

النمذجة الهيدرولوجية في المناطق الجافة بإستخدام

التقنيات المكانية: دراسة مرجعية

د. علي بن محمد حسين الشاعري

قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة والعمارة الإسلامية،

جامعة أم القرى، العابدية، مكة المكرمة،

المملكة العربية السعودية.

amshaery@uqu.edu.sa

تاريخ استلام البحث: ٢٠١٧/٤/١١

تاريخ قبول البحث: ٢٠١٧ / ٦ / ٢

HYDROLOGICAL MODELLING IN ARID REGION USING SPATIAL TECHNIQUES: A REVIEW

Dr. Ali M. Alshaery

Civil Engineering Department, College of
Engineering and Islamic Architecture, Umm
.Al-Qura University, Makkah, Saudi Arabia
amshaery@uqu.edu.sa

النمذجة الهيدرولوجية في المناطق الجافة باستخدام التقنيات المكانية: دراسة مرجعية

د. علي بن محمد حسين الشاعري
قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة والعمارة
الاسلامية، جامعة أم القرى، العابدية، مكة المكرمة،
المملكة العربية السعودية.
amshaery@uqu.edu.sa

Abstract

A wide range of literature, which is related to hydrological modelling in arid regions, including the use of Geographic information System and Remote Sensing technology on hydrological modelling and watershed models, has been reviewed in this study. Digital elevation model data, land-use/cover data, soil data, and rainfall data, were discussed in detail regarding their role in hydrological modelling applications. This study discussed the use of the Soil and Water Assessment Tool (SWAT), the Kinematic Runoff and Erosion Model (Kineros2), the Identification of unit Hydrograph and Component flows from Rainfall, Evaporation and Streamflow (IHACRES) model, The Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modelling System (HEC-HMS), and The runoff curve number (RCN). Those techniques with spatial perspective are examples of hydrological models that have been successfully implemented in arid regions. Arid areas require more attention from researchers in order to overcome obstacles that were identified in this study in hydrological modelling. For example, they should consider new methods for determining spatial rainfall and infiltration from transient flows that come from flash floods. In arid areas, RS data can be used for simulating the event instead of using gauged data. The observational data can also be improved by creating multiple measurement stations in affected areas.

Keywords: Spatial Techniques, Geographic Information System, Hydrological Modelling, Arid Region, and Remote Sensing.

المخلص:

تستعرض هذه الدراسة مجموعة واسعة من المؤلفات والدراسات والأبحاث التي تم نشرها وتعلق بالنمذجة الهيدرولوجية في المناطق الجغرافية الجافة، بما في ذلك الأبحاث التي استخدمت نظم المعلومات الجغرافية وتقنية الاستشعار عن بعد كتقنيات مكانية، لبناء وتطوير نماذج هيدرولوجية ونماذج مستجمعات المياه. ناقشت هذه الدراسة المرجعية (Review Article) أهمية استخدام نماذج الأرتفاعات الرقمية، وبيانات استخدام الأراضي، وبيانات التربة، وبيانات هطول الأمطار، وذلك بهدف تحديد دورها في تطبيقات وتطوير النمذجة الهيدرولوجية لأي منطقة جغرافية. كما تم التركيز على مجموعة من النماذج الهيدرولوجية التي استخدمت وطبقت على مجموعة من أراضي المناطق الجافة وأثبتت هذه النماذج نجاحاً كبيراً ومنها: أداة تقييم التربة والمياه (SWAT) ونموذج حركة الجريان السطحي والتعرية (Kineros2)، ونموذج تحديد خرائط مستويات المياه ومكونات التدفق والتبخر لمياه الأمطار (IHACRES)، ونظام الهيدرولوجية وهندسة النمذجة الهيدرولوجية (HEC-HMS). وقد تم اختيار منحني الجريان السطحي (RCN) وعرضه بشكل مفصل كأحد أشهر الأساليب التي تستخدم في النماذج الهيدرولوجية المعتمدة على نظم المعلومات الجغرافية. تتطلب المناطق الجغرافية الجافة حول العالم مزيداً من اهتمام الباحثين للتغلب على عقبات النمذجة الهيدرولوجية في تلك المناطق والتي تم تحديد بعضها في هذه المقالة الاستعراضية ومنها البحث عن أساليب وأدوات تحديد مكانية للأمطار وللتسرب الذي يحدث من التدفقات العابرة للفيضانات في المناطق الجافة وكيف يمكن الاستفادة من بيانات الاستشعار عن بعد والتي يمكن استخدامها لمحاكاة الحدث بدلاً من استخدام بيانات القياس في الميدان، وكذلك تحسين بيانات الرصد من خلال إنشاء محطات قياس متعددة في المناطق المتأثرة.

الكلمات المفتاحية: التقنيات المكانية، نظم المعلومات الجغرافية، النمذجة الهيدرولوجية، المناطق الجافة، الاستشعار عن بعد.

المقدمة

الطلب المتزايد للمياه والاستنزاف التي تتعرض له موارد المياه الطبيعية فضلا عن القضايا البيئية الحالية والمستقبلية المتوقعة، شكلت مصدر قلق متزايد، أدى إلى ظهور كثير من التكهانات والتساؤلات حول الأسباب، من أجل المساعدة في بناء معرفة تزيد من الفهم الصحيح للعمليات الطبيعية المؤدية إلى ذلك. وقد تم تطوير عدة نماذج لمحاكاة النظم الهيدرولوجية ابتداءً من هطول الأمطار وحتى تدفقها عبر المجاري المائية (Beven, 2001). وقد لعب التقدم السريع في تكنولوجيا الحاسوب، ومنها نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد (RS) دوراً أساسياً في تطوير هذه النماذج الهيدرولوجية (Wilson et al. 2000)، وقد حسنت تقنية الاستشعار عن بعد بالتحديد من توفير البيانات المكانية اللازمة لاستخدام نظم المعلومات الجغرافية والتي تعتبر أداة قوية تعالج عدة أنواع من البيانات وتربطها بواقعها الحقيقي المكاني. ولديها القدرة على إظهارها وعرضها بطرق أفضل وأقرب للواقع للمساعدة في صناعة القرار السليم.

أجريت العديد من الدراسات بهدف تحليل ونمذجة النظم الهيدرولوجية (Wheater et al., 2008) وقد قدمت معظم هذه الدراسات نماذج هيدرولوجية، تم تصنيفها وفقاً لدرجة تعقيدها، ووفرة البيانات، ومتطلبات المستخدم. وهناك العديد من الدراسات قامت من أجل استكشاف العلاقة بين النماذج الهيدرولوجية والتكنولوجيا المتقدمة، مثل نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد ومن أشهرها دراسة أوغدن (Ogden 2001)، التي تعتبر واحدة من أكثر الدراسات شمولاً في هذا المجال لتقديمها وصفاً مفصلاً للنماذج الهيدرولوجية وتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية الخاصة بتحليل خطوط تقسيم المياه والنماذج الهيدرولوجية. كما قدمت كايث وآخرون (Kite and PIETRONIRO al., 1996) دراسة حول تطبيقات الاستشعار عن بعد في النمذجة الهيدرولوجية. غير أن معظم هذه الدراسات قد طورت عدة نماذج ذات كفاءة تناسب البيئات الرطبة فقط (Pilgrim et al., 1988). ونظراً للظروف المناخية والطبيعية القاسية للمناطق الجافة، فلم تجرى إلا القليل من الدراسات حول هذا الموضوع (Wheater et al., 2008). على سبيل

المثال، فقد استخدم الطرباق (Al-Turbak, 1996) نموذجاً جيومناخياً وقام بتطبيقها على ثلاثة مستجمعات مائية (Catchments) لمناطق جافة في المملكة العربية السعودية لحساب كثافة هطول الأمطار. وقد أجريت دراسة أخرى في سلطنة عمان من قبل (Al-Qurashi, 2008)، الذي طبق نموذج لتوزيع الامطار وجريان المياه لتوقع خرائط ومناطق مستجمعات المياه.

تستعرض هذه الدراسة مجموعة واسعة من المؤلفات التي تتعلق بالنمذجة الهيدرولوجية في المناطق الجافة وتشمل استخدام نظم المعلومات الجغرافية وتقنية الاستشعار عن بعد لأغراض النمذجة الهيدرولوجية ونماذج مستجمعات المياه. كما تناقش أهمية استخدام مجموعة من البيانات الرقمية، مثل نموذج بيانات الارتفاع الرقمي (Digital Elevation Model)، وبيانات استخدام الأراضي وبيانات التربة، وبيانات هطول الأمطار، مع شرح مفصل لدورها في تطبيقات النمذجة الهيدرولوجية. كما ستركز الدراسة على مجموعة من أشهر النماذج الهيدرولوجية التي طبقت بنجاح في دراسات المناطق الجافة، ومنها: أداة تقييم التربة والمياه (SWAT) و نموذج حركة الجريان السطحي والتعرية (Kineros2)، ونموذج تحديد خرائط مستويات المياه ومكونات التدفق والتبخر لمياه الأمطار (IHACRES) ونظام النمذجة والهندسة الهيدرولوجية (HEC-HMS)، ومنحنى الجريان السطحي (RCN) وسيتم شرح هذه النماذج بالتفصيل كمثال على الأساليب التي تستخدم في النماذج الهيدرولوجية القائمة على التقنيات والبيانات المكانية مع ايجاد السبل التي يمكن التركيز عليها للإسهام في ايجاد طرق واساليب جديدة للنمذجة الهيدرولوجية في المناطق الجافة.

منطقة الدراسة:

تعتبر المناطق غير المدارية أكثر المناطق جفافاً في العالم بأسره، كما هو مبين في الشكل ١. الجدير بالذكر أن العلاقة بين هطول الأمطار ومرجعية طلب المياه هي أساس تحديد درجة الجفاف، ويمكن استخدامها لتقسيم المناطق الجافة إلى عدة فئات فرعية (De Pauw et al., 2000). ومن هذا المنطلق تم التركيز على هذه المنطقة من العالم وتركيز هذه الدراسة لمراجعة واستعراض الدراسات السابقة

ومختلفة للبحث. ومن هذه الكلمات النمذجة الهيدرولوجية، النماذج المكانية الهيدرولوجية، نظم المعلومات الجغرافية للنمذجة الهيدرولوجية، مستجمعات المياه والنمذجة، الاستشعار عن بعد وهطول الأمطار، العوامل المناخية لأغراض النمذجة المكانية الهيدرولوجية، التربة والجريان السطحي، الرطوبة والجريان السطحي، التعرية وجريان المياه والنمذجة الهيدرولوجية في المناطق الجغرافية والتقنيات المكانية، نظم المعلومات الجغرافية، النمذجة الهيدرولوجية الهندسية، المناطق الجافة ومستجمعات المياه، بيانات الاستشعار عن بعد لاستخراج مستجمعات المياه والمجاري المائية.

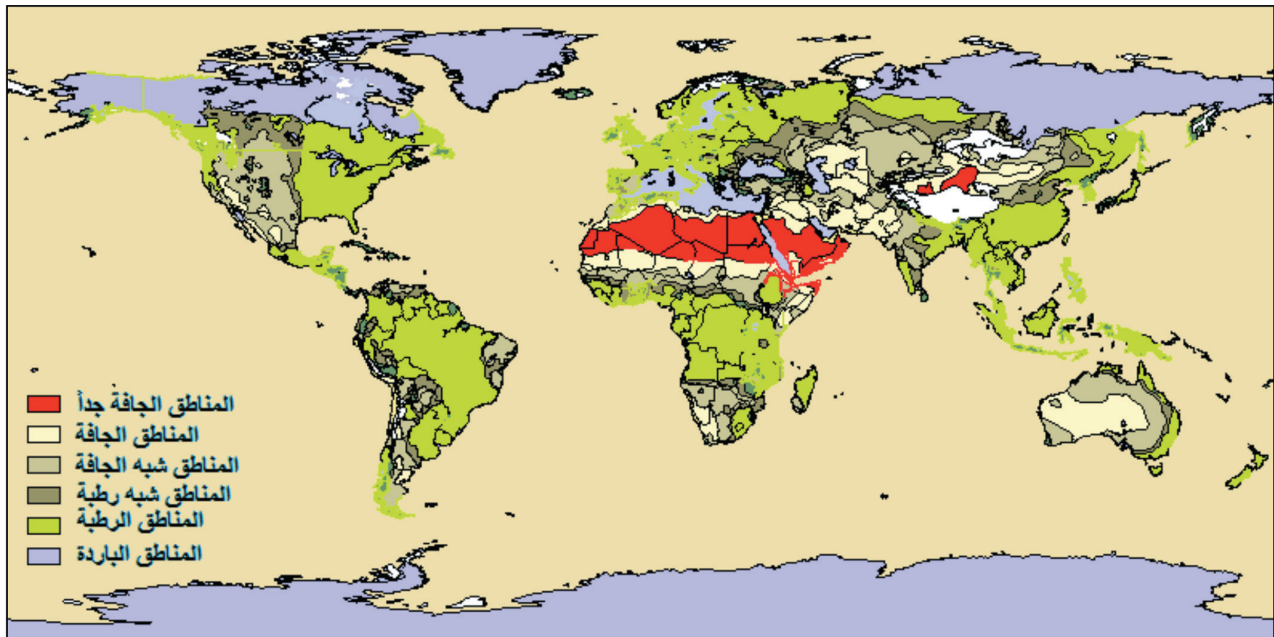
نتائج الدراسات السابقة والمناقشة:

استخدام النماذج الهيدرولوجية تقوم النماذج الهيدرولوجية على أساس رياضي ويمكن تعريفها بأنها تمثيل مفاهيمي للنظام الهيدرولوجي على الطبيعة (KITE and PIETRONIRO, 1996). ويتمثل الاستخدام الرئيس للنماذج الهيدرولوجية في محاكاة النظام الهيدرولوجي الطبيعي من لحظة هطول الأمطار وحتى الوصول للمجاري المائية لغرض التنبؤ وفهم العملية الهيدرولوجية (Reedet al., 2007). وهناك أنواع مختلفة من النماذج الهيدرولوجية تتراوح من بسيطة إلى معقدة علماً بأن النماذج البسيطة تعتمد على البيانات

ومحاولة تسليط الضوء عليها، لأهمية إيجاد طرق وحلول للمشاكل التي تعترض النمذجة الهيدرولوجية المكانية للمناطق الجافة والتي ستسهم في رفع مستوى الوعي المعرفي لدى الباحثين مما يساعدهم مستقبلاً في تطوير طرق واساليب جديدة للنمذجة الهيدرولوجية في المناطق الجافة تعتمد على الانظمة والنماذج المتاحة حالياً حتى وأن كانت مصممة للنمذجة في المناطق الرطبة أو المعتدلة.

