

## تقييم دقة تمييز النموذج الارتفاعي الرقمي في دراسات تحديد الأحواض الساكنة للأنهار المتشاطئة

الدكتور عباس عبد الرحمن\*

(تاريخ الإيداع 28 / 8 / 2013. قُبِلَ للنشر في 10 / 11 / 2013)

### ملخص

تتميز أحواض الأنهار الدولية بالمساحة الكبيرة، مما يجعل توظيف الفرق الطبوغرافية لرسم معالم سطح الأرض ورسم خطوط الكونتور عملية شبه مستحيلة لتجاوز كلفها والجهد المبذول فيها الحدود المعقولة، وهنا يصبح ضرورياً استخدام نموذج ارتفاعي رقمي مستنتج من قبل هيئات علمية متخصصة مستخدمين بذلك تقنيات التحسس النائي.

هناك عدة نماذج ارتفاعية متوفرة على الشبكة العنكبوتية ومعظمها قابلة للتحميل والاستخدام مجاناً، وهنا يصبح العامل الأساسي في تقرير النموذج الأكثر ملاءمة لبناء النماذج الهيدرولوجية ليس الأقل ثمناً، بل الأكثر موثوقية من حيث النتائج والأفضل من حيث دقة التمييز والأكثر ملاءمة لإمكانيات الحاسب الآلي المستخدم.

في هذه الدراسة تم استخدام ثلاثة نماذج ارتفاعية رقمية لاستنتاج وبناء نماذج هيدرولوجية لحوض نهر الفرات ودجلة، وذلك باستخدام تقنيات أنظمة المعلومات الجغرافية GIS، كما تمت مقارنتها بنماذج ارتفاعية أنجزتها هيئات بحثية عالمية (UNEP, ESCWA, FAO)، وقد توصلت الدراسة ونتائج البحث إلى أن النموذج الارتفاعي SRTM\_3arc هو الأفضل بين النماذج المستخدمة، كما أشارت الدراسة إلى ضرورة تصحيح حدود حوض الفرات ودجلة وتصحيح النسب المكانية لتوزيع مساحة الحوض بين الدول المتشاطئة.

**الكلمات المفتاحية:** الأنهار المتشاطئة، نموذج ارتفاعي رقمي، الحوض الساكن، النموذج الهيدرولوجي

\* مدرس في قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## Assessment of Digital Elevation Model Resolution for Watershed Delineation Studies of Riparian Rivers

Dr. Abbas Abdelrahman \*

(Received 28 / 8 / 2013. Accepted 10 / 11 / 2013)

### ABSTRACT

International river basins are characterized by their wide extent where mapping earth surface features and drawing contours by topographic team become—somehow- impossible because the cost and efforts consumed to execute it become very high and may exceed reasonable limits. Here it becomes necessary to use digital elevation models (DEM) inferred by specialized scientific organizations using remote sensing.

There are several DEMs available on the internet and downloadable for free. The primary factor in defining the models efficiency in building hydrological models not the least cost but the maximum reliable results and better resolution that adequate to the capabilities of the PCs.

In this study, three DEMs were used to derive and build hydrological models for the Euphrates-Tigris basin using Geographic information system techniques. The resulted boundaries of Euphrates-Tigris basin were compared with three boundaries implemented by international research organizations (UNEP, ESCWA, and FAO). As a conclusion of this comparison, the SRTM—3arc DEM was the most efficient model among used models. In addition, this study indicated the necessity to reevaluate Basin's boundaries and correct the spatial distribution of proportion for basin area between the riparian countries.

**Keywords:** Riparian Rivers, Digital Elevation Model, Catchment, Hydrologic Model.

---

\* Assistant professor, Department of Water Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**مقدمة:**

تشكل المعطيات الطبوغرافية وما يقع على الأرض من منشآت ومعالم عنصراً أساسياً في الدراسات المتعلقة بإدارة الموارد المائية لأي منطقة، وتزداد كفاءة الدراسة مع ازدياد دقة البيانات المكانية، مما ينعكس بالتالي ازدياداً في كلفة الوقت والجهد والمال اللازم لإنجاز مثل هذه الدراسات. ويبدو هذا العامل محورياً وضاعطاً عندما يتعلق الأمر بالدراسات على المستويات الإقليمية، حيث تغطي الدراسة رقعة كبيرة من الأرض يصبح عندها الرفع الطبوغرافي المعتمد على الفرق المساحية شبه مستحيل، وفي هذه الحالة نلجأ للنماذج الارتقاعية المستنتجة بتقنيات التحسس النائي Remote Sensing والتي أعدتها هيئات حكومية وطنية أو عالمية، حيث تحتاج هذه النماذج بشكلها الرقمي إلى برامج حاسوبية لاستعراضها ومن ثم لتحليلها واستنتاج المعلومات اللازمة، كما تعد أنظمة المعلومات الجغرافية GIS من أهم البرامج المستخدمة في قراءة مختلف أشكال النماذج الارتقاعية الرقمية وتحليلها وصولاً إلى القدرة على بناء النماذج الهيدرولوجية للمنطقة والمتمثلة في الأحواض الساكبة والمجاري المائية ونقاط المصببات.

مرت النماذج الارتقاعية الرقمية بخطوات متلاحقة من عمليات التطوير والتحسين بفضل تطور أدوات جمع مثل هذه البيانات وتكنولوجيا التحسس النائي، التي وفّرت عدّة نماذج ارتقاعية رقمية لسطح الكرة الأرضية بدرجات تمييز مختلفة، وظهرت تالياً عدّة دراسات نقدية لهذه التقنيات والنماذج الارتقاعية تناولت موثوقية هذه النماذج وأوجدت قيم متوسط الخطأ التربيعي لها على اختلاف أنواعها واختلاف التقنيات المتبعة في جمعها [1]. هذه الاختلافات تدعو للتساؤل حول درجات الموثوقية التي يمكن أن تتمتع بها الدراسات الهيدرولوجية المعتمدة على هذه أو تلك من النماذج الارتقاعية، كما يبرز سؤال حول موثوقية الدراسات السابقة المتعلقة بالأنهار الدولية العابرة للحدود، والتي بنيت في العقود الماضية على ما توفر من مخططات كونتورية بمقاييس صغيرة نوعاً ما متناسبة مع المسطح الكبير لهذه الأحواض.

يكتسب موضوع البيانات الطبوغرافية حساسية خاصة عندما يتعلق الأمر بدراسة الأحواض الساكبة للأنهار الدولية وذلك لعدة أسباب، أهمها ما تتميز به هذه الأنهار من أطوال كبيرة عابرة للدول ومن مساحات كبيرة لأحواضها الساكبة والاختلاف في أنظمة الإسقاط المعتمدة في الدول المتجاورة، يضاف إلى هذه الأسباب ما يرافق الأنهار الدولية عادةً من ظهور أزمات سياسية بين الدول المتشاطئة، بسبب الخلاف على توزيع الحصص المائية فيما بينها في ظل غياب قوانين دولية واضحة بهذا الشأن [2,3].

تأتي أهمية تحديد الحوض الساكب لنهري دجلة والفرات من الظروف الاجتماعية والسياسية وأيضاً المناخية المتغيرة دوماً باتجاه انخفاض أكثر في الموارد المائية وارتفاع أكثر لوتيرة التوتر السياسي بين البلدان المتشاطئة والمشاركة لموارد هذين النهرين. واستناداً للدراسات المتوفرة التي تناولت هذين النهرين لاحظنا وجود أكثر من خريطة لحدود الحوض الساكب لهما، مما ينعكس اختلافاً وتبايناً في نسب مشاركة الدول المتشاطئة في تشكيل حوضهما الساكب ومجاريهما الرئيسية، مع انعكاس طفيف لهذه التغيرات على قيم الوارد المائي لهما، وذلك لأن الوارد المائي الرئيس يتشكل في معظمه من جبال تركيا والعراق حيث لا توجد اختلافات كبيرة في حدود الحوض الساكب.

**أهمية البحث وأهدافه:**

تعتمد الدراسات المتعلقة بإدارة الموارد المائية ومنها الدراسات الهيدرولوجية على توافر كم كبير من المعطيات المناخية والسكانية والسطح - أرضية، مثل معالم الأرض الطبيعية وما يقوم عليها من منشآت، يتصف

بعض هذه المعطيات بالتغير الدائم مع الزمن مما يكسب الدراسات الهيدرولوجية خصوصيتها المميزة، من حيث تعقيدها وصعوبة التعامل معها إحصائياً، ومن حيث التنبؤ بقيم أقرب ما تكون للدقة الكافية لبناء الخطط والمشاريع التنموية. وعلى العكس من ذلك، فإن معطيات سطح الأرض قد لا تتعرض لدرجات كبيرة من التغيير عبر الزمن، ويكون نادراً حصول مثل هذه التغيرات بدرجات كبيرة كافية لتغيير مجاري الأنهار، وهكذا كانت الخرائط الطبوغرافية المتوفرة محلياً بمقاييس رسم مختلفة والمتناسبة مع حجم الحوض الساكن ومع طول وأهمية المجرى المائي، المصدر الأساسي الذي اعتمد عليه الباحثون في مختلف الدول لإنجاز الدراسات المتعلقة بإدارة الموارد المائية في تلك الدول.

يكتسب موضوع الخرائط الطبوغرافية أهمية خاصة عندما يتعلق الأمر بدراسة الأحواض الساكنة للأنهار الدولية كما ذكرنا سابقاً، مما يستوجب حجماً كبيراً من العمل اليدوي المطلوب تنفيذه عند تحديد الأحواض الساكنة بالطريقة المعروفة قديماً عن طريق تتبع خطوط انقسام المياه على الخرائط الكونتورية، هذا من جهة، ومن جهة أخرى تظهر مشكلة الاختلاف في أنظمة الإسقاط المعتمدة في الدول المختلفة حتى ولو كانت متجاورة، وأحياناً تختلف هذه الأنظمة في البلد الواحد، يضاف إلى هذه الأسباب ما يرافق الأنهار الدولية عادةً من ظهور أزمات سياسية بين الدول المتشاطئة بسبب الخلاف على توزيع الحصص المائية فيما بينها في ظل غياب قوانين دولية واضحة بهذا الشأن.

