

جهان مواد و شکل‌گیری تمدن مدرن

- سرشناسه: کانوی، اد، ۱۹۷۹ - م.
 عنوان و نام پدیدآور: جهان مواد و شکل‌گیری تمدن مدرن/اد کانوی؛ ترجمه یاسمین مشرف.
 مشخصات نشر: تهران: ققنوس، ۱۴۰۴.
 مشخصات ظاهری: ۵۲۰ ص.
 شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۰۰۴-۰۵۷۴-۰
 وضعیت فهرست‌نویسی: فیبا
 یادداشت: عنوان اصلی: Material World: A Substantial Story of Our Past and Future.
 یادداشت: کتابنامه.
 یادداشت: نمایه.
 موضوع: معدن و ذخایر معدنی
 موضوع: Mines and mineral resources
 موضوع: مواد خام
 موضوع: Raw Materials
 موضوع: عنصرهای شیمیایی
 موضوع: Chemical elements
 موضوع: فلزهای واسطه
 موضوع: Transition metals
 شناسه افزوده: مشرف، یاسمین، ۱۳۵۸ -، مترجم
 رده‌بندی کنگره: TN۱۴۵
 رده‌بندی دیویی: ۶۲۲
 شماره کتاب‌شناسی ملی: ۱۰۱۵۲۷۴۶

جهان مواد و شکل گیری تمدن مدرن

اد کانوی
ترجمه یاسمین مشرف



این کتاب ترجمه‌ای است از:

Material World
A Substantial Story of Our Past and Future
Ed Conway
Penguin Random House UK, 2023



انتشارات قنوس

خیابان انقلاب، خیابان فروردین، خیابان نظری،
نبش جاوید ۲، تلفن ۴۰ ۸۶ ۴۰ ۶۶
ویرایش، آماده‌سازی و امور فنی:
تحریریه انتشارات قنوس

یدکانوی

جهان مواد و شکل‌گیری تمدن مدرن

ترجمه یاسمین مشرف

چاپ اول

۷۷۰ نسخه

۱۴۰۴

چاپ سروش

حق چاپ محفوظ است

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۰۴-۰۵۷۴-۰

ISBN: 978-622-04-0574-0

www.qoqnoos.ir

Printed in Iran

برای الیزا

فهرست

مقدمه ۹

بخش اول: ماسه

۱. انسان ابزار ساز ۳۵
۲. بناشده بر ماسه ۷۴
۳. طولانی‌ترین سفر ۱۰۱

بخش دوم: نمک

۴. مسیرهای نمک ۱۴۱
۵. نمک زمین ۱۶۰
۶. داروی آتش‌زا ۱۸۱
پی‌نوشت: نمک‌های فراوان ۱۹۷

بخش سوم: آهن

۷. شما کشوری ندارید ۲۱۵
۸. داخل آتشفشان ۲۳۶
۹. آخرین انفجار ۲۵۷

بخش چهارم: مس

۱۰. مهم‌ترین مادهٔ بعدی ۲۷۷
۱۱. حفره ۲۹۲
۱۲. در عمق اقیانوس ۳۲۰

بخش پنجم: نفت

۱۳. فیل..... ۳۴۱
۱۴. لوله‌ها..... ۳۶۱
۱۵. چیزی که همه چیز است..... ۳۸۰
پی‌نوشت: اوج تولید نفت..... ۴۰۰

بخش ششم: لیتیوم

۱۶. طلای سفید..... ۴۱۱
۱۷. رول‌های ژله‌ای..... ۴۳۹
۱۸. بازگرداندن به مرحله پیش از تولید..... ۴۵۷
نتیجه‌گیری..... ۴۷۱
کتاب‌شناسی..... ۴۹۳
سپاسگزاری..... ۵۰۳
نمایه..... ۵۰۷

مقدمه

بالای سراسیمگی تندی ایستاده بودم و به عمیق‌ترین گودالی که تا آن زمان دیده بودم نگاه می‌کردم. افرادی که آن پایین بودند کلاه ایمنی داشتند یا دست‌کم به من این‌طور گفته شده بود؛ فاصله آن‌ها با ما بسیار زیاد بود، به طوری که با چشم غیرمسلح درست دیده نمی‌شدند. دوروبرشان مقادیر زیادی مواد منفجره قوی دیده می‌شد. به من گفتند که این مواد منفجره می‌توانند کل یک بلوک شهری را تخریب کنند.

در مقابلم صفحه‌کلیدی فلزی با دو دکمه قرار داشت و مردی بی‌سیم به دست کنارم ایستاده بود. ما به صدایی از اتاق کنترل که در حال شمارش معکوس بود گوش می‌دادیم. گفته بودند وقتی شمارش معکوس به صفر رسید، دو دکمه را همزمان فشار بدهم. شارژ چاشنی در کسری از ثانیه به ته گودال می‌رسید و در آن‌جا مساحتی از خاک نوادا به اندازه یک زمین فوتبال در مقابل چشمانمان پودر می‌شد.

مردی که بی‌سیم در دست داشت گفت: «ابتدا موج ارتعاش را حس می‌کنی، بعد می‌بینی که زمین بالا می‌آید، سپس صدای انفجار را می‌شنوی. با همین ترتیب. کمی عجیب است.»

من به آن صحرای مرتفع نرفته بودم که آن بمب را منفجر کنم، بلکه دلیل بودن من در آن‌جا یک جدول آماری بود. چند ماه قبل، با بررسی آمارهای تجاری بریتانیا، متوجه چیز عجیبی شده بودم: گردش مالی طلا ارقام و در نتیجه تصور

ما را از اقتصاد این کشور مخدوش می‌کرد. از قرار معلوم طلا مدت کوتاهی از خودرو و دارو که بزرگ‌ترین اقلام صادراتی بریتانیا بودند پیشی گرفته بود. این موضوع، با توجه به این‌که بریتانیا صنعت استخراج طلا ندارد، گیج‌کننده بود. چگونه کشوری بدون ذخایر قابل‌توجه طلا توانسته بود به یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان آن تبدیل شود؟ تا آن‌جا که من توانستم بفهمم، بخشی از پاسخ این بود که مقادیر عمده‌ای از طلای فیزیکی جهان در مسیرش به جاهای دیگر از لندن عبور می‌کرد. برای حل این معما و برای این‌که بتوانم سیر طلا را از زمین به کارخانه‌های فراوری و سپس به شکل شمش در سراسر جهان به صورت نمودار ترسیم کنم به جایی سفر کردم که این فلز گرانبها واقعاً از آن استخراج می‌شد. اما وقتی فیلمبرداری را شروع کردیم متوجه شدم داستان جذاب‌تری برای گفتن وجود دارد، داستانی که چیزهای زیادی از رابطه‌ی نوع بشر با جهان می‌گوید.

چند ماه طول کشیده بود تا تهیه‌کننده‌ام شرکت معدنی مورد نظر یعنی «بریک گولد کورپوریشن» را متقاعد به حمایت از ما کند، و چند روز طول کشید تا از لندن به محل معدن کورتز برویم. معدن کورتز جایی نیست که شما به طور اتفاقی به آن برسید. برای ما رسیدن به آن‌جا شامل دو پرواز، چهار ساعت رانندگی به سمت غرب در طول نم‌کزار یوتا، و پس از آن سفر دو ساعته‌ی دیگری با ماشین همراه با مباحثان شرکت بریک بود. مسیر بزرگرایی را شامل می‌شد که بخش زیادی از آن خالی بود و فقط کامیون‌های سنگین گاه‌به‌گاه از آن عبور می‌کردند، به دنبال آن جاده‌ای طولانی و بیابانی پیش روی ما بود و بعد مسیر خاکی پیچ‌درپیچی که به دره‌ای بزرگ و خالی از سکنه منتهی می‌شد؛ سرزمین کابوی‌ها.

خود معدن در دامنه‌ی تپه‌ای به نام «کوه تنابو» واقع شده که برای مردم قبایل شوشون غربی مکان مقدسی است. فرایند استخراج نسبتاً ساده و بازتابی است از فنونی که معدن‌کاران طلا در قرن نوزدهم از آن‌ها استفاده می‌کرده‌اند، البته در مقیاسی بسیار بزرگ. سنگ‌ها با انفجار از زمین خارج و سپس خرد می‌شوند، بعد آن‌ها را آسیاب می‌کنند تا به خاکی نرم تبدیل شوند. در نهایت این پودر با محلول سیانید مخلوط می‌شود؛ این کار به جداسازی طلا کمک می‌کند.

