

20

تغیر بزرگ

تکنولوژی

تا سال ۲۰۵۰

50

مترجم: آرش پورا ابراہیمی

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سرشناسنامه:

عنوان و پدیدآور: تغییر بزرگ تکنولوژی تا سال ۲۰۵۰

مشخصات نشر: امین الضرب ۱۳۹۶

مشخصات ظاهری: ۳۵۲ ص

شابک: ۹۷۸۶۰۰۹۹۷۷۲۱۵

عنوان اصلی: تغییر بزرگ تکنولوژی تا سال ۲۰۵۰

موضوع: تغییر بزرگ تکنولوژی تا سال ۲۰۵۰

موضوع: اقتصاد/آینده پژوهی/مدیریت کسب و کار



تغییر بزرگ تکنولوژی تا سال ۲۰۵۰

نویسنده: جمعی از نویسندگان

شورای سیاست گذاری: مصطفی درویشی، بهرام مهرجو

مترجم: آرش پورا ابراهیمی

ویراستار: حامد زارع

گرافیک و طراحی: آتلیه آینده نگر / رضا دولت زاده

چاپ اول: پاییز ۱۳۹۶

تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه

لیتوگرافی و چاپ: صنوبر

صحافی: سپیدار

شابک: ۹۷۸۶۰۰۹۹۷۷۲۱۵

20

تغیر بزرگ

تکنولوژی

تا سال ۲۰۵۰

50

مترجم: آرش پورا ابراہیمی



The  
Economist

آیندهنگار

آیین بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی تهران  
TEHRAN CHAMBER OF COMMERCE,  
INDUSTRIES, MINES AND AGRICULTURE



## تشکرنامه

«هرگز پیش‌بینی نکن، به خصوص در مورد آینده.» من قدردان همه نویسندگان این کتاب هستم که این توصیه را نادیده گرفتند و ذهن‌هایشان را به سه دهه بعد بردند.

یکی از لذت‌های کار کردن در مجله اکونومیست این است که برای دریافت بهترین نصیحت، تنها کافی است که در طول راهرو قدم بزنید تا بسیاری از همکارانتان بهترین پیشنهادات را با شما در میان بگذارند. اولیور مورتون و تام استندیج، به طور خاص، در شکل دادن به طرح کلی کتاب و پیشنهاد نویسندگان بسیار کمک کردند. متیو سیموندز و ناتاشا لودر بازخوردهای مفیدی را ارائه کردند. زنی مینتون بدوئس مشوق من در آماده‌سازی کتاب بود و پتسی دریدن اطمینان حاصل کرد که بتوانم امور کتاب را در کنار امور روزانه پیش ببرم.

کلر گریست و اد لیک از انتشارات پروفایل بوکس حامیان مشتاق و بسیار صبور این پروژه بودند. پل فورتی با آرامش امور را مدیریت کرد. پنی ویلیامز، دیوید گریفیتز و پیپ رو به ترتیب در ویرایش، بررسی صحت داده‌ها و تهیه نمودارها کمک کردند.

کتاب حاضر به سال ۲۰۵۰ می‌نگرد اما امور مربوط به آن در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ انجام شدند. همچنین از همسرم، گبی، به طور ویژه متشکرم که به خاطر بردباری فراوان نسبت به زمان زیادی که این نگاه به آینده به خود اختصاص داد.

Megatech looks to 2050, but it took chunks out of 2015 and 2016. Special thanks to my wife, Gaby, for her megatolerance of the time taken up by all the future-gazing.



## فهرست نویسندگان به ترتیب فصل‌ها

### — دانیل فراکلین

دبیر اجرایی مجله اکونومیست و سردبیر کتاب سال مجله اکونومیست است. او همچنین در نگارش کتاب «ابر تغییر: جهان در سال ۲۰۵۰» نیز نقش داشته است.

### — تام استندیج

جانشین سردبیر و رییس بخش استراتژی دیجیتال در مجله اکونومیست است. او همچنین یکی از نویسندگان مجله در بخش فن‌آوری است. در میان کتاب‌های او، کتاب «اینترنت و ویکتوریایی و نوشتن بر روی دیوار: شبکه اجتماعی - ۲۰۰۰ سال نخست» نیز دیده می‌شود.

### — فرانک ویلچک

استاد فیزیک در موسسه فن‌آوری ماساچوست و برنده جایزه نوبل فیزیک در سال ۲۰۰۴ است. کتاب «یک پرسش زیبا: یافتن طراحی عمیق طبیعت» یکی از کتاب‌های او است.

### — رابرت کارلسون

دانشمند، کارآفرین و نویسنده کتاب «بیولوژی فن‌آوری است: وعده، خطر و کسب و کار تازه مهندسی زندگی» است. او مدیر شرکت سرمایه‌گذاری بیواکونومی کاپیتال و مدیر شرکت مشاوره ایمنی و مهندسی بیودسیک است.



### — تیم کراس

خبرنگار بخش علم در مجله اکونومیست است.

### — آن وینبلد

یکی از بنیان‌گذاران شرکت سرمایه‌گذاری هامروینبلد در سن‌فرانسیسکو که برای بیش از سی سال یکی از کارآفرینان و سرمایه‌گذاران پیشرو در صنعت نرم‌افزار بوده است.

### — رایان ایونت

ستون‌نویس اقتصادی در مجله اکونومیست که نویسنده کتاب «ثروت انسان‌ها: کار و فقدان کار در قرن بیست و یکم» نیز است.

### — جفری کر

دبیر بخش علم و فن‌آوری مجله اکونومیست است.

### — جیانریکو فاروجیا

مدیر ارشد در مایو کلینیک در جکسون‌ویل، فلوریدا است. او استاد داروسازی و فیزیولوژی و متخصص در زمینه گوش و حلق و بینی است یکی از پیشروان تولید داروهای اختصاصی نیز به شمار می‌رود.

### — آنا شوکت

روزنامه‌نگار آزاد که مطالب او در بخش علم و فن‌آوری مجله اکونومیست منتشر می‌شود.

### — پل مارکیلی

دبیر نوآوری در مجله اکونومیست است. او پیش‌تر دبیر فصل نامه فن‌آوری مجله اکونومیست و نویسنده گزارش ویژه آینده تولید، سومین انقلاب صنعتی بود.

### — بنجامین ساترلند

مطالب او در مجله اکونومیست منتشر می‌شود. بنجامین ساترلند همچنین نویسنده کتاب «جنگ افزارهای مدرن، هوش و بازدارندگی: فن‌آوری‌هایی که آنها را متحول می‌کنند» است.

### — لئو میرانی

دبیر اخبار در مجله اکونومیست است. گزارش‌های او درباره فن‌آوری پیش‌تر در کوارتز منتشر شده‌اند.

### — لوچیانو فلوری

استاد فلسفه و اخلاق اطلاعات در دانشگاه آکسفورد است. تازه‌ترین کتاب او «انقلاب چهارم: چگونه حوزه فعالیت فن‌آوری در حال تغییر واقعیت بشر است» نام دارد.

### — کنث کوکیر

دبیر ارشد محصولات دیجیتالی مجله اکونومیست و یکی از نویسندگان کتاب «کلان داده: انقلابی که شیوه کار، زندگی و فکر کردن ما را تغییر می‌دهد»

## — ملیندا گیتس

یکی از بنیان‌گذاران و مدیران بنیاد بیل و ملیندا گیتس است.

## — آدرین وولدریج

دبیر بخش مدیریت مجله اکونومیست و نویسنده ستون شومپیتر در این مجله است. تازه‌ترین کتاب او «آشوب بزرگ: چگونه کسب و کارها با روزهای بحرانی مقابله می‌کنند» نام دارد.

## — لیندا گرتون

استاد مدیریت در مدرسه اقتصاد لندن است. در میان کتاب‌های او درباره تاثیر تحولات جهان بر کار، می‌توان به کتاب «گذار و کلید» اشاره کرد. او همچنین همراه با اندرو اسکات، کتاب «زندگی ۱۰۰ ساله: زندگی و کار در دوران عمر طولانی» را نوشته است.

## — الستر رینالدز

نویسنده بریتانیایی داستان‌های علمی تخیلی که در میان کتاب‌های مجموعه داستان‌های «فرزندان پوزئیدون» و «فضای مکاشفه» به چشم می‌خورند.

## — نانسی کرس

نویسنده آمریکایی داستان‌های علمی تخیلی که تا کنون چندین جایزه دریافت کرده و در میان آثارش کتاب «پس از سقوط»، «پیش از سقوط»، «طی سقوط» و «خویشاوند دیروز» به چشم می‌خورند.

## — الیورمورتون

یکی از دبیران مجله اکونومیست و نویسنده بخش علم است. تازه‌ترین کتاب او «سیاره بازسازی شده: چگونه مهندسی آب و هوا می‌تواند جهان را تغییر دهد» نام دارد.

## فهرست

پیشگفتار	
آینده از آنچه فکر می‌کنید به شما نزدیک‌تر است   مسعود خوانساری	۱۳
مقدمه	
ملاقات با اَبَر فن آوری   دانیل فراکلین	۲۳
فصل اول	
جعبه ابزاری برای پیش‌بینی   تام استندیج	۳۵
فصل دوم	
بنیان‌های علم فیزیک برای فن آوری آینده   فرانک ویلچک	۵۱
فصل سوم	
فرصت‌های تازه در بیوتکنولوژی   رابرت کارلسون	۷۷
فصل چهارم	
فرای قانون مور	۹۷
فصل پنجم	
نسل‌های فن آوری: گذشته به مثابه پیشگفتار   آن وینبلد	۱۱۱
فصل ششم	
بحث اصلی در مورد نوآوری   رایان ایونت	۱۲۹
فصل هفتم	
کشاورزی فردا   جفری کر	۱۴۹
فصل هشتم	
مواجهه خدمات درمانی با قدرت بیماران   جیانریکو فاروجیا	۱۵۷
فصل نهم	
بخش انرژی: برآمدن انرژی‌های تجدیدپذیر   آنا شوکت	۱۷۱
فصل دهم	
ساخت مواد جدید   پل مارکیلی	۱۹۱
فصل یازدهم	
فن آوری نظامی: سحر آمیز و نامتقارن   بنجامین ساترلند	۲۰۷

۲۲۵	فصل دوازدهم فن آوری شخصی واقعا شخصی می‌شود   لئو میرانی
۲۴۳	فصل سیزدهم اخلاق هوش مصنوعی   لوچیانو فلورییدی
۲۵۷	فصل چهاردهم جهانی که داده‌ها آن را پیش می‌برند   کنث کوکیر
۲۷۳	فصل پانزدهم تصور توانمند شدن همه مردم   ملیندا گیتس
۲۷۹	فصل شانزدهم آبر تکنولوژی در مقابل آبر نابرابری   آدرین وولدریج
۲۹۵	فصل هفدهم کار و خیزش ماشین‌ها   لیندا گرتون
۳۰۶	فصل هجدهم ساعات ملاقات: یک داستان کوتاه   الستر رینالدز
۳۱۹	فصل نوزدهم ما کانگا: داستان کوتاه   نانسی کرس
۳۳۵	فصل بیستم نتیجه گیری: درس‌هایی از انقلاب صنعتی   الیور مورتون

پیشگفتار

# آینده از آنچه فکر می‌کنید به شما نزدیک تر است

مسعود خوانساری

رئیس اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی تهران

مدیر مسئول ماهنامه آینده‌نگر

نخستین خط تولید خودرو در ایران در اواسط دهه ۱۳۴۰ شمسی افتتاح شد، یعنی بیش از نیم قرن پس از اینکه جان فورد نخستین خط مونتاژ متحرک را برای تولید خودرو به کار گرفت. اما تنها چند سال زمان لازم بود تا نمونه‌های مشابه ایرانی با ارزش‌ترین شرکت خصوصی جهان یعنی شرکت خدمات آنلاین تاکسیرانی اوبر که در سال ۲۰۰۹ میلادی تاسیس شده بود، در خیابان‌های تهران فعال شوند. مسیری که از خودروسازی‌ها تا شرکت‌های تاکسیرانی آنلاین طی شده، نمادی است از آنچه در جهان کسب و کار روی داده است. نه تنها سرعت انتقال دانش به شدت افزایش یافته، بلکه ماهیت کسب و کارهای تازه نیز به گونه‌ای است که به کارگیری فن‌آوری آنها در کشورهای مختلف نیازمند زمان اندکی است. به همین خاطر است که نمونه‌های مشابه کسب و کارهای نمادین آغاز قرن

بیستم، مانند کارخانه خودروسازی فورد، به نیم‌قرن زمان لازم داشتند تا به ایران راه یابند، اما کسب و کارهای نمادین آغاز قرن بیست و یکم، مانند شرکت اوپر، طی تنها پنج سال در بازار ایران ظاهر شدند.

انگیزه اصلی ترجمه کتاب «فن آوری در سال ۲۰۵۰» به زبان فارسی نیز همین انتقال نسبتاً سریع دانش و فن‌آوری بود، به خصوص که به نظر می‌رسد شتاب گسترش دانش نیز رو به افزایش است. اگر در دهه نخست قرن بیست و یکم کسب و کارهای مشابه با اختلاف تنها چند سال در اقتصادهای توسعه یافته و در حال توسعه ظهور می‌کنند، شاید در نیمه قرن، این اختلاف به کمتر از یک سال برسد و البته باید آرزو و همچنین تلاش کرد که حداقل در برخی زمینه‌ها، ایران مبدا فن‌آوری‌های تازه باشد.

کتاب پیش روی شما در واقع جلد تازه کتاب «تغییرات بزرگ جهان تا سال ۲۰۵۰» است که پیش‌تر توسط اتاق تهران منتشر شده بود. اگر در کتاب پیشین، روندهای کلی اقتصادی و اجتماعی بشر مورد توجه قرار گرفته بود، در این کتاب آنچه در جهان فن‌آوری روی خواهد داد و اثرات اجتماعی و اقتصادی آن مورد توجه قرار گرفته است. تحولات مربوط به فن‌آوری تنها به موسسات تحقیقاتی، دانشگاه‌ها و آزمایشگاه‌ها مربوط نیستند و بر زندگی، کار و روابط میان انسان‌ها تاثیر گذارند. به همین خاطر نیز در کتاب فن‌آوری در سال ۲۰۵۰، نه تنها به پیشرفت‌های علمی توجه شده بلکه بستر مربوط به این پیشرفت‌ها و همچنین آثار و مسائلی که این پیشرفت‌ها به همراه خواهند داشت نیز مورد توجه قرار گرفته است.

بخش نخست کتاب که شش فصل را در بر می‌گیرد، به مسائل بنیادین مربوط به فن‌آوری پرداخته شده است. تمام استنادیج، یکی از نویسندگان مجله اکونومیست، در فصل نخست شرح می‌دهد که همین حالا هم می‌توان نشانه‌هایی از آنچه در آینده روی خواهد داد را مشاهده کرد. برای مثال می‌توان مواردی از کاربردهای فن‌آوری‌های تازه را یافت که در برخی نقاط جهان به کار می‌روند، اما هنوز به طور گسترده مورد استفاده عموم قرار نگرفته‌اند. او نشان می‌دهد که فن‌آوری‌هایی مانند تلفن همراه

هوشمند و پرداخت به‌وسیله تلفن همراه چگونه ابتدا به ترتیب تنها در ژاپن و کنیا به کار گرفته می‌شدند. همچنین مسائل و مباحثی که فن‌آوری‌های تازه به همراه می‌آورند، کم و بیش به مسائلی شباهت دارند که فن‌آوری‌های پیشین نیز ایجاد کرده‌اند. آقای استندیج نشان می‌دهد همان‌طور که امروز گروهی نگرانند که اینترنت بر تربیت کودکان تاثیر منفی بگذارد و حریم شخصی را از بین ببرد، زمان اختراع تلگراف نیز گروهی نگرانی‌های مشابهی داشتند. آقای استندیج همچنین از یاد نمی‌برد که روی‌پزدازی تا چه حد در نوآوری موثر است، به همین خاطر او به داستان‌ها و فیلم‌های علمی تخیلی اشاره می‌کند و یادآور می‌شود برخی از پیشرفت‌هایی که در این فیلم‌ها به تصویر کشیده شده‌اند، در آینده‌ای نه چندان دور به زندگی واقعی میلیون‌ها انسان راه می‌یابند. فرانک ویلچک، برنده جایزه نوبل فیزیک در سال ۲۰۰۴، در فصل دوم به بنیان‌های فیزیکی می‌پردازد که فن‌آوری آینده بر آن قرار خواهد گرفت. شاید بتوان گفت که تاکنون بسیاری از حوزه‌های علمی و کسب و کار بیشتر بر اساس انباشت تجربه و آزمون و خطا پیش رفته‌اند اما آن‌طور که آقای ویلچک شرح می‌دهد، پیشرفت‌ها بیشتر نیازمند یاری علوم پایه از جمله فیزیک است. برای مثال فیزیک کوانتومی و زیست‌شناسی برای ساخت رایانه‌ها به کار گرفته خواهند شد. زیست‌شناسی، شاخه‌ای از علم است که طی دهه‌های پیش‌رو به یکی از نیروهای پیش‌برنده فن‌آوری تبدیل خواهد شد. ورود رایانه‌ها به بدن انسان، بدون کمک زیست‌شناسی ممکن نخواهد بود. در فصل سوم شرح داده می‌شود که مواردی مانند ذخیره اطلاعات بر روی دی ان ای (به جای دیسک‌های فعلی)، اصلاحات ژنتیکی که نه تنها برخی بیماری‌ها را برطرف می‌سازند، بلکه می‌توانند توانایی انسان در برخی زمینه‌ها را ارتقاء دهند، صنایع غذایی و بخش تولید همگی تحت تاثیر پیشرفت‌های زیست‌شناسی قرار خواهند گرفت. اهمیت این پیشرفت‌های بین‌رشته‌ای زمانی بهتر درک می‌شود که بدانیم قانون مور دیگر در حال از نفس افتادن است. دو برابر شدن سرعت پردازش‌گرهای رایانه‌ای در هر دو سال، که به قانون مور شهرت یافته، برای چندین دهه



نیروی پیش‌برنده صنعت رایانه بوده و باعث شده که هر سال دستگاه‌های هوشمند سریع‌تر و قدرتمندتری راهی بازار شوند اما تداوم قانون مور در آینده‌ای نه چندان دور دیگر ممکن نخواهد بود. آن زمان، همان‌طور که در فصل چهارم کتاب شرح داده شده، علاوه بر علوم دیگر، پردازش ابری نیز نقش بیشتری خواهند یافت. همین حالا هم برخی از دستگاه‌های هوشمند مانند آمازون اکو که می‌تواند دستورات کلامی شما را درک کرده و به آنها پاسخ بدهد، توان پردازش ناچیزی دارد اما به لطف اتصال به پردازش‌گرهای شرکت آمازون که شاید کیلومترها دورتر قرار دارند، می‌تواند به منظور شما پی‌ببرد. خواندن فصل پنجم کتاب برای هر فعال اقتصادی، کارآفرین و سرمایه‌گذاری ضروری است. خانم وینبلد، یکی از سرمایه‌گذاران حوزه فن‌آوری، هفت موج انقلاب فن‌آوری را شرح می‌دهد از موج کلان داده‌ها، موج اینترنت چیزها و ماشین‌های هوشمند و موج هوش مصنوعی به عنوان سه موج اخیر جهان فن‌آوری یاد می‌کند. اگر از حضور و توسعه ناگهانی اینترنت و کسب و کارهای شکل گرفته مرتبط با آن غافلگیر شده‌اید، مطالعه این فصل باعث خواهد شد که از همین حالا در مورد موج‌های پیش‌رو که جهان کسب و کار را متحول خواهند ساخت تصویری کلی داشته باشید. کلان داده‌ها و کاربردهای گسترده آنها و هوش مصنوعی به زودی به بخشی از زندگی روزمره ما تبدیل خواهند شد و بازارهای تازه‌ای را شکل خواهند داد. سرمایه‌گذاران از همین حالا به دنبال افزایش سهم خود در این بازار هستند، به طوری که میزان سرمایه‌گذاری در استارت‌آپ‌های مربوط به هوش مصنوعی در آمریکا از حدود پنجاه میلیون دلار در سال ۲۰۱۰ به بیش از یک میلیارد دلار در سال ۲۰۱۷ رسیده است. اگر تصور می‌کنید که این موج تنها به اقتصادهای توسعه‌یافته مربوط می‌شود و تاثیری بر اقتصاد ایران نخواهد داشت، پاراگراف نخست این یادداشت را به یاد بیاورید. اما چرا با همه این پیشرفت‌های حیرت‌آور که زندگی تقریباً همه ما را متحول ساخته، وضعیت اقتصاد تغییر چندانی نکرده است؟ این پرسشی است که رایان ایونت از آن به عنوان بحث اصلی در نوآوری یاد می‌کند و در فصل ششم به آن می‌پردازد. برخی اقتصاددانان اعتقاد دارند که انقلاب

دیجیتالی به رغم همه شگفتی‌هایی که به بار آورده در ایجاد تحول در بهره‌وری اقتصادی ناکام بوده است و تاثیر آن بر اقتصاد بشر به اندازه پیشرفت‌هایی مانند برق‌رسانی و تولید خودرو نبوده است. داده‌های مربوط به بهره‌وری نیز این ادعا را تایید می‌کنند، اما حداقل برخی از کارشناسان از جمله آقای ایونت اعتقاد دارند که نمایان شدن آثار انقلاب دیجیتال بر بهره‌وری نیازمند زمان است. برای دانستن اینکه کدام گروه درست می‌گویند باید چند دهه صبر کرد.

بخش دوم کتاب به بخش‌های اقتصادی از جمله کشاورزی، بهداشت و درمان، انرژی، تولید و صنایع نظامی در سال ۲۰۵۰ می‌پردازد. جفری کر، در فصل هفتم تصویر نسبتاً جامعی از آینده صنعت کشاورزی ترسیم می‌کند، جایی که مهندسی ژنتیک فرآیند تولید محصول را به طور کامل متحول کرده و این بار دستکاری ژنتیکی محصولات خوراکی با واکنش منفی افکار عمومی مواجه نشده است، تولید محصولات کشاورزی و حتی مواد غذایی دریایی بار دیگر به شهرها بازگشته، هرچند که این بار این تولید در ساختمان‌های بسته انجام می‌شود که شرایط محیطی در آنها به شدت کنترل می‌شود و بالاخره اینکه کارخانه تولید گوشت که سلول‌های گوشتی را پرورش می‌دهند و حیوانات واقعی در آنها حضور ندارند به رقیب کشتارگاه‌های فعلی تبدیل خواهند شد. آقای کر پیش‌بینی می‌کند که در آینده جدالی جدی میان مخالفان کشتار حیوانات و مخالفان تولید گوشت‌های ژنتیکی روی خواهد داد و برنده این نبرد حامیان حقوق حیوانات خواهند بود. در فصل هشتم خواهید دید که ورود فن‌آوری‌های تازه مانند کلان داده‌ها و واقعیت مجازی با خدمات درمانی چگونه به تحول در رابطه بیمار و پزشک منجر خواهد شد. ساختار بازار انرژی جهان در سال ۲۰۵۰ در فصل نهم به خوبی به تصویر کشیده شده است، تصویری که می‌تواند زنگ‌های خطر را برای سیاست‌گذاران ایرانی به صدا درآورد. چرا که طی دهه‌های آینده از نقش سوخت‌های فسیلی در تامین انرژی جهان کاسته خواهد شد. همان‌طور که آنا شوکت در این فصل شرح می‌دهد، سوخت‌های فسیلی ناگهان ناپدید نخواهند شد اما وابستگی به آنها کاهش

خواهد یافت و منابع تجدیدپذیر انرژی مانند انرژی خورشیدی، انرژی باد و انرژی هسته‌ای جای آن را خواهند گرفت. استفاده از انرژی خورشیدی و انرژی باد با چالشی جدی مواجه است و آن اینکه چنین انرژی‌هایی همواره موجود نیستند؛ خورشید همواره نمی‌تابد و باد همواره نمی‌وزد. اما پیشرفت‌های فن‌آوری به خصوص در بخش ذخیره انرژی به حل این مشکل کمک خواهند کرد و از وابستگی بخش تجاری و بخش خانگی به شبکه برق‌رسانی کاسته خواهد شد. اما نه فقط منبع انرژی، بلکه شیوه استفاده از این انرژی به خصوص در بخش تولید نیز تغییر خواهد کرد. یک کارخانه خودروسازی را در نظر بگیرید که در آن هیچ اثری از صدای دستگاه پرس نیست و بدنه خودرو از الیاف کربنی بافته شده باشد. کارخانه‌ای بی سروصدا که بیشتر به خودروبافی شباهت دارد تا خودروسازی. شاید این تصویر تخیلی‌تر از آن به نظر برسد که تا سال ۲۰۵۰ محقق شود، اما بهتر است بدانید که همین حالا یکی از مهم‌ترین خودروسازی‌های جهان از همین شیوه برای تولید یکی از مدل‌هایش بهره می‌برد. اگر به بخش تولید علاقه مندید، مطالعه فصل دهم را از دست ندهید. شیوه تولید بخش قابل توجهی از کالاهای دگرگون خواهد شد. چاپگرهای سه بعدی به تولیدکننده‌های اصلی تبدیل خواهند شد. مفهوم خط تولید تغییر خواهد کرد و رایانه‌های متصل به چاپگرها پاهای هر مشتری را اندازه گرفته و کفش مخصوص به او را تولید خواهند کرد. هنگامی که وظیفه تولید بر دوش رایانه‌ها قرار گیرد، نیروی کار ارزان قیمت اهمیت خود را از دست خواهد داد و تولیدکنندگان کارخانه‌های خود را در نزدیکی بازارهای مصرفی برپا خواهند کرد. یازدهمین فصل کتاب به آینده جنگ افزارهای نظامی می‌پردازد. تقریباً همچون همه فصل‌های دیگر، در اینجا نیز به نقش پررنگ کلان داده‌ها و هوش مصنوعی در آینده اشاره می‌شود. شاید با بخشی از ادعاهای نویسنده این فصل موافق نباشید، مثلاً آنجا که ادعا می‌کند سربازان کشورهای غربی در جبهه‌های نبرد خلاقیت بیشتری به کار می‌برند، اما پیش‌بینی‌های او در زمینه اینکه کشورهای غربی چگونه تلاش خواهند کرد تا برتری نظامی خود را حفظ کنند خواندنی است، همان‌طور

که پیش‌بینی‌های نویسنده در مورد خطرات احتمالی سلاح‌های کشتار جمعی که با هوش مصنوعی کار می‌کنند نگران‌کننده است. فصل دوازدهم به دو شاخه‌ای از فن‌آوری می‌پردازد که هنوز امکانات بالقوه خود را به طور کامل نشان نداده‌اند: واقعیت مجازی و واقعیت افزوده. آن‌طور که آقای میرانی پیش‌بینی می‌کند، در سال ۲۰۵۰ ما در خیابان‌ها قدم می‌زنیم در حالی که اطلاعات مربوط به مکان‌هایی که از آنها عبور می‌کنیم یا به آنها می‌نگریم در گوشه دید ما ظاهر می‌شوند و خودمان می‌توانیم شیوه و نوع اطلاعات نمایش داده شده را تنظیم کنیم.

بخش سوم کتاب به رابطه فن‌آوری و جامعه می‌پردازد. این بخش با فصلی بسیار خواندنی آغاز می‌شود که توسط لوچیانو فلوریدی نوشته شده است. آقای فلوریدی استاد فلسفه و اخلاق اطلاعات در دانشگاه آکسفورد است. این فیلسوف ایتالیایی در روایتی جذاب رابطه میان انسان و فن‌آوری را ترسیم می‌کند و به این پرسش مهم پاسخ می‌دهد که آیا ممکن است هوش مصنوعی در نهایت آن‌قدر پیشرفت کند که به خطری برای نوع بشر تبدیل شود؟ مثلاً ماشین‌های هوشمند تصمیم بگیرند که نسل بشر را از بین ببرند و یا بشر را به بردگی بگیرند؟ پاسخ آقای فلوریدی به این پرسش، خوشبختانه، منفی است. اما او هشدار می‌دهد که سوء استفاده بشر از هوش مصنوعی می‌تواند پیامدهای فاجعه‌باری به همراه داشته باشد. خواندن این فصل نشان می‌دهد که ما تا چه حد همچنان به فلسفه و اندیشه‌های عمیق در مورد مسائل روز بشر نیازمندیم. باید افزود که آقای فلوریدی به شرکت‌های بزرگ فن‌آوری مانند گوگل و آی‌بی‌ام هم مشاوره می‌دهد. فصل چهاردهم کتاب جهانی را ترسیم می‌کند که نیروی پیش‌برنده آن داده‌ها و اطلاعات هستند. مطالعه این فصل حداقل در یک مورد به شما اطمینان خواهد داد و آن اینکه تقریباً هیچ شغلی را نمی‌توان یافت که از گزند کلان داده‌ها و هوش مصنوعی در امان باشد. ماشین‌ها نه تنها در تشخیص بیماری بلکه در فرآیند درمان نیز به کمک پزشکان خواهند آمد و وکلا به جای نگارش متون حقوقی، تنها متون نوشته شده توسط ماشین‌ها را می‌خوانند و تایید می‌کنند و داده‌های مربوط به

دادگاه‌های گذشته به آنها کمک می‌کند که بهترین راهکار برای دفاع از موکل خود را برگزینند. بخش آموزش هم متحول خواهد شد. اگر شیوه آموزش فعلی شباهت زیادی به شیوه تولید انبوه دارد، که در آن فرآیند آموزشی یکسان به تعداد بسیاری زیادی دانش آموز ارائه می‌شود، با عبور از عصر تولید انبوه، آموزش هر دانش‌آموز نیز بر اساس استعدادها و توان هر دانش‌آموز تنظیم خواهد شد. همان‌طور که ماشین‌ها در آینده‌ای نه چندان دور، اندازه پاهای هر مشتری را اندازه می‌گیرند و برای هر مشتری یک جفت کفش مخصوص تولید می‌کنند، آموزشی که هر دانش‌آموز دریافت خواهد کرد نیز بر اساس ویژگی‌های همان دانش‌آموز تنظیم شده است. البته جهانی هوشمندتر می‌تواند خدمات به مراتب ارزشمندتری از کفش مناسب را ارائه دهد. همان‌طور که خانم ملیندا گیتس در فصل پانزدهم شرح می‌دهد، رساندن تلفن همراه هوشمند به زنانی که در فقیرترین نقاط جهان زندگی می‌کنند نه تنها سلامت آنها را متحول خواهد ساخت، بلکه می‌تواند با ارائه خدمات بانکداری و ارائه اطلاعات به این زنان، به توانمندسازی آنها کمک کند. فن‌آوری همچنین می‌تواند به کاهش نابرابری بیانجامد. هرچند مسئولیت رشد نابرابری در جهان تا حدی متوجه پیشرفت فن‌آوری است، اما آقای وولدریج در فصل شانزدهم کتاب شرح می‌دهد که همین فن‌آوری چگونه می‌تواند برای کاهش نابرابری نیز به کار گرفته شود. فن‌آوری می‌تواند فرصت‌های برابر را برای دامنه گسترده‌تری از جامعه فراهم آورد. هرچند که چالش نابرابری بسیار عمیق‌تر از آن است که بتوان به راحتی با آن مقابله کرد. نابرابری در جامعه حتی از پیش از تولد آغاز می‌شود، جایی که تغذیه و سلامت مادر تاثیر قابل توجهی بر سرنوشت فرزند دارد. در چنین شرایطی، همان‌طور که در فصل شانزدهم به آن اشاره شده، مقابله با نابرابری به سیاست‌گذاران باهوش نیاز دارد. به عنوان یک کارفرما یا نیروی کار، پس از مطالعه شانزده فصل نخست کتاب احتمالاً با این پرسش مواجه خواهید شد که سازمان یا کسب و کارها چگونه باید خود را برای روابط کاری مربوط به جهان پیش‌رو آماده سازند؟ لینلا گرتون، استاد مدیریت در مدرسه اقتصادی لندن، در فصل

هفدهم به این پرسش پاسخ داده است. به اعتقاد او، در آینده به‌سختی بتوان افراد با استعداد را متقاعد ساخت که با قراردادهایی بلندمدت به یک سازمان بپیوندند. رابطه کارگر و کارفرما به مراتب پویاتر خواهد شد و آموزش دائمی بخشی از آن خواهد بود. افراد بااستعداد کسب و کارهای خودشان را پی می‌گیرند و در مواقعی برای برخی پروژه‌ها به سازمان می‌پیوندند. در واقع سازمان‌ها برای اینکه بتوانند از چنین نیروی کاری بهره‌مند شوند، باید انعطاف‌پذیری خود را افزایش دهند. اما فصول کتاب فن‌آوری در سال ۲۰۵۰ تنها به یادداشت‌هایی در مورد آینده محدود نمی‌شود. دو نویسنده داستان‌های علمی تخیلی نوشته شده در فصل‌های هجدهم و نوزدهم داستان‌هایی را روایت می‌کنند که در سال ۲۰۵۰ روی می‌دهند. الستر رینالدز، از خانم جوانی می‌گوید که جسم او در یک سانحه به شدت آسیب دیده، اما پزشکان ذهن او را به بدنی مصنوعی منتقل کرده‌اند و حالا او قادر است که همه فعالیت‌های روزانه را به راحتی انجام دهد. در واقع قهرمان این داستان کوتاه به این جمع‌بندی می‌رسد که زندگی در کالبدی مصنوعی به مراتب جذاب‌تر است. اما جهانی که نانسی کرس در فصل نوزدهم ترسیم کرده کمی ترسناک‌تر است. جایی که دولت‌ها در مقابله با مشکلات زیست محیطی ناکام مانده‌اند، زمین به شدت گرم شده و افزایش فجایع زیست محیطی به تشدید بحران‌های اجتماعی انجامیده است. در چنین جهانی، دانشمندان ناامید از دولت‌ها، تصمیم می‌گیرند که به‌طور خودسرانه و با به‌کارگیری شیوه‌های مهندسی آب و هوا از دمای زمین بکاهند. اگر کتاب «صد سال دگر» که پیش‌تر توسط اتاق بازرگانی تهران منتشر شده را خوانده باشید، به‌خاطر خواهید آورد که به‌کارگیری شیوه‌های مهندسی آب و هوا برای کاهش دمای سیاره زمین، یکی از جدی‌ترین مباحث علمی در مورد گرمایش زمین است. این راه حل شاید اکنون و به‌خاطر پیامدهای ناشناخته‌اش عملی به نظر نرسد، اما در جهانی که دولت‌ها در مقابله با گرمایش زمین ناکام مانده‌اند، مهندسی آب و هوا شاید به‌تنها گزینه برای نجات زمین تبدیل شود. الیور مورتون، در آخرین فصل کتاب، با ظرافت شرح می‌دهد

که چرا نگرستن به رویدادهای مربوط به دوران انقلاب صنعتی به ما در درک اثرات پیشرفت‌های پیش‌رو کمک خواهد کرد. به اعتقاد آقای مورتون، فن‌آوری موجودی خودمختار نیست که همچون قطار به خودی خود پیش برود، بلکه اینکه کدام بخش‌ها و جنبه‌های فن‌آوری پیش بروند، تا حد زیادی محصول روابط اجتماعی است. به اعتقاد آقای اولیور، همه ما در شکل‌گیری آینده فن‌آوری نقش خواهیم داشت.

خواندن کتاب فن‌آوری در سال ۲۰۵۰ می‌تواند سرگرم‌کننده و جذاب باشد. بی‌تردید در کتابی که در میان نویسندگان آن از روزنامه‌نگاران مجله اکونومیست و نویسندگان داستان‌های علمی و تخیلی گرفته تا یک سرمایه‌گذار، چند دانشمند و استاد دانشگاه، رییس یک سازمان خیریه، یک فیزیک‌دان که جایزه نوبل را هم دریافت کرده و یک فیلسوف حضور دارند، طیف متنوعی از نگرش‌ها در مورد آینده را در بر می‌گیرد. اما در کنار آن، خواندن این کتاب شاید ضروری باشد. می‌توان گفت در هر کسب و کاری که فعال باشید، پیشرفت فن‌آوری طی دهه‌های آینده بر کسب و کار شما بسیار تاثیرگذار خواهد بود. برخورداری از تصویری نسبتاً روشن و همه‌جانبه از آینده، آن‌طور که در کتاب ترسیم شده، به‌طور حتم در مواجهه با امواج تازه فن‌آوری به کار خواهد آمد.

مقدمه

# ملاقات با اَبَر فن آوری

دانیل فراکلین<sup>۱</sup>

اکنونمیس

کتاب پیش‌رو بر اساس این ایده شکل گرفته که برخورداری از دیدی بلندمدت می‌تواند مفید باشد. تنظیم کردن چشم انداز بر روی سال ۲۰۵۰، دعوتی است برای شناخت نیروهای بنیادینی که احتمالا جهان میان امروز و آن زمان را شکل خواهند داد. سلف این کتاب یعنی کتاب «تغییرات بزرگ جهان تا ۲۰۵۰» که در سال ۲۰۱۲ منتشر شد، مروری بود بر دامنه وسیعی از روندها که از ساختارهای جمعیتی و مذهب گرفته تا اقتصاد و فرهنگ را در بر می‌گرفت. در اینجا دامنه تمرکز را باریک‌تر کرده‌ایم و تنها فن‌آوری را مدنظر قرار داده‌ایم، با این حال کتاب فن‌آوری در سال ۲۰۵۰ هنوز هم دامنه وسیعی از موضوعات را در بر می‌گیرد. چرا که فن‌آوری تقریبا بر همه چیز تاثیر می‌گذارد.

---

1. Daniel Franklin



دانشی قطعی در مورد اینکه فن‌آوری‌ها در سال ۲۰۵۰ چگونه خواهند بود، به وضوح غیرممکن است. درست همان‌طور که سی سال پیش هیچ‌کس نمی‌توانست جهان امروز با حضور شرکت‌های اپل، آمازون، فیس‌بوک و گوگل را تصور کند. با این حال ارائه حدس و گمان‌هایی مبنی بر دانش در مورد آینده جالب است و ذهن‌ها را باز می‌کند. برای این کار، تخصص و دانش دانشمندان، کارآفرینان، دانشگاهیان و نویسندگان داستان‌های علمی تخیلی و همچنین روزنامه‌نگاران مجله اکونومیست در این کتاب گرد آمده است. نتیجه کار یک دامنه غنی از نگرش‌ها در مورد شیوه تکامل فن‌آوری و اثرات آن بر ما طی دهه‌های پیش‌رو است.

