

انرژی، رشد اقتصادی، و بحران زیست محیطی

ارالد کولاسی



ترجمه‌ی هومن کاسبی



آیا رشد اقتصادی می‌تواند تا همیشه ادامه پیدا کند؟ این پرسش نسبتاً ساده، سرگیجه‌های فکری برای سرمایه‌داری مدرن به وجود آورده است. کارل مارکس در *گروندریسه* استدلال کرد که سرمایه نمی‌تواند هیچ حد و مرزی را تحمل کند. مراد او این بود که رانه برای رشد و جست‌وجوی بازارهای جدید، هر دو برای بقای سیاسی و اقتصادی سرمایه‌داری ضروری هستند.^۱ در این پرتو، دلالت‌های تلویحی این سؤال، چیزی را در مایه‌های چالشی وجودی برای نظم کنونی می‌نمایاند. سرمایه‌داری نمی‌تواند به وجود هیچ حد و مرز طبیعی بر رشد اقتصادی اذعان کند، چرا که به معنای اذعان به مرگ نهایی خود خواهد بود. اکثر رهبران سیاسی و اقتصاددانانی که از نظم فعلی حمایت می‌کنند، برای حفظ این ادعا که سرمایه‌داری بازنمود نظامی شبه-ابدی و شکست‌ناپذیر است، شروع به نقل مجموعه روایت‌های پیچیده‌ای در مورد رابطه میان اقتصادهای انسانی و جهان طبیعی کرده‌اند.

این روایت‌ها همگی حول این ایده‌ی مرکزی می‌گردند که ما می‌توانیم رشد اقتصادی را از نیازهای مادی تمدن بشری *منفصل سازیم*. تا اواخر قرن بیستم، اقتصاددانان عموماً متوجه شدند که رشد اقتصادی بیش‌تر، مستلزم بهره‌برداری از انرژی و مواد بیش‌تر است. اما همچنان که سازش‌های پساجنگ میان کار و سرمایه در دهه‌ی ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ شروع به فروپاشی می‌کرد، تغییر تأکید و جهت نظریه‌های اقتصادی آغاز شد. نسل جدیدی از اقتصاددانان، با الهام از نظریات نوکلاسیک، این بحث را آغاز کردند که رشد اقتصادی می‌تواند بدون مصرف منابع اضافی از محیط‌زیست ادامه یابد.^۲ آن‌ها مدعی شدند که می‌توانیم با انجام کار بیش‌تر با انرژی کمتر، سرمایه‌گذاری در انرژی پاک، و توسعه‌ی تکنولوژی‌های صرفه‌جویی در انرژی، به این نیروانای اقتصادی برسیم. سخن کوتاه، آن‌ها در واقع به نفع پایداری درازمدت سرمایه‌داری استدلال می‌کردند، و تمام علوم و شواهد را در این راستا نادیده می‌گرفتند.

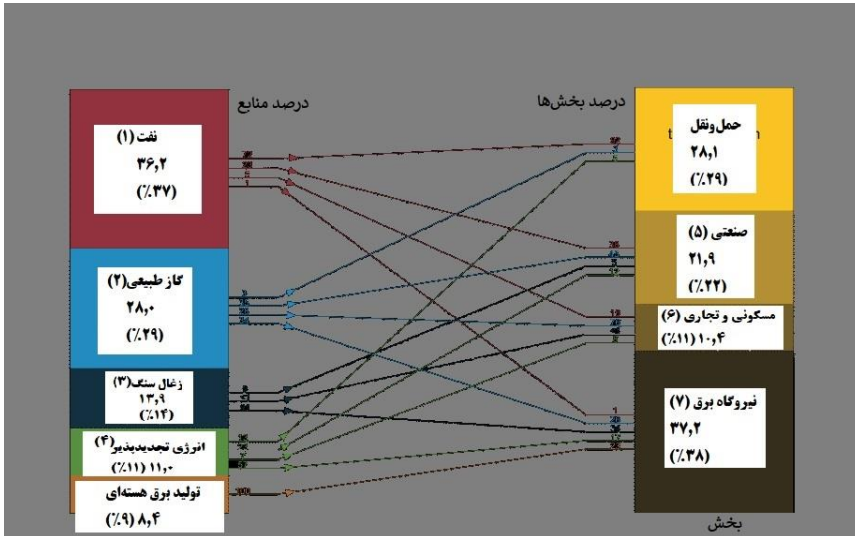
در سطح پایه، دانشمندان و اقتصاددانان معمولاً انفصال را به‌مثابه فرایندی تعریف می‌کنند که حجم اقتصاد گسترش می‌یابد در حالی که اثرات منابع، معمولاً انتشار گاز کربن یا مصرف انرژی اولیه، کاهش پیدا می‌کند.^۳ به بیان مشخص‌تر، انفصال نسبی زمانی رخ می‌دهد که اثرات منابع با نرخ آهسته‌تر از رشد اقتصادی بالا می‌رود. انفصال مطلق هنگامی اتفاق می‌افتد که حتی وقتی اقتصاد به گسترش خود ادامه می‌دهد، اثرات منابع به صورت مطلق کاهش می‌یابد.^۴ نظریات اقتصادی کلان در پشتیبانی از سرمایه‌داری، حجم و فعالیت اقتصادی را با محاسبه‌ی تولید ناخالص داخلی (GDP) اندازه می‌گیرند، که ارزش بازار سالانه‌ی کالاها و خدمات تولید شده در یک اقتصاد را با افزودن سرمایه‌گذاری ناخالص خصوصی، هزینه‌های مصرفی، هزینه‌های دولتی و تراز تجاری نشان می‌دهد. گفتنی است که اگرچه حکومت‌ها و اکثر اقتصاددانان در سراسر جهان به طور گسترده‌ای آن را پذیرفته‌اند، مشکلات علمی بنیادینی در مورد استفاده از این مقیاس به عنوان شاخص دقیقی از مجموع فعالیت اقتصادی وجود دارد.^۵

واگرایی میان رشد انتشار کربن و رشد اقتصادی، و میان رشد اقتصادی و مصرف انرژی اولیه، اغلب در هر دو گفتمان عمومی و دانشگاهی در مورد مسئله‌ی انفصال با هم تلفیق می‌شوند، که انواع و اقسام سردرگمی‌ها را موجب می‌گردند.^۶ برخی اقتصاددانان نیز به ارتباط مجموع تقاضا با مصرف مواد خام توجه کرده‌اند. سایر ایده‌ها و مفاهیم مرتبط با انفصال مرتباً در ادبیات مربوطه منتشر می‌شوند، که ابهام کلی را پیرامون این مسئله بازتاب می‌دهد.

مصرف انرژی اولیه در آمریکا (برحسب بخش و برحسب منبع)، ۲۰۱۷. اداره‌ی

اطلاعات انرژی، چشم‌انداز انرژی سالانه برای سال ۲۰۱۸

کل = ۹۷,۷ کواردیلیون بی تی یو



U.S. Primary energy consumption by source and sector, ۲۰۱۷.
Energy Information Administration, Annual Energy Outlook for
۲۰۱۸.

هدف این مقاله، ترکیب و درک این ایده‌های نامتجانس، و ارائه‌ی مروری جامع بر روابط میان انرژی، رشد اقتصادی و توسعه‌ی اجتماعی است. این مباحثه در سطح عملی، سیال و پرهیز و مرج شده است، زیرا ثروت و قدرت مد نظر هستند. با این حال، به لحاظ فکری، بسیاری از استدلال‌ها با توسل به نظریات نادقیق و عبارات گمراه کننده، سردرگمی را تقویت می‌کنند. مردم اغلب مفهوم مصرف انرژی را با اصطلاح بهره‌برداری از انرژی معادل می‌دانند، که نشان می‌دهد آن‌ها از تمایزات مهم در نحوه‌ی عملکرد حسابداری انرژی، یا حتی این که انرژی واقعاً به چه معنا است، بی‌اطلاع هستند. بسیاری از اقتصاددانان در مورد مفاهیمی مانند انرژی و بازده به طرق

بسیار متفاوت از فیزیکدانان می‌اندیشند، که فرصت‌های وافری برای سردرگمی بینارشته‌ای ایجاد می‌کند. این شبکه از تعاریف و مفاهیم، محتاج تلاش برای شفاف‌سازی است. در این‌جا، ماهیت رابطه میان انرژی و رشد اقتصادی را با برجسته‌سازی حوزه‌هایی که صحبت درمورد انفصال معنادار است، در عین تأکید بر برخی حدود و مشکلات بنیادین برای استناد به این مفهوم در رابطه با اقتصاد، بررسی می‌کنم.

نقش اساسی تبدیل انرژی

مصرف انرژی، مبحث پیچیده‌ای است که بر مسائل مختلف فراوانی درمورد ماهیت تمدن انگشت می‌گذارد. وقتی اکثر حکومت‌ها و سازمان‌ها درمورد مصرف انرژی صحبت می‌کنند، معمولاً به معیاری با نام مصرف انرژی / اولیه می‌دهند، که استفاده‌ی مستقیم از منابع انرژی را بدون هیچ تبدیل یا استحاله‌ی پیشینی بازنمایی می‌کند.^۷ مصرف اولیه شامل سوزاندن زغال‌سنگ در نیروگاه و تقطیر نفت خام در پالایشگاه است. اشکال اولیه‌ی انرژی به خودی خود سودمند نیستند، بنابراین به اشکال ثانویه‌ی انرژی تبدیل می‌شوند و استحاله می‌یابند. برای مثال، زغال را می‌سوزانیم تا بتوانیم انرژی بخار حاصل را به برق تبدیل کنیم، و نفت خام را تقطیر می‌کنیم تا بتوانیم بنزین تولید کنیم. زغال‌سنگ و نفت خام، اشکال اولیه‌ی انرژی هستند، در حالی که برق و بنزین، اشکال ثانویه در نظر گرفته می‌شوند. منابع ثانویه نیز می‌توانند به سایر کارکردها و بهره‌بردارهای نهایی تبدیل شوند، که جمعاً تحت عنوان منابع ثالث شناخته می‌شوند. با این حال باید تأکید کرد که تمام منابع انرژی اولیه خودشان نتیجه‌ی تبدیل‌ها و استحالات در طبیعت هستند، بنابراین روی هم رفته چندان هم / اولیه نیستند. برای مثال، هیدروکربنات گیاهان و جانوران مرده که نفت را می‌سازد، فرآورده‌ی ثانویه‌ی فتوسنتز است، که نیاز به انرژی خورشیدی و مولکول‌های آب

دارد. این واقعیت به چالشی مهم برای روش‌های معمول حسابداری انرژی اشاره می‌کند: مفهوم شکلی اولیه از انرژی، به لحاظ نظری مشکوک است.

