



The CLEAN PAPER

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

ردپای جنگل زدایی معدن بسیار فراتر از خود گودال می رود

یک مطالعه در *Nature* روی ۱۶،۶۲۷ خوشه معدن در جنگل های انبوه آفریقای زیرسحرا، حدود ۱۸۷ هزار هکتار جنگل زدایی مستقیم ناشی از معدن را بین ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ برآورد می کند، اما داستان بزرگ تر بیرون از خود معدن است. در مقایسه با نواحی بدون معدن، پس از ده سال جنگل زدایی در فاصله یک کیلومتری معدن روی مقیاس صفر تا ۱۰۰ حدود ۸ واحد بیشتر بود و اثرها تا ۲۰ کیلومتر ادامه داشتند. در محاسبه ای جداگانه، به طور میانگین هر هکتار پاک تراشی مستقیم معدن طی پنج سال با ۳۳،۹ هکتار از دست رفتن اضافی جنگل در بیرون از محدوده همراه بود. این به معنای بد بودن گذار انرژی نیست؛ یعنی زنجیره تأمین مواد معدنی جغرافیا دارد و هزینه جنگلی آن اغلب از خود گودال بزرگ تر است.

Written by Laura Nesso · Cross-checked by Lucio Vaglio · Edited by Michele Renda · Figures by Laura Nesso and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *Mining triggers extensive additional deforestation in sub-Saharan Africa*, Oscar Morton, Christopher G. Bousfield, Prince Dégny Valé, Ieuan Lamb, Victor Maus, Robert G. Bryant, and David P. Edwards, *Nature* (2026) · DOI: 2-10551-026-s41586/1038.10

ردپای معدن فقط همان سوراخ در جنگل نیست

یک معدن شکل واضحی دارد. گودال، حوضچه باطله، توده پسماند، جاده‌ای که در جنگل بریده شده. این‌ها نشانه‌هایی‌اند که ماهواره می‌تواند ببیند و نهاد ناظر می‌تواند دورشان خط بکشد.

اما استخراج، زمین پیرامونش را هم تغییر می‌دهد. آدم‌ها می‌آیند. جاده‌ها دسترسی به جنگل را آسان‌تر می‌کنند. سکونتگاه‌ها رشد می‌کنند. کشاورزی گسترش می‌یابد. معدن فقط زخمی روی نقشه نیست؛ می‌تواند به مرکز جاذبه تازه‌ای تبدیل شود.

مقاله‌ای در Nature این تفاوت را در سراسر آفریقای زیر صحرای عددی می‌کند. نویسندگان جنگل‌زدایی مستقیم ناشی از معدن را در جنگل‌های انبوه بین ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ برآورد می‌کنند و سپس می‌پرسند در اطراف معدن‌ها، در مقایسه با مکان‌های مشابهی که هنوز معدن کاری در آن‌ها آغاز نشده بود، چه مقدار جنگل بیشتری از دست می‌رود. نتیجه ساده و ناراحت کننده است: ردپای مستقیم معدن فقط بخش قابل دیدن ماجراست.



تصویر Landsat با رنگ طبیعی، آثار معدن کاری طلای صنعتی و artisanal را در کمرند طلای Ashanti در غنا نشان می‌دهد. مطالعه مورد بحث می‌پرسد جنگل‌زدایی مرتبط با معدن تا چه فاصله‌ای فراتر از خود ردپای معدن امتداد پیدا می‌کند.

NASA Earth Observatory / Lauren Dauphin Public domain

این نتیجه برای سیاست اقلیم و تنوع زیستی مفید است، چون دو واقعیت را هم‌زمان در یک قاب نگه می‌دارد. زیرساخت مدرن و گذار انرژی به مواد معدنی نیاز دارند. اما این مواد از هیچ‌جا ظاهر نمی‌شوند. پرسش تمیز این نیست که بایک شعار بگوییم معدن خوب است یا بد؛ این است که آیا هزینه کامل جنگل آن صادقانه اندازه‌گیری می‌شود یا نه.

