

النماذج العددية كأداة فعّالة في التنبؤ بالكوارث الناجمة عن إنهيارات السدود وإدارتها*

سهير كليب عبدالوهاب

مقدمة :

تعد السدود موضوعاً متنازعاً عليه ابتداءً بفوائدها والآثار البيئية المترتبة على بنائها، ففشل السدود يؤدي إلى خسائر فادحة في الأرواح والممتلكات وإنهيار المجتمعات المحلية وانتشار الأمراض الوبائية. عادةً هذا النوع من الكوارث يكون غير مسبوق بإنذار مبكر، فيتطلب اجراءات وجهود غير عادية للرجوع لحالة الأستقرار أو التكيف مع الكارثة. وتاريخياً يوجد العديد من حالات فشل السدود —

* هذا البحث مستخلص من الدراسة المقدمة من الطالبة/ سهير كليب عبدالوهاب الجرمه للحصول على درجة الماجستير في الآداب - جامعة الفيوم - قسم الجغرافيا، بعنوان (تقييم الأثر البيئي لإنهيار السدود نموذج محاكاة على السد العالي) تحت إشراف أ.د. هناء نظير علي (أستاذ التغيرات البيئية بجامعة الفيوم)، و أ.د. محمد محمود طه (أستاذ الجغرافية الطبيعية بجامعة عين شمس).

وانهيارها وتسببها في كوارث فادحة، ولعل أشهرها انهيار سد مأرب بسبب سيل العرم ونهاية الحضارة السبئية باليمن، وسد فاينوت Vajont الذي يقع على بعد 100 كم

شمال مدينة البندقية بإيطاليا انهار هذا السد عام 1963 مخلفاً ورائه مقتل أكثر من 2000 نسمة وتدمير البلدات الواقعة خلفه خلال دقائق قليلة من بدء الإنهيار، وقد تم اختيار كارثة سد فاينوت في الإحتفال بيوم الأرض عام 2014 كأسوأ كارثة مائية حدثت في العالم.

يوجد في العالم نحو 800.000 سد، منها 45.000 سد كبير يتجاوز ارتفاعه 15 متراً، بُني معظمها بعد الحرب العالمية الثانية، وهناك العديد من السدود التي فشل عملها بعد ثلاثون عاماً من انشائها، وأن ما يقرب من 20.000 من السدود الموجودة حالياً عُرضه للفشل والإنهيار (ICOLD, 1995).

تمثل النماذج العددية إحدى التقنيات المهمة والوسائل الناجحة لدراسة أمن وسلامة السدود وإدارة كوارثها. فالتطور التقني الكبير الذي شهدته صناعة الحاسبات الآلية في امتلاكها قدرات تخزينية عالية وسرعات كبيرة في أداء العمليات الحسابية؛ جعلت النماذج العددية أداة فعالة في التنبؤ بالكوارث وإدارتها ومنها الكوارث الناجمة عن انهيار السدود (Bardy and Bethke, 2002).

ويوجد العديد من النماذج المستخدمة في فشل السدود والتنبؤ بأخطارها ومن أشهرها HEC-RAS, WMS, SMPDBK, MIKE11, MIKE FLOOD, SOBEK 1D2D, DELFT-FLS. وقد سعت كثير من الدول التي تمتلك سدود كبيرة إلى إجراء دراسات وخطط للطوارئ في حالة فشل عمل سدودها بإستخدام هذه النماذج. ويعمل مقارنات بين أهم النماذج العددية المستخدمة في هذا المجال، نجد أن أفضلها هو نموذج SOBEK 1D2D ونموذج SMPDBK تبعاً لمستوى الدقة المطلوبة وإدخال البيانات ومحاكاة الفيضان لمسافات كبيرة تزيد عن 1000 كم (FLDWAV, 1993 & Fread, 1984).

مشكلة الدراسة :

تلعب السدود دوراً حيوياً في اقتصاديات الدول، بدءاً من مواجهة أخطار الفيضانات والجفاف، وتوليد الطاقة وغيرها من الفوائد. وكدراسة حالة السد العالي في مصر، نجد أن حياة المصريين ارتبطت بنهر النيل، فيتركز معظم سكان مصر في الوادي والدلتا، وأصبح اقتصاد الدولة متمركز في مساحة لا تتعدى 3% من إجمالي المساحة الكلية للبلاد. وبما أن السد العالي هو واحد من المشاريع الإستراتيجية الأكثر أهمية في مصر، فإن أي خلل أو فشل في السد، سيكون خلل في الدولة بأكملها، وسيسبب خسائر فادحة في الأرواح والممتلكات. وتهدف الدراسة إلى تطبيق نموذج عددي SOBEK 1D2D يحاكي الإنهيار الإفتراضي للسد العالي، ودراسة الأخطار الناجمة عن ذلك، بإفتراض قيم مختلفة لتصرف نهر النيل.

أهداف البحث :

يهدف البحث إلى محاكاة موجة الفيضان في نهر النيل، ودراسة خصائصها نتيجة الإنهيار الإفتراضي للسد العالي، وتقدير المساحات المتضررة امام السد، وذلك بتطبيق نموذج رياضي واستخدام نظم المعلومات الجغرافية. ووصف مناطق الغمر، وتوقع أقصى عمق من خلال إعداد خرائط لهذه المناطق التي ستغمرها مياه الفيضان على طول نهر النيل، والتي تشير إلى الوقت الذي ستستغرقه موجة الفيضان على طول نهر النيل. ودراسة تأثير الفيضان الناجم عن الإنهيار الإفتراضي للسد العالي، وتحديد مساحات الغمر وارتفاعه وزمن وصوله.

بالإضافة إلى رسم خرائط توضح المناطق المعرضة للغرق، وتحديد درجة خطورتها، وصولاً إلى إمكانية وضع نظام إنذار مبكر والإستعداد لخطط الإجلاء، ويتم ذلك بتطبيق نموذج عددي يحاكي الفيضان الناجم عن الإنهيار الإفتراضي للسد العالي.

مصادر الدراسة :

1. الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء: تعداد السكان لعام 2006
2. الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء : مديرية الطرق والنقل.
3. مركز بحوث النيل : تصرفات نهر النيل للفترة من 1990 حتى 2014، بيانات غير منشورة.
4. معهد بحوث الهيدروليكا : قطاعات عرضية لنهر النيل لعام 2009.
5. وزارة الري : تصرفات القناطر والترع الرئيسية على نهر النيل من 1990 حتى 2014.
6. هيئة السد العالي : بيانات عن السد العالي والمنشآت الهيدروليكية على نهر النيل.
7. وزارة الطيران المدني : بيانات عن المطارات الرئيسية.
8. خرائط طبوغرافية بمقياس 1: 50000 إصدار هيئة المساحة المصرية لعام 2003، عدد 157 خريطة تغطي منطقة الدراسة.
9. خرائط كنتورية لقاع مجرى نهر النيل بمقياس 1: 5000 أصدرها معهد بحوث النيل عام 2003.
10. خرائط كنتورية لقاع مجرى نهر النيل بمقياس 1: 5000 أصدرها معهد بحوث الهيدروليكا عام 2007.
11. نموذج ارتفاع رقمي بصيغة SRTM إصدار 2009، بدقة (1000 * 1000 متر) يغطي منطقة الدراسة.

محتويات الدراسة :

1. وصف السد العالي.
 2. النموذج المستخدم SOBEK 1D 2D
 3. معايرة النموذج والتأكد من دقته.
 4. عملية المحاكاة.
 5. النتائج.
- (1) وصف السد العالي :

لا يوجد أدنى شك في أهمية دور السد العالي في حماية مصر من أخطار الفيضانات، ودوره الرئيسي في مواجهة سنوات الجفاف التي عانت منها مصر خاصة على مدى تسع سنوات متواصلة من عام 1978 حتى عام 1987 هبط فيها منسوب بحيرة ناصر قرابة 20 متر، وكان دور السد العالي أساسي ومحوري في إمداد مصر بإحتياجاتها السنوية من المياه بينما عانت دول منابع النيل في هذه الفترة من جفاف قاسٍ ومجاعات أودت بحياة قرابة 2 مليون مواطن من أثيوبيا وحدها نتيجة لمعدلات الأمطار المنخفضة والشحيجة خلال هذه الفترة (ندوة أزمة مياه النيل وتحديات التسعينات، 24-25 مارس 1990، ص 123).

بُنِيَ السد العالي على مرحلتين، تم في الأولى منهما تحويل مجرى نهر النيل وبناء سدين بعرض المجرى لكشف قاع النهر الذي سيبني عليه جسم السد، وقد انتهى بناء هذين السدين وتحويل مجرى النيل في مايو عام 1964، وفي المرحلة الثانية تم بناء جسم السد (رشدي سعيد، 1992، ص 248).

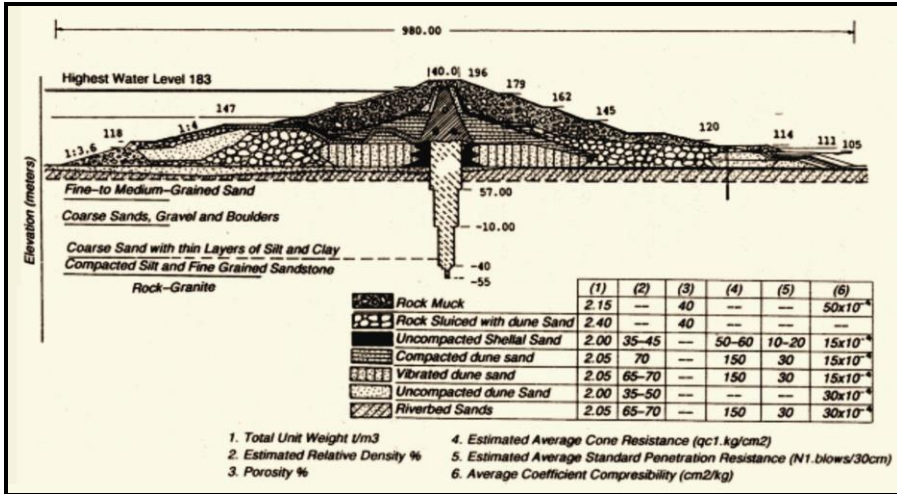
السد العالي عبارة عن سد ركامى يغلق مجرى النيل تماماً على بعد 6.5 كم جنوب خزان أسوان، وعلى بعد 950 كم جنوب القاهرة. يبلغ الطول الكلى للسد العالي 3600 م منها 520 م بين ضفتي النيل ويمتد الباقي على هيئة جناحين على جانبي النهر، ويبلغ طول الجناح الأيمن 2325 م على الضفة الشرقية والجناح الأيسر 755 م على الضفة الغربية. يبلغ إرتفاع السد 111 م فوق قاع النيل من منسوب 85 م إلى منسوب 196 م، وعرضه عند القاع 980 م، وعند القمة 40 م.

يتكون جسم السد من ركام الجرانيت والرمال يتوسطه نواة مانعة لتسرب المياه، يتصل في الامام بستارة أفقية مانعة للمياه أيضاً والنواة والستارة من الطين الاسوانى والبنتونيت واسفل النواة ستارة رأسية قاطعة للمياه تمتد بعمق الطبقة الرسوبية حتى تصل إلى سطح الطبقة الصخرية الصماء، ويخترق نواة السد ثلاث ممرات خرسانية استخدمت في اتمام عملية الستارة الرأسية وايضاً فى صيانتها كما تم بها تركيب

أجهزة القياس. والسد مزود قبل نهاية ميله الخلفي بصفيين من آبار التخفيف الرأسية لصرف المياه التي قد تتسرب تحت السد.



خريطة (1) : موقع السد العالي.



شكل (1) : قطاع عرضي للسد العالي.