دو روش رایج برای اندازه‌گیری انرژی اولیه وجود دارد: روش جایگزینی جزئی، و روش محتوای انرژی فیزیکی.^۸ اجازه دهید آن‌ها را با چند مثال توضیح دهیم. هنگامی که نیروگاه برق با سوزاندن زغال‌سنگ کار می‌کند، انرژی اولیه به‌سادگی برابر با انرژی زغال‌سنگی است که دود می‌شود. پس در مورد سوخت‌های فسیلی، همه‌چیز بسیار آسان است: فقط مقدار موادی را که می‌سوزانیم ثبت می‌کنیم، و آن را/انرژی اولیه می‌نامیم. اما وضعیت برای منابع انرژی تجدیدپذیر مانند نیروی باد، خورشید و آب، پیچیده‌تر است، زیرا در عین حال که این منابع انرژی تولید برق می‌کنند، هیچ‌چیز نمی‌سوزد. به دو روش بالا وارد می‌شویم. در روش محتوای انرژی فیزیکی، صرفاً انرژی الکتریکی تولیدشده توسط این منابع را انرژی اولیه حساب می‌کنیم، گرچه برق آشکارا شکل تبدیل‌شده‌ای از انرژی به شمار می‌آید. این روش توسط آژانس بین‌المللی انرژی برای اندازه‌گیری مصرف انرژی از منابع تجدیدپذیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش جایگزینی جزئی، وانمود می‌کنیم که برق تولیدشده از یک نیروگاه حرارتی فرضی می‌آید، و بعد بازدهی را برای این کارخانه فرض می‌گیریم. برای مثال، اگر این کارخانه دارای بازده ۲۰ درصد باشد، پس برق تولیدشده را در ضریب پنج ضرب می‌کنیم. در این مورد، انرژی اولیه‌ی مورد نیاز برای تولید آن برق، پنج برابر بزرگ‌تر است. شرکت بریتیش پترولیوم،^۱ این روش جایگزینی جزئی را در گزارش‌های انرژی جهانی عمومی خود به کار برده است.^۹ دلیل اصلی که چرا این تفاوت‌ها اهمیت دارند، این است که می‌توانند به برآوردهای متفاوتی از مصرف انرژی منجر شوند، به‌ویژه برای کشورهای که به‌شدت بر انرژی‌های تجدیدپذیر اتکا دارند.

^۱ British Petroleum

ما همیشه می‌توانیم بحث کنیم و بپرسیم که کدام روش صحیح‌تر است، اما این خط اندیشه، مضمون محوری مکالمه را به تمامی نادیده می‌گیرد. در واقعیت، فراسوی جهان حسابداری آماری، فقط تبدیل‌های انرژی هستند که حقیقتاً اهمیت دارند. انرژی الکتریکی تولیدشده از منابع تجدیدپذیر، از جریان‌های پویا در طبیعت همچون تابش خورشید به زمین و رودخانه‌هایی که در پشت سدها می‌غرند، حاصل می‌شود. تمرکز سوخت‌های فسیلی در نقاط پردازش و پالایش آنها مستلزم تبدیل‌های انرژی از ماشین‌آلات و نیروی کار انسانی بود، که نخست این سوخت‌ها را استخراج و سپس آنها را به مکان خاصی منتقل می‌کردند. تمام این اتفاق‌ها پیش از این که چیزی سوزانده و در سیاهه‌ها و نمودارها ثبت شود، روی می‌دادند. تفکر از منظر مصرف انرژی اولیه، جریان‌ها و تبدیل‌های انرژی را که تمام فعالیت‌های اقتصادی را ممکن می‌سازند، پنهان می‌کند. همچنین فرصت‌های وافر را برای سردرگمی و نتایج اشتباه در گفتمان عمومی ایجاد می‌کند. هنگامی که اقتصاددانان و رسانه‌ها نشان می‌دهند که منحنی رشد تولید ناخالص داخلی از منحنی مصرف انرژی فاصله می‌گیرد، در واقع نشان می‌دهند که رشد تولید ناخالص داخلی از مصرف انرژی اولیه فاصله می‌گیرد.^{۱۱} آنها سپس فرض می‌کنند که تنها همین به‌نحوی ثابت می‌کند که رشد اقتصادی از بهره‌برداری از انرژی منفصل شده است.

این فرض شدیداً گمراه‌کننده است. برای درک دلیل امر، بررسی اهمیت انرژی در زمینه‌ای وسیع‌تر فراسوی اقتصاد کمک می‌کند. عموماً می‌توانیم انرژی را به عنوان حالات محدود حرکت تعریف کنیم، که می‌تواند در میان نظام‌های فیزیکی مختلف ردوبدل شود. می‌تواند در اشکال مختلف بسیاری وجود داشته باشد، همچون شیمیایی، حرارتی، جنبشی و پتانسیل. استدلال‌های ذیل حتی به تعریف خاصی از انرژی نیز بستگی ندارند؛ آنها فقط وابسته به این واقعیت اساسی هستند که اشکال معینی از انرژی می‌تواند به اشکال دیگر تبدیل شود. به‌عنوان مثال، انرژی شیمیایی را می‌توان به

انرژی مکانیکی تبدیل کرد؛ همان اتفاقی که وقتی موتورهای ماشین ما سوخت را می‌سوزانند و انرژی گرمایی حاصله را به حرکت مکانیکی چرخ‌ها تبدیل می‌کنند، رخ می‌دهد. انرژی گرمایی و مکانیکی نیز می‌توانند به انرژی الکتریکی تبدیل شوند؛ مانند زمانی که نیروگاه‌های برق، زغال‌سنگ را می‌سوزانند و از انرژی بخار حاصله برای راندن مولدی استفاده می‌کنند که برق تولید می‌کند. تمرکز انحصاری بر مصرف انرژی اولیه، این تبدیل‌های انرژی را که باید عناصر محوری داستان باشند، کاملاً نادیده می‌گیرد و به حاشیه می‌راند.

تمام تراکنش‌های اقتصادی قابل‌تصور، از مبادله‌ی پول تا تولید کالاها، مستلزم تبدیل‌های انرژی از منابع مختلف هستند. انرژی در تمام کنش‌های انسانی گنجانده شده است. به‌سادگی پس از این که منابع طبیعی را در نیروگاه سوزانیم از دور خارج نمی‌شود. جریان انرژی در خلال اجزای گوناگون تمدن، تمام کنش‌های بشری ممکن را تسهیل می‌کند، همچون رانندگی تا خواربارفروشی، اینترنت‌گردی، بازی‌های ویدئویی، تماشای نمایش‌های تلویزیونی و خواندن رمان‌های عاشقانه در ساحل. به این معنای بنیادین، فعالیت‌های اقتصادی را نمی‌توان از بهره‌برداری از انرژی جدا کرد، زیرا انگار از اقتصاد بخواهیم که کاملاً به خارج از قوانین فیزیک گام بگذارد؛ آشکارا مهمل. اما برخی نظریات اقتصادی تلویحاً اشاره می‌کنند که دقیقاً همین مهمل آشکار می‌تواند در واقع اتفاق بیفتد: آن‌ها سرمایه و کار را به‌طور مصنوعی از محدودیت‌های انرژی جدا می‌کنند، و عملاً هرگونه پیوندی را میان علم فیزیک و اقتصاد قطع می‌کنند.^{۱۱} بسیاری از اقتصاددانان، از مصرف انرژی اولیه به‌عنوان تکیه‌گاهی برای [فهمیدن] نحوه‌ی تأثیرگذاری انرژی بر فرآیندهای اقتصادی استفاده می‌کنند، و بدین ترتیب طوری تظاهر می‌کنند که گویا زندگی ما در قلمروی به‌تمامی مجزایی از محدودیت‌های انرژی جریان دارد. در عوض تمرکز انحصاری بر مصرف اولیه، باید بر اهمیت آن‌چه جریان کل می‌نامیم تأکید کنیم، که به‌عنوان مجموع کل تمام انرژی‌هایی

که از طریق فعالیت‌های اقتصادی ما تبدیل شده‌اند، تعریف می‌شود. به عبارت دیگر، جریان کل بر جریان‌ها و استحاله‌های انرژی که تمدن را ممکن می‌سازند، تمرکز می‌کند. کمیت بااهمیت دیگری مرتبط با آن، نرخ جریان کل^۱ یا AFR است که جریان کل را در واحد زمان می‌سنجد. جوامع ثروتمندتر به طور کلی AFR بالاتری نسبت به جوامع فقیرتر دارند؛ یعنی آن‌ها می‌توانند مقادیر بیش‌تری را از ثروت مازاد واقعی در قالب ارزش‌های مصرفی، تولید و توزیع کنند. با این حال، بخش بزرگی از این ثروت همچنین به صورت هدررفت‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی درمی‌آید.

علاوه بر نقش اساسی تبدیل‌ها، باید در ارتباط با آن‌ها بر اهمیت کیفیت انرژی تأکید کنیم. منابع اولیه‌ی انرژی با هم برابر نیستند. برخی از آن‌ها پربازده‌تر از سایرین هستند. برخی، کار مکانیکی بیش‌تری حاصل می‌کنند. سایرین، برق بیش‌تری تولید می‌کنند. به عنوان مثال، تولید یک کیلووات ساعت برق در سال ۲۰۱۷، به طور متوسط به ۷،۸۱۲ واحد حرارت بریتانیایی (BTU) از گاز طبیعی و ۱۰،۴۶۵ BTU از زغال‌سنگ نیاز داشت.^{۱۲} بر این اساس، گاز طبیعی تقریباً دارای ۲۵ درصد بازده بیشتری از زغال‌سنگ در تولید همان مقدار برق است. متفکر انرژی، واکلاو اسمیل،^۲ تراکم نیروی یک منبع انرژی را ویژگی مهمی برای رشد اقتصادی و توسعه‌ی تمدن شناسایی کرد.^{۱۳} او تراکم نیرو را به عنوان شار انرژی در واحد سطح تعریف کرد که می‌تواند در فرایند تبدیل یک منبع انرژی آزاد شود. اسمیل ادعا کرده است که سوخت‌های فسیلی به‌ویژه برای سرمایه‌داری مهم هستند، چون تراکم نیروی بیش‌تری نسبت به سایر منابع انرژی همچون باد و خورشید دارند. تراکم نیروی بیش‌تر به تولید

^۱ Aggregate Flow Rate

^۲ Vaclav Smil

بیش‌تر کمک می‌کند، و در نتیجه به سودهای بالاتری می‌انجامد. مقیاس‌های دیگری برای کیفیت انرژی قابل‌تصور هستند، اما نکته‌ی اساسی این است که منابع انرژی طبیعی می‌توانند کاربردها و صفات بسیار متفاوتی داشته باشند. تنها راه برای درک این تفاوت‌ها، نگرستن به تبدیل‌ها و استحالتهایی است که در پی مصرف اولیه می‌آیند. با ناکامی در برداشتن این گام مهم اما معمولاً مغفول، به نظر می‌رسد که گویا تمام منابع انرژی را باید برابر قلمداد کرد، انگار که همگی دارای ظرفیت‌های یکسانی در فرایند تولید و مصرف اقتصادی هستند.

