

التحليل الهيدرولوجي لأحواض التصريف المؤثرة على بحيرة سد النهضة باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والنمذجة الهيدرولوجية

إعداد

د/ أحمد كمال أحمد عبدالحميد

معهد بحوث الموارد المائية - المركز القومي لبحوث المياه - وزارة الموارد المائية والري - مصر

Doi: 10.12816/jasg.2019.54063

قبول النشر: ١٥ / ٩ / ٢٠١٩

استلام البحث: ٩ / ٨ / ٢٠١٩

المستخلص:

يهتم البحث بدراسة الخصائص المورفولوجية والهيدرولوجية لمنطقة بحيرة سد النهضة بإثيوبيا التي ستحجز جزءاً كبيراً من حصة مصر المائية التي تخزنها في بحيرة ناصر سنوياً. وعليه ستنتم الدراسة الهيدرولوجية لإيراد النهر حتى موقع سد النهضة وأحواض التصريف التي تصب في بحيرته عند أقصى منسوب وهو ٦٥٥ م فوق مستوى سطح البحر. وتعتمد منهجية الدراسة على إعداد التحليل الهيدرولوجي للأحواض المائية المغذية لمنطقة بحيرة سد النهضة من خلال إجراء العديد من الخطوات تتمثل بداية في التحليل الميئيورولوجي للأمطار المتسببة في الجريان السطحي. ثم التحليل المورفولوجي لخصائص أحواض وشبكات التصريف، وأخيراً التحليل الهيدرولوجي لتحديد حجم الجريان والتصرفات المائية باستخدام النموذج الهيدرولوجي WMS الذي يساعد في استخراج العديد من المعاملات المورفومترية والهيدرولوجية للأحواض وأهمها (معدل الانحدار - أطول مسار مياه - معامل الشكل - زمن التأخير - زمن التركيز) ، وتساعد هذه المعاملات في حساب منحنى الجريان المائي (Hydrograph) الذي من خلاله يتم تحديد معدلات التصريف وزمن التصريف وحجم المياه للأحواض المؤثرة على منطقة بحيرة سد النهضة.

الكلمات المفتاحية: التحليل الإحصائي للأمطار. هيدروجراف التصريف. الميزانية المائية. حوض النيل الأزرق.

الدراسات السابقة :

١- أحمد شلش. رسال دكتوراه بعنوان " **Simulation model technique for decision support system within upper Nile** المنوفية. عام ٢٠١٣. حيث تناولت العناصر الهيدرولوجية المختلفة والتأثيرات المحتملة لها على السدود بحوض النيل وذلك باستخدام نموذج المحاكاة الرقمي "Ribasim".

٢- أيمن بطيشة. (**Sustainability Assessment of Grand Renaissance Dam: Regarding Landslides in Ethiopia** International Journal of Sustainability. Volume 2. No 1. June 2013. حيث تناول البحث تقييم وتحليل أخطار الانهيارات الأرضية الناجمة عن التساقط المطري على المنحدرات القريبة من النيل الأزرق بإثيوبيا. ومدى تأثيرها على معامل أمان سد النهضة الإثيوبي والبيئة المحيطة به.

٣- Asegdew G. Mulat and Semu A. Moges (**Assessment of the Impact of the Grand Ethiopian Renaissance Dam on the the Impact of the Grand Performance of the High Aswan Dam** Journal of Water Resource and Protection. 2014. 6. 583-598. وتناول البحث الهدف تقييم التأثير المحتمل لسد النهضة على أداء السد العالي أثناء مراحل الملء والتشغيل باستخدام نموذج المحاكاة (Mike Basin river simulation model).

أهداف الدراسة :

١- تحليل مدخلات ومخرجات النظام الهيدرولوجي المؤثر على سد النهضة وبحيرته.
٢- الخروج بتحليلات دقيقة تفيد صانع القرار في تقييم الوضع المائي عند سد النهضة.

أساليب الدراسة :

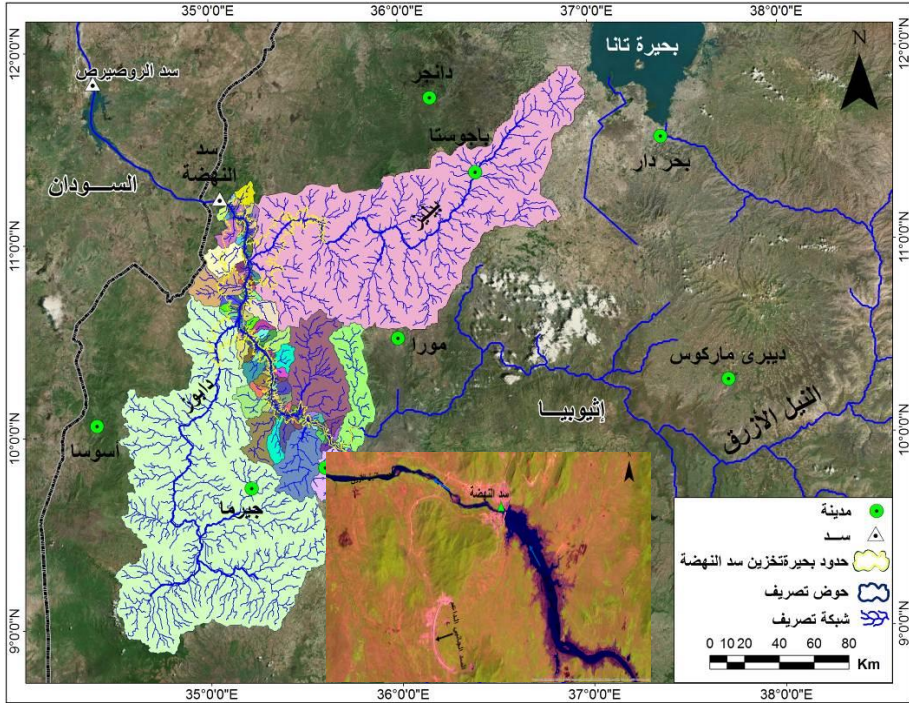
يستخدم البحث عدد من الأساليب التي تساهم في تحقيق أهداف الدراسة أهمها. الأسلوب الوصفي للظواهر. والأسلوب الكمي لتحليل الظواهر المختلفة وتطبيق المعادلات الرياضية والإحصائية لاستخلاص النتائج. إضافة إلى الأسلوب الكارتوجرافي واستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد والنماذج الهيدرولوجية.

أولاً:- الموقع والعلاقات المكانية

يقع سد النهضة في ولاية بينشنگول جومز (Benishangul-Gumuz) في أقصى شمال غرب إثيوبيا بالقرب من الحدود السودانية بنحو ١٨ كم وذلك داخل حوض النيل الأزرق الذي يغطي معظم إثيوبيا إلى الغرب من خط طول ٤٠° شرقاً، ويقع السد عند دائرة عرض ٥٦° ١٢' ١١" شمالاً وخط طول ٣١° ٥٠' ٥٣" شرقاً

وعلى إرتفاع ٥٠٥ م فوق منسوب سطح البحر، وتمتد بحيرته عند أقصى منسوب لها ٦٥٠ م فوق سطح البحر بين دائرتي عرض ١٠° و ١٢°١٢' شمالاً في مسافة تقدر بنحو ١٨٠ كم وبين خطي طول ٣٥° و ٣٥°٥٠' شرقاً وذات حجم تخزين نحو ٧٤ مليار م^٣، وقد ساعد موقع المنطقة بالهضبة الإثيوبية في شرق القارة إلى تأثرها بالمسطحات المائية وهي المحيط الهندي والبحر الأحمر وبالمناخ الموسمي شرق القارة ذو ذروة المطر في فصل الصيف من يونيو إلى سبتمبر ثم يليه فصل جفاف طويل حتى مارس (محمد عبدالغنى سعودي. ٢٠٠٣. ص ٣٥٦).

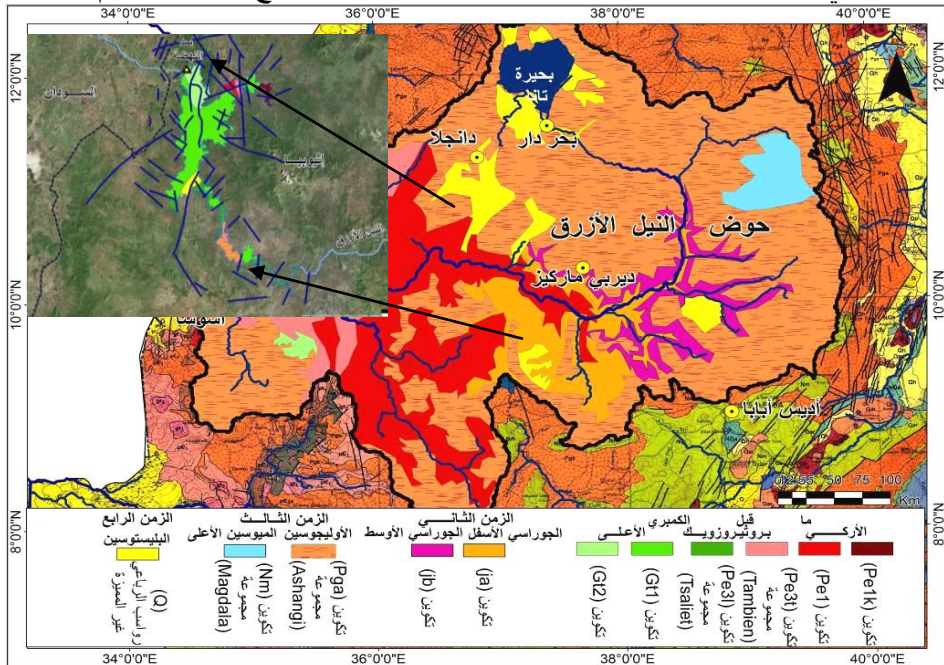
بحيرة سد النهضة



المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على تحليل نموذج الإرتفاع الرقمي (DEM) بدقة ٣٠ م، وصور القمر الصناعي Sentinel-1 تاريخ ٢٠-٩-٢٠١٠ أثناء فترة الملاء التجريبي للبحيرة.

شكل (١) موقع سد النهضة وبحيرة تخزينه ونظم التصريف المائية المؤثرة عليهما
يوضح موقع منطقة الدراسة على الخريطة الجيولوجية لدولة إثيوبيا مقياس ١ : ٢ مليون أنها تقع شمال غرب الأخدود الإفريقي بنحو ٥٠٠ كم، وتضم المنطقة

تكوينات جيولوجية معقدة حيث تنتمي لمجموعة الصخور النارية البركانية الصلبة التي تتميز بقلة النفاذية المائية عبرها وتمثلها صخور ما قبل الكامبري ثم الزمن الثالث بإجمالي ٩٦٪ من إجمالي مساحة التكوينات الصخرية بينما النسبة المتبقية وهي ٤٪ تنتمي للزمن الرابع وهي رواسب حديثة تنتشر خاصة بالقرب من مجاري الأودية. كما يتضح أن البنية الجيولوجية للمنطقة أهمها الصدوع المؤثرة عليها تنتشر على مستوى أحواض التصريف وتتماشى مع مسارات الأودية التي ترفد النيل الأزرق كما تحيط بالبحيرة من جميع الجهات وتخترقها في النطاق الأوسط والشمالى بحيرة التخزين ويبلغ عددها نحو ٦٥ صدعاً وإجمالي أطوالها ١٢١١,٢ كم، وتشير البنية الجيولوجية من الصدوع والفواصل والشقوق إلى احتمالية حدوث نشاط زلزالي بعد نشأة بحيرة السد وضغط عمود المياه الناشئ على اليابس، إضافة إلى حجم الرواسب الكبيرة التي ستدخل للبحيرة وتأثيرها على السعة التخزينية لها مع مرور الأعوام.



المصدر: من إعداد الطالب اعتماداً على الخريطة الجيولوجية لدولة إثيوبيا مقياس ١ : ٢ مليون بعد إعادة إسقاطها Geofrncing وتحليلها داخل برنامج (ArcGIS).

شكل (2) موقع منطقة سد النهضة وبحيرته داخل الخريطة الجيولوجية لدولة إثيوبيا

ثانياً: التحليل الإحصائي لبيانات الأمطار

يعتمد التحليل الإحصائي للأمطار على تجميع بيانات محطات الأمطار المتاحة حول منطقة بحيرة سد النهضة. وبواسطة طريقة حساب نطاقات التأثير Thiessen Method (D. Han and M. Bray, 2006, p.1) وُجد أن عدد المحطات المؤثرة على أحواض التصريف التي تصب بالبحيرة تبلغ ٥ محطات هي (الروصيرص- كورمك- أسوسا- سايو- دانجيلا)، ويوضح الجدول (١) بيانات متوسطات قيم المطر الشهرية على مدار العام للبيانات المتاحة للمحطات في الفترة بين عامي ١٨٩٨م و ٢٠٠٧م.

