

محاكاة فيضان وادي درنة باستخدام أسلوب النمذجة بالعميل

رضوان علي بلقاسم حسين

كلية تقنية المعلومات - جامعة طرابلس، ومنظمة تبيان للذكاء الاصطناعي

r.husain@uot.edu.ly

الملخص

فيضان وانهيار سدي وادي درنة أثناء مرور عاصفة الإعصار دانيال على السواحل الشرقية لليبيا كان كارثة حقيقية شهدها الليبيين في 11 سبتمبر 2023. كأكبر الكوارث الطبيعية تدميراً في ليبيا، وحتى الآن الحدث المناخي الأكثر فتكاً في العالم خلال سنة 2023، تسبب الفيضان في وفاة الآلاف، وتدمير للممتلكات، وإضرار للبنية التحتية، ومسح كامل لمناطق سكنية، وتهجير عشرات الآلاف من السكان. لمواجهة تحديات المخاطر المتعلقة بالفيضانات، أصبح شائعاً بشكل متزايد في السنوات الأخيرة محاكاة جريان مياه الأمطار والفيضانات باستخدام النمذجة القائمة على العميل Agent Based Modelling (ABM)، وهذا يعود لقدرتها على التنبؤ لمكافحة تأثيرات الفيضانات. تقدم هذه الورقة استخداماً لنموذج يحاكي هيدروليكا وادي درنة في تصريف مياه الأمطار، وتعرض الورقة فائدة تداخل علوم الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية والذكاء الاصطناعي لخدمة مجالات الهيدرولوجيا. التطبيق العملي لنظام المحاكاة يوضح مدى قدرة النمذجة بالعميل ABM بشكل مميز في استطلاع مسارات المياه، وفي التنبؤ بلحظات حدوث الفيضانات. إن عدم توفر البيانات، وتعقيد النموذج من بين الصعوبات التي يجب على نمذجة الفيضانات التغلب عليها. في ختام الورقة، يتم مناقشة آفاق التطوير والتقدم في مجال نمذجة حركة المياه باستخدام التقنيات المتقدمة والنماذج المتكاملة لتحسين إدارة مخاطر الفيضانات وتقليل تأثيراتها على المجتمع.

كلمات مفتاحية: فيضان وادي درنة، النمذجة بالعميل، كوارث طبيعية، ABM.

Simulation of Valley of Derna Flooding Using Agent Based Modelling Approach

Rudwan Ali Husain

Faculty of Information Technology, University of Tripoli,
and Tiban Organization for Artificial Intelligence

r.husain@uot.edu.ly

Abstract

Flooding, and then Collapse of valley of Derna two dams caused by Hurricane Daniel while passing along the Eastern Coast of Libya, were a new catastrophe witnessed by Libyans on September 11, 2023. As the largest natural disaster in Libya, and thus far the deadliest climate event in the world in 2023, the flood resulted in thousands of fatalities, destruction of properties, damage to infrastructure, total destruction of whole neighborhoods, and the displacement of tens of thousands of residents. To confront the challenges associated with flood risks, simulating rainfall and floodwater flow using Agent Based Modeling (ABM) has become increasingly common in recent years due to its simulation capabilities in mitigating natural phenomena such as flood impacts. This paper presents the use of a model that simulates the hydrology in valley of Derna in order to manage rainfall flooding risks. The paper showcases the benefit of integrating remote sensing, geographic information systems, and artificial intelligence in the field of hydrology. The practical application of the simulation system demonstrates the distinctive ability of ABM in tracing water paths and predicting flood occurrences. Lack of data and model complexity are among the challenges that flood modeling must overcome. The paper discusses the prospects for development and progress in water flow modeling using an advanced technique, and integrates models to enhance flood risk management and reduce the societal impact of floods.

Keywords: Valley of Derna Flood, Agent Based Modelling, ABM, Hurricane Daniel, Natural Disaster.

1. المقدمة

يوم الأحد 10 سبتمبر 2023 عاصفة الإعصار دانيال هبطت على أرض ليبيا مسببة حالات طقس قاسية غير معتادة لدى الليبيين. مدن الشرق الساحلي لليبيا التي تأثرت بهذه العاصفة شملت: بنغازي، طبرق، توكرة، طلميتة، المرج، تاكنس، العويلية، بطة، البيضاء، قندولة، المخيلي، البيضاء، شحات، سوسة، ودرنة (DTM-IOM, 11/9/2023). لكن الكارثة الأعظم كانت قد حلت على مدينة درنة في 11 سبتمبر 2023 جزاء الفيضان الذي سببه انهيار سد بومنصور ثم انهيار سد البلاد المبنين في وادي درنة لحماية المدينة (Wikipedia, 2023). تأثر عشرات الآلاف في مدن العاصفة بين قنيطرة ومفقود وجريح ومهجر (DTM-IOM, 14/9/2023). فيضان وادي درنة أهلك الناس، ودمر المباني، واقتلع البنية التحتية، وغير وجه الأرض في مدينة درنة. هذا ليس غريباً على الفيضانات، فالفيضانات يمكن أن يكون لها تأثيرات خطيرة على الاقتصاد، والمجتمع، ويكون بعدها إعادة التأهيل، وإعادة البناء أمراً باهظ الثمن وكبير التكلفة (Svetlana et al., 2015). للأسف لم يعد غريباً حدوث مثل هذه الكوارث الطبيعية في عصرنا هذا، عصر التغير المناخي، والاحتباس الحراري، ولكن الغريب هو عدم الاستعداد لها بتعلم الدروس من سابقتها، وباستغلال التقنيات الحديثة المتاحة في عصرنا هذا عصر الأقمار الصناعية، والمعلومات المفتوحة، والحوسبة السحابية، والذكاء الاصطناعي.

كثير من المجتمعات والدول مازالت غير مستعدة للتعامل مع المخاطر المرتبطة بالكوارث الطبيعية كالفيضانات على الرغم من الآثار الكارثية التي يمكن أن تنجم عنها. يمكن تلخيص مجموعة من عوامل ضعف الاستعداد لمخاطر الكوارث: نقص التمويل لبنية الحماية من الفيضانات؛ فضلاً عن جهل الأسباب والتأثيرات الأساسية للفيضانات (Rubinato et al., 2019)؛ أضف إلى ذلك الفساد الإداري والمالي. وبالتالي، ما زالت العديد من المجتمعات معرضة لخطر الأضرار المترتبة عن الفيضانات، ومازالت غير قادرة على تقليل تداعياتها بفعالية. يجب على المجتمعات والدول إعداد خطة شاملة ومتكاملة لإدارة مخاطر الفيضانات لمواجهة صعوبات الفيضانات (Kumar et al.,

(2023). من أمثلة الإجراءات التي يمكن تضمينها استعداداً لمخاطر مثل هذه الكوارث: تطوير أنظمة الإنذار المبكر؛ وتخطيط وتنظيم استخدام الأراضي بشكل أفضل؛ وزيادة الاستثمار في بنية الحماية من الفيضانات؛ واعتماد معايير متينة في البناء (Norizan et al., 2021). ولكن من أجل زيادة فهم أسباب وتأثيرات الفيضانات، وكذلك لتطوير أدوات أفضل للتنبؤ بالخطر وإدارته، يجب على المجتمعات والدول الاستثمار الجاد في البحث العلمي واستغلال التكنولوجيا.