واقعیت بهره‌برداری از منابع در قرن بیست و یکم این است: خرد کردن مقادیر زیادی سنگ و تبدیل آن‌ها به دانه‌های ریز و فراوری شیمیایی محصولی که ایجاد شده است. هم حیرت‌آور است و هم نگران‌کننده. یکی از خطرات این است که سیانید و جیوه استفاده شده در این روش می‌توانند به اکوسیستم اطراف نفوذ کنند. از این گذشته، در حالی که شرکت‌های معدن‌کاری مانند بریک اصرار دارند تمام قوانین تعیین شده «آژانس حفاظت از محیط‌زیست» (ای‌پی‌ای) ایالات متحده را رعایت می‌کنند، فعالان حوزه محیط‌زیست هشدار می‌دهند که آلودگی اغلب از معادن وارد محیط‌زیست می‌شود. در واقع چند سال قبل ای‌پی‌ای بریک و شرکت معدنی دیگری در همان حوالی را به دلیل گزارش نکردن انتشار مواد شیمیایی سمی، از جمله سیانید، سرب و جیوه، ۶۱۸,۰۰۰ دلار جریمه کرد. اما نکته اصلی ای که هنگام مشاهده مراحل گوناگون این فرایند مرا تحت تأثیر قرار داد این بود که این روزها برای تهیه یک تکه کوچک از این فلز براق تا کجا پیش می‌رویم. پیش از هر چیز، مقیاس سرسام‌آور بود. وقتی به داخل گودال نگاه کردم فقط توانستم چند کامیون را آن پایین بینم، اما وقتی کامیون‌ها بالا آمدند متوجه شدم بزرگ‌تر از ساختمانی سه طبقه هستند؛ فقط لاستیک‌هایشان به اندازه اتوبوسی دوطبقه بود. از همراهانم پرسیدم برای تولید یک شمش طلا چه مقدار خاک و سنگ باید استخراج شود؟ آن‌ها پاسخ این سؤال را نمی‌دانستند، اما می‌دانستند که در یک روز کاری آن کامیون‌ها سنگ‌هایی معادل وزن ساختمان امپایر استیت را جابه‌جا می‌کنند. بعداً خودم حساب و کتاب کردم؛ برای یک شمش طلای استاندارد (۴۰۰ اونس تروی) باید حدود ۵,۰۰۰ تن خاک را استخراج کنند. این میزان تقریباً معادل وزن ۱۰ فروند ایرباس ای ۳۸۰ است که کاملاً پر از بار باشند — آن هم فقط برای تولید یک شمش طلا. هواپیمای ای ۳۸۰ بزرگ‌ترین هواپیمای مسافربری جهان است.

احتمالاً شما از قبل می‌دانستید که این روزها طلا به این طریق استخراج می‌شود — می‌دانستید که طلا به صورت قطعات یا رگه‌های غنی تولید شده توسط مادر طبیعت از زمین خارج نمی‌شود. احتمالاً می‌دانستید که در عوض، طلا محصول واکنشی شیمیایی است، شامل یکی از سمی‌ترین ترکیباتی که بشر

می‌شناسد؛ می‌دانستید که طلا آن قدر که با تخریب کامل کوه‌ها به دست می‌آید با نقب زدن در زمین استخراج نمی‌شود. شاید آدم بی‌تجربه‌ای بودم، اما در هر صورت بشخصه این چیزها را خوب نمی‌دانستم.

وقتی به ته گودال روباز، به کامیون‌هایی که به اندازه یک خانه بودند و معدن‌کارانی که مثل مورچه در اطراف محل انفجار سراسیمه این طرف و آن طرف می‌دویدند نگاه کردم کمی ناراحت شدم. موضوع فقط منظره‌ای که در مقابلم قرار داشت نبود، بلکه انگشتی بود که در انگشتم داشتم.

چند ماه بود که ازدواج کرده بودم. من و همسرم پیش روی خانواده و دوستانمان ایستادیم و به نشانه عشقمان انگشترهای طلای رد و بدل کردیم. در حالی که شمارش معکوس در بی‌سیم کنارم ادامه داشت، انگشتر را با انگشت شستم لمس کردم و به فکر فرو رفتم. احتمالاً طلای به‌کاررفته در این انگشتر هم دقیقاً با همین فنونی که من اکنون شاهدشان بودم از زمین استخراج شده بود. چرا بررسی نکرده بودم که طلای این انگشتر از کجا آمده است؟ من تلاش کرده بودم بررسی کنم که مبادا الماس‌های حلقه نامزدی همسرم الماس خونین^۱ باشند، پس چرا توجه نکرده بودم که برای تولید طلای این انگشتر چه تعداد انسان و چه مقدار زمین قربانی شده است؟ بعداً فهمیدم در حالی که قبلاً برای تهیه طلای کافی برای ساختن یک حلقه ازدواج معمولی حدود ۰/۳ تن سنگ معدن استخراج شده با روش‌های سنتی صرف می‌شده است، این روزها ممکن است بین ۴ تا ۲۰ تن سنگ برای این کار لازم باشد. وقتی آن‌جا ایستاده بودم و چاشنی در مقابلم قرار داشت، احساس کسی را داشتم که قبل از این که اطراف کشتارگاه را نشان بدهند، از خوردن صبحانه‌ای عالی شامل سوسیس و تخم‌مرغ لذت برده است.

موضوع بعدی خود کوه بود. گودالی که به آن خیره شده بودم صرفاً جایی نزدیک کوه تنابو نبود. خود کوه تنابو بود. معدن به معنای واقعی کلمه در یال‌های

۱. conflict diamonds یا blood diamonds، که به آن‌ها «سنگ کثیف» هم می‌گویند، الماس‌هایی هستند که در مناطق جنگی یا با کار اجباری و بهره‌کشی تولید می‌شوند و سود حاصل از فروش آن‌ها معمولاً صرف خرید تسلیحات می‌شود. — م.

قله حفر شده بود. وقتی به سمت دیگر گودال نگاه کردم، توانستم لایه‌های سنگی رنگارنگی که قسمت درونی کوه را تشکیل می‌دادند لایه به لایه بشمارم. من به خدایان آب که قبایل بومی شوشون غربی آن‌ها را می‌پرستند اعتقادی ندارم؛ با وجود این، کندن پوست خاک و نمایان ساختن زیر سطح آن به نظرم کاری ظالمانه و درخور تأمل بود.

در حالی که شمارش معکوس ادامه داشت برگشتم و در مانده و مستأصل به تهیه‌کننده‌ام نگاه کردم. «می‌خواهید شما این افتخار را داشته باشید؟» ناباورانه نگاهم کرد و بعد جایم را گرفت. با شرمندگی عقب رفتم و نگاه کردم. شمارش معکوس به صفر رسید. مرد در بی‌سیم گفت: «شلیک شماره یک، کورتز هیلز» و به دکمه‌ها اشاره کرد. تهیه‌کننده‌ام هر دو دکمه را فشار داد. چند لحظه — یک ثانیه یا بیشتر — سکوت حکمفرما شد. سپس موجی از فشار به ما برخورد کرد — چیز چندان قابل توجهی نبود، بیشتر به وزش نسیم شباهت داشت. سپس زمین لرزید و من به ته گودال نگاه کردم که صدها فوت پایین‌تر بود و زمین در آن حالت مایع پیدا کرده بود. انفجار در پایین معدن موج کوچکی ایجاد کرد و خاک و دود را به هوا پاشید. تازه در آن زمان بود که ما صدای غرش را شنیدیم. صدای غرش انفجار برخاست و به مدت چند دقیقه در سرتاسر دره طنین انداز شد.

جان مینارد کینز اقتصاددان قبلاً طلا را «یادگار بربریت» نامیده بود. اشاره او به این موضوع بود که اگر چه ممکن است طلا در یک گردنبند یا داخل یک تابوت زیبا به نظر برسد، واقعاً مزیت زیادی ندارد.