نقایص اساسی در نظریه‌ی رشد نوکلاسیک

بنیان‌های فکری روایت انفصال، از نظریه‌ی اقتصادی نوکلاسیک - پارادایم غالب توضیح در میان اقتصاددانان ارتدکس که از سرمایه‌داری حمایت می‌کنند- نشأت می‌گیرد. نظریه‌ی نوکلاسیک به‌طور کلی آلوده به مفروضات غیرواقع‌بینانه در مورد جامعه و ناسازگاری‌های ریاضی پرشمار است، و اصلاً هیچ قدرت پیش‌بینی ندارد.^{۱۴} با این حال، در این بخش بر گناه اصلی این کشتی فکری به گل نشسته تمرکز می‌کنیم: رد فیزیک، و جهالت از نظم طبیعی. در دهه‌ی ۱۹۵۰، رابرت سولو^۱ اقتصاددان، یکی از نخستین مدل‌های عمده را برای توصیف چگونگی وقوع رشد اقتصادی تدوین کرد.^{۱۵} در این نسخه از نظریه‌ی نوکلاسیک، نهاده‌های تولیدی سرمایه و نیروی کار برای تولید ستانده‌ها یا کالاهای تکمیل‌شده که در اقتصاد به فروش می‌رسد، با هم ترکیب می‌شوند. رشد سرمایه به ستانده‌ی بیش‌تر منجر می‌شود، اما استهلاک در دارایی‌های سرمایه نیز بخشی از آن ستانده را کاهش می‌دهد. اقتصاد در نهایت به حالتی ایستا می‌رسد، وقتی که رشد و استهلاک در حالت تعادل با یک‌دیگر هستند و رشد بیش‌تری وجود ندارد. نظریه‌ی نوکلاسیک استدلال می‌کند که اقتصاد برای تولید

^۱ Robert Solow

رشد مستمر، نیازمند جریان مداوم پیشرفت تکنولوژیک است، که به‌عنوان افزایش بهره‌وری کل تعریف می‌شود. این افزایش بدان معنی است که ستانده‌های تولیدی می‌تواند در عین حال که نهاده‌های تولیدی ثابت باقی می‌مانند، بالا برود. سولو طرح‌واره‌ای ریاضی را برای شناسایی تاثیر این رشد فناوری بر تغییرات GDP مطرح کرد. اگر چه کار او با تحسین گسترده‌ی سایر متفکران نوکلاسیک روبرو شد، بخش اعظم آن مبتنی بر نتایج ریاضی مشکوک بود که در واقع اعتبار ادعاهای او را تأیید نمی‌کردند.^{۱۶}

در بسط نظریه‌ی اصلی سولو، نهاده‌های تولیدی معمولاً شامل سرمایه، نیروی کار و فناوری شده‌اند. انرژی گاهی اوقات تحت این سه ورودی سنتی قرار می‌گیرد، یا شاید فی‌نفسه و به‌خودی خود نهاده‌های مجزایی قلمداد شود. مهم این است که نهاده‌های تولیدی تا حد زیادی مستقل از یک‌دیگر نگرسته می‌شوند، بدین معنا که می‌توانند در صورت لزوم برای حفظ یا افزایش حداکثر سطح تولید، جایگزین هم شوند. نظریه‌ی نوکلاسیک مدعی است که اگر جوامع در زمینه‌ی منابع طبیعی دچار کمبود باشند، این کمبود را می‌توان از طریق نوآوری تکنولوژیک، افزایش بازده، یا سایر اشکال جایگزین، جبران کرد. به‌راستی، اقتصاددانان نوکلاسیک تمایل دارند فرض بگیرند که پایداری درازمدت سرمایه‌داری از لحاظ مادی امکان‌پذیر است، و تمام کاری که باید انجام دهیم همین است که ترتیبات اجتماعی و نهادی را که می‌تواند آن پایداری را تضمین کنند، کشف کنیم.^{۱۷} سولو این ایده را که جهان طبیعی، حد و مرزی بر رشد اقتصادی نمی‌گذارد، بر مبنای ذیل مطرح کرد: «اگر جایگزینی منابع طبیعی با عوامل دیگر بسیار آسان باشد، پس اصولاً هیچ "مشکلی" وجود ندارد. جهان عملاً می‌تواند بدون منابع طبیعی به کار خود ادامه دهد؛ بنابراین اتمام آن‌ها فقط یک رخداد است، نه یک فاجعه».^{۱۸} اگرچه مدل او همچنین نشان می‌داد که رقابت در نهایت به اتمام منابع

طبیعی منجر خواهد شد، گزاره‌ی او نگرش کلی را که بسیاری از اقتصاددانان در مورد ناگزیری رشد تحت لوای سرمایه‌داری دارند، به زیبایی توصیف می‌کند.

برای مدلی بسیار ساده‌انگارانه از معنای تمام این قضایا، پیتزافروشی محله‌ی خود را در نظر بگیرید. بنا بر نظریه‌ی نوکلاسیک، پیتزافروشی می‌تواند سطوح کنونی تولید پیتزا را رویارو با هر کمبودی حفظ کند یا ارتقا دهد. می‌توان با افزودن اجاق‌های پیش‌تر، بر کمبود کارگران غلبه کرد. کمبود پنیر را می‌توان از طریق پیشرفت‌های فنی که روش‌های کارآمدتری را برای تولید پنیر حاصل می‌کنند، برطرف نمود. کمبود برق را می‌توان با افزایش بهره‌وری کار، شاید با آموزش کارگران برای پخت سریع‌تر پیتزا تحت محدودیت‌های زمانی جدید، جبران کرد. همه‌چیز را می‌توان جایگزین نمود. همه‌چیز را ظاهراً بدون انتها می‌توان جایگزین کرد. ایده‌ها و اصولی که اکنون شرح داده شدند، مفروضات بنیادین را در اقتصاد نوکلاسیک بازنمایی می‌کنند، و اغلب برای توضیح رابطه میان مصرف انرژی و رشد اقتصادی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگر هیچ حد و مرز سفت و سختی برای جایگزینی وجود نداشته باشد، پس ممکن خواهد بود که اقتصاد ما حتی در زیست‌کره‌ای با مقادیر در حال افول منابع طبیعی، و با پیامدهای زیست‌محیطی شدیداً آشوب‌ناک و غیرخطی که از خسران انرژی عظیم در جوامع سرمایه‌داری ناشی می‌شوند، به رشد خود ادامه دهد. به عبارت دیگر، صرف‌نظر از هر نقصان یا بی‌ثباتی در دنیای طبیعی گسترده‌تر در نتیجه‌ی افزایش بهره‌وری، فناوری‌های بهتر و بازده بالاتر همیشه برای ارتقای تولید در دسترس خواهند بود.

برای به زیر کشیدن این فانتزی پیچیده، فیزیک پایه در شروع به ما کمک می‌کند. بنیادین‌ترین حدود بر جایگزینی از ترمودینامیک نشأت می‌گیرند، شاخه‌ای از فیزیک که مقادیری را مانند گرما، کار و انرژی مطالعه می‌کند. حدود ترمودینامیک، محدودیت‌هایی را بر حداکثر بازده جریان‌های انرژی در خلال نظام‌های تکنولوژیک

تحویل می‌کنند.^{۱۹} موتور خودرو، نیروگاه و سلول‌های فوتوالتائیک،^۱ همگی در ظرفیت خود برای تبدیل یک نوع از انرژی به نوع دیگر محدود هستند. پیشرفت تکنولوژیک نمی‌تواند بر این حدود غلبه کند؛ هیچ موتور خودرویی هرگز نمی‌تواند پربازده‌تر از موتوری در چرخه‌ی کارنو^۲ باشد.^{۲۰} در یکی از مقالات پیشین برای این مجله، بازده کل یک نظام اقتصادی را به‌عنوان کسری از تمام مصرف انرژی اولیه که کار مکانیکی و برق را تولید می‌کند، تعریف کردم.^{۲۱} به ادعای من، بازده‌های کل در طی زمان به‌شدت لخت هستند، چرا که بهبود قابل توجه آن‌ها مستلزم سرمایه‌گذاری‌های هنگفتی است که نظم اقتصادی حاکم را مختل خواهد کرد.

هنگامی که جامعه‌ای در یک ساختار انرژی خاص مستقر شده است، تغییر بسیار بیش‌تر آن به خاطر طبقات نخبه و گروه‌هایی که برای ثروت و نفوذ خود شدیداً متکی بر آن ساختار هستند، به وظیفه‌ای دهشتناک تبدیل می‌شود. ما می‌توانیم به تجربه‌ی اخیر آلمان برای مطالعه‌ی موردی برجسته‌ای نگاه کنیم. در سال ۲۰۰۰، حکومت آلمان برنامه‌ی *انقلاب انرژی*^۳ بلندپروازانه‌ی خود را به راه انداخت، که طرحی جامع برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با تغییر تولید انرژی به سوی منابع تجدیدپذیر همچون باد و خورشید بود.^{۲۲} برای مدتی، این برنامه به موفقیت‌های قابل توجهی دست پیدا کرد. در مقایسه با سال ۱۹۹۰، انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۰۱۷ به میزان ۲۸ درصد کاهش یافته بود. در همان سال، منابع تجدیدپذیر به سهم ۱۳ درصدی از مصرف انرژی اولیه رسیدند. اگر چه این اعداد تأثیرگذار هستند، پیشرفت به‌تازگی متوقف شده است. به‌طور فزاینده‌ای روشن شده است که آلمان به اهداف

^۱ Photovoltaic

^۲ Carnot cycle

^۳ Energiewende

اقلیمی که برای سال ۲۰۲۰ تعیین کرده بود، دست نخواهد یافت. و هنگامی که اندکی عمیق‌تر درون این اعداد کندوکاو می‌کنیم، حتی آن‌هایی که به نظر تأثیرگذار می‌آیند، با اما و اگرهای عظیمی همراه هستند. به‌عنوان مثال، کاهش شدید انتشار کربن از سال ۱۹۹۰ را می‌توان عمدتاً به فروپاشی صنعت سنگین در آلمان شرقی پس از اتحاد مجدد نسبت داد.^{۳۳} در طول هشت سال گذشته، انتشار گازهای گلخانه‌ای از آلمان به زحمت تغییر کرده است. تغییرات همراه با انرژی باد و خورشید، مشکلاتی را در ارتباط با ذخیره‌ی برق مطرح کرده‌اند. قیمت‌ها به طرز چشمگیری با توجه به شرایط آب و هوایی نوسان می‌کنند. برای تلافی این‌ها و سایر مسائل، زمانی که صنعت زغال‌سنگ، حکومت صدراعظم آنگلا مرکل را برای شل کردن سیاست‌های خود تحت فشار گذاشت، آلمان با احداث سلسله‌ای از نیروگاه‌های زغال‌سنگ جدید شروع به خرابکاری در برنامه‌ی انرژی خود کرد. نمونه‌ی آلمان، درس مهمی را ارائه می‌دهد: جایگزینی ضروری سوخت‌های فسیلی با منابع انرژی تجدیدپذیر، تحت منطق بازار سرمایه‌داری هرگز به قدر کافی سریع صورت نخواهد پذیرفت.

