

## تعليق

# هل يعدُّ استخدام المملكة العربية السعودية لمفاعلات الوحدات الصغيرة خياراً صائباً؟

أكتوبر 2019  
نورا يوسف منصور



ظلت تكنولوجيا توليد الطاقة النووية تتطور باضطراد منذ ظهور الطاقة النووية في حقبة الخمسينيات من القرن الماضي، ولقد أصبحت الطاقة النووية أكثر صلابة وسلامة وأمناً في أعقاب الحوادث النووية الثلاثة الكبرى (ثري مايل آيلاند وتشيرنوبيل وفوكوشيما) التي شهدتها العالم أجمع.

ازدادت متوسط قدرة المفاعلات النووية من (50 ميغاواط كهربائي) في حقبة الخمسينيات إلى حوالي (1.65 غيغاواط كهربائي) في وقتنا الحاضر، وتتركز معظم القدرات النووية في كافة أنحاء أوروبا وأمريكا الشمالية وشرق وجنوب آسيا. فيما تعد الولايات المتحدة الأمريكية أكبر بلدٍ مُنتجٍ للطاقة النووية، تمتلك فرنسا أكبر حصة من الكهرباء المولدة من الطاقة النووية. إضافة إلى أنّ الطاقة النووية توفر اليوم نسبة 11٪ من توليد الكهرباء في العالم وذلك من خلال استخدام عدد (454) مفاعلاً نووياً عاملاً في ثلاثين دولة وعدد (54) محطة نووية قيد الإنشاء، منها إحدى عشر محطة في الصين وسبع في الهند وست في روسيا.

لقد أدت المخاوف المتعلقة بتغيّر المناخ إلى القبول الواسع النطاق لأهمية الاستدامة البيئية، في الوقت الذي تتنامى فيه دعوة المجتمع الدولي إلى اعتماد الأنظمة البيئية الصارمة وممارسة الضغوط على البلدان للحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ونلاحظ على هذا النحو ازدياد المخاوف بشأن أنظمة الكهرباء الحالية القائمة على الكربون والتي يتم تشغيلها بالوقود الهيدروكربوني بصفة أساسية. غير أننا نجد أنه على الرغم من زيادة قدرة تقنيات الطاقة المتجددة وانخفاض تكلفتها، إلا أنّ استبدال القدرات الموجودة وبخاصة توليد الكهرباء ذات الأحمال الأساسية بمصادر الطاقة المتجددة لا يزال يمثل تحدياً ولعل كل ما سبق ذكره يمثل مبرراً قوياً لاستخدام الطاقة النووية كمصدر نظيف وموثوق للطاقة ومصدر لتنويع مزيج الطاقة الوطني.

كما أدت الابتكارات الحديثة في مجال تصميم المفاعلات النووية إلى ظهور مفاعلاتٍ أصغر حجماً تتميز بالقدرة على التغلب على العديد من التحديات والمشاكل الموجودة في المفاعلات الكبيرة الحجم. وتتضمن المشاكل المرتبطة بالمفاعلات الكبيرة الحجم ضرورة إنشاء استثمارات أولية كبيرة ومراعاة المهل الزمنية الطويلة لإنجاز الأبنية وعدم توافقها مع بعض الشبكات الوطنية. كما يؤدي النطاق الواسع لمشاريع بناء وتطوير المفاعلات الكبيرة إلى تقدير حالات التأخير وتجاوزات التكاليف الضخمة التي غالباً ما تتحملها الحكومات في نهاية المطاف.

إنّ مفاعلات الوحدات الصغيرة هي مفاعلات نووية متطورة لها القدرة على التخفيف من بعض المخاطر العالية المرتبطة بالمفاعلات الكبيرة. وتشير كلمة "صغيرة" إلى قدرة أقل من (300 ميغاواط)، ويمكن لهذه الكلمة أن تصف مفاعل تبلغ قدرته (50 ميغاواط) أو حتى مفاعلاً صغيراً جداً تبلغ قدرته (20-10 ميغاواط). بينما تشير كلمة "وحدة" إلى تصميم المفاعل الذي يمكن تصنيعه في المصنع ثم نقله باستخدام وحدات معيارية متطابقة متعددة في موقع محطة طاقة نووية معينة.



