خطاب • **الوصول المفتوح**

عجز ميزانية المياه في مصر وسياسات التخفيف المقترحة لسيناريوهات ملء سد النهضة الإثيوبي الكبير

للإشارة إلى هذا المقال: عصام حجي ***وآخرون*** 2021 ***بيئة. الدقة. بادئة رسالة.*****16** 074022

اعرض ملف مقال على الإنترنت للتحديثات والتحسينات.

تم تنزيل هذا المحتوى من عنوان IP 161.35.49.2 في 02/07/2021 الساعة 13:16

خطاب

عجز ميزانية المياه في مصر وسياسات التخفيف المقترحة لسيناريوهات ملء سد النهضة الإثيوبي الكبير

عصام حجي[1و2و*] و **زين شرقاوي**[3] **وأبو طالب الزاد أبو طالب**[1]

1 جامعة جنوب كاليفورنيا ، كلية فيتيربي للهندسة ، لوس أنجلوس ، كاليفورنيا 90089 ، الولايات المتحدة الأمريكية
2 مختبر الدفع النفاث ، معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا ، 4800 أوك جروف درايف ، باسادينا ، كاليفورنيا 91109 ، الولايات المتحدة الأمريكية
3
* جامعة كورنيل ، كلية تشارلز إتش دايسون للاقتصاد التطبيقي والإدارة ، إيثاكا ، نيويورك 14853 ، الولايات المتحدة الأمريكية
المؤلف الذي يجب توجيه أي مراسلات إليه.

بريد إلكتروني: heggy@usc.edu

الكلمات الدالة: نهر النيل ، الميزانية المائية ، الإجهاد المائي ، سد النهضة الإثيوبي الكبير متاح مواد تكميلية لهذه المقالة عبر الانترنت

CrossMark

الوصول المفتوح

تم الاستلام
25 فبراير 2021

مراجع
6 مايو 2021

تم قبولها للنشر
11 يونيو 2021

نشرت
1 يوليو 2021

المحتوى الأصلي من هذا العمل يمكن استخدامه بموجب شروط المشاع الإبداعي ترخيص الإسناد 4.0.

يجب أي توزيع إضافي لهذا العمل الحفاظ على الإسناد إلى المؤلف (المؤلفون) والعنوان من العمل والاقتباس من المجلات و DOI.

الملخص

نهر النيل هو نظام بيئي فريد ومصدر مائي أساسي لحوض النهر الدول. النمو السكاني ، والتغيرات في أنماط هطول الأمطار ، والنزاعات المتعلقة بحقوق الاستخدام والسدود تمثل تحديات كبيرة في استخدام وإدارة موارد المياه الأساسية للحوض. تشكل عوامل الإجهاد هذه مصدر قلق خاص لمصر ذات الكثافة السكانية العالية ، وهي أبعد دول متلقية لتدفق مياه النيل. في السابق ، منحت الاتفاقيات الاستعمارية مصر والسودان غالبية حقوق استخدام المياه على نهر النيل دون أن تتلقى إثيوبيا المجاورة أي مخصصات محددة. تخطط إثيوبيا اليوم لزيادة إنتاجها من الطاقة من خلال سد النهضة الإثيوبي الكبير الذي يعمل بالطاقة من النيل. في حين أن السد الذي تبلغ مساحته 74 مليار متر مكعب (BCM) يوفر فرصاً تنموية واعدة لإثيوبيا ، فإن التدفق المتغير لنهر النيل سيزيد من العجز المائي الحالي لمصر - والذي لا يزال قياسه وتخفيفه غير مقيد إلى حد كبير ويخضع لنقاش مكثف. لمعالجة هذا النقص ، 31 مليار متر مكعب في العام-1 ، والتي من شأنها أن تتجاوز ثلث إجمالي ميزانية المياه الحالية لمصر. بالإضافة إلى ذلك ، نقدم مؤشر جدوى للحلول المقترحة المختلفة للتخفيف من العجز المذكور أعلاه وتقييم تأثيرها الاقتصادي على نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي. تشير نتائجنا إلى أنه يمكن معالجة العجز السنوي غير المستوفى خلال فترة الملء جزئياً عن طريق تعديل تشغيل السد العالي (AHD) ، وتوسيع استخراج المياه الجوفية واعتماد سياسات جديدة لزراعة المحاصيل. إذا لم يتم تنفيذ التخفيف الفوري ، فإن سيناريو الملء قصير الأجل لمدة ثلاث سنوات سيولد عجزاً يعادل الخسائر في المساحة المزروعة الحالية بنسبة تصل إلى 72٪ مما يؤدي إلى خسارة إجمالية للناتج المحلي الإجمالي الزراعي بمقدار 51 مليار دولار خلال ما سبق. فترة التعبئة المذكورة. وتعادل هذه الأرقام انخفاضاً في إجمالي الناتج المحلي الإجمالي للفرد بمقدار 8٪ ، وزيادة معدلات البطالة الحالية بنسبة 11٪ ، مما قد يؤدي إلى عدم استقرار اجتماعي واقتصادي حاد.

1 المقدمة

يعد نهر النيل ، أطول أنهار الأرض وأقدمها ، بيئة فريدة ونظاماً بيئياً يعبر أربع مناطق مناخية (دومونت). 2009). كما أنه مصدر مهم للمياه لـ 11 دولة في إفريقيا: بوروندي وجمهورية الكونغو الديمقراطية ومصر وإريتريا وإثيوبيا وكينيا ورواندا وجنوب السودان والسودان وتنزانيا وأوغندا. ال

الروافد الرئيسية لنهر النيل هي النيل الأبيض ، الذي نشأ في منطقة البحيرات الكبرى في وسط أفريقيا ، والنيل الأزرق ونهر السوبات وعطبرة ، المتدفقة من المرتفعات الإثيوبية (ميليس *وآخرون* 2014). على العكس من ذلك ، يتركز استغلال نهر النيل في الغالب في دول المصب ، وتحديداً من خلال مصر والسودان ، والتي تعتمد على مياه النيل بنسبة 98.26٪ و 96.13٪ من الطلب السنوي على المياه ، على التوالي (منظمة الأغذية والزراعة)2015).

© 2021 المؤلف (ق). تم النشر بواسطة IOP Publishing Ltd

خلال العقود الماضية ، لم تشارك دول المنبع ، والتي يمكن أن تعتمد على موارد المياه العذبة ، بنشاط في النزاعات حول حقوق تقاسم مياه النيل ، ولكن الضغوط المناخية والبشرية قد تكثف من احتياجاتها الحالية والمستقبلية من المياه. يمكن أن يؤدي هذا إلى واحدة من أكبر حالات الإجهاد المائي في العصر الحديث.

لطالما كان نهر النيل المصدر الأساسي للحفاظ على ممارسات الري في الحوض لأكثر من 5000 عام (Hughes 1992) . بدأ تطوير البنى التحتية الكهرومائية على نطاق واسع في أوائل القرن العشرين. وشمل ذلك نهر أسوان لودام في عام 1902 ، تلاه السد العالي في أسوان في عام 1961. وبسبب هذه السدود ، شهد الجزء السفلي من الحوض تداعيات بيئية متزايدة ، لا سيما فيما يتعلق بتقليل تدفق الرواسب في اتجاه مجرى النهر. وقد أدى ذلك إلى خفض خصوبة التربة في الأراضي الزراعية وتوفير المياه بشكل عام (Smith1986) أثناء تسارع تآكل ساحل دلتا النيل وتسرب مياه البحر (نجم 2017وراتب وأبو طالب 2020).

يعد استغلال نهر النيل أمراً بالغ الأهمية لضمان استخدام المياه لأكثر من 260 مليون شخص يعيشون في البلدان الواقعة على ضفاف النهر ، وسيزداد ذلك مع زيادة عدد السكان في مصر وإثيوبيا والسودان. من المتوقع أن يصل عدد سكان هذه الدول وحدها إلى حوالي 340 مليون نسمة بحلول عام 2050 (سوين 2011). من المتوقع أن يؤدي هذا النمو السكاني ، إلى جانب التطور الاقتصادي والتغيرات المتوقعة في أنماط هطول الأمطار ونضوب المياه الجوفية الناجم عن الاحتباس الحراري ، إلى زيادة الطلب الإقليمي على المياه وأن يفرض ضغوطاً وتحديات إضافية على استخدامها (مازوني*وآخرون* 2018). علاوة على ذلك ، فإن الطبيعة العابرة للحدود لحوض النيل والشكوك المحيطة بتطور ديناميكيات التدفق ، مع أنماط هطول متغيرة للغاية في أحواض تجميع مياه الصرف ، تتسبب في نقاش متزايد حول حقوق المياه على حصص مياه النهر. هذا هو الحال بشكل خاص مع الحقبة الاستعمارية البريطانية ، والتي سعت إلى زيادة تدفق النيل إلى مصر والسودان المستعمرتين. فعلت بريطانيا ذلك من خلال إبرام اتفاق مع ملك إثيوبيا منع أي عمل في النيل الأزرق يعيق تدفق المياه إلى روافد النيل الأخرى (أبتو وديسو).2019). يقُال إن الاتفاقية بين نظامين ملكيين لم يعد لها وجود الآن قد تم إلغاؤها.

بدأت الخلافات حول حقوق المياه على نهر النيل في عام 1959 عندما وقعت دولتا المصب ، مصر والسودان ، اتفاقية ثنائية "للاستفادة الكاملة من مياه النيل". لم يتم تخصيص ميزانية مائية على وجه التحديد لأي من دول المنبع. على مر السنين ، تم التوسط في النزاعات من قبل المنظمات الدولية ، مثل البنك الدولي ، الذي يخضع تمويله لأي مشروع تنموي على نهر النيل لموافقة جميع الدول المشاطئة. ومع ذلك ، غالباً ما استخدمت مصر هذا المطلب لصالحها ، مما حد من إنشاء أي بنى تحتية كبيرة في مصر نهر ، مما قد يؤثر على حصته من مياه النيل. ومع ذلك ، فقد تم تحقيق جهود كبيرة نحو التعاون في عام 1999 مع تأسيس مبادرة حوض النيل (سوين2011). انضمت جميع الدول المشاطئة إلى المبادرة ، باستثناء إريتريا التي لا تزال مراقبة. منذ ذلك الحين ، تم تنفيذ أو التخطيط لعدد متزايد من مشاريع البنية التحتية على طول نهر النيل.

في عام 2011 ، أعلنت الحكومة الإثيوبية عن خطة لبناء سد لتوليد الطاقة الكهرومائية على نهر النيل الأزرق يسمى سد النهضة الإثيوبي الكبير (GERD). تتمثل أهداف إثيوبيا المعلنة حالياً في زيادة إمكانات توليد الطاقة الكهرومائية لديها من أجل إنتاج الطاقة الزائدة لتصديرها إلى البلدان المجاورة ، وتعزيز أنشطة الصيد الخاصة بها وتوسيع شبكة طرق الاقتصاد المحلي. يعكس القرار الأحادي الجانب للحكومة الإثيوبية عدم وجود تعاون حقيقي بين الدول المشاطئة ويفتح المطالبة بإعادة النظر في حقوق المياه على نهر النيل. هذا هو الحال بشكل خاص مع مثل هذا المستقبل غير المؤكد الذي يتسم بزيادة الإجهاد المائي. مع النمو السكاني المتوقع في كل من السودان ومصر ، من المتوقع أن يرتفع الإجهاد المائي الإقليمي (مازوني*وآخرون* 2018). كما يخشى كلا البلدين من انخفاض حصصهما من المياه خلال فترة الملء الأولية لسد النهضة.

تدعي الحكومة الإثيوبية أنه لن يتم ملاحظة أي آثار كبيرة فيما يتعلق بتوافر المياه في دولتي المصب (أبتو وديسو). 2019). على العكس من ذلك ، هناك إجماع واسع على أنه ستكون هناك تأثيرات قابلة للقياس ناجمة عن سياسات الملء المختلفة للخزان على حصة المياه في السودان ومصر (حمادة2017). حتى يومنا هذا ، لم يتم إجراء تقييمات بيئية و / أو اقتصادية أحادية للتأثيرات التي تسلط الضوء على تأثير الحجز والتشغيل المستقبلي للسد. خلال مراحل الملء ، سيتم تقليل تصريف مجرى النيل الأزرق ، مما يقلل من كمية المياه التي تتدفق إلى النيل. سيكون لذلك آثار واضحة وقابلة للقياس على الأمن المائي لمصر والسودان من حيث الميزانية والجودة.

