

تقدير الجريان السطحي باستخدام نموذج SWAT لجابية غير مرصودة شمال العراق

د.محمد عزالدين محمد

استاذ مساعد

قسم هندسة السدود والموارد المائية/جامعة الموصل

اسماء مؤيد سعدالله

طالبة ماجستير

الخلاصة

تعتبر نماذج المحاكاة والنماذج الرياضية بمختلف انواعها والتي هي نماذج مبنية على اساس فيزيائي (Conceptual Model) او التي تعتمد على المعادلات والعلاقات الناتجة من القياسات المختبرية او الحقلية (النماذج الوضعية او التجريبية "Impirical Model") ذات اهمية في تقدير عمق الجريان السطحي ومعامل السيح وبشكل خاص للجابيات غير مرصودة الجريان. يتضمن البحث تطبيق نموذج تخمين عمق السيح السطحي والرسوبيات SWAT (Soil and Water Assessment Tool) لتقدير عمق الجريان السطحي لجابية نهر الخوصر والبالغة مساحتها 696 كم². اجريت معايرة للنموذج لبيانات عواصف مطرية مرصودة عند منفذ الجابية وكذلك اعتمدت بيانات لعواصف اخرى مرصودة عند منفذ جابية ثانوية ضمن جابية حوض النهر تبلغ مساحتها 36 كم² لغرض التحقق من اداء النموذج. اظهرت نتائج المعايرة معامل تحديد ودليل الموافقة وكفاءة النموذج و t-test قيما 0.99 و 0.95 و 0.73 و 0.19 على التوالي، بينما اعطت نتائج التحقق من اداء النموذج 0.97 و 0.89 و 0.72 و 0.32 لنفس المعايير الاحصائية السابقة

طبق النموذج على جابية نهر الخوصر لفترة زمنية يومية مستمرة للمدة 1991-2011 وربط الجريان السطحي اليومي المتراكم مع العمق التراكمي اليومي للعواصف المطرية بعلاقة كم تم ربط عمق الجريان السنوي مع عمق المطر السنوي بعلاقة اخرى. تبينت امكانية تطبيق هذه العلاقات لتقدير عمق السيح ومعامل السيح لمختلف الدراسات للجابية.

Estimate the Runoff Depth by Using of SWAT Model at a Watershed in Northern Iraq

A. M. Saadallah

M.Sc. Student

M. Ezz-Aldeen Mohammad

Assistant Professor

Dams and Water Resources Engineering Department/Mosul University

Abstract

The different types of mathematical models which are physically based models or the models based on laboratory experimental and/or field measurements are considered to estimate the runoff depth and runoff coefficient relating rainfall to runoff especially for the non-measured watersheds. Soil and Water Assessment Tool (SWAT) was applied to estimate the surface runoff depth of Al-Khoser River watershed, 696km². The model was calibrated based on measured single storms data at the watershed outlet, while data measured at the outlet of sub watershed (36km²) are considered for model verification. For model calibration, the resultant values are 0.99, 0.95, 0.73 and 0.19 for determination coefficient, index of agreement, model efficiency, and t-test respectively, while verification of the model revealed values of 0.97, 0.89, 0.72 and 0.32 for the same parameters considered respectively.

The model was applied as a daily continuous simulation for the period 1991-2011. Relationships between the accumulated daily runoff depths and accumulated daily rainfall depths have been obtained, additionally the yearly runoff depth related to the yearly rainfall depth was also derived. Those relations can be used to estimate the runoff depth and runoff coefficient for different studies of the watershed.

1- المقدمة

ان لتقدير كميات مياه الجريان السطحي الناتجة عن هطول الامطار على الاحواض المائية اهمية كبيرة في مجال ادارة الموارد المائية، فمنها ما يخص تصميم المنشآت الهيدروليكية المختلفة التي تقام عادة عليها ومنها ما يخص تشغيل وادارة هذه المنشآت مثل خزانات السدود. تعتمد القياسات الحقلية لعواصف منفردة عادة او القياسات المتواصلة في محطات القياس عند منفذ الاحواض المائية وخلالها لغرض تقدير كمية مياه الجريان السطحي وعمقها. ان مثل هذه القياسات تساهم بشكل كبير في تحديد معاملات السيج السطحي للحوض المائي المعني وللأحواض المائية ذات الخصائص المماثلة في حال عدم توفر قياسات لها. ان قياسات السيج السطحي على الرغم من اهميتها البالغة الا انها لازلت محدودة جداً في العالم عموماً ومناطق الشرق الاوسط بشكل خاص. لذلك وفي حالة الحاجة الى تقدير السيج السطحي او معاملته تتم المقارنة مع احواض مائية مماثلة في الخصائص من تكوين التربة واستخدام الارض، او الاعتماد على النماذج الرياضية المختلفة. بعض هذه النماذج تحاكي كل عاصفة مطرية بشكل منفرد مثل نظام نمذجة الاحواض المائية (WMS) Watershed Modeling System والذي يشتمل على كل من نموذج RT25, TR20, HEC وغيرها لتقدير هيدروغراف الجريان السطحي، والبعض الاخر تكون المحاكاة فيها مستمرة اي هناك تأثير لكافة العوامل المؤثرة على السيج من رطوبة التربة، درجات الحرارة، الرياح، التبخر، وغيرها ومنها نموذج (Water Erosion Prediction Project) WEPP والنموذج (Soil and Water Assessment Tool) SWAT علماً ان هناك حاجة الى معايرة هذه النماذج وذلك من خلال مقارنتها بقياسات مرصودة للتأكد من ملائمتها وامكانية تطبيقها بشكل موثوق.

اجرى [1] دراسة تأثير تغير ابعاد نموذج المناسيب الرقمية DEM على هيدروكراف الجريان السطحي في جابية شرق مدينة الموصل في العراق، من خلال نظام نمذجة مساحات الجابية WMS. اعتمدت بيانات المناسيب الرقمية لخلايا بأبعاد (1000 و 500 و 250 و 125) متر وكذلك تم التعبير عن نوعية التربة واستخدامات الارض بأسلوب الخلايا الرقمية كما في حالة المناسيب. طبق النموذج على ثلاثة العواصف المطرية ولكافة ابعاد شبكة المناسيب الرقمية واجري تقييم للنتائج من خلال مقارنة هيدروكراف التصريف المتوقعة من النموذج مع التصاريح المقاسة حقلياً وكذلك حجم الجريان السطحي الناتج عن العاصفة ومقدار التصريف الاقصى وزمن حصوله، اظهرت النتائج ان الخلايا بأبعاد 125*125م كانت الافضل، بينما كانت النتائج مقبولة الى حد ما لابعاد خلايا 500 م وحسب نتائج المعايير الاحصائية في تقدير هيدروكراف الجريان السطحي بالمقارنة مع الخلايا ذات الابعاد الاخرى.

