



سياسة الهيدروجين الأخضر في مصر

بين أولوية التصدير
والتحول الطاقى المحلي

محمد يونس

نوفمبر 2025

تحرير: محمد يونس

مراجعة: وائل جمال و محمد رمضان
و حمزة حموشان و صابر عمار

تدقيق لغوي: عمرو خيرى

تصميم واخراج: ستديو شفرة shfra.co بالتعاون مع
رينا حاسيني (رسوم بيانية) و كريم فرح (الغلاف)

هذا المؤلف من إنتاج المبادرة المصرية للحقوق الشخصية
بالتعاون مع المعهد العابر للقوميات TNI

تم نشر هذا التقرير بدعم من
Terre Solidaire: Association CCFD



تنويه: يتحمل المؤلف وحده مسؤولية محتوى هذا
المنشور، ولا يعكس بالضرورة موقف أي من الجهة الممولة

جدول المحتويات

المقدمة 3

الملخص التنفيذي 4

1. الهيدروجين في مصر 6

2. المشروعات 9

3. خلفية عن وضع الطاقة في مصر 11

1.3. الغاز الطبيعي 11

2.3. قطاع الكهرباء 13

4. أثر سياسات الهيدروجين على منظومة الطاقة في مصر 15

5. أوجه التنافس 17

1.5. إنتاجية الأراضي 17

2.5. تحديات نقل الكهرباء 20

1.2.5. تكلفة التطوير 20

2.2.5. نموذج نقل الكهرباء 21

6. الاستخدامات المتوقعة للهيدروجين 24

1.6. التصدير كوقود/مادة وسيطة (الأمونيا) 24

2.6. الاستخدام الصناعي المحلي 25

3.6. استخدام الهيدروجين في توليد الكهرباء 26

4.6. وقود للسفن للشحن البحري (الميثانول الأخضر) 28

5.6. وقود الطيران المستدام 29

7. أطر سياسات الهيدروجين 30

8. استدامة وعدالة الانتقال الطاقي في نموذج الهيدروجين 32

1.8. الآثار المحلية لسياسات التصدير 33

2.8. البعد الاجتماعي المحلي 34

3.8. الأراضي 34

4.8. المياه 35

5.8. النقل 35

6.8. التكلفة 35

8.7. القبول المجتمعي 36

8.8. العدالة 36

9. المناقشة والتوصيات 38

المراجع 40

المقدمة

دوليين، قبل أن تعلن رسمياً إستراتيجيتها في عام 2024. وتحاول مصر اقتناص حصة من السوق المستقبلية في سعيها إلى تأمين مصادر دخل إضافية من العملة الصعبة على المدى القريب، وللمساهمة في تنوع مصادر الطاقة على المديين المتوسط والبعيد. ويأتي هذا التوجه في ظل ضغوط اقتصادية وطاقيّة معقدة: تراكم المديونية الخارجية، وعجز الميزان التجاري، وتراجع إنتاج الغاز الطبيعي – الوقود المهيمن في مزيج الطاقة المصري – وتكرار الانقطاعات.

تستند هذه الورقة إلى مجموعة كبيرة من الوثائق الرسمية والدولية، والإحصاءات القطاعية، والتقديرات السوقية، بهدف توصيف وضع الهيدروجين الأخضر في مصر ضمن مسار الانتقال الطاقوي العالمي. وتقدم الورقة قراءة شاملة لملف الهيدروجين الأخضر في مصر، من خلال تتبع مسار تحضير الإستراتيجية الوطنية، ورصد المشروعات المعلنة ومراحلها، وتحليل وضع الطاقة المحلي بما فيه من أزمات وفرص، بالإضافة إلى مناقشة التحديات البنيوية المتعلقة بالأراضي، وشبكات نقل الكهرباء. كما تتناول الدراسة الاستخدامات المتوقعة للهيدروجين محلياً وفي التصدير، وتستعرض الأطر المؤسسية والقانونية التي تشكلت لدعم هذا القطاع. وفي الختام، نناقش أبعاد الاستدامة والعدالة في نموذج الانتقال الطاقوي المصري.

إذن تهدف الدراسة إلى تقديم قراءة وصفية وتحليلية، توضح حيثيات صعود قطاع الهيدروجين الأخضر في مصر، وتفاعله مع التحولات العالمية والإقليمية، مع توفير قاعدة معرفية لفهم أبعاد هذا الملف عند تقاطع الاقتصاد، والسياسات، والبيئة، والتنمية.

في السنوات الخمس الأخيرة، انتقل الهيدروجين الأخضر سريعاً من كونه خياراً تقنياً لخفض الانبعاثات الكربونية وتأمين إمدادات الطاقة إلى موقع أكثر مركزية في أجندات الانتقال الطاقوي العالمية. جاء هذا الصعود السريع للهيدروجين الأخضر بسبب تغير خارطة أسواق الطاقة في أوروبا مع بدء الحرب الروسية الأوكرانية، لتعويض إمدادات الغاز الروسي وتنوع مصادر الطاقة في الاقتصادات الأوروبية الكبرى. وبدأ زخم الهيدروجين بالظهور في مؤتمر الدول الأطراف كوب26 بجلاسكو؛ فخلال انعقاده أطلقت 32 دولة والاتحاد الأوروبي مبادرة لتسريع نشر الهيدروجين المتجدد وجعله متاحاً عالمياً وبسعر تنافسي بحلول العقد المقبل (UNFCCC, 2021). ووضع الاتحاد الأوروبي خطة إعادة إمداد أوروبا بالطاقة (REPowerEU) لإنتاج 10 ملايين طن من الهيدروجين المتجدد محلياً، واستيراد كمية مماثلة بحلول 2030.

كحل إستراتيجي، بادر الاتحاد الأوروبي بتأسيس شراكات واسعة مع دول الجنوب التي تتمتع بموارد طبيعية ومساحات أراضي كبيرة بما يكفي لإنتاج الكهرباء من الشمس والرياح، ويشمل هذا بلدان شمال أفريقيا والشرق الأوسط. وكان لاعتبارات الموقع الجغرافي والتكلفة المنخفضة للإنتاج دوراً أساسياً في صياغة هذه الشراكات، حيث توفر تلك البلدان أراضٍ عالية الجودة لمشروعات الطاقة المتجددة، إلى جانب قربها الجغرافي من أوروبا. دفعت تلك الشراكات البلدان المرشحة إلى صياغة إستراتيجيات وطنية للهيدروجين وإقرار حوافز تنظيمية وتشريعية تقدم الدعم المالي والضمانات السيادية للمستثمرين من أجل تأمين فرصة الاستحواذ على حصة من السوق الدولية الناشئة لتجارة الهيدروجين ومشتقاته.

في هذا السياق، سارعت مصر إلى تبني السياسات الداعمة والمنظمة للهيدروجين الأخضر بصفقتها أحد الأطراف المرشحة للإنتاج بالشراكة مع الاتحاد الأوروبي. فقد شرعت منذ عام 2021 في إعداد إستراتيجية وطنية للهيدروجين منخفض الكربون، وأطلقت عدداً من المشروعات التجريبية بالشراكة مع مستثمرين



الملخص التنفيذي

الطاقة وإستراتيجية الهيدروجين إضافة قدرات ضخمة من الرياح والشمس تتراوح، بحسب السيناريوهات، بين 46-56 جيجاوات بحلول 2030، و90 جيجاوات في السيناريو الأخضر الطموح، وقد تصل إلى 120-145 جيجاوات بحلول 2040 لتلبية الطلب المحلي والتزامات التصدير معاً، بالإضافة إلى تكاليف تقوية شبكة النقل الكهربائي والتي تُقدر بمليارات الدولارات لدمج عشرات الجيجاوات الإضافية بحلول 2030.

وتناقش الدراسة احتمالية تنافس صناعة الهيدروجين ومنظومة الطاقة المحلية على الموارد بوصفها محددات مادية لنطاق التوسع مثل الأرض وشبكات النقل. فبينما حُصصت مساحات شاسعة لمشروعات الطاقة المتجددة، يتركز الهيدروجين في نطاق محدود نسبياً، في المنطقة الاقتصادية لقناة السويس بالقرب من الموانئ لخدمة سلاسل تصدير الأمونيا والميثانول. وتتميز تلك المنطقة بجودة عالية في ما يخص ظروف توليد طاقة الرياح ولكنها محدودة المساحة، ما يُنبئ باحتمالية التنافس على المواقع عالية الجودة في منطقة خليج السويس بين محطات الرياح المخصصة للتصدير وتلك المخصصة لإمداد الكهرباء المحلية. وفي بنية الشبكة الكهربائية، تطرح فكرة شبكة كهرباء خضراء منفصلة - ممر أخضر - مخصصة لمشروعات الهيدروجين استجابة للمتطلبات الإضافية والتطابق الزمني والجغرافي في المعايير الأوروبية. ورغم ما قد يوفره هذا الخيار من يقين تنظيمي للمستثمرين، إلا أنه يحمل خطر التكريس لشبكات معزولة تخدم التصدير بمعزل عن المنظومة القومية واحتياجات الطلب المحلي. يبين التحليل أن هذا التقسيم قد يضعف أثر خفض بصمة الكربون على مستوى النظام ككل، وقد يترك الشبكة القومية أكثر اعتماداً على الوقود الأحفوري إذا استُنزفت أفضل المواقع المتجددة لخدمة ممرات التصدير بدلاً من تعزيز الكهرباء الداخلية.

تحلل الدراسة أثر الأسواق الأوروبية على تصميم سياسات الطاقة في مصر. فشرط الاعتماد الأخضر، والقواعد الإضافية، ونظم القياس والإبلاغ والتحقق، هي عوامل تدفع نحو نماذج الربط المباشر بين مواقع الرياح والشمس ووحدات التحليل الكهربائي

تقدم الدراسة قراءة موسعة لمسار الهيدروجين الأخضر في مصر بوصفه ملقاً يقع عند تقاطع التحول الطاقى والعدالة المناخية. تنطلق الدراسة من أن صعود الهيدروجين الأخضر إلى صدارة أجندة الطاقة الوطنية جاء على شكل إستراتيجية صناعية موجهة للتصدير، مدفوعة بتحويلات جيوسياسية أوروبية بعد بداية الحرب الروسية-الأوكرانية وبسعي الاتحاد الأوروبي إلى تنويع مصادر طاقة متجددة ومنخفضة التكلفة والالتزام بمعايير الاعتماد الأخضر. وفي هذا السياق، سارعت مصر إلى إنشاء بيئة جاذبة للاستثمار عبر حزمة تشريعية وتنظيمية كان أبرزها القانون رقم 2 لسنة 2024 الذي يمنح حوافز استثمارية سخية، وتأسيس المجلس الوطني للهيدروجين الأخضر ومشتقاته (NCGH) لتنسيق التخطيط والاعتمادات والمعايير، بما يستهدف جذب الاستثمار الأجنبي المباشر وتدفقات النقد الأجنبي في ظل ضغوط الاقتصاد الكلي.

تحدد الإستراتيجية الوطنية للهيدروجين منخفض الكربون خارطة طريق ثلاثية المراحل حتى عام 2040، مع توجيه الإنتاج للأسواق الأوروبية. وقد أبرمت حتى الآن نحو 30 مذكرة تفاهم و12 اتفاقية إطارية ملزمة مع مستثمرين دوليين تتركز في المنطقة الاقتصادية لقناة السويس. تتجاوز القدرات المُعلنة في بعض هذه الاتفاقات الأهداف الرسمية قريبة الأجل، وترجح الدراسة تباطؤ التنفيذ على الأرض بفعل قيود متداخلة تتعلق بتوافر قدرة متجددة إضافية على نحو متوافق مع المعايير الأوروبية، وتأمين عقود شراء طويلة الأجل، واشتراطات التمويل الأخضر وارتفاع كلفة رأس المال في السوق المحلية.

تعرض الدراسة خلفية عن هشاشة منظومة الطاقة المصرية كنقطة انطلاق لا غنى عنها لفهم خيارات الهيدروجين. إذ لا يزال الوقود الأحفوري يوفر نحو 95% من إمدادات الطاقة، كما يهيمن الغاز الطبيعي على توليد الكهرباء، في وقت شهد فيه الإنتاج المحلي - خصوصاً من حقل ظهر - تراجعاً ملموساً أعاد البلاد من وضع المُصدر الصافي إلى المُستورد ودفع إلى انقطاعات متكررة للكهرباء. وبالتوازي، يقتضي الوفاء بأهداف الإستراتيجية الوطنية

معالجة الاستدامة والعدالة في الدراسة تنطلق من تشخيص ان التوجه التصديري لنموذج الهيدروجين حين يُبنى بالأساس على متطلبات الامتثال الخارجي (الإضافية، والتطابق الزمني/الجغرافي، ونظم القياس والإبلاغ والتحقق)، يدفع نحو ترتيبات ربط مباشر وممرات خضراء موازية تنتج جيوبا طاقة عالية الامتثال مع القواعد الأوروبية لكنها ضعيفة الاندماج مع الشبكة القومية. هذا التصميم يعيد توجيه أفضل مواقع الرياح والشمس إلى مسارات التصدير، ويزيد تنافس الاستخدام على الأرض ذات الجودة المرتفعة، ويحد من أثر خفض الكربون إذا بقيت الشبكة الوطنية تتحمل أحمال الطلب المحلي بموارد أحفورية أعلى. كما تؤكد القراءة أن تقييم الاستدامة لا ينبغي أن يقتصر على مشروع منفرد، بل على الآثار التراكمية على المستوى الوطني، وعلى الشفافية والإتاحة العامة لبيانات الانبعاثات والمياه واستخدامات الأرض بوصفها شرطاً للقبول الاجتماعي واستمرارية الاستثمار.

وبناء على ذلك، توصي الدراسة بمقاربة تكاملية بين الأنظمة لا العزل بينها على المستوى المحلي، ويتطلب ذلك ترتيبية واضحة للأولويات تبدأ بالكهربية وكفاءة الطاقة لخفض الاعتماد على الغاز، وتتضمن تسريع تقوية الشبكة القومية باعتبارها بنية مشتركة لا ينبغي أن تنافسها شبكات موازية معزولة، بحيث يصبح التصدير أداة داعمة ضمن انتقال داخلي أوسع دون تنافس على الموارد. كما توصي الدراسة بمقاربة أوسع للانتقال الطاقى ضمن مسار العدالة المناخية، ما يسمح بالتفاوض على قواعد الامتثال والتمويل ومعايير الشهادات الخضراء مع الشركاء الأوروبيين، بما يضمن عدالة تقاسم الأعباء وتناسب الالتزامات مع قدرات الاقتصاد المحلي. كما تدفع إلى بناء تفاهات وتنسيق عملي بين بلدان شمال أفريقيا لتجميع القوة التفاوضية وتوحيد معايير الامتثال الأخضر في سياق إقليمي لتجنب السباق على تقديم الحوافز والمزايا ما يضعف العائد التنموي، ولفتح مسارات مشتركة للبنية التحتية والتصنيع وسلاسل القيمة للهيدروجين ومشتقاته.

داخل مناطق اقتصادية حرة بعقود ورسوم تفضيلية. هذا التصميم المؤسسي للمشروع ينتج ما يمكن تسميته جيوباً أو واحات طاقة مصممة لتحقيق قواعد الامتثال الأوروبية وتقليل مخاطر الاستثمار، مع ضعف القابلية للاندماج في المنظومة الوطنية، ما لم تُعتمد سياسات تشغيلية وقانونية تُلزم بالربط مع الشبكة القومية وبفرض قواعد بتخصيص حصص استخدام محلي للصناعة ومنظومة الكهرباء. وتستشهد الدراسة بفترة ارتفاع أسعار الغاز في 2021-2022 التي اتسمت بتفضيل التصدير وما صاحبه من زيادة استخدام المازوت محلياً، وما ترتب على ذلك من انبعاثات وتلوث هواء، بما يعكس انقلاباً - تشهد عليه التجربة - في ترتيب الأولويات من تلبية الطلب المحلي ثم تصدير الفائض إلى تأمين التصدير ثم استخدام المتبقي محلياً.

على مستوى الاستخدامات، ترى الدراسة الهيدروجين باعتباره مكملاً للكهربية المباشرة لا بديلاً عنها على المستوى العام، مع أولوية الهيدروجين في القطاعات صعبة الكهربية مثل الشحن البحري وإنتاج الأسمدة. وترجح الدراسة استخدام الهيدروجين كمصدر طاقة في أنشطة الشحن البحري، حيث يظل الفرصة التجارية الأوسع في الأجل القصير بسبب الموقع الجغرافي المتميز للمشروع على ممر قناة السويس. أما مسارات الهيدروجين الأزرق فهي أقل اتساقاً مع الواقع المصري نظراً لضيق موارد الغاز وكلفة الالتقاط والتخزين. وتشير الدراسة إلى الخيارات المرحلية مثل المزج بنسبة محدودة في شبكة الغاز ومحطات الكهرباء التقليدية التي يمكن أن تعمل بالهيدروجين لخلق طلب محلي واستيعاب الإنتاج المبكر.

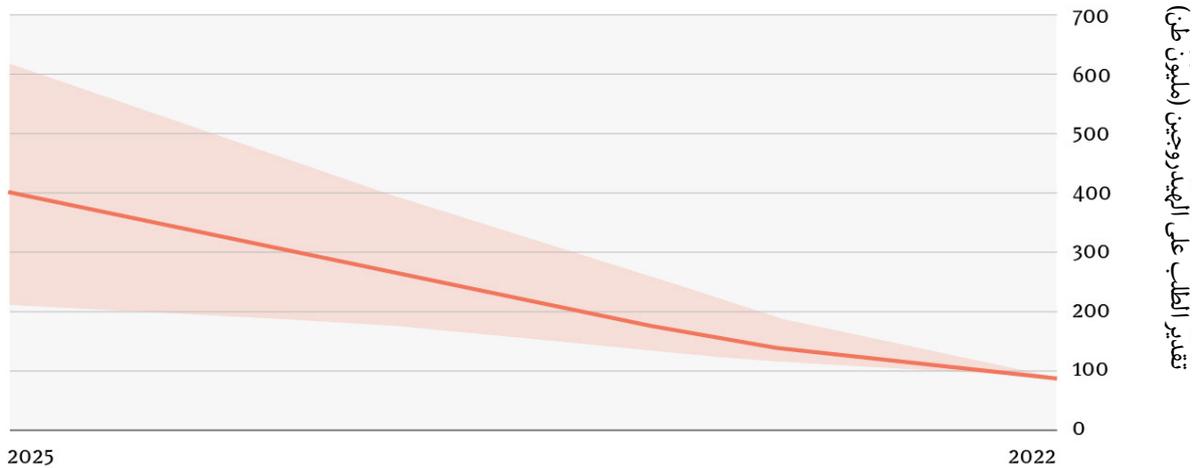
تتناول الدراسة أيضاً أبعاد الاستدامة والعدالة وتوزيع المنافع، وتبين أن تغليب المنطق التصديري قد يفضي إلى إعادة إنتاج اختلالات في تقاسم موارد الأرض والمياه ومخاطر التدهور البيئي، ما لم تعتمد ترتيبات ملزمة لتقاسم القيمة على المستوى المحلي. ويدعو التحليل إلى تحويل الأولوية من نموذج التصدير إلى نموذج التحول الداخلي.

1. الهيدروجين في مصر

تُحدد الإستراتيجية خارطة طريق ثلاثية المراحل تمتد حتى عام 2040، وتهدف إلى إدماج الهيدروجين منخفض الكربون في الاقتصاد المصري وتحويل مصر إلى مُصدر إقليمي للهيدروجين ومشتقاته. تتبنى الإستراتيجية توقعات بنمو الطلب العالمي من حوالي 100 مليون طن في عام 2022 إلى ما بين 200 و600 مليون طن بحلول عام 2050، بمتوسط سنوي يبلغ 400 مليون طن (Advisian, 2024). يعتبر هذا التقدير متحفظاً مقارنة بالسيناريوهات التي تبنتها وكالة الطاقة الدولية، التي تتوقع نمو الطلب من نحو 100 مليون طن سنوياً عام 2020، إلى ما بين 500 و800 مليون طن بحلول عام 2050، وأن الهيدروجين سيشكل ما بين 12% و22% من إجمالي استهلاك الطاقة في العالم، بحسب السيناريوهات المختلفة المتعلقة بالمناخ وأهداف إزالة الكربون (IRENA, 2022).

في يناير 2021 بدأ زخم الهيدروجين في مصر حين وقع وزير الكهرباء والطاقة المتجددة السابق والرئيس التنفيذي لشركة سيمنز اتفاق نوايا للبدء في المناقشات والدراسات لتنفيذ مشروع تجريبي لإنتاج الهيدروجين الأخضر-ر في مصر تمهيداً للتوسع وصولاً إلى إمكانية التصدير (Cabinet, 2021). بدأت مصر إعداد إستراتيجية وطنية للهيدروجين منذ عام 2021 (MOERE, 2022a). وفي مؤتمر الأطراف كوب27 - COP27 (نوفمبر 2022) كشف عن الملامح الأولية للإستراتيجية الوطنية للهيدروجين منخفض الكربون، والتي أعدت بالتعاون مع شركاء دوليين مثل البنك الأوروبي لإعادة الإعمار والتنمية وشركة أدفيزيان Advisian الاستشارية. وتم اعتماد الإستراتيجية رسمياً خلال اجتماع المجلس الوطني للهيدروجين الأخضر في نوفمبر 2023 برئاسة رئيس الوزراء، قبل أن تطلقها الحكومة رسمياً في أغسطس 2024 (Baker McKenzie, 2023).

الشكل 1: توقعات إستراتيجية الهيدروجين للطلب العالمي لوقود الهيدروجين ومشتقاته للفترة (2022-2050)



المصدر: الإستراتيجية المصرية للهيدروجين منخفض الكربون (Advisian, 2024)

الإجمالي لمصر في إستراتيجية الهيدروجين بناءً على إنفاق المستهلك على تكلفة إنتاج الهيدروجين (6-10 ملايين طن سنويًا بسعر 1.8 دولار أمريكي للكيلوجرام)، ولم تتضمن هذه المعادلة أي ضرائب إضافية أو هي افترضت سعرًا سوقيًا نظرًا لعدم اليقين في الوقت الحالي.

في السيناريو المركزي (Central Scenario)، تقدر إستراتيجية مصر الوطنية للهيدروجين منخفض الكربون إنتاج نحو 1.5 مليون طن سنويًا من الهيدروجين الأخضر ومشتقاته بحلول عام 2030. يُخصص الجزء الأكبر من هذا الإنتاج للتصدير 1.4 مليون طن، في حين يبقى الاستهلاك المحلي محدودًا بحوالي 0.1 مليون طن فقط. يشير ذلك إلى أن أكثر من 90% من هيدروجين 2030 المركزي موجه لخدمة الأسواق الخارجية، خاصة على شكل

تطمح مصر إلى إنتاج ما يصل إلى 6-10 مليون طن سنويًا من الهيدروجين منخفض الكربون بحلول عام 2040 بسعر 1.8 دولار أمريكي للكيلوجرام، وتصدير غالبية هذه الكمية إلى الأسواق الخارجية، وخاصة أوروبا. يعادل ذلك نحو 5% إلى 8% من إجمالي السوق العالمي المتاح للهيدروجين الأخضر في 2040، وتقدر الاستثمارات المطلوبة بحوالي 60 مليار دولار حتى 2040. ومن المتوقع أن يسهم هذا القطاع في خفض انبعاثات الكربون بمقدار 40 مليون طن سنويًا بحلول 2040، وخلق 100 ألف فرصة عمل (جدول 1).

تهدف الحصص المستهدفة من سوق الهيدروجين إلى المساهمة في الناتج المحلي الإجمالي لمصر في حدود 10-18 مليار دولار أمريكي بحلول عام 2040. وقد جرى حساب الناتج المحلي

الجدول 1: أهداف سيناريوهات إستراتيجية الهيدروجين في مصر

هدف 2040 (سيناريو أخضر)	هدف 2030 (سيناريو أخضر)	هدف 2040 (سيناريو مركزي)	هدف 2030 (سيناريو مركزي)	
7.5	2.4	5.8	1.5	الإنتاج الكلي للهيدروجين الأخضر (مليون طن سنويًا)
3.0	0.4	2.0	0.1	الاستهلاك المحلي
4.5 (60%)	2.0 (83.3%)	3.8 (65.5%)	1.4 (93.3%)	التصدير
60	21	48	13	قدرة المحطات الكهربائية (جيجاوات)
90	29	72	19	الطاقة المتجددة المطلوبة للهيدروجين (جيجاوات)
30 مليار دولار	16 مليار دولار	24 مليار دولار	10 مليار دولار	الاستثمارات المطلوبة (لمحطات الكهرباء فقط)

لإنتاج الهيدروجين ومشتقاته، وبناء الخبرات الوطنية. وقد تحقق تطبيق كل العناصر التمهيديّة المطلوبة في تلك المرحلة بالفعل.

2. **مرحلة التوسع والانتشار** (خلال ثلاثينيات القرن 21): تهدف إلى زيادة قدرات الإنتاج إلى مستوى الجيجاوات في التحليل الكهربائي ووحدات إنتاج الأمونيا الخضراء، بالتوازي مع إنشاء مشروعات بنية تحتية لنقل وتخزين الهيدروجين. خلال هذه المرحلة ستعمل مصر على بناء سلسلة قيمة متكاملة للهيدروجين، تشمل إنتاجه بكميات تجارية كبيرة في مواقع إستراتيجية (مثل المنطقة الاقتصادية لقناة السويس)، وتطوير موانئ التصدير، وربط الإنتاج بالاستخدام المحلي في بعض الصناعات. المستهدف بنهاية هذه المرحلة هو تموضع مصر كمورد رئيسي للأسواق الأوروبية والآسيوية.

3. **مرحلة التكامل والتنمية المستدامة** (خلال أربعينيات القرن 21): وهي المرحلة التي يصل فيها اقتصاد الهيدروجين المصري إلى النضج والتكامل في الاقتصاد المحلي. تستهدف هذه المرحلة توظيف الهيدروجين على نطاق واسع داخل مصر لدعم إزالة الكربون من قطاعات الصناعة والنقل وتوليد الكهرباء.