جدول (١) متوسط التساقط المطري (مم) على محطات الأرصاد المؤثرة على منطقة بحيرة سد النهضة بين عامي ١٨٩٨ م و ٢٠٠٧ م

المتوسط السنوي	الخريف			الصيف			الربيع			الشتاء			الشهر المحطة
	نوفمبر	أكتوبر	سبتمبر	أغسطس	يوليو	يونيو	مايو	أبريل	مارس	فبراير	يناير	ديسمبر	
١٠٣.٠	٢١	١٣٢	١٩٤	٢٣٧	٢٣٤	١٩٤	١٣٤	٦٠	٢٣	٤	١	٢	أسوسا
٨٣.١	٢٥.٩	١٠٦.٠	١٥٧.٠	٢٠٦.٣	١٧١.٠	١٤٦.٠	١٠٩.٠	٣٤.٠	١٩.٨	٧.٤	٠.٠	١٢.٧	كورمك
٦٣.١	١١.١	٣٥.٣	١٣٨.٠	١٩٥.١	١٦٩.٠	١٢١.٠	٥٠.٠	١٨.٠	٩.٤	٧.٧	٠.١	٠.٠	الروصيرص
١٠٩.٧	٤٧.٢	٧٨.٦	١٤٠.٠	٢٠٦.٤	١٨٥.٠	١٩٠.٠	١٨٩.٠	١٣٣.٠	٦٢.٨	٣٦.٨	١٩.٠	٢٥.٦	سايو
١٢١.٧	٤٥.٨	٨٢.٤	٢٠٣.٠	٣٠٩.٢	٣١٧.٠	٢٢٧.٠	١٥١.٠	٦٢.٠	٣٢.٧	١٤.٠	٧.٧	٦.٣	دانجيلا
٩٦.١	٣٠.٢	٨٧.٠	١٦٦.٠	٢٣٠.٨	٢١٥.٠	١٧٦.٠	١٢٦.٠	٦١.٠	٢٩.٥	١٤.٠	٥.٧	٩.٣	المتوسط
٩٦.١	٩٤.٦			٢٠٧.٥			٧٢.٧			٩.٧			متوسط الفصول

المصدر : من إعداد الباحث اعتماداً على بيانات معهد بحوث الموارد المائية بالمركز القومي لبحوث المياه. والمنظمة الدولية للأرصاد الجوية (WMO).

توضح الخطوات التالية الطريقة التي تم اتباعها لاستخراج متوسط قيم التساقط المطري بمحطات الأمطار ونطاقات تأثيرها على مستوى منطقة الدراسة:

- ١- تحديد المتوسطات الشهرية لكل محطة على مدار سنوات الدراسة المتاحة لها.
- ٢- تحديد مساحة نطاق تأثير كل محطة على أحواض التصريف المؤثرة على منطقة الدراسة. واستنتاج النسبة المئوية لكل محطة بالنسبة للأخرى.
- ٣- ضرب متوسط قيمة مطر كل محطة في النسبة المئوية لمساحة تأثير المحطة وقسمتها على ١٠٠٪.

- ٤- جمع نواتج قيم كل محطة عند كل زمن تكراري ثم قسمة مجموع هذه القيم على إجمالي مساحة أحواض التصريف المؤثرة على المنطقة لاستخراج قيم المطر. ويوضح الجدول (٢) التحليل الإحصائي لحساب متوسط قيم المطر الذي يسقط على أحواض التصريف التي تصب في بحيرة سد النهضة كما يلي:.

جدول (٢): التوزيع المكاني لمتوسط قيم التساقط المطري (مم) للمحطات المؤثرة على أحواض التصريف التي تصب في بحيرة تخزين سد النهضة

م	المحطة	دانجيبلا	الروصيرص	كورمك	أسوسا	سايبو	المتوسط	
١	المتوسط الشهري للمحطة خلال موسم الفيضان (مم)	٢١٥.٢	١١٨.٤	١٤٩.٥	١٨٧.٥	١٦٥.٢	١٦٧.٢	
	المتوسط الشهري للمحطة خلال موسم الجفاف (مم)	٢٨.٢	٧.٩	١٦.٦	١٨.٥	٥٤.٢	٢٥.١	
٢	مساحة الأحواض داخل نطاق تأثير المحطة (كم ^٢)	١٠٣٤	١٢١٩.٣	٢٧٩٢.٤	١٧٥٧	٤٠٥٦.٢	الإجمالي ٣٥٩٨٨.١	
	% لمساحة نطاق تأثير المحطة على الأحواض	٢٨.٧	٣.٤	٧.٨	٤٨.٨	١١.٣	١٠٠.٠	
٣	المطر الفعلي المؤثر على أحواض التصريف خلال موسم الفيضان (مم)	٦١.٨	٤.٠	١١.٦	٩١.٦	٦.١	-	
	المطر الفعلي المؤثر على أحواض التصريف خلال موسم الجفاف (مم)	٨.١	٠.٣	١.٣	٩.٠	٦.١	-	
٤	متوسط قيم المطر الفعلي على أحواض التصريف خلال موسم الفيضان (مم)	١٦٩.٠٤					-	-
	متوسط قيم المطر الفعلي على أحواض التصريف خلال موسم الجفاف (مم)	١٨.٧					-	-

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على بيانات الجدول (١).

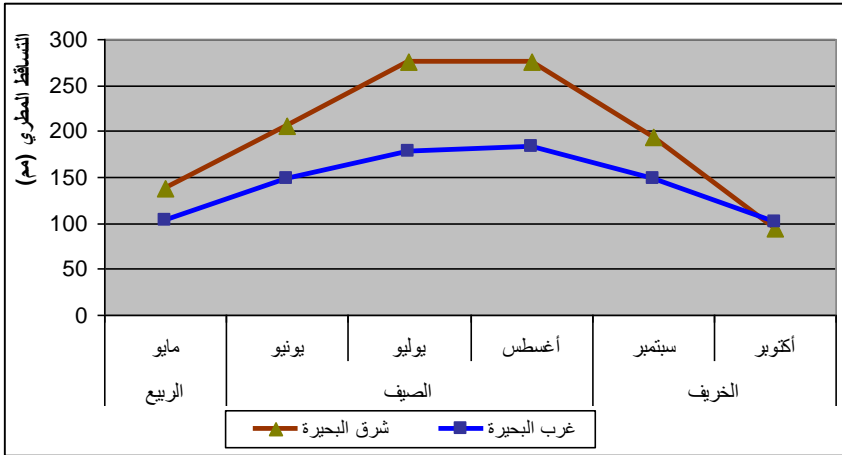
بناءً على نتائج تحليل الجدول (٢) تبين أن متوسط قيم الأمطار الساقطة على أحواض التصريف المؤثرة على منطقة الدراسة خلال موسم الفيضان بداية من شهر مايو حتى شهر أكتوبر تقدر بحوالي ١٦٩.٠٤ مم شهرياً، بينما تقدر بنحو ١٨.٧ مم شهرياً خلال أشهر موسم الجفاف بداية من شهر نوفمبر حتى بداية شهر مايو. ولزيادة الدقة في التحليل الإحصائي للأمطار تم استنتاج قيم متوسطات الأمطار على المستوى الشهري خلال موسم الفيضان بداية من شهر مايو حتى أكتوبر وذلك باتباع نفس الخطوات السابقة ولكن بتحليل قيم الأمطار للمحطات على مستوى كل شهر. ولزيادة الدقة المكانية في التحليل تم تحديد متوسطات المطر الساقطة على كل من أحواض شرق وغرب بحيرة التخزين وحساب متوسطات الأمطار الساقطة على كل منهما كما هو موضح في الجدول (٣).

جدول (٣): التوزيع الزمني لمتوسط قيم التساقط المطري (مم) للمحطات المؤثرة فعلياً على أحواض التصريف الشرقية والغربية خلال أشهر موسم الفيضان

المتوسط (مم)	الخريف		الصيف			الربيع	الشهر الموقع
	أكتوبر	سبتمبر	أغسطس	يوليو	يونيو	مايو	
١٩٦.٨	٩٤.٧	١٩٣.١	٢٧٤.٩	٢٧٤.٨	٢٠٦	١٣٧.٢	شرق
١٤٣.٧	١٠.١	١٤٨.٩	١٨٣.١	١٧٨.٢	١٤٨	١٠٢.٧	غرب
١٧٠.٢	٩٧.٨٥	١٧١	٢٢٩	٢٢٦.٥	١٧٧	١١٩.٩٥	المتوسط

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على بيانات الجدول (٢).

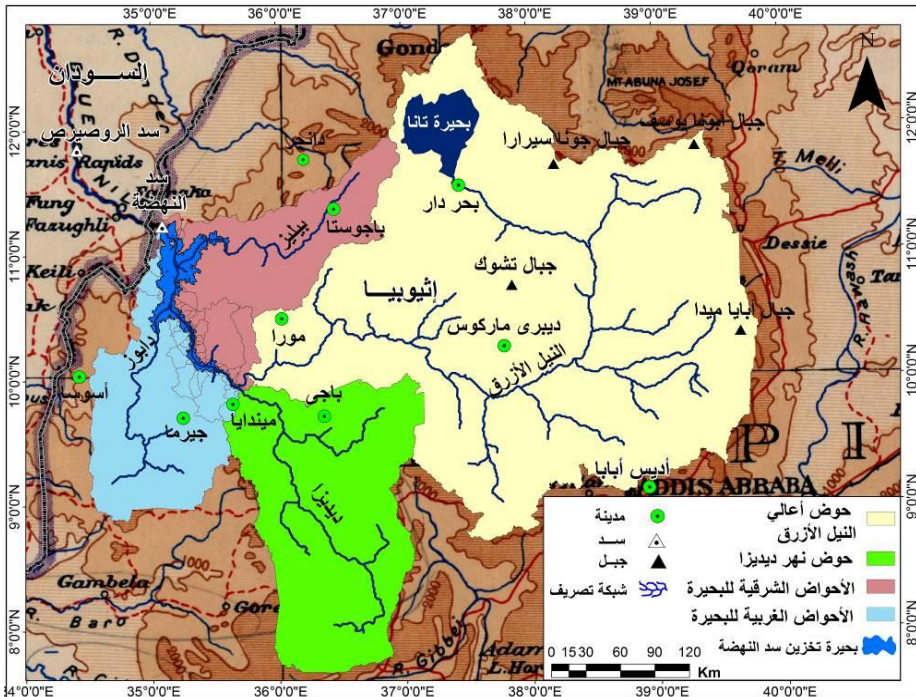
يتضح من الجدول (٣) أن ذروة موسم تساقط الأمطار خلال موسم الفيضان يبلغ ٢٧٤.٩ مم و ٢٧٤.٨ مم خلال شهري أغسطس ويوليو بالتوالي على أحواض شرق البحيرة ثم تنخفض تدريجياً حتى تصل إلى ٩٤.٧ مم في شهر أكتوبر. بينما بلغت ذروة التساقط المطري على الأحواض الغربية نحو ١٨٣.١ مم و ١٧٨.٢ مم خلال شهري أغسطس ويوليو بالتوالي ثم تنخفض القيم حتى تصل أدناها في شهر أكتوبر لتبلغ ١٠.١ مم ، ليتضح أن معدلات التساقط المطري على الأحواض الشرقية أعلى من نظيرتها على الأحواض الغربية



المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على بيانات الجدول (٣).

