

validation indicators showed a high level of consistency between the estimated and observed data, with values of 0.94 for R², 0.87 for NSE, and 917,609.4 m³ for RMSE. These results indicate the accuracy and reliability of the SCS-CN method in estimating surface runoff volume. Overall, this study represents a valuable contribution to understanding hydrological dynamics and improving water resource management in the study area, thereby enhancing water use efficiency and supporting environmental and economic sustainability in the region.

المقدمة

يعد هطول الأمطار مصدرًا مهمًا للمياه، وهو أساس جميع الجوانب الهيدرولوجية وأحد العوامل الأساسية المستخدمة لحساب عملية الجريان السطحي (Anand و Prof، 2015). يلعب الجريان السطحي لمستجمعات المياه دورًا مهمًا في تصميم الهياكل الهيدروليكية، والتحكم في تدهور التربة، وتقييم إمكانات إنتاج المياه في مستجمعات المياه (Deshmukh وآخرون، 2013) و (Mishra وآخرون، 2014) للتغلب على تحديات ندرة المياه التي تواجهها معظم المناطق الجافة وشبه الجافة مثل ليبيا، يجب على صناع القرار في المنطقة التوصل إلى استراتيجيات لاستكشاف موارد مائية جديدة أو الاستخدام الأمثل والمستدام للموارد المتاحة. إن توفر المعلومات الدقيقة حول الجريان السطحي نادرا ما يكون متاحا بسبب ارتفاع تكاليف تركيب وصيانة محطات القياس. لذلك، يجب تطوير المعلومات الموثوقة حول جريان المياه في المستجمعات المائية بشكل مستمر لتسهيل إنشاء وإدارة برامج مستجمعات المياه (Zade وآخرون، 2005). في ظل غياب قياسات الجريان السطحي، أظهر الجريان السطحي المقدر نتائج دقيقة عبر طريقة حفظ التربة (SCS-CN)، وهو نموذج طوره علماء الهيدرولوجيا في وزارة الزراعة بالولايات المتحدة (Shadeed و Almasri، 2010). حيث يجمع نموذج SCS-CN بين معلمات مستجمع المياه والعوامل المناخية في كيان واحد يسمى رقم المنحني (CN). ويشير ارتفاع CN إلى انخفاض الرشح وزيادة الجريان السطحي، في حين يشير انخفاض CN إلى ارتفاع الرشح وانخفاض الجريان السطحي. توفر طريقة SCS-N نتائج مرضية دون استخدام بيانات معقدة (Tirkey و Pandey و Nathawat، 2014). على سبيل المثال، قام Li و Liu (2008) بحساب الجريان السطحي على مستجمع مياه في هضبة اللوس في الصين باستخدام طريقة SCS-CN، وذكروا أن SCS-CN تعتبر من الطرق الفعالة والناجحة لتقدير الجريان السطحي. وعلاوة على ذلك، Topno وآخرون (2015) استخدموا نموذج SCS-CN لحاكة العمق السنوي للجريان السطحي على مستجمع بمنطقة فيندياتاشال (الهند)؛ وكشفوا أن طريقة SCS-CN يمكن استخدامها بكفاءة لتقدير عمق الجريان السطحي عندما لا تكون هناك معلومات هيدرولوجية كافية. تتأثر طريقة SCS-CN بشكل أساسي بالخصائص الهامة لمستجمعات المياه المرتبطة بالجريان السطحي مثل استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي (LULC)، ومجموعة التربة الهيدرولوجية (HSG)، والانحدار، والظروف المناخية (Huang وآخرون، 2006) و (Shi وآخرون، 2017). يحدد مصطلح LULC كيفية استغلال منطقة محددة، ويمكن أن يتخذ استخدام LULC أشكالاً عديدة، بما في ذلك المسطحات المائية والاراضي الحضرية والاراضي الزراعية والتربة الجرداء (Comber و Fisher و Wadsworth، 2005). تم تقديم التعبير بمجموعات الترب الهيدرولوجية HSG بواسطة خدمة حفظ الموارد الطبيعية (NRSC)، حيث قامت NRSC بتصنيف أنواع التربة التي لها نفس الخصائص الفيزيائية وخصائص الجريان السطحي إلى مجموعات محددة (HSG) (National Engineering Handbook، 2009). تم تصنيف HSGs وهي A و B و C و D و A/D و B/D و C/D بترتيب تنازلي لمعدل الرشح. بمعنى آخر، تشير المجموعة (A) إلى التربة ذات معدلات الرشح العالية (الجريان السطحي المنخفض) بينما تشير المجموعة (D) إلى التربة ذات معدلات رشح منخفضة (الجريان السطحي العالي). يتم تصنيف

أنواع التربة ذات معدلات الرشح المعتدلة والمنخفضة إلى المجموعة B و C، على التوالي (National Engineering Handbook، 2009). ويمكن حساب CN من الجداول والمنحنيات المتاحة بسهولة، ولكن هذه الطريقة التقليدية غير عملية ومملة، بالإضافة إلى أنها تستهلك جزءًا كبيرًا من وقت النمذجة الهيدرولوجية. في المقابل، فإن استخدام نظام المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد (RS) مع النماذج الهيدرولوجية ينتج تخفيضًا كبيرًا في كل من التكلفة والوقت مع موثوقية ودقة عالية مقارنة بالطرق التقليدية (Cheng، وآخرون، 2006). على الصعيد العالمي. تم إجراء العديد من الدراسات باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية GIS والاستشعار عن بعد RS لحاكة الجريان السطحي (Huang و Zhan، 2004). وجد Nayak و Jaiswal (2003) أن أعماق الجريان المقاسة والمقدرة بواسطة طريقة SCS-CN المستندة إلى نظام المعلومات الجغرافية كانت مرتبطة بشكل جيد. أجرى Geena و Ballukraya (2011) دراسة في مستجمعات المياه في التلال الحمراء، ومن ثم قاما بتقدير رقم المنحني CN المناسب للظروف الهندية باستخدام طريقة SCS-CN ونظم المعلومات الجغرافية، وخلصت دراستهم أنه يمكن استخدام أدوات GIS و RS بدقة لتقدير المعلومات الهيدرولوجية المكانية والمتغيرات الزمنية. تم إجراء دراسة أخرى بواسطة Ranjan و Gitika (2014) في مستجمع مياه Buriganga (الهند) لتقدير الجريان السطحي باستخدام تقنيات GIS و RS؛ وخلصت نتائج الدراسة إلى أن كلاً من تقنيات GIS و RS أدوات مهمة وذات فعالية عالية في تقدير الجريان السطحي في البيئة الجيوهيدرولوجية. بشكل عام، فإن تقدير الجريان السطحي بطريقة حفظ التربة الأمريكية يساهم في تعزيز قدرة الجهات المعنية على التنبؤ بالفيضانات والاستعداد لها، مما يقلل من تأثيراتها السلبية على البيئة والمجتمعات المحلية. إن توفر معلومات دقيقة حول الجريان السطحي نادرا ما يكون متاحا بسبب ارتفاع تكاليف تركيب وصيانة محطات القياس الهيدرولوجية. وفي ظل غياب قياسات الجريان السطحي في بعض الأحيان، أظهر الجريان السطحي المباشر المقدر نتائج دقيقة من خلال استخدام طريقة حفظ التربة (SCS-CN) مما تطلب إجراء هذه الدراسة والتحقق من القيم المتوفرة للجريان السطحي في بعض المستجمعات، ومن هنا جاءت أهمية هذه الدراسة لتقدير والتحقق من قيم الجريان السطحي في حوض وادي غان. يهدف هذا البحث إلى انشاء قاعدة بيانات هيدرولوجية لمنطقة الدراسة، بالإضافة إلى تقدير حجم الجريان السطحي باستخدام نموذج حفظ وصيانة التربة الأمريكية (SCS-CN). كذلك إلى التحقق من دقة نموذج حفظ وصيانة التربة الأمريكية (SCS) في تقدير حجم الجريان السطحي. بالإضافة إلى تحديد أعماق الهطول المطري للعواصف المطرية التي يبدأ من خلالها توليد الجريان السطحي في منطقة الدراسة.

