نقش حیاتی مس در سیاستهای گذار انرژی جهانی و پتانسیل اکتشاف ایران

علی شعله

فهرست مطالب

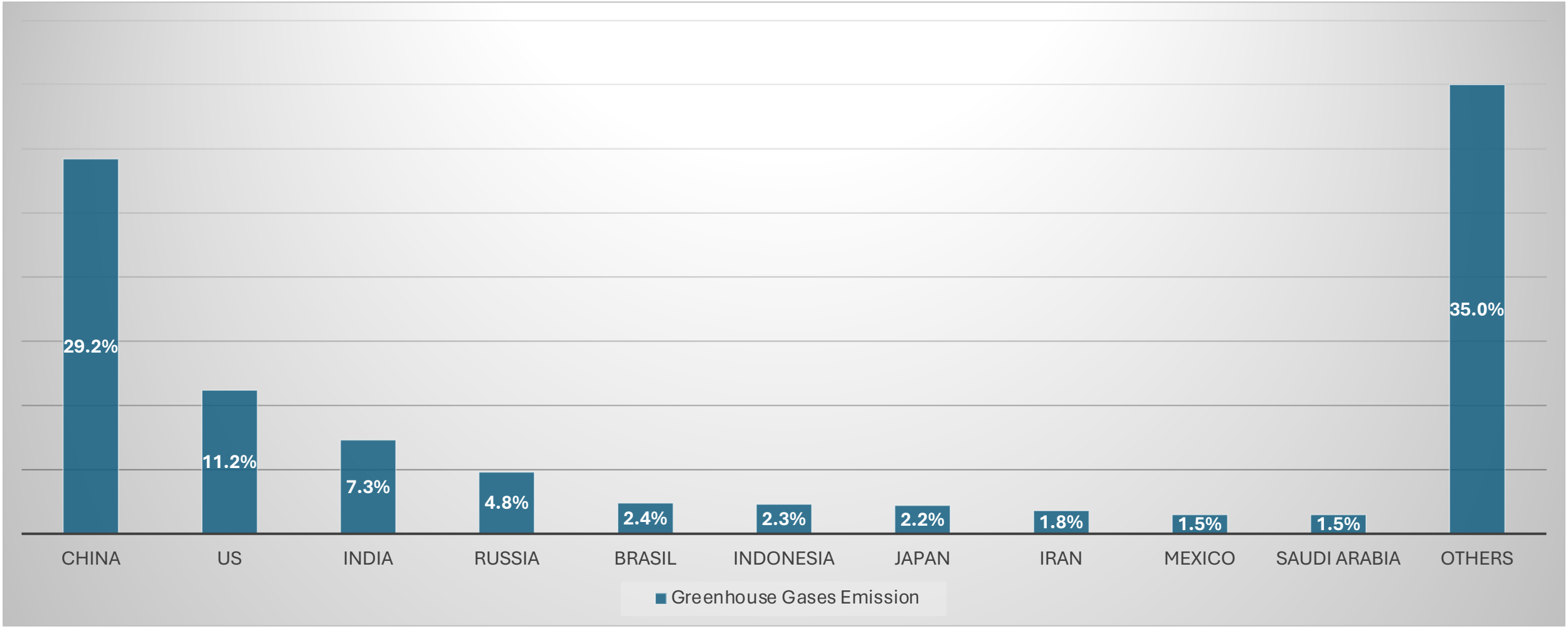
- سیاستهای گذار انرژی
- نقش سیاستهای گذار انرژی در افزایش مصرف مواد معدنی
- وضعیت آینده مصرف مس
- پتانسیل اکتشاف مس در ایران

تغییرات زیست محیطی: چالش فوری جهانی

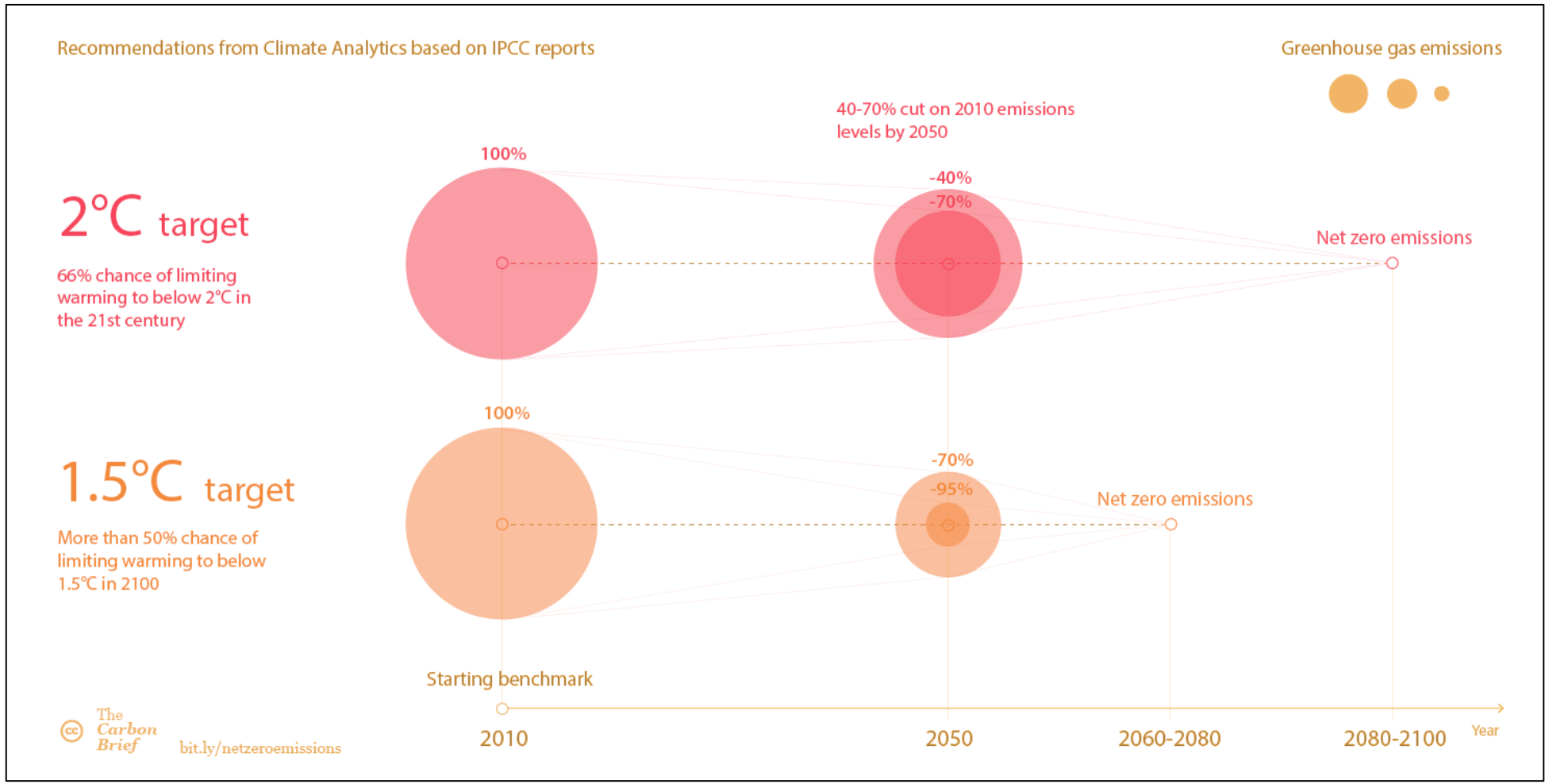
آنتونیو گوترش، ۲۰۲۰

“شاخص های اصلی اقلیمی در حال وخیم تر شدن هستند. در حالی که همه گیری کووید ۱۹ به طور موقت میزان انتشار را کاهش داده است، دی اکسید کربن هنوز در بالاترین سطح قرار دارد و در حال افزایش است.دهه گذشته گرمترین دوره ثبت شده بود. یخ های دریای قطب شمال در ماه اکتبر کمترین میزان را تجربه کرد و آتش سوزی های آخرالزمانی، سیل، خشکسالی و طوفان به طور فزاینده ای به یک هنجار تبدیل شده اند.تنوع زیستی در حال سقوط است، بیابان ها در حال گسترش و اقیانوس ها به وسیله زباله های پلاستیکی در حال گرم شدن و خفگی هستند. علم به ما گوشزد می کند اگر تا ۲۰۳۰ و به طور سالیانه تولید سوخت فسیلی را تا شش درصد کاهش ندهیم، شرایط بدتر خواهد شد. در عوض، دنیا در صدد افزایش برای دو درصد سالیانه است.”

سهم کشورها در انتشار گاز گلخانه ای



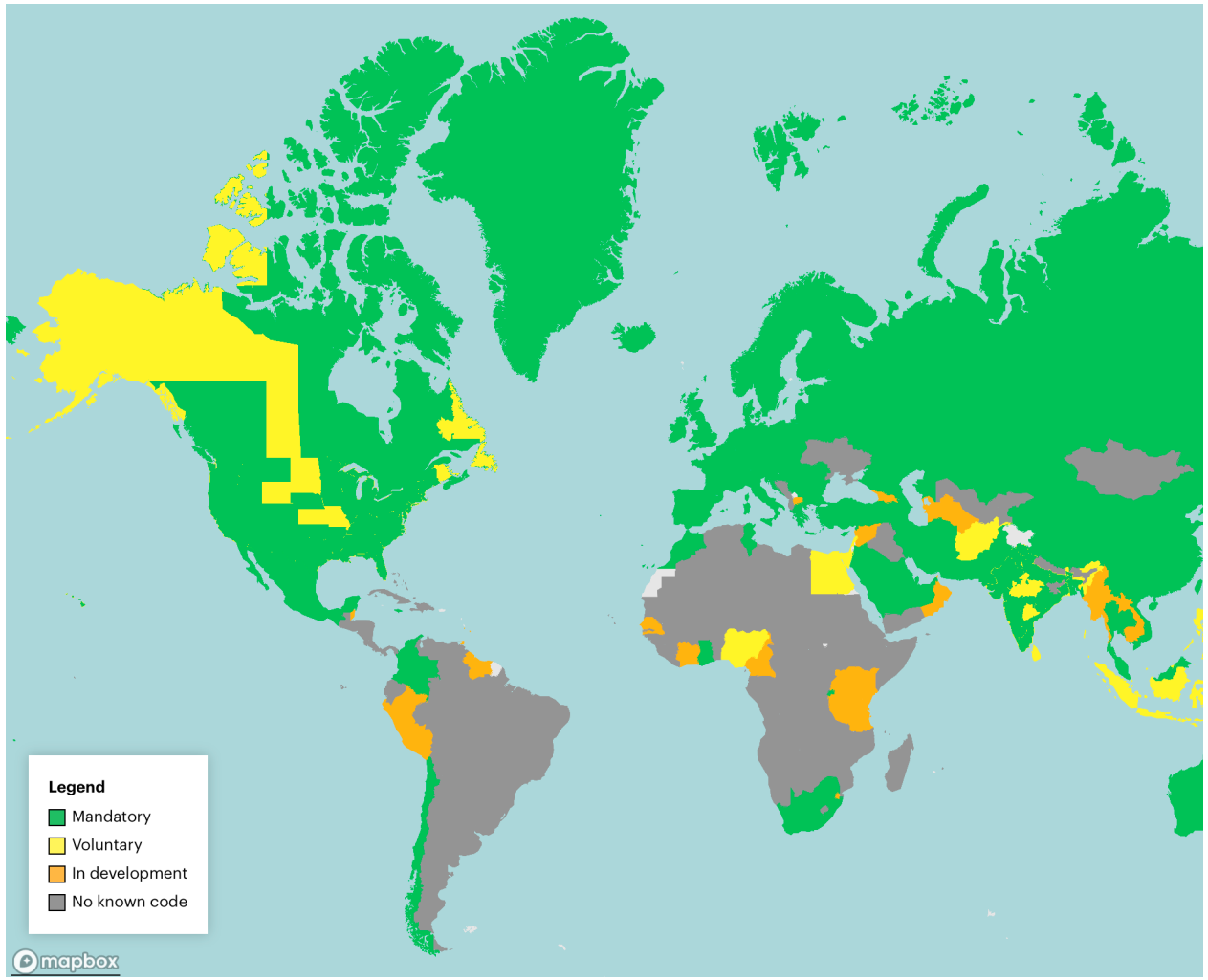
معاهده پاریس :برنامه زمانی کربن صفر با دو سناریو مختلف



انتشار خالص کربن صفر

Net Zero Carbon Emission

طبق آخرین گزارش ردیابی آژانس بین‌المللی انرژی، حدود ۸۰ کشور قوانین اجباری یا داوطلبانه در خصوص انتشار کربن دارند که نشان دهنده افزایش 30 درصدی در کشورهای دارای قوانین انرژی از زمان توافق پاریس در سال ۲۰۱۵ است.



IEA (2021)

گذار سریع از انرژی های فسیلی

- صفر خالص به معنای کاهش شدید استفاده از زغال سنگ، نفت و گاز است.
- این امر مستلزم اقداماتی مانند توقف فروش خودروهای سواری موتور احتراق داخلی جدید تا سال ۲۰۳۵ و حذف تدریجی تمام نیروگاه های زغال سنگ و نفت تا سال ۲۰۴۰ است.

الکتریسیته به هسته اصلی سیستم انرژی تبدیل خواهد شد

- الکتریسیته در همه بخش ها، از حمل و نقل و ساختمان گرفته تا صنعت نقش کلیدی خواهد داشت. **تولید برق باید در سال ۲۰۴۰ به انتشار خالص صفر در سطح جهانی برسد** و تقریباً نیمی از کل مصرف انرژی را تامین کند.
- این امر مستلزم افزایش قابل توجه انعطاف‌پذیری سیستمهای الکتریکی مانند باتری‌ها، پاسخ به تقاضا، سوخت‌های مبتنی بر هیدروژن، انرژی آبی و موارد دیگر برای اطمینان از منابع قابل اتکا می باشد.

