إعادة تصور
اقتصاد اليمن

اصدار رقم: 22
تاريخ: 29 إبريل 2021

الري بالطاقة الشمسية في اليمن:
الفرص والتحديات والسياسات

إعداد: مساعد عقلان وهيلين لاكنر

1. مقدمة

شهد اليمن اضطرابات منذ سنوات عديدة، حيث عانى من صراعات أهلية وحروب وتدهور اقتصادي واستنزاف شديد لموارد المياه.[1] يساهم الجفاف ومحدودية موارده المائية وسوء إدارة المياه والاستغلال المفرط لها في انعدام الأمن المائي في اليمن. كما كان للحرب الجارية تأثير كبير على استخدام المياه وأداء قطاعي المياه والري.[2] أضف إلى ذلك أن عدم الاستقرار المستمر في البلاد تسبب في آثار سلبية على توافر الوقود والكهرباء، وهما مصدري الطاقة المستخدمين عادة لاستخراج ونقل المياه الجوفية. وبالتالي، أصبح الوصول إلى موارد المياه أكثر صعوبة وأصبحت خدمات المياه أقل موثوقية. لذا بدأت الطاقة الشمسية بلعب دور في توفير المياه لمختلف مستخدميها، ومن بينهم المزارعون الذين يعتمدون إلى حد كبير على المياه الجوفية في أنشطتهم الزراعية. تتجاوز هذه الورقة العموميات وتبحث بالتفصيل في الاستخدامات الحالية لنظام الري بالطاقة الشمسية والتأثير المحتمل له على استدامة استخدام المياه الشحيحة في اليمن.

الملخص التنفيذي

يُعد اليمن أحد أكثر البلدان التي تعاني من ندرة المياه في العالم، حيث لا توفر موارد المياه المتجددة حاليًا سوى 75 مترًا مكعبًا للفرد سنويًا -أي دون عتبة ندرة المياه. وينخفض هذا القدر من المياه انخفاضًا مطردًا. يُعد القطاع الزراعي في اليمن المستخدم الرئيسي لموارد المياه الجوفية، حيث يستهلك حوالي 90% من إجمالي الاستهلاك. وبما أن الوقود اللازم لتشغيل المضخات أصبح شحيحًا ومكلفًا للغاية بسبب الأزمة الحالية، بدأت الطاقة الشمسية تُستخدم في استخراج المياه الجوفية لأغراض الري. ولكن هناك قلق بشأن إساءة استخدام هذه التقنية الجديدة. تبحث هذه الدراسة في التوجه الحالي لاستخدام نظام الري بالطاقة الشمسية في حوض صنعاء، وتحدد إيجابيات وسلبيات هذا النهج. تستعرض الدراسة أيضًا وجهات نظر المزارعين والخبراء فيما يتعلق بما يحدث وما يجب القيام به لتعظيم فوائد نظام الري بالطاقة الشمسية والتقليل من آثاره السلبية. أظهرت نتائج هذه الدراسة أن معدل تركيب واستخدام نظام الري بالطاقة الشمسية يتزايد بمعدل يزيد عن 4% سنويًا. أعرب المزارعون الذين تم التحدث إليهم عن تحمسهم لاستخدام نظام الري بالطاقة الشمسية، وذكروا أن تكلفة رأس المال (الأصول) هي أكبر عقبة أمام حصولهم على هذه التقنية. تقترح هذه الورقة توصيات تتعلق بحوكمة وسياسات إدارة المياه بشكل عام، والدراسات المستقبلية، وتنظيم استخدام المياه الجوفية للري بالطاقة الشمسية بشكل خاص. سيساعد وضع السياسات المناسبة لضخ المياه بالطاقة المتجددة في الحفاظ على مصادر المياه الجوفية والحفاظ بشكل مستدام على سبل العيش

* تم إعداد هذا الملخص من قبل مركز صنعاء للدراسات الاستراتيجية، بالتنسيق مع شركاء المشروع ديب روت للاستشارات ومركز البحوث التطبيقية بالشراكة مع الشرق (CARPO).

Kingdom of the Netherlands

بتمويل مشترك من قبل
الاتحاد الأوروبي

ركزت هذه الدراسة على حوض صنعاء، الذي يمثل نقص المياه فيه من الاشكالات الكبيرة. من بين جميع العواصم العالمية، غالبًا ما صُنفت صنعاء على أنها العاصمة الأكثر احتمالية لنفاذ المياه قبل غيرها.[3] من المهم أن نتذكر أن الهيدرولوجيا في اليمن تختلف بشكل كبير من منطقة إلى أخرى، وبالتالي لا يمكن افتراض أن النتائج المتعلقة بصنعاء تنطبق على الأحواض والمناطق الأخرى. ومع ذلك فهناك بعض المبادئ والتوصيات العامة التي تنطبق على جميع أنحاء البلاد، ولكن بالطبع يجب أن تكون الاستراتيجيات والسياسات التفصيلية مخصصة لكل حوض ومنطقة.

لم تعالج أي من السلطات الرسمية وسياساتها واستراتيجياتها ذات الصلة ومن بينها وزارة الكهرباء والطاقة، ووزارة المياه والبيئة، ووزارة الزراعة والري والثروة السمكية القضايا ذات الصلة باستخدام الطاقة الشمسية في اليمن.[4] هناك عدد قليل من الدراسات حول الطاقة الشمسية للاستخدام المنزلي،[5] ولكن هذه الدراسات لم تتطرق كثيرًا إلى استخدام هذه التقنية لاستخراج المياه للزراعة. تقرير برنامج الأمم المتحدة الإنمائي لعام 2019، هو الدراسة الوحيدة حتى الآن التي ناقشت استخدام نظام الري بالطاقة الشمسية في اليمن، وقد حدد التقرير المزايا الإيجابية لذلك النظام وأوصى باستخدامه، ولكنه لم يذكر سوى القليل عن تأثيره المحتمل على مصادر المياه الجوفية.[6]

إحدى القضايا الرئيسية في إدارة المياه باليمن تتمثل في استخراج المياه الجوفية بشكل مفرط، ما يهدد قابلية الحياة في أجزاء كثيرة من البلاد مع تضاؤل وفرة المياه. إحدى المشاكل التي يواجهها المخططون تتمثل في الغياب التام للسياسات واللوائح الخاصة بإدارة تقنيات الطاقة الشمسية الجديدة المستخدمة لاستخراج المياه، كما يتوجب عليهم أيضًا التعامل مع عدم وجود تحليل مفصّل يعتمد على بيانات ميدانية فعلية لنظام الري بالطاقة الشمسية. تساهم هذه الورقة في تقليص هذه الفجوة. إذا ظلت مشكلة الاستخراج المفرط للمياه دون معالجة، فإن التدهور المتزايد في وفرة المياه سيجعل الحياة في أجزاء من البلاد أكثر صعوبة، إن لم يجعلها مستحيلة. مع تزايد الطلب على نظام الري بالطاقة الشمسية في اليمن ونظرًا لقدرة نظام الري بالطاقة الشمسية على أن يمثل حلول طاقة نظيفة بأسعار معقولة؛ تهدف هذه الورقة إلى اقتراح توصيات للحوكمة ونهج للمانحين/ الممولين لإدراك وفهم استخدامات المياه الجوفية بنظام الري بالطاقة الشمسية وتنظيمها.

1) هاني سادي، وهشام المخلافي، ومحمد مهدي، وإيفون ليم، وروهيلا محمود، وجوهري سورين، "انتشار البلهارسيات والعوامل المرتبطة بها أوساط الأطفال في اليمن: الآثار المترتبة على برنامج مكافحة فعّال"، PLOS Neglected Tropical Diseases، المجلد 7، رقم 8 (أغسطس/آب 2013).

2) طلحة بركي، "أزمة اليمن الصحية والإنسانية المهملة،" لانست، المجلد 387 (2016)؛ "تحليل الأزمة الإنسانية في اليمن 2016،" الوكالة السويدية للتعاون الإنمائي الدولي، https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)00389-5 ، تم الاطلاع في 31 مارس/آذار 2021.

3) مسديان د.، وفان رابسفايك، وكفاي "حق الإنسان في المياه أثناء جفاف البئر: تحليل الإطار القانوني والتنظيمي لقانون المياه في اليمن"، مجلة قانون المياه، المجلد 24، (أغسطس 2014).

4) هناك وثيقة من 10 صفحات أعدتها الإدارة العامة للطاقة المتجددة ووزارة الكهرباء والطاقة. أدرجت الوثيقة بعنوان "الاستراتيجية الوطنية للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة" خيارات الطاقة المتجددة، وأهداف الكفاءة، إلخ... ومع ذلك فهي لا ترقى إلى مستوى ما نسميه استراتيجية، ولم تتم الموافقة عليها من قِبل مجلس الوزراء .https://www climate-laws.org/geographies/yemen/policies/national-strategy-for-renewable-energy-and-energy-efficiency

5) أ. م. الأشول، "تطوير سوق الخلايا الشمسية لأنظمة الطاقة الشمسية المنزلية وضخ المياه بالطاقة الشمسية في اليمن"، المؤتمر الدولي الثامن عشر لتقنيات الطاقة المستدامة، كوالالمبور، ماليزيا، 2019؛ مراد المخلافي، "تبرير استصواب استخدام الطاقة الشمسية للجمهورية اليمنية كمثال من الناحية التقنية والسلامة البيئية،" المجلة العلمية والتقنية (2018)؛ عادل صالح راوية وشبانة عروج، "استراتيجيات الطاقة ووضعها الحالي ومشاكلها ووجهات نظر حول حلول الطاقة المتجددة في اليمن،" مراجعات الطاقة المتجددة والمستدامة، المجلد 82، الجزء 1 (فبراير/شباط 2018)؛ أ. عبد الله، "مستقبل الطاقة المستدامة، فقر الطاقة في اليمن، كلية الهندسة" (ورقة مؤتمر)، جامعة إدنبرة، 2018.

6) "الممارسات الجيدة والدروس المستفادة: التدخلات الشمسية في إطار مشروع تعزيز القدرة على الصمود في الريف اليمني (أبين وحجة والحديدة ولحج)،" برنامج الأمم المتحدة الإنمائي، 27 فبراير/شباط 2019، https://reliefweb.int/report/yemen/good-practices-and-lessons-learned-solar-interventions-under-er-ry-project-yemen-abyan ، تم الاطلاع في 31 مارس/آذار 2021.

2. خلفية عامة

1.2. وضع المياه في اليمن

يبلغ عدد السكان في اليمن نحو 29 مليون نسمة، 70% منهم يعيشون في المناطق الريفية، ويعتمد أكثر من 50% منهم على الزراعة. لا توجد في اليمن بحيرات أو أنهار دائمة، وبالتالي تُعد الأمطار والمياه الجوفية هي المصادر الرئيسية للمياه في البلاد. تشير التقديرات إلى أن الزراعة تستخدم 90% من موارد المياه الجوفية في اليمن، على الرغم من أنها تولّد أقل من 20% من الناتج المحلي الإجمالي للبلاد.[7]

يعاني اليمن من شح شديد في المياه، حيث انخفض معدل توافر المياه للفرد انخفاضًا مطردًا خلال العقود الماضية مع زيادة عدد السكان. انخفض الحجم السنوي للمياه المتجددة للفرد من 221 مترًا مكعبًا عام 1992 إلى 80 مترًا مكعبًا عام 2014 و75 مترًا مكعبًا عام 2017؛[8] المعدل الأخير لا يمثل سوى أكثر بقليل من واحد في المائة من المتوسط العالمي للفرد (5,925 متر مكعب) و14% من متوسط نصيب الفرد في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا (554 متر مكعب). يشير المنحنى المائي في اليمن على مدى العقود الثلاثة الماضية إلى أن نصيب الفرد من المياه المتجددة قد ينخفض إلى 55 مترًا مكعبًا بحلول عام 2030.

وفقًا لمؤشر الاجهاد المائي Falkenmark المعترف به دوليًا، تحدث ندرة المياه المطلقة إذا انخفض نصيب الفرد من المياه إلى أقل من 500 متر مكعب سنويًا، وهذ الرقم هو ما يساوي تقريبًا سبعة أضعاف الوفرة الحالية للمياه في اليمن. كمية المياه التي يستخدمها اليمن سنويًا منذ بداية هذا القرن تتجاوز المياه المتجددة التي يمكن أن تعوضه امداداته بمقدار الثلث، ففي عام 2010، بلغ حجم الاستخراج 3.5 مليار متر مكعب بينما كان حجم المياه المتجددة 2.1 مليار متر مكعب. غُطي النقص البالغ 1.4 مليار متر مكعب عن طريق ضخ المياه من طبقات المياه الجوفية الأحفورية غير المتجددة باستخدام تقنيات الضخ الحديثة.[9] انخفضت مناسيب المياه الجوفية بشدة، ما جعل البلاد في حالة ندرة مياه شديدة. فعلى سبيل المثال، كان منسوب المياه الجوفية في حوض صنعاء على عمق 30 مترًا في السبعينيات، لكنه انخفض إلى ما بين 200 و1,200 متر بحلول عام 2012.

هناك ثلاثة أسباب رئيسية لندرة المياه في اليمن. أولًا، أدى النمو السكاني السريع، الذي يبلغ متوسطة 3% سنويًا، إلى زيادة الطلب على المياه وبالتالي تقليل نصيب الفرد من المياه على مر الأجيال. وثانيًا، أدى إدخال المضخات التي تعمل بالديزل وتقنية حفر الآبار الأنبوبية للري في القرن الماضي إلى التأثير على استخدام أنظمة حصاد مياه الأمطار التقليدية ومكّن من استخراج المياه الجوفية بنسبة أعلى بكثير من مستويات تغذيتها. وأدى ذلك إلى توسّع المناطق الزراعية واستنزاف طبقات المياه الجوفية. ثالثًا، تجلى تغيّر المناخ في تزايد هطول الأمطار الغزيرة جدا وغير المنتظمة وظواهر مناخية أخرى تؤثر على توافر المياه. أدت أنماط هطول الأمطار غير المنتظمة إلى تقليل تجدد طبقات المياه الجوفية، حيث أن فقدان التربة العلوية يمنع امتصاص تدفقات المياه، خاصة بعد تدهور المدرجات الزراعية وأنظمة الري بالسيول التقليدية بسبب نقص الصيانة.[10]

---

7) هيلين لاكنر، اليمن في أزمة: الطريق إلى الحرب (نيويورك: فيرسو، 2019)، 247.

8) أحدث إحصائيات المياه من أداة "الإحصاءات القُطرية" لمنظمة الأغذية والزراعة، http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en ، تم الاطلاع في 31 مارس/آذار 2021.