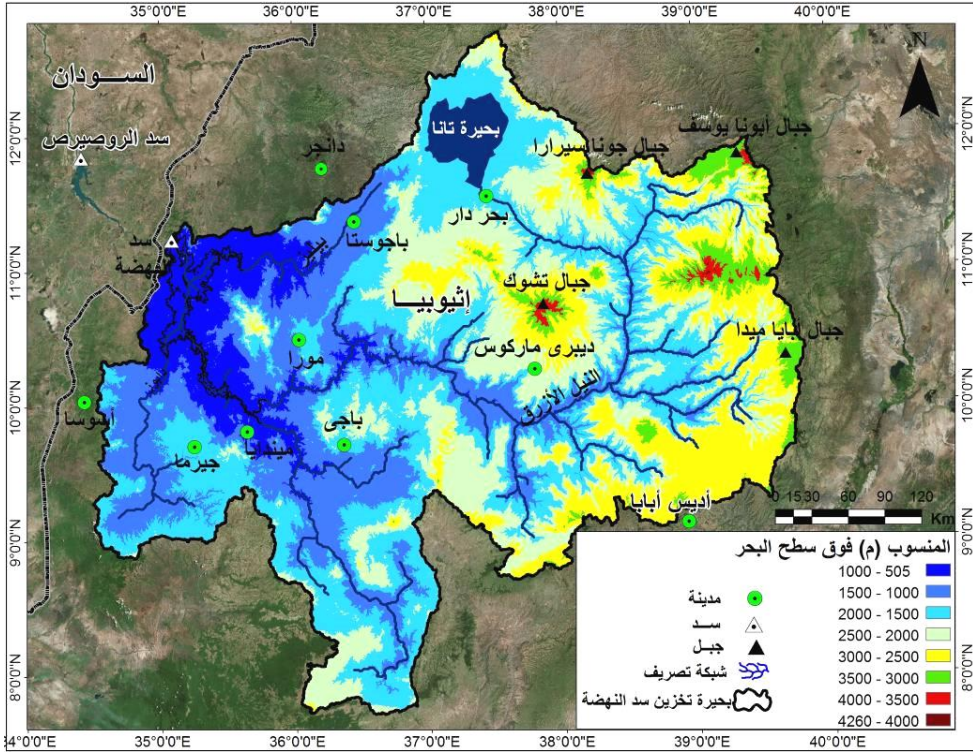
شكل (٣): التوزيع الزمني لمتوسط قيم التساقط المطري (مم) للمحطات المؤثرة فعلياً على أحواض التصريف الشرقية والغربية خلال أشهر موسم الفيضان

ثالثاً: التحليل المورفومتري لأحواض التصريف على جانبي بحيرة سد النهضة
يعد النموذج الهيدرولوجي (WMS 10) المتوافق مع برنامج (Arc GIS) من البرامج الهامة في دراسة الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لأحواض التصريف عن طريق تحليل نموذج الارتفاع الرقمي (ASTER DEM) ذو دقة تفريقية ٣٠م، وقد تم تحديد النظام الهيدرولوجي المؤثر على بحيرة التخزين حيث يقع الحد الشمالي للبحيرة عند موقع سد النهضة ومن الجنوب أعالي حوض النيل الأزرق الذي يغذي منطقة الدراسة بحوضي تصريف رئيسيين هما حوض النيل الأزرق الأعلى القادم من بحيرة تانا و حوض نهر ديديزا من الجنوب، ويلتقيان معاً عند الطرف الجنوبي لبحيرة سد النهضة. في حين أن منطقة البحيرة يصب بها من الجانب الشرقي عدد ١١٧ حوض تصريف ثانوي بينما الجانب الغربي يصب به عدد ١٠٠ حوض تصريف، ومن ثم سيتم دراسة هذه الأحواض لمعرفة خصائص النظام الهيدرولوجي للمنطقة، ويوضح الشكل (4) أحوض التصريف كما يلي:



المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على نتائج التحليل الهيدرولوجي لأحواض التصريف باستخدام برنامج WMS وتحليل نموذج الإرتفاع الرقمي Aster DEM والخريطة الطبوغرافية ١ : ١٠٠٠٠٠٠٠ لإثيوبيا.

شكل (4): أحواض التصريف الرئيسية المؤثرة على منطقة بحيرة سد النهضة ويوضح الشكل (5) تضاريس حوض النيل الأزرق عبر تحليل نموذج الإرتفاع الرقمي للمنطقة كما يلي:-



المصدر: من إعداد الطالب اعتماداً على نموذج الإرتفاع الرقمي ASTER GDEM ذو دقة ٣٠ م.

الشكل (5) نموذج الارتفاعات الرقمية لحوض النيل الأزرق بإثيوبيا ومنطقة سد النهضة

١. الخصائص المساحية لأحواض التصريف. *Basin Area*

١-١ مساحات أحواض التصريف.

يصب في بحيرة سد النهضة العديد من أحواض التصريف المتفاوتة في المساحة. ويبلغ إجمالي عددها نحو ٢١٧ حوض مساحتها ٤ ٣٦٩٨٢ كم^٢ ويستحوذ الجانب الشرقي للبحيرة على ٥١.٦٪ من إجمالي مساحة الأحواض بينما الجانب الغربي ٤٨.٨٪، وعليه تم تحليل نتائج النموذج الهيدرولوجي WMS وتصنيف مساحات الأحواض إلى ٥ فئات باستخدام برنامج ArcGIS كما موضح في الجدول (٤):-

جدول (٤): تصنيف مساحات أحواض التصريف المؤثرة على بحيرة سد النهضة

الإجمالي		أحواض غرب البحيرة			أحواض شرق البحيرة			الفئة المساحة (كم ^٢)
العدد	المساحة كم ^٢	العدد	المساحة كم ^٢	العدد	المساحة كم ^٢	المساحة كم ^٢		
١٦٣	٧٤١.٤	٧٥	٣٤١.١	٨٨	٤٠٠.٣	صفر - ٢٠		
٣٠	٩٠٧.٥	١١	٣١٤	١٩	٥٩٣.٥	٢٠ - ٥٠		
٦	٣٩٦	٣	٢٠٠.٤	٣	١٩٥.٦	٥٠ - ١٠٠		
١٣	٢٨٤٦	٩	٢٢٣٧.٧	٤	٦٠٨.٣	١٠٠ - ٥٠٠		
٥	٣٢٠٩١.٥	٢	١٦٠٠٣.١	٣	١٦٠٨٨.٤	أكبر من ٥٠٠		
٢١٧	٣٦٩٨٢.٤	١٠٠	١٩٠٩٦.٣	١١٧	١٧٨٨٦.١	الإجمالي		

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على نتائج التحليل الهيدرولوجي لأحواض

التصريف باستخدام برنامج WMS.

٢-١ أطوال أحواض التصريف. *Basins Length*

تتأثر أطوال الأحواض في المنطقة بعدة عوامل منها اتجاهات المجاري المائية وعمليات النحت التراجعي. كما يؤثر طول الحوض على عملية الجريان السطحي للمياه حيث أنه يحدد الفترة الزمنية التي يُصَرَّف خلالها الحوض مياهه وزمن وصولها إلى المخرج لنجد أن ٩٢.٢٪ من إجمالي عدد الأحواض يقل معدل أطوالها عن ٢٠ كم مما يساعد على وصول المياه إلى مصباتها في فترة زمنية قليلة إضافة إلى ارتفاع معدل انحدار هذه الأحواض، ويوضح الجدول (٥) نتائج برنامج WMS وتصنيف فئات أطوال أحواض التصريف باستخدام برنامج ArcGIS كما يلي:-

جدول (٥): تصنيف أطوال أحواض التصريف المؤثرة على بحيرة سد النهضة

متوسط الطول	الإجمالي		أودية غرب البحيرة			أودية شرق البحيرة			الفئة الطول (كم)
	%	العدد	متوسط الطول	%	العدد	متوسط الطول	%	العدد	
٤	٨٢.٥	١٧٩	٣.٩	٨٠	٨٠	٤.١	٨٤.٦	٩٩	١٠ - ١٠
١٢.٦	٩.٧	٢١	١٢.٤	٩	٩	١٢.٨	١٠.٣	١٢	٢٠ - ٢٠
٢٥.٢	٦.٠	١٣	٢٨.٤	١٠	١٠	٢١.٩	٢.٦	٣	٥٠ - ٥٠
١٥٥.٣	١.٨	٤	١٩٦.٤	١	١	١١٤.١	٢.٦	٣	أكبر من ٥٠
-	١٠٠	٢١٧	-	١٠٠	١٠٠	-	١٠٠	١١٧	الإجمالي

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على نتائج التحليل الهيدرولوجي لأحواض التصريف بإستخدام برنامج WMS.

٣-١ محيط أحواض التصريف. Basins Perimeter

يتم تحديد محيط الحوض بطول خط تقسيم المياه الذي يفصل بين أحواض التصريف وبعضها. ووفقاً لنتائج برنامج WMS يوضح الجدول (٦) أن نحو ٩٠.٣% من عدد الأحواض يقل أطوال محيطها عن ٥٠ كم لتندرج تحت الفئات الأولى والثانية والثالثة مما يعني صغر الحيز الذي تشغله هذه الأحواض ووصول مياهها إلى مصباتها في النيل الأزرق خلال فترة قصيرة وبالتالي شدة خطورتها، بينما ٩.٦% من عدد الأحواض يرتفع معدل أطوالها عن ١٠٠ كم وهي أحواض مترامية الأبعاد مما يوضح التباين بين محيط الأحواض في المنطقة وتباين المراحل العمرية التي تمر بها الأحواض واختلاف العمليات الجيومورفولوجية فيما بينها.

جدول (٦): تصنيف أطوال محيطات أحواض التصريف المؤثرة على بحيرة سد النهضة

متوسط الطول	الإجمالي		أودية غرب البحيرة			أودية شرق البحيرة			الفئة الطول (كم)
	%	العدد	متوسط الطول	%	العدد	متوسط الطول	%	العدد	
٧.٧	٣٣.٦	٧٣	٧.٨	٣٩	٣٩	٧.٦	٣٤.٣	٣٤	١٠ - ١٠
١٣.٧	٣٣.٢	٧٢	١٢.٧	٣٨	٣٨	١٤.٦	٣٤.٣	٣٤	٢٠ - ٢٠
٣١.٥	٢٣.٥	٥١	٣١.٨	٣٢	٣٢	٣١.٢	١٩.٢	١٩	٥٠ - ٥٠
٧٨.٦	٥.٥	١٢	٧٤.٣	٦	٦	٨٢.٩	٦.١	٦	١٠٠ - ١٠٠
٣٩٧.٤	٤.١	٩	٥٠٢.٦	٣	٣	٢٩٢.١	٦.١	٦	أكبر من ١٠٠
-	١٠٠	٢١٧	-	١٠٠	١٠٠	-	١٠٠	١١٧	الإجمالي

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على نتائج التحليل الهيدرولوجي لأحواض التصريف باستخدام برنامج WMS.

٢ - الخصائص الشكلية لأحواض التصريف. *Basin shape*

١-٢ معامل الشكل Form Factor

يعد معامل الشكل مقياساً مهماً يشير إلى مدى تناسق وانتظام الشكل العام للحوض. وقد قام (Horton. 1932. pp. 353) بوضع معادلة لتحديد شكل الحوض حيث إن اقتراب الناتج من (١) صحيح يعني أن الحوض أقرب إلى الشكل المنتاسق وإذا انخفض نحو الصفر فهو أقرب لعدم التناسق. معتمداً في ذلك على العلاقة بين متغيرين هما المساحة وطول الحوض كما توضحه المعادلة التالية:

$$\text{معامل الشكل} = \frac{\text{مساحة الحوض كم}^2}{(\text{طول الحوض})^2}$$

جدول (٧): تصنيف أحواض التصريف وفقاً لمعامل الشكل

المتوسط	الإجمالي		أودية غرب البحيرة		أودية شرق البحيرة		الفئة	
	العدد	%	المتوسط	%	المتوسط	%	العدد	معامل الشكل
٠.٢٣	٩٦	٤٤.٤	٠.٢٤	٤٤	٤٤	٤٤.٤	٥٢	٠.٣ - ٠
٠.٣٤٥	٧٠	٣٢	٠.٣٥	٣٢	٣٢	٣٢.٥	٣٨	٠.٤ - ٠.٣
٠.٤٨	٥١	٢٣	٠.٤٧	٢٤	٢٤	٢٣.١	٢٧	١.٠ - ٠.٤
-	٢١٧	١٠٠	-	١٠٠	١٠٠	-	١١	المتوسط

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على نتائج التحليل الهيدرولوجي لأحواض التصريف باستخدام برنامج WMS.

يتضح أن الفئتين الأولى والثانية يضمنان نحو ٧٦.٥٪ من إجمالي عدد الأحواض ومعامل الشكل لها أقل من ٠.٤ مما يدل على أنها أحواض غير منتظمة الشكل. ومن الملاحظ أنهما يضمنان أكبر حوضين في المنطقة حيث وصل معامل الشكل لحوض نهر بيليز ٠.٢٨ بينما بلغ ٠.٣٩ لحوض نهر دابوز حيث تشير هذه القيم المنخفضة إلى اقتراب شكل الأحواض من شكل شبه المثلث، مما يساعد على تجمع مياه الأمطار في مناطق المنابع المتسعة وسرعة تدفقها نحو المصب مما ينجم عنها جريان شديد الخطورة. بينما قيم معامل الشكل للأحواض التي أكبر من ٠.٤ بلغ المتوسط العام لها ٠.٤٨ ومعنى ذلك أن هذه الأحواض تميل إلى أن تأخذ الشكل شبه المربع. مما يعني طول الفترة الزمنية اللازمة لوصول مياه الجريان إلى مخارج الأحواض وزيادة الفاقد بالتبخر بها. ويرجع هذا الاختلاف في معامل الشكل للأحواض إلى تباين الصخور والبنية الجيولوجية لها.

