



The CLEAN PAPER

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

כרייה מפנה יותר מן המכרה עצמו — אובדן היער החבוי סביב ההפקה

מחקר ב-*Nature* על 16,627 אשכולות מכרות באפריקה שמדרום לסהרה מצא שכרייה ביערות צפופים גרמה לכ-187,000 הקטרים של כריתת יער ישירה בין 2001 ל-2020, אבל הסיפור הגדול יותר נמצא מחוץ לאתר. בהשוואה לאזורים שלא נכרו, כריתת היער הייתה גבוהה ב-8 נקודות בסולם 0-100 בתוך 1 ק"מ ממכרה אחרי עשר שנים, והאפקטים נמשכו עד 20 ק"מ. בממוצע, כל הקטר שפונה ישירות בידי מכרה היה קשור ל-33.9 הקטרים נוספים של אובדן יער *offsite* בתוך חמש שנים. זה לא אומר שמעבר האנרגיה רע. זה אומר שלשרשראות אספקה של מינרלים יש גאוגרפיה, ולעיתים קרובות עלות היער שלהן גדולה יותר מן הבור.

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: 10.1038/s41586-026-10551-2

טביעת הרגל אינה רק החור ביער

למכרה יש צורה ברורה. בור, בריכת פסולת כרייה, ערימת חומר עודף, כביש שנחתך בתוך יער. אלה הסימנים שלווין יכול לראות ורגולטור יכול לסמן סביבם גבול.

אבל כרייה משנה גם את הקרקע שמסביבה. אנשים מגיעים. כבישים הופכים את היער לנגיש יותר. יישובים גדלים. חקלאות מתרחבת. מכרה אינו רק צלקת על מפה; הוא יכול להפוך למרכז כובד חדש.

מאמר ב-Nature מכמת את ההבדל הזה ברחבי אפריקה שמדרום לסהרה. המחברים מעריכים כריתת יער ישירה שנגרמה מכרייה ביערות צפופים בין 2001 ל-2020, ואז שואלים כמה אובדן יער נוסף מופיע סביב מכרות בהשוואה למקומות דומים שעדיין לא נכרו. המסקנה פשוטה ולא נוחה: טביעת הרגל הישירה של המכרה היא רק החלק שרואים.



תמונת Landsat בצבע טבעי מציגה צלקות של כריית זהב תעשייתית ומלאכתית בחגורת הזהב Ashanti בגאנה. המחקר הנדון

כאן שואל עד כמה אובדן היער הקשור לכרייה משתרע מעבר לטביעת הרגל של המכרה עצמו.

NASA Earth Observatory / Lauren Dauphin Public domain

זו תוצאה שימושית לפוליטיקה של אקלים ושל מגוון ביולוגי, משום שהיא מחזיקה שתי מחשבות באותה מסגרת. תשתיות מודרניות ומעבר האנרגיה זקוקים למינרלים. אבל מינרלים אינם מגיעים משום מקום. השאלה הנקייה איננה אם כרייה היא "טובה" או "רעה" כסיסמה. היא האם מלוא מחיר היער נמדד בכנות.

מה עשו המהבירים

המחקר משלב נתוני יער ושימושי קרקע בקנה מידה יבשתי עם תכנון של הסקה סיבתית. המהבירים מיפו 16,627 אשכולות מכרות באזורים מיוערים של אפריקה שמדרום לסהרה בין 2001 ל-2020. הם הפרידו בין שני סוגים של אובדן יער.

הראשון הוא כריתת יער ישירה שנגרמה מכרייה: פינוי בתוך טביעת הרגל של המכרה עצמו, כולל בורות, בריכות, tailings, ערימות פסולת, פירים ותכונות אחרות הקשורות ישירות לפעילות הכרייה.

השני הוא כריתת יער מחוץ לאתר (offsite) (deforestation): אובדן יער סביב המכרה שאינו הבור עצמו, אך עשוי להיות מופעל בעקבות הקמת המכרה דרך פעילות נלווית — חקלאות, יישובים, כבישים ונגישות אחרת.