لمواجهة تحديات المخاطر المتعلقة بالفيضانات، ولإدراك سلوك ظاهرة الفيضان، أصبح شائعاً بشكل متزايد في السنوات الأخيرة محاكاة جريان مياه الأمطار والفيضانات باستخدام النمذجة الرياضية، والنمذجة العددية Numerical، والنمذجة الحاسوبية الذكية. قدرة النماذج على المحاكاة والتنبؤ جعلت النمذجة أداة هامة تساهم في التعامل مع التقديرات التي تساعد في حساب تأثير الفيضانات والتخطيط لمكافحتها (Chiew et al., 2022, Kumar et al., 2023).

1.1. نمذجة الفيضانات بأسلوب الذكاء الاصطناعي

نمذجة الفيضانات باستخدام الذكاء الاصطناعي (AI) مجال حديث نسبياً يمتلك القدرة على إحداث ثورة في كيفية التنبؤ بالفيضانات وإدارة مخاطرها. تُستخدم خوارزميات الذكاء الاصطناعي وتعلم الآلة لتحليل كميات كبيرة من البيانات، بما في ذلك البيانات الجوية والهيدرولوجية والجغرافية، ذلك لتحسين دقة وموثوقية نماذج الفيضانات. تتيح تكنولوجيا تعلم الآلة Machine Learning (ML) للأنظمة إمكانية تحسين أدائها من خلال التجربة دون الحاجة إلى برمجة صريحة (Rahim et al., 2023). منهجيات تعلم الآلة تشمل عملية تدريب تسعى إلى تنفيذ مهمة معينة من خلال التعلم من التجارب السابقة. لتقييم أداء نموذج تعلم الآلة لمهمة معينة، يتم استخدام مقياس الأداء لتعزيز تجربة التعلم.

هناك أربع فئات من تكنولوجيا تعلم الآلة استناداً إلى أساليب التعلم، وهي التعلم بالمشرف Supervised Learning، والتعلم بلا مشرف Unsupervised Learning،

والتعلم والتعلم شبه المشرف Semi-supervised Learning والتعلم والتعزيز Reinforcement Learning (Janiesch et al., 2021). تتلخص عملية تطبيق تعلم الآلة في ثلاث مراحل أساسية، وهي جمع البيانات، اختيار النماذج المناسبة لتعلم الآلة، وتوقع الفيضانات للتنبؤ ورسم خرائط المخاطر. يتم جمع بيانات من مصادر وأنواع مختلفة في الخطوة الأولى، بما في ذلك سلاسل زمنية لمستويات المياه، وبيانات من الاستشعار عن بعد، وبيانات مجدولة. اختيار نماذج تعلم الآلة في الخطوة الثانية يكون اعتماداً على ملامح البيانات ومشكلة التنبؤ. يمكن استخدام تقنيات الانحدار لتقدير مستويات الفيضان باستخدام البيانات التاريخية، مثل الانحدار الخطي Linear Regression والانحدار بدعم المتجه Support Vector Regression (Rasouli and Hsieh, 2012). المتغيرات المدخلة والمتغيرات الخارجة، مثل الطقس ومستويات رطوبة التربة، تُربط رياضياً من قبل هذه الخوارزميات. تصنيف مواقع الفيضان إلى مرتفعة أو متوسطة أو منخفضة من حيث مخاطر الفيضان، وذلك استناداً إلى خصائص الإدخال بما في ذلك الطبوغرافيا، ونوع التربة، وتاريخ الفيضان السابق. يمكن استخدام خوارزميات التصنيف مثل أشجار القرار Decision Trees والغابات العشوائية Random Forests لهذا الغرض (Yariyan et al., 2021). من الممكن تحديد المواقع التي تعتبر عرضة للفيضان وإعطائها الأولوية في أنشطة الوقاية من الفيضانات والتخفيف منها باستخدام خوارزميات التجميع مثل التجميع الهرمي Heretical Clustering، ومجموعات K-means لتجميع المناطق مع عوامل مشابهة لمخاطر الفيضانات (Landuyt et al., 2020). خوارزميات التعلم العميق Deep Learning (DL) بأسلوب الشبكات العصبية الالتفافية Convolutional Neural Networks (CNN) استُخدمت في عدة أبحاث لنمذجة الفيضانات. نماذج التعلم العميق أكثر دقة من غيرها، ولكن هناك مشاكل بسبب نقص المعرفة الخبيرة والبيانات القياسية لإجراء المقارنة اللازمة للمصادقة على سلامة النمذجة. لذلك، يمكن أن يكون تقييم دقة هذه النماذج وملاءمتها لاستخدامات متعددة أمراً متعدد التحديات. من الضروري أن نتذكر أن القرار بشأن الطريقة المناسبة لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وتعلم الآلة سيعتمد

على احتياجات المشروع المحددة ومواصفاته، وأن هناك طرقاً مختلفة قد تكون أفضل ومناسبة لأنواع مختلفة من التوقعات والبيانات. من أجل ضمان الدقة والموثوقية، يجب أيضاً تحقيق صحة ومعايرة طرق نمذجة الفيضانات القائمة على الذكاء الاصطناعي وتعلم الآلة باستخدام بيانات دقيقة وموثوقة، ويجب تفسير نتائجها بحذر (Kumar et al., 2023).

2.1. نمذجة الفيضانات بناءً على العميل ABM

النمذجة بالعميل ABM تطبق الآن لتوضيح تعقيدات الأزمات البيئية البشرية، وللمساهمة في معالجتها، خاصة في إدارة الفيضانات. تُعرّف نمذجة العميل على أنها منهجية للنمذجة تشجع على تطوير نماذج تعمل على مستوى شخصي، ويمكن تكييفها على مستوى دراسة علوم الاجتماع. كما يُعتبر أيضاً كأسلوباً حسابياً يتضمن عدة عناصر مثل نظريات الألعاب، وأنظمة الوكلاء المتعددين، وتعقيد النظام، وبرمجة التطور، وعلم الاجتماع الحاسوبي (Railsback and Grimm, 2019). في نموذج العملاء، يتم برمجة قواعد السلوك بوضوح لتعمل على توجيه القرارات والتفاعلات الفردية في النموذج الأساسي. بشكل عام، ميزة مهمة للنمذجة بالعملاء هي أنها تتيح للمستخدمين دراسة التأثيرات الجماعية لعدة عملاء متنوعين ذوي قواعد قرار محدودة، وآلية تعلم تتيح لهم ضبط تقديراتهم مع مرور الوقت. لذا، تم استخدام أسلوب نمذجة العميل لدراسة استخدام الأراضي، وتقييمات الفيضانات، وتكييف تعاملات التسكين في المناطق عرضة للفيضانات، واعتمادات الأمان من الفيضانات (Chiew et al., 2022).