روشن است که طلا چیز ارزشمندی است — در غیر این صورت چرا باید برای به دست آوردن چند شمش از آن کوه‌ها را منفجر کنیم؟ اما لحظه‌ای به این موضوع فکر کنید که طلا واقعاً چه کاری انجام می‌دهد. طلا در الکترونیک و شیمی نقشی مهم هرچند کمی حاشیه‌ای ایفا می‌کند، اما این نوع کاربرد طلا این روزها کمتر از یک‌دهم تقاضا را به خود اختصاص می‌دهد. در عوض، کاربردهای اصلی این ماده در جواهرات، دکوراسیون و به عنوان نوعی دارایی برای کسانی

است که نگران فاجعه اقتصادی هستند. بخشی از طلایی که استخراجش را در نوادا شاهد بودم احتمالاً اکنون در انگشت حلقه افراد دیگری است. همان‌قدر هم احتمال دارد که دوباره به زیر زمین بازگشته باشد، البته این بار به شکل شمش در گاوصندوق یک بانک. شاید حرفی که می‌زنم از نظر جواهرسازان و سرمایه‌گذاران بی‌قرار توهین‌آمیز به نظر برسد، اما اگر طلای ما ناگهان تمام شود احتمالاً جهان دست از کار نخواهد کشید و تمدن نیز متوقف نخواهد شد.^(۱)

بنابراین در ماه‌های پس از بازگشت از نوادا مدام ذهنم درگیر چند سؤال بود. اگر برای استخراج فلزی که اغلب می‌توانیم بدون آن زندگی کنیم به چنین اقداماتی نیاز است، پس برای استخراج موادی که واقعاً به آن‌ها نیاز داریم باید چه اقداماتی انجام دهیم؟ و به خاطر رسیدن موادی که ما واقعاً به آن‌ها وابسته هستیم کدام‌اند؟ عناصر فیزیکی‌ای که بدون آن‌ها تمدن واقعاً متوقف می‌شود چه هستند و واقعاً از کجا می‌آیند؟

حدس می‌زدم فولاد یکی از این مواد باشد. بیشتر ساختمان‌ها و خودروها — صرف‌نظر از دستگاه‌هایی که با آن‌ها همه چیزهای دیگر را می‌سازیم — از فولاد ساخته شده‌اند، که آلیاژی است از آهن، کربن و چند عنصر مهم دیگر. ساختن فضا‌های مدرن بدون بتن هم غیرممکن است. مطمئناً مس، با توجه به این‌که زیربنای شبکه‌های الکتریکی‌ای است که به آن‌ها وابسته هستیم، از عناصر ضروری است. از آن‌جا که هنوز برای تأمین بخش عمده‌ای از انرژی مورد نیازمان به سوخت‌های فسیلی متکی هستیم، حدس می‌زدم که آن‌ها را هم باید از مواد ضروری به حساب آورد — هرچند شاید بتوان چیزی مانند لیتیوم را نیز از عناصر ضروری در نظر گرفت، عنصری در قلب همه باتری‌هایی که در آینده به آن‌ها نیاز خواهیم داشت. اما چگونه می‌توان میزان وابستگی‌مان به این مواد را تعیین کرد؟ و آیا استخراج آن‌ها همواره شامل همان‌گونه تخریبی است که در معدن کورتز شاهد بودم؟

به نظر می‌رسید اقتصاد، رشته‌ای که در بیشتر زندگی حرفه‌ای‌ام بدان مشغول بوده‌ام، پاسخ‌های قطعی کمی برای این نوع سؤالات دارد. طبق تعریف استاندارد، ارزش یک چیز برابر با بهایی است که شخص حاضر است در قبال آن بپردازد.

اگر چیزی با کمبود مواجه باشد مردم مصرف آن را کاهش می‌دهند، جایگزین مناسبی (در صورت وجود چنین چیزی) برایش پیدا می‌کنند و به زندگی ادامه می‌دهند. و این پایان داستان است.

با این حال، به نظر می‌رسد چنین داستانی با واقعیت مطابقت ندارد، زیرا روشن است که این مواد مهم‌اند. به ما گفته می‌شود در جهانی زندگی می‌کنیم که به طور فزاینده‌ای غیرمادی است و چیزهای لمس‌ناپذیر — برنامه‌ها، شبکه‌ها و خدمات آنلاین — در آن ارزش فزاینده‌ای یافته‌اند؛ با این حال، دنیای فیزیکی همچنان زیربنای همه چیز است. وقتی به ترازنامه‌های اقتصادهای ما نگاه می‌کنید چنین چیزی زیاد مشهود نیست. مثلاً این ترازنامه‌ها نشان می‌دهند می‌توان از هر پنج دلار تولیدشده در ایالات متحده چهار دلار را در بخش خدمات ردیابی کرد و بخشی از آن که بیشتر و بیشتر در حال محو شدن است به انرژی، معدن و تولید اختصاص داده می‌شود. اما تقریباً همه چیز، از شبکه‌های اجتماعی گرفته تا خرده‌فروشی و خدمات مالی، کاملاً به زیرساخت‌های فیزیکی‌ای که عملکرد آن‌ها را تسهیل می‌کنند و به انرژی‌ای که آن‌ها را به کار می‌اندازد متکی‌اند. بدون بتن، مس و فیبر نوری هیچ مرکز داده، برق و اینترنتی وجود نخواهد داشت. به جرئت می‌توانم بگویم اگر توییت^۱ یا اینستاگرام ناگهان دیگر وجود نداشته باشند دنیا به پایان نمی‌رسد. اما اگر ناگهان فولاد یا گاز طبیعی ما تمام شود داستان بسیار متفاوت خواهد بود.

ما همه این‌ها را به طور غریزی می‌دانیم. چنین اصولی در دوره‌های جنگ، کمبود یا فروپاشی اقتصادی بدیهی‌اند. اما تا آن‌جا که به آمارهای مهم مانند تولید ناخالص داخلی (جی‌دی‌پی) مربوط می‌شود یک دلار یک دلار است، چه در فیس‌بوک هزینه شود و چه برای تهیه غذا. منطق و ظرافتی در این مطلب نهفته است، اما این منطق و ظرافت پاسخ دقیقی به سؤالات من نمی‌دهد. خوب است که قیمت چیزی را بدانیم، اما قیمت همان اهمیت نیست.

این کتاب آغاز تلاش من برای پاسخ دادن به این سؤالات بود — تأملی که

۱. نام این شبکه اکنون ایکس است. — م.

بیش از آن‌که در مورد ارزش مواد در بازار باشد به وابستگی ما به آن‌ها می‌پردازد. اما همین که تأملاتم را در این باره عمیق‌تر کردم و از حاشیه امن خود در اقتصاد متعارف فراتر رفتم موضوع به چیز دیگری تبدیل شد: داستانی شگفت‌انگیز. هر چقدر دانشم در مورد این مواد — موادی معمولی، پیش‌پاافتاده و اغلب، بله، ارزان — بیشتر می‌شد آن‌ها سحرآمیزتر به نظر می‌رسیدند.

چیز ساده‌ای مثل یک دانه ماسه را در نظر بگیرید. بجز اکسیژن هیچ عنصری در پوسته زمین نیست که فراوانی‌اش از ماده اصلی ماسه — سیلیکون — بیشتر باشد. با این حال، اگر خم شوید و آنچه را در زمین می‌بینید بررسی کنید خیلی زود متوجه می‌شوید که در دنیایی از پیچیدگی فرو رفته‌اید. دانه‌های ماسه درشت و زاویه‌دار برای ساخت‌وساز عالی‌اند؛ ماسه‌های دریایی که در کف دریا ته‌نشین شده‌اند در نهایت با لایروبی به زمین جدیدی تبدیل می‌شوند؛ ماسه‌های بیابانی آن‌قدر تحت تأثیر باد فرسایش پیدا کرده‌اند که اگر آن‌ها را زیر میکروسکوپ بررسی کنید، چیزی که می‌بینید شبیه توده‌ای از تپله است — لبه‌های دانه‌ها بر اثر فرسایش هزاران ساله کاملاً گرد شده‌اند؛ ماسه‌هایی که از اقیانوس‌های استوایی باستانی به جا مانده‌اند چنان خلوصی دارند که در سرتاسر جهان خرید و فروش می‌شوند.