بين مايو 2011 ومايو 2013 وبناءً على دعوة من الحكومة الإثيوبية لدول المصب (مثل مصر والسودان) ، أجرى فريق خبراء دولي (IPOE) مراجعة شاملة لوثائق التصميم والخصائص الجيوتقنية لسد النهضة (الاكتتاب 2013). ومع ذلك ، أشار التقرير النهائي لـ IPOE إلى أن المستندات المقدمة من قبل الحكومة الإثيوبية تفتقر إلى المبرر الاقتصادي لطاقة الطاقة المقترحة البالغة 6000 ميجاوات (فريق الخبراء الدولي (IPOE)).2013). بعد بضع سنوات من الاختلاف المائي السياسي القوي ، اجتمعت مصر والسودان وإثيوبيا على إنشاء أول اتفاقية لإدارة السد في مارس 2015 (توفيق)2016). تضمنت هذه الوساطة "إعلان مبادئ" يجب اتباعه كمبدأ توجيهي لما يتعلق بالإدارة الشاملة لاستخدام المياه. لا يزال هناك الكثير

عدم اليقين فيما يتعلق بالتأثيرات الفعالة لسد النهضة على إمدادات المياه في مصر ، ناهيك عن النظام البيئي لنهر النيل ، لا سيما بالنظر إلى نقص المعلومات المنشورة بشأن المواصفات الفنية للمشروع. كان المجتمع الدولي لعلوم المياه يستكشف العديد من السيناريوهات حول العجز المائي الإضافي المحتمل الناتج عن السد جنباً إلى جنب مع مقترحات التخفيف (على سبيل المثال

2015بخيت 2016دنيا ونجم 2018). ومع ذلك ، لم يأخذ أي من النماذج التي درست هذه المسألة في الاعتبار النمو المتوقع للعجز المائي الجوهري الذي ستشهده مصر بمفردها (دون احتساب العوامل الخارجية المساهمة مثل سد النهضة) ، والذي يجب تضمينه عند النظر في التعقيدات المستقبلية أو حلول التكيف كما تم تناولها هنا.

يقع سد النهضة على بعد حوالي 500 كيلومتر شمال غرب العاصمة أديس أبابا ، على طول النيل الأزرق ، ~ 20 كم من الحدود الجنوبية للسودان. عندما يبدأ السد في العمل ، سيكون أكبر مشروع للطاقة الكهرومائية في إفريقيا (Chen and Swain 2014) بامتداد جانبي 1800 م ، وأقصى ارتفاع للجدار 155 م ، وسعة إجمالية إجمالية تبلغ 74 مليار م3

(مليار متر مكعب). يشتمل المشروع أيضاً على محطتين لتوليد الطاقة الكهرومائية مثبتتين على الضفتين اليمنى واليسرى لنهر المصب وتتألفان من 13 توربيناً من فرانسيس والتي ستمنح قدرة إجمالية مركبة تبلغ 6 جيجاوات ، ويقدر الإنتاج السنوي المحتمل بـ 15 جيجاوات في الساعة (Salini Impregilo)2018) . من بين الفوائد التي تعود على دول المصب ، من المتوقع أن يحتفظ سد النهضة بمعظم مواد الطمي الرسوبية التي تتدفق مع النيل الأزرق. هذا من شأنه أن يسمح لسدود الطاقة الكهرومائية في السودان بإنتاج ما يصل إلى ~ زيادة الطاقة بنسبة 36٪ سنوياً وتقليل التكاليف السنوية بشكل كبير لتجريف الخزانات والقنوات (كاهساي) *وآخرون* 2015). علاوة على ذلك ، فإن سد النهضة سيخلق نظام تدفق أكثر انتظاماً على مدار العام بأكمله للنيل الأزرق في السودان ، والذي سينعكس أيضاً في الجزء الرئيسي من؟ نهر النيل. يجب أن يضمن التدفق المستمر المزيد من الإنتاج السنوي المستقر للكهرباء وإمدادات مياه الري للسودان. أما بالنسبة لمصر ، فإن استمرارية تدفق النيل ، والانتظام ، والتحكم في الترسيب يتم تحقيقها حالياً من خلال التحكم في القياس في AHD.

كان مشروع البنية التحتية الضخم هذا قيد الإنشاء منذ عام 2011 ويقال إنه في مرحلة الاكتمال النهائية. بدأت المرحلة الأولى من مشروع ملء سد النهضة خلال فصل الصيف الممطر لعام 2020 (Kansara*وآخرون* 2021) ، ومع ذلك لا يزال من غير المؤكد متى ستبدأ مراحل الملء اللاحقة ، وما هي التأثيرات البيئية الإقليمية التي سيولدها التدفق المتغير لنهر النيل على المدى القصير والطويل على مجتمعات المصب والنظم البيئية. كما أشار تقرير حديث من معمل MIT عبد اللطيف جميل العالمي للأمن المائي والغذائي (الجميل2014) ، أربعة مخاوف فنية رئيسية تتطلب قراراً: (1) التخطيط اللازم لتنسيق تشغيل AHD و GERD خلال فترة الملء والجفاف المطول في نهاية المطاف ،

(2) اتفاقية فنية بشأن تصميم سد النهضة (منع التسرب والانسكاب) ، والتي تتعلق أيضاً بعدم اليقين المتعلق بحجم المياه الممنوحة لمصر والسودان خلال فترة الملء ،

(3) الحاجة إلى اتفاق بشأن بيع الطاقة الكهرومائية من سد النهضة ، و (4) تقييم التأثيرات المصبّة المحتملة على مصر والسودان ، لا سيما على القطاع الزراعي.

أثار بناء سد النهضة مناقشات غير حاسمة حول المنظورات الهيدرولوجية والهندسية والاقتصادية والجيوسياسية للمشروع. من الصعب تحديد أين يجب أن تهدف سياسات التعاون الحالية والمستقبلية لأن المعلومات المتاحة عن المشروع والدعم التقني العلمي المحتمل غالباً ما تكون مبعثرة ومتناقضة متى كانت متاحة للجمهور. حتى في هذه المراحل النهائية من المشروع ، يتوفر القليل من البيانات أو المعلومات للجمهور حول سد النهضة للسماح بالمحاكاة المناسبة للتأثيرات البيئية والاقتصادية الشاملة التي سيحدثها إنشاء السد على البلدان المشاطئة الثلاثة. نظراً لطبيعة الموضوع الحساسة وطنيا ودوليا ، أعلنت الحكومة الإثيوبية فقط الخطوط العريضة الرئيسية للمشروع مع تفاصيل فنية غير كافية. ومع ذلك ، أصبح المزيد من المعلومات متاحاً مع تقدم المشروع ، وبالتالي أصبحت التنبؤات المستقبلية أكثر دقة. لهذه الأسباب ، أثناء إجراء مراجعة شاملة للأدبيات على GERD ، ركزنا تحليلنا في الغالب على أحدث المنشورات والتقارير المتاحة التي راجعها النظراء.

في حين أن هناك عدم يقين كبير فيما يتعلق بالتأثير الفعال للسد على التدفق الناتج (Abtew و Dessu 2019) ، هناك إجماع واسع على أن التأثيرات الرئيسية من حيث العجز المائي لدول المصب ستتم ملاحظتها في الغالب خلال سنوات الملء (نجم وعبد الفتاح). 2019). بشكل عام ، مدة فترة الملء تتناسب عكسياً مع انخفاض تدفق المياه ، على الرغم من أنه يتعين على المرء أيضاً مراعاة التأثيرات المختلفة للتسرب والتبخر. نظراً لعدم تقديم أي إعلانات رسمية حول سياسات الملء حتى الآن ، فقد اختبرت جميع الدراسات المدروسة ، السيناريوهات المختلفة ، ولكن القابلة للمقارنة ، من خلال تحديد معدلات حجز ثابتة أو متغيرة للسد. علاوة على ذلك ، تشمل الخصائص المميزة الأخرى نمذجة التقلبات المناخية ، وتقدير بعض الجوانب الفنية غير المعروفة للبنية التحتية للسد ، وأنواع النتائج التي توفرها.

لقد لاحظنا أيضاً أنه لا توجد دراسات منشورة حالياً تتناول عجز ميزانية المياه من منظور عالمي من خلال الجمع بين تأثيرات المصب لسد النهضة وندرة المياه الكبيرة الحالية التي تعاني منها دول مثل مصر بالفعل والتي ستزداد سوءاً في القريب العاجل. المستقبل (مازوني *وآخرون* 2018). تعاني مصر بالفعل من إجهاد مائي حاد ، يتم تخفيفه حالياً من خلال إعادة الاستخدام المتكرر لـ

مياه الصرف الزراعي. وهذا بدوره يؤثر على جودة المياه بشكل عام من خلال زيادة ملوحتها وتركيز الملوثات (حجازيوآخرون 2020). علاوة على ذلك ، تناولت دراسات قليلة جداً التحليل العام لإمدادات المياه الإضافية التي سيتطلبها سد النهضة لمواجهة الخسائر الناجمة عن التسرب الطبيعي من الخزان (Liersch

وآخرون 2017). تتكون الكتلة النوبية ، التي تم بناء خزان وسد السد على رأسها ، من صخور نارية ومتحولة عالية التصدع (محمد والمهدي).2017). يمكن أن يتسبب هذا الإعداد الهيدروجيولوجي في حدوث تسرب كبير للمياه من الخزان ، والذي يمكن أن يصل إلى~ 25٪ (ليرش وآخرون 2017). على الرغم من أنه سيتم بناء الخزان بالكامل لتخزين ما يصل إلى 74 مليار متر مكعب ، إلا أن الحجم الفعلي المطلوب لملء الحوض قد يكون أعلى كما هو موضح في الدراسات الملخصة في الجدول2

إذا أخذنا في الحسبان الخسائر الناجمة عن التسرب والتبخر. ويلر وآخرون (2020) محاكاة استجابة AHD خلال سيناريوهات فترات الملء المختلفة وكذلك الفترة بعد ملء الخزان بما في ذلك سيناريو الجفاف متعدد السنوات وخلص إلى أن خطر نقص المياه في مصر ، استجابة لبناء سد النهضة ، هو منخفضة نسبياً. ومع ذلك ، فإن تبني سياسات زراعية جديدة تعتمد على المحاصيل ذات الاستهلاك المنخفض للمياه سيكون ممكناً لتجنب الآثار السلبية للجفاف المتعدد السنوات.

في هذه الدراسة ، قمنا بتقييم آثار سد النهضة على التوافر المصري قصير المدى لتدفق النيل من خلال النظر في سيناريوهات واستراتيجيات ملء مختلفة تمت محاكاتها في أحدث الأدبيات المنشورة. بعد ذلك ، نقوم بتقييم إجمالي عجز الميزانية المائية لمصر الناجم عن سيناريوهات ملء سد النهضة ، والتسرب ، والعجز الجوهري الناتج عن النمو السكاني. نقوم بتقييم جدوى سياسات التخفيف المقترحة لمعالجة العجز الناتج ومناقشة الآثار الاجتماعية والاقتصادية مع الأخذ في الاعتبار كل من سيناريوهات الملء المقترحة لسد النهضة.

2. الطرق

2.1. سيناريوهات ملء سد النهضة

تتضمن السيناريوهات المدرجة في تحليلنا لعجز ميزانية المياه في مصر تأثير سيناريوهات ملء سد النهضة والقدرات التخزينية المرتبطة بها ، ويتم تلخيصها على النحو التالي (الجدول) 1):

(أ) دنيا ونجم (2018) ثلاثة سيناريوهات لسعة التخزين المفترضة: 74 و 35 و 18.5 مليار متر مكعب وثلاثة سيناريوهات لفترة الملء: 5 و 10 و 20 سنة. أشارت النتائج إلى أنه مع فترة الملء الخمسية لسد النهضة بسعة تخزين 74 مليار متر مكعب ، فإن خزان AHD سوف يفرغ وسيصل إلى مستوى الحد الأدنى من المياه البالغ 147 متراً بحلول العام الخامس.

