Journal of Education for Humanities

A peer-reviewed quarterly scientific journal issued by College of Education for Humanities / University of Mosul

Geopolitics of Renewable Energy Minerals and Their Role in Promoting Sustainable Development

Mudar Taher Eidan [1] **Ahmed Hamed Ali** [2]

University of Mosul / College of Education / Department of Geography / Mosul , Iraq [1, 2]

Article information

Received : 15/12/2024

Accepted: 15/2/2025

Published 10/7/2025

Keywords

Geopolitics, Minerals, geopolitical competition, Renewable Energy, Sustainable Development

Correspondence:

Mudar Taher Eidan

muzaer.23ehp266@student.uomosul.edu.iq

Abstract

This research deals with the geopolitics of renewable energy minerals, focusing on the geographical distribution of production and reserves of these minerals. The research shows that China is one of the most prominent countries producing basic minerals such as aluminum, chromium and cobalt, which creates geopolitical dependencies that may affect the economic security of Western countries. The geopolitical competition between major powers, such as the United States, the European Union, Russia and China, is also addressed in the context of the pursuit of mineral security and sustainable development, The research also discusses the importance of the transition to clean energy and its impact on the growing demand for minerals such as lithium and copper, noting that major countries aim to achieve net zero carbon emissions by specific dates. It also addresses the environmental challenges associated with mining these minerals, such as water and air pollution. The research highlights the role of renewable energy minerals in achieving sustainable development by supporting technological innovation and promoting the green economy. These minerals are essential in developing clean energy technologies, which contributes to reducing dependence on fossil fuels and improving energy efficiency.

DOI: **********,, ©Authors, 2025, College of Education for Humanities University of Mosul.
This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

الجغرافيا السياسية لمعادن الطاقة المتجددة ودورها في تعزيز التنمية المستدامة

مضر طاهر عيدان [١] أحمد حامد علي [٢]

جامعة الموصل/ كلية التربية / قسم الجغرافية / الموصل ، العراق [٢،١]

معلومات الارشفة

تاريخ الاستلام : ٢٠٢٤/١٢/١٥

تاريخ القبول : ٢٠٢٥/٢/١٥

تاريخ النشر : ٢٠٢٥/٧/١٠

الكلمات المفتاحية :

الجغرافية السياسية، المعادن، التنافس الجيوسياسي، الطاقة المتجددة، التنمية المستدامة

معلومات الاتصال

مضر طاهر عيدان

muzaer.23ehp266@student.uomosul.edu.iq

الملخص

يتناول هذا البحث الجغرافية السياسية لمعادن الطاقة المتجددة، مع التركيز على التوزيع الجغرافي للإنتاج والاحتياطي لهذه المعادن، يُظهر البحث أن الصين تعد من أبرز الدول المنتجة للمعادن الأساسية مثل الألمنيوم والكروم والكوبالت مما يخلق تبعيات جيوسياسية قد تؤثر على الأمن الاقتصادي للدول الغربية، كما يتم تناول التنافس الجيوسياسي بين القوى الكبرى، مثل الولايات المتحدة والاتحاد الأوروبي وروسيا والصين في سياق السعي نحو تحقيق الأمن المعدني والتنمية المستدامة، ويناقش البحث أيضًا أهمية التحول إلى الطاقة النظيفة وتأثيره على الطلب المتزايد على معادن مثل الليثيوم والنحاس مشيرًا إلى أن الدول الكبرى تستهدف تحقيق انبعاثات كربونية صافية صفرية بحلول مواعيد محددة ، كما يتطرق إلى التحديات البيئية المرتبطة بتعدين هذه المعادن، مثل تلوث المياه والهواء ، ويبرز البحث دور معادن الطاقة المتجددة في تحقيق التنمية المستدامة من خلال دعم الابتكار التكنولوجي وتعزيز الاقتصاد الأخضر، و هذه المعادن تعتبر أساسية في تطوير تقنيات الطاقة النظيفة مما يسهم في تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري وتحسين كفاءة الطاقة .

DOI: **********,, ©Authors, 2025, College of Education for Humanities University of Mosul.
This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

المقدمة

تعتبر المعادن المستخدمة في الطاقة المتجددة من العناصر الأساسية التي تلعب دورًا حيويًا في التحولات الاقتصادية والبيئية العالمية ،و مع تزايد الاعتماد على مصادر الطاقة النظيفة تبرز أهمية هذه المعادن كعوامل استراتيجية تؤثر في السياسة الدولية والأمن الاقتصادي، و يركز هذا البحث على الأبعاد الجيوسياسية لهذه المعادن مبرزًا التوزيع الجغرافي للإنتاج والاحتياطيات، وكذلك التحديات المرتبطة بالاعتماد على دول معينة، مثل الصين في توفير هذه الموارد ،و يستعرض البحث كيفية تأثير التوترات السياسية والاقتصادية على سلاسل الإمداد وكيف يمكن أن تتسبب الاضطرابات في هذه السلاسل في عواقب وخيمة على الاقتصاد العالمي ،

كما يناقش الأهداف المتنوعة للدول في تأمين احتياجاتها من المعادن، مما يعكس التنافس المتزايد بين القوى الكبرى مثل الصين والولايات المتحدة والاتحاد الأوروبي

اولا– مشكلة البحث: في ظل الاعتماد المتزايد على الطاقة المتجددة برزت مشكلة تأمين سلاسل التوريد المستدامة للمعادن الحيوية المستخدمة في هذه التقنيات حيث تتركز احتياطيات هذه المعادن في مناطق جغرافية محددة مما يجعل الدول المستهلكة عرضة للتوترات الجيوسياسية، تكمن المشكلة الأساسية التي لهذه الدراسة هي كيف يؤثر توافر أو نقص المعادن المستخدمة في الطاقة المتجددة وبراءات الاختراع على العلاقات الجيوسياسية بين الدول

ثانيا . فرضية البحث:

تساهم المعادن الحيوية المستخدمة في الطاقة المتجددة في تشكيل العلاقات الجيوسياسية بين الدول، حيث يؤدي تركز احتياطيات هذه المعادن في مناطق جغرافية محددة إلى زيادة الاعتماد المتبادل بين الدول المنتجة والمستهلكة، مما قد يعزز التعاون الدولي أو يثير التوترات الجيوسياسية بحسب توافر هذه الموارد .

ثالثاً– اهداف البحث :

١. فهم العلاقة بين الجغرافية السياسية والمعادن المستخدمة في الطاقة المتجددة.

٢. تحليل دور الدول التي تمتلك احتياطيات كبيرة من المعادن الحيوية للطاقة المتجددة.

٣. استكشاف التحديات والفرص التي تواجه الدول في تأمين هذه الموارد.

٤. دراسة تأثير الطاقة المتجددة ودورها في تحقيق التنمية المستدامة

رابعا – منهجية البحث: تعتمد هذه الدراسة على المنهج التاريخي الذي يركز على التغير والتطور الذي حدث في تقنيات الطاقة المتجددة ومنهج تحليل القوى للكشف عن النقاط القوى والضعف التي تشكلها المعادن المستخدمة في انتاج الطاقات المتجددة والتكنولوجيا المعتمدة في هذا المجال لدول مختاره والمنهج المقارن الذي يركز على دراسة العلاقات والتفاعلات بين الدول المنتجة والمستهلكة للمعادن المستخدمة في الطاقة المتجددة وكذلك الدول الرائدة في مجال التكنولوجيا والدول الفقيرة لهذه التكنولوجيا

خامسا- هيكلية البحث : يتكون هذا البحث من مبحثين حيث يشمل ، المبحث الأول ، الابعاد الجيوسيلسية لمعادن الطاقة المتجددة وينقسم الى محورين وهم التوزيع الجغرافي للمعادن المستخدمة في الطاقة المتجددة والتنافس الجيوسياسي على معادن الطاقة المتجددة، والمبحث الثاني دور الطاقة المتجددة في تعزيز التنمية المستدامة وينقسم الى ثلاث محاور وهي مصادر الطاقة المتجددة، دور الطاقة المتجددة في التنمية الاقتصادية المستدامة ، دور الطاقة المتجددة في التنمية االبيئية المستدامة

سادساً – حدود الدراسة:

الحدود المكانية: تتناول هذه الدراسة دولاً مختارة تلعب دورًا رئيسيًا في إنتاج او استهلاك المعادن والتكنولوجيا المستخدمة في الطاقة المتجددة

الحدود الزمانية: تركز الدراسة على سنة ٢٠٢٤ حيث شهدت هذه الفترة طفرة كبيرة في الطلب على الطاقة المتجددة والمعادن المرتبطة بها

اولا: الابعاد الجيوسياسية لمعادن الطاقة المتجددة

١-التوزيع الجغرافي للمعادن المستخدمة في الطاقة المتجددة

تلعب المعادن الحيوية دورًا محوريًا في إعادة تشكيل العلاقات الدولية في سياق التحول نحو الطاقة المتجددة ، حيث يمكن وضع المعادن الحرجة عند تقاطع الطاقة المتجددة والجغرافيا السياسية ويمكن القول ان الجغرافيا السياسية للطاقة المتجددة بدورها ان توثر على زيادة مصادر الطاقة المستدامة والتي بدورها ستشكل العلاقات الجيوسياسية وتؤثر على الأمن من ناحية أخرى، و أن المستويات الأعلى من الاعتماد على الذات في مجال الطاقة ستؤدي إلى عدد أقل من النزاعات الجيوسياسية والصراعات بين الدول ومن ناحية أخرى، يمكن القول إن سياسات الطاقة ستظل متضاربة بسبب التبعيات الجديدة وبغض النظر عن ذلك نؤكد على أن المعادن الحيوية اللازمة للتحول في مجال الطاقة سوف تخلق ديناميكيات جديدة من شأنها تشكيل العلاقات الدولية، والقدرة التنافسية الاقتصادية، والمصالح الاستراتيجية بين البلدان

في حين أن الجغرافيا السياسية للتحول في مجال الطاقة موضوع بحثي واسع النطاق، إن الدراسات الاي تدور حول الجغرافيا السياسية للمعادن الحيوية على وجه التحديد أقل تطوراً حيث تركز الأبحاث المتاحة في الغالب على إعادة التنظيم الجيوسياسي نتيجة للطلب المتزايد على المعادن الحيوية وأهميتها في تكنولوجيا الطاقة المتجددة، ونقاط الضعف في سلاسل توريد المعادن الحيوية وان المصدر الأكثر شيوعاً للضعف هو التركيز الجغرافي للاحتياطيات المعدنية الحيوية والتي تقع في الغالب في الجنوب العالمي.

وقد تم تصنيف العديد من البلدان التي تمتلك هذه الاحتياطيات على أنها بلدان نامية أو متخلفة وعرضة للفساد والعنف والصراع مع زيادة مخاطر اضطراب العرض (De Ridder,2013) ، بصرف النظر عن الاحتياطيات يتركز إنتاج المعادن المستخدمة في الطاقة المتجددة عدد من الدول ولا سيما في الصين ويعتبر الاعتماد العالمي على الصين وتخوف دول الغرب من احتمال استخدامها لموقعها الاستراتيجي كسلاح ضدها مصدرًا للتوتر ، و تخلق هذه التركزات الجغرافية نقاط ضعف، حيث يمكن أن تؤدي الاضطرابات غير المقصودة إلى الكوارث الطبيعية و فشل النظام و الاضطرابات السياسية والمتعمدة استخدام التصدير والتسعير كأداة سياسية إلى ارتفاع الأسعار وزيادة التبعيات ، في حين ي يمكن وصف الندرة المحتملة للمعادن الحرجة المحدودة كمصدر قلق متزايد أيضا(Zutt,2023).