نویسندگان چه کردند

مطالعه داده‌های جنگل و کاربری زمین در مقیاس قاره‌ای را بایک طراحی استنباط علی ترکیب می‌کند. نویسندگان ۱۶۶۲۷ خوشه معدن را در مناطق جنگلی آفریقای زیرصحرای بین ۲۰۰۱ و ۲۰۲۰ نقشه‌برداری کردند. آن‌ها دو نوع از دست رفتن جنگل را جدا کردند.

اول جنگل‌زدایی مستقیم ناشی از معدن است: پاک‌سازی درون خود ردپای معدن، از جمله گودال‌ها، حوضچه‌های باطله، توده‌های پسماند، چاه‌ها و دیگر عوارضی که مستقیم به عملیات معدن مرتبط‌اند.

دوم جنگل‌زدایی خارج از محل (offsite) است: از دست رفتن جنگل در اطراف معدن که خود گودال نیست، اما ممکن است با ایجاد معدن و فعالیت‌های جانبی — کشاورزی، سکونتگاه، جاده و دیگر مسیرهای دسترسی — تحریک شود.

برای برآورد بخش دوم، نویسندگان از چارچوب difference-in-differences استفاده کردند. به زبان ساده، از دست رفتن جنگل اطراف معدن را پیش و پس از شروع معدن کاری با از دست رفتن جنگل در مکان‌های مشابهی که هنوز معدن کاری نشده بودند مقایسه کردند. سپس فاصله‌های متحدالمرکز از مرکز معدن را بررسی کردند: کمتر از ۱ کیلومتر، ۱ تا ۵ کیلومتر، ۵ تا ۱۰ کیلومتر و ۱۰ تا ۲۰ کیلومتر.

این طراحی مهم است چون مقاله صرفاً تعداد درختان از دست‌رفته نزدیک معدن را نمی‌شمارد. تلاش می‌کند «اتلاف اضافی» قابل‌انتساب به ایجاد معدن را نسبت به روند فرضی در مناطق بدون معدن برآورد کند.

چه پیدا کردند

اتلاف مستقیم ناشی از معدن بزرگ بود. در جنگل‌های انبوه آفریقای زیرصحرای نویسندگان بین ۲۰۰۱ و ۲۰۲۰ حدود ۱۸۷،۰۷۰ هکتار جنگل‌زدایی مستقیم ناشی از معدن برآورد می‌کنند. جمهوری دموکراتیک کنگو، غنا و ساحل عاج در مجموع ۴۵٪ این اتلاف مستقیم را تشکیل می‌دادند.

اتلاف پیرامونی از خود ردپا بزرگ‌تر بود. پس از ایجاد معدن، جنگل‌زدایی تجمعی در فاصله کمتر از ۱ کیلومتر پس از ده سال ۸ واحد روی مقیاس صفر تا ۱۰۰ بیشتر از مناطق بدون معدن بود. این تفاوت مطلق در نرخ جنگل‌زدایی است، نه افزایش نسبی ۰.۸٪ اثر با فاصله کم شد، اما ناپدید نشد: پس از ده سال، مطالعه تفاوت‌های اضافی ۳،۶ واحد در ۱ تا ۵ کیلومتر، ۱،۹ واحد در ۵ تا ۱۰ کیلومتر و ۱،۱ واحد در ۱۰ تا ۲۰ کیلومتر برآورد می‌کند.

این اعداد وابسته به زمان‌اند. اثرهای ده‌ساله‌اند، نه اتلاف فوری.

نسبت offsite به مستقیم چشمگیر بود. در محاسبه‌ای جداگانه، نویسندگان تخمین می‌زنند به ازای هر هکتار جنگلی که مستقیم در ردپای معدن پاک شده، طی پنج سال به‌طور میانگین ۳۳،۹ هکتار جنگل انبوه اضافی در بیرون از محل از دست رفته است. بیشتر این اتلاف

اضافی با گسترش کشاورزی ای مرتبط بود که ایجاد معدن آن را تحریک کرده بود؛ توسعه سکونتگاه نیز مهم بود و سهم جاده‌ها در تفکیک نویسندگان کوچک تر بود.

