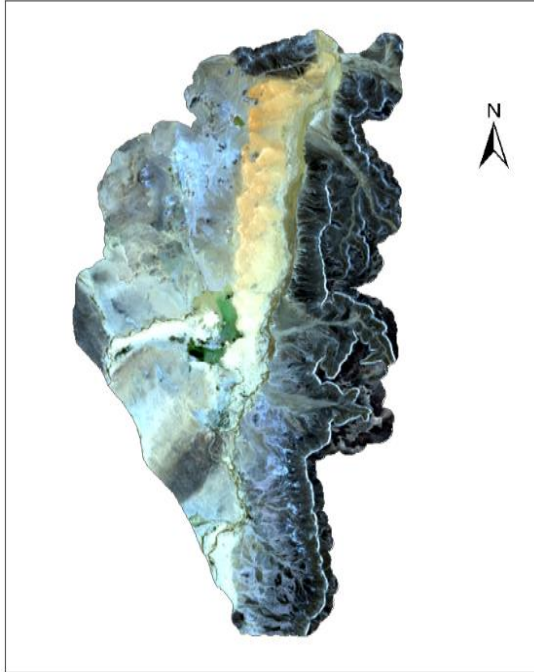
الانحدار أو الميول (S) Slope

يتحكم منحدر السطح في سرعة الجريان السطحي وكذلك تركيز التدفق يساعد الانحدار العالي على تصريف المياه بسرعة. بينما قد يؤدي الانحدار المنخفض إلى ركود المياه والتسبب في حدوث فيضانات نظراً لأن منطقة الدراسة تقع فوق منطقة السهول فإن الانحدار السطحي أقل جداً. لذلك فإن معظم المنطقة لديها منحدر منخفض (>1/5) تم تخصيصه كمعدلات عالية إلى



الشكل 2: المعايير المختارة للتحليل المتعدد المعايير

عند 10 أمتار وستة نطاقات عند 20 متراً وثلاثة نطاقات بدقة 60 متراً، عرض المسار المداري 290 كم [25]. في هذه الدراسة تم تنزيل مرئيات Sentinel-2 من موقع Land Viewer وهو موقع لمراقبة صور الأقمار الصناعية يسمح بالبحث الفوري والمعالجة والحصول على رؤية قيمة من بيانات الأقمار الصناعية لمعالجة مشكلات العمل الحقيقية [26]. تم تحديد المناطق المغمورة من المرئية المركبة بالألوان الطبيعية Natural Colors Composite لفترة ذروة الفيضان في 7 يونيو 2019 كما مبين في الشكل (3).



الشكل 3: يوضح المناطق المتأثرة بالفيضان في 7 يونيو 2019

باستخدام المرئيات المركبة بالألوان الزائفة False Colors Composite Image والطبيعية يمكن تمييز الكتل المائية السطحية عن المظاهر الأرضية، تم استخراج مساحات سطح الماء أو الفيضان باستخدام مؤشر Xu [27] وهو مؤشر اختلاف المياه الطبيعي المعدل (mNDWI) modified Normalised Difference Water Index والذي وجد أنه فعال في تمييز الماء عن جميع الانعكاسات السطحية الأخرى، يتميز هذا المؤشر عن مؤشر اختلاف المياه الطبيعي (NDWI) من Gao [28] بأنه لا يحتوى على رطوبة السطح التي لا يمكن أن تعطي مساحة سطح الماء الصحيحة [29]، تعمل هذه الطريقة بشكل جيد بسبب الامتصاص العالي للغاية للماء في جميع أنحاء منطقة الأشعة تحت الحمراء خاصة بالنسبة للمنطقة المرئية (التي يمثلها الطيف الأخضر)، وجد أن هذا يمنع ظهور جميع الميزات الأخرى مثل الأرض والنباتات ومناطق البناء والأراضي الجرداء باستثناء المياه ويتمثل هذا المؤشر بالمعادلة (6):

$$mNDWI = \frac{Band3(Green) - Band11(SWIR1)}{Band3(Green) + Band11(SWIR1)} \quad (6)$$

حيث SWIR1 تعني طيف موجات الإشعاع القصيرة تحت الحمراء و Green الطيف المرئي الأخضر.

تم حساب مؤشر اختلاف المياه الطبيعي المعدل (mNDWI) لمنطقة الدراسة خلال فترة ذروة الفيضان في 7 يونيو 2019 باستخدام منشئ المؤشرات المخصصة custom index builder في موقع Land Viewer و كما مبين في الشكل (5).

حيث a هي مساحة مستجمعات المياه المحددة (SCA specific catchment area) ويتم تعريفها على أنها مساحة المنحدر الفرعي local upslope التي يتم تصريفها من خلال طول الفترة الكنتورية والذي يساوي عرض خلية الـ DEM في هذه الدراسة، و (β) هو انحدار أو درجة الميل [22]. ومع ذلك في المناطق المسطحة نوعاً ما مثل مجارى الأودية العريضة تؤدي الاختلافات الصغيرة في الارتفاع إلى أنماط تدفق عشوائية مما يحد بوضوح من القدرة التنبؤية لجميع مؤشرات التضاريس الثانوية ذات الصلة.