للتقليل من الأضرار الناجمة عن الفيضانات والتعافي منها، قام العديد من الباحثين بتنفيذ نماذج مبنية على العميل لاستقصاء مدى القدرة والإنتاجية لتنفيذ استراتيجيات التأهب للفيضانات، وللتأكد من نظامية استجابة المجتمعات لمخاطر الفيضانات. قسّم Taillandier et al., (2021) تطبيقات نمذجة العميل في مجال محاكاة الفيضانات إلى خمس فئات، وهي إدارة مخاطر الفيضانات (FRM) Flooding Risk، ومحاكاة المشاركة في إدارة مخاطر الفيضانات (PS) Participatory Management، ومحاكاة الإخلاء (ES) Evacuation Simulation، ومحاكاة حدوث

الفيضان (Flood Event Simulation (FES)، وتطبيقات المنظور المحدد لمخاطر الفيضانات Specific Perspective (SP). قدم (Novoa et al., 2023) دراسة لطريقة تقييم التصاعدات الفيضانية المستمرة وتأثيراتها عن طريق دمج نموذج لنظام الصرف الصحي الهيدروديناميكي مع خوارزمية تدفق معتمدة على نظام معلومات جغرافية. تم تنفيذ الخوارزمية في دريسدن بألمانيا باستخدام برنامج النمذجة القائمة على العميل لتقدير التأثيرات المالية بالاعتماد على دالة تقدير الأضرار العائدة على العمق، وعلى بيانات استخدام الأراضي. تقدم مقالة (Shirvani et al., 2021) محاكاة لنموذج التفاعلات ذات الاتجاهين بين الفيضانات والأشخاص. ربط النظام نموذجاً هيدرودينامياً بنموذج للمشاة في منصة نمذجة قائمة على العميل. تم اقتراح قواعد سلوك العملاء والحالات التي يمر بها عملاء المشاة من أجل محاكاة وجود المشاة وتصرفاتهم في المياه الفيضانية. تستند هذه القواعد إلى مقياس معدل الخطر (HR) Hazard Risk الذي يُستخدم عادة لتقييم حالات مخاطر الأشخاص في المياه الفيضانية.

دراسات مراجعة تاريخ الأبحاث المنشورة في استخدام النمذجة بناءً على العميل في محاكاة مخاطر الفيضانات وإدارة أزماتها، مثل المقالين (Anshuka et al., 2022) و (Kumar et al., 2023)، أظهرت نجاحاتٍ واعدة في ضبط ومعايرة محاكاة النماذج الهيدروديناميكية، وهو الذي يتيح مجالاً واسعاً لاستخدامات النمذجة بالعميل. المقالان لخصاً أن محاكاة اتخاذ القرار من قبل البشر نال مجاًلاً بحثياً جيداً، وتم توفير مبررات جيدة لاتخاذ القرار من قبل البشر المتفاعلين في نماذج المحاكاة. ومع ذلك، يتطلب اتخاذ القرارات من قبل المؤسسات أبحاثاً إضافية لفهم كيفية اتخاذ هذه القرارات. بالنسبة لتصميم نماذج العملاء، لوحظ وجود توازن بين تعقيد النموذج وبساطته، مقارنة بالأوراق البحثية التي تحاكي عمليات معقدة أخرى مثل نمذجة حركة المرور. قبل تنفيذ نموذج قائم على العملاء، من الأمور الحاسمة فهم الظاهرة التي سيتم دراستها، فهي التي ستوجه تصور النموذج ومتطلبات عملية برمجته. تطبيقات نماذج العملاء في مجموعات موضوعية مختلفة تظهر فعالية تحذيرات الفيضانات ومسارات الإجلاء أو سياسات مختلفة في إعداد

نظام معين. يمكن أن يؤدي التوجه العام للعمل من خلال نماذج العملاء إلى تعاون الخبراء في مجال الهيدرولوجيا وعلوم الاجتماع لتحقيق تأثير أكبر.

2. منهجية العمل

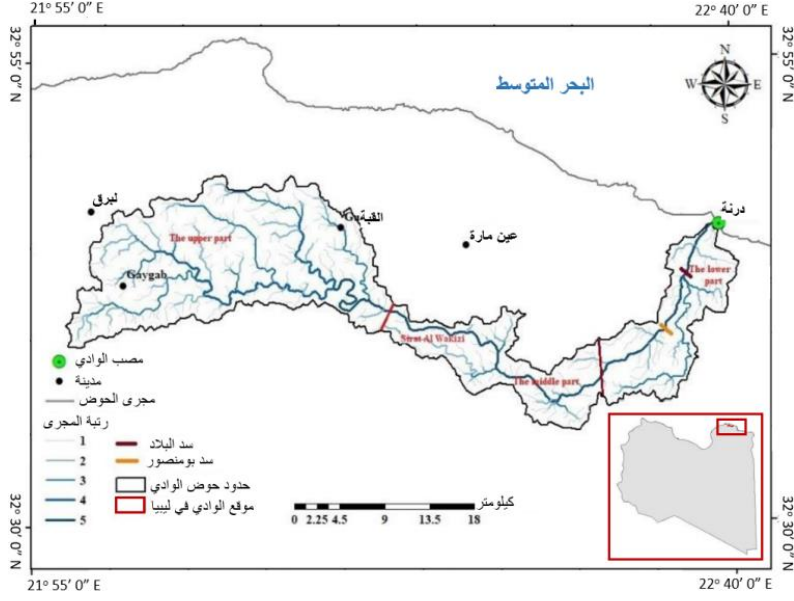
العمل الذي تقدمه هذه الورقة مبني على أسس منهجية محاكاة الظواهر الطبيعية بأسلوب النمذجة بناءً على العميل ABM. تعتمد هذه المنهجية على مراقبة الظاهرة الطبيعية، ودراسة سلوك عناصرها، ثم الخروج بتصوير لعالم تلك الظاهرة ثم تجسيده من خلال كائنات ما يسمى بالعملاء Agents الذين لهم صفات تميزهم، ويتفاعلون مع بعض حسب قواعد سلوك محددة، ومن ثم مراقبة ما يحدث جراء تفاعلاتهم (Axtell, 2000). النمذجة بالعملاء تهدف إلى تحديد التوازن بين تكلفة المشغل، جودة الخدمة للمستفيدين، ودعم التأثير البيئي، مع الأخذ في الاعتبار عوامل التصميم مثل الكثافة المكانية لنقاط التوزيع المركزية. تم اختيار نظام النمذجة المفتوح (NetLogo (Wilensky, 1999 كأداة برمجة نموذج محاكاة جريان مياه وادي درنة موضوع هذه الدراسة. يعمل برنامج NetLogo أساسياً على بناء هيكل عملية النمذجة حسب مراحل لإنشاء السيناريوهات. هذه المراحل تتمثل في نمذجة الكائن الفردي الأولي (وهو العميل Agent)، والتحليل الإحصائي لنشاطات النموذج. يقوم العملاء بتنفيذ خطة أنشطتهم التفاعلية على بيانات عالم الظاهرة التي يجسدها النموذج، مع اعتبار الوقت كمتغير معتمد، ومراعاة حدود نطاق عالم محاكاة الظاهرة. النموذج الذي تقدمه هذه الورقة مبني على نموذج جريان الماء NetLogo المعياري، نظام NetLogo يسمح لعملاء نقاط الماء المتساقطة بالجريان على أرضية العملاء الثابتين لبقع تضاريس الوديان، وذلك الجريان يكون حسب الاتجاه الذي يحدده ارتفاع البقعة المجاورة. طوبوغرافية المنطقة التي ترسم حدود عالم ظاهرة جريان المياه تؤخذ من ملف الارتفاعات المعروف (Digital Elevation Model (DEM). ملف الارتفاعات يشكل شبكة وديان ومنحدرات منطقة الدراسة بناءً على مقدار الارتفاعات المكانية المحفوظة في الملف. ميزة كبيرة في استخدام النماذج المبنية على العملاء هي أن كل عميل مبرمج لأداء سلسلة من المهام دون ضرورة أن يكون على علم بحالة العملاء

الآخرين في النظام. بالتالي، يمكننا دراسة ظهور أي سلوك جماعي قد يطرأ من تفاعلات العملاء مع بيئة النظام، وفي بعض الأحيان يكون هذا السلوك الطارئ غير متوقع ولكنه تجسيد لتصرف حقيقي للنظام، وإن كان نادر الحدوث.

