

## تقدير حجم الجريان السطحي والترسبات لجابيه شمال العراق لأغراض حصاد المياه باستخدام نظام المعلومات الجغرافية

الدكتور محمد عز الدين محمد\*

رشا محمد سامي السليم\*\*

### الملخص

يتضمن البحث في المرحلة الأولى تقدير حجم الجريان السطحي والترسبات المحمولة معه والناجمة عن هطول الأمطار على جابيه نهر الخوصر الموسمي الواقعة شمال شرق مدينة الموصل/جمهورية العراق التي تبلغ مساحتها بحدود 725 كم<sup>2</sup>. إذ إنَّ هناك مقترحاً لإنشاء سد يهدف إلى حصاد مياه الجريان السطحي لأغراض الري التكميلي في المنطقة التي تستغل من خلال زراعتها بمحصول الحنطة والشعير بشكل واسع. اعتمدَ نموذج المناسيب الرقمية (DEM) Digital Elevation Model بغرض وصف طبوغرافية المنطقة وهي من العوامل الأساسية والمؤثرة في اتجاه حركة المياه وسرعتها. كذلك اعتمدت البيانات اليومية للأمطار ودرجات الحرارة العظمى والصغرى للمدة بين عام 1989 و 2007 لمحطة الموصل، وذلك بغرض تقدير حجم الجريان السطحي والترسبات الناتجة عن كل عاصفة مطرية مؤثرة. يتضمن النموذج الذي طُبِقَ كلاً من نظام المعلومات الجغرافية Geographical Information System (GIS) فضلاً عن برنامج تقدير النحر الناتج عن المياه Water Erosion Prediction Project (WEPP). اعتمدت هذه النتائج في المرحلة الثانية بغرض محاكاة الموازنة المائية للمياه الداخلة إلى خزان السد المقترح، وكذلك لتقدير المياه الخارجة من الخزان بتطبيق طريقة السمبلكس (Simplex) للبرمجة الخطية، وهي إحدى طرائق الحلول الفضلى لتحديد أكبر مساحة يمكن تلبية متطلبات الري لها.

أظهرت النتائج أن معدل الحجم السنوي لمياه الجريان السطحي الناتجة عن هطول الأمطار بحدود 25.4\*10<sup>6</sup> متراً مكعباً خلال السنوات المعتمدة، وبمعدل 27.1\*10<sup>6</sup> متراً مكعباً للسنوات ذات الهطول المطري القريب من المعدل، وهي كميات ذات أهمية كبيرة في عمليات الري التكميلي في المنطقة من أجل رفع الإنتاجية وزيادة المردود المالي من خلال تلبية متطلبات الري لمساحه مقدارها 13100 هكتار، كما أظهرته نتائج الحلول الفضلى، مما يعزز مقترح إنشاء السد في موقع الدراسة، فضلاً عن إمكانية الاستفادة منه في أغراض الاستخدامات المدنية المحدودة في المنطقة القريبه من موقع السد. كما بلغ المعدل السنوي للرسوبيات المحمولة مع مياه الجريان السطحي 140212 طن.

الكلمات المفتاحية: الجريان السطحي والترسبات، حصاد المياه، نظام المعلومات الجغرافية.

\* أستاذ مساعد - قسم هندسة الموارد المائية - كلية الهندسة - جامعة الموصل - جمهورية العراق

\*\* مدرس مساعد - قسم هندسة الموارد المائية - كلية الهندسة - جامعة الموصل - جمهورية العراق

## 1- المقدمة

علاقات ومعادلات رياضية مشتقة وعلاقات مخبرية وحقلية التي بدأ استخدامها بشكل كبير لوصف آلية تصرف وحركة المياه في الجابية والأحواض الثانوية وتقدير كمياتها، وهي وسيلة فعالة في اتخاذ القرار في إدارة الموارد المائية. وهناك نماذج أكثر تعقيداً تتضمن تقدير حمل الرسوبيات المنقولة مع مياه الجريان السطحي.

في السنوات الأخيرة بدأ التوجه إلى تطبيق نظام المعلومات الجغرافية (GIS) كونه الوسيلة المساعدة الفعالة في التعامل مع البيانات وتغذيتها إلى الحاسوب، إذ إن البيانات المتوافرة من الخرائط المختلفة منها الطبوغرافية، ونوع التربة، واستخدام الأرض، وغيرها يمكن اعتمادها مباشرة في تغذية النموذج بسهولة ودقة. وقد قَدِّمَ عدد من الباحثين نماذج هيدرولوجية باعتماد نظام المعلومات الجغرافية [1 و2]، وكان العامل المشترك في تطبيق هذه النماذج اعتماد النظام في وصف منطقة الدراسة والحوض المائي من النواحي كلها وهي من المتطلبات الأساسية للنماذج الهيدرولوجية.

قدم [3] بحثاً هدَفَ إلى تطوير أسلوب تقدير حصاد المياه في المناطق شبه الجافة وهي منطقة Rajasthan في الهند باستخدام نظام المعلومات الجغرافية. أُعدَّتْ خرائط استخدام الأرض من بيانات الاستشعار عن بعد من صور الأقمار الصناعية، كما اعتمد نموذج المناسيب الرقمية (DEM) لتحديد المساحة الجابية لستة أحواض مائية. استخدمت هذه الخرائط في طريقة خدمات صيانة التربة (SCS) ورقم المنحني (CN) لتقدير عمق الجريان السطحي الناتج عن عواصف مطرية مختلفة لتقدير حجم الجريان السنوي لكل حوض. أظهرت النتائج إمكانية اعتماد نظام المعلومات الجغرافية في التخطيط لحصاد المياه في مساحات كبيرة.

استخدم [4]، طريقة تعتمد على نظام المعلومات

تعدُّ مياه الأمطار من المصادر الأساسية لري المحاصيل الشتوية في مناطق العالم عموماً وفي المناطق الجافة وشبه الجافة خصوصاً ذات الكميات المحدودة من المياه السطحية التي تعاني من شحّ مصادر المياه. ونتيجة للتغيرات المناخية وما نتج عنها من تغيّر في درجات الحرارة وفي كميات الأمطار وتوزيعها خلال الموسم المطري، بدأ التوجه إلى إقامة منشآت حصاد المياه بأساليبها المختلفة بغرض خزن مياه الجريان السطحي في أوقات وفرة الأمطار لغرض الاستفادة منها وإطلاقها لأغراض الري في أوقات قلة الأمطار أو توقفها، لضمان تلبية متطلبات المحاصيل الزراعية والحصول على الإنتاجية العالية. فضلاً عن إمكانية الاستفادة من هذه المياه في حالة خزنها في السدود لتوليد الطاقة الكهربائية والاستخدامات المدنية اعتماداً على حجم السد وكمية المياه المتوافرة في المنطقة. يتطلب إنشاء هذه الخزانات تقدير حجم مياه الجريان السطحي عند مواقع هذه السدود بغرض تحديد الحجم المناسب للخزان، فضلاً عن أنه مع سقوط الأمطار تحصل عملية فصل حبيبات التربة ومحاولة نقلها بفعل الطاقة التي يمتلكها الجريان السطحي الناتج عنها مسببة نحرّاً للتربة وجرفها، ومن جهة أخرى فعندما تتناقص سرعة الجريان السطحي الحامل لها عند دخوله إلى الخزانات ونقل الطاقة الكامنة التي يمتلكها على حمل الرسوبيات فإنها تؤدي إلى ترسيبها مسببة العديد من الآثار السلبية في السدود والمنشآت الهيدروليكية؛ مما يتطلب تقدير كمياتها لأخذها بالحسبان عند التصميم.