٢-٢ معدل الاستدارة Circulation Ratio

يوضح هذا المعامل مدى اقتراب شكل الحوض من شكل الدائرة، وقد استخدمت طريقة معادلة (Miller. 1953. P. 9) لحساب معدل الاستدارة. حيث كلما اقتربت القيم من الواحد الصحيح فإن الحوض يقترب من الشكل الدائري بينما القيم المنخفضة تدل على عدم انتظام شكل الحوض وزيادة تعرج خط تقسيم المياه مما يؤثر على أطوال المجاري المائية (حسن سلامة. ١٩٨٢. ص ٩).

معدل الاستدارة = مساحة الحوض (كم^٢) / مساحة دائرة لها نفس محيط الحوض (كم^٢)

جدول (٨): تصنيف أحواض التصريف وفقاً لمعامل الاستدارة

المتوسط	الإجمالي		أودية غرب البحيرة		أودية شرق البحيرة		الفئة معامل الاستدارة		
	%	العدد	المتوسط	%	العدد	المتوسط		%	العدد
٠.٤٥	١٤.٧	٣٢	٠.٤٧	١٥	١٥	٠.٤٣	١٤.٥	١٧	٠.٥ - ٠
٠.٥٩	٨٤.٣	١٨٣	٠.٥٩	٨٤	٨٤	٠.٥٨	٨٤.٦	٩٩	٠.٧ - ٠.٥
٠.٧٣٥	٠.٩	٢	٠.٧٤	١	١	٠.٧٣	٠.٩	١	١.٠ - ٠.٧
-	١٠٠	٢١٧	-	١٠٠	١٠٠	-	١٠٠	١١٧	المتوسط

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على نتائج التحليل الهيدرولوجي لأحواض التصريف باستخدام برنامج WMS.

يتضح مما سبق أن معامل الاستدارة لحوض نهر بيليز شرقاً بلغ ٠.٤٢ وحوض نهر دابوز غرباً ٠.٤٤ مما يدل على أن أكبر أحواض المنطقة وفقاً لهذا المعامل لا تميل إلى الاستدارة، بينما أحواض الفئة الثانية والثالثة يضمن ٨٥.٦% من إجمالي عدد الأحواض مما يدل على أنها تميل إلى الاستدارة وتتجمع مياه روافدها في منطقة مركزية واحدة لذا يصل الجريان إلى الوادي الرئيسي في وقت واحد، بالإضافة إلى زيادة كمية المياه بها مما ينتج عنها فيضانات كبيرة وسريعاً.

٣- الخصائص التضاريسية لأحواض التصريف Basins Relief

تساعد دراسة الخصائص التضاريسية لأحواض التصريف ومعاملاتها المختلفة في فهم العوامل التي ساعدت على نشأة الأحواض. وتحديد خصائص الجريان المائي وحركة المياه والرواسب بالأحواض، وتحديد المرحلة العمرية التي تمر بها.

٣-١ معدل التضرس Relief Ratio

يُعبّر معدل التضرس عن مدى التغير في ارتفاع وانخفاض سطح الحوض. ويشير بصورة مباشرة إلى درجة انحدار الحوض (Strahler 1957.p. 918)، وترتفع قيم هذا المعدل مع زيادة الفارق بين أدنى وأعلى نقطة في الحوض. ويتم حسابه من خلال تحليل نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) داخل برنامج ArcGIS باستخراج أعلى وأدنى نقطة في الحوض وطوله ثم تطبيق المعادلة التالية:

معدل التضرس = الفرق بين أعلى وأدنى نقطة في الحوض (م) / طول للحوض (كم)
(Schumm . 1956. p.612)

نظراً لكثرة عدد الأحواض في منطقة الدراسة البالغ عددها ٢١٧ حوض ومعظمها أحواض صغيرة المساحة. فسيتم تطبيق هذه المعادلة على حوضي نهرا دابوز غرباً ونهر بيليز شرقاً الذين يمثلان نحو ٨٠٪ من مساحة الأحواض، وتطبيق معدل التضرس على حوض نهر دابوز الذي يبلغ الفارق الرأسى به ٢٥١٩ م والإمتداد الطولي له يبلغ ١٩٦ كم ليبلغ معدل التضرس به (١٢.٨ م/كم). بينما حوض نهر بيليز يبلغ الفارق الرأسى به ٢١٧٧ م والإمتداد الطولي له يبلغ ٢٢٠ كم ليبلغ معدل التضرس به نحو (٩.٩ م/كم)، ليتضح أن معدل التضرس لحوض نهر دابوز أعلى من نظيره لحوض نهر بيليز، ويشير إنخفاض معدل التضرس للحوضين إلى شدة عمليات النحت واستمرارها بهما الأمر الذي يؤدي إلى تخفيض التضاريس بالمنطقة وبالتالي زيادة مساحة أحواض التصريف وأطوال مجاريها وزيادة النحت نحو المنابع وإمكانية حدوث عمليات أسر نهري.

٢-٣ نسبة الإنحدار Slope Ratio.

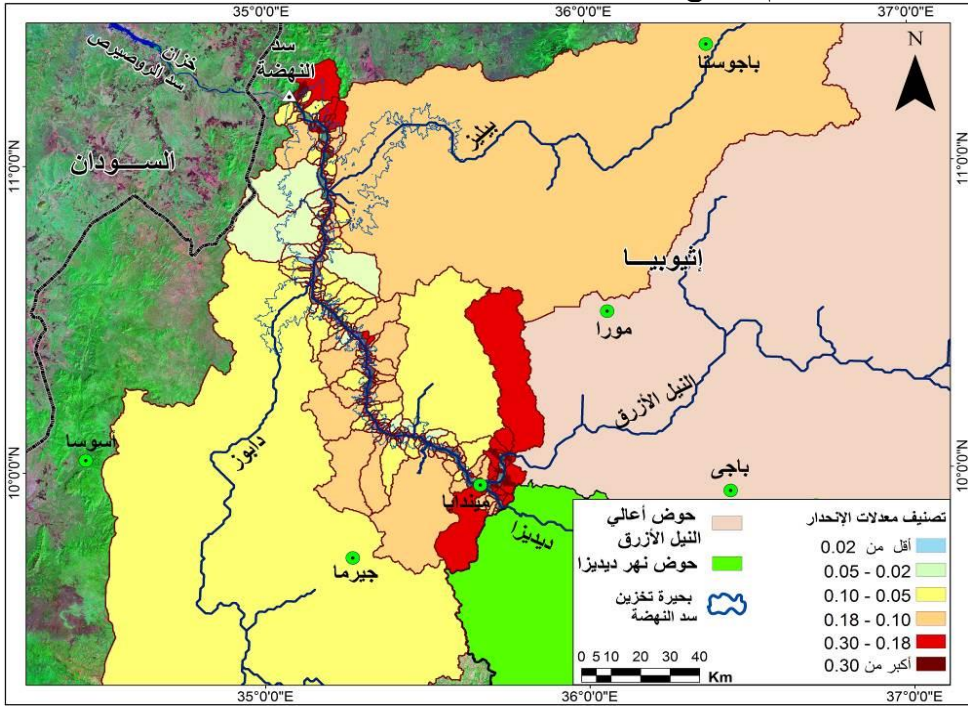
يعد هذا المعامل أحد مخرجات التحليل المورفومتري داخل برنامج (WMS) ويعبر عن مدى تضرس الحوض، ويمكن حسابه بقسمة المسافة الرأسية (الفرق بين أدنى وأعلى نقطة في الحوض بالمتري) على المسافة الأفقية (أقصى طول للحوض بالمتري). إضافة لذلك يمكن استخراج هذه القيم بواسطة نموذج الإرتفاع الرقمي (DEM) داخل برنامج ArcGIS.

ويوضح الجدول (٩) نتائج قيم نسب الإنحدار المستخرجة من برنامج (WMS) وتصنيفها وفقاً لتقسيم "Young" حيث يتضح أن نحو ٥١٪ من عدد الأحواض تقع ضمن الفئات الأقل من (٠.١٠ م/م أو ١٠٪) وهى معدلات انحدار متوسطة. بينما نجد أن ٤٩٪ من عدد الأحواض تزيد معدلات الانحدار بها عن (٠.١٠ م/م أو ١٠٪) لتعد أحواض شديدة الانحدار، ويبلغ معدل انحدار حوض نهر بيليز ٠.١٢ م/م. وحوض نهر دابوز ٠.٠٩ م/م، ليتضح أن معظم الأحواض تمر بمرحلة مبكرة من دورتها التحتانية وارتفاع معدل سرعة جريان المياه عبرها وقلة الفوائد بها وزيادة صافي الجريان لها نظراً لشدة صلابة الصخور بالمنطقة ذات النشأة البركانية في معظمها.

جدول (٩): تصنيف أحواض التصريف وفقاً لنسبة الإنحدار

المتوسط	الإجمالي		أودية غرب البحيرة			أودية شرق البحيرة			الفئة معدل الإنحدار (م/م)
	%	العدد	المتوسط	%	العدد	المتوسط	%	العدد	
٠.٠١٩	٠.٥	١	٠.٠	٠	٠	٠.٠١٩	٠.٩	١	صفر - ٠.٠٢
٠.٠٣٦	٢٥.٠	٥٤	٠.٠٣٨	٣١.٣	٣١	٠.٠٣٣	١٩.٧	٢٣	٠.٠٥ - ٠.٠٢
٠.٠٧٨	٢٥.٩	٥٦	٠.٠٧٨	٢٦.٣	٢٦	٠.٠٧٧	٢٥.٦	٣٠	٠.١٠ - ٠.٠٥
٠.١٣٥	٢٨.٧	٦٢	٠.١٤	٣٠.٣	٣٠	٠.١٣	٢٧.٤	٣٢	٠.١٨ - ٠.١٠
٠.٢٣٥	١٥.٣	٣٣	٠.٢٣	٩.١	٩	٠.٢٤	٢٠.٥	٢٤	٠.٣٠ - ٠.١٨
٠.٣٤	٤.٦	١٠	٠.٣٥	٣.٠	٣	٠.٣٣	٦.٠	٧	أكبر من ٠.٣٠

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على نتائج التحليل الهيدرولوجي لأحواض التصريف باستخدام برنامج WMS.



المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على نتائج التحليل الهيدرولوجي لأحواض التصريف باستخدام برنامج WMS والنتائج داخل برنامج ArcGIS، والمرئية الفضائية Landsat 8 ونموذج الارتفاع الرقمي DEM.

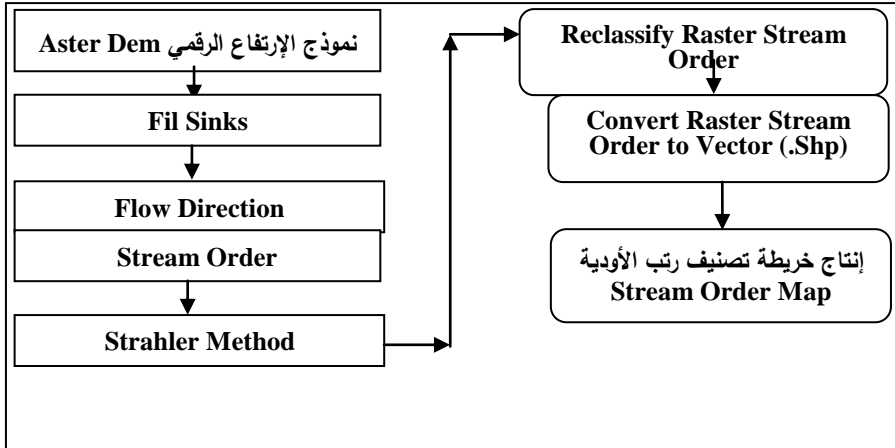
شكل (6): تصنيف أحواض التصريف وفقاً لنسبة الإنحدار

رابعاً: التحليل المورفومتري لشبكات التصريف المائي

سيتم تناول أهم المعاملات في تحليل خصائص شبكات التصريف المائي كما يلي:

١ - تحليل رتب الأودية: Stream Order Analysis.