المواد والطرق:

يقع حوض وادي غان في الشمالي الغربي من ليبيا بين دائري عرض 10' 56" 31° و 00' 17" 32° شمالاً، وخطي طول 00' 58" 12° و 16' 15" 13° شرقاً، وذلك على النحو الموضح بشكل (1). وتبلغ مساحة الحوض حوالي 644.5 كيلومتر مربع. حيث تبدأ منابع الحوض من مرتفعات الجبل الغربي جنوباً ومنتجهاً شمالاً إلى أن تصل إلى سد وادي غان. يتراوح منسوب الارتفاع في حوض وادي غان ما بين 317 و 941 متر فوق مستوى سطح البحر بناءً على نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) وذلك على النحو الموضح بشكل (2).

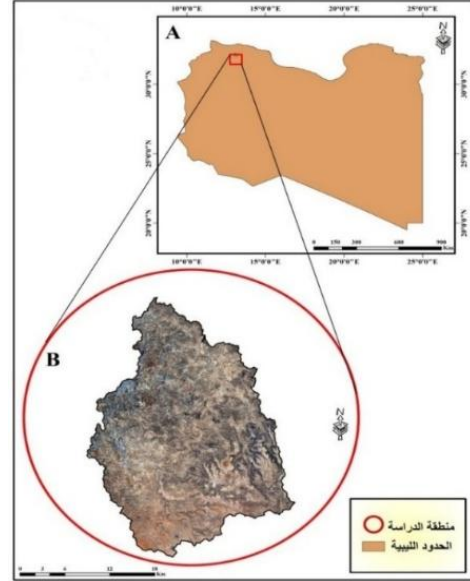
البيانات المستخدمة في الدراسة

بيانات الاستشعار عن بعد

تم في هذه الدراسة اعتماد واستخدام نموذج الارتفاع الرقمي DEM بدقة مكانية 30 متر والذي تم الحصول عليه من موقع هيئة المسح الجيولوجية الأمريكية (USGS)، وذلك لاستخدامه في التحليل الهيدرولوجي لمنطقة الدراسة. أيضاً، تم تحميل مرئيات فضائية للقمر الصناعي (Landsat 5 - 8) لسنوات 2003 و 2022 لاستخدامها في تصنيف الغطاء الأرضي لمنطقة الدراسة، ويوضح جدول (1) خصائص المرئيات الفضائية المستخدمة.

جدول (1) خصائص المرئيات الفضائية

Row	Path	مساحة التغطية كم	الدقة المكانية	التاريخ	المستشعر	القمر الاصطناعي
038	189	185X180	30	2022 /8/15	OLI TIRS	Land Sat-8
038	189	183X170	30	2003 /8/19	TM	Land sat-5



الشكل (1). موقع منطقة الدراسة

بيانات الأمطار والعواصف المطرية

تم تحميل البيانات المناخية المتمثلة في بيانات الامطار لأعلى عواصف مطرية لأقرب محطة مؤثرة على حوض الدراسة وهي محطة غريان الارصاد لعدد 8 عواصف مطرية للسنوات من 2003 إلى 2012 بالإضافة إلى سنة 2022، وذلك من خلال موقع وكالة الفضاء الأمريكية (NASA) من موقع <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. كذلك، تم الحصول على بيانات للجريان السطحي (المقاس) من إدارة السدود بوزارة الموارد المائية، لاستخدامها في تحديد العلاقة ومدى فاعلية استخدام طريقة حفظ وصيانة التربة الأمريكية (SCS-CN) في تقدير عمق الجريان السطحي بمنطقة الدراسة، وذلك على النحو الموضح بالجدول (2).

جدول (2) العواصف المطرية المؤثرة على حوض التجميع في منطقة الدراسة

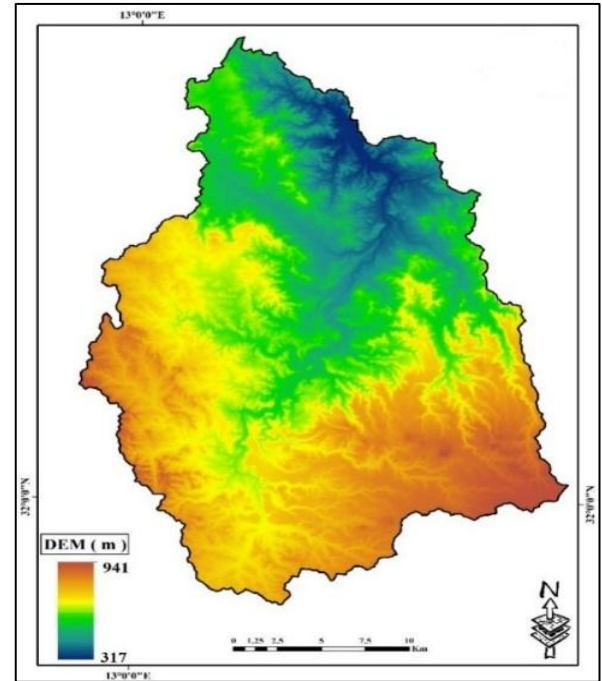
ر.م	السنة	تاريخ العاصفة المطرية	عمق الهطول (مم)
1	2003	2003/1/27	47.21
2	2004	2004/3/3	70.03
3	2005	2005/10/28	29.09
4	2006	2006/1/2	33.16
5	2009	2009/9/9	26.02
6	2010	2010/1/16	16.06
7	2012	2012/11/3	38.06
8	2022	2022/11/28	60.01

تحديد مساحة الحوض المؤثر

تم استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لمعالجة وتحليل نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) بدقة تمييزية 30 متر، وذلك على النحو الموضح في شكل (2) والمشار إليه سلفاً، حيث تم تحديد اتجاهات الجريان في حوض التجميع، ومن ثم استخلاص حوض التجميع المؤثر على نقطة الخروج اتجاه السد ومن ثم الحصول على المساحة المؤثرة على السد.

خرائط التربة الرقمية

تم استخدام خريطة التربة الرقمية لمنطقة الدراسة بالاعتماد على خريطة التربة المنتجة بواسطة دراسة سابقة والتي قامت بها شركة سلكوزبروم الروسية سنة 1980 (وزارة الزراعة، 2006).