تقدر مياه الجريان السطحي والترسبات المحمولة معه من خلال القياسات الحقلية في محطات الرصد للسنوات السابقة في حالة توافرها، أو باعتماد نماذج المحاكاة الرياضية في المناطق غير المرصودة التي تعتمد على

اللازم لأغراض الري التكميلي باعتماد طريقة البرمجة الخطية. اعتمد مبدأ الموازنة الحجمية في تتبع حجم الماء المخزون خلال موسم المطر، ومقدار الطلب. وقد اعتمدت طريقة رقم المنحني (CN) المقدمة من قبل خدمات حفظ التربة الأمريكية في تقدير حجم الجريان السطحي. طُبِقَ النموذج على منطقة الحضر (يبلغ المعدل السنوي لأمطارها بحدود 150 ملم) الواقعة قرب مدينة الموصل/جمهورية العراق. أظهرت النتائج أن التصميم الاقتصادي الأفضل هو الذي يتطلب مساحة جانبية تعادل ثلاثة أرباع مساحة الحقل الكلية، وفي هذه الحالة تكون نسبة تجهيز الماء للمحصول بمقدار 87.5% من الحد الأقصى للطلب، وإنَّ حجم الخزان المطلوب هو بحدود 111 م<sup>3</sup>/هكتاراً من المساحة الكلية للحقل.

تم تخمين الموارد المائية في Jammu Himalaya في الهند اعتماداً على أسلوب الموازنة المائية التي دُرِسَتْ باستخدام نموذج رياضي وبمساعدة تقانات الاستشعار عن بعد ونظام المعلومات الجغرافية التي ساعدت مساعدة كبيرة في تقدير النقص والزيادة في رطوبة التربة لمساحة الجابية. أظهرت تقديرات الموازنة المائية أن أعلى قيم للجريان السطحي السنوي تكون في المناطق التي تعلو المناطق الزراعية ومناطق الغابات الكثيفة، وتكون أقل في المناطق غير المزروعة أو الغابات المفتوحة. وتبين أن المواقع المناسبة لإقامة منشآت حصاد المياه لهذه الجابية تغطي مساحه مقدارها 11% من مجموع مساحة الجابية، أمّا ما تبقى من المساحة فهو غير مناسب [8].

هَدَفَ البحث الحالي إلى تقدير حجم الجريان السطحي السنوي المتراكم من مجموع العواصف المطرية المفردة، وكذلك كمية الرسوبيات السنوية الناتجة عنها لحوض نهر الخوصر الموسمي المبين في الشكل (1) الذي تبلغ مساحته الجابية 725 كم<sup>2</sup>. اعتمدت البيانات اليومية

الجغرافية لتحديد مصادر الرسوبيات ومساحتها وتقدير كمياتها الناتجة عن عواصف مطرية. مُثِّلَتِ المساحة الجابية من خلال تقسيمها إلى خلايا متساوية المساحة واعتمدت الصور الفضائية للتعبير عن حالة التربة واستخداماتها، وكذلك لتحديد نوع التربة. قدرت الرسوبيات اعتماداً على المعادلة العامة لفقد التربة (USLE) اعتماداً على خصائص كل خلية، وتم التوصل إلى نتائج مقبولة تتعلق بنسبة وصول الرسوبيات والجريان السطحي مقارنة بالقيم المقيسة لمنطقة Nagwa Karso في الهند.

طبق [5]، نموذجاً عملياً وهو المعادلة العامة لفقد التربة (USLE)، ونموذجاً فيزيائياً مع نظام المعلومات الجغرافية، للنتبؤ بالرسوبيات الناتجة عن جريان المياه لثلاثة أحواض كبيرة تقع مقدم خزانات Ragoletto وTrinita وPozzillo في إيطاليا. هَدَفَ العمل إلى مقارنة الرسوبيات المقدره بالمقيسة في البحيرة والتحري عن كيفية تأثير التفاصيل الدقيقة لوصف الجابية في تقدير نتائج الرسوبيات. أعطت نتائج النموذج الفيزيائي قيماً أعلى من قيم النموذج العملي وكلاهما أعطى قيماً أعلى من القيم المقيسة فعلياً بشكل عام.

قدم [6] بحثاً يتضمن تطبيق نموذج رياضي يعتمد أسلوب البرمجة الخطية لتحديد الحجم الأمثل للخزان المائي الذي يعطي أقل مجموع لكلفة السد فضلاً عن كلفة التحسينات والتشذيب اللازم لمجرى النهر أسفل موقع السد. تضمن البحث تحليلاً اقتصادياً لكلفة السد والتشذيب اللازم لمجرى النهر أسفل السد بافتراض عدة قيم ممكنة للسعة الهيدروليكية للمجرى باعتماد موجة فيضان لمدد تردد مختلفة. أظهرت النتائج أن هناك قيمة فضلى لسعة الخزن تعطي أقل مجموع كلفة كما تعطي في الوقت نفسه أفضل عامل أمان لإمرار موجة الفيضان.

قدم [7]. نموذجاً محاكاة لإيجاد الحجم الأمثل للخزان

### 3- وصف النموذج:

تعدُّ نماذج محاكاة الجريان السطحي والرسوبيات المنقولة معه من المسائل الصعبة نظراً إلى كثرة المتغيرات المؤثرة في هذه العملية وتشعبها وتداخلها مع بعضها الآخر كالأمطار وخصائصها، وكذلك خصائص التربة من ناحية التركيب والبنية، فضلاً عن الغطاء النباتي واستخدام الأرض، علاوةً على العديد من العوامل الأخرى المؤثرة ومنها العوامل المناخية. وقد اعتمد عدد من العوامل المؤثرة أعلاه هذا النموذج وأهملت عوامل أخرى مثل تغيير حالة التربة وكثافتها الظاهرية نتيجة عمليات الحراثة ومراحل نمو النبات وتأثيرها في عمليات النحر وفصل التربة، فضلاً عن تأثير الرياح والرطوبة النسبية. ومن البرامج العاملة في هذا المجال نظام المعلومات الجغرافية، وبرنامج تقدير النحر الناتج عن المياه التي تعتمد على التقنيات الحديثة من الصور الرقمية التي ساعدت في تحديد العديد من الخصائص والمتغيرات المؤثرة في هذه العملية.