يعد استخدام طريقة أستريلر (Strahler.1957.PP.914-916) في تصنيف رتب الأودية من الطرق الشائعة في التحليل بواسطة أدوات التحليل المكاني (Spatial Analysis) و (Hydrology) داخل برنامج ArcGIS وتقوم على اعتبار أن كل مجرى صغير لا ترفده روافد أصغر يعد رتبة أولى، وعندما يلتقي واديين من الرتبة الأولى يتكون مجرى من الرتبة الثانية، وإذا التقى واديين أو أكثر من الرتبة الثانية يتكون مجرى الرتبة الثالثة وهكذا حتى تصل إلى أعلى رتبة متمثلة في المجرى الرئيسي، ويوضح الشكل (7) خطوات استخراج رتب الأودية:



شكل (7) خطوات استخراج رتب الأودية داخل برنامج ArcGIS V. 10.5

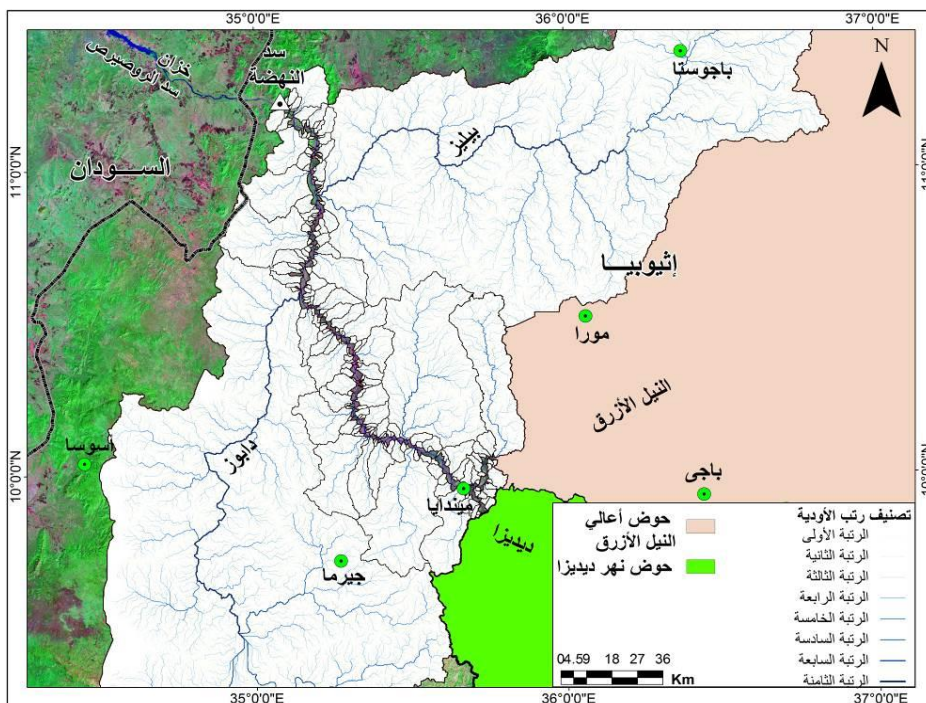
يوضح الجدول (١٠) أن مجارى الأودية على مستوى أحواض منطقة الدراسة تراوحت رتبها ما بين الرتبة الأولى حتى الثامنة، وتبين وجود علاقة عكسية بين الرتب وأعداد المجاري. حيث كلما زادت الرتبة قلت أعداد المجاري. مما يتفق مع قانون Horton (Horton. 1945.p.281)، وقد تبين أن إجمالي عدد المجاري المائية للأحواض الشرقية ٨١٨١٤ مجرى وتضم الرتبة الأولى بها عدد ٤٣٨٤٥ مجرى بنسبة ٥١.٧٪ من جملة أعداد المجاري. بينما يبلغ إجمالي عدد المجاري المائية للأحواض الغربية ٨٨٥٥٩ مجرى تضم الرتبة الأولى بها عدد ٤٤٨٥٦ بنسبة ٥٠.٧٪ من جملة أعداد المجاري، وبصفة عامة تنتشر الرتب الدنيا الأولى والثانية ويرجع ذلك إلى قلة الغطاء النباتي في مناطق أعالي الأحواض إضافة إلى وعورة السطح وتضرسه وشدة الانحدار والتأثر بنظام الكسور والشقوق إضافة إلى

أن هذه الرتب تنتشر في المنطقة العليا من الأحواض حيث تتلقى كمات كبيرة من الأمطار مما ينتج عنه حرمان أسطح هذه الأحواض من الحماية اللازمة ولذا فهي أكثر تعرضاً للنحت وتكوين مجاري من الرتبة الأولى تساعد على تسهيل عملية الجريان الأولية التي تعمل على تكوين مجاري من الرتبة الأولى التي سرعان ما تتطور إلى الرتبة التي تليها مع تكرار الجريان المائي وتركزه، ويتفق هذا التفسير مع ما توصل إليه (Dornkamp and King. 1971 . p.8).

جدول (١٠) تصنيف رتب الأودية وأعدادها بمنطقة الدراسة

الحوض المائي	الرتبة	عدد المجاري	طول المجاري (كم)	%	الحوض المائي	الرتبة	عدد المجاري	طول المجاري (كم)	%
إجمالي أحواض شرق بحيرة تخزين سد النهضة	١	٤٤٨٥٦	١٤٨٨٧.٧	٤٧.٨	إجمالي أحواض غرب بحيرة تخزين سد النهضة	١	٤٣٨٤٥	١٥٤٠٦.٢	٥١.٧
	٢	٢٠٤٣٠	٨١٩٠.٨	٢٦.٣		٢	١٩٩٨١	٨١٨٢.٤	٢٣.٦
	٣	١٠٧٨٠	٤١٦٥.٥	١٣.٤		٣	١٠٣٩١	٤٠٢٦.٣	١٢.٣
	٤	٦٠٢٠	٢٠٦٣.٥	٦.٦		٤	٥٥٤٢	٢٠٤٥.٥	٦.٥
	٥	٣٨١٧	١١٥٠.٦	٣.٧		٥	٢٥١٠	٨٧٥.٦	٣.٠
	٦	١٢٢١	٣٣٧.١	١.١		٦	١٤٥٦	٤٩٧.٥	١.٧
	٧	٦٣٧	١٥٩.٤	٠.٥		٧	٣٦٣	١١١.٨	٠.٤
	٨	٧٩٨	٢١٢.٤	٠.٧		٨	٧٢٦	١٨٧.٧	٠.٩
المجموع		٨٨٥٥	٣١١٦٧	١٠٠	المجموع		٨٤٨١٤	٣١٣٣٣	١٠٠
حوض نهر بيليز شرقاً	١	٣٥٢١٥	١١٣٦٢.٤	٤٧.١	حوض نهر دابوز غرباً	١	٣٣٨٧٢	١١٧٥٧.٣	٥١.٥
	٢	١٥٩٦٧	٦٢٨٢.١	٢٦.١		٢	١٥٣٥٧	٦١٩٥.٣	٢٣.٤
	٣	٨٥٢٢	٣٢٧٤.٣	١٣.٦		٣	٨٠٦٣	٣٠٦٩.٤	١٢.٣
	٤	٤٨٥٩	١٦٥٣.٠	٦.٩		٤	٤١٧١	١٥١٦.٤	٦.٣
	٥	٣٠٠٦	٨٨٨.٠	٣.٧		٥	٢٠٩٥	٧٣٣.٠	٣.٢
	٦	١٠٥٠	٢٧٥.٤	١.١		٦	١٠٦٨	٣٥٩.٥	١.٦
	٧	٦٣٧	١٥٩.٤	٠.٧		٧	٣٦٣	٨٠.٣	٠.٦
	٨	٧٩٨	٢١٢.٤	٠.٩		٨	٧٢٦	١٨٧.٧	١.١
المجموع		٧٠٠٥	٢٤١٠.٧	١٠٠	المجموع		٦٥٧١٥	٢٣٨٩٨.٩	١٠٠
% من إجمالي الأحواض		٧٩.١	٧٧.٣	-	% من إجمالي الأحواض		٧٧.٤	٧٦.٣	-

الجدول من إعداد الباحث اعتماداً على نتائج تحليل شبكات التصريف بواسطة أداة Stream order داخل برنامج ArcGis.



المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على نتائج التحليل الهيدرولوجي لشبكات التصريف باستخدام برنامج WMS و ArcGIS والمرئية الفضائية Landsat 8 ونموذج الارتفاع الرقمي DEM

شكل (8) رتب الأودية للأحواض المؤثرة على بحيرة تخزين سد النهضة

٢- أطوال الأودية Stream Lengths.

بلغ مجموع أطوال المجاري للأحواض حوالي ٦٢٥٠٠ كم. ويبلغ إجمالي أطوال الأودية التي تقع شرقاً ٣١١٦٧ كم بنسبة ٤٩.٩٪. بينما الأودية التي تقع غرباً يبلغ أطوالها ٣١٣٣٣ كم بنسبة ٥٠.١٪ من إجمالي الأطوال، وتتركز النسبة الكبيرة من أطوال المجاري في الأحواض كبيرة المساحة المتمثلة في حوض بيليز شرقاً الذي يضم ٧٧.٣٪ إجمالي أطوال الأودية الشرقية، بينما يضم حوض دابوز غرباً ٧٦.٣٪ من إجمالي أطوال الأودية غرباً. كما يتضح أن الرتبتين الأولى والثانية اللتين تقعان بمنابع أحواض التصريف يمثلان ٧٥.٣٪ من إجمالي أطوال أودية الأحواض الشرقية و ٧٤.١٪ في الأحواض الغربية حيث تتميز هذه الروافد بكثرة أعدادها وقصر متوسط أطوالها نسبياً مما يشير إلى مدى تضرس أحواض المنطقة قصر زمن رحلة جريان مياه هذه الروافد العليا إلى الرتب التي تليها.

٣- كثافة التصريف Drainage Density

تعتبر عن العلاقة بين أطوال المجارى ومساحة الحوض وتعد مؤشراً لمدى تعرض أسطح الأحواض لعمليات النحت والتقطيع بواسطة المجاري المائية مما يعكس دور الأمطار والوضع الطبوغرافي ونوعية الصخور والرواسب السطحية في تحديد كثافة التصريف، وتتوقف قيمة كثافة التصريف على كمية الأمطار التي تسقط على الحوض ومعدلات التبخر والتسرب والنفذية (جودة حسنين وآخرون. ١٩٩١. ص ٣٣٨)، وتزداد كفاءة شبكة نقل المياه مع ارتفاع قيم كثافة التصريف. وسيتم تطبيق معادلة كثافة التصريف وفقاً لمعادلة (Horton. 1945.P.283) كما يلي :-

الكثافة التصريفية = مجموع أطوال المجاري (كم) / المساحة الحوضية (كم^٢)

يوضح الجدول (١١) نتائج كثافة التصريف للحوضين الرئيسيين بيليز ودابوز اللذان يمثلان ٨٠٪ من إجمالي مساحة أحواض المنطقة كما يلي:-

جدول (١١) كثافة التصريف في الأحواض التي خضعت للدراسة في المنطقة

الحوض	أطوال المجاري (كم)	مساحة الحوض (كم ^٢)	كثافة التصريف (كم/كم ^٢)
بيليز	٢٣٨٩٩	١٣٧٠٠	١.٧٤
دابوز	٢٤١٠٧	١٥١٧٩.٦	١.٥٩
المتوسط	٣٤٠٠٣	١٤٤٤٠	١.٦٦

المصدر: من إعداد الطالب اعتماداً على بيانات الجدول (٤) و (١٠).

يتضح من الجدول (١١) أن كثافة التصريف المائي لكلا الحوضين متقاربة حيث تتراوح بين ١.٧٤ كم^٢/كم^٢ لحوض نهر بيليز شرقاً ونحو ١.٥٩ كم^٢/كم^٢ لحوض نهر دابوز غرباً. بمتوسط عام ١.٦٦ كم^٢/كم^٢، وتعد هذه القيم منخفضة نسبياً وذلك بسبب نوع الصخور في أحواض المنطقة وهى الصخور الصلبة التي أهمها الجرانيت والكوارتز التي تنخفض فيها كثافة شبكة التصريف.

خامساً: تحليل الجريان السطحي

يرتبط تحليل الجريان السطحي عبر أحواض التصريف بعدد من المعاملات الهيدرولوجية الهامة وهى (زمن التأخير- زمن التركيز- رقم منحني الجريان CN- حجم المياه- معدلات التصريف- زمن تصريف مياه الحوض- وسرعة المياه)، وتعد العوامل السابقة إنعكاساً لكل من نتائج تحليل الأمطار والعوامل المناخية الأخرى وخصائص أحواض وشبكات التصريف المتعددة. وفيما يلي عرض لهذه المعاملات التي تم تحليلها عبر برنامج (WMS 10) للتحليل الهيدرولوجي وتنقسم إلى:-

١- مدخلات النموذج الهيدرولوجي:

١-١ زمن التأخير Lag Time

هو الزمن الفاصل بين بداية سقوط المطر وحتى حدوث الجريان السطحي ويمثل الوقت الذي ترتفع فيه معدلات التبخر والتسرب (أحمد سالم صالح. ١٩٩٩. ص ٣٥). وهذا الوقت يزداد مع انخفاض كثافة المطر ويقل بزيادة كثافة المطر ويزداد أيضاً في حالة السطوح هينة الانحدار أو شبه المستوية بسبب فعل الجاذبية الأرضية (عواد حامد موسى. ٢٠٠٠. ص ١٧١).