جهان با انرژی های پاک

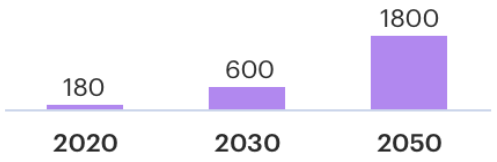
- بخش انرژی جهانی در سال ۲۰۵۰ عمدتاً مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر خواهد بود و انرژی خورشیدی بزرگترین منبع تامین آن است.
- دستیابی به آینده پاک‌تر و سالم‌تر متکی به تمرکز منحصر به فرد و تزلزل‌ناپذیر همه دولت‌ها، همکاری نزدیک با مشاغل، سرمایه‌گذاران و شهروندان است.
- در مسیر ما به سمت صفر خالص، باید **تقریباً ۹۰ درصد از تولید برق جهانی در سال ۲۰۵۰ از منابع تجدیدپذیر** تامین شود که **انرژی خورشیدی و باد** نزدیک به ۷۰ درصد را تشکیل می‌دهند.

سیستم تجارت آلایندگی اتحادیه اروپا

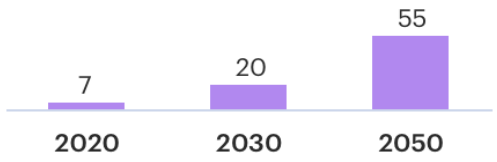
The European Union’s Emission Trading System (ETS)

- در سال ۲۰۰۵، اتحادیه اروپا سیستم تجارت انتشار آلاینده های اتحادیه اروپا (ETS) را معرفی کرد که بر اساس اصل ساده و در عین حال موثر **سقف و تجارت** (cap & trade) عمل می کند.
- مطابق این سیستم سقف مورد قبولی بر میزان تولید معادل کربن برای هر گونه محصولی تعیین می شود و برای مازاد انتشار معادل کربن مالیات کربن وضع شده است (بطور متوسط ۱۰۰ یورو به ازای هر تن انتشار معادل کربن اضافی).
- این سقف هر سال کمتر شده و میزان جرایم نیز افزایش می یابد.
- این سیستم منجر به کاهش گازهای گلخانه ای نیروگاه های صنعتی تا ۳۷ درصد شده است.
- تولید کربن کمتر از سقف مجاز تبدیل به اعتبار قابل خرید و فروش می شود.
- تولید کربن منفی (بعنوان مثال برای تولیدکنندگان پنل خورشیدی) اعتبار اضافه قابل فروش خواهد بود.

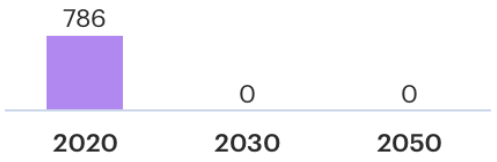
روند الکتریکی شدن صنایع مختلف



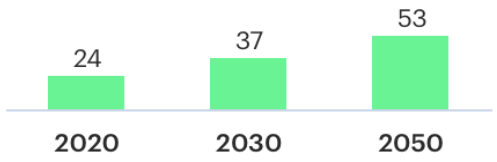
پمپهای حرارتی نصب شده (میلیون دستگاه)



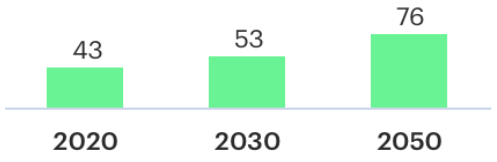
پمپهای حرارتی نصب شده جهت گرما (درصد از تقاضای انرژی برای گرمایش)



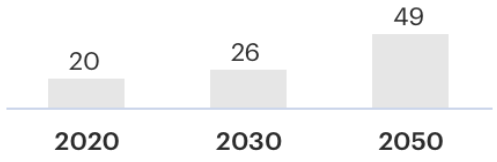
جمعیت بدون دسترسی به برق (میلیون نفر)



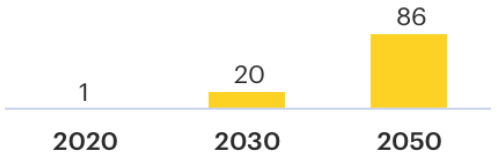
تولید فولاد با کوره قوس الکتریکی (درصد)



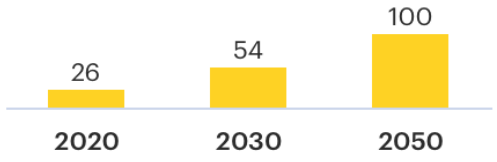
سهم الکتریک در صنایع سبک (درصد)



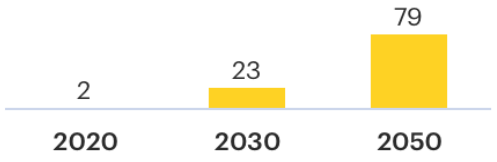
سهم الکتریک در مصرف نهایی (درصد)



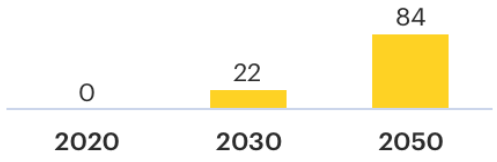
سهم خودروهای برقی در بازار (درصد بازار)



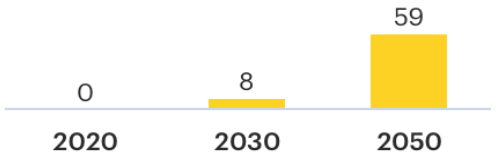
سهم خودروهای برقی دو و سه چرخه در بازار (درصد بازار)



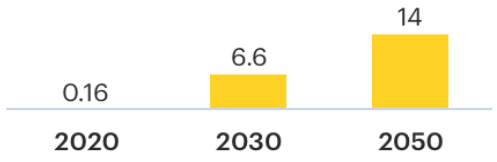
سهم اتوبوسهای برقی در بازار (درصد بازار)



سهم وانتهای برقی در بازار (درصد بازار)



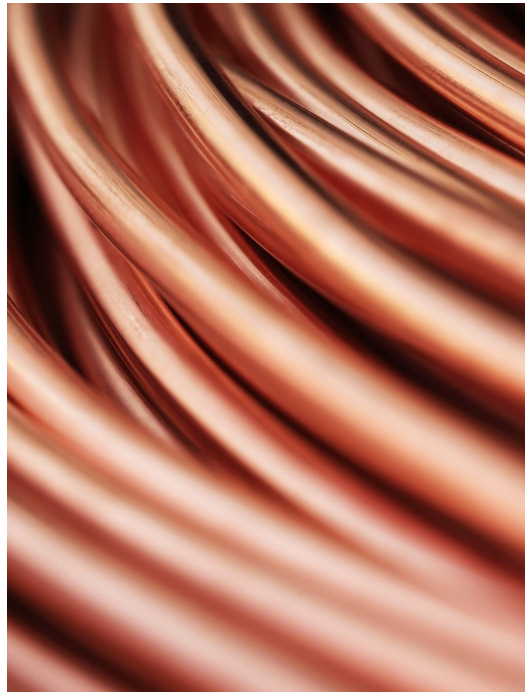
سهم کامیونهای سنگین برقی در بازار (درصد بازار)



نیاز سالانه باتری برای خودروهای برقی (TWh)

IEA (2021)

سیاستهای گذار انرژی به مقادیر قابل توجهی از عناصر حیاتی نیاز خواهد داشت



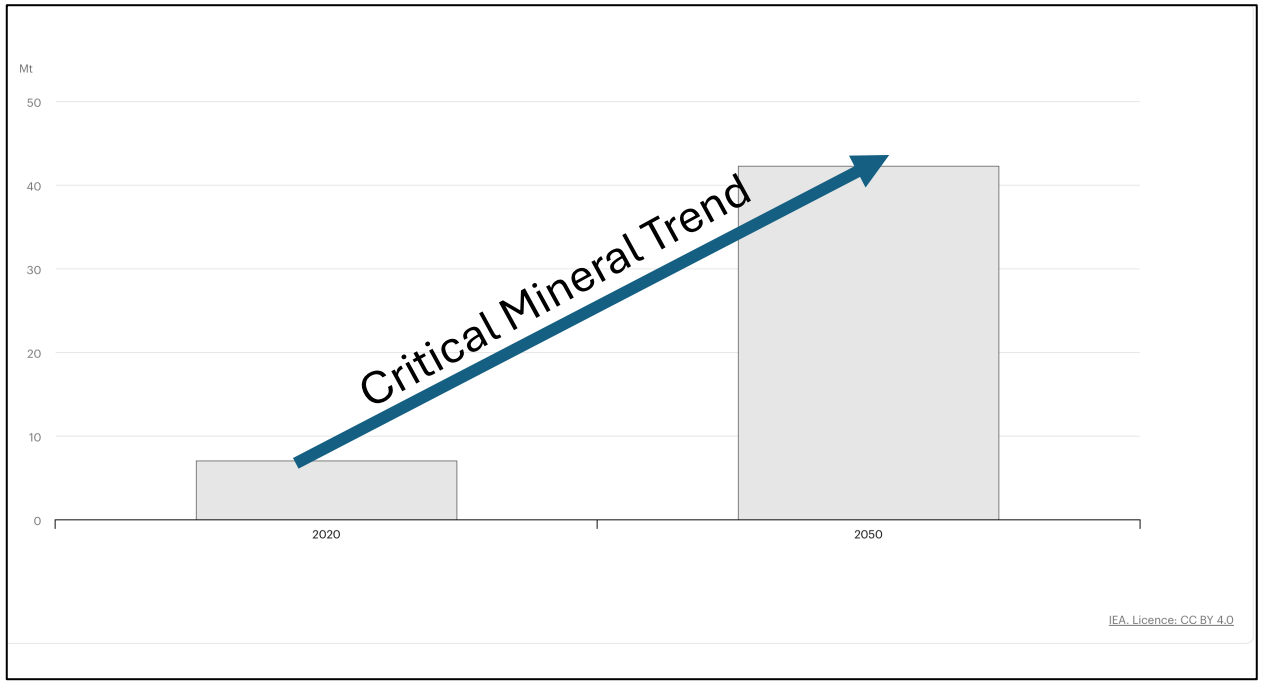
- اندازه کل بازار مواد معدنی حیاتی مانند مس، کبالت، منگنز و فلزات نادر خاکی بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰ در مسیر صفر خالص تقریباً هفت برابر خواهد شد.
- درآمد حاصل از این مواد معدنی بیشتر از درآمد حاصل از زغال سنگ قبل از سال ۲۰۳۰ خواهد بود.
- در صورتی که عرضه نتواند با تقاضای رو به رشد مطابقت داشته باشد، نگرانی‌های جدیدی از جمله نوسان قیمت و هزینه‌های اضافی برای انتقال انرژی ایجاد می‌کند.

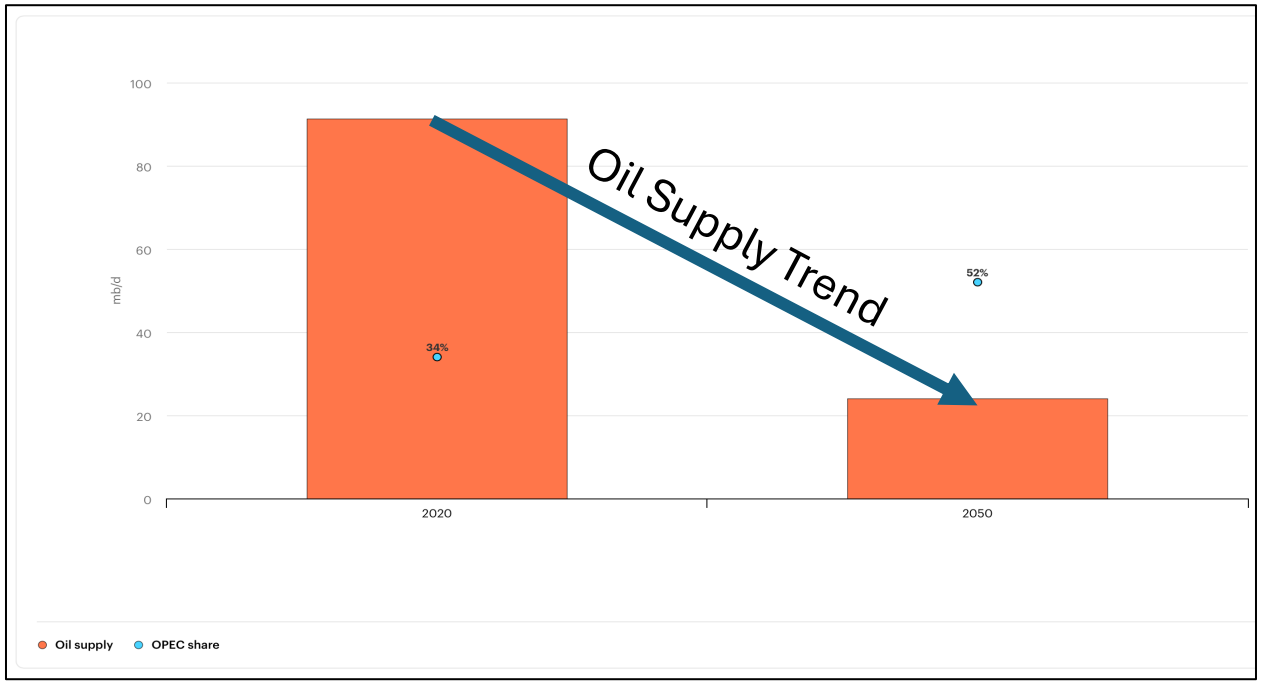
فلزات گذار انرژی

فلزات گذار انرژی عناصری هستند که نقش مهمی در فناوری های مورد نیاز برای گذار به آینده انرژی کم کربن ایفا می کنند.

