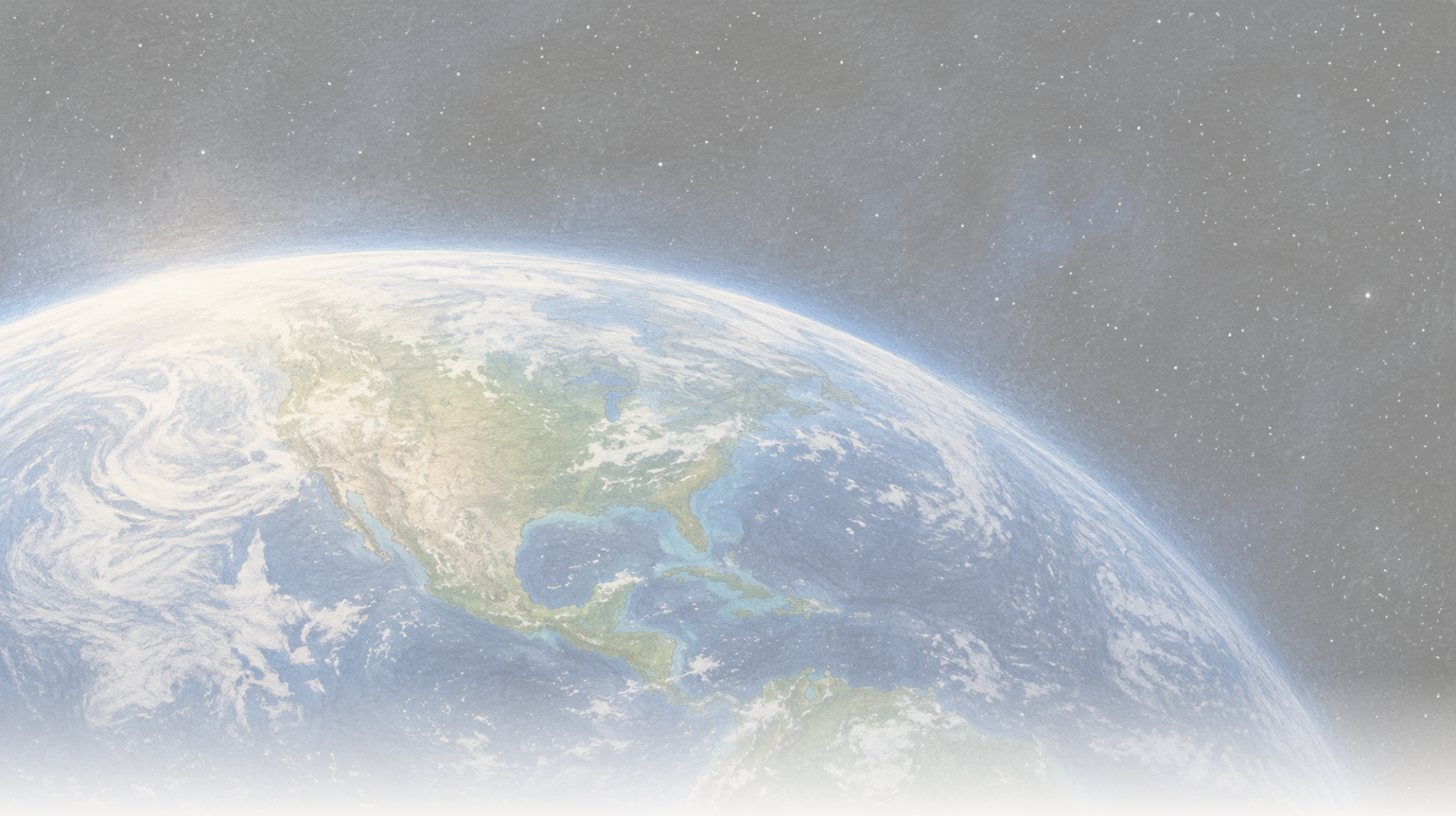




The CLEAN PAPER

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

زمین کتنی دیر تک سبز رہ سکتی ہے؟ ایک آب و ہوا کا ماڈل مدت کی ایک حد بتاتا ہے، قیامت کی تاریخ نہیں

انٹیس *simulations climate three-dimensional* زمین کی *biosphere photosynthetic* کے لیے مختلف حدود آج سے تقریباً 35.1 سے 87.1 ارب سال کے درمیان رکھتی ہیں۔ یہ قدریں جان بوجھ کر سادہ کیے گئے *rock-weathering* راستوں، حرارت اور ان کم ترین *levels carbon-dioxide* پر منحصر ہیں جنہیں پودے شاید استعمال کر سکیں۔ یہ پیش گوئی نہیں کہ تمام پودے، تمام حیات، تہذیب یا خود سیارہ کب ختم ہوگا۔

Written by Cinzia Vaglio · Cross-checked by Matteo · Edited by Michele Renda · Figures by Cinzia Vaglio and Nova Vela
· AI-assisted, human-reviewed

Paper: *Maximum Lifetime of the Vegetative Biosphere*, Jacob Haqq-Misra and Eric Wofl, Journal of Geophysical Research: Atmospheres
,131 e2025JD045586 (2026) · DOI: 1029/2025JD045586.10

