أزمة الطاقة الكهربائية ودور مصادر الطاقة المتجددة في استدامة قطاع الكهرباء فى مصر

دكتورة

مروه فتحى السيد البغدادى

استاذ الاقتصاد والماليه العامه المساعد بالمعهد المصرى

لأكاديمية الاسكندريه للإداره والمحاسبه – الاسكندريه

المستخلص

يقدم هذا البحث تقييماً اقتصـــادياً لمحطات إنتاج الطاقة الكهربائية في مصـــر باسـتخدام مصـــادر متعددة للطاقة، بما في ذلك الوقود الأحفوري، والطاقة المائية، والطاقة الكهروضـوئية، وطاقة الرياح. تهدف الدراسـة إلى تحديد أقل تكلفة لتوليد الكيلووات سـاعة من هذه المحطات خلال عمر ها التشـــغيلي، مع مرا عاة تحقيق الأ هداف البيئية الوطنية المتعلقة بخفض الانبعاثات الكربونية والحد من آثار ها الاقتصادية الضارة.

يعتمد البحث على الاسـتراتيجية القومية للطاقة المسـتدامة والمتكاملة لمصـر حتى عام 2035، التي تركز على تعزيز اســتخدام مصـــادر الطاقة المتجددة لتلبية الاحتياجات المسـتقبلية من الطاقة الكهربائية. وتشـمل الدراسـة تحليلًا اقتصـاديًا لتحديد متطلبات مصـر من الطاقة الإضـــافية بحلول عام 2035، اســتنادًا إلى معدلات النمو الســكاني ومتوســط استهلاك الفرد، مع اختيار محطات توليد الطاقة الأقل تكلفة وفقًا لمعايير الأسعار العالمية.

تم حســـاب التكاليف الإجمالية لمحطات الطاقة الكهربائية من مصـــادر الوقود الأحفوري والمتجددة بناءً على دراسـة جدوى اقتصـادية تأخذ في الاعتبار أسـعار السـوق العالمية. كما تم تقييم الانبعاثات الكربونية الناتجة عن بعض المحطات كجزء من الطاقة المولدة.

وأظهرت نتائج الدراســـة أن محطات طاقة الرياح تقدم أقل تكلفة لتوليد الكيلووات ســـاعة، بقيمة 0,967 جنيه مصـــري، تليها المحطات الكهروضـــوئية (1,126 جنيه مصـري)، ثم المحطات المائية (1,180 جنيه مصـري)، وأخيرًا المحطات العاملة بالوقود الأحفوري (2,269 جنيه مصـري). كما بينت الدراسـة أنه بحلول عام 2035، من المتوقع أن تصل مساهمة الطاقة المتجددة إلى 27,9% من إجمالي الإنتاج الكهربائي في مصر، ما يعادل 65,439 تيراوات، مع اســتمرار المحطات العاملة بالوقود الأحفوري في إنتاج 168,63 تيراوات، لتشكل 72.1% من الإجمالي مقارنة بـ89,77% في عام 2021.

ويعكس ذلك تحولًا تدريجيًا نحو الاعتماد الكامل على الطاقة المتجددة، مما يســهم في خفض الانبعاثات الكربونية، تحســين المناخ، وتقليل اســتهلاك الوقود الأحفوري. بالإضـافة إلى ذلك، توضـح الدراسـة أن اسـتخدام طاقة الرياح بحلول عام 2035 سـيوفر 3,49 مليار دولار سـنويًا في تكاليف إنتاج الطاقة، مما يمثل مكسـبًا اقتصـاديًا كبيرًا يدعم الاقتصاد المصري.

الكلمات الدالة : الطاقة الشمسية - الطاقة المائية – طاقة الرياح – محطات الطاقة الإحفورية – مصادر الطاقة الكهربائية - محطات الطاقة المتجددة – تكاليف إنشاء المحطات – تكاليف التشغيل.

Abstract:

This research provides an economic assessment of power generation plants in Egypt using multiple energy sources, including fossil fuels, hydropower, photovoltaic energy, and wind energy. The study aims to determine the lowest cost of generating kilowatt-hours from these plants during their operational life, considering achieving national environmental goals related to reducing carbon emissions and limiting their harmful economic impacts.

The research is based on Egypt's National Strategy for Sustainable and Integrated Energy until 2035, which focuses on enhancing the use of renewable energy sources to meet future electricity needs. The study includes an economic analysis to determine Egypt's additional energy requirements by 2035, based on population growth rates and average per capita consumption, while selecting the least expensive power generation plants according to global price standards.

The total costs of power plants from fossil and renewable fuel sources were calculated based on an economic feasibility study that considers global market prices. The carbon emissions resulting from some plants were also evaluated as part of the generated energy.

The study results showed that wind power plants offer the lowest cost per kilowatt-hour, at EGP 0,967, followed by photovoltaic plants (EGP 1,126), then hydropower plants (EGP 1,180), and finally fossil fuel-powered plants (EGP 2,269).

The study also showed that by 2035, renewable energy is expected to contribute 27,9% of Egypt's total electricity production, equivalent to 65,439 terawatts, with fossil fuel-powered plants continuing to produce 168,63 terawatts, constituting 72,1% of the total compared to 89,77% in 2021.

This reflects a gradual shift towards full reliance on renewable energy, which contributes to reducing carbon emissions, improving the climate, and reducing fossil fuel consumption. In addition, the study shows that using wind energy by 2035 will save $3,49 billion annually in energy production costs, which represents a significant economic gain that supports the Egyptian economy.

key words:

Solar energy - hydro energy - wind energy - fossil energy plants - renewable energy - costs of carbon emissions - electric energy sources - renewable energy plants - plant construction costs - operating costs.

المقدمة :

تزايد الطلب على الطاقة الكهربائية بمصر نتيجة الزيادة السنوية فى تعداد السكان، وذلك لتقديم الإحتياجات المطلوبة للقطاع السكني والقطاع الصناعي والقطاع التجاري والخدمات وغيرها، وإلتزام مصر كدولة رائدة في مجال حماية البيئة ومواجهة أثر تغير المناخ بالعمل على خفض الإنبعاثات الكربونية في مجال توليد الطاقة وبخاصة توليد الطاقة الكهربائية، مما يتطلب التحول التدريجي المستقبلي من توليد الطاقة الكهربائية من المحطات التي تعمل بالوقود الإحفوري الى إنشاء محطات تعمل بالطاقة الجديدة والمتجددة، لتحقيق أهداف إقتصادية وبيئية.

تعتبر الطاقة الكهربائية قيمة إقتصادية أساسية تعكس مدى نهضة الأمم وتحضرها، حيث يتحدد بناء على متوسط إستهلاك الفرد من الكهرباء في الدول مدى القدرة على إستخدام الآلة والإستفادة بها في الإنتاج ومدى تقليل الجهد البشري ،وتقليل الحاجة إليه في إنجاز الأعمال.

يسعى صُناع القرار لإنشاء محطات طاقة كهربائية لتوفير الإحتياجات القومية وتلبية الإحتياجات المتزايدة بشكل سنوي كنتيجة لزيادة عدد السكان وزيادة الخدمات. وتتمتع مصر بوفرة من موارد الطاقة المتجددة وبخاصة الطاقة الشمسية حيث تصل متوسط تعداد الساعات المشمسة إلى 11 ساعة يومياً وهذه معدلات مرتفعة وذات قيمة كبيرة، كما تتمتع مصر بموارد عالية من طاقة الرياح حيث يبلغ متوسط سرعة الرياح السنوية من 8 : 10 م/ثانية على ساحل البحر الأحمر، ومن 6: 8 م/ ثانية على إمتداد ضفاف النيل الجنوبية الغربية، وفي جنوب الصحراء الغربية وهو مايمكن إستخدامه لتوليد طاقة الرياح.([1])

بالإضافة الى الطاقة المائية التي تمثل ثالث مصدر للطاقة في مصر بعد المصادر المشتقة من الوقود الإحفوري. ([2])

وقد سعت الحكومة المصرية على وضع إستيراتيجية لتنويع مصادر الطاقة الكهربائية تعرف بإسم الطاقة المتكاملة والمستدامة وذلك حتى العام 2035، لضمان تحقيق التنمية المستدامة وتوفير الإحتياجات من الطاقة.

إشكالية البحث :

يسعى البحث لإيجاد حل لأزمة الكهرباء في مصر من خلال إنشاء محطات توليد الطاقة الكهربائية من مصادر الطاقة المتجددة لتعظيم الإستفادة من ثروات مصر الطبيعية

[1]International Renewable Energy Agency IRENA: international renewable energy agency 2018, July 2019.

[2] الهيئة العامة للاستعلامات: مصر2022، https://www.sis.gov.eg/section/0/10?lang=ar،تاريخ الدخول25 يوليو2024

والفرص والقدرات المتاحة لتوليد الطاقة الكهربائية في مصـــر، طبقاً للإحتياجات الحالية والمستقبلية.

هدف البحث :

يســـتهدف البحث مواجهة أزمة الطاقة الكهربائية وإبراز دور مصـــادر الطاقة المتجددة في تحقيق الإستدامة لقطاع الكهرباء فى مصر.

أهمية البحث :

تحديد أنسب البدائل لتوليد الكهرباء من خلال مصادر الطاقة المتجددة فى مصر.

منهج البحث:

إعتمد البحث على المنهج الإستقرائي لتحليل الاستخدامات الحالية للطاقة الكهربائية وتقدير الإحتياجات المســـتقبلية والتخطيط لتلبيتها مع توظيف المعارف والأســـاليب والرياضـية للتحليل الإقتصـادي للبيانات من المصـادر الموثوق بها، وبمرجعية الأ سـعار العالمية لإختيار أفضل البديل يناسب الإستثمارات طويلة الأجل فى مصر.

خطة البحث:

المبحث الأول: إشكالية إنتاج واستهلاك الطاقة الكهربائية فى مصر
المبحث الثانى: مصادر الطاقة المتجددة وتكلفة استخدامها لتوليد الكهرباء فى مصر

المبحث الأول
إشكالية إنتاج واستهلاك الطاقة الكهربائية فى مصر

تمهيد وتقسيم:

اهتمت الحكومات المصـــرية المتعاقبة اهتماماً كبيرًا بقطاع الطاقة خلال العقود الأخيرة، إذ ترى أن تطبيق اسـتراتيجية الطاقة المتكاملة والمسـتدامة هى إحدى أهم ركائز التنمية الاقتصـــادية والاجتماعية، وهو الأمر الذي جعلها تخطو خطوات جادة وســـريعة نحو تحقيق زيادة إنتاج مصـر من المنتجات البترولية لتخفيض فاتورة الاسـتيراد واسـتدامة توفير الوقود للسـوق المحلية، وقد شـمل ذلك عوامل عدة،من بينها:عمليات الاسـتكشـاف والإنتاج، ورفع كفاءة وتطوير منظومة التكرير، وتنويع مصـــادر الطاقة، والتوســـع في المشروعات التي تساعد في ترشيد استهلاك الوقود، وأيضاً تلك التي تُسهم في جذب المزيد من الاستثمارات لقطاع البترول المصري.

فى ضـــوء ذلك نتناول حديثنا عن إشـــكالية إنتاج واســـتهلاك الطاقة الكهربائية فى مصر من خلال ما يلى:

المطلب الأول: تحديات أزمة مصادر الطاقة الأحفورية
المطلب الثانى: واقع توليد الطاقة الكهربائية فى مصر
المطلب الثـالـث: تحليـل تطور الطـاقـة الكهربـائيـة فى مصـــر بـالفترة 2010/2009-2024/2023

المطلب الأول

تحديات أزمة مصادر الطاقة الأحفورية

أولا: هيكل إنتاج الطاقة الأولية

تعتمد مصـــر على خليط من موارد الطاقة أغلبها من الوقود الأحفوري بنســـبة 98,8% بينما تعتمد بنســبة 1,2% على المصـــادر المتجددة الأخرى في الحصـــول على احتياجاتها من الطاقة اللازمة لأغراض التنمية المختلفة ويستهلك قطاع الكهرباء في مصر حوالي 30% من انتاجها من الوقود الأحفوري.

وبمقارنة هيكل إنتاج الطاقة الأولية فى مصر بنظيرة على المستوى العالمى يتضح التبـاين فى العـديد من الجوانـب، من أبرزهـا توجـه العـالم نحو مزيـد من الاعتمـاد على المصـادر الجديدة والمتجددة فى هيكل الإنتاج، وذلك مقابل تراجع الاعتماد على المصـادر غير المتجددة من الطاقة؛ حيث ارتفعت حصـــة مصـــادر الطاقة المتجددة من إجمالي الاســـتهلاك العالمي فى عام 2023 لتصـــل إلى 14,6%، بينما تراجعت نســـبة الوقود الأحفوري 0,4%، لكنه لا يزال يشـــكل 81,6% تقريباً من مزيج الطاقة. وذلك مقابل

إجمالي اســـتهلاك مصـــر لحوالي 6% من الطاقة المتجددة و1% من الفحم، ويتوقع أن يستمر الارتفاع فى العام الحالي 2024 بنسبة 0,4% عن العام السابق.([1])

وإزاء ذلك الوضـــع كان لابد من إيجاد مصـــادر بديلة متجددة للطاقة، والتخلي تدريجياً عن المصـــادر التقليدية القابلة للنفاد والملوثة للبيئة، وقد انعكس ذلك على توقعات الطلب العالمي على مصادر الطاقة المختلفة منها البترول.

جدول (1) الاتجاهات المتوقعة للطلب العالمى

على مصادر الطاقة التقليدية والمتجددة خلال الفترة 2019 -2045

المصدر	مستوى الطلب المتوقع مليون وحدة متكافئة						متوسط معدل النمو السنوى	النصيب النسبى من الطلب العالمى	
	2019	2025	2030	2035	2040	2045		2023	2045
بترول	93,2	91,0	97,7	99,3	99,7	99,5	0,3	31,5	27,5
فحم	76	77,1	75,1	74,3	72,8	71,0	-0,3	26,7	19,7
غاز	68	66,9	76,2	82,2	87,3	91,2	1,2	23,1	25,3
طاقة نووية	15	14,4	17,5	19,1	20,8	22,1	1,7	5,0	6,1
طاقة كهرومائية	7,8	7,3	8,8	9,5	10,2	10,5	1,4	2,5	2,9
طاقة حيوية	27	26,4	31,0	32,9	34,6	35,5	1,2	9,1	9,8
اخرى متجددة	5,1	6,0	15,5	20,8	26,8	31,4	6,6	2,1	8,7
الإجمالى	292,1	289,1	321,9	338,1	352,3	361,3	0,9	100,0	100,0

[1] OPEC: World Oil Outlook 2045, Vienna, Austria, Oct. 2020, p7.

Source :OPEC ,World Oil Outlook 2045, Vienna , Austria, Oct.2020, p7

يتبين من الجدول السـابق رقم(1)،أن توقعات اتجاه الطلب العالمي على مصـادر الطاقة المختلفة تكون على النحو التالي:([1])

أ- زيادة الطلب العالمي على الطاقة من 892 مليون "وحدة مكافئة للبرميل" في المتوسـط يومياً عام 2019 إلى 361 مليون " وحدة مكافئة" يومياً عام 2045 ، بمتوسط معدل نمو سنوي يقدر بنحو 0,9 % خلال الفترة " 2019 – 2045".

ب- يظل البترول المصدر الأول للطاقة، على الرغم من توقع انخفاض نصيبه النسبي من الطلب العالمي، من 32,5% عام 2019 إلى نحو 27,5% عام 2045،بمعدل نمو سنوي يقدر بنحو 0,3% في المتوسط. في ظل توقع بزيادة النصيب النسبي للغاز الطبيعي من23,1% عام 2019 إلى 25,3% عام 2045، وبمعدل نمو يبلغ 1,2% في المتوسط خلال الفترة " 2019 -2045".

ج- انخفاض الطلب العالمي على الفحم بمعدل سـنوي قدره 0,3% في المتوسـط، مع انخفاض نصـيبه النسـبي من الطلب العالمي على الطاقة من 26,7% عام 2019 إلى 19,7% عام 2045.

د- ارتفاع النصـيب النسـبي لإجمالي مصـادر الطاقة المتجددة من 13,7 % في عام 2019 إلى حوالي 21,4 % في عام 2045 . لتفوق في ذلك النصـيب النسـبي المتوقع للفحم في عام 2045 . وتسـجل أعلى معدل نمو سـنوي مقارنة بمصـادر الطاقة غير المتجددة يقدر بنحو 3,1 % في المتوسط.

نمو مصـادر الطاقة المتجددة الأخرى، من الطاقة الشـمسـية، الرياح والأرض الحرارية، مقارنة بباقي مصادر الطاقة، سواء من الناحية المطلقة أو النسبية خلال الفترة " 2019– 2045"،حيث يقدر معدل النمو السـنوي بنحو6,6% في المتوسـط، وزيادة تبلغ 25,4 مليون وحدة مكافئة، لتفوق أعلى زيادة يتوقع تحقيقها من المصـادر الأخرى، التي يحققها الطلب على الغاز الطبيعي بزيادة تقدر بحوالي24,3 مليون وحدة مكافئة خلال تلك الفترة. ([2])

ويتضـح من الاتجاهات السـابقة، تراجع الأهمية النسـبية لمصـادر الطاقة التقليدية عالمياً لصـالح مصـادر الطاقة المتجددة، فعلى المدى المتوسـط سـيكون للغاز الطبيعي والطاقة المتجددة قدراً كبيراً من استثمارات الشركات والدول نحوها، وعلى المدى الطويل فإن مصـادر الطاقة المتجددة سـيكون لها الأولوية في ظل تمتعها بمزايا تنافسـية مقابل

[1] د/راضـي السـيد عبدالجواد: الاتجاهات الحديثة نحو الطاقة المتجددة في الدول البترولية-"دراسـة تحليلية"،مجلة الدراسـات التجارية والادارية، المجلد(3)، العدد(1)،كلية التجارة ، جامعة دمنهور،2022، ص109-110

[2] هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة:التقرير السنوى لعام2023،وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة،القاهرة،2024، ص9

المصـــادر التقليدية، بما يضـــع تحدياً أمام الدول يتطلب أخذ هذه الاتجاهات الحديثة في الاعتبار عند بناء خططها التنموية.([1])

ثانيا: تحديات قطاع الطاقة فى مصر

يواجه قطاع الطاقة فى مصر العديد من التحديات، والتى يتمثل أبرزها فيما يلى:([2])

- ارتفاع نصيب الوقود الأحفوري فى هيكل إنتاج الطاقة فى مصر، فى الوقت الذى يتجه العالم نحو المزيد من الاعتماد على المصـــادر الجديدة والمتجددة فى هيكل الإنتاج،وذلك مقابل تراجع الاعتماد على المصـادر غير المتجددة من الطاقة. حيث تبلغ نســـبة إنتاج الزيت الخام والمتكثفات والغاز الطبيعى نحو96%من إجمالي إنتاج الطاقة الأولية فى مصر، بينما تبلغ هذه النسبة نحو 52,8 %عالمياً.
- هذا فضـــلاً عن تنوع هيكل إنتاج الطاقة الأولية العالمي مقارنة بمصـــر، إذ بدأت العديد من الدول فى تكثيف إنتاج الفحم فى هيكل إنتاج الطاقة لديها، وقد شـــكلت هذه النسبة فى دول العالم خلال عام 2023 نحو28,8%.

