INTERNATIONAL JOURNAL OF
MULTIDISCIPLINARY STUDIES ON MANAGEMENT,
BUSINESS, AND ECONOMY

ISSN: 2735-5446 VOLUME 2, ISSUE 1, 2019, 24 – *51.* www.egyptfuture.org/ojs/

The Economic and Environmental Importance of Using Nuclear Energy to Generate Electricity

Abeer Mohamed Abdel Razek Youssef 1, Dr.Reda EL Adel 2, Dr. Hebatallah Adam 3 ,*

1 Ain Shams University Doctoral Fellow - Faculty of Business Ain Shams University

2 Professor of Economics - University Faculty of Business Ain Shams University

3Assistant Professor- University Faculty of Business Ain Shams University

Abstract

Nuclear power plants are considered the most economical in generating electricity compared to central power plants operating on fossil fuels. The social return from it is great and is directly reflected in the life of the citizen; This is in addition to the fact that there will be long-term production of electrical energy; The minimum usage of the station is up to sixty years, and it can extend for a longer period. Which will be reflected in providing job opportunities, in addition to the future investments that will be pumped into the region because of the presence of that station, as it is linked to the idea of transferring science and technology, which contributes to the development of the community's infrastructure.

Energy security is one of the main criteria to ensure economic stability, as it is an integral part of national security, as electricity is an essential input for the well-being of society and economic development; Hence, nuclear energy is one of the possible measures to meet the world's needs for electricity, as it is a promising alternative to traditional energy sources. This is due to the exposure of the cost of electricity production to sharp fluctuations because of fluctuations in the prices of its fossil fuels.

Keywords：
The cost of electricity to fluctuate fuel prices, the costs of energy sources, the costs of electricity produced from energy sources.

In this paper, the following points will be addressed:

Part one: The economic and environmental dimension of nuclear electricity generation.

Part Two: The Role of Nuclear Energy in Sustaining the Electricity Sector.

The economic and environmental dimension of generating electricity from nuclear energy

Introduction

Nuclear energy meets all the requirements of the energy future; It is a source of stable and clean energy at an economically attractive price, which together constitute the basis of the global energy balance in the future; One nuclear plant can produce enough electricity to light half a country; It allows strategic energy independence and reduces fluctuations in the cost of electricity production; Nuclear energy will also provide many benefits to the country. Such as creating millions of jobs that generate billions for citizens annually and maintaining an advanced technological level for the entire national economy, and it can be one of the most important factors for the prosperity of developing countries.

INTERNATIONAL JOURNAL OF
MULTIDISCIPLINARY STUDIES ON MANAGEMENT,
BUSINESS, AND ECONOMY
ISSN: 2735-5446 VOLUME 2, ISSUE 1, 2019, 24 – 51. www.egyptfuture.org/ojs/

To clarify this, we point out that it is economical in terms of cost compared to the amount of energy it produces; One kilogram of uranium produces two million times more energy than a kilogram of coal, and until the vision becomes clear, the importance of this energy is to create great opportunities for local, industrial and economic development, thus supporting the wheel of progress and scientific research, and accordingly the nuclear sector depends largely on government support that appears Through the formulation of a public policy supportive of nuclear projects in countries seeking progress.

In this research, the following points will be addressed:

The first axis: the economic and environmental determinants of electricity generation from nuclear energy

The second axis: assessment of the main systems of energy sources and their impact on the environment

The first axis: the economic and environmental determinants of electricity generation from nuclear energy

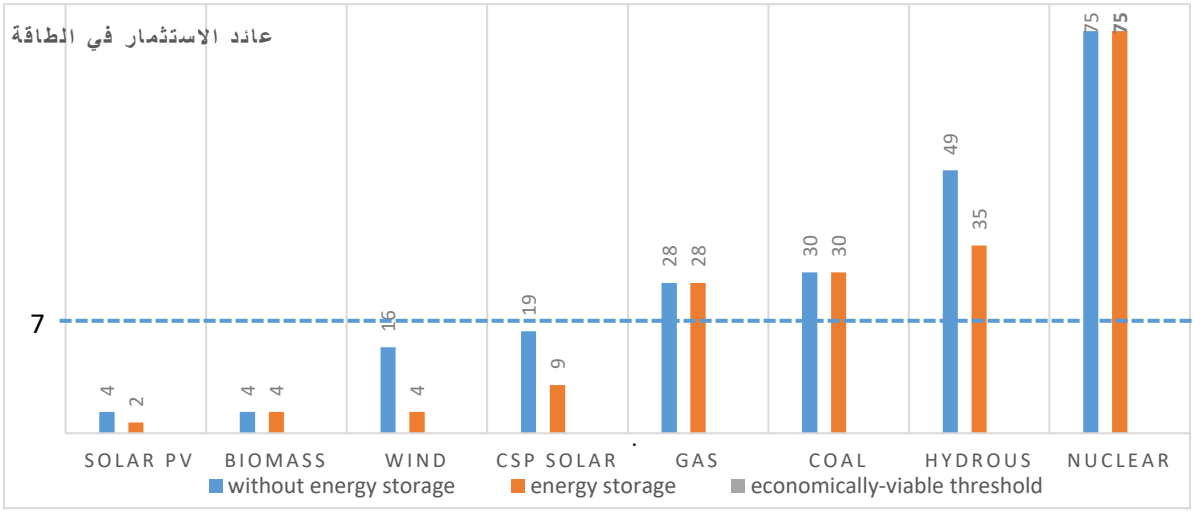
First: Return on Investment for Energy Resources (EROI):

Return on investment is a performance measure used to assess the efficiency of an investment or to compare the efficiency of a number of different investments; Where the return on investment directly measures the amount of return on a particular investment compared to the cost of the investment; To calculate the return on investment, the interest (or return) of the investment is divided by the cost of the investment, and when the number is small, it is difficult to obtain energy from this source and it is expensive.

We deduce from that when the number is one; There is no return on the energy invested, and the investment has been completely wasted; The compensating figure for the prosperity of our modern society is about 7; As a result of technological progress that made the EROI higher than 1. Several consuming energy sources were evaluated where the EROI was selected for efficiency and cost analysis, and this includes types of different energy sources such as oil, biofuels, geothermal energy, nuclear fuel, coal, solar energy, wind energy and hydropower.

We point out that the energy sources must exceed the economic value of about 7 (the blue line) to obtain the surplus energy needed to support the modern society, and the minimum required for the energy source from the EROI is greater than 1 to be able to support the energy society.

Figure 1 Return on investment from different energy sources



INTERNATIONAL JOURNAL OF
MULTIDISCIPLINARY STUDIES ON MANAGEMENT,
BUSINESS, AND ECONOMY
ISSN: 2735-5446 VOLUME 2, ISSUE 1, 2019, 24 – *51.* www.egyptfuture.org/ojs/

It is clear from the figure that the yield for each energy source is 75 for nuclear, which is the highest, compared to hydro 35, coal 30, closed-cycle gas turbines 28, solar thermal 9, wind 4, biomass 4, and solar photovoltaic 2, which is why Serious environmental advocates, and the UN team, are urging the world to adopt a mix of nuclear, hydro and renewable energy as the best mix that can replace fossil fuels. This combination will cut carbon emissions in half from the current mix and is achievable with existing technologies.

From another angle, nuclear energy helps support the prospects for sustainable development. It is a form of energy generation with low carbon emissions, and a solution to the problem of greenhouse gases, and its local social and economic effects are to increase local employment and expenditures and add to the national economy; By providing job opportunities and strengthening infrastructure, creating more than three thousand jobs when a new facility is operated, and the stations are safe; Safety is the basic principle when designing a nuclear building.

This confirmed that nuclear fuel supplies have competitive costs in the long run, are more environmentally friendly and are less subject to changes in fuel prices, unlike coal and gas-fired plants, which enhances the regional development of the state and enables the provision of current energies, and its integration with the systems of energy resources exporting abroad.

Second: The main features of nuclear energy

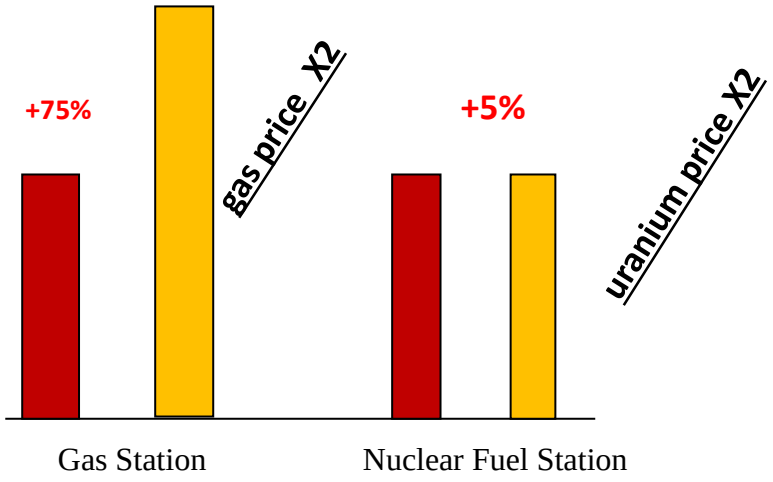
Nuclear energy has advantages, the most important of which is a technology with a large production capacity, being a carbon-free electricity generation source, a stable cost and a low marginal cost, and a geopolitical distribution of uranium resources and a local source of energy. Gas-fired electricity is no longer the cheapest form of generation, Because gas prices are expected to rise in the future.

We note that the most important aspect of nuclear energy is its low sensitivity to the cost of uranium fuel compared to energy based on fossil fuels. The following figure shows the cost of electricity after doubling both types of fuel costs; Where it becomes clear that the cost of nuclear energy increases only by 5% compared to 75% for a gas station, and according to this vision, nuclear energy is significantly cheaper than coal and gas in all countries, and despite the fact that the capital costs are greater than the costs incurred by coal-fired facilities, which are Much larger than those of gas-powered plants, but the costs of nuclear fuel are very low.

INTERNATIONAL JOURNAL OF
MULTIDISCIPLINARY STUDIES ON MANAGEMENT,
BUSINESS, AND ECONOMY
ISSN: 2735-5446 VOLUME 2, ISSUE 1, 2019, 24 – 51. www.egyptfuture.org/ojs/

Figure 2: The sensitivity of electricity cost to fluctuating fuel prices

Effect of fuel cost on electricity generation costs (generation cost eur/mwh)



Source: Designed by the researcher from the data available on the following website www.iaea.org

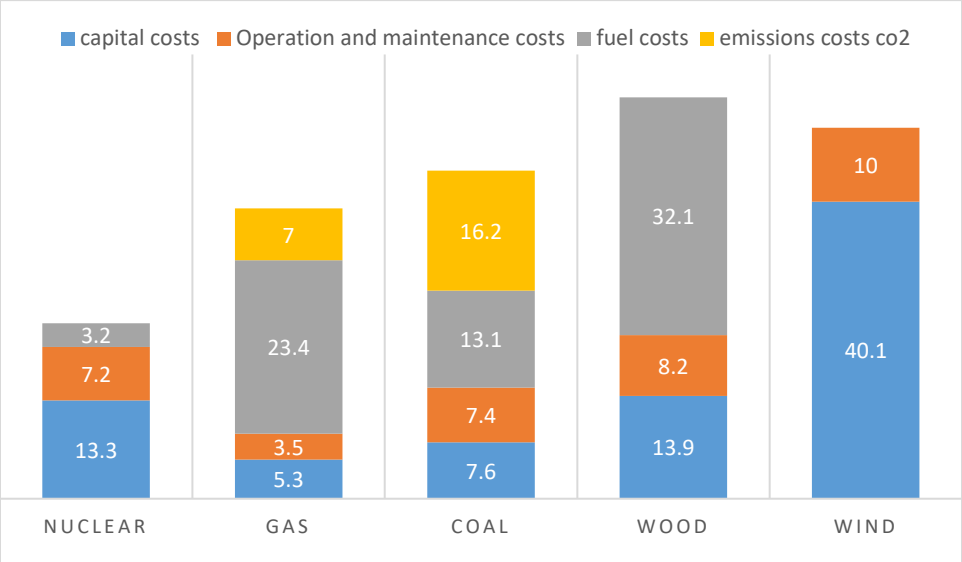
From this point of view, the effects of uranium price fluctuations on the cost of generating electricity through nuclear energy are relatively small compared to other methods used to generate electricity, and as a result, the total costs of nuclear power generation are quite favourable and will remain competitive.