اقترح [23] حساباً معدلاً لمساحة مستجمعات المياه المحددة للأرض المستوية. تطبق هذه الطريقة نموذج التكرار لتعديل منطقة مستجمعات المياه المحددة (SCAM modified calculation of specific catchment area) لكل خلية شبكية. يتم حساب SCAM بواسطة المعادلتين (3) و (4).

$$SCA_M = SCA_{max} = \left(\frac{1}{15}\right)^{\beta^{exp(15\beta)}} \quad \text{For:} \quad (3)$$

$$SCA < SCA_{max} = \left(\frac{1}{15}\right)^{\beta^{exp(15\beta)}} \quad (3)$$

$$TWI_{SAGA} = \ln\left(\frac{SCA_M}{\tan \beta}\right) \quad (4)$$

حيث TWI_{SAGA} هو مؤشر الرطوبة وتم حسابه باستخدام برنامج نظام التحليلات المؤتمتة لعلوم الأرض (SAGA GIS). تعني القيم الأعلى لرطوبة التربة أن المزيد من المياه يتم تحويلها إلى جريان مباشر، وهو ما يتعلق بحدوث الفيضانات، وبالتالي [23]، يتم تكبير المعيار.

مؤشر الموضع الطبوغرافي (TPI) Topographic Position Index

يقارن مؤشر الموضع الطبوغرافي (TPI) ارتفاع كل خلية في DEM بمتوسط ارتفاع الخلايا المجاورة لتلك الخلية. تمثل قيم TPI الموجبة مواقع أعلى من متوسط المناطق المحيطة بها، كما هو محدد من قبل الخلايا المجاورة (التلال). تمثل قيم TPI السلبية المواقع التي تكون أقل من المناطق المحيطة بها (الوديان). قيم TPI القريبة من الصفر هي إما مساحات مسطحة (حيث يكون المنحدر بالقرب من الصفر) أو مناطق ذات ميل ثابت (حيث يكون ميل النقطة أكبر بكثير من الصفر). عندما يكون TPI سالباً يكون الموضع أكثر عرضة للفيضان وكلما انخفضت القيمة زادت المنطقة المعرضة للخطر [24]. يتم حساب قيمة TPI وفقاً للمعادلة (5).

$$TPI_i = \frac{(h_i - \mu_i)}{\sigma_i} \quad (5)$$

حيث يتم حساب TPI_i للبكسل i من الـ DEM ويشير h_i إلى ارتفاع البكسل i ، μ_i هي متوسط الارتفاع لجميع وحدات البكسل حول البكسل i ضمن نطاق مسافة معين في هذه الدراسة، تم حساب TPI باستخدام برنامج SAGA وكما موضح في الشكل (2).

البيانات التاريخية لأماكن غمر الفيضانات لمنطقة الدراسة

أتاح توفر صور Sentinel-2A / B كل خمسة أيام إمكانية تحديد المناطق المغمورة قبل وبعد الغمر أو الصور المتزامنة، من المهم أيضاً تسليط الضوء على أن هذه الدراسة استفادت من توفر صور ما بعد الفيضان التي تم التقاطها في منطقة غات، للتحقق من صحة منهجية هذه الدراسة يحمل Sentinel-2 أداة بصرية تقوم بأخذ عينات من 13 نطاقاً طيفياً، أربعة نطاقات

الإدخال الصغرى أقرب إلى 1 ، يتم تعريف الدالة بنقطة وسطية يحددها المستخدم (التي يتم تعيين عضوية لها = 0.5) مع معامل انتشار محدد.

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{f_2}\right)^{f_1}} \quad (7)$$

حيث مدخلات المستخدم f_2 هي الانتشار و f_1 هي نقطة المنتصف دالة التكبير Fuzzy Large: يتم تحديد دالة العضوية الضبابية لقيم الإدخال الكبرى أقرب إلى 1 ، يتم تعريف الدالة بنقطة وسطية يحددها المستخدم (التي يتم تعيين عضوية لها = 0.5) مع معامل انتشار محدد.

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{f_2}\right)^{-f_1}} \quad (8)$$

حيث مدخلات المستخدم f_2 هي الانتشار و f_1 هي نقطة المنتصف. دالة توزيع غاوسي Fuzzy Gaussian: تعرف دالة العضوية الضبابية من خلال توزيع غاوسي أو الطبيعي استنادًا إلى نقطة وسط يحددها المستخدم (والتي يتم تعيين عضوية لها = 1) مع انتشار محدد يتناقص إلى الصفر.

$$\mu(x) = e^{-f_1 * (x - f_2)^2} \quad (9)$$

المدخلات في الدالة هي f_1 ، معامل الانتشار ، f_2 ، نقطة الوسط. تؤدي زيادة الانتشار إلى زيادة حدة منحنى العضوية الضبابي.

الدالة التقريبية Fuzzy Near: تحدد دالة عضوية غامضة حول قيمة معينة يتم تحديدها بواسطة نقطة وسط محددة بواسطة المستخدم (والتي يتم تعيين عضوية لها = 1) ، مع انتشار محدد يتناقص إلى الصفر. تشبه الدالة التقريبية الدالة العضوية الضبابية الغاوسية Gaussian فيما عدا أن الدالة التقريبية لها انتشار أضعف.