### ابزارها و بسترها

کتاب را با مسائل پایه‌ای آغاز می‌کنیم. شش فصل نخست، در بخش اول، به پرسش‌های بنیادین در مورد آینده فن‌آوری و عواملی که آن را به پیش می‌رانند یا محدودش می‌کنند می‌پردازند. کجا باید به دنبال نشانه‌های آنچه پیش‌رو است بگردیم؟ پیشرفت‌های علمی به خصوص فیزیک و زیست‌شناسی چه امکان‌هایی را فراهم خواهند آورد و در چه جاهایی فن‌آوری با مانع مواجه خواهد شد؟ سرمایه‌گذاران چگونه می‌توانند فن‌آوری‌های رو به ظهور را شناسایی کنند و آنها این روزها روی چه بخش‌هایی سرمایه‌گذاری می‌کنند؟ آیا تغییرات پیش‌رو واقعا همان‌قدر سریع و ناگهانی خواهند بود که اغلب تصور می‌شود؟ یا اینکه در مقایسه با انقلاب فن‌آوری قرن گذشته کم‌رمتق به نظر خواهند آمد؟

برخورداری از یک جعبه ابزار برای شروع پیش‌بینی در مورد آینده فن‌آوری می‌تواند مفید باشد. تام استندیج جعبه ابزاری را ارائه داده است (فصل ۱). او اشاره می‌کند که نشانه‌های مربوط به آینده را می‌توان در الگوهای گذشته، در مواردی که حالا در مرز دانش روی می‌دهند و در آینده به تصویر کشیده شده را در داستان‌های علمی

تخیلی یافت. او سپس این ابزارها را برای چهار حوزه امیدبخش به کار می‌گیرد: واقعیت مجازی، خودروهای بدون راننده، سفرهای فضایی خصوصی و اصلاح ژنتیکی. این مثال‌ها نشان می‌دهند که دوره پرحاصلی برای فن‌آوری پیش‌رو است که یادآور انقلاب علمی اواسط قرن هفدهم است.

پیشرفت‌های علمی، تحقق اکسلاندرو را ممکن ساخته‌اند. فرانکویچک در مروری استادانه بر وضعیت فیزیک بنیادین (بسیاری از خوانندگان هنگام مطالعه این فصل آرزو می‌کنند که‌ای کاش این موضوع هنگامی که در مدرسه بودند به خوبی شرح داده شده بود) ادعای قابل توجهی را مطرح می‌کند:

«امروز معادلات دقیق و کاملی در اختیار داریم که برای تشکیل پایه‌های فیزیک هسته‌ای، علم مواد، شیمی و همه اشکال مختلف مهندسی کفایت می‌کنند.»

در نتیجه، محاسبات می‌توانند به طور فزاینده‌ای در پیشرفت فن‌آوری جایگزین آزمون و خطا بشوند و پیشرفت سریع‌تر را ممکن سازند. این پدیده «فرصت‌های بسیاری برای به کار بردن خلاقیت‌هایی که در راستای خدمت به بشر باشند» را فراهم می‌آورد و «چشم‌اندازهای الهام‌بخشی برای دستیابی به سطوح تازه‌ای از ثروت مادی و غنای معنوی» را می‌گشاید. با این حال مخاطرات عمیق و «فجایعی» را هم می‌تواند به همراه داشته باشد که نگران‌کننده‌ترین آنها جنگ هسته‌ای، فروپاشی زیست‌محیطی و نبرد هوش‌های مصنوعی هستند.

اگر فیزیک به کمال رسیده است، زیست‌شناسی در حال فوران هیجان‌جویی است. رابرت کارلسون پیش‌بینی می‌کند که طی دهه‌های منتهی به سال ۲۰۵۰ ما خواهیم آموخت که چگونه همه اجزاء و سیستم‌های اساسی حیات را با یکدیگر بیامیزیم. برای سال‌های پیش‌رو می‌توان انتظار مواردی مانند اتصال ذهن‌هایمان به اینترنت و تعویض اعضای کهنه بدن با اعضای نو را داشت. همه این‌ها پرسش‌هایی اخلاقی را به همراه خواهند داشت. در همین حال همه صنایع (از صنایع

غذایی گرفته تا داروسازی) به‌وسیله مهندسی زیستی متحول خواهند شد چرا که این شاخه از علم به بستری برای «ساخت تقریباً هر چه در طبیعت مشاهده می‌کنیم» و بسیاری موارد دیگر تبدیل خواهد شد.

پشت توان ظرفیت‌های توانمند بیوتکنولوژی، افزایش «ابر نمایی» در بهره‌وری تعیین توالی دی‌ان‌ای قرار دارد. یک دهه پیش مجله اکونومیست این افزایش کارایی را «منحنی کارلسون» نامید که مقایسه‌ای بود با بهبود مشابه در میکروچیپ‌ها که به عنوان «قانون مور» شناخته می‌شود و نیروی پیش‌برنده توسعه فن‌آوری دیجیتال بوده است. اما قانون مور در حال از نفس افتادن است. آیا این بدین معنی است که تقاضای عظیم برای توان پردازش رایانه‌ای که برای انجام بسیاری از امور اعجاب‌آوری که در این کتاب ذکر شده‌اند مورد نیاز است در آینده به مانع محدودیت فیزیکی برخورد خواهد کرد؟ پاسخ کوتاه، بنابر نظر تیم کراس، احتمالاً منفی است. دیگر فن‌آوری‌ها به کمک خواهند شتافت. بدون ضرباهنگ ثابت قانون مور، پیشرفت کمتر ضابطه‌مند و کمتر قابل پیش‌بینی خواهد بود، اما ترکیبی از تراشه‌های سه بعدی، رایانه‌های کوانتومی و انجام بیشتر امور پردازشی در مراکز داده‌ها (که جایی در رایانش ابری پنهان شده‌اند) امکان تداوم انقلاب رایانه‌ای را فراهم خواهند آورد.

بر اساس تجربه دهه‌های اخیر، می‌توان گفت که این روند به صورت یکی از موج‌های فن‌آوری ظهور خواهد کرد. از دهه ۱۹۵۰ تاکنون شش موج فن‌آوری ایجاد شده‌اند و به ساحل رسیده‌اند، از بزرگ رایانه‌ها گرفته تا ماشین‌های هوشمند امروزی و «اینترنت چیزها». در هر موج، مجموعه‌ای شرکت‌ها ظهور می‌کنند اما تنها تعداد اندکی از آنها به سلامت به ساحل می‌رسند. هر موج از موج پیشین قوی‌تر است و نیروی امواج قبلی او را تقویت می‌کنند. سرمایه‌گذاران دره سیلیکون همین حالا نیز بر تازه‌ترین (هفتمین) موج که هنوز در مراحل نخستین شکل‌گیری است سوار شده‌اند؛ موجی که شرکت‌های هوش مصنوعی را در خود دارد. سرمایه‌گذاران جسور در ابتدا سرمایه‌گذاری

بر روی هوش مصنوعی را از حدود سال ۲۰۱۰ آغاز کردند و اکنون میلیاردها دلار به شرکت‌های توسعه دهنده نرم افزارها و اپلیکیشن‌های هوش مصنوعی سرازیر می‌شود. آن وینبلد اشاره می‌کند که «درحالی‌که موج هفتم در حال شکل‌گیری است چرخ‌های سریع و رقابتی از نوآوری نیز ایجاد شده است»، قدرت آن در دهه‌های پیش‌رو حس خواهد شد.

اما اثر هوش مصنوعی و دیگر فن‌آوری‌های تازه چقدر بزرگ خواهد بود؟ اقتصاددانی آمریکایی، رابرت گوردون، در میان آن‌هایی است که معتقدند که انقلاب دیجیتال، هرچند چشمگیر، در مقایسه با نوآوری‌های بزرگ نیمه دوم قرن نوزدهم، توان محدودی برای ایجاد تحول دارد. نیروی برق، خودروها، لوله کشی داخلی و داروهای مدرن به یک قرن رشد سریع بهره‌وری انجامیدند؛ امروز، به رغم گسترش اینترنت، تلفن‌های همراه هوشمند، اپلیکیشن‌ها و بات‌ها، نرخ رشد بهره‌وری و دستمزدها به طور ناامید کننده‌ای کند بوده است. فن‌آوری اگر دستاوردی دارد آن افزایش نابرابری و تشدید درماندگی است. هرچند، همان‌طور که رایان ایونت شرح می‌دهد، شواهدی قوی برای خوشبینی بیشتر نسبت به دهه‌های پیش‌رو وجود دارد. یادگیری شیوه‌های بهره‌گیری کامل از فن‌آوری‌های تازه زمان‌بر است؛ برای الکتریسیته و برق نیز همین‌طور بود (در واقع، الگوی بهره‌وری نیروی کار در عصر فن‌آوری به شدت شبیه الگویی است که در عصر برق‌رسانی مشاهده شد). همچون نمونه‌های قبلی رشدهای اقتصادی ناشی از فن‌آوری، پیشرفت‌های فردا نیز به شکل‌های تازه‌ای ظهور خواهند کرد که اکنون به سختی قابل تصورند. منظور این نیست که همگام شدن با تغییرات سریع پیش‌رو آسان خواهد بود. درست برعکس، بسیار مشکل و مخرب خواهد بود موضوعی که فصل‌های بعدی این کتاب با عمق بیشتری به آن پرداخته‌اند.

## انقلاب‌های صنعتی

اگرچه ابتدا در بخش دوم به تحولاتی می‌نگریم که فن‌آوری برای

چندین صنعت حیاتی به بار خواهد آورد. هیچ کدام از این صنایع به اندازه کشاورزی اهمیت ندارند. چگونه غذای سیاره‌ای با ده میلیارد جمعیت در سال ۲۰۵۰ را تامین خواهد شد؟ جفری کر، در پاسخی آرامش بخش، پیش‌بینی می‌کند که مصرف کنندگان، شیوه‌های مختلف تولید مواد خوراکی که در آینده‌ای نه چندان دور ظهور می‌کنند را خواهند پذیرفت. چنین شیوه‌هایی شامل دست‌کاری ژنتیکی بسیار دقیق گیاهان در راستای مواردی همچون افزایش فوتوسنتز برای رشد سریع‌تر گیاهان و بهبود قابل توجه میزان تولید خواهد بود. مراکز پرورش ماهی در شهرها باعث خواهد شد که اقیانوس به داخل خاک بیاید و ماهی به منبع اصلی پروتئین حیوانی تبدیل شود. مگر اینکه تولید انبوه محصولات حیوانی تولید استیک، شیر و تخم مرغ غیرجانوری در منوها ظاهر خواهند شد که از سلول‌های حیوانی و بدون حضور حیوانات واقعی تولید شده‌اند از میزان تولید گوشت ماهی سبقت بگیرد.

اگر دلیلی برای گرسنه ماندن وجود ندارد اما دلایل بسیاری برای سالم‌تر بودن وجود دارند. خدمات درمانی تا کنون در پذیرش فن‌آوری‌های تازه نسبتاً آهسته بوده‌اند. اما این سرعت پذیرش در حال افزایش است. بسیاری از حوزه‌های فن‌آوری در این میان اثرگذار خواهند بود، مانند هوش مصنوعی، کلان‌داده‌ها و شیوه‌های ارزان تعیین توالی ژنتیکی. خدمات درمانی بسیار متفاوت خواهد بود. اپلیکیشن‌های تازه و ابزارهای پیچیده‌تر از همیشه هوش مصنوعی انجام بسیاری از اموری که پیش‌تر توسط پزشکان انجام می‌شد را بر عهده خواهند گرفت: «درمان‌های هدفمند»، که مولکول‌ها یا سلول‌های ویژه‌ای را هدف قرار می‌دهند بر صنعت داروسازی تسلط خواهند یافت و صنایع زیردستی کاملاً تازه‌ای، برای مثال حول محور داروهای احیاء‌کننده و انباشت داده‌ها، ظهور خواهند کرد. اما آن‌طور که جیانریکو فاروجا شرح می‌دهد، نتیجه همه این‌ها نسبتاً آشنا خواهد بود: در حالی که به بیماران به شکل مشتری نگاه خواهد شد، خدمات درمانی بیشتر به دیگر صنایع شباهت خواهند یافت.

صنایع بخش انرژی باید (به خاطر سیاره زمین هم که شده) در آینده شباهت کمتری با وضعیت امروز داشته باشند و از وابستگی به سوخت‌هایی که به تغییرات آب و هوایی شدت می‌بخشند فاصله بگیرند. آنا شوکت انتظار دارد که طی دهه‌های آینده، گذار از سوخت‌های فسیلی شدت بگیرد و رشد قابل توجهی در منابع تجدیدپذیر انرژی، به خصوص انرژی خورشیدی و بادی که هزینه آنها رو به کاهش است، مشاهده شود. پیشرفت‌های بزرگ به فن‌آوری باتری‌ها نیز کمک خواهد کرد: منابع ذخیره انرژی توزیع شده در شبکه برق‌رسانی، در خانه‌ها و کسب و کارها، گسترش خواهند یافت. جهان همواره نگران کمبود انرژی بوده است. اما با رشد انرژی‌های تجدیدپذیر، و با فن‌آوری‌های «شکست» که دسترسی به ذخایر نفت و گاز بیشتری را فراهم می‌آورد، دورنمای انرژی با فراوانی همراه خواهد بود.

مواد تازه باعث خواهند شد که کارایی انرژی در بخش تولید به شدت افزایش یابد. آن‌طور که پل مارکیلی اشاره می‌کند، شیوه‌ای که خودروی بی‌ام دبلیو آی ۳ بوسیله الیاف کربنی «بافته» می‌شود، تصویری از آینده ارائه می‌دهد: تولید خودروی آی ۳ پنجاه درصد انرژی کمتر و هفتاد درصد آب کمتری را در مقایسه با فرآیندها و مواد سنتی تولید استفاده می‌کند. این در واقع بخشی از انقلاب در مواد است که فراتر از الیاف کربنی امکانات دیگری را نیز در بر می‌گیرد؛ امکاناتی مانند مواد «هوشمند» که قادرند شکل خود را به یاد بیاورند و خودشان را سرهم کنند، و دست‌کاری مواد در سطح مولکولی برای ایجاد تغییرات دلخواه در مواد و برای تغییر در شیوه واکنش مواد نسبت به نور، الکتروسیته، آب و گرما. مواد تازه هوشمند همچنین به گسترش «تولید افزایشی» که به چاپ سه بعدی شهرت یافته خواهد انجامید. در حالی که مواد و فرآیندها به بخش اساسی مزیت رقابتی شرکت‌ها تبدیل شده، بسیاری از تولیدکنندگانی که از اقتصادهای توسعه‌یافته راهی کشورهای دیگر شده‌اند به خانه باز خواهند گشت تا به مشتری‌ها نزدیک‌تر باشند.

مواد جدید همچنین می‌توانند کاربردهای نظامی داشته باشند برای

مثال زره‌پوش‌های سبک‌تر و انعطاف‌پذیرتری را در اختیار سربازان قرار دهند. همچنین فن‌آوری‌های دیگر شامل سلاح لیزری و ربات‌های نظامی در راه خواهند بود. آمریکا هنوز هم در ساخت ادوات نظامی پیشرو است، اما رقبای بالقوه در حال نزدیک‌تر شدن هستند. آن‌طور که بنجامین ساترلند روایت می‌کند، انحصار غرب در جنگ افزارهای دقیق می‌تواند خیلی زود از بین برود. یکی از امیدهای غرب برای حفظ برتری نظامی به خاصیتی فرهنگی مربوط می‌شود: اینکه آزادی اندیشه، سربازان را قادر سازد که از هوشمندی فراهم آمده توسط دستگاه‌های هوشمند، همچون نمایشگرهای واقعیت افزوده، به طور موثرتری بهره ببرند.

گسترش همه‌جانبه چنین فن‌آوری‌هایی، طبق پیش‌بینی لئو میرانی، به تغییر رفتار انسان حتی بیشتر از تغییرات ناشی از گسترش تلفن‌های همراه هوشمند و اینترنت خواهد انجامید. او جهان سال ۲۰۵۰ را جایی توصیف می‌کند که عینک‌های واقعیت مجازی در آن جایگزین تلفن‌های همراه هوشمند شده‌اند و مکالمه با افرادی که به زبان‌های دیگر سخن می‌گویند به طور همزمان ترجمه می‌شود و شما هرگز نام افراد را فراموش نخواهید کرد، چرا که هرچه درباره آنها می‌دانید هنگام صحبت با آنها برایتان ظاهر خواهد شد. او انتظار دارد که فن‌آوری بیشتر از همیشه به بدن‌های ما نزدیک شود و حتی وارد آن شود. در این صورت، نگرانی‌ها در مورد میزان داده‌هایی که درباره ما جمع‌آوری می‌شود و اینکه چه شرکت‌هایی چنین اطلاعاتی را جمع‌آوری خواهند کرد، شدت خواهد گرفت.

### جامعه قریب الوقوع

تاکنون باید مشخص شده باشد که پیامدهای اجتماعی فن‌آوری‌های پیش‌رو بسیار عظیم خواهند بود. تمرکز نویسندگان بخش سوم کتاب بر این موضوع است. این بخش با نگاهی شفاف به هوش مصنوعی آغاز می‌شود؛ حوزه‌ای که در مورد آن افرادی مانند استیون هاوکینگ و

اکنون ماسک هشدارهای تیره و تاری را ترسیم کرده‌اند آغاز می‌شود. آیا ماشین‌های ابرهوشمند می‌توانند به تهدیدی برای موجودیت نژاد بشر تبدیل شوند؟ لوچیانو فلورییدی استدلال می‌کند که مشکل نه ماشین‌ها، بلکه انسان‌هایی خواهند بود که محیط فعالیت را برای ماشین‌ها ایجاد می‌کنند.

به رغم این مشکلات، هنوز قلمروی وسیعی برای پیشرفت وجود دارد. کنث کوکیر شرح می‌دهد در جهانی که داده‌ها نیروی پیش برنده آن هستند، اموری که انجام آنها اکنون سخت است آسان‌تر خواهند شد، چیزهای گران ارزان‌تر و چیزهای کمیاب فراوان‌تر خواهند شد. پزشکان از سامانه‌های مربوط به کلان داده‌ها برای تصمیم‌گیری بهتر بهره می‌برند، آموزگاران از داده‌ها برای طراحی سرعت آموزش مخصوص به هر دانش آموز استفاده می‌کنند، و کلا قادر خواهند بود که شواهد و سوابق مرتبط را با سرعت بیشتر و هزینه کمتر بیابند. این مشاغل و دیگر پیشه‌ها توسط فن‌آوری جارو نخواهند شد ما حتی شاید به پزشکان، آموزگاران و وکلای بیشتری نیاز داشته باشیم و نه کمتر اما آنها باید شیوه انجام امور را تغییر دهند و مهارت‌های تازه‌ای را بیاموزند.

اگر بپذیریم که پویایی دیجیتالی پیش‌رو به معنی تحول در اقتصادهای توسعه یافته است، اما این تنها شیوه‌ای نیست که فن‌آوری می‌تواند به وسیله آن تحولاتی اساسی را به بار بیاورد. گسترش فن‌آوری در کشورهای فقیرتر و رساندن آن به سطح فعلی فن‌آوری در کشورهای ثروتمند، به همین اندازه، اگر نه بیشتر، اهمیت دارد. ملیندا گیتس جهانی را به تصور می‌کشد که در آن هر زن یک تلفن همراه هوشمند دارد که تاثیر آن بر بخش‌هایی از سلامت گرفته تا کشاورزی و بانکداری عظیم خواهد بود. تحقق چنین تصویری تا سال ۲۰۵۰ به طور حتم امکان‌پذیر است.

این یکی از شیوه‌هایی است که نشان می‌دهد که فن‌آوری چگونه می‌تواند از نابرابری بکاهد. آدرین وولدریچ شیوه‌های دیگری را ارائه می‌دهد و شرح می‌دهد که هر چند مسئولیت بخش



بیشتر افزایش نابرابری طی سال‌های اخیر بر عهده فن‌آوری است اما تکنولوژی می‌تواند در آینده به معکوس ساختن این روند کمک کند. برای مثال، می‌تواند در شناسایی و انتخابات جوانان مستعد بدون توجه به پایگاه اجتماعی آنها کمک کرده و به آن‌هایی که از برخی امکانات بی‌بهره‌اند فرصت درخشش بدهد. فن‌آوری، از آموزش گرفته تا سلامت، از مبارزه با فساد گرفته تا افزایش امنیت در محله‌های فقیرنشین، ابزاری قدرتمند را در اختیار سیاست‌گذاران قرار می‌دهد.

مشاهده تحولات پیش رو، نگرانی‌هایی را درباره اثرات آنها بر کار و اشتغال ایجاد می‌کند. آیا ماشین‌ها صنایع را از نیروی انسانی خالی می‌کنند و یا شغل‌های بیشتری ایجاد خواهند کرد؟ و آیا ایجاد مشاغل جدید آن‌قدر سریع خواهد بود که بتواند جلوی ایجاد مشکلات شدید برای آن‌هایی که کارشان را از دست داده‌اند را بگیرد؟ لیندا گرتون به پرسش‌هایی می‌پردازد که کسب و کارها و سیاست‌گذاران باید هنگام مواجهه با آینده نامعلوم کار و اشتغال بپرسند، و نتیجه می‌گیرد که سازمان‌هایی موفق خواهند بود که در درون خود تطبیق‌پذیر باشند، این به معنی خلاقیت در طراحی نردبان شغلی، تخیل در تقویت استعدادها، انعطاف‌پذیری در تربیت و آموزش و رویکردی تازه در همکاری با ماشین‌ها است: «چه دستاوردهایی از همکاری میان نیروی کار انسانی و همکاران رباتیک آنها تحقق خواهند یافت؟»

به یاد می‌آورید که تخیل (به شکل داستان‌های علمی تخیلی) بخشی از جعبه ابزار تام استن‌دیج برای نگرستن به آینده فن‌آوری بود. به همین خاطر بخشی از صفحات این کتاب را به «آینده تصویر شده» اختصاص دادیم و از دو نویسنده داستان‌های علمی تخیلی دعوت کردیم داستان‌هایی را بنویسند که در سال ۲۰۵۰ روی می‌دهند. الستر ری‌نالدز و نانسی کرس به بهترین شکل درخواست ما را اجابت کردند و به فن‌آوری‌های محتمل در آینده و مسائل اخلاقی مرتبط با آنها حیات بخشیدند. داستان‌های آنها به طور جالب توجهی واقعی جلوه می‌کنند.

## بزرگی خطرناک

سه ریسمان در کتاب اَبَر فن آوری حضور دارند که از آغاز تا انتهای آن به شکل جالب توجهی در هم تنیده شده‌اند. نخستین ریسمان، ویژگی‌ای است که در عنوان کتاب «اَبَر فن آوری» نیز مشهود است و حسی از بزرگی را ایجاد می‌کند. پیشرفت‌های احتمالی ترسیم شده برای فن آوری در سال ۲۰۵۰، عظیم هستند. به سختی می‌توان نسبت به این پیشرفت‌های غیرعادی که در دسترس خواهند بود هیجان زده نشد. این دورنمای جذاب جهانی است که در آن خدمات سریع‌تر، ارزان‌تر و بهتر ارائه می‌شوند؛ جایی که گستردگی دسترسی به خدمات از نابرابری می‌کاهد؛ جایی که غذا به وفور یافت می‌شود، انرژی پاکیزه‌تر و حمل و نقل ایمن‌تر است؛ جایی که افراد سالم‌تر هستند و فرصت‌های بیشتری پیش روی آنها قرار دارد.

با این حال، همان‌طور که الیور مورتون در یادداشت تفکربرانگیزش در فصل نهایی اشاره می‌کند، بسیاری از این روندها ممکن است مسیر اشتباهی را طی کنند و مشکلاتی جدی را پدید آورند. پیامدهای ناخواسته، اختلالات خطرناک و سوءاستفاده از فن آوری در راه خواهند بود. آگاهی نسبت به خطرات پیش‌رو دومین ریسمانی است که فصل‌های کتاب را به هم پیوند داده است: «اَبَر فن آوری» می‌تواند به «ضرر فن آوری» تبدیل شود. فرانکو یلچک نسبت به ناکامی‌های احتمالی هشدار می‌دهد، دیگران نیز اخطار می‌دهد که سیاست‌گذاران برای همگام شدن با مسائلی که پیشرفت فن آوری به همراه خواهد آورد کار سختی در پیش خواهند داشت، صنایع مختلف یکی پس از دیگری زیر و رو خواهند شد با همه پیامدهایی که این زیر و رو شدن برای مشاغل و زندگی آن‌هایی که در این صنایع مشغول به کارند به همراه خواهند داشت.

لوچیانو فلورییدی سرعت تغییرات را این‌گونه به زیبایی به تصویر می‌کشد:

**«هزار سال طول کشید تا تاثیر انقلاب کشاورزی به طور کامل**

بر جامعه پدیدار شود، برای انقلاب صنعتی این زمان چند قرن بود اما برای انقلاب دیجیتال تنها چند دهه زمان برد. پس جای تعجبی نیست که گنج شده ایم و تعادل مان به هم خورده است.»

آکسلاندرو همان قدر که هیجان انگیز است، دشوار هم هست. ریسمان سومی هم وجود دارد که در طول کتاب با ایده بزرگی و خطرات در هم تنیده است: این باور که آنچه پیش رو است اجتناب ناپذیر است. اثر فن آوری تنها تا حدی تحت تاثیر نوآوری های دانشمندان، شیفتگان فن آوری و کارآفرینان قرار داد. جهان فن آوری تا سال ۲۰۵۰ همچنین توسط تصمیمات دولت ها، استراتژی های شرکت ها و انتخاب های افراد شکل خواهد گرفت. به حد اعلاء رساندن ابر فن آوری به همه ما بستگی دارد.

# فصل اول

## جعبه ابزاری برای پیش بینی

تام استندیج<sup>۱</sup>

برای مشاهده آنچه در جهان فن آوری در پیش روی ما قرار دارد، می توان به سه جا نگریست: گذشته، حال و آینده ترسیم شده در داستان های علمی تخیلی.

---

1. Tom Standage

فن‌آوری تازه مخابراتی در تماس‌های راه دور انقلابی پدید آورده و آن‌ها را ارزان‌تر و ساده‌تر از گذشته کرده است. کسب‌وکارها با اشتیاق فراوان از این فن‌آوری بهره می‌برند و معاملات واسطه‌ای رونق گرفته‌اند. البته این فن‌آوری تازه توسط حامیانش به طور بی‌وقفه مورد ستایش قرار می‌گیرد و مخالفانش هم بر آن می‌تازند. فن‌آوری تازه امکان مدل‌های تجاری تازه و البته شیوه‌های جدیدی از جرم را مهیا می‌سازد. دولت‌ها برای جلوگیری از تبادل اطلاعات مخفی و رمزگذاری شده به تکاپو افتاده‌اند و به دنبال دسترسی به همه پیام‌ها هستند. مردم به صورت آنلاین دوست‌های تازه می‌یابند و عاشق می‌شوند. برخی اعتقاد دارند که این تکنولوژی تازه با از بین بردن مرزهای سیاسی به واسطه گسترش ارتباطات، بشر را متحد ساخته و به صلح جهانی منتهی می‌شود. این‌ها به داستان ظهور اینترنت در دهه ۱۹۹۰ شباهت دارند اما در واقع آنچه گفته شد به ظهور تلگراف الکتریکی در اواسط قرن نوزدهم مربوط می‌شود، پدیده‌ای که به «بزرگراه بزرگ اندیشه» شناخته می‌شد.

شباهت‌های قابل توجه میان این دو فن‌آوری (اینترنت و تلگراف) که یکی مدرن و دیگری با قدمت ۱۵۰ سال است سرگرم کننده‌اند و می‌توانند مفید هم باشند. مطالعه تاریخ یکی از سه ابزاری است که می‌تواند برای پیش‌بینی آینده فن‌آوری به کار گرفته شود و یا حداقل باعث شود که حدس و گمان‌های دقیق‌تری در مورد آینده ارائه شوند.

## درس‌های تاریخ

شباهت‌های تاریخی این‌چنینی میان سال‌ها، دهه‌ها و حتی قرن‌ها باعث می‌شوند که بتوان اثرات اجتماعی و فرهنگی نوآوری‌های تازه را پیش‌بینی کرد و با مرور خوش‌بینی‌ها و بدبینی‌ها نسبت به آن‌ها می‌توان نشانه‌هایی از نحوه تکامل یک تکنولوژی را به دست آورد. همچنین بررسی این شباهت‌های تاریخی به ما گوشزد می‌کند که مشکلاتی که به تکنولوژی‌های تازه نسبت داده می‌شوند، اغلب نتیجه ذات بشر هستند. برای مثال نمونه‌هایی از آنچه ما امروز «جرایم سایبری» می‌نامیم را

می‌توان در شبکه‌های تلگراف مکانیکی مربوط به عصر ناپلئون یافت. «این حقیقتی آشکار است که هیچ بخشی از جامعه به اندازه طبقه‌ای که به فعالیت‌های مجرمانه مشغول هستند، از آخرین پیشرفت‌های علمی با آغوش باز استقبال نکرده‌اند.» این عبارت که توسط یکی از مقام‌های انتظامی نگاشته شده را می‌توان امروز هم شنید. اما در واقع به گفته‌های یکی از ماموران پلیس شهر شیکاگو در سال ۱۸۸۸ مربوط می‌شود.

به طور حتم چنین شباهت‌هایی هرگز به طور کامل مطابقت ندارند و تاریخ هرگز خود را به شیوه‌ای کاملاً یکسان تکرار نمی‌کند. اما شباهت‌ها برای اینکه آموزنده باشند نیازی به تطابق کامل ندارند. با نگاهی دقیق‌تر به بازه‌های زمانی کوتاه و بلند می‌توان الگوهای تکراری بسیاری را در تاریخ فن‌آوری یافت.

نوآوری‌های تازه اغلب نگرانی‌هایی را در مورد از بین رفتن حریم شخصی ایجاد می‌کند؛ نخستین دوربین عکاسی کوداک در دهه ۱۸۸۰ وحشتی عمومی را در مورد عکاسی مخفیانه در محیط‌های عمومی ایجاد کرد، درست همان نگرانی‌ای که عینک گوگل در سال ۲۰۱۳ به همراه داشت. رمان‌ها در دهه ۱۷۹۰، تصاویر متحرک در ۱۹۱۰، کتاب‌های کمیک (تصویری) در دهه ۱۹۵۰ و بازی‌های ویدئویی در دهه ۱۹۹۰ همگی متهم شدند که ارزش‌های اخلاقی جوانان را تباه می‌سازند. عمر ترس از بیکار شدن انسان‌ها توسط ماشین‌ها به چند قرن می‌رسد. از جنبش لادیسم<sup>۱</sup> در قرن نوزدهم گرفته تا بشارت دهندگان بیکاری گسترده ناشی از ربات‌ها. به طور مشابه نگرانی‌های مربوط به اینکه فن‌آوری‌های تازه، از سلاح هسته‌ای گرفته تا اصلاحات ژنتیکی و هوش مصنوعی، قدرتی بیش از حد به بشر داده‌اند همگی نسخه‌هایی مدرن از افسانه پرومته<sup>۲</sup> و این پرسش هستند که آیا بشر برای دریافت هدیه «آتش» قابل اطمینان است یا خیر. جدا از اینکه چنین نگرانی‌هایی به جا هستند یا خیر، شناخت واکنش‌ها نسبت به تکنولوژی‌های گذشته می‌تواند در مورد اینکه محصولات تازه با چه

۱. جنبشی که توسط کارگران نساجی در بریتانیا و برای مقابله با به کارگیری ماشین آلات تازه در این صنعت ایجاد شد.

۲. خدای آتش در اساطیر یونان

واکنشی همراه خواهند شد، سرنخ‌هایی ارزشمند را در اختیار آینده‌پژوهان، کارآفرینان و مخترعان قرار دهد.

### فردا، امروز دیگری است

همچون گذشته، جای دیگری که برای نگاهی اجمالی به آینده باید به آن نگریم، زمان حال است. همان‌طور که ویلیام گیسون<sup>۳</sup>، نویسنده داستان‌های علمی تخیلی، گفته است: «آینده همین حالا اینجا است، فقط به طور یکنواخت توزیع نشده است.» تکنولوژی‌ها به طور غافلگیرکننده‌ای دوران بارداری طولانی‌ای دارند. هرچند که به نظر می‌رسد یک شبه پدیدار می‌شوند، اما چنین نیست. در نتیجه، اگر شما به نقاط درست بنگرید قادر خواهید بود که تکنولوژی‌های فردا را همین امروز مشاهده کنید. این رویکرد توسط روزنامه‌نگاران و انسان‌شناسان فعال در بازار کسب و کار که می‌خواهند از روندهای تازه مطلع شوند به کار گرفته می‌شود. چنین رویکردی جستجو برای «موارد لبه‌ای» را در بر می‌گیرد: مواردی که در آن تکنولوژی‌ها و رفتارها پیش از آنکه به‌طور گسترده مورد اقبال قرار گیرند، توسط گروه‌های خاصی یا در کشورهای خاصی به کار گرفته می‌شوند. مثال کلاسیکی از یک مورد لبه‌ای به ژاپن و گوشی‌های هوشمند در آغاز قرن حاضر مربوط می‌شود.

در سال ۲۰۰۱، گوشی‌های تلفن همراه که دوربین و صفحه نمایشگر رنگی داشتند در ژاپن رواج داشتند. این گوشی‌ها می‌توانستند نقشه و مسیر پیاده‌روی تا مقصد را نشان دهند و کاربران آن‌ها قادر بودند که کتاب‌های الکترونیکی، بازی و اپلیکیشن‌های دیگر را دانلود کنند. روزنامه‌نگاران و تحلیل‌گران راهی ژاپن شدند تا نحوه کارکرد این تلفن‌ها را از نزدیک ببینند و هر زمان که بازدیدکنندگان ژاپنی در کنفرانس‌های فن‌آوری در آمریکا و اروپا همراه با گوشی‌هایشان به این سو و آن سو می‌رفتند، با آن‌ها همچون افرادی برخورد می‌شد که گویی از آینده به عقب بازگشته‌اند. ژاپن زودتر به آینده قدم نهاد، چرا که ساختار نسبتاً جداافتاده و قوانین

3. William Gibson

مربوط به حق مالکیت صنایع مخابراتی این کشور و همچنین بازار داخلی به اندازه کافی بزرگ به شرکت‌های فن‌آوری اجازه می‌داد که ایده‌های جدید را بیازمایند، آن هم بدون اینکه نگران تطبیق‌پذیری آن با سیستم‌های دیگر کشورها باشند. ظهور تلفن‌های هوشمند جدید در ژاپن به چندین سال پیش از زمانی باز می‌گشت که مصرف‌کنندگان در اروپا بتوانند گوشی‌های تلفن همراهی با امکانات مشابه را تهیه کنند. برای مدتی، مجله وایرد<sup>۴</sup> ستون ثابتی داشت با عنوان «دیدبان دختر مدرسه‌ای ژاپنی» که در آن بر اساس عملکرد امروز دانش‌آموزان دختر ژاپنی (مشتاق‌ترین گروه کاربران گوشی‌های هوشمند اولیه) پیش‌بینی می‌شد که بقیه ما در آینده مشغول به چه کاری خواهیم بود.

موارد لبه‌ای می‌توانند در غیرمنتظره‌ترین مکان‌ها ظهور کنند. برای مثال نقل و انتقال پول از طریق تلفن همراه که اجازه می‌دهد پول از یک تلفن همراه و از طریق پیامک به تلفن دیگری ارسال شود برای مدت‌ها در کنیا از دیگر کشورهای جهان جلوتر بود. برای سال‌ها شما می‌توانستید پول تاکسی را در نایروبی (پایتخت کنیا) با تلفن همراه بردازید، اما در نیویورک چنین امکانی فراهم نبود. نقل و انتقال پول از طریق تلفن همراه تا حدی به این خاطر در کنیا رشد کرد که زیرساخت‌های بانکی در این کشور مهیا نبود؛ جایی که بیشتر مردم حساب بانکی ندارند، رقابت ناچیزی میان شیوه‌های موجود پرداخت وجود دارد. عوامل سیاسی نیز در این مورد نقش‌آفرین بودند: استفاده از نقل و انتقال پول به وسیله تلفن همراه در دوران خشونت‌های پس از انتخابات طی سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ رواج یافت، یعنی زمانی که چنین پرداخت‌هایی جایگزین ایمن‌تری برای حضور در بانک‌هایی بود که منازعات قومی در آن روی می‌داد.

برخی اوقات نیز گروهی از افراد که علایق یکسانی دارند، به جای افرادی که ساکن یک منطقه هستند، پیشران استفاده از یک فن‌آوری تازه محسوب می‌شوند. واضح‌ترین مثال این پدیده، انجمن‌های تکنولوژی هستند: خوره‌های تکنولوژی نخستین پذیرنده‌های نوآوری‌های تازه، از



ایمیل گرفته تو او بر<sup>۵</sup> (شرکت ارائه دهنده تاکسی اینترنتی)، محسوب می‌شوند. اما آن‌ها همچنین می‌توانند در استفاده از دامنه گسترده‌تری از روندها پیشرو باشند. شیفتگان تکنولوژی پیشروان استفاده از وسایل مربوط به سنجش و ثبت میزان فعالیت بدن بودند. برای مثال، جنبش «کمی کردن خود» (جنبشی که در آن فعالیت‌های روزانه فرد به صورت مجموعه‌ای از داده‌های کمی در می‌آید) که شامل نظارت و سواس‌گونه سلامتی و فعالیت جسمانی است، ابتدا در میان شیفتگان تکنولوژی به راه افتاد و بعد از آن در میان طیف وسیع‌تری از جامعه رواج یافت.

کریس دیکسن<sup>۶</sup>، سرمایه‌گذاری که در شرکت اندریسن هاروویتز<sup>۷</sup> کار می‌کند، می‌گوید اغلب به وبسایت ردیت<sup>۸</sup>، جایی که کاربران به صورت آنلاین بحث می‌کنند و به موضوعات مختلف امتیاز می‌دهند، مراجعه می‌کند تا دریابد که یک تکنولوژی یا سبک تازه در بازار با استقبال مواجه خواهد شد یا خیر. برای مثال اکنون بسیاری از شیفتگان تکنولوژی به فن‌آوری‌های غذایی تازه علاقه‌مند شده‌اند؛ از غذاهایی که همه مواد مغذی در آن‌ها قرار داده شده و نیازی به پخت و پز ندارند و تنها باید آن‌ها را با آب مخلوط کرد گرفته تا شیرینی‌هایی که کافئین دارند و جایگزینی خوراکی برای قهوه محسوب می‌شوند. هرچند برای قضاوت در مورد اینکه آیا این محصولات خورراکی تازه با استقبال گسترده‌ای مواجه خواهند شد یا خیر بسیار زود است.