زمین کتنی دیر تک سبز رہ سکتی ہے؟ ایک آب و ہوا کا ماڈل مدت کی ایک حد بتاتا ہے، قیامت کی تاریخ نہیں

ایک پتا بہت محدود شرائط کے اندر زندہ رہتا ہے۔ اسے روشنی، پانی، کاربن ڈائی آکسائیڈ اور ایسا درجہ حرارت چاہیے جسے اس کی حیاتی کیمیا برداشت کر سکے۔ انسانی عمر کے پیمانے پر سورج اس معاہدے کا تقریباً مستقل حصہ دکھائی دیتا ہے۔ ایک ارب سال کے پیمانے پر ایسا نہیں۔

مرکزی سلسلے (main) تسلسل) پر عمر بڑھنے کے ساتھ سورج آہستہ آہستہ زیادہ روشن ہوتا جاتا ہے۔ زیادہ شمسی توانائی زمین کو گرم کرتی ہے، مگر سیارے کا ایک طویل مدتی ردعمل بھی ہے: بارش کے پانی، کاربن ڈائی آکسائیڈ اور سلیکیٹ چٹانوں کے درمیان کیمیائی تعاملات فضا سے کاربن ڈائی آکسائیڈ نکال سکتے ہیں۔ اس سے greenhouse اثر کمزور ہوتا ہے اور حرارت میں اضافے کا کچھ حصہ متوازن ہو جاتا ہے۔ مگر یہی عمل، جو سیارے کو ٹھنڈا رکھنے میں مدد دیتا ہے، آخر کار ضیائی تالیف کرنے والے جانداروں کو اس کاربن سے محروم کر سکتا ہے جس سے وہ زندہ بافت بناتے ہیں۔

جریدہ Geophysical of تحقیق: فضائیں میں شائع ایک نئے مقالے نے پوچھا کہ پہلے کون سی حد آسکتی ہے: بہت زیادہ حرارت، یا بہت کم کاربن ڈائی آکسائیڈ؟ جواب یہ نہیں کہ زمین کس تاریخ کو "مر جائے گی"۔ جان بوجھ کر سادہ کیے گئے دو مستقبل کے راستوں میں ضیائی تالیف کرنے والی حیات کے لیے اختیار کی گئی حدود آج سے تقریباً 35.1 سے 87.1 ارب سال کے درمیان آتی ہیں۔

یہ حد نباتاتی حیاتی کرہ، یعنی زمین کی اس حیاتیاتی دنیا کے بارے میں ہے جو ضیائی تالیف کرنے والے جانداروں—خصوصاً پودوں اور دوسرے ایسے جانداروں—سے قائم ہے جو روشنی اور کاربن ڈائی آکسائیڈ کو حیاتیاتی مادے میں بدلتے ہیں۔ یہ ہر microbe کی پیش گوئی نہیں۔ یہ انسانی تہذیب کی عمر نہیں۔ یہ خود سیارے کی عمر بھی نہیں۔

سیاروی thermostat کی دو غیر یقینی ترتیبات

مرکزی غیر یقینی silicate فرسودگی ہے۔ کاربن ڈائی آکسائیڈ بارش کے پانی میں گھلتی ہے، سلیکیٹ چٹانوں سے ردعمل کرتی ہے، اور آخر کار سمندروں اور تلچھٹ کی طرف منتقل ہو سکتی ہے۔ آتش فشاں ارضیاتی اوقات میں کاربن ڈائی آکسائیڈ دوبارہ فضا میں پہنچاتے ہیں۔ یہ عمل مل کر cycle carbonate-silicate کا حصہ بناتے ہیں، جسے اکثر سیاروی thermostat سے تشبیہ دی جاتی ہے۔

زیادہ گرم اور زیادہ مرطوب دنیا میں فرسودگی تیز ہو سکتی ہے اور کاربن ڈائی آکسائیڈ زیادہ تیزی سے ہٹا سکتی ہے۔ مگر سائنس دان نہیں جانتے کہ مستقبل کے زیادہ روشن سورج کے تحت یہ ردعمل زمین کو کتنی مضبوطی سے قابو میں رکھے گا۔ اسی لیے Haqq-Misra Jacob اور Wofl Eric نے ایک ہی "درست" راستہ منتخب نہیں کیا۔ انہوں نے دو اختتام members بنائے: جان بوجھ کر انتہائی صورتیں، تاکہ غیر یقینی کی حدود دیکھی جا سکیں۔

- کمزور فرسودگی والے اختتام رکن میں فضائی کاربن ڈائی آکسائیڈ 400 حصے فی ملین پر برقرار رہتی ہے، جبکہ زیادہ روشن ہوتا سورج درجہ حرارت بڑھاتا ہے۔
- مضبوط فرسودگی والے اختتام رکن میں عالمی اوسط سطحی درجہ حرارت 288 kelvin، یعنی تقریباً 15 degrees Celsius، پر برقرار رکھا جاتا ہے، جبکہ شمسی توانائی بڑھنے کے ساتھ کاربن ڈائی آکسائیڈ کم ہوتی جاتی ہے۔