أحد التطورات الهامة التي انعكست إيجاباً على دراسات الظواهر الهيدرولوجية هو توفر النماذج الارتقاعية الرقمية بأشكالها المختلفة، وتوفر البرمجيات اللازمة لاستعراضها وقراءتها وتحليلها. ولا يخفى على الباحثين في هذا المجال دور أنظمة المعلومات الجغرافية GIS وملحقاتها المتخصصة في مجالات الدراسات المائية، مثل ArcHydro، الذي يعتبر أداة متطورة في تحليل النماذج الارتقاعية الرقمية واستخدامها في دراسات تحديد الأحواض الساكنة واستنتاج مجاري الأنهار، بدءاً بالمسيلات الصغيرة المنحدرة من حدود الحوض الساكن وفق منهجيات خاصة، تبدأ بتحسين النموذج الارتقاعي وتهيئته للمسألة المطروحة واستنتاج خارطة اتجاهات الجريان Flow Directions، إلى خارطة المسيلات وتراكماتها التجميعية ومن ثم تشكيل الأحواض الساكنة الجزئية والكلية وبناء الشبكة الهيدروديناميكية بشكل كامل للحوض المدروس [4].

مرّت النماذج الارتقاعية الرقمية بخطوات متلاحقة من عمليات التطوير والتحسين بفضل تطور أدوات جمع مثل هذه البيانات وتكنولوجيا التحسس النائي Remote Sensing. لقد وقرّ اختلاف هذه الأدوات أو التقنيات عدّة نماذج ارتفاعية رقمية لسطح الكرة الأرضية بدرجات تمييز مختلفة، وظهرت تالياً عدّة دراسات نقدية لهذه التقنيات والنماذج الارتقاعية تناولت موثوقية هذه النماذج، وأوجدت قيم متوسط الخطأ التريبي لها على اختلاف أنواعها واختلاف التقنيات المتبعة في جمعها، وكذلك اختلاف الجهات البحثية التي أنتجتها أو أشرفت على وضعها. هذه الاختلافات تدعو للتساؤل حول درجات الموثوقية التي يمكن أن تتمتع بها الدراسات الهيدرولوجية المعتمدة على هذه أو تلك من النماذج الارتقاعية، كما يبرز السؤال الأكثر أهمية حول موثوقية الدراسات السابقة المتعلقة بالأنهار الدولية العابرة للحدود، التي بنيت في العقود الماضية على ما توفر من مخططات كونتورية بمقاييس صغيرة نوعاً ما متناسبة مع المسطح الكبير لهذه الأحواض.

حاولنا في هذه الدراسة تدقيق حدود الحوض الساكن لنهري دجلة والفرات باعتبارهما من أهم أنهار آسيا وأكبرها، وتم تناولهما في دراسة واحدة نظراً لتأخي مساري هذين النهرين تاريخياً وجغرافياً، حتى سميت البلاد قديماً "ما بين النهرين" وسميت الحضارات التي عاشت عليها بحضارات ما بين النهرين عبر آلاف السنين. حيث يتشارك نهرا الفرات ودجلة منابعهما من شمال تركيا وشرقها بشكل رئيس، وتشارك السفوح الغربية لجبال زاغروس في إيران بتشكيل

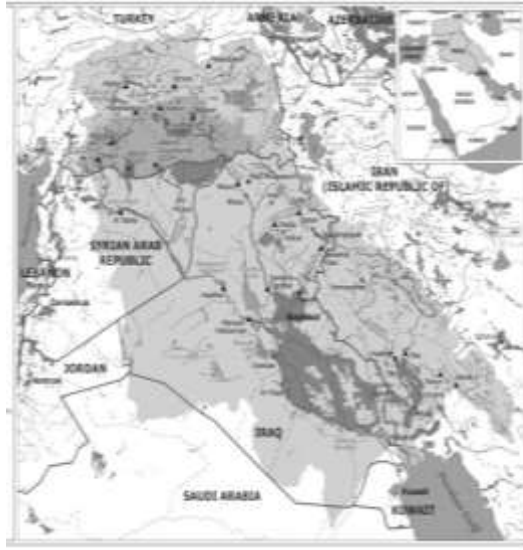
نهر دجلة، ويمر كلاهما في تركيا وسوريا والعراق، إضافة إلى هذه الدول تتشارك كل من السعودية والأردن بنسبة ضئيلة في تشكيل الحوض الساكب لهما، كما حاولنا المقارنة بين مخرجات النماذج الارتفاعية بدقات تمييز مختلفة وتحديد ميزات استخدام كل منها وفقاً لمقياس الدراسة وحجم الحوض (أو طول النهر الرئيس).

تأتي أهمية تحديد الحوض الساكب لهذين النهرين من الظروف الاجتماعية والسياسية وأيضاً المناخية المتغيرة دوماً باتجاه انخفاض أكثر في الموارد المائية وارتفاع أكثر لوتيرة التوتر السياسي بين البلدان المتشاطئة والمشاركة لموارد هذين النهرين. ويلاحظ وجود عدد غير قليل من الدراسات والأبحاث التي تناولت نهري دجلة والفرات، ولم تفصل معظم هذه الدراسات بين النهرين نظراً لتوأمة مسارهما وظروف تشكلهما وظروف التقائهما في شط العرب قبل مسافة كبيرة من مصبهما في الخليج العربي. استناداً لهذه الدراسات لاحظنا وجود أكثر من خارطة لحدود الحوض الساكب لهما مما ينعكس اختلافاً وتبايناً في نسب مشاركة الدول المتشاطئة في تشكيل حوضهما الساكب ومجاريهما الرئيسة ويتشكل معظم الوارد المائي الرئيس من جبال تركيا والعراق، حيث لا توجد اختلافات كبيرة في حدود الحوض الساكب [5,6,7].

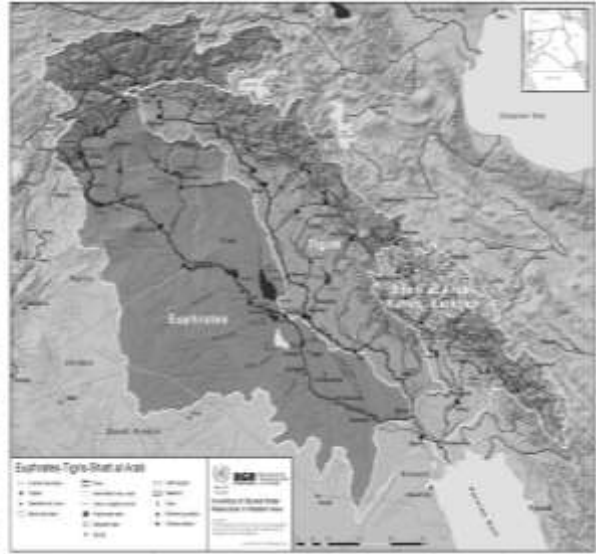
يوضح الشكل (1) حدود الحوض الساكب لنهري دجلة والفرات وفق ثلاثة مصادر، حيث نلاحظ عدم اتفاق هذه المصادر على حدود الحوض وذلك نظراً لاختلاف التقنيات والوسائل التي تم بها وضع هذه الحدود طبقاً لكل مصدر، مما ينعكس أيضاً على القيم الرقمية لتقسيمات الحوض بين الدول المتشاطئة، من حيث أطوال المجاري العابرة لكل دولة ومساحة الحوض الساكب ونسبة توزيعه في كل دولة، وإن المصادر الثلاثة التي حددت الحوض الساكب هي:

1. البرنامج البيئي في الأمم المتحدة UNEP بالتعاون مع قاعدة بيانات المصادر العالمية GRID في تقرير منشور عام 2001 بعنوان "أهوار ما بين النهرين" [5].
2. اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا ESCWA في تقرير تطوير المياه رقم 4 المنشور عام 2011 [6].
3. منظمة الأغذية والزراعة في الأمم المتحدة FAO في تقريرها الإحصائي رقم 34 لعام 2008 [7].

إن الاختلاف في قيم المساحة الكلية للحوض والطول الكلي لمجرى نهر الفرات من المنبع إلى المصب في المصادر الثلاثة، والموضح في الشكل أعلاه، يتبعه اختلاف في نسب مساهمة كل دولة من الدول المتشاطئة في تشكيل الحوض وطول المجرى.