این عدد نیز زمان‌ویژه است: نسبت پنج ساله offsite/direct است. نباید آن را با اثرهای ده ساله روی مقیاس صفر تا ۱۰۰ قاطی کرد. اثر همه‌جا یکسان نبود. مطالعه دربارهٔ جمهوری دموکراتیک کنگو نگرانی شدید گزارش می‌کند، چون هم ردپای مستقیم معدن بزرگی داشت و هم اتلاف offsite اضافی بزرگی. بعضی کشورهای دیگر اثرهای نسبی offsite بالایی داشتند اما ردپای مستقیم کوچک تر. در سطح کالا، معدن‌های استخراج‌کننده کجالت و مس — مواد کلیدی برای باتری، زیرساخت برق و گذار انرژی — در برآورد مطالعه بیشترین جنگل‌زدایی اضافی کل را ایجاد کردند.

چرا بخش offsite مهم است

ارزیابی محیط‌زیستی اغلب از مرز مستقیم پروژه شروع می‌شود. قابل فهم است. گودال دیده می‌شود، مجوز محدوده دارد و شرکت می‌تواند زیرساختی را که می‌خواهد بسازد توصیف کند.

اما جنگل فقط به مرزهای قانونی واکنش نشان نمی‌دهد. به دسترسی و انگیزه‌ها هم واکنش دارد. معدن می‌تواند جاده، کارگر، پول، سکونتگاه و تقاضای غذا بیاورد. این‌ها می‌توانند جنگل نزدیک را به زمینی تبدیل کنند که پاک کردنش آسان‌تر، سودآورتر یا ضروری‌تر است.

به همین دلیل قوی‌ترین ایده مقاله یک عدد نیست. تفاوت میان اتلاف مستقیم و اتلاف تحریک شده است.

اگر یک زنجیره تأمین فقط ردپای معدن را حساب کند، ممکن است تغییر کاربری زمین ناشی از استخراج را کمتر از واقع برآورد کند. اگر ارزیابی اثر محیط‌زیستی در مرز اجاره متوقف شود، ممکن است جنگل‌زدایی‌ای را نبیند که پروژه احتمال وقوعش را بیشتر می‌کند. و اگر محصولی چون برای انرژی تجدیدپذیر لازم است «پاک» بازایی شود، این به‌طور خودکار زنجیره مادی آن را پاک نمی‌کند.

این مقاله چه چیزی را اثبات نمی‌کند

- نشان نمی‌دهد گذار انرژی بد است. نشان می‌دهد مواد معدنی مورد استفاده در زیرساخت مدرن، از جمله مواد گذار انرژی، می‌توانند هزینه بزرگ کاربری زمین داشته باشند.
- معنایش این نیست که هر معدن دقیقاً به ازای هر هکتار اتلاف مستقیم، ۳۳٫۹ هکتار اتلاف offsite ایجاد می‌کند. این میانگین برآورد شده در مجموعه بزرگی از خوشه‌های معدن است، نه پیش‌بینی برای یک پروژه خاص.
- اثبات نمی‌کند هر درختی که نزدیک معدن از بین رفته، به خاطر همان معدن قطع شده. مطالعه با طراحی شبه‌آزمایشی اثر اضافی را در مقیاس جمعیتی برآورد می‌کند.
- مسئولیت را به شرکت، مجوز یا خریدار مشخصی نسبت نمی‌دهد. چنین کاری نیازمند رهگیری پروژه‌محور فراتر از این مقاله است.
- همه پیامدهای معدن کاری را پوشش نمی‌دهد. آلودگی آب، شرایط کار، تکه‌تکه شدن زیستگاه، تعارض حقوقی و جابه‌جایی اجتماعی خارج از اندازه‌گیری اصلی جنگل‌زدایی‌اند.
- کل جهان را پوشش نمی‌دهد. تحلیل روی جنگل‌های انبوه آفریقای زیر صحرای متمرکز است.