3. بناء نموذج محاكاة فيضان وادي درنة

يُحاكي هذا النموذج هطول الأمطار على مساحة من التضاريس في الجزء الشمالي الشرقي الساحلي من ليبيا، والمتاخم لوادي درنة. طول الوادي يبلغ 75 كيلومتراً، وهو ثاني أطول وادي على الساحل الشمالي للجبل الأخضر، وأطول جميع الأودية التي تمر عبر الانحدار الساحلي قبل الوصول إلى البحر. خلال معظم مساره، يكون وادي درنة وادياً مفتوحاً نسبياً، على بعد 12 كيلومتراً من فم الوادي وما بعدها يصبح الوادي أعمق تدريجياً، أخذاً شكل الوادي العميق الذي يتسع بشكل حاد ويتميز بقطاع عرضي على شكل حرف V تقريبي. ينتهي الوادي بشكل مفاجئ عند الانحدار الساحلي. خلال الـ 1300 متر الأخيرة من مساره، يكون الوادي مجرد حنفية واسعة وضحلة عبر مروحة الرواسب الطينية التي تقع عليها درنة. وادي درنة لا يعتبر ملفتاً فقط بسبب حجمه، ولكن أيضاً بسبب وجود نبعين دائمين فيه، وكلاهما من بين أكثر الينابيع وفرةً في سيرينايا (برقة). النبع الأعلى منهما يقع على بعد 12 كيلومتراً من البحر، ويُعرف باسم عين بومنصور. أما النبع الأدنى فيسمى عين درنة، أو عين البلد، وينبع من الحجارة الجيرية على بعد حوالي 5 كيلومترات من البحر. يتم تحويل الكثير من المياه من كلا المصدرين إلى قنوات الري، ويتم نقل بعض المياه من عين درنة إلى المدينة للاستخدام المنزلي. ومع ذلك، لا تتجه المياه المتبقية من عين درنة إلى سرداب الوادي، حتى في الصيف، إلى أن تكون على بعد حوالي 4 كيلومترات من البحر (McBurney and Hey, 1955). الشكل (1) يرسم حدود حوض وادي درنة، ومجاريه مدعومة بالإحداثيات الجغرافية (Ashoor, 2022)، الشكل (2) يعرض منظور فضائي لمواقع كل من مدينة درنة، وسد البلاد، وسد بومنصور بالنسبة لوادي درنة (Mellen et al., 2023).

تم استلام الورقة بتاريخ: 2023/ 9 /27م وتم نشرها على الموقع بتاريخ: 2023/10 / 16م



الشكل (1): حدود ومجرى وادي درنة



الشكل (2): منظر فضائي لمدينة درنة وسد البلاد وسد بومنصور على وادي درنة

الدراسة التي نشرها عبد الونيس عاشور في (Ashoor, 2022) قسمت وادي درنة إلى ثلاث مراحل بناءً على الأبعاد الجيوغرافية للوادي، وعرج الباحث فيها على تاريخ فيضانات الوادي. طبقت الدراسة نموذج الأرقام المنحنية للجريان السطحي Conservation Service Curve Number (SCS-CN) لغرض حساب حجم الجريان السطحي السنوي لحوض وادي درنة، حيث قُدرت بقيمة 138.51 مليون متر مكعب في السنة، وذلك بناءً على معدلات هطول الأمطار للسنوات من 1960 إلى 2000.

سد البلاد، الذي يبعد مسافة حوالي 1 كلم جنوبي مدينة درنة، سعتها لتخزينية تصل إلى 1.5 مليون متر مكعب، وسد بومنصور يبعد بمسافة تقدر بحوالي 13 كلم جنوب سد البلاد، وسعته مقدارها 22.5 مليون متر مكعب (HIDROPROJEKAT, 1972).

تقرير المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO, 2023) أفاد بأن عاصفة الإعصار دانيال وصلت إلى دروتها في شمال شرق ليبيا في 10 سبتمبر 2023، مصحوبة برياح قوية تصل سرعتها إلى 80 كلم/س. هطلت أمطار غزيرة كميتها بين 150 - 240 ملم، مما أدى إلى حدوث فيضانات في درنة والبيضاء وغيرها، فسجلت أعلى معدل أمطار يومي بلغ 414.1 ملم (من 10 سبتمبر الساعة 8 صباحاً إلى 11 سبتمبر الساعة 8 صباحاً). أشار المركز الوطني للأرصاد الجوية إلى أن هذا كان رقماً قياسياً جديداً لكمية الأمطار، وهو ما يعادل ما يهطل في سنة كاملة. وبالتالي، فإن الأمطار التي هطلت في حوض تجميع وادي درنة خلال تلك الفترة الوجيزة تجاوزت 200 ملم. يتلخص من هذه الأرقام أن حوض وادي درنة استقبل ما يزيد عن 115 مليون متر مكعب من المياه، وهي كمية تفوق قدرة تحمل السدين مجتمعين. كميات المياه التي هطلت في ليلة واحدة لم تسجل من قبل في كل الفيضانات المسجلة على وادي درنة، ولم تكن متوقعة في الدراسات العديدة التي نفذها الباحثون من قبل. بناءً على الدراسة في (Ashoor, 2022) فإنه في فيضان أكتوبر 1959 سجلت محطة درنة المناخية كمية أمطار أثناء العاصفة وصلت إلى 145.7ملم، وفي فيضان نوفمبر 1986 بعد إنشاء سدي البلاد و بومنصور حجز سد بومنصور كمية مياه بلغت أكثر من 13مليون متر مكعب حيث بلغ متوسط الأمطار أثناء هذه العاصفة 64.14 ملم.

إن هذه الأرقام غير المتوقعة تستوجب استغلال الأدوات التقنية الحديثة التي لديها إمكانية تصور حالات متطرفة لسلوك الظواهر الطبيعية كالفيضانات، والزلازل، والحرائق، وغيرها. على هذا الأساس، يهدف هذا البحث إلى ضرورة الاستفادة من أنظمة المحاكاة الحاسوبية التي تساعد في فهم سلوك الظواهر الطبيعية وسلوك المجتمعات كوسيلة لتفادي وإدارة مخاطر الكوارث المروعة.