يبين الجدول (١) الإنتاج والاحتياطي العالمي للمعادن المستخدمة في الطاقة المتجددة بأنواعها في عام ٢٠٢٤ م والتي تضمنت (٢٥) معدنا رائدة في الاستخدام، يتصدر هذه المعادن عنصر الألمنيوم في الاستخدام و الذي بلغ انتاجه العالمي ٧٠ مليون طن متري واحتياط عالمي بلغ ٧٩ مليون طن متري في عام ٢٠٢٤، يتركز عنصرالألمنيوم في عدد من الدول منها الصين التي تصدرت الانتاج بواقع ٤٠ مليون طن متري واحتياط ٤٥ مليون طن متري ، أما الدول الأخرى الرائدة في الإنتاج والاحتياطي (الهند ٤.١ مليون طن ، روسيا ٣.٨ مليون طن ، كندا ٣ مليون طن ، الإمارات ٢.٧ مليون طن وباقي الدول الأخرى) واحتياطي مقارب لإنتاج كل دولة ، بلغ الإنتاج العالمي لعنصر الكروم بحوالي ٤١ مليون طن متري واحتياطي عالمي كبيرنسبياً بلغ ٥٦٠ مليون طن متري ، يتركز انتاج هذا العنصر على عدد من الدول حيث تصدرت جنوب افريقيا الانتاج العالمي والذي بلغ ١٨ مليون طن متري , تليها تركيا ٦ مليون طن ، كازاخستان ٦ مليون طن , وكذلك يتركز ٩٥٪ من الإحتياط العالمي لعنصر الكروم في كازاخستان وجنوب أفريقيا يقدر بحوالي ٤٣٠ مليون طن متري في هاتين الدولتين، اما عنصر الكادميوم فبلغ الإنتاج العالمي من هذا العنصر ٢٣ ألف طن متري ،يتركز الانتاج بنسبة كبيرة على الصين ٩ الف طن متري وكوريا الجنوبية ٤ الف طن متري ، ويتم استرداد الكادميوم بشكل عام من خامات الزنكومركزاته، يحتوى السفاليريت وهو معدن خام الزنك الأكثر أهمية اقتصادياً، عادة على كميات صغيرة من الكادميوم، الذي يشترك في بعض الخصائص الكيميائية المماثلة مع الزنك (U.S. Geological Survey,2024).

ويقدر الإنتاج العالمي لعنصر الكوبالت بحوالي ٢٣٠ الف طن متري واحتياطي عالمي بلغ ١١ مليون طن متري ، يتركز حوالي ٨٠٪ من إنتاج عنصر الكويالت من جمهورية الكونغو الديمقراطية ١٧٠ الف طن متري اما الاحتياطي العالمي فيتركز ٨٠٪ منه في استراليا وجهورية الكونغو الديمقراطية، اما عنصر النحاس بلغ الإنتاج العالمي حوالي ٢٢ مليون طن متري واحتياطي عالمي كبير نسبياً بلغ مليار طن متري، يتركز انتاج واحتياطي هذا العنصر على عدد من الدول وهي (أمريكا، استراليا، شيلي، كندا، الصين، ألمانيا، اليابان ،كازاخستان، الكونغو ،المكسيك ،كوريا،اندونيسيا، بيرو، بولندا، روسيا، زامبيا) ، و يعد عنصر الأنديوم من المعادن التي سوف تنضم الى قائمة المعادن الأرضية النادرة والتي تتسم بندرتها في الطبيعة حيث بلغ الإنتاج العالمي من هذا العنصر ألف طن متري فقط ويتركز ٦٥٪ من الإنتاج العالمي من الصين و ٢٠٪ من كوريا الجنوبية (U.S. Geological Survey,2024) يتم استخراج الإنديوم بشكل شائع من معدن السفاليريت من خام كبريتيد الزنك، ويتراوح محتوى الإنديوم في رواسب الزنك التي يتم استخراجه منها من أقل من جزء واحد في المليون إلى ١٠٠ جزء في المليون على الرغم من أن الخواص الجيوكيميائية للإنديوم تجعله يتواجد بكميات ضئيلة في كبريتيدات المعادن الأساسية الأخرى وخاصة الكالكوبابرايت والستانيت، إلا أن أ استخلاص الإنديوم من معظم رواسب هذه المعادن لم يكن اقتصاديا ، وبلغ الإنتاج العالمي لعنصر الرصاص بحوالي ٤.٦ مليون طن متري واحتياطي عالمي يقدر بحوالي ٩٥ مليون طن متري، يتركز هذا العنصر على عدد من الدول، ان ٤٠٪ من انتاجه من الصين اما اكبر احتياطي يتركز في استراليا بحوالي ٣٥ مليون طن وفي المرتبة الثانية الصين بحوالي ٢٠ مليون طن متري،اما عنصر الليثيوم بلغ الإنتاج العالمي ١٨٠ الف طن متري واحتياطي عالمي يقدر بحوالي ٢٨ مليون طن متري، ان دول الإنتاج الرئيسية تمثلت باستراليا ٨٦ الف طن تليها شيلي ٤٤ الف طن ومن ثم الصين ٣٣ الف طن متري، اما اكبر احتياطي يتركز في شيلي ٩ مليون طن تليها استراليا ٦ مليون طن ومن ثم يليها الارجنتين والصين ٣ مليون طن على التوالي ، يقدر الإنتاج العالمي لعنصر المنغنيز بحوالي ٢٠ مليون طن متري واحتياطي عالمي كبير نسبياً بلغ ١.٩ مليار طن متري، حيث ان ٣٨٪ من انتاج المنغنيز يتركز في جنوب افريقيا و٢٣٪ قي الغابون و استراليا ٢٠٪ ،تضم جنوب افريقيا اكبر احتياطي عالمي للمنغنيز يقدر بحوالي ٦٠٠ مليون طن متري وتليها استراليا ٥٠٠ مليون طن متري، وفيما يخص عنصر المولبيدينيوم بلغ انتاجه العالمي ٢٦٠ الف طن متري واحتياطي يقدر ١٥ مليون طن متري، يتركز ٩٠٪ من انتاجه في أربعة دول وهي الصين وتشيلي وبيرو والولايات المتحدة الامريكية وتسيطر الصين على ٤٠٪ من الاحتياطي العالمي تليها الولايات المتحدة الامريكية ٢٥٪ من الاحتياطي العالمي

(U.S. Geological Survey,2024).

الجدول (١) التوزيع الجغرافي للمعادن المستخدمة في الطاقة المتجددة والإنتاج والاحتياطي العالمي لعام ٢٠٢٤

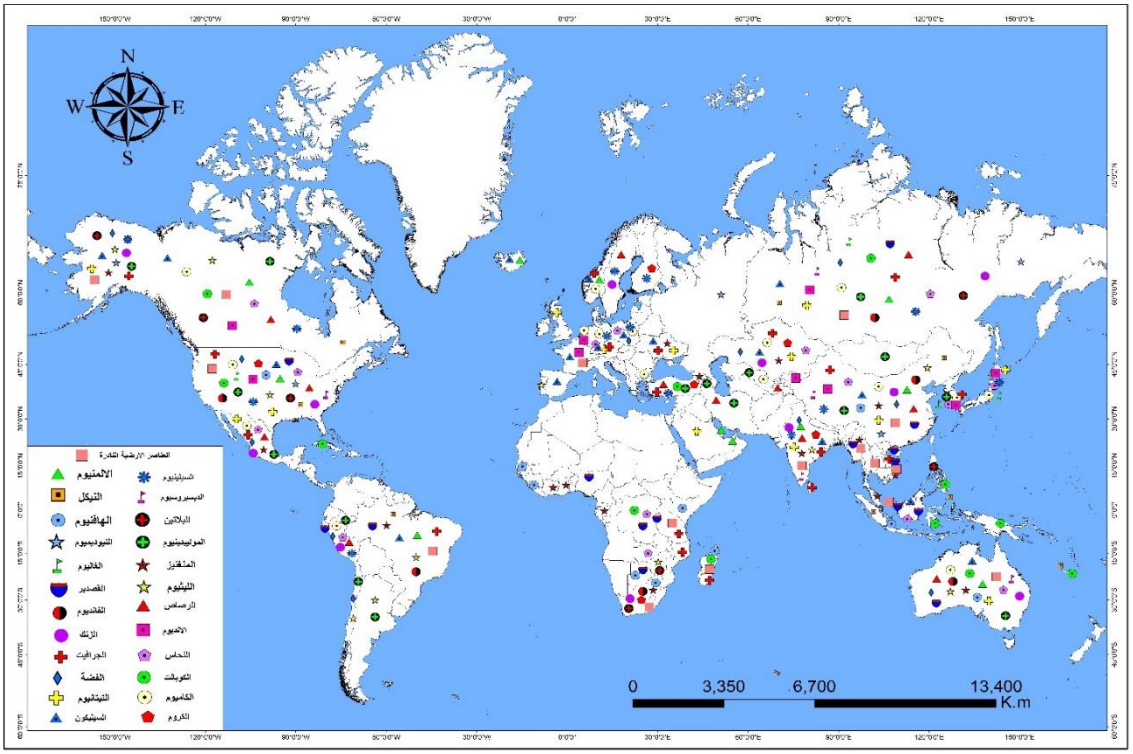
ت	نوع المعدن	الدول المنتجة	الإنتاج العالمي (طن متري)	الاحتياطي العالمي (طن متري)
1	الالمنيوم	أمريكا ،استراليا،البحرين،البرازيل، كندا،الصين،ايسلندا،الهند،ماليزيا، النرويج ،روسيا،الامارات العربية	70,000,000	79,000,000
2	الكروم	أمريكا ،فنلندا،الهند،كازاخستان، جنوب افريقيا،تركيا	41,000,000	560,000,000
3	الكادميوم	أمريكا ،استراليا،بلغاريا،كندا،الصين، المانيا،اليابان،كازاخستان،كوريا ،المكسيك،هولندا،النرويج،بيرو،بولندا، روسيا،اوزباكستان	23,000	غ.م
4	الكوبالت	أمريكا ،الكونغو،استراليا،كندا،كوبا، اندونيسيا،مدغشقر،كاليدونيا الجديدة،بابواغينيا الجديدة،الفيلبين،روسيا،تركيا	230,000	11,000,000
5	النحاس	أمريكا ،استراليا،شيلي،كندا،الصين، المانيا،اليابان،كازاخستان،الكونغو، المكسيك،كوريا،اندونيسيا،بيرو، بولندا،روسيا،زامبيا	22,000,000	1,000,000,000
6	الانديوم	أمريكا،بلجيكا،كندا،الصين،فرنسا، اليابان،كوريا ،روسيا،اوزباكستان	1000	غ.م
7	الرصاص	أمريكا،استراليا،كندا،الصين،بوليفيا، الهند،المكسيك،ايران،روسيا، طاجيكستان، بيرو،السويد،تركيا	4,500,000	95,000,000
8	الليثيوم	أمريكا،استراليا،الارجنتين،الصين، البرازيل،الهند،كندا،شيلي، البرتغال،زيمبابوي	180,000	28,000,000
9	المنغنيز	أمريكا،استراليا،بورما،الصين، البرازيل،ساحل العاج،،الغابون،غانا، جورجيا،كازاخستان،ماليزيا،المكسيك، جنوب افريقيا،أوكرانيا،فيتنام،الهند	20,000,000	1,900,000,000
10	المولبيدينيوم	أمريكا،استراليا،الارجنتين،الصين، ارمينيا،ايران،كندا،شيلي،كوريا المكسيك،منغوليا،روسيا،بيرو،تركيا، اوزباكستان	260,000	15,000,000
11	النيكل	أمريكا ،استراليا،البرازيل، الصين، كندا،اندونيسيا،الفيلبين، روسيا، كاليدونيا الجديدة	3,600,000	130,000,000