در واقع همان‌طور که شباهت‌های تاریخی خالی از ایراد نیستند، نگریستن به موارد لبه‌ای هم می‌تواند با اشکال همراه باشد. برخی از تکنولوژی‌ها هرگز به مرحله رشد قابل ملاحظه نرسید و یا اینکه در مسیری متفاوت و غیرقابل انتظار رشد کردند. برای مثال در غرب تلفن‌های همراه هوشمند ابتدا مسیر نمونه‌های ژاپنی را در پیش گرفتند، اما سپس با ظهور آی‌فون و دیگر ابزارهای دارای صفحه نمایشگر لمسی، در مسیر کاملاً متفاوتی

5. Uber

6. Chris Dixon

7. Andreessen Horowitz

8. Reddit

قرار گرفتند. اما بی‌تردید همه فن‌آوری‌هایی که روزی فراگیر شدند، ابتدا دوره‌ای زیرزمینی را طی کردند که در آن توسط عده معدودی به کار گرفته شدند و نمی‌توان گفت که فن‌آوری‌های تازه به ناگهان و از ناگجا ظاهر شدند. تشخیص روندها فرآیند سختی است و یافتن این موارد لبه‌ای و تشخیص فن‌آوری‌ها، رفتارها و سبک‌های نوظهور بیشتر ریشه در هنر دارد تا علم. اما این فعالیت متداول تعداد بی‌شماری از مشاوران، تحلیل‌گران، آینده‌پژوهان و روزنامه‌نگاران حوزه فن‌آوری، محسوب می‌شود که همواره به دنبال ایده‌ها و روندهای تازه هستند تا در مورد آن‌ها بنویسند.

### چشم‌انداز

سومین جایی که برای به‌دست آوردن تصویری اجمالی از آینده می‌توان به آن نگریست، آینده تصویر شده در داستان‌های علمی تخیلی است که چه به صورت کتاب یا به صورت سریال تلویزیونی یا فیلم سینمایی عرضه شده باشند. داستان‌های علمی تخیلی ایده‌های جذاب را می‌گیرند و آن‌ها را به صورتی عقلانی به تصویر می‌کشند. اگر بتوانیم ربات‌ها همه‌کاره یا آسانسورهای فضایی بسازیم چه می‌شود؟ اگر نانو تکنولوژی یا بیوتکنولوژی از کنترل ما خارج شوند یا اصلاح ژنتیکی به اندازه خالکوبی رواج یابد چه خواهد شد؟ این روایت‌های مربوط به آینده چشم‌اندازهایی را در مورد جهانی ارائه می‌دهند که هوش مصنوعی در آن فراگیر شده، داروهای ضد کهولت سن به افزایش طول عمر بشر انجامید، مریخ یا نقاط دیگر در منظومه شمسی به سکونت بشر درآمده‌اند و یا اینکه نژاد بشر به موجوداتی فرابشری تبدیل شده‌اند. نگریستن به داستان‌های علمی تخیلی می‌تواند راهکار مناسبی برای ترسیم آینده بلندمدت باشد. این در واقع همان شیوه‌ای که ماسک<sup>۹</sup>، یکی از برترین کارآفرینان در زمینه تکنولوژی، آن را ترسیم مسیرها و انشعابات می‌نامد که ممکن است در آینده محقق شوند. البته داستان‌های علمی تخیلی صرفاً جنبه پیشگویی ندارند و می‌توانند برای فعالان حوزه فن‌آوری الهام‌بخش نیز باشند. اگر به هر یک از

9. Elon Musk

خوره‌های تکنولوژی به دقت بنگرید، با یکی از هواداران داستان‌های علمی تخیلی مواجه می‌شوید. برای مثال به نظر می‌رسد که طراحی تلفن‌های همراهی که درب آن‌ها باز می‌شد و در دهه ۱۹۹۰ رواج داشتند، به‌طور مستقیم از وسایل ارتباطی نشان داده شده در فیلم پیشتازان فضا<sup>۱۰</sup> در دهه ۱۹۶۰ الهام گرفته شده‌اند. نمونه تازه‌تر ایده امکان برقراری مکالمه با رایانه‌ها است که باز هم در فیلم پیشتازان فضا به نمایش درآمده و الهام‌بخش موج تازه‌ای از دستگاه‌های رایانه‌ای مانند آمازون اکو<sup>۱۱</sup> بوده که از صحبت به عنوان عامل ارتباطی اصلی بهره می‌برند و امکان پاسخگویی دائمی بدون نیاز به استفاده از دست را فراهم می‌آورند. چندین نسل از دانشمندان علوم رایانه‌ای با داستان‌های مربوط به ربات‌های آیزاک آسیموف<sup>۱۲</sup> بزرگ شده‌اند؛ امروز بسیاری از کارآفرینان، از جمله آقای ماسک، به مجموعه داستان‌های «فرهنگ»<sup>۱۳</sup> نوشته این بنکس<sup>۱۴</sup> به عنوان منبع الهام اشاره می‌کنند. در این کتاب‌ها همانند پیشتازان فضا، تمدنی به تصویر کشیده شده که کمبود منابع را پشت سر گذاشته و در آن بشر و هوش مصنوعی در کنار یکدیگر زندگی و کار می‌کنند.

هرچند داستان‌های علمی تخیلی در بیشتر موارد ظاهراً به آینده می‌پردازند اما در حقیقت درباره زمان حال هستند و واکنشی به ایده‌ها و نگرانی‌های معاصر، مانند وابستگی بیش از حد به ماشین‌ها و نگرانی در مورد تخریب محیط زیست، محسوب می‌شوند. مطالعه دامنه گوناگونی از داستان‌های علمی تخیلی هرچند به انعطاف‌پذیری بیشتر شما برای تجسم سناریوهای مربوط به آینده، هم از منظر فن‌آوری و هم از منظر اجتماعی، می‌انجامد؛ اما همچنین می‌تواند به طور ناخواسته ذهن شما را محدود کند، آن هم از طریق شکل دادن به تصور شما از مسیری که پیشرفت‌های فن‌آوری در آن قرار دارند. برای مثال ربات‌ها در جهان واقعی با آنچه در داستان‌های علمی تخیلی تصویر می‌شوند، تفاوت بسیاری دارند

---

10. Star Trek  
 11. Amazon Echo  
 12. Isaac Asimov  
 13. Culture  
 14. Iain Banks

و تلاش برای گرده‌برداری از ربات‌های چنین داستان‌هایی می‌تواند علم رباتیک را در مسیر نادرستی قرار دهد. در نتیجه خواندن داستان‌های علمی تخیلی اواسط قرن بیستم نیز می‌تواند ارزشمند باشد. چرا که با مطالعه آن‌ها می‌توان دریافت که چه پیش‌بینی‌هایی اشتباه از کار درآمده‌اند و دلیل آن چه بوده است. سپس می‌توان به مفروضات اشتباهی که در داستان‌های علمی تخیلی امروز به چشم می‌خورند پی برد.

### بهره گرفتن از ابزارهای پیش‌بینی

اکنون سه ابزار داریم - نگرستن به گذشته، زمان حال و آینده ترسیم‌شده - که بر اساس آن‌ها می‌توانیم تصویری از آینده به‌دست آوریم. اکنون این ابزارها را در مورد چهار مثال به کار می‌گیریم. هر کدام از این مثال‌ها در زمان نگارش این متن، فن‌آوری‌ای در حال ظهور هستند که هنوز تثبیت نشده‌اند. روندهای فعلی، تاریخ و تصویر تخیلی از آینده تا چه حد می‌توانند مسیر پیش روی این تکنولوژی‌ها را روشن سازند؟ (برخی از این فن‌آوری‌ها در فصل‌های آینده به تفصیل مورد بررسی قرار خواهند گرفت اما هدف از بررسی آن‌ها در اینجا نشان دادن شیوه کارکرد ابزارهای پیش‌بینی معرفی شده است).

### واقعیت مجازی

واقعیت مجازی پس از شکست در دهه ۱۹۹۰ به این خاطر که هنوز کاملاً آماده نبود، بار دیگر در سال ۲۰۱۶ بازگشته است. شرکت‌های بسیاری هدست‌های<sup>۱۵</sup> پیشرفته‌ای را عرضه کرده‌اند که همراه با رایانه‌های خانگی یا کنسول‌های بازی قادر هستند این ابزار پوشیدنی را به واقعیتی همه‌جانبه و سه‌بعدی تبدیل کنند. در همین حال، نسخه ارزان‌تری از این فن‌آوری نیز ظهور کرده که از قرار دادن تلفن همراه در هدست حاصل می‌شود. اکنون چه روی خواهد داد؟ روندهای فعلی نشان می‌دهند که سلیقه مصرف‌کنندگان کاملاً به سوی تلفن‌های همراه هوشمند، و نه رایانه‌های

خانگی، تمایل دارد و تلفن‌های همراه در حال تبدیل شدن به مهم‌ترین ابزار هستند. در نتیجه به نظر می‌رسد که واقعیت مجازی مبتنی بر رایانه‌های خانگی یا کنسول‌های بازی در واقع گامی گذرا هستند و آینده واقعیت مجازی در مديوم تلفن‌های همراه بود. (برخی افراد حاضر خواهند بود که برای واقعیت مجازی با کیفیت بهتر، پول بیشتری بپردازند، همان‌طور که امروز برای سیستم صوتی بهتر چنین کاری می‌کنند، اما بیشتر افراد چنین تمایلی نخواهند داشت.) امروز هدست‌هایی که با تلفن همراه ترکیب می‌شوند بسیار زمخت هستند، مانند نسخه‌های اولیه تلفن، اما طی چندین سال این هدست‌ها ابزارهای به مراتب کوچک‌تری خواهند بود که افراد همانند عینک آفتابی و هدفون دائمی با خود حمل می‌کنند. در نتیجه شما قادر خواهید بود که برای مثال با استفاده از هدست واقعیت مجازی فیلم ببینید، بازی کنید و یا در جلسه‌ای مجازی شرکت کنید در حالی که در واقع سوار قطار هستید.

همچنین اجماعی گسترده در میان خوره‌های تکنولوژی و نویسندگان داستان‌های علمی تخیلی وجود دارد مبنی بر اینکه واقعیت افزوده، که واقعیت مجازی را با جهان واقعی ترکیب می‌کند، احتمالاً گامی بزرگ، پس از صفحه نمایشگر لمسی، در شیوه تعامل میان انسان و رایانه باشد. جهانی که در آن واقعیت با تصویری مجازی تزئین شده است (معمولاً از طریق یک لنز چشمی هوشمند یا ابزاری که در مغز کاشته شده) بخش متداولی از داستان‌های علمی تخیلی است. اما با نگاه به تاریخ می‌توان تقریباً با اطمینان گفت که واقعیت مجازی و واقعیت افزوده، وحشتی اخلاقی را در مورد اثرات این فن‌آوری‌ها بر کودکان ایجاد خواهند کرد، همان‌طور که پیشتر فیلم و بازی‌های ویدئویی چنین کاری کرده بودند. حامیان این فن‌آوری می‌توانند پیشاپیش خود را برای چنین انتقاداتی مهیا کنند؛ آن هم با بررسی شیوه‌های برطرف کردن این نگرانی‌ها و با تاکید بر اینکه علاوه بر اثرات مربوط به سرگرمی، ارتباط و همکاری، چنین فن‌آوری‌هایی استفاده‌های آموزشی و درمانی نیز خواهند داشت.

## وسایل نقلیه خودران

خودروهایی که - حداقل برخی از مواقع - خودشان را هدایت می‌کنند در حال ورود به جاده‌ها هستند. در مورد وسایل نقلیه خودران دو رویکرد رقیب وجود دارند: یک رویکرد افزوده امکان خودرانی به عنوان کمکی برای راننده انسانی به وسایل نقلیه موجود است و رویکرد دیگر ساخت خودروهایی کاملاً تازه است که تنها می‌توانند به صورت خودکار فعالیت کنند (مانند وسایل نقلیه‌ای خودران که به صورت تاکسی در مراکز شهر فعالیت کنند و با کمک اپلیکیشن‌ها می‌توان آن‌ها را سفارش داد). کامیون‌های خودران نیز در حال توسعه هستند.

مشابهت‌های تاریخی بسیاری میان ظهور خودروهایی موتوری بیش از یک قرن پیش و وسایل نقلیه خودران وجود دارد: نگرانی‌ها در مورد ایمنی، بی‌اطمینانی در مورد ملزومات حقوقی و قانونی، مسئولیت‌پذیری مربوط به تصادفات و نگرانی‌ها در مورد تاثیر مخرب فن‌آوری جدید بر اشتغال. خودروی موتوری زیرساخت‌های موجود مربوط به حمل و نقل و مشاغل مربوط به آن که بر اساس اسب و کالسکه شکل گرفته بودند را کنار زد؛ اما مشاغل تازه‌ای را برای مکانیک‌ها، راننده‌ها و کارگران بخش‌های خدماتی بین‌راهی مانند رستوران‌ها و مسافرخانه‌ها ایجاد و از طریق تسهیل حمل و نقل به بهبود تجارت کمک کرد. روی آوردن به خودروهایی بدون راننده، همان‌طور که راننده‌های تاکسی‌ها و کامیون‌ها نگرانند، می‌تواند تاثیر مشابهی در انتقال مشاغل به بخش‌های دیگر داشته باشد، اما در بلندمدت مزایایی نیز به همراه خواهد داشت.

مدل‌ها نشان می‌دهند که تاکسی‌های خودران که به طور مشترک استفاده می‌شوند می‌توانند تعداد وسایل نقلیه مورد نیاز در یک شهر معمولی را تا ۹۰ درصد کاهش دهند. بیشتر مردم دیگر نیازی به مالکیت خودرو نخواهند داشت و فضایی که به پارکینگ اختصاص داده می‌شود (در برخی از شهرهای آمریکا میزان آن به ۲۰ درصد مساحت شهر می‌رسد) می‌توانند به بخش مسکن یا پارک‌ها اختصاص یابد؛ همچنین خودروهایی خودران می‌توانند برقی باشند که در نتیجه انتشار گازهای مخرب برای

محیط‌زیست نیز کاهش می‌یابد. همچنین تحویل بسته‌ها و بارها به‌وسیله وسایل نقلیه خودکار می‌تواند هزینه‌های حمل و نقل را کاهش داده و تقاضا برای محصولات (مانند مواد خوراکی) که توسط تولیدکنندگان محلی تولید شده‌اند را به شدت افزایش دهد. در کشورهای در حال توسعه، میلیاردها نفر ممکن است قید مالکیت خودرو را بزنند. تصادفات و مرگ میر ناشی از آن‌ها ممکن است به شدت کاهش یابد. هم بر اساس تاریخ و هم بر اساس روندهای فعلی می‌توان گفت همان‌طور که ظهور خودرو به بازتعریف شهرها در قرن بیستم منجر شد، خودروهای خودران و بدون راننده نیز تاثیر مشابهی بر قرن بیست‌ویکم داشته باشند.

داستان‌های علمی تخیلی عمدتاً در پیش‌بینی این روند به خطا رفته‌اند. به خاطر جذابیت‌های داستانی هم که شده، وسایل نقلیه زمانی هیجان‌انگیزتر هستند که توسط انسان رانده شوند، اما به نظر می‌رسد که در آینده چنین پدیده‌ای بیشتر یک استثنا باشد تا قاعده.

### فضانوردی خصوصی

طی سال‌های اخیر بیشترین پیشرفت‌ها در تکنولوژی فضایی نه توسط ادارات دولتی بلکه توسط شرکت‌های خصوصی، به خصوص اسپیس‌اکس<sup>۱۶</sup>، شرکتی که توسط «الان ماسک» بنیان نهاده شده، صورت گرفته است. پیشقراول این پیشرفت‌ها، فن‌آوری استفاده چندباره از سفینه‌ها مانند موشک فالکون ۹<sup>۱۷</sup> بوده که توانست با موفقیت در باندهای زمینی یا باندهای متحرک دریایی فرود بیاید. چنین پیشرفتی به این خاطر اهمیت دارد که هزینه ساخت سفینه فضایی حدود ۷۰ درصد هزینه سفر فضایی را شامل می‌شود و سفینه‌ها معمولاً در دریا رها می‌شوند. در نتیجه بازیابی و استفاده مجدد از این موشک‌ها می‌تواند به میزان قابل توجهی از هزینه پرتاب موشک و در نتیجه دسترسی به فضا بکاهد. (بلو اوريجین<sup>۱۸</sup>، شرکتی

16. SpaceX

17. Falcon 9

18. Blue Origin

رقیب که توسط جف بزوس<sup>۱۹</sup>، رییس آمازون<sup>۲۰</sup>، ایجاد شده هم به دنبال پرتاب و استفاده مجدد از موشک‌های زیرمداری است). موشک‌های شرکت اسپیس‌اکس اکنون برای فرستادن ماهواره به مدار و ارسال محموله به ایستگاه فضایی مورد استفاده قرار می‌گیرند اما آقای ماسک هرگز هدف بلندمدتش را پنهان نکرده است: اینکه در سیاره مریخ که مستعمره ایجاد کند تا بشر راه فراری در مقابل فاجعه‌ای داشته باشد که بتواند بشر را از روی زمین محو کند.

مجموعه قابل توجهی از داستان‌های علمی‌تخیلی را می‌توان در مورد سکونت در دیگر بخش‌های منظومه شمسی یافت که در آن‌ها پیچیدگی‌های کوچ بشر به مریخ و تنش‌های سیاسی داخل این مستعمره و میان مستعمره و زمین به طور دقیق شرح داده شده‌اند. بحث در مورد اینکه چه نظام سیاسی و حقوقی‌ای باید در مریخ یا دیگر مستعمرات فضایی اعمال شود، همین حالا نیز آغاز شده است. اما تاریخ هم می‌تواند در این مورد کمک حال باشد.

شباهت آشکاری میان مهاجرت به دیگر سیارات و تاسیس مستعمرات آمریکایی توسط مهاجران بریتانیایی و نبرد آن‌ها برای استقلال وجود دارد. موارد مشابه دیگر نیز ارزش بررسی دارند: برای مثال طی دوران اکتشاف قطب شمال و قطب جنوب، هیات‌های اعزامی خصوصی در مقایسه با هیات‌هایی که توسط دولت‌ها حمایت مالی می‌شدند موفق‌تر بودند و نرخ بقا در میان آن‌ها بالاتر بوده است. تاریخ دوران هجوم برای اکتشاف طلا در آمریکا نیز می‌تواند در مورد کشف و استخراج معادن در فضا مفید باشد. اما شاید قابل توجه‌ترین شباهت به توسعه صنعت هوانوردی مربوط شود.

اوایل قرن بیستم پرواز اجسام سنگین‌تر از هوا در میان موارد غیرممکن جای می‌گرفت و حتی در صورت امکان نیز بیش از حد خطرناک به نظر می‌رسید. سپس، در اواسط دهه ۱۹۳۰، این نوع پروازها که در ابتدا تنها

---

19. Jeff Bezos

20. Amazon



برای ثروتمندان امکان‌پذیر بود کم‌کم به شکل یک صنعت درآمد. در انتهای قرن، سفرهای هوایی دیگر گران نبود و عادی جلوه می‌کرد. با در نظر گرفتن میزان پیشرفت سفرهای فضایی، غیرمنطقی نیست اگر تصور کنیم که صنعت فضاوردی طی قرن بیست‌ویکم مسیر مشابهی را بپیماید و از امری دیوانه‌وار به امری متداول تبدیل شود. نسل‌های آینده ممکن است به دو دهه نخست قرن حاضر به عنوان دورانی بنگرند که سفرهای فضایی واقعا در مسیر صحیح قرار گرفتند آن هم پس از شروعی اشتباه با عنوان رقابت فضایی دوران جنگ سرد.

### اصلاحات ژنتیکی انسانی

گروهی از شیوه‌های اصلاح ژنتیکی که از آن‌ها به عنوان کریسپر<sup>۲۱</sup> نام برده می‌شود هیجان بسیاری را در مورد دانشمندان و حتی فراتر به وجود آورده‌اند. در اصل کریسپر در علم ژنتیک بسیار شبیه دستور «بیاب و جایگزین کن»<sup>۲۲</sup> در نرم افزار ورد<sup>۲۳</sup> است چرا که این امکان را فراهم می‌آورد که توالی ژنتیکی مشخصی شناسایی و اصلاح شود آن هم با دقتی به مراتب بیشتر از شیوه‌های پیشین. این شیوه از توان بالقوه درمانی قابل توجهی برخوردار است. برای مثال می‌توان ژن‌های عامل بیماری‌های موروثی در جنین را شناسایی و اصلاح کرد و در نتیجه فرد متولد شده از آن جنین دیگر بیماری را به نسل‌های بعد از خود منتقل نمی‌کند. اما درمان ژنتیکی به راحتی می‌تواند به اصلاح ژنتیکی تبدیل شود (برای بینایی بهتر، هوش بیشتر و مانند این‌ها) و به کودکانی طراحی شده بیانجامد. بحث در مورد مقررات مورد نیاز برای این فن‌آوری در راه است.

نویسندگان داستان علمی تخیلی تا همین حالا نیز احتمالات بلندمدت را در نظر گرفته‌اند. اگر شیوه‌های درمانی دوباره جوان‌سازی به افراد اجازه دهند که برای صدها سال عمر کنند، آیا تنها ثروتمندان قادر خواهند بود که هزینه‌های آن را پردازند؟ آیا باید به افراد اجازه داد تا با تغییراتی در

21. CRISPR

22. find and replace

23. word

بدنشان بتوانند بال، آب‌شش یا باله داشته باشند؟ به جای ایجاد تغییرات در دیگر سیارات برای قابل زیست‌کردن آن‌ها برای انسان، بهتر نیست که تغییراتی در بشر ایجاد شود تا بتواند در شرایط محیطی متفاوت نیز زندگی کند؟ ایده اینکه نوع بشر در آینده ممکن است به چندین گونه فراانسانی تبدیل شود، یکی از مفاهیم متداول در داستان‌های علمی تخیلی است. برخی افراد شاید ترجیح دهند که ذهنشان را در یک پیکر رباتیک قرار دهند و برخی دیگر ممکن است بخواهند خودشان را به صورت اشکالی غیرانسانی در بیاورند.

در کوتاه مدت، مباحث احتمالی در مورد دسترسی به درمان‌های ژنتیکی احتمالاً پزواک مباحث تاریخی در مورد گسترش دسترسی به واکسن‌ها و شیوه‌های درمانی بیماری‌های ایدز است. بحث‌های در مورد اصلاح ژنتیکی خودخواسته و اینکه افراد تا چه حد در این مورد بدنشان خودمختاری خواهند داشت، می‌تواند نسخه بسط یافته‌ای از مباحث فعلی در مورد حق اتانازی (مرگ خودخواسته با کمک پزشک) باشد. طی یک قرن اخیر حقوق بشر در بسیاری از جنبه‌ها گسترش یافته است و این احتمالاً بخشی از میدان نبرد مربوط به حقوق بشر در قرن آینده خواهد بود.

### آینده‌ای سریع‌تر؟

این‌ها تنها چهار زمینه هستند که بر اساس روندهای فعلی، موارد تاریخی و داستان‌های علمی تخیلی می‌توان گفت که از توان بالقوه قابل توجهی برای پیشرفت و تحول طی دهه‌های پیش رو برخوردارند. اما اگر همه آن‌ها را با یکدیگر در نظر بگیریم، می‌توان شباهت‌هایی را میان وضعیت فعلی و انقلاب علمی اواسط قرن هفدهم یافت. انقلاب علمی قرن هفدهم زمانی بود که ابزار و فن‌آوری‌های جدید، به خصوص میکروسکوپ و تلسکوپ، در کنار شیوه‌های علمی و دانش ریاضی قرار گرفته‌اند. فیلسوفان طبیعی (اصطلاح «دانشمند» در قرن نوزدهم رواج یافت) به غفلت پیشین از مجموعه‌ای از رشته‌ها، از فیزیک گرفته تا زیست‌شناسی، پی بردند و نتیجه آن دوره‌ای پربار از کشف، نوآوری و اختراع بود.

از بسیاری جهات، وضعیت فعلی علم و فن‌آوری شرایط یکسانی دارد: برای مثال واضح است که درک فعلی از اصول ژنتیک یا هوش مصنوعی بسیار ابتدایی است و چندین دهه تلاش نیاز است تا بتوان آن‌ها را بهتر شناخت. درست همان‌طور که پیشرفت علم ریاضی در قرن هفدهم در دامنه وسیعی از دیگر رشته‌ها به کمک دانشمندان آمد، شیوه‌های پردازش اطلاعات، مانند ابزار «کلان داده»<sup>۲۴</sup> و یادگیری ماشین<sup>۲۵</sup> هم می‌توانند امروز تاثیر مشابهی داشته باشند.

همچنین می‌توان انتظار داشت که ایجاد ارتباط میان رشته‌های پیش‌تر منقطع از یکدیگر به هم‌افزایی بینجامد. برای مثال علم ژنتیک باعث ورود زیست‌شناسی و داروسازی به علوم اطلاعات شده و همچنین ارتباط دو سوبه‌ای میان مرزهای رشته‌های علوم عصبی و ساختار ذهن از یک سو و علوم رایانه‌ای و ایجاد شبکه‌های عصبی مصنوعی شکل گرفته است.

محدوده این پیشرفت سریع از برخی جهات غیرقابل پیش‌بینی است، اما در دیگر جهات آشنا به نظر می‌رسد. ما مرزهای تازه و ابزارهای تازه برای اکتشاف داریم. دو نویسنده داستان‌های علمی تخیلی، کیم استتلی رابینسون<sup>۲۶</sup> و چالز استراس<sup>۲۷</sup>، در تصورشان از آینده در قرن بیست و یکم به این انقلاب علمی نوظهور لقب آکسلاندرو<sup>۲۸</sup> داده‌اند.

بی تردید پیش‌بینی اینکه آینده دقیقا چگونه خواهد بود غیرممکن است اما اگر شما به جاهای درست بنگرید، می‌توانید حدس و گمان‌هایی مبنی برشناخت و دقیق‌تر در مورد آنچه در پیش است را ارائه کنید.

24. Big Data

25. Machine Learning

26. Kim Stanley Robinson

27. Charles Stross

28. Accelerando

اچلراندرو در زبان ایتالیایی به معنی سرعت گرفتن است که ریشه مشابهی با واژه اکسلریت در زبان انگلیسی دارد.

فصل دوم

# بنیان‌های علم فیزیک برای فن‌آوری آینده

فرانک ویلچک

پیشرفت‌ها در فیزیک بنیادین شرایط تازه‌ای در ارتباط میان فیزیک و فن‌آوری فراهم آورده‌اند. بنیان‌های مستحکم علم فیزیک به ما اجازه می‌دهند که فرصت‌ها و محدودیت‌ها را به روشنی دریابیم. البته در کنار این چشم‌انداز شگفت‌انگیز، خطراتی نیز بر سر راه قرار دارند.

فیزیک بنیادین هم به پیشرفت فن‌آوری یاری می‌رساند و هم آن را محدود می‌سازد. البته چنین ادعایی بدیهی به نظر می‌رسد. چرا که فن‌آوری از دستگاه‌ها و ساختارهایی تشکیل شده که بر اساس قوانین فیزیک کار می‌کنند. با این حال در بخش قابل توجهی از تاریخ علم، تقریباً در همه زمینه‌های فن‌آوری، رابطه میان نظریه بنیادین و کاربردهای عملی چندان سفت و سخت نبوده است. برای مثال برخی از نقاط عطف مهندسی در دوران روم باستان مانند راه سازی، کانال‌های آب و کولوسئوم<sup>۱</sup> را در نظر بگیرید. آن طور که ویتروویوس<sup>۲</sup> در کتاب معماری<sup>۳</sup> شرح می‌دهد، فن‌آوری به کار رفته در این شاهکارها بر پایه انباشت تجربه و همچنین آزمون و خطا بوده است. برای مثال دستورکار دقیق انتخاب مواد و آماده سازی مصالح برای ساخت و ساز که از برخی جهات کامپوزیت‌های امروزی نیز از آن ناشی می‌شوند هیچ ارتباطی با آنچه به عنوان علم مواد شناخته می‌شود ندارند. همچنین سازه طاق که یکی از ویژگی‌های اصلی معماری رومی است، ارتباطی به راه‌حل ریاضی مشکل فشار وزن ندارند. (حتی از نظر ریاضی راه حل بهینه نیز محسوب نمی‌شود).

امروز، فیزیک بنیادین و فن‌آوری به مراتب در هم آمیخته‌ترند. برای مثال امروز مایکروالکترونیک و علوم مخابراتی مدرن به پردازش و انتقال بسیار سریع اطلاعات، تا حدی که چند دهه پیش کاملاً خارق‌العاده به نظر می‌رسید، یاری می‌رسانند. چنین فن‌آوری‌های تاثیرگذاری بدون فهمی عمیق و قابل اطمینان از نظریه کوانتومی از ماده و نور (شامل رادیو، مایکروویو و دیگر بخش‌های الکترومغناطیس) به هیچ وجه امکان‌پذیر نبودند. هیچ میزانی از سرهم بندی، آزمون و خطا و «نوآوری» نمی‌توانست شما را به چنین نقطه‌ای برساند.

هدف اصلی‌ام در این مقاله کوتاه بررسی اجمالی وضعیت فعلی فیزیک بنیادین و ارتباط آن با فن‌آوری‌هایی است که شاید طی پنجاه سال آینده ظهور کنند. همچنین در این مقاله مسیرها و فرصت‌های مربوط به آینده

1. Colosseum  
2. Vitruvius  
3. De Architectura

نیز معرفی خواهند شد.

## از سّری به سروری<sup>۴</sup>

اجازه بدهید با ایده اصلی که در این مقاله آن را شرح داده و از آن دفاع خواهم کرد آغاز کنم:

امروزه برای تشکیل پایه‌های فیزیک هسته‌ای، علم مواد، شیمی و همه اشکال مختلف مهندسی، معادلات دقیق و کاملی در اختیار داریم. در نتیجه در عمل می‌توانیم از طریق حل معادلات مناسب، اعداد را جایگزین آزمون و خطا کنیم. چنین پدیده‌ای طی قرن بیستم و در اصل در نتیجه پیشرفت‌های قابل توجه در کاربردهای مکانیک کوانتومی ظهور کرد و شرایط کاملاً تازه‌ای را در تاریخ بشر فراهم آورد. برای به‌دست آوردن درک بهتری از این ادعا مرور اجمالی تاریخ می‌تواند مفید باشد.

در آغاز قرن بیستم فیزیک بنیادین هیچ نقشی در بسیاری از اجزای پایه‌ای و مهم جهان طبیعی نداشت. شیمیدان‌ها عملاً با فهرست عناصر جدول تناوبی سروکار داشتند. آن‌ها همچنین جزئیات بسیاری از هندسه مولکولی را ترسیم کرده بودند که حلقه بنزن و دیگر ارگان‌ها را شامل می‌شود و با موفقیت از آن برای طراحی مولکول‌های تازه و واکنش‌های شیمیایی بهره می‌گرفتند. اما قوانین شناخته شده فیزیک، توضیحی برای وجود اتم‌های پایدار ارائه نمی‌کردند و توضیحات فیزیکی برای خواص اتم‌ها و شکل‌گیری پیوندهای شیمیایی به مراتب ناچیزتر بود. به طور مشابه، خواص بنیادین مواد مانند رسانای الکتریکی بودن، استحکام و رنگ نیز ارتباطی با قوانین بنیادین فیزیک نداشتند. منبع انرژی خورشیدی کاملاً ناشناخته بود و نرخ کاهش دمای خورشید که توسط لورد کلوین<sup>۵</sup> محاسبه شده بود، باز یست شناسی تکاملی چارلز داروین<sup>۶</sup> همخوانی نداشت. اینکه آیا پایه‌های حیات (متابولیسم و باز تولید) و اندیشه (فهم) می‌توانستند تنها به عنوان پیامدهایی از رفتارهای طبیعی فیزیکی بروز کنند یا ظهور

4. From mystery to mastery

5. Lord Kelvin

6. Charles Darwin

آنها نیازمند یک عامل حیاتی بوده، پرسشی بی‌پاسخ محسوب می‌شد. طی تنها چند دهه همه این پرسش‌ها به شیوه متقاعد کننده‌ای حل شدند. آنها نه به طور مستقیم اما یکی از کاربردهای یک استراتژی بودند که اسحاق نیوتون آنها را «آنالیز و سنتز» نامید. شیوه‌ای که امروزه غالباً برچسب کمی تحقیرآمیز «تقلیل‌گرایی» یا «فروکاست‌گرایی» می‌خورد. مطابق این شیوه، ما از طریق به‌دست آوردن درکل دقیق از ویژگی‌ها و تعاملات میان اجزای اساسی (آنالیز) و سپس بسط ریاضی این درک به بخش‌های پیچیده‌تر (سنتز) پیشرفت می‌کنیم.

بر این اساس و با نگاه به گذشته، می‌توان دو رویداد در آستانه قرن بیستم را بسیار تاثیرگذار دانست. نخستین رویداد کشف الکترون توسط ج.ج. تامسون<sup>۷</sup> در سال ۱۸۹۷ بود که اجزاء مواد را تا حد زیادی شرح داد. الکترون‌ها ویژگی‌های مشخصی دارند که برای همه آنها در هر زمان و مکانی صدق می‌کند. بر این اساس آنها نمونه اولیه‌ای از «ذرات بنیادین» به حساب می‌آمدند. از آنجا که مشخص شد الکترون‌ها از معادلات ساده‌ای پیروی می‌کنند، امروز هم به عنوان ذرات بنیادین محسوب می‌شوند. بدین ترتیب می‌توان گفت الکترون‌ها بازیگران اصلی در شیمی و همچنین الکترونیک هستند.

رویداد دیگر معرفی یک واحد غیرقابل تقلیل یا کمترین مقدار ممکن در یک اندرکنش یا کوانتوم توسط ماکس پلانک<sup>۸</sup> در سال ۱۹۰۰ بود. ثابت پلانک با حرف H شناخته می‌شود. پلانک این رقم ثابت که با نام او شهرت یافت را برای بحث ناشناخته ترمودینامیک تابش به کار گرفته و استفاده او از این ثابت نیز به همان بحث محدود ماند. این آلبرت اینشتین<sup>۹</sup> بود که در سال ۱۹۰۵ ثابت پلانک را به گونه‌ای تفسیر کرد که برای ذرات حامل نور به کار رود. چیزی که امروز فوتون نامیده می‌شود. فوتون دومین ذره بنیادین است. یک کاربرد فلسفی مهم ایده‌های پلانک اینشتین این است که تمایز میان نور و دیگر انواع مواد را کمرنگ می‌کند. این کاربرد

7. J.J. Thomson

8. Max Planck

9. Albert Einstein

در گذر زمان اعتبارش را از دست نداده است. از اینجا به بعد در این مقاله هرگاه از عبارت «ماده» استفاده می‌کنیم، منظور تعریفی فراگیر است که نور را نیز در بر می‌گیرد.

گام بزرگ دیگر دستیابی به مدلی بر پایه علم فیزیک برای اتم‌ها بود. چنین دستاوردی در سال‌های ۱۹۱۱ تا ۱۹۱۳ تحقق یافت و هم‌اجزایی نظری و هم‌اجزایی تجربی داشت. در سال ۱۹۱۱، هانس گایگر<sup>۱۰</sup> و ارنست‌مارزدن<sup>۱۱</sup>، با پیشنهاد ارنست رادرفورد<sup>۱۲</sup>، انحراف ذرات آلفایی توسط ورقه طلا را مورد بررسی قرار دادند. توانایی غیرمنتظره طلا برای ایجاد انحراف‌های قابل توجه در ذرات آلفا، آن‌طور که توسط رادرفورد مورد تحلیل قرار گرفته بود، نشان داد که همه بار الکتریکی مثبت و تقریباً همه جرم اتم طلا در مرکزی کوچک متمرکز شده‌اند که حدود یک میلیونم یک میلیاردم حجم اتم را تشکیل می‌دهد. ممکن است فردی تصور کند که این نیروهای الکتریکی هستند که الکترون‌ها را در هسته نگه می‌دارند و اتم را شکل می‌دهند. اما این تصور احتمالی با قوانین شناخته شده فیزیک همخوانی نداشت. هیچ عامل شناخته شده‌ای وجود نداشت که بتواند جلوی نوسان الکترون‌ها را در هسته بگیرد. اینجا بود که نیلز بور<sup>۱۳</sup> در سال ۱۹۱۳ در تعارض با اصول فیزیک نیوتونی پیشنهاد داد که تنها طبقه محدودی از مدارها امکان‌پذیر است. معیار بور که در آن مدارها حضور دارند پای ثابت پلانک، که تا آن زمان استاندارد برای فوتون‌ها بود را به الکترون‌ها باز کرد.

مدل بور به شدت ساده است و در عمل در مورد عنصر هیدروژن بسیار موفق عمل کرد تا حدی که اینشتین آن را «برترین شکل آهنگین در قلمرو فکر» نامید. با این حال مدل بور به صورت معادلاتی درنیامده بود که بتواند در دیگر مسائل نیز به کار گرفته شود و از آنجا که مفروضات آن با اصول مکانیک ماکروسکوپی (نیوتونی) در تعارض بود، کاملاً مشخص نبود که

10. Hans Geiger  
11. Ernest Marsden  
12. Rutherford  
13. Niels Bohr



چگونه می‌توان ایده‌های بور را به صورت معادلاتی نوشت که از نظر ریاضی نامتناقض و از نظر کاربردی فراگیر باشند.

طی یک دهه تلاش، چندین فیزیک‌دان گام‌های مهمی را برای حل این مشکل برداشتند. من در این مقاله آنها را به شکل به شدت ساده شده‌ای بیان می‌کنم. در سال ۱۹۲۵ ورنر هایزنبرگ<sup>۱۴</sup> به معادلاتی نامتناقض برای الکترون‌ها رسید که در آنها الکترون‌ها به صورت ذرات توصیف شده بودند، در حالی که در سال ۱۹۲۶ اروین شرودینگر<sup>۱۵</sup> به مدل‌های نامتناقضی برای الکترون‌ها دست یافت که در آنها الکترون‌ها به صورت موج در نظر گرفته شده بودند. در ابتدا رابطه میان معادلات هایزنبرگ و شرودینگر آشکار نبود، اما پل دیراک<sup>۱۶</sup> در سال ۱۹۲۶ نشان داد که آنها در پیامدهایشان از نظر ریاضی یکسان هستند. ریاضیات دیراک می‌توانست هم الکترون‌ها و هم فوتون‌ها را در خود جای دهد. نظریه او در مورد تعامل میان الکترون‌ها و نور، الکترو دینامیک کوانتومی، با موفقیت دامنه وسیعی از پدیده‌ها را پوشش می‌داد. خود او در سال ۱۹۲۹ ادعا کرده بود که:

قوانین اساسی فیزیک لازم برای نظریه ریاضی، بخش زیادی از فیزیک و همه علم شیمی کاملاً شناخته شده هستند و مشکل تنها این است که کاربرد دقیق این قوانین به معادلاتی می‌انجامد که پیچیده‌تر از آن هستند که بتوان آنها را حل کرد.

این شرح البته مشابه ادعای اصلی این مقاله است.