- **مس:** به دلیل رسانایی الکتریکی بالا، به طور گسترده در سیم‌کشی‌های الکتریکی، توربین‌های بادی، پنل‌های خورشیدی و وسایل نقلیه الکتریکی استفاده می‌شود.
- **لیتیوم:** جزء کلیدی در باتری‌های لیتیوم یونی، که در خودروهای الکتریکی و برای ذخیره‌سازی شبکه استفاده می‌شوند.
- **کبالت:** در باتری‌های لیتیوم یونی برای بهبود چگالی انرژی و عمر باتری استفاده می‌شود.
- **نیکل:** برای تولید فولاد ضد زنگ و همچنین در باتری‌های لیتیوم یونی برای افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی استفاده می‌شود.
- **عناصر نادر خاکی** (REE): گروهی متشکل از ۱۷ عنصر که برای ساخت آهنرباهای دائمی با استحکام بالا که در توربین‌های بادی و موتورهای وسایل نقلیه الکتریکی استفاده می‌شوند، حیاتی هستند.

تقاضای مواد معدنی حیاتی و عرضه نفت در مسیر صفر خالص





IEA (2021)

مصارف مس در سیاستهای گذار انرژی

۱. زیرساخت انرژی های تجدید پذیر

- مس برای ساخت توربین های بادی، پنل های خورشیدی و زیرساخت های مرتبط مورد نیاز برای اتصال منابع انرژی تجدیدپذیر به شبکه ضروری است. به عنوان مثال، هر توربین بادی منفرد ۴ تا ۵ تن مس نیاز دارد.

مصارف مس در سیاستهای گذار انرژی

۲.خودروهای برقی

- خودروهای برقی تقریباً چهار برابر بیشتر از وسایل نقلیه موتور احتراق داخلی سنتی مس مصرف می‌کنند. این به دلیل مس مورد استفاده در موتورهای الکتریکی، باتری ها، اینورترها و سیم کشی است.

۳. ذخیره انرژی

- گسترش راه حل های ذخیره‌سازی انرژی، از جمله باتری‌های لیتیوم یونی، تقاضا برای مس را افزایش می‌دهد. این سیستم‌های ذخیره‌سازی برای مدیریت ماهیت متناوب منابع انرژی تجدیدپذیر مانند باد و خورشید ضروری هستند.

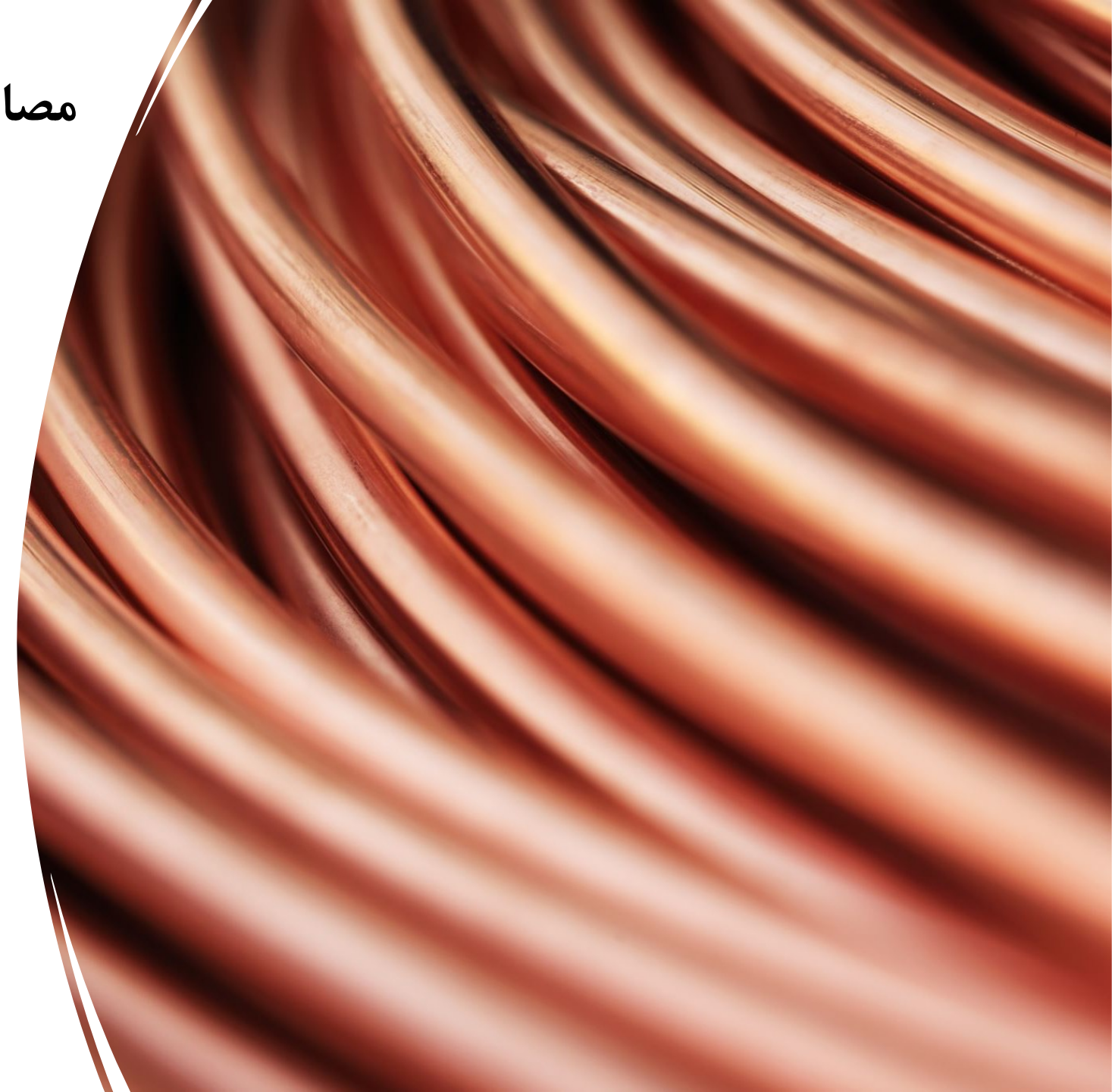
۴. به روز رسانی و توسعه شبکه انتقال برق

- نوسازی و گسترش شبکه‌های الکتریکی برای گنجاندن منابع انرژی تجدیدپذیر به مقادیر قابل توجهی مس، به‌ویژه برای خطوط انتقال فشار قوی نیاز دارد.

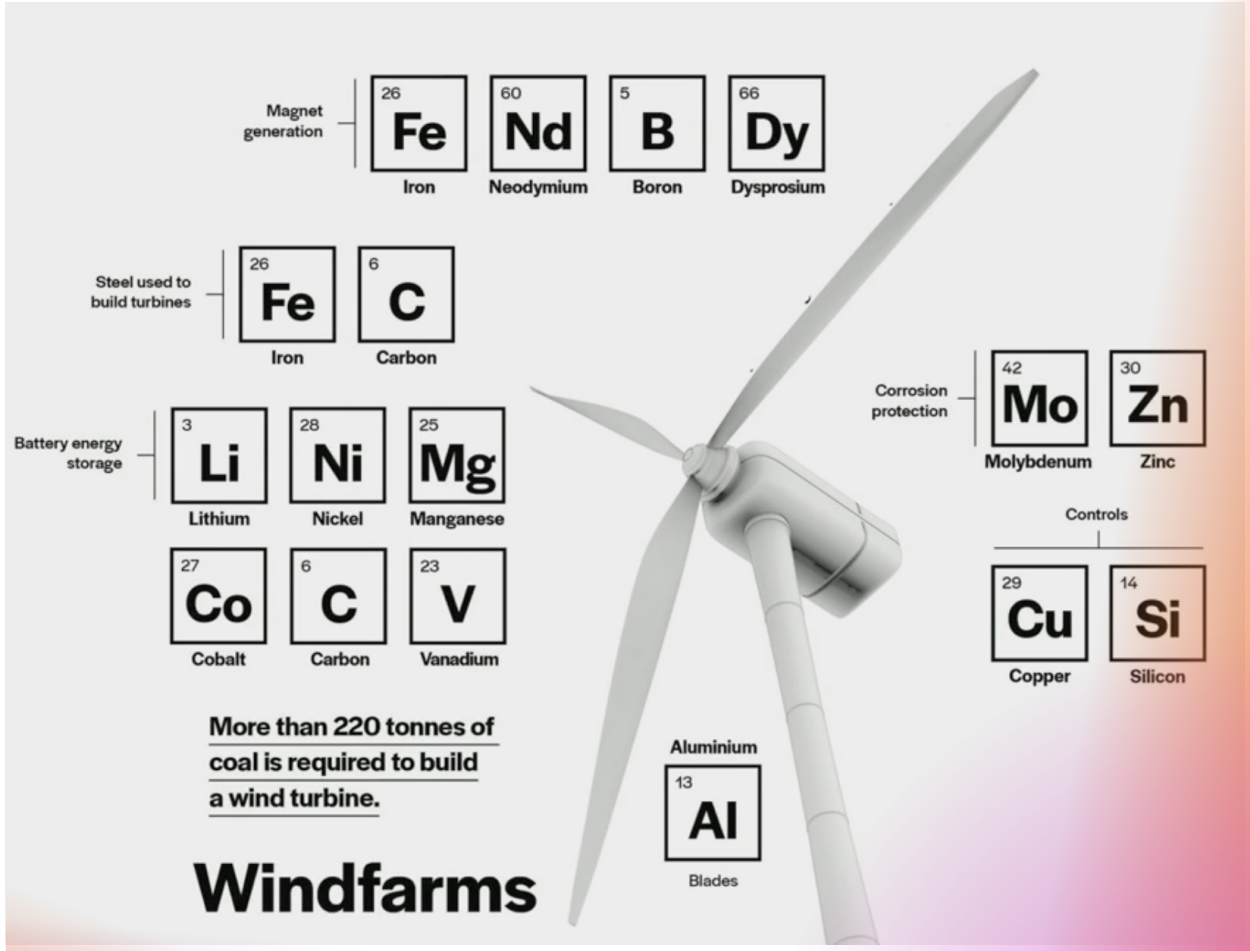
مصارف مس در سیاستهای گذار انرژی

۵. برقی سازی سایر بخشها

روند گسترده تر برق رسانی، از جمله سیستم های گرمایشی و فرآیندهای صنعتی، تقاضای مس را افزایش می دهد.



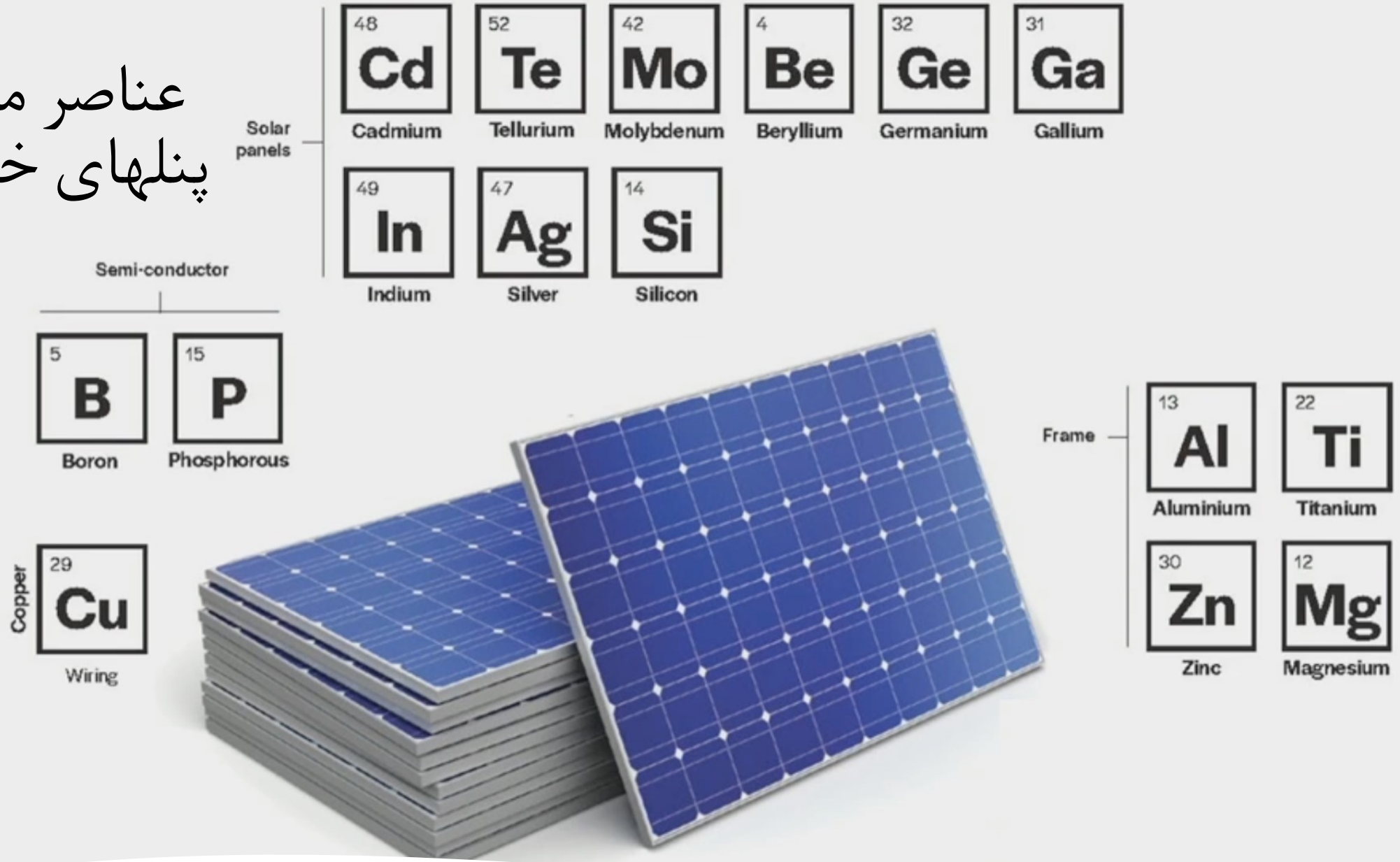
عناصر مورد نیاز توربین های بادی



(Simon et al., 2023)