اگر ماسه و سنگ‌های کوچک را با سیمان مخلوط و مقداری آب به آن اضافه کنید بتن خواهید داشت که به معنای واقعی کلمه ماده اساسی سازنده شهرهای مدرن است. اگر ماسه را به سنگریزه و قیر اضافه کنید آسفالتی به دست خواهد آمد که بیشتر جاده‌ها از آن ساخته شده‌اند — البته در جاده‌هایی که از بتن ساخته نشده باشند. ساخت تراشه‌های رایانه‌ای، که از دنیای مدرن پشتیبانی می‌کنند، بدون سیلیکون ممکن نیست. اگر ماسه را در دمای کافی با مواد افزودنی مناسب ذوب کنید شیشه خواهید داشت. مشخص شده که شیشه — شیشه عادی و ساده — یکی از اسرار بزرگ علم مواد است؛ نه مایع است و نه جامد و ساختار اتمی‌ای دارد که هنوز آن را به طور کامل نشناخته‌ایم. و شیشه جلو اتومبیل شما تازه اول کار است، زیرا با به هم بافتن الیاف شیشه‌ای و ترکیب آن با رزین شیشه به فایر‌گلاس تبدیل می‌شود، همان ماده‌ای که در ساخت پره‌های توربین بادی به کار می‌رود. با پالایش

و تبدیل شیشه به کابل‌های خالص، فیبر نوری ساخته می‌شود که عامل ایجاد اینترنت است. اگر لیتیوم را به ترکیب اضافه کنید شیشه‌ای قوی و انعطاف‌پذیر به دست می‌آید؛ با اضافه کردن بور چیزی به نام شیشه بوروسیلیکات خواهید داشت. احتمالاً قبلاً شیشه بوروسیلیکات را با نام تجاری‌ای که کورنینگ، شرکت سازنده این شیشه، به آن داده است دیده‌اید: پیرکس. شیشه بوروسیلیکات بادوام، شفاف و محکم، که می‌تواند طیف وسیعی از دماها از شعله بدون پوشش چراغ بونزن گرفته تا سرمای شدید اعماق فضا را تحمل کند، یکی از قهرمانان گمنام عصر مدرن است. شیشه بوروسیلیکات برخلاف شیشه معمولی، که وقتی در معرض ماده شیمیایی قوی قرار بگیرد ممکن است ذرات کوچکی از آن در داخل مایع حل شوند، از نظر شیمیایی بدون واکنش باقی می‌ماند و این ویژگی آن را به ماده‌ای عالی برای ساخت لوله‌های آزمایش، شیشه‌های آزمایشگاهی، و ظروف شیشه‌ای پرکاربرد در صنایع دارویی و پزشکی تبدیل می‌کند. تنها چیزی که تقریباً در همه داروها یا واکسن‌های کشف‌شده در طول تاریخ — از جمله واکسن‌هایی که برای کووید-۱۹ ساخته شدند — مشترک است ظروف بوروسیلیکاتی است که در آن‌ها روی داروها کار شده و داروها در آن‌ها نگهداری و حمل شده‌اند.

اما ما معمولاً تا زمانی که دچار کمبود این چیزها نشویم توجه زیادی به آن‌ها نمی‌کنیم. این موضوع قطعاً در مورد شیشه بوروسیلیکات هم صادق است. در پی همه‌گیری کووید، و در میان نگرانی‌ها مبنی بر این که شاید مانع اصلی توزیع واکسن‌ها نه خود داروها بلکه ظرف‌هایی باشد که دارو در آن‌ها حمل می‌شود، این ظرف‌ها ناگهان مورد توجه قرار گرفتند. در نتیجه هزاران کارگر، در طول زنجیره تأمین پیچیده‌ای که از معادن آغاز می‌شد و تا پالایشگاه‌ها و کارخانه‌ها امتداد داشت، به جلوگیری از فاجعه کمک کردند. شرکت کورنینگ حتی نوع کاملاً جدیدی از شیشه را، که نه از بور بلکه از آلومینیوم، کلسیم و منیزیم ساخته شده بود، به کار برد تا پاسخگوی تقاضا برای ظروف شیشه‌ای مورد استفاده در صنایع دارویی و پزشکی باشد.

سایر بخش‌ها زیاد خوش‌شانس نبودند. در طول این بیماری همه‌گیر و پس از آن

کمبودهایی از نظر ماسک صورت، سواب و معرف‌های تشخیصی، و کمبودهایی در تأمین سیمان و فولاد، الوار و دستمال توال، گازها و مواد شیمیایی صنعتی، و نیز کمبود موادی همچون گوشت، خردل، تخم‌مرغ و لبنیات وجود داشت. کمبود تراشه‌های سیلیکونی — که اغلب به آن‌ها نیمه‌هادی گفته می‌شود — به اندازه‌ای بود که خودروسازان در سراسر جهان مجبور شدند دستگاه‌هایشان را از کار بپندازند و کارخانه‌هایشان را تعطیل کنند. سازندگان رایانه‌ها و گوشی‌های هوشمند قادر به انجام دادن سفارش‌ها نبودند. نسل جدید کنسول‌های بازی، حتی پس از گذشت یک سال از عرضه‌شان، همچنان با کمبود مواجه بودند. پس از حدود دو سال این کمبودها به پایان رسید.

نکتهٔ جالب توجه در مورد این بحران‌های زنجیرهٔ تأمین این بود که به نظر می‌رسید همهٔ آن‌ها دولت‌ها و سیاست‌گذاران جهان را کاملاً غافلگیر کرده‌اند. آن‌ها از کمبود نیمه‌هادی‌ها، این‌که خودروها به تعداد زیادی از آن‌ها نیاز داشتند، و این‌که کمبود خودروهای جدید قیمت خودروهای دست‌دوم را به بالاترین حد خود می‌رساند شگفت‌زده شده بودند.

در اواخر سال ۲۰۲۱ دولت بریتانیا هم به همین شکل وحشت‌زده شد، هنگامی که با کمبود ناگهانی دی‌اکسیدکربن مواجه شد و پی برد که بدون دی‌اکسیدکربن صنایع غذایی نه تنها نمی‌توانند نوشیدنی‌ها را گازدار کنند، بلکه قادر به حفظ و نگهداری مواد غذایی و همچنین بی‌هوش کردن خوک‌ها و مرغ‌ها قبل از ذبحشان نیستند. همهٔ این‌ها را می‌شد به تعطیلی ناگهانی دو کارخانهٔ کود شیمیایی در تیساید و چشر مرتبط دانست. به نظر می‌رسید بخش عمدهٔ دی‌اکسیدکربن بریتانیا از این دو کارخانه تأمین می‌شود، کارخانه‌هایی که هدف اصلی‌شان تولید چیز دیگری بود: آمونیاک. و از آن‌جا که قیمت گاز طبیعی بالا بود و نیز از آن‌جا که — چنان‌که در فصل‌های بعد خواهیم دید — آمونیاک از گاز طبیعی تولید می‌شود، نوسان قیمت یکی از این مواد باعث کمبود ناگهانی مادهٔ دیگری شده بود، ماده‌ای که به ظاهر ارتباطی با آن نداشت.

اما آیا همهٔ این اتفاقات واقعاً باید تا این اندازه غافلگیرکننده باشند؟ برای

به دست آوردن سرنخ پاسخ، مقالهٔ برجسته‌ای با عنوان «من، مداد» را در نظر بگیرید که لئونارد رید، اقتصاددان آمریکایی، آن را در سال ۱۹۵۸ نوشت. مقاله این طور شروع می‌شود: «من مدادی سربی هستم، مداد چوبی معمولی‌ای که برای همهٔ پسران و دختران و همهٔ بزرگسالانی که می‌توانند بخوانند و بنویسند آشناست.» و رید یا بهتر است بگوییم مداد ادامه می‌دهد: «حتی یک نفر هم روی کرهٔ زمین نمی‌داند من چگونه ساخته می‌شوم.»^(۲)

چوب مداد از درخت‌های سروی تأمین می‌شود که در آمریکای غربی رشد می‌کنند، این درختان با اره‌هایی بریده می‌شوند که فولاد به‌کاررفته در آن‌ها در کوره‌های بلند ساخته شده و کار روی آن در کارگاه‌ها به پایان رسیده است. درختان قطع شده را به صورت چوب مداد خُرد و سپس خشک می‌کنند؛ چوب‌ها پس از رنگ شدن دوباره خشک می‌شوند؛ شیارهایی در آن‌ها ایجاد و در محل لازم چسب زده می‌شود. سرب موجود در مغز مداد گرافیتی است که در سریلانکا استخراج شده و پس از تصفیه شدن، با خاک رس می‌سی‌سی‌پی و همین‌طور با مواد شیمیایی تهیه‌شده از چربی حیوانی و اسید سولفوریک مخلوط شده است. چوب و سرب مداد را لاک تهیه‌شده از روغن کرچک که از دانهٔ کرچک به دست می‌آید می‌پوشاند؛ برای برچسب زدن روی مداد از رزین استفاده می‌شود و روی نوک آن درپوشی برنجی که از مس و روی استخراج‌شده در آن سوی جهان ساخته شده است قرار می‌گیرد. پاک‌کن از روغن کلزای به‌دست‌آمده از اندونزی ساخته می‌شود و همچنین مواد شیمیایی متعددی از کلرید گوگرد گرفته تا سولفید کادمیوم به آن اضافه می‌شوند.