وتعد مصـــر من الدول التي تنتج كميات مقبولة من الطاقة الأحفورية متمثلة في البترول والغاز الطبيعي.إلا أنها تســـتهلكها بكثافة وفقا لتقديرات إدارة معلومات الطاقة الأمريكية EIA التي أكدت أن معدلات استهلاك النفط في مصر في تزايد مستمر و يفوق معدلات الإنتاج. بينما العكس فى معدلات إنتاج الغاز تفوق معدلات الاستهلاك، الأمر الذى يتيح تصدير الغاز للخارج و بكميات كبيرة.([3])

ورغم جهود مصـــر فى زيـادة إنتـاج الوقود الأحفوري إلا أن معـدلات الإنتـاج والاستهلاك تعكس التحديات التي تواجها مصر في قطاع الطاقة والتى تتمثل فى: البترول، والغاز الطبيعى، والفحم وفيما يلى نشير إلى واقع إنتاج واستهلاك كل منهم فى مصر على النحو التالى ...

أ- البترول

تعتبر مصـــر أكبر منتج للبترول من خارج دول الأوبك في قارة أفريقيا وثاني أكبر منتج للغاز الطبيعي في القارة بعد الجزائر، كما تقوم مصر بدور محوري في سوق الطاقة الدولي من خلال قناة السويس أو أنابيب سوميد والتي تعتبر المعبر الرئيسي للبترول الذي يتم تصديره من الخليج العربي إلى أوروبا و الى الولايات المتحدة الأمريكية.

إن مصـــر تمتلك 4,4 مليار برميل من احتياطيات البترول المثبت في يناير 2015 وقد أدت الاكتشـــافات البترولية الجديدة إلى زيادة تقديرات احتياطي مصـــر على مدى

---

[1] د/منى عبدالقادر:آفاق الطاقة فى مصـــر،تقارير قطاعية، قطاع الاســـتثمار والموارد، بنك الاســـتثمار القومى، المجلد(2)،العدد(7)،ديسمبر2018،ص5 .

[2] د/نفين كمال:إطار لرؤية مستقبلية لاستخذام مصادر الطاقة الجديدة والمتجددة ،معهد التخطيط القومى ،سلسلة قضايا التخطيط والتنمية(261)، القاهرة،أغسطس2015،ص37-39 .

[3] د/إبراهيم الغيطانى& د/أمانى عبدالغنى:الطاقة المتجددة فى مصـــر"فرص الخروج من شـــبح نضـــوب الطاقة"، المركز المصرى للدراسات والمعلومات، القاهرة،أغسطس2012، ص10

السنوات القليلة الماضية فقد تم اكتشاف " 86 " اكتشافا من البترول و الغاز الطبيعي في عام 2018 معظمها من البترول.([1])

حيث سجل الاستهلاك المحلى لمصر من النفط أعلى مستوى له، حيث بلغ حوالي836 ألف برميل من النفط خلال عام 2016، ثم بدأ فى الإنخفاض التدريجى حتى بلغ فى عام 2020 حوالى 598 ألف برميل يومياً، قبل أن يعاود الإرتفاع مرة أخرى خلال عام 2022 ليصل إلى حوالي750 ألف برميل يومياً، مقابل 644 ألف برميل يومياً خلال عام2021. ([2])

تشير تقديرات حديثة، إلى توقع انخفاض إنتاج مصر من النفط خلال العام الحالى 2024 والعام التالي 2025، رغم نجاح البلاد في اكتشاف حقول جديدة العام الماضي2023، وتوقيع المزيد من الاتفاقيات للتنقيب عن النفط والغاز. وتراجع إجمالي إنتاج النفط والغاز في مصر خلال العام الماضي2023 إلى 74 مليون طن(525,4 مليون برميل)، مقابل 97,5 مليون طن (692,25 مليون برميل) خلال 2022، نتيجة انخفاض الغاز الطبيعي بصفة خاصة. ([3])

ب- الغاز الطبيعي

وتقدر احتياطات الغاز الطبيعي و بحوالي 2466 مليار/م³ في نهاية عام 2010 وفقا لتقديرات ذات العام، مما يشير إلى قدرتة العالية على مواجهة الطلب المتزايد على الطاقة الأحفورية. ويعتبر الغاز الطبيعي الوقود الأكثر استهلاكاً في مصر، يليه البترول والسوائل الأخرى، حيث شكلت الطاقة المتجددة والفحم في عام 2021 حوالي 6% و 1%على التوالي من إجمالي استهلاك الدولة، وتستهدف وزارة البترول والثروة المعدنية زيادة معدلات إنتاج الغاز الطبيعى بنسبة، 100% لتصل إلى 8 مليار/قدم³/يوميا من الغاز الطبيعى خلال عام 2021/2020 بالمقارنة بالإنتاج خلال عام 2015 والذى لم يتجاوز 4,2 مليار/قدم³ يوميا.

يُعد قطاع الكهرباء من أهم القطاعات التي تستحوذ على النصيب الأكبر من إنتاج مصر من مشتقات الوقود الأحفوري خاصة الغاز الطبيعي، وبنسبة تتعدى أكثر من حوالي 60% من إنتاج الغاز الطبيعي.

فقد استهلكت مصر فى عام 2023 حوالي 100مليون م³ من الغاز الطبيعي يومياً لتشغيل محطات الكهرباء، بما يعادل حوالي 300 مليون جنيه يومياً على أساس أسعار

---

[1] د/أحمد محمد عبد الحميد مهينة و(آخرون): مصادر الطاقة الكهربائية المتاحة في مصر والعالم، مجلة العلوم البيئة،معهد الدراسات والعلوم البيئية، جامعة عين شمس، المجلد (43)،الجزء(1)، سبتمبر2018، ص526

[2] د/أحمد سلطان: المنتجات البترولية:هل تستطيع مصر الوصول إلى الاكتفاء الذاتي؟، المركز المصرى للفكر والدراسات الاستراتيجية، متاح على الموقع: https://ecss.com.eg/45811/ تاريخ الحصول علية:5 يوليو2024

[3] وحدة أبحاث الطاقة:ملف خاص حقول النفط والغاز فى الدول العربية" تقرير يكشف توقعات إنتاج مصر من النفط خلال2024 و2025،واشنطن ،الولايات المتحدة، متاح على الموقع التالي: https://attaqa.net/2024/01/21 تاريخ الحصول علية:5 يوليو2024

الغاز الطبيعي لعام 2023، وذلك فقط في تلبية احتياجات محطات الكهرباء. وعليه إحتلت مصر المركز الثامن في القائمة، بحجم توليد بلغ حوالي 169تيرا/واط/ساعة متساوية مع كوريا الجنوبية بالمركز التاسع.([1])

وقد تراجعت قيمة واردات مصر من النفط ومشتقاته في العام الماضي2023 بنسبة حوالي 6%على أساس سنوي، وذلك على خلفية انخفاض أسعار النفط الخام عالميًا،بعد ارتفاعها في عام 2022 بسبب الحرب الروسية الأوكرانية، حيث بلغت قيمة واردات مصر النفطية حوالي11,8مليار دولار في عام 2023، بتراجع حوالي 746مليون دولارعن عام 2022، بحوالي12,5 مليار دولار.وبالنظر إلى واردات مصر من المنتجات والمشتقات البترولية، نجد أن مصر استوردت شحنات وقود بقيمة بلغت حوالي3,3 مليارات دولار خلال الربع الأول من العام الجاري 2024، بزيادة تصل حوالي 6% مقارنة بذات الفترة من العام الماضي 2023، والذي شهد واردات بقيمة حوالي3,1 مليارات دولار.

جدول رقم (2)
الصادرات و الواردات من البترول الخام والمنتجات البترولية
فى الفترة 2015/2014 -2023/2022 (القيمة بالمليار دولار)

العام المالي	الصادرات	الواردات
2010/2009	10,2	5,16
2011/2010	12,1	9,26
2012/2011	11,25	11,77
2013/2012	13,0	12,1
2014/2013	12,3	13,2
2015/2014	8,9	12,4
2016/2015	5,7	9,3
2017/2016	6,6	12
2018/2017	8,7	12,4
2019/2018	11,5	11,5
2020/2019	8,4	8,9
2021/2020	8,5	8,6
2022/2021	17,9	13,5
2023/2022	13,8	13,4

المصدر:البنك المركزى المصرى،نشرة ميزان المدفوعات،القاهرة،أعداد مختلفة

حيث يشير الجدول السابق رقم (2)، إلى أن المنتجات البترولية قد استحوذت على حوالي 2 مليار دولار من إجمالي فاتورة الاستيراد، بنسبة تراوحت بين60 : 70% خلال

[1] وحدة أبحاث الطاقة: متاح بالموقع https://attaqa.net/2024/01/21 تاريخ الحصول علية:5 يوليو2024

الفترة المذكورة، بينما اقتصرت باقي قيمة الواردات على شحنات الفحم والنفط الخام الذي يوجه إلى معامل التكرير المصرية.ومن ثمة فقد شهدت الفترة من 2014-2023 زيادة حوالي 40%من إنتاج البنزين والسولار.([1])

كما أدت الزيادة السكانية إلى ارتفاع مستمر في عدد مستهلكي الطاقة في جميع أنحاء العالم. وقد فرض هذا النمو السكاني ضغوطا كبيرة على موارد الطاقة المنزلية،على الرغم من اكتشافات الغاز الطبيعى البحرية فى الأونة الأخيرة. مما أدى إلى زيادة الطلب على الوقود، وبالتالي زيادة أزمة الطاقة في مختلف المناطق. ومع التقدم في تقنيات الطاقة المتجددة كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح، التزمت مصر بتوسيع قدرتها على الطاقة المتجددة لتلبية احتياجات توليد الكهرباء اعتباراً من عام 2014.

وتعتمد التنمية الاقتصادية فى مصر بشكل كبير على قطاع الطاقة المتجددة الذى يمثل 13,1%من الناتج المحلى الاجمالى، وتحقيقاً للتنمية الاستراتيجية تسعى مصر إلى التنويع في مصادر الطاقة وتحقيق النمو الاقتصادي المستدام. حيث يبلغ إجمالى القدرات المركبة لمصادر الطاقة المتجددة حوالى3,7 جيجا/واط، تشمل2,8 جيجا/واط من الطاقة الكهرومائية، و0,9 جيجا/واط من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح.

ج- الفحم

لقد تم تطوير الاستراتيجية الوطنية للطاقة طويلة المدى حتى2035 وتضمنت دراسة جميع سيناريوهات الطاقة فى مصر، ومن المتوقع أن تصل نسبة صافي إنتاج الكهرباء من محطات الكهرباء التي تعمل بالفحم في عام 2035 إلي حوالي33% من إجمالي الطاقة المنتجة وستصل القدرات المركبة من محطات الفحم إلي حوالي81 جيجا/واط.

و يتخذ حاليا قطاع الكهرباء الإجراءات اللازمة للإعداد لطرح إنشاء محطات إنتاج الكهرباء باستخدام تكنولوجيا الفحم النظيف بالتعاون مع القطاع الخاص بقدرات تصل إلى20 ميجا/واط في موقع الحمراوين على ساحل البحر الأحمر بمشاركة شركات يابانية وصينية وأمريكية، ومن المخطط أن تتراوح فترة تنفيذ المحطة بين5-6 سنوات، كما يقوم قطاع الكهرباء بدراسة إنشاء مجمع عيون موسى لطاقة الفحم على مراحل بقدرة 2 × 660 ميجا/واط بالتعاون مع شركة النويس بنظامBOOT.([2])

وقد وضعت الحكومة المصرية أهدافاً طموحة فى استراتيجية الطاقة المتكاملة والمستدامة حتى عام 2035 لزيادة حصة الطاقة المتجددة إلى20% بحلول عام 2022 و42% بحلول عام 2035، كجزء من استراتيجية التنمية الشاملة والمستدامة.

---

[1] المرجع السابق مباشرة

[2] Energy Information Administration, Country Analysis Brief, And February 2011, available on: http://www.eia.gov/cabs/Egypt/Full.html ,Last login:5 July 2024

المطلب الثانى

واقع توليد الطاقة الكهربائية فى مصر

تتم إدارة قطاع الكهرباء في مصـــر من خلال وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، ويخضـــع لرقابـة المجلس الأعلى للطـاقـة. يتولى جهـاز تنظيم مرفق الكهربـاء وحمـايـة المستهلك تنظيم القطاع، وهو المسؤول عن تنفيذ قرارات السياسات وإدارة الترخيص. منذ عام 2015، أصبح الجهاز مسؤولاً عن تحديد الأسعار بموجب قانون الكهرباء الجديد رقم 87 لعام 2015، الذي منح وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة وجهاز تنظيم مرفق الكهرباء وحماية المستهلك سلطة تحديد تعريفة الكهرباء، مما خفف العبء المالي عن الحكومة.([1])

أدى إصـدار قانون الكهرباء الجديد إلى إنهاء احتكار النقل والتوزيع وإنشـاء سـوق طاقة تنافسي جديد يقوم على العقود الثنائية. ومع ذلك، لا تزال المشـاركة الخاصـة محدودة النطاق، إذ لا تمثل ســوى 10% من إجمالي توليد الطاقة الكهربائية من مصـــادر غير متجددة. وتعمل هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة بصـــورة مســتقلة عن الشـــركة القابضـــة للكهرباء المصـــرية وغيرها من شـــركات الكهرباء المملوكة للدولة، و لكنها تتبع وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة وجهاز تنظيم مرفق الكهرباء وحماية المستهلك.

- **تكلفة وتعريفة الكهرباء:**

مهدت أزمة الطاقة المتفاقمة منذ عام 2014 للإعتماد على التمويلات الخاصـة بدلاً من التمويلات العامة، واســتلزم ذلك تغيير دور الأجهزة القائمة على إنتاج الكهرباء في مصر من هيئة مقدّمة للخدمة العامة إلى شركة، تنافس شركات القطاع الخاص.

ينص قانون الكهرباء الجديد رقم(87) لعام 2015 على تحديد تعرفه الكهرباء طبقا لتكلفة إنتاج الطاقة أو خدمة الطاقة غيرات المتعلقة بها بما في ذلك تكلفة نقل الطاقة ومعدل التضخم ومعامل الوقود أضيف إليها مؤخراً الأهداف التي حددتها سياسة إصلاح منظومة الدعم. ويســتند هذا إلى منهجية حســاب وضـــعها جهاز تنظيم مرفق الكهرباء وحماية المســتهلك متوســط تكلفة إنتاج الكهرباء في مصـــر0,045 دولار أمريكى أي ما يعادل 0,855 جنيه مصــرى لكل كيلو واط ســاعه فى عام2017 حيث ارتفعت من 0,04 دولار أمريكي أي ما يعادل 0,64 جنيه مصرى لكل كيلو واط ساعه فى عام 2014.

وباسـتخدام نظام الشـرائح تتفاوت تعرفة الكهرباء في مصـر طبقا المسـتوى الجهد المغذي ونوع مجموعة المسـتهلكين وكمية الاسـتهلاك، وتوقيت قدرات الاسـتهلاك "وقت الذروة أو خارج وقت الذروة". وتمت المصـــادقة رســـميا على الخطة الخمســـية للوقف التدريجي للدعم الداخلي في قطاع الكهرباء بنهاية العام المالي 2019/2018 طبقا لقرار رئيس مجلس الوزراء الصادر فى 5 يوليو2014.([2])

---

[1] جهاز تنظيم مرفق الكهرباء وحماية المستهلك 2015.

[2] وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة:الخطة الوطنية لتحسين كفاءة الطاقة(2018-2020)، ص38

وعلى رغم أن الزيادة السنوية للتعريفة أتاحت للحكومة توفير18 مليار جنيه مصري من فاتورة دعم الكهربائي إلا أن الحكومة قامت مؤخرا بتمديد الدعم حتى عام 2022 وخضعت الخطة للمراجعة مرتين في يوليو2015 و2016 لضمان حماية المستهلكين ومحدودي الدخل وتعويض الزيادة المتسارعه في الإنفاق على المحطات الجديدة مع مراعاة تغييرات سعر الصرف الدولار الأمريكي.([1])

- **أزمة توليد الكهرباء في مصر وأسبابها:**

وأشارت بعض الاحصائيات، إلى أن مصر لديها ما يزيد عن احتياجاتها من الطاقة المولدة، مهما زادت الحمولة. وأن أقصى حمل متوقع أسبوعيا يبلغ حوالي35 ألف/ميجا/واط، في حين يبلغ مقدار الطاقة التي يمكن توليد ها "الطاقة الاسمية" تبلغ حوالي59,866 ميجا/واط.([2])

وهنا يثور تساؤل: لماذا الانقطاع المتكرر للكهرباء فى مصر إذا؟

يعود ذلك إلى الأسباب التالية :

أ- **استمرار تراجع الإنتاج المحلي من الغاز مقابل ارتفاع الطلب من جانب قطاع الكهرباء،** حيث أن محطات الكهرباء تستهلك من70: 75 %من إنتاج مصر من الغاز الطبيعي، الأمر الذي أدى بطبيعة الحال إلى التأثير المباشر على شبكة الكهرباء. ([3])

ب- **انخفاض إنتاج مصر من الغاز الطبيعي خلال العام الماضي2023** إلى أدنى مستوياته منذ عام2017 بحوالي11,5% أى بمقدار7,67 مليار/م³، ليصل إلى 59,29 مليار/م³، مقابل 66,96 مليار/م³ في عام 2022، كما واصل تراجعه أيضا في الأشهر الأولى من العام الحالي 2024. حيث بلغ إجمالي إنتاج الغاز في مصر 13,429 مليار/م³، مقابل15,537مليار/م³عن ذات المدة من العام السابق2023. ([4])

ج- **استمرار الحكومة في سياسة تخفيف الأحمال، مع استهداف زيادة إنتاج الغاز الطبيعي بنحو 8%** خلال العام المالي المقبل 2025/2024 ليبلغ متوسط الانتاج5,7 قدم³/يومياً مقابل 5,3 قدم³/يومياً فى العام المالي الحالي2024/2023.([5])

---

[1] وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة: برنامج كامل النطاق للطاقة المتجددة في مصر،القاهرة،2017 ،متاح على الموقع التالي: http://egyptera.org/Downloads/taka%20gdida/renewable%20Energy.pdf تاريخ الحصول علية: 4 يوليو2024

[2] المرجع السابق مباشرة

[3] د/عبير فرحات علي و(آخرون): العائد الاقتصادي والبيئي من استخدام الغاز الطبيعي في السيارات كبديل للطاقة التقليدية،مجلة العلوم البيئة،معهد الدراسات والعلوم البيئية، جامعة عين شمس، المجلد(36)، الجزء(3)، 2016، ص401-417

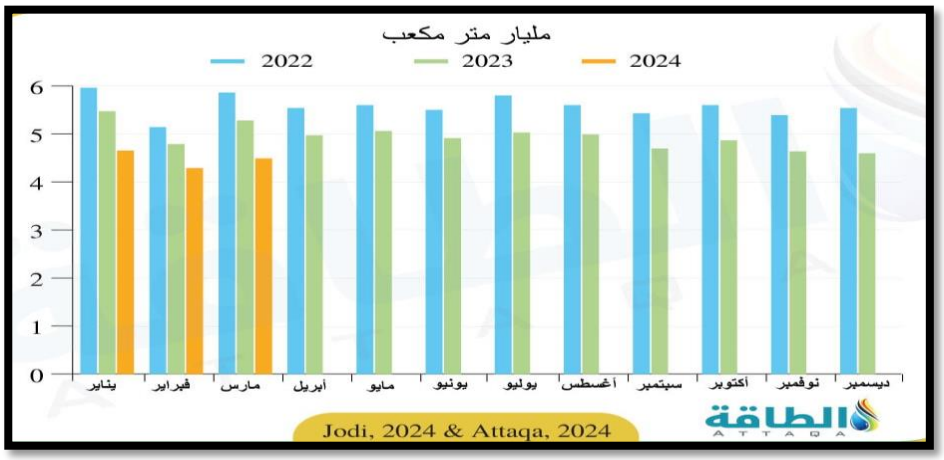
[4] مبادرة بيانات المنظمات المشتركة(JODI)2024،متاح على الموقع التالي: https://www.jodidata.org تاريخ الدخول:5 يوليو2024

[5] المرجع السابق مباشرة

وخلال الأعوام الماضية كانت مصر تدشن خططا للتحول إلى مركز إقليمي لتجارة الغاز، وتصدير الغاز المسال بصفة خاصة. عبر محطتي إدكو ودمياط لتسييل الغاز الطبيعي، لتصديره إلى أوروبا، كما عقدت مصر آنذاك اتفاقيات للتصدير عبر الأنابيب مع الأردن ولبنان.