یکی دیگر از محدودیت‌های عمده برای جایگزینی، ناشی از بی‌ثباتی‌های زیست‌محیطی همراه با سطوح افراطی رشد اقتصادی است. این بی‌ثباتی‌ها می‌توانند با هم ترکیب شوند تا پدیدارهای طبیعی موجود را تشدید و تقویت کنند. اثر تقویت‌کننده به شرح ذیل عمل می‌کند. اقتصادها انرژی را از دنیای طبیعی جذب می‌کنند و سپس از آن انرژی برای چرخه‌های تولید و مصرف بهره می‌برند. برای اقتصادهای شدیداً انرژی‌بر، این چرخه‌ها ضرورتاً به سطوح گسترده‌ی تلفات و اتلاف، یا خسران انرژی‌هایی که به محیط‌زیست بازمی‌گردند، منجر می‌شود. این خسران‌های انرژی از منظر فیزیک یا اکولوژی «بی‌فایده» نیستند. تحت شرایط مناسب، می‌توانند نیروی شکل‌گیری سایر نظام‌های پویای طبیعی را از جمله همه‌چیز از ویروس‌ها و باکتری‌ها گرفته تا آتش‌سوزی‌ها و تندبادها، تأمین کنند.^{۳۴} این اثرات بسیار

آشوب‌ناک ملازم با اقتصادهای انرژی-بر، عمدتاً توسط نظریه‌ی نوکلاسیک نادیده گرفته و انکار می‌شوند، گرچه اغلب نقش مهمی در تطور تاریخ بشری ایفا کرده‌اند.^{۲۵} سرمایه‌داری به‌مثابه نظامی شدیداً اتلاف‌گر، مرتباً اثرات تقویت‌کننده‌ی بسیار قدرتمندی را تولید می‌کند. در مجموع، این تقویت‌کننده‌ها اکنون آنچه را که مارکس «گسست متابولیک» میان طبیعت و جامعه می‌نامید به وجود می‌آورند، که یعنی پایه و اساس زیست‌محیطی تمدن به‌طور پیوسته توسط توسعه‌ی سودجو و انرژی-بر که به جایگزینی آنچه استخراج می‌کند اهمیت نمی‌دهد، تحلیل می‌رود.^{۲۶} دنیای طبیعی دارای نقاط عطف عمده‌ای است که نباید از آن‌ها عبور کنیم، اما رشد اقتصادی نامتناهی از طریق جایگزینی، در واقع تضمین می‌کند که برخی از آن آستانه‌های بحرانی نقض خواهند شد، و زیست‌کره‌ی گسترده‌تری که از تمدن بشری حمایت می‌کند در معرض تهدید قرار خواهد گرفت.^{۲۷}

مشکل دیگری را در نظر بگیرید. جایگزینی می‌تواند به‌طور مرتب در مقیاس‌های کوچک و محدود فعالیت اقتصادی رخ دهد. پیتزافروشی همیشه می‌تواند مواد معینی را جایگزین مواد دیگر کند. صاحب‌خانه می‌تواند عایق کاری را جایگزین سوخت گرمایشی کند. یک شرکت می‌تواند لامپ‌های قدیمی‌تر را با روشنایی کارآمدتر در دفاتر خود جایگزین نماید. و حتی برخی کشورها می‌توانند لاقل به‌طور موقت، اشکال گوناگون ثروت را جایگزین اشکال دیگر کنند. ملت جزیره‌ی نائورو در اقیانوس آرام، نمونه‌ی کلاسیکی را ارائه می‌دهد که مضامین اصلی بحث را پررنگ می‌سازد. در قرن بیستم، نائورو دارای ذخایر فراوان فسفات بود، که به عنوان کود کشاورزی، قیمت بالایی دارند. این ذخایر به‌طور گسترده‌ی استخراج و تخلیه شدند، و سپس در بازارهای جهانی به فروش رسیدند، که اجازه داد استاندارد زندگی در نائورو در سال ۱۹۹۰ سر به فلک بگذارد.^{۲۸} نائورو سهمی از درآمد حاصل از تجارت فسفات خود را به صندوق اعتماد عمومی اختصاص داد، که از طریق بازارهای مالی در تولید

سرمایه‌گذاری می‌کرد. با این حال، پس از به صفر رسیدن فسفات، همراه با بخش اعظم پول در صندوق اعتماد، استاندارد زندگی تأثیرگذار آن‌جا به شدت سقوط کرد.^{۲۹} نائورو قصه‌ی پندآموزی برای جهان در کل ارائه می‌دهد. اگر تمدن جهانی از منابع طبیعی خالی شود، نمی‌توانیم آن‌ها را با سرمایه‌گذاری در کالاها از طریق بازارهای مالی جایگزین کنیم. مردم نمی‌توانند پول بخورند. جایگزینی در بلندمدت ممکن است در سطح خرد فعالیت اقتصادی امکان‌پذیر باشد، اما جایگزینی درازمدت سطح کلان چیزی جز تفکر آرزومندانه‌ی محض نیست.

ما می‌توانیم با در نظر گرفتن مثالی خاص، حدود جایگزینی را در سطح ماکروسکوپی جهانی، بهتر درک کنیم: اقتصاد جهانی که نیازهای برق خود را از طریق مصرف نیروی خورشیدی تأمین می‌کند. حدود بنیادینی بر میزان انرژی خورشیدی که توسط پنل‌های خورشیدی جذب می‌شوند و می‌توانند به انرژی الکتریکی مفید تبدیل شوند، وجود دارد. بیشتر فوتولتائیک‌های تجاری کم‌تر از ۳۰ درصد انرژی خورشیدی را که جذب می‌کنند به برق تبدیل می‌کنند؛ تراز انرژی باقی‌مانده به‌عنوان گرما و اشعه‌ی مادون قرمز از دست می‌رود.^{۳۰} حدود بازده نظری برای پیشرفته‌ترین طراحی‌های فوتولتائیک فقط کم‌تر از ۹۰ درصد است، عددی که حتی آخرین آزمایش‌های آزمایشگاهی به مطابقت با آن نزدیک هم نشده‌اند.^{۳۱} اما فرض کنید که نظریه‌ی نوکلاسیک در مورد تعهد ابدی خود به پیشرفت تکنولوژیک حق دارد، و در نهایت ما موفق به تولید فوتولتائیک‌هایی شویم که دارای بازده ۹۰ درصد در تبدیل انرژی خورشیدی هستند. هنگامی که تمام حدود بازده نظری در واقع تحقق یابند، افزایش هر چه بیش‌تر تولید برق مستلزم ساخت پنل‌های جدید خورشیدی است، که زمین بیش‌تری می‌گیرد. از آن‌جا که زمین دارای مساحت سطح محدودی است، رشد نامحدود حتی با تکثیر منابع تجدیدپذیر ممکن نخواهد بود. این استدلال، بر نکته‌ی مرکزی که فناوری‌های تجدیدپذیر حائز اهمیت هستند تأکید می‌کند، اما آن‌ها

نمی‌توانند بحران زیست‌محیطی جهانی را تحت رژیم اقتصادی سرمایه‌داری حل کنند، که کاملاً متکی بر وعده‌ی دروغین رشد ابدی در تولید و مصرف است. جایگزینی سوخت‌های فسیلی با انرژی‌های تجدیدپذیر در حین تلاش برای رشد بیشتر، هنوز در عرض چند قرن به ویرانی کامل تمدن جهانی منجر خواهد شد.

اقتصاددانان عاشق این‌اند که تظاهر کنند نوآوری تکنولوژیک می‌تواند بدون هیچ «رشد کمی» متناظری، به «رشد کیفی» بیش‌تر دست یابد.^{۳۲} معتقدند که بر پایه‌ی بهبود دانش و رشد تکنولوژیک، حتی وقتی کمیت خود چیزها پایدار باقی می‌ماند، ارزش پولی چیزها می‌تواند به افزایش خود ادامه دهد. اما آنچه قادر نیستند درک کنند این است که نوآوری تکنولوژیک به صورت جادویی اتفاق نمی‌افتد؛ آن‌ها نیز به تبدیل‌های انرژی نیاز دارند. تغییرات در چرخه‌ی تولید، وابسته به موجودی انرژی الکتریکی، شیمیایی و مکانیکی قابل‌دسترس برای تحقیق و آموزش هستند. برنامه‌نویسی که پشت کامپیوتر نشسته است و برنامه‌ی جدیدی را می‌نویسد، برای تفکر و تایپ نیاز به انرژی دارد. خود کامپیوتر برای ادامه‌ی کار نیازمند برق است. هیچ پیشرفت قابل توجهی نمی‌تواند بدون جریان مستمر تبدیل‌های انرژی در برنامه‌های کامپیوتری صورت بپذیرد. گسترش بازده مستلزم جریان‌های انرژی است، به این معنی که تمام اشکال تغییر تکنولوژیک، با استحاله‌های انرژی که وجود بشری را تسهیل می‌کنند، درهم تنیده‌اند.

تغییرات تکنولوژیک به لحاظ فیزیکی در دانش بیش‌تر میان مردم و توسعه‌ی دارایی‌های مولدتر ریشه دارند، که هر دو نیازمند جریان‌های انرژی و مادی هستند تا به عملکرد خود ادامه دهند. حدود ترمودینامیک نیز میزانی را که این جریان‌ها می‌توانند در عین حفظ نیروی کار و سرمایه کاهش یابند، محدود می‌کند. به سخن کوتاه، خود تغییرات تکنولوژیک، همراه با رشد کیفی که می‌توان از آن‌ها کسب کرد، تابع حدود فیزیکی سفت و سختی هستند. نیروگاه‌ها یکی از مشهورترین

نمونه‌های حدود رشد تکنولوژیک را ارائه می‌دهند. آن‌ها طی دهه‌ها در نزدیکی نقاط اوج بازده خود معلق بوده‌اند، و پیشرفت بیش‌تر آن‌ها شدیداً دشوار از آب درآمده است.^{۳۳} ناکامی راکتورهای مولد برای نیروگاه‌های هسته‌ای، ورشکستگی تکنولوژیک برجسته‌ی دیگری را پررنگ می‌سازد، و بسیاری از تکنولوژی‌های عجیب و غریب دیگر مانند راکتورهای همجوشی، به‌ناچار به همان مقوله ختم خواهند شد. انبساط حاشیه‌ی سود سرمایه‌داری، به‌غایت وابسته به پایه و اساس انرژی-بر تمام وجود آن است. آن پایه و اساس را بپذیرید، و از سرمایه‌داری هیچ باقی نخواهد ماند.

ارتباط انرژی و رشد با انتشار گازهای گلخانه‌ای

تمام فعالیت‌های اقتصادی، همان‌گونه که دیده‌ایم، نیاز به انرژی دارند. برای درک بهتر معنای این قضیه، با نگاه کردن به اقتصاد ایالات متحده، روابط میان انرژی، رشد و انتشار گازهای گلخانه‌ای را به شکل انضمامی‌تری بررسی می‌کنیم. در دهه‌های اخیر، رشد اقتصادی ایالات متحده گرچه با نرخ‌ی رو به افول ادامه داشته است، حتی با این‌که سرانه‌ی مصرف انرژی اولیه کاهش یافته است.^{۳۴} علاوه بر این، هزینه‌های مرتبط با مصرف انرژی اولیه، پیوسته سهم کم‌تری را از تقاضای کل ایالات متحده بازنمایی می‌کنند. بسیاری از اقتصاددانان و دانشمندان از این مشاهدات نتیجه گرفته‌اند که بهره‌برداری از انرژی و رشد اقتصادی از یک‌دیگر منفصل شده‌اند.^{۳۵} اما حتی تحلیلی اجمالی از تغییرات انرژی بنیادین در اقتصاد ایالات متحده، کذب این روایت را آشکار می‌سازد. اقتصادی که شروع به استفاده از منابع طبیعی با بازده انرژی بالاتر و تراکم نیروی بیشتر می‌کند، می‌تواند حتی در حین کاهش مصرف انرژی اولیه، رشد را تجربه کند. اگر فقط به مصرف اولیه نگاه کنیم، که کاملاً به تبدیل‌ها بی‌اعتناست، درک این فرایند دشوار و شاید حتی غیرممکن خواهد بود. اما همین‌که در نظر بگیریم که سوزاندن کمیت کمتری از گاز طبیعی برای مثال هنوز می‌تواند برق بیش‌تری را تولید