1.3. نمذجة تضاريس الوادي

يحاكي هذا النموذج هطول الأمطار على تضاريس منطقة وادي درنة باستخدام نظام NetLogo الذي يوفر بيئة للنمذجة بناءً على العميل ABM. بيانات التضاريس التي تعبر عن الارتفاعات والانخفاضات في أراضي منطقة الوادي أُخذت كمعلومات جغرافية متاحة في نظام Google Earth Engine (<https://code.earthengine.google.com/>) الذي يوفر إمكانية التعامل مع البيانات المكانية من خلال بيئة برمجية تتيح للمطور تحديد منطقة جغرافية معينة وتنزيل بياناتها بكتابة أوامر برمجية مخصصة لبيئة محرك قوئل إرث. ملف الارتفاعات DEM المحمل من قوئل إرث تم تحويله من تشكيل GeoTiff إلى ملف شبكي Grid نصي Text على هيئة تشكيل USGS ASCII DEM باستخدام النظام السحابي MyGeodata Cloud (<https://mygeodata.cloud/converter>). هذا التغيير في تشكيل ملف الارتفاعات تم ليلائم استلام بياناته في مصفوفة متغيرات في بيئة برمجة نماذج العملاء NetLogo. الملف النصي للارتفاعات نُفذت عليه عملية تنظيف اهتمت بحذف أي معلومات مضافة عن الأرقام التي تمثل الارتفاعات، مع ضمان وجود رمز الفراغ بين أرقام الارتفاعات، ورمز السطر الجديد في نهاية كل صف من صفوف مصفوفة البيانات.

2.3. عميل بقعة الأرض

نماذج الارتفاعات الرقمية DEM مأخوذة عبر المكوك الراداري Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) لوكالة الفضاء الأمريكية NASA الذي توفر بياناته الرقمية ارتفاع نقطة أرضية بدقة تمييز مكانية تقدر لمساحة 30×30 متر مربع. بالتالي، كل نقطة في ملف الارتفاعات ستمثل بعميل Agent ثابت له إحداثيات مكانية

(x, y) لبقعة على أرض عالم المحاكاة تجسد أبعادها مساحة 30متر × 30 متر. كل بقعة تمنح لون خاص بها حسب قيمة ارتفاعها (e)elevation المستقاة من ملف الارتفاعات. تطويراً لنموذج جريان الماء Grand Canyon الذي قدمه (Wilensky, 2006) أضيفت صفة الميل (s) إلى خواص بقعة الأرض، ويُحسب الميل من خلال البقعة المجاورة الأقل ارتفاعاً، ويستخدم الميل لحساب سرعة جريان نقطة الماء كما هو موضح في المعادلة رقم (1) لاحقاً. الشكل (4) يوضح معالم تضاريس منطقة وادي درنة بعد تجسيدها بعملاء نظام النمذجة كبقع مربعة متراسة في صفوف وأعمدة تحدد أبعاد عالم المحاكاة، وهي 1871 × 822 بقعة.

3.3. عميل نقطة الماء

الماء الجاري في تضاريس منطقة الوادي يمثل بنقاط ماء تجسد كل منها عميلاً منفرداً لديه خصائص (سمات) تبين حالة الكائن الذي يحاكيه، والعميل هو الوحدة الأساسية في بناء النموذج. سمات العميل تبين حالات العميل الداخلية، أما قواعد السلوك فتحدد كيفية تفاعل العميل مع عالم النموذج من حوله. تُعيّن قيم مختلفة لهذه السمات اعتماداً على نوع العميل. سمات عميل نقطة الماء الهائلة تشمل المعرف الفريد، اللون، الموقع الحالي، اتجاه الانسياب، الشكل، وحجم رسم العميل. نقطة الماء لديها حجم مائي حُدد بمساحة بقعة الأرض وهو 30 × 30 متر مربع مضروب في ارتفاع نقطة الماء 1 متر، وهذه قيمة مقدرة حسب أقل فارق بين ارتفاعات النقاط الممثلة في ملف الارتفاعات DEM. قطرات المطر المجسدة بعميل نقطة ماء تتساقط في مواقع عشوائية أو في المواقع التي يحددها المستخدم. عميل قطرات المطر يتفاعل في عالم تضاريس المنطقة بناءً على قواعد التصرف التي تمكن العميل من التدفق باتجاه الأسفل. إذا لم يكن هناك أي قطعة أرض قريبة لديها ارتفاع أقل، فإن عميل قطرة المطر يبقى في المكان الذي وصل إليه. تتجمع قطرات المطر فوق بعضها حتى تبدأ بالارتفاع بمقدار المتر الواحد لكل نقطة ماء، ثم تتدفق فوق الأرض المجاورة. تعديل آخر في نموذج (Wilensky, 2006) يتجسد في إضافة خاصية السرعة Velocity (V) لعميل نقطة الماء. تُحسب السرعة كما هو مبين

في المعادلة رقم (1). قد تبقى بعض قطرات المطر دائماً في برك الوديان، أو على الأراضي الأعلى، بينما يتدفق البعض الآخر خارج النظام عند نهاية حواف عالم المحاكاة.

4.3. حساب سرعة تدفق عميل نقطة الماء

يمكن حساب معدل سرعة التدفق من خلال المعادلة رقم (1) وهي تعرف بمعادلة مانينغ Manning Equation التي تستخدم لتقدير سرعة السائل المتدفق في القنوات المفتوحة، كما يُستخدم هذا النمط أيضاً لحساب متغيرات التدفق في حالة التدفق في قنوات ذات ملء جزئي، حيث تمتلك القناة سطحاً حراً مثلما هو الحال في تدفق القناة المفتوحة. جميع التدفق مدفوع بالجاذبية الأرضية (Manning, 1891). استُخدمت معادلة مانينغ في كثير من تطبيقات حساب سرعة ومستوي الفيضانات، على سبيل المثال (Paquier et al., 2016, and Perez et al., 2019).

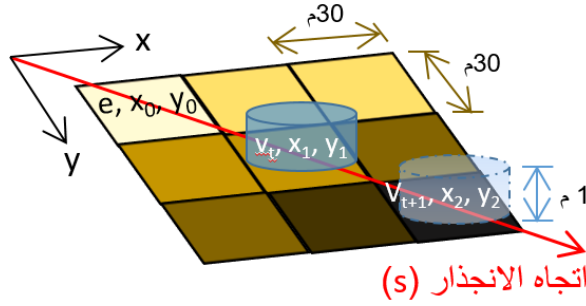
$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \sqrt{S}, \quad R = \frac{a}{p} \quad (1)$$

حيث V تعبر عن سرعة التدفق (م/ث)، n تسمى بمعامل مانينغ حيث قيمته تعبر عن طبيعة قناة مجرى الماء ويمكن أن تؤخذ من جدول مانينغ (www.fsl.orst.edu, Manning's n Value) و أعطيت القيمة 0.05 باعتبار طبيعة وادي درنة الجبلية المنحدرة ذات أعشاب وأشجار وأحجار، R هي القطر الهيدروليكي، ويحسب بقسمة a مساحة مقطع قناة العبور على p محيط المقطع المبلل لقناة عبور الماء، و S تعبر عن ميل قناة العبور.