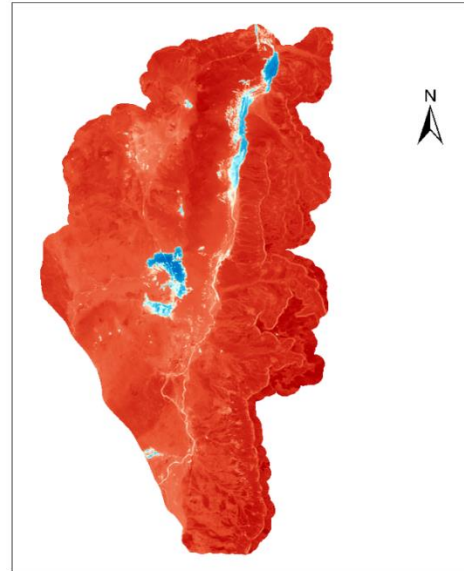
$$\mu(x) = \frac{1}{1 + f_1 * (x - f_2)^2} \quad (10)$$

المدخلات في الدالة هي f_1 وتمثل معامل الانتشار ، f_2 هي نقطة المنتصف. تؤدي زيادة الانتشار إلى أن يصبح منحنى العضوية الضبابي أكثر حدة .

يوضح الجدول (1) دوال العضوية المستخدمة لنمذجة المعايير المختارة لتحديد درجات عضوية مخاطر الفيضان الغامضة في هذه الدراسة.

تم تعيين دالة التكبير Fuzzy Large لمعايير CN و Dd و TWI لإعطاء عضوية ضبابية عالية لقيم الإدخال الكبرى. تم تخصيص قيم (E) الصغيرة (قيم معيار الارتفاعات أو المناسيب) لدالة التصغير Fuzzy Small الضبابية لتعيين عضوية ضبابية عالية لهذه القيم نظراً لأن الانحدار الحاد يساعد على تصريف المياه بسرعة (الزاوية 80.65° في هذه الدراسة) ، بينما قد تؤدي الأراضي المستوية إلى ركود المياه (الزاوية 0.00° في هذه الدراسة) ، والتسبب في حدوث فيضانات، تم استخدام دالة Fuzzy Gaussian لتضبيب هذه القيم مع نقطة وسط قيمتها (الزاوية 15° الإنحدار الأمن) يلها استخدام دالة التصغير Fuzzy Small لتعيين عضوية ضبابية عالية للقيم ذات العضوية الصغيرة . بالمثل تم استخدام الدالة التقريبية Fuzzy Near لتحويل القيم و دالة التصغير Fuzzy Small لتعيين عضوية ضبابية عالية للقيم ذات العضوية الصغيرة لمؤشر الموضوع الطبوغرافي (TPI).

العمليات المنطقية للتركيب الضبابي Fuzzy overlay operators



الشكل 4: مؤشر (mNDWI) لمنطقة الدراسة خلال فترة ذروة الفيضان بتاريخ 7 يونيو 2019

تنفيذ نهج نموذج المنطق الضبابي

تهدف هذه الدراسة إلى تطوير طريقة للتركيب الضبابي بين الطبقات على أساس المنطق الضبابي وإعادة تصنيف الكائنات ضمن مجموعات ضبابية ودراسة إمكانية استخدام مثل هذه الطريقة في دمج البيانات المتعلقة بدراسة مناطق مخاطر الفيضان للمساعدة في اتخاذ القرارات باستخدام أدوات التحليل المنطقي الضبابي في برنامج Arc GIS ، تم تعيين دوال العضوية الغامضة Fuzzy Function Membership لقيم البيانات النقطية ذات الصلة في طبقات خريطة المعايير بين 0 و 1 وتم استخدام أداة التراكب الضبابي Fuzzy overlay لدمج خرائط نتائج العضوية الغامضة المتعددة المعايير في خريطة مخاطر الفيضان. يسمح إجراء التراكب الغامض بتحليل إمكانية حدوث ظاهرة مرتبطة بمجموعات متعددة وعلاقتها البينية في تحليل تراكب متعدد المعايير في أربع خطوات رئيسية، معالجة طبقات خريطة المعايير، تعيين درجة العضوية الغامضة Degree of Membership لكل طبقة خريطة، تجميع طبقات خريطة المعايير الغامضة في خريطة ملائمة غامضة وتقييم النتائج.

دوال العضوية للمنطق الضبابي

تقوم بتحويل البيانات النقطية المدخلة إلى مقياس من 0 إلى 1 ، مما يشير إلى قوة العضوية في مجموعة ، بناءً على خوارزمية ضبابية fuzzification algorithm محددة، تشير القيمة 1 إلى العضوية الكاملة في المجموعة الغامضة مع انخفاض العضوية إلى 0 مما يشير إلى أنها ليست عضوًا في المجموعة الضبابية مقارنة بإجراءات القياس التقليدية، تمت مراجعة مجموعة متنوعة من دوال العضوية الملائمة لاستخدامها مع طريقة نموذج الأهمية اللغوية أو اللفظية (SI) في هذه الدراسة لاشتقاق درجات العضوية الغامضة التي تضمنت دوال التصغير الضبابي، التكبير الضبابي، دالة توزيع غاوسي أو الطبيعي، والدالة التقريبية. تم سرد وصف موجز والصيغ الرياضية لهذه الدوال أدناه [30,12]، تُستعمل دالة العضوية لتحديد كيفية انتماء أي بكسل أو خلية في الصور النقطية إلى المجموعات الغموضيية. دالة التصغير Fuzzy Small: يتم تحديد دالة العضوية الضبابية لقيم

