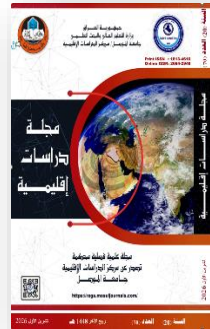




الأهمية الاستراتيجية للمعادن الأرضية النادرة ودورها في الصناعات التقنية والعسكرية

د. لقمان عمر محمود النعيمي^١ د. محمد عبد الرحمن يونس العبيدي^٢
د. عماد خليل إبراهيم^٣ د. نعمة سعيد سرور^٤

^١ أستاذ/ مركز الدراسات الإقليمية/ جامعة الموصل/ العراق. lugman_alnuaimy@uomosul.edu.iq
^٢ أستاذ/ مركز الدراسات الإقليمية/ جامعة الموصل/ العراق. mohamed_alobaigy@uomosul.edu.iq
^٣ أستاذ/ مركز الدراسات الإقليمية/ جامعة الموصل/ العراق. Imad_khalil@uomosul.edu.iq
^٤ أستاذ مساعد/ كلية الآداب والعلوم الإنسانية/ جامعة الأقصى/ فلسطين. nimasrou@gmail.com



المخلص

فكرة البحث: يتناول البحث الدور الحوي للمعادن الأرضية النادرة في الصناعات التقنية والعسكرية، خاصة في مجالات الطاقة المتجددة والدفاع والابتكار التكنولوجي، حيث أصبحت هذه المورد عنصراً أساسياً في التطور الصناعي الحديث.

الهدف: يهدف البحث إلى تحليل أهمية هذه المعادن في دعم الصناعات الاستراتيجية، وتوضيح مساهمتها في تطوير التقنيات العسكرية والمدنية، مع استشراف التحديات المستقبلية المرتبطة بتأمين الإمدادات وضمان استدامتها.

الأهمية: تنبع أهمية الفراسة من كون هذه المعادن تمثل المورد الاستراتيجي الجديد في القون الحادي والعشرين، إذ تدخل في صناعة الطائرات المقاتلة، السيارات الكهربائية، توربينات الرياح، وأنظمة الاتصالات، مما يجعلها محددًا لمسار التنمية والأمن الصناعي للدول.

المنهجية: اعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي، من خلال مراجعة الأدبيات والتقارير الدولية وتحليل بيانات الإنتاج والاحتياطيات والتجارة العالمية، إضافة إلى فراسة حالات بلزرة في الاستخدامات العسكرية والتقنية.

النتائج: خلص البحث إلى أن المعادن الأرضية النادرة تمثل ركيزة أساسية للصناعات التقنية والعسكرية، وأن ضمان استدامة الإمدادات منها يعد شرطاً جوهرياً للحفاظ على الأمن الصناعي والتكنولوجي. كما أظهر أن التحديات المرتبطة بالاستخراج والمعالجة والتوزيع تتطلب استراتيجيات طويلة الأمد لتحقيق التوازن بين الطلب العالمي والقوة الإنتاجية.

الخلاصة: يمكن القول إن المعادن الأرضية النادرة أصبحت بمثابة "نقط القون الحادي والعشرين"، فهي مورد استراتيجي تحدد مؤزرن القوة الاقتصادية والعسكرية، واستقرار الاعتماد العالمي عليها دون إطار قانوني أو استراتيجيات استدامة سيؤدي إلى تفاقم التبعية التقنية والاحتكار الجيوسياسي.

معلومات الأرشفة

الاستلام: ٢٠٢٦/٦/١٩

المراجعة: ٢٠٢٦/٧/٢٧

القبول: ٢٠٢٦/٨/٣٠

النشر الإلكتروني: ٢٠٢٦/١٠/١

المراصلة

لقمان عمر محمود النعيمي

الكلمات المفتاحية

المعادن النادرة؛ الصناعات

العسكرية؛ الصناعات التقنية؛

المورد الحوي؛ الامن التكنولوجي.

الاقتباس

النعيمي، لقمان. ع. م.، العبيدي،

محمد. ع. ي.، إبراهيم، عماد. خ.،

وسرور، نعمة. س. (٢٠٢٦).

الأهمية الاستراتيجية للمعادن

الأرضية النادرة ودورها في

الصناعات التقنية والعسكرية. مجلة

فراسات إقليمية. ٢٠ (٧٠). ٩-٤٢.

<https://doi.org/10.3389/rsj.v20i70.63908>



© Authors, 2026, Regional Studies Center, University of Mosul. This is an open access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



The Strategic Significance of Rare Earth Minerals and Their Role in the Technical and Military Industries



Dr. Luqman O. M. Alnuaimy¹

Dr. Mohamed A. Y. Al_Obaidy²

Dr. Imad K. Ibrahim³

Dr. Nema S. Srour⁴

¹ Prof. /Regional Studies Center/ University of Mosul/ Iraq.

luqman_alnuaimy@uomosul.edu.iq

² Prof. / Regional Studies Center/ University of Mosul/ Iraq.

mohamed_alobaigy@uomosul.edu.iq

³ Prof. / Regional Studies Center/ University of Mosul/ Iraq.

Imad_khalil@uomosul.edu.iq

⁴ Assist. Prof./ College of Arts and Humanities / Al-Aqsa University/ Palestine.

nimasrou@gmail.com

Article Information

Received: 19/6/2026

Revised: 27/7/2026

Accepted: 30/8/2026

Published: 1/10/2026

Corresponding

Luqman O. M. Alnuaimy

Keywords

Rare Metals; Military Industries; Technical Industries; Vital Resources; Technological Security.

Citation

Alnuaimy, L. O. M., Al_Obaidy, M. A. Y., & Ibrahim, I. K. (2026). The Strategic Significance of Rare Earth Minerals and Their Role in the Technical and Military Industries. *Regional Studies Journal*. 20(70).9-42.
<https://doi.org/10.33899/rsj.v20i70.63908>

Abstract

Research Idea: The research examines the vital role of rare earth elements in high-technology and military industries, particularly in renewable energy, defense, and technological innovation. These resources have become essential to modern industrial development.

Objective: The research aims to analyze the strategic importance of rare earth elements to key industries, clarify their contribution to the development of military and civilian technologies, and anticipate future challenges associated with securing sustainable supplies.

Significance: The significance of the study stems from the emergence of rare earth elements as a strategic resource of the 21st century. They are used in fighter aircraft, electric vehicles, wind turbines, and communication systems, making them critical to economic development and national industrial security.

Methodology: The research adopts a descriptive-analytical approach by reviewing the scientific literature and international reports, analyzing data on production, reserves, and global trade, and examining selected cases of military and technological applications.

Results: The findings indicate that rare earth elements constitute a cornerstone of high-technology and military industries and that securing sustainable supplies is essential to maintaining industrial and technological security. The challenges associated with extraction, processing, and distribution require long-term strategies to balance global demand with production capacity.

Conclusion: Rare earth elements have emerged as the "oil of the 21st century." As strategic resources, they influence economic and military power. Continued global dependence on them without appropriate legal frameworks and sustainability strategies could exacerbate technological dependency and the geopolitical concentration of supply.



© Authors, 2026, Regional Studies Center, University of Mosul. This is an open access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

مقدمة

عد المعادن الأرضية النادرة من أبرز الموارد الاستراتيجية في العصر الحديث، إذ ارتبطت ارتباطاً مباشراً بالتحويلات الصناعية والتكنولوجية الكبرى التي يشهدها العالم. وتمتاز هذه العناصر بخصائص مغناطيسية وبصرية وكهربائية فريدة تجعلها حجر الأساس في الصناعات المتقدمة مثل الإلكترونيات الدقيقة، أنظمة الاتصالات، الطاقات المتجددة، وصناعات الدفاع. ومع تزايد الطلب العالمي عليها، تحولت هذه المعادن إلى مورد حيوي يحدد موازين القوة الاقتصادية والعسكرية بين الدول، مما يجعلها موضوعاً بالغ الأهمية للدراسة الأكاديمية والسياسية على حد سواء.

لقد أصبحت هذه المعادن بمثابة "نقط القرن الحادي والعشرين"، حيث يعتمد عليها الاقتصاد الرقمي في تشغيل الأجهزة الذكية، كما تدخل في صناعة السيارات الكهربائية وتوربينات الرياح التي تمثل ركيزة التحول نحو الطاقة النظيفة. كما أن الصناعات العسكرية، بما في ذلك الطائرات المقاتلة وأنظمة التوجيه والاتصالات العسكرية، تعتمد بشكل متزايد على هذه العناصر، مما يضفي عليها بعداً استراتيجياً يتجاوز الجانب الصناعي البحت.

ومن ثم، فإن دراسة هذه الموارد لا تقتصر على الجوانب الجيولوجية أو التقنية، بل تمتد لتشمل أبعاداً سياسية واقتصادية وقانونية واستراتيجية، تجعلها محوراً للتنافس الدولي وصياغة السياسات العامة. فغياب إطار قانوني دولي موحد ينظم استغلالها وتوزيعها يفتح المجال أمام احتكار بعض الدول للإنتاج والتحكم في الأسواق العالمية، الأمر الذي يثير مخاوف تتعلق بالأمن الصناعي والاقتصادي. وبالتالي، فإن المعادن الأرضية النادرة لم تعد مجرد عناصر جيولوجية، بل موارد استراتيجية تحدد مسار التنمية، وتعيد تشكيل موازين القوة في النظام الدولي المعاصر.

هدف البحث:

يهدف البحث إلى تحليل الدور الحيوي للمعادن الأرضية النادرة في دعم الصناعات التقنية والعسكرية، واستكشاف أبعادها الاستراتيجية في الاقتصاد والسياسة الدولية. كما يسعى إلى إبراز موقع هذه المعادن في منظومة الأمن القومي للدول الكبرى، وتوضيح انعكاساتها على التنمية المستدامة والتحويلات البيئية.

أهمية البحث:

تكمن أهمية البحث في أنه يسلط الضوء على مورد استراتيجي جديد ومهم يحدد مسار التنمية الاقتصادية والأمن الصناعي، ويكشف عن العلاقة الوثيقة بين الموارد الطبيعية والتطور التكنولوجي

والعسكري. كما أن البحث يساهم في إثراء الأدبيات العلمية العربية حول موضوع حديث عالمياً، ويعزز قدرة الباحثين على فهم التحديات المرتبطة بهذه المعادن في سياق إقليمي ودولي.

إشكالية البحث:

تتمثل الإشكالية الرئيسية في ندرة هذه المعادن وصعوبة استخراجها ومعالجتها، فضلاً عن التحديات البيئية والاقتصادية المرتبطة بها. كما أن الاعتماد المتزايد عليها في الصناعات الدفاعية والتكنولوجية يجعلها مورداً حساساً يرتبط بمفهوم الأمن الصناعي والاقتصادي. ويبرز غياب إطار قانوني دولي موحد ينظم استغلالها وتوزيعها، مما يفتح المجال أمام احتكار بعض الدول للإنتاج والتحكم في الأسواق العالمية.

فرضية البحث:

ينطلق البحث من فرضية أساسية مفادها أن ندرة المعادن الأرضية النادرة وصعوبة استخراجها ومعالجتها، إلى جانب التحديات البيئية والاقتصادية المرتبطة بها، تجعلها مورداً استراتيجياً حساساً يرتبط مباشرة بمفهوم الأمن الصناعي والاقتصادي. وبغياب إطار قانوني دولي موحد ينظم استغلالها وتوزيعها، تصبح السيطرة على إنتاجها وتوزيعها عاملاً رئيساً في تعزيز النفوذ الصناعي والعسكري للدول الكبرى. ومن ثم، فإن الدول التي تمتلك احتياطات ضخمة أو قدرات تقنية متقدمة في مجال استخراج هذه المعادن ومعالجتها ستكون في موقع أفضل لتحديد مسار الاقتصاد العالمي والتحويلات الاستراتيجية المقبلة، بما يفتح المجال أمام احتكار جيوسياسي جديد يحدد موازين القوة في القرن الحادي والعشرين.

منهجية البحث:

يعتمد البحث على المنهج الوصفي والتحليلي، من خلال مراجعة الأدبيات العلمية والتقارير الدولية، وتحليل البيانات المتعلقة بالإنتاج والاحتياطات والاستخدامات، مع الاستعانة بدراسات حالة توضح التطبيقات العملية لهذه المعادن في المجالات التقنية والعسكرية.

هيكلية البحث: يتضمن البحث ثلاثة محاور رئيسية هي:

أولاً: الإطار المفاهيمي والأهمية الاستراتيجية للمعادن الأرضية النادرة.

ثانياً: أهمية المعادن الأرضية النادرة في الصناعات العسكرية والتقنية.

ثالثاً: استخدامات المعادن الأرضية النادرة في الصناعات العسكرية والتقنية.