يوجد حالياً أكثر من خمسين تقنية لمفاعلات الوحدات الصغيرة في كافة أنحاء العالم في مراحل مختلفة من التطور التكنولوجي، غير أنه لا يوجد من بينها أيّ مفاعل تجاري أو تشغيلي حتى الآن. ولقد وسعت مفاعلات الوحدات الصغيرة إمكانات استخدام الطاقة النووية لتشمل توليد الطاقة الكهربائية وتحلية المياه وإنتاج الهيدروجين والتدفئة المركزية واستخراج النفط غير التقليدي واستخدام الحرارة الصناعية ونقل الطاقة الكهربائية إلى المناطق النائية وخارج الشبكة ومشاريع الطاقة النووية المتجددة المتكاملة.

تبحث العديد من البلدان وبخاصة البلدان المستجدة-التي لديها شبكات أصغر وبنية تحتية أقل تطوراً أو الدول المتقدمة التي توفر الطاقة الكهربائية للمناطق النائية- في استخدام مفاعلات الوحدات الصغيرة.

نورد فيما يلي بالتفصيل العديد من المزايا المحتملة لمفاعلات الوحدات الصغيرة:

### مزايا التصميم

تستفيد مفاعلات الوحدات الصغيرة من وحداتها النموذجية وإنتاجها المتسلسل وتصميماتها البسيطة المصنّعة في المصنع التي غالباً ما تحتوي على أنظمة الأمان السلبية أو المتأصلة إضافة لانخفاض الاستثمار الأولي والمهل الزمنية الأقصر لتشديد المباني المُبسطة التصميم (فترة ثلاث سنوات تقريباً بالمقارنة مع فترة تتراوح بين 10-7 سنوات). حيثُ يسمح تصميمها بوحدة إنتاج مبسطة وعمليات انقطاع مرنة ووفورات الإنتاج التسلسلي وأحجام المشاريع القابلة للإدارة والاستثمارات المتدرجة للمفاهيم الموحدة، كما يمكن توسيع الوحدات في أيّ وقت (شراء وحدة واحدة وإضافة وحدات أخرى في وقت لاحق).

### المزايا الاقتصادية

تحقق مفاعلات الوحدات الصغيرة العديد من المكاسب الاقتصادية التي تتضمن مخاطر استثمار أقل وتكاليف رأسمالية أولية منخفضة لكل وحدة والتعلم السريع للتكنولوجيا (بسبب أوقات التشييد القصيرة الأجل) ووفورات الحجم والتصنيع خارج الموقع وتحسين مراقبة الجودة وفترة أقصر للتنفيذ في السوق والجدول الزمني الأقصر للبناء والتصاميم المبسطة وتخفيض تكاليف التشغيل العامة. غير أنّ الإضافة المتعاقبة للوحدات المتعددة في نفس الموقع تؤدي إلى خفض التكلفة الرأسمالية لكل وحدة مضافة مقارنة بالوحدة السابقة وسيحد ذلك في ذات الوقت من التعرض لمخاطر تصاعد التكلفة.

**يوجد أكثر من خمسين  
تقنية لمفاعلات  
الوحدات الصغيرة في  
كافة أنحاء العالم في  
مراحل مختلفة من  
التطور التكنولوجي –  
غير أنه لا يوجد من بينها  
أيّ مفاعل تجاري أو  
تشغيلي.**

## فقدان أو تعطيل وحدة أصغر في مفاعلات الوحدات الصغيرة تأثيره أقل من فقدان أو تعطيل أحد المفاعلات الكبيرة على شبكة الكهرباء الوطنية.

### المزايا المالية

تُعدّ مفاعلات الوحدات الصغيرة أصغر وأسهل تمويلًا من المفاعلات الكبيرة مما يقلل من الرسوم التصاعديّة ويتجنب الطلب على "علاوة المخاطر"، مما يساعد بدوره على بناء ثقة المستثمر ويسمح بالاستثمارات التدريجية.