همهٔ این کارها برای ساخت ساده‌ترین چیزها، یعنی یک مداد، انجام می‌شود. از تولیدکنندگانی که روی هر کدام از مواد به‌کاررفته در ساخت مداد کار می‌کنند گرفته تا شرکت‌های حمل‌ونقلی که قطعات را با کشتی منتقل می‌کنند و کسانی که در نیروگاه‌ها کار می‌کنند تا انرژی لازم را برای این فرایند تأمین کنند؛ مدادِ رید می‌نویسد: «میلیون‌ها نفر در ساخته شدن من نقش

داشته‌اند که هیچ‌کدامشان حتی کمی بیشتر از دیگران در این باره نمی‌داند.» از این روایت چند درس ساده می‌گیریم. درس اول این‌که درک ما از نحوه ساخت محصولاتِی که در زندگی روزمره از آن‌ها استفاده می‌کنیم بسیار کم است؛ و درس دوم این‌که با توجه به این همه پیچیدگی، هیچ انسانی به‌تنهایی نمی‌تواند این فرایندهای متعدد را انجام دهد یا آن‌ها را هدایت کند. به دلایل روشنی «من، مداد»، که در اوج جنگ سرد نوشته شد، بیشترین تأکید را بر درس دوم داشت. میلتون فریدمن، اقتصاددان بازار آزاد، از مقالهٔ رید دفاع کرد تا نشان دهد که تلاش همتایانش در شوروی برای ادارهٔ اقتصادشان از طریق کمیته‌های برنامه‌ریزی مرکزی اشتباه است.

با این حال، وقتی به اختلال در زنجیره‌های تأمین در قرن بیست و یکم فکر کردم، به نظرم رسید که درستیِ عملکرد ما در به خاطر سپردن درس اول هم احتمالاً به همان اندازه بوده است. مطمئناً اگر بیشتر به چگونگی تولید اقلامی که به آن‌ها متکی هستیم فکر کنیم، در هنگام کمبودشان زیاد گیج نمی‌شویم. به لطف مقالهٔ رید، میلیون‌ها دانشجوی اقتصاد اکنون با زنجیرهٔ تأمین مداد آشنا هستند، اما دربارهٔ گوشی هوشمند، واکسن یا باتری چطور؟ دربارهٔ زنجیرهٔ تأمین دی‌اکسید کربن یا شیشهٔ بوروسیلیکات چه؟

شبکهٔ افراد و کارشناسانی که مواد اولیه را به محصولات پیچیده تبدیل می‌کنند و سپس آن‌ها را به دست ما می‌رسانند ستارگانِ دیگرِ کتاب حاضر هستند. در صفحات بعد شاهد بزرگداشت شبکهٔ انسان‌هایی خواهید بود که بیشتر آن‌ها یکدیگر را نمی‌شناسند، اما می‌توانند برای تبدیل موادِ به‌ظاهر نامطلوب و بی‌اثر به چیزهای شگفت‌انگیز با یکدیگر همکاری کنند. و من پی بردم که کمتر زنجیرهٔ تأمینی به اندازهٔ زنجیرهٔ تولید تراشه‌های سیلیکونی حیرت‌انگیز است.

مدت‌ها قبل از کمبود تراشه تلاش کرده بودم داستان یک دانهٔ سیلیکون را از معدن تا کارخانهٔ ریخته‌گری و مونتاژ مواد نیمه‌هادی که این دانه در آن به بخشی از یک گوشی هوشمند تبدیل می‌شود تعریف کنم. خیلی زود متوجه شدم همان‌طور که در مورد مدادِ رید دیدیم هیچ‌کس، حتی کسانی که در خود زنجیرهٔ تأمین کار

می‌کنند، نمی‌تواند به طور کامل فرایندهایی را که در هر مرحله از این سفر اتفاق می‌افتند — حتی فرایندهای بسیار ساده‌شده — برای من توضیح بدهد. کسانی که در کارخانجات ریخته‌گری کار می‌کردند چیزهای زیادی در مورد لیتوگرافی نوری و سایش شیمیایی می‌دانستند، اما دربارهٔ چگونگی ساخت ویفرها یا ورقه‌های سیلیکونی فوق‌خالصی که رویشان کار می‌کردند اطلاعات کمی داشتند. هیچ‌کدام از کسانی که در معدن در حال کندوکاو کوارتزیت در زمین بودند (به نظر می‌رسد تراشه‌ها زندگی‌شان را نه به صورت دانه‌های ماسه، بلکه به صورت توده‌سنگ‌هایی به بزرگی یک مشت آغاز می‌کنند) دربارهٔ سرنوشت نهایی آن چیز زیادی نمی‌دانستند. با این حال، جالب‌توجه‌تر از همه طول مدت سیر این دانه و ماجرای فوق‌العاده آن است. دانهٔ سیلیکون از زمانی که در معدن با انفجار از زمین استخراج می‌شود تا زمانی که سر از گوشی هوشمند درمی‌آورد چند بار جهان را دور می‌زند. نه یک یا دو بار، بلکه سه بار تا بیش از ۱,۰۰۰ درجهٔ سانتیگراد حرارت می‌بیند و سپس سرد می‌شود. این ماده که ابتدا توده‌ای بی‌شکل است به یکی از خالص‌ترین ساختارهای کریستالی جهان تبدیل می‌شود. لیزرهای خاصی دانه‌های سیلیکون را در هم می‌کوبند؛ این لیزرها با شکلی از نور کار می‌کنند که دیده نمی‌شود و در مجاورت جوّ زمین از بین می‌رود. فرایند تبدیل سیلیکون به تراشهٔ کوچک سیلیکونی خارق‌العاده‌ترین مسیری بود که تا آن زمان دنبال کرده بودم.

اما این تازه شروع کار بود. در ماه‌های بعد معادن بیشتری دیدم. به اعماق داغ عمیق‌ترین معادن اروپا رفتم. دیدم که نمک از کجا می‌آید و چطور به مواد شیمیایی‌ای تبدیل می‌شود که بدون آن‌ها زنده ماندن برای همهٔ ما دشوار خواهد شد. سنگ قرمزی را دیدم که به فلز مذاب تبدیل شد و سپس با چکش کاری از آن فولاد به دست آمد. من به استخرهای سبزرنگ و هم‌انگیزی رفتم که از آن‌ها لیتیوم استحصال می‌شد و این ماده را در مراحل خمیر شدن، استوانه‌ای شدن، و فشرده شدن برای تبدیل به باتری خودروهای الکتریکی دنبال کردم. و هر چقدر بیشتر سفر می‌کردم، بیشتر می‌فهمیدم که بخش عمدهٔ عمرم را کلاً در جهان دیگری زندگی کرده‌ام، جهانی که متوجه شدم غیرمادی بوده است.

شاید شما هم در همان جهان زندگی می‌کنید: این جهان که دنیایی از ایده‌هاست نسبتاً دوست‌داشتنی است. چیزی که ما در جهان غیرمادی می‌فروشیم خدمات است و مدیریت و اجرا؛ ما برنامه و وب‌سایت می‌سازیم؛ پول را از ستونی به ستون دیگر منتقل می‌کنیم؛ معاملات ما بیشتر در زمینه ایده‌ها و نظرها، مدل‌های آرایش مو و تحویل غذاست. اگر در آن سوی کره زمین کوه‌ها در حال فروریختن باشند، به نظر می‌رسد اصلاً به این جهان غیرمادی ربطی پیدا نمی‌کند. وقتی به نوادا رفتم تا از منفجر شدن آن کوه فیلمبرداری کنم واقعاً به دنبال فیلمبرداری از استعاره‌ای بصری بودم، به دنبال این‌که چیزی فیزیکی را به چیزی غیرمادی تبدیل کنم؛ گزارش خبری‌ای که به مردم کمک کند ایده‌ای مانند جریان تجارت را کمی بهتر درک کنند. با این حال، هنگامی که آن‌جا بر لبه گودال ایستاده بودم، به ذهنم رسید که دیدگاه من به طرز خطرناکی سطحی بوده است. ناگهان متوجه شدم که از مرزهای یک جهان به جهان دیگری خیره شده‌ام: جهان مواد.