در دهه ۱۹۴۰، آزمایش‌ها در مورد فیزیک هسته‌ای به میزانی از دقت رسید که برای آزمون نظریه الکترو دینامیک کوانتومی به شیوه‌ای صحیح، راه حل‌های دقیق‌تری برای حل معادلات پایه آن مورد نیاز بود. این راهکارها و شیوه‌های جدید که توسط جولیان شوینگر<sup>۱۷</sup>، ریچارد فاینمن<sup>۱۸</sup>، سین ایترو توموناگا<sup>۱۹</sup> و فریمند ایسون<sup>۲۰</sup> ارائه شدند نشان دادند که الکترو دینامیک

14. Werner Heisenberg

15. Erwin Schrödinger

16. Paul Dirac

17. Julian Schwinger

18. Richard Feynman

19. Sin-Itiro Tomonaga

20. Dyson

کوانتومی رفتار الکترون‌ها در دامنه وسیعی از شرایط (شامل همه شرایط مربوط به شیمی و مهندسی) را شرح می‌دهد آن هم با دقتی بهتر از چند ذره در هر یک میلیارد.

پس از این موفقیت‌ها، اجزای بیرونی‌تر اتم نیز به خوبی شناخته شدند، اما هسته آنها همچنان رازآلود باقی ماند. نظریه عمیق نیروهای فروهسته‌ای که به نیروهای ضعیف و قوی مشهورند در دهه ۱۹۷۰ ظهور کرد و در دهه ۱۹۹۰ با دقت مورد آزمایش قرار گرفت، به تکامل «نظریه موثر» مواد که ما امروز به کار می‌بریم انجامید. اما حالا اجازه بدهید که از این روایت بگذریم و به شرح برسیم.

## نظام جهان

افرادی که فیزیک‌دان نیستند معمولاً از شنیدن سخنان فیزیک‌دانان در مورد «سادگی» نظریه‌های بنیادین فیزیک گیج می‌شوند. در عمل تنها بخش کوچکی از انسان‌ها قادر به درک این نظریه‌ها هستند و دستیابی به توانایی درک این نظریه‌ها توسط یک فرد نیز نیازمند سال‌ها تحصیل و تفکر عمیق است. با این حال احساسی دقیق و عمیق در این مورد وجود دارد که نظریه‌های بنیادین فیزیک ساده‌اند و البته مهم است که قدر این ویژگی دانسته شود. این سادگی بخش ضروری ادعای اصلی ما در این مقاله یعنی فراگیر بودن استفاده از فیزیک است.

معادلات بنیادین فیزیک می‌تواند در یک برنامه رایانه‌ای کوتاه نوشته شوند. یک رایانه با پیروی از دستورالعمل برنامه، بدون هیچ ورودی دیگری از جهان خارج، قادر خواهد بود (با صرف زمان کافی) تا پیامدهای این معادلات را به روشنی محاسبه کند.

در واقع تا آنجا که من می‌دانم، هیچ کس تاکنون چنین برنامه‌ای را ننوشته است. (می‌تواند تمرین جالبی باشد.) برآورد می‌کنم که در یک زبان برنامه نویسی بسیار پیشرفته، مانند ممتیکا<sup>۲۱</sup>، نوشتن این معادلات بیشتر از چند صد خط نیاز ندارد. (لطفاً توجه داشته باشید که کدنویسی

کارا و موثر که یافتن سریع راه حل‌های معادلات را ممکن می‌سازد کاربرد جالبی است که احتمالاً پرسش دیگری است که بی‌شمار پاسخ برای آن وجود دارد.)

## اصول اساسی

معادلات بنیادین فیزیک، تا آنجا که امروز شناخته شده‌اند، به چهار نظریه مرکزی بدون تقسیم می‌شوند و بر چهار نیروی بنیادین حکم می‌رانند: گرانش، الکترومغناطیس، و نیروهای قوی و ضعیف. ترکیب آنها معمولاً مدل استاندارد نامیده می‌شود. این نظریه‌ها در سه اصل بنیادین تجسم می‌یابند و از آنها ناشی می‌شوند: نسبیت، ناوردایی پیمانه‌ای (که همچنین به تقارن پیمانه‌ای نیز شناخته می‌شود) و مکانیک کوانتومی.

در میان این سه اصل، دو اصل نسبیت و تقارن پیمانه‌ای بر تقارن تکیه دارند. واژه «تقارن<sup>۲۲</sup>» در این زمینه، برای مفهوم «استحاله بدون تغییر»، یا به بیانی ظریف‌تر، «تغییر بدون تغییر» به کار می‌رود. یک دایره، مفهوم اصلی این ایده را نشان می‌دهد. ما می‌توانیم آنها را به وسیله دوران یک دایره حول مرکز تغییر دهیم. در این وضعیت هر نقطه از دایره تغییر می‌کند، پس این تغییری واقعی است، اما دایره به مفهوم کلی تغییر نمی‌کند. به طور مشابه، فرضیه اصلی نسبیت خاص نیز این است که یک فرد می‌تواند به وسیله حرکتی یکنواخت ویژگی‌های همه اجزاء جهان فیزیکی را تغییر دهد؛ بدون تغییر قوانینی که آن اجزاء از آنها پیروی می‌کنند. تقارن پیمانه‌ای استحاله‌های دیگر است که پای ویژگی‌های کمتر شناخته شده‌ای از حرکت یکنواخت را به میان می‌کشد، اما ایده یکسانی را مطرح می‌کند. ما قوانین را با این شرط که در دامنه متنوعی از شرایط یکسان عمل کنند محدود می‌کنیم.

سومین اصل، مکانیک کوانتوم، چارچوبی بسیار وسیع‌تر از یک فرضیه به‌خصوص را در بر می‌گیرد و از این منظر به مکانیک کلاسیک (نیوتونی) شباهت دارد که به شما می‌گوید حرکت ناشی از یک سری نیروها چگونه

خواهد بود، اما در مورد اینکه آن نیروها چه هستند ساکت می‌ماند. به طور خلاصه، باید گفت که ابهامات نظریه کوانتومی به مراتب شدیدتر است. (برای متخصصان باید گفت که اینجا من انتخاب‌های جایگزین متغیرهای پویا و به اصلاح ابهامات توالی اشاره کرده‌ام.) در نتیجه به کار گرفتن مکانیک کوانتومی برای مسائل فیزیکی مشخص، پیش از ظهور نظریه‌های مرکزی ما، همواره شامل کمی گمانه پردازی هم می‌شد. اما نظریه‌های بنیادین انتخاب‌هایی منحصر به فرد را اعمال می‌کنند، به برخی دلایل در پاراگراف بعدی به این مسئله اشاره خواهم کرد. هرچند همه از این ادعا خوششان نمی‌آید، اما به نظرم منصفانه باشد که بگوئیم تنها در بستر نظریه‌های بنیادین است که ما دقیقاً می‌فهمیم که مکانیک کوانتومی چیست.

مشخص شد که تدوین معادلاتی که هم با نظریه نسبیت و هم با نظریه مکانیک کوانتومی همخوانی داشته باشد کار بسیار مشکلی است. نظریه‌هایی که چنین ویژگی‌هایی دارند، نظریه‌های میدان کوانتومی نسبیتی، شامل بسیاری از کمیت‌هایی می‌شوند که یا به خوبی تعریف نشده‌اند و یا بی‌نهایت در نظر گرفته شده‌اند. تنها یک ترکیب به دقت طراحی شده از معادلات، که برای آن بی‌نهایت‌ها کنار رفته‌اند، می‌تواند برای مدل سازی جهان فیزیکی به کار گرفته شود. برای به دست آوردن چنین معادلاتی، باید چارچوبی بسیار ویژه‌ای از مکانیک کوانتومی به کار گرفته شود. در این صورت همه ابهامات برطرف می‌شوند. حقیقت این است که نظریه‌هایی که اصول بنیادین ما را محقق سازند به سختی با هر دو نظریه نسبیت و مکانیک کوانتومی همخوانی دارند و به همین خاطر یافتن آنها بسیار مشکل است. اما در عوض این ویژگی استحکام را هم با خود به همراه دارد و ما را به سوی معادلات و فرآیندهای بسیار مخصوصی هدایت می‌کند که لزوم مقاومت‌شان در مقابل تغییر به قوام آنها می‌انجامد.

## اصول نوظهور

دو پیامد قوانین بنیادین آن قدر پایه‌ای و مهم هستند که باید به آنها،

حتی به صورت خلاصه، اشاره شود. اجزای اصلی در طبیعت فضا و زمینه‌هایی مانند زمان را اشغال می‌کنند. ذرات، مانند الکترون‌ها، در واقع حالت برانگیخته‌ای از این زمینه‌ها هستند. بنابراین همه الکترون‌ها، در هر زمان و مکانی، ویژگی‌های یکسانی دارند، چرا که حالت برانگیخته زمینه یکسانی هستند. یکسان بودن تمام و کمال الکترون‌ها (و دیگر ذرات ابتدایی) اهمیت فراوانی دارد. توسعه شناخت اجزای قابل تعویض با یکدیگر گامی بزرگ در فن‌آوری صنعتی در قرن نوزدهم محسوب می‌شد و امکان تولید انبوه، مونتاژ و تعمیر را فراهم آورد. شیمی، بیولوژی و مهندسی به گونه‌ای که امروز می‌شناسیم، همگی بر عرضه کافی مواد قابل تعویض با یکدیگر از سوی طبیعت تکیه دارند.

هنگامی که الکترون‌ها و هسته اتم به هم می‌پیوندند تا اتم را تشکیل دهند، یا هنگامی که کوارک<sup>۲۳</sup>ها و گلوئون<sup>۲۴</sup>ها به هم می‌پیوندند تا پروتون را تشکیل دهند، نتیجه نهایی ساختاری منحصر به فرد و پایدار خواهد بود که نمی‌توان در آن اختلالی ایجاد کرد مگر با صرف میزان قابل توجهی از انرژی. (این ویژگی با نظام‌های مبتنی بر مکانیک کلاسیک مانند سیستم منظومه شمسی تعارض دارد که مقدار کمی از انرژی را به بهای تغییرات ساختاری اندک می‌توانند جذب کنند). این سانسور کوانتومی به این معنی است که ما می‌توانیم، در شرایط مناسب (زمانی که انرژی زیادی در میان نیست)، با یک اتم یا یک پروتون همچون جعبه سیاهی با ساختار داخلی پنهان رفتار کنیم. بنابراین، برای مثال، هنگام طراحی یک ترانزیستور نیازی نیست که نگران کوارک‌ها یا گلوئون‌ها باشیم.

دو ویژگی نوظهور قوانین بنیادی به ما اجازه می‌دهد که سنتزهای مربوط به طبیعت را گام به گام بسازیم و هنگام سر و کار داشتن با ارقام بزرگ مربوط به اجزا از شیوه‌های آماری بهره ببریم. بدین ترتیب، در حالی که پیامدهای نوظهور یک «فروکاست گرای» عمیق‌تر پدیدار می‌شوند، بسیاری از شیوه‌های علمی مرسوم در شیمی و فیزیک

23. Quarks

24. Gluons

وضعیت بهتری می‌یابند.

## سنگ بنای آینده

تعاریف ابتدایی استاندارد از مواد ادعا می‌کنند که پروتون‌ها و نوترون‌ها ساختمان هسته اتم را تشکیل می‌دهند و سپس الکترون‌ها حجم اتم را پر کرده و اتم‌ها در مولکول‌ها و مواد ترکیب می‌شوند. چنین توضیحی برای اینکه نشان دهنده وضعیت امروز علم باشد نیازمند چندین اصلاح است. نخست اینکه همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، ما اکنون پی برده‌ایم که جدا کردن نور از ماده غیرطبیعی و غیرضروری است. فوتون‌ها هم باید به این تعریف افزوده شوند.

دوم اینکه ما باید از این ایده عبور کنیم که پروتون‌ها و نوترون‌ها مواد اولیه مناسب برای کارهای بنیادین هستند. بررسی‌ها نشان داده‌اند که پروتون‌ها و نوترون‌ها اجزایی پیچیده هستند و ساختار داخلی آنها جزییات فراوانی دارد. ذرات پایه‌ای‌تر که پروتون و نوترون از آنها تشکیل شده‌اند، کوارک و گلوئون نامیده می‌شوند. همه شواهد موجود تایید می‌کنند که کوارک‌ها و گلوئون‌ها از معادلات بسیار ساده کرومودینامیک کوانتومی پیروی می‌کنند. دو نوع مهم کوارک وجود دارند که بالا و پایین نامیده می‌شوند.

سوم اینکه ما باید (الکترون) نوترینوها<sup>25</sup> را نیز لحاظ کنیم. این ذرات در فرآیندهای تبدیل هسته‌ای که منبع انرژی خورشید است ساطع می‌شوند و در بسیاری از فن‌آوری‌های هسته‌ای (شامل پزشکی هسته‌ای، گونه‌هایی از پرتو درمانی، رآکتورهای هسته‌ای و سلاح‌های هسته‌ای) مورد استفاده قرار می‌گیرند.

با در نظر گرفتن الکترون‌ها، فوتون‌ها، گلوئون‌ها، کوارک‌های بالا و پایین و (الکترون) نوترینوها به عنوان ذرات بنیادی، ما از مواد اولیه کافی برای ساختن «نظریه موثر» برخورداریم که نیاز ایده اصلی این مقاله را برآورده می‌کند. این ساختار بیشتر از فهرستی اقتصادی‌تر از اجزاء تشکیل

25. Neutrinos

یکی از ذرات بنیادی که از نظر الکتریکی خنثی است.

شده تا از عناصر جدول تناوبی؛ همچنین با دستورالعمل مجهز تری (معادلات بنیادین) همراه است و دامنه گسترده تری از پدیده‌ها را در بر می‌گیرد. نظریه موثر که در اینجا به آن اشاره داریم محدودیت‌هایش را می‌شناسد اما، همان‌طور که اینجا بحث می‌کنم، این محدودیت‌ها برای آینده‌ای قابل پیش‌بینی و هر فن‌آوری احتمالی مشکل ساز نخواهند بود.

### منابع کیهانی

چند دهه اخیر عصری طلایی برای کیهان‌شناسی فیزیکی بوده است. شواهد مبنی بر تاریخ به‌طور غافلگیرکننده ساده و سراسر جهان که از مهبانگ (انفجار بزرگ یا همان بیگ بنگ) آغاز و از طریق بی‌ثباتی گرانشی ساختار یافت تا کنون دقیق و بسیار تاثیرگذار بوده‌اند. مقاله حاضر جای مناسبی برای مرور این تاریخ نیست، اما اشاره به دو پیامد آن که به خصوص با موضوع اصلی ما در ارتباط هستند خالی از لطف نیست.

نظریه موثر که در اینجا شرح دادیم درباره اشکال مختلفی که مواد می‌توانند به خود بگیرند اطلاعاتی می‌دهد، اما به خودی خود نمی‌گوید که چه اشکالی برای مواد موجودند. نظریه مهبانگ، که بر اساس آن می‌توان گفت که جهان از وضعیتی بسیار داغ کار خود را آغاز کرد، تاکید می‌کند که هسته از ترکیب اولیه کوارک‌ها و گلئون‌ها تشکیل شده و به ما این امکان را می‌دهد که فراوانی نسبی عناصر شیمیایی گوناگون در ابتدای جهان هستی یعنی پیش از شکل‌گیری ستاره را محاسبه کنیم. نتیجه اینکه این عناصر به میزان قابل توجهی هیدروژن و هلیوم بوده‌اند. عناصر شیمیایی سنگین‌تر در تاریخ ستاره‌ها تشکیل شدند و سپس با مرگ ستاره‌ها در انفجارهای ابرنواختر<sup>۲۶</sup> (سوپرنوا) رها شدند. با دنبال کردن این سناریو ما به شرح دقیقی از موادی که امروز در جهان می‌بینیم دست خواهیم یافت. این همخوانی میان نظریه بنیادین فیزیک و مشاهده بیرونی ما را بیشتر نسبت به نظریه مان مطمئن می‌سازد، حتی در به کارگیری آن در شرایطی بسیار متفاوت از آنچه در شیمی یا زیست‌شناسی معمول یا

مهندسی در نظر گرفته می‌شود.

با این حال، ستاره‌شناسان شواهد کافی جمع‌آوری کرده‌اند که نشان می‌دهد مواد معمولی، تشکیل شده از الکترون، فوتون، گلوئون و کوارک، تنها حدود چهار درصد وزن جهان را تشکیل می‌دهند. بقیه آن در دسته‌های «ماده تاریک» (حدود ۲۵ درصد) و «انرژی تاریک» (حدود هفتاد درصد) جای می‌گیرند. تا کنون هم ماده تاریک و هم انرژی تاریک تنها از طریق تاثیر ضعیف (اما انباشته شده) گرانشی بر مواد معمولی شناخته شده‌اند. از آنجا که فعل و انفعالات میان انرژی تاریک و ماده تاریک با ماده معمولی به شدت ضعیف هستند آن‌قدر ضعیف که بسیاری از تلاش‌ها برای تشخیص آنها ناکام مانده است به سختی می‌توان تصور کرد که منبع مناسبی برای فن‌آوری باشد.

## موارد باقی مانده و جا افتاده

### پیچیدگی‌های بیشتر

مصمم‌ترین تلاش‌ها در راستای آنالیز و سنتز، یا فروکاست‌گرایی، در شتاب دهنده‌های بزرگ، مانند برخورد دهنده بزرگ هادرون<sup>۲۷</sup> در سرن<sup>۲۸</sup>، سازمان اروپایی پژوهش‌های هسته‌ای<sup>۲۹</sup>، دنبال می‌شوند. در برخورد دهنده بزرگ هادرون، پروتون‌ها تا سطح انرژی بسیار بالایی شتاب گرفته و سپس با یکدیگر برخورد می‌کنند. چنین برخوردهایی چگالی انرژی بسیار بیشتر از آنچه بر روی زمین پدید آمده (یا هر جای دیگری در جهان هستی، تا آنجا که ما می‌دانیم) را به طور گذرا ایجاد می‌کنند. چنین پدیده‌ای به ما امکان می‌دهد که با دقتی کمی، نظریه‌های فعل و انفعالات بنیادین را در شرایطی بسیار پیچیده‌تر از آنچه در کاربردهای عملی وجود داریم بیازماییم.

جالب توجه‌ترین نتیجه این کار، تا آنجا که به این مقاله مربوط می‌شود، دو جنبه دارد. برای نظریه موثر، هم خبری خوش به همراه دارد و

27. Hadron

28. CERN

29. Europe's particle-physics laboratory



هم خبری بد، هرچند که خبر بد بسیار صوری و سطحی است و خبر خوش عمیق و بنیادی. نخست خبر بد و آن اینکه «نظریه موثر» ما از نظریه‌ای کامل فاصله بسیاری دارد. برای به‌دست آوردن تفسیری قابل قبول از همه پدیده‌هایی که در شتاب دهنده کشف می‌شوند ما نیازمند چهار نوع دیگر از کوارک‌ها (شگفت<sup>۳۰</sup>، افسون<sup>۳۱</sup>، ته<sup>۳۲</sup>، سر<sup>۳۳</sup>) هستیم؛ به علاوه دو ذره سنگین‌تر شبیه به الکترون (میون<sup>۳۴</sup> و تاولپتون<sup>۳۵</sup>)، هرکدام نوترین و مخصوص به خود را معرفی می‌کنند؛ و دو هم خانواده سنگین فوتون و گلوئون (بوزون زد و بوزون دبلیو<sup>۳۶</sup>)؛ و بالاخره ذرات هیگز<sup>۳۷</sup> که اخیراً کشف شده‌اند.

خبر بد این است که جهان واقعی، اگر به طور دقیق نگریسته شود، شامل پیچیدگی‌های غیرمنتظره‌ای است.

حالا خبر خوب اینکه این پیچیدگی‌ها اصول نظریه موثر را تقویت می‌کنند و کاربردهای عملی آن را زیر سوال نمی‌برند. بررسی ذرات تازه فرصت‌های بسیاری را برای آزمون اصول کلی نظریه موثر نسبت، نظریه کوانتوم و تقارن محلی در بسترهای تازه فراهم می‌آورد. در واقع، این اصول نرخی که در آن ذرات در شرایط مختلفی تولید می‌شوند، گونه‌ای از امور که آنها در زوال به شکل‌شان در می‌آیند و بسیاری از جزییات دیگر را پیش‌بینی می‌کنند. تا کنون این پیش‌بینی‌ها، بدون استثناء، در توصیف آنچه در جهان واقعی روی می‌دهد موفق بوده‌اند. در نتیجه ما می‌توانیم با میزانی از اطمینان پیش‌بینی کنیم که آثار این ذرات بر شرایط محیط نرمال زمینی (غیرشتابی) ناچیز خواهد بود.

خبر خوب اینکه مواد اولیه افزوده شده، فرای نظریه موثر، به خوبی و با برآوردهای کمی شناخته شده است. رفتار مشاهده شده از آنها به تقویت

30. Strange

31. Charm

32. Bottom

33. Top

34. Muon

35. Lepton

36. W and Z bosons

37. Higgs

اعتبار اصول کلی ما می‌انجامد. اما این مواد به سختی قابل تولید هستند و بخش بیشتر آنها (به استثنای نوترینوهای جدید) به شدت ناپایدار هستند. تاثیر عملی آنها تا کنون قابل چشم پوشی بوده و تقریباً با اطمینان می‌توان گفت که در آینده نیز همین‌طور خواهد بود.

### تربدهای کوانتومی، گرانش کوانتومی

بسیاری از پیشروان نظریه کوانتومی، شامل فیزیکدان‌های مشهوری مانند خود پلانک، اینشتین و شرودینگر از شکل قوام یافته این نظریه چندان راضی نبودند چرا که با پیش بینی‌های ذاتاً مشکل دار این نظریه و پافشاری اش بر اینکه در جهان فرواتمی اندازه‌گیری تمام عیار به این معنی که اندازه‌گیری یک سیستم بر سیستم مورد اندازه‌گیری بی تاثیر است نه فقط ایده آل گرایانه بلکه از نظر فیزیکی غیرممکن است چندان راحت نبودند. به نظر می‌رسد در نظریه کوانتومی باور به وجود جهانی ابژکتیو، شامل ابژه‌هایی با ویژگی‌های مشخص، که با اصول مشخصی تکامل می‌یابد زیر سوال می‌رود.

بخش بیشتر نسل‌های بعدی با نظریه کوانتومی به صلح رسیدند. این نظریه پیشرفت‌های بسیاری را به بار آورده و از هر آزمون تازه‌ای سربلند بیرون آمده است. به علاوه، تلاش‌های تکنیکی در مورد ایده «ناهمدوسی»<sup>۳۸</sup> روشن ساخته که چگونه رفتار پایدار و ضرورتاً قطعی پیکره‌های بزرگ می‌تواند از رفتار کوانتومی جهانی بسیار بسیار کوچک نشات بگیرد. اما امروز هم برخی از فیزیکدان‌های بسیار بزرگ معتقدند که مشکلاتی در بنیان‌های نظریه کوانتومی وجود دارد. (من چنین اعتقادی ندارم.) طراحی‌ها برای رایانه‌های کوانتومی استفاده قابل توجه از عجیب‌ترین و ظریف‌ترین اجزاء نظریه کوانتومی را مهیا ساخته است. بسیار عجیب خواهد بود اگر چنین کاربردهایی به طور غیرمنتظره‌ای با ناکامی مواجه شوند.

از آنجا که به ویژه در مورد مسئله آشتی دادن کامل نظریه ما با گرانش، نسبت عام، با اصول مکانیک کوانتومی اغراق شده است، بحثی

متعارف‌تر در مورد آن اهمیت دارد. از نظر عملی، مشکلی برای این کار وجود ندارد. فیزیک‌دانان اخترشناس و کیهان‌شناسان به طور مرتب و با موفقیت، رفتارهای مربوط به شرایطی که در آن گرانش و فیزیک کوانتومی هم‌زمان نقش می‌آفرینند را بدون اینکه با هیچ ابهام یا شگفتی‌ای مواجه شوند، محاسبه می‌کنند.

مشکلات زمانی پدید می‌آیند که ما تلاش می‌کنیم تا معادلات را برای شرایطی که ممکن است در نخستین لحظات مهبانگ روی دهد را به کار بگیریم. همچنین زمانی که داخل عمیق سیاه‌چاله‌ها مدنظر قرار می‌گیرند، راه‌حل‌های معادلات با شگفتی همراه هستند. معمایی مفهومی نیز زمانی بروز می‌کند که نظریه کوانتومی برای سیاه‌چاله‌های کوچک به کار گرفته می‌شوند.

اما این دستاوردی بسیار فرح‌بخش و پیشرفتی عظیم خواهد بود اگر بتوان پدیده‌ای منسجم و قابل مشاهده‌ای را یافت که ویژگی‌های گرانش کوانتومی را به همراه داشته باشد. تاکنون، به رغم تلاش و تمرکز شدید که با دورنمایی از شهرت و ثروت همراه است، هنوز هیچ کس نتوانسته با موفقیت بر این چالش غلبه کند.

## آنچه روی نخواهد داد

کارکرد مهم به‌دست آوردن درکی عمیق این است که ما را از اندیشه‌های نه‌چندان موثر بی‌نیاز می‌سازد. در اینجا قصد دارم به سه تکنولوژی‌ای پردازم که به رغم حضور بسیار پررنگ در رسانه‌های عمومی با فیزیک بنیادین تعارض قابل توجهی دارند. البته که ممکن است غافلگیری‌هایی نیز رخ بدهند اما طبیعت همواره قدرت خود را اعمال می‌کند. پیشرفت‌هایی که در ادامه به آنها اشاره می‌شود برای تحقق باید برخی از قوانینی را زیر پا بگذارند که تاکنون بسیار خوب عمل کرده‌اند:

— انتقال اطلاعات با سرعتی سریع‌تر از سرعت نور با نظریه نسبیت همخوانی ندارد. در شرایط حدی، جایی که میدان‌های گرانشی قوی وجود دارند، فضا زمان ممکن است تاب بردارند و در این صورت

میانبرهایی (کرمچاله)<sup>۳۹</sup> ممکن خواهند بود که دو نقطه دور از هم را به یکدیگر متصل کنند. اما باید گفت که کرمچاله‌های قابل استفاده بسیار فراتر از توانایی هرگونه فن‌آوری قابل دسترسی هستند.

■ اثرات دوربرد، آن‌طور که برای مثال در ستاره‌شناسی به کار می‌رود، بخشی از مدل استاندارد ما نیستند. تصادفی نیست که این اثرات دوربرد با تجارب اندوخته شده در علم نیز همخوانی ندارند چرا که حتی آزمایش‌های به شدت پیچیده و ظریف نیز با رعایت برخی موارد می‌توانند نتایجی تجدیدپذیر تولید کنند که از جهان خارجی مستقل باشد.

■ قدرت‌های ذهنی، که به طور خاص از قدرت ادراک ماورایی ایجاد می‌شوند و مواردی مانند حرکت دادن اجسام با کمک ذهن، مشاهده آینده و مانند اینها را در بر می‌گیرند و به طور ضمنی به عنوان هوشیاری یا شهود شناخته می‌شود ارتباطی با جهان علم فیزیک ندارند. چنین مواردی هیچ جایی در فیزیک بنیادین امروز ندارند و حتی در اندازه‌گیری‌های بسیار پیچیده و ظریف، محققان به این نتیجه نرسیده‌اند که باید نگران تاثیر تفکر و ذهن افراد بر نتیجه آزمایش‌ها باشند.

## فرصت‌ها

### پردازش واقعیت

می‌توان انتظار روزی، شاید نه چندان دور، در آینده را داشت که رایانه‌ها همان کاری که امروز برای طراحی هواپیما انجام می‌دهند و از طریق نرم‌افزار شرایط آزمون‌های آزمایشگاهی را فراهم می‌آورند برای فیزیک هسته‌ای، فیزیک ستاره‌شناسی، علم مواد و شیمی نیز انجام دهند.

پیشرفت‌های اخیر در کرومودینامیک کوانتومی، نظریه ما درباره فعل و انفعالات قدرتمند، نمونه‌هایی از آنچه در پیش است را ارائه می‌دهد. اعتبارسنجی‌های اولیه این نظریه از طریق شرح‌های کمی فرآیندهای در

انرژی بسیار بالا جایی که رفتار نظریه ساده‌سازی می‌شود حاصل شد. اما فیزیک هسته‌ای که عامل اولیه علاقه افراد به مطالعه فعل و انفعالات قوی بود، به مراتب سخت‌تر از این است که بتوان به راحتی آن را شکافت. ابتکار و نبوغ بسیاری برای حل معادلات کرومودینامیک کوانتومی از طریق شیوه‌های تحلیلی به کار گرفته شده است اما تاکنون موفق‌ترین راهکار قراردادن معادلات بنیادین به گونه‌ای بوده که برای رایانه‌ها قابل پردازش باشند. اکنون می‌توان انتظار آینده‌ای را داشت که در آن فیزیک هسته‌ای<sup>۴۰</sup> به سطحی از دقت و تطبیق‌پذیری برسد که امروز فیزیک اتمی<sup>۴۱</sup> به آن دست یافته است. یک شیمی هسته‌ای پالوده شده می‌تواند رآکتورهایی (یا بمب‌هایی) با انرژی به مراتب بیشتر با کنترل و قابلیت‌های بهتر نسبت به نمونه‌هایی امروزی را به ارمغان بیاورد.

در طراحی کاتالیزورها و داروها، محاسبات به صورت رو به افزایشی جای آزمایشات را می‌گیرند و در نتیجه میزان موثر بودن آنها افزایش یافته و در نهایت فرصت‌های تازه‌ای برای اکتشافات خلاقه ایجاد می‌شوند.

بسیاری از پرسش‌های فن‌آوری حول خواص مواد خواهد چرخید. باتری‌های (منابع تامین انرژی) موثرتر می‌توانند علم رباتیک را متحول کنند و سلول‌های خورشیدی با کارایی بیشتر می‌توانند به استفاده گسترده از انرژی خورشیدی بیانجامند، ابررساناهایی که در دمای طبیعی اتاق (در اینجا منظور بالای صفر درجه سانتیگراد است) ویژگی خود را حفظ کنند می‌توانند امکان حمل و نقل ریلی بدون اصطکاک را فراهم آورند؛ مواد بسیار قوی می‌توانند به ما امکان دهند تا آسانسورهای فضایی بسازیم و زمین را به شیوه‌ای ارزان و قابل اطمینان به فضا متصل کنیم. در هر کدام از این کاربردهای مهم، و بسیاری دیگر، بهبودهای نسبتاً کوچک در خواص مواد می‌تواند به اثراتی قابل توجهی بیانجامد. آیا چنین امری امکان‌پذیر است؟ معادلات ما پاسخ را در خود دارند اما برای به‌دست آوردن پاسخ‌ها باید بتوان این معادلات را به وسیله رایانه‌ها محاسبه کرد.

40. Nuclear physics

41. Atomic physics

دو مساله اینجا وجود دارد: نرم‌افزار و سخت افزار. بیست و پنج سیکل از قانون مور<sup>۴۲</sup> (بنگرید به فصل چهار) برای انسان‌ها، و فیزیک‌دانان به‌خصوص، ابزاری محاسباتی با توان و ظرفیتی خارق‌العاده را فراهم آورده است. سرعت پیشرفت به صورت نمایی (آن‌طور که در قانون مور آمده) در حال کمرنگ شدن است و دیگر شامل دو برابر شدن تعداد ترانزیستورهای روی یک تراشه با مساحت ثابت طی هر دو سال نمی‌شود، چرا که کوچک سازی به مقیاس‌های اتمی رسیده و در نتیجه قوانین فیزیکی تازه‌ای باید به کار گرفته شوند. با این وجود می‌توان انتظار داشت که حداقل برای چند سیکل دیگر طی دهه‌های پیش‌رو این روند ادامه یابد آن هم حتی بدون تحولی شگرف در فن‌آوری فعلی مربوط به نیمه هادی‌ها.

همچنین مسیرهای امیدبخشی را می‌توان برای آینده متصور بود. پردازش و فن‌آوری اطلاعات اساساً بر حرکت بارهای الکتریکی استوار است اما الکترون‌ها کندتر از نور حرکت می‌کنند و حین حرکت گرما تولید می‌کنند که برطرف کردن آن مشکل ساز است. نور همین حالا هم برای انتقال حجم قابل توجهی از اطلاعات در فواصل دور مورد استفاده قرار می‌گیرد که این فرآیند نیازمند تبدیل کدگذاری الکترونیک به کدگذاری نوری و بالعکس است. کارآمدی و تطبیق پذیری این تبدیلات به سرعت در حال بهبود به خصوص در بخش نوری است و این پیشرفت‌ها ممکن است به رایانه‌های «فوتونیک» بیانجامد.

تحولی شگرف تر، دورنمای رایانه‌های کوانتومی است که اطلاعات را به صورت همبستگی‌هایی ظریف (در هم تنیدگی)<sup>۴۳</sup> در میان سیستم‌های کوانتومی کدگذاری می‌کنند. این همبستگی‌ها در اصل ساختاری بسیار غنی‌ای دارند به گونه‌ای که اطلاعات بسیار زیادی در حجمی کم می‌توانند در آنها ذخیره و فراخوانده شوند. اما متأسفانه باید تأکید کرد که در هم تنیدگی بسیار پیچیده است. چند فن‌آوری محتمل را می‌توان نام برد که شاید در استفاده از در هم تنیدگی به کار بیایند اما این فن‌آوری‌ها در

42. Moore's law

43. Entanglement

مراحل اولیه قرار دارند. اگر رایانه‌های کوانتومی عملی ساخته شوند در این صورت در حل مسائل مکانیک کوانتومی بسیاری قدرتمند خواهند بود و توان نهفته در ادعای اصلی ما در این مقاله را آشکار خواهند ساخت.

مسیر الهام بخش دیگری که می‌توان نام برد به زیست‌شناسی مربوط می‌شود. رایانه‌های جریان اصلی امروز ضرورتاً دو بعدی هستند. آن‌ها بر تراشه‌هایی استوار هستند که باید در شرایط کاملاً تحت کنترل تولید شوند چرا که هر اشتباهی می‌تواند به ایجاد ایراد در محصول بیانجامد و اگر محصولی معیوب شود دیگر قابل اصلاح نیست. مغز انسان از هر نظر کاملاً متفاوت است: سه بعدی است، در شرایطی به هم ریخته بدون کنترلی دقیق تولید می‌شود و می‌تواند با وجود ایرادات و آسیب‌ها به کارش ادامه دهد. انگیزه بسیاری برای به کار گرفتن این ویژگی‌ها در طراحی و تولید سیستم‌های رایانه‌ای وجود دارد که می‌تواند سرنوشت، سرعت و مقیاس فناوری‌های نیمه‌هادی را متحول کند و هیچ مانع فیزیکی خاصی بر سر راه تحقق آن وجود ندارد.

الگوریتم‌های کارا و موثر از ویژگی‌های خاص مسئله‌ای که با آن سروکار دارند بهره می‌برند. پیشرفت آنها نیز در فرآیندی خلاق ریشه دارد و به همین خاطر به سختی می‌توان به‌طور کلی در مورد روند پیش روی آنها اظهار نظر کرد. در اینجا تنها به یکی از جنبه‌های توسعه نرم‌افزاری می‌پردازم، جنبه‌ای که به‌طور خاص می‌تواند جالب توجه باشد. بیشتر تلاشی که برای برقرار نگه‌داشتن قانون مور به کار گرفته شده، به خصوص در سیکل‌های اخیر، به کمک نرم‌افزارهای پیچیده و کد<sup>۴۴</sup> (طراحی به کمک رایانه<sup>۴۵</sup>) بوده که کاربردهای فیزیک بنیادین در شرایط تازه را آشکار ساخته و به مهندسان اجازه داده که راه‌های تازه‌ای را در طراحی مدارها و اجزای جریان (مانند ترانزیستورهای مینیاتوری) به کار بگیرند و طراحی مدارها را بهینه کنند. در اینجا حلقه بازخورد بسیار قدرتمندی وجود داشته به گونه‌ای که پیشرفت‌ها در توانایی پردازش رایانه‌ای به طراحی رایانه‌های

44. CAD

45. Computer-Aided Design

بهتر منجر شده و این طراحی بهتر به توانایی پردازش رایانه‌ای بهتر انجامیده است. با در نظر گرفتن روند رو به رشد پیچیدگی‌های هوش مصنوعی می‌توان انتظار داشت که حلقه‌های بسیار دیگری از این نوع نیز ایجاد شوند به گونه‌ای که بینش‌های ایجاد شده از سوی رایانه‌های قدرتمندتر (و خودمختارتر) به ایجاد رایانه‌هایی حتی قدرتمندتر بیانجامند.

### گسترش مرزهای حقیقت

فیزیک بنیادین به ما می‌گوید که جنبه‌های مهمی از جهان هستند که ما هنوز به آن‌هایی نبرده‌ایم اما آنها را در آینده مشاهده خواهیم کرد. در این بخش به برخی از این جنبه‌های محتمل اشاره می‌کنم.

اخیرا ابزاری خارق العاده، رصدخانه موج گرانشی تداخل لیزری<sup>۴۶</sup> (لایگو<sup>۴۷</sup>) که به طور مشترک توسط کلتک<sup>۴۸</sup> (موسسه فن‌آوری کالیفرنیا) و ام‌آی‌تی<sup>۴۹</sup> (موسسه فن‌آوری ماساچوست) اداره می‌شود گزارش داده که سیگنالی مرتبط با موج‌های گرانشی ناشی از ادغام دو سیاه چاله عظیم به وزن هرکدام ده‌ها جرم خورشیدی<sup>۵۰</sup> را مشاهده کرده است. لایگو برای تشخیص تغییرات بسیار ناچیز در فواصل میان چند جفت آینه طراحی شده است. اعداد مربوط به آن حیرت آورند. آینه‌ها چهار کیلومتر فاصله دارند و انتظار می‌رود که فاصله میان آنها به اندازه کمتر از یک هزارم قطر یک پروتون تغییر کند. هر عاملی می‌تواند آینه‌ها را تکان دهد، اما موج‌های گرانشی الگوی ویژه‌ای از تغییر را ایجاد می‌کنند و در نتیجه سیگنال‌های آنها می‌تواند از طریق بانگ یا صدا شناسایی شود. این مشاهده نتیجه تلاشی پنجاه ساله بوده است. البته که چنین پروژه‌ای بدون راهنمایی‌های فیزیک بنیادین در مورد نوع سیگنال مورد انتظار و شیوه اندازه‌گیری فواصل بسیار اندک غیرقابل تصور بود. (در این میان باید

46. Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory

47. LIGO

48. Caltech

49. MIT

50. Solar masses



افزود این حقیقت که رویدادهای فاجعه آمیز مانند ادغام دو سیاه چاله چنین اعوجاج اندکی را در فضا زمان ایجاد می‌کنند رویاهای مربوط به مهندسی کرم چاله‌ها، حرکت مافوق نور، ماشین زمان و مانند این‌ها را نقش بر آب کرد.