استخدم [2] نماذج ناش وكلاارك وسانت فينانت لتقدير هيدروكراف القياسي باستدامة ثلاث ساعات لخمسة جوابي غير مرصودة حول مدينة الموصل، اظهرت النتائج تقارب بين نموذجين ناش وكلاارك وان نسبة ذروة التصريف في نموذج سانت فينانت كانت (2.5-27.4) ولنموذج كلاارك وناش بلغت (1.14-36.23) على التوالي للجوابي المختلفة.

اجرى [3] تحقق من أداء نموذج SWAT في عملية التنبؤ والمحاكاة للمجرى المائي لحوض نهر Bernam الواقع جنوب شرقي Perak وشمال شرقي Selangor في ماليزيا والذي تبلغ مساحته 1097 كم²، حيث طبق نموذج SWAT لمدة 27 سنة من 1981-2007، قسمت إلى مدة المعايير من 1981-2004 ومدة التحقق من الصحة من 2005-2007. اعتمد كلا من معامل التحديد R² وكفاءة النموذج NSE كاختبارات احصائية في عملية المعايرة والتحقق من الصحة. أن نتائج المعايرة الشهرية والسنوية كانت 0.85 و 0.68 لمعامل التحديد و 0.81 و 0.62 لكفاءة النموذج على التوالي.

قام [4] بمحاكاة الجريان السطحي لجابية جبلية لنهر Rhone الواقع جنوب غربي سويسرا والتي تبلغ مساحتها 5220 كم² عن طريق تطبيق نموذج SWAT اجري معايرة للنموذج للفترة 2001-2005 والتحقق من صحة الأداء للفترة 2006-2010 واستخدم اسلوبين هما محاكاة ذوبان الثلوج وانصهار الانهار الجليدية باعتماد دليل درجات الحرارة مع اخذ اختلافات المناسيب وبدونها لغرض المحاكاة، وقسمت الأحواض الثانوية إلى فئتين رئيسيتين مع الانهار الجليدية وبدونها. كان أداء النموذج جيد عند المقارنة بين القيم المحسوبة من النموذج القيم المرصودة وان اسلوب أخذ اختلافات المناسيب في الحساب يعطي نتائج أفضل من اسلوب عدم اخذ اختلافات المناسيب، كما أظهرت النتائج أن النموذج يمكن تطبيقه على المناسيب المرتفعة.

كما قام كل من [5] و [6] و [7] بتطبيق نموذج SWAT لتقدير كل من السيج السطحي وحمل الرسوبيات في مواقع مختلفة لدراسة تأثير تغير المعاملات منها المناخية واستخدامات الارض على نتائج النموذج.

يهدف البحث الحالي الى تطبيق نموذج SWAT والتحقق من ادائه لتقدير عمق الجريان السطحي ومنه معامل السيج السطحي لحوض نهر الخوصر الموسمي شمال مدينة الموصل من خلال محاكاة مستمرة ولمدة عشرين سنة (1991-2011)، حيث ان هناك مقترح لإنشاء سد على هذا النهر، مما يعزز اهمية تقدير كمية الجريان اليومي والسنوي المتوقع لهذا الحوض لأغراض تصميم وتشغيل السد المقترح.

2- وصف النموذج

اعتمد اداة تقدير كميات التربة والماء (Soil and Water Assessment Tool) SWAT وهو نموذج فيزيائي يستخدم لتخمين السيج السطحي وحمل الرسوبيات المنقولة معه من دقائق تربة ومواد كيميائية مختلفة. يعتمد النموذج اسلوب المحاكاة المستمرة وبطريقة Muskingum method لاستنباع الجريان ويستخدم طريقتين لتقدير السيج السطحي طريقة رقم المنحني CN (SCS/1972) Curve number وطريقة معادلة الارتشاح ل Green-Ampt (1911) كما ذكرها [9]. استخدمت طريقة رقم المنحني CN في هذه البحث لكونها اكثر ملائمة كون انها تتطلب بيانات اعماق الامطار اليومية وهذه البيانات المتوفرة في محطات الانواء الجوية في العراق، في حين ان معادلة الارتشاح ل Green-Ampt تتطلب قياسات اعماق الامطار الساقطة مع الزمن مثلا خلال كل ساعة أي تتطلب تفاصيل لشدة المطر الساقط، لذلك لم يتم اعتمادها. ان معادلة رقم المنحني لتقدير عمق السيج السطحي هي بالصيغة التالية [10]:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + S)} \quad \dots \dots \dots (1)$$

حيث ان :-

Q_{surf} : عمق السيج السطحي المتراكم من عاصفة مطرية (mm)،

R_{day} : عمق المطر اليومي (العاصفة المنفردة) (mm)،

I_a : الفواقد الاولية متضمنة الخزين السطحي واحتجاز النبات للمياه والارتشاح الابتدائي (mm) والتي تقدر (0.2S)،

S: معامل الاحتجاز (mm)، تتغير قيمة S اعتمادا على نوع التربة واستخدام الارض وميل الجابية او الحوض الثانوي. يمكن ايجاد معامل الاحتجاز من المعادلة التالية [10]:

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad \dots \dots \dots (2)$$

حيث ان :-

CN: رقم المنحني قبل سقوط العاصفة المطرية المعنية (تتغير قيمته اعتمادا على العمق المطري للخمسة ايام السابقة

للعاصفة المعنية)، ويمكن تحديده من جداول خاصة [10]

وبذلك تكون معادلة رقم (1) بالصيغة التالية:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.2S)^2}{(R_{day} + 0.8S)} \quad \dots \dots \dots (3)$$

يحدث السيج السطحي فقط عندما يكون عمق المطر R_{day} اكبر من معدل الارتشاح I_a . في طريقة رقم المنحني هناك ثلاثة قيم لرقم المنحني CN اعتمادا على حالة رطوبة التربة للفترة قبل سقوط المطر المراد تقدير عمق السيج الناتج عنها. القيمة الاولى CN_I لحالة التربة الجافة والقيمة الثانية CN_{II} لحالة التربة عند رطوبة الطبيعية والقيمة الثالثة CN_{III} لحالة التربة الرطبة وتحدد حالة رطوبة التربة اعتماداً على عمق المطر التراكمي للخمسة ايام التي تسبق العاصفة المطرية المعنية.

ان قيمة رقم المنحني الطبيعي CN_{II} يمكن ايجادها مباشرة من الجداول اعتمادا على نوع تربة الحوض المائي اوجزء منه (الحوض المائي الثانوي او الخلية المعنية) وعلى استخدام الارض. يعتمد النموذج على الخرائط الرقمية بصيغة shape file لكل من تصنيف التربة واستخدام الارض ومنها يحدد رقم المنحني لكل خلية من خلايا الحوض المائي او الجابية حيث تقسم الجابية عادة الى خلايا مربعة تعتمد ابعادها على ابعاد نموذج المناسيب الرقمية المعتمدة DEM. يبين الشكل (1) مخطط انسيابي لاسلوب عمل النموذج والمدخلات اللازمة له.