کند تا سوزاندن میزان بیش‌تری از زغال‌سنگ، آن‌گاه اهمیت تبدیل‌ها بلافاصله آشکار می‌گردد. منابع دارای تراکم نیروی بیش‌تر می‌توانند انرژی سودمند بیش‌تری را برای فعالیت‌های اقتصادی تبدیل کنند، که برخی از آن‌ها عناصر اساسی تولید ناخالص داخلی را تشکیل می‌دهند. اقتصاددانانی مانند دیوید استرن^۱ و رابرت کافمن^۲، علاوه بر سایرین، به‌وضوح نشان داده‌اند که وقتی تفاوت‌های کیفیت انرژی در تحلیل منظور شوند، رشد مصرف انرژی در ایالات متحده، ارتباط نزدیکی با رشد تقاضای کل دارد.^{۳۶} بحران انرژی دهه‌ی ۱۹۷۰، ایالات متحده را برانگیخت تا مصرف سرانه‌ی نفت را کاهش دهد و بر افزایش بازده با استفاده از منابع طبیعی دیگر تمرکز کند. این تلاش‌ها به خط‌سیر افزایش مصرف گاز طبیعی منجر شدند، که بسیار پاک‌تر و کارآمدتر از زغال‌سنگ به عنوان منبع انرژی است. هم تغییر جهت به گاز طبیعی و هم تکثیر روزافزون منابع تجدیدپذیر، به کاهش قابل‌توجه انتشار کربن کمک کرد. پس از اوج‌گیری در سال ۲۰۰۵، انتشار گازهای گلخانه‌ای در ایالات متحده تا سال ۲۰۱۶ به میزان ۱۴ درصد کاهش یافت.^{۳۷} اما این کاهش به تدریج متوقف شد و انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال ۲۰۱۸ در واقع بیش از ۳ درصد افزایش یافت که بیش‌ترین افزایش در ۸ سال اخیر است.^{۳۸} بخش حمل و نقل بیش‌فعال، که همیشه برای رشد اقتصادی اهمیت دارد، مقصر اصلی در پس‌آخرین موج بود. تجربه‌ی اخیر ایالات متحده، این‌نگاره را بیش‌تر تقویت می‌کند که کاهش مقیاس کلان در انتشار گازهای گلخانه‌ای عملاً تحت نظام اقتصادی که به رشد بر همه چیز اولویت می‌بخشد، غیرممکن است. فشار نامحدود برای افزایش مصرف و تولید می‌تواند به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای حتی در بستر افزایش بازده سطح کلان و نوآوری تکنولوژیک منجر شود.

^۱ David Stern

^۲ Robert Kaufmann

برای جهان در کل، رابطه‌ی قوی مثبتی میان مصرف انرژی اولیه و رشد اقتصادی وجود دارد، و مطالعات متعدد در مورد کشورها و مناطق مختلف نشان می‌دهد که این رابطه اساساً علی است.^{۳۹} در طی چند دهه‌ی گذشته، نرخ رشد اقتصادی جهانی شروع به افت کرده است، که نرخ رشد رو به افول را در مصرف انرژی جهانی بازتاب می‌دهد. برخی اقتصادهای بزرگ مانند ژاپن و اتحادیه‌ی اروپا، از پیش به دوره‌های رکود اقتصادی همراه با نرخ رشد بسیار پایین و جمعیت مسن وارد شده‌اند. از آنجا که این اقتصادها در حال حاضر تحت سلطه‌ی بخش‌های مالی فاسد قرار دارند، الگوهای رشد نامتوازی را به وجود می‌آورند که عمدتاً سرمایه‌داران ثروتمند را غنی‌تر می‌سازد. در مقابل، مردم عادی بیش از پیش تا خرخره در قرض فرو می‌روند تا بتوانند چرخه‌ها و بحران‌های سرمایه‌داری را تأمین مالی کنند.^{۴۰} پیشرفت اقتصادی برای اکثریت قریب به اتفاق جامعه به پایانی گوشخراش رسیده است.^{۴۱} اقتصاد جهانی ممکن است باقی این قرن را به رشد خود با نرخ متوسط ادامه دهد، اما نشانه‌ها از پیش بدیهی هستند که پتانسیل ما برای رشد آتی، محدود و مقید به این که چه انواعی را از منابع انرژی می‌توانیم از جهان طبیعی به دست آوریم، و همچنین عدم عقلانیت اقتصادی سرمایه‌داری مالی شده‌ی امروز است.

سرمایه‌داری دارد از نفس می‌افتد، اما نه آنقدر سریع تا موجب کاهش قابل توجه مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای بشود. انتشار کربن جهانی در طی قرن گذشته، نتیجه‌ی بلافصل تغییرات در مصرف انرژی اولیه بوده است. خوش‌بینی در مورد گرمایش جهانی در آغاز دهه، بالا بود. انتشار گازهای گلخانه‌ای برای چندین سال ثابت باقی ماند، و رده‌های بالای اقتصاد جهانی به این باور رسیدند که رشد اقتصادی واقعاً می‌تواند از انتشار گازهای مضر منفصل شود. در سال ۲۰۱۶، آژانس بین‌المللی انرژی پیروزمندانه اعلام کرد: «انفصال انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی از رشد اقتصادی، تأیید شده است».^{۴۲} دو سال چه تفاوتی می‌تواند به بار آورد. در سال ۲۰۱۷،

انتشار گازهای گلخانه‌ای در سراسر جهان شاهد جهش شدیدی بود.^{۴۳} برخلاف گزارش‌های علمی بیش از پیش هشداردهنده درباره‌ی خطرات گرمایش جهانی، انتشار گازهای گلخانه‌ای دوباره در سال ۲۰۱۸ با سرعتی بیش از سال قبل افزایش یافت.^{۴۴} حتی برخی اقتصادهای پیشرفته که ظاهراً رشد را از آلودگی منفصل کرده بودند، انتشار کربن بالاتر را در سال ۲۰۱۸ شاهد بودند. معلوم شده است که جدایی انتشار گازهای گلخانه‌ای از رشد اقتصادی، مشکلی بسیار پیچیده‌تر از آنچه نخبگان جهانی در اصل تصور می‌کردند است.

مزاحم مداومی در مورد این مسئله، شیوه‌ای است که اکثر نخبگان راجع به انتشار کربن صحبت می‌کنند. هنگامی که حکومت‌ها و سازمان‌ها میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را اندازه می‌گیرند، اغلب این کار را در نقطه‌ی تولید انجام می‌دهند. اگر شرکتی در ایالات متحده، کارخانه‌ای را در هند برپا کند تا کالاهایی را تولید نماید که بعداً به مصرف کنندگان ایالات متحده فروخته می‌شوند، گازهای ناشی از آن کارخانه به حساب هند گذاشته می‌شود، نه ایالات متحده. این فرآیند اساسی که جایگزینی جغرافیایی نامیده می‌شود، و شرکت‌ها از هسته‌ی سرمایه‌داری، تولید به لحاظ زیست‌محیطی مخرب را به ملل در حال توسعه با ذخایر بزرگ نیروی کار ارزان منتقل می‌کنند، منبع مهمی از واگرایی مشهود میان انتشار گاز کربن و رشد اقتصادی در دنیای غرب بوده است.^{۴۵} به عبارت دیگر، اندازه‌گیری انتشار گازها از نقطه‌ی مصرف اصلاً هیچ‌گونه انفصالی را آشکار نمی‌سازد. در هر صورت، شرکت‌های چندملیتی فقط می‌توانند مدام تولید را از این طرف به آن طرف منتقل کنند، تا این که دیگر مکانی برای رفتن باقی‌نمانده باشد. برای جایگزینی جغرافیایی نیز حدی وجود دارد.

علاوه بر مقایسه‌ی مجموع تقاضا با انتشار گازهای گلخانه‌ای، رویکردی دیگر برای درک بنیان‌های مادی رشد اقتصادی، بر جریان مواد خام در مسیر آن‌ها تا نقطه‌ی نهایی مصرف متمرکز می‌شود. گروهی از محققان استرالیایی در مقاله‌ای برجسته در

سال ۲۰۱۲، مجموع مواد خام را که از طریق تجارت بین‌المللی میان کشورها مبادله شده بود تحلیل کردند، و مفهوم *ردپای مادی* را معرفی نمودند، که به‌مثابه تخصیص جهانی استخراج مواد خام مورد استفاده به تفاضای نهایی یک اقتصاد تعریف می‌شود. آن‌ها نتیجه گرفتند که «با هر ۱۰ درصد افزایش در تولید ناخالص داخلی، میانگین [ردپای مادی] ملی به میزان ۶ درصد افزایش می‌یابد».^{۴۶} در نظر آن‌ها، «دستاوردهای انفصال در اقتصادهای پیشرفته، کوچک‌تر از آن‌چه گزارش شده است هستند، یا اصلاً وجود ندارند». همچنین تخمین زدند که تقریباً ۴۰ درصد از تمام مواد خام جهانی برای تسهیل صادرات اجناس و خدمات به کشورهای دیگر استخراج می‌شوند، که نشان می‌دهد کاهش جریان‌های بین‌المللی سرمایه‌ی جهانی می‌تواند استراتژی حیاتی برای رسیدگی به تشدید بحران زیست‌محیطی ما باشد.^۱

برای دیدگاه دیگری در مورد این‌که چرا ادعاها راجع به انفصال، خام‌اندیشانه هستند، واقعیت ذیل را در نظر بگیرید: امید به زندگی در ایالات متحده برای سه سال متوالی کاهش یافته است؛ برای اولین بار در قرن اخیر است که چنین کاهش مداومی رخ می‌دهد.^{۴۷} اقتصاد ایالات متحده در تک‌تک آن سال‌ها رشد پیدا کرد. اما مطبوعات جار زدند که امید به زندگی از رشد اقتصادی منفصل شده است. اعتراف به چنین چیزی، چشم‌انداز غیرقابل‌تصور را برای توانگرسالاری (پلوتوکراسی) حاکم مطرح خواهد کرد: حیات افراد عادی ممکن است در واقع رو به وخامت برود در حالی که تعدادی میلیاردی با فروش چیزهای بیش‌تری به بقیه‌ی ما که در واقع زندگی ما را بهبود نمی‌بخشد، حتی ثروتمندتر می‌شوند. با این حال، وقتی داده‌های مختلط و نامعینی

^۱ گفتنی است که به‌ویژه کروپتکین در حدود صد سال پیش به این نکته اشاره کرده بود که کاهش تجارت بین‌المللی، و اتکای هر کشور به مواد غذایی و تولیدی خودش، برای غلبه بر مشکلات سرمایه‌داری ضروری است. نک، *مزارع، کارخانه‌ها و کارگاه‌ها*، پیتر کروپتکین، ترجمه‌ی هومن کاسبی، نشر افکار، ۱۳۹۸. م

به مدت دو یا سه سال نشان می‌دهند که سرعت انتشار گازهای مضر جهانی کاهش یافته است، از گاه کوه ساخته می‌شود، و داستان به روایت علی استادانه‌ای در مورد این که چه گونه سرمایه‌داری می‌تواند از لحاظ زیست‌محیطی پایدار باشد، بدل می‌گردد. فروپاشی توهم انفصال، درس مهمی ارائه می‌دهد: باید در برابر وسوسه برای نتیجه‌گیری‌های عظیم در مورد جهان، وقتی متوجه روندهایی حاشیه‌ای در عرض فقط چند سال می‌شویم، مقاومت کنیم.