Third: the cost-effectiveness of nuclear power generation nuclear power is a prime example of reliable electrical primary load generation at stable, non-volatile costs; This justifies the economic investment of nuclear energy; It is efficient in terms of electricity cost. While fuel and operating costs have little impact on the price of nuclear electricity; They are not subject to any changes in fuel availability; As uranium is widely available in various politically stable countries that secure its supplies, and nuclear power plants can help the country diversify its energy sources away from imported natural gas to obtain electricity, as the diversity of its sources contributes to increasing the security of supply supplies.

A detailed study of energy economics in Finland indicated that nuclear power would be the least expensive option for other generation capacities; The study compared nuclear energy with coal and gas turbines, and showed that although nuclear energy has much higher capital costs than other costs, which are 1749 euros / kilowatt; Including the initial fuel loading, which is about three times the cost of the gas station, but the fuel costs are much lower, with a capacity factor of more than 64%, and therefore it is the cheapest option.

INTERNATIONAL JOURNAL OF
MULTIDISCIPLINARY STUDIES ON MANAGEMENT,
BUSINESS, AND ECONOMY
ISSN: 2735-5446 VOLUME 2, ISSUE 1, 2019, 24 – *51.* www.egyptfuture.org/ojs/

Figure 3 A comparison of the costs of energy sources (Euro/MWh)
(Working hours 2000 hours/year)



Source : The Economics of Nuclear power, (2008) World Nuclear Association,pp 7 .

It is clear from the graph the relative effects of capital and fuel costs; The relatively high capital cost of nuclear power means that financing cost and construction time are vital for gas and coal, but the fuel cost is much lower. €/MWh, compared to the capital cost of gas 5.3 €/MWh and fuel €23.4/MWh, which indicates that the total costs of building a nuclear plant are cheaper than those of building gas, coal, and wind plants.

الأهـــمية الاقتصـــــادية والبيئـــة لاســـــتخدام الطاقة النـــووية في تـوليد الكهرباء

الملخص

تُعَدُّ محطات القوى النـــــووية الأجدى اقتصادياً في توليد الكهرباء مُقَارَنَةً بمحطات القوى المركزية العاملة بالوقود الأحفورى ؛ فالعائد الاجتماعى منها كبير وينعكس بشكل مباشر على حياة المواطن

[1] ؛ هذا بالإضـافة إلى أَنَّه سيكون هناك إنتاج طويل الأجل من الطاقة الكهربائية ؛ فالحد الأدنى لاستعمال المحطة يصـل إلى ستين عاماً ويمكن أَنْ يمتد لفترة زمنية أطول ؛ مما سينعكس علي توفير فرص للعمل [2] ، إضـافة إلى الاستثمارات المستقبلية التى ستُضخ في المنطقة نتيجة وجود تلك المحطة، كما أَنَّها ترتبط بفكرة نقل العلوم والتكنولوجيا التى تُسْهِمُ في تطوير البنية الأساسية للمجتمع .

INTERNATIONAL JOURNAL OF
MULTIDISCIPLINARY STUDIES ON MANAGEMENT,
BUSINESS, AND ECONOMY
ISSN: 2735-5446 VOLUME 2, ISSUE 1, 2019, 24 – 51. www.egyptfuture.org/ojs/

يُشكل أمن الطاقة أحد المعايير الرئيسية لضمان الاستقرار الاقتصادى فهو جزءاً لا يتجزأ من الأمن القومي[3] ، حيث تُعد الكهرباء مدخلاً أساسياً لرفاهية المجتمع والتنمية الاقتصادية [4] ؛ ومن ثمَ فالطاقة النـــووية هي أحد التدابير الممكنة لسـد حاجات العالم من الكهرباء كونها بديلاً واعداً لمصـادر الطاقة التقليدية ؛ وذلك لتعرض تكلفة إنتاج الكهرباء منها لتقلبات حادة نتيجة تقلبات أسعار وقودها الأحفوري [5].

الكلمات المفتاحية : تكلفة الكهرباء لتقلب أسـعار الوقود ، تكاليف مصـادر الطاقة ، تكاليف الكهرباء المنتجة من مصادر الطاقة .

وفي هذا البـحـث سيتم تناول النقاط التالية :

الجزء الأول : البعـد الاقتصـادي والبيئـى لتوليـد الكهربـاء من الطاقـة النـووية

الجزء الثانـي : دور الطاقة النـووية فـي اِسْتِـدَامَةٌ قطـاع الكهـرباء

البعـد الاقتصـادي والبيئـى لتوليد الكهرباء من الطاقة النـووية

المقدمة

تُلبي الطاقة النـووية كل متطلبات مستقبل الطاقة ؛ فهي مصدر للطاقة المستقرة والنظيفة بسعر مُغرٍ اقتصادياً، والتي تمثّل مجتمعةً أساس توازن الطاقة العالمي في المستقبل [6] ؛ إذ تستطيع محطة نـووية واحدة أَنْ تُنْتِجْ ما يكفي من الكهرباء لإنارة نصف بلد ما ؛ فتتيح الاستقلال الاستراتيجي في مجال الطاقة والحد من التقلبات في تكلفة إنتاج الكهرباء [7] ؛ كما ستقدم الطاقة النـووية فوائد عديدة للدولة ككلّ ؛ كإيجادها للملايين من الوظائف التي تُدر المليارات على المواطنين سـنوياً، والمحافظة على مستوى تكنولوجي متطور لكامل الاقتصـاد الوطني، ويمكن أَنْ تكون من أهم عوامل ازدهار الدول النامية. [8]

ولتوضـيح ذلك نشـير إلى أَنَّها اقتصـاديةٌ من حيث التكلفة مُقَارَنَةً مع كمية الطاقة التي تُنْتِجْها ؛ فكيلوجرامٍ واحد من اليورانيوم ينتج طاقةً أكبر بمليوني مرةٍ من كيلوجرامٍ من الفحم[9] ، وحتى تتضـح الرؤية فإنَّ أهمية هذه الطاقة تتمثل في خلق فرص عظيمة للتنمية المحلية والصـناعية والاقتصـادية داعمة بذلك عجلة التقدم والبحث العلمي، وبناءً علي ذلك يعتمد القطاع النـووي بشكلٍ كبير على الدعم الحكومي الذي يظهر من خلال صياغة سياسة عامّة داعمة للمشاريع النـووية في الدول الساعية للتقدم [10].

وفي هذا البحث سيتم تناول النقاط التالية :

المحور الأول : المحددات الاقتصادية والبيئية لتوليد الكهرباء من الطاقة النـووية

INTERNATIONAL JOURNAL OF
MULTIDISCIPLINARY STUDIES ON MANAGEMENT,
BUSINESS, AND ECONOMY
ISSN: 2735-5446 VOLUME 2, ISSUE 1, 2019, 24 – *51.* www.egyptfuture.org/ojs/

المحور الثانـــــي : تقييم النظم الرئيسية لمصادر الطاقة ومدى تأثيرها على البيئة

المحور الأول : المحددات الاقتصادية والبيئية لتوليد الكهرباء من الطاقة النـــووية

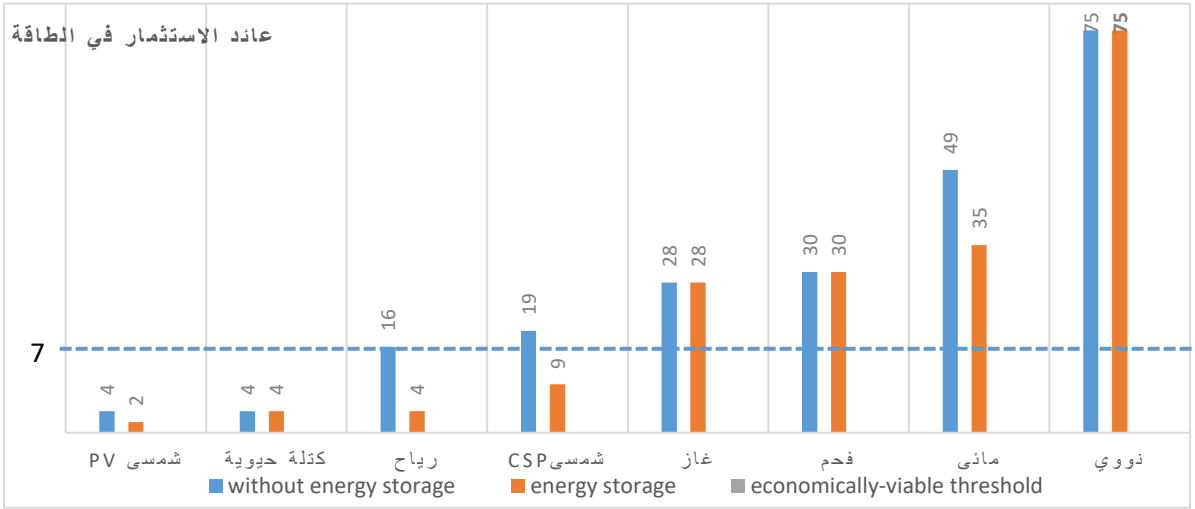
أولاً : العائد على الاستثمار لمصادر الطاقة (EROI) **:**

يقصـد بالعائد على الاسـتثمار هو مقياس أداء يُسـتخدم لتقييم كفاءة الاسـتثمار أو لمُقَارَنَة كفاءة عدد من الاسـتثمارات المختلفة ؛ حيث يقوم عائد الاسـتثمار بقياس مبلغ العائد على اسـتثمار معين مباشـرةً مُقَارَنَةً بتكلفة الاسـتثمار ؛ فلحسـاب عائد الاستثمار يتم تقسيم الفائدة (أو العائد) للاستثمار على تكلفة الاستثمار، وعندما يكون الرقم صغيراً يصعب الحصول على الطاقة من هذا المصدر وتكون مُكلفة.

ونسـتُنْتِجْ من ذلك عندما يكون الرقم واحداً ؛ لا يوجد عائد من الطاقة المسـتثمرة ، وقد تم إهدار الاسـتثمار بالكامل؛ فالرقم التعويضـــي لازدهار مجتمعنا الحديث هو حوالي 7؛ كنتيجة للتقدم التكنولوجي الذي جعل EROI أعلى من 1. تم تقييم عدد من مصـادر الطاقة المستهلكة حيث تم تحديد EROI لتحليل الكفاءة والتكلفة ، ويشمل ذلك أنواعاً من مصـادر الطاقة المختلفة مثل النفط والوقود الحيوي والطاقة الحرارية الأرضية والوقود النـــووي والفحم والطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الكهرومائية.

ونشير إلى أَنَّه يجب أَنْ تتجاوز مصـادر الطاقة القيمة الاقتصـادية البالغة حوالي 7 (الخط الأزرق) من أجل الحصـول على فائض الطاقة اللازم لدعم المجتمع الحديث ، ويكون الحد الأدنى المطلوب لمصـــدر الطاقة من EROI أكبر من 1 حتى يتمكن من دعم مجتمع الطاقة [11].

شكل رقم 1 العائد على الاستثمار من مصادر الطاقة المختلفة



James Conca ,(2018), EROI -- A Tool To Predict The Best Energy Mix.

INTERNATIONAL JOURNAL OF
MULTIDISCIPLINARY STUDIES ON MANAGEMENT,
BUSINESS, AND ECONOMY
ISSN: 2735-5446 VOLUME 2, ISSUE 1, 2019, 24 – 51. www.egyptfuture.org/ojs/

يتضح من الشكل أَنَّ العائد لكل مصدر طاقة يمثل 75 للنـــــــووية وهى الأعلى عائداً مُقَارَنَةً بالمائية 35 و الفحم 30 ، والتوربينات الغازية ذات الدورة المغلقة 28 ، والطاقة الشـمسـية الحرارية 9 ، والرياح 4 ، والكتلة الحيوية 4 ، والطاقة الشـمسـية الكهروضـوئية 2 ، وهذا هو السـبب في أَنَّ دعاة البيئة الجادين ، والفريق التابع للأمم المتحدة ، يحثون العالم بقوة على اعتماد مزيج من الطاقة النـــــووية والمائية والمتجددة كأفضل مزيج يمكن أَنْ يحل محل الوقود الأحفوري ، وسيؤدي هذا المزيج إلى خفض انبعاثات الكربون بمقدار النصف عن المزيج الحالي ويمكن تحقيقه مع التكنولوجيات القائمة.[12]

ومن زاوية أخري تُساعد الطاقة النـــــــــووية على دعم آفاق التنمية المُسْتدَامة ؛ فهي أحد أشكال توليد الطاقة ذات انبعاثات منخفضــة الكربون[13] ، وحل لمشـكلة غازات الدفيئة ، وتتمثل الآثار الاجتماعية والاقتصـادية المحلية لها في زيادة التوظيف المحلي والنفقات وإضـــافة للاقتصـــاد القومى[14] ؛ عن طريق توفير فرص للعمل وتعزيز البنية التحتية فتخلق أكثر من ثلاثة آلاف وظيفة حين يتم تشغيل مرفق جديد [15] ، وتتسم المحطات بأَنَّها آمنة ؛ فالسلامـــــــة هي المبدأ الأساسي عند تصميم البناء النووى .[16]

وقد أكد ذلك أَنَّ إمدادات الوقود النـــــــووي ذات تكاليف تنافسية على المدى الطويل [17] ، وأكثر ملاءمة للبيئة وأقل عرضة لتغيرات أسعار الوقود على عكس المحطات التي تعمل بالفحم والغاز [18] ؛ مما يعزز التنمية الإقليمية للدولة ويُمَكِّنَ من توفير الطاقات الحالية ، [19] ودمجها مع نظم موارد الطاقة المُصدِرة للخارج [20].