جهان مواد زیربنای زندگی روزمره را تشکیل می‌دهد. بدون چنین جهانی، گوشی هوشمند شما با طراحی زیبایش روشن نخواهد شد و ماشین الکتریکی کاملاً نوبی شما باتری نخواهد داشت. جهان مواد خانه‌ای زیبا برای شما فراهم نمی‌کند، اما شما را از پابرجا باقی ماندن خانه‌تان مطمئن می‌کند. شما را گرم، تمیز، سیر و سالم نگه می‌دارد، هرچند خودتان توجهی به این موضوع نداشته باشید.

جهان مواد جایی است که شرکت‌های بسیار مهمی را که هرگز در موردشان نشنیده‌اید در آن می‌یابید، شرکت‌هایی مانند سی‌ای‌تی‌ال، واکِر، کودلکو، شاگانگ، تی‌اس‌ام‌سی و ای‌اس‌ام‌ال. این نام‌ها شاید برای شما معنایی نداشته باشند، اما به اندازه نام‌های آشنایی مانند المارتز، آپل، تسلا و گوگل این جهان، یا شاید بیشتر از آن‌ها، مهم‌اند. زیرا رازی که به‌خوبی در دنیای اقتصاد مدرن حفظ شده این است که برندهای مشهور جهانی برای تولید محصولاتشان و کمک به تحقق ایده‌های هوشمندانه‌شان کاملاً به شرکت‌های ناشناخته جهان مواد وابسته‌اند. در این شرکت‌هاست که ایده‌ها به واقعیت ملموس تبدیل می‌شوند.

چرا آبربرندهای امروزی این‌قدر از این‌که برای انجام دادن کار واقعی به

شرکت‌های دیگر تکیه کنند خرسندند؟ صادقانه بگویم، دلیلش تا حدودی این است که فعالیت در جهان مواد، یعنی جایی که باید چیزهایی را در آن از طریق حفاری استخراج کنید و آن‌ها را به شکل محصولات فیزیکی در آورید، ممکن است تجارتي دشوار، خطرناک و کثیف باشد. در صفحات بعد شاهد خواهیم بود که بشریت قرن بیست و یکم حاضر است برای این مواد تا کجا پیش برود، خواه استخراج آن‌ها به معنای حفر چاله‌ای به عمق یک دره باشد یا کاوش در کف اقیانوس برای کشف فلزاتی با غلظت‌هایی بیشتر از هر آنچه در خشکی موجود است.

این موضوع شاید ما را به خطرناک‌ترین افسانه غالب بر جهان غیرمادی برساند — این ایده که ما انسان‌ها در حال کاهش مصرف مواد فیزیکی هستیم. برخی از اقتصاددانان به داده‌هایی در ایالات متحده و بریتانیا اشاره می‌کنند که نشان می‌دهد ما به ازای هر دلار یا پوند از درآمدان منابع کمتری مصرف می‌کنیم. در حالی که در بیشتر تاریخ بشر تولیدات اقتصادی ما فاصله نزدیکی با بهره‌برداری مان از منابع طبیعی — و به همین دلیل مصرف انرژی مان — داشته‌اند، در چند دهه گذشته این دو خط از هم دور شده‌اند: تولید ناخالص داخلی همچنان در حال افزایش است، در حالی که استفاده ما از منابع طبیعی ثابت مانده است. اقتصاددانان می‌گویند این موضوع به طور قطع اثبات می‌کند که ما «از منابع کمتر تولیدات بیشتر» به دست می‌آوریم.^(۳)

این ایده جذاب بود — به خصوص که با گرم شدن آب و هوای جهان، همه به دنبال خبرهای خوب بودند — اما من که به تازگی شاهد تخریب یک کوه مقدس برای چیزی بودم که واقعاً نیازی به آن نداشتیم کمی به این موضوع شک داشتم. از خودم می‌پرسیدم آیا این احتمال وجود دارد که ما صرفاً در حال برون‌سپاری این مواد ناخالص به جای دیگری که لازم نیست در موردش فکر کنیم — یعنی به جهان مواد — باشیم؟

کمی بیشتر تحقیق کردم و متوجه شدم در حالی که مصرف مواد طبیعی در کشورهای فراصنعتی مانند ایالات متحده و بریتانیا رو به کاهش است، در آن سوی جهان، در کشورهایی که آمریکایی‌ها و بریتانیایی‌ها بیشتر کالاهایشان را

از آن‌جا وارد می‌کنند، مصرف این مواد با نرخ سرسام‌آوری رو به افزایش است. در واقع معادن طلای نوادا ساده‌ترین و واضح‌ترین بخش این رویه است. ما برای استخراج مس و نفت، آهن و کبالت، منگنز و لیتیوم از زمین از هیچ اقدامی فروگذار نمی‌کنیم. ما برای ماسه، برای جواهرات، برای نمک، برای سنگ زمین را حفاری می‌کنیم و این کار را با سرعت شگفت‌انگیزی انجام می‌دهیم. این فعالیت‌ها موضوعی فرعی نیستند و اهمیتشان رو به افزایش است نه رو به کاهش. بحث‌برانگیزترین مثال در باب این موضوع تغییرات آب و هوایی است. این‌که پیگیری اهداف مختلف زیست‌محیطی ما، در کوتاه‌مدت و میان‌مدت، با ساخت خودروهای الکتریکی، توربین‌های بادی و پنل‌های خورشیدی مورد نیاز برای کنار گذاشتن سوخت‌های فسیلی، به مواد بیشتری نیاز دارد طنز بسیار تلخ و سرنوشت‌سازی است. نتیجه این است که در دهه‌های آینده احتمالاً بیشتر از هر زمان دیگری فلزات را از سطح زمین استخراج خواهیم کرد.

اما این صرفاً فصل آخر حماسه‌ای طولانی است. این اتفاقات از پیش در حال رخ دادن است. ما در سال ۲۰۱۹، آخرین سال ارائه داده‌ها در زمان نگارش این کتاب، بیشتر از مجموع همهٔ موادی که از زمان ظهور بشریت تا سال ۱۹۵۰ استخراج کرده بودیم به استخراج، حفاری و منفجر کردن زمین برای به دست آوردن مواد طبیعی اقدام کردیم. لحظه‌ای فکر کنید. ما در طول یک سال بیشتر از آنچه بشر در بخش عمدهٔ تاریخش — از اولین روزهای استخراج معادن تا انقلاب صنعتی، جنگ‌های جهانی و سایر دوره‌ها — استخراج کرده بود به استخراج مواد از زمین دست زده‌ایم. و این اتفاق فقط مختص سال ۲۰۱۹ نبوده است. در واقع بعد از سال ۲۰۱۲ می‌شد دقیقاً همین توصیف را برای هر سال ارائه کرد. اشتباهی ما برای مصرف مواد خام نه تنها کاهش نیافته بلکه به رشد $\frac{2}{8}$ درصدی‌اش در سال ۲۰۱۹ ادامه داده است، بدون این‌که استخراج حتی یک دسته از مواد معدنی، از ماسه و فلزات گرفته تا نفت و زغال‌سنگ، کاهش یافته باشد.

شما چیز زیادی از این موضوع نمی‌شنوید؛ اگر هم بشنوید، در وهلهٔ اول به واسطهٔ منشور سوخت‌های فسیلی است. به دلایل قابل درک زیادی به

هیدروکربن‌هایی که همچنان در حال استخراجشان هستیم توجه زیادی شده است. احتمالاً می‌دانید که ما دهه‌هاست مقادیر زیادی زغال‌سنگ و نفت را از زیر سطح زمین استخراج می‌کنیم. و احتمالاً می‌دانید که اکنون به تدریج شروع به قطع مصرف این سوخت‌ها کرده‌ایم — یا بهتر است بگوییم سرعت استخراج آن‌ها را از زمین کمی کاهش داده‌ایم.