تسریع بحران و سویه‌ی اجتماعی

فازهای اولیه‌ی بحران زیست‌محیطی از پیش فرارسیده است. در سال ۲۰۱۷، پورتوریکو در تندباد قدرتمندی که بر فراز آب‌های گرم غیرعادی سایه افکنده بود، گرفتار شد و به شدت آسیب دید. همان سال، خشکسالی تاریخی در آرژانتین، صادرات کشاورزی را خراب کرد، و موجب رکود شدیدی شد که عاقبت با بحران ارزی همراه گشت، و کشور را مجبور کرد تا برای دومین بار در کم‌تر از دو دهه، میلیارد‌ها دلار از صندوق بین‌المللی پول وام بگیرد.^{۴۸} خشکسالی‌های شدید و غیرمعمول در آمریکای مرکزی نیز تولید محصولات کشاورزی را مختل می‌سازند، و نقش مهمی در متقاعد کردن صدها هزار مهاجر برای عزیمت به شمال ایفا می‌کنند.^{۴۹} خشکسالی‌های عمده و کمبود آب در افغانستان به کین‌توزی گسترده علیه حکومت مرکزی در کابل دامن زده، و تنش‌هایی را میان آن کشور و همسایگانش برانگیخته است.^{۵۰} این‌ها و هزاران تحول هم‌زمان دیگر، فقط خطوط آغازینی در یک نمایش چندپرده‌ای هستند که تمدن بشری با نگرانی در طی چند قرن آینده شاهد آن خواهد بود و تجربه خواهد کرد.

اقتصاددانان زیست‌محیطی و سایر اقتصاددانان جناح چپ به مدت طولانی از فانتزی‌های خطرناک متفکران نوکلاسیک انتقاد کرده‌اند. اما شواهدی وجود دارد که برخی نخبگان نیز شروع به تغییر نظر خود درباره‌ی این مسئله می‌کنند. در سال ۲۰۱۶، پنل

منابع بین‌المللی نتیجه گرفت که مصرف جهانی مواد خام از سال ۲۰۰۰ با ضرب‌بانه‌نگی سریع‌تر از GDP رشد کرده است، و افزود: «کارایی مادی جهانی برای نخستین بار در قرن اخیر رو به کاهش رفته است».^{۵۱} در سال ۲۰۱۷، اقتصاددان ارشد شرکت اکوینور^۱ نروژ، نیاریک وائرنس،^۲ نوشت که انفصال رشد اقتصادی از مصرف انرژی «ممکن است غیرممکن باشد».^{۵۲} در سال ۲۰۱۸، گزارش عمده‌ای از پنل بین‌المللی در باب تغییرات اقلیمی اعلام کرد که پیشگیری از سطوح فاجعه‌بار گرایش جهانی، مستلزم «تغییرات سریع، فراگیر و بی‌سابقه در تمامی جوانب جامعه» خواهد بود.^{۵۳} آنتونیو گوترش،^۳ دبیر کل سازمان ملل متحد، به یک کنفرانس اقلیمی در اوایل دسامبر ۲۰۱۸ گفت که «ما در دردمر عمیقی با تغییرات اقلیمی هستیم».^{۵۴} خوش‌بینی سرانجام جای خود را به واقع‌بینی داده است، حتی اگر بسیاری از این افراد و سازمان‌ها نتوانند متوجه گام لازم بعدی شوند: مقابله‌ی تمام‌عیار اجتماعی، سیاسی و اقتصادی علیه سرمایه‌داری.

تحلیلی از طبقه و جامعه، برای درک افق بحران به سردمداری سرمایه‌داری، حیاتی باقی می‌ماند. بحران زیست‌محیطی تا حد زیادی محصول افراد بسیار ثروتمندی است که مقادیر وسیع انرژی را استفاده و مصرف می‌کنند. هر راه‌حل پیشنهادی برای امراض وجودی کنونی ما، باید در وهله‌ی اول، تمام و کمال به تفاوت‌های طبقاتی مقصر در ایجاد آن‌ها بپردازد. مشخصاً باید اطمینان حاصل کنیم که گذار به نظامی زیست‌محیطی، در عین آسیب زدن به سرمایه‌داران، که عمدتاً مقصر گرمایش جهانی و سایر فجایای زیست‌محیطی سیاره هستند، به کمک به فقرا و طبقات کارگر ختم می‌شود. توانگرسالی‌های غربی، طرح‌های قیمت‌گذاری و مالیاتی بازار-بنیاد

^۱ Equinor

^۲ Eric Waerness

^۳ Antonio Guterres

گونگونی را به منظور کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی طراحی کرده‌اند، اما عمدتاً از این واقعیت غافل بوده‌اند که این پیشنهادهای به معاش افراد عادی صدمه خواهد زد. راه مناسب برای حفاظت از توده‌ها در طی این گذار، استقرار کنترل اجتماعی قوی‌تر بر چرخه‌های تولید و توزیع حول سوخت‌های فسیلی، و سپس تحمیل کنترل‌های موقت قیمت در نقطه‌ی مصرف است. سرمایه‌داران در سود خود زیان می‌کنند، همان اتفاقی که باید پس از تخریب زیست‌کره‌ی ما بیفتد، و توده‌ها مجبور نیستند با هیچ شوک قیمت ناگهانی مواجه شوند.

تحت لوای سرمایه‌داری مدرن، ساختار طبقاتی جوامع ما را می‌توان به طور گسترده‌ای به سه مقوله تقسیم کرد: کارکنان، مدیران و سرمایه‌داران. ما سرمایه‌داران را افرادی تعریف می‌کنیم که چنان درآمدهای هنگفتی را از دارایی‌ها و شرکت‌های خود به جیب می‌زنند که می‌توانند از کار دستمزدی یکسره اجتناب کنند. با برآوردی تقریبی در بستر ایالات متحده، هر کسی با ثروت خالص بیش از ۱۰ میلیون دلار در دارایی‌های مالی منقول، یک سرمایه‌دار (کوچک) خواهد بود؛ که به معنای انکار مسئله‌ی مقیاس در این‌جا نیست، چرا که برخی سرمایه‌داران درآمدی بیش از ۱۰۰ میلیون دلار در سال دارند. البته، بسیاری از سرمایه‌داران در کار دستمزدی مشارکت می‌کنند، در مقام مدیر عامل شرکت‌های بزرگ چندملیتی. اما نکته این‌جاست که برای سرمایه‌داران خوش‌شانس، کار ضرورتی ندارد؛ آن‌ها می‌توانستند بدون حقوق رسمی، سطح زندگی کنونی خود را حفظ کنند. آن‌ها می‌توانستند هفته‌ی بعد به راحتی بازنشسته شوند و به باهاماس بروند، و فقط از درآمد حاصل از دارایی‌های خود همچون سهام، حقوق مالی، املاک و مستغلات، و هر شرکتی که ممکن است مالک آن باشند، زندگی کنند. با این حال، این گزینه برای اکثریت قریب به اتفاق مردم در جامعه قابل‌دسترس نیست. مدیران و کارکنان هر دو برای زنده ماندن و خرید کالاهایی که سرمایه‌داران را پولدار می‌کنند، به حقوق نیاز دارند. علاوه بر این، اکثر کارگران بیش

از پیش در بندگی وام زندگی می‌کنند، که مقدار زیادی پول برای رفتن به مدرسه، خرید خانه و استفاده از کارت اعتباری، علاوه بر چیزهای دیگر، به سرمایه‌داران بدهکار هستند. کنترل مالی که سرمایه بر باقی جامعه دارد، همچنین برای کارگران بسیار دشوار می‌سازد که تقاضای دستمزد بالاتر و شرایط زندگی بهتری بکنند. نتیجه‌ی امر، نوعی توانگرسالاری است که گروه کوچکی از افراد پولدار به طور کامل فرایند سیاسی را ربوده و به هر تقاضایی برای تغییر دموکراتیک، دهن کجی کرده‌اند.^{۵۵}

علی‌رغم این چالش‌ها، هر ساله الزامات اجتماعی و زیست‌محیطی برای جهت‌گیری جدیدی به سرعت در حال رشد هستند. تمدنی دموکراتیک، زیست‌محیطی و سوسیالیستی، کالاشدگی منابع طبیعی را در حد قابل‌ملاحظه‌ای محدود خواهد کرد، در عین حال که همچنین تقدیر ثروتمندترین‌ها را به فقیرترین‌ها پیوند می‌زند. این شش امر کلی را برای تمام مردم تضمین خواهد نمود: غذا، شغل، مسکن، مراقبت‌های بهداشتی، مراقبت از کودکان، و آموزش و پرورش. افزایش ثروت را محدود و مقید خواهد ساخت. می‌تواند این کار را با اعمال مالیات ثروت بر سرمایه و با اجتماعی کردن بخش‌های بزرگی از اقتصاد انجام دهد، که به بازار محدود و به‌شدت تنظیم‌شده‌ای اجازه‌ی بقا می‌دهد. سرمایه‌داران در سراسر جهان، مقادیر هنگفتی را از ثروت مالی انباشت می‌کنند، که به دلیل نرخ رشد پایین که فرصت‌های اندکی برای سودهای گزاف در اختیار آنان می‌گذارد، از سرمایه‌گذاری آن مقادیر در اقتصاد واقعی سر باز می‌زنند. حکومت‌ها باید بخش اعظم این ثروت را قبضه کنند، و آن را در بهبود خدمات اجتماعی، بازسازی زیرساخت‌ها، و ارائه‌ی خدمات بهداشتی مقرون به صرفه سرمایه‌گذاری کنند. برای کاهش قابل‌توجه و کنترل دائمی اختلاف درآمد، جامعه می‌تواند حکم بدهد که بالاترین حقوق در هر شرکت یا سازمان، به حداکثر ده برابر حداقل حقوق محدود باشد.

با ارائه‌ی منابع بیش‌تر به توده‌ها، جامعه‌ای دموکراتیک همچنین خانواده‌های ما را از فهرست روزافزون بحران‌ها نجات خواهد داد. سرمایه‌داری، ساختار اجتماعی را از هم دریده، و با رفتار با کارگران به عنوان چرخ‌دنده‌هایی در ماشین‌آلات کارخانه، خانواده‌های مدرن را معیوب ساخته است. خانواده‌های هرچه بیش‌تری در معرض استرس قرار می‌گیرند، افسرده می‌شوند، و به طور فزاینده‌ای احساس بیگانگی از طبقه‌ی حاکمی می‌کنند که به نظر می‌رسد دیگر هیچ اهمیتی نمی‌دهد. نظام اقتصادی که برای افراد عادی کار می‌کند، خانواده‌ها را توانمند خواهد ساخت، روابط را تقویت خواهد کرد، و به بچه‌ها کمک خواهد کرد تا به بزرگسالانی مسئول تبدیل شوند. بخشی از کمک به خانواده‌ها یعنی این که جامعه باید در اجتماعات روستایی نیز سرمایه‌گذاری کند، که وقتی شغل‌ها و دارایی‌ها به شهرهای ثروتمند جریان می‌یابند، نابود شده‌اند. این سرمایه‌گذاری‌های عمومی باید شامل ایجاد مشاغل با درآمد خوب، احداث کلینیک‌ها و بیمارستان‌های جدید برای دسترسی آسان‌تر به خدمات پزشکی، پرداخت منظم پول نقد به خانوارهای کم‌درآمد، نصب کابل‌های فیبر نوری برای اینترنت سریع‌تر، و هزینه‌های زیرساختی برای جاده‌ها، مدارس و خانه‌ها باشد. تنها با برقراری تعادل حیاتی در امتیازات اقتصادی و سیاسی به مناطق روستایی می‌توانیم مانع از توانگرسالاری‌های شهری شویم که شرایط را به بقیه‌ی جامعه دیکته کنند. جامعه‌ای زیست‌محیطی تلاش خواهد کرد تا تخصیص منابع را میان شهرها و حومه‌ی شهر، به مراتب عادلانه‌تر از رابطه‌ی یک-سویه‌ای که در حال حاضر تحت لوای سرمایه‌داری غالب است، بگرداند.