موج‌های گرانشی پنجره تازه‌ای را رو به جهان گشود و دسترسی به مناطق پنهان و رویدادهای شدید (مانند ادغام سیاه چاله‌ها) را ممکن ساخت. برای بهره‌برداری کامل از همه توان بالقوه آن باید مجموعه‌ای از ابزار بسیار دقیق را به میلیون‌ها کیلومتر دورتر از زمین بفرستیم.

نزدیک‌تر به زمین، درک بشر نیز موارد بسیاری را در بر می‌گیرد که می‌توان به آنها اشاره کرد. برای مثال دید رنگی<sup>۵۱</sup> را در نظر بگیرید. در حالیکه سیگنال‌های الکترومغناطیس که وارد چشم ما می‌شوند دامنه پیوسته و بی‌نهایتی از بسامدها و همچنین قطبش موج‌ها را در بر می‌گیرند اما آنچه ما به عنوان «رنگ» درک می‌کنیم، مخلوطی خام دستانه از تنها یک اکتاو<sup>۵۲</sup> از این بسامدها است، جایی که طیف قدرت در سه مخزن فشرده شده و قطبش در نظر گرفته نمی‌شود. بسیاری از حیوانات نمونه برداری دقیق تری از این طیف‌ها دارند و در نتیجه حس گرهای آنها امواج فرسوخ و فرابنفش را نیز در بر می‌گیرد. ما انسان‌ها در مورد تحلیل فرکانس‌های صوتی عملکرد به مراتب بهتری داریم و می‌توانیم بسیاری از دانگ‌های صوتی را تشخیص دهیم.

در این زمینه اطلاعات بسیار ارزشمندی در مورد محیط زیست وجود دارد که می‌توان از آنها بهره برد، نیازی به اشاره نیست که فرصتهایی هم برای تصویرسازی داده‌ها و هنر می‌توان در این بخش یافت. مایکروالکترونیک و پردازش رایانه‌ای فرصت‌های جذابی را برای دسترسی به این اطلاعات فراهم می‌آورند. با استفاده از شیوه‌های گذار و انتقال صحیح، می‌توانیم بخش‌های غیرقابل درک طبیعت توسط انسان را به صورت نوعی

51. Colour vision

به توانایی موجودات زنده یا اجسامی مانند دوربین برای تشخیص اجسام بر اساس طول موجی ساطع شده از آن‌ها در اثر تابش نور گفته می‌شود.

52. Octave

القا جمعی به کانال‌های قابل تشخیص بشری وارد کنیم. بدین ترتیب توان حسی بشر به میزان قابل توجهی افزایش یافته و درهای بیشتری برای درک محیط پیرامون فراهم می‌آید.

به کمک حسگرها و شبیه‌سازهای حسی، تجربیات فرا کالبدی می‌توانند بسیار قانع‌کننده‌تر باشند. به راحتی می‌تواند بسیاری از فرصت‌های جذاب را برشمرد: گردشگری همه‌جانبه به هر مکانی در هر زمانی بدون اینکه نیازی به خروج از خانه باشد. کالدهای آسیب‌پذیر انسان به‌هیچ‌وجه مناسب شرایط محیطی در عمق فضا نیستند، اما ذهن انسان می‌تواند تجربه خوبی از شرایط را به‌دست آورد. ستاره‌شناسی به کمک ارتش رو به افزایش کاوشگران رباتیک، حضورهای مجازی و کاشت‌های بیولوژیکی مناسب بسیار بیشتر از وضعیت فعلی ارسال انسان‌های با کالدهایی آسیب‌پذیر به فضا پیشرفت خواهد کرد.

### زیست‌شناسی به عنوان منبع و الهام

اگر ادعای اصلی این مقاله را بپذیریم، می‌توان گفت که زیست‌شناسی امکان وجودی موادی را فراهم می‌آورد که در غیراین صورت به وجود نمی‌آمدند. پیش‌تر به امکان پردازش‌گری سه بعدی، با قابلیت سرهم کردن و تعمیر خود اشاره کرده‌ام. چنین تصویری شاید یک خیال‌پردازی مبهم به نظر برسد، اما مجسمه انسان مثال محقق شده‌ای از این تصویر است. به طور مشابه احتمال یک پردازشگر سریع جریان عظیمی از اطلاعات که بر پایه عناصری کند و غیرقابل اطمینان قرار گرفته ممکن است رویایی تخیلی به نظر برسد اما در واقع حس بینایی بشر مثال عینی آن است.

این در واقع منبع الهام جان فون نویمان<sup>۵۳</sup> برای طراحی ماشین‌هایی بود که بتوانند خودشان را بازتولید کنند. برخلاف طراحی‌های آقای نویمان برای ساختار رایانه که سنگ بنای فن آوری‌ای بود که جهان را دگرگون کرد، طراحی ماشین‌هایی با توانایی بازتولید (و چه بسا تکامل) تا امروز همچنان تنها در سطح یک کنجکاوی علمی باقی مانده است. اما نوع بشر

به تنهایی مثالی برای اثبات امکان بالقوه چنین ماشین‌هایی است. دانش به شدت بهبود یافته ما در مورد اینکه طبیعت چگونه خودش را در سطح مولکولی باز تولید می‌کند و همچنین توانایی به شدت بهبود یافته ما برای کنترل جریان مواد و اطلاعات، به خصوص در چاپ سه بعدی (بنگرید به فصل ۱۰)، می‌تواند یک مفهوم بی نظیر را تحقق ببخشد.

در مقابل هیچ موردی در طبیعت مواد نیست که بر اساس آن بتوان گفت سالخوردگی و بیماری بخشی از ذات بشر به عنوان موجوداتی فیزیکی است. شناخت ما از مواد و توانایی مشاهده و کنترل آن در سطوح بنیادین می‌تواند در غلبه بر این ضعف به کار بیاید. این کار در عمل با مشکلات چالش برانگیز بسیاری مواجه خواهد شد و برای ماجراجویی‌ها در علوم میکروسکوپی به طور کلی الهام بخش خواهد بود و همچنین تحلیل داده‌ها برای تشخیص‌های پیچیده بیماری‌ها و مهندسی مولکولی برای درمان‌های پیچیده بیماری‌ها به کار خواهند آمد.

### جمع بندی: فجایع احتمالی

درک تکامل یافته و عمیق ما از مواد فرصت‌های بسیاری برای به کار بردن خلاقیت‌هایی که در راستای خدمت به بشر باشند را فراهم آورده است. به دلایلی که پیشتر ترسیم کردم، به عنوان یک فیزیکدان اطمینان دارم شناخت شیوه کار جهان چشم اندازهای الهام بخشی را برای دستیابی به سطوح تازه‌ای از ثروت مادی و غنای معنوی خواهد گشود. در این مرحله می‌دانیم که چه امکان‌هایی وجود دارد و نتیجه می‌گیریم که کارهای بسیاری مانده که هنوز انجام نشده‌اند. اما پیش از خاتمه دادن به این فصل برای اطمینان هم که شده باید چند جمله‌ای به آن افزود.

از آنجا که فن‌آوری‌های مدرن امکان جمع‌آوری و ثبت پایدار و گسترده دانش موجود و تازه را فراهم آورده‌اند، ممکن است این تصور ایجاد شود که تاریخ فن‌آوری و در نتیجه تاریخ بشر دیگر از هرگونه عقب‌گرد و پسررفت مهم مصون است. پیشرفت ممکن است گاهی سریع‌تر و گاهی کندتر باشد اما پسررفت دیگر جایی در میان گزینه‌های روی میز ندارد.

آیا واقعا چنین است؟ فجایعی که ممکن است ناشی از فن‌آوری‌های مدرن باشند به طور خاص من را نگران می‌سازند؛ مانند جنگی هسته‌ای، فروپاشی زیست محیطی و جنگی بر اساس هوش مصنوعی.

اینکه حضور سلاح‌های هسته‌ای به امری متداول تبدیل شده و البته هفتاد سال خوش شانسی در به راه نیفتادن جنگی هسته‌ای نباید ما را نسبت به خطر بالقوه سلاح‌های هسته‌ای بی‌حس کند. بسیاری از آنها در اختیار ۹ کشور است. فیلم رشته‌ها<sup>۴۴</sup> و پس از آن فیلم دکتر استرنج‌لانو<sup>۴۵</sup> را تماشا کنید. همین کفایت می‌کند.

فروپاشی زیست محیطی ناشی از تغییرات اقلیمی با عاملی انسانی می‌تواند خطر فاجعه آمیز دیگری باشد. میزان آلودگی کربن در جو زمین با مقیاس سیاسی به کندی در حال تجمع است و واکنشی مناسب به آن، مانند در نظر گرفتن و محاسبه عوارض جانبی نیازمند این است که بسیاری از دارایی‌های مضر برای محیط زیست هزینه‌های بیشتری، چندین هزار میلیارد دلار، را بردازند. به سختی می‌توان بر مقاومت صاحبان مصمم دارندگان این دارایی‌ها غلبه کرد. اینکه آیا بشر می‌تواند خرد و بلوغ مورد نیاز برای مقابله با این مشکل به ظاهر بی‌ضرر اما ویرانگر را در خود پدید آورد یا خیر پرسشی است که پاسخ آن هنوز مشخص نیست.

نه انسان و نه هوش مصنوعی می‌توانند از این بصیرت دیوید هیوم<sup>۴۶</sup> طفره بروند که هیچ «بایستی» نمی‌تواند از مجموعه‌ای «هست» منطقی یا علمی منتج شود. دیوید هیوم نتیجه گرفت که: «استدلال تنها برده اشتیاق است، و باید هم همین‌طور باشد، و هرگز نمی‌تواند تظاهر کند که در خدمت بخش دیگری است یا از آن پیروی می‌کند»

خالقان پیشکاران و موجوداتی خودمختار (مانند ربات‌های انسان‌نما) یا

54. Threads

فیلمی که توسط بی بی سی در سال ۱۹۸۴ ساخته شده و جهانی درگیر با جنگی هسته‌ای را به تصویر می‌کشد.

55. Dr. Strangelove

فیلمی که توسط استنلی کوپریک در سال ۱۹۶۴ ساخته شده و بحرانی هسته‌ای میان ایالات متحده آمریکا و اتحاد جماهیر شوروی را به تصویر می‌کشد.

56. David Hume

فیلسوف بریتانیایی مربوط به قرن هجدهم

به صراحت و از طریق برنامه نویسی و یا به‌طور ضمنی و از طریق طراحی انتخاب‌ها، آرمان‌ها و انگیزه‌های اساسی و «اشتقاق» این پیشکاران را تعیین خواهند کرد. بسیاری از کاربری‌های ارائه شده برای هوش مصنوعی تاکنون خدمت به بشر به شیوه‌ای کاملاً سراسر است و بی ضرر بوده‌اند. چنین کاربری‌هایی به بهترین شکل می‌توانند توسط پیشکارانی خودمختار صورت بگیرند که هدف و انگیزه‌های آنان نیز به طور مشابه سراسر است و بی ضرر باشد. اما آنچه بیشتر مشکل‌ساز خواهد بود، استفاده از هوش مصنوعی پیشرفته برای اهداف نظامی است؛ مانند ارتشی از ربات‌ها، یا به طور کلی تر، جنگ افزارهایی با قابلیت‌هایی پیشرفته، مانند ماشین دومی‌دی<sup>۵۷</sup> (روز محشر) در فیلم دکتر استرنج‌لانو، که بدون دخالت انسان خطر را تشخیص داده و نسبت به آن واکنش نشان می‌دهند. می‌توان انتظار داشت که چنین موجودات بسیار پیشرفته‌ای که برای بدگمان و تهاجمی بودن طراحی شده‌اند این بدگمانی و تهاجمی بودن را به شیوه‌های به شدت خلاقانه و غیرمنتظره تفسیر کرده و به کار بگیرند. گروه‌های رقیب از چنین موجوداتی می‌توانند وارد نبردی به شدت ویران‌گر شوند که فاجعه‌ای برای بشر و تمدن به همراه داشته باشد.

فصل سوم

# فرصت‌های تازه در بیوتکنولوژی

رابرت کارلسون<sup>۱</sup>

از داروسازی گرفته تا تولید، زیست‌شناسی درهای فوق العاده‌ای را به روی افراد، شرکت‌ها و اقتصادها خواهد گشود.

در سال ۲۰۵۰ مجله اکونومیست شاید نیازی به چاپ نداشته باشد و در مغز شما بارگذاری شود. سازمان پروژه‌های تحقیقاتی پیشرفته دفاعی<sup>۱</sup> (دارپا<sup>۲</sup>)، بازوی تحقیقاتی وزارت دفاع آمریکا، قصد دارد بین ابزار دیجیتالی و قشر مغزی<sup>۳</sup> پل بزند. این پروژه ۶۰ میلیون دلاری هدفی بلندپروازانه دارد و تلاش می‌کند تا ورودی و خروجی داده‌های دیجیتال را در مغز ایجاد کند. به سختی می‌توان پیش‌بینی کرد که نتایج این یکپارچه‌سازی جهان دیجیتال و مغز انسان چه خواهد بود؟ اما واضح است که آینده زیست‌شناسی (بیولوژی) به آنچه امروز در تصور ما می‌گنجد محدود نخواهد ماند. ادغام آشکار و مستقیم پردازش‌های الکترونیک و بیولوژیک مسیرهایی تازه و غیرقابل پیش‌بینی را در برابر مواد جاندار و بی‌جان خواهد گشود.

مدیران برنامه دارپا از این در هم تنیدگی عصبی (میان رشته‌های عصبی جاندار و بی‌جان) گهگاه به عنوان «مودم قشری<sup>۴</sup>» یاد می‌کنند. کاشت حلزونی و شبکه مصنوعی به ترتیب برای بهبود شنوایی و بینایی سال‌هاست که مورد استفاده قرار می‌گیرند. در درمانگاه‌ها کاشت آزمایشی آرایه‌های الکترودی در مغز برای تغییر مسیر سیگنال‌های عصبی بخش‌های آسیب‌دیده نخاع و برای کنترل عصبی مستقیم اعضاء مصنوعی مورد استفاده قرار گرفته و در برخی موارد این پروتزهای عصبی افرادی که با فلج کامل اندام دست و پنجه نرم می‌کردند را قادر ساخته که دوباره راه بروند.

با این وجود هرچند محققان برای ساختن «زن بیونیک<sup>۵</sup>» واقعا پیش رفته‌اند، اما این فن‌آوری که تا کنون دیگر بخش‌ها را تحت تاثیر قرار داده، خودش تحت تاثیر شاخه علمی تازه‌ای قرار گرفته است. تعمیر

1. The Defence Advanced Research Project Agency

2. DARPA

۳. لایه نازک خاکستری رنگ که سطح مخ را می‌پوشاند.

4. Cortical Modem

5. Bionic Woman

نویسنده به طور غیرمستقیم به سریال زن بیونیک اشاره دارد که در آن شخصیت اصلی داستان پس از یک حادثه به جای اعضای آسیب دیده بدن از اعضای مصنوعی استفاده می‌کند که به او توانایی‌های خارج العاده ای می‌بخشد.

سایبرنتیک<sup>۶</sup> عملکردهای بیولوژیک به زودی با فن‌آوری‌های مربوط به رشد مجدد و جایگزینی بافت‌های آسیب دیده وارد رقابت می‌شود. مهندسان بافت‌شناسی در حال ساخت اندام داخلی قابل پیوند، استخوان و بافت‌های ارتباطی قابل پیوند هستند. برخی از این نوآوری‌ها هنوز از آزمایشگاه‌های تحقیقاتی بیرون نرفته‌اند و برخی دیگر مانند نمونه‌های مختلفی از مثانه، مفضل ران، واژن، نای، رگ، عروق، تخم‌دان، گوش، پوست، مینیسک زانو و جایگزین برای ماهیچه‌های آسیب دیده قلب همین حالا در درمانگاه‌ها به کار گرفته می‌شوند.

به لطف تنوع رو به گسترش شیوه‌های مربوط ساخت بافت‌های تازه، این شاخه از علم پیشرفت فزاینده‌ای را تجربه می‌کند. درست همان‌طور که مودم قشری امکان دسترسی مستقیم بخش‌های جاندار به پردازش دیجیتال را مهیا می‌کند، دستاوردهای پردازش دیجیتال نیز می‌توانند ابزارهای تازه‌ای را برای دستکاری و به کارگیری سلول‌ها فراهم آورند. مهندسانی که در آینده احتمالاً مهندسان اعضاء نامیده می‌شوند، زمانی برای ساخت اعضا به رشد سلول‌های انفرادی محدود بودند، اما امروز می‌توانند با استفاده از چاپگرهای سه بعدی سلول‌ها را به طور دقیق به شکل مورد نیاز برای یک عضو بچینند، درست همان‌طور که بخش‌های یک خودرو، هواپیما و تلفن همراه هوشمند روی شاسی سرهم بندی می‌شوند. همچنین، بر همین اساس، بدن ما به زودی قادر خواهد بود که از شر بافت‌های بیمار خلاص شده و بافت‌های فرسوده را با بافت‌های تازه جایگزین کند. در واقع خیس‌افزارهای<sup>۷</sup> ما به زودی قابل ارتقاء خواهند بود.

ساخت بافت‌های جایگزین تنها نخستین گام در مسیر توسعه پزشکی و داروسازی احیاکننده محسوب می‌شود؛ شاخه‌ای از علم که ابتدا کیفیت زندگی را بهبود خواهد بخشید و سپس احتمالاً آن را به میزان قابل توجهی گسترش خواهد داد. به تدریج درمان‌هایی که برای بهبود مکانیزم‌های

6. Cybernetic

7. Wetwear

خیس‌افزار اصطلاحی است که به پیوند میان بافت‌های زنده و فن‌آوری اطلاعات اشاره دارد و آن را می‌توان در خانواده اصلاحاتی مانند نرم‌افزار و سخت‌افزار قرار داد.



مولکولی سالخورده‌گی به کار می‌روند، به عنوان گام‌های مستقل در نظر گرفته خواهند شد و سپس شکلی فزاینده به خود خواهند گرفت. احتمالا روزی که بتوان گفت «کار ما در این بخش تمام شده» هرگز فرا نمی‌رسد، اما پیشرفت‌ها در طول زمان بر روی هم انباشته شده و با هم ترکیب می‌شوند.

فراتر از دخالت‌های کالبدی و دارویی، بشر به زودی برای اصلاح ژنتیکی خود دست به کار خواهد شد. ابتدا به دنبال حذف برخی بیماری‌ها از تجربه بشری خواهیم بود. در اینجا از بیماری‌های مربوط به ساختار ژنتیکی که به راحتی قابل تشخیص هستند آغاز خواهیم کرد. بیماری‌هایی مانند تالاسمی بتا، بیماری هانتینگتون و کم‌خونی داسی شکل در این فهرست جای می‌گیرند. سپس کاهش خطرات بیماری آلزایمز و همه گونه‌های بیماری قلبی در دستور کار قرار خواهند گرفت.

امروز بسیاری از ناظران با بدبینی به اصلاحات ژنتیکی می‌نگرند که در ابتدا با اهداف تحقیقاتی و صرفا برای یاخته تخم‌های میرا به کار گرفته می‌شد اما کاربردهای آن بسیار در دسترس‌تر از آن هستند که بخواهند صرفا به تصمیم‌گیری در مورد اصلاح یا عدم اصلاح ژنوم‌های نسل‌های آینده محدود شوند. افراد به زودی قادر خواهند بود که ژنوم‌های خودشان را با هر هدفی که در ذهنشان باشد تغییر دهند. فهرست کردن مجموعه‌ای از این خواست‌ها مانند بهبود سلامت عمومی، عملکرد ذهنی و جسمی نیاز چندانی به قدرت تخیل ندارد. بحث در مورد مسائل اخلاقی چنین امکانی و همچنین اینکه اصلاحات ژنتیکی را در چه مواردی می‌توان تعمیم داد و چه کسانی می‌توانند به این امکان دسترسی داشته باشند و چه کسانی باید از آن محروم شوند برای چندین دهه ادامه خواهد یافت.

بدون در نظر گرفتن اینکه چنین مباحثی به کجا ختم خواهد شد، تقاضا برای به کارگیری اصلاحات ژنتیکی بسیار سریع‌تر از آن خواهد بود که سیاست‌گذاران بتوانند مسائل مربوط به آن را به درستی مدیریت کنند. چنین تقاضایی در میل به آمیختن توانایی‌های ذهنی و جسمی بالقوه انسان با فن‌آوری ریشه دارد. امروز ما شاهد درخواست‌های روزانه برای

جراحی زیبایی، خالکوبی، بهبود قدرت بینایی و استفاده از مواد نیروزا در مسابقات ورزشی و کلاس‌های درسی هستیم. بنابراین، حتی اگر تعمیر بدن اقدامی بیولوژیکی باشد، تقاضا برای گسترش توانایی‌ها احتمالا به توسعه و به کارگیری فن‌آوری‌هایی منجر خواهد شد که مودم قشری را در بر می‌گیرند.

## انسان متصل

اتصال عصبی می‌تواند امکان ارتباط مستقیم میان ذهن انسان و اینترنت را فراهم آورد. از طریق این اتصال‌ها، همه زیرساخت‌های فیزیکی، الکترونیکی و اقتصادی موجود می‌توانند در خدمت افراد متصل به این شبکه قرار بگیرند. ما می‌توانیم دسترسی فیزیکی خود در سطح جهان را از طریق ربات‌های متصل به شبکه و اندیشه‌هایمان را نیز از طریق دسترسی مستقیم به کتابخانه‌ها، ابرایانه‌ها و تلسکوپ‌های فضایی گسترش دهیم. به جای چاک‌های باریک در مغزمان، ذهن‌های ما می‌توانند به طور کامل در معرض جهان قرار بگیرند، البته با همه مزایا و خطراتی که چنین امکانی با خود به همراه دارد.

مودم قشری، بر اساس تعریف، کانال ارتباطی دو سوپه‌ای خواهد بود. اتصال عصب‌های انسانی به شبکه جهانی این پرسش را به همراه دارد که چنین جریان اطلاعاتی چه موارد دیگری را می‌توان به همراه داشته باشد. اگر از جریان اینترنت به مغزهایمان شروع کنیم باید گفت که احتمالا همه مشکلات مربوط به امنیت شبکه که امروز با آن مواجهیم و برخی دیگر از مشکلات که هنوز اختراع نشده‌اند را نیز به ذهن‌هایمان راه خواهیم داد. در این میان هرزنامه‌ها و بدافزارها کمترین سطح نگرانی را ایجاد خواهند کرد. داریا همین حالا هم از مشکلات احتمالی آگاه است و به همین خاطر به تازگی برای میزان قدرت ساعد پیوندی کاملا مصنوعی (بیونیک) به «انسان طبیعی» محدودیت‌هایی را در نظر گرفته که چنین تصمیمی به طور خاص به خاطر نگرانی‌های مربوط به وسایل متصل به شبکه صورت گرفته است. این سازمان نگران هک شدن کنترل یک بازوی به شدت قوی، چه توسط

فردی که آن را به همراه دارد و چه توسط یک دشمن بود. البته این تازه آغاز ماجراست.

چه کسی گذرواژه (پسورد) مودم قشری شما را در اختیار خواهد داشت؟ چه کسی جریان به روز رسانی غیرقابل اجتناب نرم افزارهایی که در ذهن شما قرار گرفته‌اند را خواهد داشت؟ همان‌طور که نهادهای امنیتی امروز بر دسترسی به تماس‌های تلفنی، ایمیل‌ها و محتوای تلفن و رایانه شما اصرار دارند، ۳۵ سال دیگر نیز به دنبال راهی برای دسترسی به محتویات ذهن شما خواهند بود؟ گروه‌های دیگر چقدر ممکن است از چنین راه‌هایی برای دسترسی به ذهن شما سوء استفاده کنند؟ حتی در مواجهه با چنین پرسش‌ها و مخاطراتی، بازهم بسیاری از افراد از چنین فن‌آوری‌های تازه‌ای استقبال خواهند کرد.

به راحتی می‌توان این را پیش‌بینی کرد. ویلیام گیبسون<sup>۸</sup>، نویسنده داستان‌های علمی تخیلی، به خوبی پی برد که: «آینده همین حالا اینجاست، فقط به طور یکنواخت توزیع نشده است.» داستان‌های علمی و تخیلی مخزنی از ایده‌ها هستند و بهترین‌های این ژانر پیامدهای مربوط به پیشرفت تکنولوژی را بسیار زودتر از تحقق آنها بیان می‌کنند. هرچند که پروتزه‌های عصبی در مراحل آغازین خود به سر می‌برند و در بسیاری از بخش‌های جهان قابل دسترس نیستند، اما نمونه‌های اولیه آن همین امروز هم کار می‌کنند. هیچ مانع تکنولوژیکی مربوط به علوم فیزیک، شیمی یا زیست‌شناسی در مقابل این فن‌آوری قرار ندارد و سرعت پیشرفت آن تنها به این مربوط می‌شود که نسبت به پیامدهای ساخت چنین دستگاه‌هایی تا چه حد بی‌توجه باشیم. تقاضای چنین محصولاتی در آینده به طور حتم بسیار زیاد خواهد بود و توسعه به کارگیری آنها به زودی به جای اینکه تحت تاثیر علوم پایه باشد، به جداول زمانی توسعه محصول مربوط خواهد شد. با این حال هر تکنولوژی تازه‌ای موارد غافلگیرکننده‌ای را نیز با خود به همراه دارد. درست همان‌طور که امروز از «جدا افتادگی دیجیتال» ناشی از سطح دسترسی متفاوت به اینترنت به عنوان نوعی

8. William Gibson

تبعیض آموزشی یاد می‌شود، آیا کاشتهای مغزی می‌توانند این موانع تبعیض آمیز را رفع کنند یا آنها را تشدید می‌کنند؟ با توجه به افرادی که توان مالی دسترسی به آخرین به روز رسانی‌های مربوط به کاشت مغزی را دارند، چه طبقات اقتصادی و اجتماعی تازه‌ای پدید خواهند آمد؟ ما در حال برداشتن گام‌های به شدت واقعی به سوی فصل‌های آغازین همه کتاب‌هایی هستیم که گیبسون تاکنون نوشته است و یا حتی باید آماده مواجهه حقیقی با همه کتاب‌هایی باشیم که او اکنون در ذهنش می‌پروراند.

### ملاقات نرم‌افزار با خیس افزار

مهندسی ژنتیک، داروهای احیاءکننده و فن‌آوری اطلاعات در نهایت هم‌گرا خواهند شد. پل زدن میان پردازش رایانه‌ای و مواد زنده مزایا و چالش‌هایی را به همراه خواهد داشت. درست همان‌طور که اتصال به شبکه‌ها باعث پیچیده شدن امنیت نظام بانکی، بخش زیرساختی مانند سدها و نیروگاه‌ها و بخش تولید شده است. چنین چالش‌هایی ما را دوباره به گیبسون و صفحات آغازین نخستین رمانش، نورومنسر<sup>۹</sup>، می‌رساند، جایی که شخصیت داستان درمی‌یابد که عضو مهندسی شده و پیوند زده شده به او، هک شده تا زهری را در بدنش منتشر کند و او برای دریافت پادزهر باید کاری که توسط هکر از او خواسته شده را انجام دهد. همین حالا هم اعضای بدن مهندسی شده در آزمایش‌های درمانگاهی به کار می‌روند و هنگامی که این فن‌آوری در آینده به طور یکنواخت و متقارن توزیع شود و در دسترس همگان قرار بگیرد، باید نگران بدافزارهایی باشیم که در خیس‌افزار ما قرار گرفته‌اند. اگر این خیس‌افزار پس از قرارگیری در بدن نیازمند به روز رسانی باشد چه؟ چه کسانی مسئول مدیریت این به روز رسانی‌ها خواهند بود و آیا چنین افرادی اجازه ارسال کدهای رایانه‌ای جدید از طریق شبکه بیولوژیکی را خواهند داشت، شبیه به آنچه امروز در به روز رسانی نرم افزارهای تلفن‌های همراه هوشمند انجام می‌شود؟ به بیان دیگر، آیا ما برای تنظیمات باید به پزشک مراجعه کنیم و یا اینکه

کدهای بیولوژیکی به شیوه دیگری منتشر می‌شوند، مثلاً به شیوه‌ای که به طور همزمان برای همه انجام شود؟ آیا قادر خواهیم بود که از دریافت این به روز رسانی‌ها اجتناب کنیم؟ در نهایت اینکه چه کسی گذرواژه عضوهای کاشته شده ما را خواهد شد، صرف‌نظر از اینکه گذرواژه عضوهای کاشته شده چه مفهومی در آن زمان خواهد داشت.

بار دیگر باید یادآور شد که هرچند عجیب به نظر می‌رسد، اما هیچ‌کدام از این سناریوها با در نظر گرفتن آنچه ما از فیزیک، زیست‌شناسی و شیمی می‌دانیم غیرممکن نیستند. درست همانند مودم قشری، تقاضای هنگفتی نیز برای فن‌آوری‌هایی وجود خواهند داشت که از بیماری‌های ناشی از کهولت سن بکهند و به کیفیت زندگی سالمندان بیافزایند، در نهایت سالخوردگی را از نقطه پایانی اجتناب ناپذیر به فرآیندی مدیریت شده و پیوسته تبدیل کنند. با این وجود هنوز راهی طولانی برای تحقق این هدف در پیش است.

هم مودم قشری و هم داروهای احیاکننده نمونه‌های عملی ظرفیت مهندسی بشر برای مواجهه با دریایی از ناشناخته‌ها هستند. ما هنوز نمی‌توانیم یک مغز، یا هر چیزی که حتی کم و بیش شبیه مغز کار کند، را طراحی کنیم چرا که درک ما از شیوه عملکرد سلول‌های مغزی، چه به صورت انفرادی و چه به صورت گروهی، ناقص است. با این وجود، ما با بی‌توجهی به این درک ناقص، قابلیت‌های تازه‌ای را برای فیزیولوژی انسانی بنا نهاده‌ایم. اکنون زبان نوروها (یاخته‌های عصبی) را در آن حد می‌توانیم بخوانیم و بنویسیم که قادر باشیم آنها را به طور مستقیم به رایانه‌های بی‌جان متصل کنیم. همین حالا آن قدر در مورد رفتار سلول‌های انسانی کنترل داریم که بتوانیم آنها را در کنار یکدیگر به شکلی مفید قرار دهیم تا آنها به کمک مکانیزم‌هایی که کاملاً از آنها سر در نمی‌آوریم به اندامی تبدیل شوند که عملکرد خوبی دارد. این دلالتی است بر اینکه دامنه بیوتکنولوژی در دهه‌های پیش‌رو به آنچه در مورد ذرات بیولوژیکی می‌دانیم محدود نخواهد بود بلکه به این بستگی دارد که تا چه حد بتوانیم آنچه در عمل در مورد

عملکردهای بیولوژیکی می‌شناسیم را به خوبی در کنار یکدیگر بچینیم. این شیوه‌ای است که در طول تاریخ هم به نتایج قابل توجهی منتهی شده است.

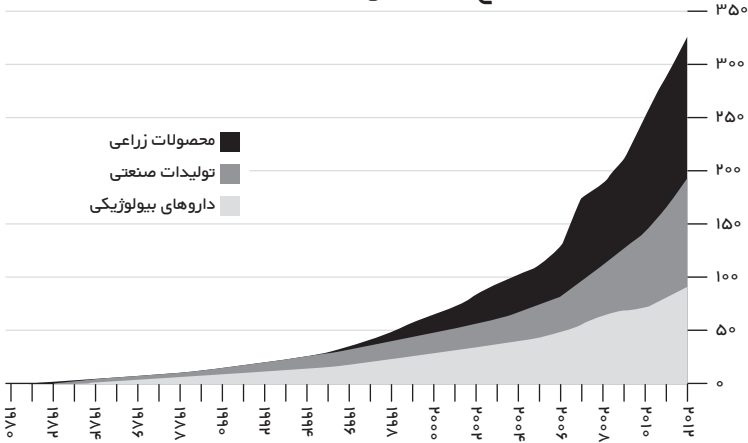
### پایه و اساس توسعه بیوتکنولوژی

هرچند ما هنوز در حال یادگیری شیوه‌های موثر و ایمن مرمت و اصلاح بدن انسان هستیم که ژنوم‌ها را در بر می‌گیرند، اما چندین دهه است که در آزمایشگاه‌ها مشغول خواندن و نگارش کدهای ژنتیکی برای دیگر جانداران هستیم. تقاضا برای این فن‌آوری بسیار زیاد است. با توجه به کشش اقتصادی مربوط به بیوتکنولوژی، به رغم اینکه این گرایش گام‌های نخستین را بر می‌دارد، شناخت اینکه به کدام سو می‌رویم ضرورت دارد. فعالیت‌های تجاری مبتنی بر اصلاح ژنتیکی به تدریج و بدون سر و صدا، نقشی پررنگ در اقتصاد آمریکا یافته‌اند.

در سال ۲۰۱۲ سهم بیوتکنولوژی از درآمد ایالات متحده از ۲ درصد تولید ناخالص داخلی فراتر رفته بود (بنگرید به نمودار ۳-۱). زیست دارو، محصولاتی که اصلاح ژنتیکی شده‌اند و بیوتکنولوژی صنعتی (مانند سوخت‌ها، آنزیم‌ها و مواد بیولوژیکی) مهمترین زیربخش‌های ایجاد کننده این درآمد بوده‌اند. اگر بیوتکنولوژی به عنوان یک صنعت در نظر گرفته شود، سهم آن در اقتصاد در سال ۲۰۱۲ بیشتر از بخش معدن (۰.۹ درصد)، بخش‌های همگانی مانند آب و برق (۱.۵ درصد)، با بخش ساخت رایانه و محصولات الکترونیکی (۱.۶ درصد) بوده است. اگر اندازه نسبی بخش بیوتکنولوژی غافلگیرکننده به نظر می‌رسد به این خاطر است که به ندرت مورد سنجش قرار گرفته است. منفعت اقتصادی ناشی از بخش نیمه رساناها به اقتصاد آمریکا از سال ۱۹۵۸ توسط وزارت بازرگانی آمریکا مورد سنجش قرار گرفته یعنی از زمانی که سهم آن کمتر از ۰.۱ درصد اقتصاد بود؛ در حالی که تا سال ۲۰۱۶ هیچ سنجش رسمی از اندازه بخش بیوتکنولوژی انجام نشده است. در نتیجه تاثیر اقتصادی آن برای ما غافلگیرکننده به نظر می‌رسد.

نمودار ۳-۱ برخاستن

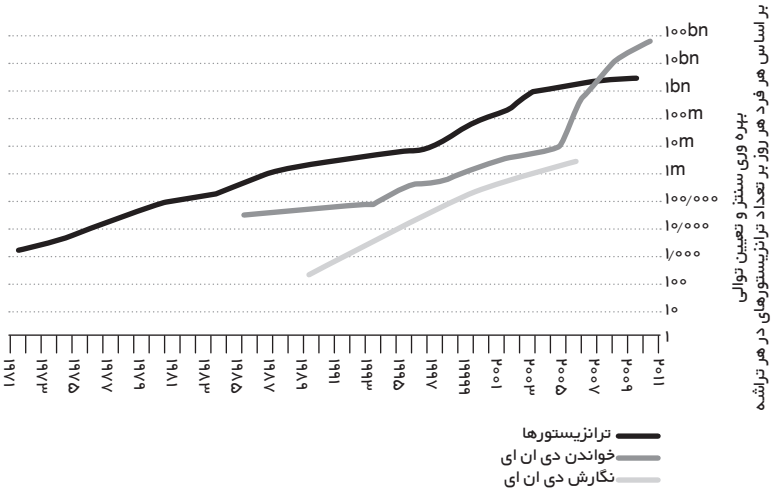
درآمد صنایع بیوتکنولوژی در آمریکا، میلیارد دلار



منابع: بیواکونومی، نیچر بیوتکنولوژی

نمودار ۳-۲ کارلسون و قانون مور

بهره‌وری سنتز و تعیین توالی دی‌ان‌ای و در مقایسه با پیشرفت میکروچیپ



منبع: رابرت کارلسون

استفاده ابزارهای تجاری موجود

درآمدهای ناشی از بخش بیوتکنولوژی به طور فزاینده‌ای به توانایی خواندن، اصلاح و نگارش کدهای ژنتیکی یک جفت باز دی‌ان‌ای<sup>۱۰</sup> در واحد زمان تکیه دارند. به لطف توانایی‌هایی که در سی سال اخیر توسعه یافته‌اند، ابزارهای خودکار اکنون دستورالعمل‌های الکترونیک و بیولوژیک را به طور مستقیم در هم می‌آمیزند. این مقیاس زمانی از این بابت اهمیت دارد که کوتاه‌تر از زمانی است که از حالا تا سال ۲۰۵۰ (میلادی) یعنی سال پایانی دوره مدنظر این کتاب باقی مانده است. در یک بازه زمانی سی ساله دیگر، این فن‌آوری به مراتب ارزان‌تر، فراگیرتر و تواناتر خواهد بود. از سال ۱۹۸۵، هزینه‌های خواندن و نگارش دی‌ان‌ای کاهش یافته در حالی که توانایی میزان انجام آن در واحد زمان به صورت حداقل نمایی رشد کرده و تقریباً هر ۱۸ ماه دو برابر شده است. طی سال‌های اخیر، میزان بهره‌وری در تعیین توالی با چیدمان ژنتیکی به صورت ابرنمایی رشد کرده آن هم به لطف تقاضای رو به افزایش برای خواندن و نگارش دستورالعمل کدهای ژنتیکی انسان، ژن‌های بیماری‌زا، تومورها، محصولات کشاورزی، حیوانات خانگی و هر ارگانیسم طبیعی‌ای که در دسترس دانشمندان بوده است.

به لطف فن‌آوری‌های دیجیتال، این توالی‌های ژنتیکی ثبت شده مجموعه‌ای از دستورالعمل‌های مفید برای ایجاد توانایی‌های ژنتیکی تازه جهت تولید ارگانیسم‌هایی را فراهم آورده که تا امروز به طور عمومی برای میکروب‌ها و گیاهان به کار گرفته شده‌اند. این دی‌ان‌ای تازه می‌تواند تنها یک پروتئین باشد که در بخش داروسازی به کار می‌رود و یا می‌تواند کد مربوط به یک مسیر آنزیمی کامل باشد که می‌تواند به تولید مولکول‌هایی بیانجامد که امروز در بشکه‌های نفت یافت می‌شوند. پس از دهه‌ها تلاش برای یادگیری برنامه نویسی بیولوژیکی، امروز ما دیگر در طراحی‌ها تنها به ژن‌های قابل یافت در طبیعت و یا سازوکار آنها محدود نیستیم و فراتر از آن رفته‌ایم.