النهجية:

للحصول على أنواع مختلفة من المقالات والأوراق الأكاديمية والأطروحات والوثائق والدراسات التي لها علاقة بالنمذجة الهيدرولوجية في المناطق الجافة وتشمل استخدام نظم المعلومات الجغرافية وتقنية الاستشعار عن بعد لأغراض النمذجة الهيدرولوجية ونماذج مستجمعات المياه، تم استخدام قواعد بيانات شهيرة عالمياً منها: ABS Statistics, BioOne, CSA, Current Contents, Emerald, Gale databases, Hein online, Informit, JSTOR, Science Direct, Scopus, SpringerLink, Taylor and Francis, Web of Knowledge, and Google Scholar. في كل من قواعد البيانات المذكورة سابقاً عن الدراسات والمقالات والابحاث وغيرها من التقارير والبحوث الأدبية تم استخدام عدد من الكلمات الرئيسية أو المفتاحية مجتمعة



الشكل ١: خريطة توزيع المناطق الجافة عالمياً

Hydrophraphs، وعنصرتتبع الأمطار والتبخّر وبيانات IHACRES (Jakerman, 1993) تدفق المجاري (Hornberge and Boughton and Chiew, 2007)، والنموذج الاسترالي لتوازن الماء (AWBM)، ونموذج (GR4J (Perrin et al., 2003)، ونموذج أمريكا الشمالية المتوسط المدى (NAM(DHI, 1993) وفي العشرة السنوات الماضية تم تطوير بعض النماذج التي تمثل الظواهر الهيدروليكية الملاحظة. وقد أدى ذلك إلى ظهور نماذج توزيع أكثر تقدماً، تساعد على تقسيم مستجمعات المياه (Watershade) في هذه النماذج إلى مناطق أصغر. ووفقاً لـ (Beven 2001)، تعتبر نماذج التوزيع كواحدة من النماذج الهيدرولوجية عالية الدقة بالتنبؤات بسبب فصل مستجمعات المياه في عدد كبير من التربيعات الشبكية (grid squares) ومن أشهر أنواع النماذج الشبكية نموذج (SWAT (Arnold et al., 1998)، ونموذج (TOP MODEL (Beven et al., 1995)، والنظم الهيدرولوجية الهندسية (HEC-HMS (Scharffenberg and Fleming, 2010) وعلى عكس النماذج الكتلية، فإن نماذج التوزيع تتطلب قدراً كبيراً من بيانات الأرصاد الجوية المائية التقليدية والبيانات المكانية عالية الدقة لكي تعمل (Abushandi, 2011a).

١,١ النمذجة الهيدرولوجية في المناطق الجافة

ليس باستطاعة الهيدرولوجيين استخدام النماذج الهيدرولوجية بكفاءة في المناطق الجافة وذلك نظراً للظروف المناخية القاسية وعدم وجود بيانات نوعية تفصيلية وخصوصاً بيانات الامطار لندرته وبيانات التضاريس ذات الدقة العالية لوقوع الدول الفقيرة ضمن نطاق المناطق الجافة (Al-Qurashi et al., 2008; Beven, 1984; Bronstert, 2004; McIntyre and Al-Qurashi, 1988; Pilgrim et al., 2009). كما خلص هؤلاء إلى أن النماذج التوزيعية لا يمكنها أن تعطي تمثيلاً دقيقاً للواقع في صورته الحقيقية، ومايزيد من حجم مشكلة عدم القدرة على النمذجة والمحاكاة هو الطقس الجاف في المناطق القاحلة؛ حيث يصعب قياس التدفق من السيول وكذلك التنبؤ بها نتيجة أسباب عدة، منها: الأحوال المناخية القاسية، وعدم وجود أجزاء ومكونات للمسارات أو المجاري الطبيعية التي

واستخدام المفاهيم الرياضية والإحصائية لربط نماذج المدخلات والمخرجات ومن النماذج المعقدة ما يسمى بالنموذج الفيزيائي، وينتج برامج محاكاة ثلاثية الأبعاد لمستجمعات المياه (KITE and PIETRONIRO, 1996). تستخدم النماذج الهيدرولوجية لدراسة عمليات جريان المياه بعد العديد من المحاولات على مر السنين لمحاكاة وتوليد عملية الجريان السطحي، ومن أشهر هذه التقنيات التي ظهرت بعد العديد من محاولات تقنية الصندوق الأسود (black box technique (Chow et al., 1988)، غير أن هذه التقنية تجاهلت معلومات ضرورية عن العمليات الهيدرولوجية التي تولد الجريان. وقد أعقبت الفترة التي ظهرت فيها تقنية الصندوق الأسود فترة سادها التمعن والتفكير المنطقي، بعدها تزامن ظهور ما يسمى بالطرق الثلاث وهي: طريقة الوحدة الهيدروغرافية، ومعادلة ريتشارد للتدفق غير المشبع، وعمل هورتون على التسرب وإنتاج الجريان السطحي (Chow, 1964). كما وضع إنجمان (Engman, 1986) طريقة أخرى، قام فيها بجمع العديد من العمليات الداخلية الخاصة بتقنية الصندوق الأسود على نموذج محوسب. غير أن هذه النظم كانت نظم تقريبية، مما قد يؤثر على نتائج عمليات النمذجة. وركزت دراسات أخرى وبشكل رئيسي على فهم عملية توليد التدفق داخل المجاري المائية مع الأخذ بالاعتبار عوامل التسرب والهطول الفعال للأمطار. واقترح كيركي (Kirkby, 1978) استخدام طرق توليدية عدة لتطوير نماذج للجريان السطحي تكون أكثر واقعية ودقة شملت هذه الأساليب التسرب السطحي المحدود، والتدفق وتشبع المياه السطحية الزائدة، والجريان تحت سطح الأرض، والتقسيم التشبعي للجريان (Wood et al., 1990).

ومع استمرار تقدم التقنية الحاسوبية، تم تطوير نماذج هيدرولوجية دقيقة جداً وتم تصنيفها إلى صنفين رئيسيين هما: النماذج الكتلية (Lumped) والنماذج التوزيعية (Distributed). ويتم التعبير عن مستجمعات الأمطار في النماذج الكتلية بكيان واحد بمدخل واحد وهو معدل هطول الأمطار. يتطلب هذا النوع من النماذج بيانات محدودة ليتم تطبيقها على مستجمعات المياه، غير أن هذا يمكن أن يؤثر سلباً على تصميم النموذج. ومن أكثر النماذج الكتلية شيوعاً نموذج تحديد الوحدة الهيدروغرافية Unit

في الضفة الغربية بفلسطين المحتلة؛ حيث تمكن شديد والمصري من استخدام تلك النتائج لإثبات إمكانية تطبيق هذه المنهجية المعتمدة على نظم المعلومات الجغرافية في تلك المنطقة، غير أن التحقق من صحة ودقة المنهجية محدودة بسبب عدم كفاية سجلات البيانات المستخدمة لهطول الأمطار والجريان السطحي.

١،٢ استخدام نظم المعلومات الجغرافية وتقنية الاستشعار عن بعد للنمذجة الهيدرولوجية ونمذجة مستجمعات المياه تحسنت طرق النمذجة الهيدرولوجية بشكل كبير بسبب التقدم والتطور في أنظمة المعلومات الجغرافية وتقنية الاستشعار عن بعد. فقد ساعدت تكنولوجيا الاستشعار عن بعد في توفير البيانات الهيدرولوجية المكانية دون الحاجة للأعمال والقياسات الميدانية. وتعتبر نظم المعلومات الجغرافية أداة قوية لديها القدرة على معالجة عدة أنواع من البيانات مثل البيانات الموجهة الرقمية والبيانات النقطية (Vector and Raster data). وعلاوة على ذلك، فإن نظم المعلومات الجغرافية القدرة على تمثيل البيانات المرجعة جغرافياً (Geo-referenced)، والتي تمكن من دمج وتراكب وعرض البيانات (Lu, 1996). أشار جين وآخرون (Jain et al., 2004) إلى أن نظم المعلومات الجغرافية قد قللت من الوقت المهدر، لإدارة وتحليل قواعد البيانات الضخمة التي تظهر تنوع في خصائص سطح الأرض، وحسنت من عرض نتائج عمليات النمذجة الهيدرولوجية. وقد نتج عن دمج طرق واساليب النمذجة مع التقنيات الجغرافية إلى ظهور نماذج هيدرولوجية توزيعية بسيطة وفعالة (Lu, 1996). وتطرق إليها العديد من الدراسات، ومنها على سبيل المثال لا الحصر: (Zhang et al., 1990; Lee and Terstriep, 1991; Tim et al., 1992; Bhaskar et al., 1992; Maidment, 1993; Frederickson, 1993; Srinivasan and Engel, 1994; Brennen, 1994). قدم رانجو (Rango, 1994) وصفا مفصلا لنظرية الاستشعار عن بعد وتطبيقاتها الهيدرولوجية. وأوضحت دراسة أخرى أجراها تيم (Tim, 1995) دور نظم المعلومات الجغرافية المتقدم وتقنيات الاستشعار عن بعد في النمذجة الهيدرولوجية؛ حيث حسن التقدم الحديث في تقنيات

تحكم الأودية، فضلا عن التكلفة العالية لبناء مسارات أو مجاري للتحكم الاصطناعي بتدفقات المياه في الأودية، والوصول المحدود لمجاري الأودية في مواسم الأمطار، والضرر والتدمير المحتمل للأدوات وأجهزة القياس بواسطة الصخور والترسبات المحمولة خلال تدفق المياه (Pilgrim et al., 1988).

وقد تم تطوير عدد محدود من نماذج التوزيع كأحد النماذج الهيدرولوجية أو تم تعديل بياناتها لتناسب البيئات الجافة. وقد حسب الطرباق (Al-Turbak, 1996) كثافة ومدة هطول الأمطار باستخدام مكونات التسرب في النماذج الجيومناخية طبقت على ثلاثة من المستجمعات الجافة في المملكة العربية السعودية. وأظهرت الدراسة أنه، حين تتوفر بيانات تفصيلية ودقيقة فإن النماذج تنتج رسومات لأشكال المجاري المائية.

وقد أجريت دراسة أخرى أجراها القرشي (Al-Qurashi, 2008) في عمان وطبقت هذه الدراسة نموذج (Kineros) التوزيعي المعتمد على تساقط الأمطار والجريان السطحي قائم على الاسس الفيزيائية لـ ٢٧ حالة هطول أمطار وجريان سطحي للمياه داخل المستجمعات الجافة. وتم استخدام هذا النموذج للتنبؤ بالملاح الهيدرولوجية في منطقة مستجمعات المياه سالفة الذكر. وقال القرشي (Al-Qurashi, 2008) أن النموذج التوزيعي المعتمد على تساقط الأمطار والجريان السطحي يمكن استخدامه في المناطق القاحلة ليمثل توزيع مكاني للتضاريس أو لمحاكاة التوزيع المكاني لهطول الأمطار والجريان السطحي. وخلصت الدراسة إلى أن البيانات المستخدمة لنموذج تساقط الأمطار والجريان السطحي المستخدم في هذه الدراسة أسفر عن نتائج غير دقيقة عندما كانت تستخدم في المناطق الجافة. وقد أسهمت أسباب كثيرة في ظهور مثل هذه النتائج ومنها: محدودية المراقبة وعدم معايرة بيانات المعالم والعوامل السطحية وتحت السطحية الرئيسية للتضاريس.

وقد تم تطوير منهجية معتمدة على نظم المعلومات الجغرافية باسم رقم المنحنى لخدمة المحافظة على التربة (A GIS-based Soil Conservation Service Curve Number) والذي استخدمه شديد والمصري (Shadeed and Almasri, 2010). استخدم هذا المنهج لحساب رقم المنحنى المجمع لمستجمعات المياه

الولايات المتحدة، حيث تم توظيف أقمار صناعية تشغيلية وبيئية ذات دقة عالية (Advanced Very High Resolution Radiometer and Geostationary Operational Environmental Satellites) لتوليد الخرائط التي تبين الغطاء الثلجي لـ ٤٠٠٠ حوض نهري يمكن أن تسهم في الجريان السطحي لمستجمعات المياه المحلية في فترة الطقس الحار (NOAA, 2008). كما أن هناك العديد من البيانات التي توفرها مصادر أخرى، مثل نظام الأقمار الصناعية لمراقبة الأرض (Earth Observation satellite) ولاندسات (Landsat) مع وجود نماذج وأنظمة تساعد في استخراج البيانات اللازمة لرسم وتصنيف التربة واستخدامات الأراضي (Vieux, 2004).