بُنِيَ النموذج على أسس ومفاهيم الارتشاح والجريان السطحي وهيدروليكية الجريان فضلاً عن عمليات فصل التربة ونقلها بتأثير الأمطار والجريان السطحي وآلية عملية النحر فضلاً عن عمليات الترسيب. يتضمن النموذج المعتمد استخدام معادلة الارتشاح المقدمة من قبل Green and Ampt عام 1911 كما ذكرها [9] التي يمكن التعبير عنها بالصيغة الآتية:

$$f = Ke(1 + \frac{N_s}{F}) \quad \dots\dots\dots(1)$$

إذ إن:

$f$ : قابلية ارتشاح التربة (ملم/ساعة).

$Ke$ : الناقلية الهيدروليكية المؤثرة (ملم/ساعة).

$N_s$ : الجهد القياسي المؤثر (ملم).

$F$ : عمق الارتشاح (ملم).

للطول ودرجات الحرارة العظمى والصغرى المسجلة خلال السنوات من عام 1989 إلى عام 2007 لمحطة الموصل الأقرب إلى منطقة الدراسة، وباستخدام نظام المعلومات الجغرافية وبعض البرامج المساعدة العاملة معه لتحقيق ذلك. ولهذه النتائج أهميه كون أن هناك مقترحاً لإنشاء سد على هذا النهر لخرن المياه لأغراض الري التكميلي للمساحات المزروعة في هذه المنطقة التي تستغل بزراعتها بمحصول الحنطة والشعير، فضلاً عن الاستخدامات المدنية المحدودة للقرى القريبة. إذ إن هذه النتائج من المعلومات الأساسية لغرض اعتماد أسلوب البرمجة الخطية في الحل الفضلى لتحقيق هدف آخر هو المساحة القصوى التي يمكن زراعتها بمحصول الحنطة التي تعتمد على كمية المياه المخزونة والمتوافرة لسد احتياجات الري التكميلي لها.

### 2- منطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة شمال شرق مدينة الموصل/ جمهورية العراق كما هي مبينة في الشكل (1) وهي تمثل المساحة الجابيه لنهر الخوصر الموسمي التي تبلغ 725 كم<sup>2</sup>. راوحت طوبوغرافية المنطقة بين الميل الحاد عند الجزء الشمالي منها الذي يصل إلى 25% وبأقصى مستوى منسوب مقداره 1233م فوق مستوى سطح البحر إلى قليلة الميل في الجزء الجنوبي منها عند المنفذ والذي يبلغ بحدود 0.2% وبمنسوب 260م فوق مستوى سطح البحر، وبلغ المعدل العام لميل المنطقة بحدود 0.73%. تتكون نسجة التربة بين طينية غرينية، مزيجية طينية غرينية، إلى مزيجية غرينية، فضلاً عن مناطق من الصخور الكلسية في الجزء الشمالي من المنطقة [11] وكما هو موضح في الشكل (2). يبلغ معدل الهطول السنوي للمنطقة بحدود 350 ملم ومعدل الحد الأقصى والأدنى لدرجات الحرارة بحدود 30 و 15 درجة مئوية على التوالي.

أكبر من إجهاد قص التربة الحرج. أمّا معدل فصل الدقائق نتيجة الجريان فيقدر من الصيغة الآتية التي قدمها [10]:

$$Dr = \begin{cases} Dc(1 - \frac{G}{Tc})w, & CQ \leq wTc \\ \frac{0.5V_f}{q}(wTc - CQ), & CQ > wTc \end{cases} \quad (4)$$

إذ إن:

$Dr$ : معدل فصل الرسوبيات الناتجة عن الجريان السطحي (كغم/ثانية/م<sup>2</sup>),

$G$ : أحمال الرسوبيات (كغم/ثانية/م),

$Tc$ : سعة نقل الرسوبيات (كغم/ثانية/م),

$w$ : عرض أخدود الجريان (م), ويقدر اعتماداً على التصريف المائي على مسار الجريان,

$V_f$ : سرعة ترسيب دقائق التربة (متر/ثانية).

تكن أهمية النموذج في القدرة على تقدير مقدار الجريان السطحي وفقد التربة، مع إعطاء القيم الآتية لكل عاصفة مطرية، ومنها تقدر القيم الشهرية والسنوية ومعدلها، وكذلك تقدر عند أي نقطة على امتداد الجابية أو عند المنفذ ضمن حدود الجابية في حال عدم توافر محطة للرصد، أو عندما لا يمكن من أخذ القياسات الحقلية لها.

#### 4- تقييم أداء النموذج وتطبيقه:

بغرض تطبيق النموذج المعتمد في هذا البحث لتقدير حجم مياه الجريان السطحي وحمل الترسبات، يجب معايرة النموذج أولاً للتحقق من أدائه وتقييمه، ومن ثم اعتماده لتكون هناك معرفة مسبقة بمدى دقة النموذج وكفاءته. جرى ذلك من خلال مقارنة نتائج النموذج مع قياسات حقلية سابقة [11] لأربع عواصف مطرية مفردة قُست في أوقات مختلفة متضمنة عمق المطر الساقط، وحجم مياه الجريان السطحي والرسوبيات الناتجة عنه. اعتمدت بيانات متضمنة عمق الأمطار الساقطة في كل عاصفة كمدخلات للنموذج، فضلاً عن نوع التربة

كذلك اعتمدت معادلة الاستمرارية العامة أحادية البعد لاستنباع الرسوبيات خلال الجابية كأساس في هذا النموذج من خلال الحل العددي لها وهي بالصيغة الآتية:

$$\frac{\partial(CA)}{\partial t} + \frac{\partial(CQ)}{\partial x} = S \quad \dots\dots\dots(2)$$

إذ إن:

$C$ : تركيز الترسبات (كغم/م<sup>3</sup>).

$A$ : مساحة مقطع الجريان (م<sup>2</sup>).

$Q$ : غزارة الجريان (م<sup>3</sup>/ثانية).

$t$ : الزمن (ثانية).

$x$ : طول سطح الجريان (م).

$S$ : كمية الرسوبيات المفقودة أو المترسبة (كغم/م<sup>3</sup>/ثانية).

ولما كانت عمليات النحر والفصل هي سلسلة متعاقبة من العمليات المتفاعلة مع بعضها بعضاً فإن حساب فصل التربة يتم لكل وحدة مساحة والناتج عن ارتطام قطرة المطر بسطح التربة Interrill Detachment (كغم/ثانية/م<sup>2</sup>), باعتماد المعادلة الخاصة بنحر التربة الناتج عن الأمطار التي قدمها [10] وهي بالصيغة الآتية:

$$Di = K \cdot I \cdot Ie \cdot Sf \cdot SDR \quad \dots\dots\dots(3)$$

إذ إن:

$Di$ : معدل تركيز الرسوبيات الناتجة عن الأمطار (كغم / ثانية/م<sup>2</sup>).

$K$ : معامل نحر التربة (كغم . ثانية/متر<sup>4</sup>)

$I$ : شدة الأمطار (م/ثانية).

$Ie$ : معدل الجريان السطحي في الأحاديد (م/ثانية).

$Sf$ : الميل الطولي.