المعايير	دالة العضوية الضبابية	معامل الانتشار f_1	نقطة المنتصف f_2	الحد الأدنى لمؤشر الخطر	القيمة القصوى لمؤشر الخطر
رقم منحني الجريان السطحي (CN)	Large	5	50	57	94
كثافة التصريف (Dd)	Large	5	3.49	0.12	6.87
مؤشر الرطوبة الطبوغرافية (TWI)	Large	5	6.79	1.13	12.45
الارتفاعات أو المناسيب (E)	Small	5	750	1457	629
الانحدار أو الميول (S)	Small	5	0.5	15	(0) أو (80.65)
مؤشر الموضع الطبوغرافي (TPI)	Gaussian	0.1	14	0	(-106) أو (117)
	Small	5	0.5		
	Near	0.1	0		

من المجموعات، يمكن أن تكون القيمة صغيرة جداً، من الصعب ربط ناتج جميع معايير الإدخال بالعلاقة النسبية للقيم، لا يتم استخدام خيار Fuzzy PRODUCT كثيراً، يُنشئ عامل Fuzzy PRODUCT دالة إخراج في موقع معين أقل من أو تساوي أدنى دالة معطاة لجميع طبقات خريطة الإدخال وبالتالي يكون لها تأثير متناقض بسبب مضاعفة قيمة عضوية كل طبقة خريطة تعطي بالمعادلة:

$$\mu_{(product)} = \prod_i^n = 1\mu_{(i)} \quad (13)$$

حيث $\mu_{(i)}$ هي قيمة عضوية طبقة الخريطة i^{th} في موقع محدد و n هي عدد الخرائط ذات الصلة المراد ضربها.

العملية المنطقية الضبابية Fuzzy SUM

لا يعتبر Fuzzy Sum مجموعاً جبرياً ويجب عدم الخلط بينه وبين التراكب الموزون weighted overlay والجمع الموزون weighted sum. يفترض هذان النهجان المتراكبان أنه كلما كانت المدخلات أكثر ملائمة كان ذلك أفضل، لا تعني إضافة جميع قيم العضوية في تحليل Fuzzy Sum بالضرورة أن الموقع أكثر ملائمة، لا يتم استخدام خيار Fuzzy Sum كثيراً، يُعد Fuzzy SUM مكماً للعملية Fuzzy PRODUCT ويمكن وصفه بالمعادلة التالية:

$$\mu_{(sum)} = \prod_i^n = 1(1 - \mu_{(i)}) \quad (14)$$

حيث n هو عدد طبقات الخريطة المراد دمجها وهي قيمة العضوية لطبقة الخريطة i^{th} ، يكون التأثير المشترك لطبقات خريطة الإدخال أكبر (أو يساوي) أكبر قيمة عضوية، وبالتالي فإن هذا المشغل له تأثير متزايد ناتج في موقع محدد.

العملية المنطقية الضبابية Fuzzy GAMMA

عامل التشغيل Fuzzy GAMMA هو ناتج الضرب الجبري من Fuzzy SUM و Fuzzy PRODUCT وكلاهما يرتفع إلى قوة GAMMA وبالتالي يخفف من التأثيرات المتزايدة والمتناقضة على التوالي. يتميز الشكل العام لـ Fuzzy GAMMA بالمعادلة:

$$\mu_{(\gamma)} = \left(\prod_i^n = 1\mu_{(i)}\right)^{1-\gamma} \cdot \left(1 - \prod_i^n = 1(1 - \mu_{(i)})\right)^\gamma \quad (15)$$

حيث γ هو متغير إدخال من قبل المستخدم محدد من النطاق [0, 1]. عندما تكون قيمة جاما المحددة 1 يكون الناتج مكافئاً لـ Fuzzy SUM وإذا كانت قيمة gamma تساوي 0 فإن المجموعة تكون ماثلة لـ Fuzzy PRODUCT، تسمح القيم البينية بتوليفات بين هذين النقيضين وبالتالي إنشاء علاقات بين معايير الإدخال دون إرجاع قيمة دالة عضوية واحدة كما يفعل كل من Fuzzy OR و Fuzzy AND لذلك يمكن تحقيق تحسين لمجموعة من العضويات

في خطوة الإضافة أو دمج الطبقات يستكشف المنطق الضبابي تفاعل احتمالية انتماء الظاهرة إلى مجموعات متعددة، على عكس التراكب الموزون Weighted Overlay والجمع الموزون Weighted Sum والتي تستند إلى فكرة أن العناصر الأكثر ملائمة تعني نتيجة أفضل، بالنسبة للتراكب الضبابي توجد تقنيات محددة لاستقصاء هذه العلاقة النسبية وقياس التفاعل، تمت مراجعة العمليات المنطقية الضبابية التالية لاستخدامها كطريقة مناسبة للتراكب الضبابي لعضوية كل خلية نقطية في طبقات خريطة معايير الإدخال المتعددة لإخراج خريطة المخاطر الغامضة المطلوبة: Fuzzy AND، Fuzzy OR، Fuzzy PRODUCT، Fuzzy SUM، Fuzzy GAMMA [30] تعتمد كل من هذه الأساليب على نظرية المجموعة وهي خاصة بتحليل التراكب الضبابي.