بعد تحديد رقم المنحني لحالة الرطوبة الطبيعية CN_{II} يعدل اعتمادا على حالة رطوبة التربة، حيث يقدر رقم المنحني للحالة الجافة CN_I من المعادلة التالية [9]:

$$CN_I = CN_{II} - \frac{[20 \times (100 - CN_{II})]}{[100 - CN_{II} + \exp(2.533 - 0.0636 \times (10 - CN_{II}))]} \quad \dots \dots \dots (4)$$

ويقدر رقم المنحني للحالة الرطبة من المعادلة التالية [9]:

$$CN_{III} = CN_{II} \times \exp[0.00673 \times (100 - CN_{II})] \quad \dots \dots \dots (5)$$

حيث ان :-

CN_I : رقم المنحني عند المحتوى الرطوبي الجاف،

CN_{III} : رقم المنحني عند المحتوى الرطوبي الطبيعي،

CN_{III}: رقم المنحني عند المحتوى الرطوبي الرطب.
ان قيمة رقم المنحني المجدول مناسبة لمقدار ميل 5% اما عند اختلاف الميل فان المعادلة طورت الى الصيغة التالية
(1995) Williams كما ذكرها [9]:

$$CN_{IIS} = \frac{(CN_{III} - CN_{II})}{3} \times [1 - 2 \times \exp(-13.86 \times slp)] + CN_{II} \quad \dots \dots (6)$$

حيث ان:

CN_{IIS}: رقم المنحني للحالة الطبيعية عند أي قيمة لميل slp

slp: معدل معامل الميل للحوض الثانوي.

ولإيجاد معامل الاحتجاز S باستخدام النموذج يوجد طريقتين، الطريقة التقليدية التي يكون فيها معامل الاحتجاز متغير اعتمادا على المحتوى الرطوبي للتربة وان المعادلة المستخدمة هي :

$$S = S_{max} \times \left| 1 - \left(\frac{S_w}{(S_w + \exp(w_1 - w_2 \times S_w))} \right) \right| \quad \dots \dots \dots (7)$$

حيث ان:-

S_{max}: أقصى احتجاز يمكن ان يتحقق في أي يوم (mm)،

S_w: محتوى الرطوبي للتربة مطروحا منه المحتوى الرطوبي عند السعة الحقلية (mm)،

w₁, w₂: معاملات الشكل.

ويتم تحديد قيمة S_{max} من معادلة رقم (2) عند استخدام CN_I اما معامل الشكل يتم ايجاده من المعادلة (7) على فرض ان معامل الاحتفاظ عند المحتوى الرطوبي الاولي فان رقم المنحني CN_I يتوافق مع المحتوى الرطوبي عند نقطة الذبول، وكذلك يكون معامل الاحتفاظ عند المحتوى الرطوبي الرطب فان رقم المنحني CN_{III} يتوافق مع المحتوى الرطوبي عند السعة الحقلية. كما ان لحالة التربة ذات رقم المنحني 99 (اكبر قيمة عند حالة تشبع التربة)، وعليه تكون قيمة S تساوي 2.54 حسب المعادلة (2)، ويمكن تحديد معاملات الشكل من المعادلات ادناه [9]:

$$w_1 = \ln \left[\frac{FC}{(1 - S_3 \times S_{max}^{-1})} - FC \right] + w_2 \times FC \quad \dots \dots \dots (8)$$

$$w_2 = \frac{\left| \ln \left[\frac{FC}{(1 - S_3 \times S_{max}^{-1})} - FC \right] - \ln \left[\frac{SAT}{(1 - 2.54 \times S_{max}^{-1})} - SAT \right] \right|}{SAT - FC} \quad \dots \dots (9)$$

حيث ان:-

w₁: معامل الشكل الاول،

w₂: معامل الشكل الثاني،

FC: محتوى الرطوبي للتربة عند السعة الحقلية mm،

S₃: معامل الاحتفاظ عند المحتوى الرطوبي الرطب CN_{III}،

S_{max}: معمل الاحتفاظ عند المحتوى الرطوبي الجاف CN_I،

SAT: عمق الماء داخل التربة عندما تكون التربة مشبعة (mm)،

ويعدل معامل الاحتجاز في حالة وجود غطاء نباتي وتأثره بمعامل التبخر-نتح لنبات عند نهاية كل يوم بالصيغة التالية:

$$S = S_{prev} + E_o \times \exp \left| \frac{-cncoef \times S_{prev}}{S_{max}} \right| - R_{day} + Q_{surf} \quad \dots \dots \dots (10)$$

حيث ان:-

S_{prev}: معامل الاحتفاظ لليوم السابق (mm)،

E_o: جهد التبخر النتح اليومي (mm/day)،

Cncoef: معامل الوزن .

تقدير الجريان السطحي باستخدام نموذج SWAT لجابية غير مرصودة شمال العراق :

بعد تحديد عمق المطر الفائض او عمق السيج السطحي يعتمد النموذج معادلة ماننك لحساب مقدار سرعة الجريان عند عرض واحد للمجرى المائي وهي بالصيغة التالية:

$$V_{ov} = \frac{q_{ov}^{0.4} \times slp^{0.3}}{n^{0.6}} \dots \dots \dots (13)$$

حيث ان:-

- V_{ov} : سرعة الجريان (m/ s)
- q_{ov} : معدل التصريف للسيج السطحي (m^3/s)،
- slp : معدل الميل للأحواض الثانوية،
- n : معامل ماننك للخشونة .

يتضمن النموذج تقدير زمن التركيز منذ بداية المطر وتكون السيج السطحي داخل الاحواض الثانوية ثم المجرى الرئيس الى حين وصول الماء الى المفذ وان زمن التركيز يقدر من المعادلة:

$$t_{conc} = t_{ov} + t_{ch} \dots \dots \dots (11)$$

حيث ان:-

- t_{con} : زمن التركيز الكلي (hr)،
- t_{ov} : زمن التركيز للأحواض الثانوية (الجريان السطحي) (hr)،
- t_{ch} : زمن التركيز للمجرى الرئيسي (hr).