### التوافق مع الشبكة الكهربائية

تذبذب الطلب أو تراجعها لا سيما في أسواق الكهرباء المحررة يجعل من التوسع النووي للمفاعلات الكبيرة التقليدية أمراً محفوفاً بالمخاطر من الناحية الاقتصادية، غير أنّ مفاعلات الوحدات الصغيرة تحدّ من تلك المخاطر. ويصعب دمج المفاعلات الكبيرة في بعض شبكات الكهرباء الوطنية الحالية في حين يمكن استيعاب مفاعلات الوحدات الصغيرة بسهولة أكبر في هذه الشبكات. إضافة إلى أنّ فقدان أو تعطيل وحدة أصغر في مفاعلات الوحدات الصغيرة تأثيره أقل من فقدان أو تعطيل أحد المفاعلات الكبيرة على شبكة الكهرباء الوطنية.

### مزايا الأمن والسلامة

تعتبر مفاعلات الوحدات الصغيرة أكثر أماناً من المفاعلات الكبيرة لأنه يسهل تبريدها بسبب حجمها الأصغر، ونظراً لأنّ مفاعلات الوحدات الصغيرة تنتج طاقة حرارية أقلّ لكل مفاعل مقارنة بالمفاعلات الكبيرة يتم تقليل مخاطر انصهار لب المفاعل وإطلاق المواد المشعة. إضافة إلى أنّ معظم تصميمات المفاعلات الصغيرة الجديدة توفر السلامة السلبية بدلاً من أنظمة الأمان الهندسية المُدمجة في المفاعلات الكبيرة مما يعزز مستوى الأمن والسلامة العام.

التحديات التي تواجه مفاعلات الوحدات الصغيرة:

### مخاطر التطور التكنولوجي

لا توجد في الوقت الراهن أيّ مفاعلات وحدات صغيرة جاهزة للتشغيل أو متوفرة تجارياً، لكن تمّ اختبار هذه التكنولوجيا بصورة تجريبية ولكنها ليست بالضرورة قابلة للتطبيق تجارياً، علاوة على ذلك فإنّ المستخدم الأول لتكنولوجيا جديدة كهذه يعني أن منحنى التعلّم الخاص بتكنولوجيا مفاعلات الوحدات الصغيرة يعتمد على تكنولوجيا نووية مختلفة بدرجة كبيرة. وعلاوة على ذلك فلا توجد حالات مرجعية يمكن التعلّم منها مما يزيد من التحدي المتمثل في تبنيها كما أنّ التصميم الثوري لمفاعلات الوحدات الصغيرة يعني أن المرحلة التجريبية ومرحلة العرض والاختبار غالباً ما تكون طويلة وتتطلب دعماً من الحكومة.

## المسائل القانونية

تشمل طبيعة تصنيع مفاعلات الوحدات الصغيرة تصنيع المواد خارج الموقع ونقلها إلى الموقع ومنح ترخيص عبر الحدود إضافة لقضايا المسؤولية والتنظيم التي ينبغي إصدارها للمرة الأولى وينطبق هذا بشكل خاص على المفاعلات الأولى من نوعها (FOAK).

## الاقتصاد والتمويل

تخضع الاستثمارات في مفاعلات الوحدات الصغيرة للمخاطر التنظيمية وقبول الرأي العام وسياسات الطاقة الوطنية، حيث تكون المخاطر والتكاليف أعلى بالنسبة للوحدات الأولى، ومن المتوقع أن تكون الوحدات اللاحقة أقل تكلفة.

## الأمن والسلامة

لا تزال مفاعلات الوحدات الصغيرة مفاعلات نووية تحمل كافة مخاطر تكنولوجيا الطاقة النووية وإن كان ذلك على نطاق أصغر، وتشترك معظم تصاميم هذه المفاعلات في نفس تحديات دورة الوقود (المخاوف المتعلقة بالانتشار النووي وإدارة الوقود المستهلك وإيقاف التشغيل) التي يعاني منها قطاع الطاقة النووية. وعلى الرغم من ذلك فإن بعض تصميمات مفاعلات الوحدات الصغيرة تتجنب أو تقلل بعض هذه المخاطر بدرجة كبيرة.

## وضع مفاعلات الوحدات الصغيرة في المملكة العربية السعودية

أعلنت المملكة العربية السعودية بداية هذا العام عن خططها لإطلاق برنامج للطاقة النووية بحجم (2-3 غيغاواط كهربائي) كجزء من أهدافها لتنويع مصادر الطاقة، حيث تشمل قائمة الدول المختارة المورد لهذا البرنامج: الصين وكوريا الجنوبية وفرنسا وروسيا والولايات المتحدة الأمريكية.

