جمهورية العراق

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة بابل

كلية التربية للعلوم الصرفة

قسم الفيزياء

الاستخدامات السلمية للطاقة النووية

بحث تخرج مقدم الى مجلس كلية التربية للعلوم الصرفة – جامعة بابل وهو جزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في قسم الفيزياء.

من قبل الطالبة

ضلال محمد صكب

بإشراف

أ. م. د عمار يحيى كاظم

2026م

1447هـ

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿وَسَخَّرَ لَكُم مَّا فِي السَّمَاوَاتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا مِّنْهُ ۚ إِنَّ فِي ذَٰلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ﴾

صدق الله العلي العظيم

[سورة الجاثية: 13]

الاهداء

إلى من غرسوا في نفسي حب المعرفة، ومهدوا لي طريق النجاح بفيض دعواتهم..

إلى أمي.. الحضن الدافئ، ومنبع الرضا، ونوري في كل عتمة.

إلى أبي.. السقف الذي استظل به، وصاحب الفضل الذي لا يوفيه شكر.

إلى أخي وعضيدي.. سندي الذي أتكئ عليه حين أميل، وصديقي الذي لا يتغير.

أهديكم ثمرة هذا الجهد، عرفاناً بجبكم الذي كان وما زال سرّ قوتي.

شكر وعرفان

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، والصلاة والسلام على معلم البشرية الخير، وبعد..

أتقدم بوافر الشكر وعظيم الامتنان إلى جامعة بابل، هذا الصرح العلمي الشامخ، وإلى كلية التربية للعلوم الصرفة - قسم الفيزياء، التي نهلتُ من معين علمها طيلة سنوات دراستي.

كما أتقدم بآيات الشكر والتقدير المقرونة بالاحترام إلى أستاذي الفاضل:

(د. عمار يحيى كاظم) الذي تفضل بالإشراف على هذا البحث، فكان لنصائحه السديدة وتوجيهاته القيمة أبلغ الأثر في إتمام هذا العمل. أشكر فيه سعة صدره، ودعمه المستمر، وحرصه الأكاديمي الذي كان لي منارةً طوال فترة البحث، فجزاه الله عني وعن طالب العلم خير الجزاء.

وأخيراً، أشكر كل من مد لي يد العون بكلمة أو تشجيع، ولكل من ساهم في إنجاح هذه المسيرة العلمية.

المحتويات

اسم الموضوع	رقم الصفحة
الآية القرآنية	أ
الاهداء	ب
شكر وعرفان	ت
المحتويات	ث
قائمة الجداول	ج
قائمة الاشكال	ح
الملخص	خ
الفصل الاول	1
المقدمة	2
مفهوم الطاقة النووية	3
نشأة واكتشاف الطاقة النووية	4-5
انواع التفاعلات النووية	6-7
آلية عمل الطاقة النووية	7
ايجابيات وسلبيات الطاقة النووية	8-9
الشروط اللازم توفرها لأنشاء محطه نووية	9-10
الفصل الثاني	11
مجالات الاستخدامات السلمية للطاقة النووية	12
استخدام الطاقة النووية في توليد الكهرباء	12-14
الاستخدامات الطبية للطاقة النووية	14-15
الاستخدامات الزراعية للطاقة النووية	16-17
الاستخدامات الصناعية للطاقة النووية	17-18
استخدامات الطاقة النووية في حماية البيئة	18-19
التقييم العام للاستخدام السلمي للطاقة النووية	20-21
المصادر	22-23

قائمة الجداول

رقم الجدول	عنوان الجدول	رقم الصفحة
(1-2)	مساهمة الطاقة النووية في إنتاج الكهرباء عالميًا	13
(2-2)	أهم التطبيقات الطبية للطاقة النووية	15
(3-2)	مقارنة بين الزراعة التقليدية والزراعة بالتقنيات النووية	16
(4-2)	أهم الاستخدامات الصناعية للطاقة النووية	17
(5-2)	التقنيات النووية المستخدمة في حماية البيئة.	19

قائمة الاشكال

رقم الشكل	عنوان الشكل	رقم الصفحة
(1-1)	الطاقة النووية	3
(2-1)	الانشطار النووي	6
(3-1)	الاضمحلال النووي	6
(4-1)	الاندماج النووي	7
(5-1)	المحطات الكهربائية النووية	8
(1-2)	كيفية توليد الكهرباء من الطاقة النووية	12
(2-2)	مخطط توضيحي لعملية التصوير الطبي أو العلاج بالأشعة	14
(3-2)	استخدام الإشعاع في تحسين المحاصيل ومكافحة الآفات.	16
(4-2)	الفحص غير الإتلافي باستخدام الأشعة في الصناعة	17
(5-2)	دور التقنيات النووية في رصد التلوث وتحلية المياه	18

الملخص

يتناول هذا البحث موضوع الطاقة النووية بوصفها أحد أهم مصادر الطاقة الحديثة وأكثرها تأثيرًا في مسار التطور العلمي والتكنولوجي المعاصر. وقد ركّز الفصل الأول على الإطار النظري للطاقة النووية، من حيث مفهومها القائم على الطاقة الكامنة في نواة الذرة، ونشأتها التاريخية منذ تجارب إرنست رذرفورد عام 1911، مرورًا باكتشاف الانشطار النووي على يد أوتو هان وفريتز شتراسمان عام 1938، وصولًا إلى تطور استخدامها في إنتاج الطاقة الكهربائية بعد الحرب العالمية الثانية. كما استعرض البحث أنواع التفاعلات النووية الرئيسة: الانشطار النووي، والاندماج النووي، والاضمحلال الإشعاعي، وآلية عمل المفاعلات النووية في توليد الكهرباء، إضافة إلى بيان إيجابيات الطاقة النووية وسلبياتها من الجوانب البيئية والاقتصادية والصحية.[3،4]