مشتقات كالأمونيا الخضراء. وبحلول 2040، يرتفع إجمالي الإنتاج في السيناريو المركزي إلى نحو 5.8 مليون طن سنويًا، حيث يُصدر حوالي 3.8 مليون طن منها (ما يمثل تقريبًا 5% من السوق العالمي المتوقع للهيدروجين المنخفض الكربون) ويستهلك محليًا نحو 2.0 مليون طن. وبذلك تبلغ حصة الاستخدام المحلي حوالي 34% من إجمالي الهيدروجين المنتج في 2040 ضمن هذا السيناريو.

أما في السيناريو الأخضر عالي الطموح (Green Scenario)، فتتصور الإستراتيجية تسارعًا أكبر في العقد القادم. بحلول 2030، يمكن أن يصل الإنتاج إلى قرابة 3.2 مليون طن سنويًا بهدف اقتناص حصة سوقية عالمية أكبر. ويؤجه معظم هذا الكم للتصدير (2.8 مليون طن للتصدير مقابل 0.4 مليون طن للاستهلاك المحلي في 2030). ومع حلول 2040، يستهدف السيناريو الأخضر إنتاج حوالي 9.2 مليون طن سنويًا من الهيدروجين منخفض الكربون، بحيث يتم تصدير 5.6 مليون طن (نحو 8% من السوق العالمي القابل للتجارة) وتخصيص 3.6 مليون طن للاستخدام المحلي. وعلى الرغم من استمرار أولوية التصدير في هذا السيناريو أيضًا، فإن نسبة الاستهلاك المحلي ترتفع إلى قرابة 39% بحلول 2040 – وهي أعلى نسبيًا مقارنة بالسيناريو المركزي – بما يعكس جهودًا أكبر لإحلال الهيدروجين الأخضر محل الوقود الأحفوري في السوق المحلية. الجدير بالذكر أن السيناريو الأخضر يفترض استثمارات وبنية تحتية أكبر، مثل قدرات تحليل كهربائي تصل 76 جيجاوات بحلول 2040 مقارنة بـ 48 جيجاوات في السيناريو المركزي لتحقيق هذه الأهداف. وبشكل عام، يظهر السيناريو هان أن التصدير سيطغى على الطلب في 2030، بينما تزيد أهمية الاستخدام المحلي بحلول 2040 مع نضوج السوق والتقنيات.

المراحل الثلاث للإستراتيجية: تتبنى خارطة الطريق الوطنية نهجًا تدريجيًا على ثلاث مراحل:

1. **مرحلة المشروعات التجريبية** (خلال عشرينيات القرن 21): تُركز هذه المرحلة الأولية على وضع أسس اقتصاد الهيدروجين، والذي يشمل إنشاء هياكل الحوكمة والتشريعات اللازمة مثل تمكين الوصول إلى البنية التحتية والمرافق اللازمة للأراضي، وتشكيل لجنة وطنية مختصة بتطوير مشروعات الهيدروجين، وحوافز للمشروعات لتشجيع التوسع وجذب الاستثمارات، بالإضافة إلى تنفيذ مشروعات ريادية وتجريبية

2. المشروعات

حتى مطلع 2025، وفقاً للإحصاء الرسمي من المنطقة الاقتصادية لقناة السويس، بلغ عدد مذكرات التفاهم الموقعة مع مستثمرين دوليين لتطوير مشروعات في المنطقة الاقتصادية لقناة السويس نحو 30 مشروعاً، تحوّل 14 منها إلى اتفاقيات مفعلة و12 إلى اتفاقيات إطارية ملزمة باستثمارات إجمالية قدرها 64 مليار دولار، تستهدف طاقة إنتاجية تصل إلى 18 مليون طن سنوياً من

الجدول 2: عينة من المشروعات المعلنة

اسم المشروع	الموقع	الطاقة الإنتاجية/السعة	المستثمر/المطورون	موعد بدء التشغيل المتوقع
مشروع Egypt Green Hydrogen (تحالف سكاتك/فيرتيجلوب)	العين السخنة (المنطقة الاقتصادية)	100 ميجاوات كهرباء/15 ألف طن هيدروجين أخضر/سنة لإنتاج 90 ألف طن أمونيا خضراء/سنة (مرحلة تجريبية)	سكاتك (النرويج)، فيرتيجلوب/OCI (الإمارات/مصر)، أوراسكوم للإنشاء، صندوق مصر السيادي (TSFE)	بدء التشغيل نوفمبر 2022
مشروع جلوبليك للأمونيا الخضراء (Phase 1)	العين السخنة (المنطقة الاقتصادية)	100 ألف طن أمونيا خضراء/سنة (باستخدام MW 100 محلل كهربائي في المرحلة الأولى)	جلوبليك (بريطانيا) بالشراكة مع: الهيئة الاقتصادية لقناة السويس، صندوق مصر السيادي، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، الشركة المصرية لنقل الكهرباء	2026/2027 (تشغيل أولي للمرحلة 1)
مشروع الفنار للهيدروجين الأخضر	العين السخنة (المنطقة الاقتصادية)	100 ألف طن هيدروجين أخضر/سنة تحويل لإنتاج 500 ألف طن أمونيا خضراء/سنة	شركة الفنار (السعودية)	2027 (مرحلة أولى)
مشروع ReNew Power للأمونيا الخضراء	العين السخنة (المنطقة الاقتصادية)	1,000,000 طن أمونيا خضراء/سنة (مخطط على مراحل؛ المرحلة 1 = 100 ألف طن سنوياً بحلول 2025)	ReNew Power (الهند) بالشراكة مع الهيئة الاقتصادية لقناة السويس	2025 (مرحلة أولى)
مشروع OCIOR للهيدروجين/الأمونيا (مرحلة 1)	العين السخنة (المنطقة الاقتصادية)	مليون طن أمونيا خضراء/سنة (المرحلة الأولى؛ توسعات لاحقة محتملة)	Ociar Energy (الهند)	2030
مشروع تحالف "كيميت" (مصدر/إنفنتي/بي بي)	العين السخنة + مواقع أخرى بمصر	4 جيغاوات قدرة تحليل كهربائي. إنتاج 2.3 مليون طن أمونيا خضراء/سنة (مع التركيز مبدئياً على وقود الميثانول البحري)	مصدر (الإمارات)، إنفنتي باور وحسن علام (مصر)، بي بي (بريطانيا)	2026 (مرحلة أولى للميثانول)
مشروع "زع" للأمونيا الخضراء	شرق بورسعيد (المنطقة الاقتصادية)	2 مليون طن أمونيا خضراء/سنة	تحالف DAI Infrastruktur (ألمانيا) مع الهيئة الاقتصادية وقناة السويس وصندوق TSFE	2028
مشروع Voltalia-TAQA Cluster للهيدروجين	العين السخنة (المنطقة الاقتصادية)	130 ألف طن هيدروجين أخضر/سنة (باستخدام 1 جيغاوات كهرباء من طاقة الرياح/الشمس)	فولتاليا (فرنسا)، طاقة عربية (مصر)	2026-2025 (متوقع)
مشروع EDF-Zero Waste للأمونيا الخضراء	رأس شقير، ساحل البحر الأحمر	مليون طن أمونيا خضراء/سنة	EDF للطاقة المتجددة (فرنسا)، شركة Zero-Waste (إمارات/مصر)	2028 (متوقع)
مشروع Hypport "غرب مطروح" للأمونيا الخضراء	ميناء جرجوب (غرب مرسى مطروح)	320 ألف طن أمونيا خضراء/سنة (مرحلة أولى تجريبية؛ توسعات لاحقة محتملة)	DEME Group (بلجيكا) بالشراكة مع جهات مصرية محلية	2026 (مرحلة أولى)
مشروع دمياط جرين أمونيا (موبكو/سكاتك)	ميناء دمياط، دلتا النيل	150 ألف طن أمونيا خضراء/سنة + 26 ألف طن هيدروجين/سنة (مرحلة أولى)	موبكو وإيكم (شركات حكومية مصرية)، سكاتك (النرويج)	2026-2025 (مرحلة أولى)
مشروع Maersk للميثانول الأخضر (C2X)	(المنطقة الاقتصادية)	300 ألف طن ميثانول أخضر/سنة (كوقود للسفن في قناة السويس)	ميرسك (الدنمارك)، مجموعة حسن علام (مصر)	2026-2025 (مرحلة أولى)

الهيدروجين الأخضر بشكل مباشر أو ضمن مشتقاته (مثل الأمونيا والميثانول)، بمجرد دخول تلك المشروعات حيز التنفيذ (Egypt Oil & Gas, 2025; ESGnews 2024).

وبإضافة عدد من المشروعات الأخرى، من عدّة مصادر، بلغت المشروعات المعلنة حوالي 36 مشروعاً، بإجمالي طاقة إنتاجية للهيدروجين الأخضر يبلغ حوالي 5.7 مليون طن هيدروجين سنوياً، في حين تصل الطاقة الإنتاجية السنوية المجمعة لمشروعات الأمونيا الخضراء إلى نحو 16.7 مليون طن سنوياً، و340 ألف طن من الميثانول، و120 ألف طن من وقود الطائرات النظيف، بإجمالي استثمارات يتخطى 113 مليار دولار (الجدول 2)¹.

وتتركز معظم المشاريع في العين السخنة وشرق بورسعيد ضمن المنطقة الاقتصادية لقناة السويس، باستثناء بعض المشاريع الجديدة في الساحل الشمالي الغربي (ميناء جرجوب) وساحل دلتا النيل (دمياط)، ورأس شقير (البحر الأحمر). وتتراوح القدرات الإنتاجية المعلنة ما بين مشاريع صغيرة تجريبية مثل مشروع «إيجبت جرين» بسعة 100 ميجاوات والذي بدأ تشغيله التجريبي في 2022، وصولاً إلى مجمعات عملاقة مخطط لها بطاقة مئات الآلاف من الأطنان سنوياً من الهيدروجين أو الأمونيا الخضراء لكل منها، أغلب تلك المشروعات في مراحل مبكرة (مذكرات تفاهم أو اتفاقيات إطارية).

بشكل عام، تتجاوز المشروعات المعلنة الأهداف الرسمية في إستراتيجية الهيدروجين لعام 2030 من حيث حجم الإنتاج المستهدف في مختلف السيناريوهات. ومن المحتمل أن يكون التنفيذ أبطأ وأقل من المعلن على المدى القريب نظراً لعدم وجود قدرات كبيرة من الطاقة المتجددة لتغطية استهلاك محطات الهيدروجين ومصانع الأمونيا، أو لصعوبة الحصول على عقود شراء طويلة الأجل من المستهلكين الدوليين، بالإضافة إلى صعوبات التمويل المحتملة. حالياً، في المرحلة التجريبية، قد لا تتحقق كل المشروعات المعلن عنها والتي مازالت في مرحلة مذكرات التفاهم والاتفاقات غير الملزمة، لكنها تضع الأساس لنموذج الهيدروجين.

1 AmCham Egypt (2024). Proposed Green Hydrogen and Derivative Projects in Egypt (Industry Insight, Issue 77). American Chamber of Commerce in Egypt. <https://www.amcham.org.eg/publications/industry-insight/issue/77/proposed-green-hydrogen-and-derivative-projects>; IEA (2024). IEA Hydrogen Projects Database – Global Hydrogen Projects Tracker (accessed June 2025). International Energy Agency. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/hydrogen-projects-database>; Ammonia Energy (2024). US \$37 billion in Egyptian ammonia investments announced. <https://ammoniaenergy.org/articles/37-billion-in-egyptian-ammonia-investments/>; Egypt Oil & Gas (2024c). Egypt's Push for Green Fuels: A New Hub for Sustainable Energy. <https://egyptoil-gas.com/reports/egypts-push-for-green-fuels-a-new-hub-for-sustainable-energy/>

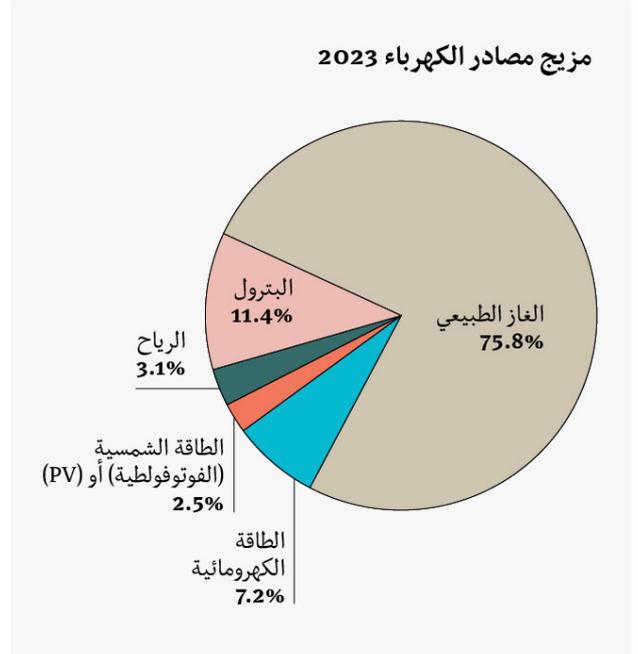
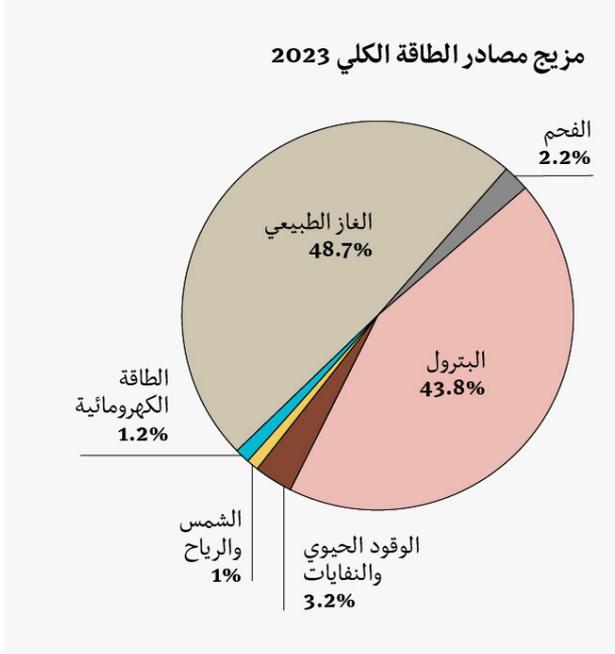
3. خلفية عن وضع الطاقة في مصر

1.3. الغاز الطبيعي

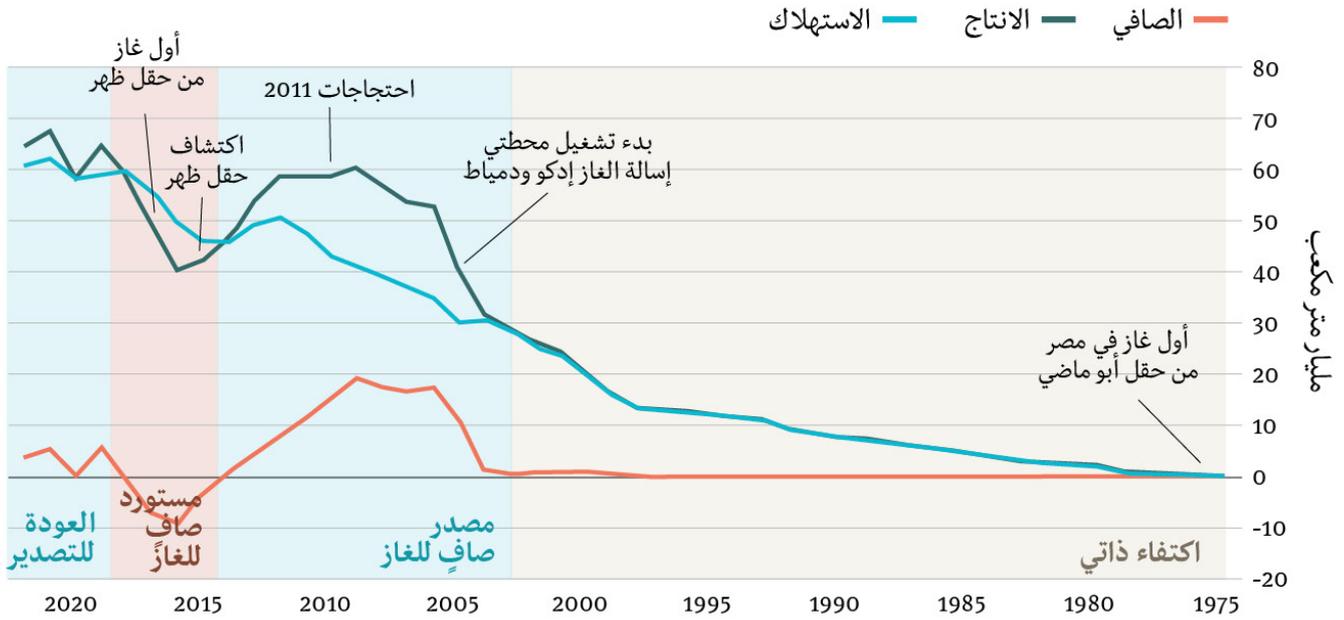
نتج عن الاعتماد المفرط على الغاز هشاشة منظومة الطاقة المصرية عند حدوث أي عجز في الإنتاج. ومع تنامي الطلب المحلي وتحديداً في قطاع الكهرباء والصناعات كثيفة الاستهلاك، بدأت تتشكل دائرة مفرغة تزيد بموجبها الاعتمادية على الغاز، عبر تشجيع مزيد من الاستكشافات النفطية على المدى القصير لسد الطلب المحلي. ولأن مصر لا تمتلك تكنولوجيا التنقيب والحفر في آبار الوقود الأحفوري، وتعتمد على شركات النفط الكبرى بعلاقة تعاقدية مقومة بالعملة الأجنبية، ظهر بُعد آخر لتلك الهشاشة وهو معضلة تأخر سداد المستحقات الدولارية لشركات التنقيب والإنتاج، ما أعاق استمرارية وانتظام وتيرة الإنتاج.

يهيمن الوقود الأحفوري (النفط والغاز) في مصر على مزيجي إمدادات الطاقة الكلي (95%) وتوليد الكهرباء (87%) (النسب من عام 2023، الشكل 2) (IEA, 2025). ومنذ بداية الألفية، بعد اكتشاف احتياطات كبيرة من الغاز الطبيعي في البحر الأبيض المتوسط وتشغيل عدد من الحقول، زاد الاعتماد تدريجياً على الغاز الطبيعي وتحديداً في إمدادات الوقود لقطاع الكهرباء، بجانب تصدير شحنات من الغاز المسال من فوائض الإنتاج، والتوسع في البنية التحتية من خطوط الأنابيب ومحطات الإسالة. وعلى الرغم من محاولات تنويع مصادر الطاقة والاعتماد على الطاقة المتجددة لضمان استقرار الإمدادات، إلا أن وفرة الغاز الطبيعي في بداية الألفية وطموح التصدير، أوقعا مصر في فخ الاعتمادية المفرطة على الغاز الطبيعي.

الشكل 2: مصادر الطاقة والكهرباء في مصر



الشكل 3: تطور إمدادات واستهلاك الغاز في مصر



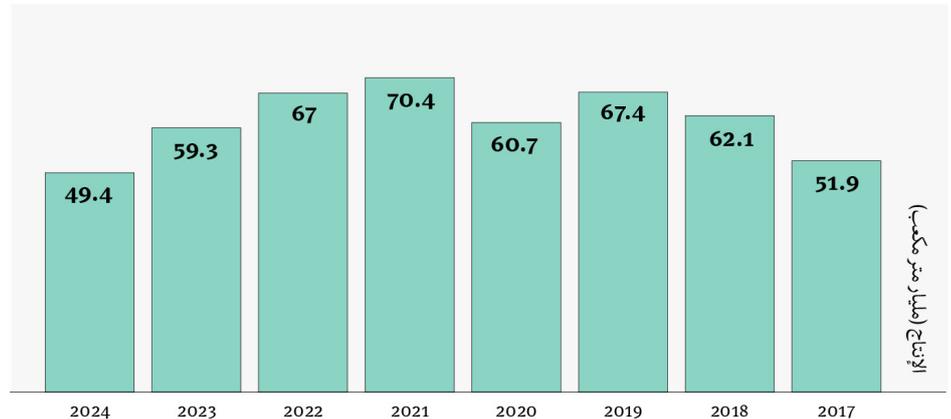
المصدر: معهد الطاقة، عبر موقع Equal Ocean

وتمر مصر حاليًا بزمّة نقص إمدادات الغاز الطبيعي، حيث شهد الإنتاج المحلي تراجعاً حاداً بنسبة الثلث تقريباً، من 70.4 مليار متر مكعب في عام 2021 إلى 49.4 مليار متر مكعب في عام 2024. هذا الانخفاض أجبر مصر على التحول من مُصدر صافي للغاز الطبيعي المسال، حيث كانت تُصدر حوالي 10 مليار متر مكعب في 2021-2022، إلى مستورد يُتوقع أن يستورد أكثر من 6 مليار متر مكعب في عام 2025 (Bowden, 2025)، (الشكل 4). وتشير التقديرات إلى أن استمرار تراكم مستحقات الشركات الأجنبية وخفض الاستثمارات الاستكشافية قد يُبقي مصر رهينة الاستيراد في الأمد القصير ما لم تُعالج معوقات التمويل والإصلاح التنظيمي (المرجع السابق).

جانِب آخر من هشاشة منظومة إمدادات الغاز في مصر، هو الاعتماد الكبير على حقل ظهر الذي شكل قرابة 40% من إجمالي الإنتاج السنوي المصري في عام 2021 (Bowden, 2024). وقد حدث تراجع مبكّر في إنتاجية الحقل في عام 2022، بعد أن كان من المُتوقع أن يستمر إنتاجه حتى عام 2045. كان الانخفاض الحاد في ضغط الخزان، إلى جانب تدفقات مائية مسربة، هما السببان الرئيسيان لهذا الهبوط في الإنتاج، ما ترتب عليه إيقاف الآبار ذات معدلات الماء المرتفعة في نهاية 2023، كما جرى توسيع مرافق معالجة المياه (الممزوجة بالغاز المستخرج) لاستيعاب

بدايات مصر في إنتاج الغاز الطبيعي للاستهلاك المحلي في منتصف السبعينيات، محققة الاكتفاء الذاتي في تلك الفترة. وبعد توافر فوائض الإنتاج في عام 2004، سمح ذلك لمصر بأن تصبح مصدرًا صافيًا للغاز الطبيعي لما يقرب من عقد من الزمان. ومع ذلك، لم تدم مرحلة التصدير طويلاً، إذ عادت مصر لتصبح مستورداً صافيًا للغاز الطبيعي بحلول عام 2014. يرجع هذا التحول بشكل أساسي إلى نقص الاستثمار في القطاع، وتراكم المستحقات الحكومية لشركات النفط والغاز، في فترة التقلبات السياسية الداخلية التي أعقبت ثورة 2011. انعكس اتجاه تراجع الإنتاج مؤقتاً مع اكتشاف وبدء الإنتاج من حقل ظهر للغاز في عام 2017، وهو أكبر حقل غاز في منطقة البحر الأبيض المتوسط (الشكل 3، مصدره: EqualOcean, 2024).

الشكل 4: تطور إنتاج الغاز في مصر



المصدر: Oxford Energy & APS، الجامعة الأمريكية في القاهرة (AUC)، مصر

2.3. قطاع الكهرباء

تعتمد إمدادات الطاقة في قطاع الكهرباء على الوقود الأحفوري بشكل أساسي بنسبة 87%: الغاز (75.8%) والنفط (11.4%)، بالإضافة إلى الطاقة الكهرومائية بنسبة 7.2%، الرياح بنسبة 3.1%، والطاقة الشمسية بنسبة 2.5% بحسب أرقام عام 2023 (الشكل 6) (IEA6, 2025) ويستهلك قطاع الكهرباء 57% من إجمالي إمدادات الغاز المصري (Enerdata, 2025).

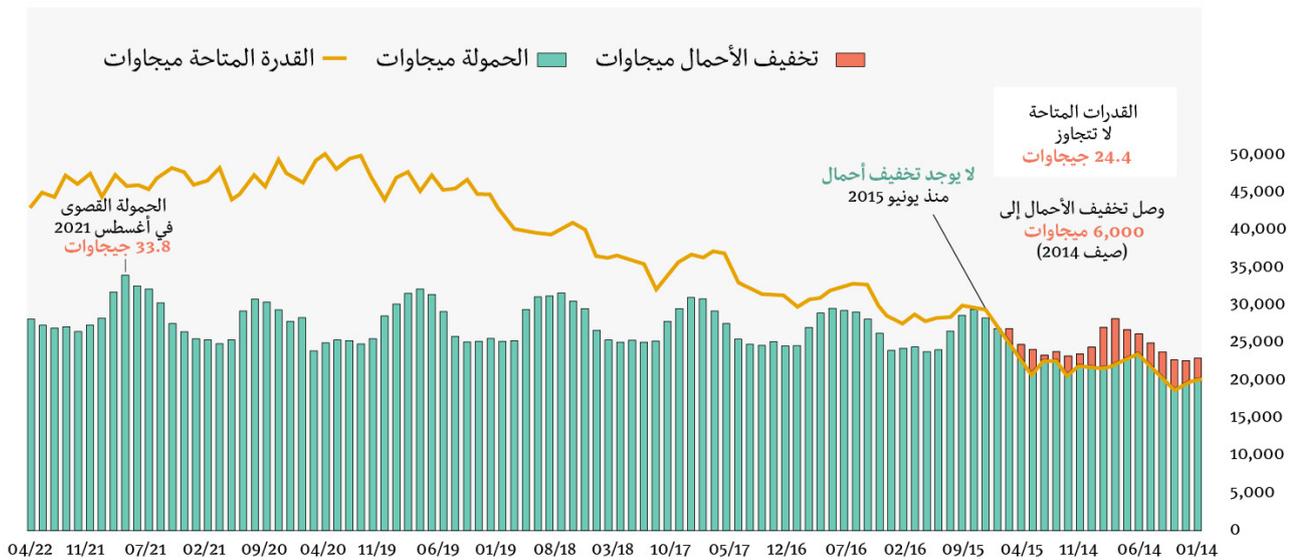
هذا التركيز الأحفوري يتسم بالهشاشة نظرًا لعدم استدامة إمدادات الوقود لمحطات الكهرباء، وهو ما حدث في الفترة 2013-2014 حين انخفض الإنتاج وتراجعت استثمارات قطاعي النفط والغاز وتقادمت محطات الكهرباء، ما أدى إلى الفصل الاضطراري للكهرباء (الشكل 5) (MOERE, 2022a)، كما حدث في السنتين الماضيتين (2023-2024) وسط أزمة تراجع إنتاج حقل ظهر الحالية. ما دفع الحكومة إلى تقنين/تنظيم إمدادات الكهرباء وفرض انقطاعات مبرمجة امتدت إلى ثلاث ساعات يوميًا في يونيو 2024 بسبب نقص الغاز وارتفاع الطلب وسط موجات الحر الصيفية (Reuters, 2024).