قدرت شواهد چقدر است؟

برای برآورد جنگل‌زدایی مستقیم، شواهد در مقیاس قاره‌ای قوی است. مطالعه از مجموعه داده‌های منتشرشده کاربری زمین و پوشش جنگل برای شناسایی از دست رفتن جنگل مستقیماً مرتبط با عوارض معدن استفاده می‌کند.

برای اتلاف اضافی offsite نیز شواهد قابل توجه است، اما مدل‌محور. difference-in-differences برای برآورد اثر علی از داده مشاهده‌ای طراحی شده، به‌ویژه وقتی آزمایش تصادفی ممکن نیست. نویسندگان از روش‌های جدید مقاوم به ناهمگنی استفاده می‌کنند و استحکام نتیجه را با برآوردگرهای جایگزین می‌آزمایند. این روش خوبی است.

با این حال نتیجه باید در مقیاس درست خوانده شود. مقاله شاهد قوی است که در کل سامانه مورد مطالعه، ایجاد معدن با جنگل‌زدایی اضافی فراتر از ردپای معدن همراه است. اما اعتراف ماهواره‌ای تک‌تک درختان نیست.

پس مفیدترین خوانش عمومی نه وحشت است و نه رد کردن نتیجه. انضباط اندازه‌گیری است: اگر معدن یک چشم‌انداز را باز می‌کند، ارزیابی اثر باید آن‌سوی حصار را هم ببیند.

چرا مهم است

عبارت «انرژی پاک» می‌تواند یک جهان مادی را پنهان کند. پنل خورشیدی، باتری، خطوط انتقال، خودروی برقی و مرکز داده همگی به مواد استخراج‌شده نیاز دارند. بعضی از این مواد از جاهایی می‌آیند که جنگل و تنوع زیستی آن‌ها برای جهان اهمیت دارد.

این کرن‌زدایی را اشتباه نمی‌کند. گزینه دیگر — ادامه وابستگی به سوخت فسیلی — هزینه‌های عظیم زمین، هوا، آب و اقلیم خودش را دارد. اما معنایش این است که یک گذار می‌تواند از سامانه فسیلی پاک‌تر باشد و در عین حال به‌طور پیش‌فرض «پاک» نباشد.

ارزش این مقاله این است که جغرافیای پنهان را سخت‌تر می‌شود نادیده گرفت. می‌گوید: فقط گودال را نشمارید. تغییرات جنگل اطراف گودال را هم بشمارید. جاده‌ها، مزارع و سکونتگاه‌هایی را که پس از استخراج می‌آیند حساب کنید. جنگل‌زدایی offsite را وارد ارزیابی‌های اثر محیط‌زیستی، ادعاهای no-net-loss و زنجیره‌های تأمین «بدون جنگل‌زدایی» کنید.

این داستان بالغ‌تری از «مواد معدنی سبز خوب‌اند» یا «مواد معدنی سبز بدند» است. مبنای مادی گذار پیامد دارد، و این پیامدها باید پیش از آن‌که زنجیره تأمین خودش را پاک بنامد دیده شوند.