כדי להעריך את החלק השני, המהבירים השתמשו במסגרת של הפרש-בהפרשים (difference-in-differences). במילים פשוטות, הם השוו אובדן יער סביב מכרות לפני ואחרי שהכרייה החלה עם אובדן יער סביב מקומות דומים שבהם הכרייה עדיין לא התחילה. לאחר מכן הם בחנו טבעות מרחק קונצנטריות ממרכז המכרה: עד 1 ק"מ, 1–5 ק"מ, 5–10 ק"מ ו-10–20 ק"מ.

התכנון הזה חשוב משום שהמאמר אינו רק סופר אובדן יער ליד מכרות. הוא מנסה להעריך את האובדן הנוסף שניתן לייחס להקמת מכרה, לעומת המגמה החלופית שהייתה צפויה באזורים שלא נכרו.

מה הם מצאו

האובדן הישיר מכרייה היה גדול. ביערות צפופים ברחבי אפריקה שמדרום לסהרה, המהבירים מעריכים 187,070 הקטרים של כריתת יער ישירה שנגרמה מכרייה בין 2001 ל-2020. הרפובליקה הדמוקרטית של קונגו, גאנה וחוף השנהב יחד היו אחראיות ל-45% מן האובדן הישיר הזה.

האובדן מסביב היה גדול יותר מטביעת הרגל. לאחר הקמת מכרה, כריתת היער המצטברת בתוך 1 ק"מ הייתה גבוהה ב-8 נקודות בסולם 0–100 אחרי עשר שנים בהשוואה לאזורים שלא נכרו. זהו פער מוחלט בשיעור כריתת היער, לא עלייה יחסית של 8%. האפקט נחלש עם המרחק אך לא נעלם: לאחר עשר שנים המחקר מעריך פערים נוספים של 3.6 נקודות בטווח 1–5 ק"מ, 1.9 נקודות בטווח 5–10 ק"מ ו-1.1 נקודות בטווח 10–20 ק"מ.

המספרים האלה תלויי זמן. אלה אפקטים לאחר עשר שנים, לא אובדן מיידי.

היחס בין offsite ליישיר היה בולט במיוחד. בחישוב נפרד, המהבירים מעריכים שעל כל הקטר שפונה ישירות בתוך טביעת הרגל של המכרה, אבדו בתוך חמש שנים 33.9 הקטרים נוספים של יער צפוף מחוץ לאתר. רוב האובדן הנוסף הזה נקשר להתרחבות חקלאית שנגרמה בעקבות הקמת המכרה, כאשר גם התרחבות יישובים הייתה חשובה

וכבישים היו חלק קטן יותר בחלוקה שלהם.

גם המספר הזה תלוי זמן: זהו יחס מחוץ-לאתר/ישיר לחמש שנים. אין לערבב אותו עם אפקטי עשר השנים בסולם 0–100.

האפקט לא היה זהה בכל מקום. המחקר מדגיש דאגה חמורה במיוחד לרפובליקה הדמוקרטית של קונגו, משום שהיא שילבה טביעת רגל ישירה גדולה של כרייה עם אובדן מחוץ לאתר נוסף גדול. מדינות אחרות הראו השפעות יחסיות גבוהות מחוץ לאתר אך עם טביעות רגל ישירות קטנות יותר. ברמת הסחורה, מכרות שהפיקו קובלט ונחושת — מינרלים מרכזיים לסוללות, תשתיות חשמל ומעבר האנרגיה — גרמו לפי אומדני המחקר להיקף הכולל הגבוה ביותר של כריתת יער נוספת.

למה החלק שמחוץ לאתר חשוב

הערכת השפעה סביבתית מתחילה לעיתים קרובות בגבול הישיר של הפרויקט. זה מובן. הבור נראה לעין, להיתר יש היקף, וחברה יכולה לתאר את התשתית שהיא מתכננת לבנות.

אבל יערות אינם מגיבים רק לגבולות משפטיים. הם מגיבים לנגישות ולתמריצים. מכרה יכול להביא כבישים, עובדים, כסף, יישובים וביקוש למזון. כל אלה יכולים להפוך יער סמוך לקרקע שקל יותר, רווחי יותר או הכרחי יותר לפנות.

לכן הרעיון החזק ביותר במאמר אינו מספר יחיד. הוא ההבחנה בין אובדן ישיר לבין אובדן **שמופעל בעקבות הכרייה**.