$SDR$ : نسبة الرسوبيات الناتجة عن الأمطار.

أمّا قابلية فصل التربة الناتجة عن الجريان السطحي Rill Detachment فتحسب عندما يكون إجهاد قص الجريان

للفروقات النسبية 6.71% وهي قيمة مقبولة وقيمة الفحص الإحصائي نوع (t) تساوي 0.03، وهي أقل من القيمة المجدولة التي تعني عدم وجود فروقات معنوية بين القيم المقاسة والقيم المقدرة من النموذج. تعكس هذه القيم صورة واضحة عن مدى ملاءمة النموذج بغرض اعتماده في تقدير حجم الجريان السطحي والترسبات السنوية المنقولة معه.

بعد معايرة النموذج والتحقق من أدائه، طُبِّقَ على منطقة الدراسة للعواصف المطرية المفردة جميعها وبشكل سلسلة متواصلة من البيانات اليومية للأمطار ودرجات الحرارة القصوى والدنيا خلال السنوات من 1989-2007 لمحطة الموصل، وهي المحطة الأقرب إلى

الجدول (1): قيم معايير تقييم أداء النموذج لكل من الجريان السطحي وحمل الرسوبيات.

الحالة المعايير	(r <sup>2</sup> )	(Eff)%	(Rd)%	(t)
الجريان السطحي (م <sup>3</sup> )	0.827	85.88	6.45	0.09
حمل الرسوبيات (كغم)	0.933	86.91	6.71	0.03

منطقة الدراسة، وهي من المدخلات الأساسية للنموذج، فضلاً عن خرائط نوع التربة واستخدام الأرض المبيّنة في الشكل (2). يعتمد النموذج على الخرائط الرقمية لنوع التربة واستخداماتها التي تؤثر في تقدير عمق الارتشاح في المعادلة (1) لكل حوض ثانوي التي تتغير حسب رطوبة التربة التي تعتمد على البيانات اليومية للهطول المطري ودرجات الحرارة. كما أنّ هذه الخرائط الرقمية تعتمد كذلك في تقدير حمل الرسوبيات، متضمنة عملية فصل الرسوبيات ونقلها وترسيبها.

##### 5- محاكاة دخول المياه وإطلاقها من الخزان:

استخدمت طريقة البرمجة الخطية وهي أحد أساليب الطول الفضلي بغرض محاكاة عملية دخول المياه

ومحتواها الرطوبي الأولي، واستخدامات الأرض. أُجري تقييم لأداء النموذج من خلال أربعة معايير وهي معامل التحديد (r<sup>2</sup>)، والفحص الإحصائي نوع (t)، فضلاً عن معدل القيم المطلقة للفروقات النسبية بين القيم المقاسة والمحسوبة (المتوقعة)، (Rd)، وكفاءة النموذج (Eff)، كما ذكرها [12] إذ تُقدر كفاءة النموذج (Eff) من الصيغة الآتية:

$$Eff = 1 - \frac{\sum_i (O_i - P_i)^2}{\sum_i (O_i - \bar{O})^2} \dots\dots\dots(5)$$

إذ إن:

P<sub>i</sub>: القيم المحسوبة (المتوقعة)،

O<sub>i</sub>: القيم المقاسة.

$\bar{O}$ : متوسط القيم المقاسة.

يبين الجدول (1) قيم المعايير المعتمدة لتقييم أداء النموذج في تقدير حجم الجريان السطحي وحمل الرسوبيات. تظهر هذه النتائج أن معامل التحديد (r<sup>2</sup>) بين حجم الجريان السطحي المتوقع من النموذج والمقيس حقيقياً بلغ 0.827، وكفاءة النموذج 85.88% وهي قيمة جيدة، كما أن معدل القيم المطلقة للفروقات النسبية بلغت 6.45% وقيمة الفحص الإحصائي نوع (t) تساوي 0.09، وهي أقل من القيمة المجدولة. وهذه القيم جميعها تبين أن أداء النموذج في تقدير حجم الجريان السطحي كان جيداً ويمكن تطبيقه لهذا الغرض. كذلك اعتمدت المعايير نفسها في تقييم أداء النموذج لتقدير حمل الرسوبيات المنقولة من خلال مقارنة القيم المقاسة حقيقياً بالقيم المحسوبة من النموذج للعواصف المطرية المعتمدة نفسها كما هو مبين في الجدول (1). تظهر قيم هذه المعايير أن أداء النموذج كان جيداً حيث كانت قيم معامل التحديد وكفاءة النموذج عالية وهي 0.933 و86.91% على التوالي، بينما معدل القيم المطلقة

$$S_i + I_i - O_i = S_{i+1} \dots\dots\dots (7)$$

إذ إن:

$S_i$ : حجم التخزين عند بداية المدة الزمنية (i).

$I_i$ : حجم المياه الداخلة إلى الخزان خلال المدة الزمنية (i).

$O_i$ : حجم المياه الخارجة من الخزان (احتياجات الري وفوائد تبخر والمطلق من المسيل المائي) خلال المدة الزمنية (i).

$S_{i+1}$ : حجم المياه المخزونة عند نهاية المدة الزمنية (i) وبداية المدة الزمنية (i+1).

كذلك تخضع عملية المحاكاة إلى مجموعته أخرى من محددات سعة التخزين بالصيغة الآتية:

$$S_i \geq V_{DS} \dots\dots\dots (8)$$

إذ إن:

$V_{DS}$ : حجم التخزين الميت (م<sup>3</sup>).

$$S_i \leq V_{\max} \dots\dots\dots (9)$$

إذ إن:

$V_{\max}$ : الحجم الأقصى للمياه الممكن خزنها (م<sup>3</sup>) عند مستوى التخزين الطبيعي.

وقدرة المياه الخارجة من الخزان عند كل مدة زمنية من المعادلة الآتية:

$$O_i = O_{Irr_i} + O_{Ev_i} + O_{Spl_i} \dots\dots\dots (10)$$

إذ إن:

$O_{Irr_i}$ : متطلبات الري التكميلي خلال المدة الزمنية (i).

$O_{Ev_i}$ : فوائد التبخر من الخزان خلال المدة الزمنية (i).

$O_{Spl_i}$ : المياه المطلقة من المسيل المائي خلال المدة الزمنية (i).