قد تم استخدام برنامج (WMS 10) في حساب معادلة زمن التأخير التي تعد أحد المعادلات التي يقوم بتحليلها، كما يضم عدد من المعاملات التي تناسب الأقاليم المختلفة ليتم إختيار طريقة (Riverside Mountain Method) الملائمة لطبيعة المنطقة لتحديد زمن التأخير وفقاً لمعادلة (A. W. Miller & E. J. Nelson. 2010. p 262) للمجري المائية في نطاق الأنهار. وعليه سيتم حساب زمن التأخير للأحواض واستخراج النتائج بطريقة آلية داخل البرنامج لأنها تتناسب مع طبيعة إقليم منطقة الدراسة وهذه المعادلة هي:-

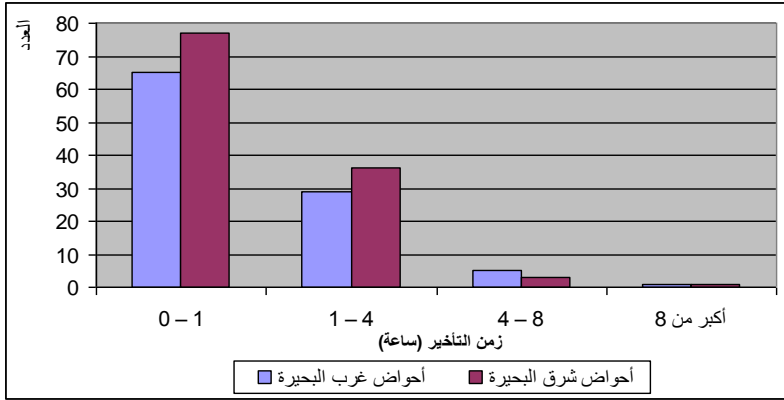
$$\text{Lag Time}^1 = Ct * \{ L * Lca / \sqrt{(S)} \}^m$$

جدول (١٢): تصنيف أحواض التصريف وفقاً لزمن التأخير

المتوسط	الإجمالي		أحواض غرب البحيرة			أحواض شرق البحيرة			زمن التأخير
	%	العدد	%	المتوسط	العدد	%	المتوسط	العدد	
٠.٥٥	٦٥	١٤	٦٥	٠.٥٥	٦٥	٦٥	٠.٥٤	٧٧	١ - ٠
١.٧١	٣٠	٦٥	٢٩	١.٧٩	٢٩	٣٠	١.٦٢	٣٦	٤ - ١
٥.٧٦	٣.٧	٨	٥	٥.١١	٥	٢.٦	٦.٤٠	٣	٨ - ٤
٢٩.٤٦	٠.٩	٢	١	٣١.٧٦	١	٠.٩	٢٧.١٥	١	أكبر من

الجدول من إعداد الطالب اعتماداً على بيانات النموذج الهيدرولوجي (WMS) لمعادلة زمن التأخير

Ct^1 معامل ثابت = ١.٢ . L = طول الحوض (م) . Lca = طول المسافة إلى مركز الحوض (م) . S = أقصى إنحدار للمجري الرئيسي (م/كم) . m معامل ثابت = ٠.٣٨٠ .



المصدر: من إعداد الطالب اعتماداً على بيانات الجدول (١٢).

شكل (9): تصنيف أحواض التصريف وفقاً لزمان التأخير

يتضح مما سبق أن الفئة الأولى تضم ٦٥.٤٪ من إجمالي الأحواض التي يقل زمن التأخير لها عن ١ ساعة، ثم تضم الفئة الثانية ٣٠٪ من عدد الأحواض يتراوح زمن التأخير لها ما بين ساعة إلى ٤ ساعات. ليتضح أن أحواض هاتين الفئتين صغيرة المساحة وذات انحدارات مرتفعة وتتميز بأنها أسرع الأحواض في تولد الجريان المائي. بينما الفئة الثالثة تضم نحو ٨٪ من الأحواض تتراوح ما بين ٤-٨ ساعات، ثم يأتي أكبر حوضين وهما نهر بيليز شرقاً الذي يبلغ زمن التأخير له ٢٧.١٥ ساعة ونهر دابوز غرباً الذي يزداد فيه زمن التأخير إلى ٣١.٨ ساعة. ويرجع ذلك لكبر مساحة الحوضين وكثرة الشقوق والفواصل وزيادة معدلات الفواقد في هذه المنطقة القريبة من الأخدود الأفريقي. إضافة لنوعية الصخور الصلبة التي تجري فوقها المياه ما أدى إلى زيادة فترة حدوث الجريان المائي للحوضين.

٢-١ زمن التركيز Time of Concentration

يعرف بأنه الفترة الزمنية اللازمة لإنتقال المياه من أبعد نقطة على محيط الحوض حتى مصبه (إبراهيم سيد البكري. ٢٠٠٥. ص ٢٥٦) مما يفيد في معرفة الوقت الذي تقطعه المياه للوصول إلى مصبها، وقد تم استخدام برنامج (WMS) في حساب زمن التركيز لما يضم من معاملات تناسب الأسطح المختلفة التي تناسب عليها المجاري. وتم اختيار معادلة Kirpich Method for overland flow on Kirpich grassy earth (Z.P. 1940. pp. 362) حيث تعد أنسب المعادلات التي تتوافق مع الطبيعة الجبلية والعشبية لمنطقة النيل الأزرق وروافده.

$$\text{Time of Concentration (hrs)}^{(1)} = m * 0.00013 * (L^{0.77} / S^{0.385}) * Ct$$

ويوضح الجدول (١٣) نتائج حسابات زمن التركيز لأحواض منطقة الدراسة:

جدول (١٣): تصنيف أحواض التصريف وفقاً لزمن التركيز

المتوسط	الإجمالي		أحواض غرب البحيرة			أحواض شرق البحيرة			زمن التركيز (ساعة)
	%	العدد	%	المتوسط	العدد	%	المتوسط	العدد	
٠.٧٨	٢٤.٠	٥٢	٢١	٠.٧٣	٢١	٢٦.٥	٠.٨٣	٣١	١ - ٠
١.٨٥	٦٠.٨	١٣٢	٦٢	١.٨٣	٦٢	٥٩.٨	١.٨٧	٧٠	٤ - ١
٧.٨٨	١٤.٣	٣١	١٦	٧.٧٦	١٦	١٢.٨	٨.٠٠	١٥	٢٠ - ٤
٩٢.٣٩٥	٠.٩	٢	١	٩٥.٤٦	١	٠.٩	٨٩.٣٣	١	أكبر من ٢٠

المصدر: من إعداد الطالب إعتقاداً على بيانات النموذج الهيدرولوجي (WMS)

لمعادلة زمن التركيز.

تضم الفئتين الأولى والثانية نحو ٨٤.٨٪ من إجمالي الأحواض التي يقل زمن تركيزها عن ٤ ساعات وتضم الفئة الثالثة ١٤.٣٪ من الأحواض حيث تتميز هذه الفئات الثلاثة بصغر المساحة نسبياً وسرعة وصول المياه بها من أبعد نقطة على محيط الحوض من المنبع حتى المصب. ثم تأتي الفئة الرابعة وتضم حوضي نهري بيليز شرقاً ودابوز غرباً الذي يبلغ زمن التركيز لهما ٨٩.٣ و ٩٥.٥ ساعة على التوالي وذلك لكبر مساحة الحوضين وتباعد المسافة ما بين المنابع والمصب.

٣-١ قيم رقم منحنى السريان السطحي "CN" Runoff Curve Number

تعد أحد الطرق الهامة للربط بين الجريان السطحي والمطر الكلي المتساقط، حيث تعمل على تقدير الجريان السطحي وتحديد تدفقات المياه بعد خصم كميات المياه المفقودة بالتسرب لباطن الأرض. وتعتمد في قياساتها على تحديد وتصنيف نوع الصخور ونوع التربة (Soil Type) ونوع الغطاء النباتي (Land Cover) واستخدام الأراضي (Land Use)، ويعد رقم المنحنى أحد أهم مدخلات النموذج الهيدرولوجي (WMS) لحساب حجوم وتصريفات المياه لأحواض التصريف، ويتم استنتاج قيم رقم المنحنى (CN) حسب نوعية تربة الحوض أو حسب أقل معدل تسرب لمياه الأمطار في هذه النوعية من التربة، ويتم تحديد المجموعة الخاصة بظروف حوض التصريف حسب التصنيف المبين في الجدول رقم (١٤).

$$Ct = \text{معامل ثابت} = 0.04 * (80 - CN) + 1 \quad \text{CN} = \text{معامل منحنى السريان الذي تم تحديده وهو}$$

$$80 \quad m = \text{معامل ثابت} = 2.0 \quad \text{وهو المعامل الخاص بالأراضي العشبية. } L = \text{طول " overland flow" (م). } S = \text{متوسط إنحدار المجرى الرئيسي من المنبع للمصب (م/م).}$$

جدول (١٤) قيم رقم المنحنى حسب نوعية التربة واستخدام الأرض للمناطق المختلفة

Use Description on Input Screen		Description and Curve Numbers from TR-55					
		Cover Description	Curve Number for Hydrologic Soil Group				
			A	B	C	D	
١	Forest	Woods (2) - Good Condition	30	55	70	77	
٢	Grass/Pasture	Pasture, Grassland, or Range(3) - Good Condition	39	61	74	80	

المصدر: معهد بحوث الموارد المائية. قسم الدراسات الهيدرولوجية.

يعتمد حساب قيمة رقم المنحنى المتوسط (Average CN) للحوض على تحديد مساحات الأراضي ذات الخصائص المختلفة وتحديد (CNI) المناظر لكل مساحة باستخدام معادلة (K.X. Soulis and J.D. Valiantzas, 2012, P 3):-
رقم المنحنى = مجموع (رقم المنحنى لمنطقة * مساحة المنطقة) / مساحة حوض التصريف

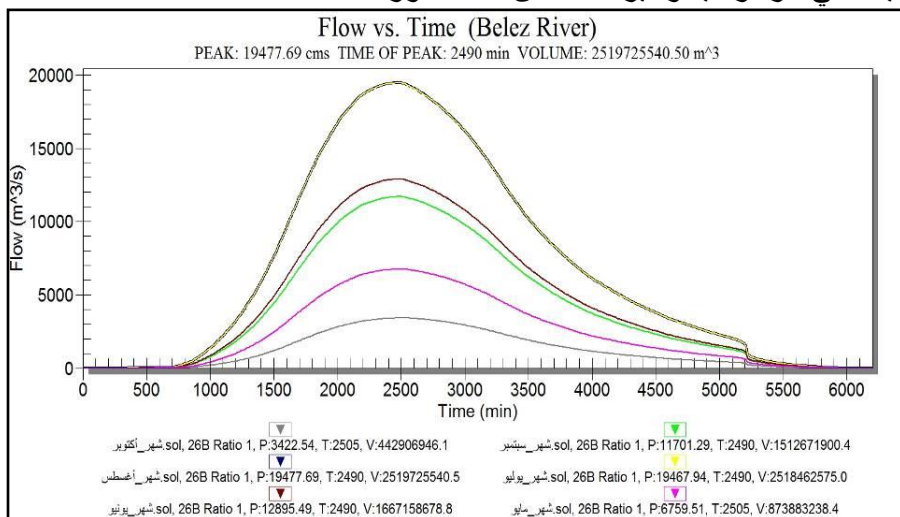
من خلال قيم الجدول رقم (١٤) تم حساب رقم المنحنى (CN) لأحواض التصريف بمنطقة الدراسة حيث تضم هذه أحواض مناطق غابات وأخرى عشبية وعليه استخدمت قيمة رقم المنحنى (٧٤) بالمجموعة (C) كقيمة متوسطة بين الفئتين واستخدامها في حسابات النموذج الهيدرولوجي (WMS).