المصدر: Abdel Azim Abul-Atta, 1978

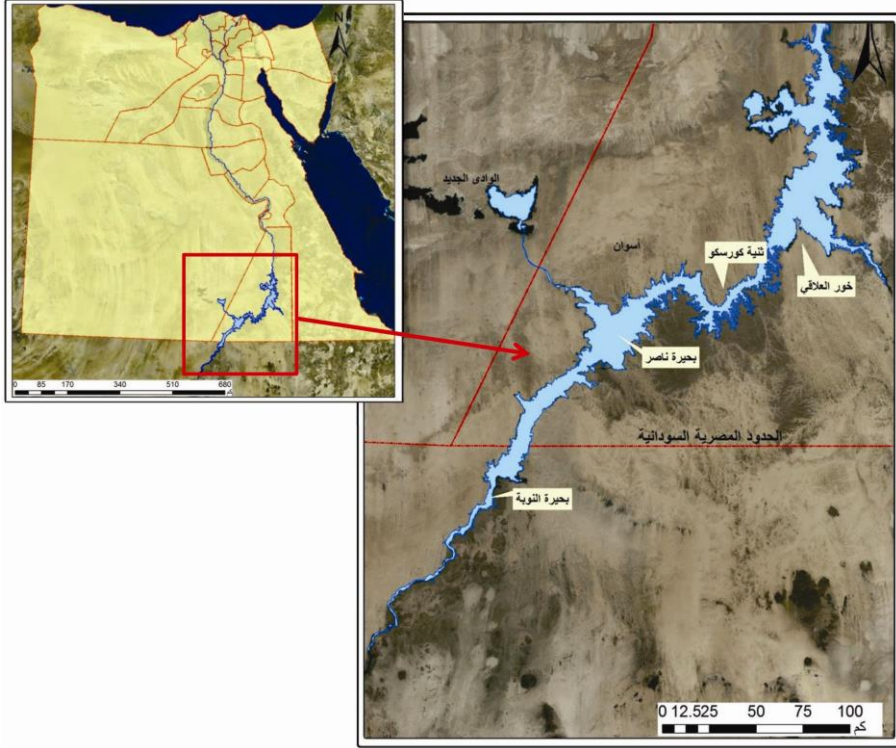
وعلى الجانب الأيسر للسد (الضفة الغربية) مفيض لصرف المياه الزائدة عن السعة التصميمية القصوى وهي 182 م بتصريف قدره 2400 م³/الثانية (مفيض الطوارئ) والتي قد تتسرب تحت السد. وقد شقت قناة مكشوفة (قناة تحويل) في الضفة الشرقية للنيل لتحويل مياه النيل من أمام السد إلى خلفه بطول 1950 م، تتوسطها ستة أنفاق مزودة ببوابات حديدية للتحكم في كميات المياه التي تمر بها ويتفرع كل نفق قبل نهايته إلى فرعين، ويوصل كل فرع إلى إحدى وحدات توليد الكهرباء، وكل من هذه الفروع مقسم بفواصل أفقى إلى ممرين للمياه، وتصب الفروع الأثنى عشر في محطة الكهرباء، لتغذى كل منها وحدة توليد كهرومائية قبل أن تخرج المياه إلى القناة المكشوفة. تبلغ سعة حوض التخزين عند أقصى منسوب للحجز 162 مليارم³ عند منسوب 182م، تحتويها بحيرة التخزين التي يبلغ طولها 500 كم ومتوسط عرضها 12 كم، وتبلغ مساحتها 6500 كم² وهي بحيرة ناصر، وقد رُوعى في تصميم السد العالى أن يتكون حوض التخزين من ثلاث مستويات كالأتى :

- 1- السعة الميتة : تقع بين منسوب القاع ومنسوب 147 م، وقدرها 31 مليارم³، وهي مخصصة لترسيب المواد المحمولة في تيار النهر.
- 2- السعة الحية : تقع بين منسوب 147 إلى 175 م وقدرها 90 مليارم³.
- 3- السعة الإحتياطية للوقاية من الفيضانات العالية : تقع بين منسوب 175 إلى منسوب 182 م، وقدرها 41 مليارم³ وبعد إنشاء مفيض توشكى أضيفت سعة أخرى تقدر بـ 120 مليارم³ (عبد العظيم أبو العطا، 1977، ص 35).

تقع بحيرة ناصر بين دائرتى عرض 58° 23' إلى 21° شمالاً و 30° 30' إلى 30° 33' شرقاً (أحمد سالم، 1979، ص 3). تتسع البحيرة في الشمال وتضيق جنوباً، وذلك بسبب تأثير طبوغرافية الوادى أمام السد العالى قبل أن تغمره.

وتمتد البحيرة داخل العديد من مصبات الأودية الجافة على جانبيها الشرقى والغربى (أخوار) مما يعطى لشواطئها خاصية التعرج الشديد وانعكس هذا بدوره على كميات التبخر والتسرب منها. وتوجد بمياه البحيرة العديد من التلال الغارقة التي تظهر بعضها

فوق سطح مياه البحيرة على شكل جزر (هناك نظير، 1999، ص 45). ويتراوح عرض البحيرة بين 9 كم عند منسوب 160 م و 18 كم عند منسوب 180 م، ويبلغ 30 كم عند العلاقي و 200 م فقط عند جندل دال بمساحة 517 كم² لعام 2014.



خريطة (2) : موقع بحيرة ناصر .

(2) النموذج المستخدم SOBEK 1D 2D :

يعتمد اختيار النموذج على متطلبات واحتياجات البحث، فهناك معايير مختلفة يمكن تطبيقها للمساعدة في اختيار النموذج المناسب بدرجة كبيرة. وقد وضع جيندرلايك وسيمونوفيك المعايير التالية لإختيار النموذج الأمثل للبحث (Cunderlike and Simonovic, 2003, p.43)، وهي كمايلي :

- 1- المخرجات المطلوبة من النموذج.
- 2- توافر بيانات المدخلات.
- 3- سعر النموذج ومدى توافره.
- 4- بنية النموذج.

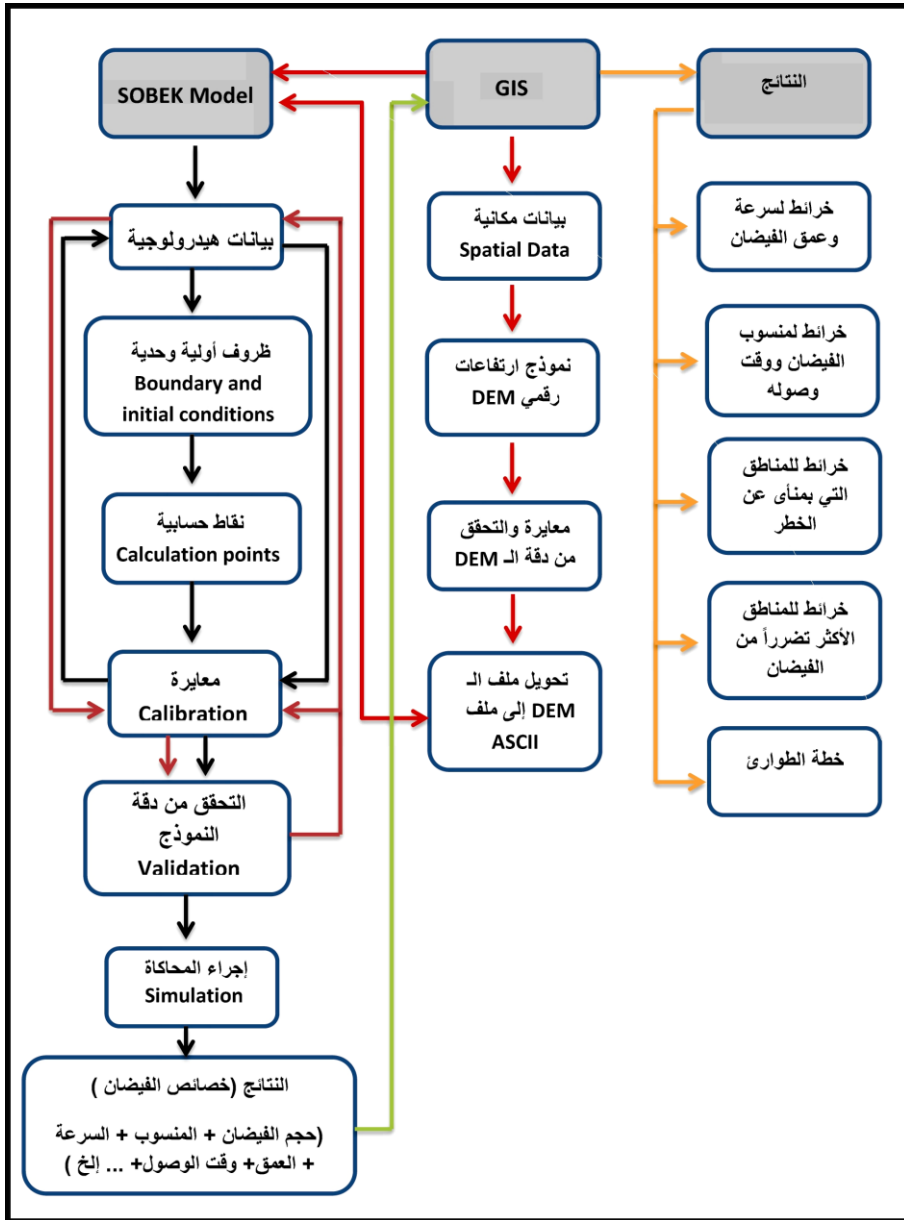
والدراسة الحالية تعتمد المحاكاة الرياضية فيها على نموذج SOBEK 1D 2D، وهو نموذج عددي هيدروديناميكي أحادي وثنائي الأبعاد، صُمم بواسطة شركة WL/ Delft Hydraulics الهولندية، يستخدم هذا النموذج في العديد من التطبيقات الهيدرولوجية لعل أشهرها محاكاة الخواص الهيدروديناميكية في الأنهار والقنوات والمصبّات، ومحاكاة الفيضانات الناجمة عن انهيارات السدود.

ويتكون نموذج SOBEK 1D 2D من ثلاثة وحدات رئيسية مزودة بأدوات مناسبة لكل نمط من أنماط محاكاة جوانب معينة من جريان المياه السطحية.

وتعتمد المحاكاة الرياضية في هذه الدراسة على استخدام وحدة SOBEK Rural- 1D لمحاكاة مجرى نهر النيل بالتكامل مع SOBEK 2D لمحاكاة السهل الفيضي.

مدخلات النموذج :

- يتطلب النموذج توافر البيانات التالية لإجراء عملية المحاكاة، والتي تمر بعدة أشواط للوصول للنتائج المرجوة (شكل 2).
- 1- بيانات هيدرولوجية لنهر النيل (تصرفات + سرعة المياه + المناسيب + قطاعات عرضية + طولية).
 - 2- حجم التخزين في بحيرة ناصر.
 - 3- بيانات لقاع المجرى لتحديد خشونة القاع.
 - 4- بيانات للمنشآت المائية المقامة على مجرى النيل.
 - 5- نموذج ارتفاعات رقمي بصيغة ASCII File لتمثيل وادي النيل بدقة (1000* 1000 متر لكل خلية).



شكل (2) : مخطط العمل بالنموذج والتكامل

بين نموذج SOBEK 1D-2D و الـ GIS.

المصدر: من عمل الباحثة.