ان میں سے کسی راستے کو زمین کے حقیقی مستقبل کے طور پر پیش نہیں کیا گیا۔ پہلا سوال یہ ہے کہ اگر کاربن ڈائی آکسائیڈ

زیادہ رہے تو حرارت پکا کرے گی۔ دوسرا یہ پوچھتا ہے کہ اگر فرسودگی عالمی درجہ حرارت کو آج کے اوسط کے قریب روکے رکھے تو کاربن کی کمی ضیائی تالیف کو کب محدود کرے گی۔

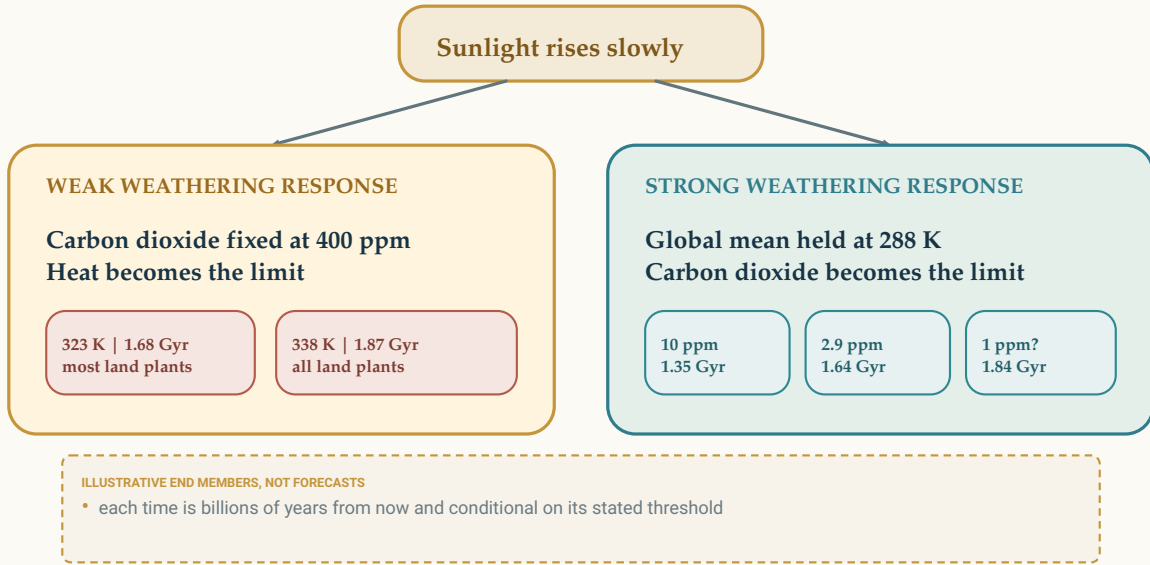
thermostat Weathering کی طرح کیسے کام کر سکتی ہے؟

فرسودگی کیمیائی ہوا و آب گرم اگر نہیں۔ میں بارے کے کنٹرول کنٹرول حقیقی کسی ہے، میں بارے کے ردعمل تشبیہ یہ ہے۔ سکا جا میں sediments اور معدنیات مادہ، dissolved حصہ زیادہ کا آکسائیڈ ڈائی کاربن فضائی تو کرے تیز کو volcanic میں اوقات طویل بہت ہے۔ کرتا مخالفت کی حصے کچھ کے warming ابتدائی ہٹانا کو گیس greenhouse اس ہے۔ پہنچاتی میں فضا واپس آکسائیڈ ڈائی کاربن outgassing

اس سلسلے کی ہر کڑی بارش، کھلی چٹان، erosion، حیاتیات، ارضیاتی حرکات اور سمندری کیمیا پر منحصر ہے۔ اسی لیے مقالہ thermostat کو ایک معلوم مشین سمجھنے کے بجائے اس کے محدود انتہائی ردعمل آزماتا ہے۔

One brighter Sun, two illustrative limits

The study brackets uncertainty; it does not assign either future a probability.



Original diagram - The Clean Paper - CC BY 4.0

مقالہ غیر یقینی مستقبل کو دو illustrative اختتام members سے گھیرتا ہے۔ اگر فرسودگی کا ردعمل کمزور ہو تو بڑھتی حرارت پودوں کے لیے اختیار کی گئی درجہ حرارت کی حدود تک پہنچتی ہے۔ اگر ردعمل مضبوط ہو تو گرتی کاربن ڈائی آکسائیڈ ضیائی تالیف کی اختیار کی گئی حدود تک پہنچتی ہے۔ یہ مشروط ماڈل راستے ہیں، احتمالات یا dates countdown نہیں۔

The Clean Paper CC BY 0.4

انتیس مستحکم ماڈل دنیا میں، دو ارب سال کی ایک فلم نہیں

محققین نے ExoCAM، ایک three-dimensional عالمی آب و ہوا ماڈل، استعمال کر کے زیادہ شمسی توانائی اور کم کاربن ڈائی آکسائیڈ کے مختلف combinations پر 29 مستحکم حالت climates نکالے۔ ہر صورت کو 70 ماڈل سال چلایا گیا۔ یہاں ایک ماڈل سال مقرر حالات کے تحت ایک سیمولیشن شدہ annual cycle ہے: یہ مصنوعی آب و ہوا کو settle ہونے دینے کے لیے runtime ہے، زمین کے مستقبل کی سال بہ سال پیش گوئی کا ایک قدم نہیں۔ جب سیمولیشن شدہ آب و ہوا کافی حد تک settle ہو گیا تو آخری 20 سال کا اوسط لیا گیا۔