الخاتمة والاستنتاجات

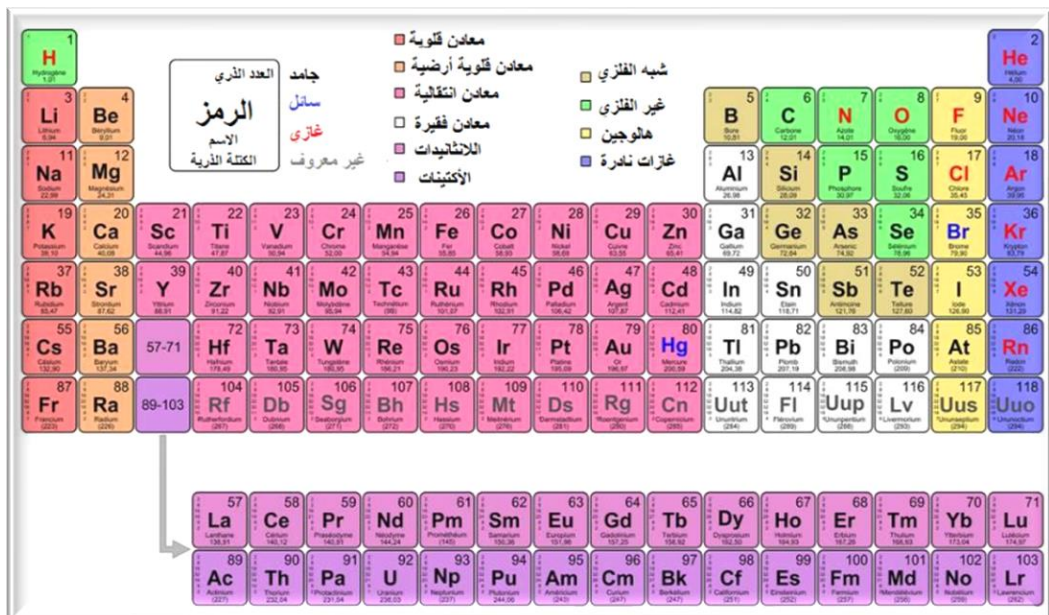
أولاً: الأهمية الاستراتيجية للمعادن الأرضية النادرة.

١. مفهوم المعادن الأرضية النادرة

المعادن الأرضية النادرة، التي يشار إليها عادةً باسم (REMs) أو العناصر الأرضية النادرة (REEs)، هي مجموعة تتكون من (١٧) عنصراً متشابهاً كيميائياً موجودة في قشرة الأرض. وعلى الرغم من أن مصطلح "معادن الأرض النادرة" قد يكون مضللاً، إلا أن هذه المعادن ليست نادرة بالفعل، ولكنها صعبة الاستخراج والمعالجة لأنها عادة ما تكون موزعة على مساحة واسعة بدلاً من أن تكون موجودة في مكان واحد كثيف (Safdie, 2025).

صحيح أن العناصر الأرضية النادرة تتألف من (١٧) معدناً مختلفاً، ولكن أربعة منها وهي النيوديميوم والبرسيوديميوم والديسبروسيوم والتيربيوم تمثل حوالي (٩٠٪) من القيمة السوقية لهذه العناصر. وهذه العناصر الأربعة هي ما يُعرف بـ(العناصر المغناطيسية)، وهي ضرورية لإنتاج المغناطيسات الدائمة عالية الأداء التي تُستخدم في الصناعات العسكرية، والسيارات الكهربائية وتوربينات الرياح، وكثير من الصناعات التكنولوجية المختلفة لاسيما بطاريات الليثيوم (Detry and etl.,2023).

تتواجد العناصر الأرضية النادرة (REEs) في المجموعة (٣) من الجدول الدوري وتتكون من عناصر سلسلة (اللانثانيدات Lanthanide) و(السكانديوم Scandium) و(الإيتريوم Yttrium) نظراً لخصائصها الفيزيائية المتشابهة ووجودها في نفس الخامات والرواسب. على عكس ما يوحي به اسمها، فهي متوفرة بكميات معتدلة في الطبيعة ولكنها غير مركزة بما يكفي لجعلها قابلة للاستغلال الاقتصادي. وتحتل الصين المرتبة الأولى عالمياً من حيث موارد العناصر الأرضية النادرة (Vajiram & Ravi, 2025). انظر الشكل رقم (١).



الشكل رقم (١) الجدول الدوري للعناصر

Source: Sheikh Obaid, N. (2019, July 8). *Mendeleev's periodic table*. Photokalam Blogspot.
https://photokalam.blogspot.com/2019/07/blog-post_8.html

٢. الأهمية الاستراتيجية للمعادن النادرة

يعد التحول في مجال الطاقة نقطة تحول تاريخية من الاعتماد الكبير على النفط إلى الاعتماد المتزايد على المعادن النادرة. وأصبحت للعناصر الأرضية النادرة (REEs)، بخصائصها المغناطيسية والبصرية والكهربائية الفريدة، أهمية استراتيجية لا غنى عنها. ويعد الليثيوم والكوبالت والعناصر الأرضية النادرة الأخرى ضرورية في إنتاج معظم الأجهزة والمعدات الصديقة للبيئة، بما في ذلك السيارات الكهربائية وطواحين الهواء والألواح الشمسية، إذ أصبحت تلعب دوراً حيوياً في تطوير التكنولوجيا ودفع التنمية الاجتماعية والاقتصادية. وبالتالي، ستكون هناك حاجة إلى كميات ضخمة من هذه المعادن لتحقيق الأهداف العالمية الطموحة لخفض انبعاثات الكربون بحلول عام ٢٠٥٠. ولكن مع ارتفاع الطلب على المعادن إلى مستويات لم يسبق لها مثيل، يلوح في الأفق نقص في العرض وعلى وجه الخصوص، هناك نقص مقلق في العناصر الأرضية النادرة (Detry and etl., 2023).

لقد أصبحت العناصر الأرضية النادرة اليوم محوراً استراتيجياً عالمياً، إذ تُعد أساساً للتحول الطاقوي نحو اقتصاد منخفض الكربون، وتدخل في الصناعات العسكرية والتقنية المتقدمة، مما يجعلها مورداً حيوياً يرتبط مباشرة بالأمن القومي والتنمية الاقتصادية للدول المتقدمة. ويمكن الإشارة إلى مجالات الأهمية الاستراتيجية للمعادن النادرة كما يأتي:

أ. التحول الطاقوي العالمي

- يشير تقرير الوكالة الدولية للطاقة إلى أن الطلب على المعادن الحرجة، بما فيها العناصر الأرضية النادرة، سيتضاعف بحلول عام ٢٠٤٠ مع توسع استخدام السيارات الكهربائية، وتوربينات الرياح، والألواح الشمسية (IEA, 2024).
- تعد هذه المعادن ضرورية لتحقيق أهداف الحياد الكربوني (*) بحلول ٢٠٥٠، إذ تُستخدم في إنتاج المغناطيسات القوية (Neodymium-Iron-Boron) التي تُعد أساساً لمحركات السيارات الكهربائية وتوربينات الرياح (International Energy Agency, 2022).

ب. الأبعاد الاقتصادية والأمنية

وفقاً لتقرير وزارة الطاقة الأمريكية (DOE)، فإن العناصر الأرضية النادرة تلعب دوراً حاسماً في الأمن الصناعي والاقتصادي، إذ تدخل في الصناعات الدفاعية، والرعاية الصحية، والاتصالات، وتوليد الطاقة. لذلك تعمل الولايات المتحدة على تطوير تقنيات لاستخراج هذه المعادن من مصادر بديلة مثل الفحم ومخلفاته لتقليل الاعتماد على الواردات (U.S. Department of Energy, 2022).

ج. السيطرة الجيوسياسية للصين على المعادن النادرة

يوضح تقرير هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية أن الصين تسيطر على أكثر من (٩٠٪) من الإنتاج العالمي للعناصر الأرضية النادرة، وقد فرضت قيوداً على التصدير منذ عام ٢٠١٠، مما أدى إلى أزمة عالمية في الإمدادات. وقد أبرز هذا الاحتكار البعد الجيوسياسي لهذه المعادن، إذ أصبحت أداة ضغط اقتصادي واستراتيجي في العلاقات الدولية (Van Gosen, Verplanck, Seal, Long, & Gambogi, 2017).

ح. الاستدامة وإعادة التدوير

يشير تقرير الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA) إلى أن إعادة التدوير (أي إعادة تصنيع المواد المصنوعة من هذه المعادن بعد استهلاكها مثل السيارات الكهربائية والألواح الشمسية)

(*) الحياد الكربوني هو تحقيق صافي انبعاثات صفيرية لثاني أكسيد الكربون عبر موازنة الانبعاثات البشرية مع عمليات الإزالة أو التعويض، وذلك من خلال خفض الانبعاثات، استخدام الطاقة المتجددة، أو مشاريع التعويض البيئي. وتُعد المعادن الأرضية النادرة عنصراً استراتيجياً لتحقيق هذا الهدف، إذ تدخل في صناعة توربينات الرياح (النيوديميوم والديسبروسيوم)، البطاريات القابلة لإعادة الشحن (الليثيوم والسيروم)، والمحركات الكهربائية عالية الكفاءة، مما يجعلها أساساً للتكنولوجيا النظيفة التي تدعم مسار العالم نحو الحياد الكربوني. ينظر:

Environment Database. (n.d.). Carbon neutrality. Environment Database. Retrieved July 8, 2026, from <https://www.environment-database.eu/cms/glossary/36-glossary-c/5294-carbon-neutrality.html>

والاستخدام الكفء للعناصر الأرضية النادرة سيكونان ضروريين لتلبية الطلب المستقبلي، خاصة في قطاعي السيارات الكهربائية والطاقة المتجددة كما أن تطوير بدائل صناعية أو تقنيات لتقليل الاعتماد على هذه المعادن يُعد من أولويات البحث العلمي (Gielen & Lyons, 2022)

٣. أنواع وتصنيفات المعادن النادرة

بناءً على الوزن الذري لها، تنقسم العناصر الأرضية النادرة إلى مجموعتين رئيسيتين (Vajiram & Ravi, 2025):

المجموعة الأولى LREE: العناصر الأرضية الخفيفة وهي تلك التي تحمل أوزان ذرية من ٥٧ إلى ٦٣ وهي (اللانثانوم ^{57}La)، السيريوم ^{58}Ce)، البرسيوديميوم ^{59}Pr)، النيوديميوم ^{60}Nd)، البروميثيوم ^{61}Pm)، الساماريوم ^{62}Sm)، اليوروبيوم ^{63}Eu)).

المجموعة الثانية HREE: العناصر الأرضية الثقيلة وهي التي تحمل أوزان ذرية من ٦٤ إلى ٧١ وهي (الغادولينيوم ^{64}Gd)، التيربيوم ^{65}Tb)، الديسبروسيوم ^{66}Dy)، الهولميوم ^{67}Ho)، الإربيوم ^{68}Er)، الثولوم ^{69}Tm)، الإيتربيوم ^{70}Yb) واللويتيوم ^{71}Lu)).

- **العناصر الخفيفة** مهمة في الصناعات التقليدية، لكنها تعاني من فائض في العرض وانخفاض الأسعار.
- **العناصر الثقيلة** هي الأكثر أهمية استراتيجياً واقتصادياً، إذ تُعد أساساً للتقنيات الحديثة (السيارات الكهربائية، توربينات الرياح، الصناعات الدفاعية).
- من منظور **الحياة الكربوني والتحول البيئي**، فإن العناصر الثقيلة (خاصة الديسبروسيوم Dy والتيربيوم Tb) هي الأكثر قيمة لأنها تدخل في صناعة المغناطيس عالي الكفاءة المستخدم في الطاقات المتجددة (Rare Earth Investing, 2026).

٤. أهم مواقع وترسبات العناصر الأرضية النادرة

منذ الاكتشاف الأول للعناصر الأرضية النادرة، على يد الملازم كارل أكسل أرينبوس، وهو ضابط في الجيش السويدي، عام ١٧٨٧، كان هناك اهتمام كبير بخصائصها الكيميائية واستخداماتها المحتملة. ويمكن القول إن دراسة العناصر الأرضية النادرة قد عكست الصناعة في ذلك الوقت؛ فحتى سبعينيات القرن العشرين، كان منجم ماونت بارس للعناصر الأرضية النادرة في كاليفورنيا أكبر مورد للعناصر الأرضية النادرة في العالم. خلال ذلك الوقت، كان الطلاب والأساتذة الأمريكيون مهتمين للغاية بمعرفة خصائص هذه المواد الفريدة. وقد أدت جهودهم إلى استخدامات رائدة للعناصر الأرضية النادرة تجارياً وعسكرياً. ومع بدء الصين اكتساب موطئ قدم لها في الصناعة، تضاعف الاهتمام الأمريكي، ومع مطلع التسعينيات من القرن العشرين، دفعت موارد الصين الهائلة من العناصر الأرضية النادرة البلاد إلى المركز الأول في هذه

الصناعة. لذا، كان من الطبيعي أن يتجه الطلاب الصينيون إلى دراسة هذه العناصر باهتمام بالغ. ولا تزال دراسة العناصر الأرضية النادرة في الصين جديدة ومثيرة. فضلاً عن ذلك، شرعت الصين في جهد واسع النطاق لزيادة ابتكارها التكنولوجي الشامل، وهو جهد يشمل استخدام العناصر الأرضية النادرة في الكثير من الصناعات التقنية والعسكرية، مما منح الصين من خلال التركيز الأكاديمي على العناصر الأرضية النادرة في البلاد ميزة حاسمة على الابتكار التكنولوجي (Hurst, 2010, 5-6).