ويمكن ايجاد زمن التركيز للجريان السطحي من المعادلة التالية :

$$t_{ov} = \frac{L_{slp}}{3600 \times V_{ov}} \dots \dots \dots (12)$$

حيث ان:-

- L_{slp} : طول ميل الحوض (m)،
 - V_{ov} : سرعة جريان السيج السطحي (m/ s)،
 - 3600: معامل وحدة التحويل.
- اما زمن التركيز للقناة او المجرى فيتم ايجاده من المعادلة التالية:

$$t_{ch} = \frac{L_c}{3.6 \times V_c} \dots \dots \dots (14)$$

حيث ان:-

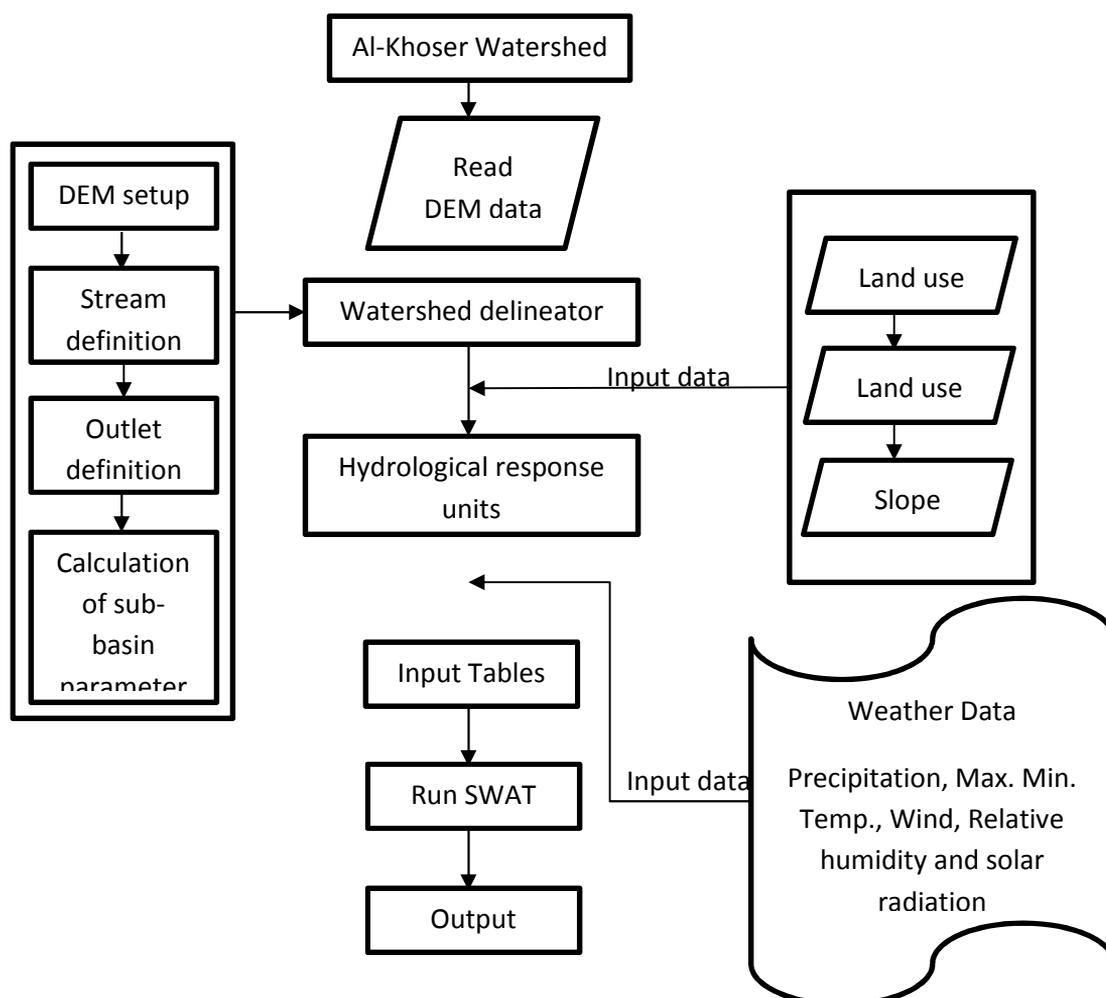
- L_c : طول معدل الجريان (km)،
- V_c : سرعة جريان المجرى (m/ s)،
- 3.6: معامل وحدة التحويل.

ويمكن ايجاد طول معدل الجريان من المعادلة التالية:-

$$L_c = (L \times L_{cen}) \dots \dots \dots (15)$$

حيث ان:-

- L : طول القناة من ابعد نقطة الى مصب الحوض الثانوي (km)،
- L_{cen} : المسافة على طول القناة الى مركز الحوض الثانوي (km).

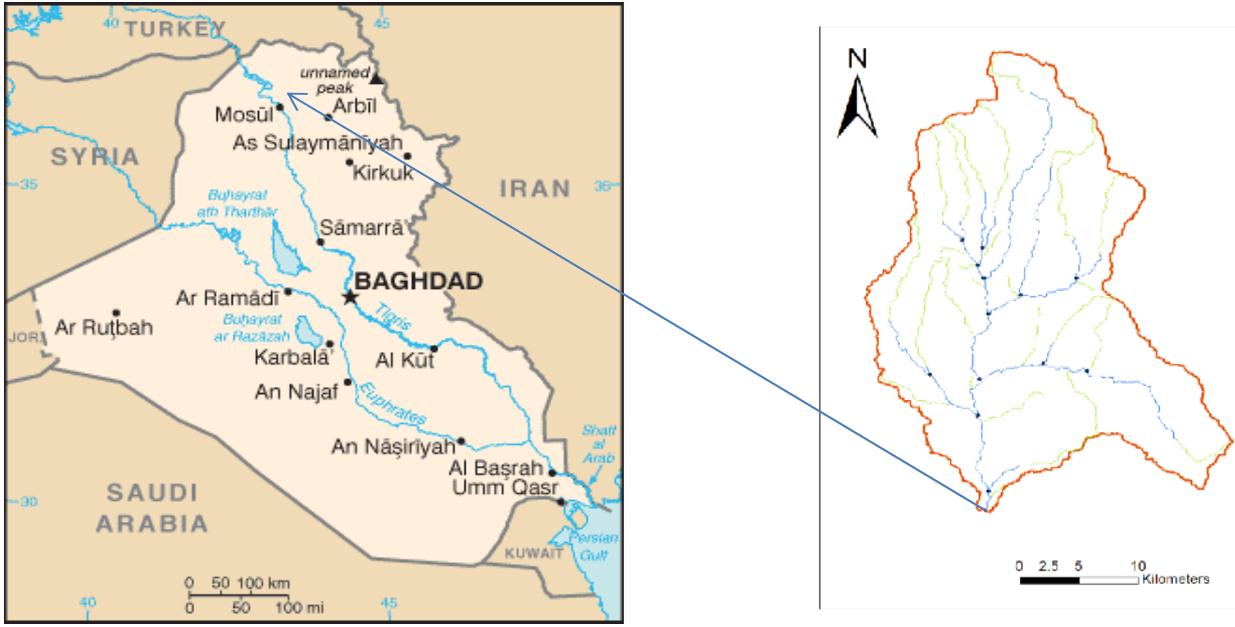


الشكل (1): مخطط انسيابي لاسلوب عمل النموذج SWAT.