یہ 29 صورتیں الگ الگ ماڈل دنیا میں ہیں۔ ہر چاروں grid میں ایک نقطہ ہے جو پوچھتا ہے: ”شمسی توانائی اور کاربن ڈائی آکسائیڈ کی اس منتخب جوڑی کے تحت کون سی settled آب و ہوا بنتی ہے؟“ کمپیوٹر نے آج کی زمین سے شروع کر کے اگلے دو ارب سال تک فضا، چٹانوں، سمندروں اور حیات کو مسلسل evolve نہیں کیا۔ مصنفین نے پہلے سے نکالے گئے ان نقاط کے اندر فرسودگی کے دو schematic راستے پیچھا کیا، نقاط کے درمیان پورا راستہ خود simulate نہیں ہوا۔

نیچے دی گئی جدول سرکاری ماڈل-اعداد و شمار archive میں موجود شمسی توانائی اور کاربن ڈائی آکسائیڈ کے combinations کو دوبارہ پیش کرتی ہے۔ صورت IDs یہاں archive کی ترتیب کے مطابق پڑھنے میں آسانی کے لیے شامل کیے گئے ہیں۔ S/S0 نسبتی شمسی constant ہے: ماڈل میں آنے والی شمسی توانائی کو اس کی موجودہ قدر S0 سے تقسیم کیا گیا ہے۔ اس لیے 2.1 کا مطلب آج سے 20 فیصد زیادہ آنے والی شمسی توانائی ہے۔ CO2 (ppm) ہر ملین فضائی سالمات میں کاربن ڈائی آکسائیڈ سالمات کی تعداد کا اختلاط تناسب ہے۔

صورت ID	S/S0	CO2 (ppm)
1	0.1	400
2	0.1	180
3	0.1	25.11
4	0.1	40625.1
5	0.44.1	400
6	0.44.1	180
7	0.44.1	135
8	0.44.1	25.11
9	0.44.1	40625.1
10	0.81.1	400
11	0.81.1	180
12	0.81.1	25.11
13	0.81.1	40625.1
14	0.91.1	400
15	0.91.1	180
16	0.91.1	34
17	0.91.1	25.11
18	0.91.1	40625.1
19	1.43.1	400
20	1.43.1	180
21	1.43.1	25.11
22	1.43.1	6
23	1.43.1	40625.1
24	2.1	400

CO2 (ppm)	S/S0	صورت ID
180	2.1	25
25.11	2.1	26
40625.1	2.1	27
45.0	2.1	28
0	2.1	29

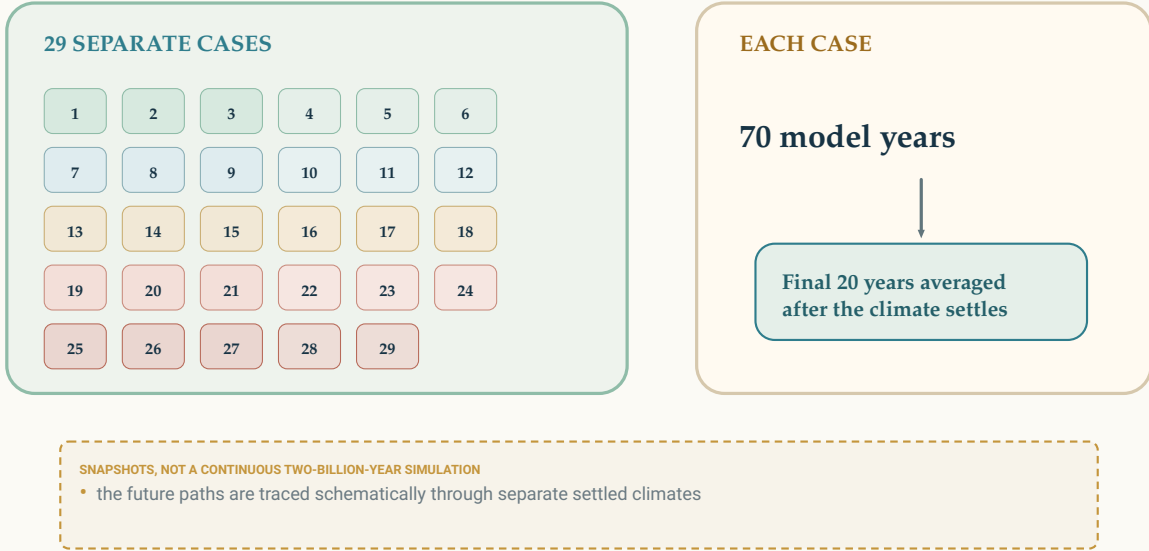
ماڈل کی زمین پہچانی جا سکتی ہے، مگر جان بوجھ کر محدود ہے۔ اس کی جسامت زمین کے برابر ہے اور geography آج کی رکھی گئی ہے۔ مکمل گردش کرنے والے سمندر کے بجائے ایک سادہ کپا گیا ocean slab ہے، فضائی دباؤ تقریباً آج کی زمین کے برابر—one رکھا—گیا ہے، اور methane مقرر ہے۔ مدار مکمل طور پر circular ہے (صفر)، (eccentricity اور rotation محور میں جھکاؤ نہیں (صفر)۔ obliquity) ماڈل میں explicit، vegetation soils یا بدلتی حیاتی کرہ کا ردِ عمل موجود نہیں۔ سب سے اہم بات یہ ہے کہ آب و ہوا ماڈل کو فرسودگی—rock ماڈل سے dynamically جوڑا نہیں گیا۔ یعنی ExoCAM خود فرسودگی نہیں نکالتا، پھر اس سے کاربن ڈائی آکسائیڈ update کر کے ردِ عمل لوپ میں اگلی آب و ہوا چلانا نہیں چلاتا۔ محققین نے دو limiting راستے پہلے سے مقرر کیے اور انہیں 29-صورت آب و ہوا grid کے اندر پیچھا کیا۔