الشكل (2). نموذج الارتفاعات الرقمية لمنطقة الدراسة

(SCS, 1986) في تطبيق المعادلة أن تكون قيمة الهطول المطري ($P \geq 0.2S$)، ويقدر أقصى احتفاظ سطحي للمياه بالحوض من خلال العلاقة التالية:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4)$$

يتم الحصول على قيم منحني (CN) لحوض التجميع في منطقة الدراسة من خلال جداول خاصة (SCS, 1983)، وهو عبارة عن قيمة ليس لها أبعاد وتمثل التفاعل الذي يحدث بين الغطاء الأرضي ومجموعة الترب الهيدرولوجية، وتتراوح من 0 إلى 100، حيث تناسب طردياً مع الجريان السطحي، كما يتم حساب قيم المنحني الموزون من خلال العلاقة التالية:

$$CN_s = \frac{\sum (CN_i \times A_i)}{A} \quad (5)$$

حيث: CN_i تمثل رقم المنحني لكل صنف من الغطاء الأرضي نسبةً إلى مجموعات التربة الهيدرولوجية، وتمثل A_i المساحة التي يغطيها الغطاء الأرضي بالنسبة لمساحة التربة حسب مجموعات التربة الهيدرولوجية، حيث يتم تحديده من خلال برنامج (ArcGIS)، بينما A تمثل مجموع المساحة الكلية للحوض.

ويمكن حساب منحني الجريان السطحي المعدل (CN_{adj}) لتحديد رطوبة التربة المسبقة (AMC) في الحالتين الجافة والرطبة وذلك من خلال العلاقات التالية:

$$CNI = \frac{4.2 \times CN_{II}}{10 - 0.058 \times CN_{II}} \quad (6)$$

$$CNIII = \frac{24 \times CN_{II}}{10 + 0.13 \times CN_{II}} \quad (7)$$

حيث: تمثل CNI رقم منحني الجريان في حالة الرطوبة المسبقة الجافة، و تمثل $CNII$ رقم منحني الجريان في حالة الرطوبة المسبقة العادية (الموزون)، وتمثل $CNIII$ رقم منحني الجريان في حالة الرطوبة المسبقة الرطبة.

تقدير حجم الجريان السطحي (V)

يتم تقدير حجم الجريان السطحي (V) لحوض التجميع في منطقة الدراسة وذلك بالاعتماد على تقديرات عمق الجريان السطحي (Q) المحسوبة في المعادلة (1) واعتماداً على مساحة حوض التجميع التي تم الحصول عليها بواسطة عملية التحليل الهيدرولوجي في بيئة نظم المعلومات الجغرافية؛ بحيث يحسب حجم الجريان السطحي من خلال العلاقة التالية:

$$V = \frac{Q \times A}{1000} \times 10^6 \quad (8)$$

حيث: تمثل V حجم الجريان السطحي (مم³)، و Q عمق الجريان السطحي (مم)، و تمثل A مساحة حوض التجميع (كم²).

التحقق وتحديد العلاقة بين الجريان السطحي المقدر والجريان السطحي المقاس

للتحقق من موثوقية قيم الجريان السطحي المقدر بطريقة حفظ وصيانة التربة الأمريكية (SCS-CN) والجريان السطحي المقاس من خلال البيانات المسجلة من قبل إدارة السدود بوزارة الموارد المائية، تم استخدام عدة معايير احصائية والتي شملت كل من الجذر التربيعي لمتوسط الخطأ (RMSE) (معادلة 9)، حيث تمثل القيم المثالية لكل منهما الصفر حيث تتساوى عندها القيم المقاسة (الفعلية) مع القيم المتنبى بها (المقدرة)، وتأخذ كل منهما الوحدات المقدره بما الخاصية المراد تقديرها، ولاختيار دقة النموذج تم استخدام معامل ناش ساتكليف (NSE) (المعادلة 10) حيث أن القيمة المثالية له تساوي الواحد الصحيح، مما يعني أن النموذج له القدرة العالية على التنبؤ والتقدير. بالإضافة إلى ذلك، فقد استخدم أيضاً معامل التحديد (R^2) وهو مقياس جزء من التباين في المتغير التابع والذي يمكن تفسيره من خلال المتغير المستقل (المعادلة 13) وقيمته المثالية تساوي الواحد الصحيح، وكل تلك المعايير يتم حسابها من خلال العلاقات التالية:

حيث تم تفسير خريطة التربة المنتجة إلى طبقة تمثل نسيج التربة، ومن ثم تحويل طبقة نسيج التربة إلى طبقة مجموعة الترب الهيدرولوجية Hydrologic Soil Group ويرمز لها اختصاراً (HSG) اعتماداً على معدلات الرشح في التربة وفقاً لنموذج وزارة الزراعة الأمريكية (SCS-CN)، كما موضح بجدول (3).

جدول (3). أصناف الترب الهيدرولوجية حسب تصنيف نموذج (SCS-CN)

وصف نوع التربة	التربة الهيدرولوجية (HSG)
الترب الرملية أو الرملية الطميية أو الطميية الرملية	A
الترب السلتية الطميية أو الطميية	B
الترب الرملية الطينية الطميية	C
الترب الطينية الطميية او سلتية طينية طميية او رملية طميية او سلتية طينية او طينية	D

خريطة الغطاء الأرضي واستعمالات الأراضي (LULC)

تم استخدام مرئيات فضائية للقمر الصناعي Landsat 5 - 8 لانتاج خريطة رقمية للغطاء الأرضي (LULC)، وذلك من خلال استخدام أدوات التصنيف الموجه (Supervisor Classification) في بيئة نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS) لتحديد أنواع الغطاء الأرضي السائدة في منطقة الدراسة، بغية الحصول على قيم منحني الجريان السطحي (CN).

التحقق من دقة التصنيف

بعد إتمام عملية التصنيف غير الموجه المبدئي للغطاء الأرضي في منطقة الدراسة تم القيام بزيارة حقلية لمنطقة الدراسة، حيث تم في هذه المرحلة أخذ عدد 100 نقطة تدريب باستخدام تطبيق (Mapsme) وبرنامج تصميم وجمع الاستبيانات (KopoTool Box) لاستخدامها في عملية تقييم دقة التصنيف لسنة 2022، واختيرت هذه النقاط في مواقع متباعدة واصناف مختلفة من الاغطية الأرضية الموجودة في منطقة الدراسة، والتقطت لها بعض الصور الفوتوغرافية. فيما يتعلق بتقييم دقة التصنيف لسنة 2003 فقد تم استخدام برنامج (google earth pro) لأخذ عينات لاستخدامها في تقييم الدقة، حيث يتم تقييم الدقة للحالتين عن طريق استخدام النموذج الاحصائي كايا (Cohen's Kappa coefficient) بغرض حساب الدقة الكلية (Overall Accuracy) (حساب مجموع الخلايا Pixel) المصنفة بشكل صحيح على اجمالي عدد الخلايا الكلي؛ والتي يتم حسابها من خلال العلاقات التالية:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})} \quad (1)$$

حيث أن (r) تمثل عدد الصفوف، و (xii) تمثل عدد المشاهدات في الصف (i) والعمود (i)، بينما تعبر (x) و (i) عن الإجماليات الهامشية Marginal Totals للصف (i) والعمود (i) على التوالي، في حين تعبر (N) عن إجمالي عدد المشاهدات.

$$\frac{\text{مجموع الخلايا المصنفة بشكل صحيح}}{\text{اجمالي عدد الخلايا الكلي}} = \text{الكلية الدقة} \quad (2)$$