FAO 2008



ESCWA 2011



UNEP 2001

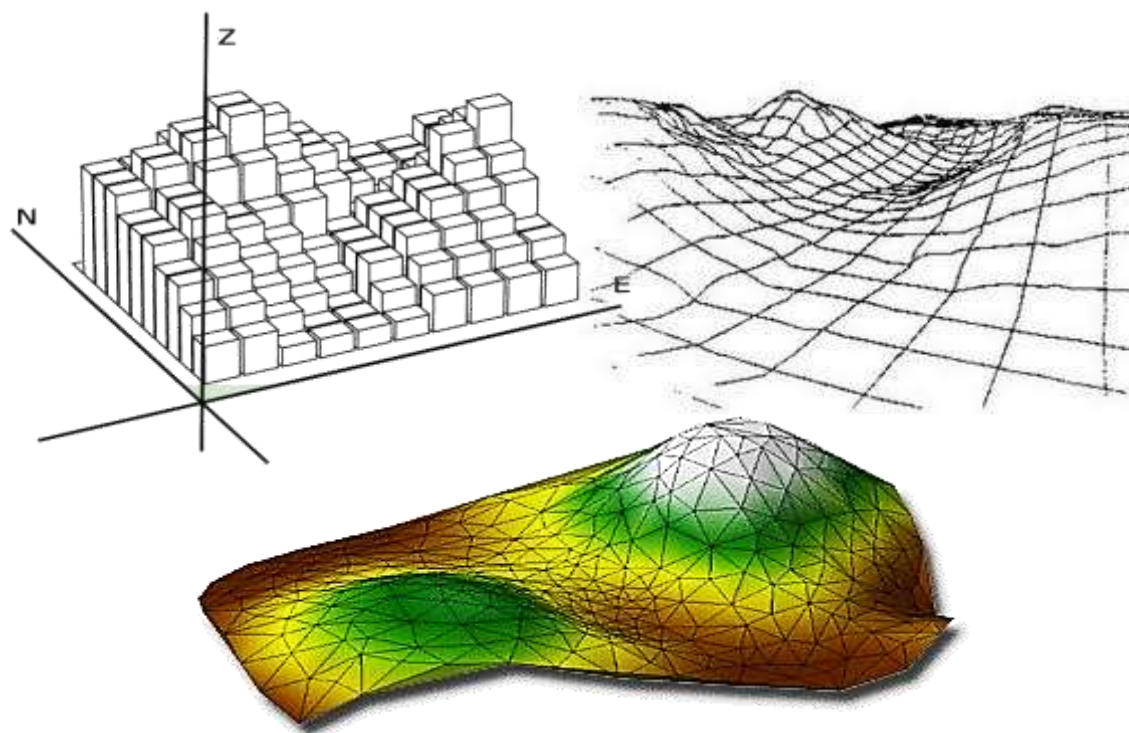
المصدر	المساحة الكلية KM <sup>2</sup>	طول النهر KM
FAO 2008	879790	3000
UNEP 2001	950000	3000
ESCWA 2011	771500 بدون حوض كارون	2781

الشكل رقم 1- حوض نهري الفرات ودجلة وفقاً لمصادر مختلفة

### النماذج الارتقاعية الرقمية:

يمكن تعريف النموذج الارتقاعي الرقمي بأنه طريقة لنمذجة سطح الأرض وما عليها من معالم بشكل ملفات رقمية يمكن تمثيلها على شاشة الحاسب عن طريق مجموعة برامج مخصصة لقراءة وتحليل هذا النوع من البيانات. هناك عدة أشكال معروفة لهذه البيانات، منها ما هو شعاعي (Vector Format) ومنها ما هو مصفوفي (Raster Format)، ولكل منها حسناته وسلبياته [8]. في معظم الأحيان يكون الشكل المصفوفي للنماذج الارتقاعية هو الشكل الأولي الناتج من معالجة التحريات والصور الرقمية المجمعّة بواسطة تقنيات الاستشعار عن بعد، سواء بالتصوير الجوي أو بالأقمار الصناعية. وتأتي الأشكال الشعاعية نتيجة للمعالجة اللاحقة لهذه الملفات بواسطة برامج مخصصة لهذه الأغراض مثل برامج نظم المعلومات الجغرافية (GIS) على اختلاف أسمائها التجارية، أو بمعالجتها ببرامج تحليل الصور وتفسيرها للتوابع الصناعية. في الملفات المصفوفية يتم تمثيل سطح الأرض بشبكة من الخلايا المربعة، وكل

خلية تغطي مساحة من الأرض تختلف من نموذج لآخر ومن تقنية لأخرى، وهو ما يعرف بدقة التمييز لهذا النموذج (Resolution). تعرف الخلية بقيمة الارتفاع لها الذي يكون ممثلاً لقيم الارتفاعات لجميع نقاط سطح الأرض الواقعة ضمنها، إضافة إلى ترتيبها في السطر والعمود اللذين تقع فيهما هذه الخلية. وبالتالي فإن أفضل تمثيل على الإطلاق لسطح الأرض يمكن أن نحصل عليه عندما تنتهي أبعاد الخلية المربعة إلى الصفر وتنتهي في النقطة ذاتها مما يؤدي إلى الحصول على ملف رقمي بعدد لا منته من النقاط الارتفاعية، وهذا بالطبع مستحيل، إذ لا تقنيات الاستشعار عن بعد تسمح بذلك ولا إمكانيات الحواسيب المتوفرة لدى الأشخاص أو لدى المؤسسات البحثية تسمح بمعالجة ملفات ذات حجوم كبيرة إلى هذه الدرجة. إذ لا بد من القبول ببعض التقريب المبرر لدى التصدي لنمذجة سطح الأرض، بما يتوافق مع إمكانيات الاستشعار عن بعد المعروفة حتى تاريخه من جهة، وبما يتوافق مع إمكانيات الحاسب الذي نستخدمه في عملية النمذجة، وأيضاً بما يسمح لنا بالحصول على نموذج صحيح وممثل فعلياً وبشكل مرضٍ للمسألة المطروحة بحسب المقياس الذي تغطيه.



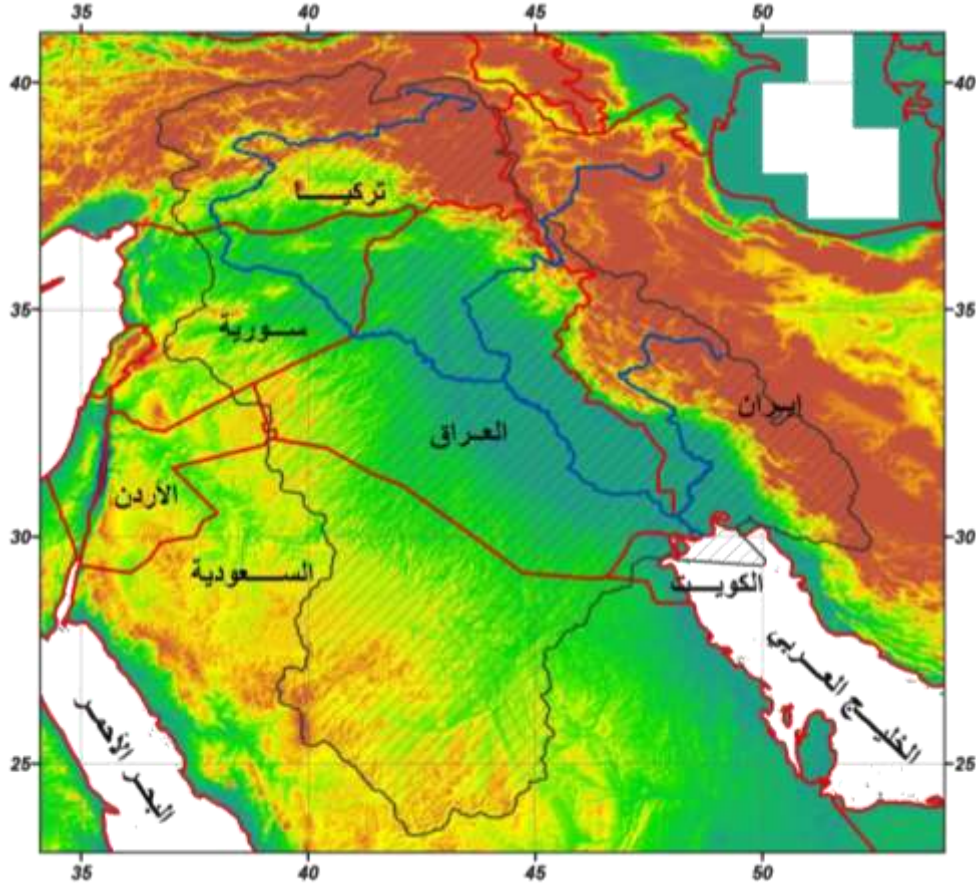
الشكل 2- الشبكة المصفوفية Raster والمثلثاتية TIN

لوضع مثل هذه النماذج قامت عدة هيئات دولية بتنفيذ عدد من التحريات والمسوحات لسطح الأرض باستخدام تقنيات مختلفة، وتوصلت إلى طرح عدة نماذج ارتفاعية رقمية لسطح الأرض بدقةات تمييز مختلفة [9,10]. البعض من هذه النماذج متوفر على شبكة الانترنت، منها ما هو مجاني ومنها ما هو مدفوع الأجر، في حين أن البعض الأكثر تطوراً، مثل النماذج المعتمدة على تقنيات المسح الليزري (LIDAR Data) وبدقات تمييز عالية جداً تصل لعدة سنتيمترات [11]، يمكن طلب تنفيذها لكل منطقة على حدة وفق اتفاقيات بين الجهات الطالبة لها والجهات المالكة لهذه

التقنية، ولم نتطرق في دراستنا لهذا النوع من النماذج نظراً للحجم الكبير للحوض الساكن الذي نحن بصدد دراسته، بل سنكتفي بدراسة ثلاثة نماذج مصفوفية، وبدقات تمييز مختلفة.

### طرائق البحث ومواده:

**منطقة البحث:** تقع منطقة البحث بين خطي طول  $35.33^{\circ}$  و  $52.3^{\circ}$  وبين خطي عرض  $23.1^{\circ}$  و  $40.5^{\circ}$  حيث تغطي هذه المنطقة عدة دول متجاورة هي تركيا، إيران، سوريا، العراق، الكويت، السعودية والأردن.



الشكل 3- منطقة البحث

تم الاعتماد في هذه الدراسة على ثلاثة نماذج ارتفاعية رقمية للمنطقة وهي (DTED\_30arc second) و (GTOPO\_30arc second) و (SRTM 3arc second).