Climate ماڈل میں “steady state” کا کیا مطلب ہے؟

سمبولیشن ہو۔ گیا دیا ہونے settle تحت کے فضا اور سورج منتخب ایک جسے ہے ہوا و آب ماڈل ایسا صورت حالت مستحکم تبدیلی سے مضبوطی averages طویل-اصطلاح کے اس مگر ہے، رہتا بدلتا سے حساب کے سال اور روز weather اندر کے ہیں۔ دیتے چھوڑ کرنا یہ پوچھنے کے لیے مفید ہے کہ “ان حالات میں کون سی آب و ہوا بنتی ہے؟” یہ اس عین راستے کی پیش گوئی سے مختلف ہے جس سے حقیقی زمین ایک سیٹ of حالات سے دوسرے تک پہنچے گی۔

Twenty-nine climate snapshots, not one future-Earth movie

Each tile is a separate ExoCAM world under prescribed sunlight and carbon dioxide.



Original diagram - The Clean Paper - CC BY 4.0

ہر ایک الگ ExoCAM آب و ہوا چلانا ہے جو 70 ماڈل سال چلا، اور آخری 20 سال کا اوسط لیا گیا۔ مطالعے نے پہلے سے مقرر شمسی توانائی اور کاربن ڈائی آکسائیڈ کے حالات میں 29 climates settled نمونہ کیے؛ اس نے دو ارب سال تک مسلسل بدلتی زمین simulate نہیں کی۔

The Clean Paper CC BY 0.4

پہلا اختتام رکن: کاربن ڈائی آکسائیڈ کافی، حرارت بہت زیادہ

کمزور فرسودگی والے راستے میں کاربن ڈائی آکسائیڈ 400 حصے فی ملین پر مقرر رہتی ہے۔ شمسی توانائی بڑھنے کے ساتھ حرارت محدود کرنے والا عامل بن جاتی ہے۔

مقالہ پچھلے کام سے لیے گئے دو عالمی اوسط درجہ حرارت کی حدود استعمال کرتا ہے:

- **kelvin 323**، یعنی عالمی سالانہ اوسط کے طور پر تقریباً **Celsius degrees 50**، پر دنیا کو زیادہ تر زمینی پودوں کے لیے بہت گرم سمجھا جاتا ہے۔ ماڈل اس حد تک تقریباً **68.1** ارب سال میں پہنچتا ہے۔
- **kelvin 338**، یعنی عالمی سالانہ اوسط کے طور پر تقریباً **Celsius degrees 65**، پر دنیا کو تمام زمینی پودوں کے لیے بہت گرم سمجھا جاتا ہے۔ ماڈل اس حد تک تقریباً **87.1** ارب سال میں پہنچتا ہے۔

یہ اختیار کی گئی حیاتیاتی حدود ہیں، ایسی آفاقی temperatures نہیں جن پر ہر ضیائی تالیف کرنے والا جاندار لازماً ناکام ہو۔ عالمی اوسط بڑے علاقائی فرق بھی چھپا دیتا ہے۔ مطالعہ الگ سے یہ دیکھتا ہے کہ درجہ حرارت اور پانی کے کون سے combinations کہیں مناسب رہ سکتے ہیں، مگر آب و ہوا نقشہ پر ایک لیبیل مستقبل کے ہر refuge یا adaptation کی فہرست نہیں بنا سکا۔

دوسرا اختتام رکن: درجہ حرارت قابل برداشت، کاربن ڈائی آکسائیڈ بہت کم

مضبوط فرسودگی والے راستے میں عالمی اوسط درجہ حرارت 288 kelvin، یعنی تقریباً 15 Celsius، degrees پر رکھا جاتا ہے، جبکہ فضائی کاربن ڈائی آکسائیڈ کم ہوتی جاتی ہے۔ یہاں جواب اس بات پر منحصر ہے کہ مختلف ضیائی تالیفی pathways کتنی کم کاربن ڈائی آکسائیڈ پر کام کر سکتی ہیں۔