ثانياً : السمات الرئيسية للطاقة النـــووية

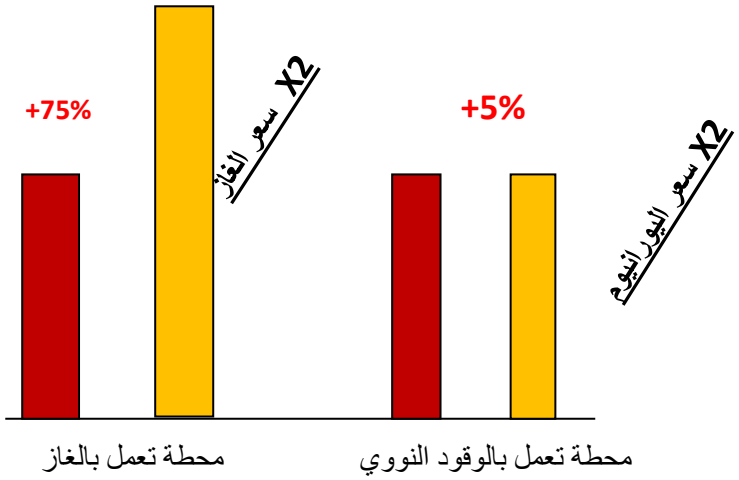
تتمتع الطاقة النـــــــووية بمميزات أهمها تكنولوجيا ذات قدرة إنتاجية كبيرة ، وكونها مصدر توليد للكهرباء خالياً من الكربون، كما أَنَّ لها تكلفة مسـتقرة وتكلفة هامشـية منخفضـة ، وبها توزيع جيوسـياسـي لموارد اليورانيوم ومصـدر محلي للطاقة ؛ فلم تعد الكهرباء التي تعمل بالغاز أرخص شـكل من أشـكال التوليد ؛ لأَنَّه من المتوقع أَنْ ترتفع أسـعار الغاز في المستقبل.

وننوه بإِنَّ أهم جانب من جوانب الطاقة النـــــووية هو قلة حساسيتها لتكلفة وقود اليورانيوم مُقَارَنَةً بالطاقة القائمة على الوقود الأحفوري ، ويوضـح الشـكل التالي تكلفة الكهرباء بعد مضـاعفة كِلا النوعين من تكاليف الوقود ؛ حيث يتضـح أَنَّه لا تزيد تكلفة الطاقة النـــــووية إلا بنسبة 5 % مقابل 75 % لمحطة الغاز[21] ، ووفق تلك الرؤية فالطاقة النـــــووية أرخص بشـــكل ملحوظ من الفحم والغاز في جميع البلدان، وعلى الرغم من أَنَّ التكاليف الرأسـمالية أكبر من التكاليف التي تتحملها المنشآت التي تعمل بالفحم، وهي أكبر بكثير من تلك الخاصة بالمحطات التي تعمل بالغاز، لكن تكاليف الوقود النـــــــووي منخفضة جداً.

INTERNATIONAL JOURNAL OF
MULTIDISCIPLINARY STUDIES ON MANAGEMENT,
BUSINESS, AND ECONOMY
ISSN: 2735-5446 VOLUME 2, ISSUE 1, 2019, 24 – *51.* www.egyptfuture.org/ojs/

شكل رقم 2 حساسية تكلفة الكهرباء لتقلب أسعار الوقود

تأثير تكلفة الوقود على تكاليف توليد الكهرباء (تكلفة التوليد eur\mwh)



المصدر: تصميم الباحثةُ من البيانات المتاحة علي الموقع الإلكتروني التالى www.iaea.org

من هذا المنطلق، تُعتبر تأثيرات تقلّبات سعر اليورانيوم على كلفة توليد الكهرباء من خلال الطاقة النـــــووية ، صغيرة نسبيّاً مُقَارَنَةً مع سائر الطرق المستخدَمة لتوليد الكهرباء ، ونتيجة لذلك فإنَّ إجمالي تكاليف توليد الطاقة النـــــووية مواتية تماماً وستظل تنافسية .[22]

ثالثاً : فعَالية تكلفة توليد الطاقة النـــووية

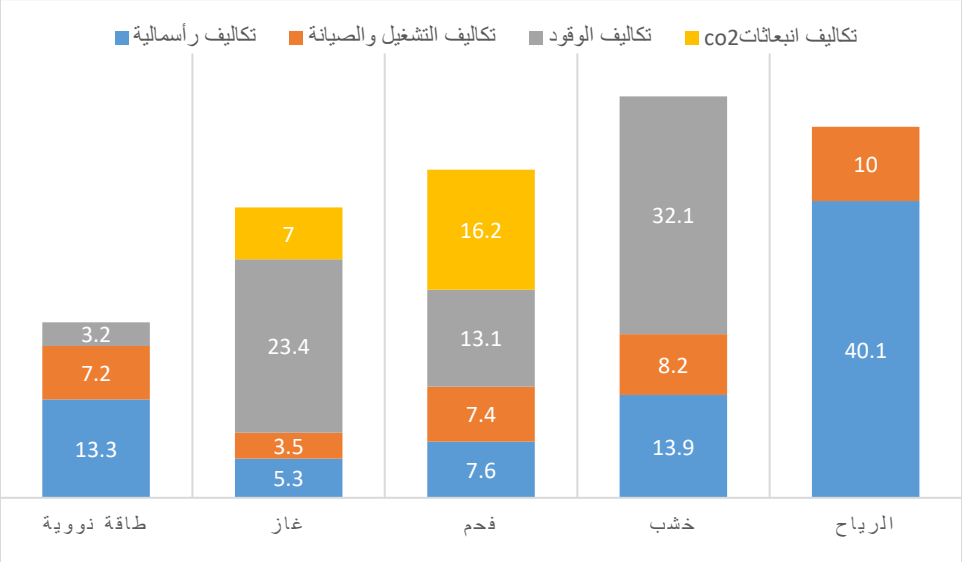
تُعتبر الطاقة النـــووية مثالاً رئيسياً علي توليد الحمل الأساسى الكهربائى بشكل موثوق بتكاليف مستقرة وغير متقلبة ؛ وهو ما يبرر استثمار الطاقة النـــــــووية اقتصادياً ؛ فهى فعَالة من حيث تكلفة الكهرباء .[23] في حين أَنَّ تكاليف الوقود والتشغيل لها تأثير ضئيل على سعر الكهرباء النـــووية ؛ فهي لا تخضع لأى تغيرات في توافر الوقود ؛ حيث إنَّ اليورانيوم متوافر إلى حد كبير في مختلف البلدان المستقرة سياسياً والتي تؤمَن إمداداته [24] ، كما أَنَّ محطات الطاقة النـــووية يمكن أَنْ تُساعد البلاد على تنويع مصادر الطاقة بعيداً عن الغاز الطبيعي المستورد للحصول على الكهرباء ، حيث تنوع مصادرها يسهم في زيادة تأمين إمدادات المعروض . [25]

وأشارت دراسة مفصلة عن اقتصاديات الطاقة في فنلندا إلى أَنَّ الطاقة النـــووية ستكون الخيار الأقل تكلفة بالنسبة لقدرات التوليد الأخرى؛ فقارنت الدراسة الطاقة النـــووية بالفحم، وتوربينات الغاز ، وأظهرت أَنَّه على الرغم من أَنَّ للطاقة النـــــووية تكاليف رأسمالية أعلى بكثير من التكاليف الأخرى تتمثل في 1749 يورو / كيلووات ؛ بما في ذلك

INTERNATIONAL JOURNAL OF
MULTIDISCIPLINARY STUDIES ON MANAGEMENT,
BUSINESS, AND ECONOMY
ISSN: 2735-5446 VOLUME 2, ISSUE 1, 2019, 24 – 51. www.egyptfuture.org/ojs/

تحميل الوقود الأولي ، وهو حوالي ثلاثة أضـــعاف تكلفة محطة الغاز ، إلا أَنَّ تكاليف الوقود لديها أقل بكثير، وذلك بعوامل قدرة تفوق 64٪ ، ومن ثم فهي الخيار الأرخص .

شكل رقم 3 مُقَارَنَةً بين تكاليف مصادر الطاقة (يورو \ ميجاوات ساعة)
(ساعات العمل 2000 ساعة / سنة)



Source : The Economics of Nuclear power, (2008) World Nuclear Association,pp 7

يتضح من الرسم البياني الآثار النسبية لتكاليف رأس المال والوقود ؛ فتعني التكلفة الرأسمالية المرتفعة نسبياً للطاقة النـــووية أَنَّ تكلفة التمويل والوقت المستغرق في البناء أمران حيويان بالنسبة إلى الغاز والفحم ، ولكن تكلفة الوقود أقل بكثير، ويمكن أيضاً رؤية تأثير إضافة تكلفة انبعاثات الكربون ، حيث تمثل التكلفة الرأسمالية للطاقة النـــــووية 13.3 يورو / ميجاوات ســـاعة وتكلفة الوقود 3.2 يورو / ميجاوات ســـاعة ، مُقَارَنَةً بالتكلفة الرأســـمالية للغاز 5.3 يورو / ميجاوات ساعة والوقود 23.4 يورو / ميجاوات ساعة ، وهذا يدل على أَنَّ التكاليف الكلية لبناء محطة نـــــووية أرخص من تكاليف بناء محطات الغاز والفحم والرياح.

ومن المرجح أَنْ يعتمد اِخْتِيَارٌ المحطة على الوضع الاقتصادي العالمي للدولة ؛ فالطاقة النـــــووية تتسم بأَنَّها كثيفة رأس المال في حين أَنَّ تكاليف الوقود هى أكثر أهمية بالنســبة للنظم القائمة على الوقود الأحفوري؛ لذلك إذا كان على بلد مثل اليابان أو فرنســا أَنْ تختار بين اســتيراد كميات كبيرة من الوقود أو إنفاق الكثير من رأس المال في إقامة محطة ؛ فإِنَّ

INTERNATIONAL JOURNAL OF
MULTIDISCIPLINARY STUDIES ON MANAGEMENT,
BUSINESS, AND ECONOMY
ISSN: 2735-5446 VOLUME 2, ISSUE 1, 2019, 24 – *51.* www.egyptfuture.org/ojs/

التكاليف البسيطة قد تكون أقل أهمية من الاعتبارات الاقتصادية الأوسع نطاقاً ، والتي يمكن أَنْ تكون استنزافاً أكثر خطورة لاحتياطيات العملات الأجنبية بالمُقَارَنَةً مع اليورانيوم الأقل تكلفة [26] ، **حيث تتمثل عوامل تفضيل اليورانيوم في الآتي :**

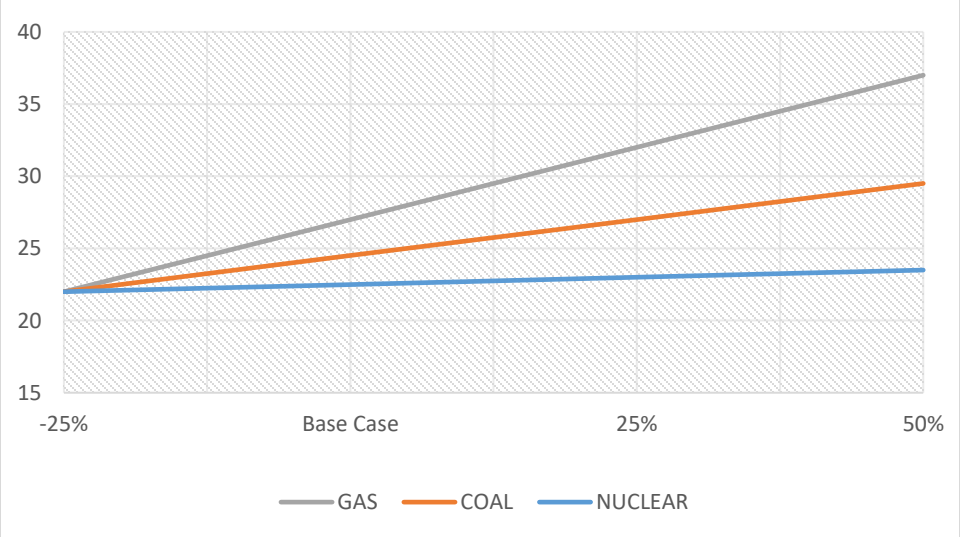
1-يتميز اليورانيوم بكونه مصدراً للطاقة شديد التركيز يمكن نقله بسهولة وبتكلفة زهيدة ، والكميات المطلوبة أقل كثيراً من الفحم أو النفط ، حيث ينتج كيلوجرام واحداً من اليورانيوم الطبيعي حوالي 20 ألف مرة من الطاقة التي يصل إليها الفحم نفسه ، ولذلك فهي في جوهرها سلعة محمولة وقابلة للتداول.