في هذا النموذج يكون التعامل مع قناة العبور كوحدة جزئية من الوادي متمثلة في نقطة مربعة pixel مساحتها 30×30 م التي تعبر عن مساحة كل نقطة في ملف الارتفاعات DEM file، وارتفاع نقطة الماء في نموذج المحاكاة هو 1م، أي أن كل نقطة ماء لها حجم 900 م^3 . وبالتالي فإن R يمكن حساب قيمتها كما في المعادلة رقم (2) (www.omnicalculator.com, hydraulic-radius)،

$$R = \frac{30 \times 1}{(1 + 30 + 1)} \quad (2)$$

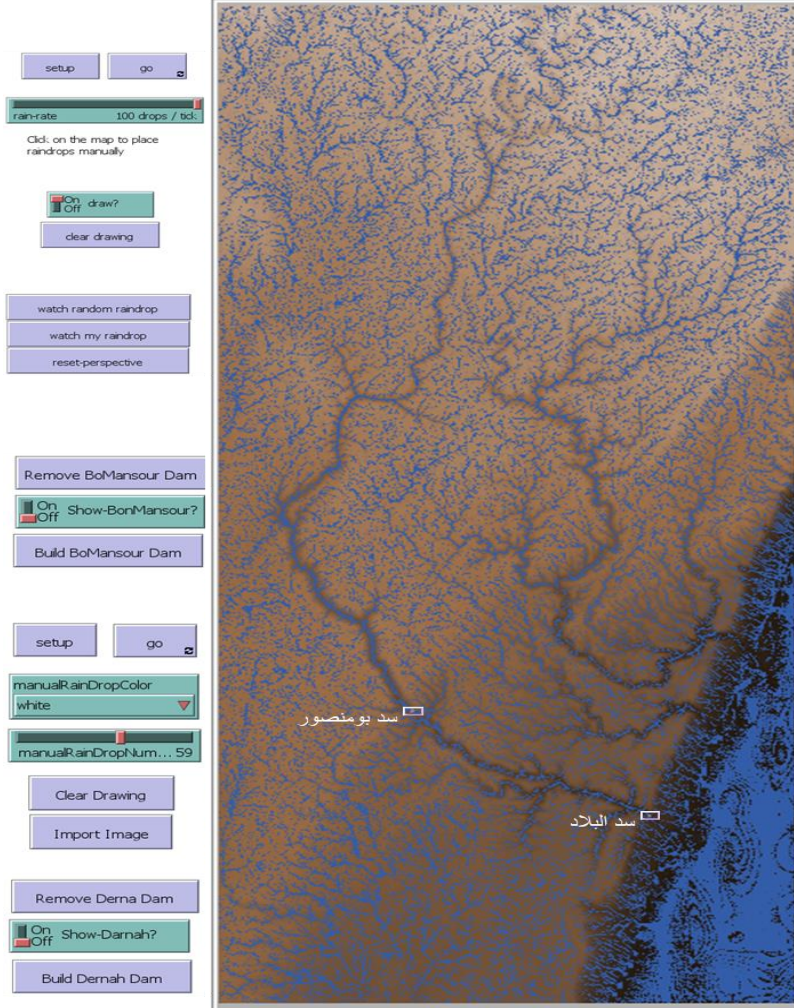
الشكل (3) يوضح عميل نقطة الماء الذي يعمل على تحديث حالة اتجاهه وسرعته من خلال بيانات جيران موقعه الحالي (x_1, y_1) ، وسرعته V_t حيث t تعبر عن الزمن المتمثل في عداد نبضات نظام المحاكاة. عملية تحديث موقع العميل تتم تزامنياً لكل عملاء نقاط الماء الجارية، وبناء عليه يحدد كل عميل مكانه التالي وسرعة تدفقه إليه.



الشكل (3): تحديث بيانات عميل نقطة الماء

4. التجارب والنتائج

يبدأ تشغيل النظام برصف أرضية تضاريس منطقة وادي درنة متمثلاً في تلوين بقع بيئة عالم النموذج حسب بيانات الارتفاعات المستوردة من ملف DEM. قطرات المياه تتساقط بعد تفعيل زر تنفيذ المحاكاة، حيث يتكون عملاء نقاط الماء موزعين عشوائياً على أرض منطقة الوادي. كمية المياه الهاطلة تعتمد على قيمة معدل هطول المطر الذي يتحكم فيه مستخدم النموذج، وهو معد ليتيح اختيار بقيم من 0 إلى 100 نقطة لكل دقة من دقائق نبضات النموذج. يوفر نظام النموذج ميزة اختيار المستخدم لموقع وكمية المطر الهاطل في بقعة معينة يحددها يدوياً. تتدفق المياه الجارية باتجاه الأسفل للبقع المجاورة الأقل ارتفاعاً. إذا لم يكن هناك أي قطعة قريبة لديها ارتفاع أقل، فإن عميل قطرة المطر يبقى في المكان الذي وصل إليه. تتراكم قطرات المطر فوق بعضها رافعة مقدار الماء بمقدار متر لكل نقطة في البقعة المنخفضة، إلى أن يفوق ارتفاعها ارتفاع بقعة مجاورة ثم تتساقط نقاط الماء إليها تبعاً. الشكل (4) يعرض نموذج المحاكاة لمعالم تضاريس منطقة وادي درنة، وفيه نقاط ماء المطر الساقط عشوائياً ترسم مجرى الوديان التي تتدفق فيها.



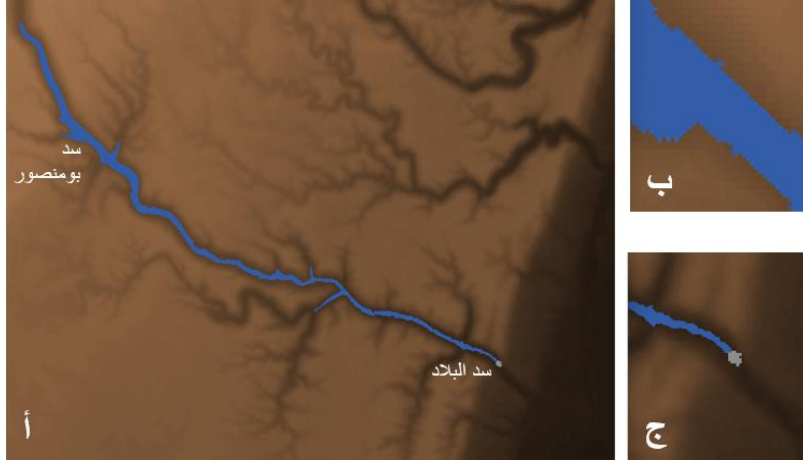
شكل (4): بيئة محاكاة تضاريس وادي درنة

بناءً على تجارب محاكاة عديدة، التجربة التالية أوقف فيها تساقط المطر عشوائياً، واستخدم أسلوب توجيه المياه في منطقة محددة وهي حوض سد بومنصور الذي يستوعب 22.5 مليون م³، حيث تم سكب ما مقداره 8300 نقطة ماء التي يجسدها 8300 عميل من عملاء نقاط الماء. العميل له شكل دائرة زرقاء اللون تمثل كمية مياه بحجم 30 × 3.02 م³. وبالتالي كمية المياه التي يحجزها السد تزيد عن سعته القصوى. بدأت

نقاط الماء تنزل من على السد لتندفق عبر الوادي في اتجاه درنة. الشكل (5) يوضح لحظة امتلاء حوض سد بومنصور بالماء وكيف يبدأ الماء في تجاوز قمة السد.