12	معادن البلاتين(البلاتين،البلاديوم)	أمريكا، كندا،زيمبابوي،الفيلبين، روسيا، جنوب افريقيا	390	71,000
13	العناصر الأرضية النادرة	أمريكا،استراليا،البرازيل،الصين، كندا،بورما،الهند،روسيا،مدغشقر، ماليزيا،تنزانيا،تايلاند،فيتنام،جنوب افريقيا	350,000	110,000,000
14	السيليكون	أمريكا،استراليا،البرازيل،الصين، كندا،بوتان،الهند،روسيا،فرنسا،المانيا،ا يسلندا،كازاخستان،ماليزيا،النرويج، بولندا،اسبانيا،أوكرانيا	3,800,000	غ.م
15	الفضة	أمريكا،روسيا،استراليا،الصين،شيلي، الهند،كازاخستان،المكسيك،بيرو،بولندا	26,000	610,000
16	التيتانيوم	أمريكا،روسيا،استراليا،الصين،المانيا، الهند،كازاخستان،المكسيك،اليابان، أوكرانيا،بريطانيا،السعودية	330,000	9,800,000
17	الزنك	أمريكا،روسيا،استراليا،الصين،بوليفيا، الهند،كازاخستان،المكسيك،السويد، بيرو،جنوب افريقيا	12,000,000	220,000,000
18	الجرافيت	أمريكا،روسيا،البرازيل،الصين،المانيا، الهند،كازاخستان،النمسا،كوريا، مدغشقرالمكسيك،موزمبيق،النرويج،س يرلانكا،تركيا،تنزانيا،أوكرانيا،فيتنام	1,600,000	280,000,000
19	القصدير	أمريكا،روسيا،استراليا،الصين، بوليفيا،البرازيل،بورما،الكونغو، اندونيسيا،بيرو،ماليزيا،نيجيريا ، لاوس،رواندا، فيتنام	290,000	4,300,000
20	الفاناديوم	أمريكا،روسيا،استراليا،الصين، البرازيل، جنوب افريقيا	100,000	19,000,000
21	السيلينيوم	أمريكا،بلجيكا،كندا،الصين،فنلندا، المانيا الهند،اليابان،روسيا،بيرو، بولندا،السويد،تركيا	3,600	95,000
22	الغاليوم	أمريكا،روسيا،اليابان،الصين، كوريا	610	1,100
23	الديسبروسيوم	أمريكا،روسيا،استراليا،الصين، الهند	1,800	غ.م
24	الهافنيوم،الزركونيوم	أمريكا،كينيا،استراليا،الصين،اندونيسيا، مدغشقر،موزمبيق،السنغال،سيراليون، جنوب افريقيا	1,600,000	74,000,000
25	النيوديميوم	أمريكا،الصين، روسيا	7,000	25,000

source: U.S. Geological Survey Mineral Commodity Summaries 2024 Data Release (ver. 2.0, March 2024)

بالنسبة لعنصر النيكل يقدر إنتاجه العالمي حوالي ٣.٦ مليون طن متري ، وباحتياطي عالمي ١٣٠ مليون طن متري ، تستحوذ إندونيسيا على ٥٠٪ من الإنتاج العالمي، اما الاحتياط العالمي فتتستحوذ أيضا إندونيسيا على حوالي ٤٥٪ تليها أستراليا ٢٠ **%**من الاحتياط العالمي، اما فيما يخص معادن المجموعة البلاتينية يقدر إنتاجها العالمي ٣٩٠ طن متري لقليل نسبيا والذي يعتبر من المعادن النادرة في الطبيعه ، أما الاحتياط العالمي لهذه المعادن يقدر بحوالي ٧١ الف طن متري ، يتركز إنتاج هذه المعادن بنسبة ٥٠٪ في جنوب إفريقيا ويتركز ٢٥٪ في روسيا وحوالي ١٠ **%** في زيمبابوي ، وتضم جنوب إفريقيا أعلى احتياطي يقدر بحوالي ٦٣ ألف طن متري وروسيا المرتبة الثانية باحتياطي ٥.٥ ألف طن متري ، بالنسبة للعناصر الأرضية النادرة يقدر إنتاجها العالمي ٣٥٠ ألف طن متري، وذات احتياط عالمي يقدر ١١٠ مليون طن متري، تستحوذ الصين على ٨٠٪ من انتاجه العالمي بحوالي ٢٤٠ ألف طن ، أما بالنسبة للاحتياط فتركز حوالي ٤٠٪ في الصين تليها فيتنام بنسبة ٢٠٪ تليها البرازيل ١٩٪ وروسيا ٩٪ والبرازيل ٥ **%** ، اما عنصر السيليكون يقدر انتاجه حوالي ٣.٨ مليون طن متري ويتركز ٩٥٪ من انتاجه في الصين التي تستحوذ على ٣ مليون طن متري، أما بالنسبة لمصدر السيليكون فهو السيليكا في الأشكال الطبيعية المختلفة مثل الكوارتزيت، وعنصر الفضة يقدر إنتاجه العالمي ٢٥ ألف طن متري، واحتياطي عالمي يقدر بحوالي ٦١٠ الف طن متري تستحوذ البيرو على نسبة ٢٠٪ من الاحتياطي العالمي تليها استراليا بنسبة ١٦٪ ومن ثم روسيا ١٤٪ والصين ١٠٪ بولندا ٨٪ والمكسيك ٤٪ (Lederer et al,2024).

الخريطة (١) التوزيع الجغرافي للمعادن المستخدمة في الطاقة المتجددة



المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على الجدول (١) وعلى برنامج Arcgis 10.8

يتركز عنصر التيتانيوم في عدد من الدول حيث تستحوذ الصين على ٨٠٪ من الإنتاج العالمي و بنسبة ٧٥٪ من الاحتياطي العالمي، يقدر الإنتاج العالمي لعنصر التيتانيوم ٣٣٠ الف طن متري واحتياطي عالمي يقدر ٩.٨ مليون طن متري، بالنسبة لعنصر الزنك يقدر إنتاجه حوالي ١٢ مليون طن متري وذات احتياط عالمي يقدر بحوالي ٢٢٠ مليون طن متري، تستحوذ الصين على ٣٥٪ من الانتاج العالمي وبيرو بنسبة ١٧٪ وأستراليا بنسبة ١٤٪ ،أما اكثر الدول التي تمتلك احتياط هي استراليا بنسبة ٢٥٪ تليها الصين بنسبة ١٨٪ تليها روسيا بنسبة ١١٪ والبيرو بنسبة ٩٪، اما عنصر الجرافيت يبلغ انتاجه العالمي ١.٦ مليون طن متري واحتياطي عالمي يقدر بحوالي ٢٨٠ مليون طن متري يتركز انتاجه بنسبة ٩٠٪ من الصين والتي تستحدث على أكبر احتياطي عالمي يقدر ٧٨ مليون طن متري وتليها البرازيل بحوالي ٧٤ مليون طن متري و موزمبيق ٢٥ مليون طن متري يليها مدغشقر ٢٤ مليون طن متري.

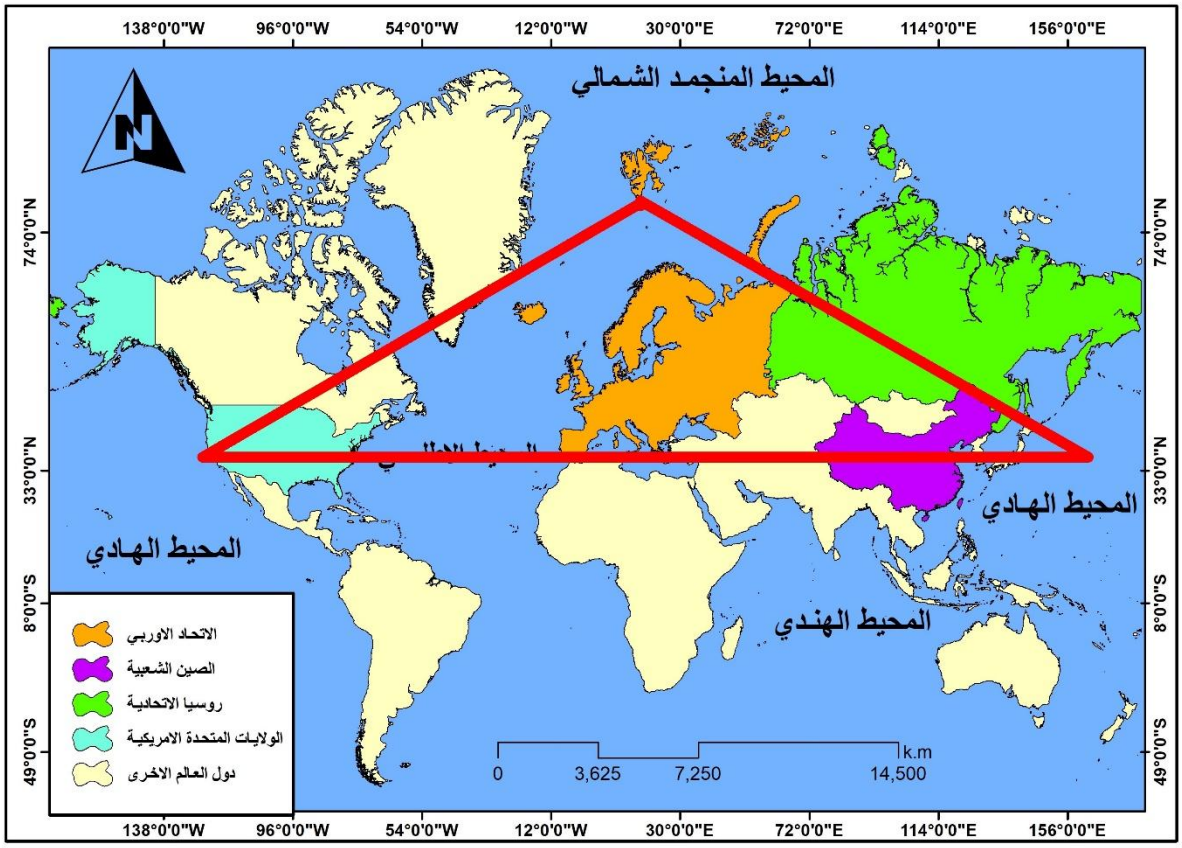
ان الدول الرئيسية في إنتاج عنصر القصدير هي الصين ٦٨ الف طن وبورما ٥٤ ألف طن واندونيسيا ٥٢ ألف طن وبيرو ٢٣ ألف طن بلغ مجموعها مع الدول الاخرى ٢٩٠,٠٠٠ طن متري ، اما فيما يخص احتياطي عنصر القصدير العالمي ويتركز ٢٥٪ من احتياطه العالمي في الصين وبورما ٢٠٪ وروسيا ١٥٪ والبرازيل ١٤٪ وبوليفيا ١٣٪ الذي يقدر بحوالي ٤.٣ مليون طن متري ،ما ما يخص عنصر الفاناديوم يتركز انتاجه في ستة دول والبالغ ١٠٠ الف طن متري حيث تستحوذ الصين على ٦٨٪ من انتاجه ،و ويقدر الاحتياطي العالمي لعنصر الفاناديوم حوالي ١٩ مليون طن متري تستحوذ استراليا على ٨.٥ مليون طن وتليها روسيا ٥ مليون طن ومن ثم الصين ٤.٤ مليون طن وجنوب أفريقيا ٧٥٠ ألف طن و البرازيل ١٢٠ الف طن والولايات المتحدة الامريكية ٤٥ ألف طن، اما عنصر السيلينيوم والذي يتسم بالندرة حيث بلغ إنتاجه العالمي ٣,٦٠٠ طن متري يقدر الاحتياطي العالمي لهذا العنصر بحوالي ٩٥ الف طن متري ، الدولة الرائدة في الإنتاج هي الصين تستحوذ على ٥٠٪ من الإنتاج العالمي،وروسيا التي تستحوذ على أكبر نسبة من الاحتياطي العالمي تقدر ٢٦ الف طن وتليها بيرو ١٩ الف طن ومن ثم الولايات المتحدة الأمريكية ١١ الف طن متري ، ما يخص عنصر الغاليوم يقدر الاحتياط العالمي لهذا العنصر بحوالي ١١٠٠ طن متري ويبلغ انتاجه العالمي ٦١٠ طن متري ويتركز ٩٨٪ من الاحتياطي والإنتاج العالمي في الصين وحدها ،عنصرالديسبروسيوم يبلغ إنتاجه العالمي ١٨٠٠ طن متري ويتركز أغلب احتياطه في الصين،اما عنصر الهافنيوم والزركونيوم فيبلغ انتاجهم ١.٦مليون طن متري ويقدر الاحتياطي العالمي ٧٤ مليون طن متري ويتركز ٨٥٪ من الاحتياطي العالمي في استراليا ، اما عنصر النيوديميوم يتركز في ثلاث دول رئيسيه في الولايات المتحده الامريكيه والصين وروسيا ويبلغ الاحتياطي العالمي منه ٢٥,٠٠٠ طن وينتج منه ٧,٠٠٠ طن متري (U.S. Geological Survey,2024).