اعتمدت قيم الاستهلاك المائي اليومي لمحصول الحنطة لمنطقة الموصل المقدمة من قبل [13] في تقدير متطلبات

وإطلاقها من الخزان المقترح بغرض تحديد حجم التخزين خلال كل مدة زمنية الذي يمكن الاستفادة منه بغرض إرواء المساحات الزراعية القريبة من موقع السد بهدف تحقيق أكبر فائدة من خلال زراعة أكبر مساحة ممكنة. تمثل الكميات الداخلة إلى الخزان (I) حجم الجريان السطحي من كل عاصفة مطرية، أمّا الكميات الخارجة فهي كل من الكميات المطلقة بغرض تحقيق متطلبات الري التكميلي ( $O_{Irr}$ )، وكذلك الفوائد بسبب التبخر من سطح البحيرة ( $O_{Ev}$ ) فضلاً عن الفوائد من المسيل المائي ( $O_{Spl}$ ) عند أوقات التصريف العالية التي تكون أكبر من سعة التخزين. أمّا فوائد الرش فقد أُهملت كون أحد متطلبات اختيار موقع السد أن تكون المنطقة ذات نفاذية قليلة، وقد تتطلب إجراء بعض المعالجات لتحقيق ذلك، فضلاً عن أن الترسبات في الخزان تساعد بشكل كبير في تحديد كمية فوائد الرش، وفي حالة توافر معلومات عنها يمكن إضافتها إلى المياه المقودة. تُطلق المياه بغرض سد احتياجات الري في أوقات توقف الأمطار وعند وصول المياه المتيسرة في التربة إلى نسبة استنزاف 60% من كمية المياه في المنطقة الجذرية.

يكون تابع الهدف في هذه الحالة تحقيق أكبر مساحة (A)، زراعية يمكن تلبية احتياجاتها المائية لزيادة الانتاجية والوارد الناتج عنها التي تم التعبير عنها بالصيغة الآتية:

$$Max(B) = A \dots\dots\dots (6)$$

علماً أنه لم يُدخّل تأثير كلفة السد في المعادلة أعلاه، كونه تريبياً وكلفة إنشاء سد مماثل في موقع قريب هي قليلة [6] مقارنة بالواردات السنوية من الإنتاج الزراعي في المنطقة. تخضع هذه المعادلة أعلاه إلى عدد من المحددات التي يجب أخذها بالحسبان ومنها محددات الموازنة المائية للخزان، وقد اعتمدت مدة عشرة أيام لإجراء هذه الموازنة بوحدة (م<sup>3</sup>) بالصيغة الآتية:

المتوقعة والبالغ  $3.1 \times 10^6$  م<sup>3</sup>، كما ذكرها [6]، وكذلك حجم التخزين الميت والذي قُدِّرَ من نتائج المرحلة الأولى وبلغ  $2.2 \times 10^6$  م<sup>3</sup>، خلال عمر السد. اعتمدت هذه المحددات لكل فتره زمنية تجري فيها الموازنة المائية وهي مدة عشرة أيام، كما ذكر سابقاً لكل سنة من السنوات 1989-2007 على التوالي؛ وذلك لإعطاء مرونة أكبر للبرمجة الخطية في تقدير أكبر مساحة إروائية وتقليل عدد المتغيرات والمحددات في المسألة مقارنة بالموازنة المائية اليومية. أمّا عمق المياه المخزونة في التربة التي تُقَدَّرُ يومياً فتعتمد على عمق كل هطول مطري وحسب تاريخه. مع الأخذ بالحسبان أن الأيام الممطرة سوف تلبّي احتياجات المحصول أو جزءاً منه اعتماداً على عمق الهطول ومقدار ما يتطلبه المحصول في تلك المرحلة من النمو.

#### 6- النتائج والمناقشة.

في المرحلة الأولى قدر المجموع السنوي لعمق الجريان السطحي المكافئ للسنوات من 1989-2007 المبين في الشكل (3)، من مجموع أعماق الجريان السطحي الناتج من العواصف المطرية المفردة الساقطة في منطقة الدراسة والمبين مجموعها السنوي في الشكل نفسه. راوحت نسبة عمق الجريان إلى عمق المطر الساقط (معدل معامل الجريان السطحي السنوي)، بين 5.5% و 15.5%، وهذا يعتمد على توزيع سقوط الأمطار خلال الموسم الواحد وعلى شدة كل عاصفة مطرية التي لها تأثير في تحديد عمق الجريان الناتج، إذ إنَّ تقارب المدد بين العواصف المطرية يزيد من عمق الجريان السطحي من خلال تأثيرها في رطوبة التربة وانخفاض قابليتها على الارتشاح. كما أن زيادة شدة المطر تزيد من الجريان الناتج عنها نظراً إلى قابلية ارتشاح التربة المحدودة والمنخفضة مع زمن سقوط المطر، وهذا يبرر اختلاف نسبة عمق الجريان إلى عمق المطر على الرغم

الري  $O_{Irr_i}$  خلال كل مدة زمنية بالصيغة الآتية:

$$O_{Irr_i} = \sum_{j=1}^k Cu_j \cdot A \quad \dots \dots \dots (11)$$

إذ إن:

$Cu_j$ : الاستهلاك المائي اليومي (ملم) لليوم (j).

A: المساحة المروية (م<sup>2</sup>).

k: المدة الزمنية للموازنة المائية.

وقدرت فواقد التبخر من معدل فواقد التبخر لمحطة الموصل (Class A pan evaporation) وبعد تقدير المساحة السطحية للخزان اعتماداً على علاقة خطية بين حجم التخزين والمساحة السطحية وبمعرفة حجم التخزين يمكن تقدير فواقد التبخر  $O_{Ev_i}$  عند كل مدة زمنية (i) بالصيغة الآتية:

$$O_{Ev_i} = Ev_{av_i} * (S_{AR_i} + S_{AR_{i+1}}) / 2 \quad \dots (12)$$

إذ إن:

$Ev_{av_i}$ : معدل فواقد التبخر (ملم) عند كل مدة زمنية (i).

$S_{AR_i}$ : المساحة السطحية للخزان عند بداية الفترة الزمنية (i).

$S_{AR_{i+1}}$ : المساحة السطحية للخزان عند نهاية المدة الزمنية (i).

وتقدر فواقد المسيل المائي  $O_{Spl_i}$  في كل مدة زمنية في حالة زيادة كمية المياه الداخلة إلى الخزان في تلك المدة على سعة التخزين القصوى بعد طرح احتياجات الري وفواقد التبخر خلال تلك المدة. وقد حددت سعة التخزين القصوى بـ  $29.29 \times 10^6$  م<sup>3</sup>، عند أقصى ارتفاع لمستوى التخزين الطبيعي التي تحدده طبوغرافية المنطقة عند موقع السد عند تنفيذه بأعلى ارتفاع بحدود 13م، بعد الأخذ بالحسبان الحيز اللازم لاستيعاب موجة الفيضان

للموسم المطري 1999-2000 الذي كان فيه أقل عمق مطر سنوي وهو بحدود 140 ملم، وهي مساحة صغيرة ولم يظهر تأثير حصاد المياه فيها واضحاً كون أن معظم مياه الأمطار في ذلك الموسم كانت في نهايته؛ مما حدّد بشكل كبير المساحة التي يمكن تلبية احتياجات الري لها وخصوصاً في بداية الموسم الزراعي. بشكل عام يراوح المعدل السنوي للأمطار الساقطة في منطقة الدراسة 350-400 ملم، ومن الشكل (5) نلاحظ أن المساحة التي يمكن إرواؤها في السنوات القريبة من معدل المطر السنوي راوحت بين 2738 إلى 26907 هكتار، أي بمعدل 15423 هكتار وهي المساحة القصوى التي يمكن ضمان إروائها باحتمالية مقبولة. إن هذه المساحات الإروائية قُدرت على أساس اعتماد تلبية متطلبات المحصول من مياه الري بنسبة 100%، ويمكن زيادة هذه المساحة بدرجة كبيرة في حالة اعتماد أسلوب الري الناقص (Deficit Irrigation) واعتماداً على درجة النقص في الري، إذ إن زيادة المساحة المرورية على حساب إنتاجيه قد يحقق واردة أكبر اعتماداً على العلاقة بين عمق الري وإنتاجية المحصول. كذلك نلاحظ من الشكل (5)، أن فواقد المسيل المائي كانت لسنوات محددة فقط ولم يتجاوز أقصاها  $18.3 \times 10^6$  متراً مكعباً؛ مما يبيّن أن حجم الخزان في الموقع المختار كان مناسباً، كما أن حجم المياه السنوية التي تجري في النهر لا تتطلب إنشاء سد آخر عليه.