- منجم بايان أوبو العملاق في الصين ودوره في زيادة أهمية المعادن

تتركز العناصر الأرضية النادرة في قشرة الأرض بكميات كبيرة، لكنها منتشرة على نطاق واسع وبكميات أقل قرب سطح الأرض. واكتشفت الصين مناجم ضخمة للغاية وسهلة الوصول للعناصر الأرضية النادرة في جميع أنحاء أراضيها، وخاصة في منغوليا الداخلية (معظمها من رواسب منجم بايان أوبو العملاق). ويعد هذا المنجم الواقع في منطقة منغوليا الداخلية بالصين، أكبر منجم للعناصر الأرضية النادرة في العالم من حيث الاحتياطيات القابلة للاستخراج والإنتاج. ويمثل أكثر من ٤٠٪ من إجمالي احتياطيات العناصر الأرضية النادرة المعروفة في العالم، ونحو نصف الإنتاج العالمي منها. منجم بايان أوبو مملوك ومدار من قبل مجموعة باوغانغ الصينية المملوكة للدولة أو مجموعة باوتو للحديد والصلب. تم اكتشاف احتياطيات خام الحديد في بايان أوبو في عام ١٩٢٧ في حين تم اكتشاف العناصر الأرضية النادرة في عام ١٩٣٥. وبدأ الإنتاج منه منذ عام ١٩٥٧. وتشير التقديرات إلى أن رواسب بايان أوبو تحتوي على ما يزيد على ١٠٠ مليون طن من احتياطيات العناصر النادرة المؤكدة والتي تمثل أكثر من ٨٠٪ من إجمالي احتياطيات الأرض النادرة في الصين. وبالإضافة إلى خام الحديد، ينتج المنجم المفتوح العملاق ١٥ نوعاً من المعادن الأرضية النادرة التي تستخدم في مجالات متنوعة بما في ذلك تكرير النفط، والمغناطيس الدائم، وتقنيات الطاقة المتجددة، فضلاً عن التطبيقات المعدنية والتلميع والدفاع (NS Energy, 2020).



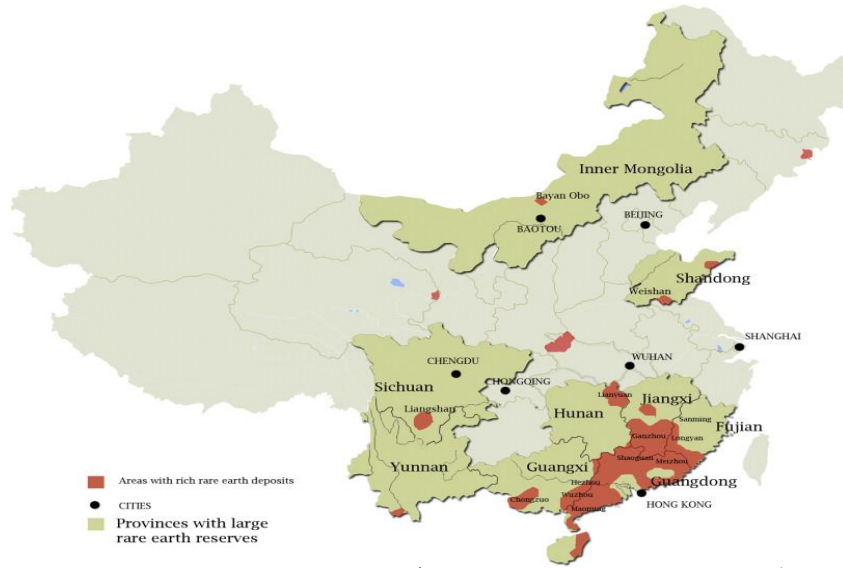
الشكل رقم (٢) منجم بايان اوبو العملاق في منغوليا الداخلية، الصين وهو أكبر منجم على الكرة الأرضية للمعادن النادرة مجمعة

Source: NS Energy. (May, 2020). Bayan Obo Rare Earth Mine.

<https://www.nsenergybusiness.com.translate.google/projects/bayan-obo-rare-earth-mine/>

خلال الثمانينيات والتسعينيات شجع النمو الكبير والإمكانات الهائلة لصناعة الكمبيوتر، إلى جانب المنتجات التكنولوجية الجديدة الأخرى، على البحث عن تعدين العناصر الأرضية النادرة وتوسيع نطاقه في الصين. علاوة على ذلك، مهدت حركة الصين نحو سوق أكثر رأسمالية والانفتاح على الشركات والمستثمرين الأجانب الطريق للتطور السريع والهائل للعناصر الأرضية النادرة؛ ففي عام ١٩٩٢، أعلن الزعيم الصيني دينغ شياو بينغ بأنه "إذا كان هناك نفط في الشرق الأوسط؛ فهناك عناصر أرضية نادرة في الصين". وسعت الحكومة الصينية بشكل مكثف إلى توظيف العناصر الأرضية النادرة في مختلف الصناعات، من خلال إدماجها في المنتجات التقنية والعسكرية والاقتصادية لتعزيز القيمة المضافة وزيادة القدرة التنافسية، وخاصة المنتجات المصنوعة في الصين. علاوة على ذلك، خفضت الصين أسعار العناصر الأرضية النادرة بشكل كبير في السوق العالمية من أجل إخراج الشركات والمناجم الأجنبية التي تتعامل في العناصر الأرضية النادرة من العمل داخل الصين أو تقليلها بشكل كبير (والذي كان، مع ذلك، مفيداً للمستهلكين ولكنه سيئ جداً للمنافسين غير الصينيين). خلال العشرين عاماً الماضية، أصبحت الصين أكبر مورد

للعناصر الأرضية النادرة في العالم، إذ تُغطي (٩٧٪) من السوق العالمية. مع ذلك، يُقدر أن الصين تمتلك حوالي (٣٠٪) فقط من احتياطيات العناصر الأرضية النادرة المُثبتة في العالم. وبالتالي، لا يزال بإمكان مناجم العناصر الأرضية النادرة القديمة والجديدة خارج الصين أن تُحل محل نسبة كبيرة من الاحتكار الصيني الحالي، إلا أن انخفاض تكاليف العناصر الأرضية النادرة، والمنافسة الشديدة، ومواقع شركات التصنيع عالية التقنية، كانت عوامل رئيسية حتى الآن في تثبيط تحدي السوق الدولية والشركاتية للصين (Dobransky, 2013).



الشكل رقم (٣) خارطة احتياطيات الصين من العناصر الأرضية النادرة

Source: https://www.researchgate.net/figure/Map-of-Chinas-REE-Reserves_fig1_383850695

٥. خصائص المعادن الأرضية النادرة:

- تمتاز العناصر الأرضية النادرة بكثافة عالية، ودرجة انصهار عالية، وموصلية عالية، وموصلية حرارية عالية، كما تمتاز بسمات وخصائص عدة عن غيرها من المعادن الأرضية الشائعة منها (Safdie, 2025):
- **الخصائص المغناطيسية:** غالباً ما تُستخدم المعادن الأرضية النادرة في المغناطيسات ذات القوة الصناعية، والتي غالباً ما توجد في توربينات الرياح، والإلكترونيات، والمركبات الكهربائية (EVs).
 - **الخصائص الفسفورية:** يمكن استخدام المعادن الأرضية النادرة في تصنيع مصابيح LED، وشاشات العرض، وحتى في التصوير الطبي.

- **الموصلية الكهربائية العالية:** من الصعب العثور على الموصلات الفائقة، ولكن المعادن الأرضية النادرة تتوفر فيها هذه الميزة الفريدة اليوم، إذ تتمتع بخصائص الموصلية الكهربائية العالية ويمكن أن تعمل كموصل فائق لبدء تشغيل البطاريات أو استكشاف أخطاء الإلكترونيات المتقدمة وإصلاحها.
- **الخصائص التحفيزية:** يمكن استخدام المعادن الأرضية النادرة في تنقية البترول والمساعدة في العديد من المعالجات الكيميائية.

- **مقاومة التآكل:** بسبب مقاومتها للتآكل، غالباً ما توجد المعادن الأرضية النادرة في مكونات الطيران وتقنيات الدفاع والصناعات العسكرية المتنوعة.

٦. التحديات التي تواجه تعدين العناصر الأرضية النادرة

تواجه صناعة العناصر الأرضية النادرة العديد من التحديات، بما في ذلك التوزيع غير المتوازن للموارد، واختلال التوازن بين العرض والطلب، والمنافسة الدولية، والقيود التكنولوجية، والتلوث البيئي المرتبط بها (Zhao, 2025, 7011).

وخوفاً من حدوث فجوات كبيرة في الطاقة الإنتاجية، يعيد العاملون في صناعة التعدين النظر في ممارسات واستراتيجيات تعدين العناصر الأرضية النادرة. وفي الوقت نفسه، يبحث الكثيرون داخل الصناعة وخارجها أسئلة ملحة: ما الذي يتطلبه الأمر لتوفير طاقة إنتاجية كافية لتلبية الطلب المتوقع؟ كيف تؤثر الفرص الحالية، الناشئة عن تأخر الإمدادات، على مستقبل الصناعة؟ ما هو شكل النجاح في هذه البيئة؟ ما هو الدور الذي يجب أن تلعبه الحكومة لضمان توفر المعادن اللازمة للتحويل الطاقوي؟ كيف سيؤثر النقص على الجغرافيا السياسية للتعدين؟

في صميم العجز الوشيك في المعادن الأرضية النادرة يوجد مثال آخر على ما يُعرف بمأساة الأفق^(٥) وهي مشكلة كبيرة لا يوليها قادة اليوم الأهمية اللازمة لأن تأثيرها سيشعر به في الغالب الأجيال القادمة. في

(٥) **مأساة الأفق** أو **مسألة الأفق** هي إحدى المشكلات الجوهرية في علم الكونيات الفيزيائي، وتتمثل في التساؤل عن سبب تجانس درجة حرارة إشعاع الخلفية الكونية الميكروني (CMB) في جميع الاتجاهات، رغم أن مناطق الكون البعيدة لم يكن بينها أي اتصال سببي منذ الانفجار العظيم. هذا التناقض بين الملاحظة (التجانس الكبير) والنظرية (غياب الاتصال السببي) دفع العلماء إلى تطوير فرضية التضخم الكوني كحل لتفسير هذا التجانس. للتفاصيل ينظر:

- Rindler, W. (1956). Visual horizons in world-models. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 116(6), 662–677. <https://doi.org/10.1093/mnras/116.6.662>
- Guth, A. H. (1981). Inflationary universe: A possible solution to the horizon and flatness problems. Physical Review D, 23(2), 347–356. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.23.347>
- Liddle, A. R., & Lyth, D. H. (2000). Cosmological Inflation and Large-Scale Structure. Cambridge University Press.

هذه الحالة، يتم تجاهل النتيجة الوخيمة لنقص المعادن الأرضية النادرة - تقاوم تغير المناخ - ويرجع ذلك إلى أن مشاريع المعادن الأرضية النادرة لا تبدو قادرة على تلبية أهداف العائد المالي قصير الأجل للمستثمرين. وفي الوقت نفسه، لا تقدم الحكومات سوى القليل من المساعدة لأنها غالباً ما تفتقر إلى الإرادة السياسية أو الخبرة السياسية اللازمة لبدء هذه العمليات التعدينية الصعبة، على الرغم من المساهمة المحتملة للعناصر الأرضية النادرة في تحقيق أهداف تغير المناخ. ولكن لكي نكون منصفين، فإن بعض التردد في دعم مشاريع التعدين يرجع إلى المخاوف البيئية بشأن المشاريع نفسها (Detry and etl.,2023).