الشكل رقم(1)

إنتاج مصر من الغاز شهرياً الفترة(يناير2022-مارس2024)



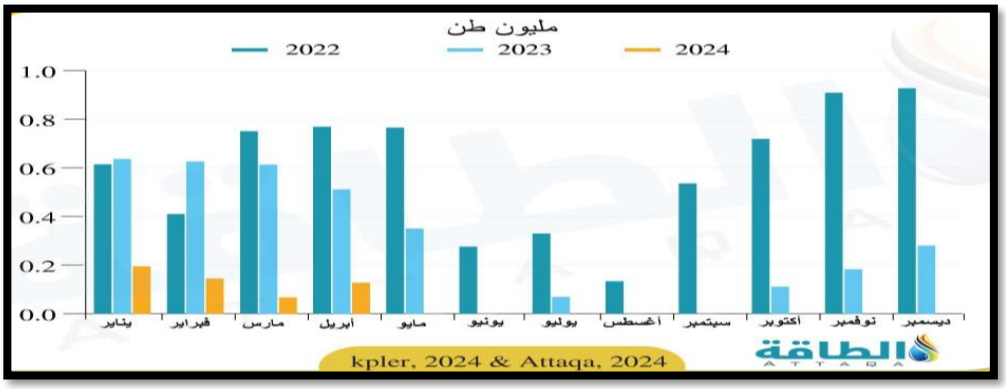
المصـــــدر: مبادرة بيانات المنظمات المشتركة(JODI)2024،متاح على الموقع:https://www.jodidata.org تاريخ الدخول:5 يوليو2024

كما يتضح من الشكل السابق رقم(1) الذي أعدّته منصة الطاقة المتخصصة عن إنتاج مصر من الغاز شهرياً منذ يناير2022 وحتى مارس2024 ووصلت إيرادات مصر من تصدير الغاز الطبيعي والمسال إلى ذروتها عام2022،عند 8,8 مليار دولار، بفضل قفزة الأسعار إثر اندلاع الحرب الأوكرانية.بينما تراجعت قيمة صادرات الغاز الطبيعي والمسال بنسبة70% في مايو2022،وبنسبة 76% في أبريل2023،نظراً لتراجع أسعار وكمية التصدير.([1])

[1] الجهاز المركزي للتعبئة والإحصاء المصري: التقرير السنوي لعام2023 ،القاهره 2024

شكل رقم(2)

صادرات مصر من الغاز المسال فى الفترة 2022-2024



المصـــــدر: مبـادرة بيـانـات المنظمـات المشـــتركـة(JODI)2024،متـاح على الموقع: https://www.jodidata.org تاريخ الدخول:5 يوليو2024

ويشـير الشـكل السـابق رقم(2)،إلى تأثر تراجع الإنتاج في صـادرات مصـر من الغاز المســـال التي هبطت إلى 0,532 مليون/طن من أول يناير/مايو2024، مقابل 2,73 مليون/طن في ذات الفترة من العام الماضي،مع مراعاة أن مصر لم تصدّر أي غاز مسال في الشهر الماضي،وفقا للقرار المعلن بذلك على الأقل حتى نهاية فصل الصيف.

- **وقف الإعانات ورفع أسعار الكهرباء:**

أقرّت الحكومة المصـرية زيادة أسـعار الكهرباء بنسـب تتراوح بين16:30% في يوليو 2019، مع رفع الدعم بشـكل كامل عن شـرائح الاسـتهلاك الأعلى، وفي المقابل، لم تتحمل العديد من المحال والأنشطة التجارية زيادات جديدة في أسعار الكهرباء؛ لذلك أبقت الحكومة على معظم شرائح الاستهلاك التجاري دون تغيير.

وخفضت الحكومة أسعار الكهرباء للمصانع بواقع 10قروش للكيلو/واط/ساعة بدءاً من فاتورة أغسـطس2019،وذلك للجهد الفائق والعالي والمتوسـط،مع تثبيت السـعر على مدى5 ســـنوات مقبلة وقررت وزارة الكهرباء رفع أســـعار الكهرباء للمزارعين الذين يسـتخدمون الكهرباء في الري إلى85 قرشـاً للكيلوواط/سـاعة،مقارنة بـــــ75 قرشـا للكيلوواط/ساعة في العام المالي 2020/2019 .

ورغم أن الحكومة حدّدت في مارس2019 ســـعر بيع الغاز الطبيعي لمحطات الكهرباء عند3,25 دولار لكل مليون وحدة حرارية بريطانية،ونتيجة لذلك، تتحمل الموازنة العامة للدولة 78,6مليار جنيه لتنفيذ تلك الإجراءات خلال 5 سـنوات المقبلة أى عام2025 لحين إلغاء الدعم نهائياً، بواقع26,7 مليار جنيه لدعم الكهرباء الموجهة للاســـتهلاك المنزلي،و22 مليار جنيه لدعم القطاع الصناعي بعد تثبيت سعر الكهرباء للقطاع الصناعي

لمدة 5 سنوات، إضافة إلى29,9 مليار جنيه لمحطات الكهرباء التي تعمل بالغاز الطبيعي. ([1])

- **مد فترة دعم أسعار الكهرباء بسبب كورونا**

بدأت الحكومة المصرية خطة ترشيد دعم الكهرباء منذ عام2014، كان من المقرر الانتهاء منها في يوليو2019،وكان من المقرر أن تنتهي الحكومة من رفع دعم الكهرباء بالكامل بحلول يوليو2020، لكن تقرر تمديد الجدول الزمني لتخفيض الدعم إلى يوليو2025 لتخفيف الأعباء عن المواطنين في مواجهة وباء كورونا.

- **استهلاك الوقود في محطات الكهرباء**

تعتمد أغلب محطات التوليد الحرارية على الغاز الطبيعي كوقود أساسي؛ نظراً لتميّزه اقتصادياً وبيئياً؛ لذلك بلغ استهلاك الغاز الطبيعي في المحطات 38327 مليون متر مكعب، يليه استهلاك المازوت بكمية 2458 ألف طن، ثم السولار "عادي-مخصوص" بنحو 54,2 ألف طن.ويبلغ الوقود المستهلك بمحطات "العاصمة الإدارية الجديدة، والبرلس، وبني سويف" نحو6103مليون/م^3 غاز طبيعي بقيمة إجمالية تعادل 5128 ألف/طن وقود معادل، بينما بلغ الوقود المستهلك بمحطات القطاع الخاص "BOOT"نحو 2888 مليون/م^3. وأدى ارتفاع كفاءة وحدات الإنتاج إلى انخفاض معدل استهلاكها للوقود بنسبة تصل إلى 60%، بعد إضافة القدرات الكهربائية من محطات كهرباء بني سويف والبرلس والعاصمة الإدارية الجديدة التي نفذتها شركة سيمنس الألمانية فى مصر.([2])

وتبلغ قدرات مصر الكهربائية من المحطات الثلاث 14,4 ألف ميجا/واط، ومع تشغيل المرحلة الأولى من المحطات في عام2015 كان معدل استهلاك الوقود يبلغ 200 جرام لكل كيلو/واط/ ساعة، وبلغ 206 في عام2017، لكنه تراجع بشكل غير مسبوق مع تشغيل جميع قدرات محطات الكهرباء إلى نحو 182 جرام/كيلو/واط/ ساعة في عام 2020.وتحسّن معدل استهلاك الوقود في محطات التوليد الحرارية إلى191,1 جرام لكل كيلو/واط/ساعة، فيما ارتفعت إنتاجية محطات التوليد إلى89,7% وهي تماثل المعدلات العالمية.

[1] د/عبير محمد عبد الرازق يوسف:أزمات الكهرباء في مصر ودور الطاقة النووية في استدامة قطاع الكهرباء، المجلة الدولية للدراسات الاقتصادية،المجلد(7)،العدد(2)،أغسطس 2019، ص96

[2] الجهاز المركزى للتعبئة العامة والاحصاء:النشرة السنوية لعام 2015،يوليو2016،القاهرة،ص131

المطلب الثالث

تحليل تطور الطاقة الكهربائية فى مصر خلال الفترة 2024/2023-2010/2009

فى هذا السياق نستهدف تحليل تطور قطاع الكهرباء فى مصر خلال الفترة محل الدراسة وفقا لما توافر لدينا من بيانات، لتوضيح أهم التحديات التي تواجهها مصر في مجال الوقود الأحفوري واستخدامات الطاقة الجديدة والمتجددة. ويرجع السبب الرئيسي لطول الفترة الزمنية المختارة لتحليل تطور قطاع الكهرباء إستهلاكيا وإنتاجيا، إلى التذبذب الشديد في إنتاج واستهلاك المنتجات البترولية خلال هذه الفترة مقارنة بإنتاج و استهلاك الكهرباء من خلال ما يلي:

- تحليل تطور استهلاك الكهرباء في مصر
- تحليل تطور القدرة الانتاجية للكهرباء فى مصر
- تقييم تحليل تطور قطاع الكهرباء فى مصر بالفترة 2024/2023-2010/2009

وفيما يلى نتناول كل منهم بالتفصيل المناسب...

أولا:استهلاك الكهرباء في مصر

استهلاك الكهرباء في مصر حسب القطاعات

جدول(3)

استهلاك الكهرباء والغاز الطبيعى فى مصر2010/2009 -2024/2023

العام المالي	الحمل لأقصى (بالألف ميجا/واط)	إجمالى استهلاك الكهرباء	إجمالى انتاج الغاز الطبيعى	إجمالى استهلاك الغاز الطبيعى	صادرات الغاز الطبيعى (مليون/طن)
2010/2009	22750	120,180	61,33	31,2	----
2011/2010	23470	126,934	61,26	35,3	----
2012/2011	25705	135,838	60,60	37,5	----
2013/2012	27000	140,918	56,90	39,2	----
2014/2013	26140	143,585	48,80	37,6	----
2015/2014	28015	146,645	44,35	35,3	----
2016/2015	29200	156,300	42,10	49,4	----
2017/2016	29400	151,606	51,90	55,9	----
2018/2017	30800	157,610	62,10	59,6	1,4
2019/2018	31400	151,908	68,87	58,9	3,5
**2020/2019	31400	151,908	61,77	35,9	1,3
2021/2020	31900	154,176	70,31	37,7	7

2022/2021	33800	163,985	64,10	34.67	8
2023/2022	31400	151,900	59,29	35,15	2,3
*2024/2023	33900	156,279	48,66	34,3	1,9

(القيمة بالمليار ميجا/واط)

المصدر: وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة ،أعوام مختلفة

** قيمة الاستهلاك لعام 2020/2019غير متاحه فى البيانات ولإتمام عملية التحليل وفقا للبرنامج الاحصائي تم تثبيت نفس قيم العام السابق. * الارقام ليست فعلية ،مجرد توقعات

يتضح من الجدول السابق رقم (3) بلغت إجمالى كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة حتى نهاية يوليو2023 حوالي 151,9 مليار كيلو/واط /ساعة، بلغ استهلاك الحمل الأقصى 31,4 ألف/ميجا/واط.ويتوقع أن تتزايد كمية الطاقة المستهلكة بنهاية يوليو 2024 إلى156,9 مليار كيلو/واط /ساعة.مع توقع تزايد استهلاك الحمل الأقصى إلى33,9 ألف/ميجا/واط .

حيث تحقق الحمل الأقصى لشبكة الكهرباء خلال العام المالى2022/2021، حيث سجل 33800ميجا/واط، بينما سجل أقل أقصي حمل علي الشبكة خلال العام المالى 2010/2009،حيث سجل 22750 ميجا/واط. وبدءً من عام2016،ارتفع إستهلاك الغاز الطبيعي مرة أخرى حيث بلغ 49,4 مليار/م^3 واستمر في الارتفاع حتى عام2018، حيث بلغ حجم الاستهلاك 59,6 مليار/م^3، ثم عاد و انخفض مرة أخرى إلى58,9 مليار/م^3 عام2019.

وقد نجحت مصر في تحقيق الاكتفاء الذاتي من الغاز الطبيعي منذ عام 2018، مع بدء الانتاج من حقل ظهر، لتعود مصر مرة أخرى لتصدير الغاز الطبيعي المسال مع استمرار حقل ظهر بتسجيل أرقام قياسية من الإنتاج حيث وصل في 2022 إلى2,7 مليار/قدم^3 من الغاز يومياً.

وهنا يثور تساؤل:لماذا انخفض إنتاج الغاز في مصر بعد5 سنوات من الاكتفاء الذاتي؟

وارتفعت صادرات مصر من الغاز الطبيعي المصري في ذات العام المالى 2022/2021 إلى8 مليون/طن مقابل 7 مليون/طن في العام المالى السابق 2021/2020 و 1,3 في عام 2020/2019 (بسبب جائحة كورونا) و3,5 في 2019 و1,4 مليون/طن خلال العام المالى2018/2017.غير أن الوضع اختلف تماماً في العام المالى 2023/2022 حيث بدأ الإنتاج في التراجع، إذ بلغ حوالى2,3، واستمر فى التراجع حتى انخفض خلال الأشهر الخمس الأولى من العام الحالى 2024 بواقع 11,5% مقارنة بنفس الفترة خلال العام الماضى2023، فبلغ حجم الإنتاج حوالى1,9 مليار قدم^3.

وفي يوليو 2023 أعلنت الحكومة المصرية خطة لتخفيف الأحمال عبر قطع التيار الكهربائي لمدة ساعتين يوميا بسبب ارتفاع الاستهلاك، نتيجة الارتفاع الشديد في درجة

الحرارة، وفي الوقت نفسه اقترن بانخفاض حجم إنتاج الكهرباء من محطات الطاقة بسبب تراجع كميات الوقود اللازمة لتشغيل المحطات.كما أعلنت أيضا فى ذات الوقت عن وقف تصدير الغاز لتلبية الطلب المحلي، الأمر الذى دفع بمصر لاستيراد الغاز المسال منذ نهاية العام الماضي2023 لسد الفجوة بين الإنتاج والاستهلاك.

ومع ذلك، فقد لوحظ تحسن نسبي فى إجمالي معدل استهلاك الوقود منذ عام 2021/2020 للاسباب التالية:([1])

- دخول محطات الشركة القابضة (البرلس/بني سويف/العاصمة الإدارية) ذات الكفاءة العالية ومعدلات استهلاك الوقود المنخفض وارتفاع نسبة مشاركتها في إجمالي الطاقة المولده إلى 25,3% .
- ارتفاع نسبة مشاركة التوليد المركب بشركات الإنتاج متضمنا محطات الشركة القابضة لتصل إلى61%من إجمالي الطاقة المولده.
- دخول المحطات البخارية التي تعمل بالضغوط فوق الحركة ذات الكفاءة المرتفعة ومعدلات الاستهلاك الأقل مثل(العين السخنة ،جنوب حلوان،غرب القاهرة التاسعة ،أسيوط الوليدية 3) .

ثانيا: تحليل القدرة الانتاجية للكهرباء فى مصر

شهد عام 2013 عجزاً كبيراً فى الإمداد بالطاقة الكهربائية نتيجة ضعف إمداد الوقود لمحطات التوليد التقليدية،مما ترتب عليه حدوث انقطاعات يومية للكهرباء وخاصة فى فصل الصيف، كما يتسم مزيج الطاقة بعدم التوازن أى أنه غير آمن، حيث يمثل الوقود الأحفورى حوالى95% من إجمالى احتياجات الطاقة فى مصر، كما يمثل نسبة 91% من الوقود المستخدم فى إنتاج الكهرباء فى مصر. ([2])

الأمر الذى أدى إلى إعادة النظر فى تنويع مصادر الطاقة بما يحقق تعظيم الاستفادة من الموارد المحلية والتى تتمتع بصفة الاستدامة والاستقرار فى الأسعار، وهى سمات تميز مشروعات إنتاج الكهرباء من المصادر المتجددة أخذا فى الاعتبار ثراء مصر من هذه الموارد لمواجهة نسبة من الزيادة فى الطلب على الطاقة الكهربائية خاصة أن اقتصاديات وتكلفة إنتاج الكهرباء من طاقة الرياح ونظم الخلايا الفوتو فولطية أصبحت منافسا للكهرباء المنتجة من الوقود الأحفورى فى حالة عدم تقديم أى دعم لها، فضلا عن مساهمتها الفعالة فى خفض الانبعاثات الملوثة للبيئة .([3])

---

[1] جهاز تنظيم أنشطة سوق الغاز المصرى:النشرة الدورية لأسواق الغاز الطبيعي،الإصدار رقم(37)، سبتمبر2022،القاهره،2022،ص2-4

[2] الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء: مستقبل الطاقة في مصر، القاهرة، مارس2014، ص 68.

[3] تقرير الوكالة الدولية للطاقة المتجددة IRENA : توقعات الطاقة المتجددة: مصر، الوكالة الدولية للطاقة المتجددة،أبو ظبى، 2018،ص7.