- روایتی 10 حصے فی ملین حد—یعنی ہر ملین فضائی سالمات میں 10 کاربن-dioxide سالمات—پر C4 photosynthesis کی حد تقریباً 35.1 ارب سال میں آتی ہے۔ maize photosynthesis C4 اور شکر cane سمیت کئی پودے استعمال کرتے ہیں اور کاربن-enzyme fixing کے گرد کاربن ڈائی آکسائیڈ concentrate کرتی ہے۔
- پچھلے کام میں زیر بحث متبادل 9.2 حصے فی ملین C4 حد اسے تقریباً 64.1 ارب سال تک لے جاتی ہے۔
- ایک tentative 1 حصہ فی ملین حد، جو بعض CAM—یعنی crassulacean acid metabolism—استعمال کرنے والے پودوں، جہاں کاربن-dioxide uptake رات میں اور اس کا استعمال دن میں ہوتا ہے—یا bicarbonate dissolved استعمال کر سکنے والے plants aquatic کی ممکنہ بقا سے متعلق ہے، اسے تقریباً 84.1 ارب سال تک لے جاتی ہے۔

آخری عدد پر سب سے بڑا حیاتیاتی caveat ہے۔ مصنفین حصہ-فی-ملین-one حد کو واضح طور پر tentative کہتے ہیں۔ یہ مستقبل کی زمین کے حالات میں تمام CAM plants یا aquatic vegetation کے لیے established experimentally بقا حد نہیں۔

،C3 اور CAM حکمت عملیاں ہیں، کوئی درجہ بندی نہیں

عام سے سب C3 photosynthesis ہیں۔ کرتے استعمال راستے biochemical مختلف لیے کے کرنے حاصل کاربن پودے enzyme کاربن-fixing ہیں، کرتے استعمال پودے کئی سمیت cane شکر اور maize جو C4 photosynthesis ہے۔ Crassulacean acid metabolism (CAM) ہے۔ سکتی کر کام بہتر میں dioxide کاربن کم اور ہے کرتی concentrate آکسائیڈ ڈائی کاربن گرد کے پودوں سے بہت سے جس ہے، کرتا الگ میں دن اور رات کو استعمال اور uptake کاربن (CAM) ہے۔ ملتی مدد میں بچانے پانی کو یہ حکمت عملیوں کے خاندان ہیں، ”بہتر“ پودوں کی مسلسل سیڑھی نہیں۔ مقالے کی بہت کم کاربن-dioxide thresholds ممکنہ حدود explore کرنے کے لیے مفروضات ہیں، یہ ضمانت نہیں کہ مستقبل کا ecosystem انہیں استعمال کرنے کے لیے evolve کرے گا۔

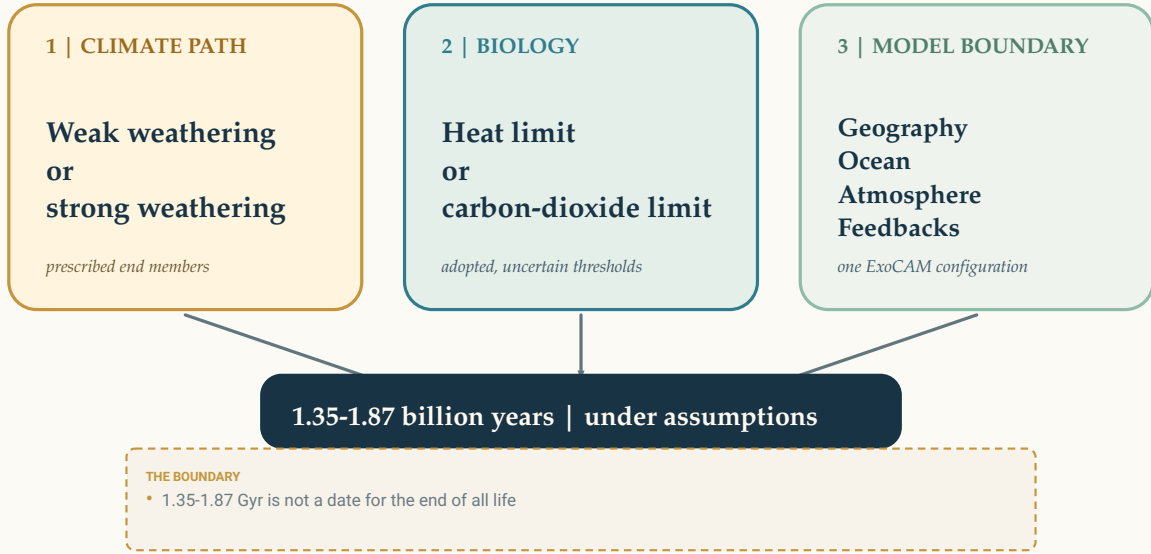
86.1 ارب سال کوئی expiry تاریخ کیوں نہیں

مقالے کا سرخی تخمینہ تقریباً 86.1 ارب سال دراصل دو upper optimistic اختتامی معیار کا اوسط ہے: کاربن-dioxide-limited branch میں 84.1 ارب سال اور branch heat-limited میں 87.1 ارب سال۔ یہ دو مختلف منظرنامے کا مختصر خلاصہ ہے۔ یہ زیادہ precision والا کوئی تیسرا ماڈل نتیجہ نہیں، اور نہ ہی تخمینہ-best تاریخ۔

حتیٰ کہ وسیع 35.1 سے 87.1 ارب سال کی حد بھی ایک ہی احتمال نہیں رکھتی۔ اس کے نچلے اور اوپری سرے مختلف فرسودگی assumptions، مختلف حیاتیاتی thresholds اور ایک آب و ہوا-ماڈل ترتیب پر منحصر ہیں۔ یہ حد وقت جتنا ہی تجربے میں کیے گئے choices کو بھی ناہتی ہے۔

The range is built from choices, not read from a clock

Change a path, threshold or model boundary and the endpoint can move.