### النموذج الارتفاعي (DTED\_30arc second)

يعرف هذا النموذج أيضاً بـ DTED\_Level 0 بدقة تمييز 30arc-second من إنتاج الوكالة الوطنية (الأميركية) للتصوير والخرائط (National Imagery and Mapping Agency (NIMA)، وهو متوفر بشكل مجاني على عدة مواقع في رقع أبعادها [1 درجة × 1 درجة]، وتتضمن الرقعة  $121 \times 121$  خلية معلومة الارتفاع أبعادها 1 كم تقريباً في كلا الاتجاهين (30arc seconds  $\approx$  1 km at the equator). تم تحميل الرقع المطلوبة لتغطية كامل المساحة المدروسة، ونظراً لأن البرنامج ArcGIS/ArcHydro يقوم بمعالجة نموذج ارتفاعي واحد



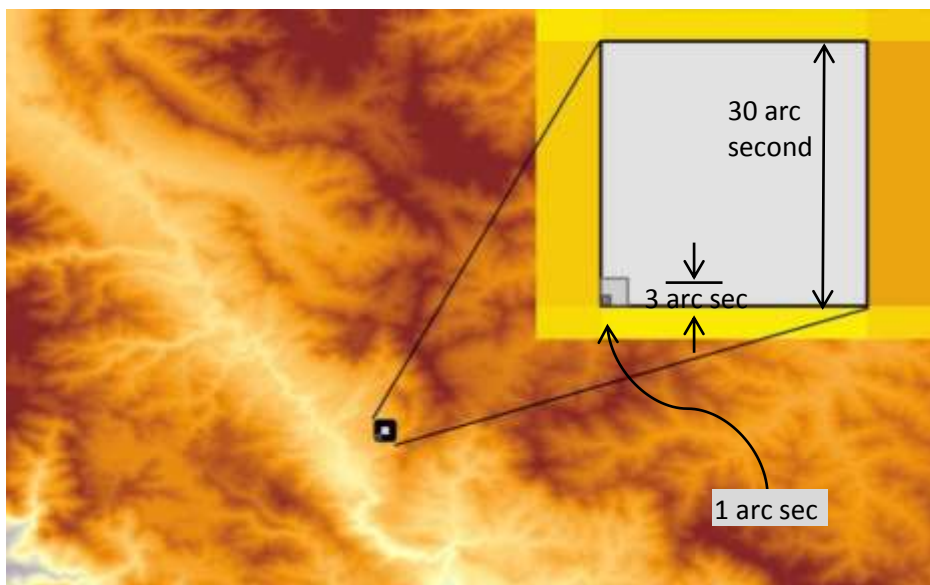
كأساس لاستنتاج الأحواض الساكنة وبناء النموذج الهيدرولوجي، فقد تمت معالجة الرقع وتجميعها في ملف واحد باستخدام تقنيات البرنامج وبالتحديد الأداة mosaic. المعطيات مرجعة مكانياً في نظام الإحداثيات الجغرافية العالمي WGS 1984، وتقدر قيمة الخطأ التريبيعي المتوسط لهذا النموذج بـ 30 متراً للارتفاع [9].

### النموذج الارتفاعي GTOPO30 بدقة تمييز 30arc-second

تم وضع هذا النموذج للبيانات الطبوغرافية للمقاييس الإقليمية والقارية من قبل مركز معطيات هيئة المسح الجيولوجي الأميركية EROS Data Center في العام 1996. تتوضع بيانات النموذج الارتفاعي في خلايا بتباعدات 30 arc second في كلا الاتجاهين تم اشتقاقها من ثمانية مصادر مختلفة للبيانات الارتفاعية شعاعية ومصفوية، بنظام الإرجاع المكاني WGS84 ووحدة لقياس الارتفاع بالمتراً اعتباراً من سطح البحر. تم اشتقاق الجزء الأساسي للبيانات من البيانات الارتفاعية الرقمية DTED ومن الأطلس الرقمي العالمي Digital Chart of the World بالإضافة إلى بيانات هيئة المسح الجيولوجي الأميركية وبيانات الخرائط الورقية العالمية، وتبلغ الدقة الرأسية للبيانات في هذا النموذج 30 متراً بدرجة ثقة 90% [10].

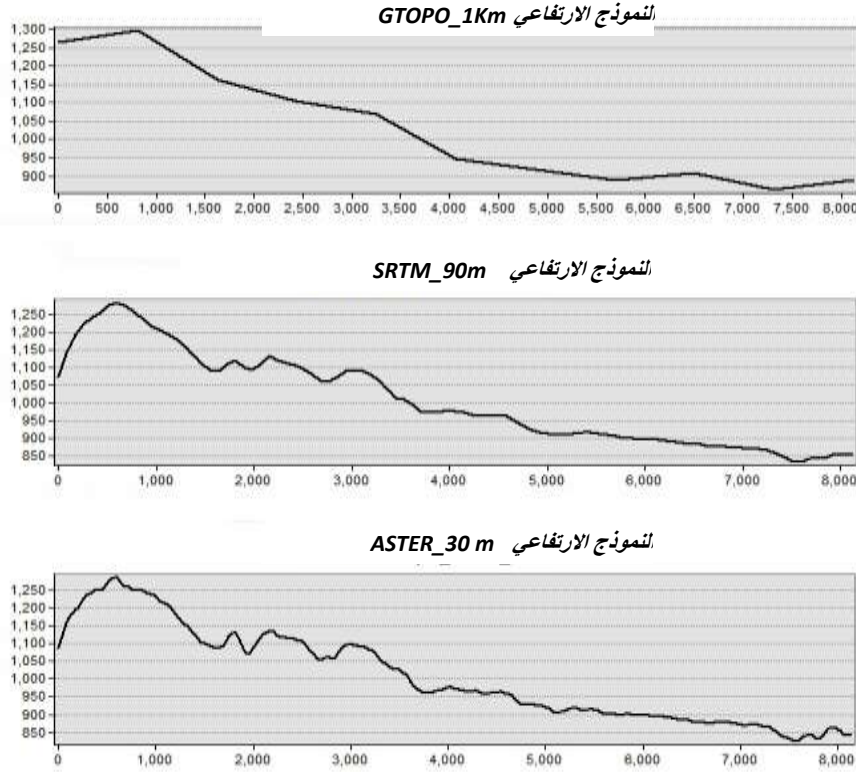
### النموذج الارتفاعي SRTM 3arc second

النموذج الثالث الذي تم اعتماده SRTM 3arc second (اختصاراً لـ Shuttle Radar Topography Mission)، وهو اسم البعثة التي نفذت مهمة جمع بيانات ارتفاعية لقسم كبير من سطح الأرض (80%) خلال 11 يوماً في عام 2000 بواسطة القمر الصناعي Endeavour التابع لوكالة الفضاء الأميركية NASA وشاركها في هذه المهمة قسم الدفاع في الوكالة الوطنية للتصوير والخرائط، وبمساهمة أيضاً من وكالتي الفضاء الألمانية والإيطالية. البيانات متوفرة بشكل مجاني أيضاً في رقع أبعادها (5 درجات × 5 درجات)، ويتضمن الملف 1200×1200 خلية أبعادها 90 متراً بشكل تقريبي (90 m at the equator ≈ 3arc seconds) وبنظام الإحداثيات الجغرافية العالمي WGS 1984. تم تجميع الرقع المطلوبة التي تغطي كامل المنطقة المدروسة في ملف ارتفاعي واحد باستخدام الأداة mosaic، وتقدر قيمة الخطأ التريبيعي المتوسط بـ 9 أمتار بدرجة ثقة 95% (أي أن 95% من البيانات تقع ضمن مجال خطأ يقل عن 9 أمتار) [12].



الشكل 4 - دقة التمييز للنماذج المعتمدة في الدراسة ونسبتها بعضها إلى بعض

تتعرض دقة التمييز بشكل واضح على تفاصيل المقطع الطولي، حيث يبين (الشكل 5) مقطعاً طويلاً واحداً يمر من النماذج الثلاثة، ويبدو التمايز في التفاصيل الطبوغرافية لسطح الأرض باتجاه الارتفاع مع الانخفاض في الرقم الدال على قيمة التمييز (أبعاد الخلية المربعة).



الشكل 5 - مقطع طولي واحد للنماذج الثلاثة يوضح الفروقات بينها

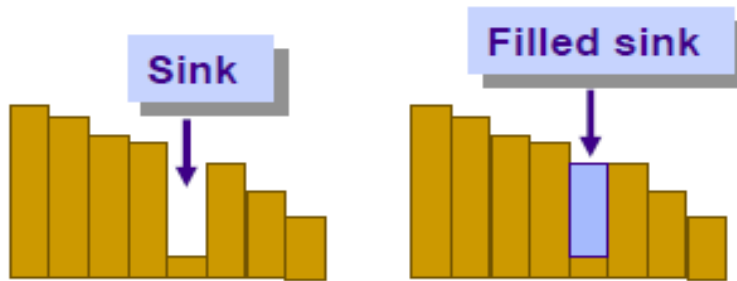
**البرمجيات المستخدمة:** تم بناء النماذج الهيدرولوجية من خلال واجهة البرنامج ARCGIS\_10 من إنتاج معهد بحوث النظم البيئية ESRI، بالاستعانة ببرنامج ArcHydro المصمم للدراسات الهيدرولوجية وتحديد الأحواض الساكبة واستنتاج مجاري الأنهار ومواصفاتها المورفومترية، إضافة إلى بناء شبكة هيدرولوجية لاستخدامها في البرامج المتخصصة بمختلف المسائل المتعلقة بالدراسات المائية.