المعادلات المستخدمة :

جريان المياه خلال القنوات هو بمثابة عملية توزيع لان معدل الجريان يعتمد على التغير المكاني لكل من السرعة والعمق خلال القناة، باستخدام مجموعة من المعادلات التفاضلية الجزئية المعتمدة على الموقع والزمن والتي تعرف بحفظ الكتلة والحركة (Mass and Momentum)، يمكن الحصول على تقديرات لمعدل الجريان او ارتفاع منسوب الماء عند مواقع معينة في نظام القناة. هذا النوع من المعادلات يسمى بمعادلات سانت فينانت (De-Saint-Venant-Equations)، للجريان غير المستقر Unsteady Flow (B.de Saint Venant.,1871, p. 73)، وهي عبارة عن مجموعة معقدة من المعادلات التفاضلية المستمرة، تعتمد على حساب معدل الجريان وارتفاع منسوب الماء كدالة للزمان والمكان، ومن غير الممكن حل هذه المعادلات عبر الطرق التحليلية (Dyhose et. al., 2003, p. 22)، إنما يتم حلها تدريجياً أو بطريقة عددية عن طريق تحويل المعادلة التفاضلية المستمرة إلى منظومة من المعادلات الجبرية التي يتم حلها عبر التكرار، وفي SOBEK1D2D يتم حل معادلات الاستمرارية والحركة ثنائية الأبعاد باستخدام منهج الفروق المتناهية Finite Elements Method (Dhondia and Stelling, 2002, pp. 265-276) (FEM).

$$q = \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} \quad \text{معادلة (1)}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = gA(s_0 - s_f) - gA \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\partial \left(\frac{aQ^2}{A} \right)}{\partial x} \quad \text{معادلة (2)}$$

معادلة (1) معادلة الإستمرارية (وتمثل الحفاظ على الكتلة)

معادلة (2) معادلة الجريان (وتمثل الحفاظ على قوة الحركة)

t : معامل الزمن، x : المسافة الأفقية، h : ارتفاع منسوب المياه، s_0 : انحدار القاع، s_f : الاحتكاك، a : معامل الحركة، A : مساحة المقطع العرضي للنهر، q : معدل الجريان الجانبي لكل وحدة طول، g : معامل التسارع للجاذبية، Q : التصرف).

3) معايرة النموذج والتأكد من دقته :

يحتاج تطبيق النماذج العددية إلى عناية كبيرة في تقدير المتغيرات المدخلة إليها، إذ تعد عملية تقدير المتغيرات أحد أهم عمليات النمذجة على الإطلاق، لذا فإن دقة المخرجات الناتجة من هذه النماذج تعتمد بشكل كبير على كفاءة عملية المعايرة للمتغيرات المدخلة، وتُعرف عملية المعايرة على أنها اختيار القيم المناسبة للمتغيرات المدخلة للنموذج العددي والتي تعطي نتائج أقرب للنتائج المرصودة في الواقع (Franchini and Gleati, 1997).



خريطة (3) : قطاعات نهر النيل الرئيسية.

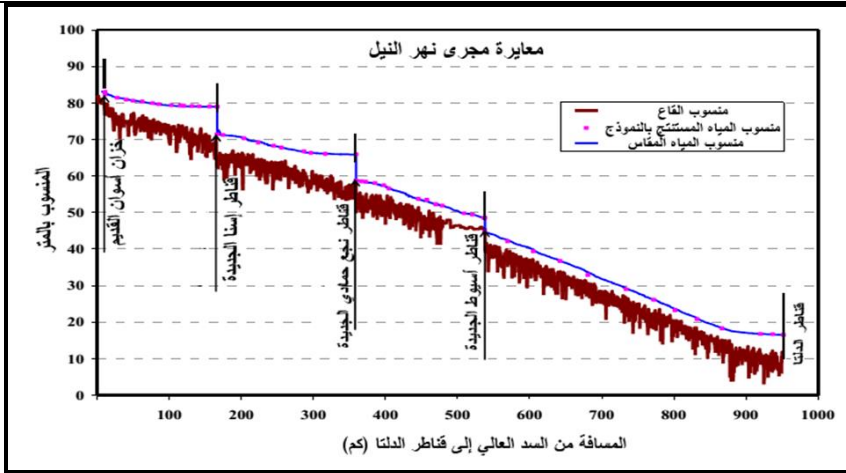
يتكون نهر النيل من أربعة قطاعات رئيسية تبعاً للمنشآت الهيدروليكية المقامة عليه (القناطر)، ويتم تقسيم كل قطاع إلى مجموعة من النقاط الحسابية، بحيث تبتعد كل نقطة حسابية على القطاع بمقدار 100 متر عن النقطة التي تليها، وذلك من أجل أستنباط المنسوب ومعدلات العمق والسرعة ومقدار التصرف وبعض الخصائص الهيدروليكية الهامة.

تم تحديد الشروط الحدودية أو الظروف الحاكمة لحركة المياه Boundary condition، والتي تمثلها قيمة التصرفات الفعلية، فتم تحديد ثلاثة شروط حدودية وهي بحيرة ناصر كبدائية، ثم فرع دمياط وأخيراً فرع رشيد، وبما أن التصرف في فرعي دمياط ورشيد متساويين في قيمة التصرف، فتم تحديد قناطر الدلتا كحد شرطي ثابت كتصرف عادي 18 م³/ث. أما عامل الخشونة للمجرى، فيتميز قاع مجرى النيل بإختلاف أشكال السفوح على انحداراته ما بين محدبة ومقعرة بسبب ظهور الحواجز، وكذلك البرك (الأحواض)، لذلك يتباين معامل ماننج للخشونة على قاع وجوانب مجرى النيل، حيث تتباين سرعة التيارات النهرية من جزء لآخر، ويتباين معامل ماننج على طول المجاري النهرية وقطاعات نهر النيل، كما هو موضح بالجدول رقم (1)، وتعتمد عملية المعايرة في الأساس على تعديل معامل الخشونة على طول المجرى للتوصل إلى قيم مناسبة وأقرب للقيم الحقيقية، ويتم تقدير معامل الخشونة على طول المجرى بما في ذلك القناة النهرية والسهل الفيضي وكذلك الإعاقات كالمباني وغيرها.

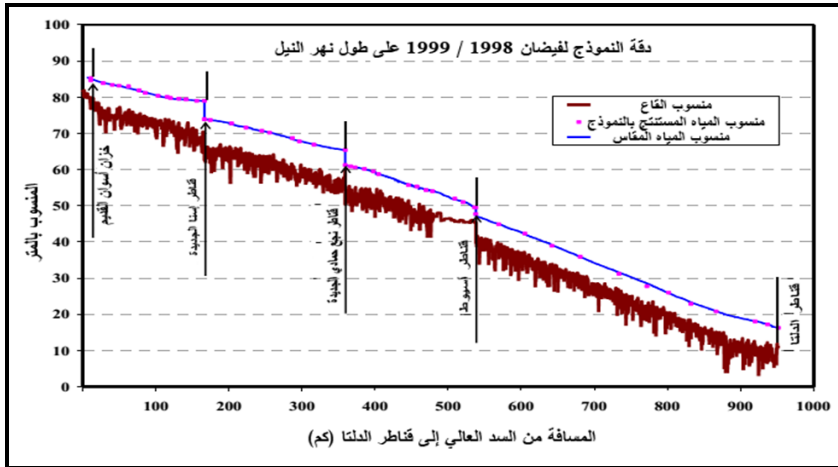
جدول (1) : معامل ماننج للخشونة لقطاعات مجرى النيل،

والمناطق المحيطة بالنهر في مصر.

م	قطاعات نهر النيل	معامل ماننج للخشونة
1	القطاع من أسوان إلى إسنا	0.026
2	من إسنا إلى نجع حمادي	0.023
3	من نجع حمادي إلى أسيوط	0.022
4	من أسيوط إلى قناطر الدلتا	0.030
1	مباني	0.25
2	أراضي زراعية	0.20
3	جبال	0.31



شكل (3) : نتائج معايرة مجرى النيل اعتماداً على بيانات عام 2010.



شكل (4) : نتائج صحة ودقة النموذج لمجرى النيل اعتماداً على فيضان عام 1999/1998.

أعتمدت المعايرة للبيانات المدخلة للنموذج SOBEK 1D2D على قياسات حقلية للتصرفات ومناسيب للمياه قام بها معهد البحوث الهيدروليكية عام 2010، وبعد عمل عدة أشواط للمعايرة، أظهرت نتائجها ان التطابق فيما بين القياسات الحقلية وحسابات النموذج أكثر واقعية وملائمة لإجراء المحاكاة.

يوضح الشكل رقم (3) نتائج المعايرة على طول مجرى نهر النيل، حيث أوضحت في القطاع الأول الممتد من خزان أسوان القديم حتى قناطر إسنا وجود تطابق كبير بين منسوب المياه المحسوب بواسطة النموذج مع منسوب المياه المقاسة، وذلك وفقاً لمعامل ماننج للخشونة 0.026، كان هناك إختلاف طفيف أقل من 0.08 متر بين القيم. وكان هذا الإختلاف في القطاع الثاني الممتد من قناطر إسنا حتى قناطر نجع حمادي 0.02 متر، لكن بصفة النتائج أكثر واقعية على طول القطاع عندما كانت قيم معامل ماننج 0.023. أما نتيجة عملية المعايرة في القطاعين الثالث والرابع وهما (قناطر نجع حمادي إلى قناطر أسويط - قناطر أسويط إلى قناطر الدلتا)، فكانت النتائج متوافقة إلى حد كبير مع النتائج المحسوبة بواسطة النموذج، وكانت معامل ماننج للخشونة في القطاع الثالث 0.022، والقطاع الرابع 0.3، والأختلاف بين القيمتين حوالي 0.09 متر. لكن بصفة عامة عملية المعايرة على قطاعات نهر النيل الأربعة كانت واقعية ومنطقية إلى حد كبير، والاختلافات التي ظهرت لا تؤثر على نتائج عملية المحاكاة بواسطة SOBEK 1D2D.

4) محاكاة السيناريوهات Simulation :

يتم الحكم بشكل عام على نجاح المنشآت الهيدروليكية على أساس أدائها في تمرير فيضانات بحجم معين بعد فترة عودة معينة Return period من السنوات دون وقوع خسائر. وإنهيار السدود ينقسم إلى نوعين هما (إنهيار متوقع، وإنهيار غير متوقع) الإنهيار المتوقع يكون لوجود خلل فني في السد أدى إلى سوء أدائه وبالتالي إنهياره، أما الإنهيار غير متوقع ناجم عن الهزات الأرضية التي قد تكون بدرجات أكبر من القدرة التصميمية للسد، أو الأعمال التخريبية المتعمدة؛ كالقصف أثناء الحروب، أو حدوث تدفق فيضاني يفوق تصميم السد وهو ما يعرف بالفيضان الأقصى المحتمل Probable Maximum Flood (PMF). والفيضان الأقصى المحتمل هو الفيضان الذي يمكن توقعه من إجتماع أشد ظروف الأرصاد الجوية والهيدرولوجية الحرجة الممكنة للمنطقة، وهو ضمن أهم العناصر الرئيسية في تصميم السدود، ودقة تقديره تعتمد على

المعلومات والتحليل العلمى لهذه المعلومات. وفشل معظم السدود خاصة السدود الركامية هو بسبب فشل المفيض Spillway في تمرير فيضان معين بأمان مما يؤدي إلى ارتفاع المياه فوق السد Overtopping وخرقه، بسبب الخطأ في تقدير حجم ذلك الفيضان (ICOLD Bulletin 59, 1999).

ويعد الأمر الأكثر صعوبة في محاكاة انهيار السد هو محاكاة ذروة الفيضان الناجم عن انهيار السد، لأنه من الصعب التنبؤ بالخصائص الهيدرولوجية للفيضان مثل ذروة التصريف Peak discharge ومستوى المياه River stage وحجم الفيضان أو زمن الرحلة Travel time لموجة الفيضان. ومن أجل تنفيذ محاكاة الإهيار الإفتراضي للسد العالى، يجب تقدير وحساب متغيرات الخرق / الثغرة في السد (Breach Dam) بدقة مثل شكل وأبعاد السد وتحديد السرعات والقوى أو الضغوط الناشئة عليه وتوزيعها على جميع أجزائه، والمواد المستخدمة في عملية الإنشاء، وتختلف معايير خرق السدود من سد لآخر؛ حيث كل نوع من السدود (ركامية - ثقلىة - قوسية - ترابية - ذو دعامات) لها معايير مختلفة لتشكيل شكل الخرق وتكوينه، وتوجد خمسة عناصر أساسية في أي تحليل عملية خرق السد (Abdel Aziz, 1960) وهي:

- 1- تقدير متغيرات الخرق (حجم الخرق وشكله ووقت الخرق).
- 2- تقدير ذروة تصريف الخرق (ذروة التدفق).
- 3- تقدير التصرف الناجم عن انهيار السد وهو ناتج لعاملين وهما:
 - أ- الخصائص الفيزيائية للسد مثل هندسة السد Dam geometry ومواد البناء، ونسق الخرق Failure mode.
 - ب- تشكل وتطور الخرق، وسعة الخزان والتصريف المائي الداخلى للخزان ووقت الإهيار يحددوا ذروة التصريف.
- 4- تقصي مسار الفيضان ومناسيبه Breach flood routing
- 5- تقدير العوامل الهيدروليكية

ويتبع في تحليل انهيار السدود طريقة التحليل المقارن، التي تعتمد على دراسة حالات كثيرة لإنهيارات سدود فعلية، وضعتها منظمات وهيئات معنية بدراسة تقييم عمل السدود. وتمثل هذه الخطوط الإرشادية التي وضعت معايير كسر/ خرق السدود بكافة أنواعها أداة مهمة في تقييم عمل السدود، ويعرض الجدول رقم (2) القيم الموصي بها لتحديد عرض الخرق ووقت الإنهيار تبعاً لكل منظمة.