اکنون می‌توان کدی ژنتیکی را بر اساس عملکرد به خصوصی

10. DNA base pair



نوشت و سپس همه این دستورات عملی را در یک ژنوم قرار داد. هر چند، همچون مودم قشری و اندام‌های مصنوعی، ما در حالی شروع به مهندسی ژنتیک می‌کنیم که به طور دقیق نمی‌دانیم همه اجزای آن چگونه عمل خواهند کرد؟ پیچیده‌ترین چیدمان ژنتیکی که اکنون در استفاده‌های تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرد تنها از حدود دوازده ژن قرار گرفته در ژنوم‌های مخمر تشکیل شده خودشان از بیش از پنج هزار ژن تشکیل شده‌اند که اطلاعات بسیار اندکی در مورد برخی از این ژن‌ها وجود دارد. مهندسی ژنتیک اکنون در حال رمزگشایی از سیستمی پیچیده است؛ آن هم در حالی که دستورالعمل یا کتاب راهنمای کاملی برای آن وجود ندارد. سرمایه‌گذاری هنگفت طی سی سال پیش‌رو می‌تواند در بهبود این میزان از بی‌توجهی به کار بیاید.

احتمالاً دهه‌های پیش‌رو را صرف آموختن چگونگی کنار هم قرار گرفتن همه بخش‌ها و سیستم‌های تشکیل دهنده حیات خواهیم کرد. این اجزا، عملکردهای آنها و فعل و انفعالات میان آنها محدود هستند و با احتمال بسیار زیاد در طول زمان ما به طور کامل قادر به تفسیر آنها خواهیم بود. هم‌زمان با بهبود شناخت، تقاضای رو به رشد بازار به طور اجتناب‌ناپذیری به بهبود توانایی‌های مهندسی خواهد انجامید. زمانی که ما بالاخره می‌دانیم که مشغول به چه کاری هستیم جهان چگونه خواهد بود؟

### آینده‌ای که مهندسی ژنتیک به همراه می‌آورد

برای ترسیم آینده مهندسی بیولوژیک، مهندسی معکوس مثال زیر را در نظر بگیرید. تصور یک بوئینگ ۷۷۷ حین پرواز در سال ۱۸۹۲ یعنی یک قرن پیش از پرواز این هواپیما چگونه بود؟ در دوره‌ای که خودروها خبر مهمی محسوب می‌شدند و اسب‌ها و فضولات آنها هنوز بخشی از زندگی روزانه محسوب می‌شد، هر جنبه مربوط به شکل امروزی ماشین‌های پرنده یک راز محسوب می‌شد. مواد و شیوه‌هایی که در ساخت هواپیمای بوئینگ به کار رفته‌اند، موتورها و سیستم‌هایی که آن

را در هوا نگه می‌دارند، محاسبات، پردازش‌ها و مدیریت پیچیدگی‌هایی که امکان می‌دهند خلبانی خودکار (اتوپایلِت<sup>۱۱</sup>) نود درصد بر خاستن و نشست‌ها را مدیریت می‌کند، همگی در آن زمان کاملاً غیرمحمتمل به نظر می‌رسیدند. هواپیمای بوئینگ ۷۷۷ در سال ۱۸۹۲ (که از آن زمان تاکنون تغییری نکرده‌اند) آشکارا فراتر از تصور یا توانایی‌های مهندسی آن زمان بود، هر چند که طبق قوانین فیزیک (که تاکنون تغییری نکرده‌اند) چنین امکانی وجود داشت. سپس، طی یک دوره ۱۰۰ ساله، قطعات و تکه‌های تشکیل دهنده یک بوئینگ ۷۷۷ بهبود یافته، اصلاح شدند و در کنار یکدیگر قرار گرفته و به خوبی کار کردند به گونه‌ای که امروز به نظر امری متداول می‌آید. این زیرساخت اکنون آن قدر تکامل یافته و به خوبی یکپارچه شده که طراحان می‌توانند پشت میزهایشان بنشینند و خطوط تولید اتوماتیک در سوی دیگر جهان را مدیریت کنند.

با این وجود ما هنوز کاملاً نمی‌دانیم که هواورها (بال‌های هواپیما) چگونه تعادل پروازی خود را در جریان هوایی آشفته حفظ می‌کنند. طراحی‌های ما به جای آنکه بر پایه شرح دقیق و جزئی پرواز بنا نهاده شده باشد، بر پایه مدل‌های محاسباتی پویایی سیال قرار گرفته که بیشتر از داده‌های به دست آمده از شبیه‌سازی بهره می‌برند. در نهایت ما به این هواپیماهای برآمده از شبیه‌سازی‌ها اطمینان داریم. به رغم همه کمبودهای علمی مربوط به پرواز، محصولات تولید شده بر اساس «طراحی برای ساخت» آن قدر ایمن و البته قابل تولید مجدد هستند که ما در آنها درست پس از برخاستن هواپیما به خواب فرو می‌رویم. اینکه هوانوردی مدرن امروز چندان هیجان‌انگیز به نظر نمی‌رسد، در واقع سرنخی بسیار مفیدی در مورد آینده بیوتکنولوژی است. هر چند ممکن است کلیشه‌ای به نظر برسد، اما در آینده تولید محصولات بیولوژیکی همان قدر کسل کننده خواهد بود که ساخت و پرواز هواپیماها امروز امری متداول به نظر می‌رسد.

چنین تحولی همین حالا هم آغاز شده است. صنعت اتوماسیون

طراحی بیولوژیکی، شبیه همان روشی که در هوانوردی مدرن به کار گرفته می‌شود، اکنون در حال سربرآوردن از شرکت‌های نوپای بلندپرواز در قاره‌های مختلف است. شرکت‌های داروسازی و بیوتکنولوژی بزرگ که از چابکی لازم برای هدایت بخش تحقیق و توسعه به این مسیر برخوردار نیستند، اصلی‌ترین مشتری‌های رویکرد تازه به حساب می‌آیند. هنگامی که طراحی برای ساخت و تولید بیولوژیک به جنبه متداول مهندسی زیستی تبدیل شود، ما به امکانی تکنولوژیکی دسترسی خواهیم داشت که به وسیله آن قادر خواهیم بود تقریباً هر چیزی که در طبیعت مشاهده می‌کنیم را بسازیم. در آینده، مرزهای بیوتکنولوژی از محدودیت‌های امروزی مربوط به اجزاء و فرآیندهای بیولوژیکی به مراتب فراتر خواهد رفت.

همراه با گسترش توانایی‌های ما برای دستکاری‌های بیولوژیکی، خلاقیت ما که اکنون محدود به تجربیات امروزی است نیز به مرور گسترش خواهد یافت. زمانی که از محدودیت‌های امروزی رها شویم، با استفاده از اجزاء و ترکیبات بیولوژیکی چه چیزهایی را خواهیم ساخت؟ با نگاه به پروژه دیگر دارپا که تلاش می‌کند با استفاده از زیست‌شناسی شیوه دستکاری اجسام بی‌جان را تغییر دهد، می‌توانیم نشانه‌هایی از پاسخ پرسش بالا را ببینیم.

سنتز شیمیایی استاندارد در علم شیمی (که شامل ترکیب چند ماده اولیه و بدست آوردن ماده‌ای جدید از واکنش شیمیایی میان مواد اولیه است) مجموعه‌ای از مولکول‌ها را فراهم آورده که سنگ بنای اقتصاد مدرن هستند. به دست آوردن بسیاری از محصولات امروز تنها از مولکول‌های کاملاً ساخت بشر بدست آمده‌اند. سنتز شیمیایی از طریق مواردی مانند پلاستیک، روکش‌ها یا کاتالیزورها جهان ما را به معنای واقعی متحول کرده است. اما سنتز شیمیایی تنها برای ساخت بخش کوچکی از همه موادی قابل تصور از نظر تئوری به کار گرفته شده است. در مقابل آنیم‌ها می‌توانند فعل و انفعالات شیمیایی را به گونه‌ای مدیریت کنند که امکان دسترسی به دامنه گسترده‌تری از مواد بالقوه

فراهم شود. داریا قصد دارد با توسعه این توانایی و به کارگیری ترکیب‌های تازه‌ای از آنزیم‌ها هزاران ماده‌ای را بسازد که پیش‌تر وجود نداشته‌اند. علاوه بر این، پس از یک قرن تلاش، آن‌قدر در مورد بیوشیمی آموخته‌ایم که بتوانیم آنزیم‌های جدید با توانایی‌های تازه را طراحی کنیم به گونه‌ای که دسترسی به دامنه وسیع تری از مواد را ممکن سازند.

بنابراین، حتی در حالی که برای توصیف همه‌جانبه و دقیق زیست‌شناسی تلاش می‌کنیم، همین حالا هم از آن برای دور زدن بسیاری از محدودیت‌های مربوط به فن‌آوری‌های توسعه یافته پس از قرن بیست و یکم بهره می‌بریم. فراتر از ساخت مواد تازه، فن‌آوری‌های بیولوژیکی به عنوان بخش عملیاتی مهمی از سیستم‌های تولید شده از موادی مانند سیلیکون و فلز در نظر گرفته می‌شوند. بیوتکنولوژی، شیوه ذخیره سازی اطلاعات دیجیتالی را متحول خواهد کرد.

## از دیسک به دی‌ان‌ای

اینترنت آن‌قدر سریع رو به گسترش است که نیاز ما برای بایگانی داده‌ها به زودی از توانایی فن‌آوری‌های موجود فراتر خواهد رفت. اگر شیوه‌های فعلی ادامه یابند، در دهه‌های پیش‌رو نه تنها به صورت فزاینده و نمایی نیازمند نوارهای مغناطیسی، دیسک درایوها یا کارت‌های حافظه هستیم بلکه تعداد کارخانه‌های مورد نیاز برای تولید و انبار محصولات ذخیره سازی اطلاعات نیز باید رشد داشته باشند. حتی اگر چنین پدیده‌ای از نظر فنی محتمل باشد، اما از نظر اقتصاد غیرمحتمل است. اما زیست‌شناسی می‌تواند راه حلی را ارائه دهد. دی‌ان‌ای مدیومی به مراتب پیچیده‌تر از ابزار فعلی برای ذخیره سازی اطلاعات است و حجمی از اطلاعات که در آن می‌توان قرار داد به مراتب از ظرفیت حتی ثوری نوارهای مغناطیسی یا مواد جامد دیگر بیشتر است.

انباری بسیار بزرگ پر از نوارهای مغناطیسی را می‌توان با مقداری دی‌ان‌ای به حجم یک حبه قند جایگزین کرد. علاوه بر این، در حالیکه

نوارهای مغناطیسی ممکن است چندین دهه دوام بیاورند و کاغذها چند هزار سال باقی می‌مانند، ما دی‌ان‌ای‌های دست نخورده و سالمی را در لاشه‌های حیوانات یافته‌ایم که هفتصد و پنجاه هزار سال را به صورت یخ زده در تندرای کانادا سپری کرده‌اند. در نتیجه نیاز به ترکیب توانایی ما در خواندن و نگارش دی‌ان‌ای با نیاز رو به افزایش ما برای ذخیره سازی بلندمدت تر اطلاعات وجود دارد. حتی تلاش برای کدنویسی و بازیابی متن، عکس و ویدئو در دی‌ان‌ای همین حالا هم آغاز شده است.

دولت‌ها و شرکت‌ها نیز به طور مشابه به این فرصت پی برده‌اند و هر دو در حال اختصاص منابع مالی برای حمایت از توسعه زیرساخت‌های مربوط به سنتز و توالی ژنتیکی هستند. برای رقابت با نوارهای مغناطیسی مرسوم و هارددرایوها، یک «دی‌ان‌ای درایو» باید قادر باشد که معادل حدود ده ژنوم انسان را در یک دقیقه بنویسد و بخواند که این رقم بیش از ده برابر تقاضای جهانی فعلی برای توالی یا چیدمان دی‌ان‌ای است. اندازه تقاضا برای ذخیره دی‌ان‌ای و قیمتی که در آن این ذخیره باید کار کنند، به طور کامل اقتصاد خواندن و نگارش اطلاعات ژنتیکی را تغییر خواهد داد و بازارهای چند میلیارد دلاری فعلی موجود برای بیوتک را به حاشیه برده و در همان زمان به طور گسترده‌ای توانایی‌های بازنویسی برنامه موجودات زنده و حیات را گسترش خواهد داد. چنین کاربردهای نامتعارف و بی سابقه‌ای از بیوتکنولوژی در طول زمان افزایش خواهند یافت.

### سرزمین شیر و بیوپول<sup>۱۲</sup>

توانایی‌های تولیدی بالقوه تخمیر ناشی از ادغام زیست‌شناسی و مهندسی فرآیند را در نظر بگیرید. صنعت تولید آجیو چه از نظر فنی و چه از نظر اقتصادی در همه مقیاس‌ها کار می‌کند؛ از تولید میلیون‌ها لیتر در سال توسط غول‌های چند ملیتی گرفته تا چند هزار کارگاه کوچک که فرآیند تولید در آنها بسیار سنتی است. این ساختار صنعتی

نشان می‌دهد که تولید بیولوژیکی قابل دسترس در نقاط مختلف می‌تواند به رقیبی برای تولید متمرکز تبدیل شود و این باور ایجاد شود که اصطلاح «صرفه جویی در مقیاس» همواره به نفع شرکت‌های بزرگ نیست. علاوه بر این، شرکت‌های نفتی بزرگ و یکپارچه تنها در صورت در میان بودن ده‌ها میلیارد دلار سرمایه قابل زیست هستند، در حالی که کسب و کارهای تخمیر محور می‌توانند تنها با چند هزار دلار تجهیزات فعالیت کنند.

با طراحی مجدد سهم بیولوژیکی چنین محصولاتی می‌توانیم به ظهور بازارهایی کاملاً سودآور و کاملاً انعطاف‌پذیر امیدوار باشیم. آبجو که بخش بیشتر آن را آب تشکیل می‌دهد حداکثر چند دلار برای هر لیتر می‌ارزد، اما میکرورها می‌توانند مولکول‌هایی را پدید بیاورند که بهای آنها به چندین هزار دلار برای هر لیتر برسد. از سهم بیش از ۱۰۵ میلیارد دلاری صنعت بیوتکنولوژی در اقتصاد آمریکا در سال ۲۰۱۲، حداقل ۶۶ میلیارد دلار از محصولات بیوشیمی تخمیری به دست می‌آید که همین حالا صنایع پتروشیمی را در بازارهای جهانی به چالش کشیده‌اند (البته در اینجا بیواتانول در نظر گرفته نشده که تنها در آمریکا در سال ۲۰۱۲ ده میلیارد دلار به تولید ناخالص داخلی افزوده است).

به عنوان نشانه دیگری از تقاضای رو به رشد برای صنعت بیوتکنولوژی می‌توان گفت که صنایع داروسازی اکنون در حال گذار از داروهای شیمیایی و داروهای مولکولی کوچک مانند آنتی‌بیوتیک‌ها به سوی داروهای بیولوژیکی هستند تا از این طریق در هزینه‌ها، پسماندها و میزان انتشار کربن صرفه‌جویی کنند. تقاضای رو به افزایش این محصولات شیمیایی تجدیدپذیر از طریق سیستم‌های تولیدی تشکیل شده از اجزای بیولوژیکی و غیربیولوژیکی برطرف خواهد شد.

کشاورزان همین حالا نیز به مزایای رویکردهای ترکیبی مانند شیردوشی رباتیک برای تولید لبنیات پی برده‌اند. گاوها و ربات‌ها همراه با یکدیگر سامانه یکپارچه‌ای با بهره‌وری و سودآوری بسیار بالا را تشکیل می‌دهند که همین حالاتعداد چنین سامانه‌هایی که مشغول به کارند

از ۲۵ هزار سامانه فراتر می‌رود. گاوها به سرعت می‌آموزند که هر زمان که باب میلشان باشد وارد جایگاه شیردوشی شوند. در حالی که سلامت و بهره‌وری آنها نیز توسط تراشه‌های الکترونیکی که در قلاده آنها قرار داده شده تحت نظر است و این را می‌توان نوعی «اینترنت گاوها» نامید. مهم اینکه به نظر می‌رسد گاوها هم از چنین سیستمی نفع می‌برند چرا که دفعات کمتری مورد معاینه پزشک قرار می‌گیرند و شیر بیشتری تولید می‌کنند. اتوماسیون فرآیندهای آماده‌سازی غذا و جمع‌آوری فضولات گاوهای متصل به شبکه را نیز می‌توان به این فهرست افزود.

نکته حیاتی در اینجا، همچون تولید آبجو، این است که دامپروری‌هایی که اتوماسیون را به کار گرفته‌اند از سیستم تولید با بهره‌وری بالا، انعطاف‌پذیر و به خوبی توزیع شده بهره‌بردارند. این یکپارچه‌سازی گسترش روندی چندین دهه‌ای است که در آن تولید شیر دو برابر شده در حالیکه اندازه «ناوگان شیردهی» یا همان تعداد دام‌های به کار گرفته شده برای تولید شیر به نصف کاهش یافته است.

حالا تصور کنید که این «مازاد» گاوها می‌تواند به جای شیر سوخت یا مواد شیمیایی دیگر تولید کند حجم چنین محصولاتی می‌تواند معادل میزان ذکر شده در فرمان تولید سوخت‌های تجدیدپذیر در آمریکا برای سال ۲۰۱۷، یا تقریباً ۱۷ درصد کل تقاضای بنزین در آمریکا باشد.

بنابر برنامه‌های فعلی، برآورده ساختن مقادیر ذکر شده در فرمان تولید سوخت‌های تجدیدپذیر نیازمند ۱۷۰ میلیارد دلار برای ساخت صدها «پالایشگاه بیوتکنولوژی یکپارچه» است که تصور دقیقی هم از آنها وجود ندارد. در مقابل، ارزش ناوگان شیردهی آمریکا امروز حدود ۲۰ میلیارد دلار است. اگر ۱۰ میلیارد دلار هم برای یافتن شیوه‌های مهندسی گاوها برای تولید سوخت و محصولات شیمیایی اختصاص دهیم، هنوز به راحتی بیش از ۱۰۰ میلیارد دلار جلو هستیم.

با این حال هزینه‌های توسعه احتمالاً حتی کمتر خواهند بود، چرا

که برای مهندسی زیستی گاوهای فعلی که برای تولید شیر خودشان به جایگاه شیر می‌روند مجبور نیستیم که گام‌های بلندی برداریم. ما همین حالا نیز می‌دانیم که می‌توانیم سامانه‌ای تخمیری بسازیم که میکروب‌هایی مهندسی را در بر بگیرد که بتوانند مواد اولیه ارگانیک را مصرف کرده و مواد شیمیایی با ارزش تولید کنند. همان‌طور که حضور ربات‌های خودکار که با چرخ یا پا به این سو و آن سو می‌روند قریب الوقوع به نظر می‌رسد. ترکیب این فن‌آوری‌ها به طور کامل شیوه مدیریت منابع و سازمان‌دهی تولید را متحول خواهند کرد.

### چطوری<sup>۱۳</sup>، کوبورگ<sup>۱۴</sup>

ربات‌هایی مجهز به پیمان‌های فرآوری بیوتکنولوژی را تصور کنید که به آرامی به این سو و آن سوی چراگاه می‌روند و مجموعه‌ای از محصولات زراعی را مصرف کرده و این مواد را به مجموعه‌ای از مواد از سوخت و مواد شیمیایی گرفته تا دارو در می‌آورند و سپس محصولات تولید شده را به مراکز جمع‌آوری محصول می‌برند. این ربات‌ها ممکن است شبیه گاو باشند یا به سادگی شبیه ربات‌های جمع‌آوری محصول امروزی باشند که اتوماتیک هستند، با کمک ماهواره هدایت می‌شوند و با مخازن تخمیر آمیخته شده‌اند. این «کوبورگ»‌های دوگانه که در واقع مخمرهای متحرک کوچک هستند، می‌توانند خودکار بوده و به سازوکار اصلی تولید محصولات بیولوژیکی تبدیل شوند.

شکل نهایی این موجودات دوگانه هرچه که باشد، بی تردید ما اجزاء بیولوژیک، ربات‌ها و پردازش‌گرهای دیجیتال را به بهترین شکل ممکن به کار خواهیم گرفت. پیام فراگیر این نیست که مرزهای زیست‌شناسی به وسیله پردازش دیجیتال گسترش خواهند یافت بلکه پیام اصلی این خواهد بود که هر دوی این فن‌آوری‌ها به خاطر تاثیرات

13. Howdy

عبارتی که برای حال و احوال خودمانی در زبان انگلیسی به کار می‌رود.

14. Cowborg

اشاره نویسنده به شخصیت کارتون کوبورگ شکست‌ناپذیر است که در آن کوبورگ در واقع گاوی رباتیک است.



متقابل به سوی مسیرهای تازه‌ای حرکت خواهند کرد. چنین تصویری شاید خیلی خارق‌العاده و کمی تخیلی به نظر برسد، اما به خاطر داشته باشید که این کتاب پیشرفت‌هایی را مدنظر دارد که در فاصله زمانی کمی بیش از سه دهه روی خواهند داد. از آنجا که مزایای بیوتکنولوژی همین حالا هم تقاضای قابل توجهی ایجاد کرده و از آنجا که موانع مربوط به آن به سرعت در حال سقوط هستند، در بازه زمانی سی ساله باید انتظار داشت که اقتصاد ما به شدت به ابزارهای دوگانه‌ای وابسته شود که بخش‌های جاندار مهندسی شده و بخش‌های بی‌جان را همزمان در خود دارند.

به سختی می‌توان به‌طور دقیق پیش‌بینی کرد که مصنوعات آینده چه عملکردی خواهند داشت یا چه شکلی خواهند بود. اما، با نگاه به آینده، می‌توان گفت که موضوع کلیدی این خواهد بود که محدودیت‌های گذشته دیگر وجود نخواهند داشت. آینده نه توسط زیست‌شناسی آن‌طور که ما می‌شناسیم بلکه توسط زیست‌شناسی‌ای که فردا می‌سازیم تعریف خواهد شد.

# فصل چهارم

# فرای قانون مور

تیم کراس<sup>۱</sup>

پیشرفت‌های خارق‌العاده در قدرت ریزپردازنده‌ها انقلابی رایانه‌ای را پدید آورده است. این انقلاب برای تداوم در آینده باید راه‌های دیگری بیابد.

---

1. Tim Cross

در سال ۱۹۷۷، شرکت اینتل<sup>۱</sup> که در آن زمان شرکتی گمنام در نوعی از فعالیت محسوب می‌شد که بعدها به دره سیلیکون<sup>۲</sup> شهرت یافت، تراشه‌های را تولید کرد که ۴۰۰۴ نامیده شد. این نخستین ریزپردازنده‌ای بود که به صورت تجاری تولید شده بود و همه مدارهای الکترونیکی لازم برای محاسبات ریاضی را در مساحتی بسیار کوچک جای می‌داد. چنین ریزپردازنده‌ای در زمان خود اعجوبه‌ای محسوب می‌شد. چرا که از ۲۳۰۰ ترانزیستور باریک تشکیل شده بود که عرض هر کدام حدود ده هزار نانومتر (یا یک میلیارد متر) بود که معادل اندازه گلبول قرمز خون است. ترانزیستور کلیدی الکترونیک است که می‌تواند در وضعیت روشن یا خاموش قرار بگیرد و تمثیلی فیزیکی از یک‌ها و صفرهایی ارائه دهد که اجزای اساسی اطلاعات محسوب می‌شوند.

در سال ۲۰۱۵، شرکت اینتل که دیگر بزرگترین تراشه‌ساز جهان به حساب می‌آید و در سال بیش از ۵۵ میلیارد دلار درآمد داشت، تراشه «اسکای لیک<sup>۳</sup>» را عرضه کرد. شرکت دیگر تعداد دقیق ترانزیستورها را اعلام نمی‌کند، اما بهترین حدس این است که در این تراشه حدود یک و نیم تا دو میلیارد ترانزیستور جای گرفته‌اند و عرض هر کدام ۱۴ نانومتر است، آن قدر باریک که عملاً قابل مشاهده نیستند و کوچکتر از مقیاس طول موجی از نور هستند که انسان می‌تواند ببیند.

همه می‌دانند که رایانه‌های امروزی بهتر از نمونه‌های قدیمی هستند. اما شرح اینکه چقدر بهتر چندان ساده نیست، مصرف‌کنندگان در هیچ شاخه دیگری از فن‌آوری چنین سرعتی از پیشرفت را تجربه نکرده‌اند. می‌توان از مقایسه با خودروها به عنوان استاندارد استفاده کرد: اگر صنعت خودروسازی از سال ۱۹۷۱ تاکنون همانند تراشه‌های رایانه‌ای پیشرفت کرده بود، حداکثر سرعت خودروهای مدل ۲۰۱۵ به سرعت ۴۲۰ میلیون مایل در ساعت (حدود ۶۷۶ میلیون کیلومتر در ساعت) می‌رسید. این تقریباً دو سوم سرعت نور است و یا به بیان

1. INTEL

2. Silicon Valley

3. Skylake

دیگر آن قدر سریع است که بتوان دور دنیا را در کمتر از یک پنجم ثانیه طی کرد. اگر این سرعت هم کافی نیست، پس پیش از پایان سال ۲۰۱۷ مدل‌های سریع‌تر از نور که دوبرابر سریع‌تر از مدل‌های قبلی هستند به نمایشگاه‌های خودرو راه می‌یافتند.

این پیشرفت حیرت آور یکی از پیامدهای مشاهده‌ای است که ابتدا در سال ۱۹۶۵ توسط بنیانگذار اینتل، گوردون مور<sup>۴</sup>، صورت گرفت. مور به این نکته اشاره کرد که تعداد اجزائی که می‌توان در واحد سطح یک مدار قرار داد هر سال دو برابر می‌شود. این گزاره، که بعدها تعدیل شد و به صورت دو برابر در هر دو سال درآمد و به عنوان «قانون مور<sup>۵</sup>» شناخته شد به قاعده‌ای تبدیل شده که پیشرفت کل صنعت رایانه بر اساس آن پیش می‌رود. هر سال شرکت‌های رایانه‌ای مانند اینتل و شرکت ساخت نیمه‌رسانای تایوان<sup>۶</sup> میلیاردها دلار را به یافتن راه حلی برای کوچک ساختن اجزائی اختصاص می‌دهند که در تراشه‌های رایانه‌ای به کار می‌روند. قانون مور در این مدت به ساخت تراشه‌هایی کمک کرده که در همه وسایل از کتری‌ها گرفته تا خودروها (که به طور فزاینده‌ای می‌توانند خودشان را هدایت کنند) قرار دارند، جایی که میلیون‌ها انسان در جهان مجازی غوطه‌ور می‌شوند، بازارهای مالی توسط الگوریتم‌های رایانه‌ای هدایت می‌شوند و کارشناسان نگرانند که هوش مصنوعی به زودی همه مشاغل را تصاحب کند.

### جایی برای کوچکتر شدن نیست

اما این توانی است که تقریباً همه آن به کار گرفته شده است. کوچکتر ساختن تراشه هر بار سخت‌تر و سخت‌تر می‌شود و با ترانزیستورهای فعلی که اندازه آنها معادل ده‌ها اتم است، به نظر می‌رسد که مهندسان دیگر بیش از این نمی‌توانند پیش بروند. از زمان عرضه تراشه ۴۰۰۴ در سال ۱۹۷۱ تا اواسط سال ۲۰۱۶ تقریباً ۲۲ دور از

4. Gordon Moore

5. Moore's law

6. Taiwan Semiconductor Manufacturing Company

قانون مور طی شده است. تداوم این قانون تا سال ۲۰۵۰ به معنی ۱۷ دور دیگر از تحقق آن است که تا آنجا مهندسان باید در بایند که چگونه می‌توان رایانه‌هایی ساخت که اجزاء آن کوچکتر از کوچکترین عنصر موجود یعنی اتم هیدروژن باشند. تحقق این امر، بر اساس دانش امروز بشر غیرممکن است.

با این وجود واقعیت‌های اقتصادی پیش از واقعیت‌های فیزیکی به کار قانون مور پایان خواهند داد چرا که منافع کوچک‌سازی ترانزیستورها دیگر به اندازه سابق نیستند. پدیده دیگری که به قانون مور کمک کرد «مقیاس دنارد»<sup>۷</sup> نام دارد که ابتدا توسط رابرت دنارد<sup>۸</sup>، یکی از مهندسان شرکت آی‌بی‌ام<sup>۹</sup> فرموله شد و بنابر آن کوچکتر شدن اجزای تراشه‌ها باعث افزایش سرعت، کاهش مصرف انرژی و کاهش هزینه تولید تراشه‌ها می‌شود. به بیان دیگر، تراشه‌های کوچکتر تراشه‌های بهتری هستند و به همین خاطر صنعت رایانه توانسته مصرف‌کنندگان را قانع کند که هر چند سال یک بار برای خرید محصولات تازه‌تر دست به جیب شوند. اما این جادو در حال کمرنگ شدن است. کوچک‌سازی تراشه‌های دیگر همچون گذشته آنها را سریع‌تر و کاراتر نمی‌کند (بنگرید به نمودار ۴-۱). در همین حال هزینه‌های رو به افزایش مربوط به کوچک‌سازی تراشه‌ها از حاشیه سود مالی آنها می‌کاهد. دومین قانون مور که از اولی سرگرم‌کننده‌تر است، تاکید می‌کند که هزینه کارخانه‌های تولید تراشه هر چهار سال یکبار دوبرابر می‌شود. هزینه یک کارخانه مدرن تولید تراشه حدود ۱۰ میلیارد دلار است. رقمی که حتی برای شرکت اینتل هم رقمی هنگفت محسوب می‌شود.

همه این‌ها باعث شده که در میان کارشناسان دره سیلیکون این اجماع ایجاد شود که قانون مور به پایان خود نزدیک می‌شود. لینلی گوئناپ<sup>۱۰</sup>، مدیر یک شرکت تحلیل‌گر در مورد دره سیلیکون، اعتقاد دارد که «از منظر

7. Dennard scaling

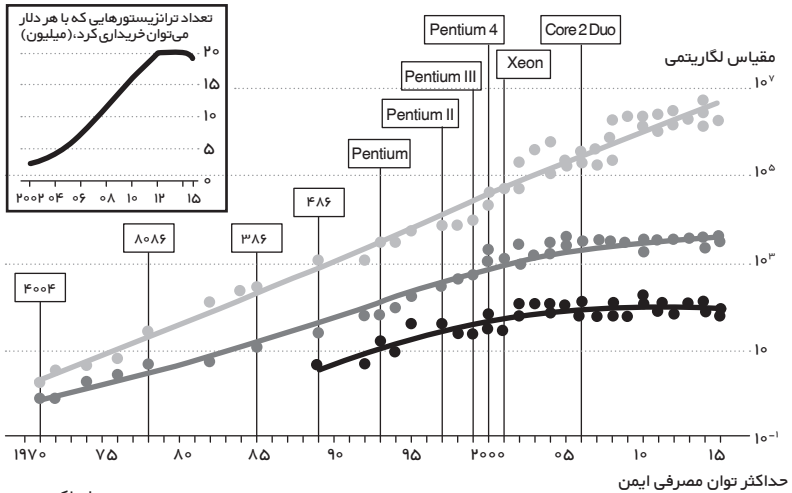
8. Robert Dennard

9. IBM

10. Linley Gwennap

## نمودار ۴-۱ از نفس افتادن قانون مور

تاریخ عرضه تراشه، منتخب □ ● طراحی حرارتی قدرت ● سرعت ساعت (حداکثر) ● تعداد ترانزیستور در هر تراشه، هزار عدد MHz



اقتصادی، قانون مور مرده است.<sup>۱۱</sup> داریو گیل<sup>۱۱</sup>، مدیر بخش تحقیق و توسعه شرکت آی‌بی‌ام، نیز به همین میزان صداقت دارد و می‌گوید: «می‌توانم بگویم که آینده صنعت رایانه دیگر نمی‌تواند بر اساس قانون مور باشد» باب کلول<sup>۱۲</sup>، طراح سابق تراشه در شرکت اینتل، اعتقاد دارد که صنعت تولید تراشه تا سال ۲۰۲۰ احتمالاً تا جایی می‌تواند پیش برود که اجزاء آن تنها پنج نانومتر عرض داشته باشند «اما برای قانع کردن من در مورد اینکه بیش از این می‌توان پیش رفت به دردمر خواهد افتاد.»

به بیان دیگر، یکی از مهم‌ترین نیروهای فن‌آوری طی پنجاه سال اخیر به زودی به پایان خط خواهد رسید. تصور اینکه بهتر و سریع‌تر شدن رایانه‌ها با سرعتی فوق‌العاده ادامه خواهد یافت در باور مردم نسبت به

11. Dario Gil

12. Bob Colwell

آینده ریشه دارد که بسیاری از پیش‌بینی‌های دیگر این کتاب در مورد آینده، از خودروهای بدون راننده گرفته تا هوش مصنوعی بهتر و حتی گجت‌های مصرفی، نیز بر پایه آن بنا نهاده شده‌اند. راه‌های دیگری غیر از کوچک‌سازی اجزا نیز برای بهتر کردن رایانه‌ها وجود دارد. پایان قانون مور به معنی توقف انقلاب رایانه‌ای نیست، اما به این معنی است که دهه‌های پیش‌رو کاملاً با دهه‌های گذشته متفاوت خواهند بود؛ چرا که هیچ کدام از راه حل‌های جایگزین به مطمئنی و تجدیدپذیری روش کاهش اندازه که طی نیم قرن اخیر به کار گرفته شده نیستند.

### جنون سرعت

قانون مور با کوچک‌سازی رایانه‌ها باعث شد آنها از اشیائی عظیم که یک اتاق را پر می‌کردند به اجسامی ظریف تبدیل شوند که در جیب جا می‌شوند. قانون مور همچنین رایانه‌ها را کم‌مصرف‌تر کرده است. به گونه‌ای که یک تلفن همراه هوشمند که قدرت پردازشی معادل آنچه در سال ۱۹۷۱ در اختیار همه ملت‌های جهان بود را در اختیار دارد می‌تواند با یک بار شارژ باتری یک روز یا بیشتر دوام بیاورد. اما مشهورترین تاثیر قانون مور افزایش سرعت رایانه‌ها بوده است. تا سال ۲۰۵۰، یعنی زمانی که قانون مور به تاریخ پیوسته، مهندسان مجبورند تلاش کنند که روش‌های دیگری را برای افزایش سرعت رایانه‌ها به کار بگیرند.

راهکارهای ساده‌ای برای دستیابی به این هدف وجود دارد. یکی از آنها برنامه‌نویسی بهتر است. سرعت فوق‌العاده قانون مور در گذشته باعث شده که شرکت‌های نرم‌افزاری زمان کمی برای تروتمیز کردن و بهبود محصولاتشان داشته باشند. این حقیقت که مشتری‌های آنها هر چند سال یکبار ماشین‌هایی سریع‌تر را خواهند خرید، از انگیزه‌های چنین شرکت‌هایی برای بهبود نرم‌افزارها کاسته است: راحت‌ترین راه برای سرعت بخشیدن به اجرای یک کد برنامه‌نویسی که به کندی اجرا می‌شد این بود که یکی دو سال صبر کنند تا سخت‌افزارهای قوی‌تری تولید شود. در حالی که قانون مور از نفس می‌افتد، چرخه عمر کوتاه مربوط به

محصولات رایانه‌ای طولانی‌تر خواهد شد و زمان بیشتری در اختیار برنامه‌نویسان قرار خواهد داد تا محصولاتشان را بهبود بخشیده و آراسته‌تر کنند.

راهکار دیگر طراحی تراشه‌هایی است که سخت‌افزاری تخصصی‌تر در آنها جایگزین توانایی کلی محاسبات ریاضی شود. تراشه‌های مدرن به تازگی مدارهای تخصصی را در خود جای می‌دهند، مدارهایی که برای سرعت بخشیدن به اموری متداول مانند اجرای فایل‌های فیلم فشرده شده، انجام محاسبات پیچیده مربوط به رمزگذاری و یا طراحی طرح‌های گرافیکی پیچیده سه بعدی مربوط به بازی‌های رایانه‌ای کاربرد دارند. در حالی که رایانه‌ها به همه محصولات دیگر راه یافته‌اند، چنین سخت‌افزارهای تخصصی می‌توانند بسیار مفید باشند. برای مثال خودروهای بدون راننده به طور فزاینده‌ای از دید ماشینی استفاده می‌کنند که در آنها رایانه‌هایی قرار دارند که شیوه تفسیر تصاویر جهان واقعی، طبقه‌سازی هرچه می‌بینند و استخراج اطلاعات از آنها را می‌آموزند، اقداماتی که از نظر رایانه‌ای عملیاتی بسیار سخت است. مدارهای تخصصی در چنین زمینه‌هایی می‌توانند بسیار راهگشا باشند.

با این حال برای اینکه توان رایانه‌ای بتواند همچنان با همان سرعتی که همه به آن عادت کرده‌اند بهبود یابد، راهکار ریشه‌ای تری مورد نیاز است. یک راه حل تلاش برای وارد ساختن قانون مور به بعد سوم است. تراشه‌های مدرن کاملاً تخت (دو بعدی) هستند اما محققان هم‌زمان با تراشه‌هایی سروکله می‌زنند که اجزاء آنها روی همدیگر چیده شده‌اند. حتی اگر کاهش مساحت اشغال شده توسط تراشه‌ها متوقف شود، امکان روی هم قرار دادن اجزا به طراحان اجازه می‌دهد که اجزای بیشتری را در یک تراشه با مساحت ثابت قرار دهند. درست همان‌طور که ساختمان‌های بلند افراد بیشتری را در مقایسه با خانه‌های یک طبقه در خود جای می‌دهند.

نخستین نمونه‌های چنین دستگاه‌هایی در حال ورود به بازار هستند:



سامسونگ<sup>۱۳</sup>، شرکتی بزرگ در زمینه مایکروالکترونیک (مانند ریزپردازنده‌ها) در کره جنوبی، هارد درایوهایی را به فروش می‌رساند که مدارهای حافظه آنها روی هم در چند لایه قرار گرفته‌اند. به نظر می‌رسد این فن‌آوری آینده درخشانی داشته باشد. در رایانه‌های مدرن، حافظه چندین سانتیمتر با پردازنده فاصله دارد. با معیارهای سیلیکونی، یک سانتیمتر راهی طولانی به حساب می‌آید به این معنی که این فاصله باعث ایجاد تاخیر در فراخوانی داده‌های تازه می‌شود. یک تراشه سه بعدی که لایه‌های پردازنده‌ها را در میان لایه‌های حافظه قرار می‌دهد می‌تواند چنین گلوگاهی را برطرف سازد. شرکت آی‌بی‌ام اعتقاد دارد که چنین تراشه‌های سه بعدی‌ای می‌توانند به طراحان اجازه دهند که اندازه ابررایانه‌ها که امروز یک ساختمان را اشغال می‌کنند را تا اندازه یک جعبه کفش کاهش دهند.