ومن المفارقات في قطاع الكهرباء، وجود احتياطي قدرات (سعة زائدة من محطات الطاقة) كبير جداً، يبلغ حوالي 42% (قدرات كلية 59.4 جيجاوات - أقصى طلب 34.2 جيجاوات). وتصل قدرات المحطات الحرارية المركبة والبخارية والغازية إلى 53 جيجاوات، ما يناهز 90% من إجمالي القدرات (MOERE, 2023).

هذه الكميات الطارئة؛ ما تسبب في خفض تقدير الاحتياطيات القابلة للاستخلاص (EUR) في حقل ظهر بنحو 10 تريليونات قدم مكعبة، وترتب على ذلك تراجع حجم الحقل من المرتبة الأولى بين حقول المتوسط إلى الثالثة خلف حقلي ليفاياتان وثمار الإسرائيليين (CC Reservoirs, 2024).

وتراهن الحكومة على الإسراع بتطوير حقول شرق المتوسط القبرصية مثل أفروديت وكرونوس لتغذية محطات الإسالة في دمياط وإدكو في محاولة لاستعادة التوازن وتوفير فائض للتصدير مجدداً بحلول 2027 (Bowden, 2025). بالإضافة إلى اعتماد مصر الحالي على استيراد الغاز عبر الأنابيب من إسرائيل عام 2020 بحوالي 2.2 مليار م³/سنة، ثم ارتفع إلى 4.2 مليار م³ في 2022، وقفز إلى 10.1 مليار م³ في 2024 ما يعادل 16% من الطلب المحلي البالغ 62 مليار م³ (Bowden, 2024; Bowden, 2025). ويبرز هذا الاعتماد المتنامي هشاشة أمن الطاقة المصري، نتيجة للاعتماد على ترتيبات إقليمية متقلبة. وهو السيناريو الذي تحقق بالفعل؛ إذ توقفت صادرات الغاز الإسرائيلي إلى مصر مؤقتاً خلال يونيو 2025، قبل شهرين من توقيع تمديد الاتفاق الذي تم عام 2018 بصفقة طويلة الأمد لاستمرار توريد الغاز إلى مصر بقيمة تقديرية 35 مليار دولار حتى 2040 لتسليم نحو 130 مليار م³. وبعد أسابيع قليلة من إعلان الاتفاق، أشارت تقارير في سبتمبر 2025 بتعليق اتفاق الـ35 مليار دولار وسط توتر سياسي متصاعد بين مصر وإسرائيل في ضوء ما يشهده قطاع غزة من إبادة جماعية (Kimani, 2025; Enterprise News, 2025).

الشكل 5: مقارنة بين الطلب (الحمل الأقصى) والقدرات الإنتاجية من 2011 إلى 2023



المصدر: وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة (مصر)

ويرجع بناء هذا الاحتياطي المتضخم من القدرات التقليدية إلى فترة ما بعد أزمة إمدادات الغاز عام 2014، حيث استمرت إضافة محطات الطاقة الأحفورية وتحسين كفاءتها حتى عام 2021.

وبدأت مصر أيضاً في محاولة تنويع مزيج الطاقة لديها بعد 2014، حيث أطلقت برنامجين بنظام تعريفية التغذية (تحديد سعر شراء ثابت لكل كيلوات ساعة للمستثمرين طوال فترة عمر المشروع)، وهو ما نتج عنه مشروع محطة بنبان الشمسية في أسوان بسعة 1465 ميغاوات (MOERE, 2022a). غير أن اكتشاف حقل ظهر في نفس الفترة، وطلبات الممولين والمستثمرين لدفع كل أو جزء من مستحقات شركات الطاقة المتجددة الدولية بالعملة الأجنبية، وبدء مصر برنامج إصلاح اقتصادي مع صندوق البنك الدولي، أدى إلى توجه الحكومة إلى الاستثمار في المحطات التقليدية وتجنب مخاطرة زيادة عبء مستحقات الشركات الأجنبية من العملة الصعبة.

يمكن تلخيص وضع الطاقة الحالي في مصر بأنه نموذج غير مستدام بسبب الاعتمادية الأحادية تقريباً على الوقود الأحفوري، ما يجعل أمن الطاقة في مصر هشاً أمام أي تغييرات طارئة. هذه الاعتمادية امتدت إلى الرؤى الإستراتيجية المدعومة بدور خبراء الاتحاد الأوروبي حول توقعات الوضع في مصر، فلم يكن هناك رؤية مصرية مجتمعية حول وضع الطاقة. وتشكلت رؤية مصر لقطاع الطاقة في السنوات الأخيرة على وضع معكوس نسبياً، مبني على تصور للانخراط في تجارة إقليمية لمنتجات الطاقة قبل التخطيط لتأمين احتياجات الطاقة محلياً على المدى القصير والاكتمال الذاتي على المدى الطويل أو الانخراط في تصنيع ونقل تكنولوجيا الطاقة.

4. أثر سياسات الهيدروجين على منظومة الطاقة في مصر

العالي في مصر، وسرعة الرياح في خليج السويس وغرب النيل، وتوفر الأراضي كمحددات طبيعية، بالإضافة إلى تراكم الخبرات البشرية في صناعتي الأسمدة والبتروكيماويات في مصر، وهي صناعات تعتمد على الهيدروجين الرمادي في عمليات الإنتاج.

في مصر، تحتاج الأهداف الإستراتيجية لقطاع الهيدروجين والأهداف الإستراتيجية للتحويل الطاقى المحلي على السواء إلى زيادة الاعتماد على الطاقة المتجددة (الرياح والشمس)، واعتبار الغاز الطبيعي وقود انتقالى بصفته أقل المصادر الأحفورية تلويثاً للبيئة والمناخ ونظراً إلى إمكانية خلطه مع نسب من الهيدروجين الأخضر. ويعتمد تحقيق الرؤى والخطط المصرية في مجال الطاقة من بناء اقتصاد الهيدروجين أو تلبية احتياجاتها المحلية من الطاقة على تحقيق توسعات ضخمة في بناء محطات الكهرباء المتجددة من الطاقة الشمسية ومحطات الرياح.

على الصعيد المحلي، استهدفت إستراتيجية الطاقة المستدامة المتكاملة (ISES2016) – الخطة الوطنية للطاقة في مصر ما قبل طموح الهيدروجين – في الأصل 42% من توليد الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة بحلول عام 2035، قبل تحديث الإستراتيجية، وتسريع هذا الهدف بخمس سنوات عام 2030، كجزء من الالتزام المعلن في التحديث الثاني لخطة (NDCs) المساهمات الوطنية المحدثة (Cabinet, 2023).

ولقد جاء تعجيل وتيرة الجدول الزمني للإستراتيجية بعد الاتفاق مع الولايات المتحدة الأمريكية وألمانيا خلال مؤتمر المناخ كوب27 نهاية عام 2022 ضمن برنامج نوفي NWFE، لتمويل تقاعد 5 جيغاوات من المحطات التقليدية الحرارية خلال 2025، وبناء 10 جيغاوات من الطاقات الشمسية والريحية حتى عام 2028 (MOIC, 2022; EBRD, 2023) لتوفير مزيد من الغاز الطبيعي للتصدير. أبرم هذا الاتفاق بعد أشهر من توقيع مذكرة التفاهم الثلاثية بين الاتحاد الأوروبي ومصر وإسرائيل (يونيو 2022)، لتسهيل تصدير الغاز المسال عبر محطتي إكو ودمياط وشحنه إلى أوروبا ضمن إستراتيجية الاتحاد لتعويض الإمدادات الروسية (EU, 2022).

تشير الأوضاع الحالية في مصر ومثيلاتها من دول الجنوب العالمي إلى وجود صعوبات على طريق التحويل إلى الطاقة المتجددة وتفعيل سياسات الكهرباء، وهي الصعوبات التي سببها عدم امتلاك التكنولوجيا النظيفة وضعف القدرة على تمويل مشروعات البنية التحتية. لقد تصاعد الاهتمام بالهيدروجين ومشتقاته في الجنوب العالمي قبل إتمام خطوة الكهرباء الأولية وفقاً لطلب عالمي (غير محلي) كسلعة تصديرية ومصدر للعملة الصعبة. هذا سيجعل من تبني الهيدروجين الأخضر بشكل عام عبئاً وتشتتاً بين التصدير والاكتفاء الذاتي أثناء عملية التحويل المحلي الأخضر في ظل محاولة الدول الصناعية بناء أسواق تنافسية في عدد من الدول التي تمتلك مساحات من الأراضي ومواقع جغرافية مهيأة لبناء محطات طاقة متجددة ذات سعة تشغيلية مرتفعة. هذا فضلاً عن جاذبية مشروعات الهيدروجين الأخضر الموجهة للتصدير من قبل الممولين الدوليين بصفته سلعة يجري تداولها بعمولات مستقرة نسبياً، في مقابل مخاطر أعلى للاستثمار في الطاقة المتجددة الموجهة للسوق المحلي في نفس البلدان.

الهيدروجين والكهرباء ليسا مصادر طاقة أولية (متاح بشكل طبيعي) مثل الرياح أو الشمس أو الغاز الطبيعي، ويتطلب إنتاجهما الاعتماد على أحد تلك المصادر من الطاقة الأولية. يمكن ترتيب الهيدروجين على أنه الأولوية الثانية في الانتقال الطاقى بعد التوجه الأساسي نحو الكهرباء الخضراء (التوسع في استخدام الكهرباء المولدة من مصادر متجددة)، وباعتباره – هذا التوجه – مكمل لسياسات التحويل في القطاعات التي لا يمكن كهربتها.

لم تُبن إستراتيجية الهيدروجين إذن على قراءة وتحليل الوضع المحلي للطاقة، مثل معدلات نمو الطلب، وكيفية إدارته، وعوائق التمويل، واشترطات/ معايير الهيدروجين الأخضر وما يترتب عليها من تحديد معايير انبعاثات مصادر الطاقة الأولية في إمدادات الكهرباء. وجاءت إستراتيجية الهيدروجين كإستراتيجية قطاعية منعزلة عن وضع الطاقة المحلي، بُنيت أساساً على تصور الفرصة الاقتصادية في الحصول على حصة من السوق الدولية ضمن تصور أوروبي عن خلق أسواق خارجية للهيدروجين. وتعتمد هذه الإستراتيجية على محددات الموقع الجغرافي، والإشعاع الشمسي

وكانت مصر تطمح إلى تحقيق نسبة 58% من الطاقات المتجددة في مزيج الكهرباء عام 2040. ولكن تضاربت التصريحات مؤخراً حول هذا الهدف، بسبب تصريح وزير البترول المصري بتقليص النسبة إلى 40% فقط عام 2040، والاعتماد على الغاز الطبيعي (Reuters, 2024)، في مقابل تصريحات وزير الكهرباء التي تشير إلى استهداف 65% طاقة متجددة عام 2040، بإجمالي قدرات 65 جيجاوات من الطاقات المتجددة ومحطات التخزين والطاقة النووية (Ahram, 2025; SIS, 2025). بينما أشارت تقارير صحفية إلى وقف 11.5 جيجاوات من أصل (53 جيجاوات) من القدرات الأحفورية ضمن الاتفاق المصري الأوروبي كشرط للتمويل الأخضر لمحطات الطاقة المتجددة (Salem, 2024). هذه الطموحات كبيرة جداً علي المدى القصير والمتوسط، ولا تتضمن حسابات الطاقة المتجددة الموجهة لإنتاج الهيدروجين، باعتبارها استثمارات غير مؤكدة وخارج حساب المعدل المتوسط لزيادة الطلب على الكهرباء سنوياً.

وعلني المدى المتوسط (حتى عام 2040) يتطلب تحقيق هدف السيناريو المركزي الأكثر تحفظاً في إستراتيجية الهيدروجين تخصيص 72 جيجاوات من الطاقات المتجددة، وتراكم إجمالي قدرات اسمية 55 جيجاوات من الطاقات المتجددة لتحقيق نسبة 58%، بفرض الاحتفاظ بـ 40 جيجاوات من الطاقة الحرارية (في حال تقادم المحطات أو إحالتها إلى التقاعد) من أصل 53 جيجاوات حالياً وفقاً لوزارة الكهرباء (MOERE, 2023)، ما يعني إضافة ما يقارب 120 جيجاوات لتحقيق إجمالي 127 جيجاوات في غضون الخمسة عشر سنة القادمة، بمعدل تركيب سنوي يُقدَّر بنحو 8 جيجاوات. وفي السيناريو الأخضر يصل الإجمالي إلى 145 جيجاوات.

تتطلب هذه البنية المهولة من القدرات المتجددة تمويلًا استثنائياً وبنية تحتية عملاقة تشمل تخطيط مساحات شاسعة من الأراضي ومد خطوط شبكة الكهرباء. وفي ظل عدم التكامل بين رؤى التصدير والانخراط في التجارة الدولية للطاقة الخضراء من ناحية، وتأمين الطلب المحلي من ناحية أخرى – وما يترتب عليه من تحديد أولويات الإنفاق العام – من المتوقع أن يكون هناك أوجه التعارض ومزاحمة ما بين الإستراتيجية المحلية لتأمين إمدادات الطاقة وتغطية نمو الاستهلاك المحلي، وإستراتيجية الهيدروجين الموجهة للتصدير، في حالة تحقيق كل الإضافات المطلوبة. وهذا أمر يصعب تخيله حالياً، بسبب الأزمة الاقتصادية.

وفي سياق منفصل، تهدف إستراتيجية الهيدروجين المصرية إلى التصدير بشكل رئيسي والحصول على حصة من السوق العالمية لوقود الهيدروجين الأخضر وفقاً لتوقعات المؤسسات الدولية المبنية على ما بعد عام 2030. ويحتاج تنفيذ السيناريو المركزي (الأقل طموحاً) 19 جيجاوات طاقات متجددة عام 2030، و72 جيجاوات عام 2040. أما السيناريو الأخضر الطموح فيتطلب قدرات طاقة متجددة تصل إلى 29 جيجاوات عام 2030، و90 جيجاوات عام 2040.

وبافتراض عدم بناء محطات حرارية جديدة، وإحالة 5 جيجاوات إلى التقاعد وفقاً لشروط التمويل الخضراء، وإلغاء مشروعات محطات الفحم والاعتماد على محطات الطاقة المتجددة فقط للوصول إلى هدف 42% في مزيج الكهرباء (MOERE, 2022a)، فإن مصر بحاجة للوصول إلى إجمالي قدرات اسمية تبلغ حوالي 35 جيجاوات عام 2030، من إجمالي قدرات حالي يبلغ 7.7 جيجاوات (NREA, 2024).

علي المدى القريب (حتى عام 2030) تهدف مصر إلى إضافة أكثر من 46 جيجاوات [27.3 جيجاوات محلياً (إجمالي 35 - حالي 7.7)] وفقاً لإستراتيجية الطاقة + 19 جيجاوات في السيناريو المركزي ضمن إستراتيجية الهيدروجين، ما يتطلب تركيبات تصل

5. أوجه التنافس

1.5. إنتاجية الأراضي

يعتمد إنتاج الطاقة المتجددة على سرعة الرياح وشدة الإشعاع الشمسي. وتختلف جودة الأراضي باختلاف المناخ والجغرافيا. وكلما زادت الجودة من سرعات الرياح أو الإشعاع الشمسي زادت السعة التشغيلية أو إنتاج الطاقة وهو ما يمكن ترجمته إلى تكاليف متباينة لإنتاج وحدة الطاقة (كيلووات ساعة) أو عائد أسرع على رأس المال.

على سبيل المثال، يتحدد الأداء التشغيلي لتوربينات الرياح بشكل أساسي بسرعة الرياح، وذلك بسبب العلاقة التكعيبية بين سرعة الرياح وإنتاج الطاقة. تخضع القدرة النظرية المتاحة في الرياح لمعادلة أساسية: القدرة = $0.5 \times$ كثافة الهواء \times مساحة دوران الريش \times مكعب سرعة الرياح. وهذا يعني أن الزيادات الطفيفة في سرعة الرياح تؤدي إلى مكاسب كبيرة في إنتاجية الطاقة نظراً للعلاقة التكعيبية (Kasper, 2023).

للاستدلال على ذلك الأثر الكبير، يُظهر الجدول 4 المكاسب المترتبة على زيادة سرعة الرياح، وهي مكاسب تزيد بشكل مُطرد

خصت مصر أراضٍ شاسعة لصالح هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة لإنشاء محطّات الطاقة المتجددة على مساحة 32 ألف كيلو متر مربع، تسع قدرات إجمالية تُقارب 174 جيجاوات من الشمس والرياح. كما يجري تخصيص ما يُقدر بـ 11 ألف كيلو متر مربع، وجاري دراسة إضافة ما يقارب 60 ألف كيلو متر مربع بإجمالي 102 ألف كيلو متر مربع، وهذا يعادل 10% من مساحة مصر الكلية (NREA, 2023).

نظرياً، تغطي إجمالي مساحة الأراضي المخصصة لمحطات الطاقة المتجددة حتى الآن إجمالي المساحة المطلوبة للمشاريع اللازمة لتغطية الاحتياج المحلي من الطاقة وفقاً لإستراتيجية الطاقة 2035، ومعها احتياجات التصدير وفقاً لإستراتيجية الهيدروجين منخفض الكربون. ولكن ثمة أسئلة واجبة حول مدى جاهزية وكفاءة تلك الأراضي للمشروعات من حيث الإنتاجية أو جودة الأراضي لإنتاج الطاقة، وكذلك أسئلة حول كفاءتها لتغطية الشبكة القومية أو الأراضي اللازمة لبناء خطوط توصيل الكهرباء. عملياً، سيكون هناك تنافس على المواقع ذات الجودة العالية والجاهزية، لكن حتى الآن لا تطرح أي وثيقة حكومية مصرية مسألة التعامل مع تحديد المواقع للإنتاج المحلي أو التصدير.

الجدول 3: مساحة أراضي الطاقة المتجددة في مصر

الأراضي	تم تخصيصها	جاري تخصيصها	تحت الدراسة	الإجمالي
المساحة بالكيلومتر المربع	31700	10847	59050	101597
سعة قدرات الشمس	83.3	70	420	573.3
سعة قدرات الرياح	91	37.4	199.4	327.8
السعة الإجمالية بالجيجاوات	174.3	107.4	619.4	901.1

الجدول 4: السعة التشغيلية النسبية عند سرعات رياح متغيرة (عند ارتفاع محور 150 متر)

سرعة الرياح (م/ث)	سرعة الرياح النسبية (مقابل 5 م/ث)	إنتاج الطاقة النسبي (V^3) (مقابل 5 م/ث)
5	1.00	1.00
8	1.60	4.10
10	2.00	8.00
12	2.40	13.82

تكفي مساحتها لبناء 400 ميجاوات فقط بالتقنيات الحديثة (الشكل 6؛ MOERE, 2022a). تلك المساحة الصغيرة نسبياً مقارنة بباقي الأماكن المرشحة لمشروعات الطاقة المتجددة سيكون عليها تنافس شديد، وحتى اللحظة لم تتضح معالم أي سياسات للتعامل مع ذلك الملف بناء على أولوية الاحتياج المحلي.

ولقد تركزت معظم الاتفاقات على مشروعات الهيدروجين في المنطقة الاقتصادية لخليج السويس (الموقع الأهم إستراتيجياً في مصر بسبب ممر قناة السويس) وهي المنطقة الأعلى جودة، ذات سرعات الرياح الأعلى في مصر (الشكل 7)، والتي تصل إلى أكثر من 10 متر/ثانية على ارتفاع 150 متر، مقارنة بباقي المناطق المرشحة لبناء محطات الرياح (NREA, 2025). كذلك من المتوقع للعديد من الاستخدامات لهذه الطاقة المولدة أن تكون بجانب منطقة قناة السويس، وتشمل استخدامات مثل تزويد السفن بالوقود الأخضر أو صناعة الأسمدة الخضراء الموجهة للتصدير؛ الأمر الذي قد يشعل التنافس على الأراضي من قبل المستثمرين بسبب ارتفاع الجدوى الاقتصادية، سواء على مسار خدمة الشبكة المحلية أو مصانع الهيدروجين.

أحد الأمثلة هو مشروع مصر للهيدروجين الأخضر في خليج السويس، الذي يقوده تحالف سكاتك (Scatec) وفيرتيغلوب (Fertiglobe) وأوراسكوم للإنشاءات وصندوق مصر السيادي. حيث أُنفق على تشييد محطة رياح بقدرة 200 ميجاوات، إلى جانب قدرة شمسية تكميلية بقدرة 70 ميجاوات، بتمويل من قرض مأخوذ من البنك الأوروبي لإعادة الإعمار والتنمية، وتوجيه الطاقة المولدة من المشروع إلى دعم كهرباء محلل كهربائي 100 ميجاوات ومصنع أمونيا خضراء بمنطقة العين السخنة بخليج السويس (EBRD, 2023; Scatec, 2024). هذا النمط من التحالفات بين شركاء متعددين من مطوري الهيدروجين ومطوري الطاقة المتجددة أصبح نمطاً متكرراً في

مع أقل زيادة في سرعة الرياح. تم حساب السعة التشغيلية النسبية (إنتاج الطاقة) لكل سرعة رياح محددة. بأخذ سرعة 5 م/ث كخط أساس (القدرة النسبية = 1)، ويزيد إنتاج الطاقة بشكل كبير مع سرعات الرياح الأعلى.

فالموقع الذي يبلغ متوسط سرعة الرياح فيه 10 م/ث يُنتج نظرياً ثمانية أضعاف الطاقة التي ينتجها موقع بسرعة 5 م/ث، بافتراض أن جميع العوامل الأخرى (حجم التوربين، الكفاءة، كثافة الهواء) متساوية. هذه العلاقة الأسية تجعل المواقع ذات سرعات الرياح العالية لها قيمة إستراتيجية أعلى.

هذه الزيادة الهائلة في إنتاج الطاقة مقارنة بالزيادات الصغيرة نسبياً في سرعة الرياح لها آثار عميقة على الجدوى الاقتصادية لمشاريع الرياح؛ لأن إنتاج الطاقة في هذه المواقع يحسن بشكل كبير من ربحية المشروع ويُعجل بتحقيق عائد الاستثمار. المواقع الإستراتيجية ذات الكفاءة والجودة المرتفعة هي الموجه الأساسي لإستراتيجيات طاقة الرياح الوطنية بشكل عام، حيث يجري التركيز على استغلال المواقع ذات الجودة العالية عند تخطيط المشروعات.

في مصر، تقع كل محطات الرياح التابعة والمملوكة للدولة في منطقة خليج السويس: محطة الزعفرانة، ومحطة جبل الزيت ومحطة خليج السويس والبحر الأحمر 1، بقدرة إجمالية تقارب 1700 ميجاوات من أصل 2192 ميجاوات مشروعات منفذة (NREA, 2024). هذه المنطقة التي تتكون من مشروعات خليج السويس والزعفرانة وجبل الزيت ورأس شقير محدودة المساحة نسبياً، بواقع نحو 2793 كيلو متراً مربعاً، أي ما يعادل 6.5% من المساحة الكلية المقدر بـ 42 ألف كيلومتر المخصصة حالياً لمشروعات الطاقة المتجددة، وهي كافية لبناء 20 جيجاوات فقط من طاقة الرياح (المرجع السابق). ولقد أوضحت وزارة الكهرباء أن معظم أراضي منطقة خليج السويس مشغولة بالفعل، ومتبقى أرض

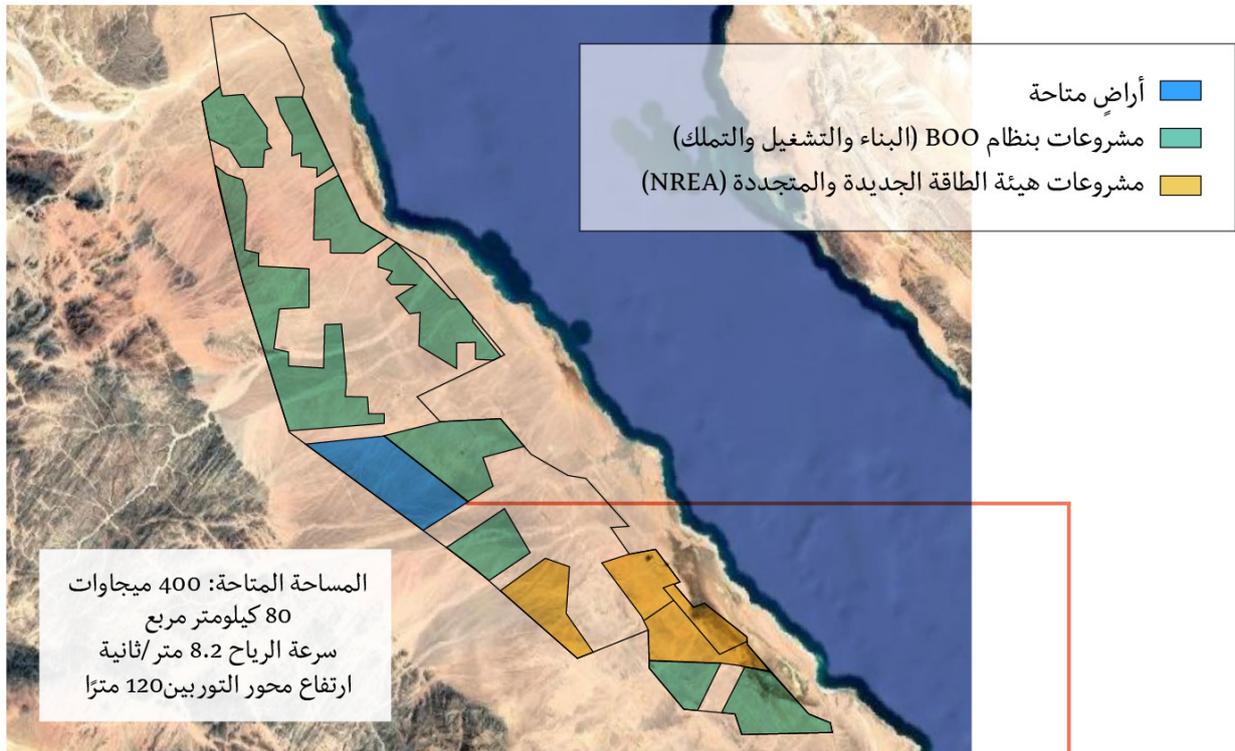
كما قررت الحكومة المصرية طرح المراحل 5 إلى 8 من الزعفرانة في مناقصة تنافسية خلال النصف الثاني من 2024، مع اشتراط أن يمتلك المستثمر المُرشح مشروع هيدروجين أخضر لاستغلال كهرباء الموقع في مشروعه (Daily News Egypt, 2024). لاحقًا، أرجأت الحكومة مخططات البيع، وعملت على إعادة تطوير الموقع وجعله أكثر جاذبية للمستثمرين من أجل إعادة البيع في المستقبل؛ فقد وقعت وزارة الكهرباء مذكرة تفاهم غير مُلزمة مع تحالف من فولتاليا (Volitalia الفرنسية و«طاقة عربية» لإعادة تطوير الموقع بكامله كمجمّع هجين بقدرة 3 جيجاوات (1.1 جيجاوات رياح + 2.1 جيجاوات شمسي)، مع بدء التشغيل الأولي بحلول 2028 (Volitalia, 2024; Enterprise, 2024).