2-إسهام الوقود في التكلفة الإجمالية للكهرباء المنتجة صغير نسبياً ، ومن ثم فإنَّ الارتفاع في أسعار الوقود سيكون له أثر ضئيل نسبياً ؛ فعلي سبيل المثال من شأن مضاعفة سعر سوق اليورانيوم أَنْ تزيد تكلفة وقود مفاعل الماء الخفيف بنسبة 26 % ، وتكلفة الكهرباء نحو 7 % (في حين أَنَّ مضاعفة سعر الغاز ستضيف 70 % إلى سعر الكهرباء من هذا المصدر) .[27]

رابعاً : تأثير تكلفة الوقود على تكاليف توليد الكهرباء

أشارت الدراسة الفنلندية إلى حساسية أسعار الوقود لتكاليف الكهرباء، وتؤكد هذه البيانات أَنَّ مضاعفة أسعار الوقود ستؤدي إلى ارتفاع تكلفة الكهرباء ، بالنسبة للطاقة النووية بنحو 9 % ، وارتفاع الفحم بنسبة 31 % والغاز بنسبة 66% ، [28] وقد ارتفعت أسعار الغاز بالفعل ارتفاعاً كبيراً خلال الفترة 2008-2017، وبالتالي تنافست الكهرباء النووية مع الغاز الذي يعتمد اعتماداً كبيراً على سعر الوقود.[29]

شكل رقم 4 تأثير تكلفة الوقود على تكاليف توليد الكهرباء (تكلفة التوليد eur\mwh)



المصدر :عمل الباحث طبقاً للبيانات من المحتوى التالي.The Economics of Nuclear power, World Nuclear Association ,2008 ,pag 7

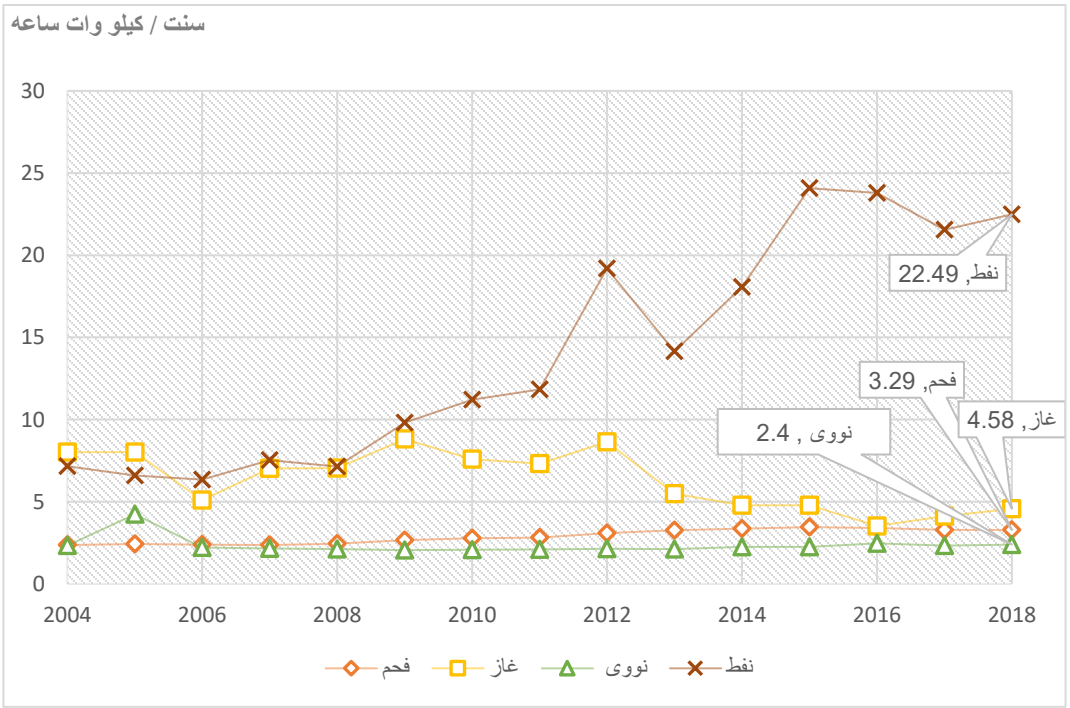
INTERNATIONAL JOURNAL OF
MULTIDISCIPLINARY STUDIES ON MANAGEMENT,
BUSINESS, AND ECONOMY
ISSN: 2735-5446 VOLUME 2, ISSUE 1, 2019, 24 – 51. www.egyptfuture.org/ojs/

ومن الجدير بالذكر أنَّ تكاليف نقل الوقود الأحفوري أعلى بالنظر إلى أنَّ كمية المادة المنقولة ستكون كبيرة ، حيث أنَّه من المعلوم أنَّ الوقود المطلوب لإنتاج نفس الطاقة أكثر بكثير في حالة الوقود الأحفوري ، وتتمثل الجاذبية الأساسية للطاقة النووية في قلة تكلفة الوقود مُقَارَنَةً بالمصادر الأخرى وتوافره على المدى الطويل بشكل مُستديم.

خامساً : المُقَارَنَةً بين تكاليف الإنتاج الإجمالية بالمصادر المختلفة من الطاقة

تُعَدُّ الطاقة النووية مصدراً اقتصادياً لتوليد الكهرباء ، حيث يتضح من الشكل أنَّ الطاقة النووية تنافسية من حيث التكلفة مُقَارَنَةً مع مصادر توليد الكهرباء الأخرى ، [30] خاصةً إذا تم الأخذ في الاعتبار التكاليف الاجتماعية والصحية والبيئية للوقود الأحفوري[31] ، فيُكلف إنتاج الكهرباء من الطاقة النووية 2.4 سنت / كيلو وات ساعة عام 2018 مُقَارَنَةً بالفحم والغاز والنفط 3.29 و 4.58 و 22.49 سنت / كيلو وات على التوالي .[32]

شكل رقم 5 تكلفة إنتاج الكهرباء في الولايات المتحدة



المصدر : عمل الباحث طبقاً للبيانات من الموقع التاليwww.statista.com/statistics/184712/US-electricity-production-costs-by-source

INTERNATIONAL JOURNAL OF
MULTIDISCIPLINARY STUDIES ON MANAGEMENT,
BUSINESS, AND ECONOMY
ISSN: 2735-5446 VOLUME 2, ISSUE 1, 2019, 24 – *51.* www.egyptfuture.org/ojs/

وفي المقابل إنَّ اتجاه أسعار الطاقة النـــــووية نحو الانخفاض واتجاه أسعار النفط إلى الارتفاع (بسبب زيادة الطلب عليه) قد يؤديان إلى جعل أسعار الكهرباء المُولّدة بالطاقة النـــووية مُزاحمة لأسعار الكهرباء المُولّدة بالوقود الأحفوري ، وهذا الأمر قد يحّول دولاً عربية نحو استيراد الطاقة الكهربائية من الغرب.

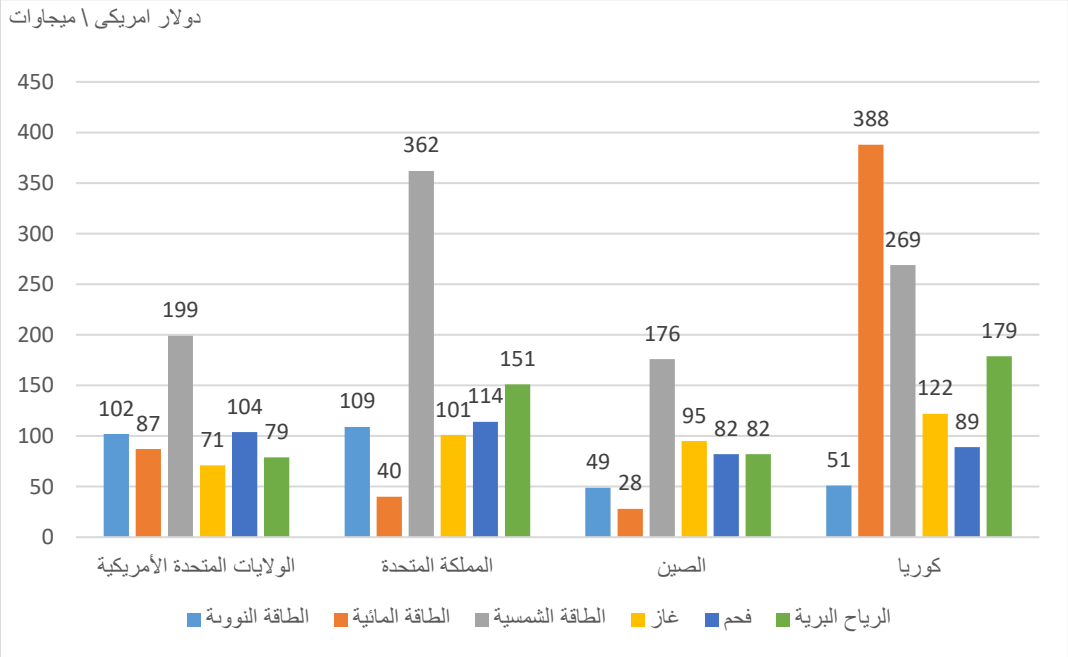
في حين أَنَّ الأخذ بالخيار النـــــووي يساعد على التطوير الصناعى والتكنولوجى ، حيث تحتاج المحطة إلى أجزاء وقطع غيار وفق مواصـــفات عالية لابد من توفير جزءاً كبير منها محلياً لخفض التكلفة الاقتصـــادية ؛ مما يؤدي إلى المســـاهمة الفعَالة في دفع الاقتصـــاد والتنافســـية الوطنية والعدالة الاجتماعية والحفاظ على البيئة مع تحقيق ريادة في مجالات الطاقة المتجدّدة والإدارة الرشيدة المُسْتدَامة للموارد.

وفي المقابل مع ارتفاع التكاليف الثابتة وانخفاض تكاليف التشغيل فإنَّ متوسط تكاليف الكهرباء للمحطات النـــــووية ينخفض بدرجة كبيرة مع زيادة الإنتاج ، وقد أكد ذلك انخفاض تكاليف الوقود النـــووي مع مرور الوقت بسبب انخفاض أسـعار اليورانيوم والتخصـيب في ظل تصـميمات جديدة للوقود تتيح عمليات حرق أعلى ، في حين أَنَّ تكاليف التشـغيل والصيانة تميل إلى أَنْ تكون أعلى إلى حدٍ ما مُقَارَنَةً بالأنماط الحرارية الأخرى من التوليد.

ومن زاوية أخري يتم تقييم التكاليف القِيَاسِـيَّةٌ لمجموعة واســعة من تكنولوجيات التوليد في البلدان المختلفة ؛ حيث تُقيّم تكاليف توليد الكهرباء النسبية للمحطات الجديدة التي تستخدم تقنيات متنوعة ؛ فتسلط الضـوء على القدرة التنافسية المستمرة للطاقة النـــــووية في العديد من الدول ، ويرجع ذلك عموماً إلى تحسين الأداء التشغيلي للمحطات النـــــووية وارتفاع توقعات أسعار الوقود الأحفوري [33].

INTERNATIONAL JOURNAL OF
MULTIDISCIPLINARY STUDIES ON MANAGEMENT,
BUSINESS, AND ECONOMY
ISSN: 2735-5446 VOLUME 2, ISSUE 1, 2019, 24 – 51. www.egyptfuture.org/ojs/

شكل رقم 6 تكاليف الكهرباء المنتجة من مصادر الطاقة في الدول المختلفة بمعدل خصم 10٪



Source : World Nuclear Association. (2017) . Nuclear Power Economics and Project Structuring: Edition. World Nuclear Association, London, Tech. Rep.

