جمهورية مصر العربية
معهد التخطيط القومي
الدراسات العليا

البحث التطبيقي

عنوان البحث باللغة العربية	"دور الطاقة النووية السلمية في دعم التنمية الصناعية في مصر وعلاقتها بتحقيق اهداف التنمية المستدامة."
عنوان البحث باللغة الإنجليزية	"The Role of Peaceful Nuclear Energy in Supporting Industrial Development in Egypt and Its Relation to Achieving the Sustainable Development Goals"
إعداد	الباحثة / إيمان محمد عبد المؤمن خالد
إشراف	أ.د محمد حسن توفيق مركز التخطيط والتنمية الصناعية

لاستكمال متطلبات

الحصول على الماجستير المهني "المتابعة والتقييم"

مايو ٢٠٢٦

الملخص العربي

تلعب الطاقة النووية السلمية دورًا محوريًا في دعم التنمية الصناعية في مصر من خلال توفير طاقة مستقرة ومنخفضة الانبعاثات، وجذب الاستثمارات، وتطوير التكنولوجيا المحلية، وخلق فرص عمل. كما يعد مشروع الضبعة عنصرًا أساسيًا لتحقيق أهداف التنمية المستدامة، خاصة المتعلقة بالطاقة النظيفة، الابتكار الصناعي، والعمل المناخي. ومن المتوقع أن تشكل الطاقة النووية ركيزة مهمة في رؤية مصر لتصبح مركزًا إقليميًا للطاقة والصناعة.

الكلمات المفتاحية:

- مزيج الطاقة Energy Mix
- الوكالة الدولية للطاقة الذرية International atomic energy agency
- الطاقة النووية السلمية Peaceful nuclear energy
- طاقة مستقرة Stable power / Reliable power supply
- منخفضة الانبعاثات Low-carbon (power)
- مشروع الضبعة El-Dabaa Nuclear Power Plant project
- أهداف التنمية المستدامة Sustainable Development Goals (SDGs)
- *المفاعلات* النمطية الصغيرة SMRs small modular reactors

Abstract

Peaceful nuclear energy plays a pivotal role in bolstering Egypt's industrial development by providing stable, low-carbon power, attracting investments, fostering indigenous technological advancement, and generating employment opportunities.

The El Dabaa Nuclear Power Plant project is an essential component for achieving the Sustainable Development Goals (SDGs), particularly those related to Clean Energy (SDG 7), Industry, Innovation, and Infrastructure (SDG 9), and Climate Action (SDG 13).

Nuclear power is projected to form a critical pillar in Egypt's vision to establish itself as a regional hub for energy and industry.

Contents

الملخص العربي ١
الكلمات المفتاحية: ١
Abstract ١
المقدمة ٤
القسم الأول: الإطار النظري للدراسة ٥
١ – مشكلة الدراسة ٥
٢ – أهداف البحث ٥
٣–أهمية البحث ٦
٤ – تساؤلات الدراسة ٦
٥–حدود الدراسة ٧
٦–منهج البحث ٧
٧–الدراسات السابقة ٩
القسم الثاني: الإطار النظري للدراسة ١٩
الفصل الأول مفهوم الطاقة وأهميتها ١٩
أولا : مصادر الطاقة وأنواعها ١٩
ثانيا: مفهوم مزيج الطاقة(Energy Mix) ٢٠
ثالثا: أهمية الطاقة النووية في مزيج الطاقة ٢٠
رابعا: الطاقة النووية كبديل استراتيجي في ظل التوترات الجيوسياسية: حالة الصراع الإيراني–الأمريكي–الإسرائيلي ٢١
الفصل الثاني ٢٣
الطاقة النووية السلمية واستخداماتها ٢٣
أولا: تعريف الطاقة النووية. ٢٣
ثانيا: أنواع المفاعلات النووية : ٢٤
ثالثا: معايير السلامة والأمان في محطات القوى النووية ٢٧
رابعا: الاستخدامات السلمية للطاقة النووية: ٢٨
خامسا: إيجابيات وسلبيات الطاقة النووية بالنسبة للبيئة ٢٩
سادسا: مفهوم التنمية الصناعية ٣٠
سابعا: الطاقة النووية والتنمية المستدامة ٣١
الفصل الثالث ٣٣
مشروع محطة الضبعة النووية السلمي ٣٣
✓ **الأبعاد الاستراتيجية لمشروع محطة الضبعة النووية في سياق الأمن القومي** ٣٦
- **الإطار المؤسسي للهيئات النووية في مصر** ٣٧
- **هيئة الطاقة الذرية المصرية** ٣٧
- **هيئة الرقابة النووية والإشعاعية** ٣٨
- **مركز التميز للطاقة – جامعة عين شمس** ٣٩
- **الإطار القانوني والمراجع المنظمة لعمل الهيئات النووية في مصر** ٣٩

الفصل الرابع ٤١
علاقة مشروع محطة الضبعة النووية السلمية بالتنمية المستدامة في مصر ٤١
أولًا: مفهوم التنمية المستدامة وأبعادها ٤١
ثانيًا: أهمية قطاع الطاقة في تحقيق التنمية المستدامة ٤١
ثالثًا: مشروع محطة الضبعة النووية كأحد ركائز التنمية المستدامة ٤٢
رابعًا: دور المشروع في تحقيق البعد الاقتصادي للتنمية المستدامة ٤٣
خامسًا: دور المشروع في تحقيق البعد الاجتماعي ٤٤
سادسًا: دور المشروع في تحقيق البعد البيئي ٤٥
سابعًا: المواءمة الاستراتيجية لمشروع الضبعة مع أجندة الأمم المتحدة للتنمية المستدامة ٢٠٣٠ ..... ٤٦
ثامنا: الآفاق المستقبلية والتموضع الاستراتيجي لمصر في المشهد الطاقي ٤٧
القسم الثالث: الإطار التطبيقي للدراسة ٤٨
الفصل الخامس ٤٨
التجارب الدولية الرائدة في مجال استخدام الطاقة النووية السلمية وآثارها التنموية ٤٨
أولًا: التجربة الفرنسية (نموذج السيادة الطاقية والاستقلال الصناعية) ٤٨
ثانيًا: التجربة الروسية (نموذج التكامل الرأسي والصادرات التكنولوجية) ٤٨
ثالثًا: التجربة الكورية الجنوبية (نموذج التوطين والتحول للتصدير) ٤٩
رابعًا: التجربة الهندية (نموذج الاعتماد على الذات ودورة الوقود الوطنية) ٤٩
خامسًا: التجربة الإماراتية (نموذج التنمية السريعة والاستدامة البيئية) ٥٠
سادسًا: مقارنة تحليلية بين التجارب الدولية ٥٠
سابعًا: الدروس المستفادة من التجارب السابقة ٥١
نتائج وتوصيات الدراسة ٥٣
أولا: النتائج ٥٣
ثانيا: توصيات الدراسة: ٥٧
قائمة المراجع: ٥٩

المقدمة

تسعى مصر في العقود الأخيرة إلى تنويع مصادر الطاقة لتحقيق أمنها الطاقوي ودعم مسارها التنموي، خصوصاً مع النمو المتسارع في الطلب الصناعي على الكهرباء. وفي هذا الإطار، يمثل مشروع الضبعة للطاقة النووية خطوة استراتيجية نحو استخدام الطاقة النووية كأداة للتنمية الصناعية المستدامة، ليس فقط لتوفير الطاقة، بل أيضاً لتعزيز القدرات التكنولوجية، نقل المعرفة، وتطوير الصناعات المحلية. يتنامى الاستخدام السلمي للطاقة النووية في شتى مناحي الحياة، لتشمل المجالات الصناعية، والطبية والزراعية وغيرها. ويعتبر توليد الكهرباء من الطاقة النووية أحد أهم هذه الاستخدامات من خلال توليد طاقة نظيفة ومنافسة اقتصاديا. كما أنها تقنية مستدامة تضمن حق الأجيال القادمة من الموارد الأحفورية نتيجة توافر وقودها لعقود طويلة.

وتساهم محطات الطاقة النووية بنسبة عالمية تبلغ نحو ١٠٪ في مزيج الكهرباء العالمي، من خلال أكثر من ٤٤٠ مفاعلًا نوويًا قيد التشغيل في أكثر من ٣٠ دولة حول العالم، كما يوجد حاليًا ما يقرب من ٥٠ مفاعلًا نوويًا تحت الإنشاء (الوكالة الدولية للطاقة 2023,IEA)(الوكالة الدولية للطاقة الذرية IAEA ، ٢٠٢٢), (الرابطة العالمية للطاقة النووية 2024)وقد مرت تكنولوجيا مفاعلات القوى النووية منذ نشأتها بعدة تطورات، بداية من الجيل الأول وصولًا إلى ما يُعرف بالجيل الثالث المتقدم(Gen III+) ، حيث تتسم تصميمات هذا الجيل باعتماد تقنيات قياسية ونمطية، الأمر الذي انعكس إيجابًا على تعزيز مستويات الأمان وخفض التكاليف التشغيلية والإنشائية) وكالة الطاقة النووية 2022,OECD)؛ (الوكالة الدولية للطاقة الذرية IAEA ، ٢٠٢٢).

يركز هذا البحث على تحليل الدور الحالي والمحتمل للطاقة النووية في دعم القطاعات الصناعية المصرية، وارتباطه بتحقيق أهداف التنمية المستدامة(SDGs) ، خاصة الهدفين:

- الهدف السابع: الطاقة النظيفة والمتاحة للجميع.
- الهدف التاسع: الصناعة والابتكار والبنية التحتية .

بالإضافة الي الأهداف :

- الهدف الثامن: العمل اللائق والنمو الاقتصادي.
- الهدف الثالث عشر: العمل المناخي.
- الهدف السادس: المياه النظيفة

القسم الأول: الإطار النظري للدراسة

١ – مشكلة الدراسة

على الرغم من التقدم الملحوظ الذي حققته مصر في المضي قدمًا نحو تنفيذ مشروع محطة الضبعة النووية السلمية باعتباره أحد أكبر مشروعات الطاقة الاستراتيجية في الدولة، فإن الأدبيات الأكاديمية لا تزال تُظهر نقصًا واضحًا في الدراسات التي تتناول بشكل منهجي مدى التأثير الفعلي والمحتمل لاستخدام الطاقة النووية السلمية على مسار التنمية الصناعية في مصر.

فبرغم ما يمثله المشروع من خطوة جوهرية لتعزيز أمن الطاقة الوطني وتنويع مزيج الطاقة، تشير العديد من التقارير الدولية إلى أن الاستفادة من الطاقة النووية لا تقتصر على توليد الكهرباء فقط، بل تمتد لتشمل دعم القطاعات الصناعية كثيفة الاستهلاك للطاقة، وتوطين التكنولوجيا المتقدمة، وتعزيز سلاسل القيمة المحلية، وهو ما لم يحظَ بالتحليل الكافي في السياق المصري (الوكالة الدولية للطاقة الذرية IAEA ، ٢٠٢٢).

كما تُظهر مراجعة الدراسات السابقة أن معظمها انصبّ على تحليل دراسات الجدوى الاقتصادية للمشروعات النووية، وتقدير تكاليف الإنشاء والتشغيل، إلى جانب تناول الأبعاد السياسية والاستراتيجية لاستخدام الطاقة النووية، فضلًا عن التركيز على دورها العام في تحقيق أهداف التنمية المستدامة على المستويين العالمي والدولي (World Nuclear Association, 2021)؛ العربي، ٢٠٢٣

في المقابل، يلاحظ غياب الدراسات التطبيقية التي تتناول بشكل مباشر دور استخدام الطاقة النووية السلمية في دعم التنمية الصناعية في مصر، ولا سيما في المرحلة التي تزامنت مع بدء أعمال تصميم وتنفيذ أول محطة نووية مصرية بالتعاون مع الجانب الروسي في منطقة الضبعة بمحافظة مطروح، وهو ما يمثل فجوة بحثية واضحة في الأدبيات المتاحة (تقرير حصاد أنشطة وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، ٢٠٢١).

من هذا المنطلق، تنشأ المشكلة البحثية في ضوء الحاجة إلى فهم أكثر عمقًا لكيفية توظيف الطاقة النووية السلمية كأداة تنموية تدعم القطاع الصناعي، بما يحقق التوازن بين الجدوى الاقتصادية ومتطلبات الاستدامة البيئية، ويتوافق مع أهداف التنمية المستدامة، خاصة الهدف السابع المتعلق بالطاقة النظيفة، والهدف التاسع المرتبط بالصناعة والابتكار. وبناءً عليه، تتمحور المشكلة الرئيسة للدراسة حول الآتي: **إلى أي مدى يمكن للطاقة النووية السلمية أن تسهم في تعزيز التنمية الصناعية في مصر، وبما يحقق التوازن بين الجدوى الاقتصادية ومتطلبات الاستدامة البيئية؟**

٢ – أهداف البحث

- **الهدف الرئيسي**

١. فهم كيفية تأثير استخدامات التكنولوجية للطاقة النووية على القطاع الصناعي.

- **الأهداف الفرعية**

١–تحديد احتياجات القطاعات الصناعية من الطاقة في مصر.

٢–فهم كيفية تأثير استخدامات التكنولوجية للطاقة النووية على القطاع الصناعي.

٣-تقديم توصيات للسياسات الداعمة لاستخدام مستدام للطاقة النووية.
٤-استكشاف سبل توطين التكنولوجيا النووية في الصناعات المحلية.
٥-كيفية دعم الطاقة النووية في تحقيق مصر لأهداف التنمية.

٣-أهمية البحث

الأهمية العلمية للبحث

تنبع الأهمية العلمية لهذا البحث من كونه يعالج نقصًا واضحًا في الأدبيات التي تتناول الدور المباشر للطاقة النووية السلمية في دعم التنمية الصناعية في مصر، وهي زاوية بحثية لم تحظَ بالاهتمام الكافي مقارنة بالتجارب الدولية. ويقدّم البحث إطارًا معرفيًا متكاملًا يجمع بين دراسات الطاقة النووية والاقتصاد الصناعي وأجندة التنمية المستدامة، بما يساهم في تطوير نموذج علمي يمكن استخدامه في تحليل تجارب الدول النامية الأخرى. كما يعزّز البحث الاتجاهات العالمية الراهنة التي تسعى إلى فهم مزيج الطاقة الأمثل، وتقييم البدائل المنخفضة الكربون، وتطوير سياسات الطاقة النظيفة، وذلك اتساقًا مع ما تطرحه الوكالات الدولية المتخصصة مثل الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA) والهيئات الدولية المعنية بصناعة الطاقة النووية. إضافة إلى ذلك، يوفّر البحث تحليلًا علميًا موثقًا لتجربة مصر في مشروع محطة الضبعة النووية، مما يثري المكتبة الأكاديمية بمصدر موثوق يمكن الاستناد إليه في أبحاث مستقبلية تتعلق بالطاقة والتنمية.

الأهمية العملية للبحث

تتجلى الأهمية العملية للبحث في قدرته على تقديم رؤية تطبيقية يمكن لصنّاع القرار والمؤسسات الحكومية الاعتماد عليها لتعظيم العائد التنموي من مشروع الضبعة النووي. إذ يقدّم البحث توصيات مدروسة حول آليات تعزيز المكوّن المحلي في الصناعات النووية، ودعم سلاسل التوريد الوطنية، وتحسين سياسات الطاقة الصناعية بما يسهم في رفع القدرة التنافسية للصناعة المصرية. كما يوضح البحث الدور الذي يمكن أن تلعبه الطاقة النووية في توفير إمدادات كهرباء مستقرة للصناعات كثيفة الاستهلاك للطاقة، وخفض تكاليف التشغيل، وجذب الاستثمارات ذات التكنولوجيا المتقدمة. وإضافة إلى ذلك، يبرز البحث كيف يسهم المشروع النووي المصري في تحقيق أهداف التنمية المستدامة المتعلقة بالطاقة النظيفة، والنمو الاقتصادي، والصناعة والابتكار، والعمل المناخي، بما يدعم توجه الدولة نحو اقتصاد منخفض الكربون. وتمتد الفوائد العملية للبحث لتشمل دعم مؤسسات التعليم والتدريب في تطوير المناهج والبرامج المتخصصة، وتعزيز الوعي المجتمعي المبني على المعرفة العلمية حول أهمية الطاقة النووية ودورها في التنمية الوطنية.

٤ – تساؤلات الدراسة

- ما هو دور الطاقة النووية في تلبية احتياجات التنمية الصناعية في مصر؟
- ما هو تأثر الاستخدامات التكنولوجية للطاقة النووية السلمية على القطاع الصناعي في مصر؟
- ماهي السياسات الداعمة للاستخدام المستدام للطاقة النووية السلمية في مصر؟
- ماهي سبل توطين التكنولوجيا النووية في مجال الصناعات المحلية في مصر؟

- كيف تسهم الطاقة النووية في دعم أهداف التنمية المستدامة؟
- ما هي التحديات التي تواجه دمج الطاقة النووية ضمن استراتيجية التنمية الصناعية؟

٥-حدود الدراسة

أولًا: الحدود المكانية يتحدد النطاق الجغرافي لهذا البحث داخل جمهورية مصر العربية، نظرًا لكونها الدولة محل الدراسة التي تشهد تنفيذ أول مشروع نووي لإنتاج الكهرباء عبر محطة الضبعة النووية السلمية .

ثانيًا: الحدود الزمنية يغطي البحث الفترة الممتدة من عام ٢٠٢٠ إلى عام ٢٠٢٥ لأسباب منهجية واضحة. ففي عام ٢٠١٥ تم الإعلان رسميًا عن اتفاق تنفيذ مشروع محطة الضبعة، مما يجعل هذا العام نقطة انطلاق مناسبة لرصد التطورات المرتبطة بالمشروع.

ثالثًا: الحدود الموضوعية

يتركّز البحث على دراسة العلاقة بين الطاقة النووية السلمية والتنمية الصناعية المستدامة داخل السياق المصري.

٦-منهج البحث

-**المنهج المستخدم:** المنهجية التي اعتمدت عليها الدراسة لتحقيق أهدافها، واختبار فرضياتها المتعلقة بدور الطاقة النووية في دعم القطاع الصناعي وتحقيق أبعاد التنمية المستدامة. نظراً لطبيعة الدراسة التي تجمع بين الجوانب التقنية والاقتصادية والاستراتيجية، تم اعتماد مدخل منهجي تكاملي يجمع بين المنهجين التحليلي والمقارن.

- ✓ **المنهج المقارن(Comparative Approach) تم** استُخدام المنهج المقارن لاستخلاص الدروس المستفادة من التجارب الدولية الرائدة في مجال الطاقة النووية للأغراض السلمية، وإمكانية إسقاطها على الحالة المصرية.

- **آلية التطبيق:**
  - **المقارنة المكانية (بين الدول)** :إجراء دراسة مقارنة بين تجارب دولية مختارة (مثل التجربة الروسية، الكورية الجنوبية، الفرنسية، الإماراتية) في توظيف الطاقة النووية لخدمة الأغراض الصناعية.
  - **المقارنة النوعية (بين مصادر الطاقة)** :المقارنة بين الطاقة النووية ومصادر الطاقة المتجددة والأحفورية من حيث (الاستمرارية، الكلفة الاقتصادية، والأثر البيئي) لتوضيح الميزة التنافسية للطاقة النووية كـ "طاقة حمل أساسي.(Base Load Power) "
  - **تحديد فجوة التنفيذ** :مقارنة البنية التحتية والتشريعية في مصر بالمعايير الدولية المعتمدة من قبل الوكالة الدولية للطاقة الذرية.(IAEA) و (WANO)

- ✓ **لمنهج الوصفي التحليلي(Analytical Approach)** يُعد المنهج التحليلي الركيزة الأساسية لهذا البحث، حيث يتم من خلاله تفكيك المتغيرات الرئيسية للدراسة وتحليل العلاقات الارتباطية بينها.

- **آلية التطبيق:**
  - **تحليل البيانات التقنية والاقتصادية** :تحليل المؤشرات الخاصة بكفاءة الطاقة النووية وقدرتها على خفض تكاليف الإنتاج الصناعي مقارنة بالمصادر الأخرى.
  - **تحليل السياسات والخطط الاستراتيجية** :قراءة تحليلية معمقة لرؤية "مصر ٢٠٣٠" واستراتيجية الطاقة المتكاملة والمستدامة، لبيان مدى اتساق مشروع محطة الضبعة النووية مع الأهداف الوطنية.
  - **تقييم الأثر الاستدامي** :تحليل مساهمة الطاقة النووية في تحقيق الأهداف البيئية (تقليل الانبعاثات الكربونية) والأهداف الاجتماعية (توفير فرص العمل وتوطين التكنولوجيا)

أدوات جمع البيانات

اعتمدت الدراسة في جمع مادتها العلمية على:

١. **المصادر الثانوية** :الكتب، الأبحاث المنشورة في المجلات العلمية المحكمة، والتقارير الدولية الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية ومنظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية.(UNIDO)
٢. **الوثائق الرسمية** :التقارير الفنية الصادرة عن هيئة المحطات النووية لتوليد الكهرباء في مصر، والبيانات الإحصائية الرسمية المتعلقة بمعدلات النمو الصناعي. من كل من الوكالة الدولية للطاقة الذرية IAEAو هيئة المحطات النووية NPPA و الرابطة العالمية النووية WANO .

٧-الدراسات السابقة

الدراسات العربية:

-مؤتمر الأهرام التاسع للطاقة (٢٠٢٥) بعنوان تكامل الاستثمار والتعليم مفتاح التحول.

هدف المؤتمر الي البحث في سبل تطوير قطاع الطاقة المصري وتعزيز دوره في دعم التنمية الاقتصادية والصناعية المستدامة من خلال تنويع مصادر الطاقة.

وتوصل المؤتمر الي عدة توصيات منها **تنويع مزيج الطاقة وتعزيز أمن الطاقة حيث** أوصى المؤتمر بضرورة الإسراع في تنفيذ استراتيجية وطنية متكاملة لتنويع مزيج الطاقة، بما يضمن تحقيق أمن الطاقة على المدى الطويل، وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية و**دعم التحول نحو الطاقة النظيفة والاستدامة البيئية حيث** أكد المؤتمر أهمية تبني سياسات واضحة للتحول الأخضر، والتوسع في مشروعات الطاقة النظيفة، بما يسهم في خفض الانبعاثات الكربونية وتحقيق أهداف التنمية المستدامة بالإضافة الي **ربط مشروعات الطاقة بالتنمية الصناعية حيث** أبرزت توصيات المؤتمر ضرورة عدم الفصل بين سياسات الطاقة وسياسات التنمية الصناعية و**تشجيع توطين التكنولوجيا وتعميق التصنيع المحلي حيث** دعا المؤتمر إلى تعزيز توطين التكنولوجيا المرتبطة بمشروعات الطاقة و**تعزيز مشاركة القطاع الخاص والاستثمار حيث** أكد المؤتمر أهمية تهيئة بيئة تشريعية واستثمارية جاذبة، وتشجيع مشاركة القطاع الخاص المحلي والأجنبي في مشروعات الطاقة. بالإضافة الي **التكامل المؤسسي بين الجهات المعنية بقطاع الطاقة حيث** أوصى المؤتمر بضرورة تعزيز التنسيق والتكامل بين الجهات الحكومية المختلفة المعنية بقطاع الطاقة.