جدول (2) : الخطوط الإرشادية لدراسة انهيار السدود.

Dam Type	Average Breach Width Bave	Horizontal Component of Breach Side Slope (H) H:1v	Failure Time t^f (hrs)	Agency
Earthen / Rock fill	(0.5 to 3.0) x HD	0 to 1.0	0.5 to 4.0	USACE (1980)
	(0.5 to 5.0) x HD	0 to 1.0	0.1 to 4.0	USACE (2007)
	(1.0 to 5.0) x HD	0 to 1.0	0.1 to 1.0	FERC (1988)
	(2.0 to 5.0) x HD	0 to 1.0 (slightly larger)	0.1 to 1.0	NWS (Fread, 2006)
Concrete Gravity	Multiple Monoliths	Vertical	0.1 to 0.5	USACE (2007)
	Usually $\leq 0.5 L$	Vertical	0.1 to 0.3	FERC
	Usually $\leq 0.5 L$	Vertical	0.1 to 0.2	NWS
Concrete Arch	Entire Dam	Valley wall slope	≤ 0.1	USACE (1980)
	(0.8 x L) to L	0 to valley walls	≤ 0.1	USACE (2007)
	Entire Dam	0 to valley walls	≤ 0.1	FERC
	(0.8 x L) to L	0 to valley walls	≤ 0.1	NWS
Slag / Refuse	(0.8 x L) to L	1.0 to 2.0	0.1 to 0.3	FERC
	(0.8 x L) to L		≤ 0.1	NWS

المصدر: سلاح المهندسين بالجيش الأمريكي (USACE, 1980: 2007)

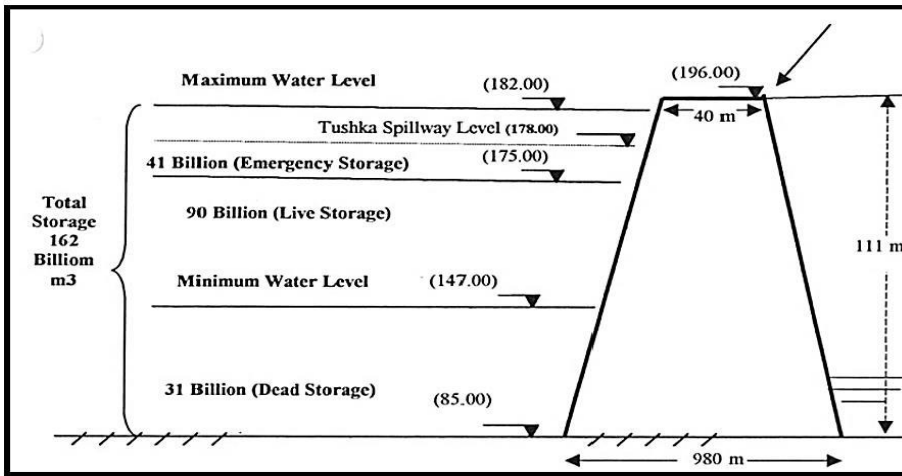
فالتنبؤ بوقوع مثل هذا الفيضان الجارف الناجم عن انهيار السدود يتم من خلال تقصي مسار الفيضان خلف السد المنهار Flood routing ، ولعل أكثر النماذج استخداماً في هذا المجال هي DAMBRK خاصة بالولايات المتحدة الأمريكية، ويتكون هذا النموذج من أربعة أجزاء هي :

- 1- وصف زمني وهندسي لإنهيار السد أو تشكيل الخرق في السد
- 2- حساب التصرف الناتج عن خرق السد Breach outflow hydrograph
- 3- تقصي مسار الفيضان خلف السد
- 4- محاكاة سيناريوهات مختلفة عن حجم الإنهيار وسرعة توسعه، وبالتالي تقييم مدى حساسية هذه المتغيرات على :
 - منسوب الفيضان على طول المجرى
 - حجم الضرر الناتج عن انهيار السد
 - حجم الفيضان Flood volume
 - ومدة الفيضان Flood Duration، أي الزمن الذي يبقى خلاله التصريف فوق عتبة معينة وهو الأكثر اتصالاً بمخاطر الفيضان.

وقد أستندت سيناريوهات هذه الدراسة على إفتراض أن سبب الإنهيار سيكون من نوع Overtopping أي علو المياه على السد، و Piping وهو التآكل الداخلي بسبب وجود رشح أو تسرب زائد يؤدي إلى تمدد هذا الرشح، وبالتالي تنشأ بمرور الزمن فجوات وقنوات صغيرة، وتتسع هذه القنوات من الجهة الخلفية للسد وتتقدم للجهة الأمامية، فتؤدي إلى ضعف بنيان السد بمرور الوقت. ووضعت الدراسة ثلاثة سيناريوهات للتنبؤ بشكل ونوع الإنهيار الإفتراضي للسد العالي، تتلخص في الجدول رقم (3). وتم محاكاة السيناريوهات لإنهيار السد العالي الإفتراضي، وفق بيانات للفيضانات المختلفة (متوسطة ومرتفعة ومنخفضة) ومناسيب التشغيل العادية لبحيرة ناصر (175 م) (شكل 5) ومناسيب الفيضان عندما تكون ممثلة تماماً (182 م)، حيث يتطلب دراسة سلامة السد تقيماً لإنتقال موجة الفيضان على طول المجرى، أي تقييم علاقة موجة الفيضان مع الوقت، وذلك لتوفير معلومات عن سطح المياه وقت الإرتفاعات، وتصريف ذروة الفيضانات، وتوقيت تلك الإرتفاعات والتصريف في مواقع مختلفة على طول المجرى خلف السد العالي.

جدول (3) : سيناريوهات الإنهيار الإفتراضي للسد العالي.

رقم السيناريو	عرض الخرق الأولي في السد بالمتر	طول الخرق الأولي في السد بالمتر	نوع الفيضان	مليون م ³ / السنة التصريف	منسوب بحيرة ناصر بالمتر	المحتوى المائي لبحيرة ناصر مليون م ³
1	10	21	عالي 1999 / 1998	120.75	182	177
2	10	21	متوسط 2000 / 1999	81.5	175	121.3
3	10	21	أقل من المتوسط 2002 / 2001	71	175	121.3



شكل (5) : مناسيب بحيرة ناصر وحجم التخزين.

المصدر: (Abul-Atta 1978)

أفترضت السيناريوهات وجود خرق/ الثغرة في الجزء الصخري للسد العالي فيما بين قمة السد والقاع، أي المسافة بين (منسوب قمة السد 196 متراً إلى منسوب قاع السد 85 متراً)، في هذه المسافة تشكل فيها الخرق Breach . وكانت هذه الثغرة ذو أبعاد متباينة، حيث كانت 10 متر عرضاً و21 متر طولاً، ويوضح جدول رقم (4) نتائج محاكاة السيناريوهات باستخدام النموذج العددي SMPBRK، وتطور شكل الخرق في السد العالي بمرور الوقت، وتأثير ذلك على حجم التصرفات.

جدول (4) : الخصائص العامة للفيضان الناجم عن إنهيار السد العالي الإفتراضي.

رقم السيناريو	م³/الثانية لزوة التدفق	عمق الثغرة / بالمتر	عرض الثغرة / بالمتر	منسوب بحيرة ناصر/ بالمتر	وقت تشكيل الثغرة / ساعة
1	375440	35	450	133.5	71
2	15473	27.5	380.5	168	52
3	11069	26.3	334	169.5	42

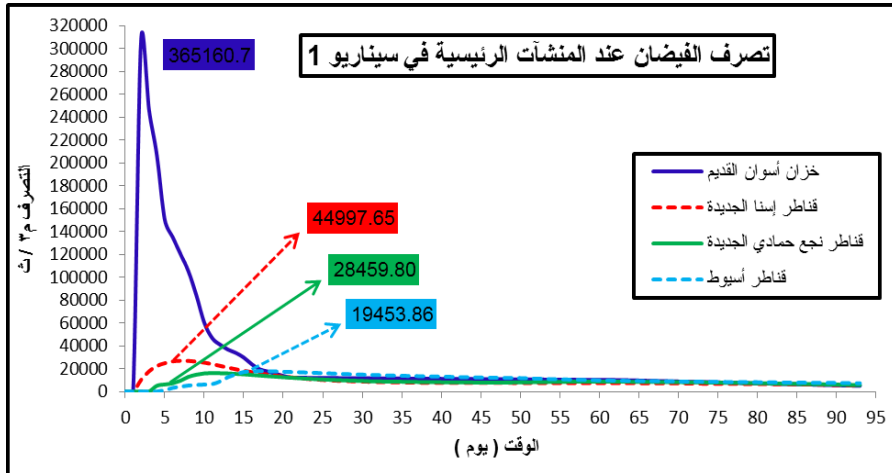
النتائج :

كانت فرضيات أسوأ السيناريوهات التي وضعت لمحاكاة الإنهيار الإفتراضي للسد العالي وفقاً لمحاكاة فيضان 1999/1998 والذي مثل فيضان مرتفع حيث وصل حجم التصرف 120.75 مليار م³/السنة، ومنسوب بحيرة ناصر إلى 182 متر، خطيرة للغاية، حيث كانت الآثار الناجمة عن انهيار السد العالي الإفتراضي كارثية على طول البلاد. أفترض تشكيل خرق أولي في السد العالي، بعمق 14 متراً، وعرض 10 متراً. وخلال مرور 95 ساعة من تشكيل هذا الخرق تطور كل من العمق والعرض للخرق، ليصل العمق إلى 62.11 متراً، والعرض إزداد إلى 666.30

متراً، عند منسوب 133.89 لقاع الخرق. وإنخفضت مناسيب البحيرة من 182 متراً لتصل إلى 133.89 متراً، وبلغت ذروة التصرف لهذا السيناريو 389009.69 م³/ث.

ويخلص جدول رقم (5) خصائص الفيضان الناجم عن إنهيار السد العالي الإفتراضي تبعاً لسيناريو 1999/1998 عند كل نقطة على نهر النيل.