9) "التأثير المستقبلي لتغير المناخ يظهر الآن في اليمن"، البنك الدولي، 24 نوفمبر/تشرين الثاني 2014، https://www.worldbank.org/en/news/feature/2014/11/24/future-impact-of-climate-change-visible-now-in-yemen، تم الاطلاع في 31 مارس/آذار 2021.

10) هيلين لاكنر وعبدالرحمن الإرياني، "الأزمة البيئية اليمنية هي أكبر خطر على مستقبل البلاد"، مؤسسة القرن، 14 ديسمبر/كانون الأول 2020، https://tcf.org/content/report/yemens-environmental-crisis-biggest-risk-future/، تم الاطلاع في 31 مارس/آذار 2021.

2.2. الأُطر القانونية لقطاعات المياه والزراعة والطاقة

زادت المساحة المروية في اليمن من 37 ألف هكتار في السبعينيات إلى أكثر من 400 ألف هكتار في العقد الأول من القرن الحادي والعشرين. ومع زيادة المساحات المروية 11 مرة خلال نفس الفترة، انخفضت المساحة الداعمة للزراعة البعلية (او الزراعة المطرية) بنسبة 30%.[11] يُصنف الوضع في حوض صنعاء من بين حالات الإدارة غير المستدامة للمياه الأكثر لفتًا للانتباه، فموارده المائية تخدم العاصمة وهي مدينة سريعة النمو وتروي محاصيل عالية القيمة مثل القات والعنب، ويُقدر استخراج المياه هناك بخمسة أضعاف مستويات التغذية بالمياه.[12] من الأمثلة الأخرى إنتاج الفاكهة في تهامة، ففي وسط وادي زبيد -منطقة رئيسية لزراعة الموز- زادت المساحة المروية من 20 هكتارًا عام 1980 إلى 3,500 هكتار عام 2000. وزاد عدد الآبار بأكثر من خمسة أضعاف من حوالي 2,421 إلى 12,339 بئرًا خلال الفترة بين أعوام 1987 و2008.[13]

كانت سياسات إدارة المياه والمؤسسات الوطنية ذات الصلة ضعيفة. لدى المزارعين، الذين يمتلكون مساحات شاسعة من الأراضي وعلاقات اجتماعية قوية، قدرة وصول كبيرة، بل وغير منظمة في كثير من الحالات، إلى موارد المياه، على عكس أصحاب الأراضي الصغيرة. بعد سنوات من الإهمال الحميد، أُنشئت الهيئة العامة للموارد المائية عام 1995، وتتمتع رسميًا بالسلطة الكاملة على تطوير سياسة المياه وتنفيذها، ولكنها حتى الآن لم تتمكن من معالجة القضايا الاجتماعية والسياسية المعقدة التي ينطوي عليها موضوع إدارة المياه.

في يوليو/تموز 2002، صدر القانون رقم 33 لعام 2002 -المعروف باسم "قانون المياه- وتعديلاته بالقانون رقم 41 لسنة 2006، ولكن لم تُصدر اللائحة الداخلية للقانون إلا عام 2011، مما يدل على حدة الجدل حول تنفيذه. حدث هذا التأخير على الرغم من حقيقة فقدان وزارة المياه والبيئة المنشأة حديثًا السيطرة على قطاع الزراعة، وهو القطاع الأكثر استهلاكًا للمياه، وذلك في العام 2003، عندما أُلغي قطاع الري من سلطتها بعد أسابيع من إنشاء الوزارة، وأعيدت مسؤولية القطاع إلى وزارة الزراعة والري، التي تمثل القاعدة المؤسسية لكبار ملاك الأراضي ومشاريع تنمية الري الممولة خارجيًا.

عام 2005 أُعلنت الاستراتيجية الوطنية لقطاع المياه وبرنامجها الاستثماري بدعم من البنك الدولي وممولين آخرين في قطاع المياه، خاصة ألمانيا وهولندا، وحُدِثت الاستراتيجية عام 2008 بمقترحات استثمار مثيرة للإعجاب، لكن لم يتحقق سوى القليل منها. في يناير/كانون الثاني 2011، انعقد مؤتمر رئاسي وطني حول إدارة وتنمية الموارد المائية في اليمن ما أسفر عن بيان نوايا لإصلاح الوضع. لكن جدوى هذه المقترحات لم تُختبر على الإطلاق، فسرعان ما أعقب المؤتمر ثورة 2011 ثم عملية الانتقال السياسي من العام نفسه. ورغم تناول الاستراتيجية الوطنية لقطاع المياه وبرنامجها الاستثماري لمصادر المتجددة مثل حصاد مياه الأمطار، فإنها لا

11) ألفار كلوساس وفرانسوا مول، "إدارة المياه الجوفية في الشرق الأوسط وشمال إفريقيا"، تقرير مشروع المعهد الدولي لإدارة المياه رقم 1، ديسمبر/كانون الأول 2016، https://publications.iwmi.org/pdf/H048385.pdf، تم الاطلاع في 31 مارس/آذار 2021.

12) "اليمن - تقييم آثار تغير المناخ وتقلبه على قطاعي المياه والزراعة وآثاره على السياسات"، البنك الدولي، 22 أبريل/ نيسان 2010، https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/979121468153566240/yemen-assessing-the-impacts-of-climate-change-and-variability-on-the-water-and-agricultural-sectors-and-the-policy-implications ، تم الاطلاع في 31 مارس/آذار 2021. طه طاهر، وبريان برونز، وعمر بامقاء، وعادل الوشلي، وفرانك فان ستينبرجن، "إدارة المياه الجوفية المحلية في اليمن: البناء على التقاليد وتمكين المجتمعات من صياغة قواعد جديدة،" مجلة الهيدروجيولوجيا/ علوم المياه، المجلد 20 (21 مايو/ أيار 2012).

13) وهيب القباطي، وهنك ريتزما، وعادل الوشلي، وفرانك فان ستينبرغن، وبيترا هيلجرز، "التقييم الريفي التشاركي لتقييم موارد المياه الجوفية في المجيليس، سهل تهامة الساحلي، اليمن"، ووتر إنترناشونال، المجلد 42، رقم 7 (سبتمبر/ أيلول 2017).

تذكر شيئًا عن استخدام الطاقة الشمسية للمياه. أُجري تحديث آخر للاستراتيجية عام 2014 ولم يتم الموافقة عليها بعد من قبل مجلس الوزراء بسبب الأزمة السياسية.

عام 2013، بلغت السعة الإجمالية للشبكة الكهربائية الوطنية في اليمن 1,535 ميغاواط، منها 699 ميغاواط من الديزل، و495 ميغاواط من البخار، و341 ميغاواط من محطات توليد الطاقة بالغاز.[14] تُقدر احتياجات البلاد من الطاقة للإضاءة وحدها بـ 112% من إجمالي الطاقة المولّدة.[15] أكثر من 50% من سكان اليمن لا يتزودون بالكهرباء من الشبكة الوطنية للكهرباء، في حين يعاني الجزء المتبقي من انقطاعات التيار الكهربائي المتكررة.[16] ركزت سياسة الطاقة في اليمن إلى حد كبير على توليد الكهرباء من الديزل والغاز، مما زوّد المدن بالطاقة الكهربائية تاركًا معظم المناطق الريفية دون أي اتصال بالشبكة الوطنية. يمتلك اليمن إمكانات عالية لتوليد الطاقة بمصادر الطاقة المتجددة، وهي الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الحرارية الأرضية.[17] ومع ذلك، ما زالت البلاد تفتقر إلى الاستراتيجيات الإدارية اللازمة لتعزيز وتنظيم استخدام موارد الطاقة المستدامة.

3.2. موارد المياه والطاقة خلال الحرب الحالية

لم تأخذ الحكومة أي إجراءات جدية لحل أزمة تقديم الخدمات الأساسية في البلاد خلال الفترة بين 2011 و2014؛ كان السياسيون منشغلين بعملية الانتقال السياسي والأولويات العاجلة قصيرة المدى. أما بعد عام 2015 فكان التأثير الرئيسي المباشر للنزاع على غالبية سكان الحضر هو انقطاع خدمات الكهرباء والمياه. أما في المناطق الريفية فتدمير البنية التحتية، أثر على النقل الداخلي والخارجي للضروريات الأساسية، بما في ذلك المدخلات الزراعية والأغذية. أدت أزمة المشتقات النفطية الخانقة التي بدأت في وقت مبكر من الحرب إلى انخفاض إمدادات الطاقة المتاحة لضخ المياه، وكان لذلك تأثيرًا خطيرًا على توافر المياه للأسر الحضرية وللزراعة المروية.

وفي حين ما تزال الحرب مستعرة؛ لا تقدم شبكتا المياه والكهرباء العامة خدماتها سوى لما يصل إلى 10% من الأسر.[18] تشهد جميع القطاعات ومنها الزراعة والصناعة والخدمات زيادات كبيرة في تكاليف المدخلات للري والنقل والتسويق، ما أدى إلى انخفاض الإنتاج والصادرات.[19] توقف الإنتاج اثر سلبًا على كل من القطاعين العام والخاص. كما تأثر ايضا تقديم السلع والخدمات العامة -بما في ذلك الصحة والتعليم والضمان الاجتماعي- في جميع أنحاء اليمن.[20] أما أسعار الوقود وغاز الطهي فقد أصبحت غير مستقرة، وقفزت تكلفة هذه السلع أحيانًا أكثر من 1,000% من سعرها قبل الحرب.

14) مراد المخلافي، "تبرير استصواب استخدام الطاقة الشمسية كمثال للجمهورية اليمنية من الناحية التقنية والسلامة البيئية"، المجلة العلمية والتقنية (2018).

15) عادل صالح راوية وشبانة عروج، "استراتيجيات الطاقة ووضعها الحالي ومشاكلها ووجهات نظر حول حلول الطاقة المتجددة في اليمن،" مراجعات الطاقة المتجددة والمستدامة، المجلد 82، الجزء 1 (فبراير/شباط 2018)

16) أ. عبد الله، "مستقبل الطاقة المستدامة، فقر الطاقة في اليمن، كلية الهندسة"، 2018، جامعة إدنبرة.

17) مزيد من المعلومات ستنشر قريبا: أكرم محمد المحمدي، "أولويات إنعاش وإصلاح قطاع الكهرباء في اليمن"، ديب روت للاستشارات.

18) مساعد عقلان، وشارلوت دي فريتور، ولازلو هايد، "ما هي مصادر المياه التي يلجأ إليها الناس في زمن الحرب؟ دلائل من حوض صنعاء"، اليمن، المجلة الدولية للبحوث البيئية، المجلد 13، رقم 4 (مايو/أيار 2019).

19) كليمنس بريسينجر، وأوليفييه إيكر، وبريهان الرفاعي، وويلفريد إنجيلك، وعبد المجيد البطالي، "إدارة الانتقال في اليمن: تقييم تكلفة سيناريوهات الصراع والتنمية في المستقبل"، المعهد الدولي لبحوث السياسات الغذائية، 2012، https://www.ifpri.org/publication/managing-transition-yemen ، تم الاطلاع في 31 مارس/آذار 2021. عادل الوشلي، وعمر بامقاء، وسيسيليا بورجيا، وفرانك فان ستينبرغن، وناصر العولقي، وعبد الله بابقي، "دعم الديزل والسياسة اليمنية: أزمات ما بعد 2011 وتأثيرها على استخدام المياه الجوفية والزراعة"، واتر الترن Water Altern، المجلد 8، رقم 2 (يونيو/حزيران 2015).

20) كليمنس بريسينجر وآخرون، "إدارة الانتقال في اليمن: تقييم تكلفة سيناريوهات الصراع والتنمية في المستقبل" المعهد الدولي لبحوث السياسات الغذائية، 2012، https://www.ifpri.org/publication/managing-transition-yemen.

أثرت الحرب على إمدادات المياه في جميع أنحاء البلاد، من حيث توافرها وسهولة الوصول إليها وجودتها والقدرة على تحمل تكاليفها. أظهرت أنظمة المياه اللامركزية والمجتمعية مرونة أكثر من الأنظمة المركزية العامة، فقد عاد الناس في العديد من المناطق إلى استخدام التقنيات المستدامة، مثل حصاد مياه الأمطار. تجدر الإشارة إلى أن قطاع المياه العام هو أحد القطاعات القليلة جدًا التي استمرت في تقديم خدماتها، حتى إن كانت منخفضة وغير منتظمة ووصلت إلى عدد أقل من اليمنيين مما كانت تصل إليهم قبل الأزمة.[21]

أدى التوافر المتزايد للطاقة الشمسية والقدرة المالية على الحصول عليها -إضافة إلى سنوات من الانقطاعات في خدمة الكهرباء وتوفيرها أحيانًا فقط في المدن وبشكل أقل في المناطق الريفية- للتوسع في استخدام الطاقة الشمسية في جميع أنحاء البلاد خلال الحرب، حيث بلغت نسبة الأسر التي تستخدم الطاقة الشمسية كمصدر أساسي للطاقة أكثر من 70%.[22] يمكن رؤية ألواح الطاقة الشمسية المركبة حديثًا في كل منزل تقريبًا في صنعاء (الشكل رقم 1). في الوقت نفسه، تطور استخدام ضخ المياه بالطاقة الشمسية بشكل كبير في جميع أنحاء البلاد وذلك بدعم من الوكالات الإنسانية إلى حد ما. هذا هو الحال بالنسبة لإمدادات المياه للاستهلاك المنزلي، بل وأكثر من ذلك بالنسبة للزراعة المروية، على الرغم من أن استخدام الطاقة الشمسية للزراعة المروية مُولت بشكل أساسي من قِبل مالكي ومشغلي الآبار، وبالتالي فهي متاحة أكثر للشرائح الأكثر ثراءً في المجتمع (الشكل رقم 1).