٢- مخرجات النموذج الهيدرولوجي:

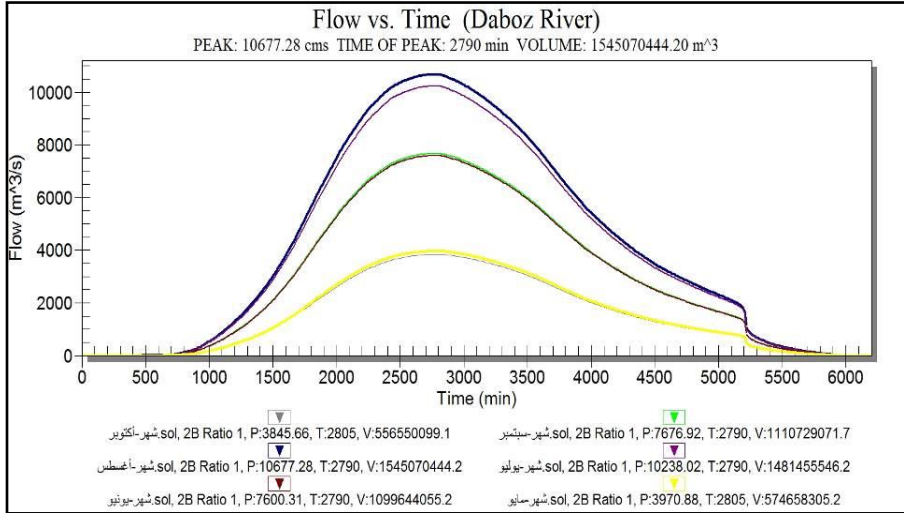
وفقاً للحسابات السابقة من مدخلات للنموذج الهيدرولوجي تشمل معدلات التساقط المطري وزمن التركيز والتأخير ورقم منحنى السريان. تم حساب أهم المخرجات وهي حجوم المياه ومعدلات تدفقها وزمن تصريفها على هيئة منحنى يسمى هيدروجراف منحنى الجريان المائي Hydrograph .

وبتطبيق النموذج الهيدرولوجي تم حساب هيدروجراف تصرف متوسطات الأمطار لأحواض التصريف التي تصب في بحيرة تخزين سد النهضة، ويشمل حساب حجم الجريان المائي "m³" (V)^(١) ومعدل التصريف "m³/s" (P)^(٢) وزمن تصريف المياه ووصولها لذروتها "min" (T)^(٣)، ويوضح الشكلين (10) و(11) مخرجات النموذج لنهري بيليز ودابوز في شكل هيدروجراف التصريف خلال أشهر الفيضان.

- (١) حجم الجريان المائي: يعبر عن مجموع ما يمكن أن يمر وتصرفه شبكة تصريف الحوض عبر أوديته
- (٢) معدلات التصريف: تعبر عن كمية المياه التي يمكن الحوض أن يصرفها في كل عاصفة مطرية وذلك على إعتبار أن المطر يسقط بشكل منتظم على كل أجزاء الحوض.
- (٣) زمن التصريف: يعبر عن الفترة الزمنية اللازمة لحوض التصريف حتى يصرف كافة مياهه من المنابع وحتى المخرج عند نقطة المصب. وكلما صرف الحوض مياهه في فترة زمنية وجيزة كلما كان أشد خطورة.



المصدر: إعتماًداً على مخرجات النموذج الهيدرولوجي (WMS).
شكل (10): هيدروجراف التصريف لمياه السيول لحوض تصريف نهر بيليز خلال شهور موسم الفيضان



المصدر: اعتماداً على مخرجات النموذج الهيدرولوجي (WMS).
 شكل (11): هيدروجراف التصريف لمياه السيول لحوض تصريف نهر دابوز خلال
 شهور موسم الفيضان

يوضح الجدول (١٥) ملخص نتائج حسابات النموذج الهيدرولوجي لحوضي بيليز
 ودابوز أكبر أحواض التصريف التي تصب في بحيرة سد النهضة كما يلي:-

جدول (١٥) خصائص الجريان المائي لحوضي نهري بيليز و دابوز خلال موسم
 الفيضان

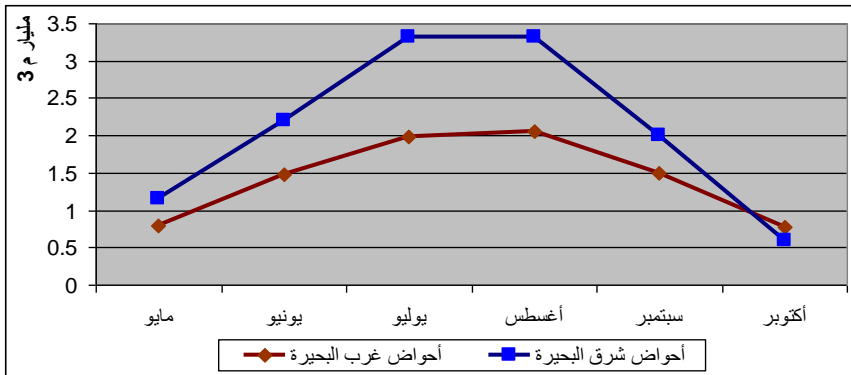
إجمالي حجم الجريان (مليار م ^٣)	حوض نهر دابوز (غرباً)			حوض نهر بيليز (شرقاً)			إسم الحوض
	زمن التصريف (دقيقة)	معدل التصريف (م ^٣ /ث)	حجم الجريان (مليار م ^٣)	زمن التصريف (دقيقة)	معدل التصريف (م ^٣ /ث)	حجم الجريان (مليار م ^٣)	
١.٤٤٩	٢٨٠٥	٣٩٧٠.٩	٠.٥٧٥	٢٥٠٥	٦٧٥٩.٥	٠.٨٧٤	مايو
٢.٧٦٦	٢٧٩٠	٧٦٠٠.٣	١.٠٩٩	٢٤٩٠	١٢٨٩٥.٥	١.٦٦٧	يونيو
٣.٩٩٩	٢٧٩٠	١٠.٢٣٨.٠	١.٤٨١	٢٤٩٠	١٩٤٦٧.٩	٢.٥١٨	يوليو
٤.٠٦٥	٢٧٩٠	١٠.٦٧٧.٣	١.٥٤٥	٢٤٩٠	١٩٤٧٧.٧	٢.٥٢	أغسطس
٢.٦٢٤	٢٧٩٠	٧٦٧٦.٩	١.١١١	٢٤٩٠	١١٧٠١.٣	١.٥١٣	سبتمبر
١.٠٠٠	٢٨٠٥	٣٨٤٥.٧	٠.٥٥٧	٢٥٠٥	٤٣٢٢.٥	٠.٤٤٣	أكتوبر
١٥.٩٠٣	-	المتوسط ٧٣٣٤.٨٥	٦.٣٦٨	-	المتوسط ١٢٤٣٧.٤	٩.٥٣٥	الإجمالي

المصدر: من إعداد الطالب إعتماًداً على بيانات مخرجات النموذج الهيدرولوجي (WMS).

يتضح مما سبق أن ذروة تدفقات المياه وحجومها تحدث خلال شهر أغسطس في كل من حوضي نهري بيليز ودابوز، ويبلغ إجمالي حجم الجريان خلال موسم الفيضان لحوض نهر بيليز ٩.٥ مليار م^٣ ثم يليه نهر دابوز بنحو ٦.٤ مليار م^٣. ويوضح الجدول (١٦) إجمالي حجوم المياه التي يتلقاها النيل الأزرق في نطاق بحيرة سد النهضة عبر الأحواض التي تصب به من الجانب الشرقي والغربي:-
جدول رقم (١٦) حجم الجريان المائي لكل من الأحواض التي تصب شرق وغرب بحيرة التخزين خلال شهور موسم الفيضان

الشهر	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	الإجمالي	%
حجم الجريان (مليار م ^٣)	١.١٦٠	٢.١٩٩	٣.٣١٧	٣.٣٢١	١.٩٩٩	٠.٦٠٢	١٢.٥٩٩	٦٠.٧
أحواض شرق البحيرة	٠.٧٩٤	١.٤٧٧	١.٩٨٧	٢.٠٥١	١.٤٩١	٠.٧٦٧	٨.١٥٢	٣٩.٣
أحواض غرب البحيرة	١.٩٥٤	٣.٦٧٦	٥.٣٠٤	٥.٣٧٢	٣.٤٩	١.٣٦٩	٢٠.٧٥١	١٠٠

المصدر: من إعداد الطالب إعتماًداً على بيانات مخرجات النموذج الهيدرولوجي (WMS).



المصدر: من إعداد الطالب إعتماًداً على مخرجات النموذج الهيدرولوجي (WMS) بالجدول (١٦).

شكل رقم (١٢) حجم الجريان المائي لكل من الأحواض التي تصب شرق وغرب بحيرة التخزين خلال شهور موسم الفيضان

توضح نتائج الحسابات الهيدرولوجية لحجوم مياه الأحواض الرافدة للنيل الأزرق في نطاق بحيرة سد النهضة أنها تبلغ ٢٠.٧٥ مليار م^٣، وتساهم أحواض الجانب الشرقي بنحو ١٢.٥٩ مليار م^٣ بنسبة ٦٠.٧٪ من إجمالي حجوم المياه، ثم الجانب الغربي بـ ٨.١٥ مليار م^٣ بنسبة ٣٩.٣٪، ومن خلال الدراسات السابقة عن

هيدرولوجية النيل الأزرق أوضحت دراسة (Mamdouh Shahin. 1985. p. 384. 515) أن حجم المياه الخارج من النيل الأزرق عند منطقة الحدود الإثيوبية السودانية في المنطقة ما بين محطة الديم (Diem) بإثيوبيا التي تقع عند الطرف الشمالي لموقع سد النهضة وبين محطة الروصيرص بالسودان يبلغ المتوسط السنوي عندها ما بين ٤٨.٧ و ٤٩.٦ مليار م^٣ سنوياً، ليتضح وفقاً للنتائج التي تم حسابها بواسطة النموذج (WMS) أن أحواض منطقة الدراسة التي تمثل مساحتها نحو ٢٥٪ من مساحة حوض النيل الأزرق تساهم بنحو ٤١.٨٪ من إجمالي حجم المياه القادمة من النيل الأزرق حتى مخرجها عند الحدود الإثيوبية السودانية والتي سيتم تخزينها لملء بحيرة سد النهضة التي تستوعب نحو ٧٤.٣ مليار م^٣ مما يدل على مدى حجوم المياه الهائلة التي تحتاجها هذه البحيرة.

سادساً: الميزانية الهيدرولوجية لأحواض التصريف

تفيد دراسة الميزانية الهيدرولوجية في تحديد صافي المياه المتوقع جريانها في الحوض عبر تحديد القيم الفعلية للفواقد بالتبخر والتسرب قبل وأثناء الجريان وذلك من خلال حساب كمية المياه المتوقع سقوطها على الحوض وطرح كميات المياه المفقودة منها سواء كانت بالتبخر أو بالتسرب خلال زمن التأخير وقيمة التسرب الثابت. وسيتم دراسة الميزانية الهيدرولوجية^(١) وتحديد مدخلاتها ومخرجاتها كما يلي:-

جدول (١٧) مدخلات ومخرجات الميزانية الهيدرولوجية لأحواض التصريف

المخرجات		المدخلات	
جملة الفواقد من التبخر والتسرب (م ^٣)	٤	١	١ معدل التساقط المطري
		٢	٢ حجوم المياه
صافي الجريان (م ^٣)	٥	٣	٣ التسرب خلال زمن التصريف (م ^٣)

ويوضح الجدول (١٨) المحصلة النهائية لجملة الفواقد المائية^(١) وصافي الجريان المائي^(٢) الناتج من معادلات الفواقد التي تم حسابها.