- شيماء سعيد دخيل العربي(٢٠٢٤)، بعنوان اقتصاديات الطاقة النووية ودورها في تحقيق التنمية المستدامة .

هدفت الدراسة بشكل رئيسي إلى تحليل الأبعاد الاقتصادية للطاقة النووية في مصر وتقييم مدى مساهمتها المتوقعة في تحقيق أهداف التنمية المستدامة(SDGs) ، لا سيما ضمن رؤية مصر ٢٠٣٠.

وقد اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، بالإضافة إلى استخدام المنهج القياسي (تحليل اقتصادي كمي) لتقييم الجوانب الاقتصادية، إلى جانب الاستعانة بآراء الخبراء والمختصين في القطاعات ذات الصلة لتقييم الوعي بأهمية الطاقة النووية.

توصلت أيضا الي ان الاستقرار والموثوقية في الطاقة النووية هي الحل الأمثل لتوفير الـ) Base Load الحمل الأساسي (للشبكة الكهربائية نظرًا لقدرتها على العمل بكفاءة عالية على مدار الساعة، وهو ما يوفر الاستقرار الضروري للتنمية الصناعية.وفيما يخص الطاقة النووية في تحقيق التنمية المستدامة ربطت الدراسة بين مشروع الطاقة النووية والعديد من أهداف التنمية المستدامة(SDGs) ، وأبرزها: الهدف ٧ (طاقة نظيفة وبأسعار معقولة) :تحقق الطاقة النووية هذا الهدف عبر توفير مصدر طاقة منخفض الكربون ومستقر، مما يضمن أمن الإمدادات للطاقة للصناعة والاستهلاك.

- محمد حسين حفني غانم(٢٠٢٣)بعنوان دور الطاقة المتجددة في تحقيق التنمية المستدامة في مصر" هدفت الدراسة إلى تحليل وتقييم دور الطاقة المتجددة (خاصة الشمسية والرياح) في دعم مساعي مصر لتحقيق التنمية المستدامة.

واعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، بالإضافة إلى استخدام التحليل القياسي (الكمي) لتقييم العلاقة بين متغيرات الطاقة المتجددة (الإنتاج والاستثمارات) ومتغيرات التنمية المستدامة (النمو الاقتصادي، خفض الانبعاثات، وخلق فرص العمل).

توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج التي تؤكد الدور المحوري والمتزايد للطاقة المتجددة في مصر أولها الأثر الاقتصادي دعم النمو المستدام و تنويع مصادر الطاقة :أظهرت الدراسة أن التوسع في الطاقة المتجددة يقلل من الاعتماد على الوقود الأحفوري (خاصة الغاز الطبيعي)، مما يوفر العملات الصعبة التي كانت تُستخدم لاستيراد الوقود ويقلل من تقلبات الأسعار العالمية. بالإضافة جذب الاستثمارات حيث نجحت مصر في جذب استثمارات أجنبية ومحلية ضخمة في مشاريع الطاقة المتجددة (مثل مجمع بنبان للطاقة الشمسية)، مما ساهم بشكل مباشر في النمو الاقتصادي ودعم البنية التحتية. و زيادة القدرة التنافسية التي ساعدت توفير طاقة نظيفة وموثوقة بأسعار تنافسية على دعم القطاع الصناعي المصري في التزامهم بالمعايير البيئية الدولية، مما يعزز قدرتهم التنافسية في الأسواق العالمية.وفيما يخص الأثر البيئي: التخفيف من آثار التغيرات المناخية توصلت الدراسة الي ان هناك انخفاض في الانبعاثات وأن التوسع في إنتاج الكهرباء من الشمس والرياح ساهم بشكل فعال في خفض مستويات ثاني أكسيد الكربون وغيره من انبعاثات الغازات الدفيئة ونقل التكنولوجيا من خلال تمكن مصر من توطين بعض تكنولوجيا الطاقة المتجددة من خلال الشراكة مع شركات عالمية، مما يعزز القدرات الفنية والبحثية المحلية.

– دراسة "المركز المصري للفكر والدراسات الاستراتيجية(ECSS) (2024) .

هدفت الدراسة إلى تحديد الدور الجديد للطاقة النووية وتقييم مرونة النظام :تقييم الكيفية التي يمكن بها للمحطات النووية أن تزيد من مرونة (Flexibility) أنظمة الكهرباء العالمية ورصد التوجهات الاستثمارية تسليط الضوء على الاتجاه المتزايد للدول المتقدمة والناشئة نحو الاستثمار في الطاقة النووية وخاصة المفاعلات الصغيرة النمطية.

توصلت الدراسة الي توصلت الدراسة إلى عدة نتائج رئيسية: أن الاستقرار والمرونة :(Base Load Power) للطاقة النووية دور حيوي في توفير الاستقرار والمرونة في أنظمة الكهرباء. وهي ضرورية لتعويض القصور الذاتي للمحطات التقليدية أثناء فترات الذروة، ودعم مشاركة الطاقات المتجددة المتغيرة. بالإضافة النمو العالمي المتزايد :على الرغم من هيمنة الطاقات المتجددة، أعلنت دول متزايدة (مثل المملكة المتحدة، وفرنسا، والصين، وبولندا، والهند) عن خطط واضحة للاستثمار والتوسع النووي. أن من حيث الإطار المؤسسي والتمويل تتزايد المبادرات الإقليمية، مثل التحالف النووي الأوروبي (الذي أطلق في فبراير ٢٠٢٤)، بهدف تشجيع البناء النووي، وتسهيل التمويل، ومواءمة القواعد والإجراءات بين الدول.

– مدحت صالح أبو المجد (2022)، بعنوان محددات التخلي عن نهائيا عن الطاقة النووية السلمية دراسة حالة علي البرنامج النووي الإيطالي.
اعتمدت الدراسة على تصميم بحثي دقيق يجمع بين النظرية والتطبيق الإحصائي باستخدام المنهج الاستنباطي من خلال الانتقال من القواعد الكلية إلى استنباط الأسس التي تتوافق مع الحالة الإيطالية وجاء اختيار إيطاليا لكونها حالة مشابهة في ظروفها الاقتصادية والسياسية لكثير من الدول النامية.
خلصت الدراسة إلى نتائج غير متوقعة خالفت الفرضيات البحثية الأولية مثل نفي العلاقة الاقتصادية والبيئية :أثبت التحليل الإحصائي عدم وجود ارتباط قوي (الارتباط كان ضعيفاً) بين التخلي عن النووي وبين النمو الاقتصادي أو التلوث البيئي أو وفرة الطاقة المتجددة. وأن سلطة الرأي العام والاستفتاءات حيث توصلت الدراسة إلى أن الرأي العام الإيطالي كان المحرك الفعلي، حيث استغلت أحزاب سياسية الحوادث العالمية (مثل حادث تشيرنوبل ١٩٨٦) لتوجيه الشعب نحو الرفض التام عبر استفتاء عام ١٩٨٧. وعن أسباب الرفض الشعبي :حددت الدراسة مخاوف الجمهور في النفايات النووية، مخاطر السرطان، الحوادث، التكلفة، والانتشار النووي أما عن الاستنتاج الخاص بمصر، استبعدت الدراسة تخلي مصر عن برنامجها مستقبلاً، نظراً لاستخدام مفاعلات ذات عوامل أمان فائقة، مما يحول دون تولد مخاوف شعبية مماثلة لتلك التي حدثت في إيطاليا.

الدراسات الأجنبية :

- إسماعيل وأخرون (٢٠٢٥)، بعنوان Optimization of Nuclear Energy for Sustainable Development and Climate Change Mitigation.

هدفت الدراسة إلى تحليل وتقييم الاستراتيجيات المُثلى لدمج الطاقة النووية في مزيج الطاقة المصري، ليس فقط لتلبية الطلب المتزايد على الكهرباء، ولكن لدعم أهداف التنمية المستدامة (SDGs)والتخفيف من آثار تغير المناخ في مصر.

اعتمد الباحثون على النماذج الرياضية والمحاكاة الحاسوبية (Mathematical Modeling and Simulation)لتقييم سيناريوهات مختلفة لدمج الطاقة النووية مع مصادر الطاقة المتجددة (الرياح والشمس) لتحديد المزيج الأكثر كفاءة واقتصادية بيئية حتى عام ٢٠٥٠.

توصلت الدراسة إلى عدة نتائج جوهرية تدعم الخيار النووي في مصر كجزء من استراتيجية طويلة الأجل منها الضرورة الاستراتيجية للاندماج الطاقي حيث أكدت الدراسة أن تحقيق التنمية الصناعية في مصر يتطلب مصدر طاقة مستقراً وموثوقاً يعمل على مدار الساعة (Base Load) لمواجهة التقطع في إنتاج الطاقة المتجددة. وقد أثبتت النتائج أن الاندماج المتوازن للطاقة النووية (لتوفير الحمل الأساسي) مع الطاقة المتجددة (للتنوع والكفاءة) هو السيناريو الأكثر فعالية من حيث التكلفة والأقل من حيث الانبعاثات الكربونية مقارنة بالاعتماد الكلي على الوقود الأحفوري أو الطاقة المتجددة وحدها. بالإضافة الي دعم التنمية الصناعية والتكنولوجية حيث أشارت الدراسة إلى أن استقرار إمدادات الطاقة النووية أمر حاسم لدعم العمليات الصناعية كثيفة الاستهلاك للطاقة مثل مصانع الأسمنت، والأسمدة، وتحلية المياه على نطاق واسع.أوصت الدراسة بضرورة استغلال البرنامج النووي في توطين التكنولوجيا وتعزيز البحث والتطوير (R&D) في مجال الهندسة النووية.

- الوكالة الدولية للطاقة الذرية لعام (٢٠٢٥) ، بعنوان " Nuclear-Produced Hydrogen: Industrial Applications and Decarbonization Potential in MENA"

هدفت الدراسة إلى تقييم الإمكانات الاستراتيجية والتكنولوجية لاستخدام الطاقة النووية في إنتاج الهيدروجين النظيف (Hydrogen Production)على نطاق تجاري في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا(MENA) ، وتحديد كيفية مساهمة هذا الهيدروجين في تحقيق إزالة الكربون (Decarbonization) من القطاعات الصناعية التي يصعب فيها استخدام الكهرباء مباشرة

. واعتمدت الدراسة على التحليل الاقتصادي الهندسي والنماذج المقارنة للأنظمة الطاقية لتقييم كفاءة وموثوقية الطرق النووية لإنتاج الهيدروجين (مثل التحليل الكهربائي عالي الحرارة) مقارنة بالهيدروجين الأخضر (الناتج عن الطاقة المتجددة) والهيدروجين الرمادي (الناتج عن الوقود الأحفوري).

توصلت الدراسة إلى أن الهيدروجين المنتج نووياً يمثل حلاً استراتيجياً حاسماً للمنطقة لتحقيق أهدافها الصناعية والمناخية وهي المزايا التنافسية للهيدروجين النووي والتي منها الإمداد الثابت والموثوق :على عكس الهيدروجين الأخضر الذي يتأثر

بتقلبات الشمس والرياح، يوفر المفاعل النووي مصدر طاقة وحرارة ثابت ومستمر على مدار الساعة (Base Load) لعمليات إنتاج الهيدروجين. هذا يضمن أقصى كفاءة تشغيلية لمرافق الإنتاج ويقلل من تكاليف الإنتاج بشكل كبير.والإنتاج عالي الكفاءة أشارت الدراسة إلى أن استخدام الحرارة العالية المتوفرة من مفاعلات الجيل الجديد في عمليات التحليل الكهربائي عالي الحرارة (High-Temperature Electrolysis) يعزز من كفاءة العملية بشكل كبير، حيث يتطلب طاقة كهربائية أقل لإنتاج نفس الكمية من الهيدروجين مقارنة بالتحليل الكهربائي التقليدي.اما عن الهيدروجين في إزالة الكربون الصناعي ركزت الدراسة على تطبيقات الهيدروجين النووي في القطاعات التالية التي يصعب فيها إزالة الكربون مثل صناعة الأسمدة (الأمونيا) :يمكن استخدام الهيدروجين النظيف بدلاً من الغاز الطبيعي كمادة خام في إنتاج الأمونيا المستخدمة في الاسمنت.

- الوكالة الدولية للطاقة الذرية لعام(٢٠٢٤) ، بعنوان " Nuclear Desalination: Technology and Applications in Water-Stressed Region"

هدفت الدراسة الفني إلى تقييم الجدوى الفنية والاقتصادية والبيئية لاستخدام الطاقة النووية في تشغيل محطات تحلية المياه، خاصة في المناطق التي تعاني من الإجهاد المائي (Water-Stressed Regions)، مثل العديد من دول الشرق الأوسط وشمال أفريقيا.(MENA) و

قد اعتمدت الدراسة على المنهج التحليلي والمقارن لتقييم التقنيات النووية المناسبة للتحلية، ومقارنة تكلفة المياه المُنتجة بالطاقة النووية مع طرق التحلية التقليدية والحرارية الأخرى، مع التركيز على الاستدامة.

توصلت الدراسة إلى أن تحلية المياه بالطاقة النووية تمثل حلاً استراتيجيًا ومستدامًا لتحديات الأمن المائي منها التكامل التكنولوجي(Co-generation) و يمكن التغلب علي هذه التحديات من خلال الاستخدام المزدوج للطاقة :أكدت الدراسة على الكفاءة العالية لاستخدام المفاعلات النووية في عمليات الإنتاج المشترك(Co-generation) ، حيث يمكن استخدام الطاقة النووية لتوليد الكهرباء وفي الوقت نفسه استخدام الحرارة المهدرة (Waste Heat)أو البخار الناتج من المفاعل لتشغيل أنظمة التحلية الحرارية) مثل التقطير متعدد المراحل (MED – أو دعم أنظمة التناضح العكسي.(RO) و استخدام تقنيات المفاعلات المناسبة حيث أشارت الدراسة إلى أن المفاعلات المعيارية الصغيرة (SMRs) والمفاعلات ذات درجات الحرارة العالية (HTRs) هي الأكثر ملاءمة لعمليات التحلية. اما عن الجدوى الاقتصادية والاستدامة أكدت الدراسة علي انخفاض تكلفة التشغيل على الرغم من ارتفاع التكلفة الرأسمالية الأولية، إلا أن الطاقة النووية توفر مصدر طاقة منخفض التكلفة ومستقر على مدى عقود، مما يقلل بشكل كبير من التكلفة التشغيلية .

-الوكالة الدولية للطاقة الذرية عام(٢٠٢٤) بعنوان، " IAEA Publication: Non-Power Applications of Nuclear Technology for Industry and Environment"

يهدف هذا التقرير الحديث إلى توضيح الاستخدامات العملية والتطبيقية للتكنولوجيا النووية والتقنيات الإشعاعية، خارج نطاق توليد الكهرباء، مع التركيز على دورها في تحسين كفاءة وجودة العمليات الصناعية ومعالجة التحديات البيئية، مما يدعم التنمية المستدامة.(SDGs)

اعتمد التقرير على جمع وتصنيف أحدث التطورات ودراسات الحالة العالمية حول كيفية تطبيق النظائر المشعة ومسرعات الجسيمات في القطاعين الصناعي والبيئي . و يركز التقرير على التطبيقات المباشرة التي يمكن أن تعزز التنمية الصناعية في دول مثل مصر من خلال تحسين الجودة وكفاءة الإنتاج الصناعي والتطبيقات البيئية وسلامة الغذاء.

وقد خلص التقرير إلى أن تطبيقات التكنولوجيا النووية غير المتعلقة بالطاقة هي أدوات أساسية وفعالة من حيث التكلفة لرفع جودة المنتج الصناعي وحماية البيئة.

- محمد سليمان(٢٠٢٣)،بعنوان Integration of Nuclear and Renewable Energy in Egypt: Insights from South Korean Industrial Policies

هدفت الدراسة إلى تحليل التحديات والفرص التي تواجه مصر في سعيها لدمج الطاقة النووية والمتجددة ضمن مزيجها الطاقي الوطني، مع تقديم نموذج إرشادي مستمد من التجربة الناجحة لكوريا الجنوبية في الربط بين التنمية الصناعية وقطاع الطاقة .وقد اعتمدت الدراسة على المنهج المقارن التحليلي(Comparative Analytical Approach) ، حيث قامت بمقارنة الهياكل التنظيمية، والسياسات الصناعية، واستراتيجيات توطين التكنولوجيا لكل من مصر وكوريا الجنوبية، للوصول إلى توصيات قابلة للتطبيق على السياق المصري.

توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج المحورية المتعلقة بالاستراتيجية المثلى لربط الطاقة بالتنمية الصناعية في مصر الي عدة نتائج منها : أهمية دمج النووية والمتجددة حيث أكدت الدراسة على أن الاعتماد على الطاقة المتجددة وحدها (الشمس والرياح) يواجه تحديات التقطع وعدم الاستقرار، بينما توفر الطاقة النووية مصدرًا ثابتاً وموثوقاً (Base Load) لتلبية احتياجات القطاع الصناعي الذي يتطلب إمدادًا مستقرًا ومستمراً ويشكل الدمج بين المصدرين استراتيجية لـ أمن الطاقة (Energy Security)وضمان استدامة نمو القطاع الصناعي المصري . بالإضافة الي بعض الدروس مستفادة من النموذج الكوري الجنوبي . وقد أبرزت الدراسة أن نجاح كوريا الجنوبية في بناء قدرات نووية وصناعية متقدمة اعتمد على عاملين رئيسيين يمكن لمصر الاستفادة منهما: قيادة الدولة والتخطيط طويل الأجل :تبني كوريا الجنوبية لـ استراتيجية طاقة طويلة الأمد بقيادة حكومية حاسمة، ربطت بشكل مباشر بين تخطيط الطاقة واحتياجات القدرات الصناعية والتكنولوجية الوطنية.وتوطين التكنولوجيا (Localization) والبحث والتطوير :(R&D) الاستثمار المكثف والمستمر في البحث والتطوير الهندسي والنووي، والعمل على نقل التكنولوجيا النووية وتوطينها تدريجياً، مما خلق سلسلة قيمة محلية قوية تدعم الصناعة وفي نفس السياق , ذكرت الدراسة بعض التحديات في السياق المصري الحاجة إلى إصلاحات تنظيمية أعمق لتبسيط عمليات الاستثمار في مشاريع الطاقة الكبرى. وضرورة زيادة الاستثمار في البنية التحتية (الشبكات الذكية) لاستيعاب تدفقات الطاقة المختلفة (النووية والمتقطعة). وأخيرا الحاجة إلى تطوير قاعدة صناعية محلية قادرة على تصنيع مكونات المشروع النووي (الهدف من مشروع الضبعة).

- شيماء سمير(٢٠٢٣)، بعنوان Review on the Water–Energy Nexus in Egypt's Vision 2030

هدفت الدراسة إلى تقديم مراجعة نقدية وتحليل شامل لـ "الترابط بين قطاعي المياه والطاقة "(Water–Energy Nexus) في مصر، وتقييم كيف تتعامل "رؤية مصر ٢٠٣٠" مع التحديات المزدوجة التي يفرضها هذا الترابط في ظل الزيادة السكانية وندرة الموارد وتغير المناخ.

وقد اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي والتحليلي النقدي(Descriptive and Critical Analytical Approach) ، حيث قامت بمراجعة وتحليل الاستراتيجيات والسياسات والوثائق الحكومية الخاصة بقطاعي المياه والطاقة في مصر لتحديد أوجه التكامل والقصور في معالجة هذا الترابط الحيوي.

توصلت الدراسة إلى أن الترابط بين المياه والطاقة في مصر يمثل تحدياً تنموياً كبيراً، ولكن الرؤية تسعى لمعالجته عبر محاور استراتيجية منها تحديات الترابط بين المياه والطاقة والاستهلاك الطاقي لمشاريع المياه حيث اكدت الدراسة أن قطاع المياه (خاصة مع التوسع في تحلية ومعالجة المياه (هو مستهلك رئيسي للطاقة في مصر. فكلما زاد التوسع في تحلية مياه البحر لتعويض نقص المياه العذبة، زاد الطلب على الطاقة الكهربائية، مما يشكل عبئًا على الشبكة. ايضا الاستهلاك المائي لقطاع الطاقة حيث أشارت الدراسة إلى أن محطات توليد الطاقة التقليدية (الحرارية) تستهلك كميات كبيرة من المياه للتبريد، مما يخلق ضغطًا إضافيًا على موارد المياه المحدودة. اما عن استجابة رؤية مصر ٢٠٣٠ (الفرص)ركزت الرؤية على معالجة هذا الترابط من خلال تنويع مزيج الطاقة وتحلية المياه بالطاقة النظيفة أما عن دعم التنمية الصناعية المستدامة

- محمد السادات واخرون(٢٠٢٣)، بعنوان The Role of Nuclear Energy in the Global Hydrogen Economy: Pathways and Case Studies"

هدفت هذه الورقة العلمية للدراسة المعمقة عن تقييم الدور الحاسم والمتنامي للطاقة النووية كـ مصدر ثابت ومنخفض الكربون لإنتاج الهيدروجين، الذي يعتبر وقود المستقبل لتحقيق أهداف إزالة الكربون العالمية. كما استعرضت الدراسة المسارات التكنولوجية المختلفة لإنتاج الهيدروجين النووي

قدمت دراسات حالة تطبيقية من دول رائدة في هذا المجال. واعتمدت الدراسة على المنهج الاستشرافي (Foresight Analysis)والتحليل المقارن (Comparative Analysis) لمختلف تقنيات المفاعلات النووية وطرق إنتاج الهيدروجين، مع التركيز على الجدوى الاقتصادية والبيئية لتكامل الهيدروجين النووي في مزيج الطاقة العالمي.