(ب) كيث وآخرون (2017) فحصت سبع استراتيجيات لمعدل الملء: الاحتفاظ بنسبة 100٪ ، و 50٪ ، و 25٪ ، و 20٪ ، و 15٪ ، و 10٪ ، و 5٪ من تدفق النيل الأزرق. هم أظهر التحليل أن معدلات ملء الخزان السنوية من 8٪ إلى 15٪ يمكن أن تكون مفيدة لتوليد الطاقة الكهرومائية لإثيوبيا مع تأثير ضئيل على تدفق التيار إلى مصر بافتراض عدم وجود تأثير كبير لتغير المناخ حتى عام 2039. كما خلصوا إلى أن معدلات الملء الأكبر تتجاوز سياسة 15٪ سيكون لها آثار سلبية على تدفق التيار. على سبيل المثال ، مع سياسة معدل التعبئة بنسبة 100٪ (ما يعادل 2.5 سنة للوصول إلى مستوى الإمداد الكامل (FSL)) سيؤدي إلى تقليل تدفق التدفق بنسبة 55٪.

(ج) الملك والبلوك (2014) فحصت خمس سياسات ؛ ثلاث سياسات مع حجز 5 ٪ أو 10 ٪ أو 25 ٪ من إجمالي التدفق الشهري ، في حين أن السياستين الأخريين مشروطة بتجاوز متوسط التدفق التاريخي (HASF) أو 90 ٪ من تدفق HASF . أظهرت النتائج أن سياسة الملء بنسبة 5٪ لن تؤثر بشكل كبير على التدفق السفلي ولكن أيضاً لن تساعد في الوصول إلى FSL للخزان. من ناحية أخرى ، يمكن لسياسة 25٪ أن تقلل متوسط التدفقات النهائية بأكثر من 10 مليار متر مكعب في السنة.

(د) ليرش وآخرون (2017) يفترض ثلاثة سيناريوهات بناءً على الحد الأدنى من التصريفات الشهرية التي سيتم إطلاقها في نهاية المطاف: 75٪ و 50٪ و 25٪. تمت محاكاة كل من هذه السيناريوهات بثلاثة افتراضات لمعدل النضح (منخفض ، متوسط ، مرتفع) ، مما أدى إلى 18 سيناريو ملء مع مراعاة تغير المناخ في ظل الظروف الرطبة والجافة. ال

أظهرت النتائج أنه مع الافراج عن س50 و س75 من متوسط التفريغ الشهري ، قد تنخفض التدفقات بنسبة 10٪ - 19٪ و 16٪ - 44٪ ، على التوالي ، بينما تصدر شهرياً س25 التصريفات ستقلل فقط من 5٪ إلى 13٪ من المتوسط سيتم الوصول إلى التفريغ الشهري لدول المصب و FSL في غضون ثماني سنوات. تتوافق خسائر التبخر التي تمت محاكاتها أثناء عملية الملء مع 6.5٪ -8.7٪ من متوسط التدفقات السنوية بينما تراوحت خسائر التسرب بين نسبة ضئيلة إلى 24٪ -32٪ من التدفقات الداخلة. تم تسليط الضوء بشكل خاص على سيناريو خسارة التسرب القصوى في هذه الدراسة.

(هـ) عمران ونجم (2018) أشار إلى أنه في سيناريو ملء محطة توليد الكهرباء في العالم خلال سبع سنوات ، ستواجه مصر نقصاً كبيراً في كمية المياه المرتبطة بتخفيض بنسبة 20٪ إلى 30٪ من إنتاج الكهرباء من AHD.

(و) ويلر وآخرون (2016) حللت خمسة سيناريوهات إصدار سنوي مختلفة: 25 و 30 و 35 و 40 و 45 مليار متر مكعب في السنة.1 أشارت النتائج إلى أن الحد من مخاطر تدفق التدفق إلى مصر وتوليد الطاقة يمكن تحقيقه من خلال مجموعات من الإصدارات السنوية المتفق عليها من سد النهضة ، وكذلك اعتماد سياسة إدارة الجفاف الخاصة بـ AHD.

(ز) تشانغ وآخرون (2015) النظر في خمس سياسات تعبئة: حجز 5 و 10 و 25٪ من تدفق النيل الأزرق والاحتفاظ بكميات أكبر من HASF أو 90٪ من HASF مع إمكانية

الجدول 1. ملء السيناريوهات التي تم أخذها في الاعتبار في تحليلنا لعجز ميزانية المياه لمصر.

المرجعي	رقم. من سيناريوهات[4]	وصف
دنيا ونجم (2018)	6 (4)	سيناريو 3 سعات تخزين: 74 و 35 و 18.5 مليار متر مكعب.[5] 3 سيناريوهات فترة الملء: 5 و 10 و 20 سنة.
كيث وآخرون (2017)	7 (6)	7 استراتيجيات لمعدل الملء: الاحتفاظ بنسبة 100٪ ، و 50٪ ، و 25٪ ، و 20٪ ، و 15٪ ، و 10٪ ، و 5٪ من تدفق النيل الأزرق.[6]
الملك والبلوك (2014)	5 (4)	3 وثائق ككسور من إجمالي التدفق الشهري: حجز 5 أو 10 أو 25٪ 6. 2 من السياسات مع معدلات الاحتفاظ التي تتوقف على تجاوز HASF[7] الاحتفاظ بأي كمية أكبر من HASF أو 90٪ HASF.
ليرش وآخرون (2017)	18 (4)	3 سيناريوهات تستند إلى الحد الأدنى من التصريفات الشهرية التي سيتم إصدارها في نهاية المطاف: احتمالات تجاوز شهرية تبلغ 75٪ و 50٪ و 25٪.[8] 3 سيناريوهات مبنية على افتراضات معدل التسرب: منخفض ، متوسط ، مرتفع[9] 2 سيناريوهان مائي - مناخي: رطب أو جاف. في تحليلنا ، استخدمنا فقط 4 سيناريوهات بما في ذلك Q75 و Q50 في ظل الظروف الرطبة والجافة وافتراض الحد الأقصى للتسرب (32٪) في جميع السيناريوهات.
عمران ونجم (2018)	1	سبع سنوات ، ستواجه مصر نقصاً كبيراً في كمية المياه المرتبط بتخفيض من 20٪ إلى 30٪ من إنتاج الكهرباء من 5 .AHD قيم إصدار سنوي: 25 و 30 و 35 و 40 و 45 مليار متر مكعب في العام-1.
ويلر وآخرون (2016)	5	
تشانغ وآخرون (2015)	5 (4)	5 سياسات تعبئة: حجز 5 و 10 و 25٪ من تدفق النيل الأزرق والاحتفاظ بكميات أكبر من HASF أو 90٪ HASF5. 8 تغيرات محتملة في هطول الأمطار-20 ، -10 ، -5 و 0 و +5 و +10 و +15 و + 20٪ بحلول عام 2060[10]
تشانغ وآخرون (2016)	6	سيناريوهان مع الحجز الجزئي: 10 و 25٪ من التدفق الداخل. استراتيجية تعبئة عتبة 1 تسمح بحجز أي حجم تدفق يزيد عن HASF في الخزان. 3 استراتيجيات تعبئة مطلقة: 4 و 6 و 8 سنوات.

4 بين قوسين عدد السيناريوهات التي تم أخذها في الاعتبار في دراستنا.

5 لم يتم النظر في السيناريوهات ذات السعة 35 و 18.5 مليار متر مكعب في هذه الدراسة.

6 لم يتم النظر في معدل ملء بنسبة 5٪ في هذه الدراسة نظراً لعدم رغبتها في التبني (أكثر من 50 عاماً من مدة الملء).

7 .متوسط تدفق التيار التاريخي :HASF

8 لم يتم أخذ سيناريو 25٪ في الاعتبار في دراستنا حيث لن يتم الوصول إلى الملء قبل 20 عاماً.

9 تعتبر آثار التسرب في تحليل منفصل.

10 متوسط النتائج بين السيناريوهات المناخية المختلفة.

تغيرات هطول الأمطار -20 ، -10 ، -5 ، 0 ، +5 ، + 10 ، +15 ، + 20٪ بحلول عام 2060. وأظهرت النتائج أن حجز 10٪ أو 25٪ من التدفق الشهري سينتج عنه 6٪ أو 14٪ متوسط انخفاض في التدفق إلى مصر خلال السنوات الخمس الأولى ، على التوالي.

(ح) تشانغ وآخرون (2016) اقترح سيناريوهان مع الحجز الجزئي: 10 و 25٪ من التدفق الداخلي ، استراتيجية ملء عتبة واحدة تسمح بحجز أي حجم تدفق يزيد عن HASF في الخزان وثلاث استراتيجيات تعبئة مطلقة: 4 و 6 و 8 سنوات. أشارت النتائج إلى أن سيناريوهات 25٪ و 6 سنوات و 8 سنوات يمكن أن توفر أفضل السيناريوهات لكل من دول المنبع والمصب.

من أجل تقييم العجز الكلي في ميزانية المياه ، وأفضل سياسات التخفيف والتأثيرات الاجتماعية والاقتصادية لكل من سيناريوهات ملء سد النهضة ، نستخدم ثلاث طرق تم تلخيصها هنا.

2.2. تقدير عجز الميزانية المائية

للحد من الغموض حول التوقعات في إجمالي عجز الميزانية المائية لمصر خلال فترات الملء المقترحة لسد النهضة ، نستخدم تقديرات عجز الميزانية المائية من نموذج ميزانية المياه في مازوني. وآخرون (2018) والنظر في المستقبل الإسقاطات السكانية في إطار سيناريو المسارات الاجتماعية والاقتصادية المشتركة والتنافس الإقليمي (SSP3). يتم اختيار سيناريو SSP3 بشكل إيجابي لأنه يشتمل على أكبر التحديات نحو التخفيف والتكيف ، مع تنافس إقليمي قوي (Mazzoni)وآخرون 2018). علاوة على ذلك ، نقوم بتنفيذ سيناريوهات التعبئة المختلفة من حيث المقاييس الزمنية والكميات المحتجزة التي نستمدها من مراجعة شاملة للأدبيات وجمع أحدث التحليلات. الطاولة1 يلخص سيناريوهات التعبئة المختلفة أو الاستراتيجيات التي اعتمدتها كل دراسة. ثم نشتق متوسط العجز المائي السنوي الإضافي لمصر الناتج عن ملء السد وعن الخسائر الناجمة عن التسرب والتبخر من Liersch.وآخرون (2017) وويلر وآخرون (2020). يتم التركيز بشكل خاص على فقدان المياه من السد بسبب التسرب لسببين. أولاً ، تم التقليل من خسائر التسرب إلى حد كبير في الدراسات السابقة التي تناولت تقييم تأثير سد النهضة ، وثانياً ، يمكن أن تصل الخسائر المرتبطة بالتسرب سنوياً إلى 15 مليار متر مكعب مقارنة بخسائر أقل بكثير مرتبطة بالتبخر السنوي تبلغ 3.8 مليار متر مكعب فقط (Liersch).وآخرون 2017). في تحليلنا ، نختار فقط الدراسات المنشورة حول هذا الموضوع في السنوات الخمس الماضية منذ أن تم نشر بعض المواصفات الفنية الرئيسية لسد النهضة مؤخراً فقط (مثل السعة الإجمالية للسد). من بين جميع الدراسات التي تم النظر فيها ، تم استكشاف سياسات تعبئة مختلفة إما من خلال النظر في

بداهة عدد ثابت من السنوات لمدة فترة الملء ، باستخدام معدلات الاحتفاظ الجزئية من إجمالي التدفق الشهري للتيار المتدفق في الخزان الذي يضمن حجزاً دائماً للمياه كل شهر لملء السد ، أو مرة أخرى من خلال تطبيق سياسات قائمة على العتبة ، مع معدلات الاحتفاظ مشروط بقيمة ثابتة معينة ، والتي بدلاً من ذلك لا تضمن الاحتفاظ بالتخزين في السنوات التي يكون فيها تدفق التيار أقل من خط الأساس المحدد. لتكون قادراً على مقارنة نتائج الدراسات المختلفة ، قمنا بتوسيط نتائجها عبر السيناريوهات المناخية التي أخذوها في الاعتبار في تحليلهم لتتناسب مع استخدامنا لـ SSP3.

2.3 مؤشر الجدوى لعوامل التخفيف المختلفة

في الجدول 2، نلخص ما هي جميع الاستراتيجيات المقترحة الأكثر منطقية التي يمكن أن تتخذها مصر للتخفيف من الآثار قصيرة المدى والمؤقتة لملء سد النهضة من حيث عجز المياه على وجه الخصوص: تخفيض عملية AHD (أي تعديل قواعد AHD لتتوافق مع تقليل المياه) ، التوسع في استخراج المياه الجوفية ، اختيار نوع المحاصيل ، تحديث نظام الري ، تغيير قنوات الحقول إلى أنابيب ، زيادة إعادة استخدام مياه الصرف الصحي ، حصاد الأمطار ، التوسع في تحلية المياه وتقليل التبخر في بحيرة ناصر. نقوم بعد ذلك بتطوير مؤشر جدوى مقابل محسوب من خلال تحليل من الدرجة الأولى للمدة والتكلفة والفائدة لاستراتيجيات التخفيف المقترحة للحصول على مؤشر حدودي يسمح لنا بتقييم إمكانية التطبيق العملي لكل حل ممكن.