يوضح النهج المذكور التوجه التفضيلي الواضح لتصدير الطاقة على شكل مشتقات الهيدروجين واستغلال تنافسية الموقع الأعلى جودة، بمنطقة خليج السويس، في جذب استثمارات شركات الرياح. هذا إذن توجه سياسي قصير الأمد في ظل الضغوط الاقتصادية الأخيرة، وغير مرهون بالتحول الطاقوي المحلي في ظل

التحالفات المعنية بالاستثمار في صناعة الهيدروجين في مصر. وفي حال الاستحواذ على المنطقة الأعلى جودة في خليج السويس لن يتبقى مساحات كبيرة للاستخدام المحلي.

هذا التنافس كان الدافع لاتجاه مصر إلى خصخصة بعض أقدم مزارع الرياح المملوكة للدولة في خليج السويس. ففي 2023، أدرجت الحكومة محطتي جبل الزيت والزعفرانة ضمن قائمة من 32 أصلًا حكوميًا ستُطرح للمستثمرين (Kandil, 2023). وبعدها بشهور، توصلت شركة أكتيس البريطانية إلى اتفاق مبدئي لشراء محطة جبل الزيت (580 ميجاوات) بقيمة تقارب 350 مليون دولار (Daily News Egypt, 2023a). وفي أكتوبر 2023، وقعت مجموعة ميرسك اتفاقًا مبدئيًا للاستحواذ على 51% من المراحل الأربع الأولى (1-4) من مجمع الزعفرانة (545 ميجاوات)، في إطار إستراتيجية أوسع لاستثمار 15 مليار دولار في إنتاج الوقود الأخضر من الهيدروجين ومشتقاته بالعين السخنة (Daily News Egypt, 2023b).

الشكل 6: خريطة الأراضي المتاحة لطاقة الرياح في منطقة خليج السويس عام 2022



اسم المنطقة	عدد المواقع	المساحة المتاحة للتوليد (كم ²)	القدرة القصوى الممكن توليدها (ميجاوات)	سرعة الرياح (م/ث)	ارتفاع محور التوربين (متر)
خليج السويس	1	80 كم ²	400 ميجاوات	8.4 م/ث	120 م

معظم تلك القدرات المضافة كانت من المحطات التقليدية في مناطق عمرانية أو قريبة منها. وتقدر وزارة الكهرباء تكلفة دمج 10 جيجاوات من الطاقات المتجددة في الشبكة بقيمة 2.043 مليار دولار (MOERE, 2022b). ما يجعل دمج كامل القدرات المتوقعة حتى 2030 والمقدرة نظريًا بأكثر من 40 جيجاوات عملية تتطلب 8 مليار دولار على أقل تقدير.

ولقد شهد مُجمع بنبان الشمسي في أسوان أول اختبار حقيقي في مصر لدمج قدرات كبيرة نسبيًا من الطاقة المتجددة في شبكة الكهرباء القومية من حيث تحمل التكاليف والمدى الزمني للربط. فقد تأخر ربط المجمع على الشبكة عام 2018، حتى اكتمل إنشاء أربع محطات محولات مخصصة للموقع (Bellini, 2018)، قبل إتمام الربط الكامل في أواخر عام 2019 (MOERE, 2022a). وتوجهت شركة نقل الكهرباء إلى تقاسم التكاليف الناتجة عن البنية التحتية وتكلفة الربط مع الشبكة المركزية مع المستثمرين، ورُبطت التكاليف بحجم إنتاج المحطات. وجرى رفع التكاليف بشكل متكرر على المستثمرين بسبب الزيادات المطردة في الأسعار نتيجة خفض قيمة الجنيه المصري وارتفاع التكاليف في تلك الفترة، ما أدى إلى حدوث خلاف حول التكاليف بين المستثمرين والحكومة المصرية انتهى بالتسوية بين الطرفين (Farag, 2019; Enterprise, 2020).

وضعت وزارة الكهرباء خطة لرفع قدرات الشبكة من أجل استيعاب 20 جيجاوات من الطاقات المتجددة (MOERE, 2022b). واقترحت الشركة المصرية لنقل الكهرباء (EETC) من البنك الأوروبي لإعادة الإعمار والتنمية في ديسمبر 2024 قرصًا سياديًا بقيمة 170 مليون يورو، يُوجه إلى تمويل برنامج تعزيز الشبكة تحت مظلة برنامج نوفي NWFEE، شاملًا تحديث محطة محولات وإنشاء خط جهد عالي بطول 200 كم. سيسمح الخط الجديد باستيعاب نحو 2.1 جيجاوات من طاقة الرياح في خليج السويس وربطها بالشبكة القومية. ويعتبر هذا المشروع أول استثمار في الشبكة ضمن برنامج استثماري بميزانية قدرها 2 مليار دولار (EBRD, 2024).

على الصعيد التنظيمي، تعمل الشركة المصرية لنقل الكهرباء مع البنك الأوروبي لإعادة الإعمار والتنمية على وضع إطار تنظيمي يسمح بعقود شراء كهرباء مباشرة بين المنتجين والمستهلكين (P2P) من القطاع الخاص (Zgheib, 2025)، بصفتها مشغل مستقل للشبكة وفقًا لقانون الكهرباء الجديد رقم 87 لسنة 2015 (Manshurat, 2015). وتنص لوائح هيئة تنظيم مرفق الكهرباء على أن يلتزم المستثمرون بدفع رسوم التمير (wheeling charge) عند استخدام شبكة النقل الوطنية (CMS, 2024). كما يوضح تقرير منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي (OECD) حول قانون حوافز الهيدروجين الأخضر أن الشركة المصرية لنقل الكهرباء تفرض رسم مرور بواقع 7% من إيرادات الكهرباء المنقولة، وهو ما أثار مخاوف المطورين بشأن كلفة الهيدروجين الأخضر (OECD, 2024). يُتوقع أن يفتح اعتماد هذه الآليات في سوق الشراء الخاص أمام مشروعات الهيدروجين الأخضر فور استقرار هيكل الرسوم.

أزمتي الطاقة (الراهنه) والمناخ (طويلة الأجل). هذا النهج يهدد استدامة وضع الطاقة المحلي في مصر على المدى الطويل.

2.5. تحديات نقل الكهرباء

تقع كل الأراضي المطروحة لإنشاء المحطات المتجددة في مناطق نائية بعيدة عن الشبكة القومية الحالية الموازية لمجرى النيل والبحر المتوسط بشكل أساسي، ما يعني أن عملية التطوير تتخطى فكرة نقل الكهرباء للشبكة القومية، فهي تحتاج أيضًا إلى تخطيط إستراتيجي للمناطق وتصور عن بناء مجتمعات عمرانية خارج وادي نهر النيل بشكل عام. في اللحظة الحالية، تلعب سياسات تطوير الشبكة ومداهها والجدول الزمني لبنائها الدور الأهم في تحديد أولويات تنمية القدرات المتجددة لتلبية الطلب المحلي أو تصدير الهيدروجين.

السؤالان الأساسيان في تحديد نموذج تنمية القدرات المتجددة وصناعة الهيدروجين هما: أولاً- تكلفة تطوير الشبكة: من سيدفع التكاليف الاستثمارية لاستيعاب سعة طاقات متجددة بعشرات الجيجاوات في ظل الأزمة الاقتصادية الحالية؟ ثانيًا- نموذج نقل الكهرباء: هل سيكون هناك فصل في الشبكات (شبكة محلية وأخرى للتصدير) أم تكامل بين الطاقات الإنتاجية، خصوصًا مع الطاقات المتجددة المتذبذبة ما بين ذروة الإنتاج والانقطاع خلال اليوم مثل الشمس، أو خلال المواسم مثل الرياح.

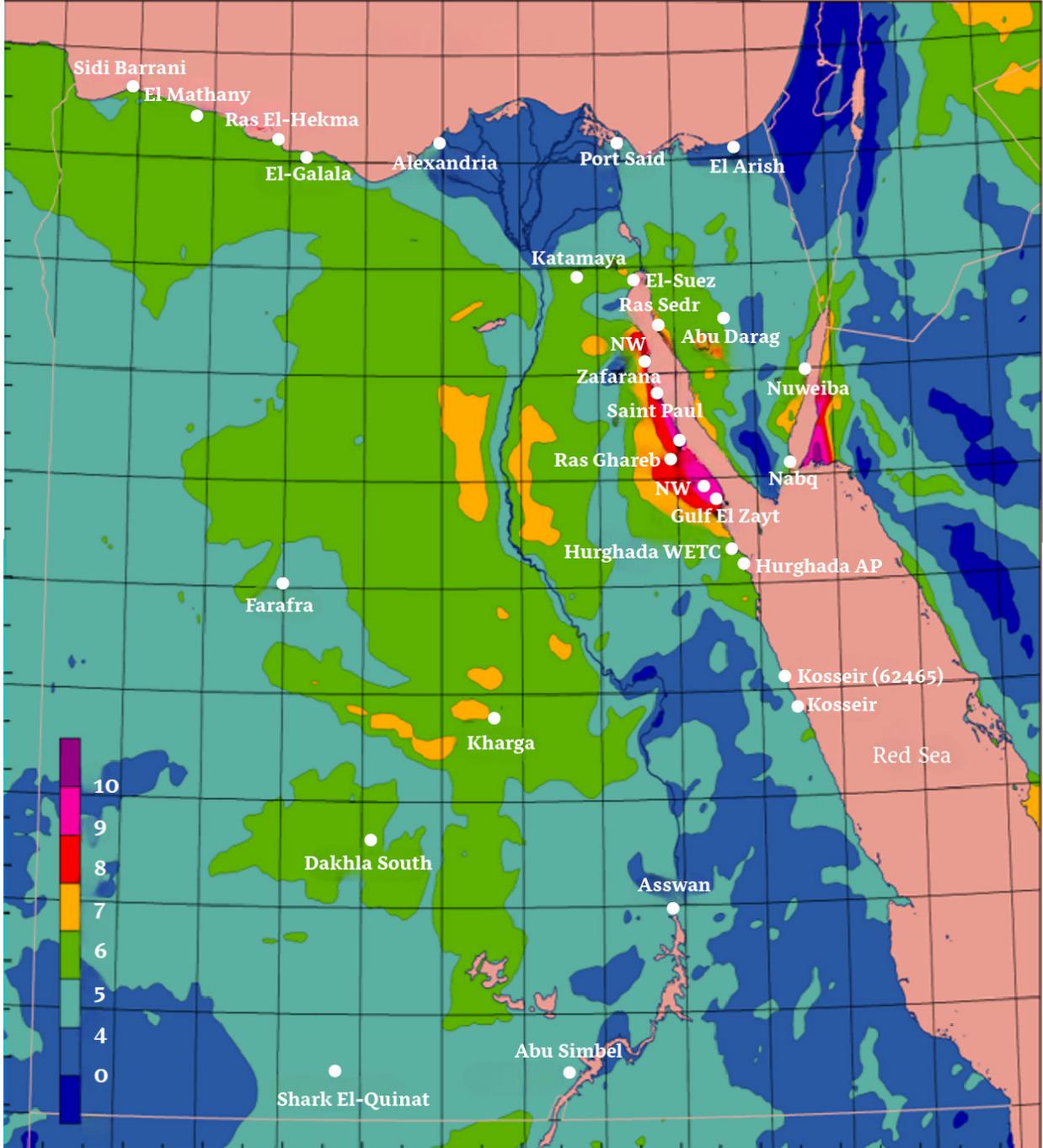
1.2.5. تكلفة التطوير

يبرز سؤال التكلفة بشكل أكبر في ضوء التوجه التصديري لمشتقات الهيدروجين تزامنًا مع ضغوط الاحتياج المحلي المُلح لمصادر الطاقة المتجددة (استثمارات جديدة) ورفع الدعم عن منتجات الطاقة والأزمة الاقتصادية الحالية، باعتباره عبء إضافي للتحديات الراهنه.

يتوقع المستثمرون في العموم أن تغطي الحكومات تكاليف البنية التحتية طويلة أجل الاستخدام وتجهيز المواقع، ما يعني تحمل السكان المحليين تكاليف البنى التحتية للتصدير. في الحالة المصرية، من المتوقع أن تقتصر الحكومة التكاليف المليارية لتوسيع وزيادة كفاءة الشبكة دون الاستفادة المباشرة منها محليًا على المدى المنظور، وسط احتمالية بناء نموذج منعزل تمامًا عن تلبية الاحتياجات المحلية من الطاقة.

تواجه مصر معضلة مالية جوهرية في تطوير شبكة الكهرباء بسبب صعوبة تغطية التكاليف الاستثمارية في ظل الأزمة الاقتصادية الراهنه، قياسًا إلى حجم الشبكة المتوقع من حيث السعة والطول. كانت سعة الشبكة أحد مسببات أزمة الطاقة لعام 2014، ولقد تكلف تطوير الشبكة 6.4 مليار دولار في الفترة بين 2014 و2021، لمضاعفة سعة وطول شبكة الجهد العالي من أجل استيعاب إضافة ما يقارب 30 جيجاوات خلال الفترة المذكورة. مع الإشارة إلى أن

الشكل 7: أطلس رياح مصر



المصدر: هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة

2.2.5 نموذج نقل الكهرباء

الجوار مثل الأردن وليبيا، في ظل أعمال خطط لتصدير الطاقة الكهربائية المنتجة عن طريق الطاقات المتجددة إلى اليونان وقبرص (MOERE, 2023).

على عكس المتوقع من نمط التطور المركزي التراكمي في توسيع طول وسعة الشبكة الكهربائية الحالية، تم اقتراح بناء ما يعرف بالممر الأخضر للطاقة أو «Green Energy Corridor»

عادة ما تكون شبكات الكهرباء مركزية، وتكون لامركزية في بعض الأحيان لإنتاج الطاقة لغرض معين دون الحاجة للربط القومي من أجل توفير التكاليف والموارد والحفاظ على البيئة. ولكن حال إنتاج الطاقة بغرض التصدير، أو التحول لمركز إقليمي لتجارة منتجات الطاقة، تبرز الحاجة إلى مد الشبكات القومية إلى أطراف الحدود أو ما بعدها للربط الإقليمي. تبني مصر نموذج الشبكة المركزية محلياً، مع امتداد إقليمي بخطوط ربط مع دول

القائمة ودون النظر إلى اختلاف طبيعة تكوين نظم الطاقة في البلدان المرشحة للتصدير. كما أنها تعني زيادة التكاليف بهدف إنشاء نظام جديد معزول يتكيف مع تلك المعايير. فقد أظهرت دراسة جامعة كورنيل لمنظومة الطاقة الأوروبية أن تطبيق شروط الإضافية والمطابقة الزمنية والجغرافية سيرفع تكاليف النظام بنحو 82 مليار يورو بين 2024 و2048، وأن شرط الإضافية هو الأكثر تكلفة بينها (Hordvei et al, 2024).

في الحالة لمصرية حيث اقترح إنشاء ممر أخضر لنقل الكهرباء من مشروعات الطاقة المتجددة حصراً، فإن الإضافية والتطابق الزمني يتحققان بأكثر فعالية عندما يكون المحل متصلاً بشبكة كهرباء متنوعة المصادر المتجددة وباليات موازنة زمنية دقيقة، لا في نظام معزول يضيف بنية تحتية ترفع الكلفة من دون فائدة بيئية إضافية مقابلة. بالإضافة إلى أن بناء شبكة مخصصة للهيدروجين أمر تحقّفه مخاطر الاستعمال المنخفض؛ ما يعني تعرض الأصول للأعطال بسبب الفجوة بين الطموح والطلب الفعلي (Reuters, 2025).

وتعارض تلك المعايير مع الأهداف السياسية للاتحاد الأوروبي في تقديم دعم أو تحفيز البلدان على دعم انتشار الطاقة المتجددة، مثل مصر. إن معيار عدم تلقي أي دعم استثماري أو تشغيلي يتضارب مع الإعفاءات الضريبية والاستفادة من الأراضي برسوم منخفضة جداً (حق انتفاع)، ما قد يؤدي إلى عدم مطابقة المعايير المطروحة حالياً ويمنع أوروبا من الاستفادة بمشروعاتها في مصر، ومن ثم دفع المطورين إلى البحث عن أسواق بديلة للسوق الأوروبي. يعني ذلك عملياً أن الاعتماد على الشبكة المصرية التقليدية، التي يغلب عليها التوليد الكهربائي بالاستعانة بالوقود الأحفوري، والتي تحظى محطاتها المتجددة القائمة بدعم تعريفة مثل بنبان، لن يلبى شرط الإضافية.

يُتوقع أن يكون النموذج المرجح هو إنشاء شبكة شبه منفصلة (تبيع الفائض ولا تشتري): أي أن محطات الرياح والشمس ستزود محلات الهيدروجين مباشرة عبر خطوط مخصصة بحيث لا تسحب كهرباء من الشبكة القومية، حفاظاً على مبدأ «الإضافية» الأوروبي، لكنها ستظل مرتبطة بالشبكة، أو بشبكة متجددة موازية مثل «الممر الأخضر»، لتصريف فائض الإنتاج في ساعات الذروة. تدور الاقتراحات حالياً حول طرق الربط في منطقة خليج السويس بشكل أولي، في دراسة أعدتها منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي (OECD) عام 2024 لنموذج ثلاثة مسارات لنقل القدرة المتجددة إلى مصانع الهيدروجين من رأس غارب إلى المنطقة الاقتصادية لقناة السويس، وتُظهر النماذج أن جميع السيناريوهات المقترحة تفترض بيع جزء من الكهرباء الفائضة إلى مشتريين آخرين، لأن هذا الحل أقل كلفة من تخزين الكهرباء لوقت طويل أو هدر الأحمال الفائضة (Curtaiment)، ما يستحيل معه عملياً الانفصال الكامل عن الشبكة (Lee, 2024).

وفي ظل عدم وضوح النموذج النهائي حول ما إذا كان الربط سيتم عبر الشبكة التقليدية أو عبر «الممر الأخضر»، سوف يسود وضع جديد تنافسي وليس تكاملياً من النوع القادر على

كشبكة مخصصة لربط الطاقة المتجددة مباشرة مع مشروعات الهيدروجين، ومحطات التحلية، والربط الإقليمي (MOERE, 2022a). في مايو 2022، أعلن وزير الكهرباء والطاقة المتجددة السابق عن خطة لإنشاء الممر الأخضر تربط كل محطات الطاقة المتجددة في مصر بطاقة مستهدفة تبلغ 70 جيجاوات (Hafez, 2022). ما يزال إنشاء شبكة كهربائية خضراء منفصلة خياراً مطروحاً، بعد أن قدمت شركة «ستيرلايت باور» (Sterlite Power الهندية في مارس 2025 عرضاً لاستثمار 5 إلى 6 مليارات دولار في خطوط جهد عالي مخصصة لنقل كهرباء الرياح مباشرة إلى مجمعات الهيدروجين (Transformers Magazine, 2025).

يُرجح أن سبب هذا الاقتراح هو مطالب المستثمرين بتقليل مخاطر الارتباط بالشبكة القومية، مثل احتمالية تحويل الكهرباء المنتجة للاستخدام المحلي تحت وطأة أزمات الطاقة الداخلية. بالإضافة إلى مخاوفهم من العملية التنظيمية حول رسم نقل الكهرباء وتقاسم التكاليف كما حدث في تجربة المستثمرين في مجمع بنبان دون ضمانات لجودة الشبكة القومية القائمة مقارنة بشبكة جديدة (Enterprise, 2021)، بالرغم من الإصلاحات الحالية وتحرير سوق الكهرباء (Enterprise, 2025).

وهناك دافع آخر يتعلق بتنظيم سوق الهيدروجين الأخضر المرتقب وهو «معيار الإضافية»، الذي أقره الاتحاد الأوروبي للهيدروجين المتجدد. وفقاً للائحة التفويضية الملحقة بتوجيه الطاقة المتجددة (RED II)، لا يُعترف بالهيدروجين بوصفه «وقوداً متجدداً» ما لم تعتمد عملية التحليل الكهربائي على محطات طاقة جديدة (أحدث من 36 شهراً قبل بدء تشغيل المحلل)، ولم تتلق أي دعم استثماري أو تشغيلي، مع إبرام خط ربط مباشر أو عقد شراء طاقة يساوي كمية الكهرباء المطلوبة لإنتاج الهيدروجين (European Commission, 2023).

ويُشترط كذلك تحقيق تطابق/امتثال زمني وجغرافي ما بين توليد الكهرباء واستهلاك المحلل، على أساس شهري حتى 31 ديسمبر 2029، ثم تنتقل القاعدة إلى مطابقة ساعة بساعة بدءاً من 1 يناير 2030، على أن تقع محطة التوليد وموقع التحليل في منطقة متصلة محددة (المرجع السابق). هذه المعايير تنطبق على أي وقود يراد الاعتراف به كطاقة متجددة داخل السوق الأوروبية، بغض النظر عن مكان إنتاجه. توضح نشرة الأسئلة والأجوبة الرسمية للمفوضية أن الهدف من هذه الشروط هو ضمان إضافة قدرات متجددة «جديدة» فقط لتلبية الطلب الإضافي على الكهرباء من المحطات، ومنع تحويل استهلاك الكهرباء الخضراء «القائمة» – التي تهدف إلى خفض الكربون في الشبكة المحلية – نحو الهيدروجين. إذا جرى تحويل تلك الساعات القائمة إلى إنتاج الهيدروجين، سيتعين على الشبكة المحلية التعويض بإنتاج أكبر من الوقود الأحفوري، ما يقوض أهداف خفض الانبعاثات (European Commission Q&A, 2023).

تلك المعايير بوضعها الحالي غير عملية لأنها تستلزم توحيد نموذج الإنتاج بغرض تصنيع الهيدروجين في كل البلدان بشكل معزول تماماً عن البنية الأساسية من شبكات نقل الكهرباء

تحقيق تحسينات مباشرة في وضع الشبكة المحلية. كما سيؤدي هذا الفصل بين الشبكتين إلى شكل جديد تزيد فيه القدرات المتجددة من أجل تصدير الهيدروجين في معزل عن الطلب المحلي، خصوصاً مع امتيازات صناعة الهيدروجين في التعامل بالعملة الصعبة داخل المنطقة الاقتصادية لقناة السويس، ما سيقبل من جاذبية إنشاء مشروعات طاقة متجددة لتلبية الطلب المحلي وخاصة في حالة دفع قيمة الكهرباء بالعملة المحلية. في هذا الوضع يكون من الضروري على أقل تقدير أن تحتفظ الحكومة المصرية بالمناطق الأعلى جودة والأعلى جدوى اقتصادية لصالح الطلب المحلي، أو أن تسن سياسات محلية جديدة تشمل تصورات حول مختلف معايير الإضافية، من أجل تحقيق التوازن مع الوضع المتوقع حيث الانحياز في الطاقات المتجددة لصالح إنتاج الهيدروجين.



6. الاستخدامات المتوقعة للهيدروجين

للصناعات المحلية (الأسمدة، البتروكيماويات، الحديد)، (3) إنتاج مشتقات الهيدروجين من أجل توليد الكهرباء، (4) وقود للسفن (الشحن البحري)، (5) وقود طيران مستدام (SAF).

1.6. التصدير كوقود/مادة وسيطة (الأمونيا)

يعتبر التصدير هو الهدف الأهم والأبرز من كل المشروعات الجديدة المقترحة تقريباً. معظم الاتفاقيات تستهدف إنتاج الأمونيا الخضراء للتصدير إلى أوروبا وآسيا (الجدول 2). والكثير من المشروعات يجري وصفها تارة كمشروعات هيدروجين وأخرى كمشروعات أمونيا/ميثانول، ذلك لأن الهيدروجين غالباً لا يُسوّق كغاز نهائي بل يتحول إلى مشتق سائل سهل النقل، ولعدم كفاءة أو نضج تكنولوجيا نقل الهيدروجين حالياً. هذه المشاريع ستُصدر الأمونيا بالدرجة الأولى كحامل للهيدروجين، حيث يمكن تفكيكها إلى هيدروجين في وجهتها أو استخدامها مباشرة في صناعات الأسمدة والكيماويات أو توليد الكهرباء أو النقل.