الشكل 1: الألواح الشمسية المركبة حديثًا في منازل صنعاء ونظام ري بالطاقة الشمسية في أحد المزارع بحوض صنعاء

قبل اندلاع الاحتجاجات عام 2011، طورت المؤسسة العامة للكهرباء خطة لتطوير وتحديث البنية التحتية للطاقة الكهربائية في اليمن للفترة 2009-2020، واقترحت الخطة زيادة إنتاج الكهرباء إلى ثلاثة أضعاف مستوياتها عام 2009 بزيادة تعادل 3 جيجاوات وذلك لتقديم خدماتها للمصانع والمناطق الجديدة والمنازل التي لم تصلها الشبكة العامة بعد.[23] لكن بسبب الاضطرابات توقفت جميع محطات الطاقة عن العمل تمامًا عام 2016.[24] يوضح الشكل رقم 2 الكهرباء المخطط إنتاجها والكهرباء المنتجة فعليًا خلال الفترة الزمنية للخطة. بدأ

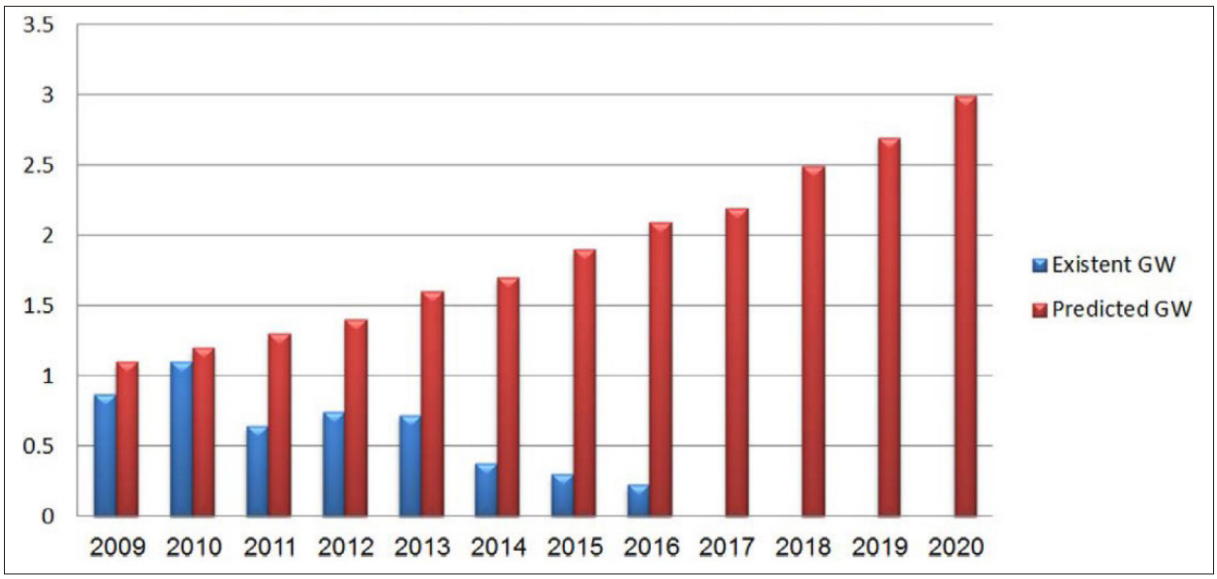
21) مساعد عقلان، وشارلوت دي فريتور، ولازلو هايد، "ما هي مصادر المياه التي يلجأ إليها الناس في زمن الحرب؟ دلائل من حوض صنعاء، اليمن، "المجلة الدولية للبحوث البيئية، المجلد 13، رقم 4 (مايو/أيار 2019).

22) المصدر نفسه.

23) عادل صالح راوية وشبانة عروج، "استراتيجيات الطاقة ووضعها الحالي ومشاكلها ووجهات نظر حلول الطاقة المتجددة في اليمن"، مراجعات الطاقة المتجددة والمستدامة، المجلد 82، الجزء 1 (فبراير/ شباط 2018).

24) المصدر نفسه.

إنتاج الطاقة الكهربائية بالانخفاض بشكل واضح عام 2011.[25] توقفت الشبكة الوطنية عن العمل إلى حد كبير منذ بدء الحرب، واستُبدلت محليًا بشبكات طاقة خاصة صغيرة، تعمل بشكل أساسي بالطاقة الشمسية على مستوى الأسرة، على الرغم من أن القليل من تلك الشبكات تمتلك القدرة التخزينية اللازمة لتشغيل المعدات التي تستهلك قدرًا كبيرًا من الطاقة مثل الثلاجات.[26]



الشكل رقم 2: الخطة الاستراتيجية للكهرباء حتى عام 2020.[27]

25) المصدر نفسه.

26) فرانك فان ستينبرغن ومساعد عقلان، "اليمن: المياه والطاقة في زمن الحرب"، داون تو إيرث، 14 نوفمبر/ تشرين الثاني 2016، https://www.downtoearth.org.in/blog/water/yemen-water-and-energy-in-times-of-war-56298 ، تم الاطلاع في 31 مارس/ آذار 2021.

27) عادل صالح راوية وشبانة عروج، "استراتيجيات الطاقة ووضعها الحالي ومشاكلها ووجهات نظر حول حلول الطاقة المتجددة في اليمن،" مراجعات الطاقة المتجددة والمستدامة، المجلد 82، الجزء 1 (فبراير/شباط 2018)

4.2. تقنيات نظام الري بالطاقة الشمسية الجديدة في اليمن

تعتبر الطاقة الشمسية مصدرًا متجددًا وصديقًا للبيئة، لكن العديد من المراقبين يقولون إنها تشكل سلاحًا ذو حدين في اليمن.[28] ففي حين يمكن للمضخات الشمسية تحسين الوصول إلى المياه وتوفير الطاقة، فإنها قد تؤثر على طبقات المياه الجوفية. خلال أزمة الوقود الحالية، بدأت العديد من مؤسسات المياه في المناطق الحضرية في استخدام أنظمة الطاقة الشمسية لضخ المياه الجوفية باستخدام وتزويد المنازل بالمياه. لاستخدام أنظمة المضخات بالطاقة الشمسية تأثير إيجابي كبير على إمكانية الوصول إلى المياه، وبالتالي على الصحة والنظافة. ولكن استخدام الطاقة الشمسية للري قد يؤدي إلى الإفراط في استخراج المياه الجوفية وزيادة الضغط على موارد المياه المجهدة أساسًا. يوجد حوالي 100 ألف مضخة مستخدمة في اليمن لأغراض الري[29] يمكن أن يؤدي استبدال المضخات التي تعمل بالديزل والكهرباء بمضخات نظام الري بالطاقة الشمسية دون قواعد وقيود واضحة، خاصة في مزارع القات، إلى توسيع المساحة المزروعة وبالتالي زيادة غير متوقعة في استخراج المياه الجوفية.

بمجرد تركيب نظام الري بالطاقة الشمسية، تصبح التكلفة لكل وحدة طاقة مولّدة منخفضة نسبيًا. بالتالي يحاول المزارعون تعظيم استخدامهم للمياه الجوفية من أجل استرداد التكاليف الرأسمالية المرتفعة لنظام الري بالطاقة الشمسية -إما عن طريق توسيع مساحاتهم المروية أو عبر بيع المياه للمزارعين الآخرين. قد يؤدي هذا إلى سباق نحو القاع ما لم يتم وضع اللوائح وتنفيذها. مصدر قلق آخر هو انخفاض تكاليف تكنولوجيا الألواح الشمسية والذي انخفض من حوالي 76 دولارًا أمريكيًا للواط عام 1977 إلى 0.30 دولار عام 2015. هذا الانخفاض المستمر، إلى جانب زيادة أسعار الديزل، جعل هذا النوع من التكنولوجيا أكثر جاذبية ليس فقط للمزارعين ولكن أيضًا للعديد من صناع القرار والممولين والفنيين. نظام الري بالطاقة الشمسية هو حل لمشكلة المياه والطاقة، ولكنه يمكن أن يؤدي إلى تفاقم مشكلة ندرة المياه بقدر ما يحل مشكلة الوصول إلى الطاقة.[30] ولذلك في هذه الحالة ولتجنب الإسراف في استخدام المياه لا يمكن تطبيق الحوافز المالية لتوفير الطاقة. يجب تحديد المخاطر التي يشكلها الضخ غير المنظم الذي يعمل بالطاقة الشمسية وذلك لتحديد السياسات واللوائح اللازمة بشكل واضح للتخفيف من هذه المخاطر وتحفيز الاستخدام المستدام للمياه.

28) مساعد عقلان، وشارلوت دي فريتور، ولازلو هايد، "ما هي مصادر المياه التي يلجأ إليها الناس في زمن الحرب؟ دلائل من حوض صنعاء، اليمن، "المجلة الدولية للبحوث البيئية، المجلد 13، رقم 4 (مايو/أيار 2019).

29) "وضع المياه في اليمن" (عرض)، الهيئة العامة للموارد المائية، 2013.

30) ألفار كلوساس وإدوين راب، "ضخ المياه الجوفية المعتمدة على الطاقة الشمسية للري: الاستدامة والسياسات والقيود،" سياسة الطاقة، المجلد 104، (مايو/أيار 2017).

3. منهجية البحث

1.3. منطقة الدراسة

يوجد في اليمن 14 حوضًا مائيًا، وركزت هذه الدراسة على حوض صنعاء (الشكل رقم 3). يتضمن حوض صنعاء 22 حوضًا فرعيًا ويمتد نطاقه ليغطي تسع مناطق إدارية (مديريات) بما فيها مدينة صنعاء، العاصمة اليمنية. تبلغ مساحة الحوض 3,240 كيلومترًا مربعًا ويبلغ عدد سكان الحوض حاليًا 4 ملايين نسمة.[31] وحدة التحليل الرئيسية لهذه الدراسة هي مزارعون من مناطق مائية/هيدروجيولوجية مختلفة: بني حشيش وبني مطر وهمدان. يتصف مناخ حوض صنعاء بالجفاف والاعتدال على مدار العام، حيث يتراوح متوسط درجة الحرارة بين 12 و25 درجة مئوية.[32] متوسط المدة السنوية لأشعة الشمس في اليوم هي 9 ساعات.[33] ويتراوح معدل هطول الأمطار السنوي عادة بين 110 و350 ملم، أي بمتوسط 240 ملم.[34] ولكن قد يكون هطول الأمطار أعلى بكثير في بعض السنوات، فوق 350 ملم.[35] يتراوح عدد الأيام الممطرة من 8 إلى 25 يومًا في السنة وتكون هذه الأيام بشكل رئيسي في موسمي الأمطار: منتصف مارس/آذار إلى بداية أبريل/نيسان ومن منتصف يوليو/تموز إلى نهاية أغسطس/آب.[36]

يعتمد حوض صنعاء إلى حد كبير على المياه الجوفية للري واستخدامات المياه المنزلية.[37] نتيجة لعوامل كالنمو السكاني السريع في مدينة صنعاء (أكثر من 5%)،[38] والهجرة غير المنظمة وتوسع الأنشطة الزراعية، ازداد الطلب على المياه بشكل كبير في العقود الثلاثة الماضية واستمر حفر الآبار الجديدة.[39] اليوم هناك أكثر من 13 ألف بئر في حوض صنعاء. كانت نقطة التقاطع، أو التوازن، بين تغذية المياه الجوفية واستخراجها عام 1985، وبعد ذلك استمر استخراج المياه الجوفية في الزيادة باستمرار ليتجاوز معدلات تغذية الحوض بالمياه

31) مساعد عقلان، وشارلوت دي فريتور، ولازلو هايد، "ما هي مصادر المياه التي يلجأ إليها الناس في زمن الحرب؟ دلائل من حوض صنعاء، اليمن"، المجلة الدولية للبحوث البيئية، المجلد 13، رقم 4 (مايو/أيار 2019).

32) أحمد العامري، ومايكل شنايدر، ونايف أبو لحوم، وسيلفيو جانيتز، "خصائص النظائر المستقرة لأكسجين18- والديوتيريوم في المياه الجوفية في حوض صنعاء، اليمن"، المجلة العربية للعلوم والهندسة، المجلد 39 (23 أبريل/نيسان 2014)؛ أحمد محمد الدرويش، "الإدارة المتكاملة للمياه في مستجمعات المياه الصغيرة في المنطقة الجبلية القاحلة - اليمن"، ملخص أبحاث الطاقة والبيئة والاقتصاد، المجلد 19 (يناير/كانون الثاني 2013).

33) أحمد محمد الدرويش، "الإدارة المتكاملة للمياه في مستجمعات المياه الصغيرة في المنطقة الجبلية القاحلة - اليمن،" ملخص أبحاث الطاقة والبيئة والاقتصاد، المجلد 19 (يناير/كانون الثاني 2013).

34) أحمد العامري، ومايكل شنايدر، ونايف أبو لحوم، وسيلفيو جانيتز، "خصائص النظائر المستقرة لأكسجين18- والديوتيريوم في المياه الجوفية في حوض صنعاء، اليمن"، المجلة العربية للعلوم والهندسة، المجلد 39 (23 أبريل/نيسان 2014)؛ جان ويليم فوبن، وم. نعمان وجاك شيجين، "إدارة المياه تحت الضغط في صنعاء، اليمن"، المجلة العربية للعلوم والهندسة، المجلد 30، رقم 2 (ديسمبر/كانون الأول 2005)؛ طه طاهر، "إدارة استخراج المياه الجوفية في حوض صنعاء، اليمن: نهج قائم على المجتمع المحلي"، مجلة الهيدروجيولوجيا/علوم المياه، المجلد 24، رقم 6 (مايو/أيار 2016).

35) عبد الحكيم الخويلد، وصن يوهونغ، وعارف الجبالي، وسون زيفنغ، "مقاربة لتقدير الانخفاض الكمي لآبار المياه الجوفية: دراسة حالة من مدينة صنعاء، اليمن"، جلوبال جيولوجي، المجلد 13 (2010).

36) أحمد محمد الدرويش، "الإدارة المتكاملة للمياه في مستجمعات المياه الصغيرة في المنطقة الجبلية القاحلة - اليمن،" ملخص أبحاث الطاقة والبيئة والاقتصاد، المجلد 19 (يناير/كانون الثاني 2013)؛ يحيى الوطاف، وبوعبيد المنصوري، "النمذجة الهيدروديناميكية لتقييم المياه الجوفية في حوض صنعاء، اليمن"، مجلة الجيولوجيا المائية، المجلد 20، رقم 7 (نوفمبر/تشرين الثاني 2012).

37) عبد الحكيم الخويلد، وصن يوهونغ، وعارف الجبالي، وسون زيفنغ، "مقاربة لتقدير الانخفاض الكمي لآبار المياه الجوفية: دراسة حالة من مدينة صنعاء، اليمن"، جلوبال جيولوجي، المجلد 13 (2010).

38) بلغ معدل النمو السنوي في حوض صنعاء 5.5% في المناطق الحضرية (حيث يعيش 86% من إجمالي السكان) و3.2% في المناطق الريفية (14% من إجمالي السكان) بحسب التعداد السكاني لعام 2004 وفقًا للجهاز المركزي للإحصاء اليمني (منظمة مجتمع مدني لوزارة التخطيط والتعاون الدولي).