## النتائج والمناقشة:

### استنتاج الحوض الساكب بواسطة النموذج الارتقاعي GTOPO30\_30arc:

يتم توزيع هذا النموذج على الشبكة العنكبوتية في ملف مصفوفي واحد يضم كامل القارة الأوروبية ومنطقة الشرق الأوسط بنظام الإحداثيات الجغرافي العالمي WGS84 والجيوئيد WGS84 أيضاً، وبالتالي تمت معالجة الملف معالجة أولية لتهيئته للاستخدام ضمن منطقة البحث بدءاً بعملية Clip (قص مساحة من الملف ضمن الحيز الجغرافي المدروس) إلى إعادة تعيين نظام الإحداثيات والإسقاط المناسبين للبحث، وقد تم اعتماد نظام الإحداثيات WGS84 ونظام الإسقاط Universal Transverse Mercator 38N كما تم اختيار الحزمة 38 لتوسطها منطقة البحث الممتدة بين الدرجتين 36 و 52 شرقاً.

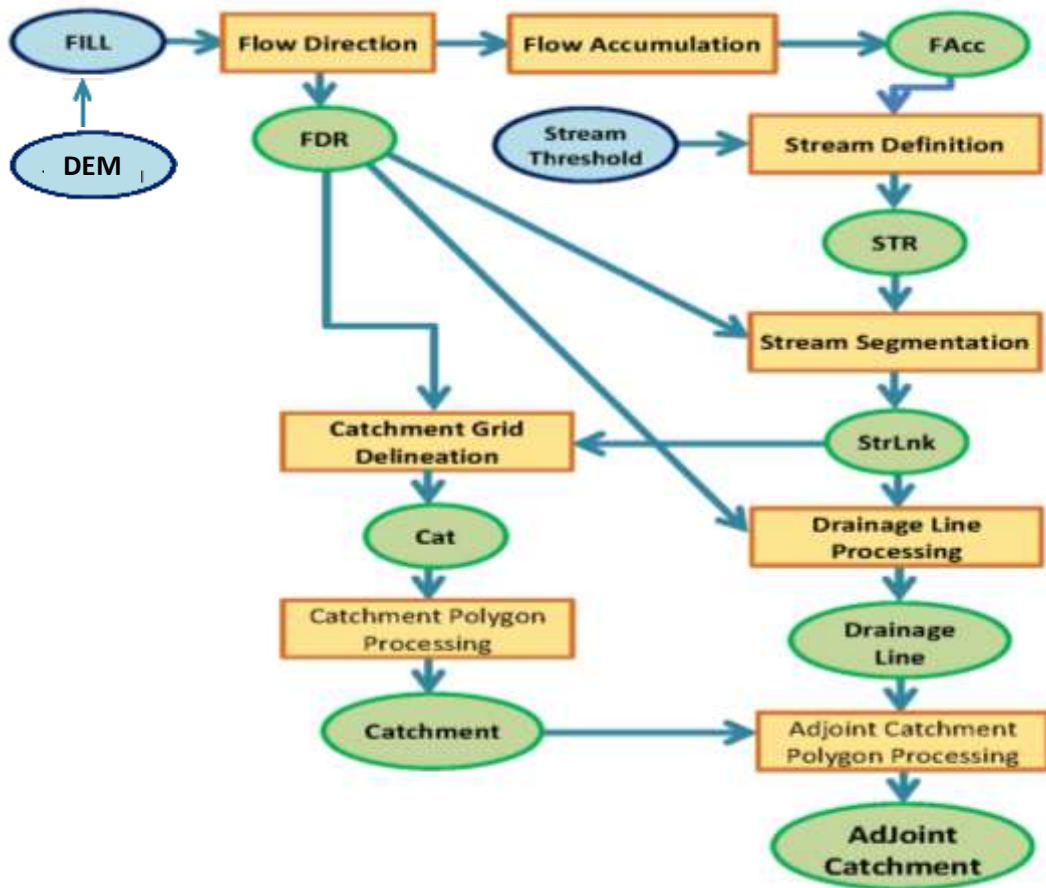
تمت تهيئة الملفات المصفوفية عن طريق تنفيذ بعض الإجراءات ضمن برنامج ArcGIS مثل التجميع والقص وإعادة التوجيه وإعطاء المرجعية المكانية لهذه الطبقات في نظام الإحداثيات ونظام الإسقاط المعتمدين في الدراسة. لغرض بناء النماذج الهيدرولوجية للمنطقة تم استخدام البرنامج ArcHydro، من ضمن حزمة برمجيات ArcGIS\_10، إذ تتضمن هذه البرمجية منهجية متكاملة لدراسة الأحواض الساكبة وبناء شبكات الجريان بالاعتماد على النماذج الارتقاعية الرقمية بصيغتها المصفوفية، وتبدأ عملية بناء النموذج الهيدرولوجي بإجراء التحسينات والتهيئة للنموذج الارتقاعي من خلال مجموعة من الأدوات مثل DEM Reconditioning، التي تتضمن إجبار النموذج الارتقاعي على تعديل قيم ارتفاعات بعض خلاياه وفقاً لمجري الأنهار الفعلية المارة في المنطقة، وتنفيذ هذه الإجراءات يتطلب توفر طبقة خطية تمثل القسامات الخطية في المنطقة بشكل دقيق، ومن عمليات تهيئة النموذج أيضاً كانت عملية ملء الأحواض (أو الخلايا الأخفض من محيطها) Fill Sinks، حيث يتم من خلال هذه العملية إملاء الخلايا التي تمتلك ارتفاعاً أخفض من كل ما حولها من خلايا، أي تعديل قيمة ارتفاعها رقمياً لتصبح بمستوى يماثل أخفض خلية ملاصقة لها بما لا يغير من اتجاهات جريان الماء (الشكل 6).



الشكل 6 - تهيئة النموذج الارتقاعي عن طريق الأداة Fill Sinks

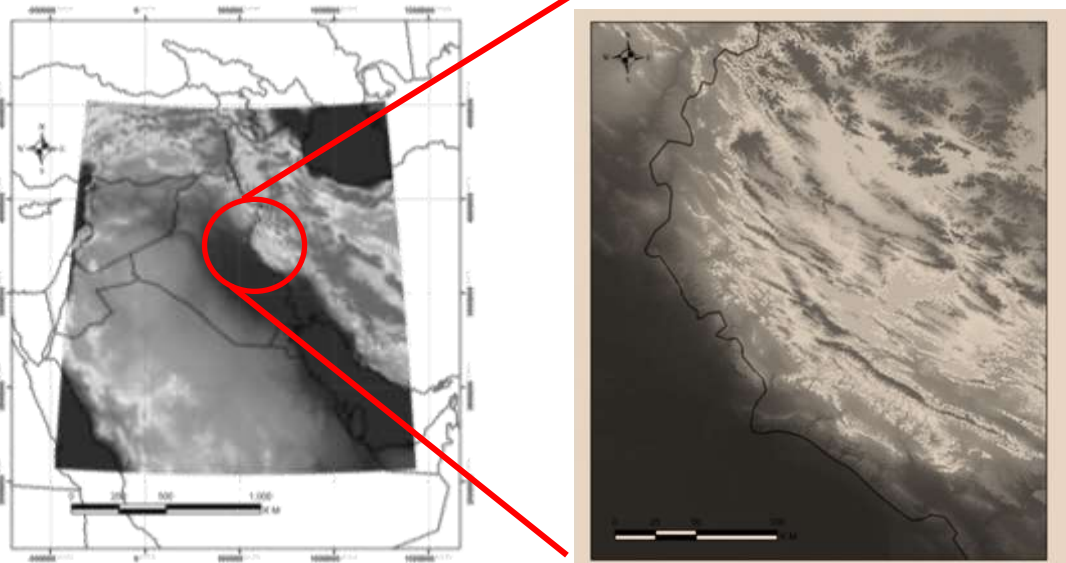
لم يتم استخدام أداة تهيئة النموذج DEM Reconditioning مع تأكيد أهميتها في مسائل مماثلة، ويعود السبب في ذلك إلى ضرورة توفر ملف خطي "مرجعي" لمجري النهرين. إن اعتماد أحد المجاري المتوفرة في الدراسات السابقة لمجري نهري الفرات ودجلة ملفاً مرجعياً لتهيئة النموذج الارتقاعي يعني إجراء تعديلات على هذا النموذج وقصره لإنتاج ذات المجرى، مما ينفي الغرض من الدراسة الحالية.

تطبيق عمليات التهيئة وملء الأحواض على النماذج الارتقاعية الأساسية حولها إلى نماذج ارتفاعية معدلة ومصححة قابلة للاستخدام في المنهجية المقترحة ببرنامج ArcHydro وبناء النموذج الهيدرولوجي للمنطقة المدروسة. هذه المنهجية الموضحة في الشكل (7) تعتمد النموذج الارتقاعي المصحح قاعدة انطلاق لبناء منظومة متكاملة من الطبقات المصفوفية والشعاعية، وتشكل بمجموعها قاعدة بيانات مكانية للمنطقة ذات مرجعية مكانية واحدة وتشتق فيها كافة المواصفات المورفومترية للحوض الساكب والمجري المائية وصولاً إلى إمكانية ربطها بالمعطيات المتغيرة زمنياً مثل معطيات الهطل المطري واستنتاج الغزرات وحجوم التخزين وغيرها من حسابات الموازنة المائية.