ولقد شاركت مصر في آلية H2Global الألمانية²، من خلال مشروع «إيجيبت جرين»، حيث وقعت شركة سكاتك (Scatec) اتفاقية شراء لمدة عشرين عاماً مع شركة فيرتيجلوب (Fertiglobe)، مستفيدة من آلية دعم H2Global، لضمان تصدير الهيدروجين الأخضر المنتج في مصر إلى الأسواق الدولية. وفي أكتوبر 2024، شحنت فيرتيجلوب أول دفعة من الأمونيا الخضراء (Fertiglobe, 2024; Scatec, 2024).

تعطي الإستراتيجية الوطنية أولويات مختلفة لتطبيقات الهيدروجين استناداً إلى عوامل عدة تشمل مدى اعتماد كل تطبيق على الهيدروجين لخفض الانبعاثات (أي تقدير إن كان هناك بدائل أخرى أم لا)، والفجوة الاقتصادية (تكلفة الهيدروجين الأخضر مقارنة بالوقود التقليدي أو البدائل الأخرى)، وكذلك جاهزية التقنية بحلول 2030. بشكل عام، التوجه الأهم للإستراتيجية هو التصدير في المرحلة الأولى في العشرينيات وبداية الثلاثينيات من القرن الحالي، لتلبية الطلب المتنامي عالمياً وخاصة الأوروبي وفي القطاعات صعبة إزالة الانبعاثات الكربونية أو التي لا يمكن كهربتها.

تم التوجه نحو الهيدروجين لقدرته على خفض الانبعاثات في القطاعات التي يصعب تقليل انبعاثاتها مباشرة والمعروفة بالقطاعات صعبة الخفض للانبعاثات (hard-to-abate). تشمل هذه القطاعات صناعات ثقيلة مثل الصلب والبتروكيماويات (الأمونيا، الميثانول)، بالإضافة إلى النقل الثقيل (الشاحنات الكبيرة، الشحن البحري والجوي لمسافات طويلة) حيث البدائل الكهربائية المباشرة غير عملية أو غير كافية حالياً. إلى جانب دوره كوقود نهائي، من المتوقع أن يلعب الهيدروجين دور حامل الطاقة/مُخزن الطاقة لدعم مرونة واستقرار أنظمة الكهرباء التي تعتمد بصورة متزايدة على مصادر متجددة متقطعة مثل الرياح والشمس. يوفر الهيدروجين نظرياً حلول تخزين طويلة الأجل تكمل البطاريات التقليدية وتساهم في توازن العرض والطلب الكهربائي على نطاق زمني أوسع.

من حيث استخدامات الهيدروجين ومشتقاته المخطط لها، يمكن تصنيف المشروعات المصرية المعلنة وفق عدة أغراض أساسية: (1) التصدير كوقود أو كمادة وسيطة للصناعة، (2) مدخلات

2 أطلقت الحكومة الألمانية مبادرة H2Global، التي تنفذها مؤسسة H2Global Stiftung في إطار تسريع تأسيس أسواق عالمية للهيدروجين الأخضر ومشتقاته. تقوم هذه الآلية على نموذج المناقصات المزدوجة، حيث يجري شراء الهيدروجين الأخضر من المنتجين عبر عقود طويلة الأجل، ثم يُعاد بيعه للمشتريين الأوروبيين عبر مزادات قصيرة الأجل، مع تعويض الفارق السعري بواسطة دعم حكومي. تهدف H2Global إلى تحفيز الاستثمارات المبكرة في مشاريع الهيدروجين منخفض الكربون، وتقليل المخاطر التجارية المرتبطة بتطوير هذه التكنولوجيا الانتقالية (H2Global Stiftung, 2023).

2.6. الاستخدام الصناعي المحلي

أكبر مصدر لليوريا على مستوى العالم بحجم تصدير يبلغ 4.5 مليون طن سنويًا، وهو ما يعادل 9% من حجم التجارة العالمية للمنتج (Samir, 2022). وصدرت مصر في عام 2023 نحو 3.47 مليون طن من اليوريا، بقيمة 1.73 مليار دولار (WITS, 2023).

بدأت شركات مصرية بالفعل في دمج الهيدروجين الأخضر في عملياتها الصناعية، لسببين: أولاً، عدم كفاية الغاز الطبيعي في مصر بسبب انخفاض الإنتاج في الأعوام الأخيرة وارتفاع الطلب. ثانيًا، تفادي شركات الأسمدة المصرية خسارة حصص في السوق العالمي لصالح مشروعات الأمونيا الخضراء الحديثة في مصر. ظل معايير الكربون الجديدة مثل آلية الاتحاد الأوروبي لتنظيم الكربون الحدودي (CBAM).

على سبيل المثال، في مايو 2025، تقلص إنتاج شركة أبو قير للأسمدة، بنسبة تصل إلى 30% بسبب نقص حاد في إمدادات الغاز الطبيعي وحدث توقف مؤقت لبعض المصانع خلال فترات الذروة، خاصة مع ارتفاع استهلاك الكهرباء في الصيف وتراجع إنتاج الغاز المحلي إلى أدنى مستوياته منذ سنوات (Fawzy, 2025). وكانت شركة أبو قير للأسمدة قد بدأت في تبني فكرة الهيدروجين الأخضر كبديل جزئي للغاز الطبيعي في عملياتها الإنتاجية في سياق مشروع لاستبدال جزء من الغاز الطبيعي المستخدم في مصانع الأمونيا بهيدروجين أخضر منتج بالكهرباء المتجددة. كان الهدف هو تقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية وضمان استمرارية التشغيل، بالإضافة إلى خفض الانبعاثات وتحقيق تحول مستدام في الصناعة (Kapoor, 2024). بالمثل، تخطط شركة موبكو للأسمدة في دمياط لإنشاء وحدة لإنتاج الهيدروجين الأخضر ورفع طاقتها من اليوريا بحلول 2027 في إطار توسعة مصنعها (Fuel Cells Works, 2024).

كما بدأت بالفعل مفاوضات لإعادة تشغيل وحدات التحليل الكهربائي القديمة في مصنع كيما أسوان بطاقة 40 ميغاوات (والتي كانت متوقفة) لتوليد هيدروجين أخضر يُستخدم إلى جانب الهيدروجين المنتج من الغاز الطبيعي في مصنع كيما 2 الحديث (Abd El Galil, 2022).

قطاع الحديد والصلب: تعطي الإستراتيجية أولوية متوسطة لمشروعات الحديد والصلب. ويعتمد هذا القطاع إلى حد ما على الهيدروجين لتحقيق إزالة عميقة للكربون (مع بدائل ممكنة جزئيًا عبر الكهرباء أو تقنيات احتجاز الكربون والتخزين CCS)، وتقدّر الإستراتيجية أن الفجوة الاقتصادية متوسطة نظرًا للحاجة إلى استثمارات رأسمالية كبيرة، مثل أفران جديدة تستعمل الهيدروجين الأخضر. التقنية حاليًا قيد التطوير ومن المتوقع أن تصبح متاحة بحلول عام 2030 أو نحوه. لذا يُنظر إليها كأولوية

هناك بعض المشروعات الموجهة لتغذية صناعات داخلية بالهيدروجين الأخضر عوضًا عن الوقود الأحفوري، وتصدير المنتجات كسلع نهائية الاستخدام وليست كمادة وسيطة، أو للاستخدام المحلي في حالة عدم توافر الغاز الطبيعي كوقود أو كمادة خام لسد العجز. تشمل هذه الصناعات إنتاج الأسمدة النيتروجينية (الأمونيا واليوريا)، والبتروكيماويات (كالميثانول والوقود الصناعي)، وصناعة الحديد والصلب عبر الاختزال المباشر (DRI)، وهي المكون الرئيسي من السلع التصديرية في مصر، لذلك يجدر الإشارة إلى أن وسمها بالاستخدام المحلي هنا يشير إلى استخدام الهيدروجين كمدخلات صناعة محلية، وليس للتصدير مباشرة.

حاليًا تعتمد هذه القطاعات بشكل كبير على الهيدروجين المنتج من الغاز الطبيعي (الهيدروجين الرمادي)، سواء في وحدات الأمونيا لإنتاج الأسمدة أو في مصافي النفط لعمليات الهدرجة وإزالة الكبريت، وأيضًا في مصانع الحديد التي تستخدم الغاز الطبيعي كمختزل. يخفض الهيدروجين التنظيف انبعاثات الكربون من هذه الصناعات بشكل كبير، مما يعزز تنافسيتها عالميًا مع تشديد معايير البصمة الكربونية على المنتجات. إضافةً إلى ذلك، يمكن للهيدروجين الأخضر أن يعمل كوقود حراري عالي الجودة في بعض العمليات الصناعية التي يصعب كهربتها، مما يوفر بديلًا نظيفًا عن الغاز أو الفحم مع المحافظة على درجات الحرارة العالية المطلوبة صناعيًا.

قطاع الأسمدة: يستخدم قطاع الأسمدة المصري حاليًا نحو 1 مليون طن سنويًا من الهيدروجين الرمادي كمادة لإنتاج الأمونيا. وتقييم الإستراتيجية الأمونيا الخضراء كأعلى أولوية حيث أنه لا يوجد بديل عملي لإنتاج أمونيا منخفضة الكربون سوى استخدام الهيدروجين الأخضر، كما تُقيم الفجوة الاقتصادية على أنها منخفضة نسبيًا خاصة للسوق التصديرية. يمكن استخدام الأمونيا الخضراء في مصانع الأسمدة القائمة دون تعديلات كبيرة، نظرًا لتوفر التقنية في الوقت الراهن. لذلك يُعد هذا التطبيق نقطة انطلاق رئيسية لمشروعات الهيدروجين في مصر (Advisian, 2024).

يُعد قطاع الأسمدة من أهم القطاعات الصناعية في سياق الاقتصاد المصري، لدوره في تلبية الطلب الزراعي المحلي وتحقيق إيرادات كبيرة من الصادرات. وتحتل مصر المرتبة السادسة عالميًا في إنتاج اليوريا وفقًا لتقييم وزارة البترول المصرية، بإنتاجية سنوية تتراوح بين 6.5 و7 ملايين طن، ما يمثل نحو 4% من الإنتاج العالمي المقدر بحوالي 170 مليون طن سنويًا. كما تُصنف كإحدى

3.6. استخدام الهيدروجين في توليد الكهرباء

يتضمن التوجه الإستراتيجي للهيدروجين في مصر استخدامه كأحد خيارات إزالة الكربون من قطاع الكهرباء، خاصة عبر الحرق المشترك (Co-firing) مع الغاز الطبيعي في محطات الدورة المركبة القائمة. تُقدّر الإستراتيجية الوطنية للهيدروجين أن استخدام الهيدروجين في توليد الكهرباء سيكون أحد التطبيقات المتوسطة إلى طويلة الأجل، بسبب التحديات التقنية والاقتصادية المرتبطة بكلفة الوقود ومحدودية العائد مقارنة بتطبيقات أخرى مثل إنتاج الأمونيا للتصدير. ومع ذلك، يمكن إدماج الهيدروجين الأخضر في محطات الكهرباء كخطوة نحو خفض الانبعاثات وتعزيز مرونة شبكة الكهرباء، لا سيما في ظل الفائض الكبير في القدرات المركبة حالياً، والذي تجاوز 25 جيجاوات مقارنة بالطلب الفعلي (Advisian, 2024).

وتُعد محطات سيمنز في مصر (البرلس، وبنى سويف، والعاصمة الإدارية الجديدة) مرشحة لهذا النوع من المشاريع. وقد بدأ بالفعل تنفيذ مشاريع تجريبية لإثبات قابلية تشغيل التوربينات الغازية في مصر باستخدام مزيج من الغاز والهيدروجين. في أكتوبر 2024، أعلنت وزارة الكهرباء المصرية عن مشروع في محطة البرلس الغازية، لتشغيل وحدتين غازيتين باستخدام خليط وقود يحتوي على 30% هيدروجين أخضر و70% غاز طبيعي. يتضمن المشروع إنشاء وحدة تحليل كهربائي لإنتاج الهيدروجين في موقع المحطة باستخدام مياه بحر مُحلاة (Daily News Egypt, 2024). ومن المتوقع أن يؤدي خلط 30% هيدروجين إلى تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنحو 10-15% لكل وحدة غازية (Siemens Energy, 2023).

وفي هذا الإطار، تُدرس أيضاً تجربة مماثلة في محطة بنى سويف، خاصة بعد الإعلان عن خطط لبيع حصة كبيرة منها لمستثمر أجنبي - قبل أن ترفض البنوك الألمانية الممولة لمشروعات سيمنز في مصر - مما يُعزز أهمية رفع جاهزيتها التقنية وقيمتها السوقية عبر إدماج تقنيات منخفضة الكربون (Sarf Today, 2023; Daily News Egypt, 2024).

تتسارع وتيرة إنجاز تلك التجارب في المرحلة الحالية مع سعي شركة سيمنز الألمانية الحثيث لبحث خلط الهيدروجين مع الغاز الطبيعي في توربيناتها دون تعديلات كبيرة. وتسعى شركة سيمنز إلى تعزيز مكانتها في سوق الحرق المزدوج للهيدروجين من خلال استغلال قدرات الثمانية توربينات من طراز 8000H-SGT5 التي تُستخدم في محطات كبرى منها البرلس وبنى سويف والعاصمة الإدارية (Siemens Energy, 2018)، والتي تمكّنها من تشغيل محطات الكهرباء بنسبة خلط تصل إلى 30% من الهيدروجين

للمدى المتوسط، أي بعد نجاح مشاريع الأمونيا الخضراء وربما بالتزامن مع توسع السوق.

ويُعد الحديد والصلب ثاني أكبر مستهلك حالياً للهيدروجين من بين قطاعات الصناعة المصرية، بعد الأسمدة، لكنه يعتمد بشكل أساسي على الهيدروجين الرمادي الناتج عن الغاز الطبيعي. ويُتوقع أن تبدأ شركات الصلب المحلية بدراسات وتجارب لخلط نسب متزايدة من الهيدروجين الأخضر مع الغاز الطبيعي في وحدات الاختزال (نزع الأكسجين من أكاسيد الحديد باستخدام الهيدروجين) لتقليل الانبعاثات. ولدى مصر أفضلية تقنية لأن كل إنتاج الحديد الإسفنجي الحالي فيها (في شركات حديد عز وحديد بشاي والسويس للصلب) يعتمد على الغاز الطبيعي، ما يعني إمكانية استبدال هذا الغاز جزئياً أو كلياً بالهيدروجين الأخضر بسهولة نسبية مقارنة بصناعات الصلب المعتمدة على أفران الصهر بالفحم (FEI/OECD, 2024).

بالنسبة للشركات المحلية، حتى الآن لم تظهر أخبار صريحة عن تحديث منشآتها أو تبنيها للهيدروجين الأخضر سواء كوقود أو في العمليات التصنيعية. ولكن صناعة الحديد والصلب كانت ضمن رؤية شركة سيمنز الألمانية للطاقة، التي وقّعت مذكرة تفاهم مع الشركة القابضة لكهرباء مصر لتطوير صناعة الهيدروجين الأخضر وتوفير البنية التحتية اللازمة لها، بما يشمل تطوير تجارب للاختزال بالهيدروجين الأخضر في مصانع قائمة بالفعل (MOERE, 2022a).

ولقد ظهرت بعض الأنباء عن عروض قدمها مستثمرون لدمج الهيدروجين الأخضر في صناعة الحديد والصلب من خلال عدة مشاريع قيد التنفيذ أو التخطيط، مثل مشروع مجموعة دانييلي الإيطالية المقترح لإنشاء مجمع صناعي متكامل لإنتاج الصلب الأخضر في مصر، باستثمار قدره 4 مليارات دولار. يضم المشروع وحدات لإنتاج الحديد الإسفنجي (الاختزال المباشر) وأنايب صلب غير ملحومة ومنتجات مسطحة، ويهدف إلى توجيه جزء كبير من الإنتاج للتصدير إلى أوروبا (Yermolenko, 2024).

كما وقعت مجموعة جنرال ستيل أند باور الهندية مذكرة لدراسة إنشاء مصنع حديد أخضر في المنطقة الاقتصادية يعتمد على الهيدروجين بسعة صغيرة تجريبية في البداية. يهدف الاتفاق إلى إنشاء مجمع للحديد والصلب في منطقة العين السخنة بقدرة إنتاجية 5 ملايين طن سنوياً موجهة للتصدير. ومن المخطط أن يُنفذ هذا المشروع على مرحلتين على مساحة تمتد بين 5 و7 ملايين متر مربع، بحيث يضم مرافق لإنتاج الصلب الأخضر وتوليد الطاقة الخضراء وإنتاج الهيدروجين النظيف اللازم للعمليات الصناعية (Zawya, 2023).

من شركات مثل Actis البريطانية و Edra الماليزية (Daily News Egypt, 2023). يزيد تشغيل المحطات بوقود أنظف مثل الهيدروجين من جاذبيتها الاستثمارية، إذ يُثبت هذا قدرتها على التكيف مع متطلبات التحول الطاقوي العالمي.

ثم إن هناك دوافع السياسات النقدية، في ظل النقص في العملة الصعبة، حيث يمكن توجيه جزء من إنتاج الهيدروجين للسوق المحلي عبر تعاقدات بالجنيه المصري؛ مما يُشجع المستثمرين المحليين ويقلل الالتزامات الحكومية بالعملة الأجنبية. وقد شاركت مؤسسات مصرية مثل المنطقة الاقتصادية لقناة السويس وصندوق مصر السيادي بالفعل وعدد من الشركات التابعة للوزارات المعنية بالطاقة في عدة مذكرات تفاهم مع شركات عالمية لإنشاء مشروعات هيدروجين أخضر للتصدير، ما يجعل بحث إمكانية توجيه جزء من الإنتاج محلياً ممكناً بعد تحديد حصص الشركات الحكومية.

الهيدروجين الأزرق: تُعرّف الإستراتيجية الهيدروجين الأزرق بأنه الهيدروجين المنتج من الوقود الأحفوري - عادة الغاز الطبيعي - عبر تقنية إعادة التشكيل بالبخار (SMR)، مصحوبة بأنظمة احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون (CCS) لخفض الانبعاثات. وتركز الإستراتيجية على الهيدروجين منخفض الكربون من الأخضر والأزرق بسبب توافر موارد الغاز الطبيعي في مصر، ووجود بنية تحتية جاهزة في المصانع والمصافي البترولية، بالإضافة إلى إمكانات تخزين ثاني أكسيد الكربون في التجوفات الجيولوجية لحقول النفط والغاز المستنفذة. يتوقف الهيدروجين الأزرق كخيار قابل للتنفيذ بشرط دعم الإطار التنظيمي وتقنيات الالتقاط والتخزين. وتوقع الإستراتيجية أن نضج وتطور السعة المناسبة لتقنيات التقاط وتخزين الكربون سيستغرق من 5 إلى 10 سنوات (Advisian, 2024).

بالرغم من أن البنية التحتية للوقود الأحفوري في مصر كبيرة من حيث احتياطات الغاز وشبكة الأنابيب الحالية، ومحطات الهيدروجين الرمادي المستخدمة في الصناعات كثيفة استهلاك الطاقة والخبرات المتراكمة في تلك القطاعات، إلا أنه من المستبعد تطور استخدام الهيدروجين الأزرق في مصر بشكل واسع وسط أزمة إمدادات الطاقة الحالية والتي حولت مصر من مصدر للغاز المسال أحياناً، إلى مستورد صافي للغاز. ومن المرجح أن مصر لن تمر بمرحلة انتقالية تشمل تبني تقنيات الالتقاط والتخزين التي ستستغرق تقريباً نفس الوقت لتطوير قدرات الطاقة المتجددة والهيدروجين الأخضر.

ولم يتم الإعلان حتى 2025 عن مشروع متكامل للهيدروجين الأزرق بغرض التصدير في مصر، إلا أن هناك جهوداً على مستوى الدراسات والمبادرات الأولية، أبرزها مذكرة التفاهم الموقعة عام 2021 بين الشركة القابضة للغازات الطبيعية (إيجاس) وشركة إيني الإيطالية لدراسة إنتاج الهيدروجين الأزرق باستخدام غاز حقل

الأخضر، مما يمنحها ميزة تنافسية في الأسواق الناشئة مثل مصر (Siemens Energy, 2025). كما يأتي هذا التوجه ضمن إطار التزام أوسع من قبل أعضاء اتحاد EUTurbines الأوروبي، الذين تعهدوا في يناير 2019 بتطوير توربينات غازية قادرة على العمل بنسبة 100% من الهيدروجين بحلول عام 2030، مما يتيح لسيمنز تسريع تنفيذ مشروعات الحرق المزدوج في مصر كجزء من إستراتيجية أوسع لتحويل البنية التحتية للطاقة نحو مصادر منخفضة الكربون (EUTurbines, 2019).

في السياق المحلي، تعاني منظومة الكهرباء المصرية حاليًا من عبء فائض كبير في القدرات الحرارية/المحطات التقليدية (Younes, 2019). أدى ذلك إلى تباطؤ ملحوظ في إدخال مشروعات الطاقة المتجددة الجديدة، وهو ما قلل الحوافز لزيادة سعة انتشار الطاقة الشمسية والريحية. ففي حين استهدفت مصر توليد 20% من الكهرباء من مصادر متجددة بحلول 2022، لم تتجاوز مساهمة الشمس والرياح 5% عام 2023 (MOERE, 2023). ويرتبط ذلك بتشغيل محطات عملاقة تعمل بالغاز، وعدم قدرة الشبكة على استيعاب مصادر متجددة إضافية في ظل الفائض (Daraj, 2022).

يترتب على ذلك تشغيل عدد من الوحدات بأقل من طاقتها أو إيقافها، مما يُهدر جزءًا كبيرًا من الاستثمارات الضخمة التي وُظفت في هذه المحطات. لهذا السبب، بدأت وزارة الكهرباء في دراسة حلول لتقليل هذا الهدر وزيادة كفاءة استغلال القدرات المركبة، ويُطرح استخدام الهيدروجين الأخضر كأحد هذه الحلول. من جهة، يمكن استخدام الفائض الدوري في إنتاج الكهرباء من المحطات أو المصادر المتجددة خلال فترات انخفاض الطلب لتشغيل وحدات تحليل كهربائي (Electrolyzers) وإنتاج الهيدروجين. ثم يُخزن هذا الهيدروجين لاستخدامه لاحقًا في فترات الذروة، مما يعيد تحويل الطاقة الكهربائية الفائضة إلى وقود نظيف يمكن الاستفادة منه، ويعزز في الوقت نفسه من مرونة الشبكة واستيعابها للطاقة المتجددة بطريقة غير مباشرة.

تبرز أهمية الهيدروجين كوقود بديل مستقبلي في إمكانية مزجه مع الغاز لتخفيف الاعتماد الكلي على الغاز الطبيعي، حيث يسمح وجود نسبة من الهيدروجين الأخضر في مزيج الوقود للمحطات بتوليد جزء من طاقتها دون استهلاك مكافئ من الغاز، مما يقلل الضغط على موارد الغاز، خاصة في أوقات الأزمات أو ارتفاع الأسعار. هذا التوجه مهم لمصر، حيث يعتمد توليد الكهرباء على الغاز بنسبة تتراوح بين 85% و 88% من مزيج الوقود المستخدم في المحطات (Mazid, 2024).

وهناك دافع مرتبط بخصوصية الأصول وجذب المستثمرين، إذ تدرس الحكومة منذ 2019 بيع حصص من محطات سيمنز ضمن برنامج الطروحات/ الخصخصة، وقد بدأ تنفيذ ذلك في 2023 ببيع 70% من محطة بني سويف لشركة دولية، وسط اهتمام

تقريبًا في حالة وجود المصانع في منطقة خليج السويس، بجانب وجود خبرات مصرية بمجال إنتاج الهيدروجين في قطاع البتروكيماويات والأسمدة. وهناك طلب مستقبلي متوقع مع اتجاه المنظمة البحرية الدولية (IMO) إلى تحقيق صافي انبعاثات صفرية من الغازات الدفيئة في قطاع الشحن الدولي بحلول عام 2050، مع تحديد نقاط تحقق مرحلية تشمل تقليل الانبعاثات بنسبة 20% على الأقل بحلول عام 2030 و70% على الأقل بحلول عام 2040 مقارنة بمستويات عام 2008 (IMO, 2025). وتتنافس شركات الشحن البحري على بناء محطات تزويد السفن بالوقود لضمان حصة من السوق الناشئ للهيدروجين. تم التعاقد على عدد من المشروعات لاستخدامات الشحن البحري مثل:

- **مشروع ميرسك:** تم توقيع اتفاقية إطارية مع شركة C2X التابعة لشركة ميرسك لتطوير مصنع لإنتاج 300 ألف طن سنويًا من الميثانول الأخضر خلال المرحلة الأولى، في منطقة قناة السويس، بتكلفة 3 مليار دولار ومن المتوقع تشغيله في 2027 أو 2028 (Hydrogen Insight, 2023).
- **مشروع سكاتك بورسعيد:** وقعت الهيئة العامة للمنطقة الاقتصادية لقناة السويس مذكرة تفاهم مع شركة سكاتك النرويجية خلال مؤتمر الأمم المتحدة لتغير المناخ كوب28 في ديسمبر 2023، تهدف إلى منح أول ترخيص لتزويد السفن بالوقود الأخضر في ميناء شرق بورسعيد. تبلغ تكلفة الاستثمار في هذا المشروع حوالي 1.1 مليار دولار، ويشمل إنشاء مصنع لإنتاج مائة ألف طن سنويًا من الميثانول الأخضر بحلول عام 2027، باستخدام محلل كهربائي بقدرة 190 ميجاوات مدعوم بطاقة متجددة من 317 ميجاوات من طاقة الرياح و140 ميجاوات من الطاقة الشمسية (Safety4sea, 2023).
- **مشروع سكاتك دمياط:** تم الاتفاق في مايو 2023 بين شركة الإسكندرية الوطنية للتكرير والبتروكيماويات (ANRPC) وشركة سكاتك النرويجية، بالتعاون مع الشركة المصرية للإيثانول الحيوي، على تطوير مشترك لإنشاء مشروع إنتاج الميثانول الأخضر في ميناء دمياط، بتكلفة 450 مليون دولار. يهدف المشروع إلى إنتاج 40 ألف طن سنويًا من الميثانول الأخضر، مع إمكانية زيادة الإنتاج إلى 200 ألف طن سنويًا. يتضمن المشروع إنشاء قدرات طاقة متجددة لا تقل عن 40 ميجاوات شمسية و120 ميجاوات لطاقة الرياح، بالإضافة إلى محلل كهربائي للهيدروجين الأخضر بقدرة 60 ميجاوات، ومحطة لتحلية مياه البحر، ومنشآت لإنتاج وتخزين الميثانول الأخضر. كما يشمل المشروع إنشاء أول محطة في مصر لتزويد السفن بالوقود الحيوي الأخضر (Offshore Energy, 2023).
- **مشروع إي دي إف وزيرو وايس:** تم توقيع اتفاقية إطارية بقيمة 7 مليارات يورو بين الحكومة المصرية وشركتي EDF الفرنسية وZero Waste الإماراتية لإنشاء مشروع لإنتاج

مليحة في الصحراء الغربية، مع إعادة حقن ثاني أكسيد الكربون في التكوينات الجيولوجية المجاورة (Eni, 2021). كما انطلقت أولى التجارب العملية في مايو 2022 حين وقّع وزير البترول والثروة المعدنية اتفاقية مع «إيني» لإطلاق مشروع تجريبي لاحتجاز وتخزين الكربون (CCS) في حقل مليحة النفطي بالصحراء الغربية، باستثمار قدره 25 مليون دولار. يستهدف المشروع حقن نحو 30 ألف طن من ثاني أكسيد الكربون سنويًا في المكامن الجيولوجية للحقل، مما يساهم في تقليل انبعاثات الحقل بما يقارب 63 ألف طن سنويًا (Energy Capital Power, 2022).