ويوضح الشكل رقم 6 انخفاض تكاليف الكهرباء المنتجة من الطاقة النـــــووية في الولايات المتحدة ؛ حيث بلغت 102 دولار/ ميجاوات مُقَارَنَةً بكلاً من الكهرباء الشمسية 199 دولار/ ميجاوات والفحم 104 دولار/ ميجاوات ؛ كذلك تُعتبر من أقل الطاقات تكلفة في الصين وكوريا والمملكة المتحدة ، وفي ذات السياق يُعَدُّ بناء محطات الطاقة النـــــــووية نموذجاً لمشروعات البنية التحتية الكبرى في جميع أنحاء العالم ؛ إذ تمتاز الطاقة النـــــووية بأنَّها تلبي احتياج الأحمال الكهربائية الأساسية بفاعلية كبيرة ؛ لتصل نسبة ما توفره قدرتها الإنتاجية أعلى من 92 %.

ومن منظور آخر فالغرض من تطوير صناعة الطاقة الكهربائية هو خلق قطاع اقتصادى متقدم ، حيث تمتلك مصـــــر القدرة على إنشاء مجموعة صناعية للتصنيع المحلي للتكنولوجيا التي تسهم بتنويع مصادر إنتاج الطاقة الكهربائية [34] ، كما يجب على الحكومة السعي لتشجيع شركات القطاع الخاص على الاستثمار في التكنولوجيا النظيفة وموارد الطاقة المتجددة [35] ، حيث تمتلك مصـــــــــر موارد طاقة طبيعية هائلة مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية ، لكن الاستثمار فيها يحتاج إلى أموال ضخمة [36].

INTERNATIONAL JOURNAL OF
MULTIDISCIPLINARY STUDIES ON MANAGEMENT,
BUSINESS, AND ECONOMY
ISSN: 2735-5446 VOLUME 2, ISSUE 1, 2019, 24 – *51.* www.egyptfuture.org/ojs/

وننوه بأَنَّ يتطلب التوسع في البنية التحتية جهوداً وأموالاً كثيرة قد يصعب على الدولة تحملها، وقد ترفض بعض الدول الدخول إلى البرنامج النـــــووي نتيجة أَنَّ هذا الاستثمار باهظ التكاليف والذي يرهق الاقتصاد الوطني فيها . ومن الرؤى الداعية لذلك يمكن تقليل عبء تأسيس البنية التحتية لأية دولة إذا تقاسمت مجموعة من البلدان الأعباء والتكاليف وكونت شراكة على المستوى الإقليمي.

وتشمل هذه الشراكة المرافق المادية والبرامج المشتركة والمعرفة ؛ ممّا ينعكس كفوائد اقتصادية مباشرة؛ حيث تُسْهِمُ شـراكة المعلومات والبنى التحتية أيضـاً في مواءمة وتوحيد المعايير والأطر الرقابية والتشـريعية والتغلب على معظم المشاكل التي قد تطرأ أثناء التخطيط والتنفيذ والتشغيل للمحطة النووية. [37]

سادساً : الآثار الاقتصادية لاسـتخدام الطاقة النـــووية في توليد الكهرباء

1) فوائد الطاقة النـــووية لتحلية المياه :

أضـحى توفير المياه بواسطة تقنيات التحلية المختلفة في ظل نقص الموارد الطبيعية من المياه الخيار المفضـل ، وبناءً عليه يمكن أَنْ تؤدي الطاقة النـــووية دوراً مهماً في تلبية الاحتياجات الإقليمية المتزايدة من الكهرباء والمياه ؛ حيث تتميز بقدرتها على إنتاج مياه التحلية بتكلفة أقل مُقَارَنَةً بالطاقة الأحفورية .

ومن الرؤى الداعية لذلك إنَّ تحلية مياه البحر باستخدام الطاقة النـــــووية خيار عملي لتلبية الطلب العالمي المتزايد على مياه الشـــرب ، وتُعد تحلية مياه البحر خياراً مجدياً لتلبية الطلب المتزايد عليها [38] ، ويمثل النمو الســـريع في عدد السكان والتصنيع في مصـــر حافزاً قوياً لاسـتخدام الطاقة النـــووية لتلبية احتياجاتها من المياه والكهرباء . [39]

وتتمثل دوافع التحلية النـــووية في :

أ- عدم كفاية موارد الطاقة الأولية الوطنية المعروفة لزيادة الطلب على الطاقة والكهرباء على المدى المتوسـط والطويل ، كما أَنَّ موارد المياه الصـالحة للشرب محدودة؛ الأمر الذي يتطلب إضـافة مصـادر جديدة للإمداد، ولا سيما في المناطق النائية.

ب- إدراك الطاقة النـــــــووية كمصدر طاقة ملائم وقادر على المنافسة اقتصادياً وقابل للاستمرار؛ فهو لن يُكمل مصادر الطاقة التقليدية فحسب ؛ بل سيعزز أيضاً التطور التكنولوجي ويشكل حافزاً للتقدم الاجتماعي والاقتصادي .[40]

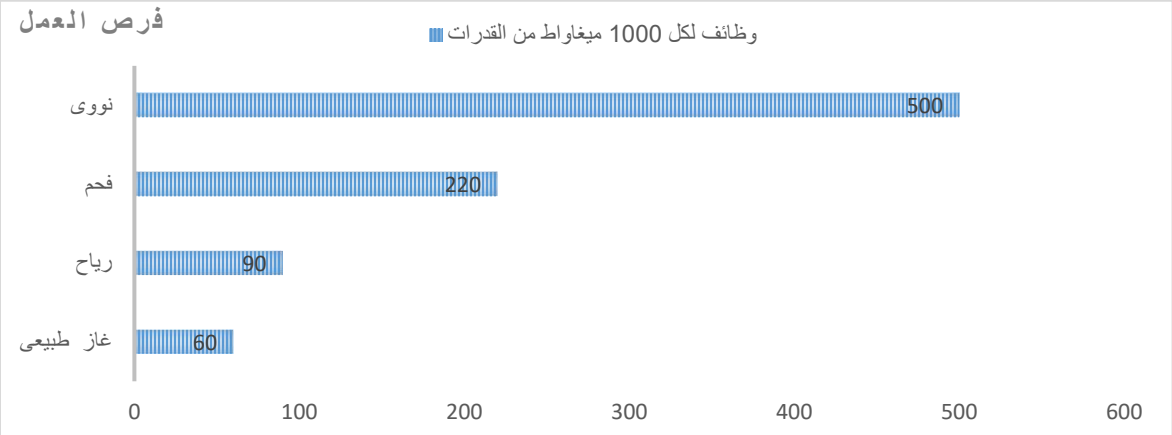
2) **خلق فرص عمل لتشغيل محطات الطاقة** :

تُعد الطاقة النـــــــووية أكبر منتج للكهرباء الخالية من الكربون و محرك اقتصادي قوي من خلال الإنفاق المباشر والثانوي والإشـراف البيئي وقيادة المجتمع ، كما أَنَّها رائدة في خلق فرص العمل وتسـاعد في دعم الاقتصـادات المحلية

INTERNATIONAL JOURNAL OF
MULTIDISCIPLINARY STUDIES ON MANAGEMENT,
BUSINESS, AND ECONOMY
ISSN: 2735-5446 VOLUME 2, ISSUE 1, 2019, 24 – 51. www.egyptfuture.org/ojs/

والإقليمية، ويبين الشـكل الآتي الوظائف المحتملة التي يمكن إنشـاؤها لكل نوع من نظم الطاقة ، حيث يتضـح أنَّها توفر 500 فرصة عمل بالمُقَارَنَةً مع مصادر الطاقة الأخرى .[41]

شكل رقم 7 إمكانات خلق فرص العمل عبر التكنولوجيات المختلفة



Source : Nuclear energy supports jobs, (April 11, 2018), clean energy economy , from site : https://www.seattletimes.com/sponsored/nuclear-energy-supports-jobs-clean-energy-economy .

وبما أَنَّ الوظائف تنشـــأ بواســـطة نظم الطاقة فإنَّها تحســـن من نوعية حياة المجتمع المحلي ، حيث يعمل العديد من الأشخاص إما في وظائف مباشرة مثل التصنيع والتركيب والتشغيل والصيانة أو في وظائف غير مباشرة مثل موردي المعدات ومواد البناء والتركيب طوال دورة حياة محطات توليد الكهرباء .[42]

3) دراسـة حالـة عن الفـوائد الاقتصاديـة للمحطـة النوويـة فى الولايـات المتحـدة الأمريكيـة

تلعب صناعة الطاقة النووية دوراً مهماً في توفير فرص العمل ورفع النمو الاقتصادي علي حد سواء؛ حيث تولد المفاعلات النووية الـــ 100 في الولايات المتحدة قيمة اقتصادية محلية كبيرة في مبيعات الكهرباء ؛ تتمثل في ما يتراوح بين 40 و 50 مليار دولار سنوياً ؛ كما يسهم أكثر من 100 ألف عامل في الإنتاج ؛ ففي جميع أنحاء العالم ، هناك أكثر من 170 مشـروعاً جديداً من محطات الطاقة النووية في مرحلة الترخيص والتخطيط المتقدم ؛ حيث يجري حالياً إنشـاء 72 محطة ، ونتيجة لذلك ستشـهد السنوات المقبلة زيادة في الطلب على المواد والمكونات والخدمات للصـناعة النووية العالمية ، وتُقدِر وزارة التجارة الســـوق العالمية للمنتجات النووية والخدمات والوقود بمبلغ يتراوح بين 500 و 740

INTERNATIONAL JOURNAL OF
MULTIDISCIPLINARY STUDIES ON MANAGEMENT,
BUSINESS, AND ECONOMY
ISSN: 2735-5446 VOLUME 2, ISSUE 1, 2019, 24 – *51.* www.egyptfuture.org/ojs/

بليون دولار على مدى السنوات العشر القادمة ؛ فالطاقة النووية هي التكنولوجيا الوحيدة المؤكدة التي يمكن أَنْ توفر طاقة كهربائية خالية من الانبعاثات وبأسعار معقولة.

وتُظهر تحليلات 23 محطة طاقة نووية أمريكية تُمَثل في 41 مفاعلاً ؛ أَنَّ كل دولار ينفقه متوسط المفاعل يؤدي إلى خلق 1.04 دولار في المجتمع المحلي و 1.18 دولار في اقتصاد الدولة و 1.87 دولار في الاقتصاد القومي الأمريكي ، وتضخ المحطة النووية المتوسطة نحو 16 مليون دولار في الضرائب الحكومية والمحلية سنوياً ، وتستفيد من هذه الضرائب المدارس والطرق وغيرها من الهياكل الأساسية للدولة والمحلية، وتدفع المحطة النووية المتوسطة أيضاً ضرائب اتحادية قدرها 67 مليون دولار سنوياً تُستغل في تشييد المرافق العامة للدولة [43].

1-آثار إنشاء محطة نووية على دخل القوى العاملة

تخلق المحطات النووية أكبر دخل سنوي للقوى العاملة على أساس كونها تكنولوجيا كثيفة العمالة ، كما يوضح الجدول أدناه عدد الوظائف ومتوسط الأجور ودخل القوى العاملة من محطة للطاقة النووية فى أمريكا . يولد متوسط إنتاج الكهرباء من الطاقة النووية البالغة 1000 ميجاوات قرابة 470 مليون دولار فى الناتج أو القيمة المضافة الاقتصادية، ويشمل ذلك أكثر من 35 مليون دولار من إجمالي دخل العمالة .

جدول رقم 1 فوائد إنشاء محطة نووية

التكنولوجيا	وظائف / ميجاواط	متوسط الحجم (ميجاواط)	الوظائف المحلية المباشرة	متوسط الدخل (ساعة/ $)	دخل القوى العاملة (مليون دولار / سنة)
النووي	0.50	1,000	504	$31	$32.49

Source : Nuclear Energy's Economic Benefits, (April 2014) Current and Future,white paper ,nuclear energy institute,pp 3.

2-آثار التصنيع والخدمات في الولايات المتحدة

تولد المفاعلات النووية الأمريكية قيمة اقتصادية محلية كبيرة في مبيعات الكهرباء؛ أي ما يتراوح بين 40 و 50 مليار دولار سنوياً ، ومن هذه العائدات تقوم الشركات النووية بشراء ما يزيد على 14 مليار دولار سنوياً في المواد والوقود والخدمات من الموردين المحليين .