جدول (١٨) الميزانية الهيدرولوجية لأحواض التصريف على جانبي بحيرة سد النهضة خلال موسم الفيضان

اسم الحوض	كمية المطر الساقطة (م ^٢)	التبخر خلال زمن التصريف (م ^٢)	التسرب خلال زمن التباطوء "التأخير" (م ^٢)	التسرب خلال زمن التصريف الثابت	جملة الفواقد من التبخر والتسرب (م ^٢)	صافي الجريان (م ^٢)
بيليز	٩٥٣٤٨٠٨٨٧٩	١٢٢٧٦٥٧٠	٩٢٩٨٨٠٠٨	٨٩١٨١٠٥	١٢٤٥٨٧٤٠٠٣	٩٥٢٢٣٥٠١٣٩
دابوز	٦٣٦٨١٠٧٥٢٢	١٥٣٥٢٢٦٨	١٢٠٥٢٦	١١١٥٢٤٠٥	١٥٥٨٤٣١٨٠٥	٦٣٥٢٥٢٣٢٠٤
إجمالي الحوضين	١٥٩٠٢٩١٦٤٠١	٢٧٦٢٨٨٣٨	٢١٣٥١٤٠٨	٢٠٠٧٠٦	٢٨٠٤٣٠٥٨٠٨	١٥٨٧٤٨٧٣٣٤٢
الأحواض الشرقية	١١٦٩٢٠٠٠٣	٨٤٩٣٠٥	١١٥٤٠٩	١١٧٨٨٤٨٠٧	٣٠٦٢٨٦٨٠٧٥٠٢	٣٤١٢٢٨٣٩٧٢
الأحواض الغربية	١٠٤٨٥٠٨٠١	٧٦١٦٠٧	١٠٧٧٠٨	١٠٥٧٢٠٢٠٦	١٧٨٢٧٥٢٤٠٩٠٩	٢٠٢٠٧٧٨٠٤٠
إجمالي باقي الأحواض	٤٨٤٧٨٥٦٥٣٦٠٤	٢٢١٧٧٠٨	١٦١١٠٠٢	٢٢٣٢٠٧	٢٢٣٦٠٥١	٤٨٤٥٦٢٠٤٨٥٠١
الإجمالي العام						
					٣٠٢٧٩١٠٩٠٨	٢٠٧٢٠٤٩٣٨٢٧٠٣

المصدر: من إعداد الطالب اعتماداً على بيانات التبخر والأمطار ومدخلات ومخرجات النموذج الهيدرولوجي (WMS) من نتائج حسابات زمن التأخير وزمن التصريف وأحجام المياه.

(١)- التبخر خلال زمن التصريف = إجمالي التبخر في الساعة × زمن تصريف الحوض.

- إجمالي التبخر في الساعة = إجمالي التبخر اليومي / ٢٤

- إجمالي التبخر اليومي = متوسط التبخر في محطات الأرصاد × مساحة الحوض (إسلام سلامة، ٢٠٠٤، ص ١٨٢ - ١٨٤)

- التسرب خلال زمن التباطوء "التأخير" = مساحة الحوض × زمن التباطوء × ٠.٠٨ مم/دقيقة.

(أمين محمد عبدالحليم، ٢٠٠٥، ص ١٦٥) نقلاً عن (Wilson and lane.1980. P. 172)

- التسرب خلال زمن التصريف = مساحة الحوض × زمن تصريف الحوض × ث (خضر، ١٩٩٧، ص ٤٠١). حيث (ث): ثابت يدل على نوع الصخر ٠.٠١٥٨ م^٣/س (الجيري)، ٠.١٥٨ م^٣/س (الرملي).

- جملة الفواقد = التبخر أثناء الجريان + التسرب خلال زمن التأخير + التسرب خلال زمن التصريف

- صافي الجريان = إجمالي التساقط - إجمالي الفواقد (أحمد إبراهيم صابر. ٢٠٠٧. ص ١١١)

يتضح من تحليل الجدول (١٨) أن أكبر الأحواض بالمنطقة وهما بيلز ودابوز ويمثلان ٨٠٪ من مساحة الأحواض بلغ إجمالي الفواقد المائية منهما نحو ٢٨.٠٤ مليون م^٣ أي أقل قليلاً من ٠.٢٪ من إجمالي المياه المتساقطة عليهما، بينما باقي الأحواض الأخرى بلغ إجمالي الفواقد منها ٢.٢ مليون م^٣ أي ٠.٠٥٪ من إجمالي المياه المتساقطة عليها، ليتضح في النهاية أن إجمالي الفواقد المائية على جميع الأحواض تقدر بـ ٣٠.٣ مليون م^٣ وأن إجمالي صافي الجريان السطح يبلغ ٢٠.٧٢ مليار م^٣، مما يشير إلى الانخفاض المحدود في حجم الفواقد المائية وذلك بسبب انخفاض معدلات التبخر في تلك الفترة من العام إضافة إلى أن معظم المجاري المائية على سطح الهضبة تجري في أودية خانقية عميقة نقل بها معدلات التبخر بشكل كبير، وكذلك نوع التكوينات الصخرية بالمنطقة التي ينتمي ٩١.٤٪ منها لصخور عصر ما قبل الكامبري الصلبة مما ساعد على انخفاض معدلات الفواقد بالتسرب بشكل كبير بالمنطقة. مما يوضح خطورة وشدة الفيضان في هذه الأحواض.

الخلاصة:

أوضح التحليل الإحصائي لبيانات محطات الأمطار المتاحة في نطاق أحواض التصريف المؤثرة على بحيرة سد النهضة واستخدام طريقة Theissen Method داخل برنامج ArcGIS لتحديد نطاقات تأثير هذه المحطات ثم تحليل بياناتها خلال أشهر موسم الفيضان أن متوسط أمطار أحواض شرق البحيرة يبلغ ١٩٦.٨ مم والأحواض الغربية ١٤٣.٧ مم.

استخدمت تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والنموذج الهيدرولوجي (WMS 10) في دراسة الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لأحواض وشبكات التصريف بواسطة تحليل نموذج الارتفاع الرقمي (ASTER DEM) ذو دقة ٣٠ م التي أوضحت أن منطقة بحيرة سد النهضة يصب بها من الجانب الشرقي الغربي عدد ١١٧ و ١٠٠ حوض تصريف على التوالي وإجمالي مساحتهم ٣٦٩٨٢.٤ كم^٢ وأن نحو ٤٩% من عدد الأحواض تدخل ضمن فئة الأحواض شديدة الإنحدار. ويمثل حوضي بيلز شرقاً ودابوز غرباً نحو ٨٠٪ من مساحة الأحواض بالمنطقة.

أوضحت الخصائص المورفومترية لشبكات التصريف وتحليل رتب الأودية لها باستخدام طريقة "استريلر" داخل منظومة برنامج ArcGIS أن رتبها تتراوح ما بين الرتبة الأولى والثامنة ويبلغ إجمالي عددها ١٧٠٣٧٣ مجرى وأطوالها ٦٢٥٠٠ كم، وقد بلغ المتوسط العام لكثافة شبكة التصريف نحو ١.٦٦ كم/كم^٢.

أوضحت الميزانية المائية لأحواض التصريف أن إجمالي حجم الجريان المائي للأحواض على جانبي بحيرة سد النهضة تُغذيها بنحو ٢٠.٧٢ مليار م^٣ من المياه

تساهم بنحو ٤١.٨٪ من إجمالي حجم المياه القادمة من النيل الأزرق حتى موقع السد والتي يبلغ متوسط جريانها السنوي نحو ٤٩ مليار م^٣، وأن أكبر الأحواض بالمنطقة وهما بيلز ودابوز بلغ إجمالي الفواقد المائية منهما نحو ٢٨.٠٤ مليون م^٣ أي أقل قليلاً من ٠.٢٪ من إجمالي المياه المتساقطة عليهما، بينما باقي الأحواض الأخرى بلغ إجمالي الفواقد منها ٢.٢ مليون م^٣ أي ٠.٠٥٪ من إجمالي المياه المتساقطة عليها، ليتضح أن إجمالي الفواقد المائية على جميع الأحواض تقدر بنحو ٣٠.٣ مليون م^٣ وإجمالي صافي الجريان السطح يبلغ نحو ٢٠.٧٢ مليار م^٣.

التوصيات :

- نظراً لما يمثله سد النهضة وبحيرته من تأثير سلبي بحجز إيراد الفيضان القادم لمصر البالغ نحو ٤٩ مليار م^٣ وقدرة بحيرته على الإمتلاء خلال عامين مائين متتاليين مما سيؤثر على مخزون مياه بحيرة ناصر والسحب منها لتعويض العجز المائي فإن الدراسة توصي بما يلي:-
- لا تقل فترة ملء بحيرة السد عن ٥ سنوات لتخفيف أثر العجز المائي على مصر.
 - تعويض مصر بحصص المياه التي فقدتها خلال فترة الملء للحد من التأثير السلبي على التوازن المائي لبحيرة ناصر.
 - تطوير مصر لوسائل مراقبة حديثة بواسطة الأقمار الصناعية واستخدام تقنيات الإستشعار عن بعد لمتابعة الوضع المائي وحساب التدفقات المائية بالنيل الأزرق.
 - التحليل المستمر لاستخدامات الأرض بالقرب من بحيرة سد النهضة لتقييم الوضع المائي هناك ومدى استهلاك هذه الاستخدامات للمياه المخزنة خاصة الزراعية منها.
 - اقتراح الإتفاق على قيام لجنة مصرية دائمة التواجد في منطقة بحيرة سد النهضة بالمشاركة مع أخرى سودانية وذلك لمتابعة وتحليل الموقف المائي هناك.

المراجع العربية:

إبراهيم سيد البكري، "السيول وأخطارها علي ساحل البحر الأحمر فيما بين واديي الأسنود وفالق الوعر"، دراسة جيومورفولوجية تطبيقية، رسالة ماجستير. قسم الجغرافية. كلية البنات، جامعة عين شمس، ٢٠٠٥.

أحمد إبراهيم صابر. الآثار الجيومورفولوجية الناجمة عن حركة المياه في المنطقة الممتدة من الصف إلى عين السخنة، رسالة ماجستير. كلية الآداب. جامعة بنها، ٢٠٠٧.

أحمد سالم صالح، "العمل الميداني في قياس أشكال السطح". دراسة في الجيومورفولوجيا، دار عين للدراسات والبحوث الإنسانية والاجتماعية. القاهرة، ١٩٩٩.

إسلام سلامة، الأخطار الجيومورفولوجية بمنطقة أسبوط، رسالة ماجستير، كلية الآداب، جامعة الزقازيق فرع بنها، ٢٠٠٤.

أمين محمد عبد الحليم، السيول والتنمية في منطقة خليج السويس في سيناء بين وادي خليج العيون شمالاً حتى وادي فيران جنوباً دراسة جيومورفولوجية، رسالة ماجستير، كلية الآداب، جامعة الزقازيق. ٢٠٠٥.

حسن رمضان سلامة، "الخصائص الشكلية ودلالاتها الجيومورفولوجية"، قسم الجغرافيا. جامعة الكويت والجمعية الجغرافية الكويتية. نشرة رقم ٤٣. ١٩٨٢.

عواد حامد موسى، "السيول في أودية خليج العقبة بمصر دراسة جغرافية". رسالة دكتوراه، كلية الآداب، جامعة المنوفية، ٢٠٠٠.

محمد عبدالغني سعودي، أفريقيًا شخصية القارة في شخصية الأقاليم، مكتبة الأنجلو المصرية، القاهرة، ٢٠٠٣.

محمود محمد خضر، الأخطار الجيومورفولوجية الرئيسية في مصر مع التركيز على السيول في بعض مناطق وادي النيل، رسالة ماجستير، كلية الآداب، جامعة عين شمس، ١٩٩٧.

المراجع الاجنبية:

Assefa M. Melesse. Nile River Basin Hydrology. Water Resources Research. Vol. 42 . 2006.

D. Han and M. Bray. Automated Thiessen polygon generation. Journal of Spatial Hydrology. Vol.9. No.2 Fall 2006.

Horton . R . E.. "Erosional Development of Streams their Drainage Basins " Hydrological Approach to Quantitative Morphology " Geol. Soc. Amer-Bull.. vol. 56. 1945.

- Horton. R. E.** "Drainage Basin characteristics". Transactions of the American Geophysical Union. 13. 1932.
- Kirpich. Z.P.** Time of concentration of small watersheds. J. of Civil Engineering 10(6). ASCE. New York, NY. pp. 362. 1940.
- K.X. Soulis and J.D. Valiantzas.** SCS-CN parameter determination using rainfall-runoff data in heterogeneous watersheds – the two-CN system approach, Hydrology and Earth System Sciences , March 2012.
- Mamdouh shahin.** hydrology of the Nile basin. Amsterdam. Elsevier. science publishers' by. Netherlands 1985.
- Miller . V. .** "A Quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Characteristics in the Clink Mountain Area" . Va and Tenn Office Noval Research Project .Tech. Rep. . Vol. 3 . Columbia University . 1953.
- Miller. A. W. & Nelson.E. J. .** "Hydrologic evaluation of flood flows from a burned watershed". WIT Transactions on Ecology and the Environment. Vol 133. 2010.
- Nile Basin Initiative (NBI).** State Of The River Nile Basin. Uganda. October 2012.
- Schumm . S . A ..** "The Evaluation of Drainage Systems and Slope . in badlands at perth Amboy" . New Jersey . Geol .. soc .. Amer.. Bull .. Vol .. 67. 1956.
- Doornkamp. J. and King. C.** Numerical Analysis in Geomorphology: An Introduction. Edward Arnold, London, 1971.