39) أحمد العامري، ومايكل شنايدر، ونايف أبو لحوم، وسيلفيو جانيتز، "خصائص النظائر المستقرة لأكسجين18- والديوتيريوم في المياه الجوفية في حوض صنعاء، اليمن"، المجلة العربية للعلوم والهندسة، المجلد 39 (23 أبريل/نيسان 2014)؛ يحيى الوطاف، وبوعبيد المنصوري، "النمذجة الهيدروديناميكية لتقييم المياه الجوفية في حوض صنعاء، اليمن"، مجلة الجيولوجيا المائية، المجلد 20، رقم 7 (نوفمبر/تشرين الثاني 2012).

(الشكل رقم 4).[40] تعاني طبقات المياه الجوفية في حوض صنعاء من الاستغلال المفرط. يتجاوز السحب السنوي 220 مليون متر مكعب، وهو أعلى بخمس إلى ست مرات من الحجم المضاف إلى الحوض من خلال التغذية الطبيعية، ويبلغ الانخفاض السنوي في مستوى المياه حوالي 8-4 متر.[41] تستخدم حوالي 90% من المياه الجوفية في حوض صنعاء للأنشطة الزراعية، ويُعد القات أكثر المحاصيل انتشارًا.[42]

2.3. طرق البحث وجمع البيانات

أجرت هذه الدراسة مسوحات ميدانية في ديسمبر/كانون الأول 2020 ويناير/كانون الثاني 2021 بين عينة طبقية تتكون من 88 مزارعًا من حوض صنعاء، معظمهم من بني حشيش وبني مطر وهمدان.[43] إضافة لمقابلات مقدمي المعلومات الرئيسيين مع خبراء المياه والري والطاقة لضمان الاتساق بين البيانات التي جُمعت على مستوى المزارع والمعلومات على المستوى المهني والإداري. سهّل هذا النهج في الحصول على فهم أعمق من وجهات نظر مختلفة لمستقبل نظام الري بالطاقة الشمسية واستخداماته وإدارته المناسبة في اليمن. بعد فحص جودة البيانات التي جُمعت، تم الاتصال بالمشاركين عبر الهاتف للتحقق من النقاط غير الواضحة أو غير المكتملة عند الحاجة.

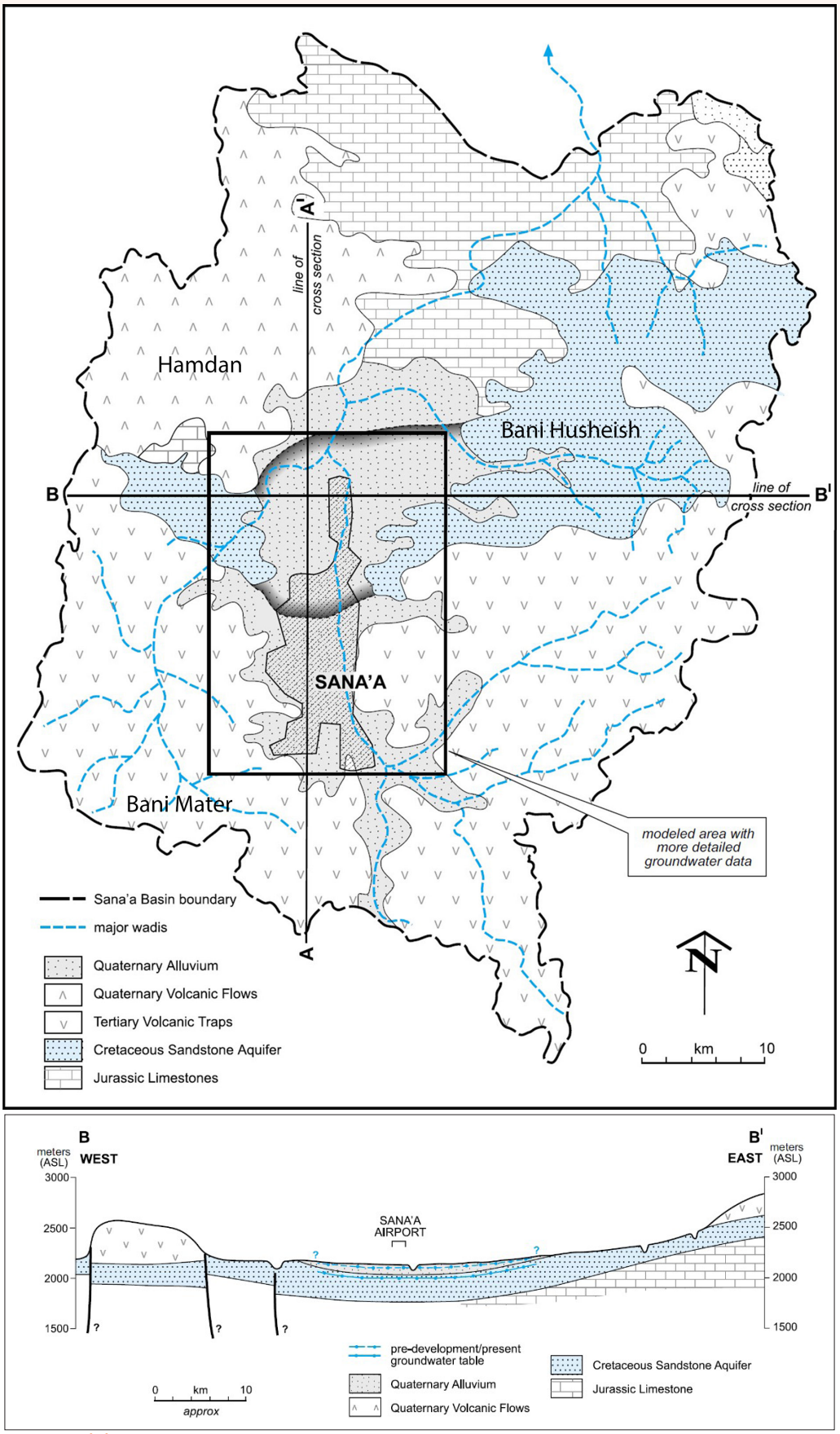
اُختير حوض صنعاء كمنطقة للدراسة لأنه يواجه ندرة في المياه؛ وكون مياه الحوض الجوفية أعمق من الأحواض الأخرى. المعلومات بشأن استخدام نظام الري بالطاقة الشمسية في مثل هذا الحوض العميق يمكن استقراءها نوعًا ما لتطبيقها على مناطق أخرى، مع افتراض أن استخدام نظام الري بالطاقة الشمسية في الأحواض الأقل عمقًا سيكون أسهل. ومع ذلك، للتحقق جُمعت عينة صغيرة من البيانات (10 مزارعين) من حضرموت التي يبلغ عمق المياه الجوفية فيها أقل من 100 متر.

40) يحيى الوطاف، وبوعبيد المنصوري، "النمذجة الهيدروديناميكية لتقييم المياه الجوفية في حوض صنعاء، اليمن"، مجلة الجيولوجيا المائية، المجلد 20، رقم 7 (نوفمبر/تشرين الثاني 2012).

41) جان ويليم فوبن وم. نعمان وجاك شيجين، "إدارة المياه تحت الضغط في صنعاء، اليمن،" المجلة العربية للعلوم والهندسة، المجلد 30، رقم 2 (ديسمبر/كانون الأول 2005)؛ طه طاهر، "إدارة استخراج المياه الجوفية في حوض صنعاء، اليمن: نهج قائم على المجتمع المحلي"، مجلة الهيدروجيولوجيا/علوم المياه، المجلد 24، رقم 6 (مايو/أيار 2016).

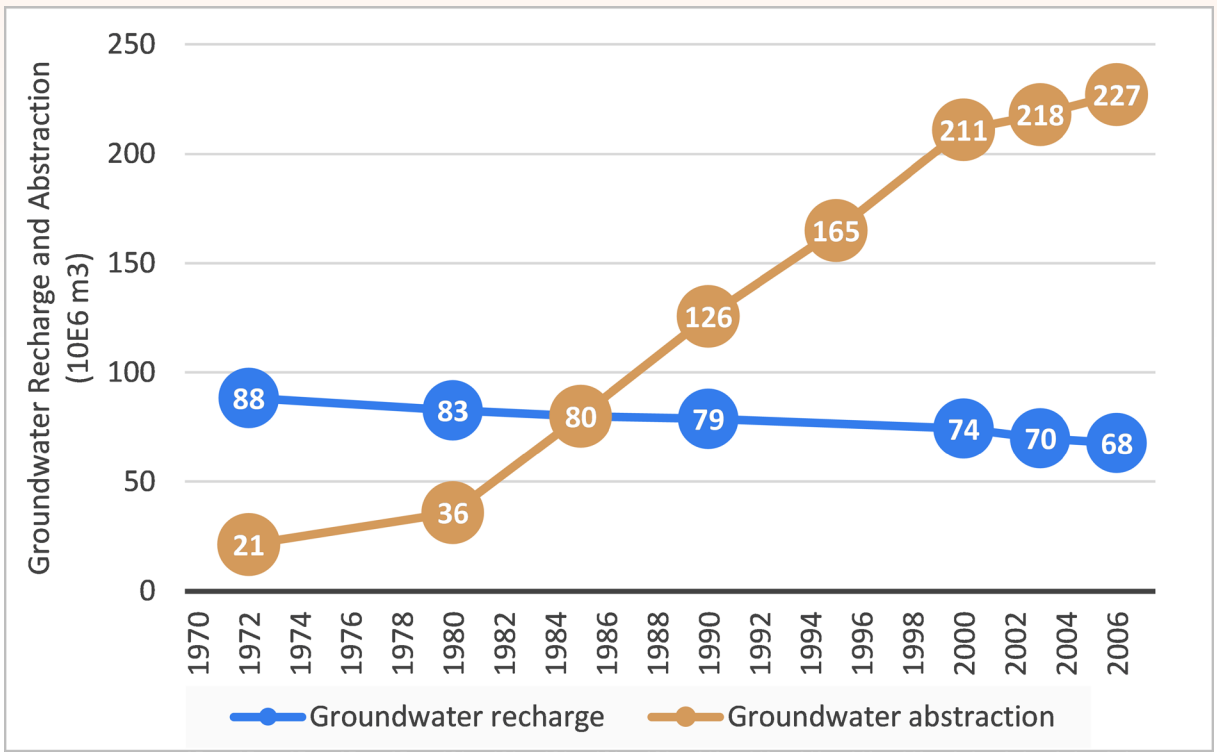
42) طه طاهر، "إدارة استخراج المياه الجوفية في حوض صنعاء، اليمن: نهج قائم على المجتمع المحلي"، مجلة الهيدروجيولوجيا/علوم المياه، المجلد 24، رقم 6 (مايو/أيار 2016).

43) يعبر المؤلفون عن امتنان وتقديرهم للمساهمة الأساسية التي قدمها جامعو البيانات الميدانية وجميع المزارعين الذين شملهم الاستطلاع، فلولا عملهم ومساعدتهم لم يكن ليخرج هذا التقرير إلى الضوء.



الشكل رقم 3: الخريطة الهيدروجيولوجية والمقطع العرضي (B-B) لحوض صنعاء[44]

44) طه طاهر، "إدارة استخراج المياه الجوفية في حوض صنعاء، اليمن: نهج قائم على المجتمع المحلي"، مجلة الهيدروجيولوجيا/علوم المياه، المجلد 24، رقم 6 (مايو/أيار 2016).

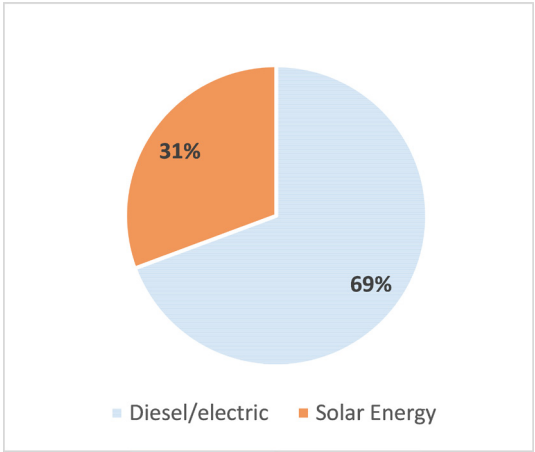


الشكل رقم 4: تغذية المياه الجوفية واستخراجها في حوض صنعاء[45]

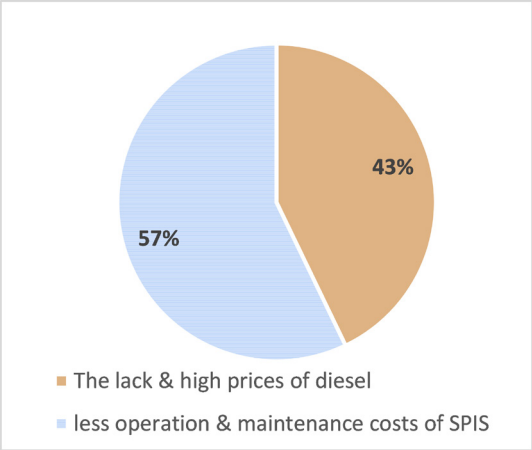
45) مساعد عقلان، وشارلوت دي فريتور، ولازلو هايد، "ما هي مصادر المياه التي يلجأ إليها الناس في زمن الحرب؟ دلائل من حوض صنعاء، اليمن"، المجلة الدولية للبحوث البيئية، المجلد 13، رقم 4 (مايو/أيار 2019).

4. النتائج والمناقشات

يتزايد استخدام نظام الري بالطاقة الشمسية في حوض صنعاء بشكل كبير، فاليوم يستخدم أكثر من 30% من المزارعين في هذه المنطقة نظام الري بالطاقة الشمسية (الشكل رقم 5). لم يكن الحال كذلك قبل الحرب الجارية، إذ كان معظم مستخدمي المياه الجوفية في اليمن يعتمدون على مولدات الديزل وشبكة الكهرباء لضخ المياه للري.[46] كانت الأسباب المبكرة لهذا التحول (2015-2017) مرتبطة بالحرب، وتضمنت بشكل أساسي نقص الكهرباء من الشبكة العامة وندرة الديزل وارتفاع أسعاره. أما الآن ومع تزايد خبرة المزارعين فإن السبب الرئيسي للتحول إلى الطاقة الشمسية هو انخفاض تكاليف التشغيل والصيانة لنظام الري بالطاقة الشمسية (الشكل رقم 6) وحقيقة أن هذا النظام يعتبر أكثر موثوقية من مضخات الديزل. أفاد جميع مستخدمي نظام الري بالطاقة الشمسية أنهم سعداء كونهم يستطيعون الحصول على كمية المياه التي اعتادوا الحصول عليها ولا يدفعون أي شيء تقريبًا، باستثناء تكلفة رأس المال.



