



ورقة بحثية

# التخزين الجوفي للغاز

بين التجارب العالمية والطموحات المصرية

9-10-2025

## أمل إسماعيل

برنامج الدراسات الاقتصادية وقضايا الطاقة بالمركز المصري للفكر والدراسات الاستراتيجية

يشهد العالم اليوم تحديات غير مسبوقة في ضمان أمن الطاقة، خاصة مع التقلبات الحادة في أسواق الغاز الطبيعي نتيجة الأزمات الجيوسياسية والتغيرات المناخية ومتطلبات التحول الطاقى. ولذلك يُعد التخزين الجوفى للغاز الطبيعي (Underground Gas Storage - UGS) من الخيارات الاستراتيجية الأساسية التي تتبناها معظم الدول الصناعية لضمان استقرار الإمدادات؛ حيث يتيح موازنة الطلب الموسمي، وتوفير مخزون استراتيجي يُستخدم في حالات الطوارئ أو انقطاع الإمدادات. ولم يعد دور التخزين الجوفى للغاز مقصوراً على تلبية الطلب الموسمي فحسب، بل أصبح عنصراً مسانداً للانتقال الطاقى، وداعماً لتكامل مصادر الطاقة المتجددة، ومُسهماً في تحقيق استدامة منظومة الطاقة بشكل عام. وقد ظهر ذلك من خلال تزايد مشروعات التخزين الجوفى للغاز حول العالم، وتبني سياسات طاقة تشجع على تطويره وتوسيع نطاق استغلاله.

تشير البيانات لعام 2023 إلى ارتفاع إجمالي القدرة التخزينية العاملة لتبلغ حوالي 15.44 تريليون قدم مكعب مقارنة بـ 11.1 تريليون قدم مكعب عام 2000؛ أي بنسبة نمو بلغت 38% خلال تلك الفترة، تركز أكثر من 70% منها في أمريكا الشمالية وأوروبا، وهو ما يبرز الدور الحاسم للتخزين الجوفى في إدارة الأزمات مثل أزمة الغاز الأوروبية عام 2022.

في السياق المصري، تبرز الحاجة المتزايدة إلى دراسة جدوى التخزين الجوفى للغاز في ضوء موقع مصر كمركز إقليمي للطاقة، ولا سيما مع امتلاكها احتياطات كبيرة من الغاز الطبيعي وإمكانات لتطوير البنية التحتية. حيث بلغ إنتاج مصر من الغاز حوالي 66 مليار متر مكعب سنوياً (2023)، مع توجيه جزء كبير منه للتصدير عبر الغاز الطبيعي المسال (LNG) إلى أوروبا وآسيا، بينما يظل السوق المحلي عرضة للتقلبات الموسمية أو الجيوسياسية والضغوط على الإمداد. ومن ثم إدماج التخزين الجوفى في استراتيجية أمن الطاقة المصرية يمكن أن يشكل عامل استقرار رئيسي، ليس فقط لضمان إمدادات موثوقة للسوق المحلي، وإنما أيضاً لتعزيز قدرة مصر التنافسية كمركز إقليمي لتجارة وتصدير الغاز، وتهيئة البنية التحتية المستقبلية لتخزين الهيدروجين في إطار التحول الطاقى. تهدف الورقة البحثية إلى فهم ماهية التخزين الجوفى للغاز وأهميته في تحقيق أمن الطاقة العالمي، كما تتعرض للتجارب الدولية الناجحة في تخزين الغاز، وكيف أثر ذلك في أمن الإمدادات عالمياً أثناء الأزمات؟ كما تناقش دور التخزين الجوفى للغاز في تعزيز أمن الطاقة المصري.

## إخراج وتصميم

عبد المنعم أبوطالب

# أولاً:

## تعريف التخزين الجوفي للغاز وأنواعه

التخزين الجوفي للغاز (Underground Gas Storage - UGS) هو عملية إدخال واحتجاز كميات كبيرة من الغاز الطبيعي ضمن تكوينات جيولوجية تحت سطح الأرض (مثل حقول غاز/نفط مستنفدة، طبقات مائية عميقة أو كهوف ملحية) بهدف سحبه لاحقاً لتلبية الطلب (موسمي أو طارئ) أو لتأمين الإمداد للتصدير/التشغيل.

يمثل التخزين الجوفي للغاز أحد الأعمدة الأساسية لتحقيق أمن الطاقة، ليس فقط كأداة فنية لضبط العرض والطلب، وإنما كأداة استراتيجية تمنح الدول مرونة سيادية وقدرة على مواجهة الأزمات والتقلبات. في ظل التحولات العالمية نحو الطاقات النظيفة، يمكن أن يشكل هذا التخزين حلقة وصل انتقالية نحو تخزين الهيدروجين أو الغازات البديلة؛ مما يجعله استثماراً طويل المدى في أمن الطاقة. ويلعب التخزين دورين رئيسيين:

- (1) موازنة التذبذبات الموسمية واليومية للطلب (peak shaving / seasonal balancing).
- (2) توفير مخزون احتياطي آمن في حالات انقطاع الإمداد أو الأزمات.

## الأنواع الرئيسية للتخزين الجوفي للغاز

هناك ثلاثة أنواع رئيسية للتخزين الجوفي للغاز عالمياً، بلغ عددها مجمعة في مطلع عام 2024 نحو 681 منشأة تخزين بسعات تخزينية متفاوتة، لكن السعة الأكبر تأتي من الحقول المستنفدة بنسبة تجاوزت 80% من الإجمالي العالمي.

## 1. التخزين في الحقول المستنفدة (Depleted Oil & Gas Reservoirs)

يُعدّ إعادة استخدام حقول النفط أو الغاز المستنفدة الشكل الأكثر شيوعًا عالميًا لتخزين الغاز الطبيعي؛ إذ تمثل الحصة الأكبر من السعة العالمية للتخزين. الفكرة تقوم على حقن الغاز في التكوينات الجيولوجية التي سبق أن احتوت غازًا أو نفطًا لآلاف السنين؛ مما يوفر ضمانًا طبيعيًا لسلامة الاحتواء. تمتاز هذه الطريقة بانخفاض تكاليف التطوير نسبيًا نظرًا لوجود بنية تحتية مسبقة من آبار وخطوط أنابيب، إضافة إلى أن بيانات الخزان (مثل المسامية والنفاذية) تكون متاحة من فترة الإنتاج السابقة. ومع ذلك، فإن معدلات الحقن والسحب تكون أبطأ مقارنة بأنواع أخرى؛ مما يجعلها مناسبة للتخزين الموسمي أكثر من تلبية ذروات الطلب اللحظية. تشير البيانات إلى أن هذه الحقول تشكل الغالبية من سعة التخزين العالمية.