وبذلك، فإن التحديات التي تناولتها الفقرات السابقة لا تقف عند حدود فجوات الإنتاج أو مأساة الأفق فحسب، بل تمتد لتشمل أبعاداً بيئيةً وجيوسياسية واقتصادية متشابكة، حيث يفرض التلوث الناتج عن التعدين ضغوطاً إضافية، وتبرز الهيمنة الصينية كعامل استراتيجي، فيما تتفاقم اختناقات سلاسل الإمداد مع تزايد الطلب العالمي، لتشكل جميعها صورة معقدة تستدعي حلولاً متوازنة تجمع بين الاستدامة والاعتبارات الجيوسياسية والاقتصادية. ويمكن الإشارة إليها كما يأتي:

- **المخاطر البيئية والتكنولوجية:** إلى جانب ما ذكر من تلوث بيئي، تشير تقارير هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية إلى أن عمليات الاستخراج غالباً ما تنتج نفايات مشعة وتؤثر على المياه الجوفية، وهو ما يفرض تحدياً مزدوجاً يتمثل في ضرورة تطوير تقنيات أكثر أماناً وصديقة للبيئة، وفي الوقت نفسه الحفاظ على الجدوى الاقتصادية للمشاريع. (Van Gosen et al., 2017)
- **الهيمنة الجيوسياسية:** كما ذكرنا سابقاً، فإن النقص في الإمدادات لا يمكن فصله عن البعد الجيوسياسي؛ إذ تسيطر الصين على أكثر من ٨٥٪ من قدرات التكرير العالمية، مما يمنحها نفوذاً استراتيجياً في العلاقات الدولية. هذا الاحتكار يجعل العناصر الأرضية النادرة أداة ضغط اقتصادي وسياسي، ويحولها إلى ورقة تفاوضية في النزاعات التجارية والدبلوماسية (Sullivan & Brands, 2020).
- **الاختناقات الاقتصادية وسلاسل الإمداد:** إن وجود فجوات في الطاقة الإنتاجية يتقاطع مع ما ورد في تقرير وزارة الطاقة الأمريكية، الذي يؤكد أن سلاسل إنتاج المغناطيسات الدائمة تواجه اختناقات خطيرة تهدد الصناعات الدفاعية والطاقة المتجددة. وهذا يبرز الحاجة إلى تنويع مصادر الإنتاج وتطوير قدرات محلية لتقليل الاعتماد على الخارج. (U.S. Department of Energy, 2022)
- **تزايد الطلب العالمي:** إن مأساة الأفق التي ذكرتها تتجلى بوضوح في توقعات الوكالة الدولية للطاقة، حيث تشير إلى أن الطلب على المعادن الحرجة سيتضاعف أربع مرات بحلول عام ٢٠٤٠. ومع

ذلك، فإن الاستثمار الحالي في مشاريع التعدين لا يواكب هذا النمو، مما يعمّق فجوة العرض والطلب ويزيد من المخاطر المستقبلية على التحول الطاقى. (International Energy Agency, 2022)

٧. مراحل صناعة العناصر الأرضية النادرة

يمكن تقسيم صناعة العناصر الأرضية النادرة إلى ثلاث مراحل رئيسية مترابطة: المرحلة الأولى، وهي استخراج العناصر من المناجم؛ والمرحلة الوسطى، حيث تتم معالجة هذه العناصر وتحويلها إلى أكاسيد منفصلة قابلة للاستخدام الصناعي، ثم المرحلة النهائية، التي تشمل تصنيع المغناطيسات الدائمة والمكونات الأخرى المعتمدة على العناصر الأرضية النادرة. وتمثل هذه المراحل سلسلة قيمة معقدة تبدأ من التنقيب وتنتهي بمنتجات عالية التقنية تدخل في الصناعات الدفاعية، الطاقة المتجددة، والاتصالات الحديثة.

ويبدأ توفير العناصر الأرضية النادرة على مستوى العالم من مرحلة التنقيب، وهي الأكثر حساسية نظراً لما تتطلبه من استثمارات ضخمة وتقنيات متقدمة للتعامل مع التحديات البيئية والجيولوجية. وتشير الدراسات الحديثة إلى أنه لتجنب حدوث نقص حاد في هذه العناصر بحلول عام ٢٠٣٠، سيكون من الضروري إطلاق أكثر من عشرين مشروعاً استراتيجياً جديداً للتعدين والمعالجة، مع الحاجة إلى عشرة مشاريع إضافية بحلول عام ٢٠٣٥. ولا يقتصر هذا التوسع على مجرد زيادة الإنتاج، بل يتطلب أيضاً تطوير قدرات المعالجة والتكرير، وهي المرحلة التي تسيطر عليها الصين بشكل شبه كامل، مما يخلق اختلالاً جيوسياسياً في سلاسل الإمداد العالمية (Detry et al., 2023).

وتؤكد هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية أن العناصر الأرضية النادرة ليست نادرة من حيث وفرتها في القشرة الأرضية، لكنها توجد في رواسب مركزة محدودة، وغالباً ما تكون معقدة التركيب، إذ تم التعرف على أكثر من ٢٤٥ معدناً حاملاً لها، معظمها من الكربونات والفوسفات والسيليكات. وتُعد رواسب الكربونيت المصدر الرئيس للعناصر الخفيفة مثل النيوديميوم واللانثانوم، بينما تأتي العناصر الثقيلة مثل الديسبروسيوم والإيتريوم من رواسب الطين الممتصة للأيونات في جنوب الصين (Van Gosen et al., 2017).

ومع توقعات الوكالة الدولية للطاقة بأن الطلب على المعادن الحرجة سيتضاعف أربع مرات بحلول عام ٢٠٤٠ يصبح من الواضح أن الصناعة تواجه تحدياً استراتيجياً يتجاوز مجرد زيادة عدد المشاريع، ليشمل تطوير تقنيات معالجة أكثر كفاءة، تعزيز إعادة التدوير، والبحث عن بدائل صناعية تقلل من الاعتماد على هذه العناصر. وبذلك، فإن صناعة العناصر الأرضية النادرة تقف أمام معادلة معقدة تجمع بين البعد البيئي، الجيوسياسي، والاقتصادي، مما يجعل التخطيط طويل الأمد ضرورة لا غنى عنها لضمان توازن العرض والطلب (IEA, 2022).

ثانياً: استخدامات المعادن الأرضية النادرة في الصناعات التقنية والعسكرية

تشكل المعادن الحيوية حالياً الأساس لقدرات الحرب الحديثة، ومع ذلك، فإن قلة من مخططي الشؤون الدفاعية يدركون تماماً التعقيدات المعدنية التي تفصل بين المعادن الخام والميزة الاستراتيجية في ساحة المعركة. وتمثل العناصر الأرضية النادرة السبعة عشر، التي تمتد عبر الجدول الدوري من اللانثانوم إلى اللوتيتيوم، أكثر من مجرد ظواهر جيولوجية مثيرة. علاوة على ذلك، توفر هذه المواد الدقة الكهرومغناطيسية، والمرونة الحرارية، والقوة المغناطيسية التي تميز الأنظمة العسكرية المتطورة عن البدائل التقليدية؛ فالتطبيقات الدفاعية المتطورة تتطلب خصائص أداء عالية الجودة تدفع المواد إلى حدودها التشغيلية القصوى. وتوفر المغناطيسات الدائمة المصنوعة من النيوديميوم والحديد واليورانيوم، والتي تحتوي على ٣٠-٤٠٪ من العناصر الأرضية النادرة من حيث الوزن، منتجات طاقة تصل إلى ٤٠-٥٤ ميغا غاوس-أورستد. تتيح هذه الكثافة المغناطيسية استخدام أنظمة مشغلات مدمجة في الطائرات المقاتلة حيث تؤثر زيادة الوزن بشكل مباشر على قدرة المهمة. وتعمل إضافات الديسبروسيوم على توسيع نطاق درجات الحرارة التشغيلية من ١٥٠ درجة مئوية إلى ٢٥٠ درجة مئوية، وهو أمر بالغ الأهمية للتطبيقات الفضائية إذ يمكن أن تتجاوز الدرجات الحرارية ١٠٠٠ درجة مئوية في بيئات التوربينات (Hidayat, 2025).

وتمتد مزايا الأداء لتتجاوز التطبيقات المغناطيسية لتشمل علم المعادن الإنشائي؛ فإضافة العناصر الأرضية النادرة بتركيزات تتراوح بين (٠.١ و ٠.٥٪) من الوزن تعمل على تحسين مقاومة الشد في الفولاذ بنسبة (٥-١٥٪)، مع تعزيز مقاومة الإجهاد بنسبة (٢٠-٣٥٪). وتُعد هذه التحسينات أساسية في أوعية الضغط الخاصة بالغواصات، وأغلفة الصواريخ، والمكونات الإنشائية للطائرات، حيث تقترب درجة التسامح مع الفشل من الصفر. كما تعتمد أنظمة الاستشعار العسكرية بشكل كبير على الفوسفور من العناصر الأرضية النادرة في تقنيات العرض وتحسين الرؤية الليلية ومعالجة إشارات الرادار. كما تتيح خصائص الحماية الكهرومغناطيسية لسبائك الحديد والعناصر الأرضية النادرة، التي تحقق قيم نفاذية تتجاوز (٥٠,٠٠٠)، إنشاء معدات اتصالات آمنة مقاومة لهجمات الحرب الإلكترونية. وتزداد أهمية استراتيجية المعادن الحيوية هذه بشكل متزايد مع تصاعد التوترات الجيوسياسية (Hidayat, 2025).

لذلك أصبحت المعادن الأرضية النادرة من الركائز الأساسية في الصناعات العسكرية والتقنية الحديثة، لما تتماز به من خصائص فيزيائية وكيميائية فريدة؛ فأصبحت تدخل بشكل متزايد في تصنيع أنظمة التوجيه الدقيقة، والرادارات، والطائرات المسيّرة، فضلاً عن استخدامها في إنتاج المكونات الإلكترونية

المتقدمة مثل أشباه الموصلات والبطاريات عالية الكفاءة. ومع تزايد الاعتماد على التكنولوجيا المتطورة، باتت هذه المعادن تمثل عنصراً استراتيجياً في تعزيز القدرات الدفاعية والتنافس التكنولوجي بين الدول، الأمر الذي يفسر تصاعد الاهتمام العالمي بتأمين مصادرها والتحكم في سلاسل إمدادها. سيتم تناول المعادن أو العناصر الأساسية الأربعة وهي النيوديميوم والبرسيوديميوم والديسبروسيوم والتيربيوم التي تمثل حوالي (٩٠٪) من القيمة السوقية لهذه العناصر كما ذكرنا سابقاً. وهذه العناصر الأربعة هي ما يُعرف بالعناصر المغناطيسية، وهي ضرورية لإنتاج المغناطيسات الدائمة عالية الأداء التي تُستخدم في الصناعات العسكرية، والسيارات الكهربائية وتوربينات الرياح، وكثير من الصناعات التكنولوجية المختلفة. إن العناصر الأرضية النادرة أضحت تشكل اليوم أحد المدخلات الأساسية في الصناعات العسكرية الحديثة، والتي تُحدث تأثيراً مضاعفاً للقوة. ويتركز هذا التأثير في ثلاث مجالات وظيفية رئيسة تُحدد حدود أداء التقنيات العسكرية المعاصرة لاسيما من الناحية الدفاعية وكما يأتي (GÖZETLİK, 2026, 101-102):

المجال الأول: التفوق المغناطيسي، إذ تلعب المغناطيسات الدائمة عالية الأداء المنتجة باستخدام عناصر أرضية نادرة مثل النيوديميوم والديسبروسيوم والبراسيوديميوم دوراً حاسماً في تحديد حجم ووزن وكفاءة الطاقة للذخائر الموجهة وأنظمة الرادار والمنصات غير المأهولة وأنظمة الدفع الكهربائي، بدون هذه المغناطيسات، لن يكون من الممكن لأنظمة الأسلحة الحديثة أن تحقق مستويات أدائها الحالية.

المجال الثاني: القدرات البصرية والإلكترونية في مجال الحرب، إذ تشكل المواد البصرية والفوتونية المُطعّمة بالإيتريوم والإربيوم واللانثانوم الركيزة التكنولوجية لأنظمة تحديد الأهداف بالليزر، وتحديد المدى، والرؤية الليلية، والتصوير الحراري. تُعدّ هذه القدرات عنصراً حاسماً في التفوق المعلوماتي والوعي الظرفي في ساحة المعركة الحديثة (European Commission, 2023).

المجال الثالث: مقاومة درجات الحرارة العالية والمتانة الهيكلية، إذ تتميز الطلاءات الخزفية المتقدمة والسبائك عالية الأداء المستخدمة في محركات الطائرات النفاثة والمنصات فائقة السرعة وأنظمة الصواريخ بقدرتها على تحمل الظروف الحرارية والميكانيكية والبيئية القاسية بفضل دمج عناصر أرضية نادرة مثل اللانثانوم والإيتريوم. ويؤثر ذلك بشكل مباشر على العمر التشغيلي والموثوقية واستمرارية مهام المنصات الدفاعية (World Bank, 2023).

ثالثاً: استخدامات المعادن الأرضية النادرة في الصناعات العسكرية والتقنية

تُعد المعادن الأرضية النادرة ركيزة أساسية في بناء القدرات العسكرية والتقنية الحديثة، إذ لم تعد أهميتها تقتصر على الصناعات المدنية أو التحول الطاقوي، بل أصبحت جزءاً لا يتجزأ من منظومات الدفاع والأمن الصناعي؛ فهذه العناصر تدخل في تصنيع المغناطيسات الدائمة التي تُستخدم في المحركات الكهربائية للطائرات المقاتلة والغواصات، كما تُوظف في الأنظمة البصرية والفوتونية المطعمة بالإيتريوم والإربيوم واللانثانوم لتطوير تقنيات الليزر والرؤية الليلية والتصوير الحراري، مما يعزز الوعي والتفوق المعلوماتي في ساحات المعارك الحديثة. وإلى جانب ذلك، تُستخدم الطلاءات الخزفية والسبائك عالية الأداء المحتوية على اللانثانوم والإيتريوم في محركات الطائرات النفاثة والصواريخ، حيث تمنحها قدرة استثنائية على مقاومة درجات الحرارة العالية والظروف البيئية القاسية، وهو ما ينعكس مباشرة على العمر التشغيلي والموثوقية. وتشير تقارير الوكالة الدولية للطاقة والبنك الدولي إلى أن هذه الاستخدامات الدفاعية تمثل أحد أبرز دوافع الطلب المتزايد على العناصر الأرضية النادرة عالمياً، مما يجعلها مورداً استراتيجياً لا غنى عنه في تحقيق التفوق العسكري وضمان استدامة الصناعات التقنية المتقدمة (IEA, ٢٠٢٣)، (World Bank, ٢٠٢٣).