אם שרשרת אספקה סופרת רק את טביעת הרגל של המכרה, היא עלולה לספור בחסר את שינוי השימוש בקרקע שההפקה גורמת לו. אם הערכת השפעה סביבתית נעצרת בגבול החכירה, היא עלולה לפספס את אובדן היער שהפרויקט הופך לסביר יותר. ואם מוצר משווק כנקי משום שהוא תומך באנרגיה מתחדשת, זה אינו הופך אוטומטית את שרשרת החומרים שלו לנקיה.

מה זה לא מוכיח

- הוא לא מראה שמעבר האנרגיה הוא רע. הוא מראה שמינרלים המשמשים תשתיות מודרניות, כולל מינרלים של מעבר האנרגיה, יכולים לשאת עלויות משמעותיות של שימוש בקרקע.
- הוא לא אומר שכל מכרה גורם בדיוק ל-33.9 הקטרים של אובדן מחוץ לאתר לכל הקטר ישיר. זהו אומדן ממוצע על פני קבוצה גדולה של אשכולות מכרות, לא תחזית לפרויקט מסוים.
- הוא לא מוכיח שכל עץ שנכרת ליד מכרה נכרת בגלל אותו מכרה. המחקר משתמש בתכנון quasi-experimental כדי להעריך אובדן נוסף בקנה מידה אוכלוסייתי.
- הוא לא מייחס אחריות לחברות, להיתרים או לקונים מסוימים. לכך נדרש מעקב ברמת הפרויקט מעבר למאמר הזה.
- הוא לא מכסה את כל השפעות הכרייה. זיהום מים, תנאי עבודה, פיצול בתי גידול, סכסוכי זכויות ועקירה חברתית נמצאים מחוץ למדידת אובדן היער המרכזית כאן.
- הוא לא מכסה את כל העולם. הניתוח מתמקד ביערות צפופים באפריקה שמדרום לסהרה.

עד כמה הראיות חזקות?

לגבי אומדן כריתת היער הישירה, הראיות חזקות בקנה מידה יבשתי. המחקר משתמש במאגרי נתונים מפורסמים על שימושי קרקע וכיסוי יער כדי לזהות אובדן יער הקשור ישירות למאפייני כרייה.

לגבי האובדן הנוסף מחוץ לאתר, הראיות משמעותיות גם הן, אך מבוססות מודל Difference-in-differences נועד להעריך השפעות סיבתיות מנתוני תצפית, במיוחד כאשר ניסויים אקראיים אינם אפשריים. המחברים משתמשים בשיטות עדכניות העמידות להטרוגניות ובודקים את העמידות עם אומדים חלופיים. זו פרקטיקה טובה.

ועדיין, צריך לקרוא את התוצאה בקנה המידה הנכון. המאמר מספק ראיה חזקה לכך שהקמת מכרות קשורה לכריתת יער נוספת מעבר לטביעת הרגל של המכרה ברחבי מערכת המחקר. זו אינה "הודאה לוויינית" מכל עץ בודד.

לכן הקריאה הציבורית השימושית ביותר אינה בהלה וגם לא ביטול. היא משמעת מדידה: אם כרייה פותחת נוף לנגישות חדשה, הערכת ההשפעה צריכה להסתכל מעבר לגדר.

למה זה חשוב

הביטוי "אנרגיה נקייה" יכול להסתיר עולם חומרי. פאנלים סולאריים, סוללות, קווי הולכה, כלי רכב חשמליים ומרכזי נתונים כולם דורשים חומרים שנכרו. חלק מן החומרים האלה מגיעים ממקומות בעלי יערות ומגוון ביולוגי בעלי חשיבות עולמית.

זה לא הופך דה-קרבונזציה לטעות. לחלופה — המשך התלות בדלקים מאובנים — יש עלויות אדירות משלה לקרקע, לאוויר, למים ולאקלים. אבל פירוש הדבר הוא שמעבר יכול להיות נקי יותר ממערכת המאובנים ועדיין לא להיות "נקי" כברירת מחדל.

הערך של המאמר הוא שהוא מקשה להתעלם מן הגאוגרפיה החבויה. הוא אומר: אל תספרו רק את הבור. ספרו את שינויי היער סביב הבור. ספרו את הכבישים, החוות והיישובים שבאים אחרי ההפקה. הכניסו כריתת יער מחוץ לאתר להערכות השפעה סביבתית, לטענות no-net-loss ולשרשראות אספקה של zero-deforestation.