## 2. التخزين في الكهوف الملحية (Salt Caverns)

يُنشأ هذا النوع من التخزين من خلال إذابة كتل الملح بالماء العذب وضح المحلول الملحي إلى الخارج؛ مما ينتج عنه تجاويف ضخمة محكمة الإغلاق. الكهوف الملحية أقل انتشارًا من الحقول المستنفدة من حيث السعة الكلية، لكنها تتميز بخصائص فريدة أهمها؛ معدلات السحب والحقن العالية جدًا، وإمكانية القيام بدورات تشغيل قصيرة (أيام إلى أسابيع فقط)، وهو ما يجعلها مثالية لتغطية الطلب المفاجئ أو «ذروة الاستهلاك». كما أن نسبة غاز الأساس «Cushion Gas» (وهو كمية من الغاز الطبيعي يتم حقنها داخل الخزان الجوفي بشكل دائم ولا تُستخدم في الاستهلاك أو السحب، ويحافظ على استقرار الخزان) المطلوبة أقل بكثير (20-30%) مقارنة بالأكواريفر (وهو خزان جوفي طبيعي للمياه، عبارة عن طبقة من الصخور أو الرمال أو الحصى تكون مليئة بالمسام وتسمح بمرور وتخزين المياه بداخلها)؛ مما يقلل من تكلفة التخزين طويلة الأجل. بالرغم من أن تكاليف الإنشاء الأولية أعلى، فإن هذه الكهوف توفر مرونة تشغيلية استثنائية، وتعتبر الخيار الأمثل لتخزين الغاز الطبيعي المضغوط والغازات الأخرى مثل الهيدروجين مستقبلاً، خصوصًا في أوروبا والولايات المتحدة

### 3. التخزين في الطبقات المائية العميقة (Saline Aquifers)

تُعدّ « الأكواريفرز » الطبقات العميقة المشبعة بالمياه المالحة خيارًا ثالثًا للتخزين، وتتميز بإمكانية توفير ساعات كبيرة جدًا بفضل انتشارها الجغرافي الواسع. غير أن هذا النوع يواجه تحديات فنية واقتصادية أكبر؛ إذ يتطلب عادةً نسبةً مرتفعة من غاز الأساس قد تصل إلى 80-50% من السعة الكلية؛ لأن التكوين لم يكن يحتوي غازًا في الأصل؛ مما يرفع من التكاليف الاستثمارية. كما أن تقييم المخاطر الجيولوجية والهيدرولوجية أكثر تعقيدًا؛ مما يستلزم دراسات دقيقة لنفاذية الصخور، طبيعة الغطاء الجيولوجي، واستقرار التكوين تحت الضغط. ومع ذلك، فإن هذه الخزانات تعتبر حلاً واعدًا للدول التي لا تتوفر لديها كهوف ملحية أو حقول مستنفدة؛ حيث يمكن أن تسهم في تعزيز مرونة منظومة الطاقة على المدى الطويل.

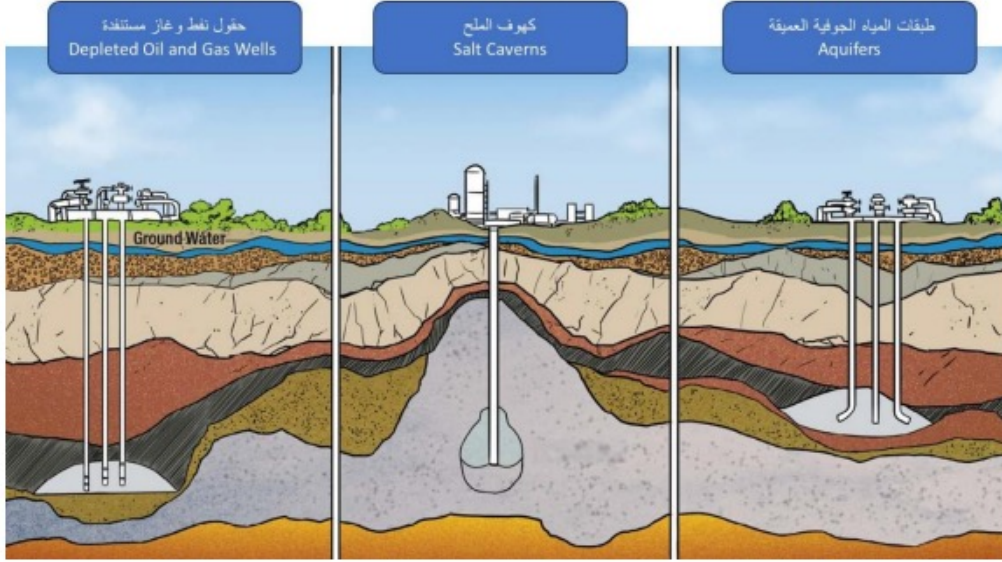
ولفهم أكثر لطريقة العمل في الأنواع الثلاثة للتخزين الجوفي للغاز، هناك بعض المفاهيم الأساسية يجب توضيحها أولاً وهي:

غاز الأساس « Cushion Gas »: هو الكمية من الغاز الطبيعي التي تُحقن وتُترك دائماً داخل منشأة التخزين الجوفي ولا يتم استخدامها في الاستهلاك أو البيع؛ إذ تعمل كأساس تحافظ على الضغط اللازم داخل الخزان لضمان إمكانية سحب الغاز القابل للاستخدام بكفاءة وأمان. هذا الغاز يمثل عادة جزءاً ثابتاً من السعة التخزينية حسب نوع التخزين المستخدم، ودوره أساسي في استقرار البنية الجيولوجية للمكمن، ومنع فقدان القدرة على الإنتاج، وتسهيل عمليات الحقن والسحب خصوصاً وقت ذروة الطلب.