اما تحقق این هدف نیازمند تغییراتی بنیادین در طراحی تراشه‌ها است. تراشه‌های مدرن همین حالا هم داغ می‌شوند و نیازمند گرمابرد<sup>۱۴</sup> و پنکه‌هایی برای خنک سازی هستند. وضعیت برای یک تراشه سه بعدی به مراتب بدتر است، چرا که سطح آن که می‌توان گرما را از طریق آن دفع کرد بسیار کندتر از حجمش که عامل تولید گرما است رشد می‌کند. به دلیلی مشابه، برای شیوه رساندن الکتریسیته و داده مورد نیاز چنین تراشه‌هایی به آنها نیز مشکلاتی وجود دارد. بنابراین ابررایانه‌های جعبه کفشی آی‌بی‌ام نیازمند خنک سازی از طریق مایعات است. کانال‌های میکروسکوپی می‌توانند در درون هر تراشه حفر شوند تا از طریق آنها مایع خنک سازی در درون تراشه جریان یابد. در همین حال شرکت معتقد است که خنک کننده می‌تواند به عنوان منبع نیرو هم به کار گرفته شود؛ بر اساس این ایده که از آن به عنوان الکترولیت در یک باتری جریان‌ی استفاده شود که در آن الکترولیت‌ها التکرودهای پیشتر ثابت را به حرکت در می‌آورند.

13. Samsung

14. Heatsink

ایده‌های عجیب و غریب دیگری نیز وجود دارند. رایانش کوانتومی اجازه می‌دهد که قوانین نامتعارف مکانیک کوانتومی برای ساخت ماشین‌هایی به کار روند که قادرند برخی از گونه‌های مشخص مسایل ریاضی را با سرعتی به مراتب بیشتر از رایانه‌های متداول، هرچه قدر هم سریع و پیشرفته، حل کنند. (هرچند برای دیگر مسایل، یک ماشین کوانتومی هیچ مزیتی به همراه ندارد). مشهورترین کاربرد آنها شکستن کدهای پنهانی است، اما مهمترین استفاده آنها شبیه سازی دقیق پیچیدگی‌های کوانتومی علم شیمی است، مسئله‌ای که در بخش صنعت و تولید هزاران کاربرد دارد، اما رایانه‌های متداول از پس آنها بر نمی‌آیند.

یک دهه پیش رایانش کوانتومی به تحقیقات درون دانشگاهی محدود بود. این روزها چندین شرکت بزرگ شامل مایکروسافت<sup>۱۵</sup>، آی‌بی‌ام و گوگل<sup>۱۶</sup>، مبالغ هنگفتی را به این فن‌آوری تزریق می‌کنند و همگی انتظار دارند که تراشه‌های کوانتومی طی یک یا دو دهه آینده در دسترس باشند (در واقع هر فرد علاقه‌مندی همین حالا نیز می‌تواند از راه دور با یکی از تراشه‌های کوانتومی آی‌بی‌ام سروکله بزند و از طریق اینترنت برای آن برنامه بنویسد). یک شرکت کانادایی به نام دی ویو<sup>۱۷</sup> همین حالا هم تعداد محدودی رایانه کوانتومی می‌فروشد که می‌تواند تنها یک تابع ریاضی را اجرا کنند. هرچند که هنوز مشخص نیست که آیا این ماشین به خصوص واقعا از مدل‌های غیرکوانتومی سریع‌تر باشد.

همچون تراشه‌های سه بعدی، رایانه‌های کوانتومی نیز نیازمند مراقبت، نگهداری و تامین انرژی و داده به شیوه خاصی هستند. برای اینکه یک رایانه کوانتومی به خوبی کار کند، باید بخش‌های داخلی آن کاملا از جهان خارج مجزا باشند. رایانه‌های کوانتومی باید با هلیوم مایع در مقادیر بسیار نزدیک به صفر مطلق خنک شوند و به شیوه‌های بسیار پیچیده‌ای محافظت شوند، چرا که حتی کوچکترین تماسی با موج گرما یا الکترومغناطیس می‌تواند شرایط حساس کوانتومی که ماشین‌ها بر اساس آن کار می‌کنند

15. Microsoft

16. Google

17. D-Wave

را از بین ببرد.

## از نظر محو شدن

هر کدام از این پیشرفت‌های احتمالی پیش‌رو با محدودیت‌هایی مواجهند چرا که یا فقط یکبار می‌توانند روی دهند و یا اینکه تنها در بخش‌های به خصوصی کارایی دارند. مزیت جالب توجه قانون مور این بود که به طور مرتب هر دو سال یکبار همه چیز را بهبود می‌بخشید. پیشرفت در آینده به مراتب جسته و گریخته و غیرقابل پیش‌بینی‌تر خواهد بود و بر خلاف روزهای درخشان (که قانون مور در آن می‌تاخت) مشخص نیست که هر کدام از این پیشرفت‌ها تا چه حد به ارتقاء کالاهای مصرفی می‌انجامند. گذشته از این‌ها ممکن است افراد اندکی تمایل داشته باشند که از یک رایانه خانگی کوانتومی یا یک تلفن همراه هوشمند که توسط شیوه‌های سرماشناسی<sup>۱۸</sup> خنک می‌شود استفاده کنند. همین‌طور شیوه‌های خنک‌سازی از طریق مایع نیز سنگین، به هم ریخته و پیچیده خواهند بود. حتی ساخت تراشه‌هایی به خصوص برای انجام اموری ویژه نیز تنها در صورت استفاده مداوم ارزشمند خواهد بود.

اما همه این سه فن‌آوری در مراکز داده به خوبی به کار می‌آیند و می‌توانند به تقویت روند دیگری در چند دهه پیش‌رو کمک کنند. به طور سنتی، رایانه جعبه‌ای بر روی میز یا درون جیب شما بوده است. اتصال فراگیر در آینده که از طریق اینترنت و شبکه‌های تلفن همراه ایجاد می‌شود این فرصت را فراهم می‌آورد که بخش عظیمی از توان پردازش رایانه‌ای در مراکز داده مخفی شوند و مصرف‌کنندگان تنها هنگام نیاز از آنها بهره ببرند. پردازش رایانه‌ای به امکانی تبدیل می‌شود که به محض تقاضا در اختیار خواهد بود، مشابه دسترسی به آب و برق در جهان امروز.

18. Cryogenically

رایانش ابری<sup>۱۹</sup>، که امکان حذف سخت افزارها را فراهم می‌آورد و در نتیجه آن عملیات رایانشی از طریق تکه‌ای پلاستیکی انجام می‌شود که کاربر با آن سروکار دارد، یکی از مهم‌ترین راهکارها برای صنعت رایانه جهت کاهش اثر کم‌رنگ شدن قانون مور خواهد بود. مراکز داده می‌توانند به سادگی تنها از طریق بزرگتر ساخته شدن قوی‌تر شوند. در حالی که تقاضای جهانی برای پردازش رایانه‌ای به رشد خود ادامه می‌دهد، بخشی از آن در انبارهای بزرگ تاریک روی خواهد داد که صدها کیلومتر از کاربران فاصله دارند.

چنین پدیده‌ای همین حالا نیز کار خود را آغاز کرده است. برای مثال اپلیکیشن سیری<sup>۲۰</sup>، دسترسی شخصی در محصولات شرکت اپل که از طریق صدا فرمان می‌پذیرد. درک سخنان انسان و کشف منظور پشت آنها مانند دستور «سیری، چند تا رستوران هندی این اطراف پیدا کن» نیازمند توان رایانشی است که از توان فعلی گوشی‌های آیفون<sup>۲۱</sup> فراتر می‌رود. در عوض، تلفن همراه به سادگی صدای کاربر را ضبط کرده و آن را برای رایانه‌ای قدرتمندتر در یکی از مراکز داده اپل<sup>۲۲</sup> ارسال می‌کند. هنگامی که رایانه دور از کاربر پاسخ مناسب را یافت، اطلاعات را برای گوشی آیفون می‌فرستد.

الگویی یکسان می‌تواند در بسیاری از وسایل دیگر نیز به کار گرفته شود. تراشه‌ها همین حالا نیز به وسایلی راه یافته‌اند که به طور طبیعی به عنوان رایانه در نظر گرفته نمی‌شوند، از خودروها گرفته تا درون کاشت<sup>۲۳</sup> پزشکی و تلویزیون‌ها و کتری‌ها. این روند در حال سرعت گرفتن است و «اینترنت چیزها<sup>۲۴</sup>» خوانده می‌شود و این ایده را دنبال می‌کند که رایانش وارد تقریباً هر چیزی بشود. البسه هوشمند با استفاده از شبکه خانگی به ماشین لباس‌شویی اطلاع می‌دهد که چه

19. Cloud computing

20. Siri

21. iPhone

22. Apple

23. Implants

24. Internet of things

تنظیماتی برای شستن آنها باید به کار گرفته شود؛ سنگ فرش‌های هوشمند رفت و آمد عابران پیاده در شهرها را تحت نظر می‌گیرند و نقشه‌هایی دقیق از آلودگی هوا را در اختیار دولت‌ها قرار می‌دهند. یک بار دیگر باید تاکید کرد که تصویری اجمالی از آینده همین حالا نیز قابل مشاهده است: برای مثال مهندسان در شرکت‌هایی مانند رولز-رویس<sup>۲۵</sup> می‌توانند بر ده‌ها شاخص عملکردی یک موتور جت در حال پرواز نظارت کنند. امکانات خانه‌های هوشمند که به مالکانشان اجازه می‌دهند که از روشنایی گرفته تا وسایل آشپزخانه را کنترل کنند همین حالا نیز در میان مشتاقان فن‌آوری با استقبال مواجه شده‌اند.

اما اینترنت چیزها برای اینکه به همه آنچه در توانش است دست یابد نیازمند راهی برای مواجه شدن و سر در آوردن از سیلی از داده‌ها است که میلیاردها تراشه جاسازی شده منتشر می‌کنند. تراشه‌های مربوط به اینترنت چیزها به خودی خود نمی‌توانند از پس چنین امری بر بیایند: برای مثال تراشه‌های جاسازی شده در سنگ فرش خیابان مجبورند که تا حد امکان ارزان و بسیار کم مصرف باشند؛ از آنجا که اتصال تک تک سنگ فرش‌ها یا کاشی‌های پیاده‌روها به شبکه برق امکان‌پذیر نیست، چنین تراشه‌هایی باید انرژی را از راه‌های دیگری مانند گرما، فشار پای افراد و یا حتی تشعشعات الکترومغناطیس محیط کسب کنند.

## پایان مور

در حالی که قانون مور به گل می‌نشیند، تعریف «بهتر» نیز تغییر خواهد کرد. در کنار همه مسیرهایی که پیشتر در این فصل ترسیم شدند، راه‌های دیگر نیز امیدبخش به نظر می‌رسند. برای مثال تلاش زیادی به بهبود مصرف انرژی در رایانه‌ها اختصاص خواهد یافت. چنین پدیده‌ای به چند دلیل اهمیت خواهد داشت: مصرف کنندگان دوست دارند که تلفن‌های همراه هوشمند آنها عمر باتری بیشتری داشته

25. Rolls-Royce

باشد؛ اینترنت چیزها نیازمند رایانه‌هایی خواهد بود که در مکان‌هایی به کار گرفته شوند که منابع اصلی انرژی در آنجا موجود نیست؛ و میزان رایانش نیز همچنان با قدرت افزایش می‌یابد در حالی که همین حالا نیز حدود دو درصد کل تولید انرژی برق جهان را مصرف می‌کند.

نحوه رابطه با کاربر نیز زمینه دیگری است که زمان بهبود در آن فرارسیده و فن‌آوری‌های فعلی در آن قدیمی به نظر می‌رسند. صفحه کلیدهای فعلی به طور مستقیم از نسل ماشین‌های تحریر مکانیکی هستند. ماوس (موشواره) ابتدا در سال ۱۹۶۸ عرضه شدند، یعنی زمان «اتصال گرافیکی کاربر»، درست همان‌طور که سیستم‌های عامل ویندوز<sup>۲۶</sup> و آی‌اواس<sup>۲۷</sup> با شمایل و پنجره‌های جذاب‌تر برای کاربران جایگزین سیستم عامل‌های متن محور رایانه‌های نخستین شدند. سرن، سازمان اروپایی پژوهش‌های هسته‌ای، در فن‌آوری صفحه‌های لمسی در دهه ۱۹۷۰ پیشرو بود.

سیری شاید تلفن همراه شما را ترک کرده و به دستگیری حاضر در همه‌جا تبدیل شود: هوش مصنوعی به طور حتم (و رایانش ابری احتمالاً) تقریباً به هر ماشینی اجازه می‌دهد به‌وسیله شنیدن دستورات کنترل شود، هرچه قدر هم که این ماشین قدرت پردازش اندکی داشته باشد فرقی نمی‌کند. شرکت سامسونگ همین حالا نیز تلویزیون‌هایی می‌سازد که از طریق حرف زدن کنترل می‌شوند. فن‌آوری‌های در حال حاضر پیشرو در بازی‌های رایانه‌ای مبتنی بر حقیقت مجازی که ژست و حرکت بدن و نگاه را دنبال می‌کنند می‌توانند برای چنین مواردی به کار بیایند. واقعیت افزوده، خویشاوند نزدیک حقیقت مجازی، که اطلاعات ایجاد شده توسط رایانه را روی جهان واقعی می‌اندازد شروع به در هم آمیختن واقعیت و غیرواقع خواهد کرد. شرکت گوگل اگرچه عینک‌های مخصوص واقعیت افزوده را دوباره به بخش طراحی پس فرستاده اما چیزی بسیار شبیه به آن

26. Windows

27. iOS

احتمالا روزی دوباره به کار خواهد آمد. همچنین شرکت مشغول کار بر روی لنز چشم الکترونیک است که می‌تواند فعالیت‌هایی مشابه با عینک گوگل را انجام دهد بدون اینکه به اندازه آن جلب توجه کند.

قانون مور نمی‌تواند تا ابد ادامه یابد. اما این کمرنگ شدن از اهمیت آن نمی‌کاهد. قانون مور زمانی که رایانه شما به یک جعبه بر روی میز محدود بود و یا زمانی که رایانه‌ها برای انجام بسیاری از امور بسیار کند بودند، نقش پررنگی را ایفا کرد. قانون مور به صنعت عظیم جهانی ضرباهنگ بخشید و پیشرفت صنعت رایانه بدون قانون مور در آینده سخت‌تر، نامنظم‌تر و جسته و گریخته‌تر خواهد شد. اما پیشرفت تحقق خواهد یافت. رایانه‌های سال ۲۰۵۰ سیستمی از تراشه‌های باریک خواهند بود که در هر چیزی از پیشخوان آشپزخانه گرفته تا خودروی شما جاسازی خواهند شد. بیشتر آنها از طریق اینترنت به دامنه وسیعی از قدرت رایانشی که به صورت بی‌سیم ارائه می‌شود دسترسی دارند و شما از طریق صحبت کردن با آنها تعامل می‌کنید. هزاران میلیارد تراشه در هر گوشه محیط فیزیکی حضور خواهند داشت و جهان را به جایی قابل درک کردن و تحت نظرتر از همیشه تبدیل می‌کنند. قانون مور به زودی به پایان می‌رسد اما انقلاب رایانه‌ای ادامه خواهد یافت.

فصل پنجم

# نسل های فن آوری: گذشته به مثابه پیشگفتار

آن وینبلد<sup>۱</sup>

برای به دست آوردن درکی از تحولات پیش رو در سه دهه آینده، باید امواج پیاپی فن آوری طی سه دهه گذشته را مدنظر قرار داد.



پاییز سال ۱۹۸۵، یعنی درست اگر به اندازه سال‌های مانده به آینده مدنظر این کتاب به گذشته بازگردیم، من و بیل گیتس<sup>۱</sup> در ساحلی خلوت در کارولینای شمالی<sup>۲</sup> به مدتی طولانی قدم زدیم. آن موقع یک دهه از زمانی که بیل شرکت نرم‌افزاری اش را به طور شریکی تاسیس کرده بود می‌گذشت و تنها چند ماه به سیزده مارس ۱۹۸۶ مانده بود، یعنی زمانی که قرار بود سهام شرکت مایکروسافت برای نخستین بار به طور عمومی عرضه شود.

مایکروسافت یکی از نخستین ورودی‌های «موج دوم» فن‌آوری رایانه‌ای یعنی رایانه‌های شخصی بود. اما در سال ۱۹۸۵ تنها افراد اندکی از موج‌های تازه در فن‌آوری رایانه‌ای اطلاع داشتند؛ چه برسد به اینکه بدانند ما در موج دوم حضور داریم. نخستین موج از اواخر دهه ۱۹۵۰ تا دهه ۱۹۷۰ طول کشید و به ظهور ابررایانه<sup>۳</sup> و رایانه‌های کوچک انجامید. من و بیل در سنین نوجوانی و طی نخستین موج فن‌آوری رایانه‌ای جذب صنعت نرم‌افزار و فن‌آوری شدیم. بیل در دبیرستان و من در نخستین سال دانشگاه به رایانه‌های کوچک مانند رایانه‌های وکس<sup>۴</sup> تولید شرکت دی‌ای‌سی<sup>۵</sup> دسترسی داشتیم. من زبان برنامه‌فورترن<sup>۶</sup> با رایانه دی‌ای‌سی پی‌دی پی<sup>۷</sup> ۱۱ را آموختم. بیل به مراتب جلوتر از من بود و برای بسیاری از رایانه‌ها از جمله دی‌ای‌سی پی‌دی پی<sup>۸</sup> ۱۰ برنامه‌نویسی می‌کرد.

در آن زمان، قدرت رایانشی، در ابررایانه‌ها و رایانه‌های کوچک، چه در سالن‌های بزرگ سرد و چه در استفاده مشترک از رایانه‌ها، برای بسیاری قابل مشاهده نبود. هرچند که این نخستین موج بود، اما شیوه برآمدن و فرونشستن موج‌های دیگر را نیز ترسیم کرد. هر موج با خود تازه واردان درخشانی را به همراه آورد. آنچه ابتدا در سطح قابل رویت است تنها بخشی

---

1. Bill Gates  
2. North Carolina  
3. Mainframes  
4. VAX  
5. Digital Equipment Corporation  
6. Fortran  
7. DEC PDP11-  
8. DEC PDP10-

از آن محسوب می‌شود. موج تازه تا اعماق اقیانوس ادامه می‌یابد، جایی که شرکت‌هایی جدید به تازگی شروع به شنا کردن می‌کنند. موج سرازیر می‌شود و در حالی که به ساحل نزدیک می‌شود در جایی اوج می‌گیرد و به روی آب می‌شکند. این همان زمانی است که برندگان پدیدار شده و بازندگان در هم می‌شکنند تنها نوآوران و شرکت‌های پیشرو هستند که در نهایت سالم به ساحل می‌رسند.

### نخستین موج

شناگران ماهر نخستین موج شرکت‌های بوروز<sup>۹</sup>، یونیوک<sup>۱۰</sup>، کنترل دیتا<sup>۱۱</sup>، هانی‌ول<sup>۱۲</sup>، آرسی‌ای<sup>۱۳</sup> و جنرال الکتریک<sup>۱۴</sup> بودند. نخستین گروه، سازندگان ابررایانه‌ها بودند که از آنها به عنوان «آی‌بی‌ام و هفت کوتوله<sup>۱۵</sup>» یاد می‌شد که بعدها و پس از خروج جنرال الکتریک و آرسی‌ای از این بازار به «آی‌بی‌ام و بانچ<sup>۱۶</sup>» شهرت یافتند. بانچ نیز سپس از منظر تاریخی ناپدید شد و اهمیت خود را از دست داد. این شرکت‌ها (که به بانچ شهرت یافته بودند) در واقع تنها چند صباحی و هنگام فرونشستن موج روی سطح مشاهده شدند. آی‌بی‌ام به سلامت به ساحل رسید و به عنوان پیروز بزرگ موج نخست شناخته شد، هرچند که امروز تنها سهم کوچکی از درآمد آی‌بی‌ام از ابررایانه‌ها حاصل می‌شود. در جبهه رایانه‌های کوچک، نام‌هایی مانند آپولو کامپیوتر<sup>۱۷</sup>، دیتا جنرال<sup>۱۸</sup>، ونگ لابراتوریز<sup>۱۹</sup>، پرایم کامپیوتر<sup>۲۰</sup> و حتی شرکت مشهورتر دی‌ای‌سی<sup>۲۱</sup> همگی تنها در سطح پاورقی‌هایی تاریخی باقی ماندند.

9. Burroughs

10. UNIVAC

11. Control Data

12. Honeywell

13. RCA

14. General Electric

15. IBM and the Seven Dwarfs

16. IBM and the BUNCH

17. Apollo Computer

18. Data General

19. Wang Laboratories

20. Prime Computer

21. DEC

در هر موج چندین اجزاء تکنولوژیکی و استراتژی‌های تجاری تازه ظهور می‌کنند و رد پای از خود در شن‌ها باقی می‌گذارند اما عموماً چندین دهه زمان می‌برد تا تاثیر آنها به طور کامل نمایان شود. رد پای به جا مانده از موج نخست قانون مور بود (بنگرید به فصل ۴). مقاله گوردون در سال ۱۹۶۵ بر دو برابر شدن سالیانه قدرت پردازنده‌ها تاکید داشت و هنوز هم محرک موج‌های تازه است. موج‌های فن‌آوری رایانه‌ای کم و بیش با سرعت قانون مور پیش رفته‌اند و به پیشرفت چشمگیر توانایی‌های تکنولوژیکی انجامیده‌اند. قانون مور، که نرخ آن در سال ۱۹۷۵ از سالانه به هر دو سال کاهش یافت، ضرابه‌نگی را برای همه موج‌های آینده فراهم آورده است. این قانون نه صرفاً برای تعداد ترانزیستورها در یک تراشه بلکه می‌تواند تعیین کننده سرعت نوآوری در ساخت، طراحی و تولید نرم‌افزار باشد.

بیل گیتس در طول پیاده‌روی در فکر بود. البته او نگران موج سوم رایانه‌ای که جایی دور از ساحل در حال شکل گرفتن بود و بعدها به وب ۱.۰ شهرت یافت نبود، بلکه موارد دیگری ذهن او را مشغول کرده بود.<sup>۲۲</sup> مایکروسافت سال مالی ۱۹۸۵ را در ماه ژوئن با درآمدی بیش از ۱۴۰ میلیون دلار به پایان رسانده بود. چنین رقمی برای یک شرکت جوان در کسب و کار تازه شکل گرفته رایانه‌های شخصی خیره کننده بود. صنعت نوپای نرم‌افزار در حال فوران بود. بسیاری از این شرکت‌ها که در عرضه عمومی سهام مایکروسافت فهرست شده بودند، مانند لتوس سافتور<sup>۲۳</sup>، آستون تیت<sup>۲۴</sup>، سافتور پابلیشینگ<sup>۲۵</sup>، بورلند اینترنشنال<sup>۲۶</sup> و دیجیتال ریسرچ<sup>۲۷</sup>. همان‌طور که قدم می‌زدیم، بیل شرح می‌داد که چگونه می‌تواند درآمد شرکت مایکروسافت را تا ۵۰۰ میلیون دلار افزایش دهد اما رسیدن به مقادیر بیشتر از آن بسیار سخت به نظر می‌رسید. هیچ شرکت نرم‌افزاری تا آن زمان به

22. Web 1.0

23. Lotus Software

24. Ashton-Tate

25. Software Publishing

26. Borland International

27. Digital Research

چنین درآمدهایی دست نیافته بود.

## برندگان موج دوم

در دومین موج فن‌آوری، نبرد میان سیستم‌های عامل و در جهان رایانه‌های شخصی میان تولیدکنندگان سخت‌افزار و شرکت‌هایی که صرفاً نرم‌افزار تولید می‌کردند شدت گرفت. شرکت اپل به عنوان گونه تازه‌ای از شرکت‌های فن‌آوری اطلاعات به ساحل رسید. رقبای نرم‌افزاری مایکروسافت در میان شرکت‌های کوچک و کم‌اهمیت جای گرفتند. بسیاری از شرکت‌های قابل ملاحظه دیگر، مانند لتوس‌سافتور، یا خیلی زود ناپدید شدند یا اینکه توسط بخش‌های کوچک شرکت‌های بزرگ تصاحب شدند. تا سال ۱۹۹۰ این موج فرونشست و شرکت‌هایی مانند مایکروسافت همراه با شرکت‌های نرم‌افزاری تابعش به عنوان پیروز به ساحل رسیدند. نگرانی بیل در مورد اندازه و مقیاس شرکت جوانش خیلی زود برطرف شد. مایکروسافت تنها دو سال پیش از عرضه عمومی سهام به درآمد سالانه ۵۹۰ میلیون دلار دست یافت و درآمد شرکت تا سال ۱۹۹۰ به ۱.۱ میلیارد دلار رسید.

همراه با مایکروسافت، اوراکل<sup>۲۸</sup> و پایگاه داده توزیع شده<sup>۲۹</sup> هم با قدرت ظهور کردند. دومین موج، در مقایسه با موج نخست، به مراتب مشهودتر بود. رایانه‌های شخصی به صدها میلیون میز راه یافتند و فروش آنها از پنجاه هزار دستگاه در سال ۱۹۷۵ به بیش از ۱۳۴ میلیون دستگاه در سال ۲۰۰۰ رسید. تولید نرم‌افزار هم به صنعتی مستقل تبدیل شد.

در هر موج، نمونه‌های اولیه‌ای از آینده نیز قابل مشاهده‌اند. مشتاقان فن‌آوری از نمونه‌های تازه وارد استقبال کرده و آن را به کار می‌گیرند. در دوران موج دوم، من و بیل تلفن همراه موتورولا دایناتاک<sup>۳۰</sup> به همراه داشتیم، گوشی‌هایی با اندازه و وزن تقریبی یک پاره آجر. گوشی‌های

28. Oracle

29. Distributed Database

30. Motorola DynaTAC

تاشو و محبوب استارت‌آک<sup>۳۱</sup> موتورولا تا یک دهه بعد ظهور نکردند. ما هر دو رایانه مکینتاش پرتابل<sup>۳۲</sup> شانزده پوندی (تقریباً هفت کیلوگرمی) که در کیف مربعی بزرگی قرار می‌گرفت را در سفرها به همراه می‌بردیم. بیل هنگام پیاده‌روی در ساحل نگرانی بزرگ‌تر و بلند مدت‌تری را نیز با من در میان گذاشت؛ اینکه آیا تا سال ۲۰۵۰ انسان‌ها به حیوانات خانگی با پایه کربنی تبدیل خواهند شد؟ بعدها، در سال ۱۹۹۳، این ایده توسط ونورونج<sup>۳۳</sup>، دانشمند علوم رایانه‌ای و نویسنده کتاب‌های علمی تخیلی با عنوان «تکینگی»<sup>۳۴</sup> مطرح شد. وینج اعتقاد داشت که شتاب گرفتن نوآوری‌های فن‌آوری طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۳۰ باعث خواهد شد که هوش ماشین به هوش بشر برسد و از آن فراتر برود. در واقع، فاصله زمانی میان پیاده‌روی من و بیل و شکل‌گیری هفتمین موج فن‌آوری، هوش مصنوعی، در جایی دور از ساحل می‌تواند ۲۵ سال باشد.

### سریع‌تر و همچنان سریع‌تر: سومین و چهارمین موج

از موجی که میکروسافت را به ساحل رساند تاکنون دو موج فن‌آوری رایانه‌ای دیگر به ساحل رسیده‌اند. موج سوم، وب ۱.۰، اینترنت همراه با آمازون و گوگل را به همراه آورد و موج چهارم، وب ۲.۰، رایانش ابری و رایانش تلفن‌های همراه را در خود جای داده بود و اپل با آیفون، گوگل با اندروید و آمازون با خدمات وب آمازون برندگان آن بودند و شرکت فیس‌بوک نیز با قدرت به ساحل رسید. نخستین شرکت‌های نرم‌افزاری بر پایه رایانش ابری در این موج قرار داشتند که شرکت سیلزفورس<sup>۳۵</sup> مشهورترین آنهاست.

هر موج فن‌آوری رایانه‌ای به شدت قوی‌تر بوده و از عامل فزاینده فراهم شده توسط موج‌های پیشین بهره برده است. سرعت رشد شرکت‌های تازه که به ساحل می‌رسند نیز به‌طور قابل ملاحظه‌ای رشد کرده است.

31. StarTAC

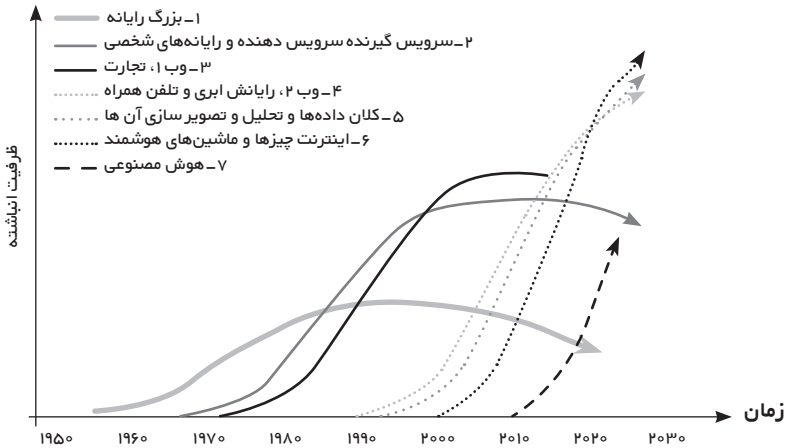
32. Macintosh Portable

33. VernorVinge

34. Singularity

35. Salesforce

نمودار ۵-۱ قدرت موج، خیزش فن‌آوری‌های جدید



منابع: اکسنچر، مجمع جهانی اقتصاد

در حالی که پانزده سال زمان برد تا مایکروسافت به درآمد یک میلیارد دلاری برسد، گوگل که در سال ۱۹۹۸ تاسیس شده بود طی پنج سال به درآمد یک میلیاردی رسید و تا سال پانزدهم درآمد آن از پنجاه میلیارد دلار فراتر رفته بود. فیس‌بوک طی تنها چهار سال از درآمد یک میلیاردی عبور کرد. آمازون، شرکت خرده‌فروشی آنلاین که در سال ۱۹۹۴ و در موج سوم (اینترنت ۱.۰) شکل گرفت طی سیزده سال به درآمد ده میلیاردی رسید؛ و خدمات وب آمازون، بخش خدمات ابری آمازون، که در موج چهارم (وب ۲.۰) شکل گرفت طی تنها ده سال پس از تاسیس در سال ۲۰۰۶ به درآمد ده میلیاردی رسید.

**قدرت موج‌ها و سرمایه‌گذاران جسور**

پول و سرمایه‌ای که از طریق سرمایه‌گذاری جسورانه فراهم آمده نیز به قدرت گرفتن موج‌ها کمک کرده است. سرمایه‌گذاری به

شیوه سرمایه جسورانه<sup>۳۶</sup> در سال ۱۹۵۹ و برای پشتیبانی شرکت فیرچیلدسمی کنداکتر<sup>۳۷</sup> شکل گرفت آن هم توسط آنچه بعدها به شرکت ونرک اسوشیتز<sup>۳۸</sup> تحت حمایت خاندان راکفلر<sup>۳۹</sup> تبدیل شد. ظهور شرکت‌های سرمایه‌گذاری جسورانه مستقل مانند شرکت‌های کلینر<sup>۴۰</sup>، پرکینز<sup>۴۱</sup>، کوفیلد<sup>۴۲</sup> و سکویا کپیتال<sup>۴۳</sup> تا اوایل دهه ۱۹۷۰ طول کشید اما حتی آن زمان نیز میزان سرمایه‌گذاری‌های این چینی اندک بود.

تازه سال ۱۹۷۸ بود که سرمایه‌گذاری جسورانه نخستین جذب سرمایه هنگفت را تجربه کرد آن هم زمانی که این صنعت مبلغی حدود ۷۵۰ میلیون دلار جذب کرد. در همان سال، وزارت کار ایالات متحده آمریکا بخشی از محدودیت‌ها در مورد قانون امنیت درآمد بازنشستگی را تسهیل کرد و اجازه داد که صندوق‌های بازنشستگی در دارایی‌ها سرمایه‌گذاری کنند و به منبعی برای تامین پول برای سرمایه‌گذاری‌های جسورانه تبدیل شوند.

حتی با افزایش سرمایه‌گذاری جسورانه، باز هم میزان سرمایه‌گذاری در بخش نرم‌افزار محدود بود. بدبینی نسبت به فعالان اصلی این صنعت یعنی مهندسان نرم‌افزاری که تازه شب‌ها از خانه بیرون می‌زدند و همچنین نسبت به مدل تجاری این صنعت نوپا باعث شد که میزان سرمایه‌گذاری در بخش نرم‌افزار تا اواخر دهه ۱۹۸۰ و اوایل دهه ۱۹۹۰ به ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلیون دلار در سال محدود بماند. در سال ۱۹۹۵، مجموع سرمایه‌گذاری در شرکت‌های نرم‌افزار بالاخره از یک میلیارد دلار بالاتر رفت. تا سال ۲۰۱۵، سرمایه‌های جذب شده از طریق سرمایه‌گذاری جسورانه برای بخش نرم‌افزار به ۲۳ میلیارد از

36. Venture capital

37. Fairchild Semiconductor

38. Venrock Associates

39. Rockefeller

40. Kleiner

41. Perkins

42. Caufield

43. Sequoia Capital

مجموع ۵۸ میلیارد دلار کل سرمایه‌گذاری جذب شده برای این بخش رسید. این رشد سرمایه‌گذاری به افزایش تعداد شرکت‌های ورودی به هر موج انجامید. در سال ۱۹۹۵، تعداد قراردادهای بخش نرم‌افزار که سرمایه آنها توسط سرمایه‌گذاری جسورانه فراهم آمده بود به ۴۳۵ فقره قرارداد رسید. تا سال ۲۰۱۵ تعداد چنین قراردادهایی از ۱۸۰۰ فقره فراتر رفت. برندگان جهان نرم‌افزار نیز به طور طبیعی و هم به واسطه تصاحب شرکت‌های کوچکتر به سرعت رشد کردند. درآمد مایکروسافت تا سال ۲۰۱۵ به ۹۳ میلیارد دلار رسید. سلیزفورس، شرکتی متعلق به موج چهارم، با شش میلیارد دلار درآمد به ششمین شرکت بزرگ نرم‌افزاری تبدیل شد. آمازون، درآمدی ۱۰۷ میلیارد دلاری، و گوگل، با درآمد تقریباً ۷۵ میلیارد دلاری، به برترین شرکت‌های اینترنتی تبدیل شدند.

شیوه ساخت نرم‌افزارها و نیروی محرک نوآوری در دهه ۱۹۹۰ تغییر کرد. در موج سوم، نرم‌افزارهای رایگان یا متن‌باز<sup>۴۴</sup> به گزینه‌ای مطلوب برای توسعه‌دهندگان وبسایت‌ها تبدیل شدند. نرم‌افزارهای متن‌باز مانند لینوکس<sup>۴۵</sup> هزینه راه‌اندازی شرکت‌های تازه را کاهش دادند. چنین نرم‌افزارهایی نه تنها رایگان بودند، بلکه به واسطه حمایت جامعه بزرگی از توسعه‌دهندگان نرم‌افزار در سرتاسر جهان تقویت شدند. در سال ۲۰۰۰، شرکت سلیزفورس رابط‌های برنامه‌نویسی کاربردی<sup>۴۶</sup> که مجموعه‌ای از دستورالعمل‌ها و استانداردهای برنامه‌نویسی برای اپلیکیشن‌های نرم‌افزاری تحت وب هستند را به طور عمومی منتشر کرد. دیگر حق مالکیت نرم‌افزارها یک استراتژی پیروز نبود و نرم‌افزارها و اینترنت به منابعی باز و قابل دسترسی و قابل برنامه‌نویسی تبدیل شدند. امروز برای هر طبقه‌ای از نرم‌افزار بیش از پانزده هزار رابط برنامه‌نویسی کاربردی وجود دارد.

44. open-source

45. Linux

46. Application Program Interfaces



## موج‌های پنجم و ششم:

### کلان داده و اینترنت چیزها

اینترنت به انفجار اطلاعات انجامیده است. به اصطلاح «کلان داده‌ها» آن قدر عظیم و پیچیده شده‌اند که شیوه‌های سنتی پردازش داده‌ها دیگر برای جمع‌آوری، هم‌رسانی، ذخیره‌سازی و جستجوی همه اطلاعات کفایت نمی‌کنند چه برسد به ارائه پیش‌بینی‌های تحلیلی. در سال ۲۰۰۶، نسخه‌ای ابتدایی از کد برنامه نویسی به نام هادوپ<sup>۴۷</sup> منتشر شد. آپاچی هادوپ<sup>۴۸</sup>، نرم‌افزاری رایگان و متن باز همراه با پلتفرم رایانش ابری، موج کلان داده را آغاز کرد آن هم با سیستمی که می‌تواند پردازش‌های موازی مقادیر هنگفتی داده را در میان سرورهای استاندارد نه چندان گران توزیع کند و بدین ترتیب محدودیت‌های مربوط به پردازش کلان داده‌ها را کاهش دهد. نه تنها میلیاردها انسان به‌وسیله هزاران اپلیکیشن این کلان داده‌ها را تولید می‌کنند، بلکه برآورد می‌شود که طی ده سال آینده بیش از ۱۰۰ میلیارد دستگاه که هرکدام ده‌ها حسگر دارند نیز به اینترنت متصل شوند. بیش از هزاران میلیارد حسگر به زودی به جمع آوری داده در سرتاسر جهان و از طریق «اینترنت چیزها»<sup>۴۹</sup>، از وسایل پوشیدنی گرفته تا خودروهای خودران، پهپادها، ماهواره‌ها و دوربین‌ها، مشغول خواهند شد. در حالی که موج کلان داده‌ها در حال شکل‌گیری است، موج اینترنت چیزها نیز در پی آن می‌آید درست در حال گذار از اینترنت ساده به اینترنت همه‌چیز هستیم آن هم به‌وسیله شبکه‌ای به هم متصل از میلیاردها دستگاه و همچنین میلیاردها انسان. این دو موج اخیر، کلان داده و اینترنت چیزها، هنوز به ساحل نرسیده‌اند آن هم در حالی که ما شاهد برآمدن موج هفتم نیز هستیم، همان موجی که بیل گیتس بیش از همه نگرانش بود؛ یعنی هوش مصنوعی.