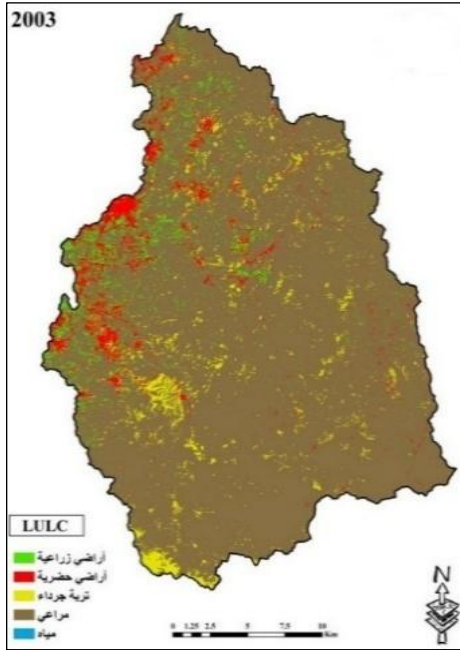
تقدير عمق الجريان السطحي (Q)

تم الاعتماد في هذه الدراسة على نموذج حفظ وصيانة التربة الأمريكية (SCS-CN) لتقدير عمق الجريان السطحي (Q) بحوض تجميع وادي غان والتي يقدر فيها عمق الجريان السطحي من خلال العلاقات التالية:

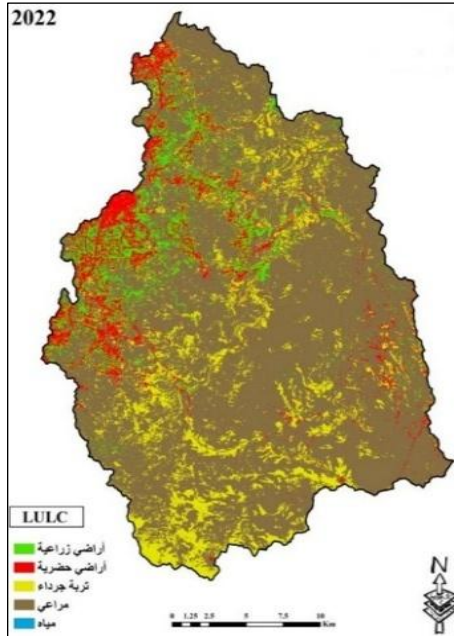
$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad (3)$$

حيث: تمثل Q عمق الجريان السطحي (مم)، و P تمثل عمق الهطول (مم)، و تمثل S أقصى تخزين سطحي للماء بعد حدوث العاصفة المطرية بالململيمتر، حيث تشتت وزارة الزراعة الأمريكية

وبناءً على ذلك، تم تصنيف خريطة LULC الخاصة بمنطقة الدراسة إلى خمسة فئات: الأراضي الزراعية، والمناطق الحضرية، والترب الجرداء، والمراعي إضافة للمياه كما موضح بشكل (4 و 5)، حيث أن منطقة الدراسة كانت في الغالب رعوية، تليها التربة الجرداء، والمناطق الحضرية، والزراعية، على التوالي.



الشكل (4). خريطة الغطاء الأرضي لسنة 2003.



الشكل (5). خريطة الغطاء الأرضي لسنة 2022.

تعتبر كل من الأراضي الرعوية والترب الجرداء هي الأكثر انتشاراً في منطقة الدراسة، حيث تمثل الأراضي الرعوية ما نسبته 89% بحوالي (573 كم²) لسنة 2003 و 74% بحوالي (478 كم²) لسنة 2022، والترب الجرداء تمثل 4% بحوالي (27 كم²) لسنة 2003 و بنسبة 13% بحوالي (81 كم²). في حين تغطي المناطق الحضرية مساحة 4% بحوالي (26 كم²) لسنة

الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (9)$$

معامل ناش ساتيكليف (NSE)

$$NSE = 1 - \left(\frac{F}{F_0} \right) \quad (10)$$

حيث يتم حساب قيمة (F) وقيمة (F₀) من خلال المعادلتين التاليتين:

$$F = \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \quad (11)$$

$$F_0 = \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2 \quad (12)$$

معامل التحديد (R²)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (13)$$

حيث: P تمثل القيم المتنبئ بها، و O تمثل القيم الفعلية او المقاسة، و \bar{O} تمثل متوسط القيم الفعلية.

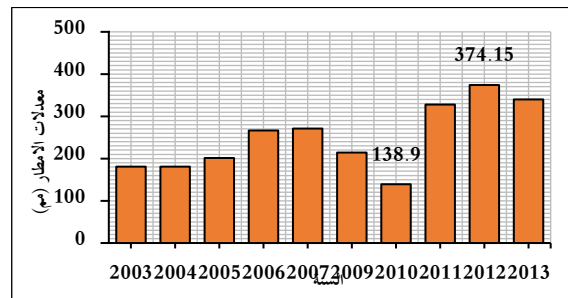
النتائج والمناقشة:

تحليل بيانات العواصف المطرية

تراوحت معدلات الأمطار في منطقة الدراسة بشكل عام ما بين 138.9 (مم/سنة) كحد أدنى و 374.1 (مم/سنة) كحد أقصى وذلك لسنوات 2010 و 2012 على التوالي كما هو موضح بشكل (3)؛ حيث تم تحديد متوسط عمق الهطول الكلي لحوض التجميع بمنطقة الدراسة، اعتماداً على المحطة المؤثرة على حوض التجميع بمنطقة الدراسة، والتي تمثلت في أعلى قيمة للعاصفة المطرية في كل سنة من سنوات الاختبار، كما هو موضح بجدول (1) والمشار إليه سلفاً، حيث بلغت معدلات عمق الهطول للعواصف المطرية المختارة في حدود (70.03، 47.21، 29.09، 2004، 2005، 2006، 2009، 2010، 2012، 2022)، على التوالي.

تصنيف الغطاء الأرضي لحوض التجميع بمنطقة الدراسة

تم اعتماد التصنيف الموجه (Supervisor Classification) وهو أحد طرائق التصنيف الرقمي للرميات الفضائية، حيث تم استخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS) في عملية التصنيف لمدينة لاندسات 5 و 8 بدقة مكانية 30 متر، لسنوات (2003 - 2022) لتتوافق مع بيانات الأمطار المتحصل عليها من (2003 - 2022)، وذلك للحصول على خريطة الغطاء الأرضي لمنطقة الدراسة، بما يتوافق مع التصنيف المقترح في طريقة حفظ التربة الأمريكية (SCS-CN).



الشكل (3) المعدلات السنوية لهطول الامطار لخطات منطقة الدراسة.

جدول (5). مصفوفة الدقة لخريطة الغطاء الارضي Landsat-8 لسنة (2022).

الصف	أراضي زراعية	أراضي حضرية	تربة جرداء	مراعي	مياه	مجموع الصفوف	دقة المستخدم
أراضي زراعية	16	4	0	2	0	22	72.7
أراضي حضرية	1	15	1	1	0	18	83.3
تربة جرداء	0	0	14	6	0	20	70
مراعي	0	0	1	18	1	20	90
مياه	0	3	0	4	13	20	65
مجموع الاعمدة	17	22	16	31	14	100	
دقة المنتج	94	68	87.5	58	92.8		
الدقة الكلية	%		76%	معامل كايا		0.70	

جدول (6). مصفوفة الدقة لخريطة الغطاء الارضي Landsat-5 لسنة (2003).