3- منطقة الدراسة

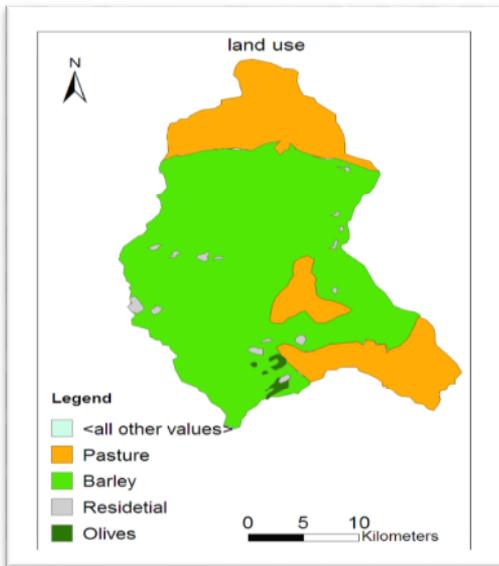
تشمل منطقة الدراسة جزء من حوض نهر الخوصر الموسمي الواقع شمال مدينة الموصل/ شمال العراق تتمثل بالجابية الواقعة اعلى موقع الشلالات والتي تبلغ مساحتها 696 كم² كما موضح في الشكل (2). اجريت معايرة وتقييم لأداء نموذج SWAT اعتمادا على قياسات فعلية سابقة في هذه المنطقة [8] لعواصف مطرية منفردة. يتطلب تشغيل النموذج معلومات هيدرولوجية تتضمن اعماق الامطار اليومية ومناخية مثل درجات الحرارة العظمى والصغرى وسرعة الرياح والاشعاع الشمسي والرطوبة النسبية لفترة المحاكاة ، اضافة الى اعداد خرائط رقمية shape files لتصنيف التربة ونسبة مكوناتها من الرمل، الغرين والطين واستخدامات الارض من الناحية الزراعية ونوعية المحاصيل المزروعة فيها وكذلك تحديد المناطق الحضرية ذات الاستخدامات المدنية المختلفة

تقدير الجريان السطحي باستخدام نموذج SWAT لجابية غير مرصودة شمال العراق :

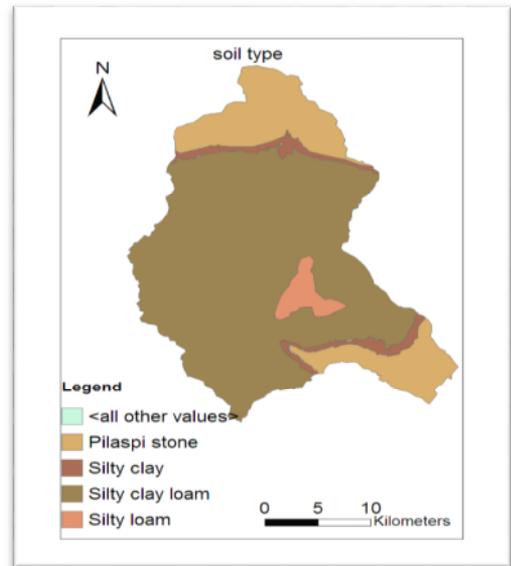


الشكل(2): حدود جابية منطقة الدراسة ، خطوط الجريان فيها وموقعها من خارطة العراق

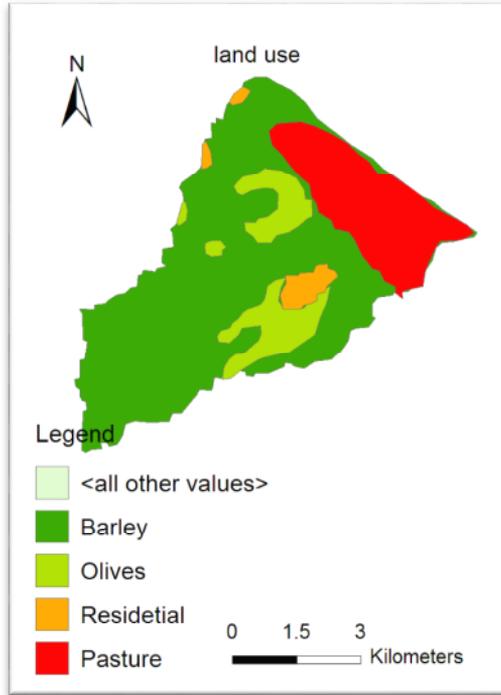
اجري اعداد الخرائط الرقمية اعتمادا على قياسات حقلية سابقة [8] على شكل خارطة لغرض وصف نوع التربة علما ان نوع التربة في هذه المنطقة هي مزيجية طينية غرينية و مزيجية غرينية و طينية غرينية و جزء منها صخرية اما استخدام الارض فان جزء كبير من منطقة الدراسة تزرع بمحاصيل شتوية مثل الحنطة والشعير واطافة الى مناطق فيها اشجار زيتون ومراعي طبيعية وهناك مناطق حضرية او مجتمعات سكنية. يبين الشكل (3-a) و (3-b) نوع التربة واستخدام الارض لمنطقة الدراسة على التوالي. هناك جزء من الحوض او الجابية وهو حوض خوشبان الذي يقع شمال الشرقي من موقع الشلالات والتي تبلغ مساحته 38.3 كم² استخدم هذا الحوض لغرض التحقق من صحة اداء النموذج من خلال المقارنة مع عواصف المطرية المنفردة مرصودة لفترة 2003-2004 [1] وكانت تربة الحوض مزيجية طينية غرينية و مزيجية غرينية وطينية غرينية كما هو موضح في الشكل (4-a) والغطاء النباتي يتكون من محاصيل شتوية (حنطة وشعير) واشجار زيتون ومراعي ومناطق حضرية كما هو موضح في الشكل(4-b)