זה סיפור בוגר יותר מ"מינרלים ירוקים טובים" או "מינרלים ירוקים רעים". הוא: לבסיס החומרי של המעבר יש השלכות, וההשלכות האלה צריכות להיות גלויות לפני ששרשרת האספקה מכנה את עצמה נקייה.

בקצרה

מחקר ב-Nature ניתח 16,627 אשכולות מכרות ביערות צפופים ברחבי אפריקה שמדרום לסהרה בין 2001 ל-2020. הוא מעריך 187,070 הקטרים של כריתת יער ישירה שנגרמה מכרייה ממאפיינים כמו בורות, בריכות tailings וערימות פסולת. באמצעות מסגרת של הפרש-בהפרשים (difference-in-differences), המחברים מעריכים גם כריתת יער נוספת סביב מכרות בהשוואה לאזורים שלא נכרו: אחרי עשר שנים, כריתת היער המצטברת הייתה גבוהה ב-8 נקודות בסולם 0–100 בתוך 1 ק"מ, והאפקט נשאר גבוה עד 20 ק"מ. בחישוב נפרד לחמש שנים, כל הקטר של כריתת יער ישירה במכרה היה קשור בממוצע ל-33.9 הקטרים נוספים של אובדן יער צפוף מחוץ לאתר, בעיקר דרך התרחבות חקלאות ויישובים. מכרות שמפיקים קובלט ונחושת תרמו לאובדן הנוסף הכולל הגבוה ביותר במחקר. התוצאה אינה מראה שמעבר האנרגיה הוא רע. היא מראה שלשרשראות אספקה של מינרלים יש עלויות שימוש

בקררע שחורגות מטביעת הרגל של המכרה.

בדיקה מפוכחת

מה המאמר מראה: כרייה ביערות צפופים ברחבי אפריקה שמדרום לסהרה גרמה לאובדן ישיר משמעותי של יער בין 2001 ל-2020; לאחר הקמת מכרות הופיעה כריתת יער נוספת סביבם בהשוואה לאזורים שלא נכרו; אובדן מחוץ לאתר יכול לעלות בהרבה על טביעת הרגל הישירה של המכרה; וכמה מינרלים של מעבר האנרגיה קשורים לכריתת יער נוספת כוללת גבוהה במאגר הנתונים הזה.

מה סביר אך לא הוכח: שלמכרות רבים יש השפעות offsite גדולות יותר מכפי שטביעת הרגל בהיתר מציעה; שכללי הערכת השפעה סביבתית ושרשרת אספקה מחמירים יותר יכולים להפחית חלק מן האובדן; שאפקטים חבויים דומים עשויים להיות חשובים גם באזורי כרייה טרופיים אחרים.

מה הוא לא מראה: שכל הכרייה מזיקה באותה מידה; שכל אירוע אובדן יער סמוך נגרם ממכרה מסוים; שמעבר האנרגיה הוא רע; שחברות או קונים מסוימים אחראים לאובדן מסוים בלי מעקב ברמת הפרויקט; או שאובדן יער הוא העלות הסביבתית או החברתית היחידה החשובה.

המגבלות העיקריות: הסקה סיבתית מתצפיות ולא ראיות אקראיות; אומדנים בקנה מידה יבשתי ולא ייחוס לפרויקט בודד; התמקדות ביערות צפופים באפריקה שמדרום לסהרה; ההשפעות הישירות וה-offsite תלויות באיכות הנתונים, בזיהוי המכרות ובהנחות המודל.

כמה ביטחון צריך להיות לקורא כללי? גבוה בכך שכריתת יער ישירה מכרייה באזור המחקר משמעותית. טוב בכך שהקמת מכרות קשורה לכריתת יער נוספת מחוץ לאתר בקנה מידה אוכלוסייתי. נמוך יותר לגבי החלת יחס 33.9:1 הממוצע על מכרה יחיד. הגישה המתאימה: שרשראות אספקה של מינרלים יכולות להיות נחוצות ועדיין לדרוש חשבונאות כנה מעבר לבור.

מקורות

Nature (2026)

<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>