يتناسب طرديا مع هذه الفوائد من حيث المياه

الحجم بالمليار متر مكعب في السنة-1:

مؤشر الجدوى = Fمدة-1 ، التكاليف-1 ،

× (فوائد) ،)

مؤشر الجدوى = βد

$$\frac{\text{Duratio}(1)}{\text{معيار}} + \beta_{\text{ج}} \frac{1}{\text{التكاليف}}$$

معيار

+ βب فوائدمعيار.

المعاملات الثلاثة βد، βد، و βد تساوي 1/3 لإعطاء نفس الوزن لكل متغير. ل

متغير المدة ، نختار خمسة سيناريوهات بقيمها التجريدية المتزايدة الخاصة بكل منها: المدى القصير = 1 ، المدى القصير المتوسط = 2 ، المدى المتوسط = 3 ، المدى المتوسط = 4 ، المدى الطويل = 5. بالنسبة للتكاليف ، فإننا نحسب يتم استهلاك كل من النفقات السنوية بسبب تكاليف المصروفات الرأسمالية (CAPEX) على مدى العمر الافتراضي للحل نفسه وتكاليف التشغيل السنوية (OPEX). نشتق أولاً حداً أدنى وأعلى لجميع المتغيرات لكل استراتيجية تخفيف ، ثم نقوم بعد ذلك بتطبيع كل متغير إلى فترة [0،1] ، ونحسب أخيراً مؤشر الجدوى العام كمجموع مرجح للمكونات الثلاثة. نظراً لوجود نطاقات وقيم مختلفة للتكاليف ووقت التنفيذ لكل مقياس ، يتم تقديم مجموعة من القيم لمؤشر الجدوى لكل استراتيجية تخفيف.

2.4 نمذجة الأثر الاقتصادي

نحن نستخدم نموذجاً اقتصادياً مبسطاً لتقييم آثار العجز الكلي في الميزانية المائية في ظل سيناريوهات ملء السد المختلفة على تطور الناتج المحلي الإجمالي الزراعي في مصر. يقدم هذا النموذج تحليلاً من الدرجة الأولى يوفر تقديراً للحد الأدنى للتأثير الاقتصادي المكافئ للعجز الكلي في الميزانية المائية على القطاع الزراعي بسبب الخسارة في إنتاجية المحاصيل الناتجة عن تدهور الأراضي بسبب نقص الري) وليس حساب العواقب على القطاع الصناعي الذي يصعب تقييمه بسبب نقص السجلات المنشورة. النموذج (ملحق الشكل S1 متاح على الإنترنت على stacks.iop.org/ERL/16/074022/mmedia) يستخدم متوسط توقعات معدلات نمو الناتج المحلي الإجمالي من البيانات التاريخية لثلاث حالات: معدلات نمو منخفضة (1.76٪) ، أو متوسطة (4.47٪) ، أو مرتفعة (7.16٪) من توقعات الناتج المحلي الإجمالي لمصر (البنك الدولي). 2016). تمثل هذه التوقعات تقديرات إجمالي الناتج المحلي بخلاف سد النهضة. ثم نقوم بحساب الانخفاض في الناتج المحلي الإجمالي لسيناريوهات ملء سد النهضة 3 و 5 و 7 و 10 و 21 عاماً. نحسب أخيراً نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي باستخدام البيانات التاريخية والتوقعات السكانية من مراجعة 2019 للتوقعات السكانية في العالم (التوقعات السكانية العالمية للأمم المتحدة2019) لكل من حالات الارتجاع المعدي المريئي وحالات أخرى. يتم تقدير خسارة ميزانية المياه السنوية وخسارة الأرض المكافئة تقريباً باستخدام علاقات من Mazzoni*وآخرون* (2018) وحمادة (2017) على التوالي ، حيث يؤدي فقدان كل 5 مليار متر مكعب إلى تدهور كلي لـ ~ 0.42 مليون هكتار (~ 1.2 مليون فدان). إجمالي مساحة الأراضي الزراعية في مصر (~ 9.1 مليون فدان أي ما يعادل ~ 3.822 مليون هكتار) على أنها إجمالي الناتج المحلي الزراعي لمصر لحساب الانخفاض في الناتج المحلي الإجمالي بسبب التدهور الكلي الذي غالباً ما يتم التعبير عنه في الوحدة المحلية فدان (الفدان الواحد يساوي 4200 مليون.2). نقوم أيضاً بتقييم الزيادة في البطالة بسبب تدهور الأراضي في القطاع الزراعي (الذي يستخدم ربع القوة العاملة في مصر) باستخدام متوسط عدد المزارعين للفدان من وزارة الموارد المائية والري المصرية. 2014).

3. النتائج

تتعلق نتائج بحثنا بثلاث نتائج: الأول يتعلق بتقييد توقعات العجز الكلي في الميزانية المائية خلال سيناريوهات ملء سد النهضة المختلفة ، والثاني حول جدوى استراتيجيات التخفيف لمعالجة هذا العجز ، والثالث يتعلق بالتأثير الاقتصادي المقابل لسيناريوهات سد النهضة. إجمالي عجز الميزانية المائية كما هو مفصل أدناه.

الجدول 2. استراتيجيات التخفيف المقترحة.

المرجعي	وصف	مدة	التكاليف	فوائد
عبد الحليم و هلال (2015)	محطات ضخ بتصميم سحب عائم	لا يوجد تخفيف مقابل عجز المياه		
	مآخذ إضافية للمضخات الموجودة	لا يوجد تخفيف مقابل عجز المياه		
	يجب إعادة تعديل قواعد AHD لتتماشى مع تقليل المياه - على المدى القصير نشوئها		فقدان من 11.5٪ إلى 44.3٪ من الطاقة المنتجة في AHD سنوياً← 3952–1026 جيجاواط ساعة في السنة[1]← 71.8 - 277 مليون دولار سنوياً[1.11]	2.8 - 22.2 مليار متر مكعب في السنة[1].
دنيا ونجم (2018)	سياسات إدارة مياه أكثر موثوقية	مجهول		
	إدارة المياه على أساس مبدأ الاستخدام العادل غير معروف			
	استراتيجية مربحة للجانبين بين مصر وإثيوبيا	مجهول		
	اتفاقية سعة سد النهضة	مجهول		
	مشروع حصاد المياه بحوض النيل	طويل الأمد (30-10 سنة)	4.05 دولار-3 (سنغافورة) أو 5.45 دولار-3 (برلين)[12]	الاستخدام الحالي 1 مليار متر مكعب ، بحد أقصى 1.8 مليار متر مكعب في العام[1.13].
	إعادة استخدام مياه الصرف الصحي	إستراتيجية 2030[14]	8.57 مليار دولار أمريكي النفقات الرأسمالية + 340 مليون دولار أمريكي النفقات التشغيلية[14]	5 مليار متر مكعب / السنة المنتجة مياه الصرف الصحي: 3.7 / سنة تعامل BCM← 1.3 مليار متر مكعب / السنة المحتملة مصدر[15]. 2030 مياه الصرف الصحي السنوية للوصول 11.7 مليار متر مكعب في السنة[1] (11.6 مليار متر مكعب / سنة معُامل)[14]

(واصلت.)

IOP Publishing

الجدول 2. (واصلت.)

المرجعي	وصف	مدة	التكاليف	فوائد
	التوسع في تحلية المياه	طويل الأمد (2-5 سنوات)	10-20 دولاراً أمريكياً3 النفقات الرأسمالية + 0.65–0.77 مليون دولار3يروبكس16	مخطط لـ 268 مليون متر مكعب في العام1 17 احتمالية أقل من 3.5 مليار متر مكعب في السنة 1 بحلول عام 2020 18
	طرق الري الجديدة (مثل الري بالتنقيط)	طويل الأمد	8.5 - 17 مليار دولار19	كفاءة النظم الحديثة كفاءة 80٪ → يمكن أن ينقذ 8.8 مليار متر مكعب في العام1 14.8 مليار متر مكعب في السنة121
النشار و اليماني (2018)	تغيير أنماط المحاصيل لاستخدام كميات أقل من المياه استخدم أنظمة الري الحديثة القضاء على / التقليل من زراعة الأرز والنباتات الأخرى المستهلكة للمياه (مثل قصب السكر) تحويل القنوات السطحية للحقول الصغيرة إلى أنابيب	المدى القصير انظر المدخل المماثل أعلاه انظر المدخل المماثل أعلاه طويل الأمد (> 5 سنوات)	1.623 مليار دولار للأرز + 636 مليون دولار لقصب السكر20 على غرار ما ورد أعلاه: 8.5-17 مليار دولار19	وفر 42٪ من فاقد المياه → يمكن أن ينقذ 7.4 مليار متر مكعب في العام121
ابراهيم وعمارة (2010)	إعادة استخدام مياه الصرف الصحي ومياه الصرف الصحي المعالجة. مكثفات المياه بجوار مناطق التبخر. التوسع في استخدام المياه الجوفية توسيع سعة التحلية باستخدام نظام الري بالأخدود الثابت	انظر الدخول المماثل أعلاه على المدى القصير انظر المدخل المماثل أعلاه انظر المدخل المماثل أعلاه	تكاليف منخفضة	إنتاج منخفض جدا الكفاءة> 35٪ → يمكن أن يوفر 9.36 مليار متر مكعب في العام 1

(واصلت.)

IOP Publishing

الجدول 2. (واصلت.)

المرجعي	وصف	مدة	التكاليف	فوائد
كيث وآخرون (2017)	بناء محطات التحلية ابتكار تكنولوجي (أنظمة الري ، ممارسات الزراعة ، تحلية المياه)	انظر مدخل مماثل أعلاه راجع الإدخالات الأخرى للحصول على مزيد من التفاصيل حول كل حلول محددة		
ليرش وآخرون (2017)	تعديل عمليات سدي المسبحين وسنار (السودان)	المدى القصير (سنة واحدة)	مجهول	
عمران ونجم (2018)	تعظيم استخدام المياه الجوفية	المدى القصير	0.1 - 6 مليون دولار في السنة-1.22	3.65 - 4.65 مليار متر مكعب في العام-1 (1.65 مليار متر مكعب من طبقات المياه الجوفية الأحفورية 2-3 مليار متر مكعب من طبقة النيل الجوفية)23
	تعظيم الاستفادة من مياه الأمطار في مصر الحد من التبخر في بحيرة ناصر: تغيير مستويات المياه في AHD ، وزراعة محاصيل خاصة على سطح البحيرة ، وإغلاق قناة ثانوية (خور) ، وصفيحة رغوية دائرية.	أنظر فوق راجع الإدخالات الأخرى للحصول على مزيد من التفاصيل حول كل حلول محددة		

11 بافتراض متوسط كهربائي سعرها 0.07 دولار كيلوواط ساعة-1.

12 من تشانغ وآخرون (2017).

13 من عبد الشافي وآخرون (2010).

14 من أبوزيد والراوادي (2014).

15 من البانا وآخرون (2017).

16 استناداً إلى "تكلفة تحلية المياه" ، مستشار. متوفر على الانترنت: www.advisian.com/en-gb/global-perspectives/the-cost-of-desalination تم الوصول إلى المقال بتاريخ [2018/11/27].

17 من مازوني وآخرون (2018).

18 تم الاسترجاع من)2011(Verdier.

19 محسوبة على أساس 17 مليون هكتار من الأرض المزروعة وبافتراض تكلفة تحديث أنظمة الري بين 500 و 1000 دولار هكتار-1. 20 محسوبة بسعر 257.7 دولار / طن للأرز و 40.37 دولار / طن لقصب السكر→إنتاج 6.3 طن متري من الأرز و 1.57 طن متري من قصب السكر في عام 2016.

21 الحساب الذاتي.

22 تم الحساب باستخدام 3.65 و 4.65 مليار متر مكعب كهدف ، بمتوسط عائد لكل بئر من 5000 إلى 60000 متر مكعب في اليوم-1→ 167-2548 بئرا→تكلفة جيدة من 17000 دولار إلى 70000 دولار رأسمالي ولا توجد تكاليف ذات صلة للنفقات→ 2.9–178 مليون دولار ، موزعة على متوسط عمر 30 سنة.