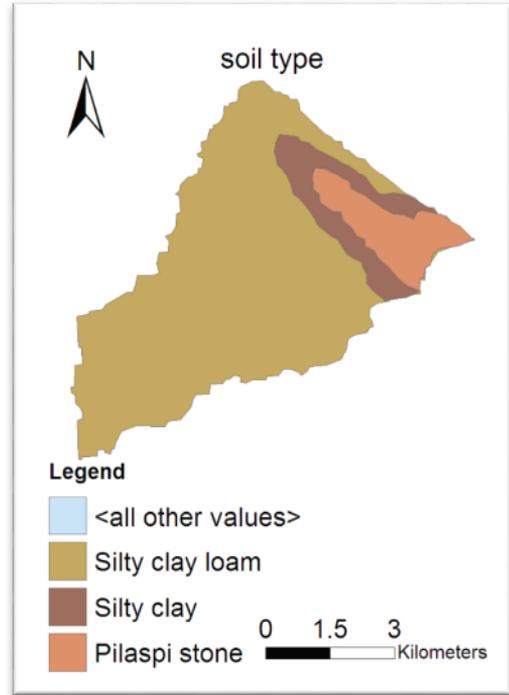
الشكل(3-b): خارطة استخدام الارض



الشكل (3-a): خارطة نوع التربة



الشكل (4-b) : خارطة استخدام الارض



الشكل (4-a): خارطة نوع التربة

4- معايرة النموذج

استخدمت الجابية الاولى لحوض نهر الخوصر شكل رقم (2) لغرض اجراء المعايرة للنموذج اذا تم تحديد الجابية في نموذج SWAT باعتماد نموذج المناسيب الرقمية للمنطقة بأبعاد (30*30) م واكمال البيانات المناخية المختلفة والتي تتضمن اعماق الامطار اليومية ودرجات الحرارة العظمى والصغرى وسرعة الرياح والاشعاع الشمسي والرطوبة النسبية واعتمدت بيانات محطة الموصل كونها الاقرب الى موقع الدراسة. تم تشغيل النموذج للفترة 1991-2011 محاكاة مستمرة، لحساب السيج السطحي خلال الفترة اعلاه ومن ثم مقارنة النتائج مع البيانات المرصودة سابقا [8] لثلاثة عواصف مطرية، قدر عمق السيج لها من المخطط المائي المقاس لكل عاصفة مطرية ومساحة الجابية. اجرت معايرة للنموذج من خلال تغيير المعاملات التي تؤثر على السيج السطحي مثل رقم المنحني ومعامل ماتنك للخشونة ومعامل التوصيل الهيدروليكي للتربة ضمن حدود كل نوع من انواع التربة حيث تم تثبيت معاملين وتغيير المعامل الثالث والى حين الحصول على افضل نتائج بالمقارنة مع القيم المرصودة كما مبين نموذج منها في الجدول (1). قيمت النتائج التي تم الحصول عليها من النموذج باعتماد على عدة اختبارات احصائية وهي معامل التحديد R^2 ومعامل كفاءة النموذج (Nash and Sutcliffe efficiency) NSE ودليل الموافقة (Index of agreement) ioa واختبار t-test. يبين الجدول (2) العواصف المطرية المرصودة وافضل القيم التي تم الحصول عليها من المعايرة مع قيم المعايير الاحصائية المعتمدة.

تقدير الجريان السطحي باستخدام نموذج SWAT لجابية غير مرصودة شمال العراق :

الجدول (1): نموذج من قيم المعاملات المؤثرة على نتائج السيج السطحي لمعايرة للنموذج وتقييمه.

Run No.	Curve Number (CN)	Manning's Coefficient (n)	Permeability K (m/day)	Simulated Runoff (mm) (SWAT)	Observed Runoff (mm)	Model Efficiency
1	73.35	0.3	4.614	2.7	1.26	-1.9
				3.26	1.83	
				0.42	0.18	
2	73.35	0.48	4.614	2.23	1.26	-0.4
				2.83	1.83	
				0.36	0.18	
3	73.35	0.3	5.38	2.61	1.26	-1.57
				3.15	1.83	
				0.4	0.18	
4	73.35	0.48	5.38	2.16	1.26	-0.17
				2.73	1.83	
				0.34	0.18	
5	69.703	0.3	4.614	2.16	1.26	-0.18
				2.75	1.83	
				0.22	0.18	
6	69.703	0.3	5.38	2.07	1.26	0.09
				2.62	1.83	
				0.2	0.18	
7	69.703	0.48	4.614	1.77	1.26	0.6
				2.37	1.83	
				0.19	0.18	
8	69.703	0.48	5.38	1.69	1.26	0.73
				2.26	1.83	
				0.17	0.18	

الجدول (2) : العواصف المطرية المرصودة لجابية نهر الخوصر وفضل النتائج من النموذج.

Date of storm	Rainfall (mm)	Observed Runoff (mm)	Simulated (Runoff (mm) SWAT)	R2	Ioa	NSE	t-test
19/2/2003	19	1.26	1.69	0.99	0.95	0.73	0.19
21/2/2003	18	1.83	2.26				
15/1/2004	9	0.18	0.17				

5- التحقق من اداء النموذج

اعتمدت قياسات حوض خوشبان وهو جزء من حوض نهر الخوصر التي تبلغ مساحته 38.3 كم² لغرض التحقق من اداء النموذج حيث بعد اعداد البيانات اللازمة تم تشغيل النموذج مباشرة للقيم المعتمدة في حالة المعايرة وذلك لتقدير عمق السيج السطحي محاكاة مستمرة للفترة (1991- 2011) واجري تقييم لاداء النموذج للعواصف المطرية المنفردة وملاحظة مدى التوافق بين نتائج النموذج مع القيم المرصودة سابقا [1] كما موضح في الجدول رقم (3).
 اظهرت النتائج توافق جيد باعتماد على الاختبارات الاحصائية المعتمدة في معايرة النموذج حيث وكانت النتائج $t\text{-test}=0.32$, $ioa=0.89$, $model\ eff.=0.72$, $R2=0.97$ وهذه القيمة اقل من القيمة الجدولية 2.92.

الجدول (3): نتائج المعايير الاحصائية المعتمدة لتقييم اداء النموذج للعواصف المطرية المرصودة لجابية حوض خوشبان.

Date of storm	Rainfall (mm)	Observed Runoff (mm)	Simulated Runoff (mm) (SWAT)
4/1/2003	14	0.312	0.29
19/2/2003	19	3.75	2.46
17/1/2004	16	1.66	1.45

6- النتائج والمناقشة

بعد اجراء المعايرة لجابية منطقة الدراسة والتحقق من كفاءة اداء النموذج لجزء من الجابية من بيانات اخرى، اجري تشغيل النموذج على المساحة الواقعة اعلى موقع الشلالات محاكاة يومية مستمرة لكل عاصفة مطرية للفترة (1991-2011). تضمنت البيانات المعتمدة في المحاكاة اليومية كل من اعماق الامطار، درجات الحرارة الدنيا والعليا، سرعة الرياح، الرطوبة النسبية، ساعات الاشعاع لكل يوم من الفترة المعتمدة لمحطة الموصل وهي الاقرب الى موقع الدراسة. تضمنت مخرجات النموذج حجم ومعدل عمق الجريان السطحي عند منفذ كل حوض ثانوي وعند المنفذ الرئيسي للجابية. يبين الشكل (5) مقدار عمق المطر لكل عاصفة مطرية وعمق السيلح السطحي الناتج عنها للفترة (2003-2004) كنموذج من النتائج، كما يبين الشكل قيم عمق السيلح السطحي المقاس للعواصف المرصودة. قدر معامل السيلح السطحي اليومي من كل عاصفة مطرية للفترة المعتمدة (1991-2011)، حيث تراوحت قيمه بين (0 و 0.48) اعتمادا على عمق المطر اليومي وحالة رطوبة التربة قبل سقوط المطر (الرطوبة الابتدائية). حيث كان اقل معامل سيلح صفر وهذا يحدث في كثير من اعماق الامطار التي تقل عن (9) ملم بغض النظر عن رطوبة التربة الابتدائية. بينما بلغ اقل عمق مطر مسببا سيلح سطحي (9) ملم حيث تراوح معامل السيلح له بين (0 و 0.113) اعتماداً على الرطوبة الاولية للتربة، واعلى معامل سيلح (0.48) عند عمق مطر يومي (121.6) ملم. تظهر النتائج التفاوت الكبير في معامل السيلح السطحي لنفس المنطقة وسبب ذلك هو تأثير العوامل المختلفة المؤثرة عليه من عمق المطر، الرطوبة الاولية للتربة، الغطاء النباتي ومراحل نموه، اضافة الى نوع الغطاء النباتي من محاصيل زراعية او اشجار وما ينعكس من تأثيرها على حركة السيلح السطحي وعمق الارتشاح.