٢. نموذج الارتفاع الرقمي

يستخدم نموذج الارتفاعات الرقمي Digital Elevation Model لتمثيل التوزيع المكاني للارتفاعات اعتماداً على المعطيات الجيوديسية (Geodetic)، كتمثيل منتظم للأرقام ويمكن تمثيل بعض الارتفاعات الرقمية في نقاط منفصلة (discrete points) وتتكون الأخرى من متوسط الارتفاعات في جزء معين من موقع معين. وتعتبر نماذج الارتفاع الرقمي فئة فرعية من نماذج التضاريس الرقمية (DTMS)، والتي هي عرض منتظم للأرقام التي تمثل التوزيع المكاني للخصائص التضاريسية (Moore et al., 1991). واستخدم علماء الجيولوجيا مؤخرًا بيانات الارتفاع الرقمي للدراسات الهيدرولوجية، وتحليل التضاريس، والدراسات الطبيعية الأخرى (Dewan et al., 2004). أثبت نموذج الارتفاع الرقمي فعالية كبيرة عند مقارنتها مع البيانات الميدانية وبيانات الارتفاع الرقمي للصور المجسمة وخاصة من ناحية مدة معالجة تلك البيانات (Tribe, 1992). ولذلك يعتمد معظم علماء الجيولوجيا على البيانات الرقمية للتضاريس والتي تنتجها مؤسسات أو شركات. وعموماً، يتم إنتاج بيانات الارتفاع الرقمي من مصادر مختلفة، من خلال استخدام الخرائط الكنتورية والصور الجوية (الارتفاعات الرقمية ونماذج المجسمات الضوئية)، وكذلك صور الاستشعار عن بعد (Garbrecht et al., 2000).

الاستشعار عن بعد، مثل أنظمة الرادار: رادار الجيل القادم (NEXRAD) ورادارات مراقبة الطقس دوبلر-٨٨ (Weather Surveillance Radars-88 Doppler)، في توفير البيانات وخصوصاً الجغرافية لمساحات واسعة من الأراضي وبشكل فعال وسريع. ولهذه الأنظمة القدرة على توفير البيانات الجيدة وعالية الدقة لكميات وكثافة الأمطار مكانياً وزمانياً (Singh and Woolhiser, 2002; Vieux, 2004) وأثبتت هذه البيانات فعالية كبيرة عند استخدامها مع نماذج التوزيع الهيدرولوجية. استخدم كنيبل وآخرون (Knebl et al., 2005) بيانات هطول الأمطار عن طريق الرادار NEXRAD و HEC-HMS لأداء نمذجة الفيضانات على النطاق الإقليمي خلال عاصفة عام ٢٠٠٢م في حوض نهر سان انطونيو، وعلاوة على ذلك، فقد تحقق موون وآخرون (Moon et al., 2004)، من ذلك باستخدام بيانات الرادار NEXRAD كمدخلات بدلا من بيانات أجهزة قياس المطر الكلاسيكية، مما أدى إلى تحسن طريقة تقدير تدفق المجاري المائية من خلال الاعتماد على نموذج سوات (SWAT). كما استخدم عدد من الباحثون بيانات صور الأقمار الاصطناعية للوصول إلى بيانات حول استخدامات الأراضي وكذلك الغطاء السطحي للأرض، بعدها تم دمج تلك البيانات مع نظم المعلومات الجغرافية لعمل نموذج يحاكي الجريان السطحي، التسرب، التبخر، والتعرية، والترسيب (Young et al., 1987; Johnson, 1989; Jakubauskas et al., 1992; Kouwen et al., 1993; Ross and Tara, 1993). في شرق الهند دمج شريفستافا (Shrivastava, 2004) نموذج سوات مع بيانات الاستشعار عن بعد وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية ومن ثم قام بالتحقق من صلاحية النظام لفحص قدرته على تقدير الجريان السطحي والترسيب من مستجمعات المياه في الأراضي ذات المساحات الصغيرة. في هذه الدراسة استخدمت نظم المعلومات الجغرافية لاستخراج المعلومات من طبقات الخرائط المختلفة، مثل استخدامات الأراضي والغطاء النباتي، ونموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، والتربة، والانحدار، والتصريف، وحدود مستجمعات المياه، فضلاً عن مساهمة هذه البيانات في رفع كفاءة النتائج الناتجة عن استخدام نموذج سوات. دراسة أخرى استخدمت صور الأقمار الاصطناعية في

٢,١ تركيب بيانات نموذج الارتفاع الرقمي

هناك ثلاثة تراكيب لبيانات الارتفاع الرقمي وهي: الشبكات المثثة غير المنتظمة triangulated irregular networks والتي عبارة عن تمثيلات على سطح الأرض تشكل شبكة غير نظامية من النقاط والخطوط مع الإحداثيات ثلاثية الأبعاد (x, y, and z) جنبا إلى جنب مع المؤشرات المتجاورة في الشبكة (Peucker et al., 1978; Mark, 1975). النوع الآخر عبارة عن شبكات قائمة على الكنتور والتي تحتاج إلى المزيد من البيانات المخزنة ولا تقدم أي مزايا حاسوبية (Moore, 1988). أكثر تراكيب بيانات الارتفاع الرقمي استخداما هي شبكة المربعات النقطية (raster square-grid) ، التي تعرف بأنها مصفوفة من شبكات مربعة في كل خلية يوجد ارتفاع مخزن على شكل ثنائي الأبعاد، ويوفر الصف والعمود لكل خلية، موقع الخلية في الفضاء الجغرافي. وهناك العديد من المزايا والعيوب المرتبطة بهذا الهيكل. فالمربعات الشبكية بسيطة، وفعالة من حيث الوظيفة، والحساب، كما تشمل عيوب هذا الهيكل صعوبة التعامل مع الارتفاعات المفاجئة وغير الواقعية في التمثيل لمسارات التدفق المحسوبة التي تستخدم في عمليات التحليل الهيدرولوجي، علماً بأن الكفاءة الحاسوبية ونتائجها تتأثر بحجم المربعات الشبكية أو الخلية وكذلك بعدم وجود دقة في تحديد منطقة مستجمعات المياه (Panuska et al., 1990).

٢,٢ استخدام نموذج الارتفاع الرقمي في النمذجة الهيدرولوجية

هناك العديد من التطبيقات الهيدرولوجية التي استخدمت بيانات الارتفاع الرقمي، وخصوصاً لاستخراج بيانات المنحدرات، والاتجاهات وخرائط ظل الجبال وحساب مؤشرات الرطوبة. كما تستخدم بيانات الارتفاع الرقمي للتعرف على الخصائص المؤثرة على التصريف مثل المرتفعات، وقيعان الوديان وشبكات الجداول، وأنماط الصرف السطحي. أيضاً تستخدم لقياس خصائص المستجمعات الفرعية والقنوات مثل الحجم، والطول، والانحدار. وتعتبر كلا من نوعية وجود بيانات الارتفاع الرقمي مسؤولة عن دقة المعلومات الطبوغرافية (Garbrecht et al., 2000). وقد استخدمت بيانات

الارتفاع الرقمي في النمذجة الهيدرولوجية بطرق مختلفة. على سبيل المثال، لغرض تقييم نمط رطوبة التربة المحتملة والتغيرات في قوام التربة الناجمة عن عملية التعرية، كما استخدمت بيانات الارتفاع الرقمي بواسطة أوليفن وشميت وبيرسون (O'Loughlin, Schmidt 1986) (2003) للحصول على مؤشرات للمنطقة المحتملة لتجميع التدفق والرطوبة. فضلاً عن ذلك فقد تم استخدام قنوات التدفق التي تم الحصول عليها من بيانات الارتفاع الرقمي لرسم مستجمعات المياه وتقدير مناطق الانحدار واتجاه التدفق (Mark, 1984; O'Callaghan and Jensen and Domingue, 1988; Reiger, 1998).

٣. استخدام البيانات في النمذجة الهيدرولوجية

٣,١ استخدام بيانات الغطاء الأرضي واستخدامات الاراضي

يعرف الغطاء الأرضي بأنه السطح الطبيعي للأرض بما في ذلك الغطاء النباتي والتربة والمياه. واستخدامات الأرض تشمل العمران البشري والزراعي وتشمل الاستيطان وتعديل البيئة الطبيعية والتأثير على الغطاء الأرضي (Fresco, 2001; McConnell & Moran, 1994).

ومن المصادر شائعة الاستخدام للحصول على بيانات الغطاء الأرضي واستخدامات الاراضي المسوحات الميدانية وبيانات التعداد السكاني. ويمكن الحصول على المعلومات الإحصائية لاستخدامات الأراضي من قبل الدول والوكالات الدولية للدراسات البيئية. وتعتبر تقنيات الاستشعار عن بعد مصدر آخر للحصول على بيانات الغطاء الأرضي من خلال الاعتماد على أساليب التصنيف المراقب وغير المراقب (supervised and unsupervised classification methods) لتحليل الصور الرقمية التي يتم الحصول عليها من خلال المستشعرات التي تعمل من الفضاء الخارجي، والتي يتم من خلالها استخراج معلومات لتصنيف أنواع مختلفة من استخدامات الأراضي (Gunduz, 2003). تستخدم بيانات استخدام الأراضي والغطاء الأرضي في النمذجة الهيدرولوجية لتقديم تقييم عن خشونة أو مقاومة سطح الأرض والتي بدورها تؤثر على حركة تدفق المياه. وتستخدم معلومات استخدامات الأراضي أيضاً لقياس كميات تسرب مياه الأمطار خلال الأراضي، بالإضافة إلى

المعلومات الجغرافية من ESRI ولديه القدرة على محاكاة العمليات الهيدرولوجية وكذلك فاقد المياه في أي منطقة دراسة.

٤,١ توصيف نموذج أداة التربة والمياه

تم تطوير نموذج سوات أو أداة التربة والمياه في بداية الأمر لمساعدة وزارة الزراعة الأمريكية (the United States Department of Agriculture) وخدمات البحوث الزراعية (Agriculture Research Service) في أبحاثهم (Neitsch et al., 2002). واستغرق تطوير وتعديل أداة سوات أكثر من ٣٠ عاماً. وقد تم دمج عدد من النماذج التي تم تطويرها من قبل وزارة الزراعة الأمريكية وخدمات البحوث الزراعية (USDA-ARS) مع سوات ومهما: نموذج المواد الكيميائية والجريان السطحي، والتعرية في إدارة النظم الزراعية (Knisel, 1980)؛ وحاسبة تأثير فعالية التعرية (the Erosion Productivity Impact Calculator (Williams et al., 1984)؛ وأثار تحميل المياه الجوفية على أنظمة الإدارة الزراعية

(Leonard et al., 1987). ويعتبر نموذج محاكاة الموارد المائية في أحواض المناطق الريفية أساساً لنموذج سوات (Williams et al., 1985; Arnold et al., 1990).

نموذج "سوات" هو نموذج توفيتي وشبه توزيعي، قائم على أساس مادي ملموس ويستخدم لمحاكاة نشاطات مستجمعات المياه. وتشمل مكونات هذا النموذج الهيدرولوجي الطقس، والترسيب، ودرجة حرارة التربة ونمو المحاصيل، والمواد الغذائية، والمبيدات الحشرية، والإدارة الزراعية. ويعمل سوات في مستجمعات المياه المعقدة والكبيرة، للتنبؤ بتأثير إدارة استخدام الأراضي على المياه والمحاصيل الزراعية، والرواسب. وتشمل عملية المحاكاة الهيدرولوجية استخدام معادلة التسرب (SCS-CN (Green and Ampt, 1911) لحساب محاكاة الجريان السطحي محاكاة قنوات التدفق تحت سطح الأرض، وتوليد تيارات تدفق المياه الجوفية من طبقات المياه الجوفية الضحلة، وتقدير التبخر وخسائر الانتقال المحتملة من مجاري المياه Streams، وخزانات المياه الجوفية وفقدان المياه من الخزانات الطبيعية. كما يمكن استخدام احصاءات المناخ الشهرية كمتغيرات وكمدخلات ويمكن استخدام نموذج SWAT لتوليد بيانات

٣,٢ بيانات التربة

ذلك، يمكن جمع بيانات استخدامات الأراضي وخصائص التربة على سطح الأرض لاحتساب قدرة الترشيح والاحتفاظ بالماء (ASCE, 1999).

تعتبر بيانات التربة مكون أساسي من مكونات النمذجة الهيدرولوجية. وهناك بيانات معينة للتربة مطلوبة وضرورية لمعظم الدورات الهيدرولوجية، مثل نوع التربة، درجة المسامية، والتوصيل الهيدروليكي. ويمكن استخراج بيانات التربة من خرائط مسوحات التربة أو صور الاستشعار عن بعد، والتي أسلفنا ذكر امكانية معالجتها بواسطة أساليب التصنيف المراقب وغير المراقب (supervised and unsupervised classification methods) للحصول على أنواع التربة (Gunduz, 2003).

٣,٣ بيانات هطول الأمطار

تعتبر بيانات هطول الأمطار Rainfall data ضرورية في النمذجة الهيدرولوجية، وتعتمد معايرة النمذجة الهيدرولوجية وتدقيقها بشكل كبير على جودة هذه البيانات وكذلك الجريان. ومن أكثر أنواع البيانات المتوفرة وذات موثوقية لتطبيقات النمذجة الهيدرولوجية هي بيانات قياس الأمطار وخصوصاً الميدانية منها. كما أن هناك العديد من أنواع البيانات التي تعتبر مهمة للتطبيقات الهيدرولوجية وخصوصاً في دراسات التبخر والتي تأخذ بعين الاعتبار بيانات درجات الحرارة لقياسها (Gunduz, 2003).