حيث توصلت الدراسة إلى أن الطاقة النووية لا غنى عنها في بناء اقتصاد الهيدروجين العالمي المستدام من خلال مسارات إنتاج الهيدروجين النووي حيث حددت الدراسة مسارين رئيسيين لإنتاج الهيدروجين باستخدام الطاقة النووية، وكلاهما يوفر هيدروجينًا "نظيفًا من اجل التحليل الكهربائي :(Electrolysis) استخدام الكهرباء النظيفة المولدة نووياً لتشغيل أجهزة التحليل الكهربائي لإنتاج الهيدروجين. ويُفضل في هذا المسار استخدام التحليل الكهربائي عالي الحرارة (High-Temperature Electrolysis – HTE)الذي يستغل الحرارة والبخار من المفاعل لتقليل استهلاك الكهرباء وزيادة كفاءة العملية. وعمليات الفصل الحراري الكيميائي :(Thermochemical Processes) استخدام الحرارة المباشرة (التي تبلغ درجات حرارة عالية جدًا) من مفاعلات الجيل الجديد لتفكيك جزيئات الماء (Water Splitting) عبر تفاعلات كيميائية متعددة، وهي طريقة واعدة لتحقيق أعلى كفاءة حرارية للإنتاج. اما عن المزايا التنافسية والفريدة للطاقة النووية فهي ثبات الإنتاج (High Capacity Factor):وتقليل التكلفة الرأسمالية للوحدة المنتجة ويزيد من جاذبيتها الاقتصادية. بالإضافة الي القدرة على الإنتاج المشترك :(Co-generation) المفاعلات النووية قادرة على تزويد العمليات الصناعية بالكهرباء .

- المؤسسة البحثية think tank لعام(٢٠٢٣)، بعنوان " Small Modular Reactors (SMRs) for Co-generation: A Future for Remote Industrial Clusters"

حيث هدفت الورقة البحثية إلى تقييم الجدوى الفنية والاقتصادية لاستخدام المفاعلات المعيارية الصغيرة (SMRs) في تلبية الاحتياجات الطاقية (الكهرباء والحرارة) لـ التجمعات الصناعية النائية والجديدة التي تقع بعيدًا عن الشبكات الكهربائية الرئيسية.

ركزت الدراسة بشكل خاص على نموذج الإنتاج المشترك (Co-generation) للطاقة (أي إنتاج الكهرباء والحرارة والبخار في وقت واحد). و اعتمدت الدراسة على التحليل المقارن والنمذجة الاقتصادية لتقييم كفاءة مفاعلات SMRs مقارنة بمحطات الديزل أو الغاز التقليدية في هذه المواقع النائية، مع الأخذ في الاعتبار عوامل الاستقرار البيئي والموثوقية التشغيلية.

توصلت الدراسة إلى أن المفاعلات النمطية الصغيرة تمثل حلا محورا في دعم التنمية الصناعية من خلال المزايا التي تم الوصول لها منها الإنتاج المشترك(Co-generation) و الكفاءة الحرارية العالية :تتميز مفاعلات SMRs بقدرتها على توفير البخار والحرارة بدرجات حرارة مناسبة وموثوقة بشكل مستمر، وهي مدخلات أساسية لعمليات الصناعات الثقيلة (مثل تحلية المياه، إنتاج الهيدروجين، وصناعة البتروكيماويات) بالإضافة إلى توليد الكهرباء. بالإضافة الي لمرونة واللامركزية : يتيح الحجم الصغير لهذه المفاعلات إمكانية نشرها بالقرب من مراكز الطلب الصناعي (Point-of-Use)في المناطق النائية. هذا يلغي الحاجة إلى بناء خطوط نقل طاقة طويلة ومكلفة، وفيما يخص الآثار البيئية وأهداف التنمية المستدامة (SDGs)فيه تساهم خفض الانبعاثات :إن استخدام SMRs في هذه التجمعات الصناعية بدلاً من مولدات الوقود الأحفوري يساهم بشكل مباشر في تحقيق الهدف ١٣ (العمل المناخي) من خلال توفير طاقة نظيفة خالية من الكربون لدعم الصناعة. وتحلية المياه لدعم التوسع :يُعد اقتران SMRs بمحطات تحلية المياه حلاً ممتازاً للمناطق الصناعية الساحلية الجديدة (مثل مصر)، حيث يوفر الكهرباء والماء العذب اللازم لعمليات الإنتاج والاستيطان.

– الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA)(٢٠٢٢)بعنوان " Egypt 2022 – Scientific, Technical publications in the nuclear field | IAEA"

هدف التقرير الصادر ضمن سلسلة المنشورات التقنية للوكالة الدولية للطاقة الذرية، إلى توثيق وعرض الأنشطة والإنجازات البحثية والتقنية التي قامت بها مصر في المجال النووي خلال عام ٢٠٢٢.

يعكس التقرير التزام مصر بتطوير قدراتها النووية للأغراض السلمية، ويغطي مجالات الطاقة، والبحث، والتطبيقات غير الكهربائية و يسلط التقرير الضوء على عدة جوانب رئيسية لتطور البرنامج النووي المصري، لا سيما في سياق التحول الطاقي ودعم التنمية في عدة مجالات منها تطور البنية التحتية النووية حيث أن استمرار العمل في مشروع محطة الضبعة يعتبر الركيزة الأساسية لاستراتيجية مصر لتنويع مزيج الطاقة حيث هدف هذا المشروع إلى ضمان أمن واستقرار الإمداد الكهربائي اللازم لتلبية الطلب الصناعي والسكاني المتزايد بالإضافة الي الالتزام بالمعايير الدولية حيث يبرز التقرير جهود الهيئات المصرية المعنية (مثل هيئة الرقابة النووية والإشعاعية) لضمان تطبيق أعلى معايير الأمان النووي والجودة وفقًا لمتطلبات الوكالة الدولية للطاقة الذرية.(IAEA) .

وأضاف التقرير أن دور الطاقة النووية في التخفيف من تغير المناخ من خلال الطاقة منخفضة الكربون وخفض الانبعاثات الكربونية والحد من استخدام الوقود الأحفوري في توليد الكهرباء. هذا الدعم المباشر لجهود العمل المناخي هو جزء لا يتجزأ من التنمية المستدامة.(SDGs) و دعم الصناعة المستدامة :من خلال توفير مصدر طاقة مستقر وموثوق على مدار

الساعة، تدعم الطاقة النووية قدرة القطاع الصناعي المصري على العمل بكفاءة عالية دون التسبب في تلوث بيئي إضافي. وفيما يخص الأنشطة البحثية وتطبيقات النظائر المشعة غطي التقرير مجموعة من المطبوعات والأبحاث التقنية التي تناولت تطبيقات النظائر المشعة، والتي تخدم بشكل مباشر القطاع الصناعي وغير الكهربائي: مثل ال تطبيقات صناعية غير كهربائية من خلال استخدام التقنيات النووية في الفحص غير الإتلافي (Non-Destructive Testing) للمنتجات والمواد الصناعية (مثل فحص اللحامات والمكونات الهيكلية)، مما يضمن جودة المنتج الصناعي وسلامة البنية التحتية. بالإضافة الي الزراعة والصحة :تم توثيق جهود الأبحاث المصرية في استخدام التقنيات النووية في مجالات تحسين الإنتاج الزراعي (مثل الطفرات المستحثة) وتعقيم المعدات الطبية والصناعية.

- الوكالة الدولية للطاقة الذرية لعام(٢٠٢٠)، بعنوان " Nuclear power and sustainable development "

هدف المنشور إلى تحليل وتوضيح المساهمة المتعددة الأبعاد للطاقة النووية في تحقيق أهداف التنمية المستدامة السبعة عشر(SDGs) ، التي تبنتها الأمم المتحدة في خطة ٢٠٣٠. ينظر التقرير إلى ما هو أبعد من مجرد توليد الكهرباء، ويشمل الأبعاد الاقتصادية والاجتماعية والبيئية للتكنولوجيا النووية.

ركز التقرير على كيفية عمل الطاقة النووية كمحفز للتنمية المستدامة، ويسلط الضوء على علاقتها المباشرة وغير المباشرة بالعديد من الأهداف منها الهداف السادس والهدف السابع والهدف التاسع والهدف الثالث عشر بالإضافة الي الأبعاد الاجتماعية لكل من الهدفين الرابع والثامن .

خلص التقرير إلى أن الطاقة النووية ليست مجرد "خيار طاقي"، بل هي أداة تنموية شاملة يمكنها المساهمة في حل مجموعة من التحديات العالمية المعقدة، بدءًا من أمن الطاقة والتخفيف من آثار تغير المناخ وصولاً إلى النمو الصناعي وتوفير المياه. ويوفر التقرير إطاراً للبلدان الراغبة في تبني الطاقة النووية لتصميم برامجها بما يتكامل مع أهدافها الوطنية للتنمية المستدامة.

- مارينا ليزيكوفا(٢٠٢٠) ، بعنوان "آفاق الطاقة النووية والتحديات القانونية نحو تحقيق أهداف التنمية المستدامة"

هدفت الدراسة بشكل رئيسي إلى تحليل الدور الذي يمكن أن تلعبه الطاقة النووية في تحقيق أجندة الأمم المتحدة للتنمية المستدامة لعام ٢٠٣٠.(SDGs) وتسليط الضوء على الإمكانات التقنية والاقتصادية للمفاعلات النمطية الصغيرة (SMRs) كحل مبتكر لتوفير طاقة نظيفة. بالإضافة الي تحديد التحديات القانونية والتشريعية التي تواجه نشر هذه التكنولوجيات الحديثة على الصعيدين الوطني والدولي.

واعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، من خلال مراجعة الوثائق الاستراتيجية والبرامجية للدول الرائدة في المجال النووي (مثل روسيا). وتحليل التقارير الصادرة عن المنظمات الدولية مثل الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA) والوكالة الدولية للطاقة.(IEA) بالإضافة دراسة الأدبيات القانونية والتشريعات الوطنية الحالية لتقييم مدى مواءمتها مع الابتكارات النووية الجديدة (مثل المفاعلات القابلة للنقل).

وتوصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج الجوهرية:

- المساهمة في التنمية المستدامة :الطاقة النووية تساهم مباشرة في الهدف السابع (طاقة نظيفة وبأسعار معقولة)، والهدف الثامن (النمو الاقتصادي)، والهدف الثالث عشر (العمل المناخي) من خلال خفض الانبعاثات الكربونية.
- أهمية المفاعلات الصغيرة :(SMRs) تتميز هذه المفاعلات بمرونة عالية، حيث يمكن تركيبها في المناطق النائية، وتكلفتها الرأسمالية أقل، وتتمتع بمعايير أمان أعلى (أمان سلبي) مقارنة بالمفاعلات الكبيرة التقليدية.
- الفجوة القانونية :تبين أن القواعد القانونية الدولية والوطنية الحالية صُممت للمفاعلات الثابتة الكبيرة، وهي لا تغطي بشكل كافٍ جوانب المفاعلات الصغيرة المنقولة(Transportable) ، خاصة فيما يتعلق بترخيصها، ومسؤوليتها المدنية، وتدابير الأمان عند انتقالها عبر الحدود.
- الدور الروسي :أشارت الدراسة إلى ريادة روسيا من خلال محطة "أكاديميك لومونوسوف (Akademik Lomonosov)" كأول محطة طاقة نووية عائمة في العالم، مما يفتح آفاقاً جديدة لتزويد المناطق القطبية والبعيدة بالطاقة.

– الرابطة النووية الكندية الصناعة والمنتجات الاستهلاكية(2017) .

اشتمل الإصدار علي التطبيقات في القطاع الصناعي قياس الكثافة، ومحتوى الرطوبة، والتركيب الجيولوجي في الهندسة المدنية؛ وتحليل المواد في الهندسة الصناعية؛ ومعدلات المستوى والتدفق في استكشاف وإنتاج النفط والغاز. وفي التصوير الإشعاعي الصناعي، تُستخدم المواد النووية للفحص والاختبار غير المدمر للمواد المتقدمة. ويمر الإشعاع من هذه المواد عبر المادة ويسمح بتسجيل العيوب في اللحامات أو المكونات على فيلم أو جهاز تصوير رقمي. وتُستخدم أجهزة القياس التي تحتوي على مصادر مشعة في الصناعات التي يجب فيها فحص مستويات الغازات والسوائل والمواد الصلبة .تعد هذه المقاييس مفيدة للغاية حيث تجعل الحرارة أو الضغط أو المواد المسببة للتآكل من المستحيل استخدام مقاييس التلامس المباشر.

– الوكالة الدولية للطاقة الذرية (٢٠١٧) بعنوان التطبيقات الصناعية للطاقة النووية Industrial application of nuclear energy.

هدفت الدراسة الي التعريف بالتطبيقات الصناعية للطاقة النووية مثل: الفحص غير الإتلافين، قياس السماكة والكثافة، التعقيم الإشعاعي بالإضافة الي إبراز الفوائد الاقتصادية والتقنية منها تحسين جودة الإنتاج وتقليل الفاقد وزيادة الكفاءة التشغيلية كما وضحت دور التكنولوجيا النووية في دعم التنمية الصناعية خاصة في الدول النامية مع التأكيد علي اهمية النشر المعرفة وبناء القدرات من خلال توعية الدول بأهمية تبني هذه التطبيقات وتعزيز الاستخدام السلمي للتكنولوجيا النووية وربطها بقطاعات حيوية مثل الصناعة والطب والزراعة ودعم صناع القرار عبر تقديم معلومات تساعد في إدماج التكنولوجيا النووية في السياسات الصناعية اعتمدت الدراسة علي المنهج الوصفي التحليلي من خلال عرض شامل لمجالات استخدام التكنولوجيا النووية في الصناعة لتفسير كيفية عمل هذه التطبيقات وتأثيرها الفني والاقتصادي مع التطبيق علي دراسة الحالة من خلال الاستعانة بأمثلة تطبيقية من دول مختلفة وعرض تجارب حقيقية لاستخدام التقنيات النووية في قطاعات صناعية (مثل الفحص غير الإتلافين، القياسات الإشعاعية، التعقيم الصناعي واعتمدت أيضا علي استخدام المنهج المقارن (ضمنيًا) من خلال المقارنة بين التقنيات النووية والتقنيات التقليدية من حيث الكفاءة والدقة والتكلفة والأمان .

توصلت الدراسة الي لى أن التطبيقات الصناعية للتكنولوجيا النووية تُسهم بشكل فعال في تحسين كفاءة العمليات الإنتاجية، وخفض التكاليف، وتعزيز جودة المنتجات، فضلًا عن دورها في دعم التنمية الصناعية، خاصة في الدول النامية، مع التأكيد على أهمية بناء القدرات البشرية والتعاون الدولي لضمان الاستخدام الأمثل لهذه التقنيات.

٨- التعليق على الدراسات السابقة وتحديد الفجوة البحثية والتعليق عليها:

أولا: التعليق على الدراسات السابقة:

- **ركزت الدراسات السابقة على الجوانب الاقتصادية الكلية ودراسات** الجدوى الاقتصادية، أثرها ومساهمتها العامة في أهداف التنمية المستدامة.
- تناولت أيضا موضوعات **الطاقة المتجددة الشمس والرياح بشكل خاص** ودورهم الاقتصادي والبيئي وتوصيتها بـ **دمج الطاقة النووية** كمصدر أساسي.
- لم تتعمق الدراسات السابقة في **آليات الترابط المباشر** بين الاستثمار النووي و**مؤشرات الأداء الصناعي المحددة** في مصر بل ركزت فقط على الإطار الكلي وليس التخصص الصناعي.
- ركزت بشكل أساسي على **الطاقة المتجددة**، ولم تقدم تحليلًا معمقًا لـ **التحديات أو الفرص الخاصة بدمج الطاقة النووية** مع متطلبات الشبكة الصناعية مقارنة بالطاقة المتجددة .
- لم تتناول بشكل **تطبيقي** كيفية تنفيذ التوصية بشأن **التطبيقات غير الكهربائية**، أو تحليل **التأثير التفصيلي والمباشر** للطاقة النووية على قطاعات صناعية محددة (مثل صناعة الأسمدة، الأسمنت، أو البتروكيماويات) من ناحية الكفاءة والتكلفة.
- اما عن الدراسات الأجنبية ركزت الدراسات الأجنبية بشكل عام على الجوانب الاستراتيجية، والتقنية، والمقارنة؛ التشريعية، متطلبات البنية التحتية للمشروعات النووية، وتجارب الدول المختلفة في مجال استخدامات السلمية للطاقة النووية للنهوض والتنمية و تحقيق اهداف التنمية المستدامة.

ثانيا: الفجوة البحثية:

- تلاحظ من استعراض العديد من الدراسات السابقة غياب الدراسات التطبيقية التي تتناول بشكل مباشر دور استخدام الطاقة النووية السلمية في دعم التنمية الصناعية في مصر، ولا سيما في المرحلة التي تزامنت مع بدء أعمال تصميم وتنفيذ أول محطة نووية مصرية سلمية بالتعاون مع الجانب الروسي في منطقة الضبعة بمحافظة مطروح، وهو ما يمثل فجوة بحثية واضحة في الأدبيات المتاحة (وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، ٢٠٢١). مما يتضح عدم تقديم تحليل كلي وشامل يتناول دراسة حالة متخصصة، أو إجراء تحليل قياسي يركز بصورة مباشرة على الحالة المصرية وعلاقتها بالتنمية الصناعية. وفي ضوء هذا القصور البحثي، تبلورت إشكالية الدراسة الحالية في التساؤل الرئيس الآتي: **ما دور الطاقة النووية السلمية في دعم التنمية الصناعية في مصر، وما مدى إسهامها في تحقيق أهداف التنمية المستدامة؟**

القسم الثاني: الإطار النظري للدراسة

الفصل الأول مفهوم الطاقة وأهميتها

تمهيد

تُعد الطاقة من الركائز الأساسية التي تقوم عليها عملية التنمية الاقتصادية والاجتماعية في مختلف دول العالم، حيث ترتبط ارتباطًا وثيقًا بكافة الأنشطة الإنتاجية والخدمية (International Energy Agency, 2022) . ويُقصد بالطاقة القدرة على القيام بعمل أو إحداث تغيير، وهي عنصر حيوي في تشغيل الصناعات، وتوليد الكهرباء، وتشغيل وسائل النقل، وتوفير الخدمات الأساسية(World Bank, 2021) .

وتكمن أهمية الطاقة في كونها محركًا رئيسيًا للنمو الاقتصادي، إذ يؤدي توافرها بشكل مستقر وبأسعار مناسبة إلى دعم الإنتاج الصناعي وزيادة كفاءة الاقتصاد(BP, 2023) . كما تلعب دورًا محوريًا في تحسين مستوى المعيشة، وتقليل معدلات الفقر، وتعزيز الاستقرار الاجتماعي(UNDP, 2020) .

أولا : مصادر الطاقة وأنواعها

تنقسم مصادر الطاقة بشكل عام إلى نوعين رئيسيين(Bhattacharyya, 2021) :

١- مصادر الطاقة التقليدية (غير المتجددة)

تشمل هذه المصادر الوقود الأحفوري مثل النفط، والغاز الطبيعي، والفحم، إضافة إلى الطاقة النووية. وتمتاز هذه المصادر بقدرتها العالية على توليد الطاقة، إلا أنها تعاني من عدة تحديات، من أبرزها:

- قابليتها للنفاد
- تأثيراتها البيئية السلبية، خاصة انبعاثات غازات الاحتباس الحراري
- تقلبات أسعارها عالميًا

٢- مصادر الطاقة المتجددة

وهي مصادر طبيعية تتجدد باستمرار ولا تنفد، ومن أهمها:

- الطاقة الشمسية
- طاقة الرياح
- الطاقة المائية
- الطاقة الحرارية الأرضية

- الطاقة النووية وهي الموضوع **الأساسي للبحث** .

تتميز هذه المصادر بأنها صديقة للبيئة، وتُسهم في تقليل الانبعاثات الكربونية، إلا أنها قد تواجه تحديات تتعلق بتكلفة الاستثمار الأولي وعدم الاستقرار في بعض الأحيان.

تُصنف موارد الطاقة هيكلياً إلى فئتين رئيستين، تقع في مقدمتهما الطاقة التقليدية (غير المتجددة) .وتعرف هذه المصادر بأنها موارد هيدروكربونية ناضبة تشمل النفط، والغاز الطبيعي، والفحم الحجري، بالإضافة إلى الطاقة النووية .(Bhattacharyya, 2019)ورغم الاعتماد العالمي الواسع عليها نظراً لكثافتها الطاقية العالية وقدرتها الفائقة على تلبية الأحمال الأساسية للشبكات الكهربائية والعمليات الصناعية، إلا أن استدامتها تواجه تحديات جوهرية (Twidell and Weir, 2015).

يمكن حصر أبرز المعوقات المرتبطة بهذا القطاع في ثلاثة أبعاد رئيسة:

- **البعد الجيولوجي** :المتمثل في الطبيعة الاستخراجية لهذه الموارد وقابليتها الحتمية للنفاد.(Depletion)
- **البعد البيئي** :حيث تُعد المحرك الرئيس لظاهرة الاحتباس الحراري نتيجة الانبعاثات الكربونية الكثيفة المرتبطة بسلاسل التوريد والاحتراق.(International Energy Agency [IEA], 2023)
- **البعد الاقتصادي** :المتمثل في الحساسية المفرطة لأسعار الطاقة التقليدية تجاه الأزمات الجيوسياسية، مما يؤدي إلى تذبذبات حادة في الأسواق الدولية.(Wolfson and Schneider, 2023)

ثانيا: مفهوم مزيج الطاقة(Energy Mix)

يُعرف مزيج الطاقة بأنه التوزيع النسبي لمصادر الطاقة المختلفة المستخدمة في تلبية الطلب الكلي على الطاقة داخل دولة أو منطقة معينة خلال فترة زمنية محددة. ويشمل ذلك كلًا من مصادر الطاقة التقليدية والمتجددة. المستدام (International Energy Agency [IEA], 2022).

ويُعد تحقيق مزيج طاقة متوازن هدفًا استراتيجيًا للدول، حيث يساهم في:

- تعزيز أمن الطاقة
- تقليل الاعتماد على مصدر واحد
- تحقيق الاستدامة البيئية وتحسين الكفاءة الاقتصادية.

ثالثا: أهمية الطاقة النووية في مزيج الطاقة

تلعب الطاقة النووية دورًا محوريًا في دعم مزيج الطاقة المستدام، وذلك لعدة أسباب (International Energy Agency [IEA], 2022) :

- **استقرار الإنتاج** : على عكس الطاقة الشمسية والرياح، لا تعتمد الطاقة النووية على الظروف المناخية، مما يجعلها مصدرًا ثابتًا لتوليد الكهرباء.(Base Load)
- **خفض الانبعاثات:** لا تُنتج محطات الطاقة النووية انبعاثات كربونية أثناء التشغيل، مما يساهم في الحد من ظاهرة الاحتباس الحراري.
- **الكفاءة العالية** : تتميز بقدرتها على إنتاج كميات كبيرة من الكهرباء من كميات صغيرة من الوقود مقارنة بمصادر أخرى.