رسمت العلاقة بين عمق المطر اليومي (ملم) وعمق السيلح السطحي الناتج عنها (ملم) وكما موضحة في الشكل (6). ربط عمق السيلح السطحي مع عمق المطر اليومي بعلاقة اسية بالصيغة التالية:

$$SS_{Runoff} = 1.5 \cdot 10^{-4} \cdot SS_{Rainfall}^{2.664} \quad \text{for } SS_{Rainfall} \geq 9\text{mm} \quad \dots\dots\dots(16)$$

حيث ان:

$SS_{Rainfall}$: عمق المطر التراكمي لكل عاصفة مطرية مفردة (ملم)،
 SS_{Runoff} : عمق السيلح السطحي للعاصفة المطرية المعنية (ملم).

بلغ معامل التحديد لهذه المعادلة ($R^2=0.782$)، ويمكن تطبيق هذه العلاقة لتقدير عمق الجريان السطحي لمنطقة الدراسة بشكل تقريبي وبسيط في حالة عدم توفر البيانات العديدة المطلوبة من حالة رطوبة التربة، استخدام الارض، الغطاء النباتي وغيرها من المعلومات اللازمة لغرض تقدير عمق السيلح السطحي بأعتماد النموذج SWAT او غيره من النماذج. في المرحلة الثانية اجري تخمين لمعامل السيلح السطحي السنوي من خلال تجميع اعماق الامطار اليومية لكل عاصفة خلال سنة كاملة وتجميع عمق السيلح السطحي الناتج عنها، يبين الشكل (7) عمق المطر السنوي (ملم) مع عمق السيلح السطحي السنوي (ملم)، وربط عمق السيلح مع عمق المطر بمعادلة بالصيغة التالية:

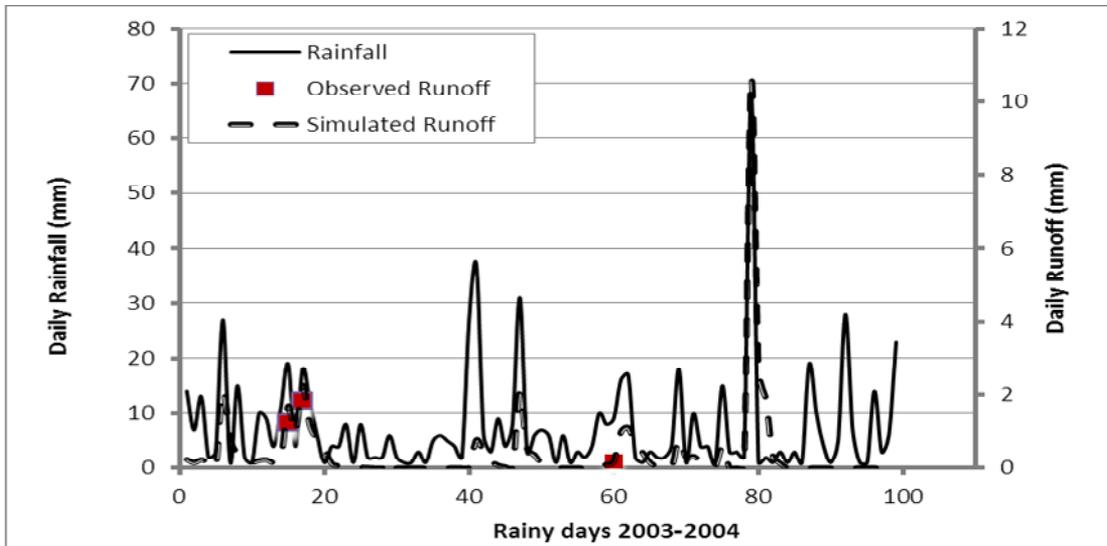
$$Y_{Runoff} = 16.86 - 0.161 \cdot Y_{Rainfall} + 5 \cdot 10^{-4} \cdot Y_{Rainfall}^2 \quad \text{for } Y_{Rainfall} \geq 150\text{mm} \quad \dots\dots\dots(17)$$

حيث ان:

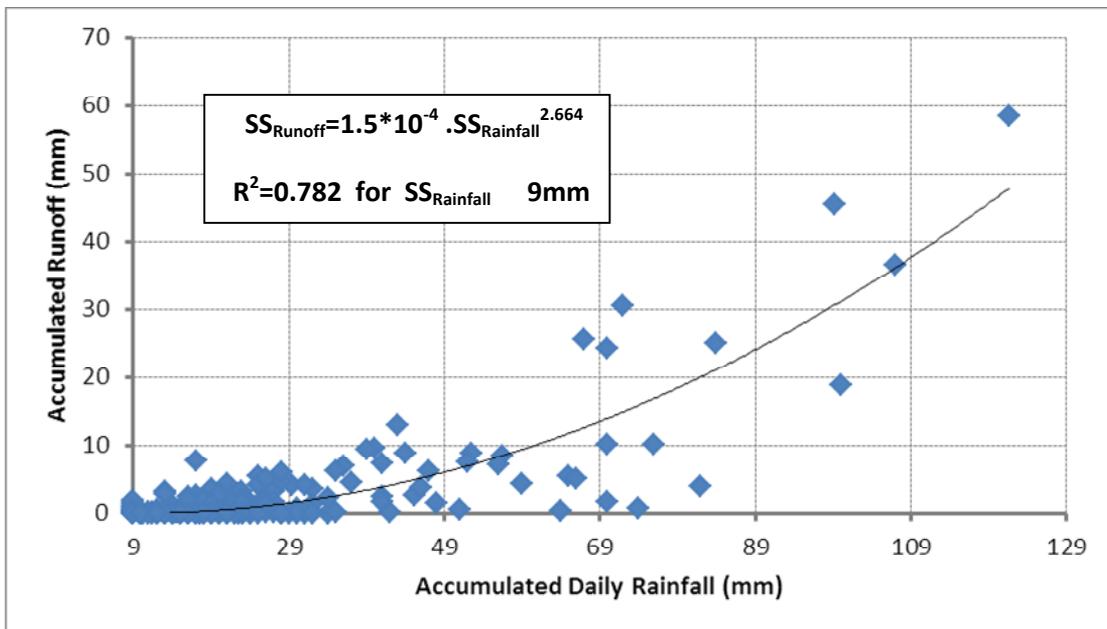
$Y_{Rainfall}$: عمق الطر التراكمي السنوي (mm)
 Y_{Runoff} : عمق الطر التراكمي السنوي (mm).