أما الفصل الثاني فقد تناول الاستخدامات السلمية للطاقة النووية، مؤكدًا أن هذه الطاقة لم تعد مقتصرة على البعد العسكري، بل أصبحت أداة فاعلة في دعم التنمية المستدامة. وقد شمل ذلك استخدامها في توليد الكهرباء، حيث تسهم بنحو 10% من الإنتاج العالمي، إلى جانب دورها في المجال الطبي من خلال الطب النووي والتصوير الإشعاعي وعلاج الأورام، وفي القطاع الزراعي عبر تحسين المحاصيل ومكافحة الآفات، وفي المجال الصناعي من خلال الفحص غير الإتلافي وقياس الكثافات، فضلًا عن إسهامها في حماية البيئة ورصد التلوث وإدارة الموارد المائية.[7]

وتوصل البحث إلى أن الطاقة النووية تمثل خيارًا استراتيجيًا مهمًا لتحقيق أمن الطاقة وتقليل الانبعاثات الكربونية، إلا أن نجاح استخدامها يعتمد على الالتزام الصارم بمعايير السلامة، وتطوير تقنيات إدارة النفايات المشعة، وتعزيز الرقابة الدولية، ولا سيما من خلال دور الوكالة الدولية للطاقة الذرية في ضمان الاستخدام السلمي والآمن لهذه التكنولوجيا.[1]

وبناءً على ذلك، يؤكد البحث أن الطاقة النووية، عند توظيفها ضمن أطر قانونية وعلمية دقيقة، يمكن أن تشكل ركيزة أساسية لتحقيق التنمية الاقتصادية والاجتماعية المستدامة، مع ضرورة الموازنة بين تعظيم فوائدها وتقليل مخاطرها المحتملة.[2]

الفصل الاول

الطاقة النووية

(1-1) المقدمة

تُعدّ الطاقة النووية من أبرز الاكتشافات العلمية التي غيّرت مسار التطور التكنولوجي في العصر الحديث، لما تمتلكه من قدرة عالية على إنتاج الطاقة وتأثير مباشر في مختلف مجالات الحياة. وقد ارتبط ظهورها بتقدم الدراسات الفيزيائية المتعلقة ببنية الذرة، الأمر الذي أسهم في فتح آفاق جديدة لفهم مصادر الطاقة الكامنة في المادة.[1]

وشهد القرن العشرون تطورًا متسارعًا في الأبحاث النووية، حيث انتقل الاهتمام من الجانب النظري إلى التطبيقات العملية، سواء في المجالات العسكرية أو السلمية. وقد كشف هذا التطور عن الطبيعة المزدوجة للطاقة النووية، إذ يمكن توظيفها في توليد الطاقة الكهربائية ودعم التنمية، كما يمكن استخدامها في مجالات ذات آثار تدميرية كبيرة.[2]

ومع تزايد الحاجة العالمية إلى مصادر طاقة موثوقة وقليلة الانبعاثات، برزت الطاقة النووية بوصفها أحد الخيارات الاستراتيجية لتلبية الطلب المتزايد على الكهرباء، إلى جانب دورها المتنامي في الطب والصناعة والبحث العلمي. وقد دفع ذلك المجتمع الدولي إلى وضع أطر تنظيمية تهدف إلى ضمان الاستخدام الآمن والسلمي لهذه الطاقة والحد من مخاطرها، وانطلاقًا من هذه الأهمية، يتناول هذا الفصل مفهوم الطاقة النووية ونشأتها التاريخية، وأنواع التفاعلات النووية، وآلية عمل محطات الطاقة النووية، مع تسليط الضوء على التطبيقات السلمية لهذه الطاقة ودورها في دعم التنمية المستدامة.[3]

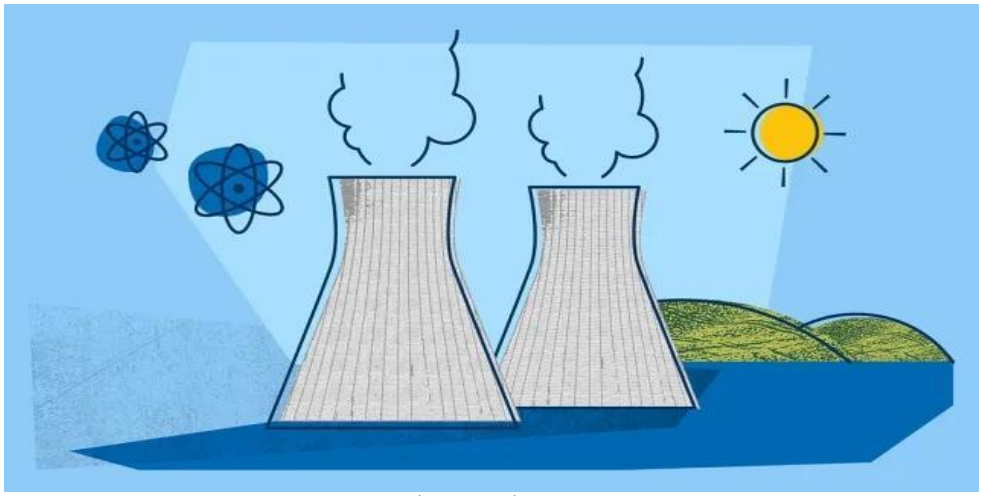
(2-1) مفهوم الطاقة النووية

تُعرَّف الطاقة النووية بأنها الطاقة الناتجة من نواة الذرّة، والتي تتكوّن من البروتونات والنيوترونات المرتبطة بقوى نووية هائلة كما موضح في الشكل (1-1)، وتتحرر هذه الطاقة نتيجة تغيّرات تحدث داخل النواة عبر عمليتي الانشطار أو الاندماج النووي.[4]

ويُعد الانشطار النووي العملية الأساسية المستخدمة في محطات الطاقة النووية، حيث تعتمد على وقود اليورانيوم-235 نظرًا لقابليته العالية للانشطار وإطلاق كميات كبيرة من الطاقة الحرارية.[5]

كما يُستخدم الاندماج النووي في الأبحاث المتقدمة بوصفه مصدرًا واعدًا للطاقة في المستقبل، إذ تعتمد هذه العملية على دمج نوى ذرّات خفيفة لإنتاج طاقة هائلة مشابهة لما يحدث في الشمس.[6]

وبذلك تمثل الطاقة النووية مصدرًا عالي الكفاءة لإنتاج الكهرباء، إلى جانب استخدامها في المجالات الطبية والصناعية والبحثية ضمن ضوابط تهدف إلى تحقيق الاستفادة السلمية وتقليل المخاطر.[7]