4.6. وقود للسفن للشحن البحري (الميثانول الأخضر)

يستهدف قطاع الشحن البحري العالمي وقودي الأمونيا الخضراء والميثانول الأخضر. حاليًا يُقدّر الطلب المحلي الضمني للهيدروجين في إنتاج الميثانول بحوالي 0.27 مليون طن/سنة، نظرًا لاعتماد صناعة الميثانول على الغاز الطبيعي لإنتاج الهيدروجين. وتصنّف الإستراتيجية الفجوة الاقتصادية لاستخدامات الميثانول الأخضر في الشحن البحري بالمتوسط وتعطي الإستراتيجية الميثانول الأخضر أولوية عالية ضمن التطبيقات المقترحة، حيث أن التقنية متاحة (إنتاج الميثانول الأخضر قائم على دمج هيدروجين منخفض الكربون مع ثاني أكسيد الكربون). جاهزية التنفيذ ممكنة قبل 2030 على نطاق تجاري محدود، مما يجعله مجالًا جاذبًا للاستثمار خصوصًا لإنتاج وقود للسفن (Advisian, 2024).

وتتملك مصر مزايا جغرافية تؤهلها لأن تصبح من موردي الوقود البحري، مستفيدة من موقعها الإستراتيجي على البحرين الأحمر والمتوسط وقناة السويس كممر ملاحى عالمي بينهما. كما أن مصر تمتلك صناعة بتروكيماويات قديمة (اشتقاق البترول والوقود من خام الزيت). وقد تم بالفعل تزويد أول سفينة حاويات في العالم في ميناء بورسعيد المصري في 15 أغسطس 2023. تم تزويد هذه السفينة بوقود الميثانول الحيوي، الذي تم إنتاجه من الغاز الحيوي المستخرج من نفايات عضوية، عبر عملية تحويل الغاز الحيوي إلى البيوميثان ثم استخدامه لإنتاج الميثانول الأخضر (Hydrogen Insight, 2023). كما أطلقت الحكومة المصرية مبادرة «تحالف الوقود الأخضر» بالتعاون بين وزارتي النقل والكهرباء، بهدف إنتاج الأمونيا الخضراء بتكلفة تنافسية لاستخدامها كوقود بديل للسفن (Safety4sea, 2025).

لا يوجد استخدام يُذكر للهيدروجين في الشحن حاليًا في مصر أو عالميًا بعد، ويعتبر استخدام الهيدروجين في الشحن البحري أقرب التطبيقات للتحقق على المدى القصير بسبب اقتصار سلاسل إمداده على الإنتاج والتخزين في نفس الموقع

الهيدروجين الأخضر في رأس شقير بالبحر الأحمر، يهدف إلى إنتاج مليون طن من الأمونيا الخضراء سنويًا لتزويد السفن بالوقود النظيف (Hydrogen Insight, 2025).

5.6. وقود الطيران المستدام (SAF)

تضع الإستراتيجية وقود الطيران المستدام (SAF) القائم على الهيدروجين كخيار أساسي لخفض انبعاثات الطيران. حاليًا لا يُستخدم الهيدروجين أو مشتقاته في قطاع الطيران بمصر، لكن من المتوقع بدء ظهور الطلب قبل 2030 بقليل مع تطوير وقود مستدام يعتمد على الهيدروجين (مثل الإيثانول أو الكيروسين الاصطناعي). وتُقدر الإستراتيجية أن الهيدروجين هو البديل منخفض الكربون الوحيد عمليًا لرحلات المسافات الطويلة، رغم ارتفاع تكلفته، لذا تعطيه أولوية عالية ضمن المدى البعيد لقطاع الطيران. يتوافق هذا القطاع الناشئ مع التزامات شركات الطيران العالمية لخفض البصمة الكربونية، للوصول إلى نسبة 2% من مزيج الوقود المستدام بحلول عام 2025، على أن ترتفع هذه النسبة إلى 70% بحلول عام 2050 (Samir, 2024).

ولقد شهدت مصر خطوة أولى بإجراء دراسة جدوى بالتعاون مع شركة هانيويل (Honeywell) والبنك الأوروبي لإعادة الإعمار والتنمية لاستخدام تكنولوجيا هدرجة متقدمة (Hydrotreating) لتحويل الزيوت المستعملة إلى وقود نفاث مستدام. ويتوقع أن يكون قطاع وقود الطيران ضمن المرحلة الثانية من اقتصاد الهيدروجين المصري. وتراه مصر فرصة اقتصادية وفق الرؤية العامة بأن تكون مركزًا إقليميًا لتزويد شركات الطيران بالوقود النظيف في أفريقيا والشرق الأوسط (Yasser, 2025).

كما أنشأت مصر شركة وقود الطيران المستدام (ESAF) بهدف دعم التحول باتجاه تقليل الانبعاثات الكربونية في قطاع الطيران. وتتكون ملكية المشروع من حصة 85% لشركات قطاع النفط والغاز المصرية العامة، وحصة 15% للقطاع الخاص، تحت إشراف الشركة القابضة للبتروكيماويات (إيكم). ستعتمد الشركة على معالجة زيوت الطهي المستخدمة كمادة خام وتحويلها إلى نحو 120 ألف طن سنويًا من وقود الطائرات، باستثمارات تقدر بحوالي 530 مليون دولار، مع بدء الإنتاج خلال السنوات القليلة المقبلة بالقرب من ميناء الدخيلة في الإسكندرية (Egypt Today, 2025). وهناك مباحثات مع شركة (Technip Energies) الإيطالية لاستكشاف إنتاج وقود الطيران القائم على الهيدروجين الأخضر في مصر (Fuel Cells Works, 2025).

7. أطر سياسات الهيدروجين

اختصارًا (NCGH) – لمتابعة تنفيذ الإستراتيجية وتمكين التنسيق بين الجهات. يهدف المجلس إلى توحيد جهود الدولة لتحفيز الاستثمار في قطاع الهيدروجين الأخضر وفقاً لخطط التنمية المستدامة، وضمان تنافسية مصر إقليمياً ودولياً، وإزالة المعوقات أمام الاستثمارات (Alborsa News, 2023).

يتوافق هذا التوجه مع طموح مصر لأن تصبح مركزاً إقليمياً لتجارة منتجات الطاقة – رغم الأزمة الحالية في عجز إمدادات الطاقة محلياً – والذي بدأ مع اكتشافات منطقة غاز المتوسط، وفرصة تصديره إلى أوروبا عبر بوابة مصر بدعم من الاتحاد الأوروبي لدور مصر في أن تصبح مركزاً للنفط والغاز في المتوسط (EU, 2018). وبعد ذلك جرى توقيع مذكرة التفاهم الثلاثية بين الاتحاد الأوروبي ومصر وإسرائيل (يونيو 2022)، لتسهيل تصدير الغاز المسال عبر محطتي إدكو ودمياط وشحنه إلى أوروبا ضمن إستراتيجية الاتحاد لتعويض الإمدادات الروسية (EU, 2022)، وهو الطموح الذي تحقق جزئياً خلال جائحة كورونا، وبداية الغزو الروسي لأوكرانيا. بينما لم تتمكن مصر من تحقيق الاستمرارية في هذا المضمار في ظل أزمة تراجع إمدادات ومخزون حقل ظهر.

ولعب التعاون الحكومي المصري الأوروبي الدور الأبرز في صياغة سياسات قطاع الطاقة في العقد الأخير، فقد أعلنت إستراتيجية مصر للطاقة عام 2035، تحت إطار مبادرة المساعدة الفنية لدعم إصلاح قطاع الطاقة (TARES) وهو برنامج لتحسين كفاءة الطاقة في مصر عام 2016 (EU, 2016). كما جاء التركيز المبكر نسبياً على طموح الطاقة المتجددة في الإستراتيجية بعد الاتفاق مع الولايات المتحدة الأمريكية وألمانيا خلال مؤتمر المناخ كوب27 نهاية عام 2022 ضمن برنامج نوفي NWEF، لتمويل تقاعد 5 جيجاوات من المحطات التقليدية الحرارية خلال 2025، وبناء 10 جيجاوات من الطاقات الشمسية والريحية حتى عام 2028 (EBRD, 2023; MOIC, 2022).

هذا التعاون امتد لصناعة الهيدروجين، عبر أطر الشراكة الأوروبية-المصرية للهيدروجين المتجدد الموقعة خلال قمة المناخ كوب27 في نوفمبر 2022. تهدف الشراكة إلى دعم تطوير صناعة الهيدروجين الأخضر في مصر والبنية التحتية اللازمة، وتشجيع الاستثمارات الأوروبية، وتمهيد الطريق أمام تصدير الهيدروجين ومشتقاته من مصر إلى أوروبا (EU Commission, 2022). وفي

طورت إستراتيجية الهيدروجين المنخفض الكربون في مصر كإستراتيجية قطاعية صناعية. كما أن الجوانب الخاصة بالاستخدام الداخلي ذات الإمكانية المرتفعة للتحقق مثل الأمونيا والميثانول في صناعتي الأسمدة والشحن البحري ليست موجهة إلى الاستخدام الداخلي. ولقد بُنى التوجه التصديري على طلب عالمي. ومن المرجح أن يكون الإنتاج الكهربائي لصناعة الهيدروجين معزول، واستخدام الشبكة شبه معزول أي أنه من المحتمل أن يبيع فوائض الإنتاج المتجدد ولا يشترى من الشبكة القومية.

يخلق هذا الوضع صناعة جديدة بالمقام الأول، وفرصة للانتقال الطاقوي على المدى البعيد بالمقام الثاني – ستكون مشروطة بالوضع الاقتصادي والقدرة على توطين الصناعات – وهو ما تحتاجه الحكومة المصرية في اللحظة الحالية التي ترتفع فيها تكلفة الاستثمار والتمويل بشكل كبير. هذا يدفع مصر إلى الدخول في اقتصاد الهيدروجين بحماس كبير لاحتماالية حدوث تدفقات مالية من فرص الاستثمار المطروحة، ولذلك وفرت الحكومة المصرية الأراضي عالية الجودة والبنية التشريعية المحفزة لاقتصاد الهيدروجين في اللحظة الحالية، وإعفاءات سخية في سبيل تقليل المخاطر لهذا الاقتصاد الناشئ.

فقد تم إقرار قانون خاص لتحفيز مشروعات إنتاج الهيدروجين الأخضر ومشتقاته، هو القانون رقم 2 لسنة 2024، والصادر في يناير 2024. ينص هذا القانون على تقديم حزمة حوافز استثمارية للمشروعات التي تبرم اتفاقيات في أول خمس سنوات من تاريخ إصدار القانون، من أبرزها حافز نقدي يسمى «حافز الهيدروجين الأخضر»، يعادل من 33% إلى 55% من قيمة ضريبة الدخل المستحقة على المشروع، يتم صرفه بعد بدء التشغيل التجاري. كما يتضمن القانون إعفاءات جمركية وضريبية على استيراد المعدات والآلات اللازمة للمشروعات. كذلك خفض رسوم استخدام الموانئ بنسبة 30%، ورسوم حق الانتفاع بأراضي المشروعات بنسبة 25%، ورسوم ترخيص التخزين بالموانئ بنسبة 20%. هذا فضلاً عن اعتبار مشروعات الهيدروجين من المشروعات الإستراتيجية المتميزة، مما يخولها الحصول على الرخصة الذهبية (أي الموافقة الموحدة السريعة) بقرار من مجلس الوزراء.

كما أصدر رئيس الوزراء قرار رقم 3445 لسنة 2023 في سبتمبر 2023 بإنشاء المجلس الوطني للهيدروجين الأخضر ومشتقاته –

يعمل مباشرة في صالح المستهلكين الأكبر، وهو ما سيدفع الدول المرشحة للتنافس على أشكال الدعم وسبل تقليل المخاطر في مضمار سباق التصدير. هذا الإطار مُشيدٌ حول مركزية اتحاد دول صناعية (اتحاد المستهلكين الأغنى) في تعامل مع منتجين متفرقين من دول نامية ضعيفة الاقتصادات نسبياً، تتنافس بشراسة على تصدير مواردها و تحملها عبء تخفيض الانبعاثات وإزالة الكربون في دول المركز. هذا التوجه التصديري التنافسي لا يتحرى البناء التكاملي أو فتح قنوات الاتصال بين الدول المُصدرة وبعضها البعض، لتكوين رابطة للمنتجين تفاوض الاتحاد الأوروبي أو الشمال العالمي مثلاً بشكل جماعي لترشيد استهلاك مواردها، أو للتفاوض على منافع مجتمعية تخدم انتقال البلدان المحلي إلى الطاقة الخضراء مثل التمويل الميسر ونقل التكنولوجيا.

إن معظم المنافع التي تحصل عليها الدول النامية من المبادرات والمنح الممولة دولياً في قطاع الطاقة تساهم في نفاذ الممولين إلى المعلومات والتأثير على السياسات العامة في تلك القطاعات. في حالة مصر، تتجه كل برامج المساعدات والمبادرات التنظيمية في قطاع الطاقة إلى التأثير على السياسات الإستراتيجية في القطاع. على سبيل المثال، برنامج مبادرة المساعدة الفنية الأوروبي لدعم إصلاح قطاع الطاقة (TARES) مثل مظلة لإطلاق إستراتيجية الطاقة المصرية 2035، وأطلقت إستراتيجية الهيدروجين منخفض الكربون بدعم البنك الأوروبي لإعادة الإعمار والتنمية.

نفس الوقت، وقعت مصر وألمانيا إعلاناً نوايا لدعم التعاون في مجالي الغاز الطبيعي والهيدروجين الأخضر، مع تركيز خاص على تطوير القدرات الإنتاجية والتكنولوجية لمشروعات الهيدروجين الأخضر في مصر (SIS, 2022; Baker McKenzie, 2023). تبع ذلك إطلاق الشراكة المصرية-الألمانية للهيدروجين الأخضر في عام 2023 ضمن إطار عمل لجنة الطاقة المشتركة (JCEE)، بتمويل من وزارة الاقتصاد الألمانية وتنفيذ وكالة التعاون الدولي الألمانية (Climate and Energy Partnerships, 2023).

تقع تلك الاتفاقات المباشرة في قطاع الطاقة تحت مظلة من الاتفاقات والشراكات طويلة الأمد. تشمل هذه الأطر اتفاقية الشراكة الأوروبية-المتوسطة (اتفاقية الشراكة بين مصر والاتحاد الأوروبي) الموقعة أواخر التسعينيات، والتي أرسى مبادئ عامة لا تزال تشكل الإطار الحاكم للتعاون في مجال الطاقة النظيفة بين مصر والاتحاد الأوروبي حتى اليوم، وفقاً للبيانات الحكومية والرئاسية المصرية.³ إضافة إلى مبادرات أحدث كالبوابة العالمية للاتحاد الأوروبي (Global Gateway) عام 2021، للاستثمار الدولي في البنية التحتية، وهي استثمارات تصل إلى 300 مليار يورو بحلول عام 2027، مع التركيز على الطاقة المتجددة والهيدروجين الأخضر (European Commission, 2021). توفر البوابة لمصر إطار تعاون وتمويل لدعم مشاريع الطاقة النظيفة، مثل الربط الكهربائي مع أوروبا عبر مشروع GREGY لتصدير 3 جيجاوات من الطاقة المتجددة من مصر إلى اليونان، وإنتاج الميثانول بالإضافة إلى مشروعات إنتاج الوقود الأخضر للنقل البحري وبرامج تقليل الانبعاثات الصناعية، في إطار خطة الاستثمار الأوروبية للجوار الجنوبي (EU Neighbours South, 2025).

تلك الاتفاقات التي عقدها مصر مع الاتحاد الأوروبي هي امتداد لاتفاقات أخرى مع دول مرشحة لاستضافة مشروعات الهيدروجين الأخضر في شمال أفريقيا وفي الجنوب العالمي لبناء سوق تنافسي بين تلك البلدان المرشحة. هذا التوجه التنافسي

3 Presidency of the Arab Republic of Egypt.(2022). COP 27 press release. <https://www.presidency.eg/ar/-/مؤتمرات-والفعاليات-والمؤتمرات-مؤتمر-الأطراف-لاتفاقية-الأمم-المتحد-cop2720/2022-11-07-;> Mediterranean Green Electrons and Molecules Network.(2024). Empowering Egypt: Fuelling the Future with Green Hydrogen Investments. <https://med-gem.eu/NationalConsultationWorkshop-Egypt>

8. استدامة وعدالة الانتقال الطاقي في نموذج الهيدروجين

الأوروبية، بالإضافة إلى الدعم والتحفيز المالي كما جاء في القانون التحفيزي لصناعة الهيدروجين. في المقابل تتوقع مصر أن يساهم اقتصاد الهيدروجين في نمو عائدات التصدير، ونقل التكنولوجيا دون عبء تمويلي كبير، وفقاً للقانون رقم 2 لسنة 2024 الذي يشترط بدء التشغيل التجاري خلال خمس سنوات من توقيع الاتفاقيات للحصول على الحوافز المقدمة، مع ضرورة ألا تقل نسبة التمويل الأجنبي عن 70%، واستخدام مكونات محلية بنسبة لا تقل عن 20% متى توفرت، والإسهام في نقل التكنولوجيا وتدريب العمالة المصرية، ووضع خطة للمسؤولية المجتمعية.

تُبنى سياسات اقتصاد الهيدروجين حالياً على التصدير إلى الاتحاد الأوروبي. كما تتكيف الصناعات المحلية مثل الأسمدة والبتروكيماويات والصلب للتوافق مع شروط آلية تعديل حدود

يأتي الهيدروجين بفرص وتحديات كبيرة من الجانب التقني، ويقتصر النظر إليه في المرحلة الأولية كونه حلاً تخفيفياً للانبعاثات أو كونه فرصة استثمارية فقط، دون اعتبار جدي للأبعاد الأعمق في التحول الطاقي على المستوى الوطني. يُبنى نموذج اقتصاد الهيدروجين في إطار أوسع من التفاعلات التجارية والسياسية والتنموية، حول عاملين رئيسيين وهما تبادل وتجارة التكنولوجيا الحديثة لإنتاج الطاقة المتجددة والتحليل، إضافة إلى الموارد الطبيعية مثل تخصيص الأراضي ذات الجودة الطاقية المرتفعة.

في هذا النموذج سيكون دور مصر هو تصدير الطاقة الأولية عبر استخدام الموارد الطبيعية مثل الأراضي والمياه، وبناء نموذج منعزل داخلياً في منطقة اقتصادية حرة، كجزء من سياسة تقليل المخاطر لصناعة الهيدروجين، وتلبية المتطلبات التنظيمية

الجدول 5: مقارنة بين متوسط المساحات المطلوبة لسيناريو 50/50 وسيناريو 30/70

السيناريو	القدرة المتجددة (جيجاوات)	المساحة المتوسطة (كم ²) - 50/50	المساحة المتوسطة (كم ²) - 30/70
المركزي 2030	19	1852	1264
الأخضر 2030	29	2828	1929
المركزي 2040	72	7020	4788
الأخضر 2040	90	8775	5985

الجدول 6: الطلب المتوقع على المياه المحلاة نتيجة إنتاج الهيدروجين الأخضر في مصر (2030-2040)

السيناريو/ الإنتاج السنوي	إنتاج هيدروجين 2030 (مليون طن)	مياه 2030 (مليون م ³)	إنتاج هيدروجين 2040 (مليون طن)	مياه 2040 (مليون م ³)
المركزي	1.5	15.2	5.8	58.6
الأخضر	3.2	32.4	9.2	93.0

مُسعرةً بيئيًا ومجتمعيًا. فمع السعي لتعظيم حصيلة العملة الصعبة من صادرات الغاز المُسال خلال 2021-2022 بعد ارتفاع أسعاره العالمية بسبب الحرب الروسية-الأوكرانية، بدأت شركات إنتاج الكهرباء بتشغيل وحدات بخارية بمزيج وقود يشمل زيت الوقود الثقيل (مازوت) لتحرير كميات أكبر من الغاز للتصدير (Salah, 2021). وتُظهر بيانات شهر ديسمبر عام 2021 زيادة الاعتماد على المازوت بنسبة 620% مقارنةً بنفس الشهر في عام 2020 (Economy Plus, 2022). وبلغ نصيب المازوت 20.95% من إجمالي وقود التوليد في 2022، وهو أعلى مستوى منذ عام 2017 (Reuters, 2022a). كما اعتمدت الحكومة المصرية سلسلة من الإجراءات التنظيمية مثل تقنين ساعات تشغيل عدد من المنشآت الصناعية والمباني الحكومية، وفرض برنامج ترشيد للكهرباء، وتعديل أسعار الكهرباء المؤقتة لتحفيز خفض الاستهلاك خلال ساعات الذروة (Reuters, 2022b). وقفزت عوائد صادرات الغاز والغاز المُسال إلى نحو 8 مليارات دولار في السنة المالية 2022/2021، ثم بلغت قرابة 8.4 مليارات دولار في عام 2022 (Reuters, 2022c).

إحلال الغاز الطبيعي بالمازوت كانت له آثار سلبية على عدة مستويات. أولاً، من الناحية البيئية: ترتفع كثافة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنحو 38% عند الانتقال من الغاز الطبيعي (56.1 طن CO₂/تيرا جول) إلى المازوت (77.4 طن CO₂/تيرا جول) وفق عوامل الانبعاث المعيارية (IPCC, 2006). كما ترتفع نسب ملوثات الهواء المحلية، خاصة أكاسيد الكبريت والجسيمات الدقيقة، حسب أدلة الوكالة الأوروبية للبيئة، والتي يترتب عليها أعباء صحية على السكان (EEA, 2023). ثانيًا، من منظور تشغيلي: يرتبط احتراق المازوت في الغلايات البخارية بترسبات تُسرّع التآكل عالي الحرارة، ما يستلزم دورات تنظيف وصيانة أكثر تكرارًا ويؤثر على جاهزية الوحدات (Barroso & Barreras, 2004). يتسق هذا أيضًا مع التقارير التشغيلية المحلية التي أشارت إلى زيادة تكلفة أعمال الصيانة عند تشغيل المازوت مقارنةً بالغاز (Masrawy, 2021).

الكربون (CBAM) الأوروبية، ما يجعل التحول الطاقى في صناعة الهيدروجين ومشتقاته امتداداً للتحول الطاقى العالمي أولاً قبل الانتقال المحلي الذي يأتي كأولوية ثانية.

هذا النموذج يستهدف تصدير الهيدروجين بشكل أولي، وتوجيه فوائض إنتاج الهيدروجين ومشتقاته ومدخلاته من الطاقة الكهربائية المتجددة محليًا بشكل ثانوي، عوضًا عن نموذج تصدير الفوائض الطاقية المعمول به تاريخيًا في مصر. على عكس الاقتصاد الأحفوري الذي يستهلك الموارد الأرضية بشكل رأسي، كثيف الانبعاثات والتلوث البيئي، والموجه للاقتصاد المحلي أولاً والتصدير ثانيًا، سيستحوذ اقتصاد الهيدروجين كثيف استخدام الأراضي - والمياه - على مساحات أفقية كبيرة - وتنافسية مع الكهرباء المحلية في ظل الوضع القائم وسيوجه للسوق الدولي أولاً والمحلي ثانيًا.

هذا النهج يقوض استدامة اقتصاد الهيدروجين الموجه للتصدير ونمو إنتاج الطاقة محليًا لأنه ينطلق من وضع تنافسي على الموارد المتاحة في سلسلة إمداد تبدأ من موقع وجود الأرض، والطاقة المتجددة، والمياه. كما يتحمل البلد المستضيف في هذه الحالة العبء البيئي والاجتماعي لاستخدامات تلك الموارد من الآثار البيئية المحتملة في بناء وتشغيل وتكهين واحات الطاقة ومصانع الهيدروجين، والصرف المالح الذي ينتج عن التحلية وأي مواد كيميائية مستخدمة. لذا، فإن استمرار هذا النهج دون سياسات عادلة ومتوازنة بين التصدير والانتقال المحلي، ينذر باحتمالية تحويل مصر إلى «واحة طاقة» خضراء تصدر القيمة وتستورد الأثر البيئي والاجتماعي.