٤. استخدام أداة تقييم التربة والمياه في النمذجة

الهيدرولوجية بالمناطق الجافة

هناك العديد من النماذج الهيدرولوجية التي تم ذكرها أعلاه يمكن استخدامها لتحديد أنظمة مستجمعات المياه. ومع ذلك، فقد تم استخدام "نموذج سوات" أو مايسمى البعض بأداة تقييم التربة والمياه، بنجاح في دراسات المناطق شبه القاحلة والجافة. ومن هذه الدراسات التي استخدمت هذه الأداة دراسة الملا و شنايدر وقصار وفاصل وآخرون (Al Mulla, 2005; Schneider, 2007; Ouessar et al. 2009; and Fadil et al. 2011). ولنظام "سوات" أو أداة تقييم المياه والتربة واجهة مخصصة لنظم

الطقس أو الملاء الفجوات في سجلات قياسها من خلال نموذج مولد الطقس, WXGEN (Sharpley and Williams, 1990). وتقوم المعادلة العالمية لفقدان التربة Universal Soil Loss Equation بحساب ناتج الترسب لكل حوض فرعيويمكنها محاكاة نمو المحاصيل، ودرجة حرارة التربة ويمكن نمذجتها في طبقات جغرافية ويمكن تمثيل نظام الري والسحب من خلال استخدام محاكاة التفرعات المائية.

٤,٢ أداة تقييم التربة والمياه في بيئة نظم المعلومات الجغرافية

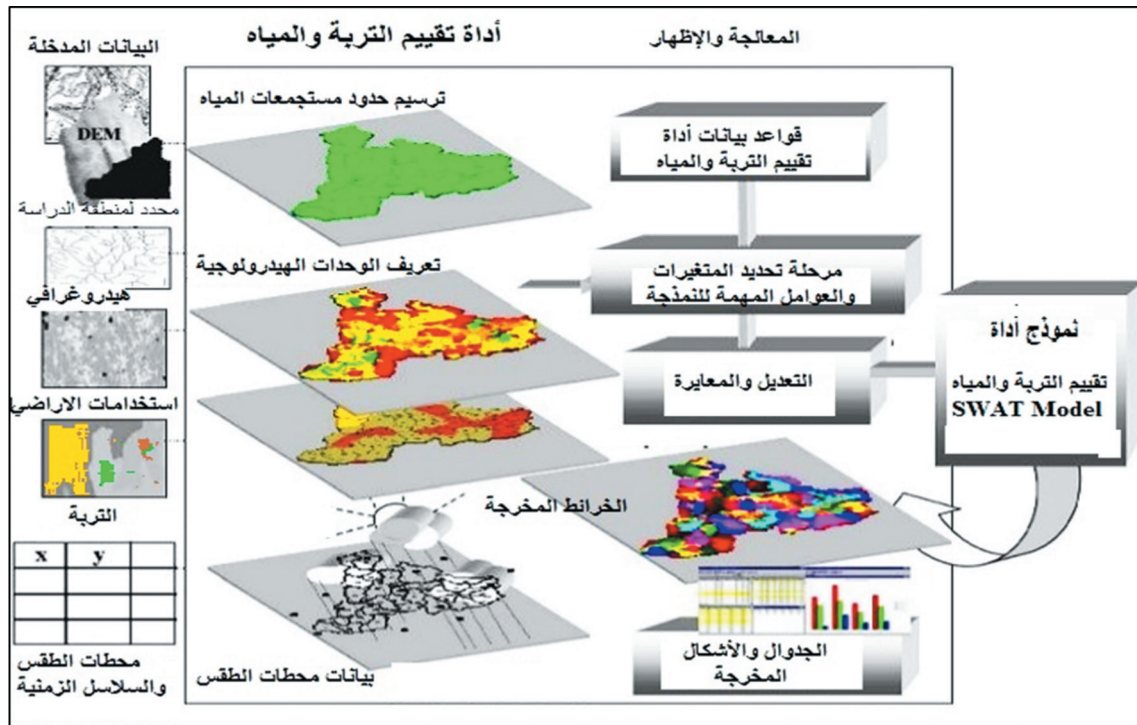
من أشهر برامج نظم المعلومات الجغرافية تلك التي تنتجها شركة إيزري ESRI والتي طورت العديد من الأدوات للنمذجة الهيدرولوجية منها ما هو موجود في ArcView و ArcGIS 10.3 ويمكن استخدام صندوق ادواته لأغراض النمذجة وخصوصاً باستخدام SWAT أو Hydrology Hydrology (DiLuzio et al., 2004)). يمكن استخدام Hydrology من خلال الاعتماد على عدد من الأدوات مثل أداة استخراج الحوض المائي، واتجاه التدفق، والأطوال ومناطق تجمعات المياه وغيرها. وتستخدم أدوات الهيدرولوجيا Hydrology في ArcGIS 10.3 لنمذجة تدفق المياه على سطح الأرض ويتم الاستفادة من معلومات شكل الأرض وتدفق المياه، التي يمكن استخراجها من أدوات الهيدرولوجيا في مجالات عدة منها على سبيل المثال لا الحصر: مثل التخطيط الإقليمي، والزراعة، والغابات، علماً بأن العمل في هذه المجالات يتطلب فهم أكبر لكيفية تدفق المياه عبر المنطقة التي تتواجد فيها وكيف يمكن أن تؤثر التغيرات في تلك المنطقة على هذا التدفق. كما تساعد هذه الأدوات في نمذجة تدفق المياه، والتي تزيد من معرفتنا من أين جاء الماء وإلى أين ذهب. علماً بأن برامج نظم المعلومات الجغرافية الحديثة كـ ArcGIS 10.3 تزيد من رفع نسبة الوعي بالمصطلحات والتحليلات المتعلقة بنظم الصرف والعمليات السطحية وكيفية استخدام الأدوات لاستخراج المعلومات الهيدرولوجية باستخدام نموذج الارتفاع الرقمي، ولزيد من التفصيل يمكن الاطلاع على <https://goo.gl/gQ0Uhi>.

في هذه الدراسة تم التركيز على SWAT، الذي يمكن استخدامه في بيئة نظم المعلومات الجغرافية بالاعتماد على ثلاثة مكونات رئيسية هي: (١) معالج أولي لتوليد

المعالم الطبوغرافية للأحواض الفرعية والعوامل الأخرى كمدخلات للنموذج SWAT، (٢) وظائف تحرير إدخال البيانات لتشغيل نموذج المحاكاة سوات أو مايسمى بأداة تقييم التربة والمياه، و (٣) معالج بعدي لعرض جداول نتائج المحاكاة البيانية. وفي الولايات المتحدة الأمريكية توجد قواعد بيانات جاهزة وتحتوي على بيانات التربة والمحاصيل والمبيدات الحشرية والأسمدة، وعمليات الحراثة، والمحاكاة الحضرية. لكن يمكن إضافة معلومات إضافية إلى قواعد البيانات المذكورة سابقاً.

يستطيع نموذج AVSWAT من تحديد الحدود الفاصلة وشبكات المجاري المائية باستخدام بيانات الارتفاع الرقمي DEM كمدخلات. وتحدد شبكات المجاري المائية الحوض المائي وتقسّمه تلقائياً إلى أحواض فرعية. ويوفر AVSWAT للمستخدمين ايقونات يمكن استخدامها لإضافة أو إزالة الأحواض الفرعية حسب الظروف وطريقة الإخراج المناسبة. ويتم تعريف سلسلة من وحدات الاستجابة الهيدرولوجية (HRU) على أساس كل حوض فرعي، ويمكن تصنيفه وفقاً لطبقة التربة المدمجة وخرائط استخدام الأراضي. وتمثل كل وحدة استجابة هيدرولوجية مناطق مجمعة من الأحواض الفرعية تحتوي على نفس استخدامات الأراضي ونفس نوع التربة. ويمثل الشكل ٢ الإطار العام لنظام AVSWAT (Al Mulla, 2005).

٤,٣ نقاط القوة والضعف في أداة تقييم التربة والمياه لنموذج أداة تقييم التربة والمياه SWAT العديد من المزايا في تطبيقات النمذجة الهيدرولوجية؛ حيث يتراوح وقت التشغيل للنموذج من بضع دقائق إلى أقل من ساعة واحدة كما يعتبر نموذجاً زراعي طويل المدى لمستجمعات المياه ونموذج مناسب للتنبؤ السنوي لكميات التدفق والرواسب (Borah et al., 2006). وفي المقابل لهذا النموذج عدد من السلبيات يمكن تلخيصها في التكلفة العالية لإنشاء نظام محاكاة لمستجمعات المياه الكبيرة، والبيانات المطلوبة لتشغيل النموذج في حال عدم توفرها، والوقت اللازم لمعالجة البيانات الضخمة، وصعوبة تحديد مجموعة مثالية من العوامل، ومشاكل تقدير قيم لأي عامل معين وبدقة، مثل عامل تدفق المياه في التربة والمياه الجوفية إلى مجرى القناة (Borah et al., 2006).



الشكل ٢: رسم يمثل الاطار العام لنظام أداة تقييم التربة والمياه في نظام ArcView.

مستوية Plane elements. قد تختلف خصائص التسرب والخشونة وبيانات هطول الأمطار المدخلة لكل عنصر مساحي. ويمكن توفير بيانات عن كمية هطول الأمطار كمدخل مقابل مدة زمنية محددة لحدود ٢٠ موقعا داخل أو بالقرب من الحوض. يحتسب البرنامج الفرق بين معدل هطول الأمطار ومعدل التسرب لـ ٥ إلى ١٥ عقدة ولكل منطقة جريان سطحي، ويأخذ بعين الاعتبار التفاعل بين توجيه الجريان السطحي وعامل التسرب لأن التسرب قد يستمر على الرغم من توقف هطول الأمطار لبقاء الماء في المنطقة المعنية بالدراسة لمدة أطول. يتم توجيه الجريان السطحي لكل منطقة إلى منافذ مستجمعات المياه من خلال نظام المجاري أو الجداول المائية، يوفر هذه النظام خياراً لمحاكاة تعرية التربة التي تنتج عن جريان المياه. ويقوم النظام بحساب الترسيب ونقل الرواسب بواسطة المياه ومن ثم إيجاد الاتجاه المتوقع للرواسب من خلال النظام المائي (Semmens et al., 2008).

٥،١ استخدام نموذج حركة الجريان السطحي والتعرية في النمذجة الهيدرولوجية في المناطق القاحلة في وادي عدي بسلطنة عمان، استخدم ويتير (Wheater, 1981) نسخة قديمة من نموذج حركة الجريان السطحي والتعرية

٥. نموذج حركة الجريان السطحي والتعرية.

يمكن وصف نموذج حركة الجريان السطحي والتعرية (Kineros2 أو The Kinematic Runoff and Erosion Model) بأنه نموذج توزيعي مجسم لهطول الأمطار والسيول أو الجريان السطحي ويستخدم بشكل رئيسي في دراسة مستجمعات المياه في المناطق الجافة وشبه الجافة. ويستخدم هذا النموذج لوصف عمليات التسرب الديناميكي، والجريان السطحي، والتعرية لمستجمعات المياه التي تتسم بتدفق سريع وعالي وخصوصاً مستجمعات المياه الصغيرة Small Watershed. تنقسم مستجمعات المياه في هذا النموذج الى سلسلة من المناطق والجداول أو المجاري المائية الارضية ذات البعد الواحد من خلال استخدام المعلومات الطبوغرافية. لكل تدفق عارم قناتة، يتم تعيينها عن طريق تحديد مجموعة من العوامل. كما يتم توجيه الجريان السطحي عن طريق موجات حركية محددة (Al-Qurashi et al., 2008). وينبغي أن تبدأ عملية المحاكاة لنموذج K2 من أماكن المنابع والجداول المائية المنحدرة وتنتهي إلى أماكن المصب المنحدرة أيضاً لضمان وجود خطوط الحدود العليا (Semmens et al., 2008). تبدأ المنهجية العامة لـ K2 بتقسيم مستجمع المياه إلى " نظام متفرع " يتألف من عدة قناتات وعناصر مساحية

من ١٠٠٪، ولوحظ ان متوسط مربع الخطأ (RMSE) للتدفقات خلال الذروة ب ٧٩٪ في المتوسط.

٥،٢ نقاط القوة والضعف في نموذج حركة الجريان السطحي والتعرية

فيما يخص نقاط القوة والضعف، فإن لنموذج حركة الجريان السطحي والتعرية K2 العديد من المزايا، مثل الدقة العالية لتوزيع الأمطار على مستجمع المياه، كما يوفر K2 مجموعة من النماذج للعوامل الهيدرولوجية التي يتم توزيعها مكانيا على مستجمعات المياه، وتعمل بشكل جيد في توقع عملية جريان مياه الامطار في الأحواض الصغيرة، بما في ذلك توفير دقة أكبر للبيانات وفي مدة زمنية أقل (Schaffner et al., 2010). من ناحية أخرى، فإن نقاط ضعف K2 تشمل انخفاض محاكاة التدفق السطحي بسبب معادلات الموجات الحركية احادية الابعاد المستخدمة؛ بالإضافة إلى أن، K2 لا ينطبق إلا على مستجمعات وأحواض المياه الصغيرة (Kalin and Hantush, 2003). وعلاوة على ذلك، فإن للنموذج امكانيات محدودة للمحاكاة (Borah et al., 2006).

٦. وصف نموذج تحديد الوحدة المائية ومكون تدفق الأمطار والتبخّر

نموذج تحديد الوحدة المائية ومكون تدفق الأمطار والتبخّر IHACRES هو نموذج مفاهيمي متري، مجمع، يجسد جوانب القوة في كل من النماذج المفاهيمية والمترية. ويستخدم بساطة النموذج المتري لغرض الحد من حالة عدم الدقة المرتبطة مع العوامل الكامنة في النماذج الهيدرولوجية. وفي الوقت نفسه، فإن النموذج يحاول تمثيل المزيد من التفاصيل عن العملية الداخلية الموجودة في النموذج المتري (Croke et al., 2008).