جدول رقم (4)
تطور القدرة الانتاجية من الكهرباء فى مصر خلال
الفترة من 2010/2009-2024/2023 (مليار ميجا/واط)

العام المالي	القدرة الانتاجية للكهرباء					
	غاز ى	بخارى	دورة مركبة	مائى	متجدد ة	إجمالى
2010/2009	-----	----	-----	----	----	138,02
2011/2010	-----	----	-----	----	-----	145,35
2012/2011	-----	----	-----	----	-----	157,06
2013/2012	-----	----	-----	----	687	164,62
2014/2013	4720	13632	16801	1335	1446	168,10
2015/2014	4874	15082	11881	2800	687	352,20
2016/2015	7845	14798	12527	2800	887	388,57
2017/2016	1334	15449	17400	2800	877	450,08
2018/2017	5745	15449	28031	3832	1157	552,13
2019/2018	4055	16749	31472	3832	2247	583,53
2020/2019	2440	17179	32448	2832	3016	595,30
2021/2020	3343	17179	32448	2832	3016	588,18
2022/2021	2440	52100	33450	3210	5556	59,893
2023/2022	3352	19735	52109	3200	6300	533,00

2024/2023 **	3352	19735	52109	7230	7513	228,00

المصدر: وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة : التقارير السنوية للشركة القابضة للكهرباء،

القاهرة،أعداد مختلفة. ** نسب مئويه متوقعة

أما عن القدرة الانتاجية للكهرباء فى مصر، فعند بالإطلاع على بيانات الجدول السابق رقم (4) نلاحظ ما يلى:

- يلاحظ تطور القدرة الإسمية لكهرباء مصر منذ بداية الفترة محل الدراسة، غير أنها حققت قفزة عالية بنسبة 65% منذ عام 2015/2014 وحتى2022/2021.
- فقد ارتفع انتاج محطات الكهرباء العاملة بنظام الدورة المركبة من 11880 مليار/ميجا/واط خلال عام2015/2014 إلى32470 مليار/ميجا/واط في عام2022/2021. أى بنسبة تزيد عن 160%.
- كما ارتفعت القدرات الإسمية للطاقة المتجددة بنسبة تزيد عن 200%، فقد بلغت 687 مليار/ميجا/واط في عام2015/2014 وسجلت 33450 مليار/ميجا/واط خلال عام 2022/2021. واستمرت فى التزايد حتى بلغت فى عام 2023/2022 حوالى 52109 مليار/ميجا/واط ، ويتوقع استمرارها بذات المعدل فى العام الحالي 2024/2023 .
- وأدى تقادم بعض وحدات الكهرباء وإغلاقها إلى انخفاض القدرات الكهربائية الاسمية من محطات الكهرباء العاملة بالغاز من 4874 مليار/ميجا/واط خلال عام2015 إلى 4055 مليار/ميجا/واط في عام2019.
- غير أنها بدأت تعاود زيادة متذبذبة من العام التالي 2020/2019 حيث بلغت 3352 مليار/ميجا/واط ، ويتوقع أن يستمر هذا التذبذب حتى نهاية العام المالي الحالى 2024/2023 أيضا.
- وارتفعت القدرات الاسمية المائية بشكل طفيف بواقع 32 مليار/ميجا/واط فقط حيث كانت القدرات الأسمية في عام 2015 تبلغ 2800 مليار/ميجا/واط . ووصلت إلى 3210 مليار/ميجا/واط في عام 2022،ويتوقع أيضا زيادتها إلى 7230 مليار/ميجا/واط فى العام الحالي 2024/2023 .
- كما زادت قدرات محطات الكهرباء البخارية من15082 مليار/ميجا/واط في عام2015 إلى 52100 مليار/ميجا/واط في عام2022. كما لا يتوقع لها الاستمرار فى هذا التزايد خلال العام الحالى 2024/2023.

وفقاً لإستراتيجية الطاقة على المدى المتوسط، تسعى مصر في عام 2025 لتصل نسبة إسهام الطاقة المتجددة إلى33% من إجمالي الكهرباء المنتجة على الشبكة الكهربائية، والعمل على رفع هذه النسبة لتصل إلى48% في عام 2030. ومن الملاحظ في

الإستراتيجية المصرية، أن القدرات المزمع تنفيذها من محطات الطاقة الشمسية والرياح هي الأكبر على مدار السنوات العشر المقبلة، وتليها المصادر المائية.

والجدير بالذكر،أنه ووفقا للخطة المالية للعام الحالى2024/2023 تتوقع الحكومة خلال هذا العام المالى أن يحقق قطاع الكهرباء ناتجاً يقدر بحوالي203 مليار جنيه فى ذات العام. وارتفاع الطاقة الكهربائيّة الـمُولّدة إلى228 مليار/ك/و/س.. وارتفاع نسبة الطاقة الـمُتجدّدة إلى 11,8%،كما تتوقع تحقيق زيادة بحوالي21% عن العام المالي السابق2023/2022 البالغ 169 مليار جنيه فى قيمة الإنتاج المتوقع لاستثمارات قطاع الكهرباء والطاقة المتجددة يقدر بحوالي 203 مليار جنيه.

وتشمل الخطة المالية للعام الحالى2023/2024 استثمارات بمبلغ81,4 مليار جنيه لعام 2023/2024،منها استثمارات عامة نحو69,4 مليار جنيه بنسبة 85% من الإجمالي.([1])

وجدير بالذكر،أنه من الـمُتوقّع أن ترتفع الطاقة الكهربائيّة الـمُولّدة لتصِل إلى228 مليار/ك/و/س، وأن ترتفع نسبة الطاقة الـمُتجدّدة من إجمالى الطاقة الـمُولّدة إلى11,8%عام 2024/2023 مُقابل 8,8% فقط عام 2019/2018.

إذ تركز الخطة الحالية لوزارة الكهرباء والطاقة المتجددة على مُواصلة تأمين التغذية الكهربائيّة لتمتد لتغطية كافة مناطق التعمير والتنمية، مثل مناطق شرق العوينات وشمال سيناء ومشروعات استصلاح الأراضى بمنطقة توشكى والدلتا الجديدة. كما تسعى الحكومة إلى تقدم مصر فى مُؤشّرات التنافسيّة الدوليّة الـمعنية بجودة التغذية الكهربائيّة، حيث انتقلت إلى المركز(77)عام2019 مُقابل احتلالها المركز(121) فى عام 2014،مع توقّع الارتقاء إلى المركز(75) بحلول عام2024.([2])

ثالثا: تقييم تحليل تطور قطاع الكهرباء فى مصر خلال فترة الدراسة:

وبدراسة التقارير السنوية الصادرة عن الشركة القابضة لكهرباء مصر فقد استنتجنا مايلي:

1- **تعتبر زيادة الإنتاج المحلى من مصادر الطاقة محدداً رئيساً لضمان تأمين الطاقة فى مصر**. حيث تؤدى مواكبة زيادة الإنتاج المحلى من مصادر الطاقة للاستهلاك المتزايد منها إلى تحقيق مستويات أعلى من الأمان فى توفير الطاقة، حيث أن زيادة الإنتاج من مصادر الطاقة التقليدية بنسبة1% يترتب عليها زيادة نسبة الاكتفاء الذاتى من الطاقة على الأقل بنسبة0,317%
2- **يلاحظ أيضا أن إجمالى الاستهلاك النهائى للطاقة يرتبط سلباً مع فرص تأمين الطاقة فى مصر**. فزيادة الاستهلاك المحلى بنحو1% ينتج يترتب عليها انخفاض نسبة الاكتفاء الذاتى من الطاقة بنسبة0,82 %. مما يدل على أن هناك متغيرات

[1] وزارة المالية: البيان المالي مشروع الموازنة العامة للدولة للسنة المالية لعام 2024/2023، القاهرة، وزارة المالية ،ص31 ،34

[2] جهاز تنظيم أنشطة سوق الغاز المصرى:النشرة الدورية لأسواق الغاز الطبيعي،..، مرجع سابق،ص2-4

أخرى تؤثر فعليا على زيادة الطلب المحلى على الطاقة، كالزيادة السكانية،المصحوبة بتزايد متطلبات الرفاهةالاجتماعية، فضلا عن إلتزام الدولة بمتطلبات التنمية الاقتصادية والاجتماعية.ومن ثم فإن الأمر يؤدى عند عدم تأمين طلب الإنتاج المحلى المتزايد على مصادر الطاقة إلى الاستيراد مما يؤدى إلى انخفاض نسبة الاكتفاء الذاتى من الطاقة.

3- **إن زيادة مساهمة الطاقة المتجددة فى تلبية الطلب المحلى من الطاقة بات أمراً ضروريا،** خاصة و أن نصيب الطاقة المتجددة من إجمالى عرض الطاقة مازال ضعيفاً.غير أن زيادة اسهاماتها بنسبة1% يترتب عليه زيادة نسبة الاكتفاء الذاتى من الطاقة بحوالى7,1%.

4- **فيما يتعلق بارتفاع الأسعار العالمية للنفط،** فإنه من المؤكد أن يؤثر هذا الارتفاع فى السعر سلبا على توفير الطاقة لدى الدول المستوردة و إيجابيا على الدول المصدرة. **وهو الأمر الذى يمكن القول معة، بوجود علاقة إيجابية**(طردية) بين السعر العالمى للنفط ومؤشر الاكتفاء الذاتى للطاقة، ويرجع ذلك لأسباب عدة،من بينها:

- أن ارتفاع السعر العالمى للنفط يحفز الإنتاج العالمى من البترول مما ينتج عنه زيادة استثمارات القطاع النفطى لزيادة الصادرات منه والتى كادت بالفعل تتزايد على الرغم من تزايد حجم الواردات فى السلع الأخرى غير البترولية.
- إلا ان الصادرات البترولية فى العام المالى2023/2022 حققت انخفاض بنحو4,2 مليار دولار وذلك نتيجة لإنخفاض صادرات كل من المنتجات البترولية بمقدار1,7 مليار دولار والبترول الخام بمقدار1,5 مليار دولار والغاز الطبيعي بنحو988,1 مليون دولار.
- وبالتالي انخفضت أيضا الواردات البترولية بمقدار138,1 مليون دولار فى ذات العام، وجاء ذلك محصلة لانخفاض الواردات في البترول الخام بمقدار 1,2 مليار دولار، بينما يتعدى الارتفاع في الواردات من كل من الغاز الطبيعي بمقدار716,3 مليون دولار، والمنتجات البترولية بمقدار392,8 مليون دولار نظراً لإرتفاع الكميات المستوردة منهما.
- ومن جهة أخرى، فإن ارتفاع الأسعار العالمية للبترول يعد دافع قوى نحو سياسات ترشيد استهلاك الطاقة واستخدام تكنولوجيا موفرة للطاقة فى جميع القطاعات الإستهلاكية. وهو الأمر الذى ينعكس إيجابيا على دولة مثل مصر فينخفض التأثير السلبى لارتفاع الأسعار العالمية للبترول على تأمين الطاقة فيها.

وهذا ما سنشير إليه من خلال المبحث التالى مباشرة...

المبحث الثانى
مصادر الطاقة المتجددة وتكلفة استخدامها لتوليد الكهرباء فى مصر

تمهيد وتقسيم:

عانت مصـر من عجز في موارد الطاقة نتيجة لزيادة الاسـتهلاك المحلي واسـتنفاد موارد النفط والغاز المحلية. فرض هذا التحول مجموعة من التحديات على قطاع الطاقة، بما في ذلك العجز في الكهرباء الذي يعزى جزئياً إلى تراجع إنتاج الغاز الطبيعي المحلي باعتباره المصدر الرئيسي للكهرباء، بالإضافة إلى أسعار الطاقة المدعومة التي تسببت في تداعيات مالية سلبية نتيجة لتراجع الإيرادات الحكومية.([1])

اتخذت الحكومة المصـــرية خطوات جريئة لاعتماد اســـتراتيجية لتنويع مصـــادر الطاقة مع زيادة تطوير الطاقة المتجددة وتنفيذ إجراءات كفاءة الطاقة، بما في ذلك تبني برامج صـــارمة لإعادة التأهيل والصـــيانة في قطاع الطاقة. ومن هنا نحاول التعرف على مصـادر الطاقة المتجددة و ما التكلفة الاقتصـادية لتوليد الكهرباء منها . وذلك من خلال ما يلى:

المطلب الأول: مصادر الطاقة المتجددة ومحددات استخدامها
المطلب الثانى: التكلفة الاقتصادية لتوليد الكهرباء من البدائل المتجددة
المطلب الثالث : التقييم الإقتصادي لتوليد الطاقة الكهربائية فى مصر من بدائل المتجددة
وفيما يلى نشير إلي كل منهم على النحو التالى...

المطلب الأول
مصادر الطاقة المتجددة ومحددات استخدامها

يقصـــد بمصـــادر الطاقة الطبيعية الدائمة و المتجددة Renewable energy" "والتي تكون أقل تلوثا وأكثر نظافة وأماناً عند الأســـتخدام ولقد تعددت مصـــادر الطاقة المتجددة مثل: الطاقة المائية،والطاقة الشمسية،والرياح،وطاقة الكتلة الحيوية،وطاقة حرارة باطن الأرض.كما تختلف الأهمية النسبية لكل منهم.

مصادر الطاقة المتجددة في مصر:

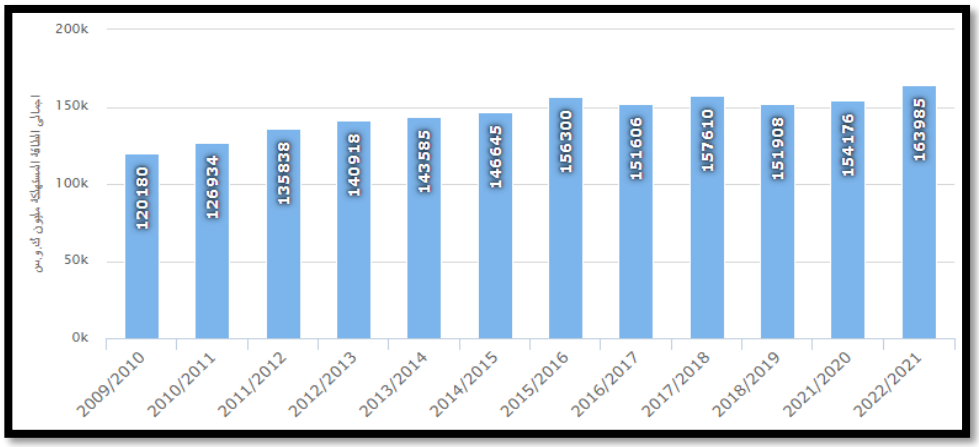
هناك أكثر من مصـدر متجدد لتوليد الكهرباء في مصـر، فمنها المحطات المائية، كالتي تعتمد على السـد العالي جنوب مصـر، والمحطات التي تعتمد على الرياح والشـمس كمحطتي الزعفرانة وأسـوان. و"هناك توربينات يدخل عليها وسـيط لتشـغيلها، فتتحول إلى توربينات بخارية أو غازية أو مائية أو شمسية وهكذا".

وتعتمد الحصة الأكبر من مقدار الطاقة المتاح توليدها على محطات الدورة المركبة التي يتشـــارك فيها العمل بين البخار والغاز والتي تزيد نســـبتها عن 52%من محطات

[1] الوكالة الدولية للطاقة المتجددة 2018 ، متاح على الموقع التالى:
www.irena.org/publications/2017/Dec/Biogas-for-domestic-cooking-Technology-brief تاريخ الحصول علية :4 يوليو2024

الكهرباء في مصر، بينما تأتي المحطات البخارية في المرتبة الثانية بنسبة تقدر بحوالى31%. ويليها مصادر الطاقة المتجددة الشمسية والهوائية في المرتبة الثالثة وتبلغ 5,5%، بينما يأتى التوليد المائي فى المرتبة الرابعة والأخيرة ويبلغ 4,7%.

شكل رقم(3) اجمالى الطاقة المستهلكة (مليون ك.و.س)



المصدر: البيانات المذكورة طبقا لما ورد بالتقارير السنوية للشركة القابضة لكهرباء مصر

مدى مساهمة موارد الطاقة المتجددة فى إنتاج الطاقة الاولية:

بدأت حكومة مصر مؤخراً بتنفيذ برامج مشتركة لاختبار وتقييم تطبيقات متنوعة للطاقة المتجددة بالتعاون مع بعض الدول والمنظمات العالمية. وركزت بشكل خاص على تطوير تقنيات طاقة الرياح والطاقة الشمسية، وقد وسعت مؤخراً نطاق عملها ليشمل تطوير الكتلة الحيوية. كما قامت المؤسسات الوطنية مثل الشركة القابضة لكهرباء مصر ووزارة البيئة بجهود مكثفة لتعزيز استخدام الكتلة الحيوية.

لتنفيذ مشاريع متعددة مثل تركيب سخانات المياه الشمسية في المدن الجديدة، وأنظمة الطاقة الشمسية الحرارية للصناعات، ومزارع الرياح، وتطبيقات الطاقة الكهروضوئية في ضخ المياه ومحطات التخزين البارد، والتحلية، بالإضافة إلى هاضمات الغاز الحيوي في المناطق النائية.

جدول رقم(5)نمو القدرة المركبة للطاقة المتجددة (جيجا/واط)

نوع محطة الطاقة	/2009 2010	/2021 2022	/2029 2030	/2034 2035
الطاقة المائية	2,8	2,8	2,9	2,9
طاقة الرياح	0,5	13,3	20,6	20,6
الطاقة الكهروضوئية	0.0	3,0	22,9	31,75

الطاقة الشمسية المركزة	0.0	0,1	4,1	8,1
الإجمالى	3,3	19,2	50,5	62,6

المصدر: الشركة القابضة لكهرباء مصر، التقرير السنوى لعام 2016/2015

1- الطاقة المائية:

تعرف بالطاقة الكهرومائية Hydropower وهي الطاقة التي تتولد من محطات الكهرباء، حول مساقط المياه في الأنهار والسدود والبحيرات الأصطناعية وتعد الطاقة الكهرومائية من أكبر المساهمية في إمدادات الطاقة المتجددة علي المستوي العالمي حيث ينتج حوالي 16,4% من انتاج الكهرباء في العالم، وتأتي الصين أول دوله أنتجت الكهرباء من الطاقة الكهرومائية حيث تنتج حوالي26,7% من الانتاج العالمي.([1])

جدول رقم(6) محطات الكهرباء المائية وقدراتها

المحطة	القدرة ميجا/واط	الكهرباء المولدة سنويا جيجا/واط/ساعة
السد العالى	2100	9484
أسوان 1	280	1578
أسوان 2	270	1523
إسنا	86	507
نجع حمادي	64	453
الإجمالى	2800	13545

المصدر: الشركة القابضة لكهرباء مصر، التقرير السنوى لعام 2016/2015

2- الطاقة الشمسية:

تعتبر الطاقة الشمسية مصدر أساسي من مصادر الطاقة المتجددة ويوجد نظامين لإمداد الطاقة الشمسية،هما: ([2])

- **الأول: نظام الخلايا الفوتوضوئية**Photovoltaic ويطلق عليها الخلايا الشمسية الكهروضوئية.
- **الثاني: نظام التوربينات الحرارية باستخدام الطاقة الشمسية المركزة** concentrated solar power، وتسمي الطاقة الشمسية الحرارية إلا أن

[1] د/سحر أحمد حسن يوسف: الطاقة المتجددة بين الواقع والمأمول خارطة الطريق، المجلة العلمية للاقتصاد والتجارة، كلية التجارة، جامعة الأزهر، 2020، ص250

[2] د/محمد شهاب احمد & د/ سامر عادل عبد: الطاقة المتجددة وانعكاسها على مسار التنمية المستدامة، مجلة جامعة كركوك للعلوم الإدارية والاقتصادية، العراق،2023 ، ص69

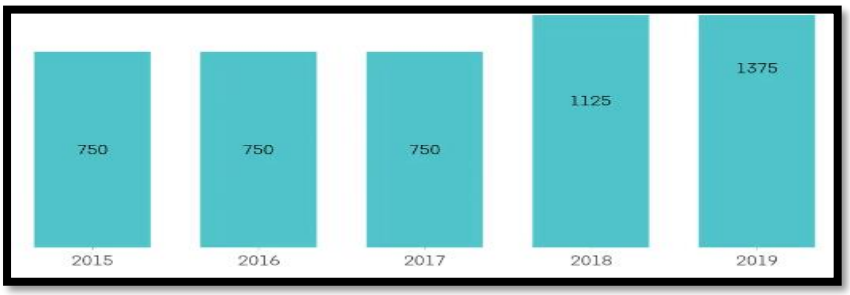
حصـة الطاقة الشـمسـية ما تزال متواضـعة حيث يبلغ تصـيبها حوالي 3% من إجمالي نصـيب الطاقة المتجددة علي المسـتوي العالمي، إلا أنها تنمو بشـكل متسـارع حيث بلغ معدل النمو السنوي لها حوالي 48,2 % وذلك حتي عام 2019.