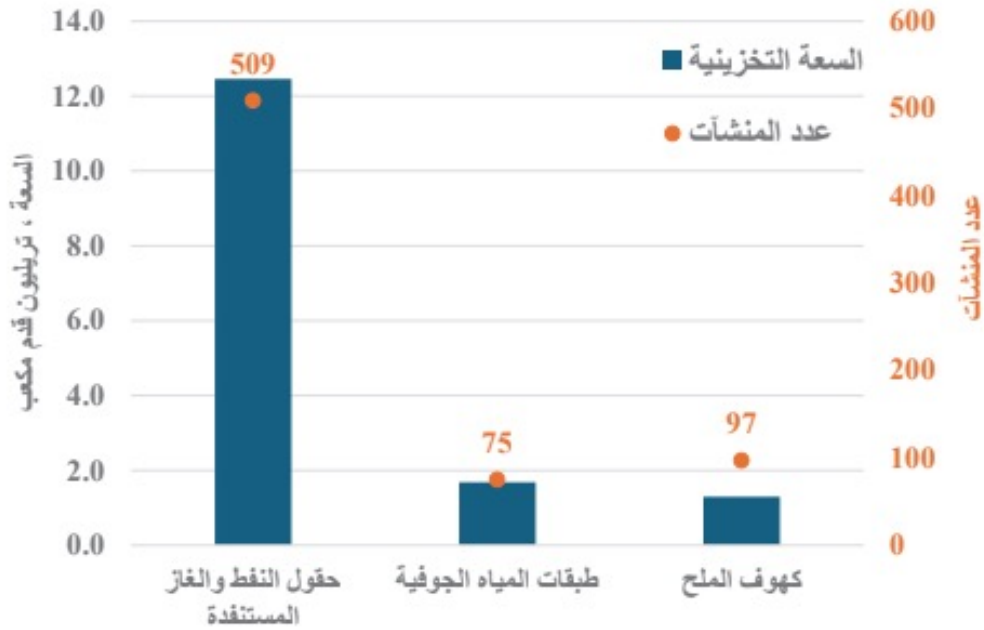
معدلات السحب والحقن « Injection & Withdrawal Rates »: هي مؤشرات تشغيلية أساسية في التخزين الجوفي للغاز، تعبر عن كمية الغاز التي يمكن إدخالها (حقنها) أو إخراجها (سحبها) من الخزان خلال فترة زمنية محددة (عادةً تُقاس بالمليون متر مكعب يوميًا - mcm/d أو بالمليون قدم مكعب يوميًا - MMcf/d).

السعة التشغيلية « Working Gas Capacity » هي كمية الغاز القابلة للاستخدام فعلياً من مخزن التخزين الجوفي بعد استبعاد غاز الأساس. أي أنها تمثل حجم الغاز الذي يمكن حقنه وسحبه وفقاً لاحتياجات السوق من دون التأثير على ضغط المكمن أو استقراره الجيولوجي.

شكل 1: رسم توضيحي للأنواع الثلاثة للتخزين الجوفي للغاز



شكل 2: عدد منشآت التخزين الجوفي للغاز والسعة التخزينية لكل نوع



المصدر: قاعدة بيانات CEDIGAZ

# ثانياً:

## دور التخزين الجوي للغاز في تحقيق أمن الطاقة العالمي

التخزين الجوي للغاز أصبح اليوم ركيزة عملية واستراتيجية لأمن الإمداد الطاقى العالمي؛ حيث يوفر مرونة تشغيلية موسمية، ويعمل كغطاء ضد الصدمات الجيوسياسية واضطرابات الإمداد، ويقلص تقلبات الأسعار ويدعم تكامل مصادر الطاقة المتجددة عبر دعم المنشآت الغازية المرنة. بلغت السعة الإجمالية العالمية للتخزين حوالي 15.44 تريليون قدم مكعب حوالي (437 مليار متر مكعب) بنهاية 2023؛ مما يوضح حجمه وتأثيره على أسواق الغاز العالمية.

### 1. التخزين الجوي للغاز وأمن الإمداد

- موازنة موسمية ويومية: تُحَقَّن كميات الغاز وقت وفرة الإمدادات / انخفاض الطلب / انخفاض الأسعار، وتُسَحَّب وقت الذروة. هذا يقلل الحاجة إلى شحنات طارئة مكلفة (LNG spot) ويخفض مخاطر انقطاع الإمداد الفجائي.
- المرونة التشغيلية (Deliverability): بعض أنواع التخزين (خصوصاً الكهوف الملحية) تقدّم معدلات سحب / حقن عالية تمكن الاستجابة خلال أيام، بينما الحقول المستنفدة تعمل بمرونة موسمية على مدى أسابيع / أشهر. اختيار النوع يؤثر مباشرة في نوعية الحماية (ذروة قصيرة مقابل حماية موسم كامل)، وهو ما يبرهن على قدرة التخزين على سدّ فجوات كبيرة عند الحاجة.

### 2. دور التخزين الجوي للغاز في مواجهة أزمات الإمداد والجغرافيا السياسية

- التخزين كدرع جيوسياسي: أثناء الأزمات، تمتد قدرة الدول القوية على الاعتماد على ذاتها بوجود ساعات تخزين كبيرة؛ إذ تحوّل السعة الكمية إلى قدرة سياسية للتفاوض والتأقلم. حيث أكدت التقارير الدولية ضرورة بنية تخزين مرنة كمكون في بنية أمن الغاز على الصعيد العالمي، وأبرزت دورها في أزمات

مثل نقص إمداد الغاز الروسي لأوروبا جراء الحرب الروسية الأوكرانية، أو حتى نقص الإمدادات العالمية أثناء جائحة كورونا، واحتمالات تكرار ذلك مستقبلاً مع تزايد الأزمات والتوترات العالمية.

- الاستثمار الاستراتيجي: هناك مشاريع كثيرة قيد الإنشاء عالمياً تُضيف قدرات ملموسة؛ مما يدلّ على أن دولاً تسعى لتكريس السعة كجزء من استراتيجيات أمن الطاقة لديها.