وتم تطوير نموذج IHACRES ابتداءً للتطبيق على المستجمعات المائية catchments المعتدلة (Jakeman et al., 1990). تم تعديل النموذج في وقت لاحق لتطبيقه على التيارات السريعة (Ye et al., 1995, 1997; Schreider et al., 1996). ووفقاً للباحث ليتلود (Littlewood 2003)، فإن الهدف الرئيس من استخدام نموذج IHACRES هو وصف السلوك الهيدرولوجي

Kineros، لتحليل العواصف باستخدام توقيت يقدر ب ١٥ دقيقة فاصل زمني. وكانت النتائج التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة باستخدام النموذج محسنة وأكثر جودة من تلك التي تم جمعها باستخدام منهجية الوقت والمساحة (Time-area Approach). وكان السبب الرئيسي في الحصول على نتائج جيدة يعود الى تحسن القدرة على تمثيل الاثار غير الخطية للقناة والتدفق السطحي للمياه نظرا لاستخدام نموذجاً مجسماً.

وفي دراسة تحليلية للمياه الجوفية، طبق موت ماكدونالد (Mott Macdonald 1992)، نموذج Kineros في وادي عهن بسلطنة عمان وتوصل إلى أنالمجاري المستخدمة لإعادة شحن المياه الجوفية في وادي عهن والتي تم معايرتها يجب نقلها إلى أحواض مجاورة نظرا لوجود مجموعة هوامش أكبر للخطأ في الحجم خلالالمعايرة بعد ١٦ حالة مطرية.

وفي دراسة أخرى أجريت في الحوض الفرعي لوادي الجوز ٤، ٦ كم ٢طبق ياثيندراداس وآخرون (Yatheendradas et al., 2008) نموذج K2 في ثمانية أحداث مطرية لتقييم فائدته للتنبؤ بالفيضانات المفاجئة وتحديد المصادر الرئيسية الفجائية. توصلت هذه الدراسة إلى أن السبب الرئيسي لحالة الفجائية وعدم اليقين يتمثل في الاختلافات في بيانات الرادار الخاصة بهطول الأمطار. على سبيل المثال، نجد المعدل التراكمي لهطول الأمطار في حدث واحد يتراوح بين حوالي ١٥ ممو ٢٥ مم تبعاً لطريقة التقدير المستخدمة. وبالإضافة إلى ذلك، فقد ذكر هؤلاء الباحثين أن توقع حدث باستخدام عوامل يتم تحديدها على أساس أحداث وحالات مطرية أخرى تسبب ارتفاع كبير في الفجائية وعدم اليقين.

وهناك دراسة أخرى قامت بتطبيق نموذج Kineros قدمها كل من ميشاو و سوروشان (Michaud and Sorooshian, 1994). حيث طبق النموذج في هذه الدراسة على ١٥٠ كيلومتر مربع من حوض وادي الجوز. استخدمت الدراسة بيانات ستة حالات مختلفة للأمطار لغرض المعايرة، و ٢٤ حدث وحالة مطرية للتدقيق، لبيانات بدقة ٢-دقيقة لهطول الأمطار. وكانت نتائج الدراسة غير مرضية بسبب أداء النموذج حيث كانت هناك مبالغة في تقدير اربعة حالات فيضان فجائي كجريان سطحي بأكثر

(Croke, 2004).

٦,١ استخدام IHACRES في النمذجة الهيدرولوجية في المناطق القاحلة
تم تطبيق نموذج الأمطار والجريان IHACRES بنجاح في جميع أنحاء العالم في المجتمعات المائية بالمناطق الجافة وشبه الجافة (مثل أستراليا والأردن وسلطنة عمان، وأجزاء كثيرة من أفريقيا). وقد استخدم IHACRES في العديد من الدراسات، مثل التنبؤ بتدفق المجاري المائية في المجتمعات التي يصعب قياسها (Kokkonen et al., 2003) وتحقيقات خصائص الاستجابة الديناميكية، وآثار الغطاء الأرضي على العمليات الهيدرولوجية (Croke and Jakeman, 2004; Kokkonen et al., 2001)، وأنماط مستجمعات المياه الفعلية (Sefton and Howarth, 1998).

طبق وي وآخرون (Ye et al., 1997) نموذج IHACRES باستخدام طريقة المحاكاة المتواصلة والقائمة على أساس يومي وفي ثلاثة أحواض زراعية منخفضة الإنتاج في أستراليا. وكان الغرض من هذه الدراسة هو مقارنة أداء ثلاثة نماذج مفاهيمية مع معلمات أو عوامل مختلفة وتمثل النماذج في LASCAMGSFB، و IHACRES. وخلص الباحثون إلى أن IHACRES تتمتع بأداء جيد أما في فترات المعايرة والتحقق من الدقة فقد كان أداء LASCAM ذو ال ٢٢ عامل أو نوع من المدخلات أفضل بشكل عام من نظام IHACRES.

وفي دراسة أخرى في ولاية نيو ساوث ويلز بأستراليا، استخدم كروك وآخرون (Croke et al., 2006) نظام IHACRES في نموذج شبه توزيعي على مستجمعات مياه كبيرة. وقد كان غرض هذه الدراسة الرئيس هو دعم التقويم المتكامل لتوزيع المياه ومنتم توزيع مستجمعات المياه إلى ١٦ مستجمع فرعي وفقا لاستجابتها للتغيرات المكانية والهيدرولوجية وللعوامل المناخية. وخلصت هذه الدراسة إلى أنه في اثنين من المستجمعات الفرعية كان الأداء فيها غير كاف نظرا لعدم وجود مقاييس للمطر. غير أنه بالنسبة لموازنات التدفق، كان أداء النموذج جيدا.

النسخة المعايرة والمعدلة من نموذج IHACRES كانت قادرة على توضيح ٩٦٪ من تغيرات سجلات التدفق

لمستجمعات المياه باستخدام عدد محدود من العوامل أو المعلومات. وبالتالي، يمكن تطبيق النموذج بنجاح في المناطق الجافة حيث تندر البيانات الهيدرولوجية.

وقد تم تطوير عدة إصدارات من طراز IHACRES مؤخرا وتعديلها لغرض تحقيق محاكاة جيدة للتيارات سريعة الزوال في المناطق القاحلة أو الجافة. ويتركب النموذج من وحدة نمطية لا خطية تقوم بتحويل الهطول الفعلي للأمطار إلى أمطار فاعلة، ونموذج خطي ينقل الأمطار الفاعلة لتيار تفريغ (Croke et al., 2008).

ويستخدم التركيب الأصلي لنموذج IHACRES فهرس رطوبة التربة لتحويل مياه الأمطار إلى أمطار فعالة. وقد قام وي وآخرون (Ye et al., 1997) بتطوير صيغة متقدمة لتحسين أداء النموذج في المستجمعات سريعة الزوال. قد تم ترميز هذه النسخة ووسمها بالاسم IHACRES V2.0 وتم تطويرها وفق المعادلة التالية:

$$u_k = [c(\phi_k - I)]^p r_k$$

حيث أن:

u_k هو الأمطار الفعالة ؛

r_k هو سقوط الأمطار الملاحظ ؛

c, I, p هي المعاملات أو العوامل (توازن الكتلة، رطوبة التربة، مصطلحات الاستجابة غير الخطية، على التوالي) ؛
 ϕ_k هو مؤشر رطوبة التربة.

وزادت التطورات الأخيرة في نموذج الأمطار والسيول IHACRES من قدرته في جوانب مختلفة، مثل آثار تغير استخدام الأراضي على استجابة مستجمعات المياه (Dye and Croke, 2003)، والقدرة على الاستجابة الهيدرولوجية للمستجمعات غير القياسية. وتعلقت معظم التعديلات في النموذج بوحدة الخسارة غير الخطية. ومن الأمثلة على ذلك تطوير نظام حساب نقص الرطوبة في مستجمعات المياه (Croke et al., 2004) (CMD)، ومحاكاة آثار المخازن الاحتياط للمياه (Schreider et al., 1999)، وربط نموذج تصريف المياه الجوفية الفيزيائي (Sloan, 2000) مع نموذج IHACRES (Croke et al., 2002)، مما أدى إلى تفاعل بين إعادة شحن المياه الجوفية والمجري المائية. وهناك تطور آخر يتمثل في الأسلوب الذي يقوم على التقدير المباشر للخراطم المائية من بيانات تدفقات المجاري المائية دون الحاجة لبيانات هطول الأمطار

يعتبر النموذج الهيدرولوجي الهندسي The Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) نظام للنمذجة الهيدرولوجية التي تم تصميمها وتطويرها بواسطة سلاح المهندسين بالجيش الأمريكي (HEC). ويهدف النموذج لمحاكاة عمليات هطول الأمطار والسيول في مستجمعات المياه. ولهذا النظام القدرة على نمذجة مجموعة واسعة من المناطق الجغرافية، بما في ذلك أحواض الأنهار الكبيرة ومستجمعات المياه في المناطق الحضرية أو الطبيعية الصغيرة (Verma et al., 2010). وعلاوة على ذلك، فقد تم تطبيق النموذج على نطاق واسع لمحاكاة وتوقع تدفق التيارات لمستجمعات المياه الرطبة، الاستوائية، وشبه الاستوائية، والقاحلة (Abushandi, 2011b).

عناصر رئيسية هي: نظام يستخدم لتخزين وإدارة كميات كبيرة من البيانات، ونماذج تحليلية مع قدرات لحساب الفائض وتوجيه القنوات، وشاشة عرض رسومية متطورة تظهر النظام الهيدرولوجي ومكوناته، وأداة تستخدم لعرض وإخراج التقارير (Moghadas, 2009).

كما يقوم نموذج HEC-HMS بتقديم وظائف متعددة، مثل تقدير الخسائر، وتحويل الجريان السطحي، ورسم القنوات المكشوفة، وتحليل بيانات الأرصاد الجوية، ومحاكاة الأمطار والسيول، وتقدير العوامل المؤثرة. ويتم تمثيل كل عنصر من عناصر عملية الجريان السطحي بنماذج منفصلة. وتشمل الأمثلة على هذه النماذج نماذج لحساب حجم الجريان السطحي، ونماذج للجريان المباشر، ونماذج لقواعد الجريان. وفضلا عن ذلك يتم الجمع بين الحوض، وبيانات الأرصاد الجوية، ونماذج التحكم في التدفق في كل نموذج مع خيار للتشغيل للحصول على نتائج. ويتم تخزين بيانات النظام في نموذجين مختلفين: نموذج حوض ونموذج بيانات الأرصاد الجوية. وتقع بيانات ربط النظام والبيانات الفعلية التي تصف مستجمع المياه في نموذج الحوض. أما بيانات هطول الأمطار والتبخّر، المطلوبة لمحاكاة عمليات مستجمعات المياه، فيتم تخزينها في نموذج الأرصاد الجوية (Verma et al., 2010).

ولدى هذا النموذج القدرة على نمذجة عمليات التسرب من سطح الأرض. ومع ذلك، لا يستطيع النظام نمذجة تخزين وحركة المياه عموديا داخل طبقة التربة. وبدلا من ذلك فهو

باستخدام بيانات هطول الأمطار الشهرية من جبل كنعان، بالكيان الصهيوني، إلى جانب بيانات التدفق الشهري من محطة قياس نهر الأردن (Whitehead et al., 2006). و طبقمكينتري وآخرون (McIntyre et al., 2009) نظام IHACRES لنمذجة التدفق في مجرى وادي عهن في سلطنة عمان، وكانت المهمة الرئيسية لهذه الدراسة هي اتخاذ منهج تجريبي للتحقق من إمكانية تطبيق الإصدارات البديلة ل IHACRES في المناطق الجافة. تم استخدام تحليل الحساسية لتقليل IHACRES من الإصدار ذو تسعة معلمات (Ye et al., 1997) إلى إصدار ذات خمسة وأربعة وثلاثة معلمات أو عوامل وتم اختبار توقع أداء كل إصدار. وخلصت الدراسة إلى أن إصدار أربعة معلمات كان مثاليا للتنبؤ بالتدفق في ذروته، وكان إصدار ثلاثة معلمات مثاليا للتنبؤ بكميات وحجم التدفق. فعلى العموم كان أداء كل نسخة بسيطة من طراز IHACRES جيدا؛ لكن كانت نسبة عدم اليقين بالتنبؤ عالياً نظرا لتنوع قيم المعلمة الفعلية على الأحداث.

٦،٢ نقاط القوة والضعف في IHACRES

تعتمد مزايا وقدرات نموذج IHACRES على حقيقة أن معلمات النموذج بسيطة وفعالة كما يعمل النظام بشكل جيد مع وجود بيانات لبضع سنوات كمدخلات. كما يعمل نموذج IHACRES مع أي حجم لمستجمعات المياه سواء كانت صغيرة أم كبيرة. ويتم تحديد خصائص الاستجابة الديناميكية لمستجمعات المياه بكفاءة عن طريق النموذج. وهذا النموذج قادر على استرجاع التغيرات في تدفق التيار وفقا للتغير في استخدام الأراضي في مستجمعات المياه (Dye and Croke, 2003).

ومن ناحية أخرى، فإن من عيوب نموذج IHACRES هو أن قدرته على التنبؤ بالتدفقات البطيئة أفضل من قدراته على التنبؤ بالتدفقات السريعة وذلك لأن لصعوبة محاكاة التدفقات العليا. وفي المستجمعات الصغيرة نجد ان نموذج IHACRES يعمل بشكل أكثر فعالية من الكبيرة لتوليد توقعات تدفق مفيدة، ويعتبر هذا النموذج مناسباً للتنبؤ بتأثيرات تغيرات استخدام الأراضي على التدفقات المنخفضة (Dye and Croke, 2003).