رابعا: الطاقة النووية كبديل استراتيجي في ظل التوترات الجيوسياسية: حالة الصراع الإيراني–الأمريكي–الإسرائيلي

١– السياق الجيوسياسي وانعكاساته على أمن الطاقة العالمي

تُعد منطقة الشرق الأوسط المركز الثقلي لإمدادات الطاقة العالمية، إلا أن استقرار هذه الإمدادات يظل رهيناً بالتفاعلات الجيوسياسية المعقدة، وفي مقدمتها الصراع الثلاثي بين إيران والولايات المتحدة وإسرائيل .(Fawcett, 2019) ويشير المحللون إلى أن حالة "عدم اليقين" الناتجة عن هذا التنافس الاستراتيجي تؤثر بشكل بنيوي على أمن الطاقة (Energy Security)، مما يدفع الدول للبحث عن بدائل أكثر استقراراً مثل الطاقة النووية.(Yergin, 2020)

ويمكن رصد تأثيرات هذه التوترات على المشهد الطاقي عبر الأبعاد التالية:

- **تذبذب الأسواق العالمية** :تؤدي التهديدات المتبادلة إلى فرض "علاوة مخاطر (Risk Premium) "على أسعار النفط والغاز، حيث تتأثر الأسعار فورياً بأي تصعيد عسكري أو سياسي في منطقة الخليج العربي (Ebinger, 2011).
- **هشاشة سلاسل الإمداد** :يبرز خطر إغلاق المضائق المائية الاستراتيجية، وتحديداً مضيق هرمز، كأداة ضغط جيوسياسي، مما يهدد تدفقات الطاقة الحيوية إلى الأسواق الآسيوية والأوروبية.(Rodrigue, 2020)
- **تقويض الموثوقية في المصادر التقليدية** :إن الاعتماد المفرط على الوقود الأحفوري في ظل هذه الاضطرابات يجعل الاقتصادات الوطنية عرضة للصدمات الخارجية، مما يعزز التوجه نحو الطاقة النووية كخيار استراتيجي يوفر طاقة "حمل أساسي (Baseload Power) "بعيداً عن تقلبات ممرات الشحن البحري (World Nuclear Association [WNA], 2023)

٢– إشكالية الارتهان للوقود الأحفوري في ظل الأزمات الجيوسياسية

تعتمد البنية الطاقية للعديد من الدول الناشئة، وفي مقدمتها جمهورية مصر العربية، بشكل جوهري على الموارد الهيدروكربونية (الغاز الطبيعي والنفط) لتلبية الاحتياجات التنموية. ومع ذلك، فإن هذا النمط من الاعتماد يُنشئ حالة من "الهشاشة الطاقية" أمام الصدمات الخارجية .(Yergin, 2020) وتتبلور هذه الإشكالية في ثلاثة محاور رئيسة:

- **الاضطرابات السياسية في مناطق الإنتاج** :تؤدي الصراعات الإقليمية إلى انقطاعات قسرية في سلاسل التوريد، مما يضع أمن الطاقة القومي في مواجهة مخاطر فورية.(Ebinger, 2011)
- **تسييس موارد الطاقة** :(Energy Weaponization) يبرز استخدام الطاقة كأداة للضغط السياسي في العلاقات الدولية، حيث تُستخدم الإمدادات كوسيلة لفرض إرادات سياسية أو اقتصادية معينة.(Fawcett, 2019)
- **عدم استقرار الكلفة الاقتصادية** :ترتبط أسعار الوقود الأحفوري بحساسية مفرطة تجاه الأزمات الدولية، مما يسبب عبئاً على الموازنات العامة للدول المستوردة أو حتى المنتجة التي تعتمد على تقلبات السوق (International Energy Agency [IEA], 2023).

خامسا: انعكاسات التحولات الجيوسياسية على الاستراتيجية الطاقية المصرية

في ظل التفاعلات الجيوسياسية المعقدة التي تشهدها منطقة الشرق الأوسط، تبنت الدولة المصرية مقاربة استراتيجية جديدة تهدف إلى تعزيز "المرونة الطاقية (Energy Resilience). "ولم يعد أمن الطاقة في المنظور المصري يقتصر على توفير الإمدادات فحسب، بل امتد ليشمل تحصين الاقتصاد الوطني ضد الصدمات الخارجية الناجمة عن الصراعات الإقليمية (Ministry of Electricity and Renewable Energy [MoERE], 2022).

وتتمحور هذه التوجهات حول الركائز الاستراتيجية التالية:

- **تنويع المزيج الطاقي :(Energy Mix Diversification)** حيث تسعى مصر لتقليل الاعتماد الكلي على الموارد الهيدروكربونية التي تتأثر مباشرة بالتوترات الجيوسياسية، والتحول نحو نموذج أكثر توازناً (International Energy Agency [IEA], 2023).
- **تعظيم حصة الطاقة المتجددة** :من خلال استغلال الموارد الطبيعية (الشمس والرياح) كبديل محلي مستدام لا يخضع للتقلبات السعرية العالمية أو تهديدات سلاسل التوريد (International Renewable Energy Agency [IRENA], 2021).
- **دمج الطاقة النووية كعنصر استقرار** :باعتبارها المصدر الوحيد القادر على توفير "طاقة الحمل الأساسي (Baseload Power) "بكثافة عالية واستمرارية تامة، مما يعوض نقص الإمدادات التقليدية في أوقات الأزمات (World Nuclear Association [WNA], 2023)

الفصل الثاني

الطاقة النووية السلمية واستخداماتها

تمهيد

تُعد الطاقة الركيزة الأساسية لتحقيق النمو الاقتصادي المستدام وتعزيز مستويات الرفاه البشري. وفي هذا السياق، تبرز الطاقة النووية كرافد استراتيجي لتوفير إمدادات طاقية نظيفة، موثوقة، وذات تكلفة تنافسية، مما يساهم بشكل مباشر في الحد من التبعات الكارثية للتغير المناخي .(International Atomic Energy Agency [IAEA], 2023) وتؤكد التوقعات المستقبلية أن الطاقة النووية ستظل مكوناً جوهرياً في "مزيج الطاقة العالمي" مع تنامي دورها في العقود القادمة لتلبية متطلبات الحياد الكربوني.(World Nuclear Association [WNA], 2023)

أولا: تعريف الطاقة النووية.

الطاقة النووية هي شكل من أشكال الطاقة المنبعثة من النواة، نواة الذرات، المكوَّنة من بروتونات ونيوترونات. وهذا المصدر من مصادر الطاقة يمكن إنتاجه بطريقتين: الانشطار – عندما تنقسم نوى الذرات إلى عدة أجزاء – أو الاندماج – عندما تندمج النوى معا.[IAEA] International Atomic Energy Agency))ويتم تسخير الطاقة النووية حول العالم اليوم لإنتاج الكهرباء هي من خلال الانشطار النووي، بينما التكنولوجيا لتوليد الكهرباء من الاندماج فلم تزل في مرحلة البحث والتطوير الا إن التعريف المعروف عن الطاقة النووية هو: الطاقة المنبعثة نتيجةً لتفاعل نووي، وتحديدًا من انشطار نووي أو اندماج نووي. ومن الناحية العملية، تستخدم الطاقة النووية وقودًا مصنوعًا من اليورانيوم المُستخرج من الأرض والمُعالج لإنتاج البخار وبالتالي توليد الكهرباء. الجدير بالذكر أن الطاقة النووية هي المصدر الوحيد الذي يمكنه إنتاج كميات كبيرة من الكهرباء – تُعرف بكهرباء الحمل الأساسي على نحوٍ موثوق دون انبعاث أي غازات ضارة مثل غازات الاحتباس الحراري. إضافةً لذلك، تعدّ الطاقة النووية من المصادر التي تقلّ فيها بشدّة الآثار البيئية سواءً على الأرض أو الموارد الطبيعية، من بين جميع مصادر إنتاج الكهرباء الأخرى (International Atomic Energy Agency [IAEA]).منخفضة الانبعاثات الكربونية، القادرة على إنتاج كميات كبيرة من الكهرباء بشكل مستقر وعلى مدار الساعة.وتتميز الطاقة النووية السلمية بعدة خصائص، من أهمها الاستدامة طويلة الأجل، وارتفاع كثافة الطاقة، وانخفاض تكاليف التشغيل مقارنة بمصادر الطاقة التقليدية، فضلًا عن دورها في تعزيز أمن الطاقة وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري (International Atomic Energy Agency [IAEA]). .

أ-الطاقة النووية :

تُعرَّف الطاقة النووية السلمية بأنها الطاقة الناتجة عن استخدام التفاعلات النووية لأغراض غير عسكرية، وعلى رأسها توليد الكهرباء، إلى جانب استخدامات أخرى في المجالات الصناعية والطبية والزراعية والبحث العلمي. وتُعد الطاقة النووية من مصادر الطاقة .(International Atomic Energy Agency [IAEA])

ب-الانشطار النووي :

الانشطار النووي هو تفاعلٌ حيث تنقسم نواة الذرة إلى نواتين أصغر أو أكثر، ويصاحب ذلك انبعاث الطاقة. وعلى سبيل المثال، عندما يضرب نيوترون نواةَ ذرةٍ من اليورانيوم-٢٣٥ فإنها تنقسم إلى نواة باريوم ونواة كريبتون واثنين أو ثلاثة من النيوترونات. وستضرب هذه النيوترونات الزائدة ذرات اليورانيوم-٢٣٥ الأخرى المحيطة بها، والتي ستنقسم أيضاً لتولِّد نيوترونات إضافية بتأثيرٍ مضاعَف، وبالتالي تولِّد تفاعلاً متسلسلاً في جزءٍ من الثانية. وفي كل مرة يحدث التفاعل، يحدث انبعاث للطاقة على شكل حرارة وإشعاع .ويمكن تحويل الحرارة إلى كهرباء داخل محطة قوى نووية، بشكل مشابه لكيفية استخدام الحرارة المتأتية من الوقود الأحفوري مثل الفحم والغاز والنفط لتوليد الكهرباء (International Atomic Energy Agency [IAEA]) .

ثانيا: أنواع المفاعلات النووية :

- تصنف المفاعلات النووية لتوليد الكهرباء وفقا لنوع التفاعل النووي الذي يتم في قلب المفاعل حيث يوجد نوعان من التفاعلات النووية هما تفاعلات الانشطار النووي (ينطوي على امتصاص نواة ثقيلة للنيوترونات مما يؤدي إلى انقسامها إلى نواتين أخف) وتفاعلات الاندماج (تتحد فيها نواتان خفيفتان نسبيًا عن طريق التصادم لتكوين نواة واحدة أثقل). وهما: المفاعلات الحرارية والمفاعلات السريعة. (World Nuclear Association [WNA], 2023).

✓ **مفاعلات الماء المضغوط(PWR)**

يوجد حوالى ٣١٠ مفاعلا، بنسبة ٦٦٪، "كما يوجد منها ٤٣ وحدة تحت الانشاء حاليا

- وتستخدم هذه المفاعلات اليورانيوم المثرى بنسبة تتراوح بين ٣-٥ % من نظير اليورانيوم-٢٣٥ كوقود، والماء الخفيف للتبريد والتهدئة. ويصنع الوقود على شكل كبسولات صغيرة يبلغ ارتفاعها فى حدود ٢سم وقطرها أقل من ١ سم. وتعبأ هذه الكبسولات فى أنابيب طويلة تسمى بأعمدة الوقود الذى يبلغ طول كل منها حوالى ٤ أمتار. ويصنع غلاف أعمدة الوقود عادة من سبيكة الزركونيوم أو الصلب غير القابل للصدأ لما تتميز به هذه المواد من مقدرة على توصيل الحرارة ومقاومة عالية للتآكل والصدأ وأيضا لقلة قابليتها لامتصاص النيوترونات (World Nuclear Association [WNA], 2023).

✓ **مفاعلات الماء المغلى(BWR)**

- عدد مفاعلات BWR قيد التشغيل حاليا حوالى٦٣ مفاعلا، بنسبة ١٦٪ ، ويوجد منها ٢ مفاعلا تحت الانشاء حاليا ويستخدم بها اليورانيوم المثرى(المخصب) بنسبة حوالى ٣-٥ % من نظير اليورانيوم-٢٣٥ كوقود والماء الخفيف للتبريد والتهدئة. ولا يختلف تركيب عامود الوقود عن نظيره المستخدم فى مفاعلات الماء المضغوط، سوى فى شكل حزمة الوقود التى تتكون من عدد من أعمدة الوقود مجمعة معا بواسطة شبكة معدنية وتوضع هذه المجموعة معا لتكون حزمة الوقود. تحفظ مياه التبريد تحت ضغط متوسط يصل لحوالى ٧٠ ضغط جوى حيث يسمح لها بالغليان داخل قلب المفاعل مكونا البخار الذي يتجه مباشرة إلى التوربينة التى تدير بدورها مولدات توليد الكهرباء..(World Nuclear Association [WNA], 2023)

✓ **مفاعلات الجرافيت المبردة بالماء (RBMK):**

- يتكون قلب المفاعل من تجمعات من كتل الجرافيت يتخللها أنابيب تسمى بأنابيب الضغط تحتوى داخلها أعمدة الوقود النووى الذى يمر حوله وداخل هذه الأنابيب ماء التبريد حيث يتحول إلى بخار يخرج إلى التربيات مباشرة. يستخدم الجرافيت فى هذا النوع من المفاعلات كمهدئ للنيوترونات، ويستخدم الماء الخفيف كمبرد. وجدير بالذكر أن أول محطة نووية لتوليد الكهرباء فى العالم كانت من هذا النوع وهى محطة "أوبنينسك" والتى بدء تشغيلها فى يوليو ١٩٥٤ فى الاتحاد السوفيتى "سابقا" بقدرة ٥ ميجاوات كهربى وتم تكهينها عام ٢٠٠٢. ومما يذكر أن مفاعل تشرنوبيل – ٤ والذى وقعت به الحادثة النووية فى ٢٦ أبريل ١٩٨٦ ونتج عنه تسرب إشعاعى هو من هذا النوع من المفاعلات. ولا يوجد مفاعلات من هذا النوع فى العالم سوى داخل ما كان يعرف بالاتحاد السوفيتى سابق (World Nuclear Association [WNA], 2023).

✓ **مفاعلات الماء الثقيل المضغوط(PHWR)**

- ينتشر من هذه المفاعلات ٤٩ مفاعلا شغالا تمثل ١٠٪ من عدد المفاعلات النووية بالعالم كما يوجد منها ٢ مفاعلا تحت الانشاء، وهى ذات قدرة كهربية متوسطة، وقد تم تطويرها أساسا فى كندا. وتستخدم اليورانيوم الطبيعى (الذى يحتوى على ٠.٧٪ من نظير اليورانيوم-٢٣٥) كوقود والماء الثقيل (حيث يحل عنصر الديوتيريوم محل الهيدروجين في الماء) فى أغراض التبريد والتهدئة. ويتميز الماء الثقيل بانخفاض قيمة امتصاصه للنيوترونات مما يساعد على زيادة عدد النيوترونات المتاحة لإحداث الإنشطارات، ويتميز هذا المفاعل بإمكانية إعادة شحنه بالوقود دون حاجة إلى إيقافه .(World Nuclear Association [WNA], 2023)

✓ **المفاعلات النووية المتقدمة المبردة بالغاز(AGCR)**

كانت المفاعلات النووية التى تبرد بالغاز هى أول المفاعلات التى أمكن من خلالها التحكم فى عمليات الإنشطار النووى المتسلسل. وتم بناء أول مفاعل نووى منها وتشغيله عام ١٩٤٢ والذى عرف باسم مفاعل " فيرمى". وبدأ الاستخدام الفعلى لهذه المفاعلات فى توليد الطاقة الكهربائية منذ منتصف الخمسينات. حيث بدأت العديد من الدول وعلى رأسها بريطانيا ببناء الأجيال الأولى من هذه المفاعلات. وأهم الأنواع المعروفة من المفاعلات المبردة بالغاز

هى: – مفاعلات الماجنوكس – مفاعلات التبريد الغازى المتقدمة – مفاعلات التبريد الغازى عالية الحرارة . (World Nuclear Association [WNA], 2023).

- ✓ **مفاعلات الماجنوكس MAGNOX**

تستخدم مفاعلات الماجنوكس الوقود النووى فى صورة يورانيوم معدنى تكون نسبة نظير اليورانيوم ٢٣٥ فيه حوالى ٠,٧% وهى النسبة الموجودة فى اليورانيوم الطبيعى. وقد أدى استخدام فلز اليورانيوم الطبيعى كوقود إلى المحافظة على الظروف التشغيلية بقلب المفاعل لتلافى الأضرار التى تلحق بالوقود وأغلفته عند درجات الحرارة أو معدلات الاحتراق العالية ولذا صممت هذه المفاعلات لتعمل عند درجات حرارة تصل إلى ٣٥٠ مْ. يحتوى قلب المفاعل على عدد من كتل الجرافيت تحتوى على قنوات رأسية للوقود، وتتشكل أعمدة الوقود من فلز اليورانيوم الطبيعى المغلف بطبقة رقيقة من سبيكة الماجنوكس (ماغنسيوم – ألومنيوم – بريليوم – نحاس). ولذا تسمى هذه المفاعلات باسم الماجنوكس.(World Nuclear Association [WNA], 2023)

- ✓ **مفاعلات التبريد الغازى المتقدمةAGR**

رغم التشغيل الأمن لمفاعلات الماجنوكس إلا أن الرغبة فى تحسين معاملات التشغيل أدت إلى إجراء بعض التطوير أجيال حديثة من المفاعلات المبردة بالغاز والذى عرفت بإسم مفاعلات التبريد الغازى المتقدمة. يستخدم ثانى أكسيد اليورانيوم المثرى بنسبة قليلة (٣ – ٢٪ من نظير اليورانيوم –٢٣٥) كوقود. يصنع الوقود على شكل كبسولات قصيرة مجوفة من الدخل، وتعبأ هذه الكبسولات فى أغلفة مصنوعة من الصلب غير قابل للصدأ المضاف إليه نسبة من الكروم والنيوبيوم مكونة أعمدة الوقود. يستخدم غاز ثانى أكسيد الكربون تحت ضغط يصل إلى ٣٩ضغط جوى كمبرد. .(World Nuclear Association [WNA], 2023)

- ✓ **مفاعلات التبريد الغازى عالية الحرارةHTGR**

يستخدم هذا النوع من المفاعلات اليورانيوم الذى يحتوى على نسبة عالية من اليورانيوم– ٢٣٥ مخلوطا مع نظير الثوريوم– ٢٣٢ كوقود. وترجع أهمية استخدام نظير الثوريوم– ٢٣٢ فى صناعة الوقود إلى أنه يتحول إلى نظير اليورانيوم–٢٣٣ عند امتصاصه للنيوترونات، ولأن نظير اليورانيوم–٢٣٣ قابل للانشطار فإن تكونه بالمفاعل يعتبر إضافة للوقود الأصلي. ويصنع الوقود على شكل كبسولات قصيرة من " كربيد اليورانيوم والثوريوم " مغلفة بالجرافيت وتوضع هذه الاسطوانات فى تجاويف بكتل الجرافيت الذى يستخدم كمهدئ. ويستخدم غاز الهليوم كمبرد وهو يتميز

بأنه غاز خامل لا يتفاعل مع الجرافيت الذى يستخدم كمهدئ مهما ارتفعت درجة حرارته كما أنه لا يمتص النيوترونات وبالتالي لا يتحول إلى غاز مشع ..(World Nuclear Association [WNA], 2023)

ثالثا: معايير السلامة والأمان في محطات القوى النووية

تمثل معايير السلامة والأمان في محطات القوى النووية الإطار الحاكم لضمان التشغيل الآمن للمفاعلات النووية وحماية الإنسان والبيئة من المخاطر الإشعاعية المحتملة. وتستند هذه المعايير إلى منظومة متكاملة من القواعد الفنية والتشريعية والإجرائية التي تضعها الهيئات الرقابية الوطنية وفقاً للمبادئ والإرشادات الصادرة عن **الوكالة الدولية للطاقة الذرية**، إضافة إلى أفضل الممارسات المعتمدة دولياً في تصميم وتشغيل المفاعلات (International Atomic Energy Agency [IAEA], 2020).

- ✓ **مبدأ الدفاع في العمق(Defense in Depth)**

يُعد مبدأ "الدفاع في العمق" الركيزة الأساسية لنظام السلامة النووية، ويقوم على إنشاء عدة مستويات متتالية ومستقلة من الحواجز المادية والإجرائية لمنع وقوع الحوادث، أو الحد من آثارها في حال حدوثها. وتشمل هذه المستويات (International Atomic Energy Agency [IAEA], 2020) :

أ–التصميم المحافظ للمفاعل بما يضمن الاستقرار الفيزيائي والحراري.

ب–أنظمة تحكم وحماية تلقائية لإيقاف التفاعل النووي عند الحاجة.

ج–أنظمة تبريد الطوارئ لإزالة الحرارة المتبقية من قلب المفاعل.

د–مبنى الاحتواء (Containment) كحاجز مادي يمنع تسرب المواد المشعة.

هـ – خطط الطوارئ الخارجية لحماية الجمهور والبيئة.

- ✓ **معايير التصميم الهندسي للمفاعلات**

تُصمم محطات القوى النووية وفق معايير هندسية صارمة تأخذ في الاعتبار أسوأ السيناريوهات المحتملة، بما في ذلك الزلازل والفيضانات والظروف المناخية القصوى. ويُراعى في التصميم(International Atomic Energy Agency [IAEA]) :

أ- ضمان التكرارية (Redundancy) في الأنظمة الحيوية.
ب- التنوع (Diversity) في مصادر الطاقة وأنظمة التحكم.
ت- ج–الفصل الفيزيائي بين الأنظمة لضمان عدم تأثرها بحدث واحد.
ث- الاعتماد على أنظمة أمان سلبية (Passive Safety Systems) في الأجيال الحديثة من المفاعلات، والتي تعمل دون تدخل بشري أو مصدر طاقة خارجي.

✓ **الإطار الرقابي والتشريعي**

تخضع المحطات النووية لرقابة هيئة مستقلة عن الجهة المشغلة، تتولى إصدار التراخيص ومراجعة التصميمات وإجراء التفتيش الدوري. ويستند الإطار الرقابي إلى تشريعات وطنية تتماشى مع الاتفاقيات الدولية، مثل اتفاقية الأمان النووي (Convention on Nuclear Safety)، بما يضمن الالتزام بالمعايير العالمية.

✓ **إدارة المخاطر وثقافة الأمان**

تعتمد منظومة الأمان النووي على تطبيق منهجية تقييم احتمالي للمخاطر – (Probabilistic Safety Assessment PSA) لتحديد نقاط الضعف المحتملة وتحسين الأداء التشغيلي. كما يُعد ترسيخ "ثقافة الأمان" داخل المؤسسة المشغلة عنصراً جوهرياً، حيث تُعطى الأولوية القصوى للسلامة على حساب الاعتبارات الاقتصادية أو الإنتاجية.