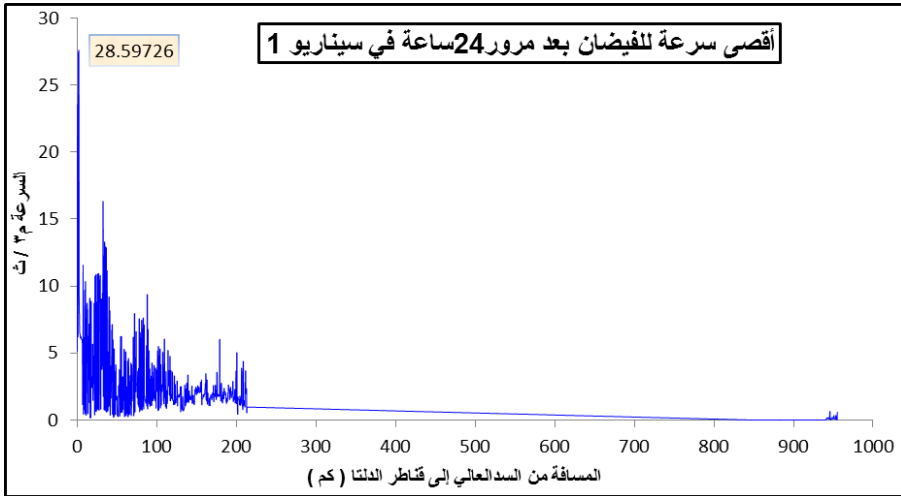
وتم بناء قاعدة بيانات جغرافية باستخدام Arc GIS 10.2 وحساب زمن تتابع الأمواج التي تتكون نتيجة الإنهيار الإفتراضي للسد العالي على إمتداد نهر النيل، وإعداد خرائط لتحديد المواقع التي غمرتها مياه الفيضان وتقدير مساحتها، إضافة إلى حصر أطوال الطرق والمطارات والسكك الحديدية والمناطق الأثرية، وخطوط المترو. وفيما يلي الآثار الناجمة عن انهيار السد العالي الإفتراضي وفقاً للسيناريو الأكبر خطراً على طول مجرى نهر النيل.



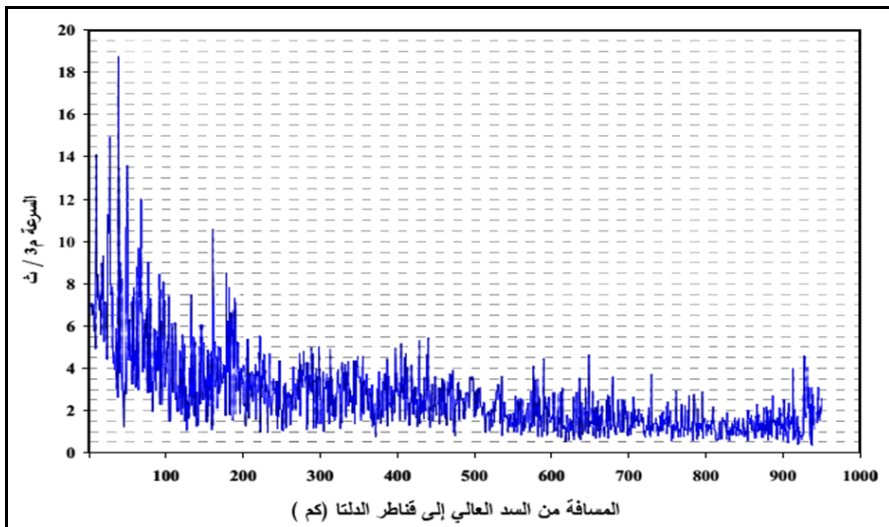
شكل (6) : حجم التصرف عند منشآت نهر النيل الرئيسية في السيناريو الأول.

جدول (٥) : خصائص الفيضان في السيارىو الأول.

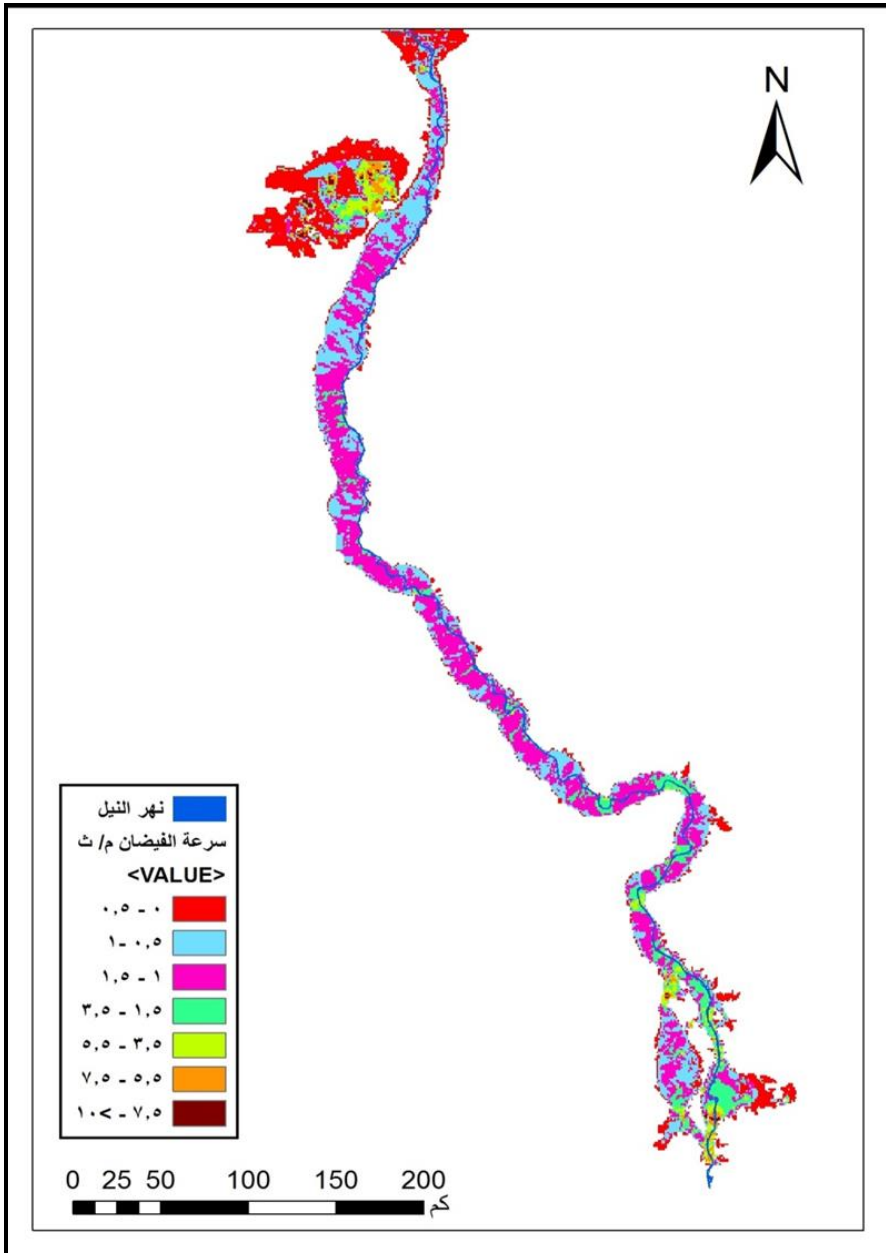
وقت الوصول لأقصى منسوب للمياه (الساعة)	أقصى سرعة م/ث	أقصى فيضان م ^٣ /ث	وقت وصول الفيضان (الساعة)	أقصى منسوب للفيضان (متر)	أقصى المياه (متر)	المسافة من خزان أسوان القديم (كم)
٨٧	٦,٥٩	٣٦٥١٦,٠٧	٠	١٦٦,١٨	٨٨,٥٠	٠,٠٠
٨٧	٦,٥٩	٣٦٥١٦,٠٧	٠	١٦٥,١٢	٨٥,٧٠	٠,١٠
٩٣	٦,٩٩	٣٦٢١٥٢,٣	١	١٦٥,١١	٨٥,٢٨	٧,٠٠
١٢١	٤,٤٦	١١٢٤٣,٠٩	٢	١٦٠,٧٩	٨٣,٢٠	٥٠,٠٠
١٢٩	٣,٧٥	٦٥٢٥٣,٧١	٣	١٥٨,٥٣	٧٩,٨٠	١١١,٠٠
٣٧٥	٤,٧٨	٤٤٩٩٧,٦٥	٦	١٢٦,٥٣	٧٩,٠٠	١٦٧,٨٥
٣٧٥	٤,٧٨	٤٤٩٩٧,٦٥	٦	١٢٦,٤٧	٧٣,٩٣	١٦٧,٩٥
٤٩٨	١,٥٩	٣١٢٢١,٥٣	٩	١١٧,٠٢	٧١,٢٢	٢٢٣,٠٠
٦٠٤	٤,٨٢	٣٠٥٤٦,٢٥	١١	١٠٦,٤١	٦٨,٧٠	٢٨٥,٥٠
١٦٦	٣,٥٤	٢٨٤٥٩,٨٠	١٤	٩٠,٣٦	٦٥,٤٠	٣٢٣,٠٠
١٦٦	٣,٥٤	٢٨٤٥٩,٨٠	١٤	٩٠,٣٢	٦١,٢٦	٣٢٣,١٠
٩٣٤	١,٩٢	٢٥٦٥٧,٤٥	٢٢	٨٧,١٧	٥٨,٧٦	٤٠٥,٠٠
١٠٩٠	٢,٥١	٢٣٧٦٩,٧٢	٢٨	٨١,٢٦	٥٥,٧٤	٤٤٣,٠٠
١٣٦٣	٢,٢٨	١٩٤٥٣,٨٦	٣٢	٦٩,٨١	٤٩,٥٠	٥٤٤,٧٥
١٣٦٣	٢,٢٨	١٩٤٥٣,٨٦	٣٢	٦٩,٨٠	٤٧,٧٤	٥٤٤,٨٥
٢٠١٥	١,٤٥	١٦٦٩٧,٥٢	٦٣	٤٨,٣١	٣٥,٩١	٦٨٤,٠٠
٢٢٤١	١,١٠	١٥٥٢٢,٢٣	٧١	٤١,٢٣	٢٦,٠٠	٨٠٥,٠٠
٢٣٣٨	١,٨٨	١٤٣٥٢,١١	٨٢	٣١,٥٩	١٨,٦٥	٩٠٧,٠٠
٢٣٤٣	٢,٢١	١٤١٥٣,٢٢	٩١	٢٦,١٥	١٧,٦٠	٩٣٠,٠٠
٢٣٥١	٢,٠٧	١٣١٢٤,١٢	٩٥	٢٤,١٦	١٦,٢٨	٩٥٣,٥٠



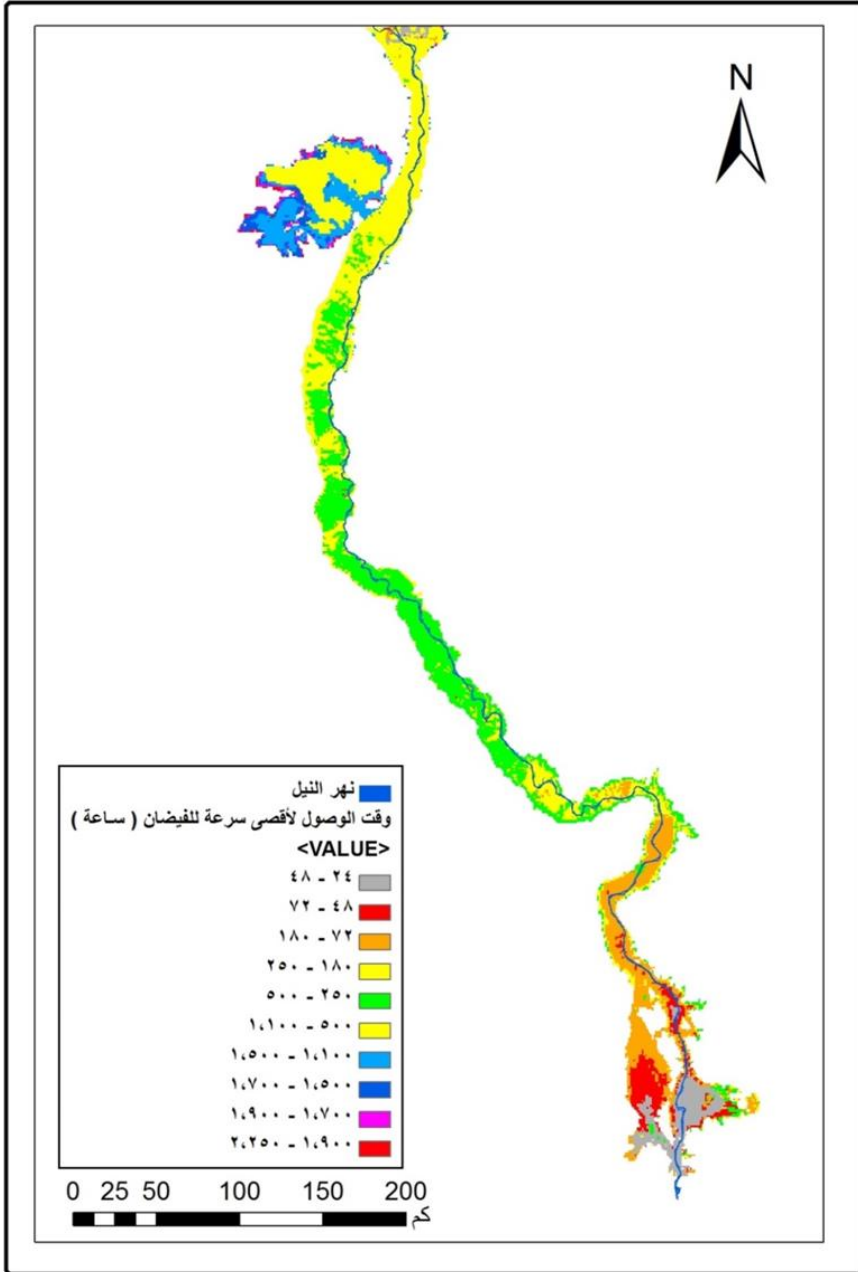
شكل (7) : أقصى سرعة لموجة الفيضان بعد مرور 24 ساعة من بدأ الإنهيار في السيناريو الأول.