٧. وصف النموذج الهيدرولوجي ذو النظام الهندسي

سيناريوهات الجريان السطحي باستخدام منحنيات التردد لدراسات النمذجة التي يستخدمها نموذج HEC-HMS. وفي جزء من نهر قره اجاق في محافظة فارس في إيران، استخدم بيريزا وآخرون (Purreza et al., 2007) النماذج الهيدروليكية و امتداد نظام HEC-GEOHMS لتقدير وتحديد منطقة الفيضانات لتحديد العوامل التي تؤثر على إمكانية حدوث الفيضانات في الاحواض. وعلاوة على ذلك، فقد استخدم قانبربور (Ghanbarpour, 2007) نموذج HEC-HMS لمحاكاة استجابة مستجمعات المياه لأي تغييرات ناجمة عن اتخاذ تدابير للسيطرة الهيكلية وغير الهيكلية على الفيضانات وكذلك تحليل التزامن المائي. كما أجرى نصري وآخرون (Nasri et al., 2011) دراسة أخرى في حوض سد الشيخ بهائي في إيران وتم استخدام فيها نموذج HEC-HMS لمحاكاة عمليات التدفق في عمليات الأمطار والسيول المعتادة في هذه المنطقة. وأظهرت نتائج الدراسة أن نموذج HEC-HMS قد حدد المناطق التي تميزت بحدوث فيضانات وبكل دقة. كما قام زوركيكلي وآخرون (Zorkeflee et al. 2009) بدراسة في حوض سونفايكوراو باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ونماذج HEC-HMS لإدارة مستجمعات المياه. كما قام الباحثون بتحليل تأثير التغيرات في استخدام الأراضي على السلوك الهيدرولوجي للحوض. وأشار فيرما وآخرون (Verma et al. 2010) إلى مدى ملاءمة نموذج HEC-HMS لمحاكاة التدفق بعد استخدام نماذج HEC-HMS و WEPP في دراستهم لمستجمع بيتاراني في الهند.

وقام داستوراني وآخرون (Dastorani et al. 2011) بتقييم نموذج HEC-HMS من حيث قدرته على التنبؤ بالفيضانات ونمذجة عمليات الجريان في مستجمع المياه لمنطقة طوروق في إيران. وأشارت دراستهم إلى جوانب القوة في نموذج HEC-HMS في محاكاة الجريان بعد هطول الأمطار في المستجمعات التي لم يتم قياسها. غير أن العوامل الرئيسية التي أثرت على النتائج كانت رقم المنحنى (CN) والفقدان الأولي أو ما يسمى ب initial loss. وبالتالي فإن هذه المعايير يجب أن تقدر بشكل صحيح أثناء عملية المعايرة لضمان نتائج أكثر دقة.

يعمل من خلال الجمع بين التدفق السطحي القريب، والمياه السطحية ونمذجتها كجريان سطحي مباشر (Verma et al., 2010).

ويتكون هذا النموذج من أربعة ١, ٧ النمذجة الهيدرولوجي الجيومكاني تم تطوير النموذج الهيدرولوجي الجيومكاني HEC Geo-HMS من قبل مجموعة مهندسي الجيش الأميركي. وقد تم تجهيز النموذج بواجهة بسيط وقائمة، وأدوات لفرض توليد المدخلات الهيدرولوجية للاستخدام المباشر من نظام النمذجة. ولذلك، فإنه يمكن استخدام النموذج بدون أي مجهود من قبل المهندسين وعلماء المياه من ذوي الخبرة المحدودة (Geo-HMS, 2003).

يوفر النموذج الجيومكاني تقسيم للأحواض الفرعية وأداة للتجميع أيضاً. ولهذه الأداة القدرة على إنشاء خريطة تحتوي على خطوط المجاري الجداول المائية وحدود للأحواض الفرعية. فعلى سبيل المثال، من خلال النظام يمكن توفير مجموعة بيانات للمنافذ المطلوبة لتحديد الأحواض الفرعية وتمثيل حركة المياه من خلال الأحواض الفرعية عن طريق إنشاء نموذج حوض تجميعي يحتوي على العناصر الهيدرولوجية وتوصيلها معاً. وتشمل الأمثلة على قدرات النماذج الجيومكانية خلق ملف شبكي للعوامل المؤثرة ونموذج الحوض التوزيعي، وتوليد جدول الخصائص الفيزيائية لمستجمعات المياه والمجاري، وتحليل بيانات الارتفاع الرقمي وحساب القيمة العددية للأحواض الفرعية فضلاً عن توليد النموذج الارصادي ومواصفات التحكم (Geo-HMS, 2003)

١٧,٢ استخدام النموذج الهيدرولوجي ذو النظام الهندسي في النمذجة الهيدرولوجية في المناطق القاحلة طبق العبد وآخرون (Al-Abed et al., 2005). النموذج الهيدرولوجي ذو النظام الهندسي HEC-HMS في حوض الزرقاء بالأردن مع نموذج آخر لاكتشاف مزايا استخدام النماذج الهيدرولوجية القائمة على نظم المعلومات الجغرافية كأداة لإدارة المياه. وأظهرت تلك الدراسة بأن النموذج HEC-HMS يوفر نتائج أكثر ملاءمة من النموذج الآخر.

وقد اختار ينير وآخرون (Yener et al., 2006) حوض يوفسيك Yuvacik في تركيا كمنطقة دراسة لمحاكاة

٧,٣ نقاط القوة والضعف للنموذج

تشمل المزايا الرئيسية لنموذج HEC-HMS الجريان السطحي، ورسم توجيه القنوات، وهياكل التحكم في المياه، والتي هي المكونات الرئيسية لهذا النموذج. ولهذا النموذج قدرات يتم تطبيقها على مختلف الأحجام والأشكال والخصائص لمستجمعات المياه، ويدير النموذج البيانات حسب إدخالها وتنظيمها والوصول إليها، وعرضها بأبسط الطرق (Beckers et al., 2009).

وتتمثل نقاط الضعف لنموذج HEC-HMS في أن عمليات محاكاة مستجمعات المياه هي طريقة تجريبية فقط، وللمنموذج قدرات محدودة للتنفيذ في عمليات الأنهار، وتطبيق شروط محددة، مثل نوع معين من التضاريس (على سبيل المثال التضاريس التدريجية) عند نمذجة أي حجم من مستجمعات المياه (Beckers et al., 2009).

٨. منهجية رقم المنحنى للجريان السطحي

تعتبر طريقة رقم المنحنى للجريان السطحي The Runoff Curve Number Method وسيلة فعالة تم تصميمها لإيجاد كمية الجريان السطحي التقريبي التي تنشأ من ظواهر سقوط الأمطار في منطقة معينة. وتم تطوير الطريقة في بداية الأربعينيات من قبل قسم خدمة الحفاظ على الموارد الطبيعية بوزارة الزراعة الأميركية، التي كانت تسمى سابقاً قسم خدمة المحافظة على التربة (SCS)، في عام ١٩٥٤. وطريقة رقم المنحنى للجريان السطحي RCN والذي يعرف أيضاً باسم SCS، هي عوامل تجريبية يتم استخدامها في مجال الهيدرولوجيا لتقدير الجريان السطحي أو التسرب الذي ينتج عند هطول الأمطار (Ponce et al., 1996). وقام ريتزما (Ritzema 1994) بشرح استخدام RCN في أحواض التصريف: حيث يتم استخدام الطريقة للتنبؤ بعمق الجريان السطحي المباشر من عمق هطول الأمطار. بعد ذلك يوفر النظام مؤشر يوضح خصائص استجابة الجريان السطحي. وتعتمد طريقة RCN على عدة عوامل طبيعية، مثل ظروف رطوبة التربة في حوض الصرف (Ritzema, 1994, and USDA-SCS. 1985 and U.S.D.A.C.S, 1986)، والمجموعة الهيدرولوجية للتربة في منطقة ما، ونوع الغطاء النباتي والمعالجة والظروف الهيدرولوجية (Ponce et al., 1996).

كما يؤثر في طريقة RCN لحساب الجريان السطحي عنصرين هما الفاقد الأولي والاحتفاظ الفعلي. يبدأ الفاقد الأولي مع تراكم مياه الأمطار ويزداد مع وجود العوائق ورواسب التخزين، ومع التسرب قبل بدء الجريان. يبدأ الاحتفاظ الفعلي بعد بدء عملية الجريان الفعلية ويتم فقدان مزيد من مياه الأمطار في عملية الجريان، علماً بأن الفرضية الرياضية الأساسية للطريقة SCS-CN هي أن معدل احتفاظ التربة الفعلي بعد الجريان للحد الأقصى من الاحتفاظ المحتمل تساوي نسبة الجريان السطحي المباشر إلى الحد الأقصى للجريان وتمثل في المعادلة التالية:

$$Q = \frac{(P-I_a)^2}{(P-I_a)+S}$$

حيث:

Q هو الجريان السطحي؛

P هي هطول الأمطار؛

S هو الحد الأقصى للاحتفاظ برطوبة التربة

المحتمل بعد بدء الجريان؛

I_a هو التجريد الأولي؛ أو مقدار الماء قبل الجريان، مثل

التسرب، أو اعتراض الأمطار من الغطاء النباتي، و

$$I_a = 0.2S$$

وبعد تطبيق العملية الحسابية الجبرية والتبسيط

الافتراضي، فإن العلاقة السابقة يمكن أن تكون ممثلة في

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

هذه المعادلة الرياضية التالية:

والمعادلة التالية تمثل العلاقة بين S و CN

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

و لدى CN مجموعة من 0 إلى 100. وتشير الأرقام

المنخفضة إلى الاحتمال المنخفض لجريان المياه، في حين

تشير الأرقام الأكبر إلى الزيادة في إمكانية الجريان

السطحي.

٨,١ استخدام طريقة رقم المنحنى للجريان السطحي

في النمذجة الهيدرولوجية القائمة على نظم المعلومات

الجغرافية

مع التطور السريع في التكنولوجيا، ويمكن لبرنامج نظام

ArcGIS إعطاء الحساب الدقيق لرقم المنحنى في طريقة

RCN. وقام زهان و هوانق (Zhan and Huang

الجغرافية وتم فيها الاستفادة من قيمة رقم المنحنى CN. أجرى الدراسة داوود وآخرون (Dawod et al. 2011) في مدينة مكة المكرمة في الجزء الغربي من المملكة العربية السعودية. وكان الغرض من هذه الدراسة هو تطوير أسلوب قائم على نظم المعلومات الجغرافية لرسم وتحديد مقاييس للفيضانات. تم دمج عدة بيانات طبوغرافية، ارضادية، جيولوجية، بالإضافة لبيانات استخدام الأراضي في بيئة نظم المعلومات الجغرافية التي تستخدم طريقة نمذجة فيضانات CN. وأظهرت الدراسة أن هناك العديد من العوامل التي تؤثر على الحجم الكلي للفيضانات، مثل منطقة مستجمعات المياه، وطول مجرى الحوض، وذروة التصريف. وعلاوة على ذلك، فقد وجدت الدراسة أنه كلما ارتفعت قيمة CN، ارتفعت مخاطر الجريان السطحي والفيضانات.

الختام والتوصيات:

استعرضت هذه الدراسة العديد من الدراسات المتعلقة بنظم المعلومات الجغرافية وتكنولوجيا الاستشعار عن بعد، بجانب بيانات الارصاد واستخدامات الاراضي وتطبيقاتها، من أجل تحليل دورها في المساعدة على النمذجة الهيدرولوجية في المناطق الجافة. وركزت الدراسة بشكل خاص على عدة جوانب أساسية من النمذجة الهيدرولوجية، مثل أنواع النماذج الهيدرولوجية ومستجمعات المياه، نموذج بيانات الارتفاع الرقمي، وبيانات استخدامات الأراضي والغطاء الارضي، وبيانات التربة، وبيانات هطول الأمطار، ونموذج سوات، ونموذج KINEROS2، ونموذج IHACRES، ونموذج HEC-HMS وطريقة RCN.

وتأتي أهمية هذه الدراسة من خلال نشر المعرفة عن النماذج التي يمكن لها مساعدة الباحثين وصناع القرار على معرفة الأنظمة الهيدرولوجية في مناطقهم وكيفية الاستفادة منها في المحافظة على الماء الذي يعتبر موردا حيويا هاما في المناطق الجافة. وقد أجريت العديد من الدراسات لتطوير النماذج الهيدرولوجية في هذه المناطق. غير أن هناك العديد من القضايا المرتبطة بالنمذجة الهيدرولوجية في المناطق الجافة التي تم الكشف عنها من خلال هذه المقالة الاستعراضية ومنها: (١) محدودية البيانات الهيدرولوجية، (٢) عدم وجود ملاحظات ونتائج نمذجة ذات جودة عالية، (٣) صعوبة تطوير نماذج هيدرولوجية مناسبة نظرا لعدم

بشرح تطوير وتطبيق أداة جريان ArcCN. ويمكن استخدام أداة جريان ArcCN في حالة حدوث عاصفة في مستجمع للمياه لتحديد رقم المنحنى وتقدير الجريان السطحي أو التسرب.