### 3. أثر تخزين الغاز على الأسعار والأسواق

- تخفيف التقلبات السعرية وخلق سيولة سوقية: وجود ساعات تخزين كافية يسمح بالتشغيل الموسمي ويمنح مشغلي السوق أدوات لإدارة المخاطر؛ مما يقلل تقلب السعر على المدى القريب. وأظهرت التقارير أن التخزين أسهم في تخفيف حدة تقلبات الأسعار منذ أزمة 2022، وأن القيمة الاقتصادية للتخزين ارتفعت مع زيادة التقلب في الأسعار.
- احتواء صدمات الطلب: عندما ترتفع الأسعار فجأة، يمكن للتخزين تلبية الطلب دون استيراد فوري؛ مما يمنع صعوداً حاداً في الأسعار لحين ترتيب الإمداد البديل. بالمقابل، سياسات ملء إلزامي يمكن أن تدفع أسعار الصيف إلى الارتفاع؛ لأن الطلب على الملء يخلق ضغطاً على السوق.

### 4. دور تخزين الغاز في تيسير التحوّل الطاقى ومرونة الشبكة الكهربائية

- دعم قدرات الاحتياط المرنة: الغاز المخزن يمكن محطات توليد الكهرباء من العمل ك«احتياطي سريع» للتعامل مع تقلبات الطاقات المتجددة (رياح/شمس)، خصوصاً في فترات الانخفاض المفاجئ للإنتاج المتجدد. ويجب أن يظل الغاز جزءاً من مزيج التحوّل لسنوات قادمة لضمان الاستقرار أثناء الزيادة الكبيرة في المتجددة.
- جسر نحو تخزين الهيدروجين: يمكن لتقنيات التخزين الجوي للغاز أن تشكل الأساس لتطوير حلول من أجل تخزين الهيدروجين، الذي لا يزال يواجه معضلة صعوبة القدرة على تخزينه بكميات كبيرة لتأسيس تجارة دولية له على غرار النفط والغاز. وتوفّر كهوف الملح خصوصاً بيئة آمنة وفاعلة لتخزين كميات

ضخمة من الهيدروجين؛ مما يفتح الباب أمام دمج الهيدروجين في مزيج الطاقة العالمي مستقبلاً. ويجعل الاستثمار في البنية الجيولوجية ذا قيمة إضافية في اقتصاد طاقى منخفض الكربون.

شكل 2: تطور السعة التخزينية العاملة من الغاز الجوي بالمقارنة مع الاستهلاك العالمي للغاز



المصدر: قاعدة بيانات CEDIGAZ

## ثالثاً:

### تكلفة التخزين الجوي للغاز بالمقارنة بتخزين الغاز المسال

على الرغم من تعدد الخيارات المتاحة لتخزين الغاز والغاز الطبيعي المسال، كالصهاريج السطحية أو المدفونة في الأرض أو خطوط الأنابيب، فإن فاعليتها تبقى محدودة من حيث القدرة على تأمين كميات كبيرة من الإمدادات لفترات زمنية ممتدة. فهذه الخيارات تصلح لتوفير إمدادات سريعة في الأجل القصير؛ إذ غالباً ما تُستعمل لتلبية الطلب الفوري خلال أيام معدودة، بسبب سعتها التخزينية المحدودة.

ولكن تُعدّ تكلفة التخزين الجوي للغاز أقل نسبياً من تلك البدائل الأخرى مثل تخزين الغاز المسال (LNG)، لكنها تختلف باختلاف نوع البنية الجيولوجية المستخدمة. ففي الحقول المستنفدة تصل التكلفة الرأسمالية إلى نحو 22-80 دولار لكل ميغاوات. ساعة؛ أي ما يعادل تقريباً 0.23-0.85 دولار لكل متر مكعب من الغاز المخزن، مع الحاجة إلى غاز الأساس (Cushion Gas) الذي قد يشكل 30%-50% من السعة ويزيد من رأس المال. أما الكهوف الملحية، فرغم ارتفاع تكلفتها الأولية (80-200 دولار/ميغاوات. ساعة)؛ أي ما يعادل 0.85-2.1 دولار/م<sup>3</sup>، فإنها تتطلب نسبة غاز أساس أقل (20%-30%) وتوفر مرونة تشغيلية عالية تسمح بالسحب والحقن بسرعة لتلبية ذروة الطلب.

في المقابل، تخزين الغاز المسال فوق الأرض أكثر تكلفة بكثير (150-485 دولار/ميغاوات. ساعة)؛ أي ما يعادل 1.6-5.1 دولار/م<sup>3</sup>، نتيجة متطلبات التبريد العميق والبنية الفوقية، لكنه يتميز بعدم الحاجة إلى غاز أساس وإمكانية النقل الفوري عبر أساطيل الشحن. وبذلك يظهر أن التخزين الجوي، خاصة في الحقول المستنفدة أو الكهوف الملحية، هو الخيار الأكثر جدوى من حيث التكلفة على المدى الطويل لضمان أمن الطاقة، بينما يبقى تخزين الغاز المسال LNG خياراً مكملاً في حالات الطوارئ أو للأسواق المعتمدة على الاستيراد البحري.