23 من النشار والليماني (2018).

شكل 1. إجمالي عجز الميزانية المائية لمصر في ظل مختلف سيناريوهات الملء التي تم نشرها. تصف المخططات العلوية واليمنى دالة التوزيع الاحتمالي المقدرة (pdf) لكل متغير (تقدير كثافة النواة الغاوسية) ، على التوالي.

3.1. تقدير عجز الميزانية المائية

شكل 1 يوضح التوزيع الناتج لمخرجات كل سيناريو مدروس من حيث السنوات اللازمة لملء سد النهضة وإجمالي العجز السنوي المتوقع في الميزانية المائية لإمدادات المياه العذبة المصرية المتجددة من خلال هذه العملية. من الواضح أن كل معدل تعبئة مختار سيكون له آثار مختلفة على وقت ملء الخزان وبالتالي تأثير نسبي على تخفيضات التدفق في اتجاه مجرى النهر. نتيجة لذلك ، وجدنا أن الوقت التقديري المطلوب لملء السد يتوزع بين 2.5 سنة كحد أدنى و 29.6 سنة كحد أقصى ، بمتوسط قيمة 10.86 (الوسيط: 9.19 ، Q3: 13.97 ، Q1: 5.79 سنة). لمزيد من التفاصيل حول التأثير على التدفقات السنوية إلى مصر ، الشكل2 يلخص في شكل مربع التوزيع الإحصائي لعجز المياه السنوي الناتج عن ملء السد ، التسرب المستنتج من Liersch *وآخرون* (2017) ، والفجوة الجوهرية المتوقعة في الميزانية المائية المصرية المستمدة من المازوني *وآخرون* (2018). ينشأ المكون الرئيسي للعجز المائي الإجمالي في مصر من فجوة المياه الجوهرية بين الطلب الداخلي وإمدادات المياه المتجددة المتاحة حالياً. هذا الفرق يعادل 18.35 مليار متر مكعب في السنة -1

في القيمة المتوسطة ، يتم تعويضها حالياً بواسطة إعادة استخدام مياه الصرف داخل دلتا النيل والسحب غير القانوني للمياه الجوفية العميقة (CAPMAS 2018). كلاهما يساهم في تدهور جودة المياه بشكل عام (موحي وموسى2016). وتجدر الإشارة إلى أن كمية العجز المائي المذكورة أعلاه في مصر لا تشمل التغذية السنوية للمياه الجوفية من بحيرة ناصر وشمال السودان إلى طبقة المياه الجوفية النوبية (عبد المحسن*وآخرون* 2019سلطان *وآخرون* 2013عبد المحسن *وآخرون* 2020). تم تقديره باستخدام نموذج تدفق المياه الجوفية ثنائي الأبعاد ، على مستوى بحيرة 178 متراً فوق مستوى سطح البحر (masl) ، يتلقى خزان المياه الجوفية النوبي إعادة شحن سنوية تبلغ 6 مليار متر مكعب في السنة-1 مقارنة ب 0.7 مليار متر مكعب في السنة-1 ، عندما ينخفض مستوى البحيرة إلى 170 متر. بشكل جماعي ، يمكن أن تصل التغذية السنوية للمياه الجوفية من بحيرة ناصر وحوض شمال السودان إلى 8.5 مليار متر مكعب في السنة-1 خلال فترات هطول الأمطار المكثفة على أفريقيا الاستوائية (على سبيل المثال الفترة بين 2012 و 2015 ؛ عبد المحسن *وآخرون* 2019). كمية التغذية السنوية للمياه الجوفية من هطول الأمطار على منصة شمال السودان ، والتي يمكن تقديرها تقريباً من تخزين المياه الجوفية GRACE على أنها 2.5 مليار متر مكعب في السنة-1 (عبد المحسن *وآخرون* 2019) ، لن يتأثر ببناء السد ، لكن السيناريوهات المختلفة له

الشكل 2. المكونات الثلاثة التي تحدد إجمالي عجز الميزانية المائية السنوية لمصر خلال فترة ملء سد النهضة حسب المصدر التي تم تناولها في دراستنا. لاحظ أنه بالنسبة لكل مخطط مربع ، يمثل الخط الموجود داخل المربع الوسيط ، ويحدد المثلث المتوسط (يشار إليه أيضاً بالمتوسط) ، وتمثل حواف المربع النسب المئوية 25 و 75 ، وتمتد الشعيرات إلى نقاط البيانات الأكثر تطرفاً. تعتبر القيم المتطرفة ، ويتم رسم القيم المتطرفة بشكل فردي في تقاطعات. مراجع:1(Liersch et al2017) ؛ 2 مازوني وآخرون (2018). يشير المربع الأيسر (GERD) إلى العجز المائي السنوي الناجم عن احتجاز المياه في خزان السد خلال فترة الملء (الأرقام مشتقة إحصائياً من السيناريوهات المتاحة في الجدول1. يشير المربع الأوسط (التسرب) إلى العجز المائي السنوي الناتج عن خسائر التسرب في خزان السد بعد1(Liersch et al2017). يشير المربع الأيمن إلى عجز المياه الجوهري الحالي في مصر بعد ذلك2مازوني وآخرون (2018). يشار إلى مجموع متوسط قيمة الثلاثة باسم

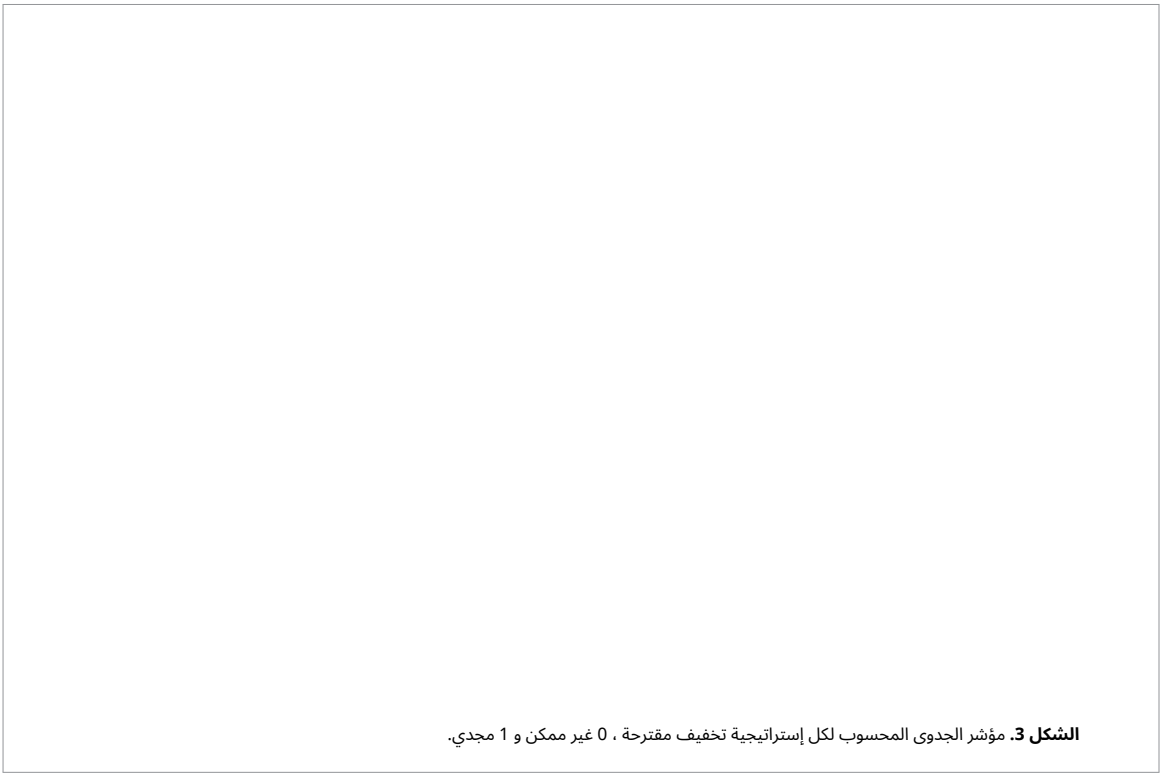
وبالتالي ، سيؤثر سد النهضة على مستويات بحيرة ناصر ، وبالتالي فإن التغذية السنوية لطبقة المياه الجوفية النوبية ستعُيق بشكل كبير. يجب التحقيق في استجابة طبقة المياه الجوفية النوبية للسيناريوهات المختلفة لملء السد لتقدير عجز إجمالي موثوق في الميزانية المائية في مصر.

المكونان الآخران (أي حجز المياه أثناء فترة الملء والتسرب من السد) ، المرتبطان بدلاً من ذلك مباشرة ببناء السد ، يخلقان مجتمعين فجوة مائية إضافية في المتوسط ~ 12.15 مليار متر مكعب في السنة-1 مع الأخذ في الاعتبار جميع الأطوال المتوقعة لفترات ملء السد. يمكن أن يتراوح الانخفاض في تدفق التدفق في مصر بسبب خسائر التسرب في سد النهضة ، دون النظر إلى القيم المتطرفة ، من 43 مليون متر مكعب على الأقل في السنة-1 بحد أقصى 10.4 مليار متر مكعب في السنة-1

(الوسيط: 2.5 ، Q3: 4.9 ، Q1: 0.185 مليار متر مكعب في العام-1) بافتراض أن إجمالي التدفق الداخلي يتراوح بين 43.2 و 53.3 مليار متر مكعب ومعدلات تسرب 1٪ و 32٪ (Liersch *وآخرون* 2017). ومع ذلك ، بالنسبة لمصر ، فإن الانخفاض الرئيسي الفعلي في إمدادات المياه السنوية يرجع إلى ملء السد نفسه. تتراوح الخسارة المقدرة ، باستثناء القيم المتطرفة ، بين 2.72 و 22.67 مليار متر مكعب في السنة-1 (الوسيط: 9.64 ، Q3: 13.22 ، Q1: 6.13 مليار متر مكعب في العام-1). بالنسبة المئوية ، ستؤدي تأثيرات سد النهضة إلى زيادة إضافية في العجز المائي الحالي لمصر بين + 34.4٪ و + 98.7٪ ، في المتوسط. ~ 83٪ بسبب الحشو والباقي ~ 17٪ من التسرب بافتراض أقصى معدل نضح. إذا أخذنا في الحسبان جميع المكونات ، فقد تواجه مصر في سنوات ملء سد النهضة عجزاً سنوياً إجمالياً في المياه من 24.7 إلى 36.5 مليار متر مكعب في السنة-1 (موزعة بنسبة: 32٪ بسبب ملء سد النهضة ، 8٪ للتسرب تحت سد النهضة ، و 60٪ من عجز ميزانية المياه الجوهرية) ، وهو ما يتوافق مع متوسط + 35.5٪ من الطلب السنوي الحالي على المياه. جدير بالذكر أن هذه التقديرات تمثل السيناريو الأسوأ ، حيث لم يتم اتخاذ أي إجراءات من قبل السلطات المصرية للتخفيف من هذه المعدلات المتوقعة لعجز المياه بسبب النقص الفني أو عدم الاستقرار السياسي. بالإضافة إلى ذلك ، يمكن أن تؤثر أحداث الفيضانات المعززة فوق النيل الأبيض بشكل إيجابي على ميزانية المياه المصرية من خلال إدخال أكثر من 25 مليار متر مكعب إلى بحيرة ناصر على مدى ثلاث سنوات (على سبيل المثال ، حدث الفيضان بين عامي 1999 و 2001 ؛ بسطويسي*وآخرون* 2008).

3.2 مؤشر الجدوى

شكل 3 يوضح الجدوى الناتجة لكل حل مقترح والمساهمة النسبية لكل استراتيجية تخفيف التي أخذناها في الاعتبار لحساب المؤشر الذي يتراوح من 0 (غير ممكن) إلى 1 (ممكن). فحص تقديرات مؤشر الجدوى (الشكل3) يشير إلى أنه من بين جميع الحلول المقترحة لمعالجة عجز ميزانية المياه ، فإن الخيار الأكثر عملية (مؤشر الجدوى> 50٪) لمصر على المدى القصير سيكون تخفيض مؤقت أو حتى تعليق العمليات بالكامل في AHD للتعويض الجزئي عن الانخفاض. التدفق أثناء ملء السد. يمكن استرداد الخسارة في خزان حوض أسوان وتوزيعها في السنوات التالية بعد بدء تشغيل السد عندما يعود تدفق مجرى النيل الرئيسي إلى معدله المعتاد. من شأن هذا بالطبع أن يقلل بشكل كبير من إنتاج الكهرباء من محطة الطاقة الكهرومائية في أسوان (يحُسب هنا كتكلفة للاستراتيجية المقترحة)



الشكل 3. مؤشر الجدوى المحسوب لكل إستراتيجية تخفيف مقترحة ، 0 غير ممكن و 1 مجدي.