وعادة ما يكون هناك فقدان جزئي للتباين المكاني ضمن مستجمع المياه اثناء عملية حساب الجريان السطحي، وتم تصميم أداة جريان ArcCN للتغلب على هذه المشكلة. وتشمل بعض ميزات أداة ArcCN قدرتها على المحافظة على الحدود غير المنتظمة باستخدام مضلعات من مختلف الأشكال وقاعدة بيانات مدمجة للمساعدة في تحديد رقم المنحنى استنادا إلى بيانات التربة واستخدام الأراضي. ويساعد البرنامج على إدارة وتصميم عملية تقدير التصريف المستقبلي، والنمذجة الهيدروليكية، والمشاريع، وكذلك للتنبؤ باستجابة مستجمعات المياه إلى النشاط الحضري.

كما اقترح كلا من زهان وهوانق (Zhan and Huang 2004) عددا من الجوانب التي من شأنها تحسين تنبؤات أداة ArcCN، مثل تطبيق تسلسل زمني لهطول الأمطار واخذ بعض العوامل بعين الاعتبار مثل حالة الرطوبة والجفاف (كعوامل CN). وقد تم تطوير طريقة نسبية بالاعتماد على نظم المعلومات الجغرافية بواسطة براين وآخرون (Braun et al. 2003) لوصف مناطق تغذية المياه الجوفية. وقد استخدم منهجه في مقاطعة وكيشا، ويسكونسن، لمعرفة مناطق التغذية. واستخدمت منهجية هطول الأمطار، ودرجة الحرارة، والتربة، وبيانات الغطاء الأرضي لتوليد خرائط الترشيح، والجريان السطحي. وتم تحديد الفرق في الجريان السطحي من خلال الجمع بين استخدامات الأراضي ومعلومات التربة. وتم تعيين قيم المنحنى الرقمي في هذه الطريقة في مناطق معينة بناء على تفردا بنوع التربة والغطاء الأرضي بدلا من تعيين قيم المنحنى لحوض واحد بأكمله. ومنتجت خرائط الجريان السطحي المحتملة وفقا لترتيب قيم المنحنى. وأشارت القيم العليا لمناطق الجريان السطحي المنخفضة، في حين أشارت المراتب الدنيا الى مناطق جريان اسطحي عالية. ثم تم استخدام إمكانات إعادة تغذية مناطق مختلفة لجمع وترتيب خرائط الترشيح، والجريان السطحي، وقدرة المياه في منطقة الجذر Root-Zone Water Capacity. وقد أجريت دراسة أخرى قائمة على نظم المعلومات

Emirates, Cranfield University, p: 97 – 101.

Al-Qurashi, A., N. McIntyre, H. Wheeler, and C. Unkrich, 2008, Application of the Kinos2 rainfall-runoff model to an arid catchment in Oman: *Journal of Hydrology*, v. 355, p. 91-105.

Al-Turbak AS, 1996, Geomorphoclimatic peak discharge model with a physically based infiltration component. *Journal of hydrology* 176:1-12.

Arnold, J. G., R. Srinivasan, R. S. Muttiah, and J. R. Williams, 1998, Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model Development 1: *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, v. 34, p. 73-89.

Arnold, J.G., Williams, J.R., Nicks, A., and Sammons, N.B. 1990. *SWWRB-A basin Scale Simulation Model*. College Station: Texas A&M Press.

ASCE, 1999. *GIS Modules and Distributed Models of the Watershed*. A report by the ASCE Task Committee on GIS Modules and Distributed Models of Watershed, P.A. DeBarray and R.G. Quimpo (Eds.), Reston, VI.

Beckers, J.; Smerdon, B.; Wilson, M. (2009). Review of hydrologic models for forest management and climate change applications in British Columbia and Alberta. Available: http://www.forrex.org/sites/default/files/forrex_series/FS25.pdf. Last accessed 20th Jul 2012.

Beven, K., 1984, Infiltration into a class of vertically non-uniform soils: *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques*, v. 29, p. 425-434.

Beven, K., 1995, Linking Parameters across Scales - Subgrid Parameterizations and Scale-Dependent Hydrological Models: *Hydrological Processes*, v. 9, p. 507-525.

Beven, K., 2001, Rainfall-runoff modelling: the

وجود التكنولوجيا المتقدمة للقياس وجمع البيانات في معظم المناطق الجافة، (٤) وندرة وتغير فترات هطول الأمطار، (٥) وجود حالات للفيضانات الفجائية والغير متوقعة، و (٦) حقيقة أن معظم النماذج الهيدرولوجية مصممة للمناطق الرطبة وليس للمناطق الجافة ومنها تنشأ أهمية التعمق البحث لتطوير نماذج وأنظمة حاسوبية لنمذجة مستجمعات المياه ومعرفة معدلات الجريان السطحي في المناطق الجافة. ماسبقسبب عدد من لقضايا وشكلت تحديات للباحثين والعاملين في إدارة الموارد المائية، ومطوري النماذج الهيدرولوجية القائمة على نظم المعلومات الجغرافية.

تتطلب المناطق القاحلة المزيد من الاهتمام من الباحثين من أجل التغلب على هذه العقبات في النمذجة الهيدرولوجية. على سبيل المثال، ينبغي أن يتم النظر في تطوير أساليب جديدة للتحديد المكاني للأمطار والتسرب من التدفقات التي تأتي من الفيضانات المفاجئة. ويمكن استخدام بيانات الاستشعار عن بعد في المناطق الجافة لمحاكاة الأحداث بدلا من استخدام بيانات أجهزة القياس الميدانية المكلفة والتي يسهل تعرضه للتلف ويمكن اقتصار توزيع أجهزة القياس والرصد على المناطق كثير التعرض للفيضانات الفجائية لتحسين بيانات الرصد.

المراجع

Abushandi, E., H., (2011a) Rainfall-Runoff Modeling in Arid Areas, Faculty for Geosciences, Geotechnique and Mining of the Technische Universität Bergakademie Freiberg. p. 26-36.

Abushandi E., Merkel B. (2011b) Modelling rainfall runoff relations using HEC-HMS and IHACRES for a single rain event in arid region, Jordan. *Water Resources Management Journal*

Al-Abed N, Abdulla F, Abu Khyarah A (2005) GIS-hydrological models for managing water resources in the Zarqa River basin. *Environmental Geology* 47:405-411.

Al Mulla, M.M., 2005, Application of a hydrological model in a data-poor arid region catchment: a case study of Wadi Ham, United Arab

ments', in preparation.

Croke, B.F.W., A.B. Smith and A.J. Jakeman 2002, 'A One-Parameter Groundwater Discharge Model Linked to the IHACRES Rainfall-Runoff Model'. In: A. Rizzoli and A. Jakeman (eds), Proceedings of the 1st Biennial Meeting of the International Environmental Modelling and Software Society, University of Lugano, Switzerland, vol I, pp 428-433.

Croke BFW, Andrews F, Jakeman AJ, Cuddy SM, Luddy A (2006) IHACRES classic plus: A redesign of the IHACRES rainfall-runoff model. *Environmental Modelling & Software* 21:426-427.

Croke, B.F.W. and A.J. Jakeman 2004, 'A Catchment Moisture Deficit module for the IHACRES rainfall-runoff model', *Environmental Modelling and Software*, vol 19, pp 1-5.

Croke, B.F.W., Jakeman, A.J., 2008. Use of the IHACRES rainfall-runoff model in arid and semi arid regions. In: Wheater, H.S., Sorooshian, S., Sharma, K.D. (Eds.), *Hydrological Modelling in Arid and Semi-arid Areas*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 41-48.

Dastorani, M. T., Khodaparast, R., Talebi, A., Vafakhah, M., Dashti, J., 2011. Determination of the Ability of HEC-HMS Model Components in Rainfall-run-off Simulation. *Research Journal of Environmental Sciences*, 5: 790-797.

Dawod G, Mirza M, Al-Ghamdi K (2011) GIS-based spatial mapping of flash flood hazards in Makkah city, Saudi Arabia. *J GeogrInfSyst* 3(3):217-223.

De Pauw E., Göbel W. & Adam H. (2000) Agrometeorological aspects of agriculture and forestry in the arid zones. *Agricultural and Forest Meteorology*, 103, 43-58.

Dewan AM, Nishigaki M, Komatsu M. (2004) DEM based flood delineation in Dhaka city,

primer: Chichester, John Wiley & Sons, Ltd, 355 p.

Bhaskar, N.R., James, W.P. and Devulapalli, R.S. (1992). Hydrologic parameter estimation using geographic information system. *J. Water Resour. Plann. Manag.*, ASCE, 118(5): 492-512.

Borah, D. K., G. Yagow, A. Saleh, P. L. Barnes, W. Rosenthal, E. C. Krug, and L. M. Hauck. 2006. Sediment and nutrient modeling for TMDL development and implementation. *Trans. ASABE* 49(4): 967-986.

Boughton, W., and F. Chiew, 2007, Estimating runoff in ungauged catchments from rainfall, PET and the AWBM model: *Environmental Modelling & Software*, v.22, p. 476-487.

Braun, G.M., N.S. Levine, S.J. Roberts, and A.N. Samel. 2003. "A Geographic Information Systems Methodology for the Identification of Groundwater Recharge Areas in Waukesha County, Wisconsin." *Environmental and Engineering Geoscience* 9(3): 267-278.

Brennen, J. (1994). Developing an integrated, multi-purpose geographic information system. *Public Works*, 125(9): 43-46.

Bronstert, A., 2004, Rainfall-runoff modelling for assessing impacts of climate and land-use change: *Hydrological Processes*, v. 18, p. 567-570.

Chow, V. T. (ed.) (1964) *Handbook of Applied Hydrology*, McGraw-Hill Book Company, New York, USA.

Chow, V. T., Maidment, D. R. & Mays, L. W. (1988) *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York, USA.

Croke, B.F.W. 2004, 'A technique for deriving the average event unit hydrograph from stream-flow-only data for quick-flow-dominant catch-

elevation model issues in water resources modeling. *Hydrology and Hydraulic Modeling Support with Geographic Information System* (D. Maidment and D. Djokic, editors), ESRI Press, Redlands, California, pp. 1–28.

Ghanbarpour M. Reza. (2007). Evaluation of flood mitigation alternatives using hydrological modeling. *J. Appl. Sci. Environ. Manage.* 11 (4), p113-117.

Green, W. H., and G. A. Ampt. 1911. Studies on soil physics. *J. Agric. Sci.* 4(1): 1-24.

Gunduz, O. and Aral, M.M. (2003). "Hydrologic modeling of the lower Altamaha river basin." In *Proceedings of the 2003 Georgia Water Resources Conference*, edited by K.J. Hatcher, Athens, Georgia, USA.

Jain, M. K., Kothiyari, U. C., and Ranga-Raju, K. (2004). A GIS based distributed rainfall-runoff model. *Journal of Hydrology*, 299(1-2), 107-135.

Jakeman, A. J., and G. M. Hornberger, 1993, How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model: *Water Resources Research*, v. 29, p. 2637-2649.

Jakubauskas, M.E., Whistler, J.L., Dillworth, M.E. and Martinko, E.A. (1992). Classifying remotely sensed data for use in an agricultural nonpoint source pollution model. *J. of Soil and Water Cons.*, 47(2): 179-183.

Jenson, S. K. and Domingue, J. O.: 1988, 'Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information systems analyses, *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 54(11), 1593-1600.

Johnson, L.E. (1989). A digital map based hydrologic modelling system. *Photogramm. Engg. and Remote Sensing*, 55(6): 911-917.

Kalin, L., and M. M. Hantush. 2003. Evalua-

Bangladesh. *JFacul Environ SciTechnol* 9(1):99–110.

DHI, 1993, Mike11, A microcomputer-based modelling system for rivers and channels, User and reference manual, in D. H. Institute, ed., Hørsholm, Denmark.

DiLuzioM., J.G. Arnold, and R. Srinivasan, 2004. Integration of SSURGO Maps And Soil Parameters Within A Geographic Information System And Nonpoint Source Pollution Model. *J. Soil Water Conserv.* 59(4): 123-133.

Dye P.J. and B. F. W. Croke 2003, 'Evaluation of streamflow predictions by the IHACRES rainfall-runoff model in two South African catchments', *Environmental Modelling and Software*, vol 18, pp 705-712.

Engman, E. T. (1986) Hydrologic research before and after AgRISTARS. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* GE-14(1), 5-11.

Fadil, A. Rhinane, H., Kaoukaya, A. Kharchaf, Y. and Bachir, O. A., 2011, Hydrologic Modeling of the Bouregreg Watershed (Morocco) Using GIS and SWAT Model, *Journal of Geographic Information System* 3, 279-289.

Frederickson, K. (1993). GIS-Hydrologic model interface for flood prediction and assessment. Arlington, Va.: Triservice CADD/GIS Training Symposium.

Fresco LO (1994) Imaginable futures, a contribution to thinking about land use planning (eds Fresco LO, Stroosnijder L, Bouma J, van Keulen H), pp. 1–8. John Wiley and Sons, Chichester.

KITE G. W. & A. PIETRONIRO (1996): Remote sensing applications in hydrological modeling, *Hydrological Sciences Journal*, 41:4, 563-591.