الصف	أراضي زراعية	أراضي حضرية	تربة جرداء	مراعي	مياه	مجموع الصفوف	دقة المستخدم
أراضي زراعية	17	1	1	6	0	25	68
أراضي حضرية	0	20	4	1	0	25	80
تربة جرداء	3	0	19	3	0	25	76
مراعي	1	0	3	21	0	25	84
مياه	0	0	3	1	21	25	84
مجموع الاعمدة	21	21	30	32	21	125	
دقة المنتج	81	95	63	65	100		
الدقة الكلية	%		78%	معامل كايا		0.73	

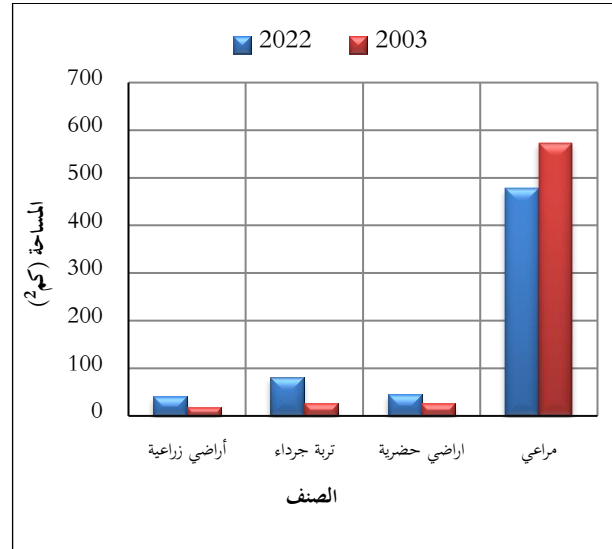
الترب الهيدرولوجية (HSG) لحوض التجميع بمنطقة الدراسة

تم الاعتماد على خريطة التربة المنتجة لمشروع التخریط الزراعي (2006) لاستنباط خريطة رقمية لتصنيف التربة السائد في المنطقة كما بشكل (A7)، وللحصول على خريطة مجموعة التربة الهيدرولوجية لمنطقة الدراسة (HSGs) تم دمج تصنيفات التربة السائدة في المنطقة لتوافق نموذج حفظ التربة الأمريكية (SCS)، وباستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية، تم تصنيف التربة هيدرولوجياً كما بشكل (B7). ومن خلال ما تقدم تبين أن منطقة الدراسة تحتوي على صنفين من التربة الهيدرولوجية، وهما الصنف (A وB)، حيث أن الصنف (A) الأكثر انتشاراً نسبياً بحوالي 58% والصنف (B) 42%، والذي يدل على أن معدلات الرشح بحسب التصنيف الهيدرولوجي تكون عالية إلى متوسطة التصريف كما بجدول (7).

2003 بينما كانت 7% بحوالي (45 كم²) والمتواجدة في الجزء الغربي من منطقة الدراسة. بينما تمثل المناطق الزراعية ما نسبته 3% بحوالي (19 كم²) لسنة 2003 و 6% بحوالي (41 كم²) لسنة 2022، على النحو الموضح بجدول (4)، كما يوضح شكل (6) التغير في مساحات استعمالات الأراضي لمنطقة الدراسة لكل من سنة 2003 و 2022؛ وفيما يتعلق بصنف المياه فقد تم إهمالها واستبعادها نظراً لقلتها تواجدها بمنطقة الدراسة.

جدول (4) أصناف الغطاء الارضي في منطقة الدراسة.

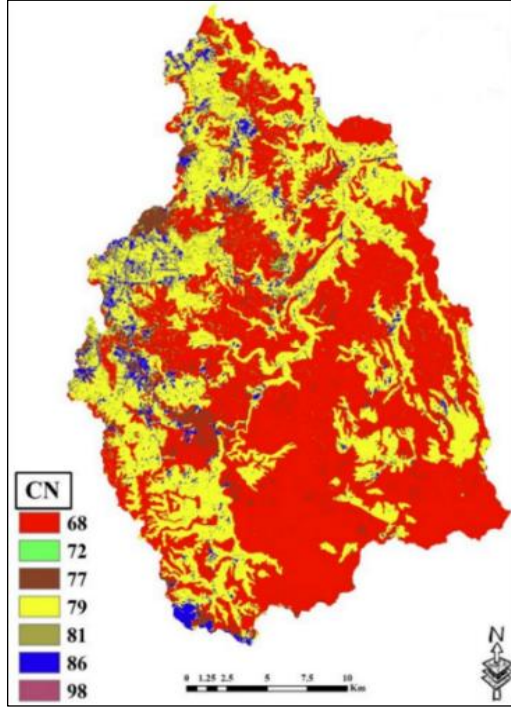
الصف	السنة			
	2022		2003	
	المساحة (كم ²)	%	المساحة (كم ²)	%
أراضي زراعية	19	3%	41	6%
تربة جرداء	27	4%	81	13%
أراضي حضرية	26	4%	45	7%
مراعي	573	89%	478	74%



الشكل (6) التغير في مساحات استعمالات الأراضي لمنطقة الدراسة.

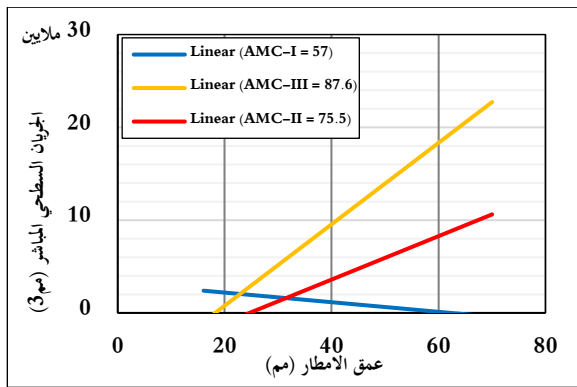
يوضح جدول (5) و (6) مصفوفة الخطأ ونتائج تقييم الدقة للمربعات المصنفة لكل فترة الدراسة ولاستخراج دقة تصنيف الغطاء الأرضي لمنطقة الدراسة تم اختيار عدد 100 عينة عشوائية للأصناف المختلفة لسنة 2022، وإيضاً 125 عينة عشوائية لأصناف الغطاء الأرضي لسنة 2003. بلغ عدد العينات العشوائية التي صنفت بشكل صحيح (76) عينه من مجموع العينات العشوائية الكلي لمصفوفة الخطأ (100) الخاصة بسنة 2022، وكانت 98 من أصل 125 عينة لسنة 2003. كما تم الحصول على دقة كلية قدرها 76% ومعامل كايا 70% من تقييم الدقة لسنة 2022. وفيما يتعلق بدقة المنتج، كانت جميع الأصناف باستثناء المراعي و الأراضي الحضرية تزيد عن 80%، بينما كانت جميع الفئات في دقة المستخدم تتجاوز 70% باستثناء الأراضي الزراعية حيث كانت 65% لسنة 2022 كما هو موضح بجدول (4)، بينما كانت الدقة الكلية ومعامل كايا 78% و 73% على التوالي لسنة 2003، أما دقة المنتج فتراوحت ما بين 63% إلى 100% كل من التربة الجرداء والمياه على التوالي، بينما تراوحت دقة المستخدم من 86% للأراضي لزراعية إلى 84 لكل من المراعي و المياه وهذه المعايير تدل على أن التصنيف يمكن الاعتماد عليه والاستمرار في عملية استخدامه كأحد العناصر المدخلة في نموذج حفظ التربة (SCS-CN).