ولحساب جميع الآثار اللاحقة لهذا الخيار. تشمل الحلول الفعالة الأخرى تعظيم سحب المياه الجوفية (مؤشر الجدوى> 35٪) ، على الرغم من أننا هنا لا نأخذ في الحسبان التأثيرات البيئية على تدهور أنظمة طبقات المياه الجوفية الأحفورية. ومع ذلك ، فإن هذا المقياس فعال للغاية من حيث التكلفة مقارنة بالإجراءات الأخرى (الشكل3؛ الطاولة2) ، ومع ذلك فإن إجمالي إنتاج الآبار الحالية لا يمكنه سد فجوة العجز المائي الناجم عن سد النهضة بإجمالي إمكانات تصل إلى 4.65 مليار متر مكعب في السنة-1 (عمران ونجم 2018). يمكن تحسين هذا الحل من خلال التوسع في استخراج المياه الجوفية من طبقات المياه الجوفية الضحلة شرق وغرب دلتا النيل (أبو طالب*وآخرون* 2016السعداوي *وآخرون* 2020حجازي *وآخرون* 2020خليل *وآخرون*

2021). علاوة على ذلك ، تمثل طبقات المياه الجوفية الجيرية غير المستكشفة إلى حد كبير شرق وغرب وادي النيل ممرات قيمّة لتوسيع استخراج المياه الجوفية بسبب: (1) الطبيعة المتصدعة والكارستية للخزان الجوفي الذي ينتج عنه إنتاجية عالية من المياه الجوفية تصل إلى 1600 متر.3 د-1 (يوسف *وآخرون* 2018) ، (2) التغذية الوفيرة من طبقة المياه الجوفية النوبية العميقة من خلال تصاعد المياه الارتوازية على طول الصدوع وبالتالي جلب المياه العميقة بشكل طبيعي (حتى 1500 م) إلى مستويات ضحلة (أقل من 600 م) بدون تكلفة (حسين) *وآخرون* 2017وأبو طالب وحجي 2018؛ أبو طالب*وآخرون* 2019)، و

(3) انخفاض ملوحة المياه للأغراض المنزلية والزراعية (<3000 مجم لتر-1 ؛ ابراهيم وليونز
2017يوسف *وآخرون* 2018). يوضح تقدير مؤشر الجدوى أيضاً أن تغيير نظام الزراعة نحو زراعة المحاصيل التي تتطلب كميات أقل من المياه يمكن أن يكون أيضاً حلاً ممكناً (مؤشر الجدوى> 20٪). يبلغ معدل استخدام المحاصيل المائي الحالي في مصر 1.4 م3 م-2 سنة-1 (محيي الدين وموسى

2016) وبالتالي 53.7 مليار متر مكعب من المياه كل عام لري 9.1 مليون فدان. استبدال قصب السكر بنجر السكر وقصر زراعة الأرز على العدد الرسمي للفدان (حوالي مليون فدان أي 850 ألف فدان أقل من أراضي الأرز الفعلية في مصر 1.9 مليون فدان) ، سيكون معدل استخدام المياه للمحاصيل كما هو. منخفضة تصل إلى 1 م3 م-2 سنة-1 (دين *وآخرون* 2016) ، الأمر الذي يتطلب فقط

38.3 مليار متر مكعب لري 9.1 مليون فدان. الخيارات الأخرى لها مؤشر جدوى أقل من 10٪ ، مما يعني أنها إما تتطلب الكثير من الوقت لتنفيذها أو أن التكلفة مرتفعة للغاية ، مما يؤدي مرة أخرى إلى فعالية منخفضة في التخفيف من عجز المياه. على سبيل المثال ، يعد تحديث نظام الري عملية مكلفة وتستغرق وقتاً طويلاً ، حيث يكلف تحديث أنظمة الري التي تبلغ مساحتها 3140 هكتاراً فقط في صعيد مصر 11.6 مليون دولار أمريكي (Takouleu2020). نظام الري الحالي هو نظام ري سطحي (أي الري بالغمر) الذي يعتمد بالكامل تقريباً على AHD لتنظيم المياه من خلال أكثر من 29000 كيلومتر من القنوات والقنوات الفرعية مما يؤدي إلى فقدان أكثر من 3 مليار متر مكعب من مياه النيل سنوياً من خلال التبخر في بالإضافة إلى نقص المياه عند طرف ذيل القناة. هذه الآثار السلبية للري السطحي تشجع الحكومة المصرية على تطبيق الأساليب الحديثة للري مثل أنظمة الري بالرش والري بالتنقيط والري بالفقاعات.*وآخرون* 2020) وكذلك تبطين قنوات الري (خليل *وآخرون* 2021).

3.3 الناتج المحلي الإجمالي وتوقعات البطالة

يمكن العثور على توقعات معدل نمو الناتج المحلي الإجمالي للزراعة ونصيب الفرد من إجمالي الناتج المحلي بالأرقام 4 و 5، على التوالي ، مع الأخذ في الاعتبار مجموع فاقد المياه في الشكل 2. في الأعوام 2022 و 2023 و 2024 ، كان أول عمل لنا

الشكل 4. توقع الخسائر المكافئة في الناتج المحلي الإجمالي الزراعي لمصر في ظل افتراض عدم التخفيف من إجمالي عجز الميزانية المائية الذي زاد من خلال سيناريوهات الملء المختلفة لسد النهضة.

الشكل 5. توقع قصير الأجل للخسائر المعادلة في إجمالي الناتج المحلي الإجمالي للفرد في مصر بالدولار الأمريكي فقط مع الأخذ في الاعتبار الخسائر في القطاع الزراعي (أي الناتج المحلي الإجمالي الزراعي) الناشئة عن العجز الكلي غير المخفف في ميزانية المياه لملء السد المختلفة سيناريوهات.

يشير نموذج الطلب إلى خسائر معادلة في إجمالي الناتج المحلي الزراعي ناتجة عن إجمالي عجز الميزانية المائية غير المخفف ، لإجمالي فترة التعبئة ~ $51 مليار لسيناريو ملء 3 سنوات ، ~ $ 28 مليار لسيناريو ملء 5 سنوات ، ~ $17 مليار لسيناريو ملء 10 سنوات ، و~ $10 مليار لسيناريو الملء لمدة 21 عاماً. تعكس هذه الخسائر الاقتصادية تدهور إنتاج المحاصيل بسبب العجز غير المخفف في مياه الري اللازمة للمحافظة على الزراعة.

أنشطة. ما سبق يقلل من مساحة الزراعة الموجودة كما هو موضح في الأقسام2.4 و 3.2 ومن ثم الناتج المحلي الإجمالي الزراعي المرتبط. ستؤدي الخسائر في القطاع الزراعي (أي الناتج المحلي الإجمالي الزراعي) إلى انخفاض إجمالي الناتج المحلي الإجمالي المتوقع للفرد لمصر للأعوام 2022 و 2023 و 2024 من 2815 دولاراً و 2890 دولاراً و 2968 دولاراً للحالة بدون سد النهضة إلى 2633 دولاراً. و 2703 دولاراً و 2777 دولاراً عند المحاسبة فقط عن الخسائر الزراعية الناشئة عن عدم التخفيف

الشكل 6. معدلات البطالة المتوقعة والزيادة في إجمالي البطالة الناتجة عن العجز الكلي في الميزانية المائية مع تزايد سيناريو ملء سد النهضة في مصر. توقعات البطالة على أساس البيانات التاريخية للبنك الدولي والعمالة لكل فدان للمناطق الزراعية في مصر.

إجمالي عجز الموازنة المائية في إطار سيناريوهات الملء على المدى القصير للمبادرة العالمية للبحوث والإنعاش

تظهر توقعات البطالة للقطاع الزراعي في مصر في الشكل 6 والجداول التكميلية. من بين 28.8 مليون عامل في مصر ، هناك حوالي 5.5 مليون عامل في القطاع الزراعي (الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء).2018). تقريبا كل ~ 1.4 فدان (0.6 هكتار) من الأراضي الزراعية يعمل بها شخص واحد ؛ ومن ثم ، فإن العجز الكلي لميزانية المياه في إطار سيناريو الملء قصير الأجل المقترح لمدة ثلاث سنوات لسد النهضة قد يؤدي إلى تدهور 2.8 مليون هكتار من الأراضي ، مما قد يؤدي إلى خسارة 4.75 مليون وظيفة في المصب في مصر. وهذا من شأنه أن يؤدي إلى خسارة مقلقة لأكثر من ثلاثة أرباع الأراضي الزراعية في مصر ، مما يؤدي إلى عطل أكثر من 60٪ من العمال الزراعيين. سيرتفع معدل البطالة الإجمالي من 11٪ الحالية إلى 25٪ في المستقبل.

إن دقة نموذج التأثيرات الاقتصادية الخاصة بنا محدودة بعدة عوامل رئيسية. أولاً ، لا يأخذ في الحسبان الوقت الذي سيحتاجه النيل لاستعادة التدفق الكامل بعد انتهاء ملء سد النهضة ، ونتيجة لذلك ، لا يأخذ في الحسبان الآثار الاقتصادية في السنوات التي أعقبت ملء السد. إن الارتفاع الفوري في الناتج المحلي الإجمالي خلال السنة التي تلي انتهاء فترة الملء أمر غير مرجح إلى حد كبير لأن العديد من الآثار البيئية والاجتماعية والاقتصادية يمكن أن تكون لا رجعة فيها. يبدو أن السيناريوهات الممتدة من 10 إلى 21 عاماً ، مع أدنى تأثير للقيمة الحالية الصافية على الناتج المحلي الإجمالي لمصر ، هي أفضل السيناريوهات ذات الآثار الاقتصادية طويلة الأجل التي يمكن التحكم فيها على بلد يعاني بالفعل من ضغوط شديدة بسبب عدم الاستقرار الاجتماعي والاقتصادي والزيادة السريعة في تعداد السكان. ثانياً ، يفترض النموذج أنه مقابل كل خسارة وحدة في تدفق نهر النيل ، ستواجه موزعاته خسارة متساوية لوحدة المياه. من المرجح أن تتجلى تأثيرات المصب مثل فقدان الأراضي والمياه المتاحة للاستخدام الصناعي والبلدي على أنها انخفاض غير خطي بمعدل أعلى بكثير لكل وحدة انخفاض في النيل نفسه. علاوة على ذلك ، يفترض النموذج أن معدلات توزيع المياه عبر الزراعة والصناعة والاستعمالات البلدية ستظل دون تغيير. أخيراً ، لا تشمل هذه الأرقام الآثار الاقتصادية على قطاع تصنيع وتصنيع الأغذية المتنامي الذي ساهم في ذلك ~ 6٪ من الناتج المحلي الإجمالي لمصر في 2019 (وزارة الزراعة الأمريكية ، 2020). من المحتمل أن تواجه صناعات الخدمات الأخرى المرتبطة بالصناعة والزراعة عواقب وخيمة بسبب انخفاض قدرات الإنتاج. على هذا النحو ، فإن نتائج الانخفاض المكافئ في نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي وارتفاع البطالة يجب اعتبارها حدوداً منخفضة ، وسيكون الضرر الاقتصادي بالنظر إلى جميع العوامل المذكورة أعلاه أعلى.

4. التداعيات واستراتيجيات التخفيف

الغرض من هذه الدراسة هو تقييم آثار سد النهضة على العجز الكلي في الميزانية المائية المصرية على المدى القصير من خلال النظر في سيناريوهات ملء مختلفة تمت محاكاتها بناءً على أحدث السجلات المنشورة التي راجعها الأقران مع مراعاة التسرب والنمو في ميزانية المياه الجوهرية في مصر العجز. تتفق نتائجنا مع العديد من الدراسات (مثل Zhang

وآخرون 2016، كنسارا *وآخرون* 2021) أن سيناريوهات الملء قصيرة الأجل (3-5 سنوات) سوف تسبب نقصاً يمكن قياسه

في إمدادات المياه لمصر خلال مرحلة ملء السد. وتشير التقديرات إلى أن هذه الفجوة الإضافية في الميزانية المائية تتوافق مع زيادة عامة في العجز المائي الحالي في مصر بأكثر من الثلث (+ 34٪) إلى الضعف تقريباً (98.7٪). من هذه الفجوة في الميزانية المائية ، في المتوسط ~ 83٪ سيكون بسبب كمية المياه اللازمة لملء السد ، بينما في الحالات القصوى ، قد تصل إلى ~ 17٪ يمكن أن تفقد بسبب التسرب الطبيعي داخل خزان سد النهضة.