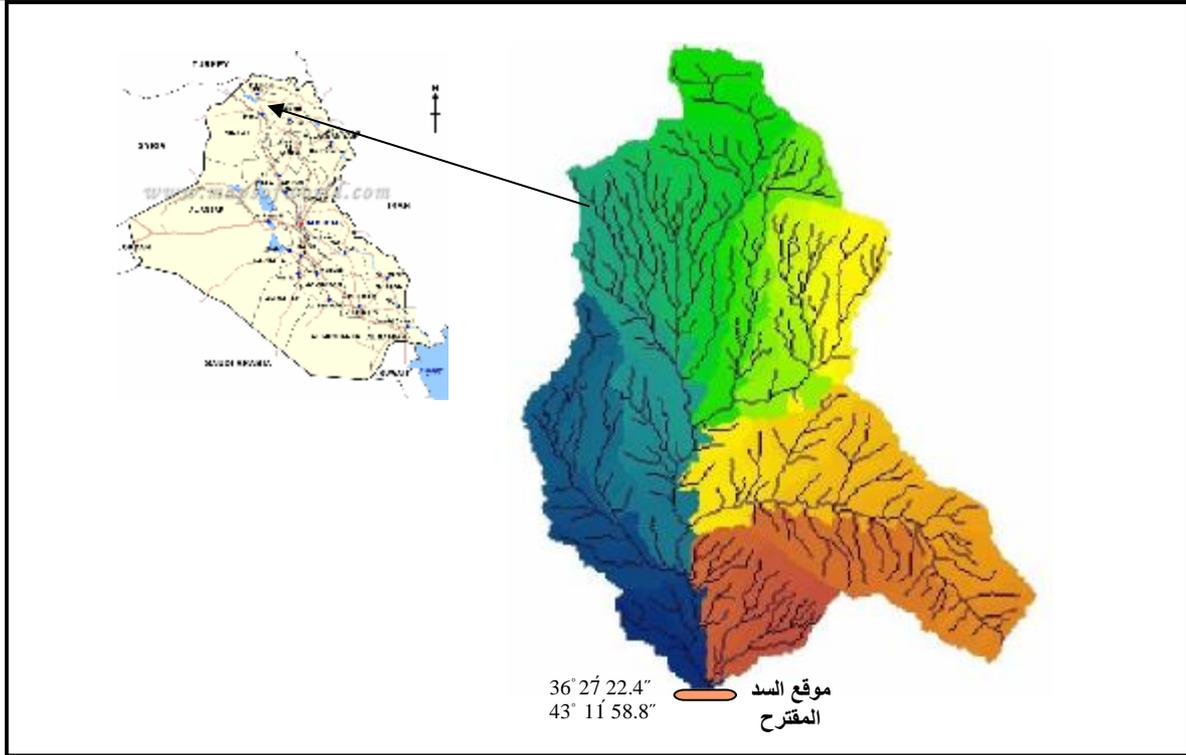
بشكل عام تعزز النتائج أهمية حصاد المياه في موقع الدراسة، وذلك لوجود كميات من مياه الجريان السطحي في أوقات وفرة الأمطار ووجود الموقع المناسب لخزنها والاستفادة منها في فترات توقف الأمطار أو شحها لضمان الحصول على الإنتاجية القصوى للمحاصيل الزراعية.

من تقارب مجموع عمق المطر السنوي لبعض المواسم. نلاحظ من الشكل (3) أن عمق الجريان السطحي السنوي تراوح بين 7.7 و 71.2 ملم، وبمعدل 35.1 ملم وهو معادل لحجم جريان سطحي مقداره  $25.4 \times 10^6$  م<sup>3</sup>، وهو ذو أهمية ويمكن الاستفادة منه في حالة خزنه لأغراض الري التكميلي للمنطقة في أوقات توقف الأمطار أو شحها.

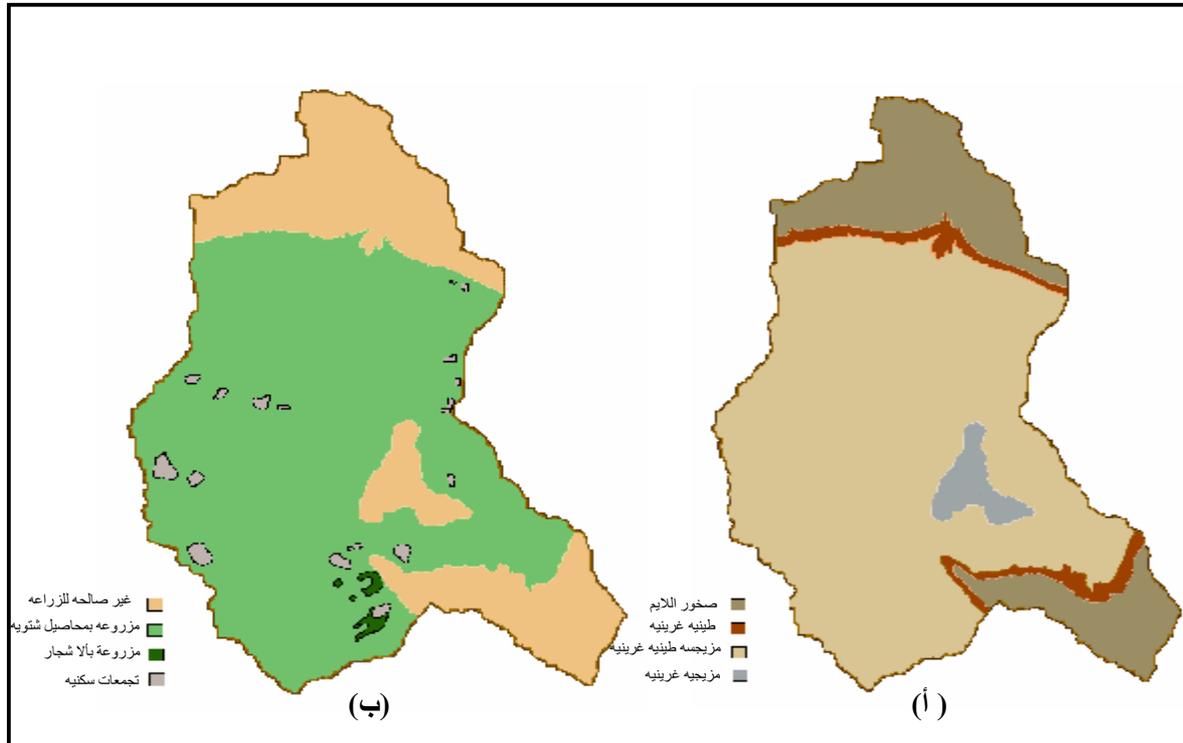
كذلك تضمنت نتائج النموذج وزن الرسوبيات المحمولة مع مياه الجريان السطحي المبيّن مجموعها السنوي في الشكل (4) والنتيجة من مجموع الرسوبيات الناتجة عن كل عاصفة مطرية. بلغ أقل وزن لهذه الرسوبيات بحدود  $4.1 \times 10^3$  طناً، وأعلىها  $701 \times 10^3$  طناً سنوياً، وبمعدل سنوي  $140 \times 10^3$  طناً. إن لهذه القيم أهمية كبيرة وذلك في تقدير الوزن والحجم الكلي لهذه الترسبات بغرض أخذها بالحسبان في تقدير حجم التخزين الميت الذي بلغ  $2.2 \times 10^6$  م<sup>3</sup> عند عدّ 20 سنة لعمر السد المقترح، والذي حدد بدوره حجم التخزين الحي المتيسر لأغراض الري وغيرها، وهو أساس في محاكاة الموازنة المائية.