8.22	53.01	3.25	86	B	
2.23	14.42	7.01	77	A	أراضي
3.32	21.40	7.07	86	B	حضرية
0.028	0.186	0.02	98	B	مياه
100	644.5	75.5			المجموع

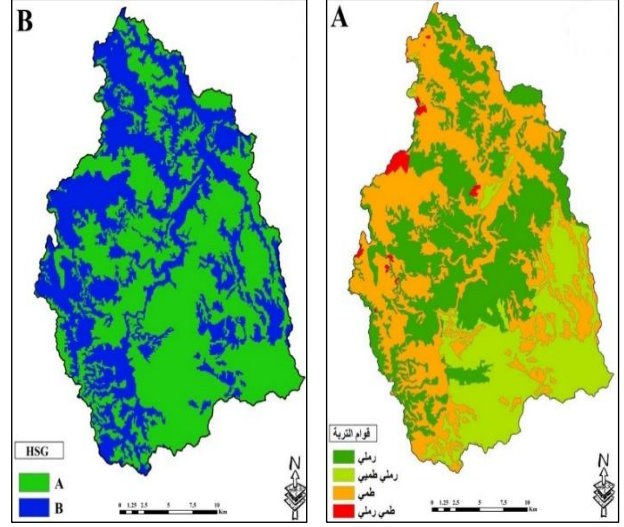


شكل (8). خريطة منحنى الجريان (CN) لمنطقة الدراسة.

تم حساب رقم المنحنى الموزون (CN_w) بالنسبة للمساحة وذلك لمنطقة الدراسة، وكان 75.5 في الحالة الاعتيادية لرطوبة التربة، ومن خلاله تم تقدير باقي حالات رطوبة التربة، حيث تم تقدير رقم منحنى الجريان (CN_{adj}) المعدل حسب حالة الرطوبة المسبقة للتربة وكانت القيم 57، و 87.6 لكل من الظروف الجافة والرطبة علي التوالي كما في شكل (9)، حيث تم استخدام الحالات الثلاثة المسبقة لرطوبة التربة في النموذج لكل عاصفة مطرية ملائمة علاقة الخط المستقيم بين الجريان المتحصل عليه من نموذج منحنى الجريان السطحي (SCS) مع مايقابله من الجريان المقاس.



شكل (9). الحالات المسبقة لرطوبة التربة مقارنة مع عمق الأمطار.



شكل (7). A. توزيع قوام التربة، B. توزيع التربة الهيدرولوجية بمنطقة الدراسة.

جدول (7). الصنف الهيدرولوجي لقوام التربة السائد في منطقة الدراسة.

حجم الجريان	التصنيف الهيدرولوجي	القوام
ضعيف	A	رملية
ضعيف	A	رملية طميية
متوسط	B	طميية
متوسط	B	طميية رملية

منحنى الجريان الرقمي CN

من خلال استخدام نموذج حفظ التربة (SCS) علي كلتا السنتين تم الحصول على أرقام منحنى جريان (CN) متقاربة تقريباً، يرجع ذلك إلى أنه ليس هناك تغيرات بشكل كبير في الغطاء الأرضي بين 2003-2022 الذي بدوره يلعب دوراً مهماً في عملية الجريان السطحي. لذلك تم استخدام رقم منحنى الجريان السطحي المتحصل عليه من سنة 2022 وتطبيقه على جميع العواصف المطرية المختارة في هذه الدراسة. ويوضح جدول (8) قيم منحنى الجريان (CN) المتحصل عليها من خلال نموذج حفظ التربة الأمريكية (SCS) لمنطقة الدراسة، حيث كانت أعلى قيمة 86 لكل من الصنف B مع التربة الجرداء والصنف B مع الأراضي الحضرية، وكانت أقل قيمة 68 للصنف A مع أراضي المراعي، ويرجع هذا الاختلاف في تنوع الغطاء الأرضي واختلاف قوام التربة ونسيجها، بينما كانت أعلى قيمة انتشاراً من حيث المساحة في منطقة الدراسة (68) لأراضي المراعي المقابلة للصنف A بمساحة 281.16 كم² ونسبة مئوية كانت 43.62%، أما أقل قيمة انتشاراً فكانت 72 لصنف الأراضي الزراعية المقابلة للصنف A أيضاً وبمساحة 20.62 كم² ونسبة مئوية كانت 3.20% من إجمالي منطقة الدراسة الكلية كما يشكّل (8).

جدول (8). قيم منحنى الجريان السطحي (CN).

النسبة %	المساحة (كم ²)	CN_w	CN	HSG	LULC
43.62	281.16	29.66	68	A	أراضي مراعي
23.93	154.27	18.91	79	B	أراضي زراعية
3.20	20.62	2.30	72	A	
6.31	40.69	5.11	81	B	تربة جرداء
9.10	58.69	2.19	77	A	

تقدير الجريان السطحي

تم حساب عمق الجريان السطحي حسب الظروف المسبقة للتربة لكل عاصفة مطرية، حيث تراوح عمق الجريان السطحي من 0.39 مم للعاصفة المطرية لسنة 2003 إلى 15.05 مم للعاصفة المطرية لسنة 2022، أيضا تراوح حجم الجريان السطحي من 253880 م³ للعاصفة المختارة لسنة 2003 إلى 9.7 مليون م³ للعاصفة المختارة لسنة 2022 كما في جدول (9) وشكل (9)، حيث يبين أيضا قيم رقم منحنى الجريان المعدل (CN_{Adj}) المتحصل عليهما من خلال المعدلتين (6) و (7) لكل من الحالة الجافة والرطبة على التوالي، وتلعب الرطوبة المسبقة للتربة دورا مهما في تقدير الحجم الصحيح للجريان السطحي، حيث أن على سبيل المثال أعلى عاصفة مطرية مقدارها 70 مم تولد عنها حجم جريان سطحي بمقدار 2.9 مليون م³ في الحالة الجافة، في حين أن العاصفة المطرية الأقل والتي تساوي ما يقارب 60 مم تولد عنها أكبر جريان سطحي في منطقة الدراسة والذي كان في حدود 9.7 مليون م³ وذلك في الحالة الرطبة، وبناءً على ذلك فإن هذه النتائج تشير إلى أهمية الرطوبة المسبقة للتربة، حيث أن في الحالة الأولى (الجافة) معظم مياه الأمطار تحولت إلى الرشح في التربة، أما الحالة الثانية (الرطبة) كانت التربة مشبعة بالماء ولا سبيل للمياه إلا للجريان إلى المصب أو بحيرة السد، كما أن الشرط لتوليد جريان في الحالة الجافة يجب أن يكون عمق الأمطار أكبر من أو يساوي 38.32 مم، بينما في الحالة الرطبة يجب أن يكون عمق الأمطار أكبر من أو يساوي 7.19 مم، أما الحالة الاعتيادية فيجب أن يكون عمق الأمطار أكبر من أو يساوي 16.48 مم كما موضح بجدول (9) وهي تمثل كمية الاستخلاص الأولي (Ia) كما هو موضح بجدول (10).