سيكون لنقص المياه هذا إذا لم يتم تخفيفه عواقب وخيمة على الاقتصاد المصري ومعدلات التوظيف وتدفق الهجرة إلى الخارج والاكتفاء الغذائي. لا تأخذ خسارة الناتج المحلي الإجمالي المبينة أعلاه في الحسبان البطالة في الصناعات المرتبطة ، مثل النقل أو السياحة ، ولا الضرر الناجم عن ندرة الغذاء الناتجة ، حيث إن هذه الآثار تتجاوز الأثر الاقتصادي المباشر للبطالة. إن فقدان المياه في البلديات ، والذي لا يمكن ترجمته على الفور إلى خسارة مالية ، من شأنه أن يؤدي إلى آثار ضارة كبيرة على المدى الطويل على السكان المتضررين. في حالة حدوث موجة كبيرة من البطالة ، فإن الاستقرار الاجتماعي والاقتصادي لجزء كبير من القوى العاملة في مصر سيكون أيضاً على المحك ، والآثار السلبية لانخفاض النشاط الاقتصادي وزيادة البطالة لديها احتمالية خطيرة لتصبح دورية (العلامة التجارية2015). في المقابل ، قد تؤدي الأضرار الاقتصادية في مصر إلى إنفاق أقل على التعليم ، وتقليل نشاط الأعمال الصغيرة وجودة الصحة ، وزيادة معدلات الجريمة (الحديد).2009).

ندرة المياه على وجه التحديد شديدة بسبب آثارها على سلوكيات السكان والحكومات. الصراع على جزيرة زامبيزي ، والنزاعات على نهر الميكونغ ، والنزاعات بين دجلة والفرات ، وأعمال الشغب حول المياه في جميع أنحاء العالم في العقود القليلة الماضية ، كلها مؤشرات على أن النزاع الحالي بين مصر وإثيوبيا لديه القدرة على اندلاع صراع خارجي ، في حين أن الاضطرابات المدنية قد تنشأ أيضاً داخل مصر (Guarino2017). من المتوقع بالفعل أن يكون لفقد المياه بسبب تغير المناخ آثار سلبية على شمال إفريقيا والشرق الأوسط ، المنطقة الأكثر عرضة لفقدان الناتج المحلي الإجمالي بسبب المزيد من ندرة المياه ، مما يؤدي إلى زيادة الهجرة وإشعال الصراعات القديمة (البنك الدولي2016). من الضروري النظر في هذه العواقب المدمرة حتى تتمكن مصر من إعادة تخصيص مواردها نحو حلول التخفيف الموضحة في الشكل3 وإثيوبيا تفكر في إبطاء ملء سد النهضة.

من ناحية أخرى ، سيكون لبناء سد النهضة بعض الآثار الإيجابية على دول المصب. في مصر ، يمكن القول إن التقليص المحاكي لتراكم الرواسب في بحيرة السد العالي بأسوان (AHDL) بنسبة 90٪ - 97٪ في عام 2060 ، مقارنة بكمية تراكم الرواسب في عام 2020 دون تشغيل / بناء سد النهضة ، سيؤدي إلى زيادة عمر Negm(AHDلآخرون

2018). في السودان ، سيوفر بناء سد النهضة وما يترتب عليه من انخفاض في تراكم الرواسب في بحيرة النوبة (أي الجزء السوداني من AHDL) فرصة لاستخراج المياه المتراكمة. الطين والغرين من خلال التجريف وبناء أحواض الرواسب البرية التي يمكن استخدامها للأغراض الزراعية وتنمية المجتمعات الصغيرة (أبو النجا 2018).

لقد درسنا أيضاً العديد من الإجراءات الإدارية واستراتيجيات التخفيف التي يمكن أن تؤمن الطلب على المياه في مصر من خلال تقليل آثار مشروع سد النهضة. باستخدام مؤشر الجدوى المحدد حسب الحاجة ، نجد أن أفضل خيار لمصر هو إعادة تقييم التشغيل الحالي لمحطة الطاقة الكهرومائية AHD للتخفيف من النقص القادم في المياه ، جنباً إلى جنب مع زيادة سحب المياه الجوفية كخيار دعم الحفاظ مؤقتاً على الطلب على المياه. يجب أيضاً دمج استراتيجيات الحفاظ على المياه خاصة في قطاعات الزراعة من خلال تحويل الإنتاج الوطني نحو أنواع المحاصيل التي تتطلب كميات أقل من المياه.

إذا قررت الحكومة الإثيوبية واحدة من فترات الملء الأقصر ، فإن طرق التعويض الممكنة متاحة لتعويض الخسائر الزراعية في مصر ، والتي حددناها على أنها الجانب السلبي الاقتصادي الأساسي لسيناريو ملء سد النهضة لمدة 3 سنوات. نظراً لأن إثيوبيا تقوم حالياً بتأجير أراضيها الزراعية للعديد من المستثمرين الدوليين ، فيمكنها توفير عقد إيجار طويل الأجل ، بسعر تفضيلي ، لبعض أراضيها الزراعية الفائضة لاستخدام مصر كوسيلة للتعويض المباشر عن الخسارة في إنتاج المحاصيل. يمكن لمصر في المقابل تطوير البنية التحتية اللازمة في هذه الأراضي الزراعية لتصبح مناطق محاصيل عالية الإنتاجية مع بنية تحتية للري تحافظ على النظام البيئي للنيل. على المدى الطويل ، سيكون هذا الحل مفيداً أيضاً لإثيوبيا عندما يتم إعادة الأراضي المؤجرة إلى الإدارة الإثيوبية.

بدلاً من ذلك ، يمكن لإثيوبيا الاستفادة من بعض فائض الكهرباء الناتج عن سد النهضة لتعويض مصر مالياً عن خسارة الناتج المحلي الإجمالي الناتجة عن عجز ميزانية المياه غير المخففة لسد النهضة (وليس إجمالي عجز ميزانية المياه الذي يشمل المكون الداخلي) ، على الرغم من أن هذا الحل غير مرجح لأنه يتطلب اعترافاً متبادلاً بحجم الأضرار المالية الناشئة عن سد النهضة ، والتي لا يمكن تحقيقها في السياق السياسي والاقتصادي الحالي. من المتوقع أن يولد سد النهضة ~ 16000 جيجاوات ساعة في السنة من الكهرباء و 1 مليار يورو في المبيعات الفائضة (Pichon

2020). تنتج مصر حالياً ما معدله 184 ألف جيجاوات ساعة من الكهرباء سنوياً (كواكوا2017). على الرغم من سكانها المتشابهين ، فإن مصر تستهلك 15 مرة من الكهرباء التي تستهلكها إثيوبيا. إن تقديم الكهرباء المدعومة أو بدل الكهرباء لمصر سيكون أيضاً حلاً قابلاً للتطبيق من شأنه أن يسمح لمصر بإبطاء استخدام أجهزة AHD الخاصة بها وزيادة وصولها السنوي إلى المياه من جانبها.

بينما تقدم دراستنا نتائج أولية ، فإنها تشير بشكل لا لبس فيه إلى وجود عجز إجمالي قادم في الميزانية المائية لمصر خلال سيناريو ملء قصير الأجل مدته ثلاث سنوات. سيناريوهات ملء أطول

أكثر من 7 سنوات سيسمح بعجز أكثر قابلية للإدارة أقل من 10 مليار متر مكعب في السنة-1 التي يمكن تخفيفها باستخدام الموارد الحالية وتقليل الآثار الاجتماعية والاقتصادية المرتبطة بها. كلما زادت المعلومات الفنية التي يمكن الحصول عليها حول الخطط التشغيلية المستقبلية لسد النهضة ، زادت الدقة التي يمكن تحقيقها في نمذجة وتوقع عجز الميزانية المائية وكذلك الآثار الاجتماعية والاقتصادية المرتبطة به. ومع ذلك ، نظراً لأن جميع النتائج تتلاقى مع انخفاض مؤقت ولكنه حاد في إمدادات المياه في مصر ، فمن المعقول أن يتم العثور على استراتيجية مربحة للجانبين للتخفيف من الآثار على الأمن الغذائي والاستقرار الاجتماعي والاقتصادي. يتطلب ما ورد أعلاه توقعاً دقيقاً لإجمالي عجز ميزانية المياه في مصر ، وتأثيره على القطاع الزراعي وإجمالي الناتج المحلي الإجمالي ، كما هو موضح هنا

بيان توافر البيانات

البيانات التي تدعم نتائج هذه الدراسة متاحة بناء على طلب معقول من المؤلفين.

شكر وتقدير

المؤلفون ممتنون للغاية لكل من Annamaria Mazzoni و Giovanni Scabbia من معهد قطر لبحوث البيئة والطاقة لمساهماتهم المفيدة في النسخة الأولى من هذه الوثيقة ، وللدكتور إليزابيث بالمر من جامعة جنوب كاليفورنيا لإجراء مناقشات مفيدة. يتم تمويل هذا البحث بدعم من صندوق Zumberge للأبحاث والابتكار التابع لجامعة جنوب كاليفورنيا والمخصص لمركز أبحاث المناخ الجاف والمياه - AWARE.

معرفات أوركيد

عصام حجي https://orcid.org/0000-0001-74762735

زين شرقاوي https://orcid.org/0000-0002-39031758

أبو طالب ز أبو طالب https://orcid.org/0000-00025852-0370/

مراجع

الري عبد الحافظ ، متولي SM ، عباس HH 2020:
مصادر المياه وأنواعها والمشاكل الشائعة في مصر
بيئة الري التكنولوجية والحديثة في مصر
(شام: سبرينغر) ص 15 - 34

عبد الحليم FS و Helal EY 2015 آثار جراند إثيوبيا
سد النهضة على استخدامات المياه المختلفة في صعيد مصر
بالعملة. ر. أبل. علوم. تكنول. **8** 461 - 83

عبد المحسن ك ، سلطان م ، احمد م ، حفظ اتش ، القليوبي ب ، استجابة طبقات المياه الجوفية العميقة لتقلب المناخ K 2019 Abdelmalik و Krishnamurthy RV و Abotalib AZ و Yan E و M Emil*علوم. مجموع البيئة.* **677** 530 - 44

عبد المحسن ك ، سلطان م ، سيف إتش ، أبوتاليب أ زد ويان إي 2020
ماذا يمكن أن تخبرنا دورة GRACE الموسمية عن تفاعلات طبقة المياه الجوفية بالبحيرة؟ *علوم الأرض. القس.* **211** 103392

تجمع أبطالب AZ و Heggy E 2018 في المياه الجوفية مكسورة طبقات المياه الجوفية الأحفورية في الصحراء الصحراوية العربية ص 359 - 62

المياه الجوفية Elkadiri R 2016 و Sultan M و Abotalib AZ العمليات في الصحراء الأفريقية: الآثار المترتبة على تطور المناظر الطبيعية في البيئات القاحلة *علوم الأرض. القس.* **156** 108 - 36

أبوتاليب أ زد ، سلطان م ، جيمينيز ج ، كروسى إل ، كارلستروم ك ، تعقيد إعادة بناء المناخ الصحراوي القديم وآثاره على الهجرة البشرية الحديثة Polyak V 2019 و Elkadiri R و Krishnamurthy RV و S Forman*كوكب الأرض. علوم. بادئة رسالة.* **508** 74-84

نهر النيل وعبر الحدود Dessu SB 2019 و AbtewW حقوق المياه *سد النهضة الإثيوبي الكبير على النيل الأزرق ، Geography Springer* إد WAbtew و)Cham: Springer(Dessu SB الصفحات 27-13

جرف طين النيل: إمكانات AbuInaga BE 2018 التحديات والفرص على شواطئ خزان أسوان العالي ووادي النيل في مصر *سد النهضة الإثيوبي الكبير مقابل سد أسوان العالي* (شام: سبرينغر) ص 331-55

بسطويسي م.خلف فيي وعرفات SM 2008 استخدام جهاز التحكم عن بعد الاستشعار ونظم المعلومات الجغرافية لتقدير فقد المياه من بحيرات توشكي ، الصحراء الجنوبية الغربية ، مصر *.علوم الأرض .J. Afr.* **52** 73-80