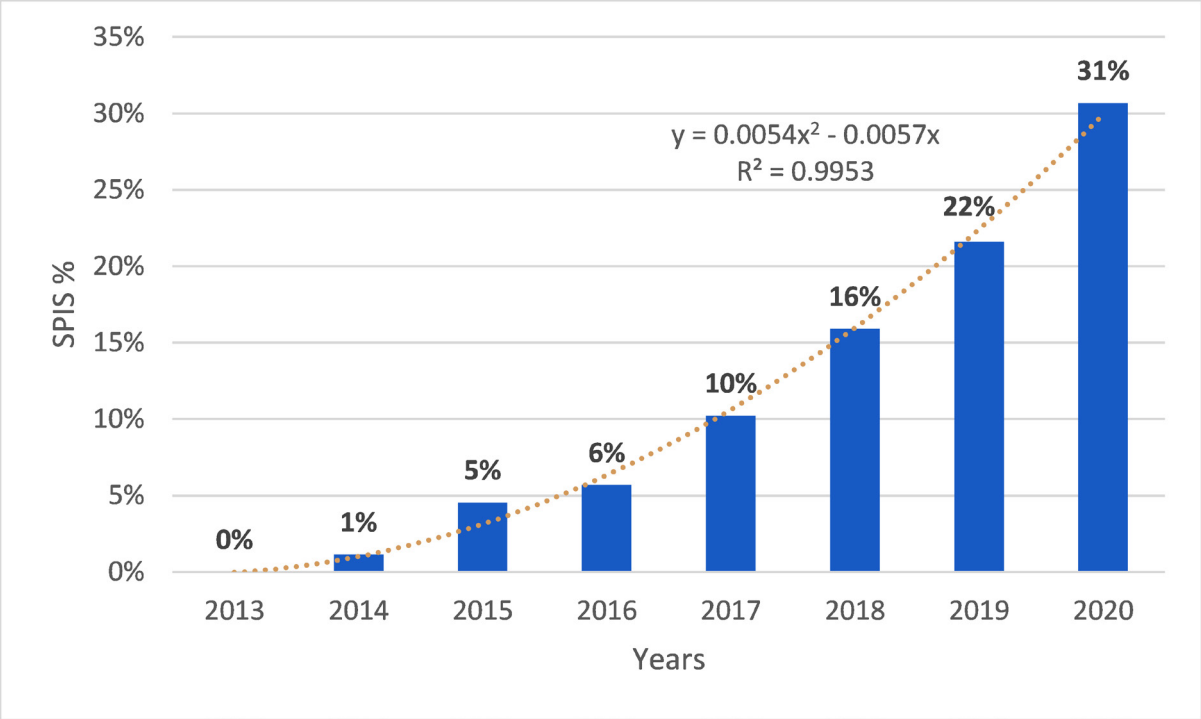
الشكل رقم 5: موارد الطاقة لممارسات الري (يناير/كانون الثاني 2021)



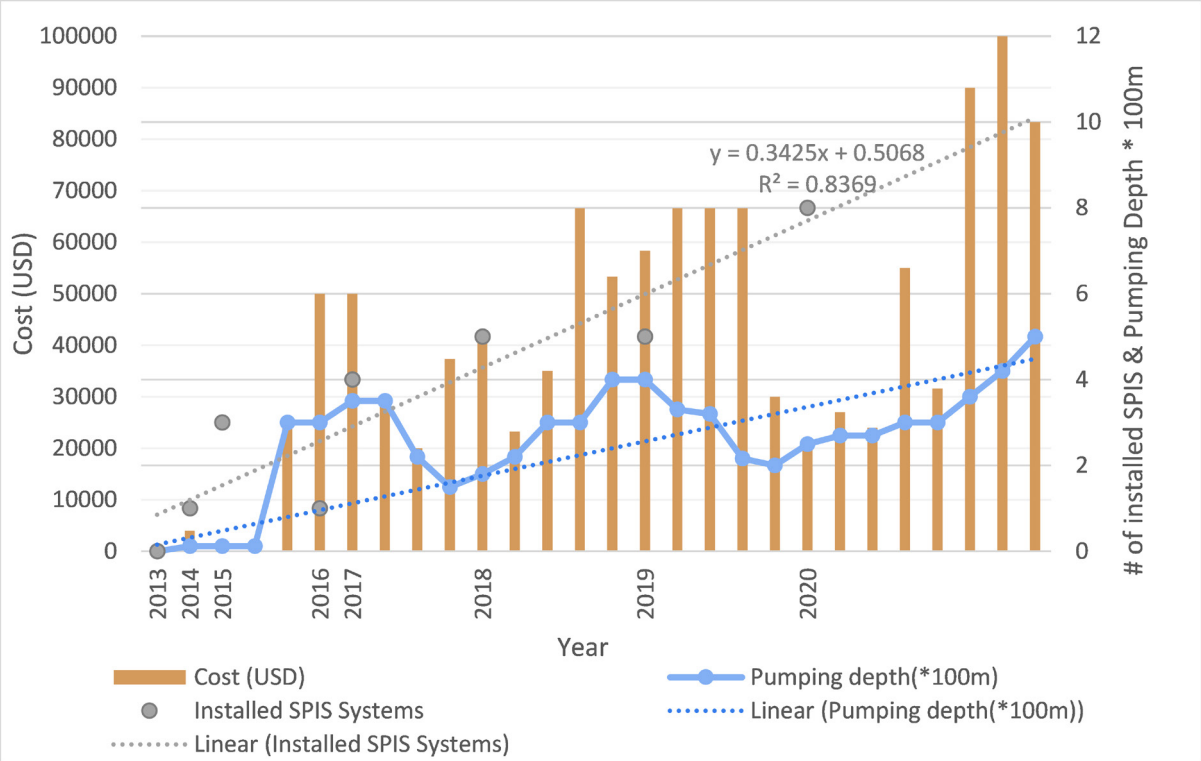
الشكل رقم 6: الأسباب التي أدت إلى استخدام نظام الري بالطاقة الشمسية (يناير/كانون الثاني 2021)

يتزايد عدد أنظمة نظام الري بالطاقة الشمسية المركبة مع الوقت، فقد قفز من 0% عام 2012 إلى 12% عام 2017 وإلى 31% بحلول نهاية عام 2020 (الشكل رقم 7). وبالمثل شهدت قدرة الضخ لنظام الري بالطاقة الشمسية ممثلة بعمق الضخ تطورًا ملحوظًا في حوض صنعاء. اقتصر استخدام نظام الري بالطاقة الشمسية عامي 2014-2015 على المياه الجوفية الضحلة (عمق أقل من 15 مترًا) قبل أن يرتفع العمق إلى 360 مترًا عام 2017 ويصل إلى 500 متر عام 2020 (الشكل رقم 8). خلال الحرب الحالية ومع إغلاق معظم المطارات والموانئ اليمنية، يزداد متوسط تبني نظام الري بالطاقة الشمسية في صنعاء بنسبة 4.4% سنويًا. إذا استمر هذا المسار، فسيتم استبدال أو دعم جميع أنظمة الضخ القديمة في حوض صنعاء بواسطة نظام الري بالطاقة الشمسية في غضون 15 عامًا. إذا استقر الوضع الاجتماعي والسياسي والأمني في اليمن، فمن المتوقع أن يكون التحول إلى نظام الري بالطاقة الشمسية أسرع بكثير. ونظرًا للخبرة التي اكتسبها المزارعون وتنامي سوق الطاقة الشمسية في اليمن، فمن المتوقع أن تشهد البلاد تحولًا كاملًا إلى نظام الري بالطاقة الشمسية في غضون 7 سنوات فقط.

46) المصدر نفسه.



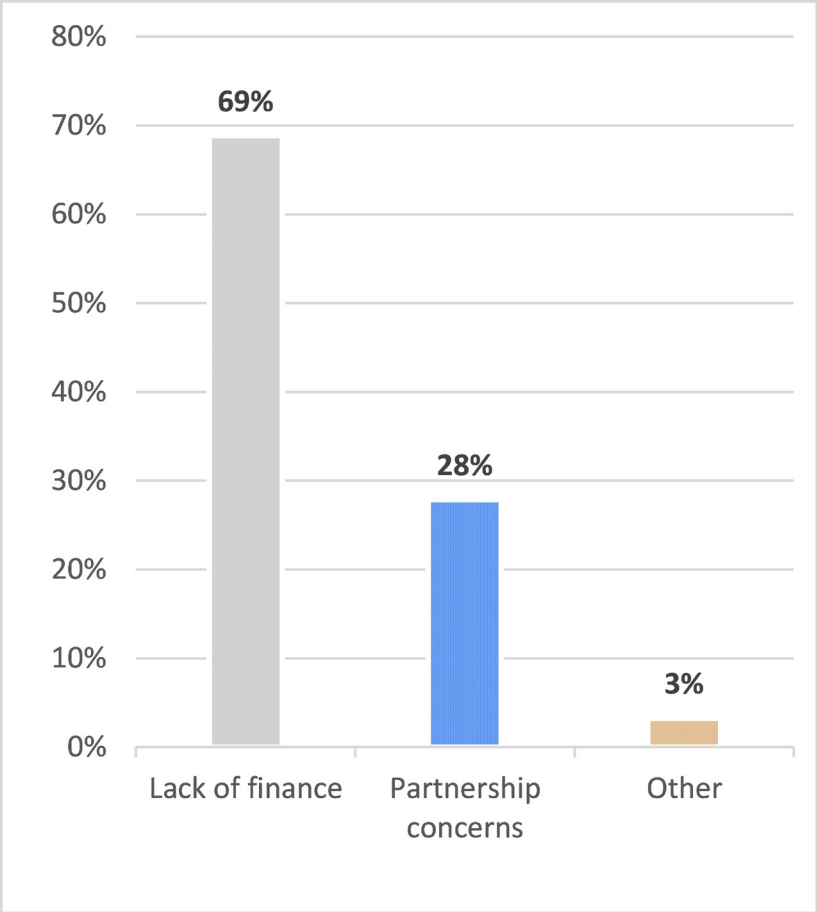
الشكل رقم 7: المعدل التراكمي لتركيب نظام الري بالطاقة الشمسية



الشكل رقم 8: تركيب نظام الري بالطاقة الشمسية والتكاليف ذات الصلة وعمق الضخ (2014-2020)

تتراوح تكلفة تركيب نظام الري بالطاقة الشمسية بين 4 آلاف دولار أمريكي لآبار المياه الجوفية الضحلة وما يصل إلى 100 ألف دولار أمريكي لآبار المياه الجوفية العميقة (الشكل رقم 6). ترتبط زيادة العمق ارتباطًا مباشرًا بزيادة التكلفة. بمرور الوقت يتزايد العمق الذي تُركب فيه أنظمة الري بالطاقة الشمسية وبالتالي تزداد تكاليفها. ولكن العلاقة الدقيقة بين التكلفة والعمق ليست ثابتة. تعد جودة نظام الري بالطاقة الشمسية (العلامة التجارية وبلد المنشأ) وحجمه (عدد الألواح الشمسية) من العوامل المهمة أيضًا في سعر تلك الأنظمة. يُعد عمق المياه والتعرض لأشعة الشمس وكفاءة وقدرة النظام من العوامل الرئيسية التي تحدد قدرة الضخ الخاصة بالنظام. قال بعض المزارعين إن نظام الري بالطاقة الشمسية يؤمّن لهم كميات من المياه تساوي ما اعتادوا الحصول عليه باستخدام مضخات أخرى، بينما قال مزارعون آخرون إنهم يحصلون على قدر أكبر من المياه باستخدام نظام الري بالطاقة الشمسية، حيث قال أحد المزارعين: "تسع ساعات من تشغيل نظام الري بالطاقة الشمسية تعادل استخدام مضخة تعمل بالديزل من السادسة صباحًا حتى منتصف الليل".