العملية المنطقية الضبابية Fuzzy OR

تعطي هذه العملية القيمة القصوى لقيمة المجموعات التي ينتمي إليها موقع الخلية النقطية، هذا الأسلوب مفيد عندما تريد تحديد أعلى قيم العضوية لأي من معايير الإدخال، على سبيل المثال في نموذج مخاطر الفيضانات قد ترغب في تحديد جميع المواقع التي تحتوي على معيار واحد على الأقل من المعايير الموجودة بالكامل في المجموعة الخطرة بقيمة 1 هو أقصى عامل موصوف بواسطة وظيفة الاتحاد استناداً إلى منطق OR المنطقي والذي يأخذ الحد الأقصى (الأكبر) لقيمة العضوية لموقع معين من طبقة خريطة الإخراج. يتم تحديده بواسطة المعادلة:

$$\mu_{(x)} = \max(\mu_{(a)}, \mu_{(b)}, \mu_{(c)}, \dots) \quad (11)$$

حيث تشير $\mu_{(x)}$ إلى درجة عضوية x في طبقة خريطة محددة و $\mu_{(a)}$ ، $\mu_{(b)}$ ، $\mu_{(c)}$ وما إلى ذلك هي قيم عضوية طبقات الخريطة A ، B ، C في موقع معين

العملية المنطقية الضبابية Fuzzy AND

تعطي هذه العملية الحد الأدنى لقيمة المجموعات التي ينتمي إليها موقع الخلية النقطية. هذه التقنية مفيدة عندما تريد تحديد القاسم المشترك الأقل لعضوية جميع معايير الإدخال. على سبيل المثال، في نموذج مخاطر الفيضان، قد ترغب فقط في تحديد المواقع التي تحتوي على 0.5 على الأقل أو أكثر من احتمال أن تكون خطرة لجميع المعايير. يتم تعريف Fuzzy AND بواسطة دالة التقاطع، والتي تُعطي كقيمة عضوية دنيا (أصغر) لموقع معين من طبقة خريطة الإخراج، معبراً عنها بالمعادلة:

$$\mu_{(x)} = \min(\mu_{(a)}, \mu_{(b)}, \mu_{(c)}, \dots) \quad (12)$$

العملية المنطقية الضبابية Fuzzy PRODUCT

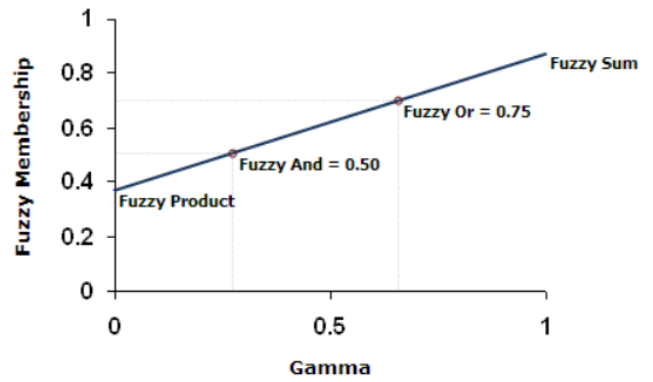
تقوم هذه العملية بضرب كل من قيم الخلايا الغامضة لجميع معايير الإدخال، سيكون ناتج الضرب أقل من أي إدخال وعندما يتم إدخال عضوية في العديد

النتائج والمناقشة

Development of the fuzzy overlay التراكب الضبابي model

تم تنفيذ تحليل التراكب الضبابي fuzzy overlay analysis في برنامج ESRI ArcGIS 10.8 باستخدام أداة العضوية الغامضة fuzzy membership tool لتعيين التصنيفات المناسبة من 0 إلى 1 لمعايير الإدخال لطبقات الخريطة النقطية بناءً على خوارزميات التشويش أو التضبيب المعنية fuzzification algorithms. تم إجراء تجميع طبقات نتيجة العضوية الغامضة المتعددة في خريطة المخاطر الغامضة باستخدام أداة التراكب الضبابي fuzzy overlay tool. يوضح الشكل (6) نموذج المنطق الضبابي الذي تم تنفيذه باستخدام تطبيق ModelBuilder لـ ArcGIS لأتمتة تسلسل أدوات المعالجة الجغرافية workflows وسير العمل geoprocessing tools.

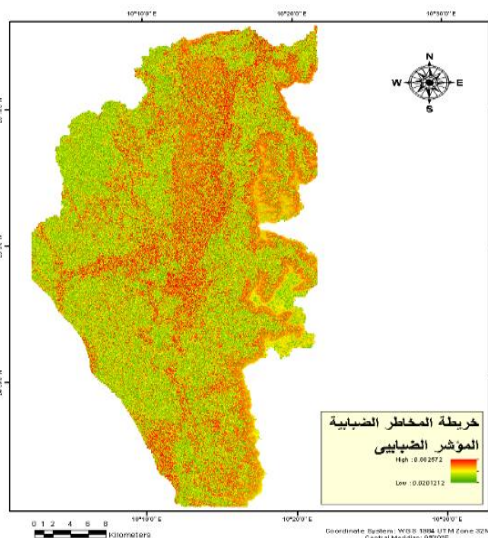
membership combination من خلال الاختيار المناسب لجاما. يحدد الشكل (5) علاقة جاما بالعمليات المنطقية الضبابية الأخرى.