Original diagram - The Clean Paper - CC BY 4.0

assumptions 35.1 سے 87.1 ارب سال کی حد صرف فرسودگی راستہ، حیاتیاتی حد اور ماڈل حد منتخب کرنے کے بعد سامنے آتی ہے۔ یہ assumptions کا نقشہ ہے، تمام حیات کے خاتمے پر ختم ہونے والی گہڑی نہیں۔

The Clean Paper CC BY 0.4

دوسری حدود پہلے آسکتی ہیں

نباتیاتی حیاتی کرہ کے سب سے طویل تخمینے ایک الگ اور غیر یقینی حد کے قریب پہنچتے ہیں: moist یا runaway greenhouse، جو سمندروں کے بڑے پیمانے پر ضیاع کا سبب بن سکتی ہے۔ بڑھتی شمسی توانائی کے تحت یہ حالتیں کب شروع ہوں گی، اس بارے میں آب و ہوا ماڈلز میں خاصا اختلاف ہے، خصوصاً آج کے حالات سے بہت دور۔ بعض تخمینے انہیں سب سے optimistic photosynthesis حد سے پہلے رکھتے ہیں۔

اس کا مطلب ہے کہ branch upper کو اس وعدے کے طور پر نہیں پڑھا جا سکا کہ زمین آج سے 87.1 ارب سال تک اپنے سمندر، مانوس براعظم یا رہنے کے قابل سطحی حالات برقرار رکھے گی۔ ماڈل مستقبل plate ارضیاتی حرکات، land علاقہ کی تبدیلی، بدلتی ہوئی ecosystems یا مکمل ocean dynamic بھی شامل نہیں کرتا۔ فضا کس طرح توانائی جذب اور خارج کرتی ہے، اس کے حساب بھی ایسے regimes تک لے جائے گئے ہیں جہاں سورج کی روشنی بہت شدید اور کاربن dioxide انتہائی کم ہے اور مختلف ماڈلز ایک دوسرے سے دور ہوتے جاتے ہیں۔

ارتقائی technological اور adaptation مداخلت مقالے کی discussion میں امکانات کے طور پر آتے ہیں۔ وہ 29 آب و ہوا سمبولیشنز کے outputs ہیں۔ ماڈل یہ نہیں دکھاتا کہ مستقبل organisms حصہ-فی-ملین one-ضیائی تالیفی evolve pathway کریں گے، اور نہ یہ دکھاتا ہے کہ کوئی civilization ایک ارب سال تک فضا manage کرے گی۔

یہ آج کے آب و ہوا crisis کے بارے میں نتیجہ نہیں

سورج کی بڑھتی روشنی کروڑوں سے اربوں سال کے پیمانے پر اثر ڈالتی ہے۔ جدید انسانی سرگرمی سے پیدا شدہ warming چند دہائیوں اور صدیوں میں تیزی سے بڑھنے والی gases greenhouse سے آتی ہے۔ یہ دو بالکل مختلف forcings ہیں، بالکل مختلف timescales پر، اور مختلف سوالوں کے جواب دیتی ہیں۔

اس مطالعے میں کچھ بھی موجودہ آب و ہوا تبدیلی کے شواہد کو کمزور نہیں کرتا اور نہ عمل میں تاخیر کی دلیل دیتا ہے۔ کسی بہت دور کے ماڈل منظرنامہ میں کچھ ضیائی تالیفی life باقی رہنے والی حیاتی کرہ، وہ آب و ہوا نہیں جس میں آج کے معاشرے اور ecosystems محفوظ رہیں۔

مقالہ اس لیے مفید ہے کہ یہ ایک بہت دور کے سوال کو زیادہ منظم بناتا ہے۔ یہ دکھاتا ہے کہ پہلے کے سادہ ماڈلز شاید سورج کی روشنی بڑھنے اور کاربن dioxide مقرر رہنے پر بہت زیادہ warming دکھاتے تھے، اور یہ کہ ضیائی تالیفی life کے برقرار رہنے کے لیے ایک معیاری کاربن حد سے زیادہ راستے ہو سکتے ہیں۔ یہ یہ بھی دکھاتا ہے کہ ہر اضافی a of fraction ارب سال اپنے ساتھ مفروضات کی ایک پوری زنجیر لاتا ہے۔