3-آثارها على الصادرات النووية التجارية وخلق المزيد من وظائف الولايات المتحدة

تستفيد الشركات والعمال في الولايات المتحدة من التوسع في الطاقة النووية الجارية في جميع أنحاء العالم ؛ فقامت الشركات الأمريكية بالفعل بحجز طلبات تصدير في المعدات والخدمات ، بما في ذلك المولدات الكهربائية ومضخات

INTERNATIONAL JOURNAL OF
MULTIDISCIPLINARY STUDIES ON MANAGEMENT,
BUSINESS, AND ECONOMY
ISSN: 2735-5446 VOLUME 2, ISSUE 1, 2019, 24 – 51. www.egyptfuture.org/ojs/

مبردات المفاعل والأجهزة ونظم التحكم ، ووفقاً لوزارة التجارة فإنَّ كل مليار دولار من صـــادرات الشـــركات الأمريكية يمثل 5000 إلى 10000 وظيفة في الولايات المتحدة.

وقامت بإبرام عقود مع المشاريع النووية الجديدة التي يُجري بناؤها في الإمارات ؛ فقد وافق بنك التصدير والاستيراد في الولايات المتحدة على قرض بقيمة ملياري دولار لدعم الصـــادرات الأمريكية من الســـلع ، وقد تعاقدت الامارات مع العديد من الشـــركات الأمريكية لتوفير خدمات إدارة البرامج والتنظيم والقانون والتصـــميم والهندســـة والبيئة والرقابة والتدريب والترخيص ، وتوفير مضـــخات مبردات المفاعل ، ومكونات المفاعل ، والضـــوابط ، والخدمات الهندســـية والتدريب، وتقوم شـــركات أخرى في الولايات المتحدة بتوفير المزيد من الهندســـة وإدارة التشـــييد ومراقبة الجودة وإدارة المواد والخدمات التنظيمية. [44]

4-وقـــت البنـــــاء والتشييـــد لمحطـــات الطاقـــة النوويـــة

يؤثر وقت بناء المشـــروع على كل من جاذبيته للاستثمار وتكاليف التمويل ، فالمدة التي يســـتغرقها بناء محطات الطاقة النووية هي من 4 إلى 7.1 سنة ؛ أما بالنسبة لمحطات الطاقة الشمسية المركزة فإنَّ متوسط زمن الإنشاء 2.0 سنة .[45] في المقابل نجد أَنَّ المحطات المشـــغلة بالغاز الطبيعي تســـتغرق مدة بناء أقل تتراوح ما بين 2 إلي 3 ســـنوات ، أما بالنسبة للمحطات المشغلة بالفحم فتستغرق مدة بناء تصل إلي حوالي 5 سنوات [46] ، ومن ثم فإنَّ قدرة هذه الصناعة على المنافســـة ترتبط ارتباطاً وثيقاً بطول فترات الإنشـــاء ، ويصـــدر أى تأخير في عمليات البناء نتيجة لتأخر اســـتصـــدار التراخيص أو المسائل القانونية ، أو مواجهة مشاكل فنية لصعوبة توفر الخبرة والأجهزة والمكونات ، وكل هذا يقود إلى ارتفاع التكلفة الرأسمالية لهذه الصناعة ؛ فيترتب على إطالة المدة المحددة للانتهاء من البناء وبدء التشغيل أثر كبير على اقتصـاديات الطاقة النووية . إلا إنْ حدثت تغيرات لإجراء تحسينات من خلال إدراج التغييرات التنظيمية بدءاً من مرحلة التصميم وحتى الانتهاء من عمليات البناء ، مما انعكس بالإيجاب علي الوقت المستغرق في البناء والتشييد .[47]

وعلى نقيض ذلك الطاقة النووية لا تتطلب مسـاحات كبيرة لإعادة توطين أعداد كبيرة من السـكان ، ومن ثم تأثيرها البيئي على الأرض والغابات والمياه ضئيل للغاية ، وكمية العناصر السامة الناشئة كنفايات لاحتراق الفحم أكبر من كمية الوقود النووي المســـتهلك لتوليد نفس كمية الكهرباء من محطة للطاقة النووية [48] ، وبناءً عليه توفر المفاعلات النووية طاقة حمولة أساسية تستمر على مدى 90٪ من الوقت ، وبالتالى يزداد استهلاك الطاقة النووية كطاقة متجددة بشكل كبير فى الولايات المتحدة .[49]

INTERNATIONAL JOURNAL OF
MULTIDISCIPLINARY STUDIES ON MANAGEMENT,
BUSINESS, AND ECONOMY
ISSN: 2735-5446 VOLUME 2, ISSUE 1, 2019, 24 – *51.* www.egyptfuture.org/ojs/

المحور الثانـــي : تقييم النظم الرئيسية لمصادر الطاقة ومدى تأثيرها على البيئـــة

أولاً : متطلبات الأراضي والوقود والنقل لمحطات نظم توليد الطاقة المختلفة

إنَّ محطات الطاقة النـــووية ومرافق دورة الوقود المرتبطة بها لا تتطلب مساحات شاسعة من الأراضي لتشغيلها ، ومن ثم فإنَّ الأثر البيئي للطاقة النـــووية على الأراضي والغابات والمياه ضئيل ، والعبء الذي تسببه مرافق الطاقة النـــووية في الهياكل الأساسية لنقل الوقود أقل للغاية بالمُقَارَنَةً بمرافق الوقود الأحفوري ، بسبب اختلاف حجم الكميات المنقولة ، وتتطلب محطات الطاقة النـــــــووية مساحة أقل بكثير لتخزين الوقود في الموقع مُقَارَنَةً بمحطات الوقود الأحفوري من نفس السعة.

ولتوضيح ذلك يقارن الجدول التالي متطلبات نظام دورة وقود كاملة لتخزين الوقود ومساحات الأراضي، واحتياجات النقل لمحطات الوقود النـــــووية والفحم ؛ حيث تتطلب أنظمة طاقة الفحم حوالي ثمانية أضعاف مساحة الأرض أكثر من النظم النـــووية لنفس الإنتاج السنوي من الكهرباء[50] ، والمعايير التالية للتركيز على مُقَارَنَةً هذين النوعين من إنتاج الطاقة ، حيث إنَّ إنتاج الفحم له تأثير كبير على بيئة الأرض، وحرقه يُنتج بعض الملوثات المقلقة في الغلاف الجوي. أما محطات الطاقة النـــــووية فلا تُنْتِجْ أي ملوثات في الهواء، وهذا يعني أنَّ لها تأثيراً بيئياً ضئيلاً على الأرض أثناء التشغيل العادي.

جدول رقم 2 مُقَارَنَةً بين محطات الفحم ومحطات الطاقة النـــووية

محطات توليد الكهرباء 1300 جيجاواط	الفحم	النووى
القدرة المركبة للوقود **الاستهلاك السنوي للوقود**	2 x 650 MWe 3.3 مليون طن	MWe 1300 uranium 32 t U (170 t nat U)
استخدام الأراضي لموقع المصنع، والتعدين، والتخلص من النفايات. **متطلبات المساحة لتخزين الوقود**	415 هكتار (احتياطي شهرين) 25 هكتار	50 هكتار بضعة أمتار مربعة
متطلبات الوقود للنقل	82500 عربة لكل 40 طناً سنوياً	5 شاحنات كل سنة
CO2 انبعاثات **SO2الانبعاثات مع إزالة الكبريت من غاز المداخن .** **NOxالانبعاثات مع إزالة النتروجينيات** **انبعاثات الجسيمات مع التحكم**	CO2/yr 10 000 000 t SO2/yr 14 000 t NOx/yr 7000 t/yr 2300	0 0 0 0

INTERNATIONAL JOURNAL OF
MULTIDISCIPLINARY STUDIES ON MANAGEMENT,
BUSINESS, AND ECONOMY
ISSN: 2735-5446 VOLUME 2, ISSUE 1, 2019, 24 – 51. www.egyptfuture.org/ojs/

النفايات	تولد محطة واحدة من الفحم الكميات التالية من ملوثات الهواء في سنة معينة : 37 مليون طن من ثاني أكسـيد الكربون 10,000 طن من ثاني أكسـيد الكبريت . 10,200 طن من أكسـيد النيتروجين . 500 طن من الجسيمات الصغيرة المحمولة جواً . 220 طن من الهيدروكربونات . 720 طن من أول أكسـيد الكربون.	1.5 متر مكعب من حجم النفايات عالية الإشعاع .

Source : J. A. Marques de Souza, (January 2002) , current issues in nuclear energy , nuclear power and the environment international nuclear , Published by the American Nuclear Society,pag 25.

وقد أكد ذلك الجدول التالي لتقدير حجم الاحتياجات من الأراضـي للموقع لأنواع مختلفة من محطات الطاقة (لا تشـمل متطلبات دورة الوقود) ، وتتطلب معظم الطاقات ولا سيما الشمس والرياح استخداماً كبيراً للأراضي ، وهو ما سيُحتاج إليه في كثير من الحالات لأغراض أخرى كالزراعة ، ويمكن ملاحظة أَنَّ مصادر الطاقة المتجددة تتطلب أراضي أكثر بكثير من الأراضي الحرارية.[51]

جدول رقم 3 مساحة الأراضي اللازمة لمواقع محطات الطاقة (1000 ميجاوات)

نوع محطة توليد الكهرباء	متطلبات مساحة الأرض (هكتار)
النفط والفحم (بما في ذلك تخزين الوقود)	100
النـــووي والغاز الطبيعي	50
الطاقة الكهرومائية	25000
الطاقة الشمسية	5000
طاقة الرياح	10000
مزرعة الكتلة الحيوية	400000

Source : Aly,A,I,M , & Hussien , R.A (2000). environmental impact of nuclear, fossil and renewable energy source :A Review nuclear energy .

تتميز الآثار الاقتصادية للمفاعلات النووية بأَنَّها تُنْتِجْ كمية كبيرة للغاية من الطاقة ؛ فطن واحد من الوقود النـــــووي يُنْتِجْ نفس كمية الكهرباء بالمُقَارَنَةً مع 100000 طن من الفحم ؛ كما يوضح الجدول رقم 4 محتويات الطاقة من المصادر الأولية الرئيسية لإنتاج الكهرباء، والتي تشير إلى محتوى الطاقة الهائلة من اليورانيوم الطبيعي مُقَارَنَةً بالبدائل الأخرى[52].

INTERNATIONAL JOURNAL OF
MULTIDISCIPLINARY STUDIES ON MANAGEMENT,
BUSINESS, AND ECONOMY
ISSN: 2735-5446 VOLUME 2, ISSUE 1, 2019, 24 – *51.* www.egyptfuture.org/ojs/

جدول رقم 4 محتوى الطاقة من مصادر الطاقة الأولية الرئيسية لإنتاج الكهرباء

(إنتاج الكهرباء من المصادر المختلفة)	
المصدر : 1 كجم من الوقود	**إنتاج الطاقة الكهربائية (kWhe)**
KG 1 من الخشب	kWh 2~
KG 1 من الفحم	kWh 3~
KG1 من النفط	kWh 4~
KG 1 الغاز الطبيعى	kWh 6~
KG1 من اليورانيوم	kWh (FBR) 3 000 000 kWh (PWR) 60 000~

Source : J. A. Marques de Souza, (January 2002) , current issues in nuclear energy , nuclear power and the environment international nuclear , Published by the American Nuclear Society,pag 23.