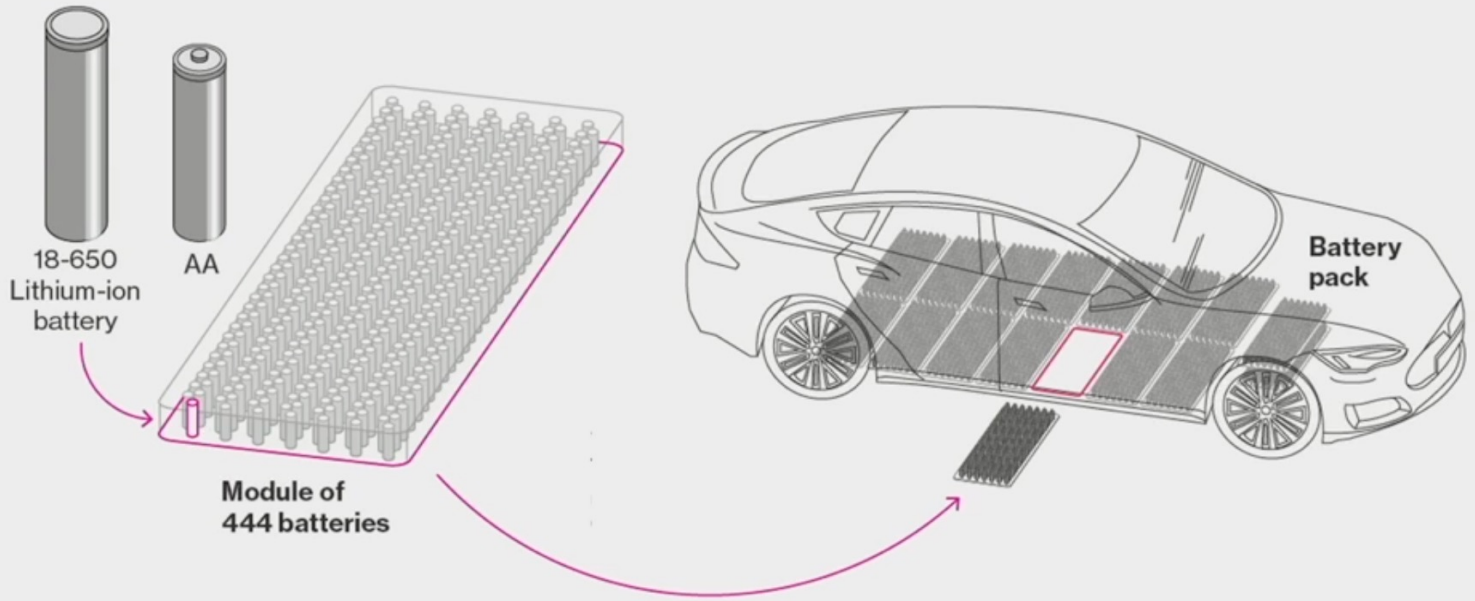
vimeo

عناصر مورد نیاز پنلهای خورشیدی



(Simon et al., 2023)

عناصر مورد نیاز خودروهای برقی



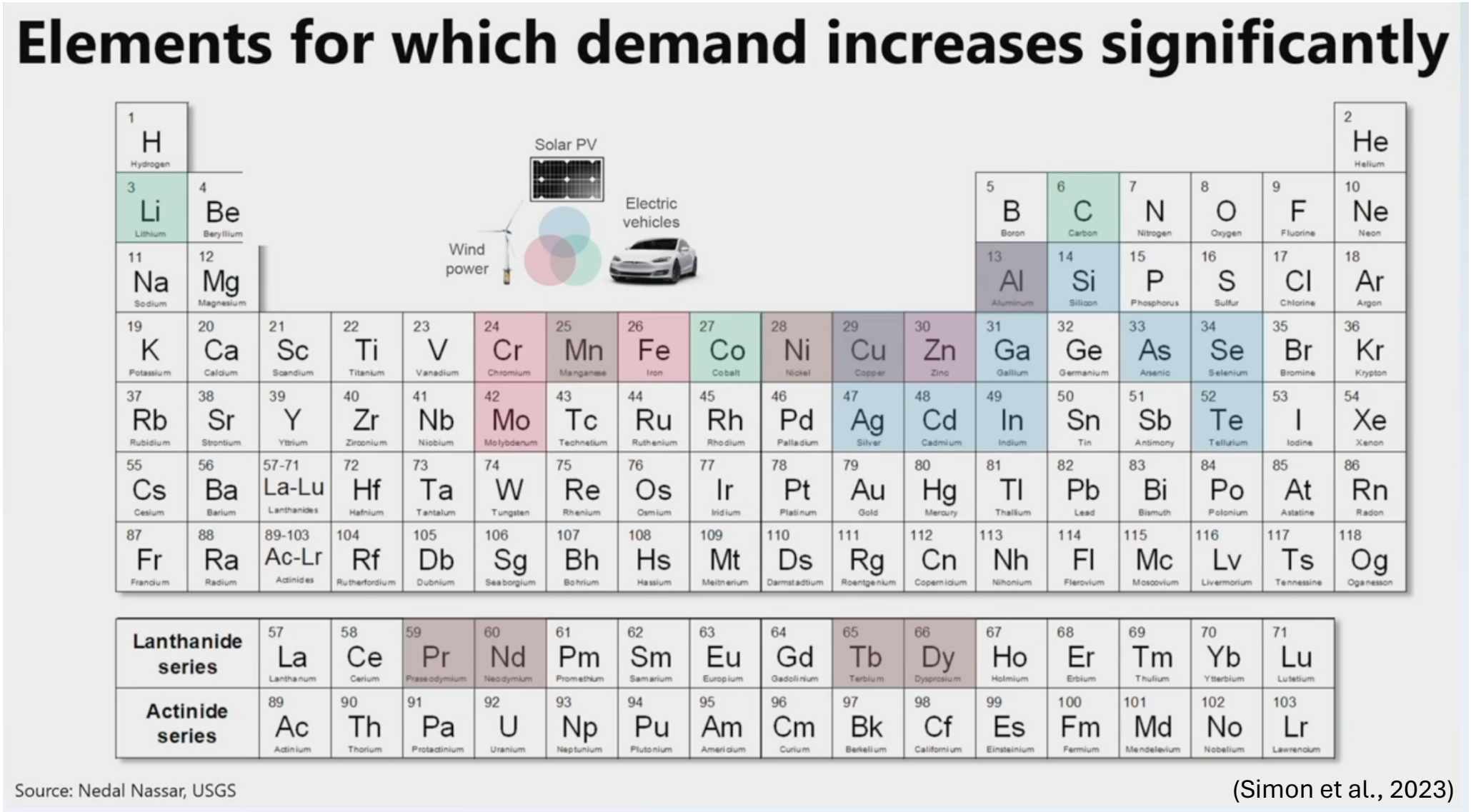
A typical battery electric vehicle contains

Lithium	10 kg
Copper	80 kg
Nickel	25 kg
Manganese	20 kg
Cobalt	15 kg
Rare Earth Metals	2-5 kg

Source: Australia Government

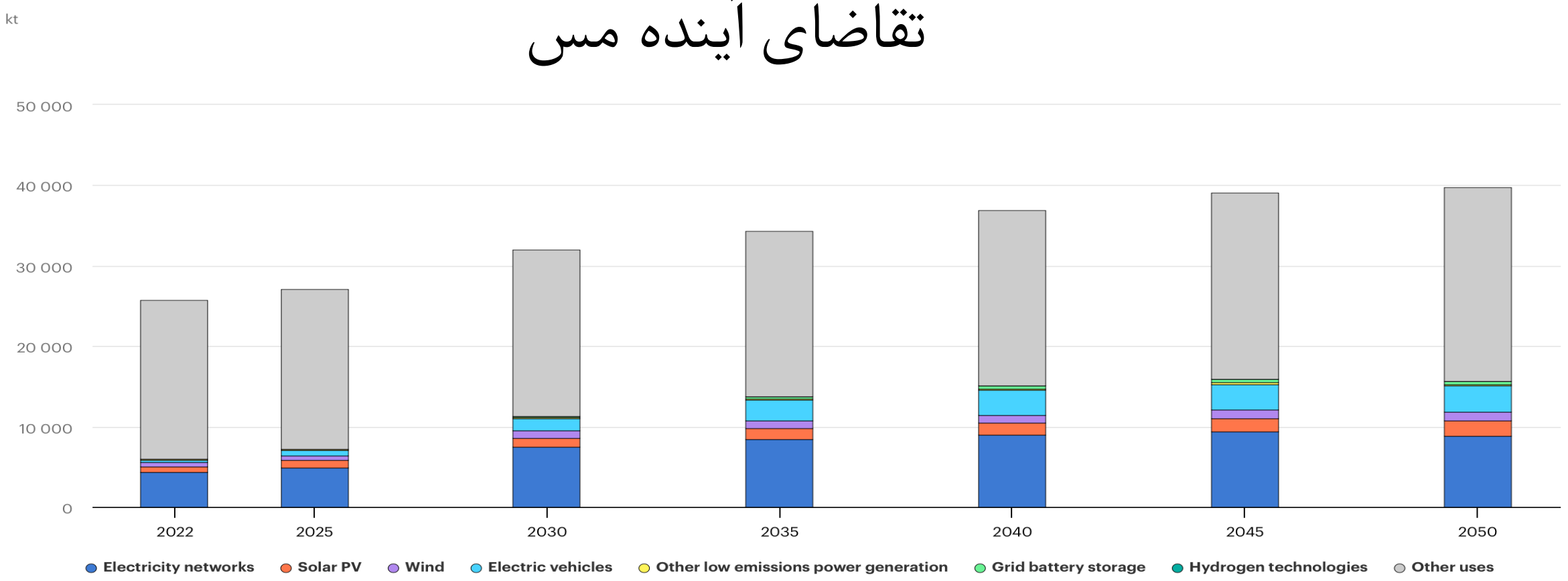
(Simon et al., 2023)

عناصر گذار انرژی



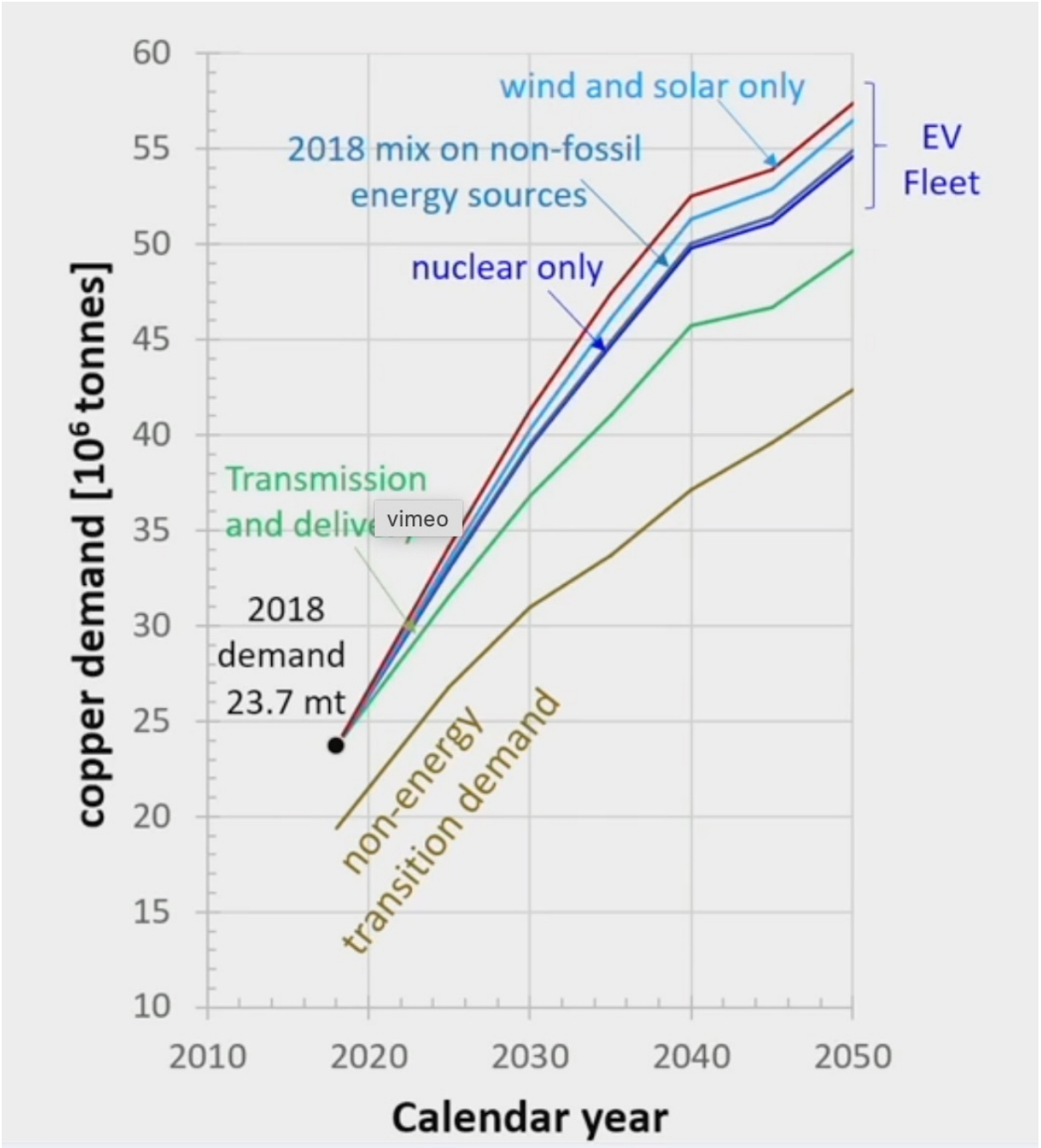
(Simon et al., 2023)