من المتوقع أن يصـــل حجم ســـوق الطاقة الشـــمســـية المركزة CSP إلى 9,69 جيجاوات في عام 2025 وأن ينمو بمعدل نمو ســـنوي مركب قدره6,93% ليصـــل إلى 13,55 جيجاوات بحلول عام 2028.([1])

3- طاقة الرياح:

تعد طاقة الرياح من الطاقات القديمة التي اســـتخدمت في وقت مبكر خاصـــة في حركة السفن، إلا أنه مؤخراً أستخدمت في أنتاج الكهرباء وفي أوائل القرن التاسع عشر. علي أن لا تقل ســـرعة الرياح من 3: 5 م/ثانية ولا تزيد عن 25 م/ثانية، لذلك لابد من دراســة المتغيرات المناخية باســتمرار. وقد بلغ إجمالي توليد طاقة الرياح في مصــر، تعد طاقة الرياح من القطاعات البارزة في قطاع الطاقة المتجددة.

شكل رقم (4) تحليل تطور سوق طاقة الرياح في مصر خلال الفترة 2019/2015



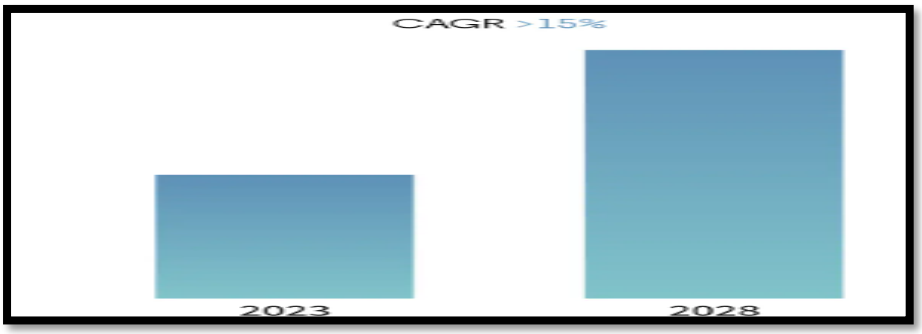
المصدر: تقرير أبحاث الصناعة:تحليل حجم وحصة سوق طاقة الرياح في مصر،اتجاهات النمو والتوقعات (2023- 2028)،متاح على الموقع التالى: https://www.mordorintelligence.com/ar/industry-reports/egypt-wind-energy-market ,تاريخ الدخول30 ابريل2024

حيث يشير الشكل السابق رقم(4) أن إجمالي توليد طاقة الرياح من الطاقة المركبة قد بلغ فى عام2019 حوالى1375 ميجا/وات. مع زيادة الطلب على الطاقة النظيفة،من المتوقع أن ينمو القطاع أكثر مع إضـافة منشـآت جديدة لمشـاريع الرياح. حيث تم تشـغيل مرازع ريـاح قـدرة 1130ميجـاوات(545 بـالزعفرانـة،و580 بخليج الســـويس،و5 بالغردقة).من المرجح أن يؤدي توافر الوقود الأحفوري والنمو في مصادر الطاقة المتجددة

[1] الوكالة الدولية للطاقة المتجددة IRENA: تحليل ســـوق الطاقة المتجددة ملخص لصـــنّاع الســـياســـات أفريقيا ومناطقها، تحرير:د/ربيعة فروخي(واخرون)،2022 ،ص40

الأخرى إلى تقييد نمو الســوق خلال فترة التنبؤ. غالبية الكهرباء المولدة خلال عام 2018 كانت من الغاز الطبيعي. ([1])

شكل رقم (5) التنبؤ بتطور حجم سوق طاقة الرياح في مصر خلال الفترة 2028/2023 السنة الأساسية للتقدير2022



المصدر:تقرير أبحاث الصناعة: تحليل حجم وحصة سوق طاقة الرياح في مصر ،اتجاهات النمو والتوقعات (2023 - 2028)،متاح على الموقع التالي:https://www.mordorintelligence.com/ar/industry-reports/egypt-wind-energy-market تاريخ الدخول 30 ابريل2024

بينما يشير الشكل السابق رقم(5)، إلى أنه من المتوقع أن ينمو سوق طاقة الرياح في مصر بمعدل نمو سنوي مركب يبلغ حوالي 15%خلال الفترة المتوقعة 2020-2028. وتخطط الحكومة المصــرية لزيادة حصــة الطاقة المتجددة في مزيج الكهرباء إلى حوالي 42% بحلول عام 2035، مما ســيخلق فرصــة لنمو ســوق طاقة الرياح في المســتقبل القريب.([2])

يشمل المحرك الأساسي للسوق جهود الحكومة للحصول على شكل منخفض التكلفة ومســتدام وأنظف من الطاقة وبالتالي تقليل انبعاثات الكربون المتزايدة. ومع ذلك ، من المرجح أن تؤدي تكاليف التركيب المرتفعة المرتبطة بتوربينات الرياح مقارنة بمصــادر الطاقة المتجددة الأخرى مثل الطاقة الشمسية إلى إعاقة نمو السوق خلال فترة التنبؤ.

ومن المرجح إنتاج الطاقة الشمسية والرياح ما بين 12 و14 ألف تيرا وات/ساعة، ما يزيد على مســتوى إنتاج عام 2022 بنحو3 إلى 4 مرات وتتجاوز هذه المســتويات المتوقعة ما تناشــد به الحكومات العالمية في الوقت الحالي قبيل انطلاق قمة Cop28، بزيادة إنتاج الطاقة المتجددة، بنحو3 أضعاف بحلول عام2030، ووفقاً لأطلس طاقة الرياح

[1] د/أحمد محمد عبد الحميد مهينةو(آخرون): مصادر الطاقة الكهربائية المتاحة...مرجع سابق ،ص12

[2] تقرير أبحاث الصناعة: تحليل حجم وحصة سوق طاقة الرياح في مصر ،اتجاهات النمو والتوقعات(2023 - 2028)،متاح على الموقع التالي:https://www.mordorintelligence.com/ar/industry-reports/egypt-wind-energy-market, تاريخ الدخول 30 ابريل2024

والطاقة الشمسية، فإن مناطق شرق وغرب النيل لديها القدرة على إنتاج حوالي31,150 ميجا/وات من طاقة الرياح و52,300 ميجا/وات من الطاقة الشمسية.وتدرس مصر أيضاً خيارات التمويل لإجراء دراسات الجدوى للمشروعات التالية:([1])

- محطات الطاقة الشمسية الحرارية للأغراض الصناعية: محطة للطاقة الشمسية الحرارية باستخدام تكنولوجيا الطاقة الشمسية المركزة لتوليد الكهرباء وتحلية المياه.
- التصنيع المحلي لمعدات الطاقة المتجددة: تصميم آلية فنية مالية لتشجيع استخدام سخانات المياه بالطاقة الشمسية في القطاع السكني في مصر.

4- طاقة الكتلة الحيوية:

تعرف طاقة الكتلة الحيوية باسم" البيوماس" وهي المواد العضوية المختلفة عن النباتات المائية والطحالب والافرازات الحيوانية، والأدمية والقمامة ونفايات المنازل والمدن والمخلفات الصناعية من الصناعات الغذائية وصناعة الأخشاب واللب والورا، ويبقي النوع الأهم من بين مصادر الكتلة الحيوية، ألا وهو الوقود الحيوي والمتمثل في إنتاج الأيثانول " الكحول " من بعض المنتجات الزراعية كقصب السكر والبنجر والذرة.

ويستعمل هذا الكحول كوقود لسيارات بعد مزجه بالبنزين في بعض الدول كالبرازيل وكندا وأمريكا وكذلك أنتاج البيوديزل"الديزل الحيوي" ويستخرج من المحاصيل الزيتية مثل عباد الشمس وفول الصويا وزيت النخيل، ويري البعض أن اللجوء إلي الوقود الحيوي قد يضر بالأمن الغذائي وخاصة في الدول النامية لذلك تأتي الولايات المتحدة الأمريكية فى مقدمة الدول التي تستخدم الوقود الحيوي، وتمثل طاقة الوقود الحيوي المرتبة الرابعة بالنسبة لمصادر الطاقة المتجددة وتمثل حوالي 10% من مصادر الطاقة المتجددة.

5- طاقة الحرارة الجوفية:

تصنف الحرارة الجوفية علي أنها متجددة من قبل وكالة حماية البيئة الأمريكية " EAA" حيث أنها تمتد لعقود طويلة وربما لقرون والحرارة الجوفية هي طاقة حرارية دفينة في أعماق الأرض، ومتواجدة بشكل مخزون من المياه الساخنة أو البخار أو الصخور الحارة ، الطاقة المستغلة حاليا من الحرارة الساخنة والبخار الحار. وتستعمل لتوليد الكهرباء التدفئة المركزية والأغراض الطبية والسياحية،ومن أكثر البلاد أستخداما لهذه الطاقة هي نيكارجوا والفلبيين،كينيا، ايسلندا. ويبلغ معدل النمو السنوي في هذا القطاع 1,4%

[1]International Trade Administration: Egypt Country commercial Guide ,2022, https://www.trade.gov/knowledge-product/egypt-renewable-energy,received date: 20 July.2024

وجدير بالذكر، يتوقع أن يحقق الطلب على الوقود الأحفوري انخفاضـــاً مســـتمراً بنســـبة تصـــل لنحو 30% بحلول عام 2030، مقارنة بذروة الطلب التي حققها خلال عام 2022.فضـلا عن أن عدم الاستقرار في أسواق الوقود الأحفوري الذي تسببت فيه الأزمة الروســـية الأوكرانية، أدى إلى تســـارع وتيرة زخم تقنيات الطاقة المتجددة، مع توقع نمو ســـنوي في اســـتثمارات الطاقة النظيفة، يصـــل لنحو 24% خلال العام الماضـــي 2023، متجاوزاً نســـبة 15% التي تم تحقيقها في 2021.وتمثل الفائدة من وراء الطرح الســـريع للطاقة المتجددة، المزيد من التأمين والاستقلالية لقطاع الطاقة العالمي، فضـلاً عن التراجع في الأســـعار على المدى الطويل؛ وذلك لأن هذه تقنية مُصـــنعة، كلما زاد معدل طرحها وانتشارها، كلما قل سعرها.([1])

والجدير بالذكر، أنه يتوقع أن تزداد الطاقة المتجددة في مصر بنسبة 68%،حوالى4 جيجا/وات، وتســـتحوذ الرياح البرية على الحصـــة الأكبر، تليها الطاقة الشـــمســـية الكهروضـــوئية. يأتي معظم هذا النمو من التعاقدات الثنائية المباشـرة مع المرافق المملوكة للدولة.

جدول رقم(7) المتوسط المرجح العالمى للتكلفة شاملة:التركيب، وعامل القدرة الانتاجية،
والتكلفة المستوية لتوجهات الكهرباء حسب نوع التكنولوجيا فى الفترة من 2021/2010

	تكلفة الكهرباء المستوية (2021 دولار أمريكيكيلوواط ساعة)			مؤشر القدره %			إجمالي التكاليف المثبته (2021 دولارامريكي/كيلو واط)		
	التغير%	2021	2010	% التغير	2021	2010	التغير %	2021	2010
الطاقة الحيوية	14-	0.067	0.078	6-	68	72	13-	2353	2714
الحرارة الأرضية	34	0.068	0.050	11-	77	87	47	3991	2714
الطاقة الكهرومائية	24	0.048	0.039	2	45	44	62	2135	1315
الطاقة	88-	0.04	0.41	25	17	14	82-	857	480

[1] International Renewable Energy Agency IRENA: International Renewable Energy Agency ,Renewable Energy and Jobs: Annual Review 2023 , Available at: https://www.irena.org/News/pressreleases/2023/Sep/Renewables-Jobs , received date:30 June.2024

الكهروضوئية		8	7						8
CSP	68-	0.114	0.358	167	80	30	4-	9091	9422
الرياح البرية	68-	0.033	0.102	44	39	27	35-	1325	2042
الرياح البحرية	60-	0.075	0.188	3	39	38	41-	2858	4876

المصدر: تقرير وكالة الوكالة الدولية للطاقة المتجددة " IRENA " international renewable energy agency 2021, July 2022

ويشير الجدول السابق رقم(7)،إلى أنه في ضوء التطورات الأخيرة قد أدت إلى زيادة القدرة المتجددة للمشاريع المخطط لها.ومع ذلك،أثارت الطاقة الزائدة وانخفاض الطلب على الطاقة بسبب Covid-19 تساؤلات حول وتيرة خطط مصادر الطاقة المتجددة بموجب سياسات الشراء في عام2020.وقد سجل عام2021 انخفاضاً في المتوسط العالمي المرجح لتكلفة الكهرباء لمشاريع الطاقة الشمسية الكهروضوئية وطاقة الرياح البحرية والبرية التي تم التكليف بها حديثاً.

وسجل المتوسط المرجح العالمي للتكلفة المستوية للكهرباء لمشاريع الرياح البرية المضافة حديثاً في عام 2021 انخفاضاً بنسبة15%على أساس سنوي ليصل إلى0,033 دولار أمريكي/ك/وات/ ساعة. كما انخفض هذا المتوسط لمشاريع الطاقة الشمسية الكهروضوئية الجديدة على مستوى المرافق بنسبة 13%على أساس سنوي في عام 2021 ليصل إلى 0,048 دولار أمريكي/ك/وات/ ساعة؛ وانخفض المتوسط المرجح العالمي للتكلفة المستوية للكهرباء لمشاريع طاقة الرياح البحرية بنسبة 13% إلى 0,075 دولار أمريكي/ك/وات/ ساعة.

ورغم تشغيل محطة واحدة فقط للطاقة الشمسية المركزة(CSP) في عام2021، كان متوسط تكلفة توليد الكهرباء من هذه المحطة أعلى بحوالي7% من المتوسط في عام2020 ليبلغ 0,114 دولار أمريكي/ك/وات/ساعة.

والجدير أن خلال الفترة 2021/2010، قد شهدت تحولاً جذرياً في القدرة التنافسية لمصادر الطاقة المتجددة. وانخفض المتوسط المرجح العالمي للتكلفة المستوية للكهرباء لمشاريع الطاقة الشمسية الكهروضوئية التي تم التكليف بها حديثاً على مستوى المرافق بنسبة88% بين عامي2010 و2021،في حين انخفض المتوسط لطاقة الرياح البرية والطاقة الشمسية المركزة بنسبة 68%،وطاقة الرياح البحرية بنسبة60%.

حيث أن فوائد مصادر الطاقة المتجددة في عام 2022 ستصل إلى مدى غير مسبوق. وفي ضوء أزمة أسعار الوقود الأحفوري، فإن تكلفة العمر الافتراضي لكل

كيلو/وات ساعة من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح الجديدة المضافة في أوروبا خلال عام 2021 ستكون أقل بمعدل يتراوح من 6:4 أضعاف من التكاليف الهامشية لتوليد الكهرباء باستخدام الوقود الأحفوري في عام 2022. ([1])

بينما على الصعيد العالمي، من المتوقع أن تساهم القدرة الإنتاجية المضافة من الطاقة المتجددة الجديدة في عام 2021 في تحقيق وفورات بقيمة 55 مليار دولار أمريكي على الأقل في عام 2022. وفي أوروبا، وتحديداً بين شهر يناير ومايو 2022، من المحتمل أن توليد الطاقة الشمسية الكهروضوئية وطاقة الرياح وحدهما ساهما في توفير 50 مليار دولار أمريكي من تكاليف وارادات الوقود الأحفوري.([2])

وتظهر البيانات أنه ليست كل الزيادات التي سُجلت حتى الآن في تكلفة المواد قد انعكست على أسعار المعدات، الأمر الذى يشير إلى أن ضغوط الأسعار في عام 2022 ستكون أكثر وضوحاً مما كانت عليه في عام 2021، ومن المرجح أن يرتفع التكلفة شاملة التركيب في المزيد من الأسواق هذا العام.

المطلب الثانى
التكلفة الاقتصادية لتوليد الكهرباء من البدائل المتجددة

جدول رقم (8) التغير في عناصر تكلفة لإنشاء وتركيب و إنتاج الكهرباء لبدائل توليد الطاقة الكهربائية من مصادر الطاقة المتجددة في الفترة من عام 2010 إلى عام 2021

بدائل توليد الطاقة الكهربائية	تكلفة إنشاء وتركيب المحطات $/ كيلو وات ساعة			تكلفة انتاج الكهرباء $/ كيلو وات ساعة		
	متوسط اسعار 2010	متوسط اسعار 2021	التغيير %	متوسط أسعار 2010	متوسط اسعار 2021	التغيير %
توليد الكهرباء من الطاقة الكهروضوئية	4731	883	-%81	0,381	0,057	-%85
توليد الكهرباء من الطاقةالمائية	1269	1870	%47	0,038	0,044	%18
توليد الكهرباء من طاقة الرياح	1971	1355	-%31	0,089	0,039	-%56

المصدر: International Renewable Energy Agency,2022

[1] International Renewable Energy Agency IRENA: international renewable energy agency 2021, July 2022 p.7
[2] Ibid

ويلاحظ في الجدول السابق رقم(8)، انخفاض تكلفة انتاج الكهرباء ومن الطاقة الشمسية والرياح في عام2021 علي الرغم من جائحة كورونا بالمقارنة بتكاليف الانتاج2010 بالرغم من التضخم السنوي.

وعلي الرغم من تأثير جائحة كورونا "Covid-19"الاضطرابات الناجمة عنها. حيث انخفض المتوسط العالمي المتوقع لتكلفة السنوية للكهرباء والاضافات الجديدة لطاقة الرياح البحرية بنسبة 13% وكما انخفضت تكاليف توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية. ونظراً لإنشاء محطات توليد الطاقة الكهربائية بمصر يتم من خلال العديد من الشركات الدولية المتخصصة، هذا بالإضافة لوجود العديد من المستجدات البحثية والتقنيات الجديدة في إنشاء وتشغيل محطات الطاقة الكهربائية، لذلك سوف يتم إجراء تقييم إقتصادي لبدائل تلك المحطات التي تعمل ببدائل الطاقة الجديدة والمتجددة، وكذلك المحطات التي تعمل بالوقود الإحفوري.([1])

حيث بين تتبع الأسعار خلال العقد الأخير لإنتاج الطاقة الكهربائية من المصادر المتعددة أن التغيير السعري في تكلفة إنشاء محطات الطاقة الكهربائية من المصادر المتجددة خلال السنوات من2010 إلى2021 إنخفض ليصل إلى 81% لتكلفة إنشاء المحطات التي تعمل بالطاقة الكهروضوئية، يليها انخفاض بنسبة 31% في تكلفة إنشاء محطات الطاقة الكهربائية التي تعمل بطاقة الرياح، في حين إرتفعت تكلفة إنشاء المحطات التي تعمل بالطاقة المائية بنسبة 18%.