✓ **الحماية الإشعاعية والأمن النووي**

تشمل معايير السلامة تطبيق مبادئ الحماية الإشعاعية، وعلى رأسها مبدأ "ALARA" (As Low As Reasonably Achievable) لتقليل الجرعات الإشعاعية إلى أدنى مستوى ممكن عملياً. كما تتكامل إجراءات السلامة مع منظومة الأمن النووي، التي تهدف إلى منع الوصول غير المصرح به إلى المواد النووية أو تخريب المنشآت، وذلك من خلال أنظمة مراقبة وحماية مادية متقدمة.

✓ **الاستعداد والاستجابة للطوارئ**

تلتزم المحطات النووية بإعداد خطط طوارئ داخلية وخارجية بالتنسيق مع الجهات المعنية، تتضمن آليات الإخلاء، ونظم الإنذار المبكر، والتواصل مع المجتمع المحلي، وإجراء تدريبات دورية تحاكي سيناريوهات الحوادث المحتملة لضمان الجاهزية الكاملة.

رابعا: الاستخدامات السلمية للطاقة النووية:

يمكن استخدام الطاقة النووية وتقنياتها في عدة مجالات بجانب توليد الكهرباء، مثل الزراعة والغذاء والطب واستكشاف الفضاء وتحلية المياه. (World Nuclear Association [WNA], 2023)

- **الزراعة والغذاء**

يستخدم المزارعون الإشعاع في عدة دول حول العالم لمنع الحشرات الضارة من التكاثر والتقليل من أعدادها وحماية المحاصيل الزراعية، وبالتالي توفير كميات أكبر من الغذاء للعالم .ويعمل تعريض الطعام للإشعاع (التشعيع) على قتل البكتيريا والكائنات الضارة الأخرى فيه ويعتبر نوعًا من التعقيم، وذلك دون تحويل الطعام إلى غذاء مشع أو أن يؤثر على القيمة الغذائية للطعام. وفي الواقع، يعد التشعيع السبيل الوحيد لقتل البكتيريا في الأطعمة النيئة والمجمدة بطريقةٍ فعّالة.

- **الطب**

توفر التقنيات النووية صورًا لداخل جسم الإنسان وتسهم في علاج بعض الأمراض، فعلى سبيل المثال: تمكن الأطباء وفقًا للأبحاث النووية من تحديد كمية الإشعاع اللازمة بدقّة لقتل الخلايا السرطانية دون الإضرار بالخلايا السليمة.إضافةً إلى التصوير بالأشعة السينية التي تعتبر من أهم أدوات التشخيص الطبية الأكثر استخدامًا، وهي تعتمد على الإشعاع وتتيح للأطباء فرصة الاطّلاع على جسم الإنسان من الداخل.وتستخدم المستشفيات أشعة جاما لتعقيم المعدّات الطبية بأمان وبتكلفة قليلة مثل: الحُقن وضمادات الحروق والقفازات المستخدمة في الجراحة وصمامات القلب.

- **استكشاف الفضاء**

مكّنت التقنية النووية العلماء من استكشاف الفضاء بدقة، إذ تُستخدم الحرارة الناتجة عن البلوتونيوم لتوليد الكهرباء في مولّدات المركبات الفضائية التي تعمل بدون طيار ويمكنها العمل لعدة سنوات.وعلى مدى الأعوام الخمسين الأخيرة، استخدمت ٢٧ بعثة فضائية تقنية الطاقة النووية لاستكشاف النظام الشمسي، فهي مصدر موثوق وطويل الأمد للكهرباء، ويمكنها تشغيل هذه المركبات الفضائية حتى أثناء تجولها في عمق الفضاء.وذُكر في ملاحظات معهد الطاقة النووية ناسا (2023). *Radioisotope Power Systems & Deep Space Missions*أن المركبة الفضائية فوياجر ١ التي أُطلقت عام ١٩٧٧ لدراسة النظام الشمسي الخارجي، أنها ما زالت ترسل بيانات إلى يومنا هذا.إضافةً لذلك، تعمل المركبة الفضائية "مارس روفر" أو ما يطلق عليها "كيوريوسيتي" بمولّد للطاقة النووية وزارة الطاقة الأمريكية (2022). *Space Nuclear Power Systems*، الذي يوفر طاقة كافية تسمح للمعدات المتطورة من جمع العينات وتحليلها وإرسال البيانات إلى الأرض. ويساهم مولّد الطاقة النووية في إبقاء أنظمة المركبة ضمن درجات الحرارة المطلوبة واللازمة لاستكمال العمليات بفعالية على كوكب المريخ الذي يمتاز بدرجات حرارة منخفضة تحت الصفر معهد الطاقة النووية (2021). *Nuclear Energy in Space Exploration*.

- **تحلية المياه**

ورد عن الرابطة النووية العالمية أن خُمس سكان العالم لا يملكون مياه صحية وآمنة للشرب، ومن المتوقع أن يرتفع هذا المعدل. وهنا يأتي دور الطاقة النووية. للتوضيح، تحلية المياه هي عملية إزالة الملح من مياه البحر المالحة لجعل الماء صالحًا للشرب، ولكن تتطلب هذه العملية كميات كبيرة من الطاقة. ويمكن للمنشآت النووية توفير الطاقة التي تحتاجها محطات التحلية لتوفير مياه عذبة صالحة للشرب. وعلى سبيل المثال، استُخدمت محطة (كانيون ديابلو) للطاقة النووية في المناطق القاحلة بولاية كاليفورنيا الجنوبية في تشغيل محطة تحلية مياه قريبة تسهم في توفير إمدادات ماء موثوقة وآمنة للمنطقة (Nuclear Desalination)وزارة الطاقة الأمريكية (DOE)

خامسا: إيجابيات وسلبيات الطاقة النووية بالنسبة للبيئة

- **الايجابيات:**

١. **انبعاثات منخفضة الكربون** :تطلق منشآت الطاقة النووية عددًا قليلاً جدًا **انبعاثات غازات الاحتباس الحراري** مما يجعلها بديلاً جذابًا لمكافحة تغير المناخ. على عكس محطات الوقود الأحفوري، التي تنبعث منها كميات كبيرة من

ثاني أكسيد الكربون $_2$وغيرها من الملوثات، تنتج المفاعلات النووية الطاقة من خلال تفاعلات نووية منظمة، مما يؤدي إلى عدم انبعاث الكربون المباشر. .(World Nuclear Association [WNA], 2023)

٢. **قوة التحميل الأساسية الموثوقة** :تعد الطاقة النووية مصدرًا مستقرًا وموثوقًا للكهرباء الأساسية التي يمكنها توفير الطلب المستمر دون تقلبات. وعلى عكس المصادر المتجددة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، المتقطعة والمعتمدة على الطقس، يمكن للمنشآت النووية أن تعمل بشكل مستمر، مما يضمن إمدادات كهرباء ثابتة للشبكة . (World Nuclear Association [WNA], 2023).

٣. **البصمة الأرضية الصغيرة** :تستخدم محطات الطاقة النووية مساحة أقل بكثير من الأرض **طاقة متجددة** المنشآت ذات القدرة المماثلة. وبالمقارنة مع مزارع الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، تتطلب المحطات النووية مساحة أقل بكثير لإنتاج كميات مماثلة من الطاقة. هذه الكفاءة تجعلها مناسبة للمناطق ذات الأراضي المتاحة المحدودة. هذه البصمة الصغيرة تجعلها مثالية للمناطق الحضرية أو المواقع ذات الأراضي المتاحة المحدودة، مما يقلل من التأثير على النظم البيئية والتنوع البيولوجي.(World Nuclear Association [WNA], 2023) .

- **السلبيات:**

١. **النفايات المشعة** :أحد أخطر عيوب الطاقة النووية هو تكوين النفايات المشعة، والتي تشكل خطورة لآلاف السنين. يمثل التخلص السليم من هذه المواد وإدارتها صعوبات كبيرة تتعلق بالبيئة والسلامة، مما يثير المخاوف بشأن احتمال حدوث تسرب أو تلوث لمصادر التربة والمياه.(World Nuclear Association [WNA], 2023) .

٢. **مخاطر الحوادث** :والحوادث النووية، رغم ندرتها، لديها القدرة على إحداث أضرار بيئية كارثية وعواقب على صحة الإنسان. ال **مأساة تشيرنوبيل عام ١٩٨٦** و مبادئ السلوك **حادث فوكوشيما دايتشي في عام ٢٠١١** بمثابة تذكير حزين بالمخاطر المرتبطة بالطاقة النووية. على الرغم من التقدم في معدات السلامة، فإن خطر الخطأ البشري أو الكوارث الطبيعية التي تؤدي إلى انصهار أو تصريف المواد المشعة لا يزال يشكل مصدر قلق . (World Nuclear Association [WNA], 2023).

٣. **تعدين ومعالجة اليورانيوم** :يمكن أن يكون لاستخراج ومعالجة اليورانيوم، وهو الوقود المستخدم في المفاعلات النووية، عواقب بيئية سلبية. يمكن لأنشطة التعدين أن تدمر النظم البيئية، وتلوث مصادر المياه، وتعرض صحة العمال والأشخاص المحيطين للخطر. علاوة على ذلك، فإن عملية التخصيب اللازمة لإنتاج الوقود النووي تستهلك الكثير من الطاقة وتنبعث منها انبعاثات **غازات الاحتباس الحراري** ,World Nuclear Association [WNA]) . 2023).

يتطلب التنقل بين إيجابيات وسلبيات طاقة الطاقة النووية في البيئة اتباع نهج متوازن يأخذ في الاعتبار المكافآت والمخاطر المحتملة. وفي حين أن الطاقة النووية بديل منخفض الكربون للوقود الأحفوري وتوفر طاقة تحميل أساسية يمكن الاعتماد عليها، فلا ينبغي تجاهل المخاوف المتعلقة بالنفايات المشعة، ومخاطر الحوادث، وتعدين اليورانيوم.

إن معالجة هذه الصعوبات تتطلب معايير سلامة أكثر صرامة وأفضل **إدارة النفايات** التقنيات والأبحاث المستمرة في دورات الوقود البديلة وتصميمات المفاعلات. علاوة على ذلك، الاستثمار في **مصادر الطاقة المتجددة** ومن الممكن أن تؤدي تدابير الكفاءة إلى تنويع مزيج الطاقة مع تقليل الاعتماد على الطاقة النووية ,World Nuclear Association [WNA]) . 2023).

سادسا: مفهوم التنمية الصناعية

تشير التنمية الصناعية إلى عملية تطوير القطاع الصناعي من حيث الكم والكيف، بما يشمل زيادة الإنتاج الصناعي، ورفع القيمة المضافة، وتحديث الهياكل الإنتاجية، وتوطين التكنولوجيا، وتحسين القدرة التنافسية للصناعات الوطنية. ولا تقتصر التنمية الصناعية على التوسع في عدد المصانع، بل تمتد لتشمل تحسين الكفاءة الإنتاجية، وتطوير الموارد البشرية، وتعزيز الابتكار الصناعي.(World Nuclear Association [WNA], 2023) .وتُعد الطاقة أحد المدخلات الأساسية لعملية التنمية الصناعية، حيث يعتمد نمو الصناعات، خاصة كثيفة الاستهلاك للطاقة، على توافر مصادر طاقة مستقرة وآمنة وبأسعار تنافسية.

- **العلاقة بين الطاقة والتنمية الصناعية**

تؤكد الأدبيات الاقتصادية وجود علاقة وثيقة بين توافر الطاقة والنمو الصناعي، إذ تُعد الطاقة محركًا رئيسيًا لعملية الإنتاج الصناعي. ويؤدي استقرار إمدادات الطاقة إلى تحسين كفاءة الإنتاج، وخفض تكاليف التشغيل، وتشجيع الاستثمارات الصناعية المحلية والأجنبية.

وفي هذا السياق، تلعب الطاقة النووية السلمية دورًا مهمًا في دعم التنمية الصناعية، من خلال توفير مصدر طاقة مستدام قادر على تلبية الطلب المتزايد على الكهرباء، خاصة في الدول التي تسعى إلى تحقيق طفرة صناعية مع تقليل الآثار البيئية السلبية.(World Nuclear Association [WNA], 2023) .

- **النمو الاقتصادي ودور الطاقة**

ترى نظريات النمو الاقتصادي أن التوسع في البنية التحتية للطاقة يُعد من العوامل الأساسية الداعمة للنمو طويل الأجل. فوفقًا لنماذج النمو الحديثة، يسهم الاستثمار في قطاعات الطاقة المتقدمة في رفع الإنتاجية الكلية لعوامل الإنتاج، وتعزيز القدرة التنافسية للاقتصاد. وتُعد الطاقة النووية من الاستثمارات الرأسمالية الاستراتيجية التي تحقق عوائد اقتصادية ممتدة، من خلال دعم القطاعات الصناعية، وخلق فرص عمل، ونقل التكنولوجيا، بما يسهم في تحقيق معدلات نمو اقتصادي مستقرة .(Nuclear Energy Agency [NEA], 2020)

- **الأمن الطاقاوي :**

يرتبط مفهوم أمن الطاقة بقدرة الدولة على توفير إمدادات طاقة كافية ومستقرة وبأسعار مناسبة، دون التعرض لمخاطر الانقطاع أو التقلبات الحادة في الأسعار. وتُعد الطاقة النووية السلمية أحد العناصر الأساسية في تحقيق أمن الطاقة، نظرًا لاعتمادها المحدود على تقلبات الأسواق العالمية للوقود .ويسهم تحقيق أمن الطاقة في دعم التنمية الصناعية، من خلال تقليل المخاطر التي تواجه المشروعات الصناعية، وضمان استمرارية العمليات الإنتاجية، وتعزيز ثقة المستثمرين . (Nuclear Energy Agency [NEA], 2020)

سابعا: الطاقة النووية والتنمية المستدامة

تتوافق الطاقة النووية السلمية مع مفهوم التنمية المستدامة القائم على تحقيق التوازن بين الأبعاد الاقتصادية والبيئية والاجتماعية. فعلى الصعيد الاقتصادي، توفر الطاقة النووية مصدرًا مستقرًا للكهرباء يدعم النمو الصناعي. وعلى الصعيد

البيئي، تُسهم في خفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري مقارنة بمصادر الطاقة الأحفورية. أما على الصعيد الاجتماعي، فتسهم في خلق فرص عمل وبناء كوادر بشرية متخصصة. وبذلك، تُعد الطاقة النووية السلمية أداة فعالة لتحقيق أهداف التنمية المستدامة، خاصة تلك المتعلقة بالطاقة النظيفة، والنمو الاقتصادي، والصناعة، والابتكار (International Atomic Energy Agency [IAEA], 2022).

- **تحليل الحالة المصرية**

يمثل الإطار النظري مرجعية أساسية لتحليل دور الطاقة النووية السلمية في دعم التنمية الصناعية في مصر. فمن خلال توظيف مفاهيم النمو الاقتصادي، وأمن الطاقة، والتنمية المستدامة، يمكن تقييم مشروع محطة الضبعة النووية باعتباره أحد المشروعات الاستراتيجية الداعمة للتحول الصناعي والاقتصادي .ويساعد هذا الإطار في تفسير كيفية إسهام الطاقة النووية في تنويع مزيج الطاقة، ودعم الصناعات كثيفة الاستهلاك للطاقة، وتعزيز القدرات التكنولوجية الوطنية، بما يحقق أهداف التنمية الصناعية المستدامة(Nuclear Power Plants Authority [NPPA], 2023)

الفصل الثالث

مشروع محطة الضبعة النووية السلمي

أولا: مشروع محطة الضبعة النووية السلمي:

يمثل تنفيذ مشروع محطة الضبعة للطاقة النووية تتويجا لسنوات عديدة من الجهود المصرية لإدخال الطاقة النووية إلى مصر حيث تعود خطط إنشاء محطة الضبعة للطاقة النووية إلى أواخر السبعينيات، عندما بدأت إجراءات اختيار الموقع.. يهدف مشروع الضبعة للطاقة النووية إلى بناء أربع وحدات من مفاعلات الماء المضغوط PWR من الطراز الروسي VVER-1200 (AES-2006) بقدرة ١٢٠٠ ميجاوات لكل وحدة، وتعتبر مفاعلات الماء المضغوط التي تم اختيارها هي أكثر أنواع المفاعلات شيوعًا في جميع أنحاء العالم (Nuclear Power Plants Authority [NPPA], 2023))

البارامترات الأساسية لمحطة الضبعة النووية	
نوع المفاعل	PWR (VVER-1200)
تصميم المفاعل	AES-2006
عدد الوحدات	4
الطاقة الحرارية	3200 ميجاوات
الطاقة الكهربية	1194 ميجاوات
مدة دورة الوقود	لمدة 18 شهر
معامل الإتاحية	>90%
العمر التصميمي للمحطة	أكثر من 60 عام
المصمم العام	Atomenergoproekt
المحطة المرجعية	الوحدتين الأولى والثانية لمحطة Leningrad II

وتعتبر هيئة المحطات النووية لتوليد الكهرباء (NPPA) هي المالك والمشغل للمشروع، ويعتبر المقاولون الرئيسيون هم كيانات من مؤسسة روساتوم (ROSATOM) والشركات التابعة لها حيث تم الاتفاق على الإنشاء والدعم في تشغيل المحطة النووية من خلال العديد من العقود وهي العقد الرئيسي (EPC) للهندسة والتوريد والبناء وعقد توريد الوقود النووي وعقد دعم التشغيل والصيانة وكذلك عقد إدارة الوقود النووي المستهلك.

ويتم تنفيذ المشروع من خلال ثلاثة مراحل رئيسية:

- **المرحلة الأولى** وهي المرحلة التحضيرية والتي بدأت منذ ديسمبر ٢٠١٧ وتغطي الأنشطة التي تهدف إلى تجهيز وتهيئة الموقع لإنشاء المحطة النووية، وتستمر لمدة عامين ونصف إلى أربعة أعوام.
- **المرحلة الثانية** وتبدأ بعد الحصول على إذن الإنشاء وتشمل كافة الأعمال المتعلقة بالبناء والتشييد وتدريب العاملين والاستعداد للبدء في اختبارات ما قبل التشغيل، وتستمر المرحلة الثانية لمدة خمسة أعوام ونصف.
- **المرحلة الأخيرة** وتشمل الحصول على إذن إجراء اختبارات ما قبل التشغيل والتي تشمل إجراء اختبارات التشغيل وبدء التشغيل الفعلي وتستمر هذه المرحلة حتى التسليم المبدئي للوحدة النووية وإصدار ترخيص التشغيل، وتصل مدة اختبارات ما قبل التشغيل إلى ١١ شهر.

يرتبط تقدم العمل بالمشروع ارتباطا مباشرا باستخراج التراخيص التي تهدف إلى ضمان سلامة المحطة من خلال استيفاء كافة الوثائق القانونية اللازمة. ستؤدي هذه العملية إلى الحصول على جميع التراخيص والأذون المطلوبة لقبول الموقع والإنشاء والتشغيل(NPPA,2023).

ويعد مشروع محطة الضبعة للطاقة النووية عنصرًا مهمًا في استراتيجية التنمية المستدامة في مصر، رؤية مصر ٢٠٣٠، ويؤدي تنفيذ محطة الضبعة للطاقة النووية إلى تحقيق فوائد عديدة لمصر :

- التنوع في مصادر الطاقة للدولة
- إنتاج وتوليد طاقة عالية، مما يساعد على تلبية الطلب المتزايد على الكهرباء بطريقة موثوقة اعتمادية ومستدامة ويعتبر أساس لتنمية اقتصادية مستقرة.
- الحفاظ على الموارد الطبيعية غير المتجددة– النفط والغاز واستخدامها بشكل رشيد
- التكلفة التنافسية للكهرباء المولدة وبشكل ثابت على مدار اليوم بغض البصر عن الظروف الجوية
- مصدر طاقة نظيف خالي من انبعاثات الكربون، ويلعب دورًا بارزًا في مواجهة الاحتباس الحراري
- استيعاب التقنيات والتكنولوجيا المتطورة وتعزيز البحث والتطوير
- الارتقاء بجودة العمل والمنتجات محلية الصنع إلى مستوى المعايير الدولية
- زيادة فرص العمل للمصريين بمشاركة محلية لا تقل عن ٢٠٪ للوحدة الأولى وحتى ٣٥٪ للوحدة الرابعة
- دفع عجلة التنمية الاقتصادية والبنية التحتية في منطقة مطروح وخاصة في منطقة الضبعة والاعتراف الدولي بإنجازات الدولة.

✓ **تقدم المشروع:**

تطلب إنشاء محطة الضبعة النووية وفقاً للجدول الزمني المخطط ووفقاً لمتطلبات الأمان والجودة إدارة حازمة للوقت، والتخطيط، متابعة المخططات الزمنية مع إتخاذ إجراءات تصحيحية إذا تطلب الأمر.

على الرغم من تأثر مشروع محطة الضبعة النووية بجائحة COVID-19، فقد تمكنت هيئة المحطات النووية من الحد من تأثيره السلبي والحفاظ على وتيرة ثابتة في تنفيذ المشروع. ومع المساندة القوية للقيادة السياسية والجهود المتفانية لجميع أعضاء فريق المشروع، تم تحقيق عدد من المعالم البارزة حتى الآن. ,[NPPA] Nuclear Power Plants Authority) .2023)

✓ **سمات موقع محطة الضبعة النووية السلمية :**

يقع موقع الضبعة على الساحل الشمالي الغربي للبحر الأبيض المتوسط، حيث تم اختيار موقع الضبعة منذ عام ١٩٨٣ كأحد أفضل المواقع بين المواقع المرشحة والواقعة على كافة سواحل جمهورية مصر العربية سواء ساحل البحر الأحمر أو البحر المتوسط أو خليج السويس.

وعلى مدار أكثر من أربعين عاما تم خلالها إجراء دراسات فنية مختلفة على موقع الضبعة واشتملت هذه الدراسات المفصلة على دراسات جيولوجية وجيوفيزيقية وهيدرولوجية وزلزالية وطوبوغرافية وديموغرافية والأرصاد الجوية والجيوتقنية والبنية التحتية، وأثبتت جميعها مدى ملائمة موقع الضبعة لتشييد المحطة النووية.

وخلال الفترة ما بين ١٩٨٥ وحتى عام ٢٠١٩ ومع توافد عدد من خبراء الوكالة الدولية في ورش العمل والاجتماعات الفنية تمت مراجعة تلك الدراسات بالتفصيل والتأكيد على ما جاء فيها وذلك للتأكد من أن هيئة المحطات النووية تتخذ كافة إجراءات الأمان للموقع .

وفى عام ٢٠١٧ قدمت هيئة المحطات النووية تقريرين لهيئة الرقابة النووية والإشعاعية (ENRRA) حيث يتناول أحدهما تقييم الموقع (SER) والآخر يتناول تقييم الآثار البيئية(EIAR) ، وذلك ضمن الخطوات المتبعة للحصول على إذن الموافقة على الموقع.