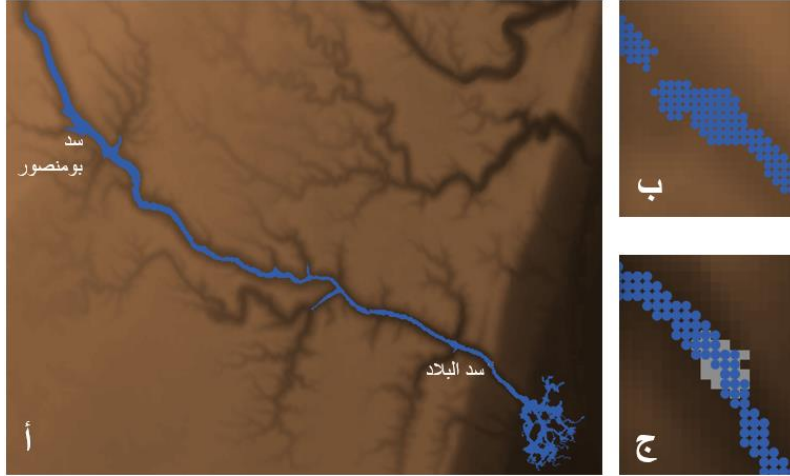


شكل (5): أ- امتلاء حوض سد بومنصور بالماء، ب- سد بومنصور يبدأ ماءه في تجاوز قمة السد، ج- سد البلاد قبل وصول مياه بومنصور إليه.



شكل (6): أ- إزالة سد بومنصور ووصول المياه إلى سد البلاد، ب- سد بومنصور تجاوزه الماء المتدفق، ج- لحظة وصول مياه سد بومنصور إلى سد البلاد.

بمرور 1184 دقة من دقائق تشغيل النموذج من بعد لحظة إزالة سد بومنصور، قطع عملاء نقاط الماء مسافة 13 كلم واصلهً إلى سد البلاد الذي يبعد فقط 1 كلم عن مدينة درنة. الشكل (6) يوضح زوال سد بومنصور وانطلاق مياهه لتصل إلى سد البلاد. في اللوحات التي يعرضها الشكل (7) يلاحظ أن الكمية الهائلة من المياه المتدفقة تجاوزت بسهولة سد البلاد لتغمر المدينة مستغرقة فقط 384 دقة بعد لحظة وصولها إلى سد البلاد. خلال هذه الفترة الوجيزة، نقاط الماء عبرت مدينة درنة مرةً من خلال قنوات مختلفة الاتجاهات. بعد مضي حالي 3000 دقة من انتشار الماء في مدينة درنة توقف جريان الماء تقريباً واستقرت معظم كميات المياه في البحر، وبقي مايقارب 30% من الماء مستقراً في قيعان الوادي ومدينة درنة. شكل (8) يوضح استقرار السيل وركود المياه.



شكل (7): أ- اجتياح مياه سد بومنصور لمدينة درنة، ب- سد بومنصور أفرغ أغلب مياهه، ج- تجاوز المياه لسد البلاد في اتجاه مدينة درنة.



شكل (8): أ- توقف جريان مياه الوادي واستقرارها في البحر، ب- استقرار بعض الماء في سد بومنصور، ج- إزالة سد البلاد وتوقف جريان المياه.

5. مصادقة النموذج

التحقق من مصادقية النموذج عملية تمت من خلال مقارنة كميات المياه التي يحجزها السدان قبل لحظة الفيضان مع أرقام البيانات التي يوفرها (HIDROPROJEKAT, 1972). بناءً على قيمة معامل مانينغ الذي تم اختياره (0.05)، والقطر الهيدروليكي بقيمة (0.93)، وباعتبار ملائمة قيمة معامل مانينغ مع قيم متعددة لمعدلات التدفق، محاكاة النموذج تؤدي إلى تقارب مقبول بين القيم المرصودة والمتوقعة لارتفاع منسوب المياه وبداية فيضان السدين. بالنسبة للمعدلات العالية لسقوط الأمطار، يظهر النموذج تدفق متسارع للمياه خلال قنوات الوادي العابرة لمدينة درنة، وهو مشابه كثيراً للمشاهد التي أظهرتها الصور الفضائية ونشرتها وسائل الإعلام. يمكن تحسين النموذج عن طريق جمع مزيد من الملاحظات على معدلات التدفق بمستويات متعددة (منخفضة ومتوسطة وعالية) لمعايرة النموذج. كما يمكن أن يطور النموذج ليحاكي معدلات حث المياه للتربة أثناء جريانها على أرض الوادي، وتغير ارتفاعات أرضيته حسب كمية الحث ونوع المواد المنجرفة.

6. الخلاصة

استخدام النمذجة القائمة على العميل (ABM) لمواجهة تحديات المخاطر المتعلقة بالفيضانات أصبح شائعاً بشكل متزايد في السنوات الأخيرة. بهدف فهم مزايا وقيود هذه التقنية في إدارة مخاطر الفيضانات، استعرض هذا البحث كيفية استخدام نموذجاً مبرمجاً في بيئة NetLogo لبحاكي حركة مياه وادي درنة الذي كان مسرحاً للفيضان الكارثي الذي ضرب مدينة درنة في 11 سبتمبر 2023 م خلفاً وراءه مأساة وقف عليها المجتمع الليبي بكامله. استناداً على التطبيق العملي لنظام المحاكاة ستساهم هذه التقنية التي تعتمد على العميل Agent في ربط قرارات الإنسان، والمؤسسات، في التعامل مع مخاطر الفيضانات. بشكل عام، تظهر التوزيعات الزمنية والمكانية اهتماماً متزايداً بهذا المجال البحثي في جميع أنحاء العالم، منذ عام 2017 خاصةً في إدارة حالات الطوارئ للفيضانات في الوقت الحقيقي، وفي تخطيط التكيف مع الفيضانات على المدى الطويل، وفي نمذجة الفيضانات الهيدرولوجية. إن المساهمة المستقبلية المحتملة للنمذجة قائمة على العميل في إدارة مخاطر الفيضانات تكمن في تطبيقها العملي في اتخاذ القرارات في سياسات التكيف والخطط الإستراتيجية، مما يشير إلى أن العمل المبكر يقلل بشكل حيوي من مخاطر الفيضانات والتدخل في نقاط ساخنة سيقلل بشكل كبير من مخاطر الكوارث. كما أنه بشكل نقدي أيضاً، قيود التنفيذ العرضية لاتخاذ القرارات والسلوك في نماذج ABM يمكن أن تجعل التطبيق أقل واقعية في الميدان.