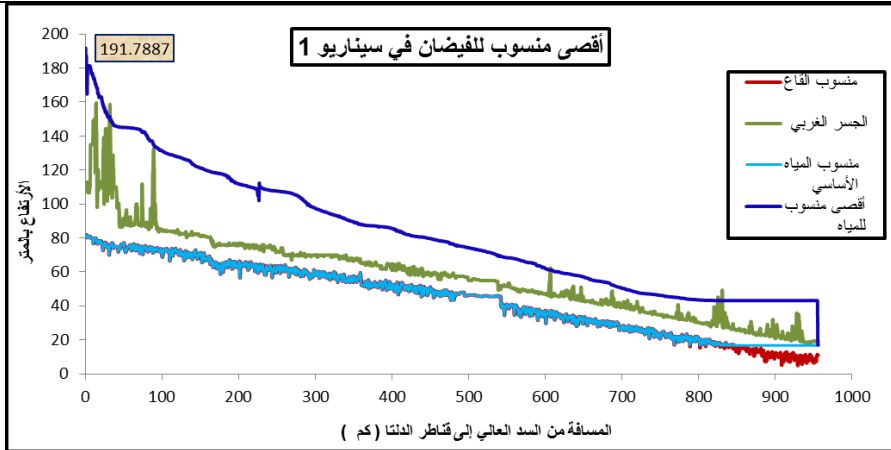
شكل (8) : اختلاف السرعة للموجة الفيضانية الناجمة عن انهيار السد العالي على طول مجرى النيل في السيناريو الأول.



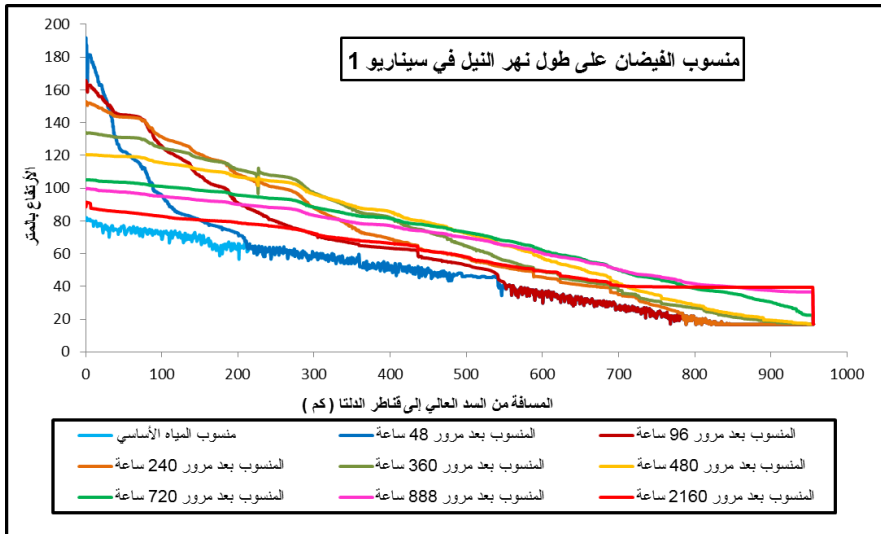
خريطة (4) : أقصى سرعة للفيضان على طول نهر النيل في السيناريو الأول.



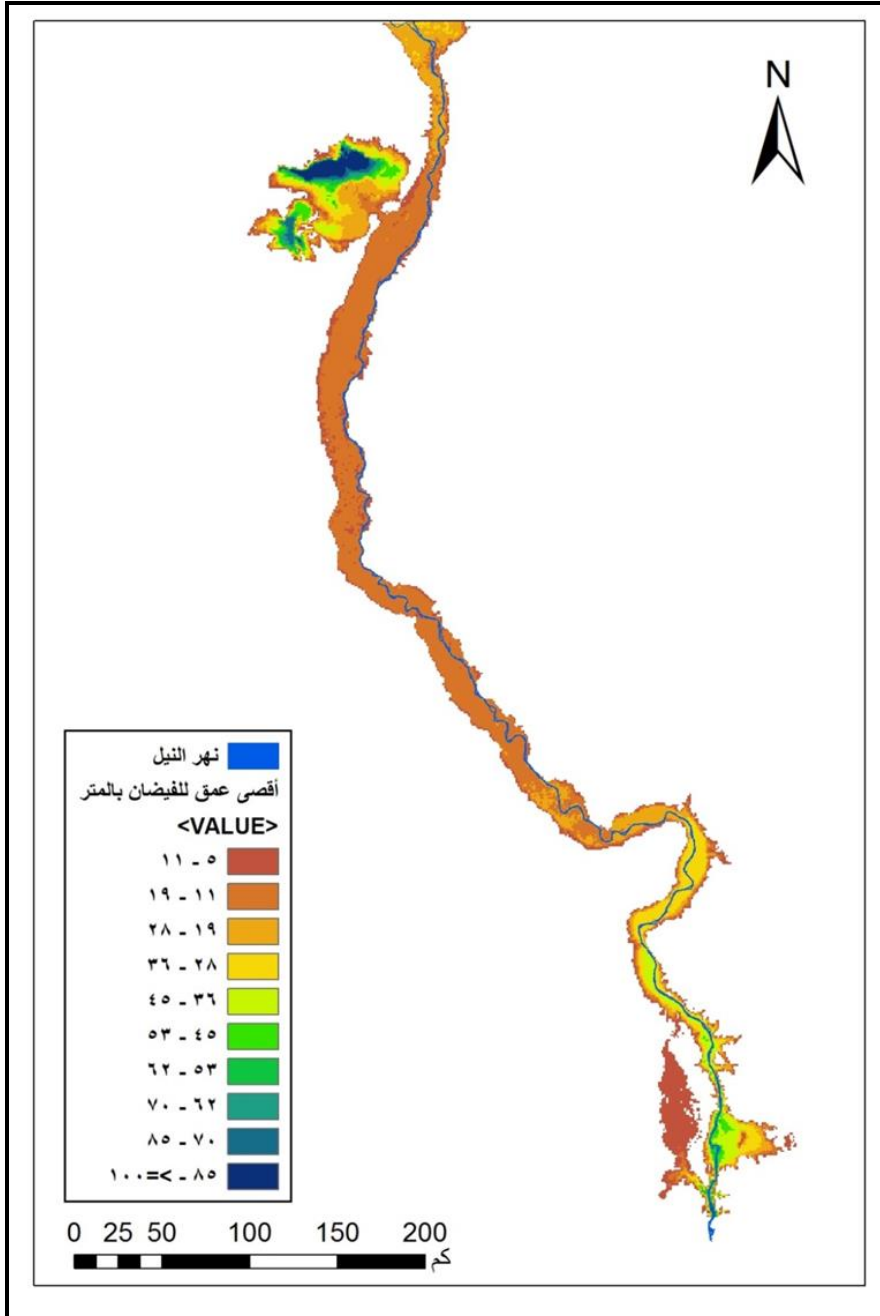
خريطة (5) : وقت الوصول لأقصى سرعة للفيضان في السيناريو الأول.



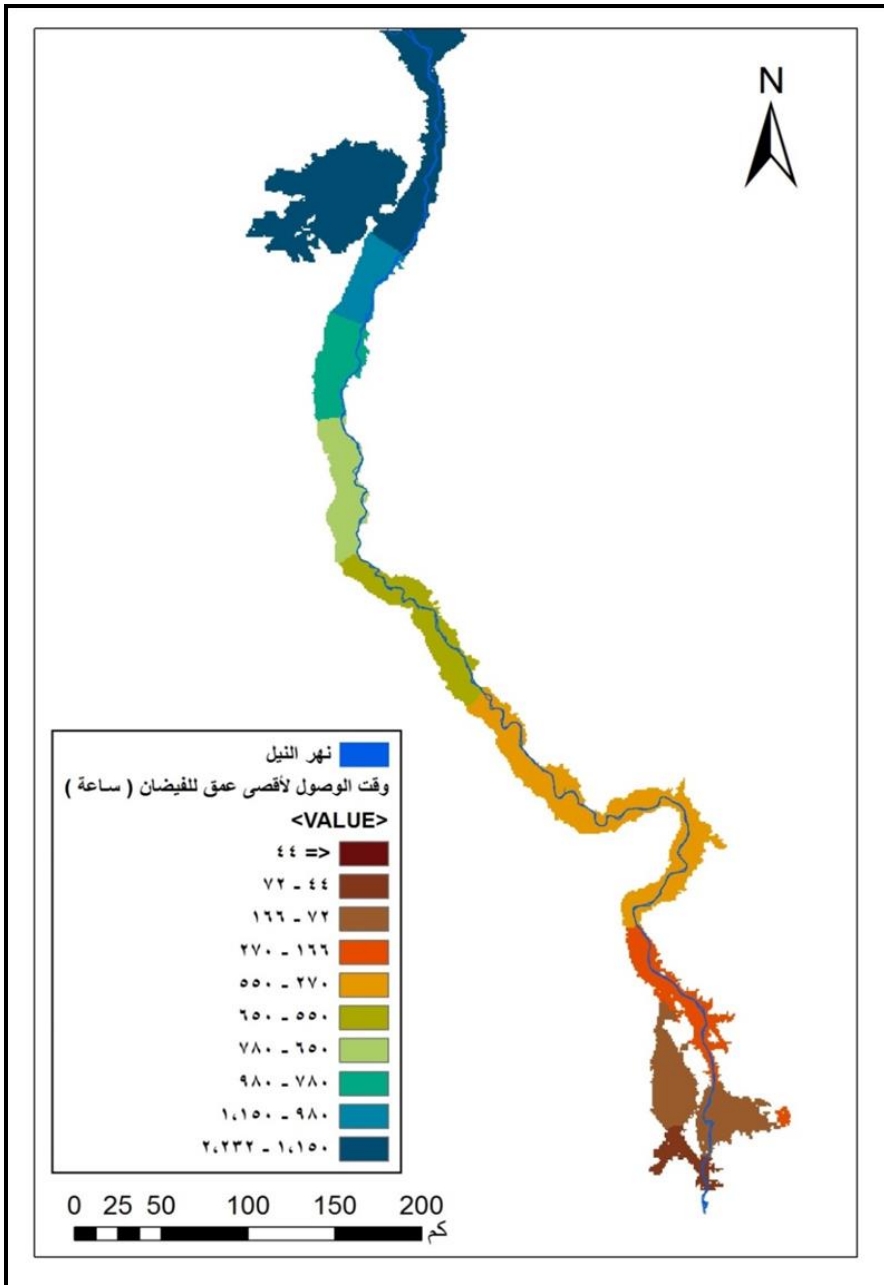
شكل (9) : أقصى مستوي وصل له الفيضان على طول نهر النيل في السيناريو الأول.