منحت هيئة الرقابة النووية والإشعاعية في مارس عام ٢٠١٩ إذن قبول الموقع (SAP) إلى هيئة المحطات النووية، وذلك بعد أن قامت بإجراء مراجعات دقيقة وشاملة لكافة الوثائق والمستندات المطلوبة والمقدمة من قبل هيئة المحطات النووية، ويعد ذلك إقرار من هيئة الرقابة النووية والإشعاعية بمدى صلاحية وملاءمة موقع الضبعة لإنشاء محطة نووية طبقا للمواصفات والمتطلبات المصرية الحالية وأيضا معايير الأمان الدولية. وبالحصول على ذلك الإذن تكتمل الخطوة الأولى من مرحلة استصدار الأذون والتراخيص لإقامة المحطة النووية بالضبعة.

✓ **سياسة الأمان:**

عامل الأمان والموثوقية من أهم عوامل المفاضلة الرئيسية لاختيار نوع المفاعل والتكنولوجيا المستخدمة لبناء المحطة النووية في الضبعة حيث تنتمي التكنولوجيا المستخدمة إلى نوعية مفاعلات الجيل الثالث المطور والتي تتطابق تماما مع متطلبات

الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA) والتي وضعتها بعد حادثة فوكوشيما (International Atomic Energy Agency . [IAEA], 2022).

تضمن خصائص التصميم لمحطة الضبعة النووية التشغيل الآمن والأقل تأثيراً على البيئة المحيطة من خلال بعض الخصائص التالية:

- تحسين أنظمة الأمان
- زيادة استخدام الانظمة السلبية التي لا تتطلب تدخل مصدر كهرباء ولا عنصر بشري
- منع أي تسرب للمواد المشعة تحت أي ظروف تتعرض لها المحطة (فيضانات واعاصير وتصادم طائرات) من خلال الهيكل المزدوج لوعاء الاحتواء الخرساني.
- مصيدة قلب المفاعل والتي تحوي الوقود المنصهر في حالات الحوادث القصوى.

✓ **اختصاصات الهيئة :**

تختص هيئة المحطات النووية دون غيرها بالقيام بالاختصاصات الآتية:

- تنفيذ وتشغيل وإدارة مشروعات محطات القوى النووية.
- عقد اتفاقيات مع الجهات المماثلة فى الداخل والخارج.
- إعداد وتأهيل الكوادر البشرية بالداخل والخارج.
- إنشاء محطات القوى النووية لتوليد الكهرباء وإزاله ملوحة المياه.
- إجراء البحوث والدراسات اللازمة لمشروعات إنشاء محطات القوى النووية.
- وضع أسس مواصفات مشروعات إنشاء محطات القوى النووية.

✓ **الأبعاد الاستراتيجية لمشروع محطة الضبعة النووية في سياق الأمن القومي**

يمثل مشروع محطة الضبعة النووية حجر الزاوية في "استراتيجية الطاقة المتكاملة والمستدامة ٢٠٣٥"، ويُصنف كأداة سيادية لتعزيز الاستقلال الطاقي في مواجهة المخاطر الجيوسياسية .(El-Bialy et al., 2021) وتبرز القيمة الاستراتيجية للمشروع في النقاط التالية:

١. **تحييد أثر التوترات الجيوسياسية** :يوفر المفاعل النووي في الضبعة مصدراً للطاقة يتسم بـ "الاستقلال التشغيلي"؛ حيث أن دورة الوقود النووي تسمح بتخزين احتياطيات تكفي لسنوات، مما يحمي الدولة من أي حصار أو اضطرابات في ممرات شحن الغاز والنفط.(Bhattacharyya, 2019)
٢. **ضمان استقرار الشبكة القومية** :تسهم محطة الضبعة في تأمين قاعدة ثابتة من الإمدادات الكهربائية اللازمة للقطاعات الصناعية والتنموية، مما يقلل من احتمالات العجز الناتج عن تقلبات أسعار الغاز الطبيعي الموجه للتصدير أو الاستهلاك المحلي.(Yergin, 2020)

٣. **تعزيز السيادة الطاقية** :(Energy Sovereignty) من خلال امتلاك تكنولوجيا نووية متقدمة، ترفع مصر من قدرتها على المناورة السياسية والاقتصادية، حيث يقل الارتباط بالأسواق العالمية المتقلبة، ويصبح أمن الطاقة مدفوعاً بقرارات داخلية تقنية وليست خارجية جيوسياسية.(Nuclear Energy Agency [NEA], 2020)

ثانيا: هيكل القطاع النووي في مصر :

تُعد الهيئات النووية أحد الركائز الأساسية لضمان الاستخدام الآمن والسلمي للطاقة النووية، حيث تضطلع بدور محوري في وضع السياسات، والتنظيم، والرقابة، وتنفيذ المشروعات النووية، إضافة إلى دعم البحث العلمي وبناء القدرات البشرية. وفي الحالة المصرية، اكتسبت الهيئات النووية أهمية متزايدة في ضوء توجه الدولة نحو تنويع مزيج الطاقة، وتعزيز التنمية الصناعية، وتنفيذ مشروع محطة الضبعة النووية باعتباره أحد أكبر المشروعات القومية الاستراتيجية. ويهدف هذا الفصل إلى استعراض الإطار المؤسسي للهيئات النووية في مصر، مع توضيح أدوارها واختصاصاتها، وبيان مدى تكاملها في دعم الاستخدامات السلمية للطاقة النووية وتحقيق متطلبات الأمان النووي والإشعاعي.

- **الإطار المؤسسي للهيئات النووية في مصر**

يعتمد البرنامج النووي المصري على هيكل مؤسسي متعدد الجهات، يقوم على الفصل بين الجهات التنفيذية والرقابية، بما يتوافق مع المعايير الدولية الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية. ويهدف هذا الفصل المؤسسي إلى ضمان الاستقلالية والشفافية في الرقابة النووية، وتعزيز مستويات الأمان النووي.

ويضم هذا الإطار عدة هيئات رئيسية، من أبرزها: هيئة الطاقة الذرية المصرية، وهيئة المحطات النووية لتوليد الكهرباء، وهيئة الرقابة النووية والإشعاعية، إلى جانب عدد من الجهات الداعمة ذات الصلة.

- **هيئة المحطات النووية لتوليد الكهرباء :**

أنشئت هيئة المحطات النووية لتوليد الكهرباء بمقتضى القانون رقم ١٣ لسنة ١٩٧٦ وتعديلاته بالقانون رقم ٢١٠ لسنة ٢٠١٧، لتكون هيئة عامة اقتصادية ذات طبيعة خاصة تتبع وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، وتكون بذلك الجهة الوحيدة المختصة بإنشاء المحطات النووية في جمهورية مصر العربية وتشغيلها وإدارتها، ويقع مقرها الرئيسي بمدينة القاهرة. وتمتلك الهيئة القدرات الوطنية ذات الكفاءات العلمية والخبرات المتراكمة اللازمة لإنجاح مهامها في إدارة مشروعات المحطات النووية بجمهورية مصر العربية بالإضافة الي انها المالك والمشغل لمشروع محطة الضبعة النووية السلمي وكافة المشروعات النووية في مصر..(Nuclear Power Plants Authority [NPPA], 2023)

- **هيئة الطاقة الذرية المصرية**

تُعد هيئة الطاقة الذرية المصرية من أقدم المؤسسات العلمية في مجال الاستخدامات السلمية للطاقة النووية في مصر، حيث أُنشئت بهدف دعم البحث العلمي والتطبيقات النووية في المجالات الطبية، والزراعية، والصناعية وتختص الهيئة بإجراء البحوث والدراسات العلمية المتعلقة بالتكنولوجيا النووية، وتشغيل المفاعلات البحثية، وتطوير الكوادر البشرية المؤهلة في هذا المجال. كما تسهم في توطين التكنولوجيا النووية، ودعم الاستخدامات السلمية للإشعاع في التنمية الاقتصادية والاجتماعية.

- **هيئة الرقابة النووية والإشعاعية**

من حيث الاستقلالية والدور الرقابي تُعد هيئة الرقابة النووية والإشعاعية الجهة الرقابية المستقلة المسؤولة عن تنظيم ومراقبة الأنشطة النووية والإشعاعية في مصر، بما يضمن أعلى مستويات الأمان النووي وحماية الإنسان والبيئة.وتشمل مهام الهيئة إصدار التراخيص، ووضع اللوائح والمعايير التنظيمية، والتفتيش والرقابة على المنشآت النووية والإشعاعية، وإدارة الطوارئ النووية، والالتزام بالاتفاقيات الدولية ذات الصلة. ويمثل الدور الرقابي للهيئة عنصرًا أساسيًا في تعزيز الثقة المجتمعية والدولية في البرنامج النووي المصري، وضمان توافقه مع المعايير الدولية، وهو ما ينعكس إيجابًا على استدامة المشروعات النووية.

- **هيئة المواد النووية :**

تُعد هيئة المواد النووية إحدى الهيئات العلمية المتخصصة التابعة لقطاع الطاقة النووية في جمهورية مصر العربية، وتضطلع بدور محوري في تنفيذ الاستراتيجية الوطنية للاستكشاف والتقييم الجيولوجي للمواد النووية والخامات المصاحبة لها. وقد أُنشئت الهيئة بهدف دعم البرنامج النووي المصري من خلال تأمين الموارد المحلية من خامات اليورانيوم والثوريوم، وتعزيز الاعتماد على القدرات الوطنية في مجالات البحث والاستكشاف والتقييم المعدني.

تتمثل المهام الأساسية للهيئة في إجراء المسوحات الجيولوجية والإشعاعية الشاملة على مستوى الجمهورية، واستخدام التقنيات الجيوفيزيائية والجيوكيميائية المتقدمة لتحديد مواقع تركزات الخامات النووية وتقييم احتياطياتها الاقتصادية. كما تقوم بإعداد الخرائط الجيولوجية المتخصصة، وتنفيذ أعمال الحفر الاستكشافي والتحاليل المعملية لتقدير جودة الخام وإمكانية استخلاصه وفقاً للمعايير الفنية والاقتصادية المعتمدة.

وتسهم الهيئة كذلك في تطوير الكوادر العلمية والفنية في مجالات جيولوجيا الخامات النووية وتقنيات الاستخلاص والمعالجة، فضلاً عن التعاون العلمي مع المؤسسات البحثية الوطنية والدولية، وعلى رأسها الوكالة الدولية للطاقة الذرية، بما يعزز نقل التكنولوجيا وبناء القدرات المؤسسية في مجال الموارد النووية.

ثالثا: الجهات ذات الصلة بمجال الطاقة في مصر :

- **وحدة خدمات الطاقة – مؤسسة الأهرام**

تُعد مؤسسة الأهرام إحدى أعرق المؤسسات الصحفية والإعلامية في مصر والمنطقة العربية، وقد أنشأت وحدة متخصصة تُعرف بـ«وحدة خدمات الطاقة» بهدف تعزيز الوعي بقضايا الطاقة التقليدية والمتجددة والنووية، ودعم الحوار المجتمعي حول السياسات الطاقوية والتحولات الاستراتيجية في هذا القطاع.

تضطلع وحدة خدمات الطاقة بدور معرفي وإعلامي يتمثل في تنظيم المؤتمرات والمنتديات العلمية، وإعداد الدراسات والتقارير التحليلية، واستضافة الخبراء وصناع القرار لمناقشة قضايا أمن الطاقة، واستدامة الموارد، والتحول نحو مزيج طاقة متوازن. كما تسهم الوحدة في الربط بين البعد الإعلامي والبعد البحثي، من خلال نشر مواد تحليلية متخصصة تسهم في تشكيل الرأي العام المستنير بشأن مشروعات الطاقة الكبرى في مصر، بما في ذلك المشروعات النووية.

ومن منظور تنموي، تمثل الوحدة منصة داعمة لبلورة الرؤى الاستراتيجية المتعلقة بقطاع الطاقة، حيث تسهم في تعزيز الشفافية، وتوسيع قاعدة المشاركة المجتمعية، وربط قضايا الطاقة بالتنمية الصناعية وأهداف التنمية المستدامة، خاصة فيما يتعلق بأمن الطاقة، وكفاءة الاستخدام، ودعم التصنيع المحلي المرتبط بسلاسل الإمداد الطاقوية.

- **مركز التميز للطاقة – جامعة عين شمس**

يُعد جامعة عين شمس من المؤسسات الأكاديمية الرائدة في مجال التعليم والبحث العلمي في مصر، ويضم ضمن هيكله البحثي «مركز التميز للطاقة»، الذي يهدف إلى تطوير البحث العلمي التطبيقي في مجالات الطاقة المختلفة، بما يشمل الطاقة التقليدية، والمتجددة، والنووية، وكفاءة الطاقة.

يركز المركز على دعم الدراسات البينية التي تربط بين الجوانب الهندسية والاقتصادية والبيئية لقطاع الطاقة، مع الاهتمام بتطوير تقنيات مبتكرة، وإجراء بحوث تطبيقية تخدم احتياجات الصناعة الوطنية. كما يعمل على بناء القدرات البحثية من خلال الإشراف على رسائل الماجستير والدكتوراه، وتنظيم ورش العمل والبرامج التدريبية، وتعزيز التعاون مع الهيئات الوطنية المعنية بالطاقة.

ويؤدي المركز دوراً محورياً في دعم توجه الدولة نحو تنويع مصادر الطاقة وتعزيز الاستدامة، من خلال توفير قاعدة علمية وتحليلية تساعد في تقييم السياسات الطاقوية، وقياس آثارها الاقتصادية والصناعية. كما يسهم في الربط بين البحث العلمي ومتطلبات السوق الصناعي، بما يدعم تحقيق أهداف التنمية المستدامة، خاصة ما يتعلق بالطاقة النظيفة، والابتكار الصناعي، وبناء القدرات الوطنية في المجالات التقنية المتقدمة.

رابعا: التكامل المؤسسي بين الهيئات النووية

يعتمد نجاح البرنامج النووي المصري على درجة عالية من التنسيق والتكامل بين الهيئات المختلفة، حيث تتكامل الأدوار البحثية والتنفيذية والرقابية في إطار مؤسسي واحد. ويسهم هذا التكامل في تحقيق الاستخدام الأمثل للطاقة النووية، وتعظيم عوائدها التنموية، مع الالتزام الكامل بمتطلبات الأمان والسلامة.

- **الإطار القانوني والمراجع المنظمة لعمل الهيئات النووية في مصر**

يعتمد عمل الهيئات النووية في مصر على مجموعة من القوانين والتشريعات الوطنية، إضافة إلى الاتفاقيات والمعايير الدولية، بما يضمن الاستخدام السلمي للطاقة النووية وتحقيق أعلى مستويات الأمان النووي والإشعاعي. وفيما يلي عرض لأهم المراجع القانونية والعلمية المنظمة لكل هيئة:

١- المراجع القانونية والتنظيمية لهيئة الطاقة الذرية المصرية

- القانون رقم (٥٠٩) لسنة ١٩٥٥ بشأن إنشاء هيئة الطاقة الذرية المصرية وتعديلاته.
- قرارات رئيس الجمهورية المنظمة لاختصاصات الهيئة والهيكل التنظيمي لها.
- تقارير الوكالة الدولية للطاقة الذرية حول الاستخدامات السلمية للتقنيات النووية.

٢- المراجع القانونية والتنظيمية لهيئة المحطات النووية لتوليد الكهرباء

- القانون رقم (١٣) لسنة ١٩٧٦ بشأن إنشاء هيئة المحطات النووية لتوليد الكهرباء.
- الاتفاقيات الدولية المبرمة بين مصر والدول الشريكة في مجال إنشاء وتشغيل المحطات النووية.
- وثائق الوكالة الدولية للطاقة الذرية الخاصة بإنشاء وتشغيل محطات القوى النووية.

٣- المراجع القانونية والتنظيمية لهيئة الرقابة النووية والإشعاعية

- القانون رقم (٧) لسنة ٢٠١٠ بشأن تنظيم الأنشطة النووية والإشعاعية.
- اللوائح التنفيذية والقرارات التنظيمية الصادرة عن هيئة الرقابة النووية والإشعاعية.
- معايير الأمان النووي الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية(IAEA Safety Standards)

الفصل الرابع

علاقة مشروع محطة الضبعة النووية السلمية بالتنمية المستدامة في مصر

أولًا: مفهوم التنمية المستدامة وأبعادها

تُمثل التنمية المستدامة (Sustainable Development) النموذج الإدراكي المعاصر الذي يهدف إلى إحداث توازن ديناميكي بين المتطلبات التنموية الراهنة وحقوق الأجيال المستقبلية. ويُعد تعريف "تقرير برونتلاند (Brundtland Report) " هو التأصيل المرجعي الأكثر قبولاً، حيث ينص على أنها التنمية التي تلبي احتياجات الحاضر دون المساس بقدرة الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتها الخاصة (World Commission on Environment and Development [WCED], 1987).

تتمحور الاستدامة حول ثلاثة أبعاد جوهرية متداخلة(The Triple Bottom Line) ، وهي:(Sorensen, 2021)

- **البعد الاقتصادي** :ويستهدف تعظيم النمو والإنتاجية مع ضمان كفاءة تخصيص الموارد، وهنا تبرز الطاقة كمدخل استراتيجي لا غنى عنه لاستمرارية العمليات الصناعية والخدمية.(Bhattacharyya, 2020)
- **البعد الاجتماعي** :ويركز على تحقيق العدالة في توزيع الثروات، وتحسين جودة الحياة، وتوفير فرص العمل، وهو ما يتطلب وصولاً آمناً وموثوقاً لمصادر الطاقة بأسعار معقولة.
- **البعد البيئي** :ويتعلق بحماية النظم الإيكولوجية، وتقليل البصمة الكربونية، والتصدي لظاهرة الاحتباس الحراري، مما يفرض تحولاً استراتيجياً نحو مصادر طاقة منخفضة الانبعاثات مثل الطاقة النووية والمتجددة (Wolfson and Schneider, 2023).

ثانيًا: أهمية قطاع الطاقة في تحقيق التنمية المستدامة

يُصنف قطاع الطاقة كركيزة بنيوية ومحرك جوهري (Key Driver) لتحقيق أهداف التنمية المستدامة بأبعادها الشاملة. وتتجلى هذه الأهمية في كونه المورد الحيوي الذي يربط بين الكفاءة الإنتاجية والرفاه الاجتماعي والامتثال البيئي (International Energy Agency [IEA], 2023).وتتبلور أدوار الطاقة في المسارات التالية:

- التمكين الاقتصادي والاجتماعي :تعمل الطاقة كمُدخل وسيط في كافة الأنشطة الاقتصادية؛ حيث يسهم توفر الإمدادات الموثوقة في تحفيز الاستثمارات الصناعية، وخلق فرص عمل تقنية، ورفع مؤشرات التنمية البشرية من خلال تحسين الخدمات العامة.(Thirlwall and Pacheco-López, 2017)

- الارتباط البيئي والمناخي :تقع على عاتق قطاع الطاقة المسؤولية الأكبر في تحديد البصمة الكربونية للدول؛ لذا فإن التحول نحو مصادر منخفضة الانبعاثات يُعد شرطاً أساسياً للتوفيق بين النمو الاقتصادي وحماية المناخ (Wolfson and Schneider, 2023).

✓ **الاستراتيجية المصرية لتحول الطاقة**

في إطار "رؤية مصر ٢٠٣٠"، تبنت الدولة المصرية نهجاً يهدف إلى تعزيز أمن الطاقة (Energy Security) من خلال هيكلة مزيج طاقي متوازن ومستدام. ويرتكز هذا التوجه على فك الارتباط التدريجي عن الهيمنة الكاملة للوقود الأحفوري عبر مسارين متكاملين:(Ministry of Electricity and Renewable Energy [MoERE], 2022)

التوسع في الطاقات المتجددة :لضمان الاستدامة البيئية وتقليل التكاليف التشغيلية طويلة الأمد.

إدراج الطاقة النووية كطاقة حمل أساسي :(Baseload) لضمان استقرار الشبكة القومية وتوفير مصدر طاقة كثيف وموثوق يدعم النهضة الصناعية المنشودة بعيداً عن تقلبات الأسواق العالمية.(World Nuclear Association [WNA], 2023)

ثالثًا: مشروع محطة الضبعة النووية كأحد ركائز التنمية المستدامة

يُمثل مشروع محطة الضبعة النووية (El Dabaa NPP) تحولاً جذرياً في فلسفة إدارة قطاع الطاقة المصري، حيث يُصنف كأحد أضخم المشروعات القومية الرامية إلى تحقيق الاستدامة والسيادة الطاقية. وتتجاوز أهداف المشروع مجرد توليد التيار الكهربائي لتشمل أبعاداً تنموية وتكنولوجية واقتصادية متكاملة (Ministry of Electricity and Renewable Energy [MoERE], 2022).

١- المواصفات الفنية والقدرات الإنتاجية

يرتكز المشروع على إنشاء أربع وحدات نووية تعتمد على مفاعلات الماء المضغوط من طراز (VVER-1200) ، وهي تكنولوجيا تنتمي إلى الجيل الثالث المطور .(Gen III+) وتبلغ القدرة الإجمالية للمحطة حوالي ٤٨٠٠ ميجاوات، مما يوفر طاقة "حمل أساسي (Baseload Power) "قادرة على تلبية الاحتياجات الصناعية المتنامية في مصر لعقود قادمة (Nuclear Power Plants Authority [NPPA], 2023).

٢-الشراكة الاستراتيجية وتوطين التكنولوجيا

يتم تنفيذ المشروع بالتعاون مع المؤسسة الحكومية الروسية للطاقة النووية "روساتوم(Rosatom) "، وفقاً لاتفاقية حكومية تضمن أعلى معايير الأمان النووي العالمي. ولا تقتصر هذه الشراكة على الجانب الإنشائي، بل تمتد لتشمل (Rosatom, 2024):

✓ **توطين الصناعة** :إشراك الشركات المصرية في سلاسل التوريد والإنشاءات بنسبة مساهمة محلية متزايدة.
✓ **نقل المعرفة** :(Knowledge Transfer) بناء كوادر بشرية مصرية متخصصة في إدارة وتشغيل المنشآت النووية.
✓ **تحديث البنية التحتية** :تطوير المنطقة المحيطة بالمشروع وتحويلها إلى مركز جذب سكاني وصناعي.

ويُعد مشروع محطة الضبعة النووية من أهم المشروعات القومية في مصر، حيث يمثل نقلة نوعية في قطاع الطاقة من خلال إدخال الطاقة النووية السلمية ضمن مزيج الطاقة.
يتكون المشروع من أربع وحدات نووية بقدرة إجمالية كبيرة، ويتم تنفيذه بالتعاون مع روساتوم باستخدام تكنولوجيا حديثة.