٢. التنافس الجيوسياسي على معادن الطاقة المتجددة

ترتبط تقييمات حكومات الدول لأهمية المعادن والسعي لتحقيق الأمن المعدني بمجموعة من الأهداف والأولويات المتنوعة، حيث تشمل هذه الأهداف التنمية الوطنية والسياسة الصناعية، والتحول إلى الطاقة النظيفة والمخاوف البيئية، والأمن الاقتصادي والمرونة والقدرة التنافسية، إضافة إلى القضايا العسكرية والدفاعية ، و تختلف العوامل الدافعة عبر الزمن بين الدول، حيث تُظهر روسيا اهتمامًا أقل بالتحول إلى الطاقة النظيفة مقارنة بالاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة، مع تركيز أكبر على الأجندة الأمنية و الاقتصادية ، في المقابل كانت أولويات الصين أكثر من غيرها موجهة نحو التنمية الاقتصادية رغم أنها تتقارب الآن مع جهود الغرب في حماية البيئة ، تساعد دراسة هذه العوامل الدافعة المختلفة في فهم أهداف الأمن المعدني وما إذا كانت السياسات المعتمدة تلبي هذه الأغراض، و تتفاعل هذه العوامل بطرق معقدة حيث يمكن أن تتداخل أو تتقاطع على المستويين المحلي والدولي، على سبيل المثال يُعزز التحول نحو الطاقة النظيفة في الصين والاتحاد الأوروبي الأمن الاقتصادي

والمرونة ، و بالنسبة للاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة قد يؤدي تقليل الاعتماد على سلاسل توريد المعادن الصينية إلى زيادة التكاليف على المستهلكين ولكنه يُعتبر خطوة لتعزيز الأمن القومي ، و تُظهر طبيعة السياسة أن الأهداف قد تُخلط في الرسائل العامة مما يسمح بتعايش أولويات متعددة حتى المتناقضة في الوقت نفسه(Leonelli, 2023).

الخريطة (٢) المثلث الجيواستراتيجي والجيوبولتيكي العالمي



المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على برنامج Arcgis 10.8

أ: التنمية الوطنية والسياسة الصناعية

تتميز حالات الصين والولايات المتحدة والاتحاد الروسي والاتحاد الأوروبي باقتصاديات سياسية فريدة لكنها متغيرة ،و في السنوات الأخيرة تزايدت المخاوف الغربية بشأن رأسمالية الدولة، مما أدى إلى توافق متزايد حول الحاجة إلى سياسات صناعية متماسكة وتدخلات في السوق سواء للحفاظ على القدرة التنافسية العالمية أو لدعم الرفاهية الاجتماعية ، تشير جهود الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة لعكس نقل الصناعات إلى الخارج بما في ذلك في القطاعات المرتبطة بالمعادن إلى أهمية تشغيل العمالة المحلية وتعزيز الرفاهية ، يتضح ذلك من خلال النصوص والإجراءات المتعلقة باتفاقية الشراكة الصناعية بين الولايات المتحدة والاتحاد الأوروبي، التي تهدف إلى توفير بنية تحتية وفرص عمل مرتبطة بالطاقة النظيفة(SHEET, 2021)، كما تعكس خطة الصفقة الخضراء الصناعية للاتحاد الأوروبي تحولًا نحو تمويل عام أكبر ودعم أهداف الطاقة النظيفة مع الحفاظ على الرفاهية الاجتماعية في القطاعات التقليدية كثيفة الكربون مما يجعلها أكثر توافقًا مع السياسات الصينية ، على مدى أربعة عقود كان التركيز في السياسة العامة على التنمية الاقتصادية المحلية ، حيث يرتبط استهلاك المعادن عادةً بمراحل التطور الوطني (Wang, 2023)، و يتطلب التقدم في بناء البنية التحتية والتصنيع والاستهلاك المحلي أنواعًا مختلفة من المدخلات المعدنية ، ومع ذلك لا يكون التقدم عبر هذه المراحل خطيًا دائمًا إذ تسعى الولايات المتحدة حاليًا لتعزيز الإنتاج المحلي في قطاع التعدين الذي كان يُعتبر سابقًا متدهورًا ، وبعد انهيار الاتحاد السوفييتي تأثرت البنية التحتية للتعدين والنقل في روسيا بشكل كبير مما أدى إلى تدهور في هذا القطاع، في الوقت نفسه يركز الجهد الأمريكي على الريادة في التقنيات المتقدمة والناشئة مما يتطلب أيضًا تحسينات في البنية التحتية الأساسية(World Bank, 2022) .

كان مسار التنمية في الصين أكثر وضوحًا، حيث كانت صادراتها قبل عقد من الزمن تتكون بشكل رئيسي من السلع المنخفضة الجودة وشبه المصنعة مع اعتماد كبير على الواردات من المواد الخام ورأس المال الأجنبي، و يعكس هذا الاعتماد التركيز الاستراتيجي للصين على المعادن الأساسية مثل الحديد والنحاس والألمنيوم، مما يبرز تأخر عملية التصنيع في الصين مقارنةً بالغرب، وساهم دعم التصنيع المحلي وتكامل سلاسل التوريد في تعزيز مكانة الصين في سلاسل القيمة العالمية مما أسهم أيضًا في تقليل الفقر، و يقوض هذا التحديث الاقتصادي الحجج التي تدعو الصين للاحتفاظ بمكانتها كدولة نامية في المنتديات الدولية (Gaida and others, 2023).

وفي الوقت نفسه يعد الاقتصاد السياسي الروسي في قطاع المعادن فريدًا من بين الحالات الأربع. فبالإضافة إلى كونها مدخلات للاقتصاد الوطني، تساهم الموارد المعدنية وخاصة النفط والغاز بشكل كبير في ميزانية الدولة الروسية وهو ما يفسر جزئيًا إدراجها في قائمة المعادن الاستراتيجية في روسيا ، ويتقاطع تطوير المعادن أيضًا مع دوافع أخرى بما في ذلك تلك المتعلقة بتنمية المناطق الغنية بالموارد ولكنها متخلفة بشكل كبير مثل الشرق

الأقصى الروسي، حيث كانت هذه المناطق ذات أولوية اسمية للسياسة التنموية منذ أوائل العقد الأول من القرن الحادي والعشرين على الأقل ، و ان التحديات الرئيسية للتنمية الروسية لقطاع المعادن غير الوقودية تشمل الافتقار ليس فقط إلى القدرة المحلية ولكن أيضًا إلى الطلب المحلي وهذا يتناقض على سبيل المثال، مع الطلب الصناعي العالمي الكبير في الصين على المعادن غير الوقودية. وعلى الرغم من طموحات السياسة حيث تنتج روسيا القليل من المعادن ذات القيمة المضافة العالية ، ولقد كانت الجهود الرامية إلى ترقية الاقتصاد الروسي من نموذج تصدير السلع الأساسية منخفض القيمة المضافة غير ناجحة إلى حد كبير،وقد تفاقم هذا الوضع الآن بسبب اقتصاد الحرب والعقوبات الغربية الثقيلة(Fortescue, 2022).

تتعلق القدرة التنموية أيضًا بالإدارة البيئية وإنفاذ القوانين حيث كانت الصناعات في الدول المتقدمة تنقل تكاليفها البيئية إلى دول أخرى، في حالة الولايات المتحدة، أدت اللوائح البيئية إلى نقل إنتاج العناصر الأرضية النادرة إلى الصين، التي بدورها أغلقت العديد من المناجم بسبب لوائح بيئية صارمة مما أدى إلى نقل الإمدادات إلى مصادر أجنبية مثل ميانمار(Chen et al., 2024).

ب: التحول إلى الطاقة النظيفة والمخاوف البيئية

أصبحت تطبيقات الطاقة النظيفة والتقنيات الداعمة لها المحرك الرئيسي لنمو الطلب على مجموعة من المعادن مثل الليثيوم والنحاس والجرافيت والكوبالت والنيكل و تستهدف القوى الكبرى بما في ذلك الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة والصين وروسيا تحقيق انبعاثات كربونية صافية صفرية بحلول تواريخ محددة ٢٠٥٠ للاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة، و٢٠٦٠ للصين وروسيا ، تتجه استراتيجيات الأمن المعدني في هذه الدول نحو التحول الأخضر مما يعزز الطلب على المعادن المرتبطة بتقنيات الطاقة النظيفة رغم أن إدراج النحاس في القوائم الاستراتيجية بالولايات المتحدة لا يزال قيد المناقشة (International Energy Agency, 2024)

تحفز أهداف التحول الأخضر الاستراتيجيات الصناعية وتؤدي إلى زيادة الطلب على المعادن الحيوية و تُقدّر وكالة الطاقة الدولية أن الطلب العالمي على هذه المعادن سيتضاعف بحلول عام ٢٠٤٠ مع توقعات بزيادة الطلب بمقدار ستة أضعاف للوصول إلى صافي الصفر ، و تشير التوقعات إلى أن خطة الصفقة الخضراء الصناعية للاتحاد الأوروبي ستحتاج إلى زيادة كبيرة في احتياجات الليثيوم والعناصر المعدنية النادرة بحلول عام ٢٠٥٠ و في المقابل تركز روسيا على تعزيز استخراج واستهلاك الوقود الأحفوري حتى عام ٢٠٣٥ مع جهود إزالة الكربون أقل وضوحًا، و في الولايات المتحدة قد تتأثر سياسات دعم الطاقة النظيفة بتغيرات سياسية بعد انتخابات نوفمبر ٢٠٢٤ (Zhou and Månberger, 2024;p23)

وتعتبر الاحتياطيات العالمية كافية لتلبية أهداف التحول لكن الوصول إلى هذه الموارد قد يكون مقيدًا بسبب التركيزات الجغرافية غير المتساوية ،و تتفاعل ديناميكيات العرض والطلب مع الابتكارات التكنولوجية مثل كثافة المعادن ومعدلات إعادة التدوير مما قد يؤثر على توفر المعادن كعائق محتمل في الانتقال إلى الطاقة الخضراء، و تواجه الحكومات تحديات بيئية متعددة حيث يُعتبر تعدين المعادن وتكريرها من الأنشطة الصناعية الضارة بالبيئة مما يؤدي إلى تلوث التربة والمياه والهواء وتقليل التنوع البيولوجي ،على سبيل المثال، معالجة طن واحد من العناصر الأرضية النادرة قد تُنتج ٢٠٠٠ طن من النفايات السامة، كما أن التعدين للمعادن الانتقالية للطاقة يعتبر مكثف الانبعاثات وغالبًا ما يعتمد على الكهرباء الناتجة عن الوقود الأحفوري(Zhou and Månberger, 2024 :p24).

ت: الأمن الاقتصادي والقدرة التنافسية

يُعزى الاهتمام المتزايد بالمعادن إلى القلق المتزايد خاصة في الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة، بشأن الاضطرابات المحتملة في سلاسل التوريد، ففي التسعينيات كانت المخاوف تركز على الاضطرابات الناتجة عن عدم الاستقرار السياسي بينما لم تُعتبر الصين كمصدر رئيسي، وأوضحت الحوادث التي حدثت في العقد الأول من القرن الحادي والعشرين مثل الكوارث الطبيعية وإضرابات العمال، إمكانية حدوث صدمات عرضية في إمدادات المعادن والمواد الكيميائية(Akcil,Sun and panda, 2020)، وأسهمت جائحة كوفيد-١٩ في تفاقم الاضطرابات الاقتصادية وتأثيرها على جميع سلاسل التوريد مما زاد من الجهود الرامية إلى تعزيز القدرة على الصمود وتقليل التبعيات، حاليًا تتجه المناقشات السياسية الغربية نحو احتمالية حدوث اضطرابات تجارية متعمدة .