تجدر الإشارة هنا أن هذه النتائج وافقت قيم الجريان المسجلة والمقاسة؛ كما يتضح من النتائج المتحصل عليها أن الجريان المقدر يفوق الجريان المقاس بنسبة 1%، وأيضا أن مجموع العمق الكلي للأمطار يساوي (319.6)، ومجموع العمق الكلي للجريان المقدر حوالي (39.5) حيث أن نسبة مجموع الجريان المقدر في منطقة الدراسة ولجميع العواصف المطرية تمثل حوالي 12% من مجموع الأمطار الكلية.

جدول (9). شروط توليد الجريان السطحي بالنسبة لحالات الرطوبة المسبقة للتربة.

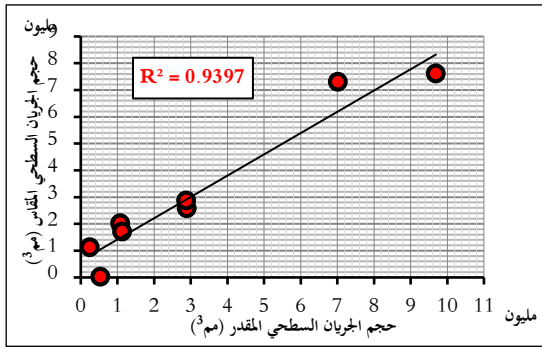
P ≥ 0.2S	S	CN _{Adj}	AMC
38.32	191.6	57	I
16.48	82.42	75.5	II
7.19	35.95	87.6	III

جدول (10). المتغيرات الهيدرولوجية المؤثرة في الجريان السطحي.

السنة	اليوم	الامطار (مم)	Ia	عمق الجريان (Q)	حجم الجريان المقدر (مم ³)	حجم الجريان المقاس (مم ³)
2003	1/27/2003	47.21	38.32	0.39	253880	1127793
2004	3/200403/0	70.03	38.32	4.50	2901361	2580242
2005	10/28/2005	29.09	16.48	1.67	1077609	2017580
2006	1/200602/0	33.16	7.19	10.89	7019009	7299363
2009	9/200909/0	26.02	38.32	0.84	544023	30250
2010	1/16/2010	16.06	7.19	1.75	1131027	1710500
2012	3/11/2012	38.06	16.48	4.48	2884680	2864352
2022	11/28/2022	60	16.48	15.04	9690324	7615015

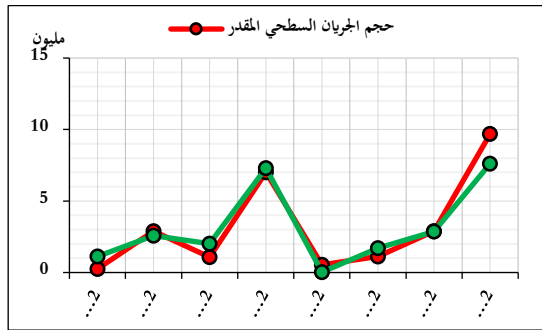
عملية التحقق من النتائج

تمت عملية التحقق بما تم الحصول عليه من بيانات، وتم وضع معايير احصائية معينة للوصول إلى مدى فعالية النموذج وبيانات الاستشعار عن بعد في تقدير حجم الجريان السطحي لمنطقة الدراسة، حيث كشفت عملية التحقق بين حجم الجريان السطحي المقدر وحجم الجريان السطحي المقاس، باستخدام طريقة رقم منحنى حفظ التربة (SCS-CN)، عن أداء واعد بمؤشرات احصائية مقنعة، حيث أشارت قيمة R² البالغة 0.94 كما في شكل (10) إلى وجود درجة كبيرة من الارتباط الخطي بين حجم الجريان السطحي المقدر والمقاس، مما يعكس قدرة النموذج على تفسير جزء كبير من التباين في البيانات، ويؤكد هذا الارتباط القوي على موثوقية طريقة SCS-CN في تقدير حجم الجريان السطحي. بالإضافة إلى ذلك، يشير الجدر التريبي المتوسط مربع الخطأ (RMSE) البالغ 917619.42 م³ تقريبا إلى متوسط حجم التباين بين القيم المقدر والمقاسة، مما يؤكد دقة تنبؤات النموذج. ويعزز معامل ناش (NSE)، الذي بلغ 0.917 جودة النموذج من خلال قياس قدرته على تكرار التباين الموجود في البيانات المرصودة، وتدل النتائج على أن مجموع تدفقات العواصف المطرية قيد الدراسة أنتجت ما يقارب 25.5 مليون م³ من حجم الجريان السطحي المقدر، بينما كان مجموع حجم الجريان المقاس حوالي 25.2 مليون م³ بحيث كانت اقل من حجم الجريان السطحي المقدر بحوالي 1%.



شكل (10). مقارنة بين حجم الجريان السطحي المقدر وحجم الجريان السطحي المقاس.

وبالنظر إلى شكل (11) الذي يوضح نمط المحاكاة بين بيانات حجم الجريان المقاسة والمقدرة، حيث تُظهر مقاييس الأداء بشكل جماعي فعالية ودقة طريقة SCS-CN في تطبيقات النمذجة الهيدرولوجية، مما يوفر رؤى قيمة لإدارة الموارد المائية ومساعي التخطيط المائي.



شكل (11). النمط العام بين حجم الجريان السطحي المقاس والمقدر.

الخلاصة

يعد تقدير حجم الجريان السطحي أمراً بالغ الأهمية لإدارة الموارد المائية والتخطيط البيئي، وإحدى الطرق البارزة هي طريقة رقم منحنى الجريان (SCS-CN). هدفت هذه الدراسة إلى تقدير حجم الجريان السطحي في مستجمع مياه وادي غان باستخدام طريقة SCS-CN

المراجع:

أبوالمشويش، نادية. (2003). التحليل الجيومورفولوجي لحوض وادي المينين (دراسة في أشكال سطح الأرض). رسالة ماجستير، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة السابغ من ابريل، سرت، ليبيا.

موقع وكالة الفضاء الأمريكية ناسا باور. (<https://power.larc.nasa.gov>).

Deshmukh, Dhananjay; Chaube, U.C. Hailu, Ambaye; Gudeta, Dida. Kassa, Melaku. (2013). Estimation and comparison of curve numbers based on dynamic land use land cover change, observed rainfall-runoff data and land slope [Internet]. Vol. 492, Journal of Hydrology. Elsevier B.V 89-101 p. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.04.001>.