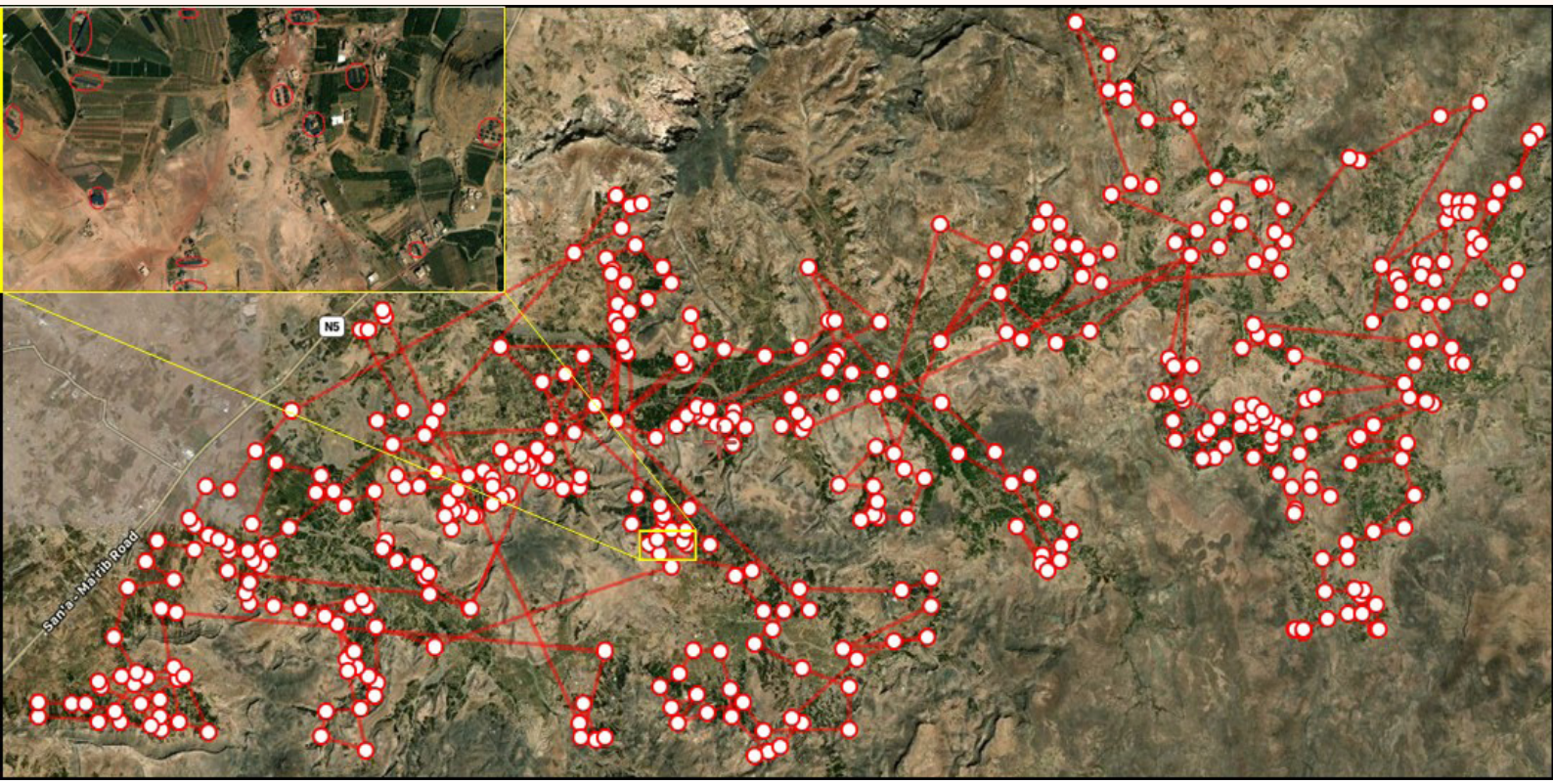
جميع مالكي الآبار يرغبون في الحصول على نظام الري بالطاقة الشمسية، ولكن العقبة الرئيسية التي تواجه معظم المزارعين (69% منهم) هي تكلفة رأس المال لنظام الري بالطاقة الشمسية، حيث أعرب أحد المزارعين عن شعوره بالأسف لفقدانه فرصة عام 2008، عندما عُرض عليه نظام الري بالطاقة الشمسية مجانًا ورفضه، قائلًا "لم أكن أدرك مزاياها". وأفاد بعض المزارعين أنهم باعوا أصولًا مثل السيارات والذهب من أجل شراء نظام الري بالطاقة الشمسية. لم يتمكن غالبية المجيبين من تحمل تكلفة هذه التكنولوجيا، على الرغم من رغبتهم في الحصول عليها. في عدد من المناطق في حوض صنعاء، يشترك المزارعون في ملكية الآبار والمضخات وينظم ذلك اتفاقيات محلية تفرض على الجميع مشاركة ملكية الآبار الموجودة داخل أراضيهم. عندما لا يملك البعض المال لدفع ما يترتب عليهم لحفر البئر وتركيب المضخة (المضخات الكهربائية والتي تعمل بمحركات الديزل بشكل عام)، يقوم المزارعون الآخرون بالدفع عنه حتى حين. وأفاد المزارعون الذين يمتلكون آبارًا مشتركة أنهم يواجهون صعوبات في استبدال مضخاتهم القديمة بمضخات تعمل بالطاقة الشمسية لأنهم يخصصون وقتًا محددًا لتوزيع المياه لكل مزارع، بالتالي، لا يعتبر نظام الري بالطاقة الشمسية مناسبًا لأنه إذ استُخدم فقد لا تُوزع المياه بالتساوي بينهم. ينتج الضخ بمحركات الديزل كمية ثابتة من الماء، ولكن الاختلاف في أشعة الشمس يعني أن ضخ المياه بالطاقة الشمسية يؤدي إلى استخراج كميات مختلفة من المياه. بالتالي يعني التفاوت المحتمل في كميات المياه التي يتم الحصول عليها في الوقت المخصص يعني أن بعض المالكين المشتركين مترددين حول إدخال نظام ضخ المياه بالطاقة الشمسية. كان 28% من جميع المزارعين الذين شملهم الاستطلاع في صنعاء غير راغبين في تركيب نظام الري بالطاقة الشمسية بسبب مخاوف الشراكة هذه، في حين لم تكن أقلية صغيرة (3%) مهتمة بنظام الري بالطاقة الشمسية الجديد لأنهم نادرًا ما يستخدمون أنظمة الضخ التقليدية الخاصة بهم (الشكل رقم 9).



الشكل رقم 9: لماذا لم تستخدم أنظمة الري بالطاقة الشمسية حتى الآن؟

شهدت معظم مناطق الحجر الرملي ومناطق الطمي في حوض صنعاء، مثل بني حشيش، زيادة أكثر حدة في أنظمة الري بالطاقة الشمسية مقارنة بالمناطق البركانية ، مثل بني مطر. تعتبر الأراضي المسطحة في صنعاء، مثل بني حشيش، أكثر خصوبة من المناطق الجبلية ويقطنها المزيد من المزارعين الأغنياء الذين يمتلكون مزارع القات. ساعد هذا الأمر بشكل كبير في انتشار مضخات الطاقة الشمسية، ففي بني حشيش، رُكبت أكثر من 400 مضخة شمسية بحلول عام 2017 (الشكل رقم 10)، أي ما يقرب من 20% من إجمالي عدد الآبار في تلك المنطقة.

من بين الذين تمت مقابلتهم كان هناك مزارعان يستخدمان نظام الري بالطاقة الشمسية في كل من صنعاء والحديدة. وعلى الرغم من أن المضخات في الحديدة تكلفتها أقل واعماق المياه اقرب (60-30 م) مقارنة بصنعاء، إلا أنهما أكثر سعادة بمضخاتهم في صنعاء كون محصولهما هو القات الذي يضمن أرباحًا أكثر. تفوق فوائد نظام الري بالطاقة الشمسية في صنعاء تكاليفه الأولية لأن المحاصيل المزروعة هناك مربحة. ما دعم هذا الاستنتاج أيضًا هو التجربة المقارنة بمزارعي حضرموت، الذين يتمتع العديد منهم بقدرة مالية منخفضة واضطروا إلى بيع أنظمة الضخ القديمة لتغطية جزء من تكاليف نظام الري بالطاقة الشمسية. أما في صنعاء فيحتفظ غالبية المزارعين بأنظمتهم القديمة التي تعمل بالديزل/ الكهرباء ويستخدمونها كنُظم احتياطية أو تكميلية.



الشكل رقم 10: خريطة رقمية لـ 438 من أنظمة الري بالطاقة الشمسية في بني حشيش (2017)

كما هو الحال في صنعاء، يفضل المزارعون في حضرموت نظام الري بالطاقة الشمسية على أنظمة الضخ الأخرى، حيث يعتبر عمق الضخ في حضرموت (60-30 م) أكثر ملاءمة للمضخات الشمسية وقد بدأ استخدام نظام الري بالطاقة الشمسية بالانتشار على نطاق واسع. جدير بالذكر أن عددًا من المزارعين في حضرموت أبدوا قلقهم من تأثير تقنيات الطاقة الشمسية على مستويات المياه الجوفية في ظل عدم وجود أنظمة وسياسات واضحة. ومع ذلك، يصف مزارعو حضرموت نظام الري بالطاقة الشمسية بأنه نظام جيد يعاني من مشاكل فنية أقل مما تعانيه أنظمة الكهرباء والديزل. تتراوح تكلفة نظام الري بالطاقة الشمسية في حضرموت ما بين 10 آلاف إلى 17 ألف دولار أمريكي. التكلفة الرأسمالية هي العقبة الرئيسية التي تمنع معظم مزارعي حضرموت من امتلاك تقنية نظام الري بالطاقة الشمسية.

لم يتلقَ مستخدمو نظام الري بالطاقة الشمسية في صنعاء وحضرموت الذين تمت مقابلتهم لأجل هذه الورقة أي تدريب على التركيب أو التشغيل أو الصيانة باستثناء القليل من المعلومات حول التركيب والتي حصلوا عليها من شركات التسويق. أكد هؤلاء المستخدمون أنهم لا يمتلكون أي برامج أو سياسات محددة لتنظيم استخدام نظام الري بالطاقة الشمسية.

خلال الحرب الحالية، لم يشهد المزارعون الانخفاض في مستويات المياه الجوفية الذي شهدوه قبل الحرب،[47] حيث قال أحدهم "في السنوات الثلاث الماضية لم أركب أنبوبًا واحدًا"، مشيرًا إلى أن إمدادات المياه كانت كافية. في الماضي أدت فترات أزمة الديزل الطويلة إلى انخفاض ساعات تشغيل مضخات الديزل، ما تسبب في ضخ كميات أقل من المياه وبالتالي

47) لا يستطيع المزارعون قياس مستوى المياه بالضبط، لكن عندما تبدأ كمية المياه التي يتم ضخها في الانخفاض ويبدأ المزيد من الرغوة في الظهور في عملية الضخ، يعرف المزارعون أن مستوى المياه قد انخفض على الأرجح وأنه يجب تركيب المزيد من الأنابيب.

كانت موارد المياه الجوفية تحت ضغط أقل. علاوة على ذلك، كانت معدلات هطول الأمطار عامي 2019 و2020 أعلى بكثير من المعتاد، حيث قال أحد المزارعين في صنعاء: "إذا استمر هطول الأمطار كما كان في العامين الماضيين، فنادرًا ما سنحتاج المياه الجوفية". صحيح أن استخدام نظام الري بالطاقة الشمسية يساعد في التخفيف من التحديات التي تفرضها أزمة الوقود، إلا أنه ليس سببًا في زيادة استقرار المياه الجوفية الذي تحدث عنه بعض المزارعين كونه (الضخ بالطاقة الشمسية) ما يزال في مراحله الأولى. تبلغ نسبة المزارعين الذين يستخدمون هذه الأنظمة 31% فقط من المزارعين الذين شملهم الاستطلاع، ويُعد معظم مستخدمي نظام الري بالطاقة الشمسية من كبار مالكي الأراضي، أي الذين يمكنهم تحمل تكلفة الديزل لتشغيل المضخات حتى خلال أزمة الوقود الحالية.

ما تزال أزمة الديزل قائمة أوائل عام 2021، حيث يشتري العديد من المزارعين الديزل من السوق السوداء. ووجدت هذه الدراسة أن متوسط سعر لتر الديزل هو 500 ريال في صنعاء و325 ريال في حضرموت.[48] هذه الأسعار -أسعار يناير/كانون الثاني -2021 تبلغ حوالي خمسة وثلاثة أضعاف سعر الديزل قبل الأزمة. منذ عام 2011. وصلت أسعار الديزل، في بعض الأحيان، إلى 15 ضعف أسعار ما قبل الأزمة. ولكن مع وجود المزيد من أنظمة الري بالطاقة الشمسية أو زيادة توافر الديزل، من المتوقع أن يبدأ المزارعون تدريجيًا في استخراج كمية أكبر من المياه الجوفية التي استُخرجت قبل الحرب.

كان هناك انخفاض في إنتاج المحاصيل في جميع أنحاء البلاد طول فترة الصراع.[49] يتزايد عدد مزارع القات على حساب المحاصيل الأخرى التي تتضاءل مساحتها، وأصبحت كثير من الآبار تُحفر دون رقابة/مشاركة السلطات الرسمية. قال أحد المزارعين في بني حشيش: "في منطقتنا كان هناك أكثر من 200 مزارع يعملون في محاصيل أخرى غير القات، أما الآن فلا يوجد سوى حوالي 20". إن التوسع في مزارع القات -والتي عادة ما تقوم على الري بسبب الاحتياجات المائية العالية للقات- يزيد من المخاوف بشأن استخراج المياه الجوفية في المستقبل، خاصةً عندما يستقر الوضع في اليمن ويزداد توافر نظام الري بالطاقة الشمسية والديزل.

هناك اهتمام كبير من الجهات الإنمائية الفاعلة لدعم استخدام نظام الري بالطاقة الشمسية في اليمن، كونها توفر الوقود والكهرباء، وتحمي البيئة، وتقلل من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ولها فوائد صحية وعوائد اجتماعية أخرى. تلقّى بعض المزارعين بالفعل بعض الدعم من منظمات محلية (ذكر المستجيبون منظمتي آزال والوطنية) ومنظمات دولية (مثل منظمة الأغذية والزراعة والمنظمة الدولية للهجرة وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي ومنظمة كير ومنظمة أوكسفام ومنظمة ميرسي كوربس). تتحكم بعض هذه المنظمات الداعمة في أقصى عمق ممكن لاستخدام نظام الري بالطاقة الشمسية، ولكن هذا الحال ليس دائمًا. يستطيع المزارعون الذين يمتلكون مساحات كبيرة من الأراضي شراء أنظمة نظام الري بالطاقة الشمسية كما لديهم القدرة في الحصول على مزيد من الدعم المالي من المنظمات. أما أصحاب المزارع الصغيرة فيواجهون معوقات أكبر أمام تركيب نظام الري بالطاقة الشمسية.

48) تجدر الإشارة إلى أن أسعار الوقود تتفاوت بشكل كبير حسب كمية الوقود المسموح بدخولها إلى البلاد من قِبل التحالف الذي تقوده السعودية والتلاعبات التي يقوم بها التجار الذين غالبًا ما يلعبون دورًا في السوق السوداء. يُمارس هذا النشاط في السوق السوداء اليوم على مرأى من الجميع.

49) عادل الوشلي، وعمر بامقاء، وسيسيليا بورجيا، وفرانك فإن ستينبرغن، وناصر العولقي، وعبد الله بابقي، "دعم الديزل والسياسة اليمنية: أزمات ما بعد 2011 وتأثيرها على استخدام المياه الجوفية والزراعة"، واتر الترن Water Altern، المجلد 8، رقم 2 (يونيو/حزيران 2015).

يُنظر إلى المضخات بالطاقة الشمسية على أنها حل قوي محتمل لأوجه القصور الحكومية في استخدام شبكة الكهرباء للزراعة، ولا ينظر صانعو السياسات إلى التأثير المحتمل للمضخات الشمسية على الاستخراج المفرط للمياه الجوفية كمصدر قلق كبير. أما المزارعون، فهم يعتبرون المضخات بالطاقة الشمسية حلًا لضخ المياه وحلًا للطاقة على حد سواء. من منظور اقتصادي، أي مورد سهل الوصول إليه سيكون حتمًا عرضة للاستغلال المفرط، ما لم يتم تقييد الوصول إليه واستخدامه من خلال اللوائح والسياسات الحكومية.