جدول 1: الفرق بين تكلفة تخزين الغاز بالتقنيات الثلاثة

ملاحظات رئيسية	التكلفة (دولار/م <sup>3</sup> )	التكلفة (دولار/ميجاوات ساعة)	نوع التخزين
أرخص خيار، لكن يتطلب غاز أساس 50%-30	0.85 - 0.23	80 - 22	حقل مستنفد (Depleted field)
تكلفة أعلى، غاز أساس أقل (20%-30) ومرونة تشغيلية عالية	2.10 - 0.85	200 - 80	كهف ملحي (Salt cavern)
الأعلى تكلفة بسبب التبريد والبنية التحتية، لا يتطلب غاز أساس	5.10 - 1.60	485 - 150	LNG سطحي (Cryogenic)

المصدر: بيانات مجمعة من إعداد الباحثة

# رابعًا:

## تجارب دولية ناجحة

شهدت التجارب الدولية في التخزين الجوفي للغاز نجاحًا ملحوظًا؛ حيث اعتمدت دول مثل ألمانيا وإيطاليا وفرنسا بشكل رئيسي على استغلال الحقول المستنفدة؛ نظرًا لتوفرها بكثرة وملاءمتها الجيولوجية لتخزين كميات ضخمة من الغاز. هذا النوع يتميز بانخفاض تكاليف تطويره مقارنةً بالخيارات الأخرى، إلى جانب جاهزية البنية التحتية فيه مثل خطوط الأنابيب والآبار القديمة. في المقابل، اعتمدت الولايات المتحدة وكندا أيضًا على هذه الطريقة بشكل واسع، لكنها استثمرت كذلك في تكوينات المياه الجوفية العميقة (Aquifers) لتعزيز السعات التخزينية، وكذلك في الكهوف الملحية؛ حيث توفر سرعة عالية في الحقن والسحب، وهو ما يجعلها مثالية لتلبية ذروة الطلب المفاجئة. ومن أهم هذه التجارب:

### 1. الولايات المتحدة - كهوف ملحية على الساحل الخليجي

- يعد التخزين الجوفي للغاز الطبيعي في الولايات المتحدة الأكبر عالميًا من حيث العدد والتوزيع؛ حيث يوجد أكثر من 400 موقع ومنشأة تخزين موزعة على 30 ولاية تقريبًا، بسعة تخزينية عاملة تقدر بنحو 4.7 تريليون قدم مكعب، أي نحو 30% من سعة التخزين الجوفي للغاز عالميًا. أغلب هذه السعات تقع في الحقول المستنفدة (حوالي 80%)؛ نظرًا لانخفاض تكلفتها وسهولة تحويلها، بينما تمثل الكهوف الملحية حوالي 10% فقط لكنها تسهم بنسبة كبيرة من قدرة السحب اليومي بفضل مرونتها العالية، إلى جانب استخدام محدود لطبقات المياه العميقة «الأكواريفر».

- من أبرز المشاريع: كهوف Gulf Coast التي تخدم محطات تصدير واستيراد الغاز المسال وتتميز بقدرتها سحب فورية لتلبية ذروة الطلب، إضافة إلى مواقع استراتيجية مثل Aliso Canyon في كاليفورنيا الذي يُعد أكبر مخزن غاز منفرد في الساحل الغربي. هذا الانتشار الواسع يجعل التخزين الجوفي عنصرًا محوريًا في تحقيق توازن العرض والطلب داخل أكبر سوق غاز في العالم. ويساعدها على تأمين الإمدادات خلال

ذروة الطلب المحلي أو العالمي أو حالات الطوارئ، بالإضافة إلى دعم صادرات الولايات المتحدة من الغاز الطبيعي المسال.

## 2. الصين - التوسع في المشروعات

• يشهد التخزين الجوفي للغاز في الصين توسعًا متسارعًا خلال العقد الأخير تماشيًا مع النمو الكبير في الطلب على الغاز الطبيعي. فبحسب بيانات شركة النفط الوطنية الصينية (CNPC) وقاعدة بيانات CEDIGAZ، ارتفعت السعة التشغيلية من نحو 14.5 مليار متر مكعب عام 2016 إلى أكثر من 26.6 مليار متر مكعب بنهاية 2023، مع خطط لزيادة السعة إلى 55-60 مليار متر مكعب بحلول 2030.

• أهم المشروعات القائمة التي تتركز في شمال ووسط الصين بالقرب من مراكز الاستهلاك الرئيسية هي حقول مستنفدة، مثل حقول Hebei و Shaanxi، إلى جانب مشاريع استراتيجية في مناطق غنية بالجيولوجيا الملحية مثل Hutubi و Jintan؛ حيث تُستخدم الكهوف الملحية لزيادة مرونة السحب السريع.

• وتُعد منشآت مثل Jintan Salt Caverns من أبرز الأمثلة على استخدام تكوينات ملحية لتخزين الغاز بقدرات عالية الكفاءة. هذا التوسع يجعل الصين تمتلك اليوم أكبر برنامج نمو في التخزين الجوفي عالميًا، بما يعزز قدرتها على مواجهة ذروة الاستهلاك في الشتاء وتقليل اعتمادها على استيراد الغاز المسال الفوري.

## 3. أوكرانيا - شبكة تخزين رئيسية

• في أوكرانيا يُعد التخزين الجوفي للغاز أحد الأعمدة الرئيسية لأمن الطاقة الوطني والإقليمي؛ إذ تمتلك البلاد شبكة من أكبر مرافق التخزين في أوروبا بسعة تشغيلية إجمالية تبلغ حوالي 31 مليار متر مكعب؛ أي ما يعادل نحو ثلث إجمالي السعات الأوروبية. وتعتمد بشكل أساسي على المكامن المائية (Aquifer) لتخزين الغاز، وما يقارب 65%-70 من سعة التخزين الجوفي في أوكرانيا تقع في مكامن مائية طبيعية، والنسبة الباقية في حقول غاز مستنفدة. وتدار هذه الشبكة عبر شركة Ukrtransgaz وتشمل 12 منشأة رئيسية موزعة على أنحاء البلاد، أبرزها مواقع Bilche-Volytsko-Uherske الذي يُعد الأكبر بطاقة عمل تتجاوز 17 مليار متر مكعب بمفرده.

- تتميز هذه السعة الضخمة بأهمية مزدوجة: فهي تُمكن أوكرانيا من مواجهة تقلبات الطلب المحلي، وفي الوقت نفسه تُستخدم كمخازن استراتيجية لعدد من الدول الأوروبية التي تعتمد على أوكرانيا كمعبر ومركز لتخزين الغاز. وقد اكتسبت هذه المنشآت أهمية خاصة بعد أزمات الغاز بين روسيا وأوروبا؛ حيث أثبتت أن وجود شبكة تخزين واسعة ومرنة يمكن أن يكون عاملاً حاسماً في استقرار أسواق الطاقة الإقليمية.