بنابراین ممکن است فکر کنید این بدان معناست که اشتهای فراوان ما برای مصرف مواد معدنی رو به کاهش است. اما به هیچ وجه این طور نیست. زیرا مشخص شده است که نفت و سایر سوخت‌های فسیلی تنها کسری از حجم کل منابعی هستند که ما از زمین استخراج می‌کنیم. ما به ازای هر تُن سوخت فسیلی به استخراج ۶ تُن مواد دیگر — که عمدتاً ماسه و سنگ و همین طور فلزات، نمک‌ها و مواد شیمیایی هستند — می‌پردازیم. ما شهروندان جهان غیرمادی حتی زمانی که مصرف سوخت‌های فسیلی را کاهش داده‌ایم مصرف هر چیز دیگری را دو برابر کرده‌ایم. اما به نوعی خودمان را فریب می‌دهیم تا دقیقاً عکس آن را باور کنیم. حدس من این است که این موضوع تا حدی به داده‌ها — یا فقدان آن‌ها — برمی‌گردد. ما در شمارش دلارهای تولید ناخالص داخلی بسیار خوب عمل می‌کنیم، اما درکمان از این که چه میزان مواد از زمین استخراج می‌کنیم به شکل شگفت‌آوری ابتدایی است. سازمان ملل و چند نهاد ملی داده، مانند «دفتر آمار ملی» بریتانیا، در سال‌های اخیر به گردآوری چیزی تحت عنوان تجزیه و تحلیل جریان مواد — اندازه‌گیری موادی که از زمین استخراج می‌کنیم، مصرف و سپس بازیافت می‌کنیم یا دور می‌ریزیم — اقدام کرده‌اند. اما این داده‌ها فقط «مواد» استخراج‌شده را ردیابی می‌کنند، نه سنگ و خاک‌هایی به اندازه ده‌ها هواپیمای مسافربری بزرگ را که برای به دست آوردن این مواد جابه‌جا شده‌اند. دیدگاه آماری هرگز این «سنگ‌های ضایعاتی» — این کوه مقدس — را محاسبه نمی‌کند. به عبارت دیگر، ردپای واقعی نوع بشر بر روی زمین بسیار گسترده‌تر از چیزی است که ما می‌دانیم. من بعداً متوجه شدم که ردپای استخراج فلزاتی مانند آهن و مس ردپای استخراج طلا را کم‌رنگ می‌کند و خود این فلزات هم تحت الشعاع ماسه

و سنگی قرار می‌گیرند که در آن‌ها حفاری انجام می‌دهیم و منفجرشان می‌کنیم. میل به دستیابی به مواد معدنی همواره یکی از قوی‌ترین نیروهای محرک بشریت بوده است. این میل در کوه تنابو و با سرزمین اجدادی شوشون‌ها آغاز نشد و به آن ختم هم نخواهد شد، بلکه در همه‌جا از ایالات متحده گرفته تا چین و آفریقا و اروپا و حتی تا اعماق اقیانوس اطلس ادامه خواهد یافت. با این حال، از آن‌جا که این اتفاق به طور فزاینده‌ای پنهان از چشم‌ها رخ می‌دهد، و در داده‌های اقتصادی متعارف نشان داده نمی‌شود، ما بهتر می‌توانیم خودمان را متقاعد کنیم که چنین اتفاقی رخ نمی‌دهد.

اما اوضاع همیشه این‌طور نبوده است. دولت‌ها، در بخش عمده‌ای از تاریخ ما، تأکید فوق‌العاده‌ای بر کنترل این مواد داشته‌اند. کاوش‌های ما نشان خواهد داد که این تلاش برای کنترل مواد در دوره‌هایی از تاریخ که ما هنوز تلاش می‌کنیم میراثشان را بشناسیم و خودمان را با آن وفق دهیم عاملی محرک بوده است: امپراتوری، استعمار و جنگ. وقتی دیوار برلین سقوط کرد برخی از اقتصاددانان اعلام کردند که ما دوره‌ی جدیدی را در زمینه منابع جهانی آغاز کرده‌ایم — این‌که با ظهور تجارت جهانی و زنجیره‌های تأمین واقعی، رقابت بر سر مواد به پایان رسیده است. در نتیجه بسیاری از کشورها از جمله ایالات متحده ذخایرشان از این مواد معدنی حیاتی را که در نیم قرن گذشته ایجاد شده بود کاهش دادند. با برداشته شدن موانع تجاری، تولید به اقدامی کاملاً جهانی شامل زنجیره‌های تأمین آنی تبدیل شد؛ این زنجیره‌ها همه سیاره زمین را در بر می‌گرفتند.

اما امروزه به سرعت برای دولت‌های سراسر جهان آشکار می‌شود که کنترل این مواد و فرایندها بیش از هر زمان دیگری اهمیت دارد. یکی از اولین اقدامات جو بایدن پس از رسیدن به ریاست جمهوری آمریکا امضای فرمان اجرایی درباره «زنجیره‌های تأمین آمریکا» بود تا بررسی شود که ایالات متحده در چه مواردی به کشورهای دیگر متکی است. این کشور در حوزه نیمه‌هادی‌ها از نظر تراشه‌های سیلیکونی — که در صفحات بعد با تولیدکننده آن آشنا خواهیم شد — و در حوزه باتری‌ها از نظر مجموعه‌ای از فلزات از جمله کبالت، نیکل، روی و، از همه مهم‌تر، لیتیوم به دیگر کشورها متکی است.

در این کتاب که در زمینه جهان مواد است به شش ماده پرداخته شده است: ماسه، نمک، آهن، مس، نفت و لیتیوم. با توجه به این که بیشتر داستان‌های پیشرفت بشر از دیدگاهی که ما داریم سرچشمه می‌گیرد، تعیین این مواد به عنوان قهرمان‌های داستان ممکن است کمی اشتباه به نظر برسد. چرا برخی از کشورها پیشرفت می‌کنند در حالی که برخی دیگر نمی‌توانند پیشرفت کنند؟ چرا انقلاب صنعتی در انگلستان رخ داد نه در اتیوپی؟ دیدگاه متداول این روزها این است که شرایط ایجادشده از مجموعه‌ای از عوامل شامل تاریخ، تصادف و داشتن انواع مناسبی از مؤسسات که به مردم امکان نوآوری و پیشرفت می‌دهند ناشی می‌شود. اما این هرگز همه ماجرا نبوده، زیرا راز موفقیت نوع بشر چیزی بیش از دی‌ان‌ای ما یا نهادهای سیاسی مان است. سرنوشت ما همواره با آنچه از زمین استخراج کرده‌ایم و با اهداف خود تطبیق داده‌ایم درهم‌تنیده بوده است.

در حالی که اصطلاحاتی مانند عصر حجر، عصر برنز و عصر آهن معمولاً برای اشاره به دوره‌های دور و فراموش شده به کار می‌روند واقعیت این است که انکای ما به ابزار و مواد فیزیکی به جای این که کاهش پیدا کند به شدت رشد کرده است. با توجه به این که همچنان مقادیر زیادی ماسه و سنگ را با انفجار از زمین بیرون می‌کشیم هنوز در عصر حجر قرار داریم؛ نیاز ما به فولاد و مس در سال‌های اخیر چند برابر شده، پس امروز عصر آهن نیز هست؛ بماند که عصر مس، نمک، نفت و لیتیوم هم می‌تواند باشد.

این شش ماده اجزای ضروری محیطی هستند که در آن این مطلب را می‌خوانید — باتری‌ای که بدون آن تلفنتان از کار می‌افتد و بتنی که بدون آن پایه‌های خانه‌تان فرومی‌ریزد. این مواد به‌ندرت در داستان‌های تلاش یا نوآوری انسان نمود پیدا می‌کنند و اگر هم نمودی پیدا کنند مواد بی‌خاصیتی هستند که مخترعی برجسته آن‌ها را به شیوه‌ای جادویی تغییر شکل داده است.

اما اکنون زمان آن رسیده که به این مواد توجه نشان بدهیم و داستانمان را از منظر آن‌ها بازگو کنیم. شاید عملاً بتوانیم بدون این شش ماده زنده بمانیم، اما نمی‌توانیم بدون آن‌ها رشد کنیم. در بیشتر موارد هیچ جایگزین ایدئالی برای این

مواد وجود ندارد. آن‌ها به ما کمک کرده‌اند جهانمان را بسازیم و اگر دسترسی ما به آن‌ها دچار مشکل شود، زندگی مان به هم خواهد ریخت — در واقع همان‌طور که خواهیم دید عامل فروپاشی برخی از تمدن‌ها و پیروزی برخی دیگر را می‌توان یکی از این شش ماده دانست.