بينما جاءت تكلفة إنتاج ك/وات/س في عام2021 أقل لطاقة الرياح حيث بلغت 0,039 دولار لكل ك/وات/س. يليها من حيث التكلفة لكل ك/وات/س من المحطات المائية والتى بلغت 0,044 دولار/ك/وات/س،بينما كانت تكلفة إنتاج الكيلو وات ساعة في العام2021 من المحطات الكهروضوئية0,057 دولار/ك/وات/س.

وبالمقارنة بتكلفة إنشاء المحطات التقليدية التي تعمل بالوقود الإحفوري، وتكلفة إنتاج ك/وات/س. منها فقد تم الرجوع الى أخر التعاقدات التي تمت في مصر لإنشاء محطات تقليدية لإنتاج الكهرباء من شركة سيمنز العالمية، حيث تم التعاقد على ثلاث محطات بطاقة إنتاجية كلية 14400ميجا وات.أي 14400× 103 ك/وات/س، وذلك بتكلفة كلية للتوريد والتركيب قدرها6 مليار يورو بما يعادل 6,42 مليار دولار،ويمكن حساب سعر الوحدة الإنتاجية لكل كيلو/وات/ساعة بما قيمته 445,83 دولار/ك/وات/س.

وبمقارنة تكلفة إنشاء تلك المحطات التقليدية بتكلفة إنشاء محطات الطاقة الكهربائية من المصادر المتجددة، يتضح أنها أقل بكثير من كافة البدائل الموضحة **في الجدول السابق رقم(8)**حيث تعادل50,5 %من تكلفة إنشاء محطة إنتاج الطاقة الكهربائية

[1] د/غادة سيد عبدالله شعبان:دور الطاقة المتجددةفى تحقيق التنمية الاقتصادية "فى إطار رؤية مصر2030"،مجلة البحوث التجارية،كلية التجارة، جامعة الزقازيق، المجلد(44)،العدد(2)،ابريل 2022، ص435-437

من الطاقة الكهروضـــوئية، كما تعادل 32,9% للمحطات التي تعمل بطاقة الرياح، بينما تعادل 23,8% للحصول على الطاقة الكهربائية من المحطات التي تعمل بطاقة المياه.

أما عن مقارنة تكاليف الكيلو/وات/ســـاعة من المحطات التقليدية التي تعمل بالوقود الاحفوري ببدائل إنتاج الطاقة الكهربائية من المصـــادر المتجددة، نجد أنه ومن واقع الأســـعار العالمية من0,05 إلى0,17 دولار وبمتوســـط قدره0,11 دولار لكل ك/وات/س، وبالمقارنة ببدائل إنتاج الطاقة الكهربائية من المصـــادر المتجددة، يتضـــح أنها أعلى تكلفة من إنتاج الطاقة بالمصـــادر المائية حيث تمثل250%، وأعلى تكلفة من إنتاج الطاقة من المصادر الكهروضوئية حيث تمثل192%.

وأعلى تكلفة أيضـــا من إنتاج الطاقة من مصـــادر الرياح حيث تمثل282,1%، بما يفيد أنه على الرغم من حجم الإســـتثمارات لإنشـــاء محطات الطاقة الكهربائية من الوقود الإحفوري بـالطرق التقليديـة هي الأقل عند المقـارنـه ببـدائـل المحطـات لتوليـد الطـاقـة الكهربائية النظيفة إلا أن تكلفة الوقود تزيد من تكلفة الإنتاج.([1])

فقد أشارت وكالة الطاقة الدولية إلى، أن البقاء على المسار المستهدف لعام 2050، يجب أن تكون قدرة الطاقة المتجددة العالمية أعلى بنســـبة 80**%**من معدل النمو الحالي بحلول عام 2026، حسب وكالة الطاقة الدولية. يجب أن تتضاعف الطاقة الشمسية وطاقة الرياح خلال السنوات الثلاث المقبلة.([2])

وفى ضـوء ما سـبق، يثور تسـاؤل:هل يمكن تحقيق الاعتماد على البدائل الآمنه للوقود الإحفوري فى مصر حتى عام 2035؟

من خلال ما سبق،نحاول تقييم إستخدام الوقود الإحفوري بمصر في عام 2021 و باســـتخدام بدائل الطاقة الآمنه المتجددة" الطاقة المائية،الطاقة الكهروضـــوئية، طاقة الريـاح".فمن خلال إجمـالي إســـتهلاك الكهربـاء في مصـــر عـام2021 والتي بلغت187,84تيرا/ وات، وكان تعداد الســـكان آنذاك 104,258 مليون نســـمة ومتوســـط إستهلاك الفرد سنوياً من الكهرباء لكلاً منهم يساوي1801,7 ك/وات/س.

ونظراً للأهميـة المرجعيـة لتلبيـة إحتيـاجـات المواطنين من الطـاقـة الكهربـائيـة بالمعدلات القياسية المصرية لضمان تحقق الأداء والإرتقاء الإقتصادي للمواطن المصري لكافة القطاعات،فقد تم حســـاب إجمالي تعداد الســـكان المتوقع للعام 2035 من خلال معدل النمو الســـكاني بمصـــر والذي تم الحصـــول عليه بشـــكل متدرج بمرجعية عام 2021.حيث يتوقع أن يصـــل إجمالي تعداد الســـكان في عام 2035 إلى129,9157 مليون نســـمه أي بمعدل زيادة في تعداد السكان عن عام2021 بمقدار124,61%.

---

[1] د/عزة على فرج: إقتصاديات بدائل توليد الطاقة الكهربائية من المصادر المتجددة بمصر، المجلة العلمية للاقتصاد والتجارة، المجلد 52، العدد 4، ديسمبر 2022، ص773

[2] **IRENA (2020)**: Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050, Available at: www.irena.org/publications, received date: 30 June.2024

وبإفتراض ثبات متوسط معدل إستهلاك الفرد للكهرباءعلى المستوى القومي بمعدلات عام2021، يمكن حساب إجمالي الطاقة الكهربائية المطلوب إضافتها لتلبية إحتياجات مصر من الكهرباء في عام 2035 بما يكافىء234,069 تيرا/ وات. فالأمر يتطلب دعم إنشاء محطات جديدة لتلبية الإحتياجات بإجمالي إنتاج طاقة كهربائية بمقدار46,229 تيرا وات، أي زيادة الطاقة المتولدة عن عام 2021 بنسبة قدرها 24,61%.([1])

فى ضوء ذلك، تتبنى مصر خطة إستراتيجية لتقليل الإنبعاثات الكربونية لزيادة إستخدام مصادر الطاقة الآمنه و المتجددة في إنتاج الكهرباء، وتعظيم الإستفادة منها وقد تم توظيفها بالفعل حالياً في إنتاج الكهرباء بنسب محدودة، سوف يتم مقارنة بدائل محطات إنتاج الطاقة الكهربائية من المصادر الآمنه المتجددة، مثل(الطاقة المائية، الطاقة الكهروضوئية، طاقة الرياح) وذلك لإجمالي الطاقة الكهربائية المطلوب زيادتها وعناصر التكاليف لإنشاء المحطات وتكاليف التشغيل وكافة المعاملات اللازمة لتقييم تكلفة الانتاج، مع إفتراض350 يوم عمل،و 10 ساعات عمل يومياً، وتكاليف تمويل بواقع 2,5% دولار أمريكي مع حساب التكلفة السنوية للإهلاك بواقع عمر افتراضي للتشغيل 30 عاماً.([2])

ومع إستمرار الاعتماد على الوقود الإحفوري لتلبية الإحتياجات القومية من الطاقة الكهربائية دون الحاجة لمحطات التخزين والتكاليف التابعة لإنشاءها.وفى ضوء الأسعار المرجعية لعام 2021، فإن بدائل إنشاء محطات توليد الطاقة من المصادر المتجددة لتلبية إحتياجات مصر من الكهرباء حتى عام 2035 يتطلب إنشاء وتشغيل المحطات من المصادر المتجددة لعام 2035. و هذا يتطلب البدء الفعلي للتخطيط و التنفيذ في توقيت محدد لتوفير الإحتياجات المستقبلية من الكهرباء بالقدرات اللازمة حتى عام 2035. ([3])

المطلب الثالث

التقييم الإقتصادي لتوليد الطاقة الكهربائية فى مصر من بدائل المتجددة

للتقييم الدقيق لما يتم إنتاجه من طاقة كهربائية من المصادر المتعددة، تم تتبع عناصر تكلفة إنشاء وتشغيل المحطات لإنتاج مصر من الطاقة الكهربائية في كلاً من محطات توليد الطاقة الكهربائية التي تعمل بالوقود الإحفوري(غاز، بترول) وكذلك محطات إنتاج الكهرباء التي تعمل من خلال مصادر الطاقة الطبيعية المتجددة مائية ،رياح ،كهروضوئية.وقد تم تحديد الأسعار بمرجعية عالمية بالدولار الأمريكي وذلك لضمان التقييم الاقتصادي الدقيق لما يتم إنتاجه من طاقة كهربائية بمصر دون تأثير التقييم الاقتصادي بدعم أسعار الكهرباء للمستهلكين.([4])

---

[1] الشركة القابضة لكهرباء مصر، التقرير السنوي لعام 2021 ،القاهرة ،2022

[2] د/زينب عباس زعزوع: دور الطاقة المتجددة فى تحقيق التنمية المستدامة والمعوقات التى تواجهها "دراسة ميدانية بالتطبيق على وزارتى الكهرباء والبترول فى مصر2030"، مجلة الدراسات، المجلد(21)، العدد(1)، يناير2020،ص8

[3] د/ بسام فتوح: تحولات أسواق النفط والغاز والاستجابة الاستراتيجية للدول العربية المصدرة للنفط والغاز لهذه التحولات،مجلة النفط والتعاون العربي، المجلد(50)،العدد(187)، الكويت،2023، ص14-16

[4] World Bank, World Development Indicators, UN Population Division,2022 Available at,https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators,received date: 30 June.2024

التقييم الإقتصادي لعناصر وتكلفة إنشاء محطات الإنتاج المتجددة للكهرباء:

أظهرت بيانات إنتاج الطاقة الكهربائية المولدة من المحطات المتعددة لبدائل الوقود خلال العام 2021 أن إجمالي ما تم إنتاجه من الطاقة الكهربائية قد بلغ 187,84تيرا/وات بما يعادل 1,8784× 10ك/وات، وقد تم إنتاج ما مقداره 168,63تيرا/وات أى بما يعادل 1,6863× 10 ك/وات. من محطات توليد الطاقة الكهربائية من الوقود الإحفوري منهم 25,57 تيرا/وات من زيت البترول، و 143,06 تيرا/وات بوقود الغاز الطبيعي.

كما تم توليد 19,21تيرا/وات من المحطات التي تعمل بالطاقات المتجددة(الطاقة المائية، الطاقة الكهروضـــوئية،طاقة الرياح)حيث أنتجت محطات توليد الطاقة الكهربائية من المياه 13,23تيرا/وات بما يعادل 13,2 × 10 ك/وات، ومحطات توليد الكهرباء من الطاقة الكهروضـــوئية 1,64تيرا/وات بم يعادل 1,64× 10 ك/وات،كما أنتجت محطات توليد الكهرباء من طاقة الرياح 4,34 تيرا/وات بما يعادل4,34 × 10 ك/وات.

وكما يتضـــح أن محطات توليد الطاقة الكهربائية للوقود الإحفوري تنتج ما يعادل89,77% من إجمالي الإنتاج بمصـــر لعام 2021، وأن نسـبة ما تم إنتاجه من طاقة كهربائية من محطات الطاقة المتجددة (الطاقة المائية، الطاقة االكهروضوئية، طاقة الرياح) لم تتعدى 10,23% وذلك للعام 2021.

وللتقييم الإقتصـادي لمحطات توليد الطاقة الكهربائية المتاحة بمصـر للعام2021 من مصادر الطاقة المتعددة الإحفورية والمتجددة، فقد تم حساب إجمالي التكاليف من تلك المحطات وتكلفة إنتاج الكيلو/وات بالأســـعار العالمية الموثقة بالدولار الأمريكي لتلك المحطات المتاحة.

الجدول رقم(9)

عناصر التكلفة لانتاج الطاقة الكهربائية بمصر للمحطات المختلفة بالمرجعية العالمية لكلاً من تكاليف انشاء المحطة وتكاليف التشغيل

البيان	الانتاج من الطاقة الأحفورية	الانتاج من الطاقة المائية	الانتاج من الطاقة الكهروضوئية	الانتاج من طاقة الرياح	الإجمالي
اجمالي الطاقة الكهربائية للمحطات الجديدة ك/وات لتلبية احتياجات 2021	10 x1,6863	10 x 1,32	10 x 1,64	10x4,34	10x1,8784
كمية المنتج من الطاقة الكهربائية من المحطات المختلفة (%)	%89,77	%7,04	%0,87	%2,31	%100
القدرة الانتاجية للمحطة ك/ وات/س	10 x 4,82	10 x3,78	10 x4,69	10x1,24	-
وحدة تكاليف انشاء المحطات بمرجعية أسعار 2021 دولار لكل ك/وات/ س	445,83	1870	883	1355	-
إجمالي تكلفة انشاء المحطات بـ$	10x 2,15	10 x 7,07	10x4,14	10 x1,78	10 x3,06
(%) تكلفة إنشاء المحطات بـ $ بأسعار2021	%70,10	%23,07	%1,35	%5,48	%100
قيمة التكاليف التمويلية بمعدل 2,5 % بـ$	10x 5,37	10 x 1,77	10x1,03	10 x4,20	-
وحدة تكاليف التشغيل السنوية بـ$ لكل ك/ وات/ س	0,11	0,044	0,057	0,039	-
إجمالي تكاليف التشغيل السنوية بـ $	10x 1,85	10 x 5,82	10 x 9,35	10 x1,69	10 x1,94
(%) تكلفة تشغيل المحطات المتاحة بـ $ بأسعار2021	%95,64	%3,00	%0,48	%0,87	%100
تكاليف إزالة الاثار السلبية للكربون بـ$	10 x 4,57	0	0	0	-
التكاليف السنوية للاهلاك بـ$	10 x 7,16	10x2,36	10x1,38	10 x5,60	10 x1,02
(%)للاهلاك	%70,099	%23,068	%1,350	%5,483	%100
اجمالي التكاليف الكلية السنوية بـ$	10 x 2,44	10 x9,94	10 x1,18	10 x2,67	10 x2,57
النسبة لاجمالي التكاليف الكلية السنوية بـ$	%94,64	%3,86	%0,46	%1,04	%100
متوسط تكلفة انتاج الكيلو/ وات/ س بـ$	0,1445	0,0752	0,0717	0,0616	-
متوسط تكلفة انتاج الكيلو/ وات/ س بالجنيه المصرى بأسعار2021	2,269	1,180	1,126	0,967	-

المصـــدر: تكاليف الانشـــاء والتشـــغيل بالاســـعار العالمية، International Renewable Energy Agency,2022

ويوضـــح الجدول الســـابق رقم(9)،كمية الإنتاج وعناصـــر التكلفة لبدائل محطات إنتاج الكهرباء،وقد تم حساب إجمالي تكلفة إنشاء المحطات بالدولار الأمريكي مع إفتراض أن قدرات المحطات قد تم حسابها من خلال إجمالي الإنتاج لكلاً منها، وعدد ساعات العمل الســـنوية350 يوم عمل ســـنوياً بواقع10ســـاعات عمل يومياً،كما تم إضـــافة أعباء تكاليف التمويل بواقع2,5% من التكلفة الكلية لإنشـــاء المحطات بالدولار الأمريكي،كما تم الأخذ بعين الإعتبار في التقييم الإقتصادي التكلفة السنوية للإهلاك لتلك المحطات.([1])

حيث تبين من الجدول السابق رقم(9) ما يلى:

- أن إجمالي التكلفة اللازمة لإنشـــاء المحطات المكافئة بالأســـعار العالمية لعام 2021 بقدرة كلية قدرها 187,84 تيرا وات تعادل 3,06 × 10 دولار أمريكي، وأن تكلفة المحطـات التي تعمـل بـالوقود الإحفوري تمثـل 70,1% من إجمـالي تكلفـة محطـات

[1] Ibid.

توليد الكهرباء، وأن نسبة تكلفة محطات توليد الكهرباء من الطاقة المائية تعادل 23,07% من إجمالي تكلفة محطات إنتاج الكهرباء بمصر.

- أن نسبة تكلفة محطات توليد الكهرباء من الطاقة الكهروضوئية تعادل 1,35% من إجمالي تكلفة محطات إنتاج الكهرباء بمصر، وأن نسبة تكلفة محطات توليد الكهرباء من طاقة الرياح تعادل5,48% من إجمالي تكلفة محطات إنتاج الكهرباء بمصر.
- أن أقل تكلفة لوحدة الإنشاء لمحطات توليد الطاقة الكهربائية بأسعار 2021 هي على النحو التالي محطات الكهرباء التي تعمل بالوقود الإحفوري445,83 دولار/ك/وات/س، ومن ثم محطات توليد الكهرباء من الطاقة الكهروضوئية والتي تعادل883 دولار/ك/وات/س،ومن ثم يليها محطات توليد الطاقة الكهربائية من طاقة الرياح والتي تعادل 1355 دولار/ك/وات/س،وتأتي أخيراً محطات توليد الطاقة من المصادر المائية والتي تعادل 1870دولار/ك/وات/س.

وعلى الرغم من الإنخفاض النسبي لوحدة تكلفة إنشاء محطات الطاقة الكهربائية التي تعمل بإستخدام الوقود الإحفوري،وإختلاف الطاقة الإنتاجية من تلك المحطات.إلا أنه لايمكن إتخاذ القرار الإقتصادي بإختيار المحطة طبقاً لتكاليف إنشاء المحطات فقط ولكن ينبغي الأخذ بعين الإعتبار للتقييم الاقتصادي لتكاليف التشغيل والتكاليف الإقتصادية المترتبة على الأثر البيئي،وبالتالي إجمالي التكلفة الإقتصادية لإنتاج الكهرباء.

التقييم الإقتصادي لعناصر وتكلفة التشغيل لمحطات إنتاج الكهرباء:

نظراً للأهمية الإقتصادية لوحدة تكاليف التشغيل لإنتاج الكهرباء وإختلافها مع إختلاف نوع الطاقة التي تعمل بها المحطة، فقد تم تحليل عناصر تكلفة التشغيل لكل ك/وات/س. طبقاً لبدائل مصادر الطاقة الإحفورية "مائية، كهروضوئية، رياح".