الجدير بالذكر أن المملكة العربية السعودية وقعت في عام 2015م اتفاقية مع كوريا الجنوبية لإجراء دراسة جدوى لتطوير وبناء ما لا يقل عن مفاعلين من مفاعلات الوحدات الصغيرة، حيث بحثت هذه الدراسة في إمكانية استخدام مفاعلات الوحدات الصغيرة الكورية من نوع (SMART FOAK) الأولى من نوعها في المملكة العربية السعودية وذلك على ضوء تعميق العلاقات الثنائية السعودية-الكورية المستمرة منذ عام 1962م والشراكات المتنامية بين البلدين في مختلف المجالات ولا سيما في استخدام الطاقة النووية للأغراض السلمية منذ عام 2011م. و كانت هناك العديد من الشراكات البحثية بين البلدين إلى جانب التطوير والتدريب المشترك، وكان آخر هذه الشركات إطلاق الرؤية

**أعلنت المملكة العربية  
السعودية خطاً  
لإطلاق برنامج للطاقة  
النووية كجزء من  
أهدافها الرامية لتنويع  
مصادر الطاقة.**

السعودية الكورية 2030 على المستوى الوزاري والرامية إلى تعزيز الشراكات بين البلدين بطريقة تكون أكثر مؤسسية.

يتيح مشروع مفاعل سمارت (SMART) للمملكة العربية السعودية الفرص التي من بينها إمكانية المشاركة العلمية والتقنية في تطوير المفاعلات، حيثُ بإمكان المملكة العربية السعودية أن تلعب دوراً فاعلاً في تطوير واختبار ونشر وتسويق مفاعل سمارت (SMART).

### معلومات عامة عن المثنروع

- مفاعل سمارت (SMART) عبارة عن مفاعل وحدات صغيرة متقدم يعتمد كلية على مياه الضخ.
- تم تصميم مفاعل سمارت (SMART) لتوليد طاقة كهربائية (تصل إلى 100 ميغاواط كهربائي) وله تطبيقات حرارية مثل تحلية مياه البحر، ولقد تم تصميم عمر هذا المفاعل ليعمل حتى ستين عاماً ودورة التزود بالوقود لمدة ثلاث سنوات.
- تقدر تكلفة أول وحدة مفاعل سمارت (SMART) سيتم بناؤها بالتعاون مع اثنتي عشرة شركة كورية بمبلغ مليار دولار وذلك بقيادة الشركة الكورية للطاقة الكهربائية (KEPCO).
- قام المعهد الكوري لأبحاث الطاقة الذرية بتصميم محطة متكاملة لتحلية المياه تعتمد على مفاعل سمارت (SMART) الذي ينتج (40,000 متر مكعب) من المياه يومياً وتسعين ميغاواط من الطاقة الكهربائية بتكلفة أقل من تكلفة توريينات الغاز.

المملكة العربية السعودية عازمة على نشر مفاعلات الوحدات الصغيرة في أرجاء المملكة إضافة لإبرامها الاتفاقية الآتفة الذكر مع كوريا الجنوبية، وفي ذات السياق قامت المملكة كذلك في شهر ديسمبر من عام 2017م بتوقيع اتفاقية تعاون مع الصين لإجراء دراسة جدوى مشتركة لتطوير تكنولوجيا أخرى لمفاعلات الوحدات الصغيرة متمثلة في مفاعلات الحرارة العالية المبردة بالغاز. ويجري في الوقت الحالي في مدينة شدوان بالصين إنشاء أول مفاعل حرارة عالية مبرد بالغاز في العالم بوحدة ذات طبقة وقود حصوية (HTR-PM). وسيشمل المصنع في البداية وحدتين من مفاعلات (HTR-PM) المزدوجة التي تعمل بالتوربين البخاري بقدرة (210) ميغاواط. ولقد بدأت عملية تصنيع وبناء هذه المفاعلات في أواخر عام 2012م ولكن لم يبدأ تشغيلها بشكل تجاري حتى الآن، وكان من المقرر

أن يبدأ ذلك بحلول عام 2018م. ويستند مفاعل (HTR-PM) جزئياً إلى مفاعل (HTR-10) التجريبي الذي تم تشغيله بنجاح بكامل طاقته في عام 2003م.