تقدير الجريان السطحي باستخدام نموذج SWAT لجابية غير مرصودة شمال العراق :

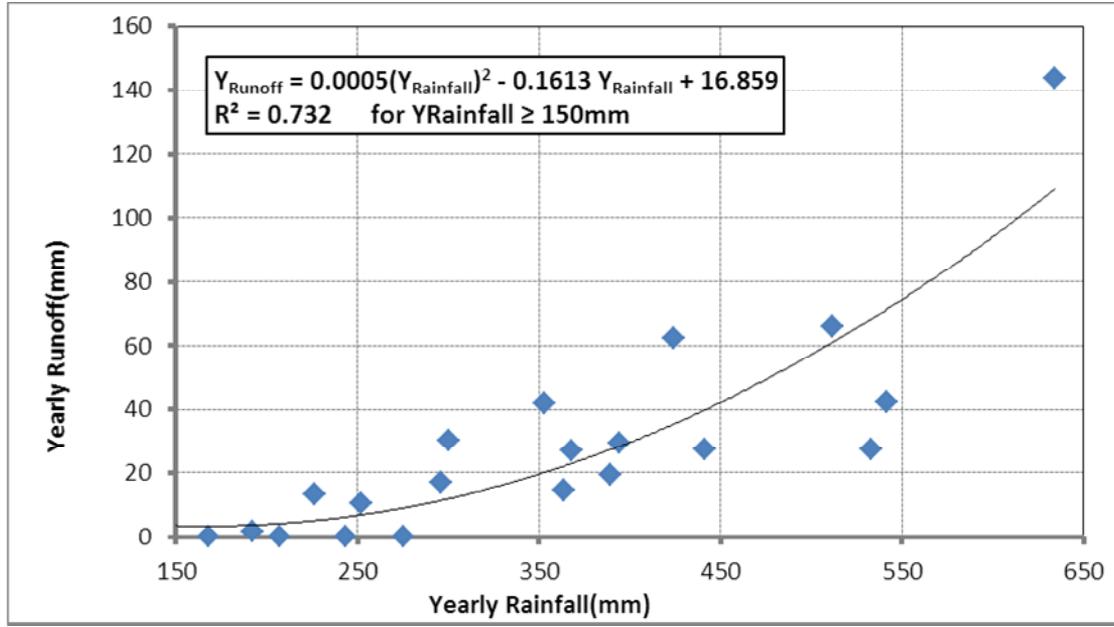
بلغ معامل التحديد لهذه العلاقة ($R^2=0.732$) والتي يمكن اعتمادها لتقدير عمق وحجم الجريان السطحي السنوي بشكل تقريبي من معرفة عمق المطر السنوي وتوفر البيانات المختلفة المؤثرة على عمق السيلج. كما معلوم ان هناك بعض الحالات التي تتطلب تقدير لحجم السيلج السطحي السنوي في بعض دراسات الموازنة المائية وحصاد المياه وغيرها، كما ان هناك بعض الحالات ولسنوات محددة التي لا تتوفر له القراءات اليومية لأعماق الامطار وفي هكذا حالات يمكن اعتماد هذه الصيغة في تقدير عمق السيلج السطحي والذي يعطي فكرة تقريبية عن الحجم السنوي للسيلج لتلك السنة. كما نلاحظ ان في هذا الاسلوب التقريبي السريع لتقدير معامل السيلج السطحي او عمق السيلج السطحي ان معادلة تقدير العمق السنوي للسيلج كانت ذات معامل تحديد اقل من المعادلة للعمق اليومي، والسبب في ذلك ان العاصفة المطرية المنفردة عددها كبيراً خلال مدة الدراسة (1991-2011) وهذا يجعل بعض العواصف ذات تقديرات قريبة من القيم المقاسة وبعضه ذات فروقات معينة زيادة او نقصان، اما القيم السنوية وعددها 21 قيمة فقط فأن تأثير الفروقات يكون اكبر كون عدد قيم القارنة اقل وكذلك قيمها اكبر كونها سنوية مما يقلل من معامل التحديد.



الشكل (5): اعماق المطر اليومي والسيلج السطحي لسنتين 2004-2003



الشكل (6) : العلاقة بين المطر التراكمي اليومي والسيلج السطحي الناتج



الشكل (7): العلاقة بين العمق السنوي للسبح السطحي والمطر

المصادر:

- 1 - محمد، محمد عز الدين (2008) "دراسة تأثير ابعاد نموذج المناسيب الرقمية على هيدروكراف الجريان السطحي"، 16-19 المؤتمر الدولي الثالث للموارد المائية والبيئة الجافة والمنتدى العربي الاول للمياه ، تشرين الثاني 2008 الرياض ، المملكة العربية السعودية.
- 2- داؤد، باسل خضر، سعيد يونس نجيب، داؤد، شذى حازم (2010)، "هيدروكراف الجريان الشريطي في الجوابي غير المقاسة حول مدينة الموصل"،
- 3- Alansi, A.W., Amin, M. S. M., Abdul Halim, G., Shafri, H. Z. M., and Aimrun, W. (2009), "Validation of SWAT Model for Stream Flow Simulation and Forecasting in Upper Bernam Humid Tropical River Basin", Malaysia Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 6:PP 7581–7609.
- 4- Rahman, K., Maringanti, C., Beniston, M., Widmer, F., Abbaspour, k., and Lehmann, A. (2013), "Streamflow Modeling in a Highly Managed Mountainous Glacier Watershed Using SWAT: The Upper Rhone River Watershed Case in Switzerland", Water Resources Management, 27 : PP 323–339.
- 5- Andersson, J. C.M., Zehnder A. J. B., Wehrli B., Yang H., 2012, "Improved SWAT Model Performance with Time-Dynamic Voronoi Tessellation of Climatic Input Data in Southern Africa", Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)(1-14).
- 6- Easton, Z. M., Fuka, D. R., White, E.D., Collick, A. S., Asharge, B. B., McCarteny, M., Awulachew, S.B.,Ahmed, A.A., Steenhuis, T.S.,2010, "A multi basin SWAT model analysis of Runoff and sedimentation in the Blue Nile, Ethiopia", Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., Vol 7, (3837–3878).
- 7- Gebremicael, T. G., Mohamed, Y. A., Betrie, G. D., Zaag, P. V., Teferi, E.,2013, "Trend analysis of runoff and sediment fluxes in the Upper Blue Nile basin: A combined analysis of statistical tests, physically-based models and landuse maps", Journal of Hydrology Vol. 482 (57-68).

- 8- Mohammad, M. E., 2005, "A Conceptual Model for Flow and Sediment Routing for a Watershed Northern Iraq", Ph.D. , Thesis , University of Mosul , Iraq.
- 9- Neitsch, S. L., Arnold, J.G., Kiniry, J. R.,Williams, J. R.,2009,"Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009",Blackland Research Center-Texas U.S.A.
- 10- -Mays, L.W.,2011,"Water Resources Engineering", John Wiley and Sons, U.S.A.

تم اجراء البحث في كلية الهندسة = جامعة الموصل