وجهات نظر الخبراء

أشار عدد من خبراء الطاقة الشمسية في اليمن، خلال مقابلات مقدمي المعلومات الرئيسيين، إلى أن المضخات بالطاقة الشمسية قد تساعد في الحفاظ على المياه الجوفية وتثبيت مستويات المياه، بالنظر إلى القيود الزمنية المفروضة على الضخ (10-8 ساعات يوميًا) والقدرة المحدودة لهذه الأنظمة. ولكن، لم تقم أي دراسة بتقييم هذا الأمر بشكل منهجي. بل بالعكس من ذلك تشير بعض الدراسات إلى أن إدخال المضخات بالطاقة الشمسية يمكن أن يخلق مخاطر إضافية للإفراط في استخراج المياه. ومن المرجح أن يؤدي انتشار نُظم الري بالطاقة الشمسية إلى تفاقم الاستغلال المفرط لخزانات المياه الجوفية لا سيما بالنظر إلى ما أسفر عنه دعم الديزل في السابق عندما أدى إلى الاستغلال المفرط لموارد المياه الجوفية والانخفاض الكبير لها على مدى عقود.[50] فمثلًا أُبلغ عن زيادة معدلات هدر المياه بعد الانتشار المكثّف للضخ بالطاقة الشمسية في أجزاء من الهند والصين.[51]

كما وجدت هذه الدراسة أن معظم المزارعين الذين أُجري معهم الاستطلاع والذين يستخدمون نظام الري بالطاقة الشمسية احتفظوا بمضخاتهم القديمة لاستخدامها في الليل أو حسب الحاجة. احتفظ جميع مالكي نظام الري بالطاقة الشمسية في حوض صنعاء بمضخاتهم القديمة (معظمها تعمل على الديزل) كنظم احتياطية، في حين كان لدى البعض الآخر (6%) أكثر من بئر واحد، ويشغلون أنظمة ضخ تعمل بالديزل والطاقة الشمسية في الوقت نفسه. يعتمد المستخدمون الحاليون لنظام الري بالطاقة الشمسية بشكل أساسي على أنظمة الطاقة الشمسية ولا يستخدمون المضخات التي تعمل على الديزل إلا عندما يكون الماء الذي يوفره نظام الري بالطاقة الشمسية غير كافٍ، خاصةً أثناء الليل في موسم الصيف أو في الأيام الملبدة بالغيوم. في الواقع وكما ذكرنا سابقًا، أفاد بعض المزارعين عن استخراجهم مياه أكثر عن طريق نظام الري بالطاقة الشمسية. هناك أدلة متزايدة على أن التكلفة التشغيلية المنخفضة والطاقة المتاحة لنظام الري بالطاقة الشمسية تساهمان في الاستخراج المفرط للمياه الجوفية، وتقليل منسوبها، والتأثير سلبًا على جودة المياه.[52] يدعم خبراء الطاقة اليمنيون استخدام الطاقة الشمسية في جميع القطاعات، مع اهتمامهم الرئيسي بجودة معدات الطاقة الشمسية المستوردة، بغض النظر عن أي تأثير بيئي طويل الأجل.

50) مساعد عقلان، شارلوت دي فريتور، لازلو هايد، "ما هي مصادر المياه التي يلجأ إليها الناس إليها في أوقات الحرب؟ أدلة من حوض صنعاء"، المجلة اليمنية الدولية للبحوث البيئية، المجلد 13، رقم 4 (مايو/أيار 2019).

51) "الطاقة المتجددة في العلاقة بين المياه والطاقة والغذاء"، الوكالة الدولية للطاقة المتجددة، يناير/كانون الثاني 2015.

52) توشار شاه وأفيناش كيشور، "الري بمضخات تعمل بالطاقة الشمسية واقتصاد المياه الجوفية في الهند: مناقشة أولية للفرص والتهديدات"، برنامج سياسة المياه - المعهد الدولي لإدارة المياه، IWMI-TATA، 2012، http://www.iwmi.cgiar.org/iwmi-tata/PDFs/2012_Highlight-26.pdf، تم الاطلاع في 31 مارس/آذار 2021. "الطاقة المتجددة في العلاقة بين المياه والطاقة والغذاء"، الوكالة الدولية للطاقة المتجددة، يناير/كانون الثاني 2015.

خبـراء الميـاه والـري اليمنيـون يدعمـون ايضـا اسـتخدام نظـام الـري بالطاقـة الشمسـية فـي اليمـن، ولكـن بطريقـة تمنـع اسـتنزاف المزيـد مـن الميـاه الجوفيـة الشـحيحة. يقلـل اسـتخدام نظـام الـري بالطاقـة الشمسـية مـن اسـتهلاك الوقـود المسـتورد والكهربـاء ويخفـف الضغـط علـى الاقتصـاد (حيـث يعتمـد الاقتصـاد اليمنـي علـى الوقـود إلـى حـد كبيـر)، والأهـم مـن ذلـك أنـه يوفـر وسـيلة أرخـص وصديقـة للبيئـة لضـخ الميـاه. يُعـد هـذا مهمًـا فـي المناطـق الريفيـة بشـكل خـاص حيـث الزراعـة هـي الخيـار الرئيسـي لكسـب العيـش. ومـع ذلـك، لا يمكـن تجاهـل التأثيـر السـلبي المحتمـل لنظـام الـري بالطاقـة الشمسـية علـى اسـتخراج الميـاه الجوفيـة فـي غيـاب سياسـات وأنظمـة واضحـة. لذلـك هنـاك حاجـة إلـى مزيـد مـن الدراسـات الشـاملة التفصيليـة حـول التأثيـر المحتمـل لنظام الري بالطاقة الشمسية، مقارنة بالأنظمة التقليدية التي تعمل بالوقود.

علـى الرغـم مـن أن نظـام الـري بالطاقـة الشمسـية لديـه قيـود تتمثـل فـي تكلفـة رأس مالـه والفتـرة الزمنيـة المحـدودة للضخ (سـاعات النهـار)، فمـا زال هنـاك خطـر الاسـتغلال المفـرط لمـوارد الميـاه الجوفيـة المرتبطـة بالاسـتخدام الواسـع النطـاق لتكنولوجيـا نظـام الـري بالطاقـة الشمسـية والإعانـات ذات الصلـة. فـي المغـرب مثـلًا عُلـق الدعـم الموجـه نحـو ضـخ الميـاه بالطاقـة الشمسـية بسـبب قلـق الحكومـة المتزايـد بشـأن اسـتنفاد مـوارد الميـاه الجوفيـة.[53] مصـدر قلـق آخـر هـو أن المزارعيـن قـد يقومـون بالـري أكثـر خـلال سـاعات النهـار، ممـا يقلـل مـن كفـاءة الـري وإنتاجيـة الميـاه. لا يـزال معظـم المزارعيـن فـي اليمـن يمارسـون الأسـاليب القديمـة للـري بالغمـر وقليـل منهـم يمتلـك أنظمـة ري حديثـة. يجـب معالجـة جميـع هـذه المخـاوف بشـكل منهجـي علـى مسـتوى المجتمـع والسياسـة، ويجـب إعـداد سياسـات وأنظمـة شـاملة. لا يعتقـد خبـراء الميـاه أنـه يجـب دعـم المزارعيـن بإعانـات ماليـة لتغطيـة التكاليـف الرأسـمالية لنظـام الـري بالطاقـة الشمسـية، وبدلًا مـن ذلـك يدعـون إلـى تقديـم الدعـم فـي شـكل مسـاعدة فنيـة وبنـاء القـدرات جنبًـا إلـى جنـب مع المعلومات حول الإدارة المستدامة للمياه.

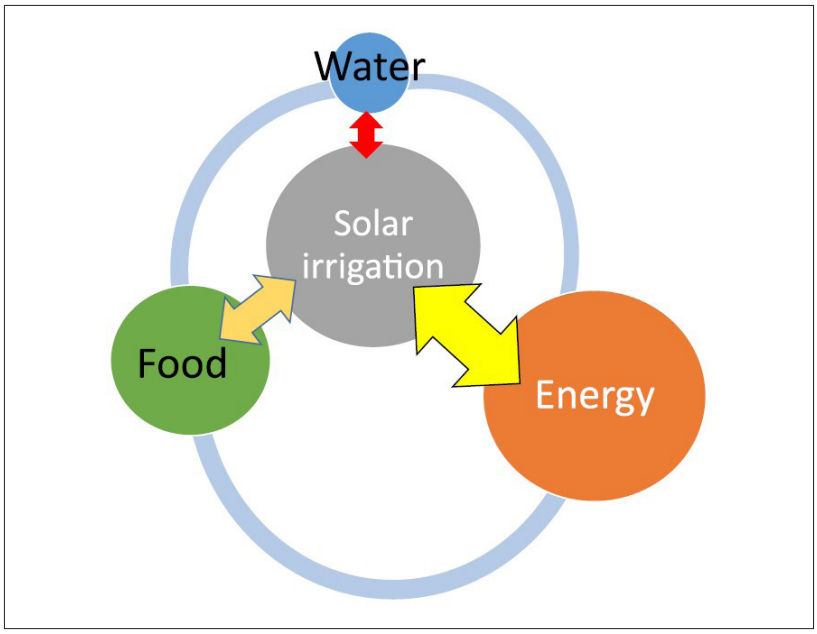
وبحسـب المزارعيـن الذيـن شـملهم الاسـتطلاع، فـإن القيـود الرئيسـية علـى توسـيع اسـتخدام نظام الـري بالطاقـة الشمسـية تشـمل فـي المقـام الأول تكلفـة الاسـتثمار الأوليـة المرتفعـة (تكلفـة النظـام)، إضافـة إلـى الجـودة المتغيـرة للألـواح والمحـولات والمضخـات بسـبب عـدم وجـود معاييـر موحـدة وعـدم إصـدار الشـهادات وغيـاب ضوابـط الاسـتيراد، الأمـر الـذي يـزداد سـوءًا فـي بعـض الأحيان بسبب التجار غير الأمناء.

العلاقة بين المياه والطاقة والغذاء وأنظمة الري بالطاقة الشمسية

يشـكل الأمـن الغذائـي تحديًـا فـي اليمـن، لكـن التركيـز علـى هـذا التحـدي لا ينبغـي أن يكـون علـى حسـاب الأمـن المائـي للبـلاد المعـرّض للخطـر. بوسـع أنظمـة الـري بالطاقـة الشمسـية أن تزيـد إنتـاج الغـذاء مـن خـلال تسـخير طاقـة موثوقـة ومسـتدامة لتوفيـر الـري فـي الوقـت المناسـب، ولكـن قـد تكـون هـذه الفوائـد معرضـة للخطـر إذ أن الكثيـر مـن دراسـات الجـدوى الفنيـة حـول أنظمـة الـري بالطاقـة الشمسـية لا تجـري التقييـم المناسـب لمـوارد الميـاه المتاحـة واسـتخدامات الميـاه وكيـف ينعكـس اسـتبدال المضخـات التـي تعمـل بالديـزل بتلـك التـي تعمـل بالطاقـة الشمسـية علـى

53) ألفار كلوساس وإدوين راب، "ضخ المياه الجوفية المعتمدة على الطاقة الشمسية للري: الاستدامة والسياسات والقيود،" سياسة الطاقة، المجلد 104، (مايو/أيار 2017).

العلاقة بين الماء والطاقة والغذاء (الشكل 11). يجب أن تكون الجهود المبذولة لتحقيق الأمن الغذائي في اليمن مرتبطة دائمًا بالأمن المائي. بالنظر إلى الأعداد الكبيرة من اليمنيين الريفيين واعتمادهم على الزراعة، فإن ضمان استخدام تقنية الري الأنسب والموفرة للمياه أمر مهم للغاية. كما أن تفعيل النظم التقليدية لتجميع مياه الأمطار وتطوير الزراعة البعلية (المطرية) لهما نفس القدر من الأهمية، حيث أن العديد من المناطق تفتقر إلى المياه الجوفية الكافية لتمكين الري التكميلي الضئيل للغاية، في حين لا تمتلك مناطق أخرى المياه أساسًا. أنسب المناطق للري باستخدام نظام الري بالطاقة الشمسية هي تلك التي يتراوح معدل هطول الأمطار فيها بين 300-400 مم مثل حجة وإب. في جميع الحالات، يجب وضع كل من فائدة نظام الري بالطاقة الشمسية واستدامة المياه الجوفية في المنطقة قيد الدراسة بعين الاعتبار.



الشكل رقم 11: الري بالطاقة الشمسية والعلاقة بين المياه والطاقة والغذاء[54]

54) المصدر نفسه.

5. الاستنتاجات

على الرغم من أن نتائج هذه الدراسة تشير إلى وجوب توخي الحذر في استخدام الطاقة الشمسية للري، إلا أنه ينبغي التأكيد على أن تعزيزها وترويجها للاستخدام في إمدادات المياه المنزلية والكهرباء المنزلية هو تطور إيجابي جدًا ويجب تشجيعه. بهذه الشكل ستوفر الطاقة الشمسية الخدمات الأساسية للسكان، خصوصًا لآلاف الأسر الريفية في جميع أنحاء البلاد التي لولاها لما كان بإمكانهم الوصول إلى هذه الخدمات الأساسية في ظل الوضع الحالي.

فيما يتعلق بالإدارة المستدامة لموارد المياه الشحيحة في اليمن، كانت النتيجة الرئيسية لهذه الدراسة هي أن نظام الري بالطاقة الشمسية يتطلب تنظيمًا وإدارة أفضل، وذلك بالإضافة إلى طرق استخراج المياه الأخرى والمستخدمة في الزراعة بشكل أساسي والاستخدامات المنزلية وغيرها. توضح البيانات الميدانية التي جُمعت لهذه الدراسة أن استخدام نظام الري بالطاقة الشمسية زاد بشكل كبير خلال العقد الماضي في اليمن. كما تُظهر البيانات أنه من المرجح أن يؤثر استخدام الطاقة الشمسية للري في اليمن الغنية بالطاقة الشمسية والمفتقرة للمياه الجوفية سلبًا على موارد المياه الجوفية في ظل غياب اللوائح المطبقة بشكل فعّال. بعبارة أخرى، نظام الري بالطاقة الشمسية هي آلية أخرى، وما لم تتم إدارتها بشكل جيد، يمكن أن تسهم في تفاقم مشكلة ندرة المياه بشكل عام في اليمن. العامل الحاسم الذي يحدد جاذبية نظام الري بالطاقة الشمسية للمزارعين هو أن التكلفة الهامشية لضخ المياه بالطاقة الشمسية والتي تكاد لا تذكر بمجرد قيامهم بالاستثمار الأولي (شراء النظام).

الأمر الواضح أيضًا هو أن تكلفة نظام الري الشمسي تزداد بشكل كبير مع ازدياد عمق منسوب المياه الجوفية. في حالة حوض صنعاء حيث الآبار عميقة، تصل تكاليف تركيب نظام الري بالطاقة الشمسية إلى 100 ألف دولار أمريكي. وبالتالي فإن طريقة الري هذه تزيد من الفجوة بين المزارعين الفقراء والأغنياء.