تفاقمت هذه المخاوف بسبب الحرب بين روسيا وأوكرانيا، التي أدت إلى فرض عقوبات غربية و"انفصال" عن روسيا مما أثر على سلاسل التوريد وأسواق السلع الأساسية، وكما زادت التوترات الاستراتيجية بين الصين والولايات المتحدة منذ عام ٢٠١٧ من القلق مما أدى إلى تقارب متزايد في وجهات النظر بين الجانبين حول هذه القضايا (Goldberg and Reed, 2023).

واتخذ الاتحاد الأوروبي نهجًا أكثر حذرًا وأقل انفرادية تجاه الأمن الاقتصادي مع التركيز على مفهوم "إزالة المخاطر" الذي يشدد على تخفيف المخاطر مع الحفاظ على الاعتماد المتبادل ، في عام ٢٠٢٣ نشرت المفوضية الأوروبية استراتيجية الأمن الاقتصادي التي تهدف إلى تقييم ومعالجة المخاطر المتعلقة بسلاسل التوريد والتبعيات الاقتصادية ،و يجري حاليًا تقييم تطبيقات المعادن الحرجة في مجالات التكنولوجيا الأساسية لضمان الأمن الاقتصادي للاتحاد الأوروبي كما تم تنفيذ تدابير مثل آلية لفحص الاستثمار الأجنبي المباشر وأداة لمكافحة الإكراه لمواجهة الضغوط الاقتصادية.

بينما كانت الدول الغربية بما في ذلك الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة، تدافع عن التجارة العالمية المفتوحة، فإن أجندة الأمن الاقتصادي تُعتبر جديدة نسبيًا ، وعلى الرغم من وجود قلق بشأن الاعتماد على المعادن الحيوية، فإن المخاوف بشأن الضعف كانت أقل بروزًا بالنسبة للصين وروسيا، وهما من كبار المنتجين للمعادن، في المقابل تعتبر روسيا منذ زمن بعيد أن الاقتصاد جزء من الأمن القومي ،حيث تُعرف استراتيجية الأمن الاقتصادي الروسية لعام ٢٠١٧ الأمن الاقتصادي بأنه "حماية الاقتصاد الوطني من التهديدات الخارجية والداخلية" مع التركيز على منع الأزمات في مجال الموارد ، تشمل التحديات المحددة "التقنيات الخضراء" بسبب انخفاض الطلب العالمي على الوقود الأحفوري واستنفاد موارد المواد الخام كتهديدات، كما تسارعت سياسات استبدال الواردات في روسيا في سياق العقوبات الغربية منذ عام ٢٠١٤، مما أدى إلى الحاجة لتنويع الأسواق والموردين(Zhou and Månberger, 2024;p25-26).

استفادت الصين بشكل كبير من فتح اقتصادها للعالم مما أتاح لها الحصول على رأس المال الأجنبي والتكنولوجيا اللازمة في قطاع التعدين، ومع تزايد اعتمادها على الواردات ،و أصبحت الصين أكثر اهتمامًا بالمخاطر الجيوسياسية والسوقية، منذ بداية رئاسة شي جين بينج في عام ٢٠١٣، ظهرت مفاهيم جديدة حول الأمن الاقتصادي بما في ذلك "الأمن الشامل" الذي يتضمن أبعاد أمن الطاقة والموارد، مما أثر على مختلف قطاعات الاقتصاد الصيني ، أدى تنويع شركاء التجارة وطرق التوريد إلى تعزيز مبادرة الحزام والطريق ، كما أن حماية السوق والاستجابة للإجراءات الاقتصادية ضد الصين حفزت قيودًا تجارية وتكنولوجية في مجال المعادن ، ترتبط المرونة الاقتصادية بمفهوم الأمن الاقتصادي حيث يتم مناقشة الأمن والمرونة معًا في الغرب،و بينما يركز الأمن على التهديدات المحددة ويتطلب استجابات سياسية صارمة، تشير المرونة الاقتصادية إلى القدرة على التكيف مع الاضطرابات مع الحفاظ على التواصل.

تُقرن التدابير الدفاعية لتعزيز الأمن الاقتصادي بأشكال أكثر نشاطًا من السياسات الاقتصادية، مدفوعةً برغبة في تحقيق ميزة تنافسية أو الهيمنة على المنافسين. يظهر هذا الاقتران بوضوح في التقنيات الناشئة التي تعتمد على سلاسل توريد المعادن، يتضح الاقتران بين التقدم التكنولوجي والأمن الاقتصادي من خلال مفهوم "السيادة التكنولوجية" الذي يزداد استخدامه في مجالات السياسة المختلفة ،و تعطي روسيا أولوية للمشاريع الوطنية المرتبطة بالتعدين وتطوير المواد المتقدمة لتعزيز السيادة التكنولوجية للصناعة الروسية كما يرتبط استقلال العناصر الأرضية النادرة بشكل وثيق بالسيادة التكنولوجية(Farooki, 2018).

في عام ٢٠١٥ كان من المفترض أن تكون روسيا أول دولة في العالم تتجه نحو خارطة طريق حكومية روسية لتطوير التكنولوجيا الفائقة ، تغطي ضوابط التصدير في الولايات المتحدة الآن "التكنولوجيات الناشئة والأساسية" والتي كانت موجهة في عدة حالات نحو الصين فقط ، و إن استراتيجية الأمن القومي لإدارة بايدن لعام ٢٠٢٢ صريحة بشأن الحاجة إلى الحفاظ على "ميزة تنافسية دائمة" على الصين، وخاصة في المجال العسكري التكنولوجي، وفي الاتحاد الأوروبي أيضًا اكتسب مفهوم السيادة التكنولوجية مصداقية كأولوية سياسية ، وفي الصين أصبحت الأهداف المتعلقة بالاعتماد على الذات التكنولوجية والقدرة التنافسية في الأمور المتعلقة بالتكنولوجيا متشابكة أيضًا مع الأمن القومي، فضلاً عن التحرك الشامل نحو استراتيجية النمو الاقتصادي بقيادة الابتكار(Zhou and Månberger, 2024;p27)

ث: القضايا العسكرية والدفاعية

ترتبط الاقتصادات بمخاوف الأمن القومي التقليدية المتعلقة بالدفاع والحرب والتي قد تتحول إلى أولوية أعلى من القطاع المدني في أوقات الأزمات، و تشكل المعادن مدخلات حيوية للقاعدة الصناعية العسكرية بما في ذلك مواد مثل الفولاذ والنحاس والألمنيوم والتيتانيوم، التي تُستخدم في تصنيع المنصات العسكرية والمكونات الخاصة بالطائرات والمركبات والسفن وتشمل أيضًا معادن متخصصة تُعتبر ضرورية لأنظمة الأسلحة وأجهزة الملاحة وأجهزة الاستشعار ، وعلى الرغم من أن الطلب العسكري على المعادن غير المستخدمة في الوقود أقل أهمية مقارنة بالصناعات المدنية، إلا أن هناك نقصًا في التحليل المنهجي لمتطلبات المعادن الإجمالية ، بينما تتوفر بعض المعلومات حول احتياجات المعادن لأنظمة دفاعية معينة و تبقى سلاسل التوريد العسكرية معقدة وغالبًا ما تفتقر إلى الشفافية ، لم تتمكن التقييمات الأمريكية في أوائل العقد الأول من القرن الحادي والعشرين من تحديد استهلاك القطاع العسكري من العناصر الأرضية النادرة بدقة حيث قُدّر أن وزارة الدفاع استخدمت أقل من ٥٪ من إجمالي الاستهلاك في الولايات المتحدة.

تشير بعض التحليلات إلى وجود منافسة بين الصناعات المدنية والعسكرية على المعادن، وتظهر دراسة للاتحاد الأوروبي أن الطلب الدفاعي طويل الأمد قد يكون "ضارًا" للقطاعات التجارية خاصة في مجالات الطيران والفضاء، و يصعب تقييم مدى هذا الضرر بدقة بسبب تنوع الموردين الذين يخدمون المجمع الصناعي العسكري. تقدر وزارة الدفاع الأمريكية أن الطلب طويل الأمد على المعادن قد يكون "ضارًا" للقطاعات التجارية نظرًا لمتطلبات الكميات الأصغر للجيش وسياسات التخزين الخاصة به

.(Bailey Grasso, 2013)

يتحمل القطاع المدني العبء الأكبر من الاضطرابات في إمدادات المواد والمعادن الاستراتيجية والحيوية ، قد تكون المدخلات المعدنية للقطاع العسكري أكثر عرضة للخطر نظرًا لاحتياجاتها من نقاء أعلى مقارنة بالتطبيقات المدنية مما يزيد من مخاطر الاختناقات والتحديات في الاستبدال ،و يتزايد القلق بشأن الاعتماد على الذات في المشتريات العسكرية حيث يتطلب قانون الدفاع الوطني الأمريكي لعام ٢٠٢٤ من وزارة الدفاع وضع استراتيجية لضمان عدم الاعتماد على الدول المعادية في سلاسل توريد المعادن الحيوية بحلول عام ٢٠٣٥.تختلف القدرات العسكرية والطموحات والأدوات السياسية للدول المعنية في معالجة مخاوف إمدادات المعادن العسكرية رغم أن الإنفاق العسكري للدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي يتجاوز إنفاق روسيا، فإن الاتحاد ليس جهة فاعلة موحدة مما يجعله أقل فعالية من الدول الأخرى ، و تمثل استراتيجية الدفاع الصناعية الأوروبية التي أُعلنت في مارس ٢٠٢٤ محاولة لتحسين التنسيق ، كم يُظهر تحليل المخاطر في الاتحاد الأوروبي وجود اختناقات في سلاسل التوريد مما يعكس المخاوف المتعلقة بالاعتماد على الموردين، خاصة من الصين ، تمتلك الولايات المتحدة أكبر جيش عالمي من حيث الإنفاق ولديها أدوات سياسية مهمة مثل قانون الإنتاج الدفاعي الذي يُستخدم لشراء المعادن ، و يُظهر تقييم مخزون الدفاع الوطني أن هذا المخزون يغطي فقط ٤٠٪ من الطلب العسكري على المعادن الاستراتيجية ، و تُوجه أموال وزارة الدفاع نحو التعدين والصناعة لتخفيف مخاطر العرض. بينما تعتبر الصين وروسيا من بين أكبر الدول من حيث الإنفاق العسكري، فإنهما أقل شفافية من الولايات المتحدة ، يُعزز مفهوم الاندماج المدني العسكري في الصين الجهود لتعزيز القوة العسكرية عبر الابتكارات في القطاع المدني ولكن المعلومات حول تأثير ذلك على سلاسل توريد المعادن تظل محدودة أما في روسيا، فإن الطلب العسكري على المعادن يُعتبر محور اهتمام صانعي السياسات حيث وصف الرئيس بوتن العناصر الأرضية النادرة بأنها "حاسمة" لروسيا(Zhou and Månberger, 2024;p28-29).

ثانيا: دور الطاقة المتجددة في تعزيز التنمية المستدامة

تمثّل الطاقات المتجددة مصدرا لا غنى عنه لتلبية احتياجات العالم المتزايدة من الطاقة بطريقة مُجدية ومستمرة ، حيث إن الاهتمام العالمي المتصاعد بهذه المصادر المتجددة يأتي مدفوعًا برغبة ملحّة في البحث عن بدائل للوقود الأحفوري ، و تُعد الطاقات المتجددة من أقدم مصادر الطاقة التي استخدمها الإنسان حيث تتميز بالتجدد الذاتي والديمومة بفضل تنوعها الشامل تغطي مصادر متعددة من الرياح والمياه والشمس والحرارة الجوفية، إلى الغاز الحيوي (الهيدروجين) والكتلة الحيوية وغيرها لتضمن استمرارًا دائمًا للطاقة النظيفة والموثوقة ، مع الابتكارات التكنولوجية المتسارعة ستلعب هذه المصادر المستدامة دورًا محوريًا في المستقبل القريب لتلبية الطلب العالمي المتنامي على الطاقة، فتوفر إمدادات آمنة وفعالة مع الحد من الانبعاثات الكربونية وحماية البيئة لأجيال الحاضر والمستقبل(كاسيدي,٢٠١١).