الشكل(1-1)، الطاقة النووية.[4]

(3-1) نشأة واكتشاف الطاقة النووية

بدأت رحلة فهم الإنسان للطاقة النووية في أوائل القرن العشرين، حين بدأ العلماء دراسة بنية الذرة ونواة المادة، وهو ما شكّل حجر الأساس لكل التطورات اللاحقة في هذا المجال.[8]

في عام 1911، قام الفيزيائي إرنست رذرفورد بتجارب تشتت جسيمات ألفا على رقائق الذهب، والتي أظهرت أن معظم كتلة الذرة مركّزة في نواة صغيرة كثيفة تحمل شحنة موجبة، بينما تتحرك الإلكترونات حولها في مساحة فارغة.[4]

هذا الاكتشاف مثل ثورة علمية في فهم التركيب الذري وأتاح للعلماء تصور الطاقة الكامنة داخل النواة الذرية، في عام 1934، اقترح الفيزيائي الإيطالي إنريكو فيرمي فكرة أن نواة الذرة يمكن تقسيمها إلى أجزاء أصغر، وهو ما يعرف اليوم بظاهرة الانشطار النووي. وقد مهدت هذه الفكرة للعديد من التجارب العملية، حتى تمكن أوتو هان وفريتز شتراسمان في ألمانيا عام 1938 من إثبات الانشطار النووي تجريبيًا عند قصف ذرات اليورانيوم بالنيوترونات، حيث انقسمت النواة إلى نواتين أصغر مع إطلاق كمية هائلة من الطاقة.[9]

هذا الاكتشاف لم يكن مجرد تقدم علمي، بل شكّل الأساس لفهم قدرة الطاقة النووية على توليد الكهرباء وكذلك استخدامها كأسلحة مدمرة، مع اندلاع الحرب العالمية الثانية، دخلت الطاقة النووية مرحلة حاسمة على الصعيد العسكري، حيث تم إنشاء مشروع مانهاتن في الولايات المتحدة لتطوير سلاح نووي، وهو مشروع بحثي سرّي ضم مجموعة كبيرة من العلماء والمهندسين لتصميم أول قنبلة ذرية .[10]

وتم اختبار أول تفجير نووي في يوليو 1945 في نيو مكسيكو، ثم استخدام القنابل على هيروشيما وناغازاكي في اليابان، وهو ما أبرز الوجه التدميري للطاقة النووية وأدى إلى إدراك العالم لأهمية ضبط انتشار هذه التكنولوجيا، بعد انتهاء الحرب، تحول الاهتمام تدريجيًا إلى الاستخدامات السلمية للطاقة النووية. ففي عام 1954، افتتحت روسيا أول محطة نووية لتوليد الكهرباء في مدينة أوبنينسك، والتي استخدمت الانشطار النووي لتسخين الماء وإنتاج البخار لتشغيل التوربينات.[2]

تبعتها الولايات المتحدة بإنشاء أول محطة تجارية في Shippingport، بنسلفانيا عام 1957، والتي أصبحت نموذجًا لتوليد الطاقة النووية المدنيّة، خلال العقود التالية، توسع بناء محطات الطاقة النووية

في أوروبا وآسيا، مع اعتماد العديد من الدول على الطاقة النووية كجزء من مزيج الطاقة الوطني لضمان تلبية الطلب المتزايد على الكهرباء بطريقة نظيفة ومستدامة.[7]

إلى جانب توليد الكهرباء، ظهرت تطبيقات جديدة للطاقة النووية في مجالات الطب والصناعة والبحث العلمي، مثل استخدام النظائر المشعة في التشخيص والعلاج الطبي، وتحسين المحاصيل الزراعية عبر التشعيع، وتطوير تقنيات صناعية متقدمة.[3]

ومع هذا التوسع، تأسست الوكالة الدولية للطاقة الذرية عام 1957 لضمان الاستخدام السلمي للطاقة النووية ومنع تحويلها لأغراض عسكرية، ما أسهم في وضع أطر تنظيمية دولية صارمة تحكم عمل المحطات النووية وتطبيقاتها المختلفة، وفي هذا السياق تؤدي الوكالة الدولية للطاقة الذرية، التي تأسست عام 1957 ويقع مقرها في فيينا – النمسا، دورًا مهمًا في تعزيز الاستخدام السلمي للطاقة النووية وتطوير معايير الأمان البيئي، وتُستخدم التقنيات النووية في رصد التلوث البيئي، وتحليل الموارد المائية، ودراسة التغير المناخي، وتحلية المياه. [1]

خلال العقود الأخيرة، استمرت البحوث والتطوير في مجال الطاقة النووية مع ظهور المفاعلات المعيارية الصغيرة (Small Modular Reactors) (SMRs) ومفاعلات الاندماج النووي، والتي تهدف إلى تحقيق مزيد من الأمان والكفاءة، وتوفير حلول للطاقة في المناطق النائية، بالإضافة إلى التوجه نحو دمج الطاقة النووية مع مصادر الطاقة المتجددة لتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري، ومع استمرار التقدم العلمي، يظل فهم النواة الذرية وتطبيقاتها السلمية محورًا رئيسيًا للبحث والتطوير في مجال الطاقة النووية.[7]

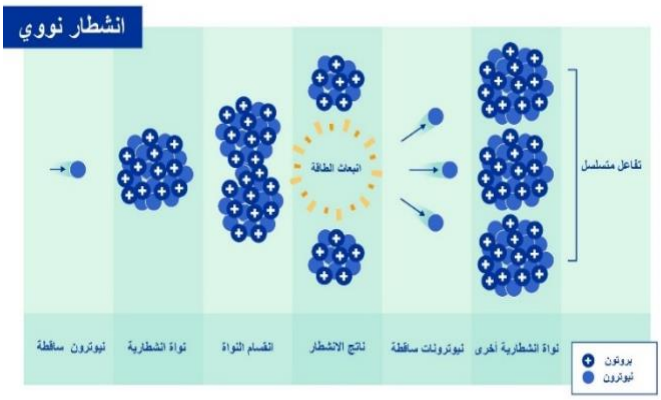
(1-4) انواع التفاعلات النووية

تقسم التفاعلات النووية إلى ثلاثة أقسام أساسية:

(1-4-1) الانشطار النووي:

في تفاعلات الانشطار النووي، تنقسم النواة الثقيلة إلى نواتين أو أكثر أصغر حجمً كما في الشكل (1-2) ا، وتكون هذه التفاعلات طاردة للطاقة، خاصة عند إجراء الانشطار على الأنوية الثقيلة مثل اليورانيوم-235

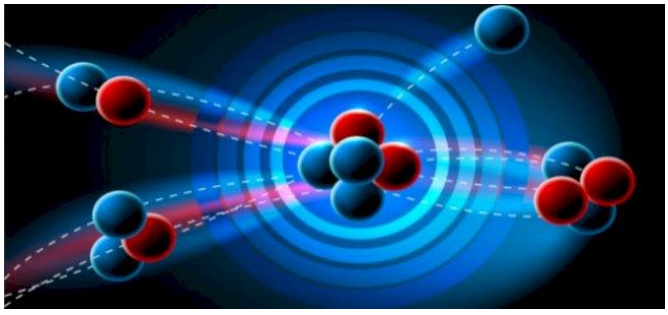
، من الأمثلة على ذلك: انشطار اليورانيوم-235 لإنتاج نظير الباريوم-137 ونظير الكريبتون-97، ويستخدم هذا النوع من التفاعلات بكثرة في توليد الطاقة الكهربائية.[5]



الشكل (1-2)، الانشطار النووي.[5]

(1-4-2) الاضمحلال النووي:

الاضمحلال النووي هو الأساس للنشاط الإشعاعي في تطبيقات الكيمياء النووية خارج مجال توليد الطاقة. خلال هذا التفاعل، يتحول نظير عنصر غير مستقر إلى عنصر جديد عن طريق انبعاث الإشعاعات، دون انقسام نواة العنصر إلى نواتين كما في الشكل (1-3).[6]



الشكل (1-3)، الاضمحلال النووي. [6]

(1-4-3) الاندماج النووي:

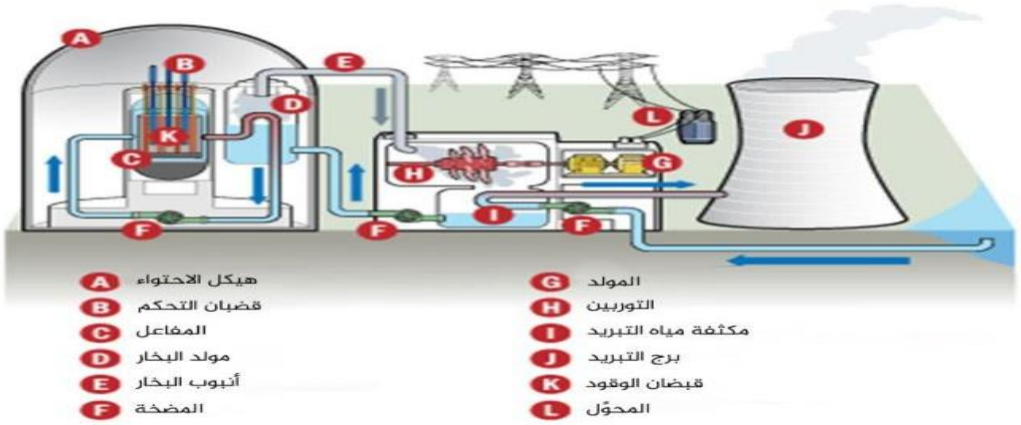
في تفاعلات الاندماج، تندمج نواتان أو أكثر من الذرات الخفيفة لتكوين نواة أثقل، مصحوبة بإطلاق كميات ضخمة من الطاقة. كما في الشكل (1-4)، مثال ذلك اندماج أربعة أنوية هيدروجين على مراحل لتكوين ذرة هيليوم، وهو التفاعل الأساسي الذي يحدث في الشمس لتوليد الطاقة.[6]

الشكل (1-4)، الاندماج النووي. [6]

(1-5) آلية عمل الطاقة النووية

تعتمد محطات الطاقة النووية على توليد الكهرباء عن طريق الحرارة الناتجة من الانشطار النووي لتسخين المياه وتحويلها إلى بخار، يُستخدم هذا البخار عالي الضغط لتدوير التوربينات المرتبطة بالمولدات الكهربائية، مما يحول الطاقة الحرارية أولاً إلى طاقة ميكانيكية، ثم إلى كهرباء.[5]

كما في الشكل (1-5)، مصدر الحرارة يكون ناتجًا عن انشطار نوى ذرات الوقود النووي، وغالبًا ما يكون اليورانيوم-235، الذي يُطلق طاقة كبيرة عند انشطار نواته، تعمل المفاعلات على تحويل هذه الطاقة الحرارية إلى بخار في نظام مغلق، يحافظ على الماء في حالته السائلة تحت ضغط مرتفع في مفاعلات الماء المضغوط، ثم ينقل إلى مولد البخار لتوليد بخار إضافي يدير التوربين، بعد دوران التوربين، يُبرّد البخار في المكثف ويعاد ضخه إلى مولد البخار، مما يضمن استمرارية الدورة الإنتاجية للطاقة الكهربائية. ويُعد اليورانيوم وقودًا مثاليًا للمفاعلات النووية بفضل خواصه المشعة وقدرته على إنتاج كميات كبيرة من الطاقة عند انشطار نواته .[7]



الشكل(1-5)، المحطات الكهربائية النووية.[5]

(1-6) ايجابيات وسلبيات الطاقة النووية

(1-6-1) إيجابيات الطاقة النووية:

1. **انعدام الانبعاثات الكربونية:** الطاقة النووية لا تنتج غازات دفيئة مثل ثاني أكسيد الكربون، مما يجعلها من أنظف مصادر الطاقة المتاحة.[11]

2. **استمرارية الإنتاج:** المفاعلات النووية تعمل على مدار الساعة دون توقف، ولا تتأثر بالظروف الجوية مثل الطاقة الشمسية أو الرياح.[11]