شكل (10) : منسوب الفيضان على طول مجرى النيل عبر فترات زمنية مختلفة في السيناريو الأول.



خريطة (6) : أقصى عمق وصل له الفيضان في السيناريو الأول.



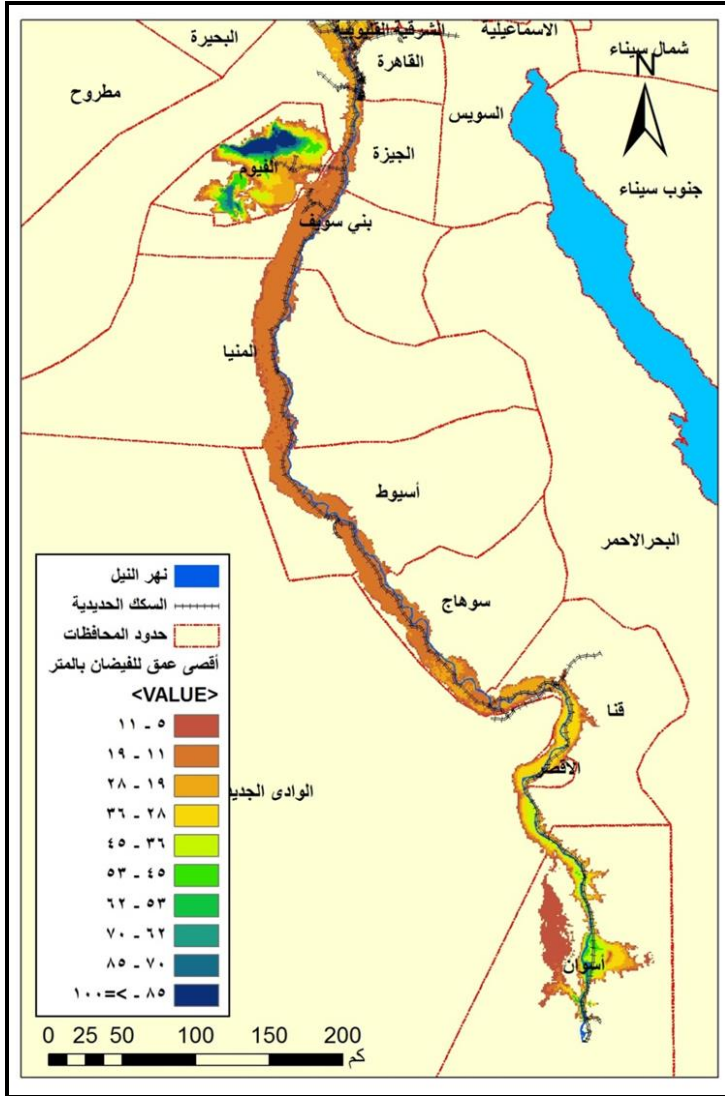
خريطة (7) : وقت الوصول لأقصى عمق للفيضان في السيناريو الأول.

- من خلال الخرائط والأشكال السابقة التي بينت خصائص الفيضان للإنهيار الافتراضي للسد العالي في السيناريو الأول يتضح ما يلي :
- بلغ أعلى تدفق عند خزان أسوان القديم 365160.7 م³/ث خلال 87 ساعة، وأرتفع المنسوب إلى أكثر من 77 متر.
 - وصلت موجة الفيضان مدينة أسوان بعد 60 دقيقة، وبلغ أعلى تدفق عندها إلى 362152.3 م³/ث خلال 72 ساعة، وأرتفع المنسوب إلى أكثر من 79 متراً، وقدرت أقصى سرعة للموجة الفيضانية بـ 6.99 م/ث.
 - أرتفع المنسوب عند قناطر إسنا الجديدة إلى أكثر من 47 متراً، وسرعة الموجة تراوحت ما بين 4 : 5 م/ث.
 - أما مدينة الأقصر فقد تأثرت بموجة الفيضان بعد مرور 9 ساعات، وبلغ أعلى تدفق عندها إلى 31221.53 م³/ث خلال مرور 498 ساعة، وقد أثرت كمية التدفق على إرتفاع المنسوب الذي وصل إلى 45.5 متراً.
 - وتأثرت مدينة قنا بالموجة الفيضانية بعد مرور 11 ساعة من بدأ الإنهيار، وبلغ أعلى تدفق عندها 30546.25 م³/ث، وذلك خلال إجمالي 604 ساعة، وكان منسوب المياه عند المدينة تخطى 37 متراً.
 - وضربت موجة الفيضان قناطر نجع حمادي الجديدة خلال 14 ساعة من بدء الإنهيار، وكان أعلى تدفق خلال 866 ساعة 18559.90 م³/ث، وأرتفع المنسوب لـ 24 متراً أمام وخلف القناطر.
 - أما مدينة سوهاج فضربتها موجة الفيضان خلال 28 ساعة، وبلغت ذروة التدفق عند مدينة سوهاج 23769.72 م³/ث خلال 1090 ساعة، وأرتفع المنسوب إلى 25 متراً فوق منسوب المدينة.
 - تأثرت قناطر أسيوط بالموجة الفيضانية بعد مرور 32 ساعة من بدأ تشكيل إنهيار السد، وفي خلال 1363 ساعة بلغت ذروة التدفق 19453.86 م³/ث، وأرتفع منسوب المياه إلى 20 متراً عند مدخل ومخرج القناطر.

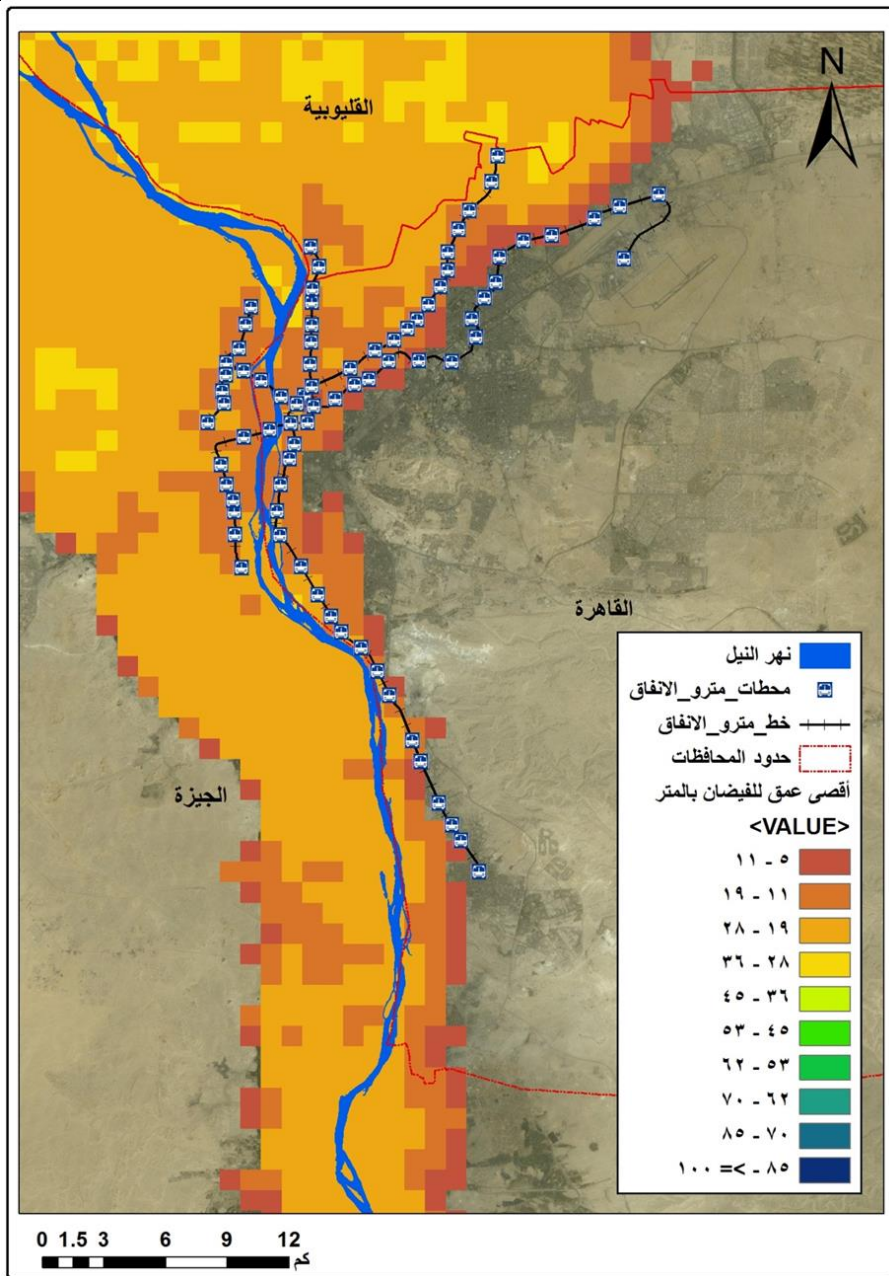
- مدينة المنيا، ضربتها الموجة خلال 63 ساعة من بدأ تشكيل الإنهيار، وبلغت ذروة التدفق $16697.52 \text{ م}^3/\text{ث}$ خلال 2015 ساعة، وارتفع المنسوب إلى 12 متراً.
- ووصلت موجة الفيضان عند بني سويف خلال 71 ساعة، وبلغ أعلى تدفق خلال 2241 ساعة $15532.23 \text{ م}^3/\text{ث}$ ، وارتفع المنسوب إلى 15 متراً.
- وصلت الموجة الفيضانية لمدينة الفيوم خلال 79 ساعة من تشكيل الإنهيار، ووصلت ذروة الفيضان خلال 2331 ساعة من تشكيل الإنهيار إلى $15133.61 \text{ م}^3/\text{ث}$ ، ووصل المنسوب إلى أكثر من 20 متراً.
- أما القاهرة فقد تأثرت بإنهيار السد العالي بعد 91 ساعة من بدء تشكيل الإنهيار، ووصلت ذروة التدفق عند القاهرة إلى $14153.22 \text{ م}^3/\text{ث}$ خلال 2343 ساعة، وكان المنسوب عند القاهرة أعلى من 8 متراً.
- وكانت قناطر الدلتا هي نهاية المطاف للموجة الفيضانية، فقد تأثرت بها بعد 95 ساعة من بدء تشكيل الإنهيار، وبلغ أعلى تدفق للفيضان $13124.12 \text{ م}^3/\text{ث}$ خلال 2351 ساعة، وارتفع المنسوب إلى أعلى من 7 متر عند مداخل ومخارج القناطر.