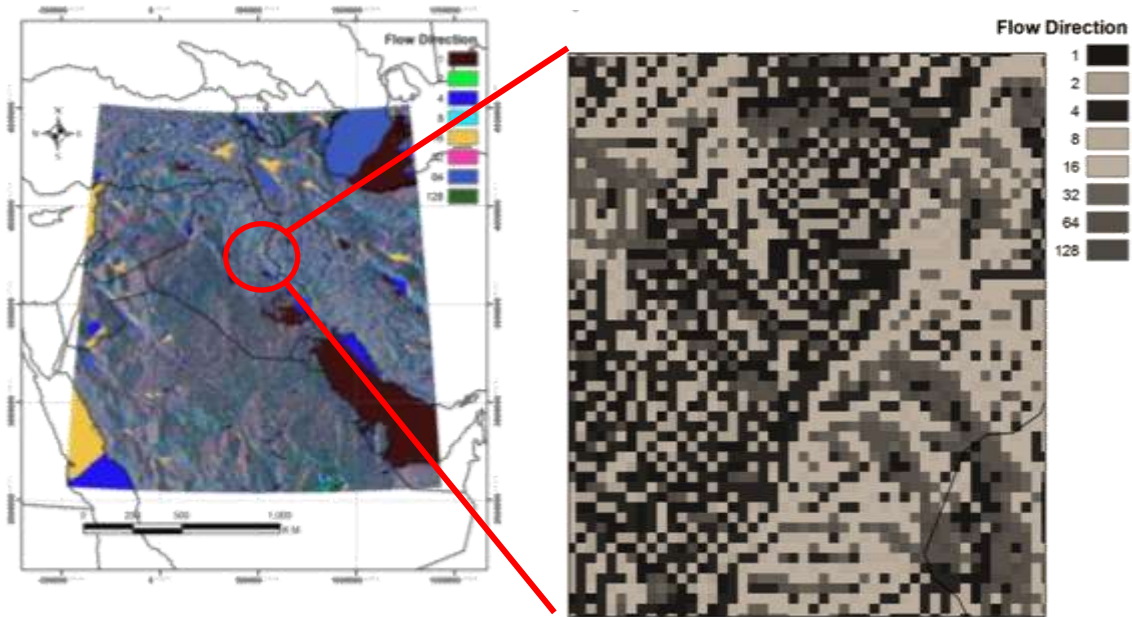
الشكل 7- منهجية بناء النموذج الهيدرولوجي ArcHydro

تظهر الأشكال التالية نتائج العمل وفق المنهجية المذكورة وبناء النموذج الهيدرولوجي، حيث يبين (الشكل 8) النموذج الارتفاعي بعد التهيئة والتصحيح، وقد تراوحت قيم الارتفاعات في الحوض من الصفر عند المصب في الخليج العربي إلى 4400 m في جبال زاغروس على الحدود العراقية الإيرانية.

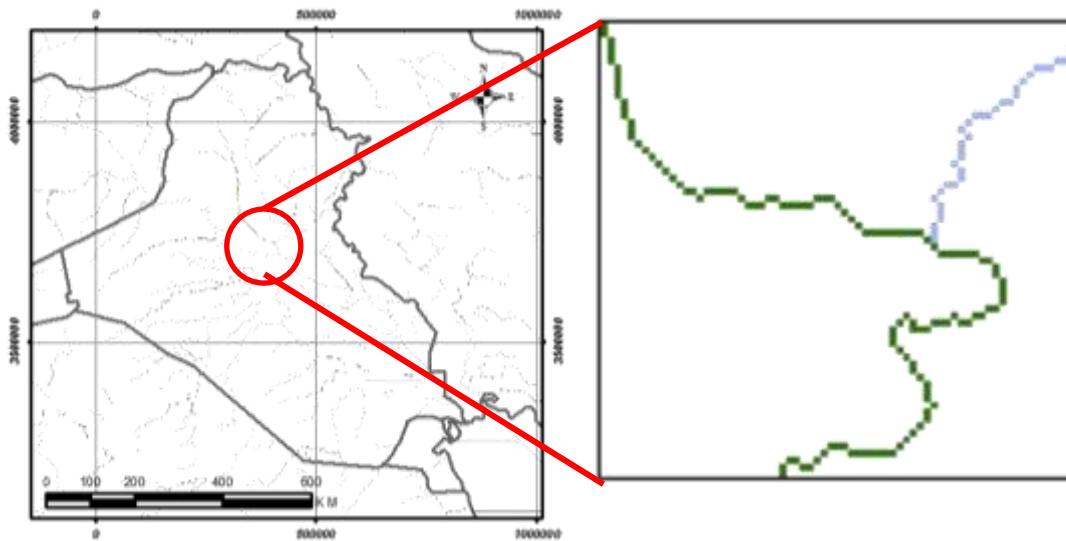


الشكل (8) النموذج الارتفاعي للمنطقة GTOPO بدقة تمييز 30 ثانية في كلا الاتجاهين

تم إنتاج طبقة اتجاهات الجريان Flow Directions ثم الطبقة Flow Accumulation اللتين تعتبران الأساس في جميع العمليات اللاحقة، وتوضح (الأشكال 9 و 10) كلا الطبقتين للمنطقة المذكورة.



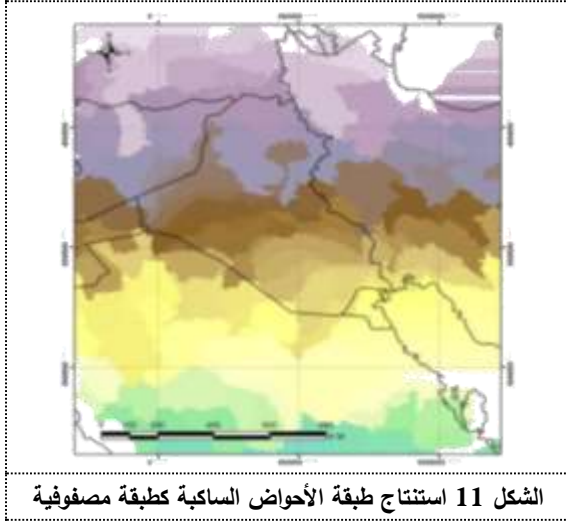
الشكل (9) يبين اتجاهات الجريان.



الشكل (10) يبين تراكم الجريان في الخلايا مع تقدمه Flow Accumulation

تتضمن المرحلة التالية عمليات التعرف إلى القسامات الخطية من خلال الأدوات Stream Definition و Stream Segmentation ، حيث تم اختيار مساحة  $10000 \text{ KM}^2$  عتبة أصغر لتشكل أصغر مسيل ينتج منه أصغر حوض ساكب في المنظومة، وسيتم اعتماد هذه المساحة في النماذج المستخدمة في هذه الدراسة، (تم اعتماد المساحة الأصغرية عاملاً مشتركاً بين النماذج بدلاً من عدد الخلايا الأصغري نظراً لاختلاف أبعاد الخلايا بينها)،

وبنتيجة التعرف وتمييز القسامات الخطية التي تمثل شبكة المسيلات المائية في منطقة الحوض الساكن، يصبح بالإمكان استنتاج الأحواض الساكنة الجزئية المغذية لهذه المسيلات، (الشكل 11).

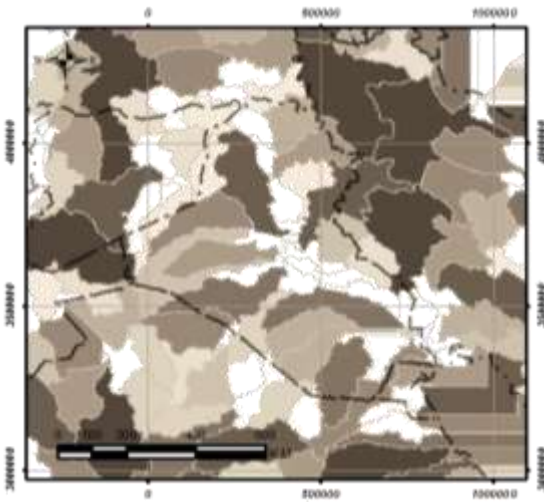


جميع الطبقات التي تم إنتاجها حتى هذه المرحلة هي طبقات مصفوية Raster Layers لا يمكن ربطها بقاعدة بيانات مكانية مالم يتم تحويلها إلى طبقات شعاعية Vector Layers تمتلك إمكانية تخزين الصفات المورفولوجية والمورفومترية للنموذج الهيدرولوجي (الشبكة الهيدروليكية) المكونة من مسيلات مائية وأحواض ساكنة ومخارج مائية. الشكل (12) يبين النموذج الهيدرولوجي بطبقاته الشعاعية الثلاثة، في حين يبين الشكل (13) المواصفات الأولية لطبقة الأحواض الساكنة بشكلها الشعاعي ومنها مساحة الحوض الجزئي بالإضافة إلى العلاقة الهيدروليكية بينه وبين ما يسبقه وما يليه من أحواض جزئية.