جو سورج ایک پتے کو توانائی دیتا ہے، وہ آہستہ آہستہ بدل رہا ہے۔ زمین مزید 35.1، 87.1 یا کسی اور تعداد میں ارب سال تک سبز رہتی ہے یا نہیں، اس کا دارومدار چٹانوں، پانی، فضا اور حیات کے مشترک ردعمل پر ہوگا۔ دیانت دار نتیجہ کوئی تاریخ نہیں۔ یہ اس معاہدے کو دیکھنے کا وسیع تر زاویہ ہے۔

صاف خلاصہ

ایک three-dimensional آب و ہوا مطالعہ پوچھتی ہے کہ سورج کے آہستہ روشن ہونے کے ساتھ زمین کی نباتاتی—یعنی ضیائی تالیفی—حیاتی کرہ کتنی دیر برقرار رہ سکتی ہے۔ محققین نے 29 الگ مستحکم حالت climates نکالے اور ان میں دو illustrative اختتام members کے راستے پیچھا کیا۔ کمزور فرسودگی اور کاربن dioxide کو 400 حصے فی ملین پر مقرر رکھنے کی صورت میں زمینی پودوں کے لیے اختیار کی گئی heat حدود آج سے تقریباً 68.1 اور 87.1 ارب سال پر آتی ہیں۔ مضبوط فرسودگی اور عالمی اوسط درجہ حرارت کو 288 kelvin، یعنی تقریباً 15 Celsius، degrees پر مقرر رکھنے کی صورت میں photosynthesis کے لیے اختیار کی گئی کاربن-dioxide حدود تقریباً 35.1، 64.1 اور ایک tentative حد کے ساتھ 84.1 ارب سال پر آتی ہیں۔ اکثر quote ہونے والا 86.1 ارب سال صرف دو upper optimistic اختتامی معیار کا average rounded ہے۔ یہ منظرنامہ-dependent ماڈل ranges ہیں، زمین، انسانیت یا تمام حیات کے خاتمے کی تاریخ نہیں۔ ماڈل prescribed راستے، موجودہ ocean slab geography، soil-vegetation explicit یا آب و ہوا-فرسودگی جوڑ کے بغیر کام کرتا ہے، اور سب سے طویل تخمینے غیر یقینی greenhouse اور ocean-loss حدود کے قریب پہنچتی ہیں۔

بلا مبالغہ جائزہ

مقالے کا دکھانا ہے: اس ExoCAM ترتیب میں three-dimensional climates کی روشنی اور fixed کاربن dioxide کے تحت عموماً موازنہ کے سادہ ماڈلز سے کم گرم ہوتی ہیں۔ دو prescribed فرسودگی اختتام members اور کئی adopted حیاتیاتی thresholds میں نباتاتی حیاتی کرہ کی حدود آج سے تقریباً 35.1 سے 87.1 ارب سال کے درمیان آتی ہیں۔

کیا قرین قیاس مگر ثابت شدہ نہیں: بعض plants CAM یا bicarbonate dissolved استعمال کرنے والے plants aquatic تقریباً one حصہ فی ملین atmospheric کاربن dioxide پر photosynthesis برقرار رکھ سکتے ہیں؛ adaptation یا technology ضیائی تالیفی life کو مزید بڑھا سکتی ہے؛ اور حقیقی آب و ہوا-فسودگی راستہ دونوں ماڈل اختتام members کے درمیان ہی رہے گا۔

یہ کچا نہیں دکھاتا: تمام پودوں، تمام حیات، انسانی تہذیب، زمین کے سمندروں یا خود سیارے کے خاتمے کی کوئی مقرر تاریخ؛ اگلے دو ارب سال کی ایک مسلسل سمیولیشن؛ یا موجودہ انسانی سرگرمی سے پیدا شدہ آب و ہوا تبدیلی کو کم اہم سمجھنے کی کوئی وجہ۔

limitations: ایک آب و ہوا-ماڈل خاندان کے 29 مستحکم حالت صورتیں؛ coupled dynamically ہونے کے بجائے explicit eccentricity؛ obliquity صفر methane؛ fixed ocean؛ slab geography؛ موجودہ vegetation soils؛ یا حیاتی کرہ ردعمل کا نہ ہونا؛ غیر یقینی heat اور کاربن-dioxide؛ thresholds؛ moist و runaway greenhouse حالات کے قریب ماڈلز کا وسیع اختلاف۔

عام قاری کو کتنا اعتماد ہونا چاہیے؟ زیادہ اعتماد کہ مطالعہ ممکنہ ماڈل حد کو وسیع کرتا اور اسے قابو کرنے والے مفروضات واضح کرتا ہے۔ اس ماڈل کے اندر عددی span کو مفید bracket سمجھنے پر درمیانہ اعتماد۔ کسی عین تاریخ پر کم اعتماد، کیونکہ سب سے دور اختتامی معیار جان بوجھ کر extreme آب و ہوا راستے اور غیر یقینی biology پر منحصر ہیں۔

ماخذ

Atmospheres Research: Geophysical of Journal Biosphere, Vegetative the of Lfetime Maximum Wofl, & Haqq-Misra
(2026) e2025JD045586 ,131
<https://doi.org/10.1029/2025JD045586>

16584870 record Zenodo Data, Model Biosphere: Vegetative the of Lfetime Maximum Wofl, & Haqq-Misra
<https://doi.org/10.5281/zenodo.16584870>