رهبران سیاسی و تجاری ما، که در سراسر عمر خود از پروپاگاندای کاپیتالیستی اشباع شده‌اند، به این باور رسیده‌اند که رشد اقتصادی مانند اکسیری جادویی است که می‌تواند تمام شرارت‌ها را درمان کند. برای اکثر افراد در دنیای مدرن، به نظر نمی‌رسد که بدیلی برای رشد اقتصادی، چنان که در حال حاضر تحت لوای سرمایه‌داری محاسبه

می‌شود، حتی قابل‌تصور باشد. اما تخیل و تحقق این بدیل‌های مهم ممکن است تنها راه برای نجات تمدن بشری از فاجعه‌ای قریب‌الوقوع باشد. به جای سازمان‌دهی جوامع و اقتصادهای خود حول اصل رشد، باید آن‌ها را حول اصل توسعه‌ی انسانی پایدار، که مستلزم ثبات متابولیک زیست‌کره‌ی گسترده‌تر است، سازمان دهیم. با محدودیت شدید سطوح تولید و مصرف حول تعادلی پویا، و تأکید بر روابط کیفی اجتماعی-انسانی، در تقابل با رابطه‌ی پولی، می‌توانیم از حساب‌ها و بحران‌های دوره‌ای سرمایه‌داری جلوگیری کنیم، و در عین حال طول عمر تمدن بشر را نیز افزایش دهیم. و با توزیع ثروت و منابع بیش‌تر به کارگران و افراد عادی، می‌توانیم جامعه‌ی عادلانه را عاری از تشنجات مکرر بی‌ثباتی سیاسی و اقتصادی بنا کنیم. امر اجتماعی و امر زیست‌محیطی، جدایی‌ناپذیر هستند، و میدان نبرد سیاسی در حال تشدید این هزاره را با هم بازنمایی می‌کنند. اگر موفق به قبضه‌ی این لحظه‌ی استثنایی در تاریخ نباشیم، نسل‌های آینده ما را به‌تندی قضاوت خواهند کرد. همگرایی قریب‌الوقوع بحران‌ها، از اقتصادی گرفته تا زیست‌محیطی، حداقل نیازمند چشم‌انداز جدیدی برای نظم اجتماعی ما است.

پیوند با منبع اصلی

Energy, Economic Growth, and Ecological Crisis

یادداشت‌ها

^۱ مارکس می‌نویسد که «گرایش به ایجاد بازار جهانی، مستقیماً در خود مفهوم سرمایه مستتر است. هر حد و مرز، همچون مانعی ظاهر می‌شود که باید بر آن غلبه کرد». نک.

Karl Marx, *Grundrisse* (London: Penguin, ۱۹۷۳), ۳۳۴.

^۲ See Robert M. Solow, "The Economics of Resources or the Resources of Economics," *American Economic Review* ۶۴ (۱۹۷۴): ۱-۱۴.

^۳ برای نمونه‌ی برجسته‌ای از این خط تفکر، نک.

Barack Obama, "The Irreversible Momentum of Clean Energy," *Science*, January ۹, ۲۰۱۷.

اوباما می‌نویسد: «"انفصال" انتشار گازهای گلخانه‌ای بخش انرژی از رشد اقتصادی، باید این استدلال را خاموش کند که مبارزه با تغییرات آب و هوایی مستلزم پذیرش رشد کم‌تر یا استاندارد زندگی پایین‌تر است».

^۴ See Tim Jackson, *Prosperity Without Growth: Economics for a Finite Planet* (Abingdon, UK: Routledge, ۲۰۱۱).

^۵ مسئله‌ای مهم، مسئله‌ی تراکم است، یکی از نقاط ضعف اساسی در کل اقتصاد کلان. برای مقدمه‌ای عالی و غیر فنی بر مسئله‌ی تراکم، نک:

Blair Fix, "The Aggregation Problem: Implications for Ecological and Biophysical Economics," *BioPhysical Economics and Resource Quality* ۴, no. ۱ (۲۰۱۹).

برای بررسی فنی‌تر، نک.

Jesus Felipe and Franklin M. Fisher, "Aggregation in Production Functions: What Applied Economists Should Know," *Metroeconomica* ۵۴, no. ۲ (۲۰۰۳):

۲۰۸-۶۲.

عصاره‌ی مسئله‌ی تراکم، پرسش ذیل است: تحت چه شرایطی می‌توانید مشتی چیز را با هم جمع کنید و مطمئن باشید که ارزش کل درستی را دارید؟ پاسخ پایه این است که وقتی می‌توانید چیزها را با هم جمع بزنید که واحد اندازه‌گیری ثابتی داشته باشید، مانند جرم یا انرژی. در علوم طبیعی، مانند فیزیک، ثبات واحد شرطی حیاتی برای اندازه‌گیری و تجمع است. نک.

Elizabeth Gibney, "Largest Overhaul of Scientific Units Since ۱۸۷۵ Wins Approval," *Nature*, November ۱۶, ۲۰۱۸.

در مقابل، تجمع با واحدهای متغیر اندازه‌گیری، مفهومی بی‌معنا است، همچون قیمت کالاها در اقتصاد. نمی‌توان مجموع «واقعی» و مطابق با تورم را از طریق واحدهای متغیر تعریف یا تعیین کرد. بسیاری از اقتصاددانان راه‌های ظاهراً زیرکانه‌ای برای دور زدن این مشکل پیدا می‌کنند. رابرت سولو در مقاله‌ی مشهور خود در سال ۱۹۵۶ به صراحت اعلام کرد: «تنها یک کالا وجود دارد، ستانده‌ی تولید به طور کلی... بدین ترتیب می‌توانیم بدون ابهام راجع به درآمد واقعی اجتماع صحبت کنیم». به عبارت دیگر، با ایجاد یک اقتصاد انتزاعی با فقط یک کالا، مسئله‌ی تجمع را به کل کنار گذاشت. پوچی و قیحانه‌ی این حرکت در نظریه‌ی نوکلاسیک عادی است، جایی که مفروضات مسخره در مورد جهان رایج‌تر از اکسیژن هوا هستند. نک.

Robert M. Solow, "A Contribution to the Theory of Economic Growth," *The Quarterly Journal of Economics* ۷۰ (۱۹۵۶): ۶۵-۹۴.

دغدغه‌های مهم دیگری در مورد استفاده از تولید ناخالص داخلی (GDP) به‌عنوان مقیاس ارزش اقتصادی وجود دارد، همچون این واقعیت که انحطاط زیست‌محیطی و خدمات اجتماعی حیاتی را به حساب نمی‌آورد. برای مطالعه‌ی بیش‌تر در مورد این خط انتقاد، نک.

James Ward et al., "The Decoupling Delusion: Rethinking Growth and Sustainability," *The Conversation*, March ۱۲, ۲۰۱۷.

^۶ برای نمونه‌ای اخیر از این تلفیق، نک.

Vincent Moreau, "Decoupling Energy Use and Economic Growth: Counter Evidence from Structural Effects and Embodied Energy in Trade," *Applied Energy* ۲۱۵ (۲۰۱۸): ۵۴-۶۲.

نویسنده همان ابتدا با تاکید بر این نکته شروع می‌کند: «انفصال رشد اقتصادی از مصرف انرژی، تلاش گسترده‌ای برای کربن‌زدایی از فعالیت‌های اقتصادی و افزایش امنیت انرژی است.»

^۷ See "Primary Energy Consumption," Organization for Economic Cooperation and Development, November ۲۰, ۲۰۱۱.

برای فهرستی از چیزهایی که در ایالات متحده تحت مصرف اولیه گنجانده می‌شوند، نک. مدخل «مصرف انرژی اولیه» در واژه‌نامه‌ی اداره‌ی اطلاعات انرژی ایالات متحده.

^۸ برای توضیحی از این روش‌ها، نک.

"Statistical Resources" by the International Energy Agency.

^۹ BP، نرخ بازده ۳۸ درصد را برای نیروگاه فرضی تصور می‌کند. نک.

BP Statistical Review of World Energy (London: British Petroleum, ۲۰۱۸), ۵۲.

^{۱۰} به عنوان نمونه‌ای فوری، نک. نمودارها در

Brad Plumer, "Can We Sever the Link between Energy and Economic Growth?" Washington Post, January ۱۷, ۲۰۱۴.

^{۱۱} David Stern, "Economic Growth and Energy," in *Encyclopedia of Energy*, ed. C. J. Cleveland (San Diego: Academic Press, ۲۰۰۴), ۴۳.

^{۱۲} یک BTU برابر با ۱۰۵۵ ژول، واحد استاندارد انرژی، است. یک ژول تقریباً مقدار انرژی است که برای بلند کردن سیب تا دهان شما مصرف می‌شود. نک. جدول ۸،۱ در

"Average Operating Heat Rate for Selected Energy Sources," *S. Energy Information Administration*, October ۲۲, ۲۰۱۸.

^{۱۳} برای کار اصلی او در مورد این موضوع، نک.

Vaclav Smil, *Power Density: A Key to Understanding Energy Sources and Uses* (Cambridge, MA: MIT Press, ۲۰۱۵).

مفروضات مسخره‌ای که هسته‌ی نظریه‌ی نوکلاسیک را شکل می‌دهند، تقریباً بی‌شمار هستند.^{۱۴} می‌توان با مطلوبیت، ارجحیت‌های آشکار، و بهره‌وری نهایی برای فقط چند مفهوم متافیزیکی شروع کرد که باید از چیزهایی مانند قیمت و دستمزد استنباط شوند. اقتصاددان جون رابینسون یکی از درخشان‌ترین منتقدین اقتصاد نوکلاسیک بود. برای متن کلاسیک او در مورد این موضوع، نک.

Joan Robinson, *Economic Philosophy* (Middlesex, UK: Penguin, ۱۹۶۴).

در جبهه‌ی ریاضی، نظریه‌ی نوکلاسیک دارای مشکلات شدیدی در ارتباط با تجمع و تعادل عمومی است. برای توضیح مشکل تجمع، به پانویس ۵ مراجعه کنید. برای مسائل پیرامون تعادل عمومی، نک.

Frank Ackerman, "Still Dead After All These Years: Interpreting the Failure of General Equilibrium," *Journal of Economic Methodology* ۹ (۲۰۰۲): ۱۱۹-۳۹.

درباره‌ی فقدان قدرت پیش‌بینی آن، به هر مدل اله‌بختکی پویا که به نحوی از رکود بزرگ در سال ۲۰۰۸ غافل شد، مراجعه کنید.