Zade, M; Ray, Shibendu; Dutta, Subashisa; Panigrahy, S. (2005). Analysis of runoff pattern for all major basins of India derived using remote sensing data. Curr Sci. 88(8):1301-1305. <https://www.researchgate.net/publication/262260982>

Shadeed, Sameer; Almasri, Mohammad. (2010). Application of GIS-based SCS-CN method in West Bank catchments, Palestine. Water Sci Eng [Internet]. 3(1):1-13. <http://dx.doi.org/10.3882/j.issn.16742370.2010.01.01>

Tirkey, Anamika; Pandey, Arvind; Nathawat, Mahendra. (2014). Use of high-resolution satellite data, GIS and NRCS-CN technique for the estimation of rainfall-induced run-off in small catchment of Jharkhand India. Geocarto Int. 29(7): 778-91. <http://dx.doi.org/10.1080/10106049.2013.841773>

Huang, Mingbin; Gallichand, Jacques; Wang, Zhanli; Goule, Moniques. (2016). A modification to the Soil Conservation Service curve number method for steep slopes in the Loess Plateau of China. Hydrol Process. 20(3): 579-89. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.5925>

Shi, Wenhai; Huang, Minghin; Gongadze, Ekaterina; Wu, Lianhai. (2017). A Modified SCS-CN Method Incorporating Storm Duration and Antecedent Soil Moisture Estimation for Runoff Prediction. 31(8):1-15. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-017-1610-0>

Fisher, Peter; Comber, Alexis; Wadsworth, Richard. (2005). Land use and Land cover : Contradiction or Complement Centre for Ecology and Hydrology. Representing GIS. 85(1):95. <https://www.researchgate.net/publication/266327181>

National Engineering Handbook Chapter 7 Hydrologic Soil Groups. (2009). <https://directives.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2/17/12930597/11905.pdf>

Cheng, Qiuming; Ko, Cheng; Yuan, Yinhuan; Ge, Yong;

التكاملة مع نظم المعلومات الجغرافية (GIS). توفر هذه الطريقة إطارًا تحليليًا يسهل تقدير الجريان السطحي باستخدام مزيج من المتغيرات البيئية والمناخية والطبوغرافية، ويعتمد البحث على معالجة البيانات في نظم المعلومات الجغرافية، بما في ذلك مساحة المستجمع المائي، وبيانات الأمطار، قوام التربة، والغطاء الأرضي، والتضاريس، لتحقيق أقصى قدر من الدقة. وتسعى الدراسة إلى الحصول على رؤى أعمق حول التفاعلات بين التربة والمياه والتضاريس في تشكيل الجريان السطحي، وبالتالي توجيه سياسات إدارة الموارد المائية والتخطيط البيئي بشكل أكثر فعالية، حيث توفر نتائج هذا البحث إطار أكثر دقة وكفاءة لتقدير حجم الجريان السطحي، وبالتالي المساهمة في تحسين الاستدامة المائية والتنمية المستدامة في مستجمع مياه وادي غان والمناطق المماثلة. أظهرت النتائج من خلال إجراء التصنيف المراقب لمنطقة الدراسة للمرتبات الفضائية (2003 و 2022) أنه لا يوجد تغيرات كبيرة في الغطاء الأرضي بالمنطقة. كما أظهرت النتائج أن التربة الهيدرولوجية السائدة في المنطقة هي المجموعتين (A و B). وتشير البيانات إلى وجود تغير طفيف في قيم منحنى الجريان (CN) خلال السنوات المدروسة من 2003 إلى 2022، مما يدل على وجود اتساق في الغطاء الأرضي وتكوين التربة داخل منطقة الدراسة خلال هذه الفترة. ويوضح التحليل فعالية نموذج منحنى الجريان (SCS-CN) في تقدير حجم الجريان السطحي. وبين البحث متى يتم توليد الجريان السطحي بناء على الرطوبة المسبقة، حيث ان ليتم توليد جريان سطحي بمستجمع وادي غان يجب ان يكون عمق الامطار 38.3 مم، و 16.48 مم، و 7.19 مم لكل من الثلاثة حالات للتربة (الجافة، والاعتيادية، والرطبة) علي التوالي وهذه القيم في غاية الاهمية لمراقبة المنطقة والتحرك قبل حدوث الفيضانات، ويشير معامل التحديد (R^2) وقيم كفاءة ناش ساتكليف (NSE) إلى قدرة النموذج على تفسير البيانات بشكل جيد. ومن تأثير ظروف رطوبة التربة على قيم CN تكشف الدراسة أن قيم CN تتأثر بشكل كبير بظروف رطوبة التربة التي تسبق هطول الأمطار، وهذا يؤكد أهمية مراقبة ظروف رطوبة التربة والتنبؤ بها لفهم وتقدير آثار الجريان السطحي. وتوصي هذه الدراسة بالاتي:

1. تحسين استخدام الأراضي والتخطيط الحضري بناءً على النتائج المقدمة، ويمكن تحقيق ذلك من خلال تنفيذ استراتيجيات التنمية المستدامة وممارسات إدارة الأراضي التي تعتمد على الفهم الدقيق لقيم CN المقدرة.
 2. توجيه الجهود البيئية والزراعية نحو المناطق التي تظهر قيمًا أعلى من ارقام منحنى الجريان السطحي (CN)، وبالتالي يمكن اتخاذ تدابير مثل التشجير، وحصاد المياه، والسيطرة على تدهور وأنجراف التربة لتخفيف من الآثار السلبية للجريان السطحي.
 3. تعزيز القدرات على التنبؤ بالظروف البيئية التي تسبق هطول الأمطار، بما في ذلك رصد وتقييم رطوبة التربة، ويمكن تحقيق ذلك من خلال العمل الحقل، واستخدام تقنيات التحليل الهيدرولوجي المتقدمة وتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية (GIS).
 4. دعم جهود البحث والتطوير في تحسين النماذج الهيدرولوجية والأساليب التحليلية لتعزيز دقة التنبؤ بجريان المياه السطحية، حيث يمكن أن يساهم ذلك في تحسين فعالية إدارة الموارد المائية والتخطيط للمخاطر المتعلقة بالمياه.
- تعكس هذه التوصيات النتائج المستخلصة من الدراسة والتي تهدف إلى دعم التدابير والاستراتيجيات اللازمة لتحسين إدارة الموارد المائية والتنمية المستدامة في منطقة الدراسة.

الشكر وتقدير

يشكر الباحثين السادة المحترمين في إدارة السدود بوزارة الموارد المائية على تعاونهم ومدنا بالبيانات اللازمة لهذه الدراسة.

- ResJ Earth Sci. 2(5):2321-527.
<https://www.researchgate.net/publication/329238638>
- USDA - TR55. (1986). Urban Hydrology for Small Watershed, Department of Agriculture. USA.
<https://www.nrc.gov/docs/ML1421/ML14219A437.pdf>
- Topno, Anubha; Singh, Ajai; Vaishya, Rakesh. (2015). SCS CN Runoff Estimation for Vindhyaachal Region using Remote Sensing and GIS. International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS. 4(1): 1214-1223. <http://dx.doi.org/10.23953/cloud.ijarsg.108>
- Liu, Xianzhao; Li, Jiazhu. (2008). Application of SCS Model in Estimation of Runoff from Small Watershed in Loess Plateau of China. Chinese Geographical Science. 18(3): 235-241.
<https://doi.org/10.1007/s11769-008-0235x>
- Zhang, Shengyuan. (2006). GIS modeling for predicting river runoff volume in ungauged drainages in the Greater Toronto Area, Canada. Comput Geosci. 32(8): 1108 – 1119.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2006.02.005>
- Zhan, Xiaoyong; Huang, Min-Lang. (2004). Arc CN-Runoff: An ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps. Environ Model Softw. 19(10): 875 – 9. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(04\)00084-2](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(04)00084-2)
- Geena, GB, Ballukraya PN. (2011). Estimation of runoff for Red hills watershed using SCS method and GIS. 4(8): 899–902.
<http://dx.doi.org/10.17485/ijst/2011/v4i8/30891>
- Gitika, Thakuria; Ranjan, Saikia. (2014) Estimation of Surface Runoff Using NRCS Curve number procedure in Buriganga Watershed, Assam, India -A Geospatial Approach. Int Res J Earth Sci ISSN Int