ما پی خواهیم برد که چگونه جستجوی این مواد به تاریخ ژئوپلیتیک شکل داد و اکنون نیز در حال شکل دادن به آینده آن است. به عواقب ناخوشایندی که اشتباه‌های سیری‌ناپذیرمان به مصرف این مواد برای محیط‌زیستمان به همراه دارد پی خواهیم برد. درک این موضوع گاهی برایتان ناراحت‌کننده خواهد بود — به‌خصوص که همه ما با ایجاد تقاضا برای مواد خامی که از زمین استخراج می‌کنیم تا حدودی شریک این جرم هستیم. شاید احساس کنید بهترین راه‌حل این است که همه سعی کنیم کمتر مصرف و بیشتر بازیافت کنیم، و البته این راه‌حل، اگر صادقانه بگویم، راه‌حل بدی نیست.

اما تا انتهای کتاب نگاهی وسوسه‌انگیز به چیز دیگری نیز خواهیم داشت: جهانی که در آن، برای اولین بار پس از انقلاب صنعتی، ممکن است بتوانیم در عین حال که پایداری مان را حفظ می‌کنیم، بدون عمیق‌تر حفاری کردن در زمین و منفجر کردن کوه‌ها، نیازمان به کالاهای را تأمین کنیم. ما هرگز در جهانی واقعاً غیرمادی زندگی نخواهیم کرد؛ ما از زمانی که انسان‌ها سنگ را به ابزار تبدیل کردند از زمین بهره‌برداری کرده و اثری از خود برجای گذاشته‌ایم. اما می‌توانیم ردپایمان را کمتر کنیم. با این کار به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و مقابله با تغییرات آب و هوایی کمک خواهیم کرد. همان‌طور که خواهید دید، تناقض این جاست که رسیدن به این سرزمین موعود ممکن است بیش از هر زمان دیگری مستلزم حفاری و انفجار باشد.

شاید در آن سرزمین موعود دیگر به سوخت‌های فسیلی متکی نباشیم، اما فعلاً به طرز ناامیدکننده‌ای به آن‌ها وابسته‌ایم. این موضوع در اوایل سال ۲۰۲۲ و زمانی که روسیه به اوکراین حمله کرد کاملاً روشن شد. این تهاجم قیمت انرژی را در اروپا به بالاترین حد خود رساند، افزایش قیمتی که خود افزایش هزینه‌های

زندگی را به همراه داشت. میزان این افزایش اقتصاددانان را غافلگیر کرد — بالاخره در جهان غیرمادی به راحتی می توان متقاعد شد که ما مصرف چیزهایی مانند انرژی و مواد خام را که از زمین به دست می آیند کاهش داده ایم. اما یکی از درس هایی که با فرود آمدن در جهان مواد به سرعت یاد می گیرید این است که در اقتصاد تقریباً همه چیز به انرژی وابسته است — حتی چیزهایی که فکرش را هم نمی کنید. کودها و نمک ها، مواد شیمیایی و پلاستیک ها، مواد غذایی و نوشیدنی ها، همگی کم و بیش از محصولات سوخت های فسیلی هستند.

شاید وقایع اوکراین گذار ما به سمت انرژی های تجدیدپذیر را سرعت ببخشد — به شرط این که جهان را به سمت زغال سنگ عقب نراند — اما این امر چالش های جدیدی ایجاد خواهد کرد. حتی با وجود کاهش وابستگی مان به سوخت های فسیلی و به کشورهایی با اقتصاد نفتی مانند روسیه، وابستگی ما به مجموعه گمنام تری از فلزات وارداتی از کشورهای دیگر بیشتر خواهد شد، تا بتوانیم دستگاه هایی بسازیم که انرژی پاک برایمان فراهم کنند. و از آن جا که انرژی تجدیدپذیر نسبت به سوخت های فسیلی یا انرژی هسته ای چگالی انرژی بسیار کمتری دارد، باید برای تولید همان میزان انرژی سازه های بیشتری بسازیم. جهان مواد همین است دیگر.

اما چرا فقط شش ماده؟ چرا فقط ماسه، نمک، آهن، مس، نفت و لیتیوم؟ به هر حال صدها عنصر، ترکیب و ماده وجود دارند که در تولید محصولاتی که به آن ها متکی هستیم و خدماتی که در دنیای مدرن به آن ها نیاز داریم نقش مهمی ایفا می کنند. عنصر بور هرگز در هیچ کدام از طرح های آمادگی برای بیماری های همه گیر برجسته نشد، اما در تلاش برای تولید و توزیع واکسن کووید-۱۹ در اختیار داشتن این عنصر به مقدار کافی نقشی اساسی داشت — و با توجه به این که بور در نقاط انگشت شماری یافت می شود که فعالیت آتشفشانی و آب و هوای خشک دارند، تهیه این عنصر به میزان کافی کار آسانی نبود. نزدیک به یک سوم ذخایر جهانی این ماده در ترکیه و مابقی ذخایر آن در بیابان های کالیفرنیا و مناطق خاور دور روسیه قرار دارند.

از این گذشته، بورات‌ها، یعنی نمک‌هایی که این عنصر در آن‌ها یافت می‌شود، کاربردهای فراوان دیگری نیز دارند: این ترکیبات یکی از عناصر کودها هستند و به رشد بذر و بازدهی محصولات کشاورزی کمک می‌کنند؛ آن‌ها همچنین از عوامل محافظت از چوب در برابر حشرات و پوسیدگی قارچی هستند. اضافه کردن بور به فولاد استحکام آن را افزایش می‌دهد؛ پاشیدن نمک‌های بورات به استخرهای شنا به کاهش اسیدیتهٔ آب و جلوگیری از تجمع جلبک‌ها کمک می‌کند.

پس قلع چه می‌شود؟ ماده‌ای که هم یکی از اجزای حیاتی مدارهای الکترونیکی است و هم یکی از اولین فلزاتی که اجداد ما بهره‌برداری از آن را یاد گرفتند؟ آلومینیوم، رایج‌ترین فلز در پوستهٔ زمین — که البته به‌تازگی فراوری‌اش را آموخته‌ایم — چه؟ پلاتین و فلزات هم‌تای آن مانند پالادیوم و رودیوم — مواد کمیاب و مهم اجزای مدارهای الکتریکی و مبدل‌های کاتالیزوری — چه؟ کروم که نقشی اساسی در ساخت فولاد ضدزنگ دارد، یا کبالت، یا فلزات خاکی کمیاب مانند نئودیمیوم که در آهنرباهای دقیق کاربرد دارند چگونه؟

خط سیری که من ترسیم کرده‌ام این است: شش ماده‌ای که ستاره‌های این کتاب هستند تنها مواد مهم جهان نیستند، اما تصور تمدن مدرن بدون آن‌ها دشوار است. ما می‌توانیم بدون کبالت باتری تولید کنیم؛ می‌توانیم هدفون‌ها و موتورهای الکتریکی را — البته با حجم بیشتر و کارآمدی کمتر — بدون آهنربای نئودیمیوم بسازیم. اما جایگزین کردن موادی که در این کتاب ذکر شده‌اند از همه دشوارتر است.

زمانی گروهی از خبرنگاران از آلبرت اینشتین خواستند نظریهٔ نسبیتش را توضیح دهد. او گفت: «می‌توانم آن را به این شکل توضیح بدهم: قبلاً اعتقاد بر این بود که اگر همهٔ چیزهای مادی جهان ناپدید شوند زمان و مکان باقی می‌مانند. اما طبق نظریهٔ نسبیت، زمان و مکان هم همراه با اشیا ناپدید می‌شوند.» می‌توانید همین را در مورد جهان مواد هم بگویید. این مواد تاروپود تمدن‌اند؛ بدون آن‌ها زندگی عادی، آن‌طور که ما می‌شناسیم، از هم می‌پاشد.^(۴)

مثلاً تصادفی نیست که ما کار را با ماسه شروع می‌کنیم، زیرا ماسه ماده‌ای است که بشر بخش زیادی از محیط زندگی خود را با آن ساخته است. این ماده همچنین