١- مصادر الطاقة المتجددة

أ: الطاقة الشمسية

تعتبر الشمس ثروة مهمة لجميع نواحي الحياة سواءً الصحية او الاقتصادية، حيث معظم جوانب الحياة لا يمكن أن توجد بدون الشمس، وبطريقة مباشرة أو غير مباشرة فإنها مسؤولة بشكل كبير عن كل مصادر الطاقة الموجودة على سطح الأرض، والطاقة الشمسية هي طاقة التي يتم الحصول عليها من ضوء الشمس، وهي الطاقة الأم فوق كوكبنا، لأنها تسير كل عمليات وآليات الأرض التي تقوم بتسخين الغلاف الجوي واليابسة، و تتميز الطاقة الشمسية بمواصفات تجعلها الأفضل مقارنة بجميع أنواع الطاقات الأخرى، حيث تعد طاقة هائلة يمكن استغلالها في أي مكان، وتشكل مصدرا مجانيا للوقود الذي لا ينضب ، كما تعتبر طاقة نظيفة لا تنتج أي نوع من أنواع التلوث البيئي وتأتى أهميتها بالنظر إلى محدودية مصادر الطاقة الأحفورية(ميهوبي , ٢٠١١) .

يمكن تقسيم الطاقة الشمسية إلى نوعين هما(Knar Khachatryan, 2006) :

- الطاقة الشمسية الكهروضوئية: وهي الطاقة المستردة والمحولة مباشرة إلى كهرباء إنطلاقا من ضوء الشمس عن طريق الألواح الكهروضوئية.
- الطاقة الشمسية الحرارية: هي تحويل أشعة الشمس إلى طاقة حرارية، ويُمكن إستعمال هذا التحول بصفة مباشرة للتدفئة مثلا أو بصفة غيرمباشرة مثل إنتاج بخار الماء لتدوير المولدات التوربينية وبالتالي الحصول على الطاقة الكهربائية.

ب: طاقة الرياح

تمثل طاقة الرياح مصدر من مصادر الطاقة المتجددة والصديقة للبيئة من خلال الحد من انبعاثات ثاني أوكسيد الكربون وتعد طاقة الرياح في الوقت الراهن تقنية ناضجة ، ففي المواقع والأماكن ذات السرعات العالية بالنسبة للرياح تكون تكلفتها الاقتصادية تنافس تكنولوجيا توليد الطاقة التقليدية الاحفورية ، أن طاقة الرياح تعتمد على القدرة التي تمتلكها الرياح في تحريك الأشياء، أي الطاقة الحركية الميكانيكية التي يمتلكها الهواء نتيجة حركته ، وتُعد طاقة الرياح إحدى أنواع الطاقات المتجددة الناتجة عن حرارة الشمس، حيث تنشأ الرياح بسبب اختلاف الضغط الجوي المرتبط بدرجات تسخين في مختلف مناطق سطح الأرض من قبل الشمس. وقد قدر الخبراء أن نحو ٢٪ من الطاقة الشمسية الساقطة على سطح الأرض تتحول إلى طاقة رياح ، كذلك تتولد طاقة الرياح من خلال تحريك ألواح كبيرة مثبتة في أماكن مرتفعة بفعل الهواء المتحرك، حيث يتم إنتاج الطاقة الكهربائية من الرياح بواسطة محركات أو توربينات ذات ثلاثة أذرع دوارة تحمل على عمود يعمل على تحويل الطاقة الحركية للرياح

إلى طاقة كهربائية ، فعندما تمر الرياح على الأذرع خلق دفعة هواء ديناميكية تتسبب في دورانها، وهذا الدوران يشغل التوربينات فتنتج طاقة كهربائي (حم عيد,٢٠١٣) .

ت: الطاقة الكهرومائية

يمتد تاريخ استخدام الإنسان لمياه الأنهار كمصدر للطاقة إلى ما قبل اكتشاف الطاقة البخارية في القرن الثامن عشر، حيث استُغلت في تشغيل النواعير التي كانت تُستخدم في إنارة مطاحن الدقيق، وآلات النسيج، ونشر الأخشاب، والطاقة المائية هي الطاقة المستمدة من قوة حركة المياه المستمرة أي الاستفادة من حركة المياه لأغراض مفيدة (الغيطاني و عبدالغني,٢٠١٢).

تُستخدم المياه في توليد الطاقة الكهربائية، ولهذا الغرض تُقام محطات توليد الطاقة على مساقط الأنهار، كما تُبنى السدود الاصطناعية لتوفير كميات كبيرة من المياه تضمن تشغيل هذه المحطات بصورة دائمة، وتعتمد الطاقة المائية على استغلال طاقة حركة المياه الجارية وقوة ثقلها حيث تدفع المياه توربينات مائية التي تُحول الطاقة الحركية للمياه إلى طاقة كهربائية، وتتميز الطاقة المائية بكونها طاقة متجددة ونظيفة لا تنتج أي انبعاثات ملوثة للبيئة، كما أنها مستدامة وغير قابلة للنضوب إلا أن بناء السدود والمحطات يتطلب استثمارات كبيرة وقد يؤدي إلى تغييرات في البيئة المحيطة ، لذلك يجب دراسة الجدوى والآثار البيئية بعناية قبل تنفيذ مشاريع الطاقة المائية (حم عيد,٢٠١٣, ص ٧٣).

يمكن تصنيف الطاقة المائية إلى نوعين رئيسيين:

أ- طاقة حركة الأمواج: تنشأ هذه الطاقة من حركة الأمواج الناتجة عن اضطراب المياه بسبب سرعة الرياح في البحار والمحيطات ، هذا الاضطراب يؤدي إلى ارتفاع وانخفاض جزيئات الماء في حركة موجية منتظمة تنتشر حتى تصطدم بصخور الشاطئ ، وتُعد حركة الأمواج في الحقيقة تحركًا للقوة الدافعة للمياه الناتجة عن طاقة الرياح (شحاتة ,٢٠٠٣) .

ب- طاقة المد والجزر: تنشأ هذه الطاقة من حركتي المد والجزر اللتين تحدثهما جاذبية القمر والشمس ، حيث يُعرف المد بارتفاع مياه البحر واندفاعها نحو الشاطئ، بينما الجزر هو العكس ، وقد سعى الإنسان إلى استغلال هذه الظاهرة في توليد الطاقة الكهربائية، والتي تُصنف على أنها طاقة متجددة تستمد من استغلال مد وجزر المحيطات(Knar Khachatryan, 2006,p12).

ث: طاقة الكتلة الحيوية

يشمل مصطلح الكتلة الحيوية جميع المواد ذات الأصل النباتي، مثل الأشجار والنباتات والمخلفات الزراعية وذات الاصل الحيواني مثل المخلفات الحيوانية، بالإضافة إلى المخلفات الصلبة والصناعية والبشرية التي يمكن أن تطلق الطاقة الكامنة من خلال الاحتراق المباشر أو التخمر أو التغوير الحيوي... إلخ.

طاقة الكتلة الحيوية هي كمية كبيرة من المواد العضوية غير الأحفورية ذات الأصل البيولوجي وهي الطاقة المنتجة من المواد العضوية القابلة للتحلل والحيوانات والنباتات والنفايات البشرية. سواء كانت المخلفات مواد صلبة، أو مياه صناعية زائدة، أو مخلفات زراعية، يتم إنتاج مصدر الطاقة هذا أثناء عملية التمثيل الضوئي، وهي العملية التي تستخدم بها الخلايا النباتية الماء وثاني أكسيد الكربون وأشعة الشمس لإنتاج الكربوهيدرات (حم عيد,٢٠١٣, ص ٧٥)، بالإضافة إلى أن الكتلة الحيوية هي مورد متعدد الأوجه، هناك ثلاث طرق ممكنة لتحويلها إلى وقود صلب أو سائل أو غازي قبل الاستخدام، إما عن طريق حرقها لإنتاج طاقة كهربائية او حرارية ، عن طريق حرقها إلى تحويلها الى غاز بواسطة عمليات الهضم دون عنصرالأوكسجين ، مثل غاز الميثان والهيدروجين وأول أكسيد الكربون، أو التحويل إلى سوائل، مثل الإيثانول الحيوي والميثانول الحيوي والديزل الحيوي(سعدي,٢٠١٢) .

ج: الطاقة الحرارية الجوفية الأرضية

الطاقة الحرارية الأرضية هي الحرارة الطبيعية للأرض الناتجة عن وجود العناصر المشعة داخل باطن الأرض أي أنها طاقات دفينة في أعماق الأرض ، وقد وصفت الطاقة الحرارية الأرضية بأنها واحدة من أهم مصادر الطاقة والبديل النظيف المتجددة ، وهي طاقة حرارية مرتفعة ذات نشأة طبيعية مخزنة في الصهارة في باطن الأرض، حيث تشير التقديرات إلى أن أكثر من ٩٩٪ من كتلة الأرض عبارة عن صخور تزيد درجات حرارتها عن ١٠٠٠ درجة مئوية(). ويعتقد العلماء أنها ستكون كافية لتوليد كميات كبيرة من الكهرباء في المستقبل، وقد استمد الإنسان منها الحرارة منذ آلاف السنين ، ومن ثم انتاج الكهرباء على مدى التسعين سنة الماضية (راتول, مداحي, ٢٠١٢).

أُجريت أول تجربة لاستخدام بخار جوف الأرض لتوليد الكهرباء في إيطاليا عام ١٩٠٤، بقدرة توليد طاقة تبلغ ٢٨٠ ألف كيلو واط ، وتوجد أيضًا محطات للطاقة الحرارية الأرضية في المكسيك وأيسلندا ونيوزيلندا واليابان وروسيا والولايات المتحدة. وعلى مستوى الدول العربية نجد مثل هذه المصادر في دول مثل جيبوتي والجزائر واليمن والمغرب والمملكة العربية السعودية، وبدرجة أقل الأردن ومصر والسودان وتونس وبعض الدول الأخرى (مخلفي ,٢٠١١) .

د: طاقة الهيدروجين

يمثل غاز الهيدروجين نوعا مهما من أنواع الوقود، وهو المصدر المرشح لأن يكون له دور كبير في تأمين الطاقة في المستقبل وذلك لحوزته على كل المقومات التي تجعله وقودا ناجحا ، فهو الأخف والأنظف ، حيث يمكن تحويله إلى أشكال أخرى من الطاقة بكفاءة عالية (رحيمة ,٢٠١٢) .

ويعتبر الهيدروجين من أكثر العناصر توافراً في الكون، فالشمس والنجوم تتكون من الهيدروجين والفضاء بينهم يحتوي على نسبة عالية منه، ولكن على كوكب الأرض لا يوجد الهيدروجين كعنصر لوحده مستقل فهو يوجد في الهواء بنسبة صغيرة بينما يوجد بوفرة كبيرة متحدًا مع الأوكسجين في صورة مياه المحيطات البحار والأنهار ، ويمكن توفير الهيدروجين من خلال التحليل الكهربائي للماء، أو تحلل الماء حراريا بالتسخين المباشر، كما يمكن إستخراج الهيدروجين ايضا بطرق أخرى حيث أكثر من نصف الهيدروجين ينتج اليوم من الغاز الطبيعي بخضوعه لإعادة التشكل بواسطة البخار الساخن النفخ، لذلك يتفاعل الغاز عند ملامسة البخار ضمن محوّل، محررا بذلك ذرات هيدروجين، ويمكن ايضاً إنتاج الهيدروجين عن طريق تغويز الفحم استخراج الغاز من الفحم الحجري، ولكن هذه الطريقة مكلفة ، اما الطريقة الاخرى يمكن استخراج الهيدروجين من النفط أو من الكتلة الحيوية مشتقات وقود من النبات والكائنات الحية عن طريق تحويلها إلى حالتها الغازية (الميلود,٢٠١١) .