وحتى في الأماكن التي من الممكن فيها الوصول للمياه في أعماق أقل، فإن معظم أصحاب الأراضي الزراعية الصغيرة لا يستطيعون تحمل كلفة سعر تركيب نظام الري بالطاقة الشمسية. يُعد نظام الري بالطاقة الشمسية متاحًا أكثر للمزارعين الأغنى، أي الذين يمتلكون أعمالًا أخرى و/أو يزرعون المحاصيل الأعلى قيمة.

من الجدير بالذكر أن جميع أشكال الري من الآبار العميقة تتجاوز إمكانيات غالبية أصحاب الحيازات الصغيرة، وهذا ينطوي عليه عدد من الآثار. أولًا، يمكن للمزارعين تبرير ري المحاصيل ذات القيمة الأعلى، والأرجح أنهم سوف يوسعون مساحاتهم المزروعة بالقات على حساب زراعة المحاصيل الغذائية الأساسية، مثل الذرة. ثانيًا، تكاليف الري، اضافة إلى الضغوط الاقتصادية الأخرى، قد تؤدي الى تركيز ملكية الأراضي بشكل أكبر، حيث يضطر أصحاب الحيازات الصغيرة إلى بيع أصولهم، مما يؤدي إلى تفاقم التمايز الاجتماعي تدريجيًا. يجب أن تأخذ السياسات التي تركز على الحد من عدم المساواة هذه العوامل في الاعتبار عند تخطيط إدارة المياه.

حـوض صنعـاء ليـس المنطقـة الوحيـدة حيـث طبقـات الميـاه الجوفيـة عميقـة حاليًـا، فالأمـر ذاتـه ينطبـق مثـلا علـى صعـدة وغيرهـا. يعتبـر خطـر الاسـتغلال المفـرط غيـر المسـتدام لطبقـات الميـاه الجوفيـة -وفـي نهايـة المطـاف اسـتنفادها- مرتفعًـا فـي جميـع أنحـاء البـلاد. لا يعنـي اسـتنفاد طبقـات الميـاه الجوفيـة إنهـاء الزراعـة فحسـب، بـل يعنـي نهايـة كـون المنطقـة صالحـة للسـكن، مما يؤدي في النهاية إلى الهجرة القسرية.

لا تُنفـذ الأطـر القانونيـة الرسـمية فـي اليمـن بشـأن الميـاه بشـكل كامـل، وفشـلت تلـك الأطـر علـى كل حـال فـي التطـرق لتقنيـات نظـام الـري بالطاقـة الشمسـية التـي أُدخلـت حديثًـا. يجـب تحديـث جميـع الأطـر واللوائـح القانونيـة المتعلقـة بالميـاه والطاقـة ومراعـاة خصوصيـات تقنيـات الطاقـة الشمسـية، ومنهـا اسـتخدام نظـام الـري بالطاقـة الشمسـية. علـى المـدى القصيـر، قـد يكـون مـن الصعـب التحكـم فـي التقنيـة أثنـاء الحـرب. ولكـن مـن الضـروري أن يقـوم جميـع مسـتخدمي نظـام الـري بالطاقـة الشمسـية، بمـا فـي ذلـك الشـركات والمؤسسـات التـي تقـوم بتركيـب أنظمـة الـري بالطاقـة الشمسـية، بزيـادة فهمهـم لهشاشـة مناسـيب الميـاه الجوفيـة. يتضمـن ذلـك تطويـر برنامـج توعيـة واسـع النطـاق مـن شـأنه أن يسـاعد علـى تحسـين اسـتخدام نظـام الـري بالطاقـة الشمسـية ويكـون بدايـة جيـدة نحـو تقليـل الاسـتغلال المفـرط لخزانـات الميـاه الجوفيـة. ولكـن علـى المـدى المتوسـط والطويـل يجـب علـى السـلطات تنظيـم نظـام الـري بالطاقـة الشمسـية وإعادة الاستخدام الآمن والمستدام لموارد المياه في اليمن.

6. توصيات السياسات

بالنظر إلى الصراع الحالي هناك تحديات كبيرة في تطبيق عدد من التوصيات أدناه. ولكن هناك بعض التوصيات العملية التي من الممكن أن تُطبق حاليًا.

1.6. توصيات عامة

- يجب أن تنسق السلطات الوطنية وسلطات المحافظات والسلطات المحلية سياسات إدارة المياه لديها؛ لضمان أولوية الحصول على المياه للاستخدام المنزلي، تليها الثروة الحيوانية وغيرها من الاستخدامات غير الزراعية.
- يجب أن تهدف وزارة التخطيط والتعاون الدولي ووزارة الزراعة والري والثروة السمكية إلى تعظيم فوائد الزراعة البعلية، من خلال البحث عن المحاصيل البعلية عالية القيمة وكذلك المحاصيل الأساسية عالية الغلة والمقاومة للجفاف. بمجرد تحديد الأساليب المستدامة، يجب على مكاتب وزارة الزراعة والري والثروة السمكية المحلية تطوير برامج إرشادية فعّالة لتشجيع إدخالها.
- يجب أن تضمن جميع سلطات إدارة المياه (الهيئة العامة للموارد المائية، ووزارة الزراعة والري والثروة السمكية، والسلطات المحلية) السماح بالري من المياه الجوفية فقط عند ضمان تجدد موارد المياه، سواء من طبقات المياه الجوفية الضحلة أو العميقة. أما على المستوى المحلي فيجب تنفيذ اللوائح بحزم.
- الهيئة العامة للموارد المائية وغيرها من سلطات إدارة المياه ليست هيئات سيادية، وبالتالي، يجب على السلطات السيادية أن تدعمها وتنسق معها بشكل دائم، وإلا ستظل القوانين والسياسات حبرًا على ورق، كغيرها من القوانين والسياسات.
- على وزارة المياه والبيئة والهيئة العامة للموارد المائية أن تعيدا النظر في تشكيل هيئة قضائية للمياه، والذي بدأ النقاش حولها بداية العقد الماضي.
- يجب أن تنفذ الحكومة المركزية والمحلية بشكل مشترك حملة توعية وطنية حول قضايا إدارة المياه، بما في ذلك مخاطر استنفاد الموارد، والأثر المحلي والوطني للاستخراج المفرط للمياه (بما في ذلك آثار الاستخراج المفرط في المنبع على مستخدمي المصب) والتأثير الإيجابي والسلبي المحتمل لنظام الري بالطاقة الشمسية وتقنيات الري الأخرى.
- يجب على الممولين الدوليين الاستمرار في تمويل وتعزيز الطاقة الشمسية للاستخدام المنزلي، من أجل توفير المياه والكهرباء للأسر، لا سيما في المناطق الريفية. يجب إيلاء المزيد من الاهتمام للأسر النائية والمشتتة والمعزولة. يجب تمويل مشاريع المياه والطاقة المنزلية هذه من خلال المنظمات العامة أو المجتمعية، وأن يصاحبها تدريب على صيانة المعدات، فضلًا عن الشهادات الفعّالة لجودة التقنيات المستخدمة.

2.6. توصيات بخصوص نظام الري بالطاقة الشمسية

- يجب على الهيئة العامة للموارد المائية ووزارة الزراعة والري والثروة السمكية وهيئة البحوث والإرشاد الزراعي إجراء دراسات في كل حوض مائي؛ لتقييم تأثير وفرص ومحددات نظام الري بالطاقة الشمسية، وإعداد خريطة مخاطر نظام الري بالطاقة الشمسية للبلد بأكمله لتحديد المناطق عالية المخاطر. من المحتمل أن تتأثر احتياطيات المياه الجوفية الساحلية، ذات العمق المنخفض، بهذه التكنولوجيا أكثر من المرتفعات.

- يجب على شركاء التنمية الدوليين تمويل هذه الدراسات، فضلًا عن دعم آليات مراقبة الجودة وإصدار الشهادات لتقنيات الطاقة الشمسية المستوردة وغيرها من التقنيات. يجب على السلطات المحلية ضمان التزام التجار بالمعايير المطلوبة.

- يجب على الهيئة اليمنية للمواصفات والمقاييس وضبط الجودة تنفيذ بروتوكولات مراقبة الجودة وإصدار الشهادات وتوحيد المقاييس لتقنية أنظمة الري بالطاقة الشمسية، ويجب على مصلحة الضرائب بوزارة المالية فرض ضرائب على تكنولوجيا الري بالطاقة الشمسية المستوردة.

- يجب إنشاء وحدة إدارية لنظام الري بالطاقة الشمسية في الهيئة العامة للموارد المائية.

- يجب على وزارة الزراعة والري والثروة السمكية والهيئة العامة للموارد المائية صياغة لوائح محددة تحدد أعماق الضخ المسموح بها بناءً على مستوى المياه الجوفية الفعلي، وتوافر المياه المتجددة في كل حوض. على سبيل المثال، في حوض صنعاء، يجب السماح لنظام الري بالطاقة الشمسية بعمق يصل إلى 200 متر كحد أقصى (كعمق آمن للمياه الجوفية الشحيحة والعميقة) وبأقصى مخرجات تصل إلى 250 مترًا مكعبًا في اليوم. يُسهّل التحكم في عمق الضخ التحكم في استخراج المياه الفعلي، حيث يتم تحديد ذلك من خلال عدد الألواح الشمسية المركبة، مما يشير إلى قدرة المضخة. يمكن الكشف عن عدد الألواح الشمسية المثبتة من خلال صور الأقمار الصناعية وكذلك صور الطائرات بدون طيار، وهي تقنية يمكن الوصول إليها بسهولة الآن.

- يجب أن تضمن وزارة الزراعة والري والثروة السمكية والهيئة العامة للموارد المائية أيضًا تنفيذ قيود إضافية على استخدام المضخات الكهربائية العاملة بمحركات الديزل، حيث إنها سبب رئيسي لاستنزاف المياه الجوفية.

- يجب دمج نظام الري بالطاقة الشمسية مع تقنيات الري الحديثة؛ للحفاظ على المياه الجوفية وزيادة كفاءة الري وإنتاجية المياه.

- ضمان توفير الدعم اللازم للمزارعين في برامج التدريب والتوعية والمهارات الفنية.

- لضمان سياسات ناجحة وقابلة للتطبيق لنظام الري بالطاقة الشمسية، يجب تعزيز مشاركة المجتمعات المحلية -بما في ذلك النساء والشباب- والتنسيق عبر جميع القطاعات ذات الصلة.

عن الكتاب

مساعد عقلان هو مهندس مدني وباحث في مجال المياه والبيئة. لديه 15 سنة من الخبرة المهنية والأكاديمية، حيث عمل مع عدد من مؤسسات الدولة والجامعات والمنظمات الدولية من بينها بنك التنمية الالماني والبنك الدولي وGIZ والوكالة الأمريكية للتنمية الدولية ومنظمة الصحة العالمية. وهو حاليًّا باحث دكتوراه في قسم علوم وهندسة المياه في معهد المياه العالمي (IHE-Delft) في هولندا، حيث رُشح كعضو في مجلس رابطة الدكتوراه (PAB).

هيلين لاكنر هي باحثة زائرة في المجلس الأوروبي للعلاقات الخارجية وباحثة مشاركة في SOAS. صدر أحدث كتاب لها بعنوان "اليمن في أزمة: الطريق إلى الحرب" عام 2019 عن دار النشر Verso. وهي تكتب بانتظام في Open Democra-cy، Arab Digest، Oxford Analytica، Orient XXI وغيرها. أقامت في اليمن أكثر من خمسة عشر عامًا خلال النصف الأخير من القرن الماضي. تشمل اهتماماتها الأمور البيئية في اليمن تحديدًا تلك المتعلقة بتغير المناخ والمياه.

حول "مبادرة إعادة تصور الاقتصاد اليمني"

تهدف مبادرة إعادة تصور اقتصاد اليمن إلى المساهمة في بناء السلام ومنع نشوب الصراعات وتحقيق الاستقرار (الاقتصادي) والتنمية المستدامة في اليمن من خلال بناء توافق حول أهم السياسات التنموية والاقتصادية من خلال إشراك وتعزيز الأصوات اليمنية الفاعلة في هذا المجال من مختلف أطياف المجتمع اليمني الفاعلين في مجال التنمية والاقتصاد وإعادة الإعمار في اليمن، وكذلك التأثير بشكل إيجابي على اجندة التنمية المحلية والإقليمية والدولية المتعلقة باليمن، تنفذ هذه المبادرة بالشراكة التنفيذية ما بين مركز البحوث التطبيقية بالشراكة مع الشرق (CARPO)، وديب روت للاستشارات، ومركز صنعاء للدراسات الاستراتيجية، وبتمويل قبل الاتحاد الأوروبي وسفارة المملكة الهولندية في اليمن.

لمزيد من المعلومات والمنشورات السابقة: www.devchampions.org

الشركاء المنفذين

يتم تنفيذ هذا المشروع بالتعاون بين ثلاثة شركاء:

مركز صنعاء للدراسات الاستراتيجية:

هو مركز أبحاث مستقل يسعى إلى إحداث فارق عبر الإنتاج المعرفي، مع تركيز خاص على اليمن والإقليم المجاور. تغطي إصدارات وبرامج المركز، المتوفرة باللغتين العربية والإنجليزية، التطورات السياسية والاجتماعية والاقتصادية والأمنية، بهدف التأثير على السياسات المحلية والإقليمية والدولية.
www.sanaacenter.org

ديب روت للاستشارات:

شركة استشارية تهتم بقضايا التنمية في اليمن. تهدف ديب روت إلى تقديم العون لكل من شركاء التنمية الدوليين والقطاع الخاص ومنظمات المجتمع المدني والحكومة اليمنية لتوجيه تدخلاتهم بناء على فهم أوسع للسياقات المحلية والوطنية في اليمن وبناء على أفضل الممارسات الدولية. تتمتع إدارة ديب روت ومجلسها الاستشاري بخبرة طويلة في القطاعين العام والخاص وفي منظمات المجتمع المدني في اليمن وعلى المستوى الدولي.
www.deeproot.consulting

مركز البحوث التطبيقية بالشراكة مع الشرق (CARPO):

منظمة المانية يتركز عملها فيما له علاقة بالأبحاث وتقديم الاستشارات والتبادل، مع التركيز على تنفيذ المشاريع عبر التعاون والشراكة مع أصحاب المصلحة في الشرق الأوسط. يمتلك فريق **CARPO** خبرات طويلة في تنفيذ المشاريع بالتعاون مع شركاء في الإقليم، وأيضاً يتمتعون بمعرفة عميقة بالسياق اليمني.
www.carpo-bonn.org

بتمويل مشترك من: بعثة الاتحاد الأوروبي وسفارة مملكة هولندا في اليمن.

للتواصل: ديب روت للاستشارات، شارع حدة، صنعاء، اليمن | البريد الإلكتروني: info@devchampions.org
www.sanaacenter.org