اعتمدت مخرجات المرحلة الأولى وهي حجم الجريان السطحي الناتج عن كل عاصفة مطرية خلال كل سنة من السنوات المعتمدة (1989-2007) كونها جزءاً من البيانات اللازمة كمدخلات للمرحلة الثانية والمتضمنة محاكاة للموازنة المائية للمياه الداخلة إلى الخزان. فضلاً عن أن متطلبات الري التكميلي وفواقد التبخر المتغيرة حسب مرحلة النمو هي من مدخلات نموذج المحاكاة أيضاً. أظهرت نتائج البرمجة الخطية للحلول الفضلى أن أكبر مساحة يمكن تلبية متطلبات الري لها لمحصول الحنطة هي بحدود 27804 هكتاراً للموسم المطري 1995-1996، وهو الموسم الذي كان فيه عمق مطر السنوي 473 ملم، كما هو مبين في الشكل (5). في حين بلغت أقل مساحة يمكن إرواؤها بحدود 245 هكتاراً

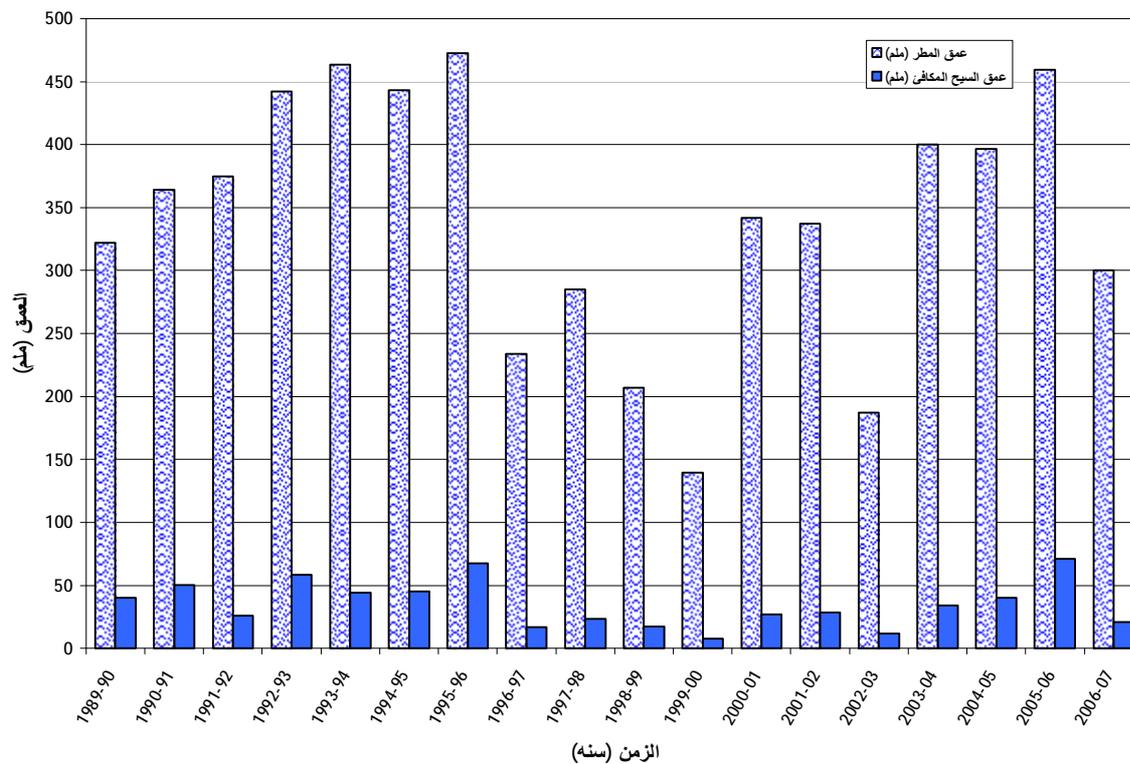
تقدير حجم الجريان السطحي والترسبات لجابيه شمال العراق لأغراض حصاد المياه باستخدام نظام المعلومات الجغرافية



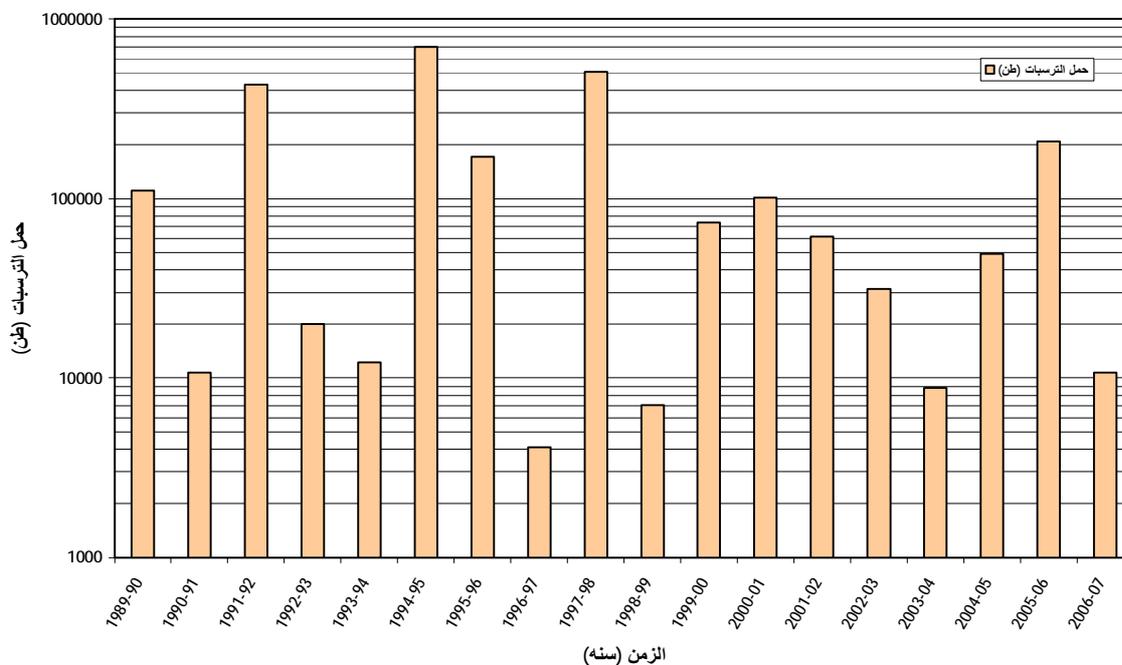
الشكل (1): الأحواض الثانوية وخطوط الجريان لمنطقة الدراسة، وموضاً موقعها من خارطة العراق.