الشكل 5: العلاقة جاما الضبابية بأنواع العلاقات الغامضة الأخرى [30]



الشكل 6: سير عملية المعالجة الجغرافية لنموذج التراكب الضبابي لإنشاء خريطة المخاطر الضبابية



الشكل 7: خريطة مخاطر الفيضان الضبابية

في تحليل التراكب الضبابي كما هو مبين في الشكل (6) تم استخدام عامل التشغيل الغامض AND لدمج معايير slope و TPI و DEM المضببة بينما تم إجراء عامل التشغيل الغامض OR لدمج معايير TWI و Dd و CN المتبقية. تم اختيار المجموعات المناسبة لمشغلي التراكب الضبابي بشكل شخصي بناءً على الاستدلال البصري للمخرجات وكيفية تفاعل الأدلة أو الخلايا النقطية. قدم استخدام هذه العمليات مستوى مرونة أكبر مقارنةً بالمجموع الموزون أو إجراءات التراكب الموزون لأنها سمحت بإدراج حساسية أكبر بناءً على معرفة الخبراء واستدلال البيانات النقطية للنتائج المرجوة للإجراء النهائي، تم استخدام عامل التشغيل "GAMMA" الغامض لتجميع نتائج الخرائط السابقة من كل من مشغلي AND و OR الغامضين بقيمة لجاما تساوي (0.75) لإنشاء خريطة مخاطر ضبابية لمنطقة الدراسة. يوضح الشكل (7) خريطة مخاطر الفيضان الضبابية التي تم إنتاجها في هذه العملية. كما لوحظ من خريطة المخاطر الضبابية فإن القيم الضبابية التي تتراوح من 0

تفسيرها بصرياً من قبل معظم المستخدمين تم استخدام طريقة تصنيف الفواصل الطبيعية (Jenks) لتصنيف الخريطة إلى خمس قيم للفئات تتراوح من 1 إلى 5 مما يشير إلى أقل وأعلى خطر على التوالي كما هو موضح في الشكل (8).

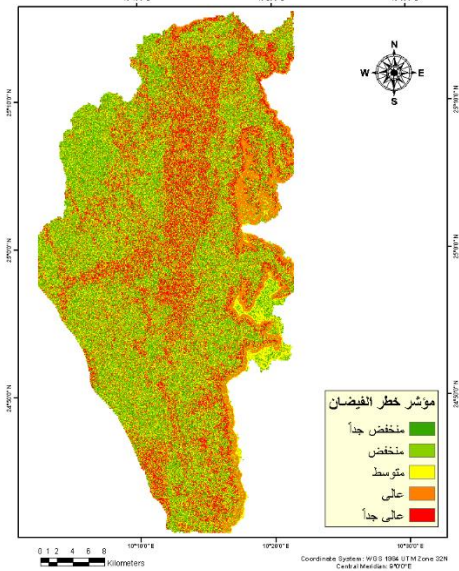
تركزت معظم المناطق ذات المخاطر العالية الموضحة باللون الأصفر والبرتقالي والأحمر حول مراكز الأحياء الأكثر كثافة سكانية في مدينة غات، هذه الأحياء الحضرية تشمل الأنشطة التجارية / الصناعية والسياحية معرضة لخطر الفيضان وتحتاج بشكل عاجل إلى اتخاذ قرارات للحماية الكافية من الفيضان، على وجه الخصوص تقع هذه المناطق التي يحتمل أن تكون عالية الخطورة في المناطق الشمالية والجنوبية من مركز مدينة غات.

التحقق من صحة النموذج الضبابي

تم اشتقاق المناطق المغمورة بالفيضان أو سطح المياه من خريطة مؤشر mNDWI المبينة في الشكل (4) من خلال إعادة تصنيف هذه الصورة باستخدام أداة لوجريتم التصنيف الغير خاضع للإشراف Unsupervised Classification في برنامج ArcMap إلى عشرة تصنيفات كما موضح في الشكل (9 a) من خلال التحليل البصري تبين أن الخلايا التي تحمل القيم 9، 10 تتطابق مع المناطق المغمورة بالفيضان والتي تم استخراجها باستخدام الدالة CON في برنامج ArcMap والحصول على خريطة المناطق المغمورة أو التي تأثرت بالفيضان والتي تقدر مساحتها 45524 كيلومتر مربع وكما موضح في الشكل (9 b).

من أجل التحقق من صحة خريطة مؤشر خطر الفيضان التي تم إنشاؤها لقد تم اقتطاع المساحة التي تأثرت بالفيضانات من هذه الخريطة، تظهر المقارنة أن حوالي 25 و 14% من إجمالي مساحة الفيضان تقع في مناطق شديدة الخطورة ومناطق خطرة، على التوالي في حين أن حوالي 23 و 19% من مساحة الغمر تقع تحت مناطق الخطر المنخفض والمتوسط على التوالي، 16% فقط من المساحة المغمورة تقع في منطقة منخفضة الخطورة وأغلبها تقع في منطقة المياه الضحلة كما موضح بالشكل (10).

إلى 1، تمثل المناطق ذات المخاطر الأدنى والأعلى على التوالي والتي تتزامن أيضاً مع المناطق المقابلة ذات الملائمة الآمنة أو الأقل أماناً من مخاطر الفيضان، أشارت نتيجة الخريطة الضبابية هذه إلى التباين المكاني المتصل لمؤشرات المخاطر للمناطق السكنية بالإضافة إلى ظاهرة مخاطر الأراضي الزراعية و الرعوية قيد التحقيق في هذه الدراسة، اعتبرت منهجية العضوية الغامضة مناسبة لتعريفات الحدود بين فئات المخاطر، و هي نهج أفضل مقارنة بالطرق التقليدية التي تميل إلى فقدان المعلومات وتزيد من احتمالية الأخطاء.