3. **كفاءة عالية للطاقة:** كمية الطاقة الناتجة عن انشطار نواة اليورانيوم تفوق بكثير الطاقة الناتجة من الوقود الأحفوري، مما يوفر إنتاجية أكبر بنفس الكمية من الوقود.[12]

4. د**عم الاقتصاد والتوظيف:** قطاع الطاقة النووية يخلق فرص عمل ويعزز الناتج المحلي الإجمالي، ويسهم في تنمية الصناعات المرتبطة به.[13]

(1-6-2) سلبيات الطاقة النووية:

1. **المخاطر البيئية:** تشمل تأثيرات التصريف الحراري للمياه، وتعدين اليورانيوم، وإمكانية حدوث تسرب إشعاعي يؤثر على البيئة البحرية والبرية.[12]

2. **المخاطر الصحية:** التعرض الطويل للإشعاع النووي قد يؤدي إلى أمراض مثل السرطان وتأثيرات على الحمض النووي.[12]

3. **التكاليف المرتفعة:** إنشاء وتشغيل المفاعلات النووية يتطلب استثمارات ضخمة، بما في ذلك هندسة المفاعل، الوقود، والصيانة، إضافةً إلى متطلبات الأمان العالية.[13]

4. **اعتماد على موارد محدودة:** الوقود النووي مثل اليورانيوم محدود وغير متجدد، ما يضع قيودًا على الاستدامة طويلة الأمد.[13]

(1-7) الشروط اللازمة لإنشاء محطة نووية

قبل تحديد الشروط التفصيلية لإنشاء محطة نووية، من المهم فهم أن اختيار الموقع لا يتم بشكل عشوائي، بل يخضع لدراسات جيولوجية وبيئية مكثفة لضمان أقصى قدر من الأمان للإنسان والبيئة أثناء التشغيل. تركز هذه الدراسات على ملاءمة الموقع للشروط الفنية والأمنية التي وضعتها الوكالة الدولية للطاقة الذرية، وتضمن توفير جميع المقومات الأساسية لإنشاء وتشغيل المحطة بأمان وكفاءة.

1. البعد عن المخاطر الطبيعية

يجب أن يقع الموقع بعيداً عن احتمال وجود زلازل أو براكين أو أعاصير.[1]

2. البعد عن مجاري السيول والفيضانات المفاجئة

ينبغي أن يكون الموقع بعيداً عن مجاري السيول والفيضانات المفاجئة، لتجنب أي تهديد للبنية التحتية للمحطة أو سلامة تشغيلها.[1]

3. البعد عن المطارات

يجب أن يكون الموقع بعيداً عن المطارات، بما يقلل من مخاطر الحوادث الجوية المحتملة على المحطة النووية.[2]

4. العزلة عن المناطق السكنية

ينبغي اختيار موقع في منطقة معزولة بعيداً عن التجمعات السكنية، لضمان حماية السكان من أي تأثيرات محتملة نتيجة التشغيل أو الحوادث النووية.[2]

5. ملاءمة التكوينات الصخرية والتراكيب الجيولوجية

يجب أن تكون التكوينات الصخرية والتراكيب الجيولوجية للموقع ملائمة لبناء المحطة النووية، بما يضمن ثبات المنشآت واستقرارها أثناء التشغيل.[9]

6. معرفة موقع واتجاه حركة المياه الجوفية

من الضروري معرفة موقع المياه الجوفية واتجاه حركتها لتجنب احتمال تلوث هذه المياه بالمواد المشعة أثناء التشغيل.[10]

الفصل الثاني

التطبيقات السلمية للطاقة النووية

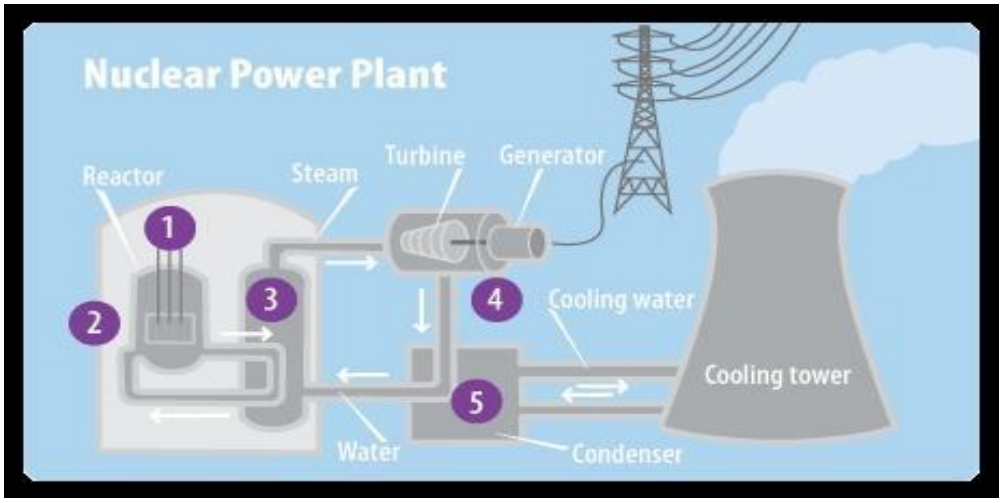
(1-2) مجالات الاستخدامات السلمية للطاقة النووية

تُعد الطاقة النووية من المصادر المهمة للطاقة، وتستخدم في مجالات متعددة بشكل سلمي لخدمة الإنسان وتحقيق التنمية المستدامة، وذلك وفق ما نصت عليه معاهدة عدم انتشار الأسلحة النووية، حيث يشمل الاستخدام السلمي للطاقة النووية جميع الأنشطة غير العسكرية التي تستفيد من تقنيات الطاقة النووية .