^{۱۵} See Solow, "A Contribution to the Theory of Economic Growth."

^{۱۶} نتایج سولوف مبتنی به تابعی معروف به تابع تولید کاب-داگلاس (Cobb-Douglas) بودند، که در آن زمان در اقتصاد بسیار استفاده می‌شد و تا به امروز محبوب باقی می‌ماند. با این حال، انور شیخ (Anwar Shaikh) در ۱۹۷۴ به شکل درخشانی نتایج سولو را از هم گسست، وقتی نشان داد که تابع

تولید کاب-داگلاس می‌تواند دقیقاً مجموعه داده‌هایی را مدل‌سازی کند که تابع تولید نباید برای آن‌ها وجود داشته باشد. نک.

Anwar Shaikh, "Laws of Production and Laws of Algebra: The Humbug Production Function," *The Review of Economics and Statistics* ۵۶ (۱۹۷۴): ۱۱۵-

۲۰. معلوم می‌شود که نوعی دلیل ناچیز و عمیق برای این رفتار وجود دارد. در سال ۲۰۰۵، عیسی فلیپه (Jesus Felipe) و جی. اس. ال. مکومبی (J. S. L. McCombie) به شکل مجاب‌کننده‌ای آن‌چه را که شیخ و سایرین وسیعاً بدان مشکوک بودند، اثبات کردند: تابع تولید کاب-داگلاس چیزی جز یک معادله‌ی تساوی نیست، شیوه‌ی دیگری برای نوشتن معادله‌ی افزایشی سرمایه به علاوه‌ی کار، و مطلقاً هیچ‌چیز در مورد نظریه‌ی نوکلاسیک توزیع آشکار نمی‌سازد. نک.

Jesus Felipe and J. S. L. McCombie, "How Sound Are the Foundations of the Aggregate Production Function?" *Eastern Economic Journal* ۳۱ (۲۰۰۵):

۴۶۷-۸۸.

تابع کاب-داگلاس، سهم عوامل را که در ذات مجموعه داده‌های تجربی است، که اکثر آن‌ها سهم عوامل تقریباً ثابتی داشتند، برمی‌گزیند زیرا مؤلفه‌های آن دقیقاً مشابه سهم عوامل از معادله‌ی تساوی هستند. به طور خلاصه، تابع تولید کاب-داگلاس راه استادانه‌ای برای گفتن این است که یک برابر است با یک.

^{۱۷} Stern, "Economic Growth and Energy," ۴۰.

^{۱۸} Solow, "The Economics of Resources or the Resources of Economics," ۱۱.

^{۱۹} Stern, "Economic Growth and Energy," ۴۲.

^{۲۰} John W. Jewett and Raymond A. Serway, *Physics for Scientists and Engineers* (Boston: Cengage Learning, ۲۰۰۸), ۶۱۸.

^{۲۱} See Erald Kolasi, "The Physics of Capitalism," *Monthly Review* ۷۰, no. ۱ (May ۲۰۱۸): ۲۹-۴۳.

^{۲۲} Stanley Reed, "Germany's Shift to Green Power Stalls, Despite Huge Investments," *New York Times*, October ۷, ۲۰۱۷.

^{۲۳} Tobias Buck, "Energy Shift Fails to Cut German Carbon," *Financial Times*, October ۸, ۲۰۱۸.

^{۲۴} برای راهنمایی جامع برای برخی تحقیقات اخیر در باب تندبادها و تغییرات آب و هوایی، نک.

Jennifer M. Collins and Kevin Walsh, eds., *Hurricanes and Climate Change*, vol. ۳ (New York: Springer, ۲۰۱۷).

برای مروری بر نقش تغییر آب و هوا در گسترش بیماری‌های عفونی، نک.

Xiaoxu Wu et al., “Impact of Climate Change on Human Infectious Diseases: Empirical Evidence and Human Adaption,” *Environment International* ۸۶ (۲۰۱۶): ۱۴–۲۳.

^{۲۵} See, for example, Jerry H. Bentley, “Environmental Crises in World History,” *Procedia—Social and Behavioral Sciences* ۷۷ (۲۰۱۳): ۱۰۸–۱۱۵.

^{۲۶} برای مطالعه‌ی بیشتر در باب مارکس و نظریه‌ی گسست متابولیک او، نک.

John Bellamy Foster, *Marx’s Ecology* (New York: Monthly Review Press, ۲۰۰۰).

^{۲۷} See Johan Rockström et al., “A Safe Operating Space for Humanity,” *Nature* ۴۶۱ (۲۰۰۹): ۴۷۲–۷۵.

^{۲۸} Stephen E. Kesler, Adam C. Simon, and Adam F. Simon, *Mineral Resources, Economics and the Environment* (Cambridge: Cambridge University Press, ۲۰۱۵), ۳۰۲.

^{۲۹} Anne Davies and Ben Doherty, “Corruption, Incompetence and a Musical: Nauru’s Cursed History,” *The Guardian*, September ۳, ۲۰۱۸.

^{۳۰} برای مقدمه‌ای عالی بر نحوه‌ی کارکرد فوتوولتائیک‌ها، نک.

“Solar Cell Efficiency,” *Energy Education*, June ۲۵, ۲۰۱۸.

^{۳۱} Alexis De Vos, “Detailed Balance Limit of the Efficiency of Tandem Solar Cells,” *Journal of Physics D: Applied Physics* ۱۳ (۱۹۸۰): ۸۳۹–۴۶.

^{۳۲} See, for example, Tim Worstall, “When Physicists Do Economics We Seem Not to Get Economics as the Result,” *Forbes*, October ۶, ۲۰۱۴.

^{۳۳} Stern, “Economic Growth and Energy,” ۴۲.

^{۳۴} See Table ۱.۷, “Primary Energy Consumption, Energy Expenditures, and Carbon Dioxide Emissions Indicators,” *S. Energy Information Administration*, March ۲۶, ۲۰۱۹.

^{۳۵} برای عطر و بوی نسبتاً جدیدی از عقیده‌ی نخبگان در باب این مبحث، نک.

John L. Seitz and Kristen A. Hite, *Global Issues: An Introduction* (Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, ۲۰۱۲), ۱۲۶.

همچنین، نک.

Devashree Saha and Mark Muro, "Growth, Carbon, and Trump: States Are 'Decoupling' Economic Growth from Emissions Growth," *Brookings Institution*, December ۸, ۲۰۱۶.

^{۳۶} See Stern, "Economic Growth and Energy," ۳۵-۵۱.

کافمن نیز در مقاله‌ای مهم، تغییرات ساختاری را که درون بخش انرژی ایالات متحده رخ دادند مستند ساخت، و تأثیر آن‌ها را بر رشد اقتصاد تحلیل کرد. نک.

Robert Kaufmann, "The Mechanisms for Autonomous Energy Efficiency Increases: A Cointegration Analysis of the US Energy/GDP Ratio," *The Energy Journal* ۲۵ (۲۰۰۴): ۶۳-۸۶.

^{۳۷} Zeke Hausfather, "Analysis: Why US Carbon Emissions Have Fallen ۱۴% Since ۲۰۰۵," *Carbon Brief*, August ۱۵, ۲۰۱۷.

^{۳۸} Brad Plumer, "S. Carbon Emissions Surged in ۲۰۱۸ Even as Coal Plants Closed," *New York Times*, January ۸, ۲۰۱۹.

^{۳۹} برای یکی از تأثیرگذارترین مطالعات در این زمینه، نک.

David I. Stern, "The Role of Energy in Economic Growth," *Crawford School Centre for Climate Economics & Policy Paper No. ۳,۱۰* (۲۰۱۱).

برای مروری بر رابطه‌ی آماری میان بهره‌برداری از انرژی و رشد تولید ناخالص داخلی در سرتاسر جهان، نک.

Rögnvaldur Hannesson, "Energy and GDP Growth," *Inter-national Journal of Energy Management* ۳ (۲۰۰۹): ۱۵۷-۷۰.

برای مطالعه‌ای عمده در باب پیوند میان انرژی و درآمد در برخی از کشورهای آسیایی، نک.

John Asafu-Adjaye, "The Relationship between Energy Consumption, Energy Prices, and Economic Growth: Time Series Evidence from Asian Developing Countries," *Energy Economics* ۲۲ (۲۰۰۰): ۶۱۵-۲۵.

برای مروری کلی بر این که چگونه بهره‌برداری از انرژی به تاریخ بشر شکل داده است، نک.

Vaclav Smil, *Energy and Civilization* (Cambridge: MIT Press, ۲۰۱۷).

^{۴۰} Jessica Dickler, "Consumer Debt Hits ۱۴ Trillion," *CNBC*, February ۲۱, ۲۰۱۹.

- ^{f1} Drew Desilver, “For Most U.S. Workers, Real Wages Have Barely Budged in Decades,” *Pew Research Center*, August ۷, ۲۰۱۸.
- ^{f2} See “Decoupling of Global Emissions and Economic Growth Confirmed,” *International Energy Agency*, March ۱۶, ۲۰۱۶.
- ^{f3} Zeke Hausfather, “Analysis: Global CO₂ Emissions Set to Rise ۲% in ۲۰۱۷ After Three-Year Plateau,” *Carbon Brief*, November ۱۳, ۲۰۱۷.
- ^{f4} Damian Carrington, “Brutal News: Global Carbon Emissions Jump to All-Time High in ۲۰۱۸,” *The Guardian*, December ۵, ۲۰۱۸.
- ^{f5} See Ward et al., “The Decoupling Delusion.”
- ^{f6} Thomas O. Wiedmann et al., “The Material Footprint of Nations,” *Proceedings of the National Academy of Sciences* ۱۱۲ (۲۰۱۳): ۶۲۷۱–۷۶.
- ^{f7} Lenny Bernstein, “S. Life Expectancy Declines Again, a Dismal Trend Not Seen Since World War I,” *Washington Post*, November ۲۹, ۲۰۱۸.
- ^{f8} Nicolás Misculin and Gabriel Burin, “How a Year of ‘Endless Storms’ Battered Argentina’s Economy,” *Reuters*, December ۲۰, ۲۰۱۸.
- ^{f9} Adam Wernick, “Climate Change Is the Overlooked Driver of Central American Migration,” *PRI*, February ۶, ۲۰۱۹.
- ^{d0} Rupam Jain, “In Parched Afghanistan, Drought Sharpens Water Dispute with Iran,” *Reuters*, July ۱۶, ۲۰۱۸.
- ^{d1} Heinz Schandl et al., *Global Material Flows and Resource Productivity* (Paris: International Resource Panel, ۲۰۱۶), ۴۰.
- ^{d2} Frédéric Simon, “Decoupling Energy from GDP Growth ‘Might Be Impossible,’ Statoil Says,” *Euractiv*, June ۱۵, ۲۰۱۷.
- ^{d3} “Summary for Policymakers of IPCC Special Report on Global Warming,” Intergovernmental Panel on Climate Change, October ۸, ۲۰۱۸.

^{۵۴} Brady Dennis and Chris Mooney, “We Are in Trouble: Global Carbon Emissions Reached a Record High in ۲۰۱۸,” *Washington Post*, December ۵, ۲۰۱۸.

^{۵۵} See Ronald P. Formisano, *Plutocracy in America* (Baltimore: John Hopkins University Press, ۲۰۱۵).