الشكل (12) الطبقات الشعاعية الأساسية في النموذج الهيدرولوجي

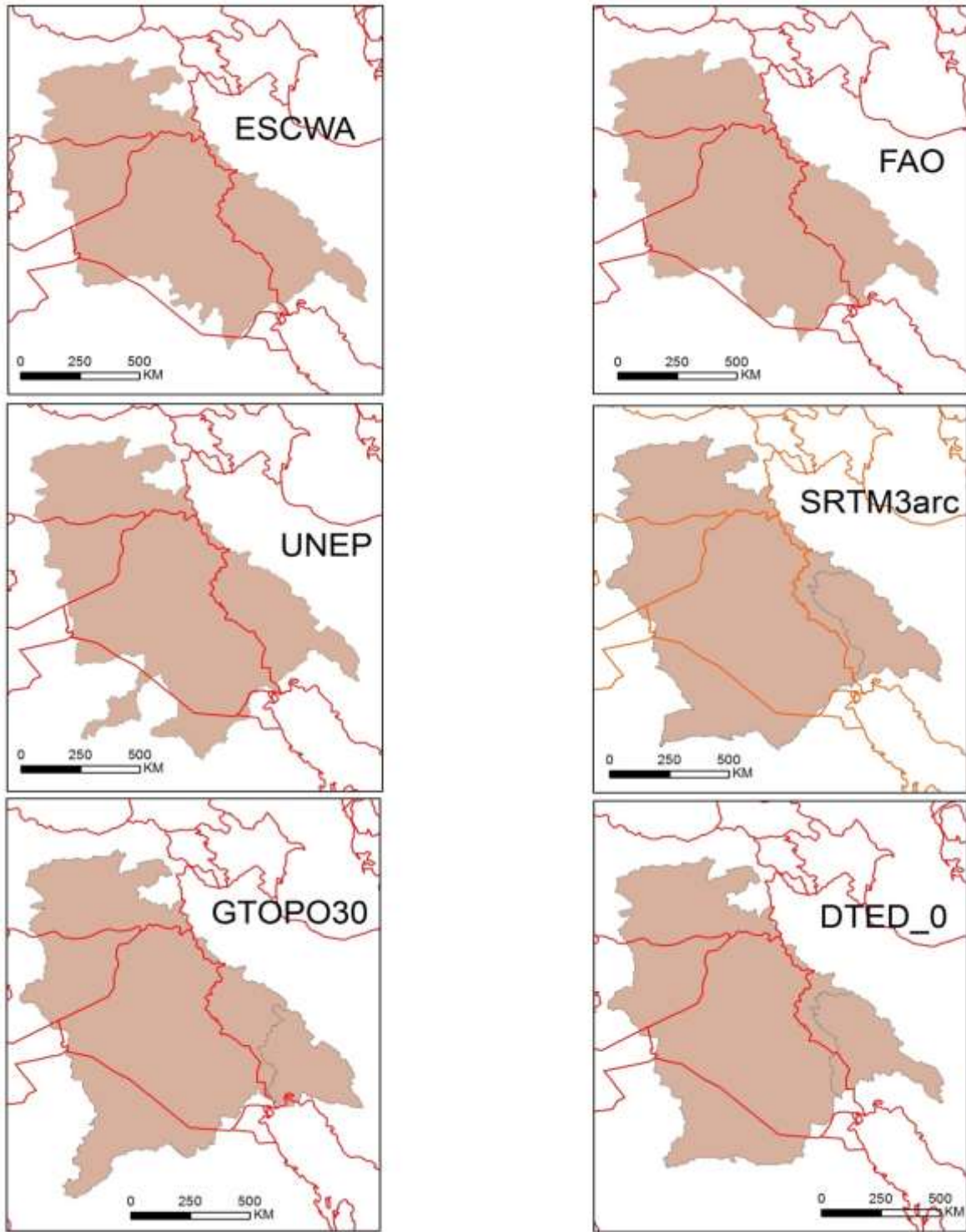
عموماً يتم اتباع المنهجية المبينة في (الشكل 7) بدءاً من تهيئة النموذج الارتفاعي وانتهاءً بتحديد الأحواض الساكنة الجزئية والكلية والمجاري الرئيسة للأنهار، وذلك للنماذج الارتفاعية الثلاثة المعتمدة في دراستنا هذه، وتم بناء ثلاثة نماذج هيدرولوجية للمنطقة وصولاً إلى تحديد الأحواض الساكنة الجزئية والتراكمية فيها، حيث ستنتم مقارنة هذه الأحواض بعضها مع بعض من جهة، ومع الحدود المعروفة لها كما وردت في دراسات سابقة، (الشكل 1) [5]، [6]، [7].



OBJECT ID	Shape Length	Shape Area	Hydro ID	Grid ID	Next Downl D
1	890655	1091440709 6	1	1	-1
2	1057990	9729483689	2	2	-1
6	1178544	3035152142 5	6	6	2
8	1013008	1587101288 9	8	8	-1
9	1430446	2285267218 2	9	9	14
14	2603593	5805639016 0	14	14	42

الشكل (13) طبقة الأحواض الساكبة بشكلها الشعاعي والموصفات المميزة لها ضمن النموذج الهيدرولوجي.

باتباع المنهجية نفسها وبشكل مشابه لما تم إجراؤه على النموذج GTOPO30 تم بناء نماذج هيدرولوجية للحوض الساكب اعتماداً على النموذجين الارتفاعيين DTED level\_0 و SRTM 3arc second واستنتاج حدود الأحواض الساكبة الإجمالية والجزئية للمجري الرئيسية. تمت مقارنة حدود الأحواض الساكبة المستنتجة من النماذج الثلاثة ، من حيث تطابق حدودها وأماكن الاختلاف فيما بينها، ومقارنة نسب توزيعها بين الدول المتشاطئة، كما تمت المقارنة بين نتائج النماذج وبين الحدود المعروفة للأحواض وفق الدراسات المعدة سابقاً التي وردت في الشكل (2)، ولتحقيق هذا الهدف تمت رقمنة الأحواض وتحويلها من صورة عادية إلى ملف رقمي في بيئة النظام ArcGIS ، حيث تمت معالجته لاحقاً بأدوات التحليل المكاني، واستنتاج نسبة مساهمة كل دولة في تشكيل الحوض الساكب. يوضح الشكل (14) حدود الأحواض وفق النماذج الارتفاعية الثلاثة ووفق الدراسات السابقة، في حين يبين الجدول (3) مقارنة المساحات الجزئية والإجمالية للحوض ونسب توزيعها بين الدول المتشاطئة.



الشكل 14 حدود الحوض السابك لنهري الفرات ودجلة وفق مصادر مختلفة



الجدول 3- توزيع مساحة الحوض بين الدول المتشاطئة وفق مصادر مختلفة

		Iran	Iraq	Syria	Saudia Arabia	Jordan	Turkey	Area TOTAL	River Length- m
FAO	KM <sup>2</sup>	166975	408928	97419	16978	439	193331	884070*	3000
	%	0.19	0.46	0.11	0.02	0.00	0.22		
ESCWA	KM <sup>2</sup>	164456	398655	97419	16967	439	175992	853929*	2781
	%	0.19	0.47	0.11	0.02	0.00	0.21		
UNEP	KM <sup>2</sup>	164456	425025	97419	77913	75	175992	940880*	3000
	%	0.17	0.45	0.10	0.08	0.00	0.19		
DTED_0	KM <sup>2</sup>	148872	420760	115896	145251	1244	175364	1007386	2612
	%	0.15	0.42	0.12	0.14	0.0	0.17		
GTOPO30	KM <sup>2</sup>	196841	424006	115713	161764	1260	175388	1074972	2782
	%	0.18	0.40	0.11	0.15	0.0	0.16		
SRTM3arc	KM <sup>2</sup>	175803	430773	116560	147492	1752	175712	1048094	3113
	%	0.17	0.41	0.11	0.14	0.00	0.17		

\*- نلاحظ اختلاف المساحات الواردة في الجدول 3 عنها في الجدول المرفق بالشكل 1 للدراسة المرجعية نفسها ، وذلك لأن الأرقام في الجدول الأخير تم استنتاجها بعد إجراء عمليات الرقمنة على الأحواض الساكنة واستنتاج المساحات الكلية والجزئية بمساعدة تقنيات الـ GIS، ويعود الاختلاف الكبير بين المساحتين وفق الـ ESCWA لإدخال مساحة نهر كارون في المساحة الكلية للحوض.

كما نلاحظ بوضوح التباين الكبير في أجزاء مختلفة من حدود الحوض الساكنة المستنتجة وفق النماذج الارتفاعية المختلفة وأيضاً الحدود المستنتجة من خلال دراسات هيدرولوجية سابقة منجزة من قبل هيئات مختلفة، وكانت أهم التباينات في حدود الحوض الساكنة لنهر كارون وطبيعة التقائه مع أهوار نهر الفرات ودجلة في منطقة المصب في الخليج العربي، وقد اعتبرت بعض الدراسات (FAO, UNEP) نهر كارون رافداً من روافد الفرات ودجلة حيث يلتقي معهما قبل مصبهما في الخليج بعشرات الكيلومترات، وهي هنا تتفق مع نتائج النموذجين الارتفاعيين SRTM3arc و DTED\_Level0، في حين نجد أن النموذج الارتفاعي GTOPO30 أعطى مساراً مستقلاً لمجرى نهر كارون حيث يصب في الخليج العربي مباشرة إلى الشرق بعدة كيلومترات من مصب نهري الفرات ودجلة، وهذا يتطابق مع دراسة الـ ESCWA. يمكن تفسير هذا الاختلاف بسبب الوضع الطبوغرافي لمنطقة الأهوار، حيث تصبح قيمة الخطأ المطلق المتوقع للارتفاع أكبر من متوسط قيم مناسيب الأرض الطبيعية نفسها، وبالتالي من البديهي حدوث انحرافات غير متنبأ بها في طبيعة تشكل المجاري المائية والتقاءها في هذه المنطقة.