الشكل (2): خارطة تصنيف التربة (أ) وخارطة استخدام الأرض (ب) لمنطقة الدراسة.

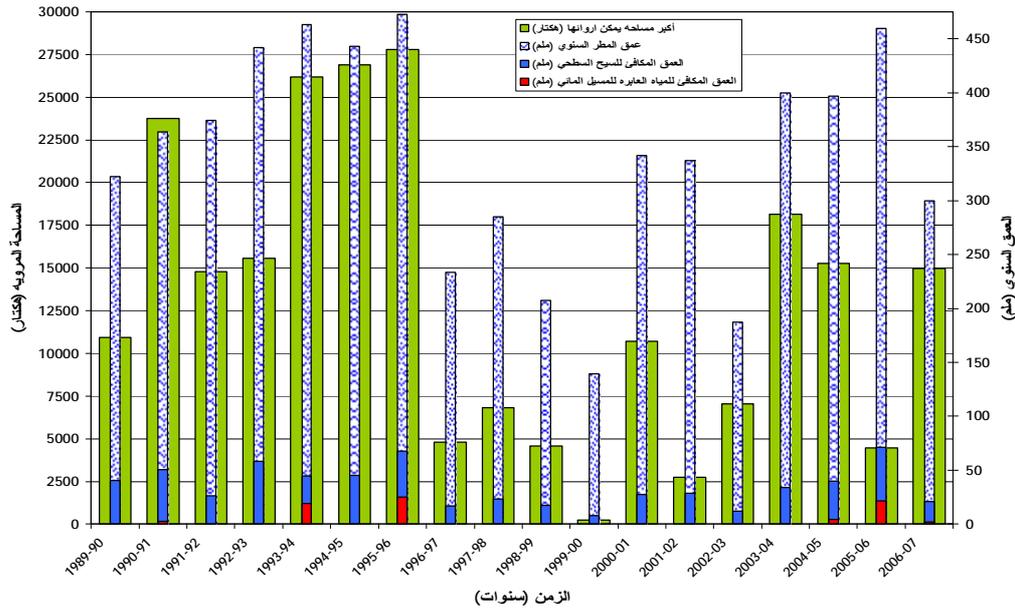


الشكل (3): ارتفاع المطر السنوي وعمق الجريان السطحي السنوي المتراكم للسنوات 1989-2007.



الشكل (4): وزن الترسبات السنوية المتراكمة من مجموع العواصف المطرية عن موقع السد للسنوات 1989-2007.

تقدير حجم الجريان السطحي والترسبات لجابيه شمال العراق لأغراض حصاد المياه باستخدام نظام المعلومات الجغرافية



الشكل (5): أقصى مساحة يمكن زراعتها مع كل من عمق المطر، العمق المكافئ للتسحيح السطحي والعمق المكافئ للمياه السنوية العابرة للمسيل المائي للسنوات 1989-2007.

Erosion Prediction Project Technology”,  
Journal of Range Management, 45(5), 1992,  
470-475.

- 10- Flanagan, D. C., and Nearing, M. A., “Sediment Particle Sorting on Hillslope Profiles in the Water Erosion Prediction Project model”, Transaction of the ASAE, 43(3), 2000, 573-583.
- 11- Mohammad, E. M., “A Conceptual Model for Flow and Sediment Routing for a Watershed Northern Iraq”, Ph.D. Thesis, College of Engineering, University of Mosul, Iraq. 2005, 170.
- 12- Nearing, M. A., “Evaluation Soil Erosion Models Using Measured Plot data: Accounting for Variability in the Data”, Earth Surface Processes and Land Form”, 25, 1035-1043.

13- الكيلاني، ريم محمد، "دراسة مدى الاستفادة من مياه الأمطار والري التكميلي في الموصل"، رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة الموصل، العراق، 2010، 81.

### المراجع:

- 1- Mallants, D. and Badji, M., “Integrating GIS and deterministic hydrological models: a powerful tool for impact assessment.”, Proc. EGIS, 1991, 672-679.
- 2- Savabi, M. R., Flanagan, D. C, Hebel, B., and Engel, B. A., “Application of Water Erosion Prediction Project and GIS to small watershed.”, Journal of Soil and Water Conservation. 1995, 50(5), 477-483.
- 3- Gupta, K. K., Deelstra, J., and Sharma, K. D., “ Estimation of Water Harvesting Potential for a Semiarid Area using GIS and Remote Sensing” International Association of Hydrological Science, Pub. No. 242, 1997, 53-62.
- 4- Jain, M. K., and Kothyari, U. C., “Estimation of Soil Erosion and Sediment Yield Using GIS”. Hydrological-des Sciences-Hydrologiques, 45(5), 2000. 771-786.
- 5- Amore, E., Modica, C., Nearing, M. A., and Santoro, V. C., “Scale Effect in USLE and WEPP Application for Soil Erosion Computation from Three Sicilian Basins”, Journal of Hydrology 293, 2004, 100-114.
- 6- الجبوري، كامل علي، وحاجم، أحمد يوسف، "السعة المثلى لخزانات السدود". المؤتمر الهندسي الثاني للكلية الهندسية العسكرية، الكلية الهندسية العسكرية، بغداد، 22-24 آذار 1994.
- 7- Hachum, A. Y., and Mohammad, E. M. “Optimal Reservoir Sizing for Small Scale Water Harvesting System at Al-Hader in Northern Iraq”, Journal of Al-Rafidain Engineering, 15(3), 2007, 83-95.
- 8- Jasrotia, A. S., Majhi, A., and Sunil Singh, “ Water Balance Approach for Rainwater Harvesting using Remote Sensing and GIS Technique, Jammu Himalaya, India”. Journal of Water Resource Management, 23(14), 2009, 3035-3055.
- 9- Wilcox, B. P., Sbaa, M. A., Blackburn, W. H., and Milligan, J. H., “ Runoff Prediction from sagebrush rangelands Using Water