1.8. الآثار المحلية لسياسات التصدير

تُظهر تجربة مصر أن التوجه السياسي التفضيلي لتصدير الغاز الطبيعي مقابل الاستخدام المحلي يؤدي إلى تكلفة محلية غير

2.8. البعد الاجتماعي المحلي

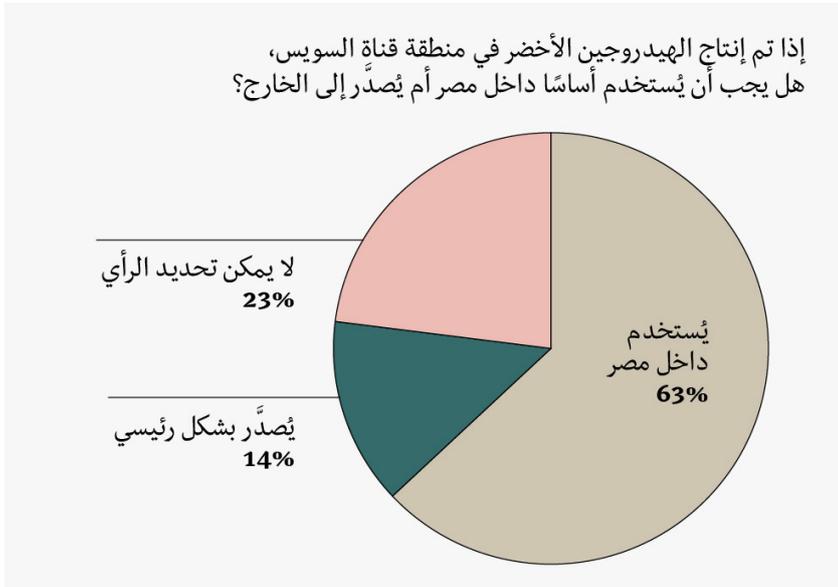
بينت دراسة ميدانية في محطة أسيوط الحرارية (الوليدية) أن رماد احتراق زيت الوقود الثقيل يحتوي تراكيز عالية من النويدات المشعة الطبيعية مقارنة بالزيت الخام، تفوق المتوسط العالمي بمعاملات أكبر تزيد على عشرات المرات، ما عرض السكان والعمال لمخاطر صحية مرتبطة بالإشعاع (El-Gamal et al, 2013). كما اشتكى أحد المزارعين من تلوث الري بمياه النيل المختلطة بمياه صرف محطة المازوت، التي قلصت إنتاجية أرضه وأفسدت الثمار (Mounir, 2022).

هذه الحقائق تُبين أن سياسة التصدير خلال أزمة 2022 حققت مكسباً سريعاً، لكنها ساهمت في تصعيد عبء بيئي وتشغيلي واجتماعي داخلي، إذ صدرت الدولة القيمة بينما تم استيراد الأعباء. ولضمان انتقال عادل ومستدام في اقتصاد الهيدروجين الأخضر يجب أن يكون التصدير مقيماً بأولوية محلية واضحة، مثل: ضمان أولوية التغطية المحلية بالكهرباء النظيفة، وفرض حصص إنتاج محلي للهيدروجين، وآليات تربط التصدير بمؤشرات موثوقة للأمن الطاقوي وجودة الهواء.

يُظهر الجدول أن تعديل المزج لصالح الطاقة الشمسية يقلل المساحات المطلوبة بنسبة تقارب 30%–35% في جميع السيناريوهات، ما يعد مكسباً محتملاً من حيث كفاءة استخدام الأرض. غير أن هذا الخيار يواجه تحديات إضافية تتعلق بشبكات نقل الكهرباء لمسافات طويلة، نظراً لتركز مواقع الطاقة الشمسية عالية الجودة في الجنوب (مثل بنبان وكوم أمبو)، بينما تتركز منشآت التحليل الكهربائي وموانئ التصدير في منطقة خليج السويس. ما يرفع من التكلفة الكلية للنقل والتوزيع بسبب زيادة الحاجة إلى البنية التحتية للنقل.

تكفي المساحات التي خصصتها مصر لمشروعات الطاقة المتجددة وفقاً لأحدث التقارير الحكومية، والتي بلغت أكثر من 40 ألف كم مربع نظرياً لكل سيناريوهات إنتاج الهيدروجين ومشتقاته (NREA, 2024). ولكن هذا يطرح سؤالاً حول عدالة توزيع المناطق وفقاً للاستخدامات المحلية أو التصديرية. حتى الآن التوجه هو تفضيل المواقع ذات الجودة العالية (تكلفة أقل) لمشروعات الهيدروجين للتصدير وهو ما تطمح إليه الحكومة

الشكل 7: تفضيلات سكان السويس وبورسعيد بشأن تصدير الهيدروجين الأخضر أو استخدامه محلياً



المصدر: التعاون في مجال الهيدروجين الأخضر بين مصر وأوروبا: منظور السكان المحليين في السويس وبورسعيد. المجلة الدولية لطاقة الهيدروجين، 2024

المصرية حالياً في ظل الظروف الاقتصادي الصعب. ولكن يجب أن تؤخذ في الاعتبار مآلات هذا الوضع من ناحية الاستدامة على المدى الطويل. من الناحية البيئية، قد يؤدي الوضع المنعزل والتفضيلي لتصدير الهيدروجين إلى زيادة الاعتماد على الوقود الأحفوري محلياً في اللحظة الراهنة، ما يعني زيادة الانبعاثات وتلوث الهواء. ومن الناحية الاجتماعية يجب تحديد تأثير ارتفاع تكلفة الأسمدة الخضراء على المزارعين المحليين في ظل تفضيل مصانع الأسمدة المحلية تصدير منتجاتها «الخضراء» لتغطية التكاليف الرأسمالية والتي غالباً ما ستكون بالعملة الصعبة.

3.8. الأراضي

يحتاج طموح إستراتيجية الهيدروجين طلباً كبيراً على موارد الأرض، من أجل بناء قدرات متجددة تبلغ 19 جيجاوات و29 جيجاوات بحلول 2030، و72 جيجاوات و90 جيجاوات بحلول 2040 لمساري المركزي والأخضر على الترتيب (Advisian, 2024). بما أن الوثيقة لا تحدد نسب المزج بين الشمس والرياح، نفترض تقسيمين: 1-متساوي 50% شمسية كهروضوئية و50% رياح برية؛ 2- 70% شمس – 30% رياح (ذات بصمة أرضية أقل) لأغراض تقدير مساحات الأرض اللازمة.

تمثل التقديرات التالية أرقاماً مرجعية

تقريبية، إذ تختلف المساحات المطلوبة فعلياً تبعاً للموقع، وكفاءة التصميم، وحجم التكنولوجيا المستخدمة، مثل البصمة الأرضية واسعة النطاق في مشروعات الرياح البرية نظراً لاتساع نطاقات الفصل بين التوربينات. وتم حساب المساحات وفق تقرير «مسار الهيدروجين» المحدث من وكالة الطاقة الدولية (IEA, 2023)، حيث تعادل الكثافة المتوسطة للمزيج 50/50 نحو 97.5 كم²/جيجاوات، وتنخفض إلى 66.5 كم²/جيجاوات في حالة 70/30 شمس - رياح، بفضل الكثافة الأرضية المنخفضة نسبياً للطاقة الشمسية.

الجنوبي (The SouthH2 Corridor)، وهو خط أنابيب يربط شمال أفريقيا عبر تونس بإيطاليا ثم النمسا وألمانيا، بينما لا يوجد مشروع مماثل يربط مصر بأوروبا في الأجل القريب (SouthH2 Consortium, 2025).

يعكس الوضع الحالي أن النقل البحري لمشتقات الهيدروجين هو الطريق المربح لمصر على المدى القصير، نظرًا لاستعداد البنية التحتية في الموانئ وجاهزية منطقة قناة السويس. لكن هناك مخاطرة مستقبلية تتمثل في احتمالات تراجع القدرة التنافسية في حال توفر أنابيب مباشرة من المنطقة المغاربية، ما سيضغط على سعر التصدير البحري لمصر، ما لم تخلق رابطة لمنتجاتي الهيدروجين في الشمال الأفريقي. لذلك، يتوجب على مصر دراسة مسار المزج بالهيدروجين ضمن الشبكة القومية للغاز كخيار إستراتيجي على المدى المتوسط، يؤمن الطاقة المحلية ويقلل الانبعاثات.

6.8. التكلفة

تشير توقعات الوكالة الدولية للطاقة المتجددة إلى أن التحول من الاعتماد على الوقود الأحفوري إلى الطاقة المتجددة سيغير بشكل جذري طبيعة التجارة الطاقية ومواقعها الجغرافية. وبمرور الوقت، سيتحول التركيز من تبادل الموارد الطاقية التقليدية إلى تبادل تكنولوجيا الطاقة النظيفة، إلى جانب مكوناتها والمواد الأولية اللازمة لها. وبصاحب هذا النمو في التجارة والاستثمار إعادة تشكل في أنماط الترابط الدولي، تختلف عن علاقات منظومة الطاقة التقليدية القائمة على الهيدروكربونات خلال القرن العشرين (IRENA, 2022).

من ناحية التكاليف التشغيلية، تشير معظم النماذج التحليلية لمنظومة إنتاج الهيدروجين إلى أن الكهرباء تعد أعلى مكون تكلفة ضمن إنتاج الهيدروجين منخفض الكربون، متجاوزة التكاليف الرأسمالية والتشغيلية الأخرى مثل وحدات التحليل أو التخزين، وذلك لاعتماد النظام بشكل شبه كامل على الكهرباء المتجددة كمدخل أساسي (IEA, 2023)، وهو ما توفره مصر بأسعار تنافسية تصل إلى 2.59 - 3.11 يورو/كيلوجرام، من نموذج الإنتاج في الإسكندرية وهو نموذج قابل لخفض التكلفة في مواقع ذات جودة سطوع شمسي أو رياح أعلى (UNIDO, 2023).

ومن ناحية التكاليف الرأسمالية، ستركز التجارة على التكنولوجيا النظيفة؛ ما يعني تكاليف رأسمالية مرتفعة. حاليًا، مع توجه التصديري الذي تريد به مصر اقتناص حصة من السوق المحتمل، لتعزيز صادراتها المقومة بالعملة الأجنبية لسد عجز الميزان التجاري على المدى القريب والمتوسط، فقد يؤدي هذا إلى زيادة تكلفة الانتقال الطاقى المحلي مرتفع المخاطر مقابل النظام التصديري منخفض المخاطر نسبيًا.

فمن المحتمل أن ينشأ مساران مختلفان تمامًا لتمويل الطاقة

ويجب أن تُطرح مسألة الأرض كقضية أكبر من حسابات المساحة التقنية، كملف حوكمة أراضي يطرح التساؤلات حول كيفية تنظيم الدولة للمواقع المشتركة مع المجتمعات النائية، وكيف تُوزع عوائد التصدير للانتقال الطاقى محليًا، فضلًا عن التساؤلات حول تلبية الاحتياج المائي.

4.8. المياه

ستعتمد مصانع الهيدروجين على تحليل المياه المالحة لتوليد الهيدروجين، بسبب ندرة المياه العذبة. تصنّف مصر بين أكثر عشر دول في العالم معاناةً من الإجهاد المائي الشديد وفق مؤشر الإجهاد المائي الأساسي الصادر عن معهد الموارد العالمي (WRI, 2023)، فيما تظهر قاعدة بيانات الأمم المتحدة أن استخدام المياه يصل إلى 141% من الموارد العذبة المتجددة، أي «إجهاد مائي حرج» (UN, 2024). هذا الوضع يعكس فجوة مستدامة بين موارد متاحة تقارب 60 مليار م³ سنويًا وطلب يناهز 114 مليار م³. يُغطى العجز بإعادة استخدام نحو 21 مليار م³ من مياه الصرف واستيراد منتجات غذائية تمثل 33.5 مليار م³ من المياه الافتراضية (Ahran Online, 2025).

وتضيف إستراتيجية الهيدروجين الأخضر طلبًا جديدًا على المياه المحلاة. باستخدام معامل استهلاك 10.11 لتر ماء/كجم هيدروجين (Oeko-Institut, 2024). ويمكن تلخيص توقعات الاحتياج المائي على النحو التالي.

لتأمين هذه الكميات جاري العمل على بناء بنية تحلية مشتركة داخل المنطقة الاقتصادية لقناة السويس: محطة السخنة بقدرة مبدئية 250 ألف م³/يوم (91 مليون م³/سنة) مع خطة توسع تدريجية إلى 1 مليون م³/يوم (365 مليون م³/سنة)، وتمويل بنظام الشراكة بين القطاعين العام والخاص يربط حصة كل مطور بحجمه الاستهلاكي (IRENA, 2025). قدرة المرحلة الأولى تكفي مسار السيناريو الأخضر 2030 وتقترب من سقف 2040.

5.8. النقل

تميل الشواهد الرسمية والسوقية إلى أن نموذج النقل المصري الراهن يتركز على سلاسل بحرية عبر مشتقات الهيدروجين (الأمونيا والميثانول)، وليس عبر خطوط أنابيب عابرة للمتوسط. حيث تتركز معظم محطات إنتاج الهيدروجين ومشتقاته في محيط منطقة قناة السويس. وتستهدف معظم المشروعات تصدير الأمونيا أو استخدام الميثانول في الشحن البحري (فصل الاستخدامات). على عكس النموذج المرجح في المنطقة المغاربية (المغرب وتونس والجزائر)، والذي يتجه إلى مشروعات ربط بالأنابيب مباشرة مع أوروبا، ضمن مشروع ممر الهيدروجين

سكان السويس وبورسعيد، وهما المركزان الرئيسيان لمشروعات الهيدروجين المخططة في المنطقة الاقتصادية لقناة السويس. جُمعت البيانات في 2024 من خلال مقابلات استبائية وجهاً لوجه، ووزعت العينة حسب العمر والجنس لضمان التمثيل الديموغرافي. وسئل المشاركون: إذا تم إنتاج هيدروجين أخضر في منطقة قناة السويس، هل ينبغي تصديره أساساً إلى الخارج أم استخدامه داخل مصر؟

كانت النتائج كالتالي: 63٪ فضلوا الاستخدام المحلي، 14٪ أيدوا التصدير، 23٪ لم يحددوا موقفاً. وأظهر نموذج الدراسة أن إدراك زيادة الدخل وفرص العمل المحلية هو أقوى عامل يفسر تفضيل الاستخدام المحلي، بينما جاءت فوائد التصدير مثل تعزيز التجارة الدولية أقل تفضيلاً (Ringel et al, 2024).

يشير هذا المسح إلى أن القبول المجتمعي لاستدامة مشروعات الهيدروجين في مصر مرهون بتحقيق منافع اقتصادية مباشرة للسكان. وأن توفر قيمة مضافة محلية ملموسة شرط أساسي لشرعية اجتماعية مستدامة لمشروعات الهيدروجين الأخضر. فعند غياب تلك المنافع قد تضعف الشرعية الاجتماعية لأي نهج يركز حصرياً على تصدير الهيدروجين الأخضر، ما قد يؤدي إلى معارضة شعبية إذا لم يترجم إلى منافع محسوسة للمجتمعات المحيطة، لا سيما إذا اقترن غياب الفائدة المذكور بتسبب المشروع في أضرار بيئية واجتماعية تلحق بالمجتمعات المحيطة.

8.8. العدالة

تعد مصر من الدول ذات المساهمة التاريخية الهامشية في أزمة تغير المناخ. فوفقاً للبيانات المجمعة، تمثل مساهمات مصر التراكمية في انبعاثات غازات الدفيئة أقل من 0.5٪ من الإجمالي العالمي (Ritchie et al., 2020). وتنعكس هذه المساهمة المحدودة في التزاماتها الدولية، حيث لم تكن مصر ضمن الدول المدرجة تحت الملحق الأول أو الملحق الثاني⁴ من اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC, 1992). وبهذا لم تكن ملزمة قانونياً بتخفيض الانبعاثات في إطار بروتوكول كيوتو (1997)، الذي فرض التزامات كمية على الدول الصناعية فقط.

ويظهر الوضع الحالي أن مصر ما تزال تقع ضمن الدول ذات الانبعاثات الفردية المنخفضة، إذ بلغ نصيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون نحو 2.3 طن/سنة عام 2022، مقارنة بمتوسط

المتجددة والهيدروجين في مصر: المسار التصديري المنعزل داخل المنطقة الاقتصادية لقناة السويس، ومسار التحول الطاقوي المرتبط بالشبكة الوطنية.

في المشروعات المحلية، يشير تحليل بيانات مشروعات الهيدروجين (Oeko-Institut, 2024) إلى أن متوسط تكلفة رأس المال (WACC) في مصر هي نحو 15.6٪، وهي من النسب الأعلى في الدول النامية. تلك التكلفة المرتفعة بشكل عام جاء حسابها في إطار تحليل نماذج (PtX) لمشروعات الهيدروجين عامة، ويمكن استخدام تلك النسبة للدلالة على تكلفة رأس المال في مشروعات الطاقة المتجددة والهيدروجين الموجهة للسوق المصري.

في المقابل، يتيح التسعير الدولاروي وعقود الشراء طويلة الأجل داخل مشروع تصديري منعزل/شبه منعزل في المنطقة الاقتصادية لقناة السويس خفض تكلفة رأس المال إلى نطاق 9-10% وهو الانخفاض الذي سجله مرصد تكلفة رأس المال الصادر عن الوكالة الدولية للطاقة (IEA, 2023) في برامج مماثلة في كينيا والسنغال (IEA, 2025).

يشير ذلك إلى أن النموذج التصديري المنعزل يبدو أقل كلفة رأسمالية على المستثمر وأكثر جاذبية للتمويل الميسر، بينما يقع مسار كهربية الداخل تحت عبء تمويل مرتفع، بالإضافة إلى الاستثمار المطلوب لتوسعة الشبكة ومحطات التحلية. بذلك يتكون مسار تمويلي تفضيلي يجعل رأس المال الميسر يتدفق إلى المشروعات المنعزلة الموجهة للتصدير، في حين يترك التحول المحلي - أي دمج مصادر متجددة في الشبكة وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري المحلي - لأعباء اقتراض أعلى ومخاطر تنظيمية أكبر.

8.7. القبول المجتمعي

في هذا النمط المحتمل لنمو صناعة الطاقة في اتجاه التصدير، يُباع هامش إنتاج الطاقة المتجددة للشبكة القومية، ويجري إنتاج الهيدروجين للتصدير أولاً، وللصناعات المصرية ثانياً، مع إمكانية حصول مزاحمة على الموارد الطاقوية المتجددة الأرخص، ما قد يؤدي إلى زيادة العبء المالي على السكان المحليين، في مقابل أسعار تنافسية أكثر للمصدرين، لن يكون مقبولاً شعبياً على أقل تقدير، ما قد يهدد استدامة ذلك النموذج.

أجرت دراسة ميدانية حديثة في صورة استطلاع شمل 505 من

4 الملحق الأول: يتضمن قائمة الدول الصناعية وأعضاء منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي عام 1992، إلى جانب دول تمر بمرحلة انتقال اقتصادي. وقد خضعت هذه الدول للالتزامات إعداد جرد وطني دوري لانبعاثات غازات الدفيئة، ووضعت في موقع المسؤولية التاريخية الأكبر بحكم مساهمتها المرتفعة في الانبعاثات. الملحق الثاني: يقتصر على دول منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي فقط دون الاقتصادات في مرحلة انتقالية. وقد فرضت عليها التزامات قانونية إضافية بتقديم الدعم المالي والتقني إلى الدول النامية وأقل البلدان نمواً، لمساعدتها على التكيف مع آثار التغير المناخي وتطوير قدراتها على خفض الانبعاثات.

عالمي يناهز 4.7 طن للفرد (Ritchie et al., 2020). كذلك بلغ معدل استهلاك الفرد من الطاقة الأولية في مصر عام 2022 نحو 35 جيجاوات/سنة، ضمن أقل عشر دول في استهلاك كل فرد للطاقة (Energy Institute, 2023).

في حين تتأثر مصر بمخاطر عالية بسبب تغير المناخ، يتمثل في ارتفاع مستوى سطح البحر، الذي يهدد المدن الساحلية ودلتا النيل بالغرق التدريجي وفقدان الأراضي الزراعية الخصبة. كما تُظهر النماذج المناخية زيادة متوقعة في درجات الحرارة بمقدار 2 إلى 3 درجات مئوية بحلول منتصف القرن، ما يفاقم ندرة المياه ويؤثر سلباً على إنتاج الغذاء وأمن الطاقة (World Bank, 2024).

هذا الوضع القانوني والتاريخي، والتباين بين المسؤولية التاريخية المحدودة والانبعاثات الفردية المنخفضة، والاحتياجات التنموية القائمة، مع الضغوط البيئية المتزايدة مثل شح المياه وارتفاع درجات الحرارة، دون التسبب فيها، يضع مصر ضمن الدول التي تتحمل أعباء التكيف أكثر من أعباء التخفيف، ويمنحها أحقية أخلاقية في المطالبة بالتمويل المناخي ونقل التكنولوجيا.

وبوصفها دولة نامية غير مدرجة في الملحق الأول، حظيت مصر بموقع تفاوضي يتيح المطالبة بتحقيق العدالة المناخية. وعلى مستوى السياسات، تبنت مصر مساهمات محددة وطنياً (NDCs) ضمن اتفاق باريس، وتلتزم بأهداف خفض كلية بشرط حصولها على تمويل دولي داعم للانتقال الطاقوي، ما يعكس استمرار أولوية العدالة المناخية في أجندتها الوطنية من الناحية التفاوضية (UNFCCC NDC Registry, 2023).

ولكنّ الوضع الراهن يشير إلى أن مصر ستكون جهة مستضيفة لمشروعات تهدف إلى تخفيف انبعاثات الدول الصناعية وتأمين مصادر طاقتها كواحة طاقة في الصحراء، بدلاً من السيناريو العادل، وبموجبه تتوفر لمصر والدول النامية تعويضات لخفض أعباء التأقلم مع الظروف المناخية الجديدة، في ضوء التحديات المناخية الحالية. هذا الوضع يعني تحمّل المتضرر لعبء تخفيف الأثار المترتب أصلاً على المتسبب في الانبعاثات الكربونية، وهذا يعني غياب آليات العدالة المناخية كأساس لسياسات التوازن بين دول الشمال والجنوب العالمي في المرحلة الانتقالية الحالية، وهذا في ظل هيمنة دول الشمال على التمويل والتكنولوجيا، واستخدام العمل المناخي للحصول على مكاسب اقتصادية جديدة على حساب شعوب الجنوب.

يطرح تصدير الهيدروجين الأخضر من دول الجنوب إلى أسواق الشمال الصناعي إذن سؤال العدالة البيئية والاجتماعية، ويشمل هذا مثلاً تحمّل مصر الأعباء الأرضية والمائية والبيئية لتوليد الطاقة دون ضمان حصولها على مكاسب عادلة. ويُرى تركيز الهيدروجين الأخضر في مشروعات تصديرية موجهة للأسواق الأوروبية بصفته إعادة إنتاج لعلاقات استعمارية، حيث تنقل الموارد من الجنوب إلى الشمال دون تمكين المجتمعات المنتجة أو ضمان حقها في جزء من الطاقة المنتجة (Tunn et al., 2025; Muller, 2024).

9. المناقشة والتوصيات

تفضيلًا للمصدر تحت ضغط التمويل والدائنين، ويُضيق حيز السيادة في تحديد الأولويات الوطنية، وهي صورة تتسق مع أدبيات الاستخراجية الخضراء/الاستعمار الطاقوي، حيث يتحول الانتقال الطاقوي إلى بنية امتثال خارجية تعيد إنتاج علاقات القوة بدلاً من تصحيحها.

لا يعارض هذا التحليل التجارة أو التصدير من حيث المبدأ. الاعتراض هنا على أن يُبنى مسار الهيدروجين على منطقتي الامتثال الذي يقنن تبعية الموارد والسياسات، ما يعيد إنتاج علاقة قوة غير متكافئة. والحل ليس رفض الامتثال، بل إعادة تنظيمه محليًا (معايير محلية للطاقة الخضراء) والتفاوض عليه في مجموعة (تكتل شمال أفريقي على سبيل المثال)، بوصفه منازعًا لحقوق المتضرر الأول من التغير المناخي.

داخليًا، تبين قراءة منظومة إمدادات الطاقة في مصر هشاشة بنيوية مركبة ماليًا وتقنيًا: هيمنة الغاز على توليد الكهرباء والصناعة، وتراجع الإنتاج المحلي وعودة العجز، ومستحقات شركات الطاقة الأحفورية المتأخرة، وانقطاعات الكهرباء بسبب أزمات الإمداد. وتواجه مسارات الحلول معضلات مالية وتنظيمية، سواء إستراتيجيًا نحو زيادة حصة الطاقة المتجددة أو زيادة حصة الوقود الأحفوري بشكل عاجل. في مسار الطاقة المتجددة، تتطلب كهربة الداخل بلوغ وتيرة إدماج مرتفعة للطاقة المتجددة وشبكات نقل أكثر مرونة، وهو مسار يقيد تمويل شراء المعدات الإنتاجية، وتمويل الربط الكهربائي لزيادة قدرة الشبكة على الاستيعاب، بالإضافة إلى احتمالية مزاحمة الهيدروجين على مشروعات الطاقة المتجددة ذات المواقع عالية الجودة. وفي مسار الطاقة الأحفورية، تواجه تنمية الإنتاج المحلي في لحظة عجز الإمدادات أزمة المستحقات المتأخرة للشركات، ما أضر الحكومة المصرية إلى السماح لشركات الغاز والنفط بتصدير جزء من إنتاجها لتسديد مستحقاتها المتأخرة لدى الحكومة المصرية مثل حالة شركات شل، وبتروناس، وكايرون بترليوم، ما يقام من أزمة عجز الواردات المحلية (Fikry, 2025; Asharq Business, 2025). يمثل هذا بداية تشكل جيوب تصديرية من مشروعات هدفها الأصلي - من حيث التعريف - هو تلبية الاستهلاك المحلي.