أ- تقييم تكلفة إزالة الأثار السلبية لإستخدام الوقود الإحفوري

تم حساب تكاليف إزالة الأثار السلبية لإستخدام الوقود الإحفوري بمحطات توليد الطاقة الكهربائية للعام 2021 وذلك لتوليد 168,63 تيرا/وات في العام 2021 بإستخدام الوقود الإحفوري والذي نتج عنه مخلفات كربونية قدرها 79,404مليون طن كربون، وذلك طبقاً لمعدلات قدرها 470,879 جرام كربون يتم توله لكل كيلو وات ساعة طبقاً للمعدلات العالمية ويستوجب إنتاج وانبعاث 79,404مليون/طن/كربون تحمل تكاليف قدرها 57,5 دولار لكل طن من ثاني اكسيد الكربون لإزالة الأثار السلبية الناجمة عنه والتي تعادل قيمة قدرها 4,57 × 10 دولار أمريكي. ولضريبة الكربون أهمية خاصة حيث أظهرت البحوث القيمة الإيجابية لضريبة الكربون بما يحقق التطوير للإنتاج ودعم الإبتكار في الإنتاج الأنظف.

وكما يتضح من إجمالي الطاقة الكهربائية المولدة بمصر من كافة المحطات إنخفاض كمية الطاقة المولدة من المحطات التي تستخدم مصادر الطاقة المتجددة،وأن النسبة الأكبر من الطاقة الكهربائية يتم توليدها من خلال المحطات التي تعمل بالوقود

الإحفوري،ولتحقيق الإرتقاء البيئي وتحسين حالة المناخ،وتقليل الإنبعاثات الكربونية، يجب تفعيل ضريبة الكربون والتي تقل بشكل عام إستخدام الوقود الإحفوري في إنتاج الكهرباء.

- **كما تم حساب تكاليف الإهلاك السنوية لمحطات توليد الطاقة الكهربائية** مع إفتراض أن العمر التشـــغيلي الكلي لتلك المحطات يعادل 30 عاماً حيث بلغ إجمالي تكلفة الاهلاك لكافة المحطات 1,02 × 10 دولار أمريكي، كما يتضـــح بالجدول رقم (9) النسب المئوية لتكاليف الإهلاك لكلاً من تلك المحطات.

ب- حســـاب إجمالي التكاليف الكلية الســـنوية بالدولار الأمريكي كدالة في أعباء تكاليف الإنشاء لكلاً من الإهلاك والتمويل، وتكاليف التشغيل، وتكاليف ضريبة الكربون.

حيث بلغت إجمالي التكلفة الســـنو ية لكلاً منهم 2,57×10 دولار أمريكي للعام 2021، وبلغت إجمالي التكلفة الكلية 94,64% لمحطات إنتاج الكهرباء للوقود الاحفوري من التكلفة الكلية الســـنوية، وبلغت إجمالي التكلفة الكلية 3,86 % لمحطات إنتاج الكهرباء من الطاقة المائية من التكلفة الكلية السنوية، وبلغت اجمالي التكلفة الكلية 0,46% لمحطات إنتاج الكهرباء من الطاقة الكهروضـوئية من التكلفة الكلية السـنوية، وبلغت إجمالي التكلفة الكلية 1,04% لمحطات إنتاج الكهرباء من طاقة الرياح من التكلفة الكلية السنوية.

ج- حســـاب متوســـط تكلفة ك/وات من كافة المحطات من خلال إجمالي التكلفة وإجمالي إنتاج الكهرباء

من تلك المحطات لكلاً منهم، حيث تبين أن متوسـط تكلفة الكيلو قد بلغت 0,1445 دولار أمريكي بالمحطات التي تعمل بالوقود الإحفوري2,269جنيه، بينما بلغت متوســـط تكلفة إنتاج ك/وات 0,0752 دولار أمريكي من محطات إنتاج الكهرباء التي تعمل بطاقة الميـاه 1,180جنيـه، وبلغـت متوســـط تكلفـة إنتـاج ك/وات 0,0717 دولار أمريكي من محطات إنتاج الكهرباء التي تعمل بالطاقة الكهروضـــوئية 1,126 جنيه، بينما بلغت متوسط تكلفة إنتاج ك/وات 0,0616 دولار أمريكي من محطات إنتاج الكهرباء التي تعمل بطاقة الرياح0,967 جنيه .

د- أعلى تكلفة لمتوسط سعر إنتاج ك/وات/س من الكهرباء لما تم توليده من المحطات:

- هى تلك التي تعمل بالوقود الإحفوري، يليها متوسط سعر التكلفة لكل ك/وات/س من الكهربـاء من المحطـات التي تنتج من طـاقـة الميـاه حيـث تمثـل52,04%من تكلفـة متوسط سعر إنتاج ك/وات من الكهرباء للمحطات التي تعمل بالوقود الاحفوري.
- يليها متوسط سعر تكلفة ك/وات/س. من الكهرباء من محطات الطاقة الكهروضوئية والتي بلغت 49,6% من تكلفة متوســـط ســـعر إنتاج ك/وات من الكهرباء للمحطات التي تعمل بالوقود الإحفوري.
- يليهم من حيث أقل الأسـعار متوسـط سـعر تكلفة ك/وات/س. محطات الإنتاج بطاقة الرياح والتي بلغت نسـبة قدرها 42,6% من تكلفة متوسـط سـعر إنتاج ك/وات من الكهربـاء للمحطـات التي تعمـل بـالوقود الإحفوري، أي أنـه من خلال الـدراســـة الإقتصادية بالبحث لكلا من إجمالي تكلفة الإنتاج للطاقة الكهربائية في العام2021.

ه- **إجمالي تكاليف كلاً من تكاليف التشغيل وتكاليف الإنشاء للمحطات** يتضح أن أقل تكلفة لإنتاج ك/وات من الكهرباء يتحقق من محطات تستخدم طاقة الرياح.

أن تشجيع عدم استخدام الوقود الأحفوري كالفحم وزيت الوقود والبنزين يشكل أهمية بالغة في الحد من تراكم غازات الدفيئة التي تحبس الحرارة في الغلاف الجوي.كما أن تسعير الكربون الذي يتم تنفيذه من خلال فرص ضريبة على المكون الكربوني؛ ستكون إدارته بسيطة ومباشرة بصفته إضافة إلى ضرائب الوقود الراهنة. وبين أن تسعير الكربون سيتكسب زخمًا في الوقت الراهن.([1])

وكما يتضح بالجدول السابق رقم(9)، أن وحدة تكاليف التشغيل لكل ك/وات/س. لمحطات الوقود الإحفوري قد بلغت0,11 دولار أمريكي/ك/وات/س،بينما تبلغ وحدة تكاليف التشغيل إنتاج لكل ك/وات/س.وبإستخدام الطاقة الكهروضوئية0,057 دولار،وبما يعادل نسبة قدرها 51,8%من تكلفة التشغيل بمحطات إنتاج الكهرباء التي تعمل بالوقود الإحفوري،بينما بلغت وحدة تكاليف التشغيل لكل ك/وات/س.في محطات الطاقة المائية0,044 دولار/ك/وات/س.وبما يعادل نسبة قدرها40%من تكلفة التشغيل بمحطات إنتاج الكهرباء التي تعمل بالوقود الإحفوري.

في حين بلغت أقل قيمة لمعامل تكلفة تشغيل لكل ك/وات/س. بالمحطات التي تعمل بطاقة الرياح والتي بلغت0,039 دولار/ك/وات/س.وبنسبة قدر ها 35,45%من تكلفة التشغيل بمحطات إنتاج الكهرباء التي تعمل بالوقود الإحفوري،ويتضح بكل تأكيد التفاوت الملحوظ في تكلفة التشغيل طبقاً لكمية الطاقة المنتجة ومعامل تكاليف التشغيل لبدائل وحدات إنتاج الطاقة.

وكما يتضح من الجدول السابق رقم(9)، أن كمية الإنتاج السنوي من الكهرباء من كافة المحطات المتاحة بمصر خلال عام2021 ومن خلال مرجعية الأسعار العالمية بالدولار لتكلفة التشغيل لإنتاج الطاقة الكهربائية بالدولار الأمريكي للمحطات التي تعمل ببدائل الطاقة حيث تم حساب إجمالي تكاليف التشغيل السنوية كدالة في إجمالي الإنتاج ومعامل تكاليف التشغيل لبدائل إنتاج الكهرباء من مصادر الطاقة المتعددة، حيث بلغت1,94× 10 دولار أمريكي للعام 2021 لإجمالي ما تم إنتاجه187,84 تيرا/وات،وبمتوسط عام لتكلفة التشغيل لما تم إنتاجه بمقدار0,103 دولار/ك/وات/س.

في حين أن قيمة تكاليف التشغيل بمحطات إنتاج الكهرباء التي تعمل بالوقود الاحفوري قد بلغت1,85×10 دولار أمريكي وبنسبة قدرها95,6%من إجمالي تكاليف التشغيل لكافة المحطات، بينما بلغت إجمالي تكلفة التشغيل لإنتاج الطاقة الكهربائية المولدة من محطات الطاقة الكهربائية التي تعمل بطاقة المياه 5,82× 10 دولار أمريكي، وبنسبة بلغت حوالى 3%من قيمة تكاليف التشغيل لكافة المحطات، وقد بلغت قيمة تكاليف التشغيل لما تم إنتاجه من كهرباء من محطات الطاقة الكهروضوئية حوالى 9,35 × 10 دولار

[1] إيان بيرى: خمسة أمور يجب أن تعرفها عن تسعير الكربون: تسعير الكربون أداة واعدة للغاية في مكافحة تغير المناخ، مجلة التمويل والتنمية، مجلد(58)، العدد(3) صندوق النقد الدولي، الولايات المتحدة الامريكية، ديسمبر2021، ص10-11

أمريكي وبنســـبة تقدر بحوالى 0,48%من إجمالي تكاليف تشـــغيل كافة محطات إنتاج الكهرباء،أخيراً، بلغت قيمة تكاليف التشـــغيل لمحطات الطاقة الكهربائية من طاقة الرياح حوالى 1,69×10 وبنسـبة بلغ مقدارها حوالي 0,87% من إجمالي تكاليف التشـغيل لكافة المحطات لإنتاج الكهرباء فى مصر خلال عام2021.

الجدول رقم(10)
دراسة مقارنة بين بدائل انتاج الطاقة الكهربائية اللازمة لدعم احتياجات مصر لعام2035

بدائل الطاقة	محطات الطاقة المائية لتوليد الكهرباء	محطات الطاقة الكهروضوئي ة لتوليد الكهرباء	محطات طاقة الرياح لتوليد الكهرباء
اجمالي الطاقة الكهربائية للمحطات الجديدة بالكيلو وات لتلبية احتياجات 2035	10x 4,62	10 x 4,62	10 x 4,62
القدرة الانتاجية للمحطة بالكيلو وات ساعة	13208285,7	13208285,7	13208285,7
وحدة تكلفة انشاء المحطات بالدولار الامريكي	1870	883	1355
إجمالي تكلفة انشاء المحطات بالدولار الامريكي	10 x 2,47	10 x 1,17	10 x 1,79
قيمة التكاليف التمويلية بمعدل 2,5 % دولار أمريكي	10x 6,17	10 x 2,92	10 x 4,47
وحدة تكاليف التشغيل السنوية بالدولار لكل كيلو/ وات/ ساعة	0,044	0,057	0,039
إجمالي تكاليف التشغيل السنوية بالدولار الأمريكي	10x 2,03	10 x 2,64	10 x 1,8
تكاليف إزالة الاثار السلبية للكربون بالدولار	-	-	-
التكاليف السنوية للاهلاك بالدولار الامريكي	10x 8,23	10 x 3,89	10 x 5,97
إجمالي التكاليف الكلية السنوية بالدولار الامريكي	10x 3,47	10 x 3,32	10 x 2,85
متوسط تكلفة انتاج الكيلو وات ساعة بالدولار	0,08	0,07	0,06

المصدر : International Renewable Energy Agency,2022

بينما يشير الجدول السابق رقم(10)،إلى حساب تكلفة إنشاء المحطات بالدولار الأمريكي،حيث يتضح أن إجمالي تكلفة إنشاء المحطات اللازمة لتوليد4,62× 10 ك/وات/ سنوياً تعادل2,47 ×10 دولار أمريكي،وذلك لمحطات الكهرباء التي تعمل بالطاقة المائية،في حين أن تكلفة المحطات التي تعمل بطاقة الرياح لتوليد نفس القدرة تعادل1,79×10دولار أمريكي وبنسبة قدرها 72,4%من تكلفة إنتاج نفس المحطات التي تعمل بالطاقة المائية. هذا من جهة،ومن جهة أخرى فإن تكلفة إنتاج المحطات المكافئة لتوليد نفس القدرة وكمية الطاقة بإستخدام الطاقة الكهروضوئية تبلغ1,17×10 دولار أمريكي أي أن تلك التكلفة تعادل47,36% من تكلفة إنشاء المحطات المثيلة بإستخدام الطاقة المائية للانتاج.

ولذلك، نرى أن أفضل البدائل من حيث تكلفة الإنشاء هي المحطات التي تعمل بالطاقة الكهروضوئية ومن ثم المحطات التي تعمل بطاقة الرياح ويأتي أخيراً المحطات التي تعمل بالطاقة المائية.

وعند التقييم الإقتصادي لبدائل محطات توليد الطاقة الكهربائية من حيث التكلفة السنوية للتشغيل نلاحظ أن : ([1])

- يتضح أن تكلفة التشغيل السنوية لبدائل محطات توليد الطاقة الكهربائية التي تعمل بالطاقة المائية 2,03 × 10 دولار أمريكي لإنتاج طاقة قدرها 4,62 × 10 كيلو/وات.
- بينما تبلغ تكلفة التشغيل السنوية لبدائل المحطات التي تعمل بالطاقة الكهروضوئية 2,64 × 10 دولار أمريكي أي بنسبة قدرها 130% من تكلفة التشغيل للمحطات العاملة بالطاقة المائية لتوليد نفس كمية الإنتاج .
- بينما كانت التكاليف السنوية الأقل لمحطات توليد الطاقة الكهربائية التي تعمل بطاقة الرياح والتي بلغت1,8× 10 دولار أمريكي أي بنسبة تكاليف تشغيل قدرها88,7% من تكلفة التشغيل لمحطات الكهرباء التي تعمل بالطاقة المائية لتوليد نفس كمية الانتاج.

وبناء على ما سبق، ومن خلال حساب التكاليف السنوية للإنشاء والتشغيل والأعباء المالية للتمويل وكمية الإنتاج السنوي فقد تم حساب سعر التكلفة للمتوسط المتوقع لكل ك/وات لبدائل المحطات بالدولار الأمريكي وذلك نظراً للتغير في سعر الصرف.

[1] Ibid.

ومن جهة اخرى،ومن خلال المقارنة لمتوسط تكلفة إنتاج ك/وات/ س.يتضح أن:

- محطات توليد الطاقة الكهربائية من طاقة الرياح تمثل أقل التكاليف لسعر إنتاج ك/وات/س، تليها سعر إنتاج ك/وات/س بمحطات توليد الطاقة الكهربائية من مصادر الطاقة الكهروضوئية،ومن ثم سعر إنتاج ك/وات/س بمحطات توليد الطاقة الكهربائية من مصادر الطاقة المائية.مع التسليم بأن كافة البدائل لإنتاج الطاقة الكهربائية من مصادر الطاقة المتجددة قد يتم إنشاء المحطات التي تعمل بها طبقاً لموقع المحطة والساعات اليومية اللازمة للتشغيل.

واستناداً إلى ما سبق، يعتبر مصدر الطاقة الأنسب لإستكمال إحتياجات مصر من الطاقة الكهربائية من مصادر آمنه ومتجددة من حيث أقل الأسعار ك/وات/س. هو محطات إنتاج الطاقة الكهربائية من طاقة الرياح.

ويبين الجدول السابق رقم(10) حساب متوسط سعر إنتاج الكيلو وات ساعة في العام2035،حيث تم إستخدام كافة المحطات العاملة في إنتاج الكهرباء في العام2021،وإضافة محطات إنتاج الكهرباء الجديدة لتلبية الإحتياجات الكلية من الطاقة الكهربائية كما هو مبين بالجدول والذي يوضح أن إجمالي إنتاج الكهرباء المتوقع يصبح2,3407 × 10 ك/وات/س، والذي تم إستخدامه في حساب التكلفة الكلية لإنتاج الكهرباء في العام 2035 والذي تبين أنها سوف تكافىء 2,85× 10 دولار أمريكي.

وكما أن متوسط سعر إنتاج ك/وات. سوف يصبح 0,122 دولار أمريكي في عام 2035،ويبين ذلك أهمية الدراسة الإقتصادية لبدائل إنتاج الطاقة الكهربائية من المصادر المتجددة حيث حقق ذلك إنخفاض تكلفة الإنتاج لتصبح التكلفة المتوسطة لكل كيلو/وات89% من متوسط تكلفة إنتاج ك/وات/س. في عام2021 والذي يعادل0,13707 دولار أمريكي.

وفى ضوء ما سبق، يثور تساؤل:هل يمكن تحقيق الاعتماد على البدائل الآمنه للوقود الإحفوري فى مصر حتى عام 2035

من خلال ما سبق، نحاول تقييم إستخدام الوقود الإحفوري بمصر في عام 2021 و باستخدام بدائل الطاقة الآمنه المتجددة" الطاقة المائية، الطاقة الكهروضوئية، طاقة الرياح". فمن خلال إجمالي إستهلاك الكهرباء في مصر عام2021 والتي بلغت 187,84تيرا/وات، وكان تعداد السكان آنذاك 104,258 مليون نسمة ومتوسط إستهلاك الفرد سنوياً من الكهرباء لكلاً منهم يساوي1801,7 ك/وات/س.

الجدول رقم (11)
التقييم الإقتصادي للتشغيل المتوقع لعام2035 ومتوسط سعر لكل كيلو/وات/س

البيان	الانتاج من الطاقة الأحفورية	الانتاج من الطاقة المائية	الانتاج من الطاقة الكهروضوئية	الانتاج من طاقة الرياح	الإجمالي
اجمالي انتاج الكهرباء ك/وات لعام 2021	1x1,690	x1,3210	10x 1,6	10x4,34	x1,878410
الفروق في اجمالي انتاج الكهرباءك/ وات/س لتلبية احتياجات عام 2035	-	-	-	1x4,6230	x4,622910
الاجمالي الكلي لانتاج الكهرباء ك/ وات/س لعام2035	1x1,690	x1,3210	10x1,6	1x5,0570	x2,340710
إجمالي فروق للتكاليف الكلية السنوية لعام 2021بـ$	1x2,440	x 9,9410	10x1,2	2,6710x	x2,574710
إجمالي فروق للتكاليف الكلية السنوية لعام 2035بـ$	-	-	-	2,8510x	10x2,85
اجمالي التكاليف الكلية لعام2035 بـ $	1x2,440	x 9,9410	10x1,2	1x3,1140	x2,859410
تكاليف إزالة الاثار السلبية للكربون بـ$	1x4,570	-	-	-	-

المصدر : تم حساب المتوسط من خلال دراسات الجدوى في البحث .
International Renewable Energy Agency,2022

وفقا لبيانات الجدول السابق رقم(11)،ونظراً للأهمية المرجعية لتلبية إحتياجات المواطنين من الطاقة الكهربائية بالمعدلات القياسية المصرية لضمان تحقق الأداء والإرتقاء الإقتصادي للمواطن المصري لكافة القطاعات،فقد تم حساب إجمالي تعداد السكان المتوقع للعام 2035 من خلال معدل النمو السكاني بمصر والذي تم الحصول عليه

بشـــكل متدرج بمرجعية عام 2021.حيث يتوقع أن يصـــل إجمالي تعداد الســـكان في عام 2035 إلى129,9157 مليون نســـمه أي بمعدل زيادة في تعداد الســـكان عن عام2021 بمقدار124,61%، وبإفتراض ثبات متوسط معدل إستهلاك الفرد للكهرباءعلى المستوى القومي بمعدلات عام2021.