ومن اهم مجالات استخدامها هي: -

1-2-1 استخدام الطاقة النووية في توليد الكهرباء

يُعدّ توليد الكهرباء باستخدام الطاقة النووية من أكثر التطبيقات السلمية نضجًا وانتشارًا، إذ تعتمد محطات الطاقة النووية على عملية الانشطار النووي لنوى العناصر الثقيلة، مثل اليورانيوم، لإنتاج طاقة حرارية عالية تُستخدم في توليد البخار وتحريك التوربينات الكهربائية. كما في الشكل (2-1)، وقد أسهم هذا النوع من الطاقة في تعزيز أمن الطاقة لدى العديد من الدول، ولا سيما تلك التي تفتقر إلى الموارد الأحفورية التقليدية.[14][17]



الشكل(2-1)، كيفية توليد الكهرباء من الطاقة النووية. [12]

وتشير الإحصاءات العالمية إلى أن الطاقة النووية تسهم بنحو 10% من إجمالي إنتاج الكهرباء عالميًا، من خلال أكثر من 440 مفاعلًا نوويًا قيد التشغيل، إضافة إلى عشرات المفاعلات الأخرى قيد الإنشاء، كما في الجدول (2-1)، مما يعكس الأهمية المتزايدة لهذا المصدر في مزيج الطاقة العالمي. [17]

جدول (2-1)، مساهمة الطاقة النووية في إنتاج الكهرباء عالميًا. [1]

نسبة المساهمة في انتاج الكهرباء	عدد المفاعلات النووية	المنطقة الجغرافية
%25	170 مفاعلاً	أوربا
%12	140مفاعلاً	أسيا
%19	120 مفاعلاً	امريكا الشمالية
%5	10 مفاعلات	بقية دول العالم
نحو 10%	**440 مفاعلاً**	**المجموع العالمي**

يمتاز توليد الكهرباء بالطاقة النووية بعدة مزايا، من أبرزها القدرة على إنتاج كميات كبيرة من الكهرباء بصورة مستمرة ومنتظمة، دون التأثر بالعوامل المناخية كما هو الحال في بعض مصادر الطاقة المتجددة. كما يتميز هذا الاستخدام بانخفاض انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري، الأمر الذي يسهم في الحد من التغير المناخي وحماية البيئة.[18]

إضافة إلى ذلك، تتمتع الطاقة النووية بكفاءة عالية في استهلاك الوقود، حيث يمكن لكميات صغيرة من الوقود النووي أن تنتج طاقة تعادل أضعاف ما تنتجه كميات كبيرة من الوقود الأحفوري، مما يعزز من استدامة هذا المصدر على المدى الطويل. [14]

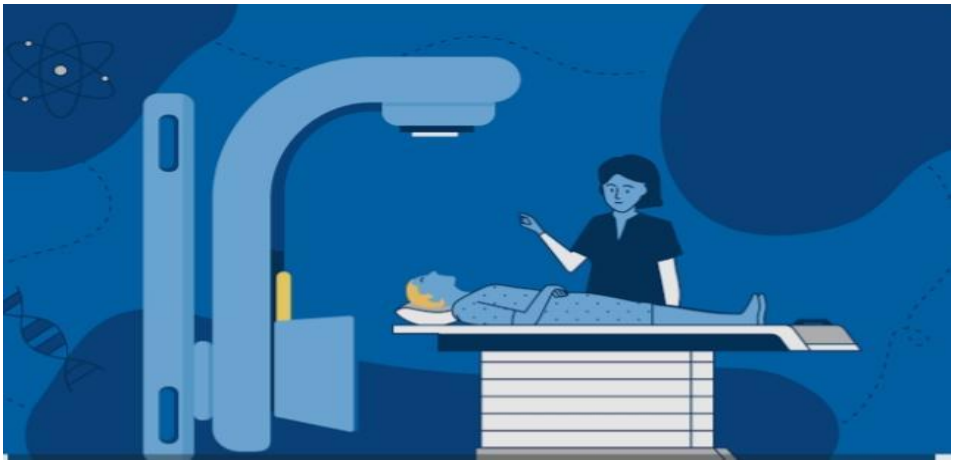
على الرغم من مزاياها، تواجه الطاقة النووية تحديات عدة، أبرزها ارتفاع تكاليف إنشاء المحطات النووية وصيانتها، فضلاً عن تعقيد الإجراءات الفنية والتقنية اللازمة لتشغيلها بأمان. كما تمثل النفايات المشعة الناتجة عن تشغيل المفاعلات تحديًا بيئيًا طويل الأمد، يتطلب حلولًا علمية دقيقة لإدارتها والتخلص منها.[18]

كما لا يمكن إغفال المخاطر المحتملة في حال وقوع حوادث نووية، الأمر الذي يستدعي التزامًا صارمًا بإجراءات السلامة والأمان النووي. [16]

يمكن تقييم استخدام الطاقة النووية في توليد الكهرباء بوصفه خيارًا استراتيجيًا فعالًا لمواجهة الطلب المتزايد على الطاقة، شريطة الالتزام بالتقنيات الحديثة ومعايير الأمان النووي، وتطوير سياسات واضحة لإدارة النفايات المشعة.[14]

1-2-2 الاستخدامات الطبية للطاقة النووية

تلعب الطاقة النووية دورًا محوريًا في المجال الطبي، ولا سيما في تخصص الطب النووي، حيث تُستخدم النظائر المشعة في تشخيص الأمراض وعلاجها. وتشمل هذه التطبيقات تقنيات التصوير الطبي، كما في الشكل (2-2)، مثل التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني، والعلاج الإشعاعي للأورام السرطانية.[15]



الشكل (2-2)، مخطط توضيحي لعملية التصوير الطبي أو العلاج بالأشعة.[18]

تسهم التطبيقات الطبية للطاقة النووية في الكشف المبكر عن العديد من الأمراض الخطيرة، مما يزيد من فرص العلاج والشفاء. كما تمتاز هذه التقنيات بدقتها العالية، وقدرتها على استهداف الأنسجة المصابة دون الإضرار الكبير بالأنسجة السليمة. [15]

إضافة إلى ذلك، أسهم الطب النووي في تقليل الحاجة إلى التدخلات الجراحية، وتحسين جودة الرعاية الصحية المقدمة للمرضى كما في جدول (2-2). [14]

جدول (2-2)، أهم التطبيقات الطبية للطاقة النووية.[18]

الفائدة	الغرض الطبي	نوع التطبيق	المجال الطبي
الكشف المبكر	تشخيص الأورام	التصوير المقطعي(PET)	الطب النووي التشخيصي
دقة عالية	فحص الاعضاء		الطب النووي التشخيصي
تقليل التدخل الجراحي	علاج السرطان	الاشعة المؤنية	العلاج الإشعاعي
حماية الانسجة السليمة	تدمير الخلايا السرطانية	النظائر المشعة	العلاج الاشعاعي