تقاضای آینده مس



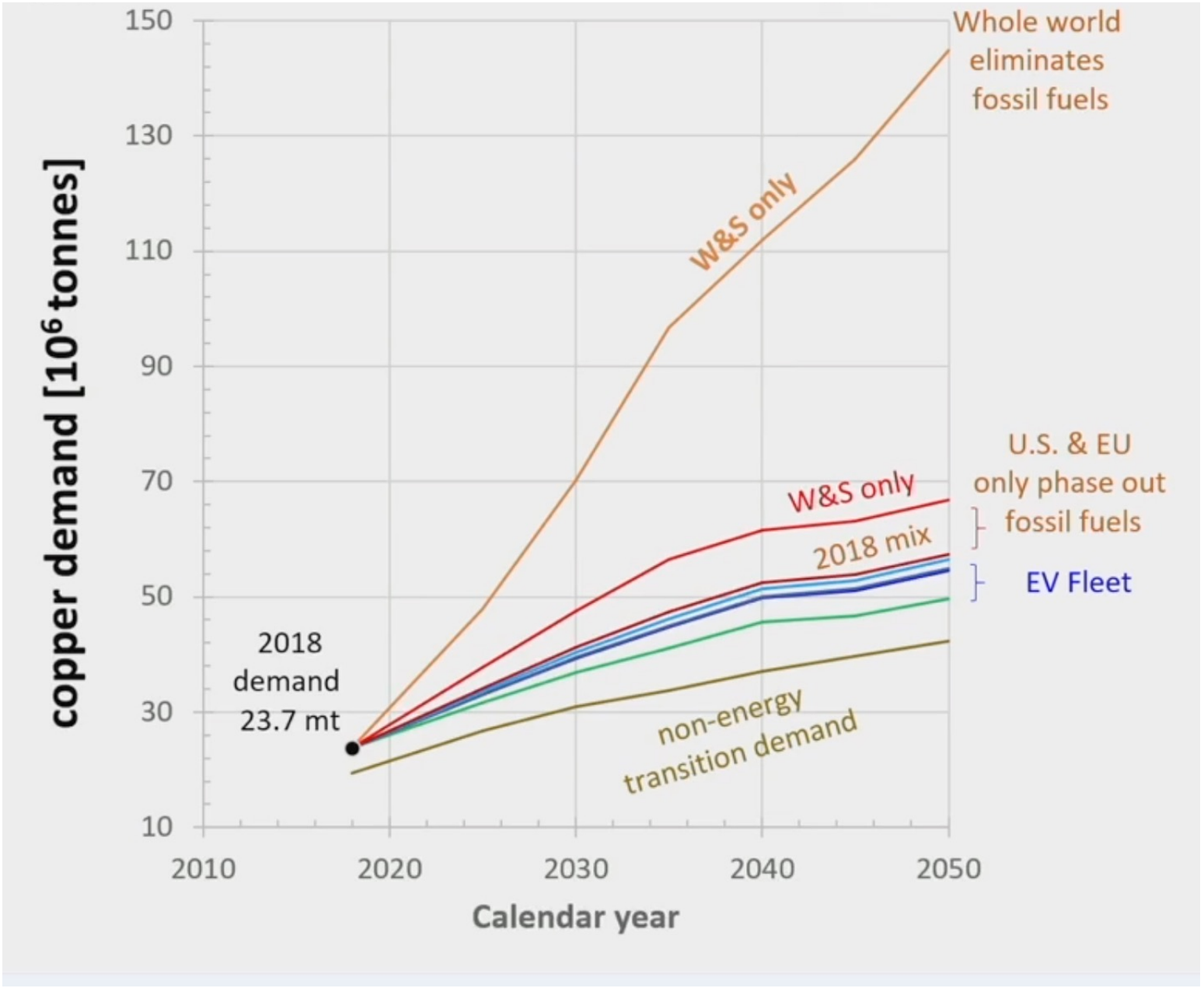
- پیش بینی می شود که **نیاز سالانه مس جهان تا سال ۲۰۴۰ به ۳۵ میلیون تن برسد** که بخشی از آن به دلیل حرکت به سمت منابع انرژی کم کربن و جهانی با انتشار کمتر کربن است (Arndt et al., 2017؛ آژانس بین المللی انرژی، 2021).
- برای برآورده ساختن نیازهای توربین‌های بادی، وسایل نقلیه الکتریکی و سایر فناوری‌های سبز، تولیدی برابر با **کل تولید مس در تاریخ (حدود ۶۴۰ میلیون تن) در دو دهه آینده** باید تضمین شود.

تقاضای مس جهت خودروهای الکتریکی



(Simon et al., 2024)

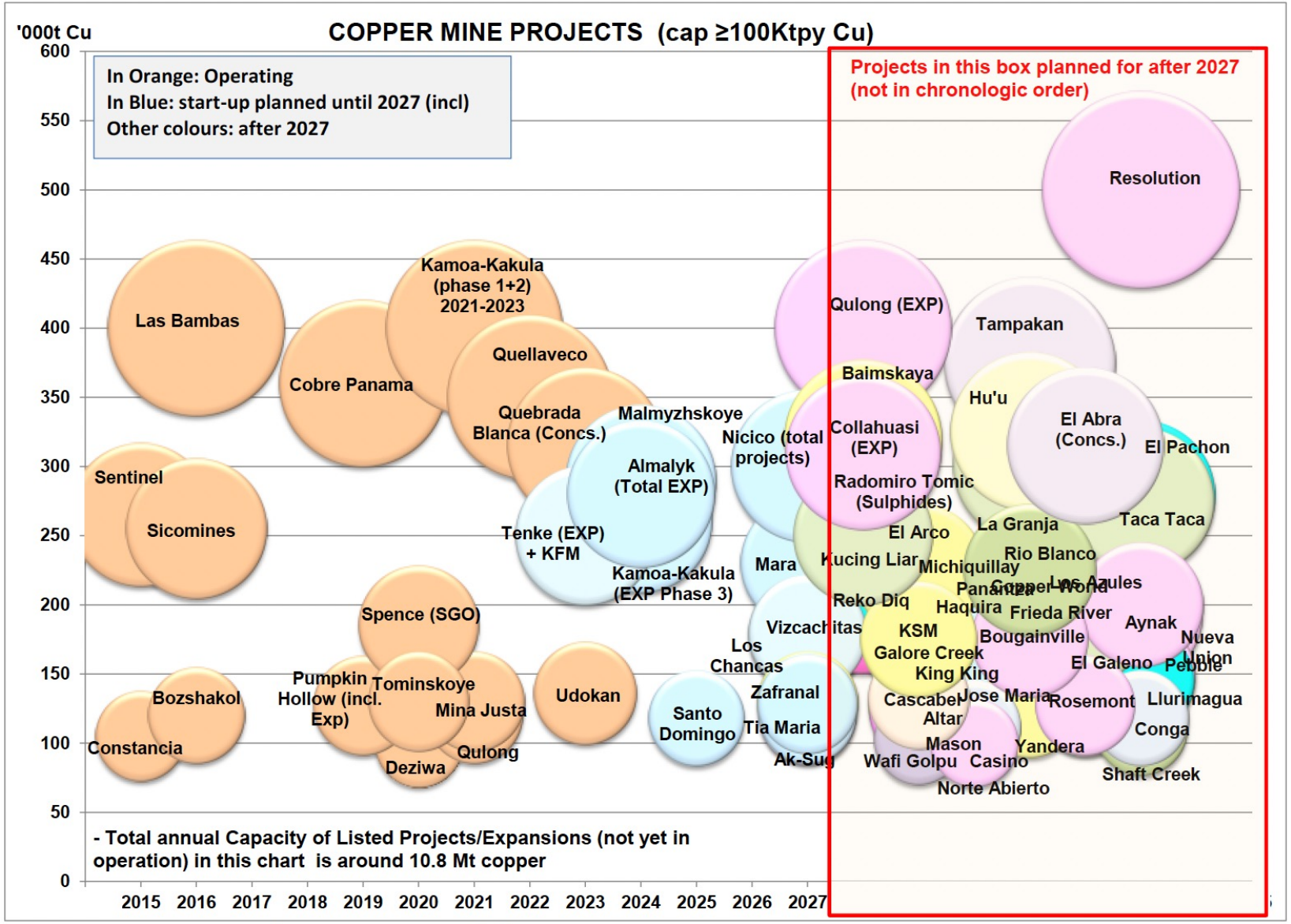
تقاضای کل مس ناشی از سیاستهای انتقال انرژی



(Simon et al., 2024)

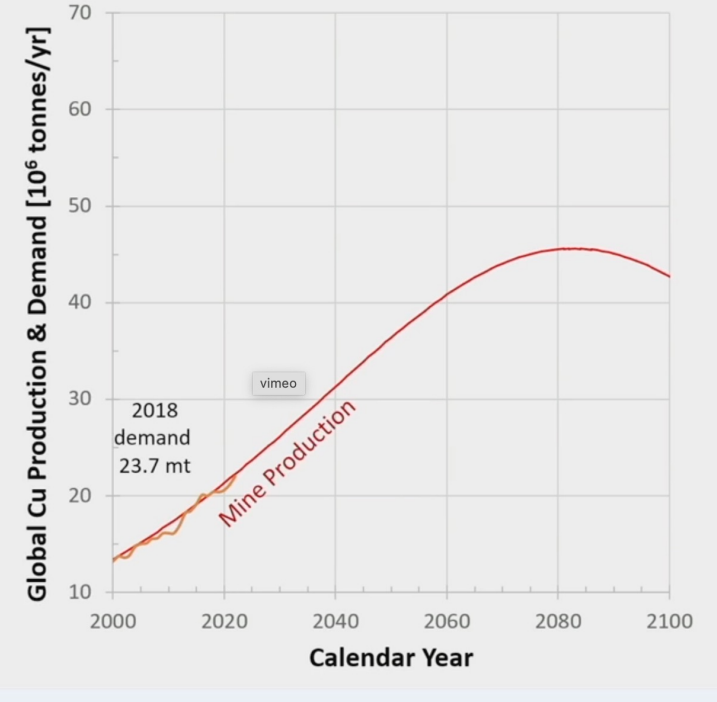
تولید معادن مس جهان

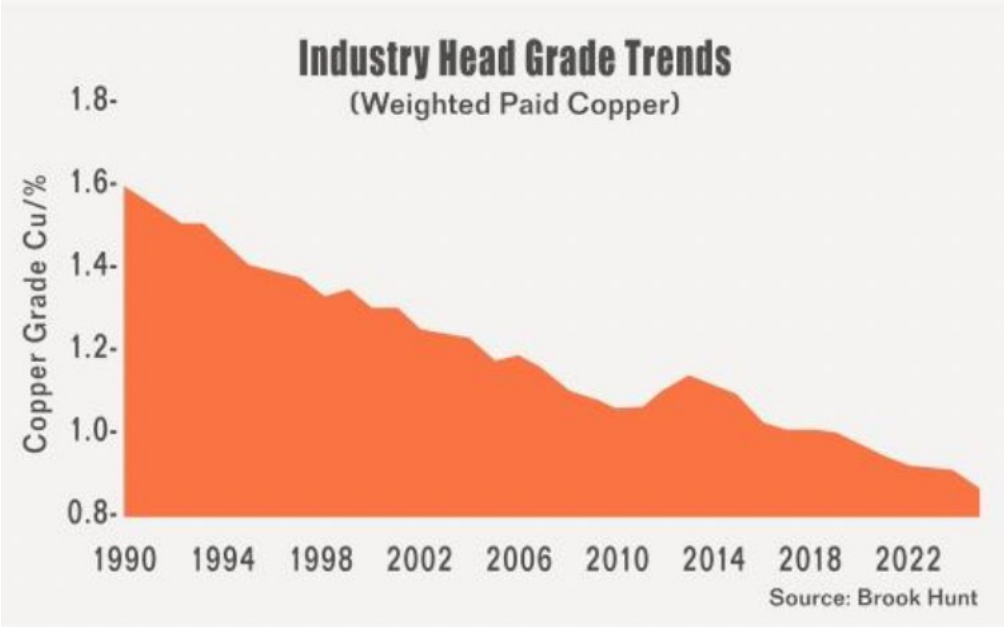
- صنعت مس با چالش افزایش تولید و در عین حال به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی و تضمین شیوه های پایدار مواجه است.