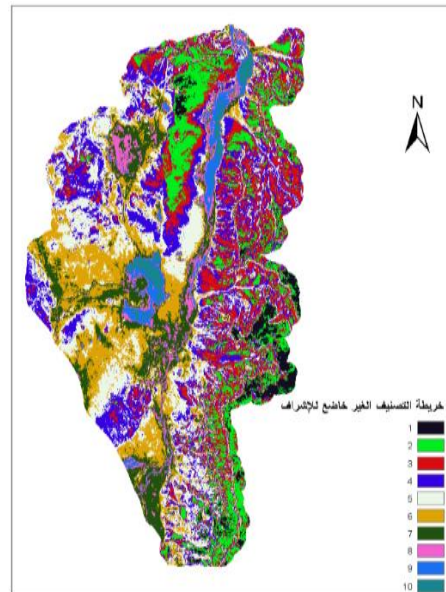
الشكل 8: مناطق خطر الفيضانات المحتملة

خريطة مناطق خطر الفيضانات المحتملة

تم تنفيذ إجراء عملية إزالة التضمين أو التغميض Defuzzification باستخدام أداة إعادة التصنيف reclassify tool ، لتحويل القيم المضببة fuzzy scaled values للخريطة إلى خريطة مخاطر نهائية مع النطاق الجديد المعاد تحجيمه أو تصنيفه من القيم الواضحة crisp values التي يسهل



(b)



(a)

الشكل 9: اشتقاق المناطق المغمورة أو التي تأثرت بالفيضان

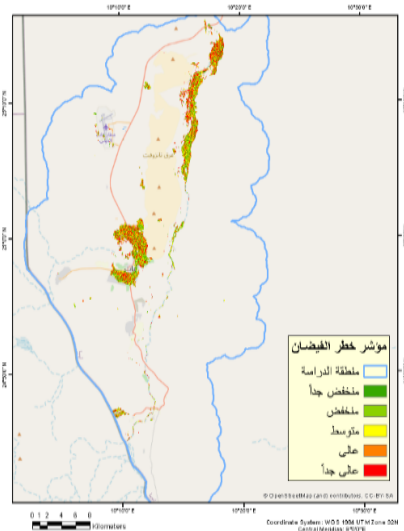
Author Contributions: “Conceptualization and methodology, Fakroun; data collection, Miskeen; results' analysis and discussion, Algassi and Gargar writing—original draft preparation, review and editing, Fakroun, Miskeen and Gargar. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.”

Funding: “This research received no external funding.”

Data Availability Statement: “The data are available at request.”

Acknowledgments: “The authors would like to express their appreciation to all persons and organizations who contributed to the publication of this research paper. We would also like to thank our colleagues at Waddi Alshatti University and Sebha University for their comments and support throughout the research process. Therefore, we would like to thank them for their valuable opinions and suggestions.”

Conflicts of Interest: “The authors declare no conflict of interest.”



الشكل 10: نسبة المناطق التي تأثرت بالفيضان

المراجع

- [1] UNDRO. (1991). Mitigating Natural Disasters. Phenomena, Effects and Options. United Nations Disaster Relief Coordinator, United Nations, New York.
- [2] Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International journal of geographical information science*, 20(7), 703-726.
- [3] De Brito, M., & Evers, M. (2016). Multi-criteria decision-making for flood risk management: a survey of the current state of the art. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(4), 1019-1033.
- [4] Abdullah, M., Siraj, S., & Hodgett, R. (2021). An Overview of Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) Application in Managing Water-Related Disaster Events: Analyzing 20 Years of Literature for Flood and Drought Events. *Water*, 13(10), 1358.
- [5] Desalegn, H., & Mulu, A. (2021). Flood vulnerability assessment using GIS at Fetam watershed, upper Abbay basin, Ethiopia. *Heliyon*, 7(1), e05865.
- [6] Qi, H., Altinakar, M., Ying, X., & Wang, S. (2005). Flood management decision making using spatial compromise programming with remote sensing and census block information. In Proceedings of XXXI International Association for Hydraulic Research (IAHR) Congress, Seoul, Korea, September 2005.
- [7] Chitsaz, N., & Banihabib, M. (2015). Comparison of different multi criteria decision-making models in prioritizing flood management alternatives. *Water Resources Management*, 29(8), 2503-2525.
- [8] Adjei-Darko, P. (2017). Remote Sensing and Geographic Information Systems for Flood Risk Mapping and Near Real-time Flooding Extent Assessment in the Greater Accra Metropolitan Area. Master's Thesis, KTH, Stockholm, Sweden, pp. 1-74
- [9] An, Y., Tan, X., Gu, B., & Zhu, K. (2020). Flood risk assessment using the CV-TOPSIS method for the Belt and Road Initiative: an empirical study of Southeast Asia. *Ecosystem Health and Sustainability*, 6(1), 1765703.
- [10] Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in planning*, 62(1), 3-65.
- [11] Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.
- [12] Fisher, P., & Binkley, P. (2000). Fuzzy modelling. In *GeoComputation*, 1, 161-186.
- [13] Sönmez, O., & Bizimana, H. (2020). Flood hazard risk evaluation using fuzzy logic and weightage-based combination methods in geographic information

الخلاصة

في هذه الدراسة، تم إثبات إمكانية استخدام متعدد المعايير للمنطق الضبابي في إطار عمل نمذجة الملائمة القائم على نظم المعلومات الجغرافية من خلال تعيين التوزيع الأمثل لمواقع خطر التأثر بالفيضان في منطقة غات الكبرى لزيادة عمليات التخطيط واتخاذ القرارات المعقدة. تضمنت إجراءات النمذجة المنطقية الضبابية جمع البيانات ومعالجتها في طبقات خريطة المعايير والتضبيب (تعيين العضوية الغامضة) لكل طبقة خريطة معيار للبيانات النقطية والتجميع في خريطة مخاطر ضبابية باستخدام تحليل التراكم الضبابي بالاعتماد على عمليات الاستدلال الضبابي وإعادة التصنيف إلى خريطة مخاطر نهائية وتقييم النتائج.