خلاصه تمیز

یک مطالعه در Nature، ۱۶۶۶۲۷ خوشه معدن را در جنگل‌های انبوه آفریقای زیرصحرا بین ۲۰۰۱ و ۲۰۲۰ تحلیل کرد. نویسندگان ۱۸۷۰۰۷۰ هکتار جنگل‌زدایی مستقیم ناشی از معدن را از عوارضی مانند گودال، حوضچه باطله و توده پسماند برآورد می‌کنند. با چارچوب difference-in-differences، جنگل‌زدایی اضافی اطراف معدن را نیز نسبت به مناطق بدون معدن تخمین می‌زنند: پس از ده سال، جنگل‌زدایی تجمعی در فاصله یک کیلومتری ۸ واحد روی مقیاس صفر تا ۱۰۰ بیشتر بود و تا ۲۰ کیلومتر همچنان بالاتر باقی ماند. در محاسبه‌ای جداگانه برای پنج سال، هر هکتار جنگل‌زدایی مستقیم معدن با میانگین ۳۳٫۹ هکتار اتلاف اضافی جنگل انبوه offsite همراه بود، عمدتاً از طریق گسترش کشاورزی و سکونتگاه. معدن‌های کجالت و مس بیشترین جنگل‌زدایی اضافی کل را در مطالعه داشتند. نتیجه نمی‌گوید گذار انرژی بد است؛ می‌گوید زنجیره‌های تأمین مواد معدنی هزینه‌های کاربری زمین دارند که از خود ردپای معدن فراتر می‌روند.

بررسی بی‌پرده

مقاله چه نشان می‌دهد: معدن‌کاری در جنگل‌های انبوه آفریقای زیرصحرای بین ۲۰۰۱ و ۲۰۲۰ اتلاف مستقیم قابل‌توجه جنگل ایجاد کرده؛ ایجاد معدن با جنگل‌زدایی اضافی در اطراف آن نسبت به مناطق بدون معدن همراه بوده؛ اتلاف offsite می‌تواند بسیار بزرگ‌تر از ردپای مستقیم معدن باشد؛ و برخی مواد مرتبط با گذار انرژی در این مجموعه داده با جنگل‌زدایی اضافی کل بالایی همراه‌اند.

چه چیزی محتمل است اما اثبات نشده: بسیاری از معدن‌های منفرد اثر offsite بزرگ‌تری از محدوده مجوزشان دارند؛ ارزیابی‌های محیط‌زیستی و قواعد زنجیره تأمین سخت‌گیرانه‌تر می‌توانند بخشی از این اتلاف را کاهش دهند؛ و اثرهای پنهان مشابه ممکن است در دیگر مناطق معدنی گرمسیری مهم باشند.

چه چیزی را نشان نمی‌دهد: این که همه معدن‌ها به یک اندازه مخرب‌اند؛ هر رویداد جنگل‌زدایی نزدیک معدن توسط همان معدن ایجاد شده؛ گذار انرژی بد است؛ شرکت یا خریدار خاصی بدون رهگیری پروژه محور مسئول اتلاف مشخصی است؛ یا جنگل‌زدایی تنها هزینه محیط‌زیستی یا اجتماعی مهم است.

محدودیت‌های اصلی: استنباط علیّ مشاهده‌ای به جای شواهد تصادفی؛ برآوردهای قاره‌ای به جای انتساب پروژه محور؛ تمرکز بر جنگل‌های انبوه آفریقای زیرصحرای و وابستگی اثرهای مستقیم و offsite به کیفیت داده، تشخیص معدن و فرض‌های مدل.

یک خواننده عمومی چقدر باید مطمئن باشد؟ اطمینان بالا که جنگل‌زدایی مستقیم معدن در منطقه مطالعه قابل‌توجه است. اطمینان خوب که ایجاد معدن در مقیاس جمعیتی با جنگل‌زدایی offsite اضافی مرتبط است. اطمینان کمتر برای اعمال نسبت میانگین ۳۳٫۹:۱ به یک معدن خاص. موضع مناسب: زنجیره تأمین مواد معدنی می‌تواند لازم باشد و در عین حال به حسابداری صادقه فراتر از خود گودال نیاز داشته باشد.

منابع

(2026) Nature

<https://doi.org/10.1038/s41586-026-10551-2>

version published — Online Research Rose White

<https://eprints.whiterose.ac.uk/id/eprint/241799/>

GitHub — code analysis and outputs Processed

https://github.com/OMorton/AFR_MiningForestLoss

Zenodo — dataset land-use Post-deforestation

<https://doi.org/10.5281/zenodo.11065705>