السيناريوهات الهيدرولوجية لعصر النهضة Bastawesy ME 2015 السد في إثيوبيا وتأثيره المائي والبيئي على مجرى النيل *.م .J. Hydrol.* **20** 04014083

بخيت HBM 2016 آثار المشاريع الضخمة لأعالي النيل على الموارد المائية في مصر *نهر النيل. كتيب الكيمياء البيئية* إد أ نجم (شام: سبرينغر) ص 503 - 29

العلامة التجارية JE 2015 التأثير بعيد المدى لفقدان الوظائف و البطالة *.القس .Annu* **41** 359 - 75

الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء (CAPMAS) 2018 *الكتاب الإحصائي السنوي* (القاهرة: الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء) ص 120

النهضة الإثيوبية الكبرى Swain A 2014 و Chen H السد: تقييم معيار استدامته وأهميته الجيوسياسية *تطوير الطاقة. أمام.* **3** 9–11 Din ME، Omar M and Moussa AM 2016*ندرة المياه في مصر*

وزارة الموارد المائية والري التقارير المنشورة
جيه أدف. الدقة. **7** 12-403

دنيا إن ونجم أ 2018 آثار ملء سيناريوهات سد النهضة الخزان على موارد مصر المائية وتأثيرها على قطاع الزراعة *الموارد المائية التقليدية والزراعة في مصر* إد أمنيجم (شام: سبرينغر) ص 391-414

وصف لحوض النيل وملخص Dumont HJ 2009 من تاريخها وعلم البيئة والجغرافيا الحيوية والهيدرولوجيا والموارد الطبيعية *نهر النيل* (إدارة مخاطر El-Nashar WY and Elyamany AH 2018 21– Dordrecht: Springer(pp1
سد النهضة الإثيوبي الكبير على مصر *عين شمس م. ج.* **9** 2383 - 8

و السعداوي ، جابر أ ، عثمان أ ، أبو طالب أ ز ، البسطويسي م و Attwa M 2020 نمذجة الفيضانات المفاجئة والتغذية المستحثة في طبقات المياه الجوفية باستخدام الاستشعار عن بعد متعدد الأوقات وتصوير المقاومة الكهربائية *الاستدامة* **12** 10204

قاعدة البيانات الرئيسية - الأغذية والزراعة AQUASTAT Fao L 2015 منظمة الأمم المتحدة (الفاو)

الآثار الاقتصادية للمياه العالمية Guarino AS 2017 نقص *الدقة. اقتصاد. يدير.* **2** 63-51

حمادة واي ام 2017 *سد النهضة الإثيوبي الكبير التأثير على الزراعة المصرية وإمكانية تخفيف حدة المياه* (برلين: سبرينغر)

حجازي د ، أبو طالب AZ ، م البسطويسي ، مسعيد السعيد ، مليجي أ و Garamoon H 2020 التأثيرات الجيوبيئية للوضع الهيدروجيولوجي والأنشطة البشرية على جودة المياه في طبقة المياه الجوفية الرباعية جنوب شرق دلتا النيل ، مصر *.علوم الأرض .J. Afr.* **172** 103947

الزراعة المستدامة في مصر القديمة Hughes JD 1992/الزراعية.
اصمت. 66 22-12
حسين إتش إم ، كيو إيه إي ، أجور تي ، كوراني إي ، أبوتاليب أ زد ،
حسنين أ ومرسي 2017 نهج متكامل لتحديد مناطق الخزان الجوفي
المحتمل في التضاريس الخاضعة للسيطرة الهيكلية: حوض وادي قنا ، مصر
كاتينا
149 85-73
توفير المياه في ظل بديل Emara TK 2010 و IbrahimMA
الري السطحي للأخاديد في التربة الطينية بشمال دلتا النيل
الرابعة عشر كثافة العمليات. مؤتمر تكنولوجيا المياه. (IWTC)ص 811–21
Ibrahim RG and Lyons WB 2017 تقييم
العمليات الهيدروجيوكيميائية التي تؤثر على جودة المياه الجوفية في طبقة
المياه الجوفية في العصر الأيوسيني على الأطراف الصحراوية لمحافظة
المنيا ، مصر أكوات. جيوكيم.23 52-33
:المياه هي الحياة. البنية التحتية للمياه من أجل المستقبل Impregilo S 2018
السدود والمحطات الكهرومائية والأعمال الهيدروليكية Impregilo
Salini ، ميلان ، إيطاليا
هيئة الخبراء الدولية (IPOE) 2013 جراند اثيوبية
سد النهضة: التقرير النهائي تقرير غير منشور (متاح في:
ethiopian_renaissance_dam-_final_report.pdf
site_assets / docs / international_panel_of_experts_for_
(www.scidev.net/wp-content/uploads/
مكاوي 2009 J الندبات الاقتصادية: الآثار طويلة المدى ل
كساد معهد السياسة الاقتصادية (https://doi.org/
10.1097 / 01.cnj.0000357440.75639.e0)
an :سد النهضة الإثيوبي الكبير Jameel AL 2014
فرصة للتعاون والمنافع المشتركة في حوض النيل الشرقي موجز
Amicus ص 1 - 17
Kansara P، Li W، El-Askary H، Lakshmi V، Piechota T، Struppa D 2015 Van Der Zaag P و Brouwer R و Kuik O و Kahsay TN
تقدير الآثار الاقتصادية العابرة للحدود
سد النهضة في إثيوبيا الكبرى: تحليل توازن عام محسوب ريسور
المياه. اقتصاد.
10 30-14

اعتبارات Keith B و Ford DN و Horton R 2017 في
إدارة معدل ملء خزان سد النهضة الإثيوبي باستخدام نهج ديناميكيات النظام
نموذج الدفاع. سيم.14 43-33

خليل مم ، توكوناجا تي ، هجي إي ، أبو طالب AZ 2021
اختلاط المياه الجوفية في طبقات المياه الجوفية الضحلة التي تتعرض للتوتر بسبب
تغير الغطاء الأرضي / استخدام الأرض في ظل ظروف شديدة الجفاف
J. Hydrol./. 598 126245
تقييم ملء الخزان Block P 2014 و King A
سياسات سد النهضة الإثيوبي الكبير يتغيرون .Clim. المياه /.5 43-233

كواكوا السلطة الفلسطينية 2017 استهلاك الكهرباء في مصر: أ
التحليل طويل المدى لمحدداته أوبك للطاقة القس.
41 22-3
إدارة Liersch S و Koch H و Hattermann FF 2017
سيناريوهات سد النهضة الإثيوبي الكبير وتأثيراته في ظل المناخات
الحالية والمستقبلية ماء
9 728
التنبؤ بميزانية المياه Scabbia G 2018 و Heggy E و Mazzoni A
النقص ونضوب المياه الجوفية في أنظمة الخزان الجوفي الأحفوري الرئيسية
في شمال إفريقيا وشبه الجزيرة العربية الكرة الأرضية. بيئة. يتغيرون53
157-73
Setegn SG 2014 و AbtewW و Melesse AMحوض نهر النيل:
التحديات البيئية وتغير المناخ والسياسة المائية (شام:
سبرينغر) (https://doi.org/
10.1007 / 978-3-319-02720-3)
الاستشعار عن بعد لـ Elmahdy SI 2017 و Mohamed MM
سد النهضة الإثيوبي الكبير: تقييم المخاطر والآثار البيئية جيوماتكس نات.
مخاطر المخاطر8 40-1225

وزارة الموارد المائية والري 2014 ندرة المياه في مصر وزارة الموارد المائية
تقارير الري المنشورة (متواجد في:
/ EgyptWaterResourcesPaper_2014.pdf
(www.mfa.gov.eg/SiteCollectionDocuments
نجم 2017 AM دلتا النيل كتيب البيئة
كيمياء (شام: سبرينغر) (https://doi.org/
10.1007 / 978-3-319-56124-0)
نجم ام وعبد الفتاح اس 2019 جراند اثيوبى
سد النهضة مقابل السد العالي كتيب الكيمياء البيئية (شام: سبرينغر) (/
https://doi.org
10.1007 / 978-3-319-95600-8)
نجم أ ، الصحابي م ، عبد الناصر م ، محمود ك ، علي ك
2018 آثار سد النهضة على الرواسب المتراكمة في بحيرة النوبة
باستخدام تقنيات التعلم الآلي ونظم المعلومات الجغرافية
سد النهضة الإثيوبي الكبير مقابل سد أسوان العالي
(شام: سبرينغر) ص 271 - 327
عمران EE ونجم A 2018 الآثار البيئية ل
مشروع سد النهضة على بحيرة السد العالي في أسوان في مصر وخيارات
التخفيف والتكيف سد النهضة الإثيوبي الكبير مقابل سد أسوان العالي إد
نجم وعبد الفتاح (برلين: سبرينغر) ص 175-96

السد الإثيوبي الجديد Pichon E 2020 يثير الجدل بين
مركز أبحاث البرلمان الأوروبي التابع لدول النيل
الاستدلال على هبوط الأرض في Abotalib AZ 2020 و Rateb A
دلتا النيل باستخدام الأقمار الصناعية Sentinel-1 ونظام تحديد المواقع بين
عامي 2015 و 2019 علوم. مجموع البيئة.729 138868
سميث SE 1986 الآثار العامة للسد العالي بأسوان ./المياه ريسور. يخطط. يدير ./
112 551-62
سلطان م ، أحمد م ، ستورشيو ن ، يان يي ، ميلوسكي أ ، بيكر آر ،
تقييم نقاط الضعف في طبقة المياه الجوفية الأحفورية من الحجر الرملي
النوبي ، شمال إفريقيا Chouinard K 2013 و Becker D و Wahr Jضعف
المناخ ، فهم ومعالجة التهديدات التي تتعرض لها الموارد الأساسية إد آر إيه
بيلك (أكسفورد: Academic Press ، .Elsevier Inc) الصفحات من 311 إلى
33
تحديات سوين أ 2011 لتقاسم المياه في حوض النيل:
تغيير الجغرافيا السياسية وتغير المناخ هيدرول. علوم.
ج. 56 702-687
مليون دولار لتحديث العديد Takouleu JM 2020 Egypt: 11.6
أنظمة الري في شمال إفريقيا 21
توفيق آر 2016 سد النهضة الإثيوبي الكبير: أ
مشروع تقاسم المنافع في شرق النيل؟ كثافة المياه.
41 92-574
إدارة الشؤون الاقتصادية والاجتماعية التابعة للأمم المتحدة 2019
2019 مراجعة توقعات سكان العالم وزارة الزراعة الأمريكية 2020 معالجة
الغذاء
المكونات تشير إلى أن قطاع تصنيع الأغذية وتجهيزها المتنامي في مصر يوفر
فرصاً لمكونات الغذاء الأمريكية تقرير # EG2020-0006 (القاهرة)

Wheeler KG، Basheer M، Mekonnen ZT، Eltoum SO، Mersha A،
نهج الملء التعاوني لسد النهضة الإثيوبي الكبير 2016 Dadson SJ و
Hall JW و Zagona EA و Abdo GMكثافة المياه. 41 611–34

ويلر كغ ، جولاند إم ، هول جي دبليو ، زاغونا إي ووبتينغتون د
2020 فهم وإدارة المخاطر الجديدة على نهر النيل مع سد النهضة الإثيوبي
الكبيرات. كومون.
11 9–1
البنك الدولي 2016 مرتفع وجاف: تغير المناخ والمياه و
الاقتصاد (واشنطن العاصمة: مجموعة البنك الدولي) (
https://doi.org/10.1016/j.jmb.2015.11.027)
باستخدام Aziz A 2018 و Ghoubachi SY و Sabet HS و Yousif M
البيانات الجيولوجية وتطبيقات الاستشعار عن بعد للتحقيق في حدوث
المياه الجوفية ، غرب المنيا ، الصحراء الغربية في مصر نرياج جيه
استرون. جيوفى.
7 318 - 33
Zhang Y و Block P و HammondM و King A 2015 Ethiopia's Grand
سد النهضة: الآثار المترتبة على دول المصب ./المياه ريسور. يخطط. يدير
141/. 05015002
:ملء السد Block P 2016 و Erkyihum ST و Zhang Y
تقييم التغير المناخي المائي واستراتيجيات الحجز لبلدان النيل الأزرق
المشاطئة كثافة المياه.
41 593 - 610