#### 4. روسيا - سعة استراتيجية كبيرة

- في روسيا يُعتبر التخزين الجوي للغاز جزءاً استراتيجياً من منظومة إمدادات الطاقة التي تديرها شركة (Gazprom)؛ حيث تمتلك البلاد واحدة من أضخم الشبكات عالمياً بسعة تشغيلية إجمالية حوالي 73 مليار متر مكعب؛ مما يعادل نحو 16-17% من إجمالي التخزين العالمي. تتوزع هذه السعات على أكثر من 30 منشأة في مختلف الأقاليم، الغالبية العظمى من مرافق التخزين الجوي في روسيا تعتمد على حقول الغاز المستنفدة؛ إذ تشكل ما يزيد على 70-75% من إجمالي السعة. أبرزها مواقع مثل (Kasimovskoye) و (Kursk)، إضافة إلى منشآت كبيرة قرب مراكز الاستهلاك في موسكو وسانت بطرسبورج.
- وتُستخدم هذه المخازن أساساً لتأمين استقرار الإمدادات في فصول الشتاء القاسية؛ إذ يمكنها توفير ما بين 25-30% من ذروة الطلب اليومي. كما أن لهذه السعات بعداً جيوسياسياً؛ إذ تمنح روسيا مرونة عالية في تصدير الغاز لأوروبا والتعامل مع تقلبات السوق أو انقطاعات خطوط الأنابيب. وتعمل موسكو على تطوير منشآت جديدة، بما في ذلك الكهوف الملحية، لتعزيز قدرة السحب السريع وتدعيم موقعها كمورد رئيسي عالمي.

#### 5. كندا - التخزين عنصر رئيسي في منظومة أمن الطاقة

- تُعد كندا من أكبر الدول عالمياً في قدرات التخزين الجوي للغاز الطبيعي بسعة تشغيلية تقارب 27 مليار متر مكعب موزعة على نحو 57 منشأة، تتركز أساساً في مقاطعتي أونتاريو وألبرتا. وتعتمد كندا بشكل رئيسي على حقول الغاز المستنفدة كمكامن للتخزين، مع وجود بعض المنشآت في المكامن المائية (Aquifer).

- ويُعد Dawn Hub في أونتاريو أبرز هذه المواقع بسعة تفوق 7 مليارات مترمكعب؛ حيث يُمثل مركزاً محورياً لتجارة الغاز في أمريكا الشمالية، ويؤدي دوراً شبيهاً بمركز Henry Hub في الولايات المتحدة. وتُساهم هذه البنية التحتية المتقدمة في موازنة التقلبات الموسمية الكبيرة في الطلب بين الصيف والشتاء، وضمان استقرار الإمدادات وخفض تقلبات الأسعار، فضلاً عن دعم التجارة الإقليمية مع شمال شرق الولايات المتحدة؛ مما يجعل كندا لاعباً أساسياً في تعزيز أمن الطاقة الإقليمي.

## 6. ألمانيا - Rehden أكبر موقع تخزين

- في ألمانيا يُعد التخزين الجوي للغاز ركيزة أساسية في أمن الطاقة الأوروبي؛ حيث تمتلك البلاد أكبر سعة تشغيلية في الاتحاد الأوروبي الغربي تبلغ حوالي 24 مليار مترمكعب، موزعة على أكثر من 40 منشأة تقع معظمها في حقول غاز مستنفدة وكهوف ملحية. تُمكن هذه السعات ألمانيا من تغطية نحو 25% من إجمالي قدرات التخزين الأوروبية؛ مما يمنحها دوراً محورياً كمركز للطاقة في القارة.
- X بعد أزمة أوكرانيا وقطع الإمدادات الروسية في 2022، أصبحت منشآت التخزين في ألمانيا بمثابة خط الدفاع الأول لضمان استقرار السوق؛ إذ جرى إلزام الشركات بملء المخازن إلى مستويات تتجاوز 95% قبل بداية الشتاء. وقد ساعدت هذه السياسة على تجنب نقص حاد في الإمدادات، مع تعزيز قدرات السحب السريع من الكهوف الملحية لتلبية الطلب في فترات الذروة.

## 7. إيطاليا - وحقل Sergnano

- تبلغ السعة التشغيلية للتخزين الجوي نحو 17 مليار مترمكعب؛ مما يجعلها من أكبر الدول الأوروبية في هذا المجال بعد ألمانيا. تُدار شبكة التخزين بشكل رئيسي من قبل شركة Stogit (التابعة لـ Snam)، وتضم حوالي 10 منشآت رئيسية، أغلبها في شمال البلاد داخل حقول غاز مستنفدة.
- وتعتمد إيطاليا بشكل كبير على هذه السعات لتلبية الطلب الشتوي؛ إذ يمكنها تغطية ما يصل إلى 30% من استهلاك البلاد السنوي خلال ذروة البرد. وقد برزت أهمية هذه السعات بشكل خاص خلال الأزمات الجيوسياسية في البحر المتوسط والشرق الأوسط؛ حيث توفر لإيطاليا مرونة

استراتيجية لتقليل الاعتماد على واردات الغاز الفورية وضمان استقرار الإمدادات لقطاع الكهرباء والصناعة والمنازل.

إجمالاً: تعد كل من (الولايات المتحدة وروسيا والصين وأوكرانيا وكندا) أهم وأكبر خمس دول عالمياً من حيث السعة الإجمالية من الغاز الجوي؛ حيث تشكل مجتمعة أكثر من 60% من السعة الإجمالية العالمية. ويلخصها الجدول التالي:

جدول 2: أكبر 5 دول عالمياً في استخدام التخزين الجوي للغاز

الدولة	سعة التشغيل (Working gas) (مليار متر مكعب)	عدد المنشآت	أهم الحقول أو المواقع	نوع الخزانات	النسبة من السعة العالمية
الولايات المتحدة	121	408	شبكة واسعة من مواقع الحقول المستنفدة، مشروعات كهوف ملحية قيد التوسع.	غالبًا حقول مستنفدة + كهوف ملحية	27.7%
روسيا	73-72	23	Kasimovskoye (منشأة أكوايفر كبيرة تُخدم موسكو/المناطق الوسطى)	التخزين في طبقات المياه العميقة أكوايفر + حقول مستنفدة	16.7%
أوكرانيا	31	12	Bilche-Volytsko-Uherske	أساسًا حقول مستنفدة / مكامن متعددة تُستخدم كشبكة تخزين إقليمية.	7.1%
الصين	26.6	35	Jintan, Hutubi	مزيج حقول مستنفدة + بعض الكهوف الملحية	6.1%
كندا	27	57	Dawn Hub	حقول مستنفدة ونسبة ضئيلة في طبقات المياه العميقة الأكوايفر	6%