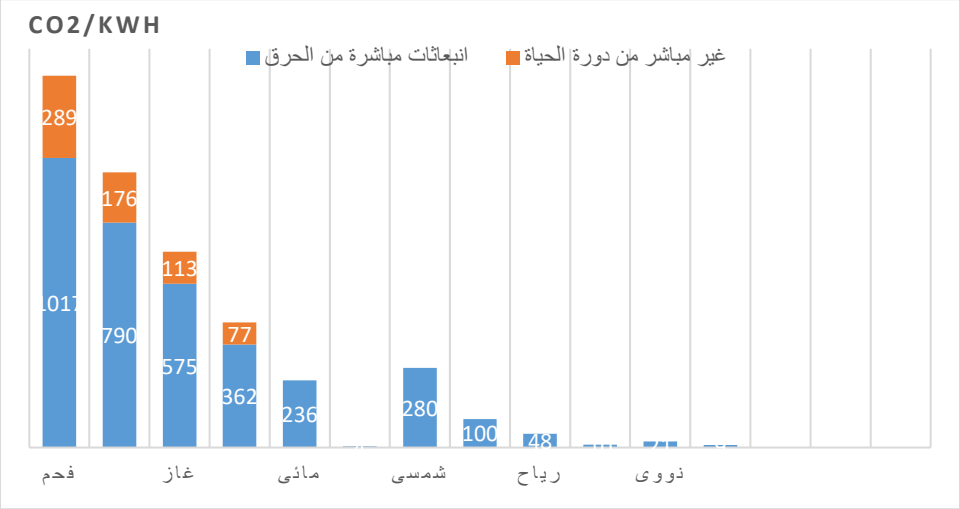
ومن الرؤي الداعية لذلك فإنَّ الطاقة النـــــــــووية لديها العديد من المزايا بالمُقَارَنَةً مع محطات توليد الطاقة التي تستخدم الوقود الأحفوري ؛ حيث تتسم بأنَّها آمنة وموثوق بها ونظيفة ، وعلاوة على ذلك هى مصدر القوة التي لا تنضب عملياً والطاقة منخفضة الكربون ، وبالتالي تقلل من تغير المناخ والاحترار العالمي[53] ؛ فلتحقيق السلامـــــة الأعلى لها دائماً ينتج من تحسين تصاميم المنشآت النـــووية .[54]

ثانياً : مُقَارَنَةً انبعاثات الكربون بين نظم الطاقة المختلفة

يشير هذا الشكل إلى المستويات النسبية لانبعاثات ثاني أكســـــــــيد الكربون الناتجة عن توليد كيلووات / ساعة من الكهرباء من المصـادر المختلفة ، وفي المقابل كل 22 طناً من اليورانيوم المُسـتخدم يوفر حوالي مليون طن من انبعاثات ثاني أكســـيد الكربون مُقَارَنَةً مع الفحم .

INTERNATIONAL JOURNAL OF
MULTIDISCIPLINARY STUDIES ON MANAGEMENT,
BUSINESS, AND ECONOMY
ISSN: 2735-5446 VOLUME 2, ISSUE 1, 2019, 24 – 51. www.egyptfuture.org/ojs/

شكل رقم 8 انبعـــــــاثات غازات الاحتباس الحراري من إنتاج الكهرباء



Source : Powers, A., Crouch, G., & Officer, I. R. S. (2012). Nuclear power: The safe and green alternative. Indian. edu. Alternative , Alexander P Powers Environmental Management , Senior SPEA Honors Thesis Presentation pag 12،16.

ويوضـــح الشـــكل البياني أَنَّ الفحم والوقود التقليدى لديه انبعاثات كبيرة جداً من الغازات الدفيئة ؛ في حين أَنَّ الطاقة النـــــــــــــووية لا تنبعث منها أي غازات دفيئة مباشرة ، ولا تُنْتِجْ إلا الغازات الدفيئة بشكل غير مباشر من تعدين اليورانيوم ، ولا تترك أي أثر للكربون على العالم ، كما ستساعد على مكافحة المشكلة الرئيسية لتغير المناخ [55] ، ومن ناحية أخري فإنَّ النفايات المشعة هي أصغر حوالي مليون مرة من نفايات الوقود الأحفوري [56].

ثالثاً : التقييم الصحي للنظم الرئيسية لإنتاج الطاقة

1) الآثار الصحية لنظم الطاقة المختلفة

إنَّ قضية النفايات النـــــــووية يتم التعامل معها وفق معايير عالمية صارمة للغاية ؛ فمستوى الإشعاع في المناطق المحيطة بالمحطات النـــــووية يتم التحكم فيه بشكل صارم بحيث لا يزيد عن الإشعاع الطبيعى ؛ حتى لا تتجاوز التأثير الصحي العالمي لمعظم عوامل الخطر.

57

INTERNATIONAL JOURNAL OF
MULTIDISCIPLINARY STUDIES ON MANAGEMENT,
BUSINESS, AND ECONOMY
ISSN: 2735-5446 VOLUME 2, ISSUE 1, 2019, 24 – *51.* www.egyptfuture.org/ojs/

جدول رقم 5 تقييم الآثار الصحية لأنواع نظم الطاقة المختلفة

الوفيات لكل تيراوات ساعة من الطاقة من مختلف مصادر الطاقة		
مصدر الطاقة	**معدل الوفيات لكل تيراوات ساعة**	**ملاحظات**
الفحم (متوسط عالمي) Coal	161	يمثل 26% من الطاقة على مستوى العالم
الفحم (في الصين)	278	
الفحم (في الولايات الأمريكية)	15	
البترول Oil	36	يمثل 36% من الطاقة على مستوى العالم
الغاز الطبيعي Natural gas	4	يمثل 21% من الطاقة على مستوى العالم
الكتلة الحية Biomass	12	تمثل أقل من 0.1% من الطاقة على مستوى العالم
الطاقة الشمسية Solar energy	0.44	تمثل 26% من الطاقة على مستوى العالم
طاقة الرياح	0.15	تمثل أقل من 1.0 % من الطاقة على مستوى العالم
المساقط المائية	1.4	تمثل أقل من 2.2% من الطاقة على مستوى العالم
الطاقة النـــووية	0.04	تمثل حوالي 6% من الطاقة على مستوى العالم
الإشعاع في الطبيعة (إشعاع أســاسى)		
متوســط الجرعة الإشــعاعية الســنوية التي يتعرض لها الإنســان من الطبيعة حوالى 2.4 YR /MSV، تختلف مع اختلاف الموقع وارتفاعه عن ســطح الأرض ؛ حيث يترواح ما بين 1-10 YR/MSV ويصـــل إلى أكثر من 50 YR/MSV في بعض الدول . [58]		
أمثلة بالأرقام للتعرض الإشعاعي		
أجهزة المطارات للكشف بالأشعة السينية	5	microSv
السفر بالطائرة لمسافة قصيرة	5	microSv
الســفر بالطائرة لمســافة طويلة ما بين القارات أو عبر خط الاستواء	30-90	microSv
متوســط الجرعة للجمهور من المحطات النـــووية	0.2	microSv/yr

ومن ثم يتضح أنَّ متوسط الجرعة للجمهور من المحطات النـــــووية أقل بأكثر من اثني عشر ألف مرة من متوسط الجرعة السنوية من الإشعاع في الطبيعة)، وتلخيصاً لما سبق ضآلة كمية الإشعاعات الناتجة عن المحطات النـــووية بالمُقَارَنَةً بالأنشطة اليومية التى نُمارِسها .[59]

2) معدلات الوفيات الناجمة عن تلوث الهواء والحوادث المرتبطة بإنتاج الطاقة

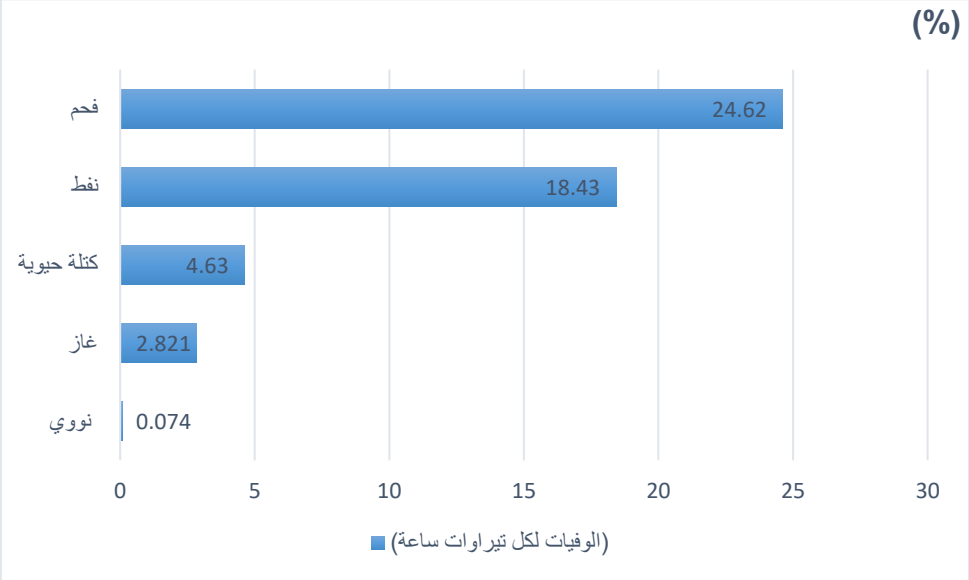
تتمثل المُقَارَنَةً بين مصادر الطاقة المهيمنة - الفحم البني والفحم والنفط والغاز والكتلة الحيوية والطاقة النـــــووية ؛ حيث يوضح الرسم البياني نتائج تحليل معدل الوفيات قصيرة الأجل الناتجة عن الحوادث وتلوث الهواء المتعلقة بإنتاج الطاقة ، ونظرًا لأننا نريد مُقَارَنَة السلامـــــة النسبية لإنتاج الطاقة من مصادر مختلفة ؛ فقد تم توحيد هذه البيانات مع الوفيات الناتجة عن إنتاج ساعة واحدة من الطاقة في كل حالة.

lx

وفي ضـــوء ذلك فمن المهم الإشـــارة إلى أَنَّ الوفيات المرتبطة بتلوث الهواء هي المهيمنة في حالة الفحم البني والفحم والنفط والغاز ؛ حيث أَنَّها تمثل أكثر من 99 ٪ من الوفيات ؛ فضلاً عن 70 ٪ من الوفيات المرتبطة بالنـــــــــووي وجميع الوفيات المرتبطة بالكتلة الحيوية ، ومن ثمَ تُعد الطاقة النـــــــووية أكثر مصادر الطاقة أماناً ؛ مما يؤدي إلى انخفاض عدد الوفيات بنسبة 442 مرة مُقَارَنَةً بالفحم البني لكل وحدة من الطاقة.

INTERNATIONAL JOURNAL OF
MULTIDISCIPLINARY STUDIES ON MANAGEMENT,
BUSINESS, AND ECONOMY
ISSN: 2735-5446 VOLUME 2, ISSUE 1, 2019, 24 – *51.* www.egyptfuture.org/ojs/

شكل رقم 9 معدلات الوفيات من إنتاج الطاقة لكل ساعة تيراوات



المصدر: عمل الباحث طبقاً للبيانات من الموقع التالي https://ourworldindata.org/what-is-the-safest-form-of- energy

ويوضح الشكل السابق أَنَّ معدل الوفيات في محطات الطاقة النـــووية يبلغ 0.074 % مُقَارَنَةً بالغاز 2.821 % والفحم 24.62% لكل تيراوات ساعة ، ومن هذا المبدأ فإنَّ إنتاج الطاقة لا يترتب عليه آثار صحية قصيرة الأجل تتعلق بالحوادث وتلوث الهواء فحســـب، بل أيضـــاً تُسْـــهِمُ في التأثير طويل الأجل للاحترار العالمي، الذي من المرجح أَنْ تكون آثاره (مثل الأحوال الجوية القاسية، وارتفاع مستوى سطح البحر، وانخفاض موارد المياه العذبة وإنتاجية المحاصيل ، وضربة الشمس القاتلة بالنسبة للبعض) .

INTERNATIONAL JOURNAL OF
ADVANCED RESEARCH ON PLANNING AND
SUSTAINABLE DEVELOPMENT

ISSN: 2735-5403 VOLUME 1, ISSUE 1, 2018, 24 – 51. www.egyptfuture.org/ojs/

ومن اِنْعَكَاسَـات تلك الفكرة أصـبح قطاع الطاقة هدفاً لسـياسـات وطنية جديدة تُعزى إلى تحسـين كفاءة التوليد وزيادة اعتماد الجيل غير الأحفوري [63] ، و هذه السياسات تتمثل في تقييم تغير المناخ ، واستخدام موارد الوقود ، واستهلاك المياه ، والحد من خطر التلوث ، وموثوقية توليد الطاقة بكفاءة [64] ، ومن ثمّ هدفت السـياسـات الوطنية إلى زيادة دور إسـهام الطاقة النـــــووية في مزيج الطاقة للتخفيف من تغير المناخ ؛ كما أنَّها تؤمّن كمية كبيرة من الكهرباء منخفضة التكلفة [65] ، وتُعزز التقدم نحو تحقيق أهداف التنمية المُسْـتدَامة بطريقة فعَالة بيئياً وذات كفاءة اقتصـادية [66] ، وتشـجع على دعم التقنيات والمؤسسات والجهات الفاعِلة.[67]

ونستخلص من ذلك أنَّ المزايا التنافسية للطاقة النـــــووية تتمثل في استقرار أسعار الكهرباء وتوافر الوقود ؛ حيث يتيح استخدام الوقود النـــــووي لتوليد الكهرباء استقلالية أكبر في استهلاك الوقود مُقَارَنَةً بموارد الطاقة الأخرى ؛ حتى بالنسبة للبلدان ذات الموارد المحلية المحدودة لتصنيع الوقود النـــــووي ؛ يتم تحميل الوقود النـــــووي على الأكثر مرة واحدة فقط خلال السنة في المحطة ، وهناك متسع من الوقت لاتخاذ الترتيبات اللازمة لتوريد الوقود الجديد.