١. الاستخدام في معدات الرادار والسونار لأغراض المراقبة والملاحه

تؤدي العناصر الأرضية النادرة دوراً حيوياً في تطبيقات الدفاع المتقدمة، بما في ذلك محولات السونار، وأنظمة الرادار، وأجهزة الكشف المحسنة عن أشعة غاما، وأجهزة الإنذار المتكاملة متعددة الأغراض للكشف عن العوامل الكيميائية، إذ تعمل على تضخيم الإشارات وتحسين دقتها لتحقيق أداء فائق. ويساهم كل عنصر من هذه العناصر بوظائف فريدة وحيوية، مما يعزز قدرات المراقبة والملاحه والكشف عن التهديدات. ونظراً لأهميتها الاستراتيجية، يُعد ضمان سلسلة إمداد آمنة ومستقرة لهذه المعادن أولوية قصوى لمصالح الأمن القومي في جميع أنحاء العالم. وتشمل العناصر الأرضية النادرة المستخدمة في أنظمة الرادار والسونار النيوديميوم، البراسيوديميوم، الديسبروسيوم، التيربيوم، والساماريوم، إذ تدخل في صناعة المغناطيسات الدائمة عالية الطاقة، فضلاً عن عناصر مثل الإيتريوم واللانثانوم والإربيوم التي تُستخدم في المكونات البصرية والفوتونية لتعزيز دقة المراقبة والملاحه. هذه العناصر تمنح الأنظمة قدرة على العمل بكفاءة في الظروف الحرارية والبيئية القاسية، وتُعد أساسية في التفوق العسكري والتقني. ويمكن الإشارة إلى العناصر الرئيسية المستخدمة في الرادار والسونار كما يأتي (Rare Earth Exchanges, 2026):

١. النيوديميوم (Nd) والبراسيوديميوم (Pr)

يعد النيوديميوم عنصراً أساسياً من العناصر الأرضية النادرة في مغناطيسات النيوديميوم-الحديد-البورون عالية الطاقة، والتي تُستخدم على نطاق واسع في أنظمة الرادار والسونار والحرب الإلكترونية. تُؤد هذه المغناطيسات مجالات مغناطيسية قوية، مما يُحسن أنظمة كشف الغواصات، مثل نظام (SQQ-89) للحرب تحت الماء، الذي يُحسن بدوره تتبع التهديدات تحت الماء والاشتباك معها (Stanford Advanced Materials, 2026). كما يعد البراسيوديميوم عنصراً أساسياً في المغناطيسات الدائمة عالية الطاقة التي تدخل في مكونات الرادار والسونار، ويُستخدم مع النيوديميوم لتوليد قوة مغناطيسية قوية ومستقرة، مما يعزز أداء أنظمة المراقبة والملاحة العسكرية (Rare Earth Exchanges, 2026).

٢. الديسبروسيوم (Dy) والتيربيوم (Tb) : يُضافان إلى مغناطيسات النيوديميوم لتحسين قدرتها على تحمل درجات الحرارة العالية، وهما ضروريان لضمان استقرار الأداء في بيئات تشغيل قاسية مثل الغواصات أو الطائرات المقاتلة (Rare Earth Exchanges, 2026).

٣. الساماريوم (Sm) : يعد عنصراً حاسماً وأساسياً في مغناطيس (الساماريوم-الكوبالت)، الذي يُقدّر لقوته المغناطيسية العالية، ومقاومته لإزالة المغناطيسية، وثباته الحراري الاستثنائي (من -٥٥ درجة مئوية إلى ٣٠٠ درجة مئوية). هذه الخصائص تجعله لا غنى عنه في أنظمة الرادار والسونار وتوجيه الصواريخ والحرب الإلكترونية. في تطبيقات الرادار والسونار، يُعد مغناطيس (SmCo) ضرورياً لتوليد الإشارات وتضخيمها، ويلعب دوراً حاسماً في الملاحة، وكشف التهديدات، وتتبع الأهداف. ويُستخدم في (SFA Oxford, n.d):

- رادار AN/MPQ-65 (نظام باتريوت للدفاع الجوي الصاروخي) لتتبع التهديدات الجوية والصاروخية.
- رادارات AN/APG-79 و F/A-18 AESA AN/APG-81 سوبر هورنت، (F-15EX) للتحكم في إطلاق النار المحمول جواً وتحديد الأهداف.
- رادارات أرضية من طراز (AN/TPS-80) و (AN/TPQ-53) للمراقبة والكشف عن النيران المضادة.
- مغناطيس SmCo (الساماريوم-كوبالت) بالغ الأهمية في أنظمة توجيه الصواريخ، مثل صاروخ (AIM-120 AMRAAM) وهو صاروخ جو-جو متوسط المدى المتقدم، إذ يوفر تحكماً دقيقاً ومستقراً في الطيران. كما أن قدرته على تحمل درجات الحرارة القصوى تجعله ضرورياً في تقنيات الحرب الإلكترونية، بما في ذلك أنظمة التشويش في طائرة (EA-18G Growler)، التي تُعطّل رادارات العدو واتصالاته. أما في تطبيقات السونار، فتُعزز المكونات المصنوعة من الساماريوم قدرات الحرب المضادة للغواصات (ASW) وكشف التهديدات تحت الماء.

- سونار (AN/SQS-53C) المثبت على هيكل مدمرات من فئة (Arleigh Burke) للكشف عن الغواصات والطوربيدات.
- سونار (CAPTAS-4) المثبت في مقطورة الفرقاطات من النوع ٢٣، سفن (FREMM) للحرب المضادة للغواصات السلبية/النشطة في المياه العميقة.
- جهاز السونار المحمول جواً منخفض التردد (AN/AQS-22 (MH-60R Seahawk) للسونار الغاطس في تحديد موقع الغواصات.. كما تشمل التطبيقات الناشئة الكشف عن التهديدات فائقة السرعة، حيث تساعد مغناطيسات السماريوم-كوبالت في الرادارات ثنائية الاستقطاب (مثل رادار التمييز بعيد المدى، LRDR) في تتبع المركبات الانزلاقية التي تتجاوز سرعتها ١٠ ماخ والتي تخترق الغلاف الجوي، على عكس المركبات الباليستية التقليدية التي تعود إلى الغلاف الجوي (أكثر من ٥ ماخ)، والتي تسقط ببساطة نحو هدفها. بالإضافة إلى ذلك، يجري دمج مغناطيسات السماريوم-كوبالت في المركبات الآلية تحت الماء (AUVs)، حيث تُمكن محولات الطاقة المغناطيسية الانضغاطية المصغرة أنظمة السونار ذات الفتحة التركيبية المدمجة (SAS)، مما يُحسن المراقبة تحت الماء.
- ٤. الإيتريوم (Y) واللانثانوم (La) والإربيوم (Er): تدخل في المواد البصرية والفوتونية المستخدمة في أنظمة الرادار المتقدمة، أجهزة الليزر، وأجهزة الرؤية الليلية، كما تُحسن دقة الإشارات وتعزز قدرات المراقبة بعيدة المدى (Rare Earth Exchanges, 2026).
- ٥. الغادولينيوم (Gd) واليوروبيوم (Eu): يُستخدمان في أجهزة الكشف عن الإشعاع وفي تحسين دقة الشاشات والأنظمة البصرية، ويساهمان في رفع كفاءة أنظمة المراقبة متعددة الأغراض (Rare Earth Exchanges, 2026). الجدول رقم (١) أدناه يوضح بشكل مختصر دور المعادن الأرضية النادرة في الرادار والسونار وأهميتها الاستراتيجية

جدول رقم (١)

دور المعادن الأرضية النادرة في الرادار والسونار وأهميتها الاستراتيجية

العنصر	الاستخدام الرئيس	الدور في الرادار	الدور في السونار	الأهمية الاستراتيجية
النيوديميوم (Nd)	مغناطيسات NdFeB عالية الطاقة	محركات الرادار والمشغلات، تعزيز قوة الإشارة	محركات الترانسدوسر، تحسين كفاءة الإرسال	مرتفع جداً - أساس المغناطيسات
البراسيوديميوم (Pr)	مع النيوديميوم في المغناطيسات	تحسين مقاومة الحرارة في أنظمة الرادار الجوية	ضمان ثبات الأداء في بيئات بحرية قاسية	مرتفع - عنصر داعم أساسي
الديسبروسيوم (Dy)	عنصر إضافي للمغناطيسات	تحسين مقاومة الحرارة في أنظمة الرادار الجوية	ضمان ثبات الأداء في بيئات بحرية قاسية	مرتفع - لا بديل تجاري
التيربيوم (Tb)	تعزيز المغناطيسات	رفع الاستقرار الحراري في الرادار	دعم الأداء طويل الأمد في السونار	متوسط-مرتفع
الساماريوم (Sm)	مغناطيسات SmCo	استقرار في درجات حرارة عالية للرادار	مثالي للتطبيقات البحرية طويلة الأمد	متوسط
الإيتريوم (Y)	مواد بصرية وفوتونية	تحسين دقة أجهزة الليزر والرؤية الليلية	تعزيز دقة الإشارات البصرية تحت الماء	مرتفع
اللانثانوم (La)	مواد بصرية وعدسات	تحسين أداء الأنظمة البصرية للرادار	دعم تقنيات التصوير الصوتي	متوسط
الإربيوم (Er)	ليزرات وفوتونيات	تطوير أنظمة الليزر للرادار	تحسين تقنيات التصوير الحراري	متوسط
الغادولينيوم (Gd)	أجهزة كشف إشعاع	رفع دقة الشاشات وأنظمة العرض	تحسين دقة أنظمة المراقبة متعددة الأغراض	متوسط

الجدول من إعداد الباحث بالاستناد إلى المعلومات الواردة في البحث.

٢. الاستخدام في أجهزة الاتصال والعرض مثل الليزر والشاشات وأجهزة إلكترونيات الطيران

تُعد عناصر (مثل الغاليوم والجرمانيوم) أساساً في تقنيات الاتصالات والعرض، بما يشمل الليزر، والشاشات، وأنظمة إلكترونيات الطيران؛ فهي تُحسن الأداء البصري، ودقة الألوان، وكفاءة الطاقة، مما

يجعلها حيوية في التطبيقات العسكرية والفضائية. وفيما يأتي استخدامات هذه العناصر في المجالات أعلاه (Rare Earth Exchanges, 2026)، (Stanford Advanced Materials, 2026):

- **الغاليوم (Ga):** يدخل في ثنائيات (GaN LED) المستخدمة في شاشات قمر القيادة داخل الأقمار الصناعية، والطائرات المختلفة، والغواصات، وباعثات الأشعة تحت الحمراء، وأنظمة الرؤية الليلية، حيث يوفر سطوعًا عاليًا وكفاءة طاقة.
- **الجرمانيوم (Ge):** يُستخدم في أجهزة إرسال الأشعة تحت الحمراء وأنظمة التصوير الحراري، مما يعزز الوعي الظرفي في ظروف ضبابية أو مظلمة.
- **الإيتريوم (Y):** عنصر رئيسي في ليزرات YAG والفوسفورات لشاشات العرض عالية الدقة، كما يدخل في المكونات الخزفية للطائرات والمركبات الفضائية.
- **البراسيوديميوم (Pr):** يُستخدم في الزجاج المطعم لإنتاج عدسات بصرية عالية الجودة، ويُحسن الألوان والتباين في شاشات العرض العسكرية.
- **النيوديميوم (Nd):** أساس في ليزرات Nd:YAG المستخدمة في تحديد الأهداف وقياس المدى، كما يُحسن كفاءة الإضاءة في الشاشات.
- **الإربيوم (Er):** عنصر محوري في الاتصالات بالألياف الضوئية عبر مضخمات EDFAs، مما يضمن اتصالات عسكرية آمنة وموثوقة لمسافات طويلة.
- **التيربيوم (Tr):** يدخل في الفوسفور الأخضر لشاشات LED وLCD، ويُستخدم في مادة تيرفينول-D في أجهزة السونار والمحركات الدقيقة.
- **الديسبروسيوم (Dy):** يعزز استقرار مغناطيسات NdFeB في البيئات الحرارية العالية، ويُستخدم في أنظمة الليزر الدفاعية.
- **اليوروبيوم (Eu):** عنصر أساسي في الفوسفورات لشاشات LED وLCD، حيث يُنتج اللونين الأحمر والأزرق، ويُستخدم أيضًا في أجهزة الأشعة السينية والفحص الأمني. الجدول رقم (٢) يوضح بشكل مختصر دور المعادن الأرضية النادرة في الاتصالات وشاشات العرض والليزر وأهميتها الاستراتيجية.