المصدر: بيانات مجمعة من إعداد الباحثة

# خامسًا:

## تجارب الدول العربية

بالنظر إلى الدول العربية التي تتمتع باحتياطيات ضخمة من الغاز الطبيعي تمثل نحو 27% من الإجمالي العالمي، وإسهامها بما يقارب 15% من الإنتاج عالميًا، فيشكل التخزين الجوفي فرصة استراتيجية لها سواء للدول المصدرة أو المستوردة؛ إذ يمكن شراء الغاز أو إنتاجه بكميات أكبر خلال فترات انخفاض الأسعار وتخزينه للاستفادة منه عند ارتفاع الأسعار أو زيادة الطلب، سواء المحلي أو حتى في السوق الدولية. هذا يُسهم في تحقيق وفورات مالية كبيرة، ويمنح الدول مرونة في إدارة السوق المحلية وضمان أمن الإمدادات، خصوصًا مع تقلبات أسعار الطاقة عالميًا. علاوة على ذلك؛ تسعى عدة دول عربية نحو التوسع بشكل أكبر في استعمال الغاز في منظومة الطاقة، لما يوفره من مزايا اقتصادية وبيئية، بالإضافة إلى سهولة تكامل الغاز مع مصادر الطاقة المتجددة وكذلك الهيدروجين الأخضر، وهو الأمر الذي يتطلب توفير إمدادات دائمة ومستقرة من الغاز في الشبكات المحلية. ولا شك أن دعم شبكة الغاز المحلية بمنشآت التخزين الجوفي للغاز سيُسهم في رفع درجة المرونة، ودعم شبكة توليد الكهرباء في فترات تقلب الطاقة المتجددة.

في أغلب الدول العربية يصل الطلب على الغاز إلى ذروته في الصيف بسبب زيادة الطلب على الكهرباء لأغراض التكييف وتلبية المياه. وبالتالي، فإن التوقيت الأمثل للتخزين يكون في فصلي الشتاء والربيع؛ الأمر الذي يُسهم في استغلال إنتاج حقول الغاز على مدار العام؛ بحيث يُستغل الفائض من الإنتاج خلال الشتاء عبر تخزينه وسحبه جنبًا إلى جنب مع الإنتاج من الحقول العاملة لتلبية الطلب، ومن ثم فإن وجود منشآت تخزين جوفية سيُسهم في تعزيز أمن الإمدادات طوال العام ويقلل من مخاطر الانقطاعات، في ظل توفير مصدر احتياطي لتوفير الغاز.

### أهم مشروعات الدول العربية في التخزين الجوفي للغاز

تضم المنطقة ثلاث منشآت للتخزين الجوفي للغاز، تقع جميعها في الإمارات والسعودية؛ مما يعكس فجوة كبيرة بين الإمكانيات المتاحة وحجم الاستثمار الفعلي في هذا القطاع.

## تجربة الإمارات :

- نفذت الإمارات أولى مشروعات التخزين الجوفي للغاز في الدول العربية عام 2008 عبر «هيئة دبي للتجهيزات»، التي حولت حقل «مرغم» المستنفد إلى منشأة تخزين موسمية بسعة 117 مليار قدم مكعب، ومعدل سحب يصل إلى 141 مليون قدم مكعب يوميًا. ويمثل المشروع ركيزة استراتيجية لدعم منظومة الطاقة في دبي، مع خطط توسعة تشمل إضافة 10 ضواغط جديدة وعقود حفر لآبار حقن جديدة.
- كما أطلقت إمارة الشارقة مشروع «مويعيد» للتخزين الجوفي في منطقة الصجعة من خلال إعادة استخدام الحقول المستنفدة، الذي مرَّ بثلاث مراحل: تجريبية (2017-2020)، وتشغيلية منذ 2021، وخطط مستقبلية لزيادة السعة 4 أضعاف. وتنفذه وتديره شركة سنوك الإماراتية. ويهدف المشروع إلى تلبية احتياجات الإمارات كافة، وليس الشارقة وحدها؛ مما يجعله نموذجًا في خريطة التخزين الجوفي للغاز في الدول العربية.

## تجربة السعودية :

- دشنت أرامكو مشروع «الحوية-عنيزة» عام 2023، ضمن برنامج «خزن الغاز»، لاستغلال الحقول المستنفدة في التخزين الجوفي. وبلغ معدل الحقن الأقصى 1.5 مليار قدم مكعب يوميًا، ومعدل السحب 2 مليار قدم مكعب؛ مما يوفر قدرة عالية على دعم شبكة الغاز الرئيسية في أوقات الطلب المرتفع. ويُعدّ هذا المشروع واحدًا من أهم الأمثلة الحديثة التي تعزز حضور التخزين الجوفي للغاز في الدول العربية على الساحة العالمية.

# سادسًا:

## دور التخزين الجوي في دعم أمن الطاقة المصري

الاستثمار في التخزين الجوي للغاز يمثل ركيزة استراتيجية لأمن الطاقة المصري، ويعزز دور مصر الإقليمي، ويزيد من مرونة السوق داخليًا وخارجيًا، خاصة في ظل تقلبات أسعار وأسواق الغاز العالمية. ويمكن أن يدعم تحقيق أمن واستقلال مزيج الطاقة المصري كالتالي:

### 1. تعزيز أمن الطاقة وضمان الإمدادات

مصر تعتمد بشكل كبير على الغاز الطبيعي؛ إذ يمثل قرابة 80% من الكهرباء. وجود مرافق تخزين جوي يعني توفير مخزون استراتيجي يُستخدم في حالات الطوارئ أو انقطاع الإمدادات، سواء من الحقول المحلية أو واردات الغاز المسال. وهذا يقلل من المخاطر المرتبطة بالتقلبات الموسمية (ارتفاع الاستهلاك في الصيف بسبب الكهرباء/التبريد)، أو المخاطر الجيوسياسية المرتبطة بالتوترات السياسية في مناطق الإمداد والنقل.