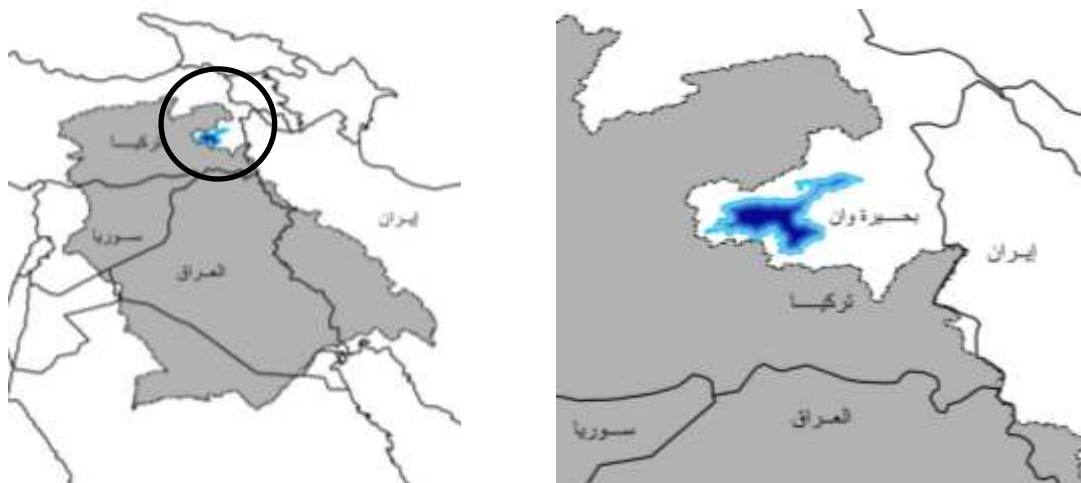
لتحليل التباينات وأسبابها تم الاعتماد على مطابقة الصورة الجوية لمنطقة البحث، التي تم تحميلها من المخدم الخاص بالمتصفح Google Earth موجهة بنظام الإحداثيات الجغرافي العالمي WGS\_84. وقد أظهرت الصورة الجوية أن نهر كارون يلتقي مع المجرى الرئيس لنهري الفرات ودجلة في منطقة شط العرب قبل 70 كيلومتراً من مصبه في الخليج العربي، مما يتطابق مع النماذج الارتفاعية SRTM\_3arc و DTED\_Level0 ، ويخالف النموذج الارتفاعي GTOPO\_30 و دراسة الـ ESCWA الشكل (15).



الشكل 15- التقاء نهر كارون مع نهر الفرات في منطقة الأهوار

من التباينات الواضحة أيضاً طبيعة وحدود تشكل الأحواض في المنطقة الغربية الجنوبية من الحوض (المنطقة الواقعة بالكامل ضمن أراضي المملكة السعودية - صحراء النفود)، إذ تراوحت قيم المساحة للجزء السعودي من الحوض من  $17000 \text{ km}^2$  إلى  $170000 \text{ km}^2$ ، واللافت للنظر هو اتفاق الدراسات ESCWA & FAO وبشكل أقل UNEP على حدود واحدة لحوض الفرات في هذه المنطقة واختلافها الجذري عن الحدود المستنتجة وفق النماذج الارتفافية المعتمدة في دراستنا هذه. للتحقق من الحدود تم وضع عدة سيناريوهات لتهيئة النموذج الارتفاعي بوضع قيم مختلفة للعتبة التي يتم عندها ملء الحوض المغلق في النموذج، وقد أعطى كل نموذج من النماذج الارتفافية الثلاثة الحدود نفسها من أجل سيناريوهات مختلفة، ولم يساعد إسقاط حدود الأحواض على الصورة الجوية في هذه المنطقة وذلك لعدم وجود قسماط خطية مائية واضحة في الصحراء تشير إلى توجه المسيلات المائية، وفي هذه الحالة لابد من تنفيذ مسوحات حقلية طبوغرافية بمقاييس أكبر وبناء النموذج الهيدرولوجي الخاص بهذه المنطقة ومن ثم تحديد علاقته بحوض الفرات.

مقارنة أخرى تم إجراؤها لحوض النهر مع الصورة الجوية في منطقة بحيرة "وان" في أقصى شرق تركيا على ارتفاع 1700 متر (الشكل 16)، حيث اتفقت دراسات (UNEP, ESCWA) مع نتائج النماذج الثلاثة في دراستنا على أن هذه البحيرة مغلقة، وأن حوضها الساكن لا يدخل ضمن نطاق التغذية لحوض دجلة والفرات، في حين تظهر دراسة (FAO) أن بحيرة "وان" وحوضها الساكن يشكلان جزءاً من الحوض الكامل لنهري دجلة والفرات، ويعود هذا الخطأ المرتكب في دراسة الـ (FAO) إلى خطأ منهجي في مرحلة ملء الأحواض FILL Sinks عند إعداد النموذج الارتفاعي الذي اعتمدت عليه هذه الدراسة، وهي خطوة في غاية الحساسية عند تهيئة النماذج الارتفافية للدراسات الهيدرولوجية.



الشكل 16 - بحيرة وان وحوضها الساكب شرق تركيا

من مجمل المقارنات بين الصورة الجوية وحدود الأحواض المستنتجة رقمياً بيدي النموذج الارتفاعي SRTM\_3arc دقة جيدة تصلح لاعتماد هذا النموذج الارتفاعي في الدراسات المائية على المستوى الإقليمي والدولي، في حين بيدي النموذج DTED\_level0 موثوقة أقل من سابقه ولكنه يتميز بأبعاد كبيرة للخلية (1 km x 1 km) مقارنةً بالنموذج SRTM\_3arc (90mx90m)، وهذا يعطي حجوماً أقل للملفات الرقمية المستنتجة خلال عملية بناء النموذج وبالتالي سرعة أكبر في تنفيذ العمليات على الحاسب. لقد أعطى النموذج الثالث GTOPO30 نتائج أقل دقة من سابقه وغير منطقية في بعض المناطق (مثل بحيرة وان في الشمال الشرقي لتركيا) وهذا قد يعكس على نتائج الدراسات الهيدرولوجية المستنتجة اعتماداً على هذا النموذج الارتفاعي.

إن الاختلاف الكبير بين ما تظهره الصورة الجوية لمجاري الأنهار وبين تلك المستنتجة في النماذج الثلاثة يؤكد عدم صلاحيتها لأعمال التصميم ذات المقاييس الكبيرة للمشاريع الهندسية المائية، إذ يلزم في هذه الحالة إجراء مسح طبوغرافي أكثر دقة بواسطة أجهزة مسح أرضية بكثافة نقطية متناسبة مع حجم المشروع. تظهر المراجع الحديثة اعتماد تقنيات أكثر حداثة وأكثر دقة للمسح الجوي لسطح الأرض، منها تقنية المسح الليزري والتي يمكنها إنتاج ملف ارتفاعي نقطي بكثافة تصل إلى ثلاث نقاط في المتر المربع الواحد، إلا أن مثل هذه النماذج ليست متوفرة بشكل مجاني على الشبكة العنكبوتية للباحثين العلميين، إضافةً إلى عدم جدواها عند إجراء الدراسات على المستوى الإقليمي لحاجتها إلى حاسبات فائقة الأداء ربما لا تتوفر إلا في مراكز الأبحاث المختصة.

**الاستنتاجات والتوصيات:**

1. النموذج الارتقاعي الرقمي SRTM\_3arc Second هو الأكثر دقة وصلاحيّة لتنفيذ الدراسات المائية على المستويات الإقليمية والدولية.
2. تشكل النماذج الارتقاعية الرقمية المتوفرة بشكل مجاني على الإنترنت أداة جيدة للباحثين العلميين في مجال دراسات الموازنة المائية وإدارة المصادر المائية للأنهيار الكبيرة والدولية.
3. ضرورة تطوير مصادر وتقنيات الحصول على البيانات الرقمية والتحسس النائي على المستوى الوطني، لتأمين قواعد بيانات موثوقة بين أيدي الباحثين العلميين لتغطية كافة مجالات الدراسات السطح أرضية.
4. البيانات المتوفرة على الشبكة العنكبوتية - على كفاءتها في بعض الدراسات - لا تزال في حاجة إلى استكمال وتدقيق من قبل الجهات المحلية المختصة، وإعادة إخراجها وتوفيرها للجهات البحثية الوطنية والإقليمية بما يتناسب مع أنظمة الإحداثيات المعتمدة في هذه الدول.
5. ضرورة إعادة دراسة الحوض الساكن لنهر الفرات ودجلة بمجهود إقليمي مشترك بين الدول المتشاطئة لوضع خارطة واحدة مشتركة بين هذه الدول تكون أساساً لرسم السياسات المائية فيما بينها.

**المراجع:**

- 1 Bridget Smith and David Sandwell, *Accuracy and resolution of shuttle radar topography mission data*. GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 30, NO. 9, 2003, 1\_4
- 2 Kaya, I, 1998, *The Euphrates-Tigris basin: An overview and opportunities for cooperation under international law*. <<http://ag.arizona.edu/oals/ALN/aln44/kaya.html>>
- 3 نوار جليل هاشم، دوافع الصراع ومحفزات التعاون على المياه في حوضي دجلة والفرات، مجلة دراسات دولية، العدد الثالث والأربعون 2010 - 59 - 72 <<http://www.iasj.net/iasj?func=fulltext&aId=60554>>
- 4 Christine Dartiguenave, *Arc Hydro: GIS in Water Resources*. ESRI inc, Gainesville, Florida - November 15, 2007 <<http://waterinstitute.ufl.edu/events/downloads/ESRIArcHydroFloridaNov1507.pdf>>
- 5 UNEP (2001). Partow, H. The Mesopotamian Marshlands: Demise of an Ecosystem,
- 6 ESCWA-BGR Cooperation, 2012. Inventory of Shared Water Resources in Western Asia. Chapter 4
- 7 [www.fao.org/nr/water/aquastat/basins/euphrates-tigris](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/basins/euphrates-tigris)
- 8 [www.e-education.psu.edu/natureofgeoinfo/c7\\_p8.html](http://www.e-education.psu.edu/natureofgeoinfo/c7_p8.html)
- 9 [www.fas.org/irp/program/core/dted.htm](http://www.fas.org/irp/program/core/dted.htm)
- 10 <https://lta.cr.usgs.gov/GTOPO30>
- 11 [http://www.ncfloodmaps.com/pubdocs/lidar\\_final\\_jan03.pdf](http://www.ncfloodmaps.com/pubdocs/lidar_final_jan03.pdf)
- 12 [www5.kingcounty.gov/sdc/raster/elevation/ShuttleRadarTopographyMissionSpatialMetadata.htm](http://www5.kingcounty.gov/sdc/raster/elevation/ShuttleRadarTopographyMissionSpatialMetadata.htm)