٢- دور الطاقة المتجددة في التنمية الاقتصادية المستدامة

تُعتبر الطاقة عاملاً محوريًا في عملية التنمية الاقتصادية، حيث تمثل حلقة الوصل الرئيسية لتحويل المواد الخام إلى سلع وخدمات ذات قيمة مضافة ، ومن جهة أخرى، فإن مسار النمو الاقتصادي يقتضي بالضرورة استخدام مزيد من موارد الطاقة، وسيتحدد الأثر البيئي لهذا النمو بناءً على طبيعة ونوعية تلك الموارد المستغلة ، أيضا تشكل إمدادات وخدمات الطاقة مدخلاً أساسيا في عملية التنمية الاقتصادية والاجتماعية، وخصوصا ما يتعلق بالتبعية البشرية وتقليص الفقر وتغيير أنماط الإنتاج والاستهلاك غير المستدام (خامرة,٢٠٠٨) .

أ: الطاقة المتجددة والتنمية البشرية:

هناك علاقة وثيقة بين التنمية البشرية والطاقة، وذلك من خلال وجود ارتباط قوي بين متوسط استهلاك الفرد من الطاقة ومؤشر التنمية البشرية، وخاصة في الدول النامية، فالزيادة في استهلاك الأفراد من مصادر الطاقة التجارية تسهم بشكل مباشر في تحسين مؤشرات التنمية البشرية كالتعليم والصحة، وبالتالي رفع معايير ومستويات المعيشة ، وتعطى الكهرباء صورة واضحة حول ذلك. إذ يمثل مصدرا لا يمكن استبداله بمصدر آخر للطاقة في استخدامات كثير كالإنارة والتبريد والتكييف وغيرها.

ب: تغيير أنماط الإنتاج والاستهلاك غير المستدام:

يمكن القول بأن قطاع الطاقة يعد من ابرز القطاعات التي تتنوع بها أنماط الإنتاج والاستهلاك،إلا أن معظمها يعاني من معدلات هدر مرتفعة ، وفي ظل الزيادة المستمرة في الاستهلاك نتيجة للنمو السكاني، فإن الأمر يتطلب التشجيع لرفع كفاءة الاستخدام وقابلية استدامة موارد الطاقة من خلال وضع سياسات تسعير ملائمة من شأنها إتاحة حوافز زيادة كفاءة الاستهلاك والمساعدة على تطبيق الإصلاحات القانونية والتنظيمية التي تؤكد على ضرورة الاستغلال المستدام للموارد الطبيعية وتنمية موارد الطاقة المتجددة إضافة إلى تسهيل الحصول على التجهيزات التي تتسم بالكفاءة في استهلاك الطاقة والعمل على تطوير آليات التمويل الملائمة .

ت: تقليص نسبة الفقر:

تتطلب التنمية المستدامة تحسين نوعية حياة الأفراد وتهيئة ظروف معيشية لائقة لهم، لا سيما في المناطق الفقيرة المحرومة، وهو ما تضاعف الحاجة إليه مع التزايد المطرد لمعدلات النمو السكاني ، وإضافة الى ماسبق تبرز أهمية الاستغلال الأمثل للموارد المتاحة، وتوفير فرص عمل مناسبة، وتطوير الخدمات الصحية والتعليمية كعوامل محفزة للنمو الاقتصادي بالمناطق الفقيرة

لذا، تُمثل إتاحة إمدادات طاقة كافية وموثوقة وآمنة أحد المتطلبات الرئيسية لتحقيق التنمية المستدامة.

ويتعين في هذا السياق(عبدالرؤوف,٢٠١٣) ما يلي:

- تطوير البنية التحتية لمواقع التجمعات السكانية خصوصًا الفقيرة منها، وتزويدها بنظم الطاقة والتقنيات الملائمة للتنمية في مثل تلك البيئات.
- الإدارة الرشيدة والمستدامة لمصادر الطاقة المتاحة، بما يضمن تلبية الاحتياجات الأساسية للسكان.
- توفير نظم طاقة ووسائل نقل مستدامة لمختلف مواقع التجمعات البشرية.

٣. دور الطاقة المتجددة في التنمية البيئية المستدامة

البُعد البيئي للتنمية المستدامة يرتكز على الحفاظ على قاعدة الموارد المادية والبيولوجية وحماية النظم الإيكولوجية والنهوض بها، وفي هذا الإطار تناول جدول أعمال القرن الواحد والعشرين الصادر عن الأمم المتحدة العلاقة بين الطاقة والأبعاد البيئية للتنمية المستدامة، لا سيما مسألة حماية الغلاف الجوي من التلوث الناجم عن استخدامات الطاقة في مختلف الأنشطة الاقتصادية والاجتماعية (بوقرة ,٢٠٠٨).

لذلك، تُعد المحافظة على الموارد وإدارتها بكفاءة من أهم معايير التنمية المستدامة المرتبطة بقطاع الطاقة، ولتحقيق ذلك أضحى من الضروري تطوير سياسات وبرامج للطاقة المستدامة من خلال الاعتماد على مزيج من مصادر الطاقة المتاحة الأقل تلويثًا، بهدف الحد من الآثار البيئية السلبية لهذا القطاع. ويتضمن ذلك تعزيز الاعتماد على مصادر الطاقة البديلة والمتجددة مثل الطاقة الشمسية والحرارية الأرضية وغيرها.

أيضا، فقد أدى استنزاف الموارد غير المتجددة وتزايد الانبعاثات الملوثة والتفاوت في توزيع موارد الطاقة إلى تبعات بيئية خطيرة لاستخداماتها، مما يستدعي البحث عن مصادر الطاقة المتجددة كبديل مستدام، وتجدر الإشارة إلى ما أشار إليه تقرير شبكة سياسة الطاقة المتجددة للقرن الواحد والعشرين من أن الطاقة المتجددة تلعب دورًا محوريًا في إمدادات الطاقة العالمية لمواجهة التهديدات البيئية والاقتصادية المتزايدة (Romero and Meuli, 2003).

الاستنتاجات:

١. يتركز إنتاج المعادن الحيوية المستخدمة في الطاقة المتجددة في عدد قليل من الدول مثل الصين، جنوب إفريقيا، وأستراليا، مما يخلق مخاطر جيوسياسية واقتصادية نتيجة الاعتماد على هذه الدول.
٢. تُعتبر الصين اللاعب الرئيسي في إنتاج العديد من المعادن مثل الألمنيوم، الليثيوم، الكوبالت، والعناصر الأرضية النادرة، مما يعكس أهمية هذه الموارد في الاستراتيجيات العسكرية والاقتصادية.
٣. تُعتبر المعادن مثل الليثيوم، الكوبالت، النيكل، والنحاس الركائز الأساسية للتقنيات الحديثة للطاقة المتجددة، مثل البطاريات والألواح الشمسية وتوربينات الرياح.
٤. يتزايد الطلب على هذه المعادن بشكل كبير في ظل التحول العالمي نحو الطاقة النظيفة وتحقيق أهداف صافي الانبعاثات الصفرية.
٥ . يؤدي التعدين المكثف للمعادن الحيوية إلى مشاكل بيئية كبيرة مثل تلوث المياه، تدمير التنوع البيولوجي، وزيادة انبعاثات الكربون.
٦. استنزاف الموارد غير المتجددة يفرض تحديات بيئية ويزيد من الحاجة إلى تحسين كفاءة استخدام الموارد.
٧ . يمكن أن يؤدي استخدام المعادن كأداة سياسية إلى ارتفاع الأسعار واضطرابات في سلاسل الإمداد العالمية، خاصة في ظل التوترات الجيوسياسية بين الصين والدول الغربية.
٨. يتزايد الاعتماد على الذات في المشتريات العسكرية، مما يبرز أهمية استقرار سلاسل الإمداد.
٩. يمكن أن يقلل إعادة تدوير المعادن واستخدامها بطرق مبتكرة من الاعتماد على التعدين التقليدي.
١٠. الابتكارات التكنولوجية، مثل تحسين كفاءة البطاريات والاعتماد على مواد بديلة، قد تخفف من الضغوط على المعادن الحرجة.

المقترحات:

١. يجب على الدول المستهلكة تقليل الاعتماد على الدول المهيمنة مثل الصين من خلال تنويع مصادر الإمداد والشراكات مع الدول المنتجة الأخرى.
٢. ينبغي تعزيز استكشاف المعادن في الدول التي تمتلك إمكانات غير مستغلة.
٣. الاستثمار في تقنيات إعادة تدوير المعادن المستخدمة في البطاريات والمكونات الإلكترونية.
٤. وضع سياسات تشجع إعادة استخدام الموارد المعدنية وتقليل الفاقد منها.
٥. دعم البحث والتطوير لتقنيات تقلل من الاعتماد على المعادن النادرة أو استبدالها بمواد متوفرة بشكل
٦. تحسين كفاءة البطاريات وتقليل استخدام المعادن النادرة في تصنيعها.
٧ . تعزيز التعاون بين الدول المنتجة والمستهلكة للمعادن لضمان استقرار سلاسل الإمدادات.
٨. إنشاء اتفاقيات دولية للحد من استخدام المعادن كأداة سياسية ولحماية البيئة.
٩. تبني سياسات بيئية صارمة لتقليل الآثار السلبية للتعدين على البيئة.
١٠ . تشجيع استخدام مصادر الطاقة المتجددة النظيفة في عمليات التعدين لتقليل الانبعاثات الكربونية.

المراجع العربية

- إبراهيم الغيطاني، أماني عبد الغني، آفاق الطاقة المتجددة في مصر: فرص الخروج من شبح نضوب الطاقة، المركز المصري للدراسات والمعلومات، القاهرة، مصر، ٢٠١٢.
- إبراهيم عبد الله عبد الرؤوف،الطاقة المتجددة والتنمية المستدامة (دراسة تحليلية وتطبيقية على الطاقة الشمسية فى مصر, مجلة البحوث القانونية والإقتصادية (المنصورة), ٢٠١٣
- ادوارد س كاسيدي، مدخل إلى الطاقة المصادر والتكنلوجيا والمجتمع، ترجمة صباح صديق الدملوجي المنظمة العربية للترجمة، الطبعة الأولى، بيروت، ٢٠١١، ص ٥٤٩
- بوقرة رابح ، آثار استغلال اقتصاديات الطاقة المتاحة المتجددة على الدول العربية المؤتمر العلمي الدولي بعنوان التنمية المستدامة والكفاءة الاستخدامية للموارد المتاحة الجزائر، جامعة المسيلة – أبريل ٢٠٠٨، ص٣.
- جحموم رحيمة، آفاق إحلال الطاقات المتجددة في الوطن العربي، مذكرة ماجستير في العلوم الاقتصادية، تخصص تحليل إقتصادي، كلية العلوم الاقتصادية وعلوم التسيير، جامعة الجزائر ،٢٠١٢
- حسن أحمد شحاتة، التلوث البيئي ومخاطر الطاقة، الدار العربية للكتاب، القاهرة، مصر، ٢٠٠٣
- سحانين الميلود، التكنولوجيا النظيفة ودورها في حماية البيئة، مذكرة ماجستير في علوم التسيير، تخصص الادارة البيئية والسياحية، كلية العلوم الاقتصادية وعلوم التسيير، جامعة الجزائر،٢٠١١/٢٠١٠