التوصيات

- بالنظر لما تم سرده من استنتاجات تتعلق بالدراسة تلاحظ أنه لا تزال هناك حاجة ماسة لإجراء المزيد من الدراسة والتحليل مع الأخذ في الاعتبار إضافة تأثير كثير من العوامل المهمة (الاقتصادية و الإنسانية) ويمكن أن تلخص توصيات الدراسة في التالي:
1. توجيه التنمية إلى المناطق منخفضة الخطورة التي توصل إليها البحث والبعيدة عن مجاري الوديان في منطقة الدراسة.
 2. التأمين الإلزامي على آثار الكوارث الطبيعية وعدم منح رخصة للبناء ووضع قانون منع البناء وشراء العقارات المعرضة للفيضان ونزع الأرض في المناطق المعرضة لمخاطر الفيضانات والسيول وغيرها من المخاطر في منطقة الدراسة.
 3. إنشاء سواتر ترابية للتقليل أو الحد من الفيضانات والسيول ولتحويل مياه السيول عن الأحياء السكنية والأنشطة الاقتصادية.
 4. مراعاة انحدار المنطقة وحجم مسارات الأودية وتفرعاتها وإنشاء قنوات لتنظيم جريان السيول إلى الوادي الرئيسي لتصريف المياه عند هطول الأمطار.
 5. توعية السكان بمخاطر السيول وخطورة البناء والإقامة في مجاري الوديان والسهل الفيضي، وتوضيح كيفية التعامل معها قبل وثناء حدوث السيول وبعدها .

- through ASF DAAC 06 Marchber 2021. DOI: <https://doi.org/10.5067/JBYK3J6HFSVF>.
- [22] Beven, K., & Kirkby, M. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. *Hydrological Sciences Journal*, 24(1), 43-69.
- [23] Böhner, J., & Selige, T. (2006). Spatial prediction of soil attributes using terrain analysis and climate regionalisation. *Gottinger Geographische Abhandlungen* 115, 13-28
- [24] Calderón, P., Chow, P. & Reyna, B.(2020) Topographic Position Index (TPI) to identify floodable areas and zoning of plant species in a mangrove swamp in the South Pacific of Nicaragua. *Revista Torreón Universitario / Year 9 / No. 26 / October 2020 - January 2021*
- [25] Sentinel, E. User Handbook. *ESA Standard Document*, 64. https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/sentinel-2_user_handbook
- [26] EOS. (2021). EOS Platform. [Online]. Available <https://eos.com/platform/>.
- [27] Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International journal of remote sensing*, 27(14), 3025-3033.
- [28] Gao, B. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 58(3), 257-266.
- [29] Muhammed, I. (2020). Flood Mapping and Simulation using Sentinel 2 and SRTM Data. *FUTY Journal of the Environment*, 14(1), 139-148.
- [30] ArcMap help. (2020). ArcGIS Spatial Analyst (ESRI® version 10.8), ESRI Inc., USA.
- system. *Scientia Iranica. Transaction A, Civil Engineering*, 27(2), 517-528.
- [14] Alves, P., Tsuyuguchi, B., Rufino, A., & Feitosa, P. (2018). Mapping of flood susceptibility in campina grande county-pb: a spatial multicriteria approach. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 24(1), 28-43.
- [15] Kumar, D., & Bhattacharjya, R. (2020). Review of different methods and techniques used for flood vulnerability analysis. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 1-30.
- [16] OCHA, "Libya: Floods - May 2019," 5 June 2019. Available at: <https://reliefweb.int/disaster/fl-2019-000051-lby>.
- [17] Arya, K., & Singh, P. (2021). Multi criteria analysis for flood hazard mapping using GIS techniques: a case study of Ghaghara River basin in Uttar Pradesh, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(8), 1-12.
- [18] Rincón, D., Khan, U., & Armenakis, C. (2018). Flood risk mapping using GIS and multi-criteria analysis: A greater Toronto area case study. *Geosciences*, 8(8), 275.
- [19] Abdelkader, M., Al-Amoud, A., & El-Abedin, T.(2019) Assessment of Flash Flood Hazards Using GIS in Wadi Nisah, Central Saudi Arabia. *8th International Conference on Water Resources and Arid Environments (ICWRAE 8)*: 21-30 th 22-24 January 2019, Riyadh, Saudi Arabia.
- [20] Jaafar, H., & Ahmad, F. (2019). GCN250, global curve number datasets for hydrologic modeling and design. figshare. Dataset. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.7756202.v1>
- [21] Dataset: ASF DAAC 2015, ALOS PALSAR_Radiometric_Terrain_Corrected_high_res; Includes Material © JAXA/METI 2008. Accessed