ويمكن حساب إجمالي الطاقة الكهربائية المطلوب إضافتها لتلبية إحتياجات مصر من الكهرباء في عام 2035 بما يكافىء234,069 تيرا/وات. فالأمر يتطلب دعم إنشـــاء محطات جديدة لتلبية الإحتياجات بإجمالي إنتاج طاقة كهربائية بمقدار46,229 تيرا/وات، أي زيادة الطاقة المتولدة عن عام 2021 بنسبة قدرها 24,61%.([1])

فى ضوء ذلك، تتبنى مصر خطة إستراتيجية لزيادة إستخدام مصادر الطاقة الآمنه و المتجددة في إنتاج الكهرباء، وتعظيم الإستفادة منها وقد تم توظيفها بالفعل حالياً في إنتاج الكهرباء بنســـب محدودة، ســـوف يتم مقارنة بدائل محطات إنتاج الطاقة الكهربائية من المصـــادر الآمنه المتجددة، مثل(الطاقة المائية، الطاقة الكهروضـوئية، طاقة الرياح) وذلك لإجمالي الطاقة الكهربائية المطلوب زيادتها وعناصـر التكاليف لإنشـاء المحطات وتكاليف التشـــغيل وكافة المعاملات اللازمة لتقييم تكلفة الانتاج، مع إفتراض350 يوم عمل، و10 ساعات عمل يومياً، وتكاليف تمويل بواقع2,5% دولار أمريكي مع حساب التكلفة السنوية للإهلاك بواقع عمر افتراضي للتشغيل ثلاثون عاماً.([2])

ومع إستمرار الاعتماد على الوقود الإحفوري لتلبية الإحتياجات القومية من الطاقة الكهربائية دون الحاجة لمحطات التخزين والتكاليف التابعة لإنشاءها. وفى ضوء الأسعار المرجعية لعام2021، فإن بدائل إنشـاء محطات توليد الطاقة من المصـادر المتجددة لتلبية إحتياجات مصر من الكهرباء حتى عام 2035 يتطلب:([3])

- إنشـــاء وتشـــغيل المحطات من المصـــادر المتجددة لعام 2035. وهذا يتطلب البدء الفعلي للتخطيط و التنفيذ في توقيت محدد لتوفير الإحتياجات المسـتقبلية من الكهرباء بالقدرات اللازمة حتى عام 2035.
- وللوقوف على الجدوى الاقتصـــادية لتلك المصـــادر، فإنه لابد من النظر إلى تكاليف الاســـتثمار في مجال إنتاج الطاقة المتجددة والذى معظمه ينتج على شـــكل كهرباء، وتتضـــمن تكاليف إنشـــاء المحطات الكهربائية، وتكاليف ما قبل البناء مثل تراخيص الموقع، وتكاليف الاختبار البيئى لهذه المحطات وأية تكاليف أخرى طارئة.
- ووفقًا للإحصـــاءات الرسـمية لعام2017 حول قطاع الطاقة المتجددة فى مصـــر،فإن التكـاليف الاســـتثمـاريـة للمحطـات الغـازيـة هى الأقل مقـارنـة بـالمحطـات الأخرى وتتراوح بين 521 دولارا/ك/وات من القـدرة المركبـة على أســـاس عـائـد على

[1] الشركة القابضة لكهرباء مصر، التقرير السنوي لعام 2021 ،...، مرجع سابق

[2] Mensah, J.: Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review. Cogent Social Sciences, 5(1), 1653531, 2019

[3] World Bank, World Development Indicators, …. Op.Cit.

الاستثمار نسبته 3% أثناء الإنشاء والتركيب،و1420 دولارا على أساس عائد على الاستثمار نسبته 0,10%([1])

- بينما تتراوح التكلفة الاستثمارية للمحطات العاملة بالطاقة الكهرومائية بين664 و 12348 دولارا/ك/وات من القدرة المركبة. أما مصادر الطاقة المتجددة الأخرى فتصل التكلفة الاستثمارية إلى 3146 دولارا/ك/وات من القدرة المركبة لمحطات الرياح البرية وإلى 2688 دولارا للمحطات العاملة بالخلايا الكهروضوئية.

وبشكل عام يعود هذا التفاوت فى التكاليف الاستثمارية إلى عدة عوامل أهمها: طول العمر الافتراضى للمحطة، نوع التكنولوجيا المطبقة، نسبة العائد على الاستثمار، ظروف السوق المحلى([2])

وفى ضوء البيانات المتاحة، فإن مقارنة تكلفة إنتاج الكهرباء من المصادر المختلفة للطاقة المتجددة فى المحطات القائمة، كالتالي: ([3])

- تكلفة إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية باستخدام الخلايا الكهروضوئية تتراوح بين0,15 :0,31 دولار/ك/وات/س،باستخدام الإشعاع المركز0,14-0,36 حسب التكنولوجيا المستخدمة وشدة السطوع الشمسى .
- تتراوح تكلفة إنتاج الكهرباء من طاقة الرياح بين 0,06 :0,14 دولار/ك/وات/س. وقد تنخفض كثيراً عن ذلك.
- تتراوح تكلفة إنتاج الكهرباء من حرق الكتلة الحيوية بين0,06 :0,15 دولار/ك/وات/س. وقد تكون أقل تكلفة حسب توفر المواد الأولية " المخلفات"ومستوى تقدم الدول.

فالعائد الاقتصادي لاستخدام الطاقة الشمسية في مصر يتسم بمردود إيجابي، على الرغم من ارتفاع التكلفة الاستثمارية لهذا المصدر، كما أنه يتميز بانخفاض تكلفة التشغيل والصيانة وطول العمر الافتراضي للخلية مقارنة بمصادر الطاقة التقليدية، حيث أوضحت أن العمر الافتراضي للخلية الشمسية يتراوح ما بين" 25-30 " سنة، في حين يبلغ العمر الافتراضي للمولدات التي تعمل بالمصادر التقليدية سنة واحدة، وفى ظل ما تتمتع به مصر من توافر الشمس طوال السنة يجعل ذلك لديها مصدر مستمر ومستقر لتوليد الطاقة الشمسية.([4])

وعلية فإن المزيج الأمثل للطاقة المتجددة يعتمد بدرجة كبيرة على الطاقة الشمسية.

---

[1] د/أمانى فوزى الجندى & د/شيماء أحمد حنفى: محددات أمن الطاقة فى مصر(دراسة قياسية)، المجلة الاجتماعية القومية، المجلد 60، العدد الأول، يناير2023 ، ص 11

[2] د/محمد يونس: خريطة الطاقة المتجددة فى مصر، تقرير مؤسسة فريدريش إيبرت،2017، ص2

[3] International Renewable Energy Agency IRENA: Renewable energy generation Costs in 2021, July 2022.p96

[4] د/محمد حسين غانم: المردود الاقتصادي لاستخدام الطاقة الشمسية في مصر. مجلة الإمتياز لبحوث الاقتصاد والإدارة، الجزائر،المجلد(2) ،العدد(2) ،2018، ص10-26

الخاتمة

في إطار محاولة الاستفادة من تطبيقات الطاقة المتجددة سيبقى الوقود الاحفوري المصدر الرئيسي للطاقة العالمية لعقود قادمة، فمع تزايد الطلب،ستحتاج الدول إلى جميع مصادر الطاقة الأحفورية والمتجددة على حد سواء. لذا فإن دعم الاستثمارات في مسارات الطاقة المختلفة لضمان أمن الطاقة المستدام، و زيادة الاستثمار في صناعة النفط والغاز لتجنب أزمات الطاقة المحتملة. سيظلان الركيزتين الأساسيتين للطاقة العالمية.

أولا:النتائج

وقد توصلت الدراسه للنتائج التالية:

1- إجراء دراسة إقتصادية دقيقة عند إنشاء محطات الطاقة الكهربائية تأخذ بعين الإعتبار التكلفة الكلية السنوية للإنشاء والتشغيل والعمر الإفتراضي للتشغيل وتكاليف التمويل والإهلاك والتكاليف الإقتصادية لإزالة الأثار البيئية كعناصر أساسية للمفاضلة بين بدائل إختيار محطات توليد الطاقة الكهربائية.

2- أفضل البدائل هي المحطات التي تعمل بالطاقة الكهروضوئية ومن ثم المحطات التي تعمل بطاقة الرياح ويأتي أخيراً المحطات التي تعمل بالطاقة المائية .

3- إيجاد آلية للتعاون والتنسيق في المجالات التقنية والفنية والاقتصادية، وتبادل الخبرات للحفاظ على مستويات الإنتاج والعمل على توفير طاقات إنتاجية إضافية.

4- أهمية توظيف تقنيات الثورة الصناعية الرابعة وتطبيقاتها في قطاع النفط والغاز، مع التركيز على كيفية تسخير الذكاء الاصطناعي لزيادة الكفاءة التشغيلية واكتساب ميزة تنافسية.

ثانيا: التوصيات

فى ضوء ما انتهى إليه البحث من نتائج نوصي بما يلى:

1- تبني مصر إنشاء محطات توليد الطاقة الكهربائية بإستخدام طاقة الرياح لما لها من مردود إقتصادي إيجابي يحقق تميز على كافة البدائل لمحطات توليد الطاقة الكهربائية، بالإضافة الى قدرتها على توليد الطاقة الكهربائية بشكل مستمر خلال 24 ساعة يومياً، بما يمكن من إستخدام الطاقة المتولدة منها دون الحاجة إلى تخزين.

2- التخطيط الإستراتيجي لتلبية الإحتياجات المستقبلية من الطاقة الكهربائية من الطاقة المتجددة مع الحفاظ على القيمة الإقتصادية لما تم إستثماره في المحطات المتاحة حالياً، مما يدعم التحول التدريجي لتلبية إحتياجات مصر من الطاقة الكهربائية من مصادر الطاقة المتجددة.

3- تبنى سياسة تنويع مصادر الطاقة والتوسع فى استخدامات الطاقة المتجددة لتحقيق المستهدف من استراتيجية مصر للطاقة المتكاملة المستدامة حتى عام 2035.

قائمة المراجع

أولاً:المراجع باللغة العربية

- **المجلات العلمية:**

1- **د/أحمد محمد عبد الحميد مهينة و(آخرون):** مصـــادر الطاقة الكهربائية المتاحة في مصـــر والعالم، مجلة العلوم البيئية ،معهد الدراســـات والبحوث البيئية،جامعة عين شمس،2018.

2- **إيان بيرى:** خمســة أمور يجب أن تعرفها عن تســعير الكربون: تســعير الكربون أداة واعدة للغاية في مكافحة تغير المناخ، مجلة التمويل والتنمية، مجلد(58)، العدد(3) صندوق النقد الدولي، الولايات المتحدة الامريكية، ديسمبر 2021 .

3- **د/أمانى فوزى الجندى & د/شيماء أحمد حنفى:** محددات أمن الطاقة فى مصر(دراسة قياسية)، المجلة الاجتماعية القومية، المجلد 60، العدد الأول، يناير 2023.

4- **د/بسـام فتوح:** تحولات أسـواق النفط والغاز والاسـتجابة الاسـتراتيجية للدول العربية المصـــدرة للـنـفـط والـغـاز لـهـذه الـتـحـولات،مـجـلـة الـنـفـط والـتـعـاون العربي،المجلد(50)،العدد(187)، الكويت،2023.

5- **د/راضـــي الســـيد عبدالجواد:** الاتجاهات الحديثة نحو الطاقة المتجددة في الدول البترولية-"دراســـة تحليلية"،مجلة الدراســـات التجارية والادارية، المجلد(3)، العدد(1)،كلية التجارة، جامعة دمنهور،2022.

6- **د/زينب عباس زعزوع:** دور الطاقة المتجددة فى تحقيق التنمية المسـتدامة والمعوقات التى تواجهها "دراســـة ميدانية بالتطبيق على وزارتى الكهرباء والبترول فى مصر2030"، مجلة الدراسات،المجلد(21)، العدد(1)، يناير2020

7- **د/ســحر أحمد حســن يوســف:** الطاقة المتجددة بين الواقع والمأمول خارطة الطريق، المجلة العلمية للاقتصاد والتجارة، كلية التجارة، جامعة الأزهر، 2020.

8- **د/عبير فرحات علي و(آخرون):** العائد الاقتصادي والبيئي من استخدام الغاز الطبيعي في السيارات كبديل للطاقة التقليدية،مجلة العلوم البيئة،معهد الدراسات والعلوم البيئية، جامعة عين شمس، المجلد(36)، الجزء(3)، 2016

9- **د/عزة على فرج:** إقتصـــاديات بدائل توليد الطاقة الكهربائية من المصـــادرالمتجددة بمصر، المجلة العلمية للاقتصاد والتجارة، المجلد 52، العدد 4، ديسمبر 2022.

10- **د/غادة سيد عبدالله شعبان:** دور الطاقة المتجددة فى تحقيق التنمية الاقتصادية "فى إطار رؤية مصـــر2030"،مجلة البحوث التجارية،كلية التجارة، جامعة الزقازيق، المجلد(44)،العدد(2)،ابريل 2022.

11- **د/محمد حسين غانم:** المردود الاقتصادي لاستخدام الطاقة الشمسية في مصر. مجلة الإمتياز لبحوث الاقتصاد والإدارة، الجزائر،المجلد(2) ،العدد(2) ،2018.

12- **د/محمد شـهاب احمد & د/ سـامر عادل عبد:** الطاقة المتجددة وانعكاسـها على مسـار التنمية المستدامة، مجلة جامعة كركوك للعلوم الإدارية والاقتصادية، العراق،2023.

13- **د/منى عبدالقادر:** آفاق الطاقة فى مصـر، تقارير قطاعية، قطاع الاسـتثمار والموارد، بنك الاستثمار القومى،المجلد (2)، العدد(7)، ديسمبر2018
14- **د/نفين كمال:** إطار لرؤية مستقبلية لاستخذام مصادر الطاقة الجديدة والمتجددة ،معهد التخطيط القومى، سلسلة قضايا التخطيط والتنمية (261)، القاهرة، أغسطس2015

- **التقارير والنشرات الدورية:**

1- **د/إبراهيم الغيطانى& د/أمانى عبدالغنى:** الطاقة المتجددة فى مصـــر "فرص الخروج من شـــبح نضـــوب الطاقة"،المركز المصـــرى للدراســـات والمعلومات،القاهرة ،أغسطس2012.
2- **د/أحمد سلطان:**المنتجات البترولية:هل تستطيع مصـر الوصـول إلى الاكتفاء الذاتي؟، المركز المصـــــرى للفكر والـــدراســـــات الاســــتراتيجيـــة،متــاح على الموقع: https://ecss.com.eg/45811/ تاريخ الحصول علية:5 يوليو2024.
3- **الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصـــاء:** التقرير الســـنوي لعام2023 ،القاهره 2024
4- **ـــــــــــــــــــــــــــــــــ:** النشرة السنوية لعام 2015، القاهرة، يوليو 2016
5- **ـــــــــــــــــــــــــــــــــــــ:** مستقبل الطاقة في مصر، القاهرة، مارس2014
6- **الشركة القابضة لكهرباء مصر**، التقرير السنوي لعام 2021 ،القاهرة، 2022
7- **الــهـيـئـــة الــعـــامـــة لــلاســــتـعـلامـــات:** مصـــــر2022،متــاح بــالـموقـع التــالـي: https://www.sis.gov.eg/section/0/10?lang=ar، تــاريــخ الــدخــول 25 يوليو2024
8- **الوكالة الدولية للطاقة المتجددة IRENA:** تحليل ســـوق الطاقة المتجددة ملخص لصنّاع السياسات أفريقيا ومناطقها، تحرير:د/ربيعة فروخي(واخرون)،2022 .
9- **ــــــــــــــ:** توقعات الطاقة المتجددة : مصر، تقرير الوكالة الدولية للطاقة المتجددة، أبوظبى،2018.
10- **تقرير أبحاث الصناعة:** تحليل حجم وحصة سوق طاقة الرياح في مصر،اتجاهات الـــنـــمـــو والـــتـــوقـــعـــات(2023-2028)، مـــتـــاح عـــلـــى الـــمـــوقـــع الــــتــــالــــى: https://www.mordorintelligence.com/ar/industry-reports/egypt-wind-energy-market ,تاريخ الدخول 30 ابريل 2024
11- **جهاز تنظيم أنشطة سوق الغاز المصرى**:النشرة الدورية لأسواق الغاز الطبيعي، الإصدار رقم(37)، سبتمبر2022،القاهره،2022

12- **مبادرة بيانات المنظمات المشـــتركة(JODI)2024**،متاح على الموقع التالي: https://www.jodidata.org تاريخ الدخول:5 يوليو2024

13- **د/محمد يونس:** خريطة الطاقة المتجددة فى مصـــر، تقرير مؤســـســـة فريدريش إيبرت،2017

14- **وحدة أبحاث الطاقة:** ملف خاص حقول النفط والغاز فى الدول العربية" تقرير يكشـــف توقعات إنتاج مصـــر من النفط خلال 2024 و2025،واشـــنطن ،الولايات المتحـدة، متـاح على الموقع التـالي: https://attaqa.net/2024/01/21 تـاريخ الحصول علية:5 يوليو2024

15- **وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة:** الخطة الوطنية لتحســـين كفاءة الطاقة(2018-2020)

16- ---------- :برنامج كامل النطاق للطاقة المتجددة في مصـــــر،الـــقـــاهـــرة،2017،مـــتـــاح عـــلـــى الـــمـــوقـــع التـالي:http://egyptera.org/Downloads/taka%20gdida/renewable%20Energy.pdf تاريخ الحصول علية: 4 يوليو2024

17- **هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة:** التقرير الســـنوى لعام2023، وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، القاهرة ،2024.

ثانياً: المراجع باللغة الانجليزية

1- **Energy Information Administration,** Country Analysis Brief, And February 2011,http://www.eia.gov/cabs/Egypt/Full.html , Last login:5 July 2024

2- **International Renewable Energy Agency IRENA:** International Renewable Energy Agency ,Renewable Energy and Jobs: Annual Review 2023 , Available at: https://www.irena.org/News/pressreleases/2023/Sep/Renewables-Jobs ,received date: 30 June.2024

3- **International Renewable Energy Agency IRENA:** international renewable energy agency 2021, July 2022.

4- **----------:** international renewable energy agency 2018,July 2019.

5- **Mensah, J.:** Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review. *Cogent Social Sciences*, *5*(1), 1653531, 2019.

6- **World Bank:**World Development Indicators, UN Population Division,2022,https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators , received date: 30 June.2024
7- International Trade Administration: **Egypt Country commercial Guide**,2022**,**https://www.trade.gov/knowledge-product/egypt-renewable-energy ,received date: 20 July.2024
8- **OPEC**:World Oil Outlook 2045,Vienna, Austria, Oct. 2020