على غرار العلاقات السعودية-الكورية، تتشارك المملكة العربية السعودية والصين شراكة هامة مبنية على عقود من العلاقات القوية، وتتقاطع الرؤية السعودية 2030 مع مبادرة "الحزام والطريق" التي أطلقتها الصين، ولقد وقع البلدان العديد من الاتفاقيات التجارية المتعلقة بالصناعات البترولية والبتروكيماوية والتعدين والكهرباء والسيراميك والموانئ وغيرها.

يعد اختيار البائع النووي لبناء المفاعل قراراً استراتيجياً يستند على العديد من العوامل التي ربما يكون أهمها العلاقات الثنائية مع الدولة المرشحة للقيام بهذا الدور، وينبغي أن تكون العلاقة بين هذين الطرفين علاقة استراتيجية دائمة وقادرة على تحمل ديناميات السياسة الداخلية والدولية. وستكون دورة حياة مفاعلات الوحدات الصغيرة -بما في ذلك بناءها وتشغيلها وصيانتها والتخلص من نفاياتها في نهاية المطاف- دورة أقصر بكثير من المفاعلات الكبيرة.

تؤكد الرؤية السعودية 2030 على زيادة التوطين من خلال بناء القدرات البشرية وزيادة التنمية الصناعية، ومن شأن توطين تكنولوجيا مفاعلات الوحدات الصغيرة في المملكة العربية السعودية أن توفر مكاسب اقتصادية وإنمائية كبيرة والإسهام في تحقيق أهداف وغايات برنامج التحول الوطني الطويلة الأجل وهو أحد برامج الرؤية السعودية 2030.

يتيح نشر مفاعلات الوحدات الصغيرة في المملكة استخدام احتياطياتها النفطية بنحو أمثل على المدى الطويل وتلبية الطلب المحلي المتزايد على الطاقة الكهربائية، كما أنّ ذلك سيمكّن المملكة من تنمية رأس المال البشري من خلال نقل المعرفة ونمو استثمارات القطاعين العام والخاص عبر تطوير سلسلة قيمة مفاعلات الوحدات الصغيرة.

هذا التعليق جزء من دراسة عن برنامج الطاقة النووية في المملكة العربية السعودية ، في إطار برنامج تحولات الطاقة والطاقة الكهربائية. لمزيد من التفاصيل، الرجاء قراءة مقالة قادمة بعنوان "برنامج الطاقة النووية في المملكة العربية السعودية"، التي من المتوقع أن تنشر في شهر ديسمبر من عام 2019م.

## عن كابسارك

مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك) هو مركز عالمي غير ربحي يجري بحوثاً مستقلة في اقتصاديات وسياسات وتقنيات الطاقة بشتى أنواعها بالإضافة إلى الدراسات البيئية المرتبطة بها. وتتمثل مهمة كابسارك في تعزيز فهم تحديات الطاقة والفرص التي تواجه العالم اليوم وفي المستقبل من خلال بحوث غير منحازة ومستقلة وعالية الجودة لما فيه صالح المجتمع، ويقع كابسارك في الرياض بالمملكة العربية السعودية.

## إشعار قانوني

© حقوق النشر 2019 محفوظة لمركز الملك عبدالله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك). لا يجوز استخدام هذا المستند أو أي معلومات أو بيانات أو محتوى يتضمنه دون نسبته بشكل ملائم لكابسارك. كما لا يجوز إعادة إنتاج هذا المستند أو جزء منه دون إذن خطي من كابسارك. ولا ينشأ عن المعلومات الواردة في هذا المستند أي ضمان أو تعهد أو أي مسؤولية قانونية –سواء مباشرة أو غير مباشرة- تجاه دقتها أو اكتمالها أو فائدتها. كما لا يجوز أن يعتبر هذا المستند –أو أي جزء منه- أو أن يفسر ك نصيحة أو دعوة لاتخاذ أي قرار.





مركز الملك عبدالله للدراسات والبحوث البترولية  
King Abdullah Petroleum Studies and Research Center

[www.kapsarc.org](http://www.kapsarc.org)