تتمثل أبرز السلبيات في مخاطر التعرض للإشعاع في حال سوء الاستخدام أو عدم الالتزام بالإجراءات الوقائية. كما تتطلب هذه التطبيقات كوادر طبية مؤهلة وتجهيزات تقنية متقدمة ذات كلفة مالية مرتفعة.[16]

يُعدّ الاستخدام الطبي للطاقة النووية من أنجح التطبيقات السلمية وأكثرها إنسانية، إذ تفوق فوائده مخاطره عند تطبيقه وفق المعايير الطبية والإشعاعية الدولية. [14]

1-2-3 الاستخدامات الزراعية للطاقة النووية

تُستخدم التقنيات النووية في الزراعة لتحسين الإنتاج الزراعي من خلال تطوير أصناف محسّنة من المحاصيل، ومكافحة الآفات باستخدام تقنية الحشرات العقيمة، كما في الشكل(2-3) إضافة إلى دراسة خصوبة التربة وإدارة الموارد المائية. [15]

الشكل(2-3)، استخدام الإشعاع في تحسين المحاصيل ومكافحة الآفات.[13]

يسهم هذا الاستخدام في زيادة الإنتاجية الزراعية وتحسين جودة المحاصيل، وتقليل الاعتماد على المبيدات الكيميائية، مما ينعكس إيجابًا على صحة الإنسان والبيئة كما في جدول (2-3) . [15]

جدول (2-3)، مقارنة بين الزراعة التقليدية والزراعة بالتقنيات النووية. [17]

الزراعة بالتقنيات النووية	الزراعة التقليدية	عنصر المقارنة
مرتفعة	متوسطة	الإنتاجية
عالية	ضعيفة	مقاومة الآفات
منخفض	مرتفع	استخدام المبيدات
محسنة	عادية	جودة المحاصيل
أقل ضرراً	سلبي نسبياً	الأثر البيئي

من أبرز السلبيات الحاجة إلى بنى تحتية علمية وتقنية متقدمة، فضلاً عن ضعف الوعي المجتمعي بطبيعة هذه التقنيات وأهميتها. [16]

يُقيَّم الاستخدام الزراعي للطاقة النووية بوصفه أداة فعالة لتحقيق الأمن الغذائي والتنمية الزراعية المستدامة، ولا سيما في الدول النامية. [14]

1-2-4 الاستخدامات الصناعية للطاقة النووية

تُستخدم الطاقة النووية في القطاع الصناعي في مجالات متعددة، مثل الفحص غير الإتلافي للمواد، كما في الشكل (2-4)، وقياس السماكات والكثافات، والكشف عن العيوب في المنشآت الصناعية. [14]

الشكل(2-4)، الفحص غير الإتلافي باستخدام الأشعة في الصناعة. [1]

تتميز هذه التطبيقات بالدقة العالية وتقليل الخسائر الصناعية، وتحسين جودة المنتجات، دون إلحاق الضرر بالمواد المفحوصة كما في جدول (2-4) .[14].

جدول (2-4)، أهم الاستخدامات الصناعية للطاقة النووية. [14]

الفائدة	نوع الاستخدام	المجال الصناعي
كشف العيوب دون تلف	الفحص غير الإتلافي	البناءات الثقيلة
رفع الجودة	قياس سماكة الخرسانة	البناء
تقليل المخاطر	كشف التسربات	النفط والغاز
تحسين دقة الانتاج	قياس الكثافة	التصنيع

تتمثل السلبيات في المخاطر الإشعاعية المحتملة، والحاجة إلى تدريب متخصص للعاملين، إضافة إلى الالتزام الصارم بإجراءات السلامة. [16]

يُعدّ الاستخدام الصناعي للطاقة النووية عنصرًا داعمًا للتطور الصناعي والتكنولوجي عند تطبيقه ضمن ضوابط السلامة المعتمدة.[14]

5-2-1 استخدامات الطاقة النووية في حماية البيئة

تسهم المنظمات الدولية في دعم الجهود الرامية إلى الحد من التلوث البيئي الناتج عن الاستخدامات النووية. وفي هذا السياق تؤدي الوكالة الدولية للطاقة الذرية، التي تأسست عام 1957 ويقع مقرها في فيينا – النمسا، دورًا مهمًا في تعزيز الاستخدام السلمي للطاقة النووية وتطوير معايير الأمان البيئي، وتُستخدم التقنيات النووية في رصد التلوث البيئي، وتحليل الموارد المائية، كما في الشكل (2-5)، ودراسة التغير المناخي، وتحلية المياه. [14]

شكل (2-5)، دور التقنيات النووية في رصد التلوث وتحلية المياه.[2]

توفر هذه التطبيقات بيانات دقيقة تساعد في حماية البيئة، وتحسين إدارة الموارد الطبيعية، ودعم سياسات التنمية المستدامة كما في الجدول (2-5). [14]

جدول (2-5)، التقنيات النووية المستخدمة في حماية البيئة. [19]

الهدف	مجال الاستخدام	التقنية النووية
تتبع مصادر التلوث	رصد التلوث البيئي	النظائر المشعة
حماية الموارد المائية	دراسة المياه الجوفية	التحليل الاشعاعي
توفير مياه صالحه	تحلية المياه	التقنيات النووية
دعم الاستدامة	التغير المناخي	القياسات النووية

تتمثل السلبيات في ارتفاع كلفة التقنيات النووية البيئية، والحاجة إلى خبرات علمية متخصصة.[16]

يُعدّ هذا الاستخدام أداة علمية متقدمة لدعم حماية البيئة ومواجهة التحديات البيئية المعاصرة. [14]