- ❖ سناء حم عيد،استراتيجية الطاقة المتجددة في الجزائر ودورها في تحقيق التنمية المستدامة ،رسالة ماجستير منشورة،كلية العلوم الاقتصادية ،جامعة الجزائر،٢٠١٢/٢٠١٣
- ❖ الطاهر خامرة ، تحديات الطاقة والتنمية المستدامة، بحث مقدم إلى المؤتمر العلمي الدولي، بكلية العلوم الاقتصادية وعلوم التسيير، الجزائر، بعنوان التنمية المستدامة والكفاءة الاستخدامية للموارد المتاحة،٧-٨ ابريل،٢٠٠٨
- ❖ عبد الحكيم ميهوبي ، التغيرات المناخية (الأسباب، المخاطر، ومستقبل البيئة العالمي، الطبعة الأولى دار الخلدونية للتشر والتوزيع، الجزائر، ٢٠١١.
- ❖ محمد راتول ، محمد مداحي ، صناعة الطاقات المتجددة والمشاريع الاستثمارية المتعلقة بها في الجزائر كمرحلة لما بعد البترول، مداخلة في ملتقى الدولي الأول حول البدائل التنموية في الاقتصاديات العربية وترشيد إستغلال الموارد في ظل التغيرات الإقليمية والدولية، كلية العلوم الاقتصادية وعلوم التسيير، جامعة الجلفة، يومي ٢١-٢٢ نوفمبر ٢٠١٢
- ❖ مخلفي امينة، النفط والطاقة البديلة المتجددة والغير متجددة، مجلة الباحث، العدد التاسع، كلية العلوم الاقتصادية وعلوم التسيير، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، الجزائر، ٢٠١١
- ❖ مريم سعدي، الديزل الحيوي، مجلة الطاقات المتجددة، العدد الأول، مركز تطوير الطاقات المتجددةبوزريعة الجزائر، جوان ٢٠١٢
- ❖ أكسيل، آتا صن، تشي , باندا، ساندیب. اضطرابات كوفيد-١٩ في إمدادات المعادن التقنية بمثابة جرس إنذار. نيتشر،الصين , ٢٠٢٠.
- ❖ بيلي جراسو، ف.، العناصر الأرضية النادرة في الدفاع الوطني: الخلفية، وقضايا الرقابة، والخيارات المتاحة للكونغرس، تقرير خدمة أبحاث الكونغر (CRS) الكونغرس الأمريكي، واشنطن، الولايات المتحدة الامريكية ،٢٠١٣ ص ١٠.
- ❖ تشين، وي، وآخرون. إعادة تشكيل سلاسل توريد العناصر الأرضية النادرة الثقيلة في ظل اللوائح البيئية الصارمة في الصين. الأبحاث الأساسية، ٢٠٢٤.
- ❖ فاروكي، م.، "قطاع المعادن في الصين ومبادرة الحزام والطريق"، الحوار الاستراتيجي حول المواد الخام المستدامة لأوروبا(STRADE) ، موجز السياسة ، رقم الطبعة.٢، ٢٠١٨
- ❖ فورتسكيو، ستيفن. أقاليم التنمية المتسارعة: حالة أخرى من فشل السياسات في روسيا. اقتصادات ما بعد الشيوعية،٢٠٢٠
- ❖ جايدا، ج.، ليونغ، ج. و.، روبن، س، وكيف، د. متتبع التكنولوجيا الحرجة التابع لمعهد السياسة الاستراتيجية الأسترالي: السباق العالمي نحو قوة المستقبل.استراليا ،٢٠٢٣

- غولدبرغ، بينيلوبي ك. ريد، تريستان. هل يتراجع الاقتصاد العالمي عن العولمة؟ إذا كان الأمر كذلك، فلماذا؟ وما التالي؟. أوراق بروكينغز حول النشاط الاقتصادي، ٢٠٢٣.
- وكالة الطاقة الدولية(IEA) ، التوقعات العالمية للمعادن الحرجة ٢٠٢٤ ،فرنسا ، باريس.٢٠٢٤
- خوسيه روميرو وكاسبار ميولي،ارتفاع الحرارة واثرها على البيئة،فرنسا ،٢٠٠٣، ص. ٦.
- كنار خاتشاتريان، دور الطاقات المتجددة في سياسة الطاقة في الاتحاد الأوروبي، مذكرة بحثية، المعهد الدولي للدراسات العليا، المركز الدولي للتكوين الأوروبي، ٢٠٠٦/٢٠٠٧
- ليدرير، جراهام، وآخرون USGS .مراجعة المعادن الهامة. هندسة التعدين،الولايات المتحدة ، ٢٠٢٤، ٧٦.٥.
- ليونيلي، جوليا كلوديا، المواد الخام المهمة، والانتقال إلى صافي الصفر و"توريق" العلاقة بين التجارة وتغير المناخ: تحديد المخاطر البيئية ورسم مسار جديد لإزالة الكربون عبر الحدود الوطنية. ورقة عمل الدراسات القانونية في كلية لندن للاقتصاد رقم ٢٠٢٣/٢٥،
- ورقة، حقائق. اتفاقية البنية التحتية بين الحزبين. البيت الأبيض،الولايات المتحدة الاريكية، ٢٠٢١،ص ٦.
- ملخصات السلع المعدنية لهيئة المسح الجيولوجي الأمريكية، إصدار بيانات ٢٠٢٤ ،الإصدار ٢.٠، 2024.،M
- وانغ، هوارد. "الأمن شرط أساسي للتنمية": بناء توافق في الآراء نحو أولوية عليا جديدة في الحزب الشيوعي الصيني. مجلة الصين المعاصرة، ٢٠٢٣.
- البنك الدولي؛ البنك الدولي. أربعة عقود من الحد من الفقر في الصين: الدوافع، ورؤى للعالم، والطريق إلى الأمام. ٢٠٢٢.
- تشو، جيايي؛ مانبرغر، أندريه. المعادن الحيوية ومنافسة القوى العظمى: نظرة عامة. ٢٠٢٤. ص٢٣.
- زوت، ميغان نيكول. الطلب المتزايد على "الذهب الأبيض" لاستيعاب التحول "الأخضر": دور الخطاب في تشكيل التعاون بين الاتحاد الأوروبي وتشيلي بشأن الليثيوم. أطروحة الماجستير بإشراف كازاليا، آنا. براغ: جامعة تشارلز، كلية العلوم الاجتماعية، قسم الدراسات الأمنية، ٢٠٢٣، ص ١٠-١٢

Bibliography of Arabic References (Translated to English)

- Ibrahim Al-Ghitani, Amani Abdel-Ghani, Prospects for Renewable Energy in Egypt: Opportunities to Escape the Specter of Energy Depletion, Egyptian Center for Studies and Information, Cairo, Egypt, 2012.
- Ibrahim Abdullah Abdel-Raouf, Renewable Energy and Sustainable Development (An Analytical and Applied Study of Solar Energy in Egypt), Journal of Legal and Economic Research (Mansoura), 2013.
- Edward S. Cassidy, Introduction to Energy Resources, Technology, and Society, translated by Sabah Siddiq Al-Damluji, Arab Organization for Translation, First Edition, Beirut, 2011, p. 549.
- Bouguerra Rabah, Impacts of Exploiting the Economics of Available Renewable Energy on Arab Countries, International Scientific Conference on Sustainable Development and the Efficient Use of Available Resources, Algeria, University of M'sila - April 2008, p. 3.
- Jahmoum Rahima, Prospects for Renewable Energy Substitution in the Arab World, Master's Thesis in Economic Sciences, Economic Analysis Specialization, Faculty of Economics and Management Sciences, University of Algiers, 2012.
- Hassan Ahmed Shehata, Environmental Pollution and Energy Risks Arab Book House, Cairo, Egypt, 2003
- Sahanin Al-Miloud, Clean Technology and Its Role in Environmental Protection, Master's Thesis in Management Sciences, Specialization in Environmental and Tourism Management, Faculty of Economics and Management Sciences, University of Algiers, 2010/2011
- Sanaa Ham Eid, Renewable Energy Strategy in Algeria and its Role in Achieving Sustainable Development, Published Master's Thesis, Faculty of Economics, University of Algiers, 2012/2013
- Taher Khamra, Energy Challenges and Sustainable Development, Research Presented at the International Scientific Conference, Faculty of Economics and Management Sciences, Algiers, entitled Sustainable Development and the Efficient Use of Available Resources, April 7-8, 2008
- Abdelhakim Mihoubi, Climate Change (Causes, Risks, and the Future of the Global Environment), First Edition, Dar Al-Khaldouniya for Publishing and Distribution, Algiers, 2011

- Mohamed Ratoul, Mohamed Madahi, Renewable Energy Industry and Related Investment Projects in Algeria in the Post-Oil Era, Presentation at the International Forum The first, on development alternatives in Arab economies and rationalizing resource exploitation in light of regional and international changes, Faculty of Economics and Management Sciences, University of Djelfa, November 21-22, 2012.
- Makhlafi Amina, "Oil and Alternative Renewable and Non-Renewable Energy," Al-Baheth Magazine, Issue 9, Faculty of Economics and Management Sciences, University of Kasdi Merbah, Ouargla, Algeria, 2011.
- Maryam Saadi, "Biodiesel," Renewable Energies Magazine, Issue 1, Center for Renewable Energy Development, Bouzareah, Algeria, June 2012.
- AKCIL, Ata; SUN, Zhi; PANDA, Sandeep. COVID-19 disruptions to tech-metals supply are a wake-up call. Nature, 2020, 587.7834: 365-367.
- Bailey Grasso, V., Rare Earth Elements in National Defense: Background, Oversight Issues, and Options for Congress, Congressional Research Service (CRS) Report for Congress R41744 (US Congress, CRS: Washington, DC, 23 Dec. 2013), p. 10.
- CHEN, Wei, et al. Reshaping Heavy Rare Earth Supply Chains Amidst China's Stringent Environmental Regulations. Fundamental Research, 2024.
- Farooki, M., 'China's mineral sector and the Belt & Road Initiative', Strategic Dialogue on Sustainable RawMaterials for Europe (STRADE) Policy Brief no. 2, Mar. 2018
- FORTESCUE, Stephen. Territories of accelerated development: another case of policy failure in Russia?. Post-communist economies, 2022, 34.2: 246-266.
- Gaida, J., Leung, J. W., Robin, S., & Cave, D. . ASPI's Critical Technology Tracker: The global race for future power.2023
- GOLDBERG, Pinelopi K.; REED, Tristan. Is the global economy deglobalizing? If so, why? And what is next?. Brookings Papers on Economic Activity, 2023, 2023.1: 347-423.
- International Energy Agency (IEA), Global Critical Minerals Outlook 2024 (IEA: Paris, 2024).
- José Romero et Kaspar Meuli, La Fièvre Monte inexorablement ,Environnement, 2003, p. 6.

- knar khachatryan, le Role des Energies Renouvelables dans la Politique Energétique de l'Union Européenne, mémoire d'ifin de etude, Institut des hautes etude internationales, Centre internationales de formation Européenne, 2006/2007
- LEDERER, Graham, et al. USGS critical minerals review. Mining Engineering, 2024, 76.5.
- Leonelli, Giulia Claudia, Critical Raw Materials, the Net-Zero Transition and the 'Securitisation' of the Trade and Climate Change Nexus: Pinpointing Environmental Risks and Charting a New Path for Transnational Decarbonisation (December 4, 2023). LSE Legal Studies Working Paper No. 25/2023,
- SHEET, Fact. The Bipartisan Infrastructure Deal. The White House, 2021, 6.
- U.S. Geological Survey Mineral Commodity Summaries 2024 Data Release (ver. 2.0, M2024)
- WANG, Howard. ‘Security is a prerequisite for development’: consensus-building toward a new top priority in the Chinese Communist Party. Journal of Contemporary China, 2023, 32.142: 525.
- WORLD BANK; WORLD BANK. Four Decades of Poverty Reduction in China: Drivers, Insights for the World, and the Way Ahead. 2022.
- ZHOU, Jiayi; MÅNBERGER, André. Critical Minerals and Great Power Competition: An Overview. 2024.p23
- ZUTT, Megan Nicole. The Growing Demand for 'White Gold' to Accommodate the 'Green' Transition: The Role of Discourse in Shaping the Cooperation Between the European Union and Chile on Lithium. Diplomová práce, vedoucí Casaglia, Anna. Praha: Univerzita Karlova, Fakulta sociálních věd, Katedra bezpečnostních studií, 2023.p.10-12