رابعًا: دور المشروع في تحقيق البعد الاقتصادي للتنمية المستدامة

يُمثل مشروع محطة الضبعة النووية محركاً جوهرياً للنمو الاقتصادي المستدام في مصر، حيث تتجاوز آثاره مجرد توليد الطاقة لتشمل تحسين المؤشرات الاقتصادية الكلية وتنافسية القطاعات الإنتاجية (Ministry of Electricity and Renewable Energy [MoERE], 2022). ويمكن تحليل هذه المساهمة الاقتصادية عبر المحاور التالية:

١- الاستقرار السعري وخفض النفقات التشغيلية

تتميز الطاقة النووية بضعف حساسيتها تجاه تقلبات أسعار المواد الخام عالمياً؛ حيث أن تكلفة وقود اليورانيوم لا تمثل سوى جزء ضئيل من تكلفة إنتاج الكيلوواط/ساعة مقارنة بالوقود الأحفوري (Nuclear Energy Agency [NEA], 2020). ويسهم ذلك في توفير طاقة منخفضة التكلفة على المدى الطويل، مما يخفف الأعباء المالية المرتبطة باستيراد المحروقات ويوجه الفائض لدعم الموازنة العامة للدولة.(Bhattacharyya, 2019)

٢- تحفيز القطاع الصناعي وجذب الاستثمارات

تُعد الطاقة النووية المصدر الأمثل لـ "طاقة الحمل الأساسي (Baseload Power) "التي تتطلبها الصناعات الكبرى وكثيفة الاستهلاك للطاقة (مثل الحديد، الصلب، والألومنيوم). ويؤدي استقرار هذه الإمدادات إلى:

رفع الكفاءة الإنتاجية :من خلال ضمان استمرارية العمليات التصنيعية دون انقطاع.(Yergin, 2020)

تعزيز التنافسية :عبر تقليل مخاطر تقلب تكلفة الطاقة في المنتج النهائي.

تحسين مناخ الاستثمار :حيث يمثل توفر بنية تحتية طاقية موثوقة حافزاً رئيساً لجذب تدفقات الاستثمار الأجنبي المباشر (FDI)لإقامة مجمعات صناعية جديدة.(UNIDO, 2022)

.3تحسين الميزان التجاري والسيادة الاقتصادية

يساهم إدراج الطاقة النووية في المزيج الوطني في تقليل الاعتماد على واردات الغاز الطبيعي والمنتجات البترولية، أو توفير كميات أكبر من الغاز الطبيعي المحلي لأغراض التصدير والقيمة المضافة (الصناعات البتروكيماوية)، مما ينعكس إيجابياً على الميزان التجاري المصري ويدعم استقرار العملة الوطنية.(International Energy Agency [IEA], 2023)

يسهم مشروع الضبعة في دعم الاقتصاد الوطني من خلال:

١- توفير طاقة مستقرة ومنخفضة التكلفة على المدى الطويل

حيث يساعد في تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري، مما يخفف من عبء استيراد الطاقة.

٢- دعم التنمية الصناعية حيث يوفر إمدادات طاقة مستقرة للصناعات كثيفة الاستهلاك للطاقة، مما يعزز الإنتاجية والتنافسية.

٣- جذب الاستثمارات حيث يشجع توافر الطاقة المستقرة المستثمرين على إقامة مشروعات صناعية جديدة.

٤- تحسين الميزان التجاري حيث من خلال تقليل واردات الوقود وزيادة الإنتاج المحلي.

خامسًا: دور المشروع في تحقيق البعد الاجتماعي

الانعكاسات الاجتماعية لمشروع الضبعة وتحسين جودة الحياة

يُعد البعد الاجتماعي ركيزة أساسية في تقييم الأثر الكلي لمشروع محطة الضبعة النووية، حيث يتجاوز دوره النطاق التقني ليمتد إلى تطوير البنية الاجتماعية والمعرفية للمجتمع المصري. ويساهم المشروع في تحقيق التنمية الاجتماعية المستدامة من خلال عدة مسارات استراتيجية (Nuclear Power Plants Authority [NPPA], 2023) :

١- تنمية رأس المال البشري ونقل المعرفة

يمثل المشروع منصة وطنية لبناء جيل جديد من الكوادر العلمية والتقنية؛ حيث يتضمن البرنامج النووي المصري خططاً مكثفة لتدريب وتأهيل المهندسين والفنيين بالتعاون مع المؤسسات التعليمية والبحثية الدولية .(Rosatom, 2024) ويؤدي هذا "الاستثمار في البشر" إلى:

- رفع كفاءة العمالة الوطنية في تخصصات الهندسة الدقيقة واللحام عالي الجودة والرقابة النووية.
- تعزيز القدرات البحثية في الجامعات المصرية من خلال دمج علوم الذرة في المناهج الأكاديمية (Sorensen, 2017).

٢- خلق فرص العمل والنمو الديموغرافي

- يساهم المشروع في معالجة تحديات البطالة من خلال توفير آلاف فرص العمل المباشرة في موقع الإنشاء والتشغيل، بالإضافة إلى فرص عمل غير مباشرة في الصناعات المغذية والخدمات اللوجستية (International Atomic Energy Agency [IAEA], 2022). ويؤدي تركيز هذه الأنشطة في منطقة الضبعة إلى:
- خلق مجتمع عمران جديد وتخفيف الضغط الديموغرافي عن الوادي والدلتا.
- تنشيط الحركية الاقتصادية المحلية في محافظة مطروح.

٣- تعزيز الخدمات الحيوية ومستوى المعيشة

- يضمن توفر إمدادات مستقرة من الطاقة النووية تشغيل المرافق العامة بكفاءة عالية، مما ينعكس إيجابياً على جودة الخدمات الأساسية كالصحة والتعليم. كما تدعم الطاقة الرخيصة والمستدامة عمليات تحلية مياه البحر والتوسع الزراعي، مما يعزز الأمن الغذائي والمائي للمواطن.(Bhattacharyya, 2020)

يساهم المشروع في تحقيق التنمية الاجتماعية من خلال:

١- **خلق فرص عمل حيث** يوفر آلاف فرص العمل المباشرة وغير المباشرة أثناء مرحلتي الإنشاء والتشغيل.

٢- **تنمية الكوادر البشرية حيث** يسهم في تدريب وتأهيل الكفاءات المصرية في مجالات الهندسة النووية والتكنولوجيا المتقدمة.

٣-**تحسين مستوى المعيشة حيث** من خلال توفير طاقة مستقرة تدعم الخدمات الأساسية مثل التعليم والصحة.

سادسًا: دور المشروع في تحقيق البعد البيئي

يُعد مشروع محطة الضبعة النووية حجر الزاوية في استراتيجية التحول نحو "الاقتصاد الأخضر" في مصر، حيث يساهم بشكل جوهري في تحقيق التوازن بين المتطلبات التنموية والالتزامات البيئية الدولية. وتبرز المساهمة البيئية للمشروع من خلال المحاور التالية:(International Atomic Energy Agency [IAEA], 2022)

١- المساهمة في خفض الانبعاثات الكربونية(Decarbonization)

تُصنف الطاقة النووية كأحد أقل مصادر توليد الكهرباء بعثاً للغازات الدفيئة على مدار دورة حياتها. فخلافاً للمحطات الحرارية التقليدية، لا ينتج عن عملية الانشطار النووي في مفاعلات الضبعة أي انبعاثات من ثاني أكسيد الكربون (CO_2) أو أكاسيد الكبريت والنيتروجين أثناء التشغيل. (Wolfson and Schneider, 2023) ويساهم ذلك في الحد من ظاهرة الاحتباس الحراري ودعم جهود الدولة المصرية في الامتثال لاتفاقية باريس للمناخ.

٢- الحد من التلوث الهوائي وحماية النظم الإيكولوجية

يؤدي دمج الطاقة النووية في مزيج الطاقة إلى تقليص الاعتماد على الوقود الأحفوري (النفط والغاز)، مما يقلل من الملوثات الجوية والجسيمات العالقة التي تؤثر سلباً على الصحة العامة والتنوع البيولوجي. كما تساهم التكنولوجيا المستخدمة في مفاعلات (VVER-1200) في ضمان إدارة آمنة ومغلقة للموارد، مما يمنع أي تسربات تضر بالبيئة المحيطة (Rosatom, 2024).

٣- الكفاءة العالية في استهلاك الموارد(Resource Efficiency)

تتميز الطاقة النووية بكثافة طاقية فائقة؛ حيث يمكن لكمية محدودة من وقود اليورانيوم إنتاج كميات هائلة من الكهرباء مقارنة بالأطنان من الفحم أو الغاز الطبيعي .(Bhattacharyya, 2020) وينعكس ذلك إيجابياً على الاستدامة البيئية من خلال:

تقليل عمليات النقل المستمرة للوقود وما يتبعها من انبعاثات ومخاطر.

الاستخدام الأمثل للمساحات الجغرافية، حيث تنتج المحطات النووية طاقة أكبر لكل وحدة مساحة مقارنة بمزارع الرياح أو الخلايا الشمسية.(Sorensen, 2021)

سابعًا: المواءمة الاستراتيجية لمشروع الضبعة مع أجندة الأمم المتحدة للتنمية المستدامة ٢٠٣٠

يُمثل مشروع محطة الضبعة النووية نموذجاً تطبيقياً للتوافق بين المشروعات القومية الكبرى وأهداف التنمية المستدامة (SDGs)التي أقرتها الأمم المتحدة. ولا يقتصر أثر المشروع على قطاع الطاقة فحسب، بل يمتد ليتقاطع مع عدة أهداف استراتيجية تضمن استدامة النمو الشامل.(International Atomic Energy Agency [IAEA], 2022)

ويمكن رصد هذا التوافق من خلال المحاور التالية:

- **الهدف السابع (طاقة نظيفة وبأسعار معقولة)** :يساهم المشروع في تنويع مزيج الطاقة المصري عبر توفير مصدر مستدام ومنخفض الكربون لإنتاج الكهرباء. وتضمن التكنولوجيا النووية استقرار الأسعار وتوافر الطاقة على المدى الطويل (أكثر من ٦٠ عاماً)، مما يلبي احتياجات النمو السكاني والصناعي.(Bhattacharyya, 2019)
- **الهدف الثامن (العمل اللائق والنمو الاقتصادي)** :يحفز المشروع النشاط الاقتصادي من خلال خلق آلاف فرص العمل المباشرة والعمليات اللوجستية المرتبطة بها. كما يساهم في رفع معدلات الناتج المحلي الإجمالي عبر تعزيز القيمة المضافة وتوطين الصناعات المغذية للمشروع النووي.(Thirlwall and Pacheco-López, 2017)
- **الهدف التاسع (الصناعة والابتكار والهياكل الأساسية)** :يمثل المشروع قفزة نوعية في البنية التحتية التكنولوجية لمصر، حيث يتطلب بناء المحطة النووية معايير هندسية وصناعية دقيقة تساهم في نقل المعرفة وتوطين التكنولوجيا المتقدمة، وتحفيز الابتكار في مجالات العلوم الأساسية والهندسة (United Nations Industrial Development Organization [UNIDO], 2022).
- **الهدف الثالث عشر (العمل المناخي)** :تُعد الطاقة النووية عنصراً حاسماً في استراتيجية مصر للحد من الانبعاثات الكربونية. فمن خلال إحلال الطاقة النووية محل الوقود الأحفوري، ستتمكن مصر من تجنب ملايين الأطنان من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون سنوياً، مما يساهم بشكل مباشر في تحقيق الالتزامات المناخية الدولية (Wolfson and Schneider, 2023).

ثامنا: الآفاق المستقبلية والتموضع الاستراتيجي لمصر في المشهد الطاقي

تتجاوز التوقعات المستقبلية لمشروع محطة الضبعة حدود إنتاج الطاقة المحلية، لتصيغ دوراً إقليمياً ودولياً جديداً للدولة المصرية في إطار "الجيوسياسة الطاقية" الجديدة. ومن المنتظر أن تتبلور هذه الآفاق عبر المحاور التالية:

١-الريادة الإقليمية والتحول لمركز طاقة عالمي

يُنتظر أن يساهم المشروع في تعزيز مكانة مصر كـ "مركز إقليمي لتداول وتجارة الطاقة .(Regional Energy Hub) " فمن خلال امتلاك قدرات توليد نووية مستقرة، ستتمكن مصر من تعزيز مشروعات الربط الكهربائي مع دول الجوار في أفريقيا، وأوروبا (عبر اليونان وقبرص)، وآسيا، مما يمنحها ثقلاً استراتيجياً في تأمين إمدادات الطاقة العابرة للحدود (Ministry of Electricity and Renewable Energy [MoERE], 2022).

٢- تسريع وتيرة التحول نحو الاقتصاد الأخضر

يمثل مشروع الضبعة الركيزة الأساسية للوصول إلى "الحياد الكربوني(Net Zero) "؛ حيث سيوفر قاعدة توليد ضخمة خالية من الانبعاثات الكربونية. هذا التحول سيعزز من قدرة المنتجات الصناعية المصرية على المنافسة في الأسواق الدولية التي تفرض قيوداً بيئية صارمة (مثل ضريبة الكربون الأوروبية)، مما يدعم استدامة الصادرات الوطنية (Wolfson and Schneider, 2023).

٣- التكامل الهيكلي بين الطاقة النووية والمتجددة

تُشير الآفاق المستقبلية إلى صياغة نموذج طاقي هجين يجمع بين "استقرار" الطاقة النووية و"تجدد" المصادر الشمسية والرياح. هذا التكامل سيسمح بتعظيم كفاءة الشبكة القومية وتقليل الهالك، كما سيوفر الطاقة اللازمة لإنتاج "الهيدروجين الأخضر"، مما يفتح آفاقاً استثمارية جديدة كلياً في مجال الطاقة النظيفة (International Energy Agency [IEA], 2023).

٤- استدامة النهضة الصناعية وتوطين المعرفة

من المتوقع أن يفرز المشروع "بيئة ابتكارية (Innovation Ecosystem) "من خلال التفاعل بين قطاع الطاقة والقطاع الصناعي. وسيؤدي توطين التكنولوجيا النووية إلى رفع جودة المعايير الصناعية المحلية لتتوافق مع "الأكواد النووية"، مما يساهم في إحداث طفرة في كفاءة المصانع المصرية وقدرتها على إنتاج معدات هندسية دقيقة (United Nations Industrial Development Organization [UNIDO], 2022).

القسم الثالث: الإطار التطبيقي للدراسة

الفصل الخامس

التجارب الدولية الرائدة في مجال استخدام الطاقة النووية السلمية وآثارها التنموية

تمهيد

تُعد الطاقة النووية السلمية حجر الزاوية في التحولات الهيكلية للاقتصادات الكبرى، حيث أثبتت التجارب الدولية أن امتلاك القدرات النووية يتجاوز كونه وسيلة لتوليد الكهرباء ليصبح محركاً لابتكار قطاعات صناعية جديدة وتعزيز السيادة الطاقية (International Atomic Energy Agency [IAEA], 2022). يستعرض هذا الفصل خمس تجارب متباينة لاستخلاص الأطر المرجعية التي تتقاطع مع الحالة المصرية.

أولًا: التجربة الفرنسية (نموذج السيادة الطاقية والاستقلال الصناعية)

تُصنف فرنسا كأنجح نموذج عالمي في "النووية الشاملة"، حيث تؤمن الطاقة النووية أكثر من ٦٥٪ من احتياجاتها الكهربائية. نشأت هذه التجربة من رحم أزمة النفط في السبعينيات (خطة ميسيمر)، بهدف تحقيق استقلال طاقي كامل (World Nuclear Association [WNA], 2023).

- **الارتباط الصناعي** :وفرت فرنسا "طاقة رخيصة ومستقرة" كأداة تنافسية للصناعات الثقيلة (الصلب، الكيماويات). وأدى ذلك لنشوء المجمع الصناعي النووي المتكامل مثل شركة Framatome و(EDF)، مما جعل فرنسا مُصدراً رئيساً للمعدات النووية والكهرباء لأوروبا.(Bhattacharyya, 2021)
- **الخصوصية** :التركيز على توحيد نماذج المفاعلات (Standardization) لخفض تكاليف الصيانة والإنشاء.

وقد أدت التجربة النووية إلى نشوء مجمع صناعي نووي متكامل يضم شركات تصميم وبناء المفاعلات، وصناعة المعدات النووية، وإدارة الوقود والنفايات، وهو ما وفر آلاف فرص العمل وساهم في رفع القيمة المضافة للصناعة الوطنية.

ثانيًا: التجربة الروسية (نموذج التكامل الرأسي والصادرات التكنولوجية)

تمثل روسيا، عبر عملاقها "روساتوم"، النموذج الأكثر تكاملاً في إدارة الدورة النووية من التعدين حتى معالجة النفايات.

- **الارتباط الصناعي** :ساهم قطاع الطاقة النووية في تطوير صناعات "الاستراتيجية الثقيلة" وأنظمة التحكم الرقمية المتقدمة. وتعتمد روسيا على نموذج (Build–Own–Operate) في مشاريعها الدولية، مما يعزز من نفوذها التكنولوجي ويخلق سلاسل قيمة صناعية تمتد عبر الحدود.(Rosatom, 2024)

- **الخصوصية** :الريادة في مفاعلات الجيل الثالث المطور (VVER-1200) والقدرة على تمويل المشروعات الكبرى بآليات حكومية ميسرة.

وبذلك أصبحت روسيا من الدول الرائدة عالميًا في مجال تطوير واستخدام الطاقة النووية السلمية، حيث تمتلك خبرة تاريخية طويلة في هذا المجال، وتُعد شركة «روساتوم» أحد أكبر الكيانات النووية المتكاملة عالميًا. حيث ساهمت الطاقة النووية في دعم الصناعات الروسية كثيفة الاستهلاك للطاقة، وتوفير مصدر كهرباء مستقر للصناعات الاستراتيجية. كما أسهم قطاع الطاقة النووية في تطوير صناعات متقدمة عالية التقنية، مثل صناعة المفاعلات والمعدات الثقيلة وأنظمة التحكم .وبالتالي احتلت الصادرات النووية الروسية مركزا مهمًا في تعزيز الميزان التجاري، حيث تقدم روسيا نموذجًا صناعيًا متكاملًا يشمل التمويل والبناء والتشغيل ونقل التكنولوجيا، وهو ما انعكس على تنمية القاعدة الصناعية الوطنية (Rosatom,2022) .

ثالثًا: التجربة الكورية الجنوبية (نموذج التوطين والتحول للتصدير)

تُعد كوريا الجنوبية المثال الأبرز للدول التي بدأت باستيراد التكنولوجيا وانتهت بتصديرها، حيث نجحت في توطين ٩٥٪ من التكنولوجيا النووية.(Sorensen, 2021)

- **الارتباط الصناعي** :كانت الطاقة النووية هي "الوقود" الذي غذّى المعجزة الصناعية الكورية (صناعة السفن، الإلكترونيات). أدى بناء المفاعلات محلياً إلى ظهور شركات عملاقة مثل (KEPCO) و (Doosan)التي تنافس الآن في السوق العالمي (الظفرة في الإمارات نموذجاً).(Nuclear Energy Agency [NEA], 2020)
- **الخصوصية** :الكفاءة الفائقة في إدارة سلاسل التوريد والالتزام الصارم بالجداول الزمنية للبناء.

رابعًا: التجربة الهندية (نموذج الاعتماد على الذات ودورة الوقود الوطنية)

طورت الهند تجربتها في ظل ظروف جيوسياسية خاصة، مما دفعها للتركيز على "دورة الوقود المغلقة" واستخدام الثوريوم المتوفر لديها.

- **الارتباط الصناعي** :ساهمت في سد فجوة الطاقة في الأقاليم الصناعية الناشئة، وحفزت الصناعات الهندسية المحلية والمقاولات المتخصصة في التعامل مع الأكواد النووية الصارمة.(Thirlwall and Pacheco-López, 2017)
- **الخصوصية** :النجاح في تطوير تكنولوجيا نووية محلية الصنع بالكامل لمواجهة القيود الدولية التي فُرضت عليها سابقاً.

التجربة الهندية في استخدام الطاقة النووية السلمية وربطها بالتنمية الصناعية

تعتمد الهند على الطاقة النووية السلمية كأحد المحركات الداعمة للنمو الاقتصادي والصناعي، في ظل الزيادة السكانية السريعة وارتفاع الطلب على الطاقة.

الربط بالتنمية الصناعية :ساهمت الطاقة النووية في تقليل فجوة الطاقة في المناطق الصناعية الكبرى، ودعم الصناعات الهندية الثقيلة والمتوسطة. كما أدى تطوير دورة وقود نووي وطنية إلى تعزيز الصناعات المحلية المرتبطة بالتعدين والتصنيع الهندسي.

وتُعد التجربة الهندية مثالًا على استخدام الطاقة النووية كوسيلة لدعم التنمية الصناعية مع الاعتماد على القدرات الذاتية الوطنية.

خامسًا: التجربة الإماراتية (نموذج التنمية السريعة والاستدامة البيئية)

تمثل محطة "**براكة**" أول مشروع نووي تجاري في العالم العربي، وهي نموذج للدول الناشئة نووياً التي تتبع منهجية "المشتري الذكي."

- **الارتباط الصناعي** :دعمت صناعات الألومنيوم والبتروكيماويات بمصدر طاقة "صفر كربون"، مما يعزز من مكانة منتجاتها في ظل القوانين البيئية الدولية. كما ركزت على بناء "الكوادر الوطنية" من خلال بعثات تعليمية مكثفة (IAEA, 2022).
- **الخصوصية** :الشفافية الدولية المطلقة والتعاون الوثيق مع الوكالة الدولية للطاقة الذرية منذ اليوم الأول.

وبذلك تمثل تجربة دولة الإمارات العربية المتحدة نموذجًا حديثًا ناجا في استخدام الطاقة النووية السلمية، من خلال مشروع محطة «براكة» النووية. حيث ساهمت الطاقة النووية في دعم القطاعات الصناعية الإماراتية، ولا سيما الصناعات البتروكيماوية والألومنيوم، عبر توفير مصدر طاقة منخفض الانبعاثات ومستقر. كما ساهم المشروع في تطوير الصناعات والخدمات المساندة، وبناء كوادر وطنية متخصصة. وتُعد تجربة الإمارات نموذجًا للدول النامية في تحقيق التوازن بين التنمية الصناعية والاستدامة البيئية.(IAEA, 2022) .

سادسًا: مقارنة تحليلية بين التجارب الدولية

,من خلال استقراء النماذج السابقة، تبرز الدروس التالية لمشروع الضبعة:

١. الاستمرارية السياسية :النجاح يتطلب التزاماً حكومياً طويل الأمد (مثل فرنسا وكوريا).
٢. التوطين التدريجي :البدء بمساهمة محلية (مثل الضبعة التي تستهدف ٢٠–٣٥٪) ثم التصاعد (مثل التجربة الكورية).
٣. ربط الطاقة بالصناعة :ضرورة توجيه طاقة الضبعة لخدمة مجمعات صناعية كثيفة الاستهلاك لضمان أعلى عائد اقتصادي.(Yergin, 2020)
٤. وبالتالي فأن النجاح في استخدام الطاقة النووية السلمية يرتبط بعدة عوامل رئيسية، من أبرزها وضوح الاستراتيجية الوطنية، والاستثمار في العنصر البشري، وتوطين التكنولوجيا، وتكامل السياسات الطاقية مع الأهداف الاقتصادية والصناعية.