ويتحقق المبحث من أنَّه عند توليد الكهرباء تكون الطاقة النـــــووية تنافسية من حيث التكلفة مُقَارَنَةً بالتوليد القائم على الوقود الأحفوري بالإضافة إلي معقولية وتنافسية الأسعار ؛ على الرغم من أنَّها تنطوي على تكاليف رأسمالية مرتفعة نسبياً ؛ إضافة إلى متطلبات تكاليف التخلص من النفايات ووقف تشغيلها مع مراعاة التكاليف الاجتماعية والصحية والبيئية للوقود الأحفوري بالنسبة لتكاليف النـــــووي .

References :

[1] Melikoglu, M. (2016). The role of renewables and nuclear energy in Turkey 's Vision 2023 energy targets: Economic and technical scrutiny. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 62, 1-12.
[2] Olatunji, O., Akinlabi, S., Oluseyi, A., Abioye, A., Ishola, F., Peter, M., & Madushele, N. (2018, September). Electric Power Crisis in Nigeria: A Strategic Call for Change of Focus to Renewable Sources. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 413, No. 1, p. 012053). IOP Publishing.
[3] Proskuryakova, L. (2018). Updating energy security and environmental policy: Energy security theories revisited. Journal of environmental management, 223, 203-214.
[4] Ramírez-Camperos, A. M., Rodríguez-Padilla, V., & Guido-Aldana, P. A. (2013). The Mexican electricity sector: Policy analysis and reform (1992–2009). Energy policy, 62, 1092-1103.
[5] Ehab Mohamed Farouk Abd El Aziz Mohi El Din,(2011).An Assessment for Technical, Economic, and Environmental Challenges Facing Renewable Energy Strategy in Egypt , Faculty of Engineering at Cairo University , Faculty of Engineering at Kassel University , MASTER OF SCIENCE ,pp 40.
[6] Maksimović, G., Milosavljević, V., Ćirković, B., Milošević, B., Jović, S., & Alizamir, M. (2017). Analyzing of economic growth based on electricity consumption from different sources. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 484, 37-40.
[7] Feretic, D., & Tomsic, Z. (2005). Probabilistic analysis of electrical energy costs comparing: production costs for gas, coal and nuclear power plants. Energy Policy, 33(1), 5-13.
[8] Atems, B., & Hotaling, C. (2018). The effect of renewable and nonrenewable electricity generation on economic growth. Energy Policy, 112, 111-118.
[9] Devgun, J. (2013). Basic principles for managing nuclear projects. In Managing Nuclear Projects (pp. 3-26).

* *Corresponding author*: abeer_mahamed_a@yahoo.com

[10] Ram, M., Child, M., Aghahosseini, A., Bogdanov, D., Lohrmann, A., & Breyer, C. (2018). A comparative analysis of electricity generation costs from renewable, fossil fuel and nuclear sources in G20 countries for the period 2015-2030. Journal of Cleaner Production, 199, 687-704.

[11] EROI نسبة الطاقة المستردة من الطاقة المستثمر

[12] McCombie, C., & Jefferson, M. (2016). Renewable and nuclear electricity: Comparison of environmental impacts. Energy Policy, 96, 758-769.

[13] World Nuclear Performance Report 2016 , Produced by: World Nuclear Association ,pp3 .

[14] Gallo-Rivera, M. T., Mancha-Navarro, T., & Garrido-Yserte, R. (2013). Application of the counterfactual method to assess of the local economic impact of a nuclear power station. Energy policy, 62, 1481-1492.

[15] Hilliard, H. G. (2014). A New Day for Nuclear: The Impact of Nuclear Energy and Its Effects.

[16] Environmental Impact Assessment Report for a Nuclear Power Plant (September 2008) Published by: Fennovoima Oy: Fennovoima's EIA report is available electronically at fennovoima.pp9 .

[17] Shoai Tehrani, B., Tomoda, T., & Bocquet, J. C. (2014). Electricity Investments and Nuclear Development: Investment Choice Modeling based on Value Creation. HAL.pp 30-50.

[18] Zakariya, N. S., & Kahn, M. T. E. (2014). Nuclear energy, environmental protection and sustainable development.pp 57-60.

[19] Gaigalis, V., Markevicius, A., Skema, R., & Savickas, J. (2015). Sustainable energy strategy of Lithuanian Ignalina Nuclear Power Plant region for 2012–2035 as a chance for regional development. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 51, 1680-1696.

[20] Xiangwan Du,Qizhen Ye,Mi Xu, et al. (2018)Research on Technology Directions and Development Roadmap of Nuclear Energy[J]. Strategic Study of Chinese Academy of Engineering, 20(3): 17-24.

[21] Non-Electric applications of nuclear power (April 2007) , seawater desalination hydrogen production and other industrial applications, proceedings of an international conference oarai , japan , pp 14

[22] White Paper on Nuclear Energy in Jordan"Final Report" Jordan Atomic EnergyCommission , (September 2011) White Paper on Nuclear Energy in Jordan, pp7 .

[23] Ewert Kleynhans , (March 2016) . The feasibility of a nuclear renaissance: A cost-benefit , analysis of nuclear energy as a source of electricity , North West University South Africa ,pp 12.

[24] Martin Boissavit, European Nuclear Young Generation Position, Paper on Nuclear Energy and the Environment ,pp 5, June 2017.

[25] Jewell, J., & Ates, S. A. (2015). Introducing nuclear power in Turkey: A historic state strategy and future prospects. Energy Research & Social Science, 10, 273-282.

[26] The Economics of Nuclear power, World Nuclear Association ,2008 ,pp 7.

[27] The Economics of Nuclear power, World Nuclear Association ,2008 ,pp 13

[28] الدراسة طبقت فى فنلندا

[29] The Economics of Nuclear power, World Nuclear Association ,2008 ,pp 1:16

[30] تشمل تكاليف الإنتاج مجموع تكاليف التشغيل والصيانة وتكاليف الوقود

[31] http://www.world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx

[32] الدراسة طبقت في الولايات المتحدة الأمريكية

[33] World Nuclear Association. (2017). Nuclear Power Economics and Project Structuring: Edition. World Nuclear Association, London, Tech. Rep.pp1-40.

[34] Elshafey, S., Shchadeh, M., Bayoumi, A., Díaz, J., Pernía, A. M., Jose-Prieto, M. A., & Abdelmessih, G. Z. (2018, September). Solar Thermal Power in Egypt. In 2018 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (IAS) (pp. 1-8). IEEE.

[35] Volkov S.N., Sharova A.Y. The Role of the Electricity Sector in the Economic Development of Egypt. Outlines of global transformations: politics, economics, law. 2018;11(5):86-104. (In Russ.)

[36] Ibrahiem, D. M. (2018). Investigating the causal relationship between electricity consumption and sectoral outputs: evidence from Egypt. Energy Transitions, 2(1-2), 31-48.

[37] الذرة والتنمية ، الهيئة العربية للطاقة الذرية ، تونس، العدد الأول 2018 – تصدرها الهيئة العربية للطاقة الذرية ، ص52.

[38] Misra, B. M. (2007). Seawater desalination using nuclear heat/electricity—Prospects and challenges. Desalination, 205(1-3), 269-278.

[39] Khan, S. U. D., Haider, S., El-Leathy, A., Rana, U. A., Danish, S. N., & Ullah, R. (2017). Development and techno-economic analysis of small modular nuclear reactor and desalination system across Middle East and North Africa region. Desalination, 406, 51-59.

[40] Non electric application of nuclear power (April 2007) , seawater desalination hydrogen production and other industrial applications proceedings of an international conference oral , japan 16\17 , pp 406 .

[41] Dvořák, P., Martinát, S., Van der Horst, D., Frantál, B., & Turečková, K. (2017). Renewable energy investment and job creation; a cross-sectoral assessment for the Czech Republic with reference to EU benchmarks. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 69, 360-368.

[42] Dvořák, P., Martinát, S., Van der Horst, D., Frantál, B., & Turečková, K. (2017). Renewable energy investment and job creation; a cross-sectoral assessment for the Czech Republic with reference to EU benchmarks. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 69, 360-368.

[43] Nuclear Energy's Economic Benefits, (April 2014) Current and Future,white paper ,nuclear energy institute,pp3 .

[44] Nuclear Energy's Economic Benefits, (April 2014) Current and Future,white paper ,nuclear energy institute, pp1:5

[45] Pfenninger, S., & Keirstead, J. (2015). Comparing concentrating solar and nuclear power as baseload providers using the example of South Africa. Energy, 87, 303-314.

[46] OECD : ,(2000) Nuclear Energy in a sustainable development perspective. Pp31

[47] IAEA: International status and prospects of nuclear power , ibid ,pp 29.

[48] J. A. Marques de Souza, (January 2002) , current issues in nuclear energy , nuclear power and the environment international nuclear , Published by the American Nuclear Society,pp 22.

[49] Marchenko, O. V., & Solomin, S. V. (2015). Investigation of ecological constraints influence on competitiveness of nuclear power plants. Nuclear Energy and Technology, 1(4), 277-282.

[50] : حيث ان

الإنتاج السنوي: 10000 جيجا واط ساعة.

1هكتار= 10000 مترمربع = 0.01 كيلو متر مربع

6.5 القطارات مع قدرة 1400 طن يوميا، وكل قطار بعربات 35 لكل 40 طناً .

[51] الأرقام المعروضة في هذا الجدول هي قيم متوسطة ، القيم الفعلية هي الموقع والمشروع محددة، (القيم إرشادية فقط ؛ لأنها محددة بدرجة كبيرة في الموقع)

[52] (PWR Pressurized water reactor) مفاعل الماء المضغوط

(FBR Fast breeder reactor) مفاعل المولد السريع

[53] Kotb, S. A., & Abdelaal, M. M. Z. (2018). Analysis of the impact of introduction of nuclear power plants on energy characteristics and environment in Egypt. Electrical Engineering, 100(1), 285-292.

[54] Matsuo, Y., & Nei, H. (2019). An analysis of the historical trends in nuclear power plant construction costs: The Japanese experience. Energy Policy, 124, 180-198.

[55] Powers, A., Crouch, G., & Officer, I. R. S. (2012). Nuclear power: The safe and green alternative. Indian. edu. Alternative , Alexander P Powers Environmental Management , Senior SPEA Honors Thesis Presentation pp 12،16.

[56] Kotb, S. A., & Abdelaal, M. M. Z. (2018). Analysis of the impact of introduction of nuclear power plants on energy characteristics and environment in Egypt. Electrical Engineering, 100(1), 285-292.

[57][57] Smith, K. R., Frumkin, H., Balakrishnan, K., Butler, C. D., Chafe, Z. A., Fairlie, I., ... & McMichael, A. J. (2013). Energy and human health. Annual Review of public health, 34, 159-188.

[58] YR/MSV هي الجرعة الناتجة عن التعرض للإشعاع للفرد لمدة عام واحد .

[59] El-Osery, I. A. (2017). The Egyptian Nuclear Power Project and IAEA Technical Assistance in Supporting the Project and its Nuclear Safeguards (No. IAEA-CN--220). Pp 19, 26 .

[lx] تقاس بالوفيات لكل ساعة تيراوات (TWh) .

[lxi] ملحوظة: تشمل الأرقام الوفيات الناجمة عن حوادث إنتاج الطاقة والوفيات المتعلقة بتأثيرات تلوث الهواء . الوفيات المرتبطة بتلوث الهواء هي المهيمنة ، وعادة ما تمثل أكثر من 99 ٪ من المجموع.

[62] https://ourworldindata.org/what-is-the-safest-form-of-energy.

[63] Khanna, N. Z., Zhou, N., Fridley, D., & Ke, J. (2016). Quantifying the potential impacts of China's power-sector policies on coal input and CO 2 emissions through 2050: A bottom-up perspective. Utilities Policy, 41, 128-138.

[64] Moreira, J. M., Cesaretti, M. A., Carajilescov, P., & Maiorino, J. R. (2015). Sustainability deterioration of electricity generation in Brazil. Energy Policy, 87, 334-346.

[65] Khurshid, S. J.)March 2018(, Nuclear Techniques for Sustainable Development Goals—Pakistan's Perspective.pp1-9.

[66] Ferenc L. Toth , (November 2014) Nuclear energy and sustainable development1 , Energy Policy 74 pp 1-4.

[67] Lindberg, M. B., Markard, J., & Andersen, A. D. (2018). Policies, actors and sustainability transition pathways: A study of the EU's energy policy mix. Research policy.