(2-2) التقييم العام للاستخدام السلمي للطاقة النووية

يتضح مما سبق أن الاستخدامات السلمية للطاقة النووية تمثل أحد الأعمدة الرئيسة في دعم مسارات التنمية الاقتصادية والاجتماعية للدول، لما تمتلكه هذه الطاقة من قدرة عالية على تلبية الاحتياجات المتزايدة في مجالات إنتاج الكهرباء، وتطوير القطاع الصحي، وتعزيز الأمن الغذائي، ودعم التقدم الصناعي، وحماية البيئة. وقد أثبتت التجارب الدولية أن توظيف الطاقة النووية بصورة سلمية يسهم في تحقيق استقرار منظومات الطاقة، وتحسين مستوى الخدمات الصحية والزراعية، ورفع كفاءة الإنتاج الصناعي، مما ينعكس إيجابًا على النمو الاقتصادي والتنمية البشرية.[14]

وعلى الصعيد الاقتصادي، تُعد الطاقة النووية خيارًا استراتيجيًا طويل الأمد، إذ توفر مصدرًا مستقرًا للطاقة يمكن الاعتماد عليه في تقليل تقلبات أسواق الوقود الأحفوري، وتعزيز أمن الطاقة الوطني. كما أن كفاءة الوقود النووي العالية تسهم في تقليل تكاليف التشغيل على المدى البعيد، رغم ارتفاع كلفة الإنشاء الأولية لمحطات الطاقة النووية. [18]

أما من الناحية التقنية والعلمية، فقد أسهم التطور المستمر في تكنولوجيا المفاعلات النووية، ولا سيما مفاعلات الجيل الثالث المتقدم، في رفع مستويات الأمان وتقليل احتمالات الحوادث النووية، إلى جانب تحسين آليات إدارة النفايات المشعة. وقد انعكس هذا التطور إيجابًا على توسيع نطاق القبول العالمي للطاقة النووية بوصفها مصدرًا آمنًا وفعّالًا ضمن مزيج الطاقة العالمي.[14]

وفيما يتعلق بالبعد البيئي، تبرز الطاقة النووية كأحد الحلول الفعالة للحد من انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري، مقارنة بمصادر الطاقة التقليدية المعتمدة على الوقود الأحفوري. كما تسهم التطبيقات النووية في مراقبة التلوث البيئي وإدارة الموارد المائية، الأمر الذي يعزز من تحقيق أهداف التنمية المستدامة وحماية البيئة للأجيال القادمة. [17]

وعلى الرغم من هذه المزايا، لا تخلو الاستخدامات السلمية للطاقة النووية من تحديات تتعلق بمخاطر الإشعاع، وإدارة النفايات النووية، واحتمالات إساءة استخدام التكنولوجيا النووية. غير أن هذه التحديات يمكن الحدّ منها من خلال الالتزام الصارم بالأطر القانونية الدولية، وفي مقدمتها معاهدة عدم انتشار الأسلحة النووية، وتعزيز دور المؤسسات الدولية المختصة، ولا سيما الوكالة الدولية للطاقة الذرية، في الرقابة والإشراف وتقديم الدعم الفني للدول الأعضاء . [19]

وبناءً على ما تقدم، يمكن القول إن الاستخدام السلمي للطاقة النووية يشكل أداة فاعلة لتحقيق التنمية المستدامة وأمن الطاقة، شريطة توافر الإرادة السياسية، والبنية التحتية العلمية، والالتزام بمعايير

السلامة والشفافية الدولية، بما يضمن تعظيم الفوائد وتقليل المخاطر، وتحقيق التوازن بين متطلبات التنمية وأمن المجتمع الدولي.[19]

المصادر

1. الوكالة الدولية للطاقة الذرية. (2022). مقدمة في الطاقة النووية. فيينا: الوكالة الدولية للطاقة الذرية. متاح على: https://www.iaea.org

2. الجمعية العالمية للطاقة النووية. (2025). تاريخ الطاقة النووية. لندن: الجمعية العالمية للطاقة النووية. متاح على: https://www.world-nuclear.org

3. رذرفورد، إرنست. (1911). تشتت جسيمات ألفا وبيتا. مجلة الفلسفة، 21، 669–688.

4. هان، أوتو، وشتراسمان، فريتز. (1939). اكتشاف الانشطار النووي. مجلة العلوم الطبيعية، 27، 11–15.

5. وزارة الطاقة الأمريكية. (2015). مشروع مانهاتن. واشنطن: وزارة الطاقة الأمريكية. متاح على: https://www.energy.gov

6. إدارة معلومات الطاقة الأمريكية. (2021). توضيح الطاقة النووية. واشنطن: إدارة معلومات الطاقة. متاح على: https://www.eia.gov

7. الموسوعة البريطانية. (2023). الطاقة النووية. الموسوعة البريطانية. متاح على: https://www.britannica.com

8. نول، جي. ف. (2010). كشف الإشعاع والقياس (الطبعة الرابعة). هوبوكين، نيوجيرسي: وايلي.

9. الوكالة الدولية للطاقة الذرية. (2021). مراجعة التكنولوجيا النووية 2021. فيينا: الوكالة الدولية للطاقة الذرية.

10. الوكالة الدولية للطاقة الذرية. (2019). فوائد التكنولوجيا النووية. فيينا: الوكالة الدولية للطاقة الذرية.

11. شركة EDF للطاقة. (2021). ما هي مزايا الطاقة النووية؟ متاح على: https://www.edfenergy.com

12. معهد الطاقة النووية ((2021) .NEI. الطاقة النووية توفر طاقة خالية من الكربون على مدار الساعة. متاح على: https://www.nei.org

13. موقع (2021) .EnergySage. مزايا وعيوب الطاقة النووية. متاح على: https://www.energysage.com

14. البرغوثي، محمد عبد الرحمن. (2018). الطاقة النووية: الأسس العلمية والتطبيقات السلمية. عمّان: دار المسيرة للنشر والتوزيع.

15. عبد الله، حسن محمود. (2019). الطاقة النووية بين الاستخدام السلمي والمخاطر الاستراتيجية. القاهرة: دار الفكر العربي.

16. منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة. (2019). التقنيات النووية في الغذاء والزراعة. روما: FAO.

17. منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة، & الوكالة الدولية للطاقة الذرية. (2018). الذرّات من أجل الغذاء والزراعة. روما: FAO.

18. International Atomic Energy Agency. (2019). Nuclear medicine resources manual. Vienna: IAEA.

19. International Atomic Energy Agency. (2022). Peaceful uses of nuclear energy. Vienna: IAEA.