كما تُظهر المقارنات السابقة الي أن الدول التي نجحت في توظيف الطاقة النووية استطاعت تحقيق استقرار في إمدادات الطاقة، ودعم التنمية الصناعية، وتعزيز مكانتها الإقليمية والدولية.

سابعًا: الدروس المستفادة من التجارب السابقة

بناءً على التحليل السابق، يمكن استخلاص خمسة دروس استراتيجية تمثل خارطة طريق لمشروع الضبعة:

١- صياغة استراتيجية "التوطين المتدرج(Progressive Localization)

أثبتت التجربة الكورية أن النجاح لا يتطلب البدء بتكنولوجيا محلية ١٠٠٪، بل بالبدء بنسبة مساهمة محلية (مثل ٢٠٪ في الوحدة الأولى بالضبعة) وتصعيدها لتصل إلى (٣٥٪ في الوحدة الرابعة).

الدرس المصري :يجب تحفيز المصانع المحلية (الحديد، الكابلات، الإنشاءات الدقيقة) للامتثال للأكواد النووية الروسية (GOST)لضمان استدامة سلسلة التوريد.(Rosatom, 2024)

٢- مفهوم "محطة الطاقة كقاطرة صناعية(Industrial Locomotive)

في فرنسا وروسيا، لم تكن المحطات النووية معزولة، بل وُضعت في قلب مجمعات صناعية.

- **الدرس المصري** :يمكن استغلال موقع الضبعة الجغرافي لإنشاء "منطقة اقتصادية خاصة" تعتمد على الطاقة النووية والحرارة الناتجة عنها في (تحلية المياه، إنتاج الهيدروجين الأخضر، وصناعات البتروكيماويات)، مما يعزز من "القيمة المضافة" للمشروع.(Bhattacharyya, 2019)

٣- الاستثمار في "رأس المال المعرفي(Cognitive Capital)

التجربة الإماراتية والهندية تؤكد أن التحدي ليس في بناء المحطة، بل في إعداد "المشغل النووي" والباحث.

الدرس المصري :ضرورة التكامل بين المدرسة النووية بالضبعة، والأقسام النووية بالجامعات، وهيئة الطاقة الذرية، لضمان استقلال القرار الفني المصري مستقبلاً وعدم الاعتماد الكلي على الخبرة الأجنبية.(IAEA, 2022)

٤- استقرار "أمن الطاقة" كحافز للاستثمار الأجنبي(FDI)

المستثمر الصناعي (مثل شركات الرقائق الإلكترونية أو الألومنيوم) يبحث عن "جودة الطاقة (Power Quality) "واستقرارها السعري.

الدرس المصري :توفر محطة الضبعة طاقة "حمل أساسي (Baseload) "مستقرة، مما يسمح لمصر بتقديم ضمانات سعرية طويلة الأجل للمستثمرين الصناعيين، وهو ميزة لا توفرها الطاقات المتجددة وحدها بسبب "تقطع الإمدادات ,Yergin) " 2020).

٥- الشفافية والقبول المجتمعي(IESocial License to Operate)

تُظهر التجربة الفرنسية أن القبول الشعبي للطاقة النووية هو الضامن لاستمراريتها.

- **الدرس المصري** :أهمية دور الإعلام العلمي والحوار المجتمعي في توضيح معايير الأمان) مفاعلات–VVER (1200لتبديد المخاوف التاريخية، وإبراز الفوائد البيئية (خفض الانبعاثات) كجزء من الهوية الوطنية الحديثة.

وعليه يمكن لمصر الاستفادة من التجارب الدولية في مجال الطاقة النووية السلمية من خلال التركيز على نقل وتوطين التكنولوجيا، وبناء كوادر بشرية مؤهلة، وتعظيم العوائد الاقتصادية والصناعية للمشروعات النووية، مع الالتزام الكامل بمعايير الأمان النووي والاستدامة البيئية.

نتائج وتوصيات الدراسة

أولا: النتائج

التساؤل الأول: ما هو دور الطاقة النووية في تلبية احتياجات التنمية الصناعية في مصر؟

توصلت الباحثة الي أن الطاقة النووية السلمية تمثل أحد **الركائز الاستراتيجية** لتلبية احتياجات التنمية الصناعية في مصر، نظرًا لقدرتها على توفير طاقة كهربائية مستقرة وكبيرة الحجم، بما يتوافق مع متطلبات التوسع الصناعي الحالي والمستقبلي من حيث :

١. **توفير طاقة مستقرة وموثوقة حيث** تُعد استمرارية إمدادات الطاقة من أهم متطلبات التنمية الصناعية، حيث تعتمد الصناعات خاصة الثقيلة على مصادر طاقة لا تتعرض للانقطاع. حيث تسهم الطاقة النووية في تقليل تقلبات الإمداد الكهربائي ودعم استمرارية العمليات الإنتاجية والحد من الخسائر الناتجة عن انقطاع الكهرباء

٢. **تلبية الطلب المتزايد على الطاقة بالإضافة الي** التوسع في المشروعات الصناعية، يزداد الطلب على الطاقة بشكل ملحوظ، وهو ما يمكن للطاقة النووية تلبيته من خلال كل من إنتاج كميات كبيرة من الكهرباء ودعم الخطط الصناعية طويلة الأجل وفي هذا السياق، تري الباحثة أن **مشروع محطة الضبعة يمثل نموذجًا عمليًا لتلبية هذا الطلب المتنامي.**

التساؤل الثاني: ما هو تأثير الاستخدامات التكنولوجية للطاقة النووية السلمية علي القطاع الصناعي في مصر؟

توصلت الباحثة إلى أن الاستخدامات التكنولوجية للطاقة النووية السلمية تُحدث **تأثيرًا مباشرًا وإيجابيًا** على القطاع الصناعي في مصر، ويتمثل ذلك في

١-**توفير طاقة مستقرة وموثوقة للصناعة** تُعد الطاقة النووية مصدرًا ثابتًا للكهرباء، وهو ما يساهم في تقليل مشكلات انقطاع التيار التي تؤثر سلبًا على الإنتاج الصناعي. وقد أظهرت الدراسات أن نقص الطاقة كان من العوامل التي أثّرت على قطاعات مثل الصناعة والتجارة في مصر .ومع دخول مشروعات مثل محطة الضبعة، من المتوقع أن يتم توفير جزء كبير من احتياجات الكهرباء، حيث يمكن أن تسهم الطاقة النووية بنسبة ملحوظة من إجمالي الإنتاج الكهربائي مستقبلاً ، مما يدعم استقرار العمليات الصناعية.

٢-**الإضافة خفض تكاليف الإنتاج على المدى الطويل ودعم الصناعات المرتبطة (الصناعات المغذية)** التي يسهم إدخال التكنولوجيا النووية فيها الي خلق طلب على مجموعة واسعة من الصناعات، مثل: الصناعات الهندسية و مواد البناء الثقيلة وتصنيع المعدات والآلات كما تشير الأدبيات السابقة إلى أن مشروعات الطاقة النووية تتيح مشاركة الشركات المحلية في التنفيذ والتوريد، مما يدعم الاقتصاد المحلي ويحفّز نمو الصناعات المرتبطة .

٣-وفيما يخص التأثير التكنولوجي والصناعي غير المباشر من حيث نقل **وتوطين التكنولوجيا المتقدمة تطوير رأس المال البشري الصناعي** الذي ينعكس فيه استخدام التكنولوجيا النووية في تدريب كوادر فنية عالية التأهيل ورفع مستوى المهارات

الهندسية والتقنية ودعم التعليم الفني والبحث العلمي وهذا ينعكس بشكل مباشر على كفاءة القطاع الصناعي وقدرته على التطور.

التساؤل الثالث: ماهي السياسات الداعمة والسياسات المطلوبة لتعظيم الاستخدام المستدام للطاقة النووية السلمية في مصر ؟

توصلت الباحثة إلى أن مصر تبنت بالفعل مجموعة من السياسات التي تدعم الاستخدام السلمي والمستدام للطاقة النووية، ويمكن تحليلها كما يلي:

١- **تبني استراتيجية تنويع مزيج الطاقة حيث** تعتمد الدولة على سياسة واضحة تهدف إلى تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري، من خلال إدخال الطاقة النووية ضمن مزيج الطاقة، بما يعزز أمن الطاقة ويحد من تقلبات الأسواق العالمية.

٢- إنشاء إطار مؤسسي متخصص

حيث تم إنشاء جهات متخصصة مثل **هيئة المحطات النووية بالإضافة الي انشاء جهاز الاشراف علي تنفيذ المحطات النووية** المسؤولين بدورهم عن تنفيذ وإدارة المشروعات النووية بالإضافة الي تعديلات الأخيرة علي قانون الأنشطة النووية والاشعاعية لتعزيز كل من الرقابة علي المواد المشعة و تشديد العقوبات علي المخالفات والتأكيد علي التوافق مع المعايير الدولية وهو ما يعكس وجود بنية مؤسسية داعمة لتطوير هذا القطاع .

٣- تنفيذ مشروعات استراتيجية (محطة الضبعة)

حيث يُعد مشروع محطة الضبعة خطوة محورية في السياسة النووية المصرية، حيث يمثل أول تطبيق فعلي للطاقة النووية لتوليد الكهرباء بقدرة كبيرة، مما يعزز التحول نحو الطاقة النظيفة والمستدامة

٤- الالتزام بالأطر البيئية والتنموية

حيث ترتبط السياسات الحالية بمفاهيم **الاقتصاد الأخضر والتنمية المستدامة**، حيث تُستخدم الطاقة النووية كوسيلة لخفض الانبعاثات الكربونية وتحقيق التوازن البيئي

٥- تعزيز التعاون الدولي

حيث تعتمد مصر على شراكات دولية لنقل التكنولوجيا والخبرة، وهو ما يُعد أحد أهم دعائم تطوير القطاع النووي وتطبيقاته السلمية.

التساؤل الرابع: ماهي سبل توطين التكنولوجيا النووية في مجال الصناعات المحلية في مصر؟

وقد توصلت الباحثة في دراستها الي أن مشروع الضبعة يمثل فرصة محورية لتحقيق هذا الهدف من خلال آليات "التعلم بالممارسة." من خلال نقل التكنولوجيا من خلال الشراكات الدولية مثل الشراكات مع دولتي روسيا الاتحادية وكوريا الجنوبية واللاتي تعدان من أكبر الدول العالم في استخدامات التكنولوجية للطاقة النووية وحيث تتيح هذه الشراكات نقل الخبرات الفنية والتدريب العملي أثناء التنفيذ واكتساب المعرفة في مجالات التصميم والتشغيل.

بالإضـافة الي تعظيم المكون المحلي في المشـروعات النووية والذي يعتبر أحد أهم مسـارات التوطين من خلال: إشـراك الشركات المصرية في أعمال الإنشاءات وتصنيع بعض المكونات غير الحساسة محليًا وتطوير سلاسل الإمداد الوطنية مما يعزز في خلق قاعدة صـناعية داعمة للصـناعات النووية. فضـلا عن تطوير الصـناعات المغذية المرتبطة بالطاقة النووية والاستثمار في رأس المال البشري والذي بدوره الركيزة الأساسية لنجاح عملية التوطين بالإضافة الي دعم البحث العلمي والتطوير (R&D) يمثل البحث العلمي أداة رئيسية لتوطين التكنولوجيا، من خلال:

- إنشاء مراكز بحثية متخصصة في التطبيقات النووية
- دعم الابتكار في الاستخدامات الصناعية للطاقة النووية
- ربط البحث العلمي باحتياجات الصناعة .

التساؤل الخامس: كيف تسهم الطاقة النووية في دعم أهداف التنمية المستدامة؟

توصـلت الباحثة الي أن الطاقة النووية السـلمية تسـهم في دعم أهداف التنمية المسـتدامة من خلال توفير طاقة نظيفة وموثوقة، وتعزيز النمو الاقتصـادي، ودعم التنمية الصـناعية، وتقليل الانبعاثات البيئية، وتحسين جودة الحياة، مما يجعلها أحد الركائز الأساسية لتحقيق التنمية الشاملة والمستدامة، خاصة في الدول الساعية إلى تنويع مزيج الطاقة مثل مصر في عدة مجالات منها دعم النمو الاقتصادي وتحسين كفاءة استخدام الموارد من خلال تقليل استهلاك الموارد الطبيعية وخفض التكاليف على المدى الطويل وجذب الاستثمارات الأجنبية .

وفيما يخص مساهمة الطاقة النووية في البعد البيئي توصلت الباحثة الي مساهمة الطاقة النووية بشكل كبير الي الحد من الانبعاثات الكربونية حيث لا تنتج غازات دفيئة أثناء التشـغيل ودعم التحول نحو الطاقة النظيفة حيث تسـهم الطاقة النووية في تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري، وهو ما يعزز التحول إلى اقتصـاد منخفض الكربون. بالإضـافة الي الحفاظ على الموارد الطبيعية حيث يساعد الاعتماد على الطاقة النووية في تقليل الضغط على الموارد التقليدية مثل النفط والغاز خاصة في ظل الظروف الجيوسياسية الحالية. وتوصلت الباحثة أيضا الي ان الطاقة النووية تسهم بشكل مباشر وغير مباشر في تحقيق عدد من أهداف التنمية المستدامة، من أبرزها:

- **الهدف السابع (طاقة نظيفة وبأسعار معقولة)** :من خلال توفير مصدر طاقة مستدام وموثوق
- **الهدف التاسع (الصناعة والابتكار)** :عبر دعم التصنيع ونقل التكنولوجيا
- **الهدف الثالث عشر (العمل المناخي)** :من خلال تقليل الانبعاثات
- **الهدف الثامن (العمل اللائق والنمو الاقتصـادي)** :عبر خلق فرص عمل في عدة مجالات وبالتالي تحسـين الأحوال المعيشية للمواطنين بشكل عام.

التساؤل السادس: ما هي التحديات التي تواجه دمج الطاقة النووية ضمن استراتيجية التنمية الصناعية؟

توصـلت الباحثة إلى أن دمج الطاقة النووية السـلمية في اسـتراتيجية التنمية الصـناعية في مصـر يمثل خيارًا اسـتراتيجيًا مهمًا، إلا أنه يواجه مجموعة من التحديات المتشـابكة ذات الأبعاد الاقتصـادية، والتكنولوجية، والمؤسـسـية، والبيئية، والمجتمعية، والتي قد تؤثر على كفاءة هذا الدمج واستدامته حيث تتصـدر قائمة هذه التحديات **ارتفاع التكلفة الاستثمارية** الأولية حيث تُعد مشـروعات الطاقة النووية من أكثر مشـروعات الطاقة كثافة في رأس المال، حيث تتطلب واسـتثمارات ضـخمة في البنية التحتية وفترات زمنية طويلة للاسـترداد مما يشـكل عبئًا على الموارد المالية للدولة، ويؤثر على سـرعة

دمجها في الخطط الصـناعية. بالإضـافة الي تحدي صـعوبة تدبير التمويل حيث تعتمد المشـروعات النووية غالبًا على التمويل الحكومي والقروض الدولية والشراكات طويلة الأجل وهو ما قد يزيد من الضغوط المالية ويحد من التوسع السريع.

أما فيما يخص **التحديات التكنولوجية والصـناعية** تمثلت في محدودية القاعدة الصـناعية المحلية حيث أظهرت نتائج الدراسـة أن الصـناعة المحلية في مصـر لا تزال بحاجة إلى تطوير لتلبية متطلبات التكنولوجيا النووية، خاصـة في تصـنيع المكونات عالية الدقة والالتزام بالمعايير الفنية الصارمة بالإضافة الي القيود على نقل التكنولوجيا وتعقيد التكنولوجيا النووية

أما عن **التحديات المؤسـسـية والتشـريعية** تمثلت في الحاجة إلى إطار تنظيمي متطور حيث يتطلب دمج الطاقة النووية قوانين حديثة ونظم رقابية فعالة ووضـوح في توزيع الأدوار المؤسـسـية وأي قصـور في هذه الجوانب قد يعيق التنفيذ. وفيما يتعلق بضعف التنسيق المؤسسي تعدد الجهات المعنية بقطاع الطاقة قد يؤدي إلى تداخل الاختصاصات وبطء اتخاذ القرار مما يؤثر على كفاءة دمج الطاقة النووية في الاستراتيجية الصناعية. نهاية **بالتحديات البشرية** ونقص الكوادر المتخصصة والتحديات البيئية والأمنية والتحديات المجتمعية وما تعانيه هذا النوع من المشروعات من **ضعف القبول المجتمعي** اتجاها.

ثانيا: توصيات الدراسة:

بناءً على نتائج الدراسة واستخدام كل من المنهج المقارن والمنهج التحليلي الذي قامت به الباحثة، فأنها توصي بما يلي:

✓ **التوصيات الاستراتيجية والسياسية**

- **تعزيز التكامل الهيكلي**

ضرورة دمج البرنامج النووي المصري ضمن استراتيجية شاملة للتصنيع الوطني، بحيث لا يقتصر الدور النووي على توليد الطاقة فحسب، بل يمتد ليكون محركاً للصناعات الثقيلة والمجمعات الصناعية كثيفة استهلاك الطاقة.

- **تطوير الإطار التشريعي والحوافز**

صياغة تشريعات اقتصادية تمنح مزايا تفضيلية للمناطق الصناعية التي تعتمد على الطاقة النووية نظيفة الكربون، بما يتوافق مع المعايير الدولية لضريبة الكربون الحدودية، مما يعزز تنافسية الصادرات المصرية.

✓ **التوصيات التقنية والتكنولوجية**

- **توطين تكنولوجيا المفاعلات الصغيرة والمتوسطة (SMRs):**

يوصي الباحث بضرورة التوسع في دراسة الجدوى الفنية لتبني المفاعلات النمطية الصغيرة مستقبلاً، لسهولة ربطها بالمناطق الصناعية النائية والمناجم، وتوظيفها في عمليات تحلية المياه على نطاق واسع.

- **تعظيم المكون المحلي:** وضع خطة زمنية ملزمة لرفع نسبة مشاركة الشركات المصرية في سلاسل الإمداد النووية، مع توفير برامج دعم فني لهذه الشركات للحصول على شهادات الجودة العالمية) مثل ISO و N-Stamp) المطلوبة في القطاع النووي.

✓ **التنمية المستدامة والبيئة**

- **الربط بين النووي والهيدروجين الأخضر:** إجراء بحوث تطبيقية حول استخدام الحرارة الناتجة عن المفاعلات النووية في إنتاج الهيدروجين الوردي(Pink Hydrogen) ، مما يضع مصر كمركز إقليمي لإنتاج الطاقة النظيفة وتنويع مزيج الطاقة المستدام.
- **إدارة النفايات المشعة** :الاستمرار في تعزيز البنية التحتية الوطنية لإدارة النفايات الإشعاعية وفقاً لأعلى معايير الأمان الدولية، لضمان استدامة القبول المجتمعي والبيئي للمشروع على المدى الطويل.

✓ **تنمية الموارد البشرية والبحث العلمي**

- **إنشاء مراكز تميز نووي صناعي** : التوصية بتأسيس مراكز بحثية متخصصة تربط بين كليات الهندسة والعلوم وبين هيئة المحطات النووية، لضمان تخريج كوادر قادرة على إدارة الجوانب التشغيلية والابتكارية في المفاعلات من الجيل الثالث المطور.
- **تعزيز الشفافية والوعي الطاقي** :تبني استراتيجية تواصل وطنية لإبراز العوائد الاقتصادية والبيئية للطاقة النووية، مما يساهم في جذب الاستثمارات الأجنبية والمحلية للقطاعات المرتبطة بالبرنامج النووي.

قائمة المراجع:

أولا: المراجع العربية

هيئة المحطات النووية لتوليد الكهرباء. WWW.NPPA.GOV.EG (تم الدخول ٢٠٢٦/٤/١)
الوكالة الدولية للظاقة. (٢٠٢١). الطاقة النووية في استكشاف الفضاء. معهد الطاقة النووية

ثانيا: المراجع الاجنبية

BP. (2023). Statistical Review of World Energy. London: BP.
Central Bank of Egypt. (2023). Economic Review Report. Cairo. Rosatom. (2023). El Dabaa Nuclear Power Plant Project. Moscow.
Daniel Yergin. (2020). The New Map: Energy, Climate, and the Clash of Nations. Penguin Press.
David J. C. MacKay. (2009). Sustainable Energy – Without the Hot Air. UIT Cambridge.
Dieter Helm. (2017). Burn Out: The Endgame for Fossil Fuels. Yale University Press.
Egyptian Nuclear Power Plants Authority. (2023). El Dabaa Nuclear Power Plant Project Overview. Cairo
Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Cambridge University Press.
International Atomic Energy Agency (IAEA). (2022). *Nuclear power and sustainable development*. Vienna: IAEA.
International Atomic Energy Agency (IAEA). (2023). *Country nuclear power profiles: Egypt*. Retrieved from https://www.iaea.org
International Energy Agency (IEA). (2022). *Nuclear power and secure energy transitions*. Paris: IEA.
International Energy Agency (IEA). (2023). *World Energy Outlook 2023*. Paris: IEA.
International Renewable Energy Agency. (2023). Renewable Energy Statistics 2023. Abu Dhabi: IRENA.
Jeffrey D. Sachs. (2015). The Age of Sustainable Development. Columbia University Press.
Ministry of Electricity and Renewable Energy [MoERE], 2022
Ministry of Electricity and Renewable Energy. (2023). Egypt Energy Strategy 2035. Cairo: Government of Egypt.
National Aeronautics and Space Administration. (2023). *Radioisotope power systems & deep space missions*. https://science.nasa.gov/planetary-science/programs/radioisotope-power-systems/missions/
Rosatom (2024). VVER-1200 Reactor: Advanced Safety and Efficiency for Global Energy. Available at: https://www.rosatom.ru (Accessed: 13 April 2026).
U.S. Department of Energy (2022). Space Nuclear Power Systems.
U.S. Energy Information Administration. (2023). Global Energy Review. Washington, DC. Bhattacharyya, S. C. (2020). Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance. 2nd ed. London: Springer.
United Nations Development Programme. (2022). Human Development Report. New York: UNDP.
United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) (2022). Industrial Development Report 2022. Vienna: UNIDO.

United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. New York: United Nations.
Vaclav Smil. (2010). Energy Transitions: History, Requirements, Prospects. Praeger.
World Bank. (2022). *Sustainable energy for development*. Washington, DC: World Bank.
World Nuclear Association. (2023). Nuclear Power in Egypt. Retrieved from https://www.world-nuclear.org

تمت بحمد الله