من أجل زيادة فهم أسباب وتأثيرات الفيضانات، وكذلك لتطوير أدوات أفضل للتنبؤ بالخطر وإدارته، يجب على المجتمعات والدول الاستثمار الجاد في البحث العلمي واستغلال التكنولوجيا. تطبيقات نماذج العملاء في مجموعات موضوعية مختلفة تظهر فعالية تحذيرات الفيضانات ومسارات الإجلاء، وتظهر سياسات مختلفة في فهم الظواهر الشائعة. يمكن أن يؤدي التوجه العام للعمل من خلال نماذج العملاء إلى تعاون الخبراء في مجال الهيدرولوجيا وعلوم الاجتماع لتحقيق تأثير أكبر. كما يُوصي الباحثون في مجالات النمذجة بأن يكون تطوير نماذج المستقبل موجهاً بالتطور المستمر، والتنقيح لإطار منهجي للنمذجة بالعميل مبني على الأسس النظرية السليمة، والبيانات الواقعية،

وتعزيز قدرات اختبار النموذج وتوثيقه. والأهم من ذلك، يجب تشجيع التعاون النشط بين التخصصات والقطاعات المختلفة مثل التي تشمل العلوم الاجتماعية مع التطبيقية لصالح نمذجة اتخاذ القرارات. كما أن مشاركة المعرفة ستشجع على استخدامات أكثر فعالية للنمذجة بالعميل من قبل جمهور أوسع.

7. المراجع

- [1] DTM-IOM, Daneil Storm Flash Update Report, <https://dtm.iom.int/libya>, 11 September 2023.
- [2] DTM-IOM, Update on Report Storm Daniel in Northeastern Libya, <https://dtm.iom.int/libya>, 14 September 2023.
- [3] Ling Sie Chiew, Shahabuddin Amerudin, Zainab Mohamed Yusof, A Review of Agent-Based Modelling Simulation Approaches to Integrated Flood Management, - 2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, University of Malaya - Malesia, 2884 – 2887, 2022.
- [4] Wikipedia, https://ar.wikipedia.org/wiki/2023_دانيال.
- [5] D. Svetlana, D. Radovan, D. Ján, The Economic Impact of Floods and their Importance in Different Regions of the World with Emphasis on Europe, *Procedia Econ. Financ*, 34, 649–655, 2015.
- [6] M. Rubinato, A. Nichols, Y. Peng, J. Zhang, C. Lashford, Y. Cai, P. Lin, S. Tait, Urban and river flooding: Comparison of flood risk management approaches in the UK and China and an assessment of future knowledge needs, *Water Sci. Eng*, 12, 274–283, 2019.
- [7] Vijendra Kumar, Kul Vaibhav Sharma, Tommaso Caloiero, Darshan J. Mehta, Karan Singh, Comprehensive Overview of Flood Modeling Approaches: A Review of Recent Advances, *Hydrology*, 10, 141, 2023.
- [8] N. Z. A. Norizan, N. Hassan, M. M. Yusoff, Strengthening flood resilient development in Malaysia through integration of flood risk reduction measures in local plans. *Land Use Policy*, 102, 105178, Elsevier, 2021.

- [9] R. Manning, On the flow of water in open channels and pipes, Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland, 20, 161–207, 1891.
- [10] André Paquier, Christine Poulard, Jean-Baptiste Faure, Quick estimate of extreme floods water levels, 3rd European Conference on Flood Risk Management, 2016.
- [11] Andres V. Perez, Nataly Perez, Anai Perez, Flooding Simulation And Channeling In The Valley Of The Andes Mountain Range In The South Of Peru, WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol 239, 2019.
- [12] https://www.fsl.orst.edu/geowater/FX3/help/8_Hydraulic_Reference/Mannings_n_Tables.htm.
- [13] <https://www.omnicalculator.com/physics/hydraulic-radius>.
- [14] A. S. Rahim, H. A. Yonesi, H. R. Rahimi, B. Shahinejad, H. T. Podeh, H. M. Azamathulla, Effect of vegetation on flow hydraulics in compound open channels with non-prismatic floodplains, AQUA Water Infrastruct. Ecosyst. Soc., 72, 781–797, 2023.
- [15] C. Janiesch, P. Zschech, K. Heinrich, Machine learning and deep learning, Electron. Mark, 31, 685–695, 2021.
- [16] K. Rasouli, W. Hsieh, A. Cannon, Daily streamflow forecasting by machine learning methods with weather and climate inputs. Journal of Hydrol, 414–415, 284–293, 2012.
- [17] P. Yariyan, M. Avand, R. Abbaspour, A. Torabi Haghighi, R. Costache, O. Ghorbanzadeh, S. Janizadeh, T. Blaschke, Flood susceptibility mapping using an improved analytic network process with statistical models, Geomat. Nat. Hazards Risk, 11, 2282–2314, 2020.
- [18] L. Landuyt, N. Verhoest, F. Van Coillie, Flood mapping in vegetated areas using an unsupervised clustering approach on sentinel-1 and-2 imagery, Remote Sens., 12, 3611, 2020.
- [19] S. F. Railsback, and V. Grimm, Agent-based and individual based modeling: a practical introduction. Princeton University Press, 2019.
- [20] F. Taillandier, P. Di Maiolo, P. Taillandier, C. Jacquenod, L. Rauscher-Lauranceau, and R. Mehdizadeh, An agent-based

- model to simulate inhabitants' behavior during a flood event, International Journal of Disaster Risk Reduction, 64, pp.102503, 2021.
- [21] Diego Novoa, Julian David Reyes-Silva, Björn Helm, and Peter Krebs, Development and Demonstration of an Interactive Tool in an Agent-Based Model for Assessing Pluvial Urban Flooding, Water, 15, 696, 2023.
- [22] Mohammad Shirvani, Georges Kesserwani, and Paul Richmond, Agent-based simulator of dynamic flood-people interactions, Journal of Flood Risk Management, 2021.
- [23] Anshuka Anshuka, Floris F. van Ogtrop, David Sanderson, and Simone Z. Leao, A systematic review of agent-based model for food risk management and assessment using the ODD protocol, Natural Hazards, 112, 2739–2771, 2022.
- [24] U. Wilensky, NetLogo. Center for Connected Learning and Computer Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL. In: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>, 1999.
- [25] R. Axtell, Why agents? On the varied motivations for agent computing in the social sciences, Working paper 17, Center on Social and Economic Dynamics, Washington D.C., 2000.
- [26] U. Wilensky, NetLogo Grand Canyon model, <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/GrandCanyon>, Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL, 2006.
- [27] C.B.M. McBurney, R.W. Hey, Prehistory and Pleistocene Geology in Cyrenaican Libya, Cambridge University Press, 1955.
- [28] Ruby Mellen, Laris Karklis, Samuel Granados, Júlia Ledur, and Dan Stillman, See why Libya's floods were so deadly, The Washington Post, <https://www.washingtonpost.com/world/2023/09/12/deadly-libya-flooding-cause/>, September 12, 2023.
- [29] Abdelwanees A. R Ashoor, Estimation of the surface runoff depth of Wadi Derna Basin by integrating the geographic information systems and Soil Conservation Service (SCS-CN)

model, Sebha University Journal of Pure & Applied Sciences, vol.21 No. 2, 2022.

- [30] HIDROPROJEKAT, Wadi Derna Projekt: flood protection of Derna Town. Ministry of Agriculture, Libya, 1972.
- [31] World Meteorological Organization (WMO), Storm Daniel leads to extreme rain and floods in Mediterranean, heavy loss of life in Libya, <https://public.wmo.int/en/media/news/>, 12 September 2023.