Source: ICSG Directory of Copper Mines and Plants

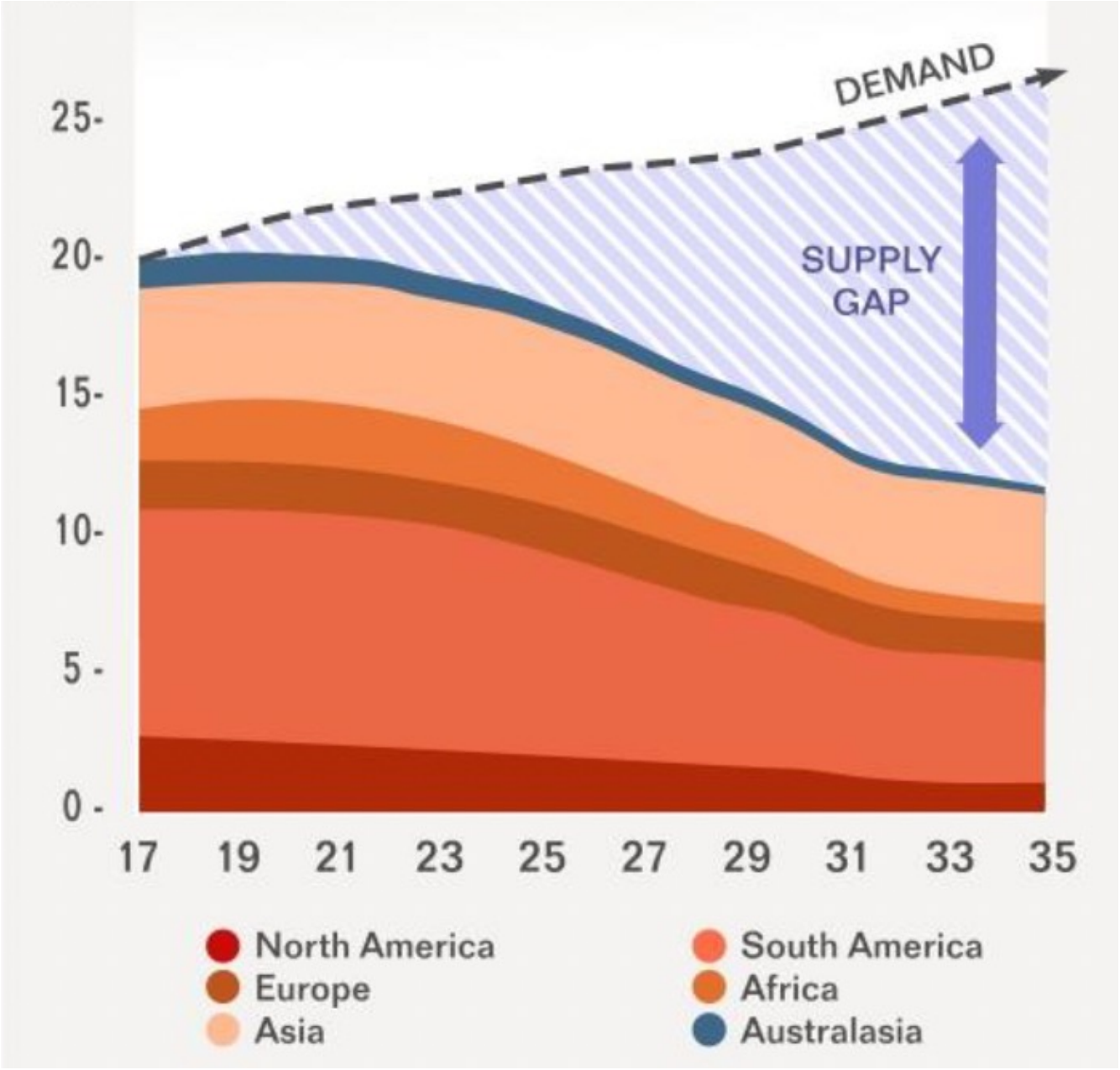
کاهش ذخیره معادن فعال، افزایش عمق، افزایش نسبت باطله برداری و کاهش عیار





فاصله عرضه و تقاضای مس

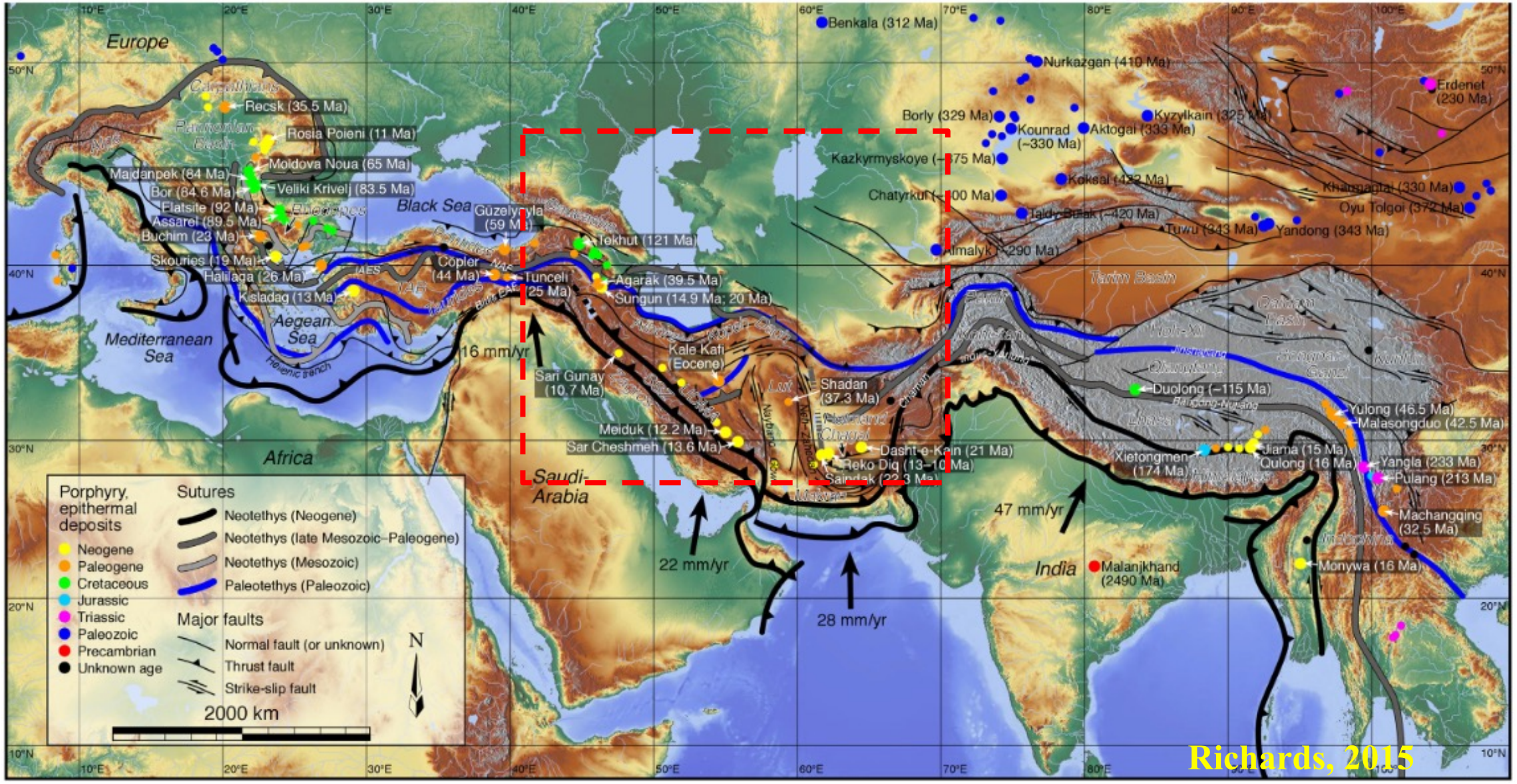
- تا سال ۲۰۲۵ حدود ۱۵ میلیون تن مس خالص کسری عرضه وجود دارد.
- این روندها بر اساس پیشرفت های تکنولوژیکی، نرخ بازیافت، جایگزینی با مواد دیگر و تحولات سیاستی در معرض تغییر هستند .
- نقش اساسی مس در کاربردهای الکتریکی، آن را به یک فلز حیاتی برای انتقال انرژی تبدیل می‌کند و روندهای کنونی نشان‌دهنده تقاضای قوی برای آینده قابل پیش‌بینی است.



بخش دوم
پتانسیل اکتشافی مس در ایران

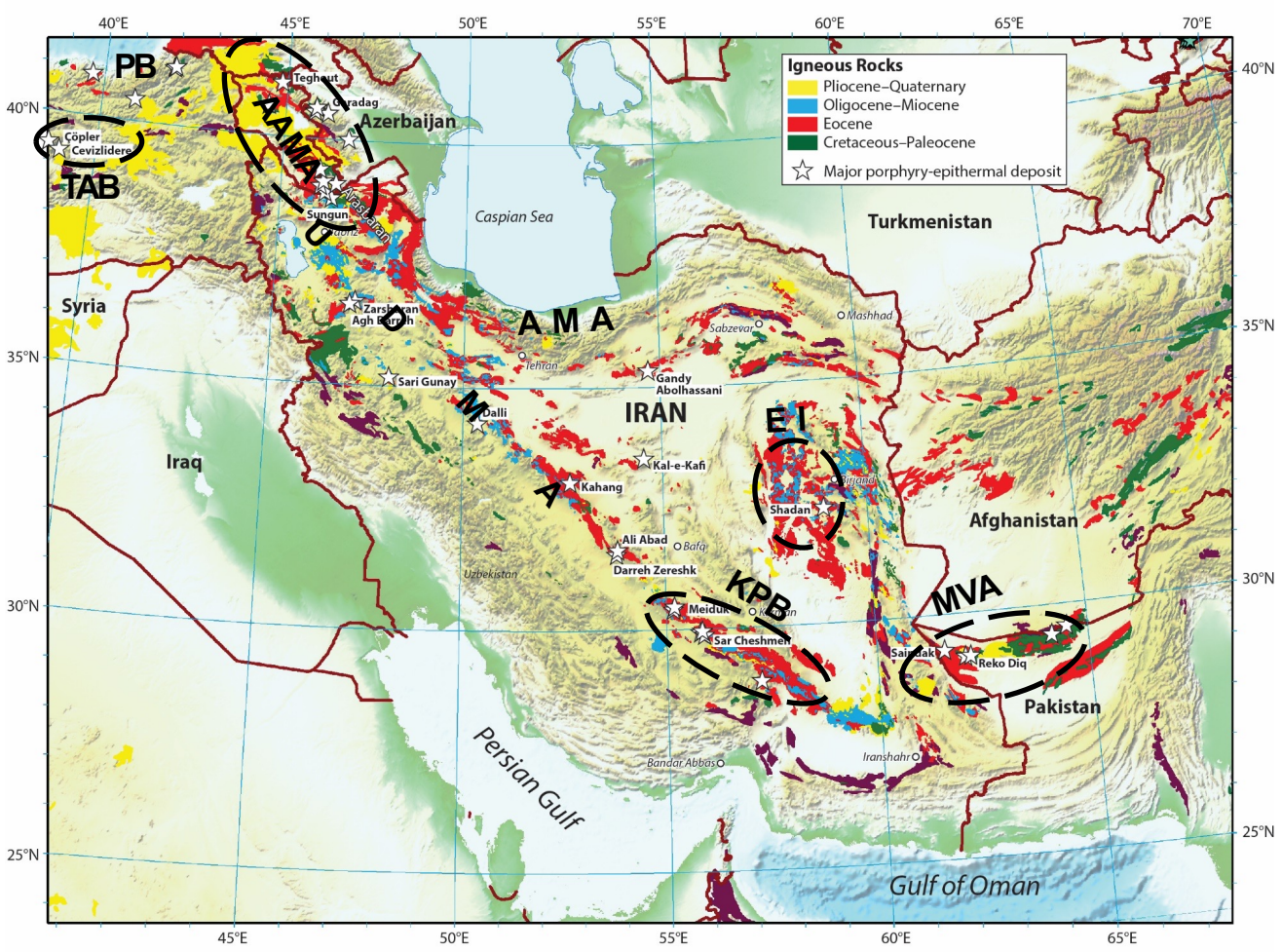
علی شعله

کمربند پورفیری نئوتتیس



کمانهای ماگمایی ایران

- Richards & Sholeh, 2016



TAB = Tauride–Anatolide Block

PB = Pontides belt

AAMA = Ahar-Arasbaran Magmatic Arc

UDMA = Urumieh–Dokhtar Magmatic Arc

AMA = Alborz Magmatic Arc

EI = East Iran zone

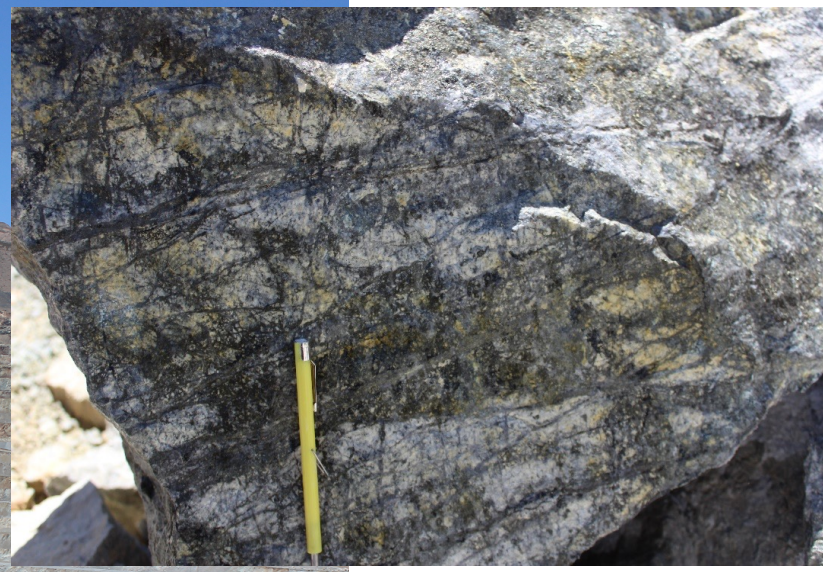
KPB = Kerman Porphyry Belt

MVA = Makran Volcanic Arc

KKh = Kashmar-Khaf zone

Giant Sungun Porphyry Deposit, 3446.30 Mt @ 0.48% Cu

- Intrusion: Micro-monzonite porphyry, monzonite, quartz monzonite
- Cretaceous limestone and volcanics
- Mineralization age: 21.01 ± 0.15 U-Pb zircon (Singer et al., 2008; Aghazadeh et al., 2015)