الجدول رقم (٢)

دور المعادن الأرضية النادرة في الاتصالات وشاشات العرض والليزر وأهميتها الاستراتيجية

العنصر	الاستخدام الرئيس	الدور في الاتصالات	الدور في العرض/ الليزر	الأهمية الاستراتيجية
الغاليوم (Ga)	ثنائيات LED	باعثات الأشعة تحت الحمراء	شاشات قمرة القيادة	مرتفع – أساس الإضاءة العسكرية
الجرمانيوم (Ge)	أجهزة IR	أنظمة التصوير الحراري	دعم الرؤية الليلية	مرتفع – وعي ظرفي
الإيتريوم (Y)	ليزرات YAG ، فوسفورات	الاتصالات البصرية	شاشات عالية الدقة، خزفيات الطيران	مرتفع – متعدد الاستخدامات
البراسيوديميوم (Pr)	زجاج مطعم	تحسين الاتصالات البصرية	HUDs، الواقع المعزز	متوسط مرتفع
النيوديميوم (Nd)	ليزرات Nd:YAG	أنظمة التوجيه والاتصالات	تحديد الأهداف، قياس المدى	مرتفع جداً
الإربيوم (Er)	مضخمات EDFAs	اتصالات آمنة بالألياف	ليزرات تحت الحمراء	مرتفع – الاتصالات العسكرية
التيربيوم (Tr)	فسفور أخضر، تيرفينول	أجهزة السونار	شاشات LED/ LCD	متوسط مرتفع
الديسبروسيوم (Dy)	مغناطيسات Nd-Feb	الاتصالات العسكرية	ليزرات الاستهداف	مرتفع-مقاومة للحرارة
اليوروبيوم (Eu)	فوسفورات حمراء/ زرقاء	أجهزة الأشعة السينية	شاشات LED/ LCD	متوسط مرتفع

الجدول من إعداد الباحث بالاستناد إلى المعلومات الواردة في البحث.

٣. الاستخدام في المركبات المدرعة والدبابات

تؤدي العناصر الأرضية النادرة دوراً حاسماً في أنظمة تثبيت المركبات المدرعة والدبابات، إذ توفر لها القوة والمتانة والدقة في آليات التثبيت، وتساهم في امتصاص الصدمات ومقاومة الاهتزازات وتعزيز القدرة على المناورة، مما يضمن كفاءة عمل المركبات العسكرية في بيئات القتال القاسية (Gözetlik, 2026).

• **الجرمانيوم:** يدخل في تركيب مناظير حرارية عالية الدقة وأجهزة بصرية لتحديد الأهداف، حيث توفر وحدات التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء رؤية محسنة وكشفاً للتهديدات في ظروف الرؤية المحدودة أو الليلية (Rare Earth Exchanges, 2026).

• **الإيتريوم:** يُستخدم في السيراميك المثبت بالإيتريوم والسبائك عالية القوة، مما يحسن مقاومة الصدمات والقوة الميكانيكية لمكونات المركبات، ويُعد عنصراً أساسياً في الطلاءات المقاومة للحرارة والتآكل (World Bank, 2023).

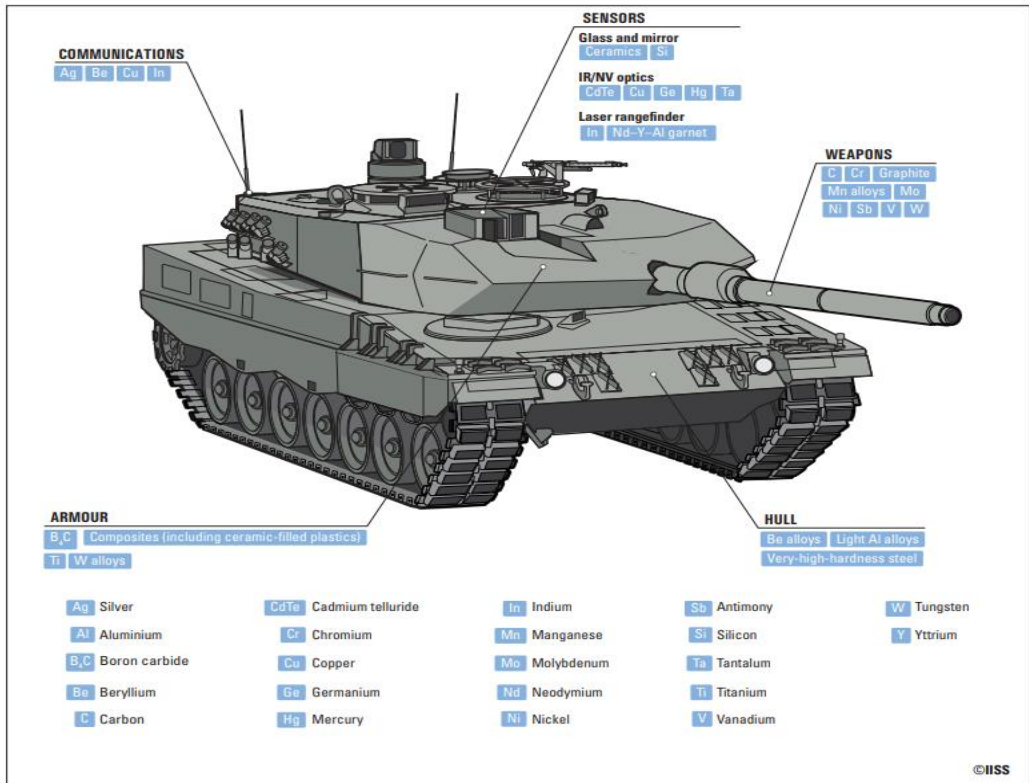
- **النيوديميوم:** يدخل في مغناطيسات النيوديميوم-الحديد-البورون (NdFeB)، الضرورية لأنظمة التثبيت والتوجيه، حيث توفر تحكمًا دقيقًا في دوران البرج وتوجيه الأسلحة وأنظمة التعليق (IEA, 2023)
- **اليوروبيوم:** يُستخدم في المواد الفسفورية عالية الأداء والسبائك المتقدمة، ويُحسن من سلامة الهيكل ومثاقنته، كما يعزز الرؤية في ظروف الإضاءة المنخفضة عبر الطلاءات المضادة للانعكاس (Rare Earth Exchanges, 2026).
- **التيربيوم:** يدخل في مادة تيرفينول-د المستخدمة في أنظمة التخميد النشط للاهتزازات، مما يساهم في تحسين دقة الأسلحة المركبة وأنظمة التصويب البصرية (Gözetlik, 2026).. الجدول رقم (٣) أدناه يوضح باختصار المعادن الرئيسية المستخدمة في المركبات المدرعة والدبابات.

الجدول رقم (٣)

دور المعادن الأرضية النادرة في المركبات المدرعة والدبابات

العنصر	الاستخدام الرئيس	الوظائف التقنية	الأثر الدفاعي	الأهمية الاستراتيجية
الجرمانيوم	مناظير حرارية وأجهزة بصرية	تحسين التصوير بالأشعة تحت الحمراء والرؤية الليلية	كشف التهديدات وزيادة الفعالية القتالية	يعزز القدرة على الرصد الدقيق في ظروف الرؤية المحدودة، مما يرفع مستوى التفوق الميداني
الإيتريوم	السيراميك المثبت والسبائك عالية القوة	مقاومة الصدمات والحرارة والتآكل	تعزيز المتانة الهيكلية وضمان استمرارية الأداء	يضمن استدامة الأداء الميكانيكي في البيئات القتالية القاسية ويطيل عمر المعدات
النيوديميوم	مغناطيسات NdFeB	التحكم في دوران البرج والتوجيه والتعليق	دقة التوجيه وتقليل التآكل الميكانيكي	عنصر محوري في أنظمة التوجيه الحديثة، مما يعزز سرعة الاستجابة ودقة العمليات العسكرية
ليوروبيوم	مواد فسفورية وطلاءات مضادة للانعكاس	تحسين الرؤية في الإضاءة المنخفضة والوهج العالي	تعزيز سلامة الهيكل وفعالية أنظمة التصويب	يرفع كفاءة أنظمة العرض البصري ويعزز القدرة على العمل في ظروف الإضاءة المعقدة
التيربيوم	مواد مغناطيسية انفعالية (تيرفينول-د)	تخميد الاهتزازات وتحسين دقة الأسلحة	رفع مرونة المركبات وزيادة القدرة على التكيف	يساهم في تطوير أنظمة التخميد النشط، مما يحسن دقة الأسلحة ويعزز التفوق التكنولوجي

الجدول من إعداد الباحث بالاستناد إلى المعلومات الواردة في البحث.



الشكل رقم (٤): المكونات والمواد الخام المستخدمة في مركبة القتال الرئيسية (MBT) أو مركبة قتال المشاة

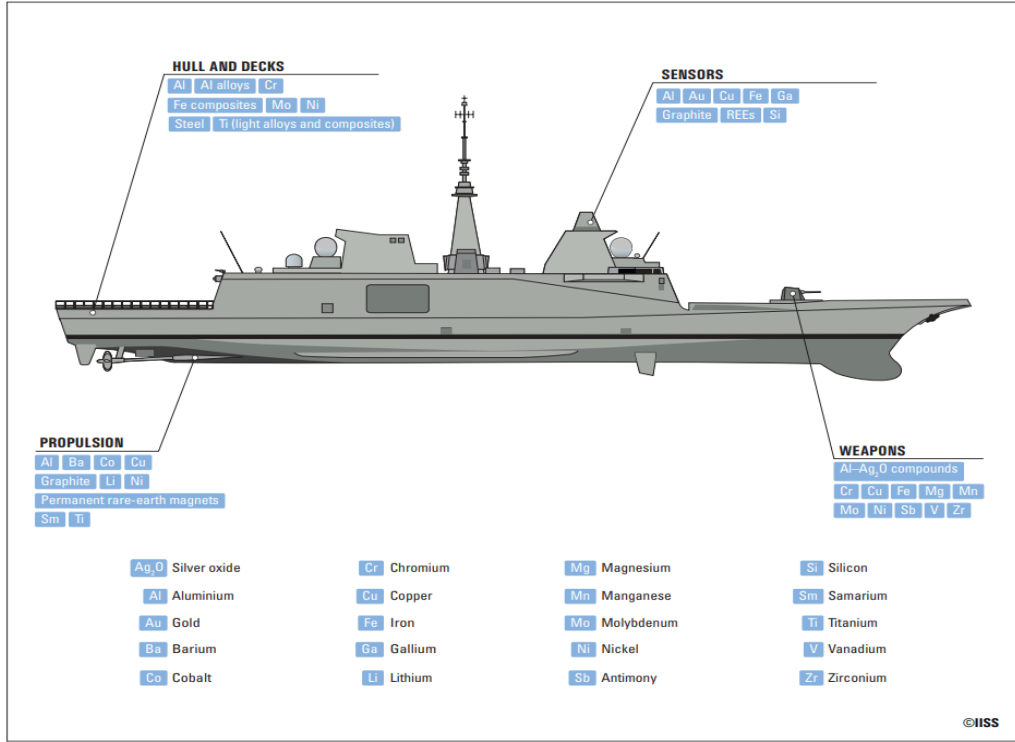
Source: Hackett, J., Sabatino, E., Bint, M., Naradichiantama, D., Gjerstad, M., Bentham, J., Fischbach, J., Bearn, L., & Clavilier, Y. (2025, March 25). *Critical raw materials and European defence*. The International Institute for Strategic Studies (IISS). P. 7.

https://www.iiss.org/globalassets/media-library---content--migration/files/research-papers/2025/03/iiss_critical-raw-materials-and-european-defence_25032025.pdf

٤. الاستخدام في صناعة الغواصات والسفن والفرقاطات الحربية والقطع البحرية الأخرى

تستخدم السفن الحربية الحديثة مجموعة متنوعة من المواد الحيوية في تركيبها، على الرغم من أن المجال البحري يستخدم كميات أقل مقارنة بقطاعات الفضاء والفضاء الجوي، والقطاعات البرية، أو قطاع الأسلحة الموجهة. ومع ذلك، لا يزال هناك طلب كبير على العديد من المواد التي يُعد أنها تنطوي على مخاطر معتدلة في سلسلة التوريد، مثل الألومنيوم، والحديد (والصلب)، والجرافيت، والتيتانيوم، والنحاس ونظراً لطلب القطاع البحري على سفنه القتالية السطحية الرئيسية المتطورة (مثل الفرقاطة الأوروبية متعددة الأغراض (FREMM)) أن تتمتع بقدرات شاملة موجهة نحو مهام الحرب المضادة للغواصات، والمضادة للسفن السطحية، والمضادة للطائرات، وهناك حاجة إلى مجموعة من المواد الحيوية لدعم تصميم السفن

الحربية والأنظمة الحديثة. وينطبق الأمر نفسه على السفن الحربية الأخرى ذات الأدوار والمعدات المماثلة، وربما بشكل أكبر عندما يتعلق الأمر بتصميم وبناء الغواصات.



الشكل (٥): المكونات والمواد الخام المستخدمة في سفينة قتالية سطحية رئيسية

Source: Hackett, J., Sabatino, E., Bint, M., Naradichiantama, D., Gjerstad, M., Bentham, J., Fischbach, J., Bearn, L., & Clavilier, Y. (2025, March 25). Critical raw materials and European defence. The International Institute for Strategic Studies (IISS). P. 7.

https://www.iiss.org/globalassets/media-library---content-migration/files/research-papers/2025/03/iiss_critical-raw-materials-and-european-defence_25032025.pdf

٥. الاستخدام في الصواريخ الموجهة بدقة (صواريخ كروز، وصواريخ مضادة للسفن، وصواريخ أرض-جو)

تُعدّ العناصر الأرضية النادرة والمعادن النادرة الأخرى أساسية لأنظمة الصواريخ الموجهة بدقة إذ تُحسّن من قدرات الملاحة والدفع والاستهداف والحرب الإلكترونية. تُسهم هذه المعادن في تطوير مغناطيسات وأجهزة استشعار وتقنيات توجيه عالية الأداء، مما يُمكن صواريخ كروز والصواريخ المضادة للسفن والصواريخ أرض-جو من تحقيق دقة ومناورة وموثوقية استثنائية في القتال. وتجعلها أهميتها الاستراتيجية لا غنى عنها للدفاع الحديث، حيث تُوفّر دقة استهداف فائقة وقدرة على الصمود في الظروف القاسية.