أما عن سرعة الفيضان، فقد تراوح متوسط سرعة الموجة الفيضانية في السيناريو الأول ما بين 0.5 و 18.5 متر/ الثانية وفقاً لمنحدرات المجرى الطبيعية وعرضه، ومع الإنهيار المفترض للسد العالي إزدادت السرعة بشكل كبير خلال الأيام القليلة الأولى من بدأ تشكيل الإنهيار، فقد امتدت السرعة لمسافة 200 كم من السد العالي وعلى طول مجرى نهر النيل شكل (3- 5) وبلغت أقصى سرعة للموجة الفيضانية 28.6 متر / الثانية بعد مرور 72 ساعة من بدأ الإنهيار. وأخذت الموجة الأولى في الانتشار 96 ساعة في رحلتها لمسافة 953 كم على طول مجرى النيل حتى ركودها عند قناطر الدلتا، في حين أن أثناء ظروف التدفق العادية تأخذ الموجة

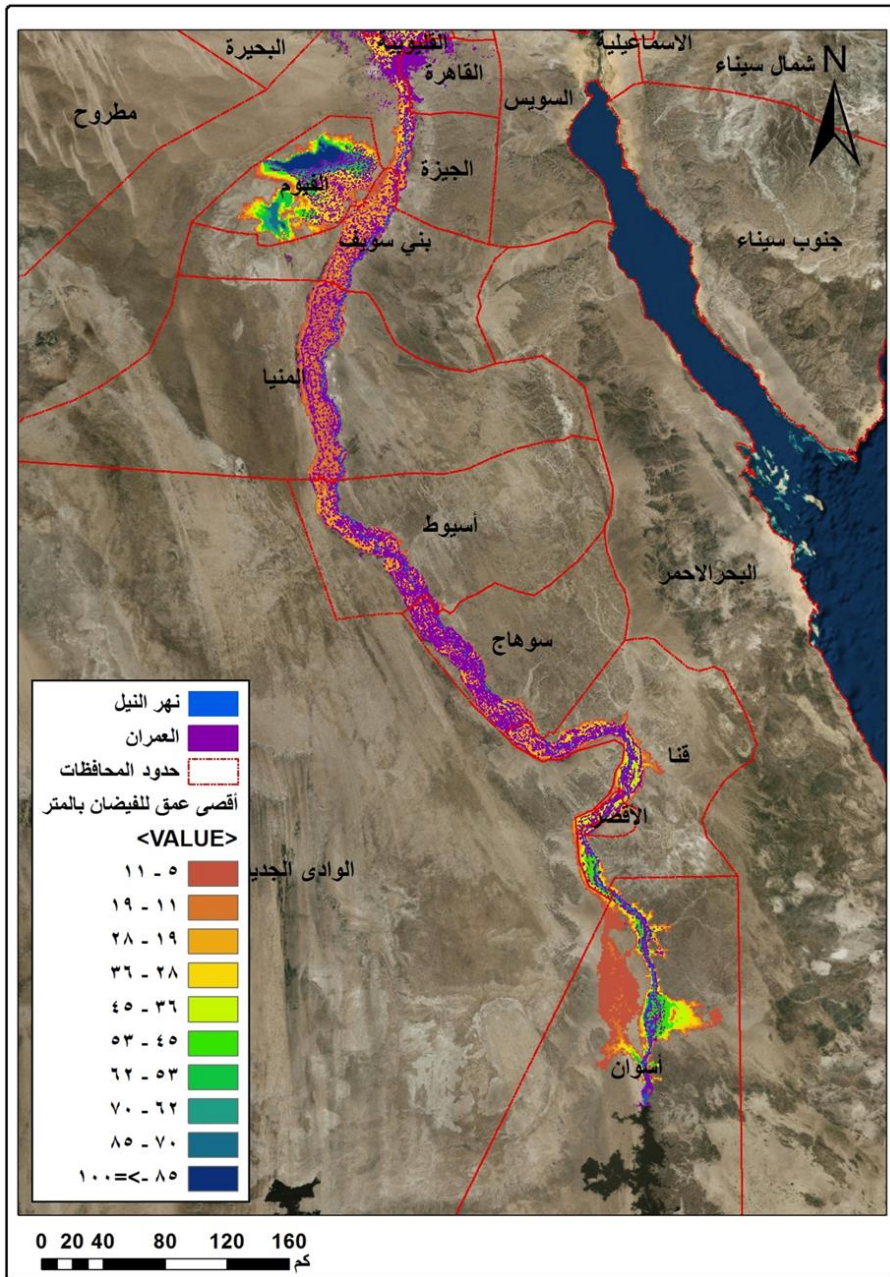
في رحلتها من السد العالي حتى قناطر الدلتا ما بين 280: 295 ساعة. كما هو مبين في شكل (7) وشكل (8).



خريطة (8) : خطوط السكك الحديدية التي تضررت من الفيضان في السيناريو الأول.



خريطة (9) : خطوط المترو التي تضررت من الفيضان في السيناريو الأول.



خريطة (11) : المناطق العمرانية المغمورة تبعاً للسيناريو الأول.

إستنتاجات الدراسة :

- توضح النقاط التالية أهم ما توصلت إليه الدراسة من استنتاجات وهي :
- 1- كانت الآثار الناجمة عن الإنهيار الإفتراضي للسد العالي مدمرة في حالة السيناريو الأول الذي مثل تصرف 375440 م³/ث في جميع المناطق المأهولة بالسكان على طول وادي النيل، فتوضح الأشكال والخرائط السابقة عدد المحافظات والمحلات العمرانية التي تأثرت بالفيضان في السيناريو الأول والتي بلغ عددها 558 منطقة حضرية، وكانت إجمالي المساحات المغمورة بالفيضان 23878.37 كم² في نطاق وادي النيل خريطة (11).
 - 2- هناك العديد من المنشآت المقامة على مجرى النيل تسبب اختناقات تزيد من الآثار التدميرية للإنهيار كالقناطر والجسور والكباري، حيث نلاحظ أن ارتفاع المياه تجاوز 160 متر والسرعة تجاوزت 28 م/ث، وبالتالي احتمال انهيارها أكيد وهذا الإنهيار سيزيد من الآثار السلبية خلف هذه المنشآت لأن الفيضان سيحمل معه مخلفات الأنقاض لهذه المنشآت.
 - 3- تعد السكك الحديدية في مصر من أقدم السكك الحديدية في العالم، حيث أنشأ أول خط حديد في مصر عام 1953، وتمتلك مصر 28 خط سكة حديد بإجمالي طول 9435 كم. ويوجد ثلاثة خطوط للمetro للربط بين ثلاث محافظات (القاهرة - الجيزة - القليوبية)، وهما خط شبرا - المنيب، وحلوان - المرج، ومطار القاهرة - جامعة القاهرة، وتكمن الخطورة على السكك الحديدية وخطوط المترو في أن مياه الفيضان تسبب ضغط على البنية الخاصة بهذه الخطوط؛ حيث تتوغل المياه بين الفراغات الموجودة بين القطع الصخرية التي يتكون منها الخط، وبالتالي تؤدي إلى عدم إستقرارها وهبوطها لأسفل، فضلاً عن تهالك السكك الحديدية في مصر، ويوضح خريطة (8) و (9) إجمالي السكك الحديدية و خطوط المترو التي تأثرت بالفيضان في السيناريو الأول، حيث غمر 15 خط سكة حديدية من إجمالي عدد السكك الحديدية في مصر، فضلاً عن غرق خطوط المترو بالكامل وذلك في السيناريو الأول.

- 4- تمتلك مصر نصف آثار العالم والتي يتركز أغلبها على طول وادي النيل خاصة في أسوان والأقصر، ذلك الإرث الحضاري الكبير لم يستثنى من الفيضان، فقد تراوح ارتفاع منسوب المياه في أسوان والأقصر والتي تضم أغلب الآثار التاريخية ما بين 130 : 180 متر ووصل منسوب الفيضان في منطقة تل العمارنة إلى 125 متر وذلك في السيناريو الأول. وتعرض خريطة (10) أهم المواقع الأثرية التي تضررت من الفيضان.
- 5- تعد الجزر النيلية من أهم الظواهر المورفولوجية المميزة لنهر النيل، وهي من أكثر الظواهر المورفولوجية تغيراً في أبعادها وحركتها، ويرجع ذلك إلى العوامل الطبيعية المتمثلة في الجريان وما يرتبط بها من تغيرات في حمولة النقل والنحت والترسيب. وتتميز سطوح هذه الجزر بسيادة الإنحدارات الخفيفة، وشدة إنحدار جوانبها المطلة على نهر النيل. وتستغل هذه الجزر في الزراعة والعمارة. تعرضت الجزر بأكملها للغمر في السيناريوهات، ويرجع ذلك لأن مناسبتها تقع في مناسيب أدنى من منسوب الفيضان الناجم عن إنهيار السد العالي، وبالتالي سكان هذه المناطق يصعب توفير وسائل إنقاذ سريعة لهم.

التوصيات :

- 1- تفعيل نظام للإنذار المبكر للفيضانات بالتنسيق مع دول حوض النيل، حتي يؤتي ثماره في الوقت الحرج.
- 2- إعداد خطة طوارئ مع السلطات المحلية (المحافظات) لتنظيم إجراءات الإخلاء السريع.
- 3- رفع مستوى تدريب وتأهيل الكوادر البشرية العاملة في مجال إدارة الكوارث، وأيضاً رفع وعي المواطنين بالكوارث، ورفع قدراتهم وتدريبهم للتصدي لها حال حدوثها.

- 4- إعادة تأهيل وهيكلة بعض المنشآت المقامة على نهر النيل أو إزالتها إذا دعت الحاجة لذلك، بسبب تأثيرها السلبي في حالة الإنهيار؛ حيث أنها تسبب اختناق كبير يزيد من ارتفاع مستوى الغمر.
- 5- حماية ضفاف النيل ورفع منسوبها.
- 6- إزالة التعديات على نهر النيل، ووضع قوانين صارمة لذلك، وتطوير المباني بحيث تقاوم الفيضانات إلى حد ما.
- 7- دراسة مشروع منخفض القطار كبحيرة جديدة موازية ومكملة لبحيرة ناصر.
- 8- زيادة القدرة الإستيعابية لمنخفضات توشكى لتكون بحيرة جديدة موازية لعمل بحيرة ناصر حال الكوارث.
- 9- انشاء مطارات للطوارئ (طيران شارتر) بديل للمطارات التي ستعرض للغمر، لأنها ستكون غاية في الأهمية في عمليات الإنقاذ السريع.

في النهاية لابد من دراسات مستفيضة ومنتالية ودورية لمجرى نهر النيل مع توقيع كافة المنشآت المقامة عليه بشكل متكامل، ووضع خطة طوارئ شاملة آخذه في الإعتبار الدراسات السابقة لتطوير المنطقة والتخفيف قدر الإمكان من اخطار حدوث الإنهيار، مع التأكيد على حتمية تعاون التخصصات المختلفة في هذا المجال لدردء الخطر عن الجميع.

المراجع

أولاً - المراجع العربية :

- 1- أحمد سالم، 1979، بحيرة السد العالى دراسة في الجغرافية الطبيعية، رسالة ماجستير، كلية الآداب، جامعة عين شمس.
- 2- جامعة القاهرة، 1990، ندوة أزمة مياه النيل وتحديات التسعينات، من 24-25 مارس.
- 3- رشدي سعيد، 1992، نهر النيل نشأته واستخدام مياهه فى الماضى والمستقبل، القاهرة.
- 4- طاهر محمد أبو الوفا، 1967، مشروع السد العالى، وزارة السد العالى.
- 5- محمد محمود طه، 1988، الآثار الجانبية للسد العالى، رسالة ماجستير، كلية الآداب، جامعة عين شمس.
- 6- هناء نظير علي، 1999، التغيرات البيئية في منطقة بحيرة ناصر دراسة جغرافية، رسالة دكتوراة، كلية الآداب، جامعة الأسكندرية.

ثانياً - المراجع غير العربية :

- 1- Abdel Azim Abul-Atta (1978), "Egypt and the Nile after construction of the High Aswan Dam", Text Book, Ministry of Water Resources and Irrigation, Egypt.
- 2- Ahmed, A. A. (1960). Analytical study of the storge losses in the Nile basin, with special reference to Aswan Dam reservoir and the High Dam reservoir.(SADD-EL-AALI).Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 17(2), 181-200.
- 3- B.de Saint Venant. 1871, Theorie du mouvement non-permanent des eaux avec application aux crues des rivi eres at an introduction dus mar ées dans l'ur lit. Acad.Sci. Comptes Rendus Paris, 73: 147-154.
- 4- Cunderlike, J.M. and Simonovic, S.P., 2003, Assessment of water resources risk and vulnerability to changing climatic conditions: Hydrologic model selection for the CFCAS project. Report No. 1, The University of Western Ontario, London, Ontario, Canda.
- 5- Delft Hydraulics (2009), "SOBEK manual Help", Technical Reference Manual. Delft Hydraulics, IHE, Delft, the Netherlands.

- 6- Dhondia, J.F. and Stelling, G.S., 2002, Application of one dimensional - two dimensional integrated hydraulic model for flood simulation and damage assessment. Proceedings of the fifth International Conference on Hydro informatics, Cardiff, 1: 265-276.
- 7- ICOLD Bulletin 99 (1995), "International Commission on Large Dams, Dam Failure Statistical Analysis". Bulletin 99, 73 pp.