Giant Sarcheshmeh Porphyry Deposit, 3125.00 Mt @ 0.41% Cu

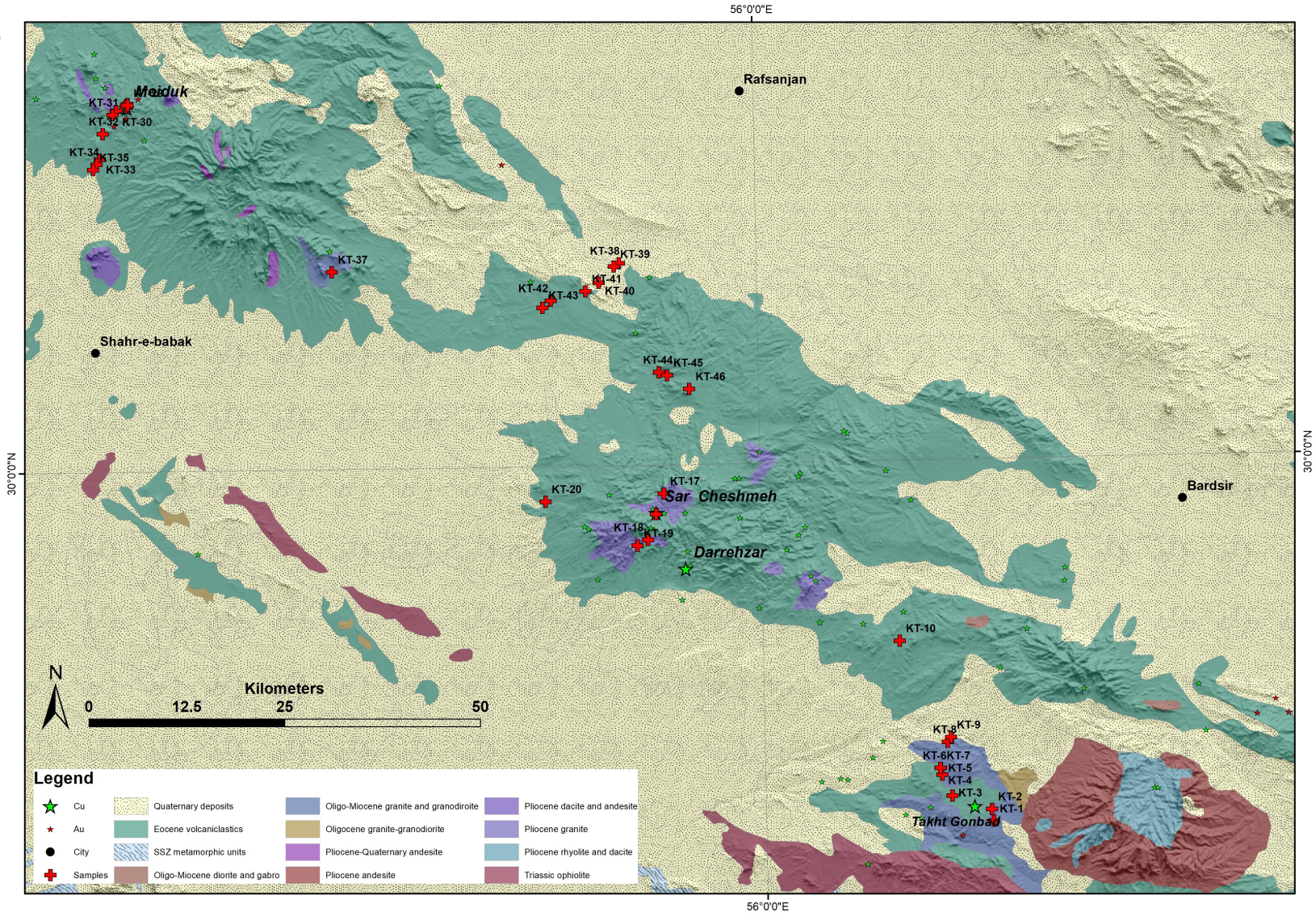
Meiduk Porphyry Deposit, 792.53 Mt @ 0.67% Cu

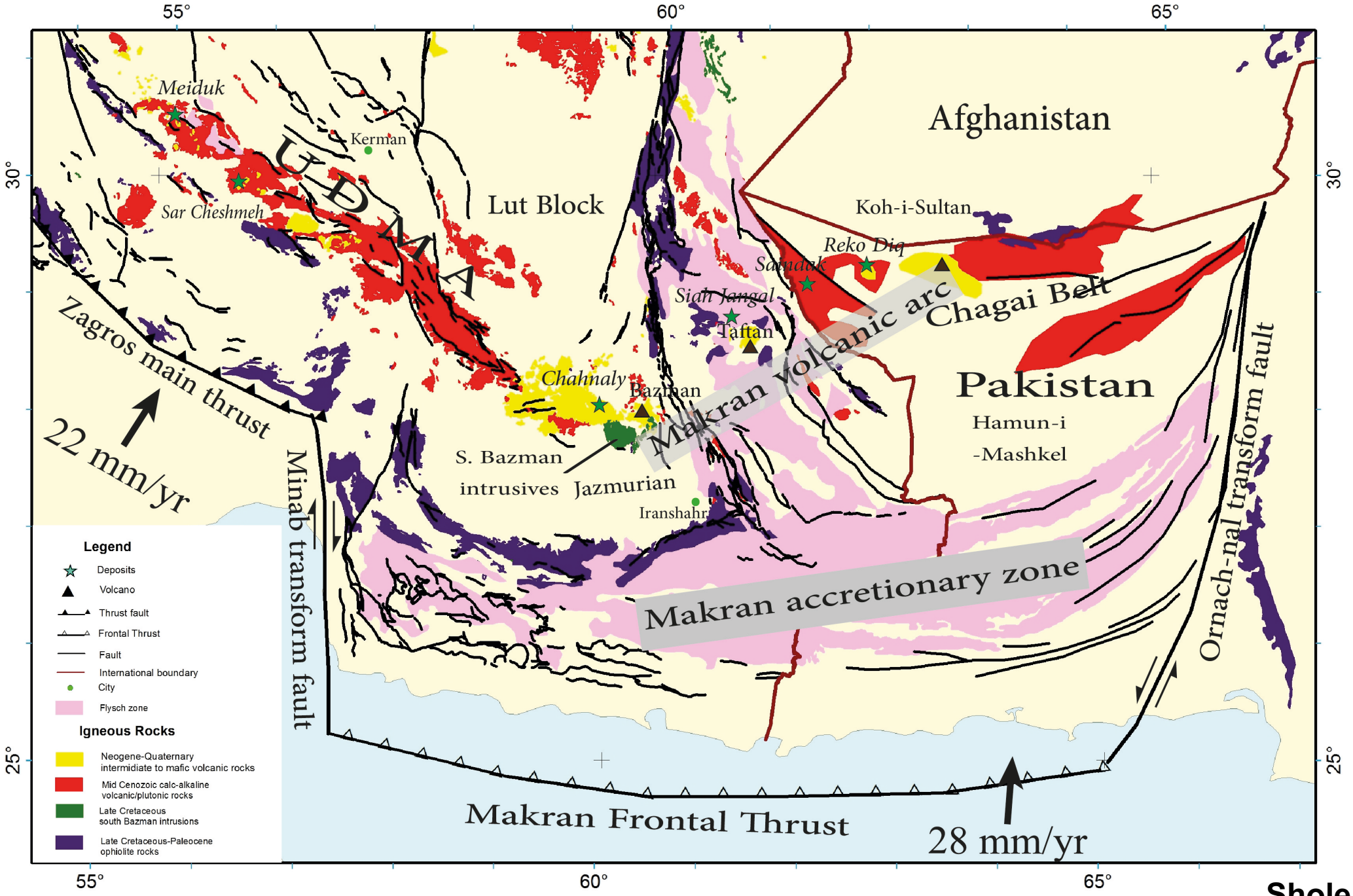
- Intrusion: Quartz diorite
- Intrusion age: 12.5 ± 0.1 Ma (U-Pb zircon)
- Mineralization age: 12.10 ± 0.07 Ma (Re-Os molybdenite)

نمونه برداری ناحیه ای

Kerman magmatic rock classification		
Group	**District**	**Mineralization**
Group 1	Takht Gonbad porphyry	Porphyry Mine
Group 2	Takht Gonbad regional	None
Group 3	Kuh-e-Panj regional	Porphyry Prospect
Group 4	Sar Cheshmeh porphyry	Porphyry Mine
Group 5	Sar Cheshmeh regional	None
Group 6	Meiduk porphyry	Porphyry Mine
Group 7	Meiduk regional	None
Group 8	Rafsanjan-1	None
Group 9	Neogene	None

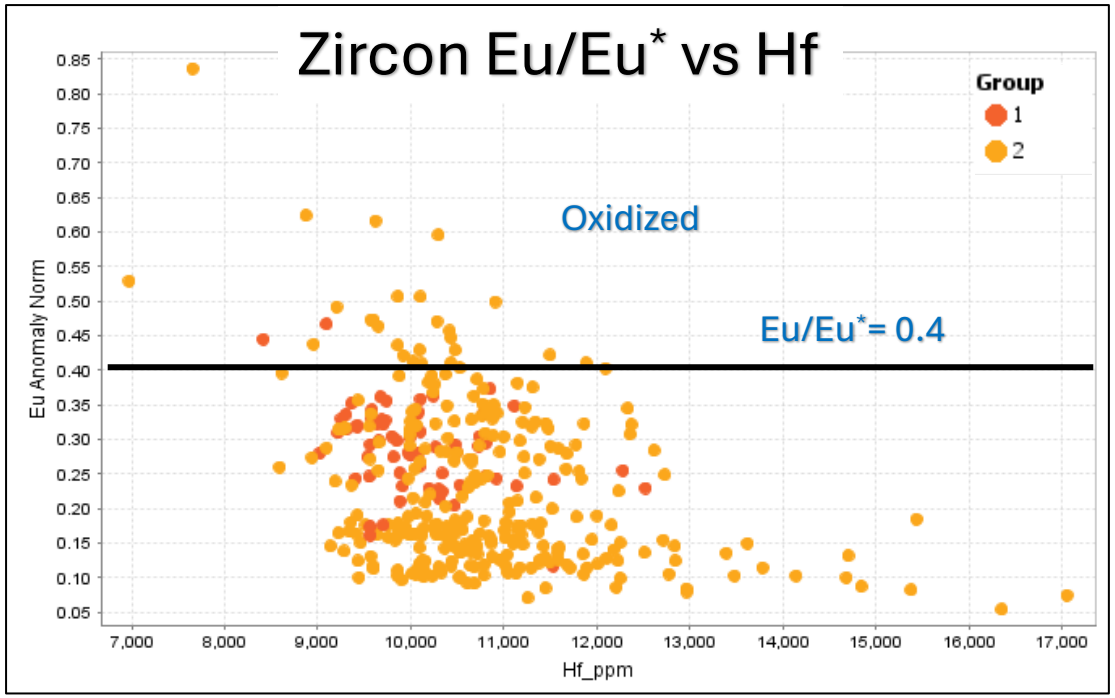
Sholeh & Richards, 2023

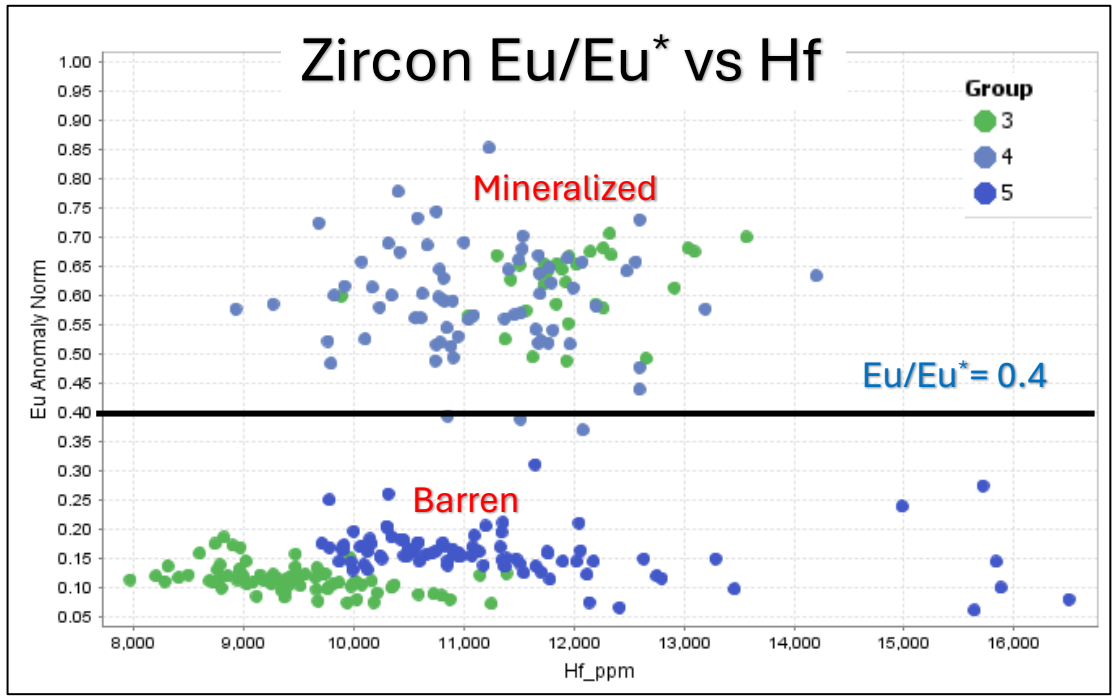




Sholeh et al., 2016

ماگمای بارور و عقیم در کمان ماگمایی کرمان





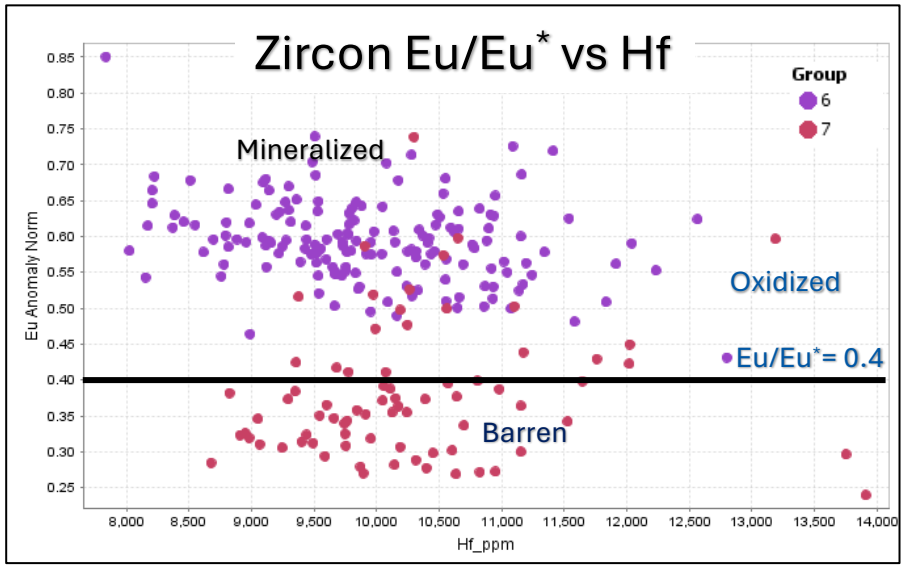
Kerman magmatic rock classification		
Group	**District**	**Mineralization**
Group 1	Takht Gonbad porphyry	Porphyry Mine
Group 2	Takht Gonbad regional	None
Group 3	Kuh-e-Panj regional	Porphyry Prospect
Group 4	Sar Cheshmeh porphyry	Porphyry Mine
Group 5	Sar Cheshmeh regional	None
Group 6	Meiduk porphyry	Porphyry Mine
Group 7	Meiduk regional	None
Group 8	Rafsanjan-1	None
Group 9	Neogene	None