إضافةً إلى ذلك، تُحسّن هذه المواد من متانة الهياكل وفعالية العمليات، مما يُعزز أنظمة الدفع والتحكم في مجموعة واسعة من منصات الصواريخ.

الصواريخ والذخائر والدفاع الصاروخي تُعدّ الذخائر الموجهة بدقة من أكثر المكونات استهلاكًا للمغناطيسات في جميع أفرع القوات المسلحة. تحتوي مجموعة التوجيه الخاصة بـ«ذخيرة الهجوم المباشر المشتركة» (JDAM)، التي تستخدمها القوات الجوية والبحرية لتحويل القنابل إلى أسلحة ذكية، على مغناطيسات من العناصر الأرضية النادرة في نظام تشغيل زعانفها. كما تستخدم صواريخ «توماهوك» الكروز التابعة للبحرية مغناطيسات من العناصر الأرضية النادرة في أنظمة الملاحة والتحكم الخاصة بها.

وتعتمد صواريخ الدفاع الجوي "باتريوت"، وصواريخ "ستينجر" المحمولة على الظهر (MANPADS)، وصواريخ "جافلين" المضادة للدبابات، وغيرها، جميعها على مشغلات وأجهزة استشعار مدمجة يتم تثبيتها بواسطة مغناطيسات دائمة. حتى قذائف المدفعية الذكية (مثل القذيفة الموجهة إكس كاليفر) تستخدم مغناطيسات لضبط الزعانف من أجل تصحيح المسار. وفي رادارات الدفاع الصاروخي (مثل AN/TPY-2 أو Aegis BMD)، تساعد المغناطيسات الأرضية النادرة القوية في توليد وتوجيه حزم الرادار. وبالتالي، فإن ذخائر كل فرع من فروع القوات المسلحة - صواريخ جو-جو التابعة للقوات الجوية، والصواريخ التي تُطلق من السفن التابعة للبحرية، والصواريخ التابعة للجيش - تعتمد على المغناطيسات للتوجيه والتحكم من أجل إصابة أهدافها (Rare Earth Exchange, 2025).

- يُستخدم البريليوم في الجيروسكوبات وأجهزة توجيه الرادار، مما يدعم التوجيه بالقصور الذاتي بعيد المدى وتحديد الأهداف بدقة. كما أن نقاءه البصري وصلابته يسمحان بتحديد الأهداف بدقة عالية تحت ضغط ميكانيكي شديد.
- يُستخدم التنجستن في المقذوفات ذات الطاقة الحركية، وأنظمة تثبيت الصواريخ، والذخائر التي تُسقطها الطائرات المسيّرة، وذلك بفضل كثافته العالية ودرجة انصهاره المرتفعة للغاية. كما يُعدّ بديلاً غير مشع لليورانيوم المنضب في الذخائر الخارقة للدروع. وفي الأنظمة فائقة السرعة، تحافظ سبائك التنجستن على دقة الديناميكا الهوائية والتحكم في المسار تحت تأثير قوى شديدة.
- الكوبالت عنصرٌ أساسي في السبائك الفائقة المقاومة للحرارة العالية المستخدمة في أنظمة دفع الصواريخ ومكونات الرؤوس الحربية، إذ يضمن سلامة الهيكل تحت ضغط حراري وميكانيكي شديد. وفي الطائرات المسيّرة، تُمكن بطاريات أكسيد الليثيوم والكوبالت (LiCoO_2) القائمة على الكوبالت من زيادة مدة التشغيل وتوفير طاقة ثابتة، مما يدعم قدرات المراقبة طويلة الأمد والضربات الموجهة بدقة.

- الجرمانيوم عنصرٌ أساسيٌّ في أنظمة التوجيه الحراري والباحث في الذخائر الموجهة مثل صواريخ جافلين وتاو وصواريخ أرض-جو. فهو يُتيح التثبيت على الهدف بعد الإطلاق والتوجيه السلبي باستخدام البصمات الحرارية، مما يُحسن الدقة والاستقلالية في البيئات المتنازع عليها. ويُضيف استخدامه غير القابل لإعادة التدوير ضغطاً إضافياً لضمان سلاسل إمداد موثوقة.
- البراسيوديميوم يؤدي دوراً محورياً في المغناطيسات الدائمة عالية القوة والأنظمة البصرية المتقدمة، مما يُحسن وظائف التوجيه والتتبع والدفع. كما يُستخدم في أجهزة تحديد الأهداف بالليزر للصواريخ وأجهزة الاستشعار بالأشعة تحت الحمراء، مما يُحسن من عملية تحديد الأهداف. وتُعزز سبائك البراسيوديميوم المقاومة للحرارة المكونات الهيكلية، مما يضمن الاستقرار أثناء الطيران بسرعات عالية ودرجات حرارة مرتفعة.
- النيوديميوم يستخدم على نطاق واسع في مغناطيسات النيوديميوم-الحديد-البورون (NdFeB)، التي تُشغّل أنظمة الدفع، وآليات التحكم في الزعانف، وأجهزة التوجيه الرادارية. تُعدّ هذه المغناطيسات القوية والخفيفة الوزن جزءاً لا يتجزأ من المحركات الكهرومغناطيسية وأنظمة التوجيه، مما يُتيح إجراء تعديلات سريعة وتحديد الأهداف بدقة. كما يدعم النيوديميوم أنظمة التوجيه الراداري المتقدمة لاعتراض التهديدات بدقة.
- البروميتيوم يعد إشعاعه المنخفض، مثالاً لبطاريات بيتافولتية التي توفر طاقة طويلة الأمد وخالية من الصيانة في أنظمة الصواريخ والطائرات. تُعدّ هذه البطاريات ضرورية لتشغيل وحدات التوجيه، وأجهزة الاستشعار، ووحدات الذاكرة لفترات طويلة، لا سيما في البيئات التي تتعطل فيها مصادر الطاقة التقليدية. يُمكن البروميتيوم العمليات السرية من خلال تقليل البصمة الحرارية وتعزيز موثوقية المكونات.
- الساماريوم عنصرٌ أساسيٌّ في مغناطيسات الساماريوم-الكوبالت (SmCo)، التي تُقدّر لاستقرارها الحراري ومقاومتها لإزالة المغناطيسية. تُستخدم هذه المغناطيسات في أجهزة توجيه الرادار، وأجهزة الجيروسكوب، وأنظمة الملاحة بالقصور الذاتي، مما يضمن دقة الاستهداف والتحكم في المسار في الظروف القاسية. كما يدعم الساماريوم أنظمة الحرب الإلكترونية من خلال تحسين معالجة الإشارات والحماية الكهرومغناطيسية.
- يُستخدم التيربيوم في أنظمة التثبيت لتعزيز دقة أسطح التحكم في الطيران من خلال مادة تيرفينول - دي، وهي مادة مغناطيسية انفعالية. يُسهم ذلك في سلاسة المناورة أثناء تعديلات الصواريخ عالية السرعة. كما يُعزز التيربيوم البصريّات وأجهزة الاستشعار عالية الأداء، مما يُحسن دقة التوجيه واكتشاف الأهداف.

- ديسبروسيوم يعزز الديسبروزيوم مقاومة المغناطيس للحرارة، وخاصةً مغناطيس النيوديميوم-الحديد-البورون (NdFeB)، للحفاظ على الأداء في ظروف ساحة المعركة. وهو عنصر أساسي لأنظمة الدفع، وأجهزة التحكم في الملاحه، ومكونات المشغلات. كما يدعم الديسبروزيوم أنظمة التثبيت ، مما يحسن من قدرة الصواريخ على المناورة ودقة إصابتها.
- التنتالوم يستخدم في أسلحة الطاقة الموجهة وقذائف المدافع الكهرومغناطيسية نظراً لموصلية الكهربائية العالية وثباته الحراري. كما يُخلط مع سبائك فائقة أساسها النيكل في شفرات التوربينات وفوهات الصواريخ وغرف الاحتراق. هذه الخصائص تجعل التنتالوم عنصراً بالغ الأهمية في أنظمة الصواريخ فرط الصوتية والمركبات الفضائية، حيث تُعد مقاومة الحرارة الشديدة ضرورية لاستدامة الأداء.

الخاتمة

يتضح من خلال هذا البحث أن المعادن الأرضية النادرة لم تعد مجرد عناصر جيولوجية محدودة الاستخدام، بل أصبحت اليوم موارد استراتيجية تشكل أساس الصناعات التقنية والعسكرية في القرن الحادي والعشرين. فقد أظهرت الدراسة أن هذه المعادن تدخل في صلب الابتكارات التكنولوجية المتقدمة، بدءاً من الطاقة المتجددة وتوربينات الرياح والسيارات الكهربائية، وصولاً إلى الصناعات الدفاعية مثل الطائرات المقاتلة وأنظمة الاتصالات والرادارات. كما بيّن التحليل أن ضمان استدامة الإمدادات من هذه المعادن يمثل شرطاً جوهرياً للحفاظ على الأمن الصناعي والتكنولوجي للدول، وأن التحديات المرتبطة بالاستخراج والمعالجة والتوزيع تفرض ضرورة تبني استراتيجيات طويلة الأمد توازن بين الطلب العالمي والقدرة الإنتاجية. وتؤكد النتائج أن هذه الموارد باتت بمثابة "نقط القرن الحادي والعشرين"، إذ تحدد موازين القوة الاقتصادية والعسكرية، وتعيد رسم خريطة النفوذ الجيوسياسي عالمياً. إن استمرار الاعتماد العالمي عليها دون إطار قانوني دولي أو سياسات استدامة واضحة سيؤدي إلى تفاقم الاحتكار والتبعية التقنية، مما يجعلها محوراً رئيساً في الصراعات الاقتصادية والأمنية المقبلة.

أ. النتائج

١. تتمتع المعادن الأرضية النادرة بخصائص مغناطيسية وبصرية وكهربائية فريدة تجعلها أساساً في الصناعات المتقدمة مثل الإلكترونيات الدقيقة، الاتصالات، الطاقات المتجددة، وصناعات الدفاع.
٢. إن الطلب العالمي المتزايد على هذه المعادن جعلها مورداً حيوياً يحدد موازين القوة الاقتصادية والعسكرية بين الدول.
٣. تمثل ندرة هذه المعادن وصعوبة استخراجها ومعالجتها تحدياً تقنياً وبيئياً معقداً.
٤. إن غياب إطار قانوني دولي موحد ينظم استغلالها وتوزيعها يفتح المجال أمام احتكار بعض الدول للإنتاج والتحكم في الأسواق العالمية.

٥. السيطرة على إنتاج وتوزيع هذه المعادن تمنح الدول الكبرى نفوذًا صناعيًا وعسكريًا مضاعفًا.

ب. الاستنتاجات

١. أصبحت المعادن الأرضية النادرة مورداً استراتيجياً يحدد مسار التنمية الاقتصادية والأمن الصناعي للدول، وتشكل أساس التحول الطاقوي نحو اقتصاد منخفض الكربون.
٢. يحول احتكار بعض الدول للإنتاج، وعلى رأسها الصين، هذه الموارد إلى أداة ضغط جيوسياسي في العلاقات الدولية، ويزيد من حدة التنافس بين القوى الكبرى.
٣. تفرض التحديات البيئية والتقنية المرتبطة بالاستخراج والمعالجة ضرورة تبني استراتيجيات طويلة الأمد لتحقيق الاستدامة.
٤. إن غياب التنظيم الدولي يزد من هشاشة الأمن الصناعي العالمي ويجعل هذه الموارد عرضة للاحتكار والمضاربات.
٥. يمكن القول إن هذه المعادن تمثل "نقط القرن الحادي والعشرين"، إذ تحدد موازين القوة الاقتصادية والعسكرية، وتُعد محورا رئيسا في الصراعات الاقتصادية والأمنية المقبلة.