Garbrecht, J., and L.W. Martz, 2000. Digital

- Proc., 1991, Nat. Conf., ASCE, New York, NY, pp. 961-965.
- Leonard, R. A., W. G. Knisel, and D. A. Still. 1987. GLEAMS: Groundwater loading effects of agricultural management systems. Transactions of the ASAE 30(5): 1403-1418.
- Littlewood, I.G., B.F.W. Croke, A.J. Jakeman and M. Sivapalan 2003, 'The role of 'top-down' modelling for Prediction in Ungauged Basins (PUB)', Hydrological Processes, vol 17, pp 1673-1679.
- Lu, M., Koike, T. and Hayakawa, N. (1996) "A distributed hydrological modeling system linking GIS and hydrological models", HydroGIS 95: Application of Geographic Information Systems in Hydrology and water Resources Management (Proc. Vienna Conference April IAHS Publ.No. 235pp.141-148.
- Maidment, D.R. (1993). GIS and Hydrologic modeling. In: Environmental Modeling with GIS, M.F. Goodchild, B.O. Parks and L.T. Steyaert (eds.), New York: Oxford Univ. Press.
- Mark, D. M. 1975. 'Computer analysis of topography: B comparison of terrain storage methods'. Gcoyra/wkaAnnulrr, 57A, I 79- 188.
- McConnell W and Moran EF (2001) Meeting in the Middle: The Challenge of Meso-Level Integration. LUCC Focus 1 Office, Anthropological Center for Training and Research on Global Environmental Change, Indiana University.
- McIntyre, N., and A. Al-Qurashi, 2009, Performance of ten rainfall-runoff models applied to an arid catchment in Oman: Environmental Modelling & Software, v. 24, p. 726-738.
- Michaud J, and Sorooshian S. 1994. Comparison of simple versus complex distributed runoff models on a mid-sized semiarid watershed. Water Resources Research 30(3): 593-605.
- tion of sediment transport models and comparative application of two watershed models. EPA/600/R-03/139. Cincinnati, Ohio: USEPA, National Risk Management Research Laboratory.
- Knisel, W. G. 1980. CREAMS: A field scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems. U.S. Department of Agriculture, Science and Education Administration, Conservation Research Report no. 26.
- Knebl, M. R., Yang, Z.-L., Hutchison, K., and Maidment, D. R. (2005). Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case study for the San Antonio River Basin Summer 2002 storm event. Journal of Environmental Management, 75, 325-336.
- Kirkby, M. J. (1978) Hillslope Hydrology, John Wiley, New York, USA, 325-363.
- Kokkonen, T., A.J. Jakeman, P.C. Young and H.J. Koivusalo 2003, 'Predicting daily flows in ungauged catchments: model regionalization from catchment descriptors at the Coweeta Hydrologic Laboratory, North Carolina', Hydrological Processes, vol 17, pp 2219-2238.
- Kokkonen, T., Koivusalo, H. & Karvonen, T. 2001 A semi-distributed approach to rainfall-runoff modeling – a case study in a snow affected catchment. Environ. Model. Soft. 16(5), 481-493.
- Kouwen, N., Soulis, E.D., Pietroniro, A., Donald, J. and Harrington, R.A. (1993). Grouped response units for distributed hydrologic modeling. J. Water Resour. Plann. and Manag., ASCE, 119(3): 289-305.
- Lee, M.T. and Terstriep, M.L. (1991). Applications of GIS for water quality modelling in agriculture and urban watershed. In: Hydr. Engg.,

Ogden, F. L., Garbrecht, J., DeBarry, P.A. and Johnson, L. E. (2001). "GIS and distributed watershed models II: Modules, Interfaces, and Models", *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE, 6 (6), pp. 515-523.

O'Callaghan, J. F. and Mark, D. M.: 1984, 'The extraction of drainage networks from digital elevation data', *Comp. Vis. Graph. Image Process.* 28, 323-344.

O'Loughlin, E. M.: 1986, 'Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis', *Water Resource Res.* 22, 794-804.

Ouessar, M., A. Bruggeman, F. Abdelli, R.H. Mohtar, D. Gabriels, and W.M. Cornelis. 2009. Modelling water-harvesting systems in the arid south of Tunisia using SWAT. *Hydrology and Earth System Sciences* 13:2003-2021.

Panuska, J. C., Moore, I. D., and Kramer, L. A. 1990. 'Terrain analysis: integration into the Agricultural Nonpoint Source Pollution (AGNPS) model', *J. Soil and Water Conserv.*, in press.

Peucker, T. K., Fowler, R. J., Little, J. J., and Mark, D. M. 1978. 'The triangulated irregular network', *Proc. Auto Carto If/*, Am. Congress on Surveying and Mapping, Fallschurch, Virqnia, 516-540.

Perrin, C., C. Michel, and V. Andréassian, 2003, Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation: *Journal of Hydrology*, v. 279, p. 275-289.

Pilgrim, D. H., T. G. Chapman, and D. G. Doran, 1988, Problems of Rainfall-Runoff Modeling in Arid and Semiarid Regions: *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques*, v. 33, p. 379-400.

Ponce, V. M. and R. H. Hawkins. 1996. Runoff curve number: Has it reached maturity? *Journal of Hydrologic Engineering* 1(1):11-19.

Moghadas, S. (2009). Long-term Water Balance of an Inland River Basin in an Arid Area, North-Western China. Division of Water Resources Engineering, Department of Building and Environmental Technology, Lund University. Chpter 2. p10-13.

Moon, J., Srinivasan, R., and Jacobs, J. H. (2004). Stream flow estimation using spatially distributed rainfall in the Trinity River basin, Texas. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 47(5), 1445-1451.

Moore, I. D. 1988. 'A contour-based terrain analysis program for the environmental sciences (TAPES)', *Trans. Am, Geo phys.Uni on.* 69,345.

Moore, I. D., R. B. Grayson and A. R. Ladson, (1991), "Digital Terrain Modelling: A Review of Hydrological, Geomorphological, and Biological Applications," *Hydrological Processes*, 5(1): 3-30.

Mott Macdonald, 1992. Groundwater recharge schemes for Saham-Sohar area – data analysis report. Sultanate of Oman, Ministry of Agriculture and Fisheries, Internal Report, May 1992, 48p. Nouh, M., 2006. Wadi flow in the Arabian Gulf states. *Hydrological Processes* 20, 2393-2413.

Nasri, M., Soleimani, F., Sardoo, Katani. M. (2011) Simulation of the Rainfall-Runoff Process Using of HEC-HMS Hydrological Model. *World Academy of Science, Engineering and Technology.* 78, p548-551.

Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Williams, J. R., and King, K.W.: Soil and water assessment tool theoretical documentation: version 2000, Texas water resources institute, College station, Texas, USA, 2002.

NOAA. (2008). Hazards/Climate Extremes.

forecasting gaged and ungaged fast responding watersheds. NWS Eastern Region Technical Attachment, No. 2010-01

Schmidt, F. and Persson, A.: 2003, 'Comparison of DEM data capture and topographic wetness Indices' Precision Agricul. 4, 179-192.

Schneider, K., Ketzer, B., Breuer, L., Vach'e, K. B., Bernhofer, C., and Frede, H.-G.: Evaluation of evapotranspiration methods for model validation in a semi-arid watershed in northern China, Adv. Geosci., 11, 37-42, 2007, <http://www.adv-geosci.net/11/37/2007/>.

Schreider, S.Y., Jakeman, A.J., Pittock, A.B., 1996. Modelling rainfall-runoff from large catchment to basin scale: the Goulburn Valley, Victoria. Hydrological Processes 10 (6), 863-876.

Sefton, C. E. M. & Howarth, S. M. 1998 Relationships between dynamic response characteristics and physical descriptors of catchments in England and Wales. J. Hydrol. 211(1-4), 1-16.

Shadeed, S., and M. Almasri, 2010, Application of GIS-based SCS-CN method in West Bank catchments, Palestine: Water Science and Engineering, v. 3, p. 1-13.

Sharpley, A. N., and J. R. Williams, eds., 1990: EPIC-Erosion Productivity Impact Calculator, 1. Model documentation. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Tech. Bull. 1768.

Singh, V. P., and Woolhiser, D. A. (2002). Mathematical modeling of watershed hydrology. Journal of Hydrologic Engineering, 7(4), 270-292.

Sloan, W.T. 2000, 'A physics-based function for modelling transient groundwater discharge at the watershed scale', Water Resources Research, vol 36, pp 225-241.

Purreza, M. Shahri, 2007, flood mapping using GIS, study design: a part of Ghareaghaj river in Fars province, Iran, GIS conference, p 24, Tehran.

Quinn, P., Beven, K., Chevallier, P. and Planchon, O.: 1991, 'The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models', Hydrol. Process. 5(1), 59-79.

Rango, A. (1994). Application of remote sensing methods to hydrology and water resources. J. Hydro. Sci., 39(4): 309-319.

Ritzema H.P. 1994. Drainage Principles and Applications, Publication 16, second revised edition, 1994, International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands. ISBN 90 70754 3 39.

Reed, S., J. Schaake, and Z. Y. Zhang, 2007, A distributed hydrologic model and threshold frequency-based method for flash flood forecasting at ungauged locations: Journal of Hydrology, v. 337, p. 402-420.

Ross, M.A. and Tara, PD. (1993). Integrated hydrologic modelling with geographic information systems. J. of Water Resour. Plann. and Manag., ASCE, 119(2):129-140.

Scharffenberg, W., and M. Fleming, 2010, Hydrologic modeling system HEC-HMS v3.2 user's manual.: Davis, USA, USACE-HEC.

Semmens, D.J., D.C. Goodrich, C.L. Unkrich, R.E. Smith, D.A. Woolhiser, and S.N. Miller (2008). KINEROS2 and the AGWA modeling framework; in Wheeler, H., S. Sorooshian, and K.D. Sharma, (Eds.) Hydrological Modelling In Arid and Semi-Arid Areas, Cambridge University Press, New York, 206pp.

Schaffner, M., C.L. Unkrich, D.C. Goodrich, 2010: Application of the KINEROS2 site specific model to south-central NY and northeast PA:

port.

Williams, J.R., C.A. Jones, and P.T. Dyke. 1984. A Modeling Approach to Determining the Relationship between Erosion and Soil Productivity. *Transactions of the ASAE* 27:129-144.

Wilson JP, Mitasova H, Wright DJ. 2000. Water resource applications of Geographic Information Systems. *URISA Journal* 12(2): 61–79.

WMO, 2007a: Guidance on Flash Flood Management - Recent Experience from Central and Eastern Europe. APFM, Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization. Available at: http://www.apfm.info/pdf/pilot_projects/APFM-CEE-Synthesis_web.pdf (last accessed 18 May 2012).

Wood, E. F, Sivapalan, M. & Beven, K. (1990) Similarity and scale in catchment storm response. *Rev. Geophys.* 28(1), 1-18.

Yatheendradas, S., Wagener, T., Gupta, H., Unkrich, C.L., Goodrich, D.C., Schaffner, M., Stewart, A., 2008. Understanding uncertainty in distributed flash flood forecasting for semiarid regions. *Water Resources Research*, in press, doi:10.1029/2007WR005940.

Ye, W., Bates, B.C., Viney, N.R., Sivapalan, M., Jakeman, A.J., 1997. Performance of conceptual rainfall-runoff models in low-yielding ephemeral catchments. *Water Resources Research* 33 (1), 153–166.

Ye, W., Jakeman, A.J., Barnes, C.J., 1995. A parametrically efficient model for prediction of streamflow in an Australian benchmark catchment with complex storage dynamics. *Environment International* 21 (5), 475–758.

Yener, M.K., A.U. Sorman and T. Gezgin, 2006. Modeling studies with HEC-HMS and runoff scenarios in Yuvacik Basin, Turkiye. http://www.dsi.gov.tr/english/congress2007/chapter_4/123.pdf.

Srinivasan, R. and Engel, B.A. (1994). A spatial decision support system for assessing agricultural nonpoint source pollution. *Water Resour. Bull.*, AWRA, 30(3):441-452.

Tim, U.S. (I 995). Emerging technologies for hydrologic and water quality modeling research. *Trans. of the ASAE*, 39(2): 465-476.

Tim, U.S., Milner, M. and Majure, J. (1992). Geographic information systems/simulation model linkage: Processes, problems and opportunities. ASAE paper No.92-3610, ASAE, St. Joseph, Michigan.

Tribe, A. 1992. Automated Recognition of Valley Heads from Digital Elevation Models. *Earth Surface Processes & Landforms*, 16(1):33-49.

USDA-SCS. 1985. National Engineering Handbook, Section 4 - Hydrology. Washington, D.C.: USDA-SCS.

U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, 1986. Urban Hydrology for Small Watersheds. Tech. Release 55.

Verma, A.K., M.K. Jha and R.K. Mahana, 2010. Evaluation of HEC-HMS and WEPP for simulating watershed runoff using remote sensing and geographical information system. *Paddy Water Environ.*, 8: 131-144.

Vieux, B. E. (2004). Distributed hydrologic modeling using GIS. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Wheater, H.S., 1981. Northern Oman Flood Study. Imperial College, London, p. 270.

Wheater, H. S., Sorooshian, S. & Sharma, K. D. 2008 *Hydrological Modeling in Arid and Semi-arid Areas*, Cambridge University Press, Cambridge.

Whitehead, P., Wade, A. & Flynn, N. 2006 *Water life and civilization project*, second year re-

Young, R.A., Onstad, C.A., Bosch, D.D. and Anderson, W. P. (1987). AGNPS: An agricultural nonpoint source pollution model: A large watershed analysis tool. USDA Cons. Res. Rept. 35, pp.77.

Yu P, Jeng Y (1997) A study on grid based distributed rainfall runoff models. Water Resources Management 11: 83-99.

US Army Corp of Engineers, Hydrologic Center, 2006, Geospatial Hydrologic Modeling Extension, HEC-GeoHMS, User's Manual (version 1.1)

Zhan, X. and Huang, M. L. 2004. ArcCN-Runoff: an ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps. Environ. Model. Softw. 19(10): 875-879.

Zhang, H., Haan, C.T. and Nofziger, D.L. (1990). Hydrologic modeling with GIS: An overview. Applied Engg. In Agriculture, 6(4): 453-458.

Zorkeflee, A.H., H. Nuramidah and S.Y. Mohd, 2009. Integrated river basin management (IRBM): Hydrologic modelling using HEC-HMS for sungaikurau basin, Perak. Proceedings of the International Conference on Water Resources, (ICWR'09), River Basin Management Society, pp: 1-7.