### 2. تعظيم دور مصر كمركز إقليمي للطاقة

مصر تسعى للتحويل إلى مركز إقليمي للطاقة بشكل عام وللغاز بشكل محدد وذلك عبر موانئ الإسالة في إدكو ودمياط وخطوط الربط مع الأردن وإسرائيل وقبرص. ومن ثم وجود منشآت تخزين جوي سيمنح مصر مرونة تشغيلية وتسويقية أكبر، كما في ألمانيا وهولندا؛ حيث تستخدم المخازن لضبط تدفقات الغاز وتجارة المدى القصير.

### 3. دعم الاستقرار السعري وزيادة العوائد الاقتصادية

التخزين الجوي سيسمح بشراء الغاز عندما تكون الأسعار منخفضة عالميًا (صيفًا غالبًا) ووضعه إلى السوق المحلي أو التصدير عندما ترتفع الأسعار (شتاءً أو أثناء أزمات). وبالتالي يمكن أن يرفع العائدات التصديرية لمصر ويوفر موردًا إضافيًا لتمويل موازنة الطاقة.

#### 4. التكامل مع البنية التحتية القائمة

مصر تمتلك شبكة أنابيب واسعة ومحطات إسالة متقدمة، لكن غياب التخزين الجوي يمثل فجوة واضحة مقارنة بالدول الأوروبية. لذا إنشاء مخازن جوفية (سواء في حقول غاز مستنفدة أو تكوينات ملحية بالصحراء الغربية أو دلتا النيل) سيحد من هذه الفجوة ويدعم استراتيجية التحول الطاقى.

# سابعًا:

## التوصيات

تقدم الورقة البحثية توصيات تتعلق بضرورة دراسة مقترح أولي للاستثمار في حقول التخزين الجوفي للغاز حسب الموارد المحلية المتاحة وقدرة مصر علي التنفيذ، وضرورة إدماج التخزين الجوفي للغاز في مزيج الطاقة الوطني، وتطوير إطار عمل لإدخال التخزين الجوفي خلال 5-10 سنوات القادمة حسب الأهداف الاستراتيجية للتحويل الطاقى في مصر 2030-2040.

### ومن بين هذه التوصيات:

1. إطلاق مهمة وطنية عاجلة للاستثمار في التخزين الجوفي للغاز: لدراسة إمكانية تنفيذ مشروع وطني لتخزين الغاز يبدأ بمشروع تجريبي ثم يتم التوسع لاحقًا.
2. إجراء مسح جيولوجي شامل: وتوسيع الدراسات الجيولوجية لتحديد المواقع الأكثر ملاءمة لمشروعات التخزين الجوفي، مع إعطاء الأولوية للحقول الغازية المستنفدة لخفض التكلفة.
3. تطوير الإطار المؤسسي والتنظيمي: لدمج التخزين الجوفي ضمن مزيج الطاقة المصري، وتحديد صلاحيات واضحة للجهات المنفذة.
4. دمج التخزين الجوفي مع خطط مصر كمركز إقليمي للطاقة: من خلال ربط التخزين الجوفي بعمليات التصدير (LNG) والاستهلاك المحلي، بما يعزز مرونة مصر في الوفاء بالتزاماتها الإقليمية والدولية.
5. إشراك القطاع الخاص والشركاء الدوليين: تشجيع الاستثمار الأجنبي المباشر عبر شراكات مع شركات ذات خبرة عالمية مع الاستفادة من التمويل الدولي وشركاء التنمية.

6. بناء قاعدة بيانات وطنية: من خلال إنشاء منصة معلوماتية متكاملة تضم بيانات السعات، معدلات السحب والحقن، وأداء المخازن، وإجراء تقييم دوري للموارد المتاحة، لتدعيم اتخاذ القرار.

## الخاتمة

يُعدّ التخزين الجوفي للغاز الطبيعي إحدى الركائز الاستراتيجية لأمن الطاقة العالمي؛ حيث يوفر آلية مرنة وفاعلة لموازنة العرض والطلب، وضمان استقرار الإمدادات في أوقات الذروة أو حالات الأزمات. التجارب الدولية، من روسيا وألمانيا إلى كندا والولايات المتحدة، أثبتت أن التخزين تحت الأرض يشكل أداة لا غنى عنها لتحقيق الاستدامة في منظومة الطاقة؛ إذ يتيح للدول بناء احتياطات استراتيجية تقلل من مخاطر تقلبات الأسواق وتعزز من قدرتها على مواجهة التحديات الجيوسياسية والمناخية.

وبالنسبة لمصر، فإن استغلال إمكانات التخزين الجوفي للغاز يمثل فرصة ذهبية لتعزيز زيادتها كمركز إقليمي للطاقة، خاصة مع موقعها الجغرافي المتميز وامتلاكها بنية تحتية متطورة من خطوط أنابيب وموانئ للغاز المسال. وإدماج التخزين الجوفي في استراتيجيتها الوطنية سيمنحها قدرة أكبر على استقرار سوقها الداخلي وضمان مرونة تصدير الفوائض للأسواق العالمية، فضلاً عن تعظيم العوائد الاقتصادية وزيادة ثقة المستثمرين.

1. CEDIGAZ – Underground Gas Storage in the World – 2023 Status <https://www.cedigaz.org/underground-gas-storage-in-the-world-2023-status/> (Cedigaz)
2. IEA – Gas Market Report, Q32025- <https://www.iea.org/reports/gas-market-report-q32025-> (IEA)
3. IEA – Gas Market Report, Q12025- <https://www.iea.org/reports/gas-market-report-q12025-> (IEA)
4. U.S. EIA – Weekly Natural Gas Storage Report <https://www.eia.gov/naturalgas/storage/> (EIA)

## لمزيد من القراءة

يمكنكم زيارة مكتبة المركز



**مكتبة**  
المركز المصري  
للفكر والدراسات الاستراتيجية