ملحق البحث

ملخص أهمية العناصر الأرضية النادرة واستخداماتها التقنية والعسكرية

عنصر	رمز	العدد الذري	المنتجات المستخدمة في
سكانديوم	Sc	21	الإضاءة، والليزر، والإلكترونيات الاستهلاكية، وسبائك الألومنيوم للمواد عالية الأداء في صناعات الطيران والسلع الرياضية.
الإيتريوم	Y	39	أجهزة الاتصالات بالموجات الدقيقة لصناعات الدفاع والأقمار الصناعية، والاتصالات الخلوية، ومثبتات توربينات المحركات النفاثة خفيفة الوزن ومخاريط أنف الصواريخ، وبلورات الليزر للاتصالات العسكرية الخاصة، والموصلات الفائقة عالية الحرارة، ومرشحات الموجات الدقيقة، وتساعد على تحسين كفاءة الوقود والقضاء على التلوث.
اللانثانوم	La	57	محفز لإنتاج الوقود للمركبات والطائرات، وخلايا الوقود والبطاريات، والعدسات البصرية، وعدسات الكاميرات، ومعدات الرؤية الليلية، وأجهزة التلفزيون الملون، وأفلام الأشعة السينية وبعض أنواع الليزر، ومحفز التكسير الحفزي السائل لمصافي النفط.
السيريوم	Ce	58	أكثر العناصر الأرضية النادرة وفرة، والمحولات الحفازة في السيارات لتقليل الانبعاثات، ومحفز في تكرير البترول وفي التطبيقات المعدنية والنووية، وإضاءة قوس الكربون لصناعة الأفلام، والأفران ذاتية التنظيف، والولاعات، والزجاج والسيراميك، ويمكن أن يكون الطلاء غير قابل للتآكل ويمكن أن يكون له تطبيقات عسكرية.
البراسيوديميوم	Pr	59	المعادن عالية القوة المستخدمة في محركات الطائرات، وكابلات الألياف الضوئية، وإضاءة قوس الكربون، وتوفر الألوان للنظارات والمينا، وأقنعة اللحام، والولاعات، والمغناطيس، وأجهزة الليزر.
النيوديميوم	Nd	60	يتم استخدام ليزر النيوديميوم في العمليات الجراحية غير الجراحية، والتصوير بالرنين المغناطيسي (MRIs)، والصون في الولاعات. يتم استخدام ليزر النيوديميوم في العمليات الجراحية غير الجراحية، والتصوير بالرنين المغناطيسي (MRIs)، والصون في الولاعات.
بروميثيوم	Pm	61	بطارية تعمل بالطاقة النووية (عمرها الافتراضي خمس سنوات)، وأجهزة أشعة سينية محمولة، ومصدر حرارة لتوفير الطاقة المساعدة للمسابرات الفضائية والأقمار الصناعية، وأشعة الليزر للاتصالات مع الغواصات.
الساماريوم	Sm	62	يتم الجمع مع الكوبالت لتكوين مغناطيس دائم بأعلى مقاومة لإزالة المغناطيسية، بما في ذلك ما يصل إلى ٢٥٠ درجة، وبالتالي ضروري

			للتطبيقات الجوية والعسكرية، ومحركات المغناطيس للذخائر الموجهة بدقة وتوجيه أسطح التحكم في الطيران (الزعانف)، وتكنولوجيا التخفي في الطائرات العمودية لإنشاء ضوضاء بيضاء لإلغاء أو إخفاء صوت شفرات الدوار، والأنظمة الكهربائية للطائرات، كما تُستخدم مغناطيسات الساماريوم والكوبالت لتحريك أسطح التحكم في طيران الطائرات، بما في ذلك اللوحات والدفة والجنحات، وأنظمة الصواريخ والرادار، وأنبوب الموجة المتنقلة (TWT)، وأنظمة الرادار الدفاعية ومعدات الإجراءات المضادة الإلكترونية، مثل وظيفة تحذير الذيل، وإضاءة قوس الكربون لصناعة الأفلام، والزجاج البصري لامتصاص الأشعة تحت الحمراء، وامتصاص النيوترونات في المفاعلات النووية، والليزر.
اليوروبيوم	Eu	63	هناك استخدامات تجارية قليلة حتى الآن، مثل صناعة بعض أنواع الليزر، والاستخدام المحتمل في المفاعلات النووية، والفوسفور الأحمر في أجهزة التلفزيون (ومنشط الفوسفور القائم على الإيتريوم).
الغادولينيوم	Gd	64	سلوك مغناطيسي فريد من نوعه، يسمح له بتشكيل تقنية التسجيل المغناطيسي البصري المستخدمة في التعامل مع بيانات الكمبيوتر، وأجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي، والكشف عن تسربات الإشعاع في محطات الطاقة، وتطبيقات الميكروويف (مع الإيتريوم)، ويمكن تحسين قابلية التشغيل ومقاومة درجات الحرارة العالية والأكسدة عن طريق السبائك مع الحديد والكروم والمعادن الأخرى، والفوسفور لأجهزة التلفزيون الملونة، والليزر، والأشعة السينية، والتقاط النيوترونات.
التربيوم	Tb	65	مثبتات البلورات في خلايا الوقود التي تعمل في درجات حرارة عالية، ومصابيح الفلورسنت الموفرة للطاقة، وسبائك المعادن التي توفر أفلاماً معدنية لتسجيل البيانات المغناطيسية البصرية، والليزر.
الديسبروسيوم	Dy	66	يعد هذا المنتج ضرورياً لتحسين القوة القسرية للمحركات عالية الكفاءة والأداء المستخدمة في المركبات من الجيل التالي، والإلكترونيات المنزلية الموفرة للطاقة، وتوليد طاقة الرياح، ويساعد في جعل المكونات الإلكترونية أصغر وأسرع، ويمكن أن يعزز القوة القسرية في مغناطيسات النيوديميوم والحديد واليورون، ومواد الليزر.

هولميوم	Ho	67	ليس لها استخدامات تجارية حتى الآن، ولكنها تتمتع بخصائص مغناطيسية غير عادية يمكن الاستفادة منها في المستقبل، الليزر.
الإربيوم	Er	68	مكبر للصوت لنقل البيانات عبر الألياف الضوئية، والليزر للاستخدامات الطبية وطب الأسنان لأنه مناسب لتوصيل الطاقة دون تراكم حراري في الأنسجة البشرية، والزجاج الملون والنظارات الشمسية والزجاج البلوري المزخرف، ويستخدم في الطاقة النووية والمعادن، بما في ذلك تقليل الصلابة وتحسين قابلية التشغيل عند إضافته إلى الفاناديوم.
الثوليوم	Tm	69	أندر العناصر الأرضية النادرة، تشبه الإيتريوم، وأجهزة الأشعة السينية
الإيتريوم	Yb	70	زيادة المقاومة الكهربائية، مقاييس الإجهاد، التطبيقات النووية، تحسين تنقية الحبوب، القوة، وغيرها من الخصائص الميكانيكية للفولاذ المقاوم للصدأ، الليزر تحت الأحمر، عامل الاختزال الكيميائي.
اللوتيتيوم	Lu	71	المحفزات في التكسير والألكلة والهدرجة والبلعمة، وأجهزة الكشف في فحوصات التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (PET)، والأشعة السينية.

Source: Dobransky, S. (2013). Rare Earth Elements and U.S. Foreign Policy. American Diplomacy. <https://americandiplomacy.web.unc.edu/2013/10/rare-earth-elements-and-u-s-foreign-policy/>

المصادر والمراجع

- Detry, E., Gauduel, A., Geurts, F., Ivers, L., McAdoo, M., Möncks, T. and Butler, T. (July 6, 2023). *Five Steps for Solving the Rare-Earth Metals Shortage*. BCG Analyst. <https://www.bcg.com/publications/2023/five-steps-for-solving-the-rare-earth-metals-shortage>
- Dobransky, S. (2013). *Rare Earth Elements and U.S. Foreign Policy*. American Diplomacy. <https://americandiplomacy.web.unc.edu/2013/10/rare-earth-elements-and-u-s-foreign-policy>
- Environment Database. (n.d.). *Carbon neutrality*. Environment Database. Retrieved July 8, 2026, from: <https://www.environment-database.eu/cms/glossary/36-glossary-c/5294-carbon-neutrality.html>
- European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. (2023, March 16). *Study on the critical raw materials for the EU 2023: Final report*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2873/725585>
- Gielen, D. and M. Lyons (2022), *Critical materials for the energy transition: Rare earth elements*, Gözetlik, N. N. (2026). Rare earth elements in the defense industry: Strategic dependency and geo-economic competition. *A5 Journal of Defense Industry*, 1(1), 101–102. <https://doi.org/10.71350/a5journal.9>
- Guth, A. H. (1981). Inflationary universe: A possible solution to the horizon and flatness problems. *Physical Review D*, 23(2), 347–356. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.23.347>
- Hackett, J., Sabatino, E., Bint, M., Naradichiantama, D., Gjerstad, M., Bentham, J., Fischbach, J., Bearn, L., & Clavilier, Y. (2025, March 25). *Critical raw materials and European defence*. The International Institute for Strategic Studies (IISS). https://www.iiss.org/globalassets/media-library---content--migration/files/research-papers/2025/03/iiss_critical-raw-materials-and-european-defence_25032025.pdf
- Hurst, C. (2010). *China's Rare Earth Elements Industry: What Can the West Learn?* Institute for the Analysis of Global Security (IAGS). <http://www.iags.org/rareearth0310hurst.pdf>
- International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. <https://atf.asso.fr/media/technews/39/tnf39-prof3-irena-rare-earth-elements-2022.pdf>
- International Energy Agency. (2022). *The role of critical minerals in clean energy transitions*. IEA. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ffd2a83b-8c30-4e9d-980a-52b6d9a86fdc/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf>
- International Energy Agency. (2024). *Rare earth elements 2024 – Analysis*. IEA. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ee01701d-1d5c-4ba8-9dff-abeac9de99a/GlobalCriticalMineralsOutlook2024.pdf>
- Hidayat, M. (2025, December 16). *China's Rare Earth Steel Production Threatens US Defense Capabilities*. Discovery Alert. <https://discoveryalert.com.au/strategic-materials-landscape-defence-rare-earths-2025/>
- Liddle, A. R., & Lyth, D. H. (2000). *Cosmological Inflation and Large-Scale Structure*. Cambridge University Press.
- Mag Work. (2024, March 15). *Exploring the benefits and applications of samarium*. Mag Work. <https://magworks.us/benefits-samarium/>
- NS Energy. (2020). Bayan Obo Rare Earth Mine. <https://www.nsenergybusiness-com.translate.goog/projects/bayan-obo-rare-earth-mine/>
- Rare Earth Exchange. (2025, Oct 4). 6 Military Uses of Rare Earth Elements in Defense Technology. <https://rareearthexchanges.com/rare-earth-elements-in-defense-technology/>

- Rare Earth Exchanges. (2026, April 20). How rare earth materials support military radar systems. Rare Earth Exchanges.
https://rareearthexchanges.com/military-radar-systems/?utm_source=copilot.com
- Rare Earth Investing. (2026, May 6). *Light REE vs Heavy REE: Classification, Applications, and Supply Differences*. <https://rareearthinvesting.net/learn/lree-vs-hree/>
- Rindler, W. (1956). Visual horizons in world-models. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 116(6), 662–677. <https://doi.org/10.1093/mnras/116.6.662>
- Safdie, S. (2025, February 12). *What are rare earth metals?*. Greenly Earth.
<https://greenly.earth/en-gb/blog/industries/what-are-rare-earth-metals>
- SFA Oxford. (n.d.). Critical minerals in defense and national security. SFA Oxford. Retrieved June 19, 2026, from <https://www.sfa-oxford.com/knowledge-and-insights/critical-minerals-in-low-carbon-and-future-technologies/critical-minerals-in-defence-and-national-security/>
- Sheikh Obaid, N. (2019, July 8). *Mendeleev's periodic table*. Photokalam Blogspot.
https://photokalam.blogspot.com/2019/07/blog-post_8.html
- Stanford Materials Corporation. (n.d.). *Gadolinium: Properties and applications*. Stanford Materials Corporation. Retrieved June 19, 2026, from <https://www.stanfordmaterials.com/blog/gadolinium-properties-and-applications.html>
- Stanford Materials Corporation. (n.d.). *Lutetium: Properties and applications*. Stanford Materials Corporation. Retrieved June 19, 2026, from <https://www.stanfordmaterials.com/blog/lutetium-properties-and-applications.html>
- Stanford Advanced Materials. (2026, February 26). *Neodymium: Element properties and uses*. Retrieved June 20, 2026, from <https://www.samaterials.ac/blog/neodymium-element-properties-and-uses.html>
- Sullivan, J., & Brands, H. (2020). *China has two paths to global domination*. Carnegie Endowment for International Peace.
<https://carnegieendowment.org/posts/2020/05/china-has-two-paths-to-global-domination?lang=en>
- U.S. Department of Energy. (2020). *Rare Earth Permanent Magnets: Supply Chain Deep Dive Assessment*. U.S. Department of Energy.
<https://www.energy.gov/sites/default/files/2024-12/Neodymium.Magnets.Supply.Chain.Repor.Final.pdf>
- Vajiram & Ravi. (2025). *Rare Earth Elements, Properties, Application*. UPSC Prelims 2026.
<https://vajiramandravi.com/upsc-exam/rare-earth-elements/>
- Van Gosen, B. S., Verplanck, P. L., Seal, R. R., Long, K. R., & Gambogi, J. (2017). *Rare-earth elements—Critical resources for high-technology industries*. U.S. Geological Survey Professional Paper 1802–O. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/pp1802O>
- World Bank. (2023). *Minerals for climate action: The mineral intensity of the clean energy transition*. World Bank Group.
- Zhao, TY., Li, WL., Kelebek, S. *et al.* (2025). A comprehensive review on rare earth elements: resources, technologies, applications, and prospects. *Rare Met.* 44.
<https://doi.org/10.1007/s12598-025-03459-9>