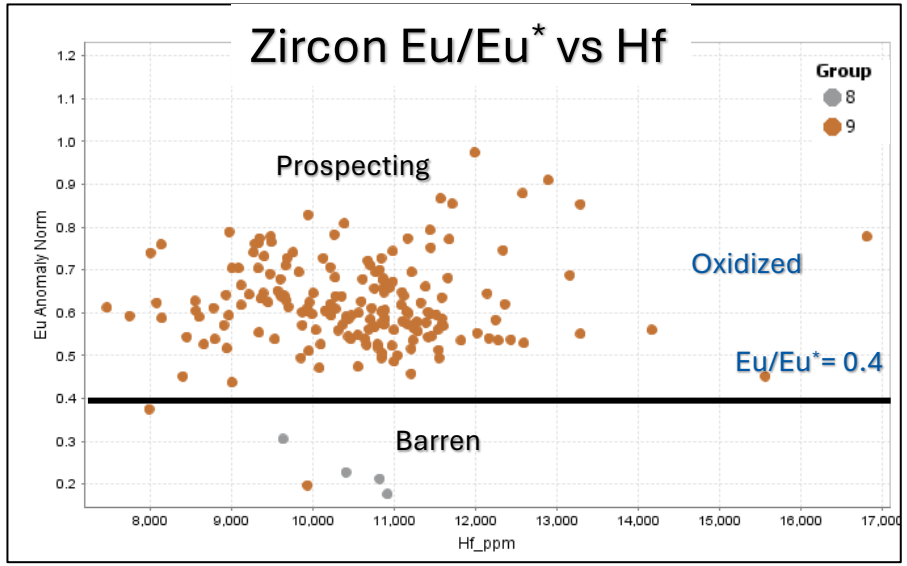
Redox Indicator ➡ $Eu/Eu^* \geq 0.4$

(Ballard et al., 2002; Dilles et al., 2015)

Sholeh & Richards, 2023

ماگمای بارور و عقیم در کمان ماگمایی کرمان

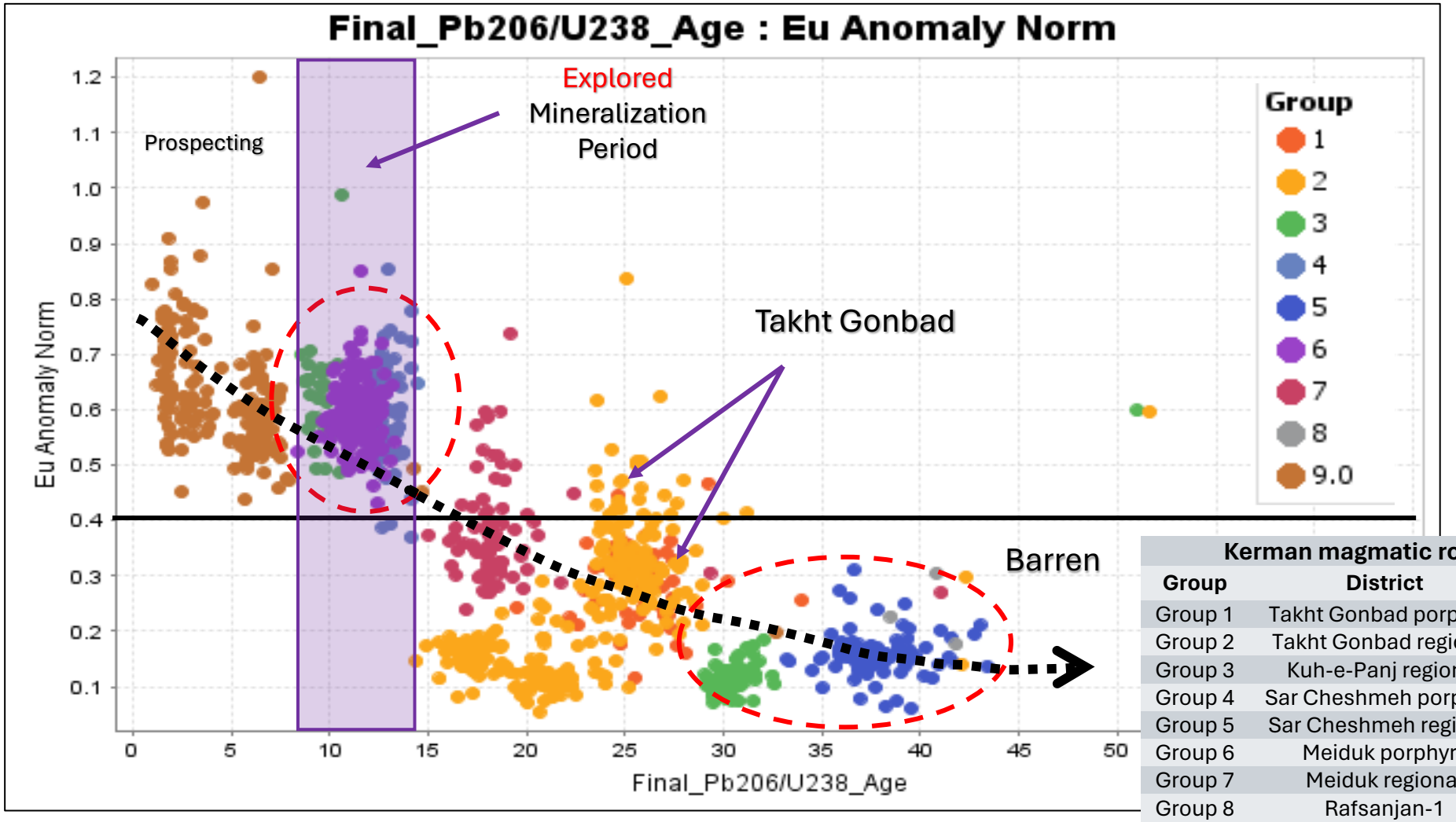




Kerman magmatic rock classification		
Group	**District**	**Mineralization**
Group 1	Takht Gonbad porphyry	Porphyry Mine
Group 2	Takht Gonbad regional	None
Group 3	Kuh-e-Panj regional	Porphyry Prospect
Group 4	Sar Cheshmeh porphyry	Porphyry Mine
Group 5	Sar Cheshmeh regional	None
Group 6	Meiduk porphyry	Porphyry Mine
Group 7	Meiduk regional	None
Group 8	Rafsanjan-1	None
Group 9	Neogene	None

Sholeh & Richards, 2023

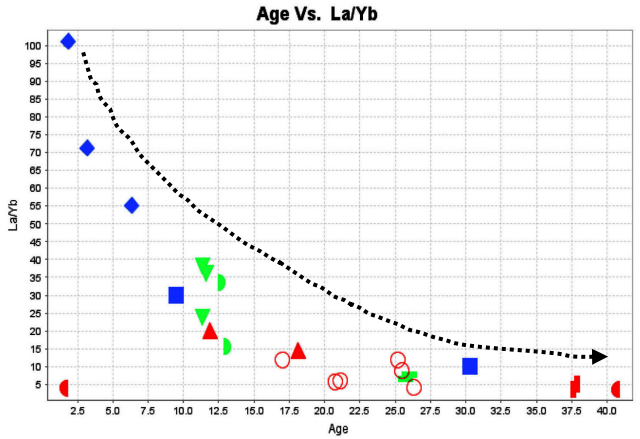
روند باروری نسبت به زمان زمین شناسی در کمربند پورفیری کرمان

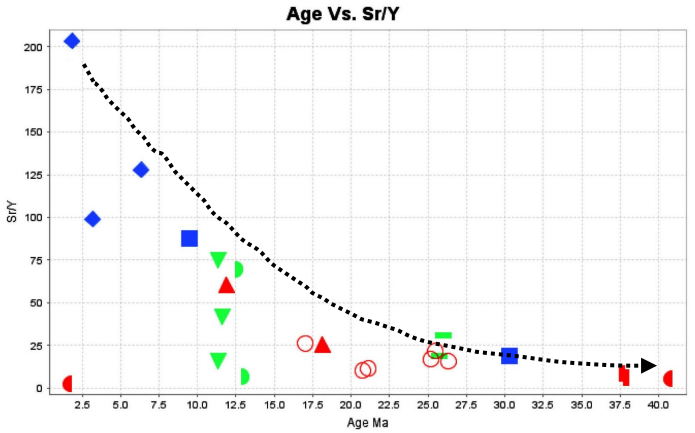


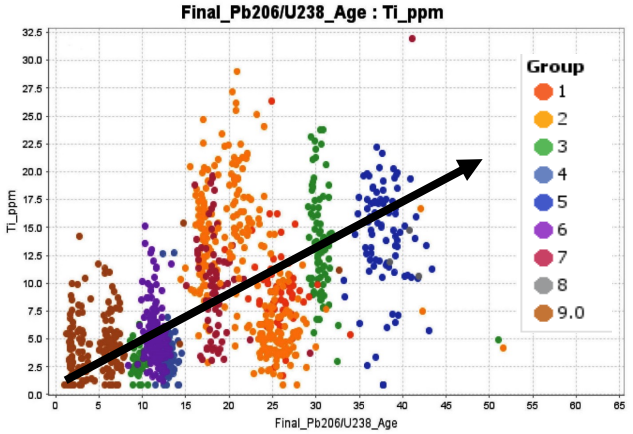
Kerman magmatic rock classification		
Group	**District**	**Mineralization**
Group 1	Takht Gonbad porphyry	Porphyry Mine
Group 2	Takht Gonbad regional	None
Group 3	Kuh-e-Panj regional	Porphyry Prospect
Group 4	Sar Cheshmeh porphyry	Porphyry Mine
Group 5	Sar Cheshmeh regional	None
Group 6	Meiduk porphyry	Porphyry Mine
Group 7	Meiduk regional	None
Group 8	Rafsanjan-1	None
Group 9	Neogene	None

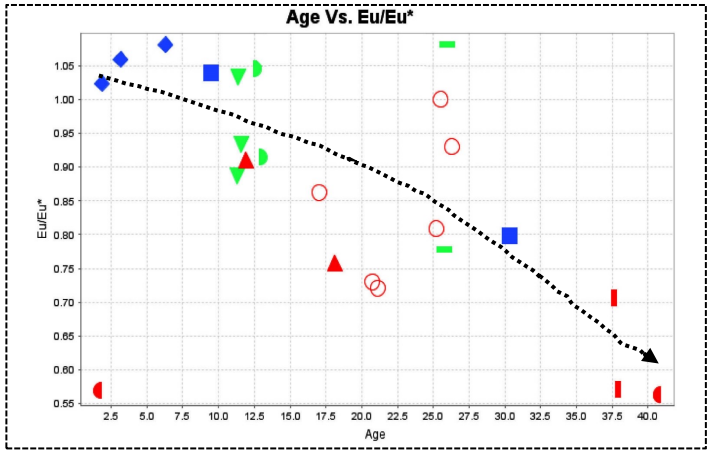
Sholeh & Richards, 2023

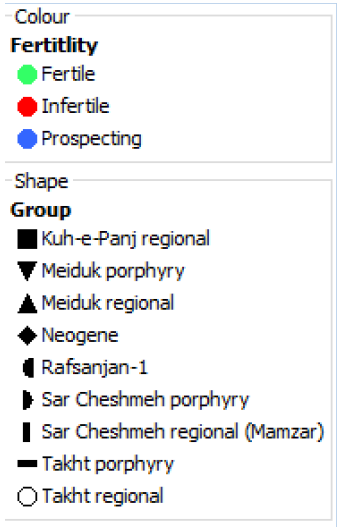
روند باروری سنگهای ماگمایی کرمان











Sholeh & Richards, 2023

نتایج

مسایل زیست محیطی چالش آینده جهان خواهد بود.دوره بازگشت بلایای طبیعی بطور فزاینده کوتاه تر شده و شدت آنها بیشتر خواهد شد.

جهت کم کردن آثار مخرب تغییرات اقلیمی با کاهش تولید گازهای گلخانه ای، کشورها بر سیاستهای گذار انرژی تأکید دارند.

سیاستهای گذار انرژی به منابع بسیار زیادی از عناصری نظیر مس، کبالت، نیکل، منگنز، لیتیوم و عناصر نادر خاکی نیاز خواهد داشت. به نحوی که میزان تقاضای بعضی از این عناصر تا ۷ برابر کنونی خواهد رسید.

با توجه به کسری بسیار زیاد تولید این فلزات بخصوص مس، سرمایه گذاری در جهت یافتن منابع قابل اتکا از این عناصر، آینده کشورها را تضمین خواهد کرد.

ایران از نظر داشتن منابع مناسب مس، در صورت توسعه همه جانبه و به موقع چه در اکتشاف و چه در تولید محصولات نهایی می تواند موقعیت مناسبی در آینده داشته باشد.