السياسات المطروحة لحل أزمة الطاقة تحت الضغوط الاقتصادية

تدور سياسات الهيدروجين في مصر حاليًا حول مركزية التصدير إلى الاتحاد الأوروبي. ولا تقف تلك المركزية عند أهداف كمية للإنتاج أو الاستيراد بل تمتد إلى معايير تنظيمية دقيقة مثل الإضافية، والتطابق الزمني والجغرافي بين الكهرباء المتجددة وإنتاج الهيدروجين، ومنظومات القياس والإبلاغ والتحقق. هذه المعايير تُقدم بوصفها شروط السوق الخضراء وتعريفًا لقواعد الدخول أو الاندماج مع السوق الأوروبي، لكنها عمليًا أدوات ضبط وتأثير خارجي تُحدد سلفًا شكل البنية التقنية والمؤسسية في دول الإمداد.

في الحالة المصرية، ينتج عن ذلك بنية ربط كهربائي تتشكل بما يخدم مشروع التصدير. هذا الترتيب يطرح فكرة مثل الممر الأخضر باعتباره أداة فصل وظيفي بين كهرباء تُصمم لخدمة مشروع تصدير بعينه، في علاقة حدية بالشبكة القومية لا تتجاوز غالبًا بيع فائض إن توافر. ويؤدي هذا إلى خلق جيوب لإنتاج الطاقة داخل منظومة تعاني عجزًا فعليًا في الإمداد؛ ما يعني تقدم منطقتي الامتثال للسوق الخارجي على اعتبارات الأمن الطاقوي المحلي. يُضاف إلى ذلك الهندسة الاقتصادية التي تُعمق التفضيل البنيوي عبر إنشاء جيوب اقتصادية منفصلة مخصصة للتصدير، مثل المناطق الاقتصادية الحرة. تعمل الجيوب الاقتصادية على تقليل المخاطر كالية تحوط مالي وتنظيمي، يفصل سلسلة الإنتاج عن أزمات المنظومة المحلية، وتبني لها قواعد امتثال مخصصة (معايير الكهرباء الخضراء)، وبُنى تحتية (ممرات خضراء، أراضي عالية الجودة، تسهيلات جمركية وضريبية). بهذا التصميم الذي يضمن حقوق المستثمرين، تنخفض المخاطر بالنسبة للمشتري والممول الأجنبي، ما ينعكس على انخفاض تكلفة رأس المال على مشاريع التصدير مقارنة بمشاريع كهربة الداخل.

هذا المنطق يصادف القبول السياسي في ظل الأزمة الاقتصادية الحالية، ومن مظاهرها أزمة خدمة الدين الخارجي، والاحتياج إلى تنويع وزيادة مصادر العملة الصعبة، فتصبح جيوب الطاقة المنعزلة أداة اقتصادية سريعة لجذب تدفقات دولارية. تتقاطع هنا سياسات الشريك الأوروبي (معايير الامتثال للوصول إلى السوق وشروط التمويل) مع الأهداف المحلية (تحقيق عوائد سريعة بالنقد الأجنبي)، ما يدفع مزيد من الموارد إلى جيوب منعزلة لتحقيق الامتثال الخارجي، فيما يبقى الداخل في مسار أبطأ وأعلى كلفة. بهذا التوجه، تكون الجيوب التصديرية ترتيبًا

ومن الاجراءات التي يمكن أن تتخذ:

التراجع عن فكرة إنشاء ممر أخضر لتحقيق الامتثال للمعايير الإضافية، وتعويضها بإعداد قواعد ومعايير محلية للامتثال الأخضر تناسب منظومة الطاقة المحلية عبر إنشاء سجل وطني للاعتماد والقياس اللحظي للكهرباء الخضراء والهيدروجين، بما يتوافق مع مقتضيات «الإضافية» والتطابق الزمني/الجغرافي، مع إدارة البيانات من قبل جهة وطنية.

ربط إلزامي لمشروعات الطاقة المتجددة الموجهة للهيدروجين على شبكة الكهرباء القومية.

دراسة خرائط أولوية للمواقع توضح نصيب السوق المحلي من الموارد عالية الجودة.

بحث تصميم مسار تمويلي يقلل الفجوة في كلفة رأس المال بين مسار التصدير ومسار كهرية الداخل.

دعم وتمويل برامج بحثية بالشراكة مع الجامعات المصرية لتطوير المحطات الكهربائية المستخدمة في صناعة الهيدروجين محليًا.

بناء شراكات لنقل تكنولوجيا الطاقة المتجددة إلى مصر.

هي سياسات مالية، من خلال مراكمة العملة الصعبة الواردة من أنشطة التصدير أو توفير الموارد مثل الأراضي. يخضع هذا التصور للفرص الاستثمارية في قطاع الطاقة دون سياسة تنموية مفصلة لعلاج الاختلالات على المنظور بعيد المدى، مثل خطط لنقل تكنولوجيا إنتاج الطاقة المتجددة والهيدروجين. إن الاعتماد على المنظور المالي فقط في السوق الهيدروجيني الناشئ سيعيد إنتاج نفس الحلقة المفرغة من الأزمات مع اتساع الفجوة بين جاذبية مشروعات التصدير ومشروعات الطاقة الموجهة للاستهلاك المحلي، والاستمرار في التبعية لسياسات الدائنين.

في المقابل، تكمن فرصة اقتصاد الهيدروجين الناشئ في دول الجنوب العالمي عمومًا، وفي مصر كمثل، في حل معضلة نقل التلوث الناجم من الصناعات الاستخراجية والتحويلية كثيفة الانبعاثات والتلوث من الشمال إلى الجنوب العالمي، من خلال تنظيفها والحد من تلوثها البيئي المحلي والمناخي العالمي. كما أن هناك فرصة تلوح في الأفق لانتقال صناعي في تلك القطاعات بسبب تراكم الخبرات الفنية من ناحية ورأس المال المستعد للاستثمار في تلك القطاعات الأساسية كما أوضحنا في الحالة المصرية. ويقع الجزء الأكبر من المسؤولية على عاتق حكومات دول الجنوب في النظر إلى مصالحها الإستراتيجية بعيدة المدى والتي تخدم أجندتها التنموية. ويتطلب ذلك المحاولات الدبلوماسية والعلمية لنقل التكنولوجيا، والنظر إلى البصمة الأرضية والمائية لتلك الصناعات بشكل تنموي شامل وليس بتوجه تجاري وسياسات جذب استثماري فقط.

وفي اللحظة الراهنة، التي لا يُنظر فيها إلى قطاع الطاقة بنظرة أبعد من التركيز على الأبعاد المالية، لا مفر من النظر إلى الانتقال الطاقوي في فضاء أرحب من جذب الاستثمارات والعملية الصعبة، يضم مفاهيم العدالة المناخية، واستدامة استخدام الموارد الطبيعية، والشراكات الأوسع مع دول الجنوب. يجب أن تُوظف السياسات الوطنية حول تكامل السياسات التصديرية للهيدروجين مع سياسات الطاقة الوطنية، بما يُضيف إلى سعة الشبكة ويخفض تدريجيًا معدل استخدام الوقود الأحفوري محليًا، مع وضع سياسات تكفل مشروعًا يُراكم انتقالًا صناعيًا عميقًا يلبي احتياجات الإنتاج النظيف ونقل التكنولوجيا.



- Volitalia. (2024). New agreement to repower Egypt's Zafarana wind farm with a three-gigawatt wind-and-solar project [Press release]. GlobeNewswire. <https://en/New-/0/2981471/14/11/www.globenewswire.com/news-release/2024-agreement-to-repower-Egypt-s-Zafarana-wind-farm-with-a-three-gigawatt-wind-and-solar-project.html>
- Enterprise News. (2024). Alcazar, TAQA Arabia and Volitalia to develop 5.2 GW of renewable energy projects. (in Arabic). <https://enterprise.news/egypt/ar/news/story/73ab87cd-502c-4202-b469-ac0daba1bdf>
- European Commission. (2023). Commission Delegated Regulation (EU) on renewable hydrogen additionality & temporal correlation. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A32023R1184>
- EBRD. (2024). NWEF Electricity Grid Reinforcement – Project Summary Document. European Bank for Reconstruction and Development. <https://www.ebrd.com/work-with-us/projects/psd/54716.html>
- Bellini, E. (2018). Developers' alliance helps bring Egypt's 1.8 GW Benban PV /03/10/complex online. pv magazine. <https://www.pv-magazine.com/2018-8-gw-benban-pv-complex-online-developers-alliance-helps-bring-egypts-1>
- Ministry of Electricity and Renewable Energy (MOERE). (2022b). Regional Role of Egypt as Renewable Energy hub. http://www.moe.gov.eg/test_new/DOC/eco.pdf
- Hafez, T. (2022). Egypt Plans to Integrate Renewables into Grid Via Green Corridor. Business Monthly. <https://businessmonthlyeg.com/egypt-plans-to-integrate-renewables-into-grid-via-green-corridor>
- Global Wind Energy Council (GWEC). (2024). Global Wind Report 2024. https://gwr-2024_digital-version_final-1-compressed./05/img.saurenergy.com/2024.pdf
- Zgheib, N. (2025). EBRD supports Egypt with first private-to-private electricity contracts. European Bank for Reconstruction and Development. <https://www.ebrd.com/home/news-and-events/news/2025/ebrd-supports-egypt-with-first-private-to-private-electricity-co.html>
- CMS. (2024). Renewable Energy in Egypt – CMS Expert Guide to Renewable Energy. CMS Law. <https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-renewable-energy/egypt>
- OECD. (2024). Green Hydrogen Incentives Law – Government of Egypt: Case Study. Organisation for Economic Co-operation and Development. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/about/programmes/cefim/green-hydrogen/2024-case-studies/Green-hydrogen-incentives-law-case-study-2024.pdf/_jcr_content/renditions/original./Green-hydrogen-incentives-law-case-study-2024.pdf
- Farag, M. (2019). Benban solar investors object to the 25% hike in grid-connection cost-sharing fees. alborasanews. (In arabic). <https://www.1180500/23/02/alborasanews.com/2019>
- Enterprise. (2020). Benban solar developers get a break. <https://enterprise.com/benban-solar-developers-get-a-break-25909/02/12/press/stories/2020>
- Enterprise. (2021). Investor confidence in Egypt's renewables is rising, but risks investor-confidence-in-/07/09/remain. <https://enterprise.press/stories/2021/egypts-renewables-is-rising-but-risks-remain-52689>
- Enterprise. (2025). EETC finally splits from EEHC in move to liberalize the Egyptian electricity market. <https://enterprise.news/egypt/en/news/story/992c-8f2471ceb054-43f7-24c3-e9f1eb44>
- European Commission. (2023). Commission Delegated Regulation (EU) by 2001/of 10 February 2023 supplementing Directive (EU) 2018/1184/2023 establishing a Union methodology for RFNBOs. Official Journal of the European Union. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2023
- European Commission. (2023). Questions and Answers on the EU Delegated Acts on Renewable Hydrogen. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/en/qanda_23_595/QANDA_23_595_EN.pdf
- Collins, L. (2024). IEA criticises EU green hydrogen rules on additionality, time matching and geographic correlation. Hydrogen Insight. <https://www.hydrogeninsight.com/policy/exclusive-iea-criticises-eu-green-hydrogen-rules-1715318-1-on-additionality-time-matching-and-geographic-correlation/2>
- egypt-to-accelerate-access-to-renewable-energy-to-42-of-energy-mix-by-2030-el-molla
- National Renewable Energy Authority (NREA). (2024). Annual Report 2024. NREA. <https://nrea.gov.eg/Content/reports/arabic%202024.pdf>
- Al-Ahram. (2025). Electricity: The 2040 Energy Strategy includes developing 40 GW of wind and 20 GW of solar capacity (in Arabic). <https://gate.ahram.org.eg/News/5093972.aspx>
- State Information Service (SIS). (2025). Minister of Electricity and Renewable Energy participates in a panel discussion on enhancing Egypt's energy future (in Arabic) <https://us.sis.gov.eg/Story/298361> <https://us.sis.gov.eg/Story/298361> lang=ar? في حلقة نقاشية وزارية حول تعزيز مستقبل الطاقة في مصر
- Salem, M. (2024). Electricity Ministry halts several conventional power-generation units (in Arabic). Al Mal News. <https://almalnews.com/1876764/الكهرباء-توقف-وحدات-توليد-طاقة-تقلي>
- Ministry of Electricity and Renewable Energy (MOERE). (2022a). Egypt Energy Transition. http://www.moe.gov.eg/english_new/Presentations/EGYPT_Energy_Transition.pdf
- Ministry of Electricity and Renewable Energy (MOERE). (2023). Annual Report 2023. http://www.moe.gov.eg/test_new/PDFReports/AnnualReport2023.pdf
- New and Renewable Energy Authority (NREA). (2023). Annual Report 2023 (in Arabic). <https://nrea.gov.eg/Content/reports/Annual%20Report%202023>
- Kasper, D. (2023). Wind Energy and Power Calculations. In EMS C 470 Applied Sustainability in Contemporary Culture, John A. Dutton e-Education Institute, Pennsylvania State University. <https://www.e-education.psu.edu/emsc297/node/649>
- New and Renewable Energy Authority (NREA). (2024). Annual Report 2024 (in Arabic). <https://nrea.gov.eg/Content/reports/arabic%202024.pdf>
- New and Renewable Energy Authority (NREA). (2025). Egypt Wind Atlas. <https://nrea.gov.eg/test/en/Technology/WindAtlas>
- EBRD. (2023). Egypt Green Hydrogen Wind Power Plant – Project Summary Document. <https://www.ebrd.com/home/work-with-us/projects/psd/53558.html#customtab-82b973f306-item-ac57ec5976-tab>
- Scatec ASA. (2024). Scatec's Egypt Green Hydrogen project signed 20-year offtake agreement with Fertiglabe based on H2Global award. <https://scatec.com/egypt-green-hydrogen-project-signed-20-year-offtake-11/07/com/2024/agreement-with-fertiglabe-based-on-h2global-award>
- Egypt Today. (2023). 32 Egyptian state companies to be floated on EGX over 32-122424/a year. PM. Egypt Today. <https://www.egypttoday.com/Article/3-Egyptian-state-companies-to-be-floated-on-EGX-over>
- Daily News Egypt. (2023). Actis to buy Gabal El-Zeit wind farm for \$350 m from actis-/14/09/TSFE. Daily News Egypt. <https://www.dailynewsegyp.com/2023/to-buy-gabal-el-zeit-wind-farm-for-350m-from-tsfe>
- Enterprise Climate. (2023). Maersk reaches preliminary agreement to grab 51% stake in Egypt's Zafarana wind farm. Enterprise Climate. <https://enterprise.com/news/climate/en/news/story/ec162bfe-b9dc-4713-bcf0-db6d370d37a0>
- Zawya. (2024). Egypt: NREA, TSFE set to initiate Zafarana wind farm's second phase in H2 2024. Zawya. <https://www.zawya.com/en/projects/utilities/nrea-2024-slxryws9-tsfe-set-to-initiate-zafarana-wind-farms-second-phase-in-h2>
- Kandil, A. M. (2023). 32 Egyptian state companies to be floated on EGX over a 32-Egyptian-122424/year. Egypt Today. <https://www.egypttoday.com/Article/3-state-companies-to-be-floated-on-EGX-over>
- Daily News Egypt. (2023a). Actis to buy Gabal El-Zeit wind farm for \$350 m /14/09/from TSFE. Daily News Egypt. <https://www.dailynewsegyp.com/2023/actis-to-buy-gabal-el-zeit-wind-farm-for-350m-from-tsfe>
- Daily News Egypt. (2023b). Maersk to acquire 51% of Gabal Al-Zafarana wind maersk-to-/09/10/power station. <https://www.dailynewsegyp.com/2023/acquire-51-of-gabal-al-zafarana-wind-power-station>
- Daily News Egypt. (2024). NREA, TSFE set to initiate Zafarana wind farm's nrea-/16/04/second phase in H2 2024. <https://www.dailynewsegyp.com/2024/2024-tsfe-set-to-initiate-zafarana-wind-farms-second-phase-in-h2>

- Barroso, J., & Barreras, F. 2004. Behavior of a high-capacity steam boiler using heavy fuel oil: High-temperature and cold-end corrosion. *Fuel Processing Technology*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037838200400013X>
- El-Gamal, H.; Farid, M.E.A.; Abdel Mageed, A.I.; Hasab, M.; Hassanien, H.M. 2013. Considerable hazards produced by heavy fuel oil in operating thermal power plant in Assiut, Egypt. *Environmental Science and Pollution Research*. [/https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23589256](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23589256)
- Mounir, E. 2022. Black cloud over Walidiya: the social and environmental toll of polluted electricity. *Mnakh (Shbabbeq)*. <https://mnakh.shbabbeq.com/digitalmedia/polluted-electricity-en/section3/index.html>
- International Energy Agency (IEA) (2023). Net-Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach – 2023 Update. https://iea.blob.core.windows.net/631d8971bf84/NetZeroRoadmap_AGlobal-8ef3-4e53-4002-net/assets/9a698da4PathwaytoKeepthe1.5CGoalinReach-2023Update.pdf
- National Renewable Energy Authority (NREA). (2024). Annual Report 2024. NREA. <https://nrea.gov.eg/Content/reports/arabic%202024.pdf>
- .Ahram Online (2025). Egypt adopts "Irrigation 2.0" to address water scarcity <https://english.ahram.org.eg/News/546230.aspx>
- Daily News Egypt (2025). Egypt operates 125 desalination plants with daily /26/01/capacity of 1.31 million m³. <https://www.dailynewsegypt.com/2025-31-million--egypt-operates-125-desalination-plants-with-daily-capacity-of-1-cubic-meters>
- United Nations (UN) (2024) SDG 6 Data Portal – Indicator 6.4.2: Level of water stress. <https://sdg6data.org>
- World Resources Institute (WRI) (2023) Aqueduct Water Risk Atlas: Country Rankings – Baseline Water Stress. <https://www.wri.org/resources/data-sets/aqueduct-country-rankings>
- Oeko-Institut (2024). PTX Business Opportunity Analyser (BOA): Data Documentation. Documentation of data sources and data processing, version 2.1. Oeko-Institut, Freiburg and Berlin, Germany. Commissioned by Agora Energiewende and Agora Industry. https://www.agora-energiewende.org/INT_PtX-Dialog/Oeko-Institut_2024__01-2022/fileadmin/Projekte/2022_PTXBOA_Data_Documentation_v_2.2.pdf
- SouthH2 Corridor Consortium. 2025. The SouthH2 Corridor – dedicated hydrogen pipeline from North Africa to Central Europe. *Snam/TAG/GCA/bayernets*. [/https://www.south2corridor.net](https://www.south2corridor.net)
- International Renewable Energy Agency (IRENA) (2025). Enabling Green Hydrogen Development: North Africa – Box 4. https://cisp.cachefly.net/assets/articles/attachments/95087_irena_tec_enabling_gh2_north_africa_2025.pdf
- International Renewable Energy Agency, IRENA. (2022). Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor. <https://www.irena.org/Digital-Report/Geopolitics-of-the-Energy-Transformation>
- UNIDO. (2023). Assessment of Low-Carbon Hydrogen Production, Demand, Business Models and Value Chain in Egypt – Highlights. United Nations Industrial Development Organization. <https://www.unido.org/sites/default/Low-Carbon-Hydrogen-Assessments-in-Egypt-Highlights-/06-files/files/2023-UNIDO.pdf>
- International Energy Agency (IEA). (2023). Global Hydrogen Review 2023. <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023>
- IEA (2023), Cost of Capital Observatory, <https://www.iea.org/reports/cost-of-capital-observatory>
- IEA (2025), How a high cost of capital is holding back energy development in Kenya and Senegal, IEA, <https://www.iea.org/commentaries/how-a-high-cost-of-capital-is-holding-back-energy-development-in-kenya-and-senegal>
- Ringel, M., Stockigt, G., Shamon, H., & Vögele, S. (2024). Green hydrogen cooperation between Egypt and Europe: The perspective of locals in Suez and Port Said. *International Journal of Hydrogen Energy*, 79, 1501–1510. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.06.239>
- Hannah Ritchie, Max Roser, and Pablo Rosado (2020) - «CO₂ and Greenhouse Gas Emissions». Published online at OurWorldinData.org. Retrieved from: <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>
- Daily News Egypt. 2023. «Egypt in Talks to Sell 70% Stake in Beni Suef Power Station to Foreign Investor.» *Daily News Egypt*. <https://www.dailynewsegypt.com/2023-16/09/Plant->
- Zawya. 2024. «Green Hydrogen Projects in Egypt: Export vs. Domestic Market.» <https://www.zawya.com/en/projects/egypt-green-hydrogen-domestic-export-plans>
- Daily News Egypt. 2024. «Government Eyes Domestic Use of Hydrogen to Reduce Dollar Exposure.» *Daily News Egypt*. <https://www.dailynewsegypt.com/2024-12/03/com/2024>
- Eni. 2021. Egypt and Eni Sign MoU for Green and Blue Hydrogen Development. *Eni S.p.A.* <https://www.eni.com/en-IT/media/press-release/2021-and-eni-sign-mou-for-green-and-blue-hydrogen-development.html>
- Energy Capital Power. 2022. Egypt, Eni Launch \$25 Million CCS Project to be developed by Egypt and Eni. <https://energycapitalpower.com/ccs-project//egypt-eni-cop27-emissions>
- European Commission (EU). (2018), Memorandum of Understanding on a Strategic Partnership on Energy between the European Union and the Arab Republic of Egypt. https://energy.ec.europa.eu/2022-Republic-of-Egypt-2018-en-egypt_mou_0.pdf/04-eu/system/files/2018
- European Union Delegation to Egypt (2016), The EU promotes governance energy efficiency in cooperation with the Ministry of Electricity and Renewable Energy and Ministry of Petroleum and Mineral Resources. https://eeas.europa.eu/20160718/eu/archives/delegations/egypt/press_corner/all_news/news/2016-en.pdf
- Ministry of Petroleum & Mineral Resources (2016), Oil & Gas Sector Modernization Program – Supplement. <https://www.petroleum.gov.eg/en/update-project/ltsectormodernizationmagazine/Modernization%20Supplement.pdf>
- Ministry of Petroleum and Mineral Resources (2019), Cairo Declaration Establishing the East Mediterranean Gas Forum. https://www.petroleum.gov.eg/en/media-center/news/news-pages/Pages/mop_14012019_01.aspx
- European Commission. 2022. “COP27: EU and Egypt Step Up Cooperation on the Clean Energy Transition.” https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/en/ip_22_6925/IP_22_6925_EN.pdf
- European Commission. 2021. «The Global Gateway.» Press Release. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_6433
- European Commission. 2025. «Global Gateway Southern Neighbourhood Flagship projects.» https://international-partnerships.ec.europa.eu/document/6b5f-463b-948f-562742c69284_en-download/84d5ee13
- Salah. 2021. Electricity companies start relying on “mazut” as an alternative to natural gas. *Masrawy*. https://www.masrawy.com/news/news_egypt/-الغاز-الطبيعي-الكهرباء-شركات-الإنتاج-تبدأ-الاعتماد-على-المازوت-كبدائل
- Economy Plus. 2022. Egypt's electricity sector increased reliance on mazut by /620% in December. *Economy Plus*. <https://economyplusme.com/en/85228>
- Reuters. 2022a. Egypt burns more heavy fuel oil to free gas for export. <https://www.reuters.com/business/energy/egypt-burns-more-heavy-fuel-oil-free-gas-/13-12-export-2022>
- Reuters. 2022b. Egypt to ration electricity to boost gas exports. *Reuters*. <https://www.reuters.com/business/energy/egypts-cabinet-approves-plan-/11-08-ration-electricity-save-gas-export-2022>
- natural gas and LNG export revenue hits \$8.22 billion. *Reuters*. 2022c. Egypt's 2021 bln. <https://www.reuters.com/business/energy/egypts-202122-natural-gas-lng-/25-09-export-revenue-hits-8-bln-cabinet-2022>
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 2 – Energy, Chapter 2. IPCC. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf
- European Environment Agency (EEA). 2023. EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2023. *European Environment Agency*. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2023>

World Bank (2024). Egypt – Vulnerability Overview, Climate Change Knowledge Portal. <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/egypt/vulnerability>

UNFCCC (1992). United Nations Framework Convention on Climate Change. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>

Kyoto Protocol (1997). Adopted at COP3. https://unfccc.int/kyoto_protocol

UNFCCC NDC Registry (2023). Egypt Nationally Determined Contribution. <https://unfccc.int/NDCREG>

.717-Müller, F. (2024). Energy colonialism. *Journal of Political Ecology*, 31, 699 <https://journals.librarypublishing.arizona.edu/jpe/article/5659/galley/5708/view>

Tunn, J., Müller, F., Hennig, J., Simon, J., & Kalt, T. (2025). The German scramble for green hydrogen in Namibia: Colonial legacies revisited? *Political Geography*, 118, 103293. <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2025.103293>

Fikry, Ashraf. 2025. Egypt allows 'Cheiron Petroleum' to export 550,000 barrels of crude oil, Asharq Business Bloomberg. (In Arabic) <https://asharqbusiness.com/power/71186>
/تسمح-ل-كايرون-بتروليوم-بتصدير-550-ألف-برميل-نقط-خام/

Asharq Business Bloomberg. 2025. Egypt allows 'Shell' and 'Petronas' to export two LNG cargoes in September and October. (In arabic) <https://asharqbusiness.com/power/96351>
/تسمح-ل-شل-وبتروناس-بتصدير-شحنتي-غاز-مسال/

المبادرة المصرية للحقوق الشخصية منظمة حقوقية مستقلة تعمل منذ عام 2002 على تعزيز وحماية الحقوق والحريات الأساسية في مصر، وذلك من خلال أنشطة البحث والمناصرة والمساعدة القانونية والتقاضي في مجالات تشمل الحريات المدنية، والحقوق الاقتصادية والاجتماعية، وحقوق النساء والنوع الاجتماعي، والعدالة الجنائية.

www.eipr.org



المعهد العابر للقوميات (TNI) هو مؤسسة بحثية ومناصرة ملتزمة ببناء كوكب عادل وديمقراطي ومستدام. لأكثر من 50 عامًا، شكّل المعهد حلقة وصل بين الحركات الاجتماعية، والباحثين والأكاديميين الملتزمين، وصانعي السياسات.

www.TNI.org