47. Hadoop

48. Apache Hadoop

49. Internet of Things

## آمدن شماره هفت

شرکت‌های هوش مصنوعی ابتدا در موج دوم در دهه ۱۹۸۰ ظاهر شدند. در دهه ۱۹۸۰ سامانه‌های خبره<sup>۵۰</sup> به رایانه‌های شخصی راه یافتند. دانشگاه‌ها واحدهای درسی مربوط به سامانه‌های خبره را ارائه دادند و بسیاری از شرکت‌های بزرگ نیز این فن‌آوری را در کسب و کارهایشان به کار گرفتند. سرمایه‌گذاران جسور هم از چندین تازه وارد مانند آیون کورپوریشن<sup>۵۱</sup>، نورون دیتا<sup>۵۲</sup>، اینتلیکورپ<sup>۵۳</sup> و اینفرنس<sup>۵۴</sup> که زمانی پیشرو محسوب می‌شدند حمایت کردند. تا اوایل دهه ۱۹۹۰ عبارت «سامانه‌های خبره» و شرکت‌های هوش مصنوعی مربوط به این موج همگی ناپدید شده بودند و هیچ کدام به ساحل نرسیدند.

همراه با دیگر موج‌ها، مشتاقان هوش مصنوعی با اطمینان و بر اساس طرح‌های اولیه مربوط به آینده ادعا می‌کنند که هوش مصنوعی همین حالا هم موجود است. موج‌های پی در پی سنگ بناهای اساسی برای هوش مصنوعی مدرن را فراهم آورده‌اند. هوش مصنوعی به خودی خود نیز از دهه ۱۹۹۰ با تجدیدنظر مواجه شده است. با این حال، ما در مراحل بسیار اولیه این موج قرار داریم و بعید است که طی مدت زمان مدنظر و پنج به تکنیگی برسیم.

دوران هوش مصنوعی سامانه‌های خبره به زمینه تازه‌ای به نام «یادگیری ماشین<sup>۵۵</sup>» منجر شد که شامل الگوریتم‌هایی است که می‌توانند از داده‌ها بیاموزند و بر اساس آنها پیش‌بینی کنند. «یادگیری عمیق<sup>۵۶</sup>» تازه‌ترین شاخه این زمینه است: الگوریتم‌ها در یادگیری عمیق بر اساس داده‌هایی هستند که از تعامل میان چندین لایه از یادگیری ماشین حاصل شده‌اند. افزایش نمایی در داده‌های دیجیتالی شده تامین‌کننده خوراک مورد نیاز سامانه‌های یادگیرنده، بهبودها در ابزارهای مربوط به داده‌ها، نرم

50. Expert Systems

51. Aion Corporation

52. Neuron Data

53. Intellicorp

54. Inference

55. Machine Learning

56. Deep Learning

افزارهای متن باز و زیرساخت‌های نه چندان گران مربوط به رایانش ابری می‌توانند به انقلابی در نوآوری‌ها در هوش مصنوعی مدرن بینجامند.

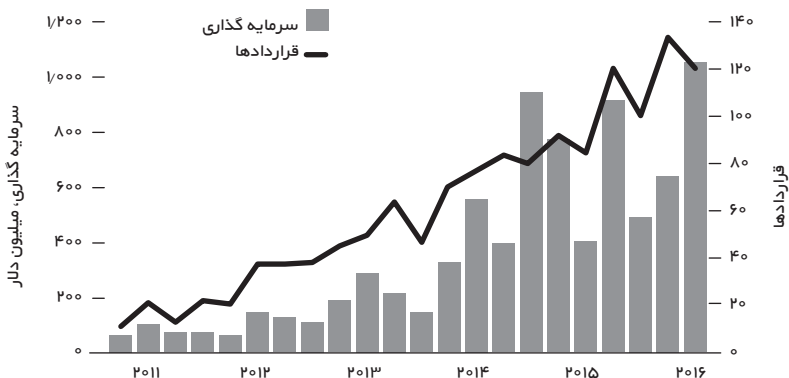
سرمایه‌گذاران جسور بار دیگر به سرمایه‌گذاری در هوش مصنوعی علاقه نشان داده‌اند. سرمایه‌گذاران جسوری که در مراحل نخستین قرار دارند، بسیاری از سرمایه‌گذاری‌هایشان را در موج‌هایی که تازه دور از ساحل در حال شکل‌گیری هستند انجام می‌دهند، در نتیجه بسیاری از شرکت‌های ورودی هنوز به چشم نیامده‌اند، حتی در شرایطی که مشخص است دلارها در کجا سرمایه‌گذاری شده‌اند. سرمایه‌گذاری‌های مربوط به موج هفتم در هوش مصنوعی مدرن احتمالاً از حدود سال ۲۰۱۰ آغاز شده‌اند (بنگرید به نمودار ۵-۲). کاربردهای ایجاد شده بر اساس زیرساخت‌های هوش مصنوعی در سال ۲۰۱۵ سرمایه‌ای معادل ۳.۶ میلیارد دلار را جذب کرده‌اند. شرکت تحقیقاتی آی‌دی‌سی<sup>۵۷</sup> برآورد کرده که تا پایان سال ۲۰۱۵ تنها حدود یک درصد همه نرم‌افزارها از امکان هوش مصنوعی برخوردار بوده‌اند و بسیاری از این سرمایه‌ها راهی تازه واردها شده‌اند. آی‌دی‌سی همچنین پیش‌بینی کرده که تا سال ۲۰۲۰ ارزش بازار یادگیری ماشین به ۴۰ میلیارد دلار می‌رسد و ۶۰ درصد اپلیکیشن‌های مربوط به آن بر روی پلتفرم‌های مربوط به آمازون، گوگل، آی‌بی‌ام و مایکروسافت عمل خواهند کرد.

اینترنت چیزها و تجسم‌های قابل لمس‌تر آن به گسترش خیره‌کننده فن‌آوری‌های دیجیتال و هوش مصنوعی می‌انجامند، به طوری که برای عموم مردم نیز قابل لمس‌تر و جذاب‌تر باشد. اینترنت چیزها باعث ایجاد نوعی آگاهی‌متنی نسبت به هر چیزی می‌شود. ترموستات یادگیرنده شرکت نست<sup>۵۸</sup>، که اکنون محصولی از شرکت گوگل به حساب می‌آید، قابل برنامه‌ریزی است و می‌تواند بیاموزد و به این ترتیب گرمایش و سرمایش خانه من را بهینه کرده و برای من پیام‌هایی می‌فرستد با این محتوی که چه میزان در مصرف انرژی صرفه‌جویی شده است. این دستگاه بر اساس یادگیری ماشین طراحی شده است. طی هفته‌های نخست من باید خودم

57. IDC

58. Nest Learning Thermostat

نمودار ۵/۲ پدیده عظیم بعدی  
 سرمایه گذاری در هوش مصنوعی



منبع: CBInsights

دماپا (ترموستات) را تنظیم می‌کردم تا داده‌های معیار به دستگاه داده شود. اکنون دستگاه «فکر می‌کند» که برنامه زمانی من و اینکه چه دمایی را برای چه موقعیتی ترجیح می‌دهم را آموخته است. در نتیجه با استفاده از حسگرها و بر اساس موقعیت تلفن همراه من، هنگامی که پی می‌برد من در خانه نیستم، وضعیت دما را روی حالتی با مصرف انرژی کم تنظیم می‌کند. آب پاش رچیوی<sup>۵۹</sup> حیات خانه من به طور هوشمندانه شرایط آب و هوایی و میزان رطوبت اخیر و پیش‌رو را تحلیل کرده (و بر اساس آن به حیاط آب می‌دهد) و دیگر من مجبور نیستم که پیش بینی‌های هواشناسی را دنبال کنم و بر اساس آنها آب‌پاش‌ها را روشن یا خاموش کنم. از دوربین‌های امنیتی گرفته تا قفل درها و یخچال‌ها، وسایل خانگی همگی به لطف حضور داده‌ها و یادگیری ماشین هوشمندانه‌تر عمل می‌کنند.

آرتور سی. کلارک<sup>۶۰</sup>، نویسنده داستان‌های علمی تخیلی، می‌گوید: «هر فن‌آوری به میزان کافی پیشرفته چندان از جادو قابل تمایز نیست». هم‌گول‌های فن‌آوری و هم شرکت‌های تازه وارد در این موج هوش مصنوعی در بازار بات‌ها<sup>۶۱</sup> و برای به وجد آوردن و غافلگیر ساختن ما مشغول رقابت هستند. بات کاربردی نرم‌افزاری است که می‌تواند اموری را به طور خودکار انجام دهد. به طور عمومی، ربات‌ها اموری را انجام می‌دهند که سراسر است و از نظر ساختار تکراری باشند، آن هم به میزان دفعاتی به مراتب بیشتر از آنچه برای یک انسان امکان‌پذیر است.

در جهانی با هزاران اپلیکیشن و حالا صدها دستگاه مختلف، به وجد آمدن کار چندان سختی نیست. من تحت تاثیر دستگاه آمازون اکو<sup>۶۲</sup> قرار دارم و اینکه «آلسکا»<sup>۶۳</sup> چقدر خوب صدای من را تشخیص داده و به سرعت به درخواست‌های من برای دسترسی به مقادیر هنگفتی از داده‌ها پاسخ می‌دهد. همچنین این حقیقت که آلسکا اکنون از طریق رابط‌های برنامه‌نویسی کاربردی به بسیاری از دیگر دستگاه‌های هوشمندتر من متصل است مرا به وجد می‌آورد. برای ارسال پیام کوتاه هنگام رانندگی از سیری<sup>۶۴</sup> بهره می‌برم. وقتی گوگل به وسیله گوگل نو<sup>۶۵</sup> جستجوهای من را پیش‌بینی می‌کند شگفت زده می‌شوم. در نهایت در آینده به امروز می‌نگرم و احتمالاً با خود خواهم گفت که این بات‌ها تنها «نمونه‌های اولیه‌ای برای آینده» بوده‌اند. برای مثال در مورد موتورهای جستجو با امکان تشخیص صدا انتظارم این است که به زودی قادر خواهم بود که با سیری محصول شرکت اپل، آلسکا محصول شرکت آمازون، کورتانا<sup>۶۶</sup> محصول شرکت مایکروسافت یا محصول دیگری از یک شرکت نوظهور مکالمه واقعی برقرار کنم. (آلسکا همین حالا هم از شوخ طبعی برخوردار است به طوری که هنگامی که از او می‌خواهم

60. Arthur C. Clarke

61. Bot

62. Amazon Echo

63. Alexa

64. Siri

65. Google Now

66. Cortana

«در ورودی محفظه را باز کند»، او پاسخ می‌دهد: «متاسفم دیو<sup>۶۷</sup>، نمی‌توانم انجامش بدهم. من حال<sup>۶۸</sup> نیستم و ما هم در فضا نیستیم.»<sup>۶۹</sup>

در حالی که منتظر گذار به رایانه‌هایی هستیم که به‌وسیله مکالمه فرمان می‌گیرند و در انتظار پاسخ نهایی آزمون تورینگ به سر می‌بریم آزمونی برای سنجش هوش مصنوعی که میزان توانایی ماشین برای نشان دادن رفتار هوشمندانه معادل یا متمایز از هوش انسان را می‌سنجد و توسط آلن تورینگ<sup>۷۰</sup> در سال ۱۹۵۰ ارایه شد بی تردید نرم‌افزاری هوشمندتری نیز می‌سازیم. در حالی که موج هفتم در حال شکل‌گیری است چرخه‌ای سریع و رقابتی از نوآوری نیز ایجاد شده است. این هوش که به‌طور گسترده به کار گرفته شده به هوشمندتر شدن نرم‌افزارها انجامیده و از الگوریتم‌های تجاری مقایسه قیمت‌ها گرفته تا برنامه ریزی، تشخیص بیماری‌ها، نرم‌افزارهای مرکز تلفن، سرمایه‌گذاری، تحلیل و بهینه‌سازی ریسک، قیمت‌گذاری و مسیریابی حمل و نقل را در بر می‌گیرد.

امور و در واقع پیشه‌هایی که زمانی به نظر می‌رسد تنها از انسان ساخته است اکنون با همکاری ماشین‌ها به مراتب بهتر انجام می‌شوند. الگوریتم‌ها، اگر داده‌های مناسب در اختیار داشته باشند، می‌توانند امور برنامه ریزی، تحلیل، تصمیم‌گیری، پیش‌بینی، تشخیص و حتی نگارش اخبار را بر عهده بگیرند و به راحتی در قلمرو امور متناوب و تکرار شونده وارد شوند و با کمک هوشی که در بررسی داده‌هایی عظیم به کار گرفته شده ما را کمک کنند. این اشتها برای داده‌های بیشتر و بیشتر برای تغذیه کردن ماشین‌ها برای نخستین بار به در هم شکستن واحدهای جدا افتاده مخصوص تولید داده در شرکت‌های مختلف در صنایع مختلف انجامیده است. همکاری ابری میان این واحدها در آینده‌ای نه چندان دور به تأثیری قابل توجه در علمی می‌انجامد که بر زندگی و سلامت ما تأثیر گذارند.

67. Dave

68. Hal

۶۹. اشاره نویسنده به فیلم ۲۰۰۱: ادیسه فضایی ساخته استنلی کوبریک است که در آن شخصیت فزانورد از رایانه‌ای که بسیاری از امور فضاپیما را کنترل می‌کند و حال نام دارد می‌خواهد درب محفظه ورودی را باز کند اما رایانه حال از این کار سرباز می‌زند.

70. Alan Turing

## هنگامی که موج فرو می‌نشیند

طی چند دهه‌ای که زمان می‌برد تا شرکت‌های پیروز موج هوش مصنوعی به ساحل برسند، نبردهای تازه‌ای شکل خواهند گرفت. دینامیک رقابت و زمینه‌هایی که فرصت‌ها در آنها قرار گرفته تغییر خواهند کرد. زنجیره تامین باز و مشارکتی تولید نرم‌افزار مزیتی بارز برای برندگان آینده خواهد بود اما این باز بودن از بسیاری جهات به سریع‌تر و سخت‌تر شدن رقابت می‌انجامد. بر خلاف مایکروسافت که در موج دوم به صنعت نوپای نرم‌افزار وارد شد، شرکت‌های تازه وارد در موج هفتم باید با بسیاری از برندگان قدرتمند شامل آی‌بی‌ام، مایکروسافت، گوگل، آمازون، فیس‌بوک و دیگران رقابت کنند و اگرچه سرمایه‌گذاران جسور احتمالاً همچنان بخش قابل توجهی از سرمایه‌هایشان را به شرکت‌های نرم‌افزاری اختصاص خواهند داد، اما باید در انتظار ایشان در مورد پیشی گرفتن از برندگان گذشته تجدید نظر کنند.

همین حالا هم تغییرات محسوس در فرصت‌های هدف قرار داده شده برای کارآفرینان و سرمایه‌گذاران وجود دارد. سرمایه‌گذاری در بخش نرم‌افزاری به طور تاریخی بر توسعه ابزارها، پلتفرم‌ها و اپلیکیشن‌هایی قرار داشته تا بتواند به شرکت‌ها برای دستیابی به بهره‌وری بالاتر یا تولید در مقیاس بزرگ‌تر کمک کنند. از بسیاری جهات، کارآفرینان نرم‌افزاری و سرمایه‌گذاران جسور حامی آنها اکنون به ارتشی علیه شرکت‌ها تبدیل شده‌اند. آمازون، نتفلیکس<sup>۷۱</sup> و موارد اخیر مانند اوبر<sup>۷۲</sup> و ایربی‌ان‌بی<sup>۷۳</sup> به عنوان کارآفرینانی ظهور کرده‌اند که به ترتیب به کسب و کارهای اساسی شرکت‌ها یعنی خرده‌فروشی، سرگرمی، حمل و نقل و صنعت مهمان‌نوازی (مانند هتلداری) حمله ور شده‌اند. نرم‌افزارها اکنون بخش بیشتری از تجربه مصرف‌کنندگان را رقم می‌زنند و به مشتری‌ها قدرت و شفافیت بیشتری داده‌اند. اوبر که در سال ۲۰۰۹ تاسیس شد، شرکتی کلان داده متعلق به موج

71. Netflix

72. Uber

73. Airbnb

پنجم است. برای اوبر، جهانی که در آن هر فردی در جیبش رایانه‌های همواره متصل به اینترنت با امکان تشخیص موقعیت جغرافیایی دارد که به کاربران اجازه می‌دهد به محض اراده یک خودرو سفارش دهند تا آنها را به مقصد مدنظر ببرد. همان رایانه کوچک به رانندگان اجازه می‌دهد که درخواست کار دهند و هر زمان تمایل دارند مشغول به کار شده یا دست از کار بکشند. الگوریتم‌های اوبر با استفاد از منابع کلان‌داده‌ها (از هوا گرفته تا اخبار و رویدادهای فرهنگی و اعتصاب‌های بخش حمل و نقل) بهترین مسیر و بهای بهینه را تعیین می‌کنند. برای درک اینکه هوش مصنوعی چگونه به شرکت اوبر برای بهبود شیوه عملکرد و رابطه با مشتریان کمک خواهد کرد، نیازی به قوه تخیل نیست. یادگیری ماشین به اوبر اجازه خواهد داد که عرضه و تقاضا را بهتر پیش‌بینی کرده و قیمت‌ها را بر آن اساس تنظیم کند. وسایل نقلیه خودران، ناوگان فعلی اوبر را تکمیل خواهند کرد. پردازش زبان به تعامل بیشتر با مشتری‌ها و دریافت داده‌های بیشتر می‌انجامد. همین روایت در مورد ایربی‌ان‌بی در صنعت مهمان‌نوازی نیز صدق می‌کند.

کارآفرینان و سرمایه‌گذاران جسور حرکت به سوی دیجیتالی ساختن هر صنعت پس از صنعت دیگر را آغاز کرده‌اند و در مسیر به فرصت‌ها و کسب و کارهای بزرگتری حمله می‌کنند. سرمایه‌گذاری جسورانه در شرکت‌های نرم‌افزاری تنها در صنعت خدمات مالی در سال ۲۰۱۵ به ۱۳.۸ میلیارد دلار رسید که دو برابر مقادیری است که در سال ۲۰۱۴ در این بخش که «فینتک»<sup>۷۴</sup> خوانده می‌شود سرمایه‌گذاری شده بود و همچنین شش برابر منابع مالی اختصاص یافته به این بخش در سال ۲۰۱۱ است. دیگر صنایع نیز الگوی مشابهی را دنبال می‌کنند. ارتش‌های توسعه‌دهندگان نرم‌افزار به شدت مشغول رقابت هستند. داده‌های منتشر شده توسط زنجیره تامین نرم‌افزار میون سنترال<sup>۷۵</sup>، که امکان دانلود اجزا و برنامه‌های متن باز برای نرم افزارهای متن باز را فراهم می‌آورد، نشان می‌دهد که صنعت نرم‌افزار با چه سرعتی رو به گسترش است (بنگرید به نمودار ۵.۳).

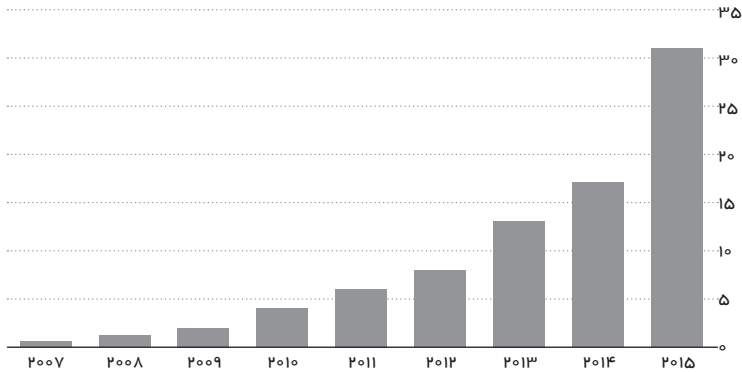
74. Fintech

75. Maven Central



## نمودار ۵-۳ اوج گرفتن نرم افزار: زنجیره تامین نرم افزار

درخواست‌های دانلود برای نرم افزارهای متن باز، بر اساس میلیارد



منبع: Sonatype

بیل گیتس در باور به اینکه نرم‌افزارها می‌توانند ارزش هنگفتی ایجاد کنند درست می‌گفت. اما حتی او نیز اکنون می‌گوید که خطر اینکه هوش مصنوعی «به شدت هوشمند» شود به آینده‌ای خیلی دور مربوط می‌شود. هوش مصنوعی اکنون بسیار جوان است. بعید است که در این موج فعلی دستگاه‌هایی پدید بیایند که با خلاقیت افرادی مانند گیتس، استیو جابز یا مارک زاکربرگ یا کارآفرینان موج‌های تازه برابری کنند. با این حال تردیدی نیست که توانایی مهار اینترنت چیزها و شیوه به کار گرفتن کلان‌داده‌ها برای خدمات رسانی و افزایش امکانات مشتری‌ها یکی از میدان‌های نبرد حیاتی در آینده خواهد بود.

فصل ششم

بحث اصلی

در مورد نوآوری

رایان ایونت<sup>۱</sup>

بحث در مورد اینکه آیا فن آوری در آینده به افزایش رشد و بهره‌وری می‌انجامد یا خیر بالا گرفته است.

طی تنها چند هفته در اوایل سال ۲۰۱۶ می‌شد طلوع عصری تازه و روشن از فن‌آوری را در افق مشاهده کرد. در اروپا قافله‌ای از کامیون‌ها، جاده‌های این قاره را می‌پیمودند، آن هم در حالی که رانندگان در حال استراحت بودند و هدایت کامیون را برای چند ساعت به رایانه‌ها سپرده بودند. در میان اقیانوس آتلانتیک، شرکت فضانوردی خصوصی اسپیس‌اکس<sup>۱</sup>، یک موشک قابل استفاده مجدد مخصوص حمل ماهواره‌ها را با موفقیت بر روی یک شناور تحت هدایت رایانه نشانده و در سئول، شرکت آلفاگو<sup>۲</sup>، شرکتی قدرتمند در زمینه سامانه هوش مصنوعی که توسط شرکت گوگل ایجاد شده، قهرمان جهان در بازی گو<sup>۳</sup> را شکست داد. بازی گو شبیه بازی شطرنج است با تعداد حرکت‌های بالقوه به مراتب بیشتر و یافتن حرکت بهینه در آن نیازمند محاسبات پیچیده و جامع است. کمتر از دو هفته مانده به هزاره جدید، بشر در حال ساخت فن‌آوری‌های تازه‌ای است که ظاهراً هیچ محدودیتی برای کاربردهای عملی آنها وجود ندارد. با این حال و در شرایطی که جهان به چنین شگفتی‌هایی با حیرت می‌نگرد، بدبینی عمیقی در مباحث مربوط به آینده رشد اقتصادی ریشه دوانده است. تقریباً در همان زمان، رابرت گوردون<sup>۴</sup>، اقتصاددان در دانشگاه نورث وسترن<sup>۵</sup>، کتاب جالب توجهی در مورد گذشته و آینده رشد بهره‌وری در اقتصاد آمریکا منتشر کرد. آقای گوردون در کتاب «ظهور و سقوط رشد آمریکایی: استاندارد زندگی در ایالات متحده از زمان جنگ داخلی<sup>۶</sup>»، استدلال کرد که موج عظیم نوآوری در نیمه دوم قرن نوزدهم میلادی اقتصادهای ثروتمند را متحول ساخت و شرایط لازم برای یک قرن رشد سریع بهره‌وری را فراهم آورد. برق و خودرو، لوله کشی داخل ساختمان‌ها و داروسازی مدرن مسیر را برای چندین دهه تحولی هموار ساختند که در نهایت جهان مدرن را خلق کردند. گوردون نشانه‌های از تکرار این روند در آینده‌ای نزدیک را مشاهده نمی‌کند. به اعتقاد او انقلاب دیجیتالی، هر چند مهم، به نسبت در توان

1. SpaceX

2. AlphaGo

3. Go

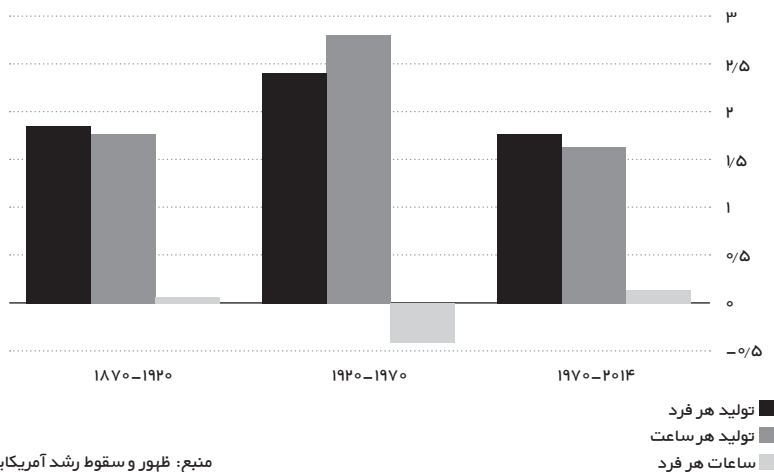
4. Robert Gordon

5. Northwestern

6. The Rise and Fall of American Growth: The U.S. Standard of Living Since the Civil War

نمودار ۶-۱ معمای بهره‌وری

بهره‌وری نیروی کار در آمریکا، درصد تغییر سالانه



بالقوه برای ایجاد تحول کم‌توان است. دهه‌ها پیشرفت در فن‌آوری اطلاعات به رشد تولید سرانه، تعدیل شده با نرخ تورم، معادل آنچه کشورهای صنعتی در اواسط قرن بیستم تجربه کردند منجر نشده است (بنگرید به نمودار ۶-۱). امید به زندگی یا میانگین طول عمر نیز به سرعت سابق در حال رشد نیست. چشم اندازه‌های مربوط به آینده‌ای بسیار متمول رایج در دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ و استوار بر پایه رباتیک و فن‌آوری موشکی و پردازش رایانه‌ای قدرتمند محقق نشده‌اند. گوردون برای دفاع از ادعایش کافی است که به جهان پیرامون اشاره کند. شگفتی‌های انقلاب دیجیتالی قدرتمندتر و توانمندتر شده‌اند، اما دستمزد بسیاری از کارگران، پس از تعدیل بر اساس نرخ تورم، به هیچ وجه نزدیک به رشدهایی که در نیم قرن پیش مشاهده می‌شد نیستند. جوامع ثروتمند به جای اینکه خوشبین باشند، عصبانی و درمانده هستند.

پرسش سخت این است که آیا فن‌آوری به همین روند ناامیدکننده

ادامه خواهد داد؟ هنگامی که ماشین‌ها به زبانی عادی و طبیعی با انسان‌ها سخن بگویند و خودروهای بدون راننده کالاهای مدنظر افراد را به در منزل آنها ببرند، آن هم پیش از آنکه افراد اصلا پی ببرند که آن کالا را می‌خواهند، آیا جهان همچنان مانند امروز احساس می‌کند که در گودال گیر افتاده است؟

پاسخ گوردون و بسیاری دیگر از همفکرانش به این پرسش مثبت است. فن‌آوری دیجیتال، هر چند جذاب، باز هم در تولید بهبودهای کیفی در سطح زندگی شبیه به آنچه نوآوری‌های اساسی در اواخر قرن نوزدهم ایجاد کردند ناکام می‌ماند. علاوه بر این، نوآوری‌های ناشی از فن‌آوری دیجیتال باید رشد اقتصادی را در مقابل بادهای مخالفی مانند سالخوردگی جمعیت و افزایش نابرابری به پیش ببرند.

خوشبین‌ها، که تعداد آنها نیز کم نیست، نظر مخالفی دارند. آنها دیگران را به صبر دعوت می‌کنند و برای ادعای خود دلایل قوی‌تری دارند.

### نقص در ارقام

بدین‌ها نسبت به آینده بهره‌وری از یک مزیت اولیه بهره‌مند هستند: داده‌ها در طرف آنها قرار دارند. اقتصاددانان از بهره‌وری یا میزان محصول تولید شده توسط میزان ثابتی از زمین، نیروی کار یا سرمایه، به عنوان عامل کلیدی برای رشد بلندمدت در درآمد و سطح زندگی نام می‌برند. رشد بهره‌وری در جهان ثروتمند طی چند دهه پس از جنگ جهانی دوم به شدت افزایش یافت، اما در دهه ۱۹۷۰ به شدت کند شد. در اواخر دهه ۱۹۹۰ رشد بهره‌وری به خصوص در ایالات متحده دوباره بهبود یافت و بسیاری از اقتصاددانان مقدم تاثیر «پایدار» ناشی از فن‌آوری اطلاعات را گرامی داشتند. با این وجود تا اواسط دهه ۲۰۰۰ این امید نیز کم‌رنگ شد و رشد بهره‌وری بار دیگر کند شد و دیگر هیچ بهبودی نیز به چشم نمی‌خورد.

گوردون اعتقاد دارد که این همه آن چیزی بود که فن‌آوری اطلاعات

می‌توانست به ارمغان بیاورد. جهش رشد ناشی از گسترش فن‌آوری مربوط به مواردی مانند دیجیتالی‌شدن، رایانه‌های شخصی و اینترنت روی داده است. هرچه قدر که پیشرفت‌های اخیر در این فن‌آوری‌ها جالب توجه بوده‌اند، اما برای افزایش بهره‌وری کفایت نمی‌کنند. فن‌آوری تلفن همراه و شبکه‌های اجتماعی تغییر چندانانی در توان بشر برای تولید محصول بیشتر با عوامل تولید کمتر ایجاد نمی‌کنند؛ همان‌طور که پیتز ثیل<sup>۷</sup>، یک سرمایه‌گذار جسور، می‌گوید به ما وعده خودروهای پرنده داده شده بود، اما در نهایت آنچه تحقق یافت شبکه‌های اجتماعی بود. خودروهای بدون راننده قرار نیست تحولی در بهره‌وری ایجاد کنند، چرا که افراد زمانی که می‌توانند از خودرو استفاده کنند بهره‌وری بسیار بیشتری خواهند داشت، حالا آن قدر تفاوتی نمی‌کند که در حال راندن خودرو باشند یا خیر.

در همین حال، بدبین‌ها اشاره می‌کنند که سرعت نوآوری در صنایع رایانه‌ای، که به تداوم پیشرفت به سوی فن‌آوری‌های موجود یاری رساند، در حال کند شدن است. برای نیم قرن مهندسان با موفقیت توانستند با قانون مور همگام باشند (قانونی که به نام گوردون مور، موسس شرکت رایانه‌ای اینتل، نامگذاری شده بنگرید به فصل ۴) که فرض می‌گیرد تعداد ترانزیستورها در تراشه‌ها تقریباً هر دو سال یک بار دو برابر می‌شود. این رشد چشمگیر به تولیدکنندگان رایانه‌ها اجازه داد که محصولات‌شان را از کالاهایی بسیار گران و پرمصرف به اندازه یک اتاق به رایانه‌های قدرتمند تبدیل کنند که ما اکنون در جیب‌هایمان قرار می‌دهیم. متأسفانه، قانون مور دیگر دارد از نفس می‌افتد.

گوردون با در نظر گرفتن همه موارد استدلال می‌کند که دورنمای یک رنسانس فن‌آوری محور در نیمه نخست هزاره سوم بسیار کم‌رنگ است. آیا چشم اندازه‌ها تا این حد تیره و تار هستند؟

برخی اقتصاددانان اعتقاد دارند مشکلی که آقای گوردون به آن اشاره می‌کند در واقع تنها یک خطای آماری است: راهکارهای اندازه‌گیری اقتصاد همگام با تغییرات فن‌آوری پیش نرفته‌اند. برآورد ارزش ایجاد شده در صنایع خدماتی و مرتبط با فن‌آوری

7. Peter Thiel

اطلاعات، که بخش قابل توجهی از فعالیت اقتصادی را به خود اختصاص داده، به مراتب سخت‌تر از سنجش میزان محصول تولید شده در کارخانه‌ها یا شرکت‌ها است. بسیاری از کالاهای دیجیتالی شگفت‌آور مانند ویکیپدیا<sup>۸</sup> و خدمات ارائه شده توسط گوگل رایگان هستند. علاوه بر این، افزایش در ارزش مصرف به‌طور فزاینده‌ای نتیجه افزایش کیفیت و شخصی شدن، مانند گوش دادن به فهرستی از موسیقی‌هایی که با سلیقه یک مخاطب به خصوص تطبیق داده شده‌اند، است. متخصصان آمار در دفاتر دولتی برای سنجش چنین تفاوت‌های ظریفی به شدت تلاش می‌کنند. با این وجود هر چند مشکلات مربوط به اندازه‌گیری به‌طور قطع مسئول بخشی از کمبودها است اما متخصصین محاسبات کمی معتقدند که این مشکلات عامل اصلی محسوب نمی‌شوند. بسیاری از مشکلات مشابه، هنگام جمع‌آوری داده‌ها در اواخر دهه ۱۹۹۰، یعنی زمانی که بهره‌وری اندازه‌گیری شده رو به رشد بود، روی دادند و زمانی که پژوهشگران تلاش می‌کنند تا ارزش سنجش ناصحیح فن‌آوری‌های تازه را برآورد کنند، با رقمی به مراتب کمتر از کمبودهای برآورد شده در کل بهره‌وری مواجه می‌شوند.

پس روایت گوردون تفسیر نامناسبی برای برخی از ناکامی‌های اقتصادی چند دهه اخیر نیست. با این حال به‌طور حتم راهنمای مناسبی برای چند دهه پیش‌رو نیز محسوب نمی‌شود. در واقع، بدبین‌ها از سه منظر در درک ماهیت تغییرات تکنولوژیکی به خطا رفته‌اند.

### ویژگی رشد نمایی

نخست اینکه بدبین‌ها اثر انباشت بهبودهای نمایی در قدرت پردازش رایانه‌ای را دست کم می‌گیرند. درست است که قانون مور در حال کندشدن است، اما این قانون در طول عمرش فن‌آوری را به آستانه پیشرفت‌های خارق‌العاده‌ای رسانده است. همان‌طور که اریک برینیولفسن<sup>۹</sup> و آندرو مک‌آفی<sup>۱۰</sup>، دو متخصص فن‌آوری در موسسه فن‌آوری ماساچوست<sup>۱۱</sup>، در چند کتاب اخیرشان شرح داده‌اند، رشد نمایی خاصیتی فریبنده دارد. آنها معمولاً به روایتی قدیمی ارجاع می‌دهند

8. Wikipedia

9. Erik Brynjolfsson

10. Andrew McAfee

11. Massachusetts Institute of Technology

که در آن مردی پس از اختراع بازی شطرنج آن را برای دریافت پاداش نزد پادشاه می‌برد. مخترع شطرنج در ازای این اختراع برنج درخواست می‌کند و برای تعیین میزان برنج نیز الگوی مشخصی را پیشنهاد می‌دهد: یک دانه برنج در نخستین خانه صفحه شطرنج، دو دانه برنج در خانه دوم، چهار دانه در خانه سوم و به همین ترتیب به ازاء هر خانه تعداد برنج‌ها دو برابر شود. پادشاه به سرعت این پیشنهاد را می‌پذیرد با این تصور که مجموع برنج‌ها ناچیز خواهد بود. با این وجود تعداد برنج‌ها در نیمه دوم صفحه شطرنج به شدت زیاد شده بود به طوری که برای نخستین خانه از نیمه دوم چهار میلیارد دانه برنج لازم بود و میزان برنج لازم برای هر خانه جدید تقریباً به اندازه مجموع همه برنج‌های اختصاص یافته به خانه‌های پیشین بود.

به طور مشابه، دو برابر شدن قدرت رایانه‌ای که به لطف قانون مور روی داد پیشرفت‌های مهم اما نسبتاً کمی در توانایی رایانه‌ای ایجاد کرد. اما با گذشت زمان، هر دور از تحقق قانون مور به اندازه همه پیشرفت‌های گذشته، این قدرت رایانه‌ای را به پیش برده است. طی یک دهه اخیر، بدین‌ها به طور متناوب در مورد دستاوردهای تحقق یافته در جهان فن‌آوری غافلگیر شده‌اند، چرا که تا همین اواخر به نظر می‌رسید که دستیابی به آن‌ها به سال‌ها زمان نیاز دارد. در اواسط دهه ۲۰۰۰، ظاهراً خودروهای خودران بسیار فراتر از توان فن‌آوری‌های موجود بودند، اما چند سال بعد خودروهای خودران شرکت گوگل در خیابان‌های شهرها حضور داشتند و بیشتر تولیدکنندگان خودرو اکنون وسایل نقلیه‌ای را می‌فروشند که امکانات قابل توجهی برای هدایت اتوماتیک دارند. به طور مشابه، پیروزی آلفاگو نیز بسیار زودتر از زمان مورد انتظار روی داد. حتی اگر قانون مور در آینده آهسته‌تر شود، هر نسل همچنان قدرت پردازش رایانه‌ای به مراتب بیشتری از دستاوردهای نسل‌های پیشین به ارمغان خواهد آورد.

دومین دلیل برای خوشبینی این است که در هر صورت قانون مور دیگر محدودیتی برای پیشرفت فن‌آوری به حساب نمی‌آید. تولیدکنندگان تراشه‌ها در حال روی آوردن به طراحی‌ها و مواد تازه‌ای هستند که حتی بدون تداوم قانون مور نیز بتوانند توان رایانه‌ای را بهبود ببخشند. کاربرد گسترده رایانش ابری که به‌وسیله شرکت‌هایی مانند آمازون و گوگل در



دسترس قرار گرفته باعث شده که سرعت تراشه‌های رایانه‌های شخصی دیگر نقش چندانی در اموری که کاربر می‌تواند انجام بدهد نداشته باشند و همچنین پیشرفت در الگوریتم باعث بهبود در توان رایانشی شده است. پیروزی آلفاگو تنها به سادگی بوسیله رایانش جامع حالت‌های مختلف بازی امکان‌پذیر نبود و نیازمند هوشی ماشینی بود که بتواند برای یافتن راهی برای شکست حریف بیندیشد.

این عوامل در کنار هم تاکید دارند که ظرفیت به مراتب بیشتری برای افزایش قدرت و توان ماشین‌های متفکر وجود دارد. ضمن اینکه پیشرفت‌ها در توان رایانشی صرفاً به وسیله کمک به افراد برای انجام امور به شیوه‌ای سریع‌تر و به وسیله دستگاه‌هایی کوچکتر نسبت به سال گذشته حاصل نمی‌شوند. در عوض، هر نسل از پیشرفت فن‌آوری را به مرزهای تازه‌ای می‌رساند و امکان‌های تازه‌ای را برای کاربران رایانه‌ای فراهم می‌آورد.

### به آرامی و سپس ناگهانی

اگر ادعای بالا صحیح است پس چرا پیشرفت فن‌آوری تاکنون به افزایش رشد منجر نشده و چگونه می‌توان اطمینان داشت که چنین افزایشی در آینده ممکن خواهد بود؟ سومین، و قوی‌ترین، دلیل برای خوشبینی این است که یادگیری شیوه به کارگیری فن‌آوری‌های تازه و قدرتمند نیاز به زمان دارد.

گوردون تا حدی نسبت به انقلاب دیجیتالی بی‌انصاف است. او به درستی نوآوری‌های عظیمی مانند برق و خودرو را در میان عوامل رشد بلندمدت سرانه تولید در اقتصادهای ثروتمند در اواخر قرن نوزدهم تا اواسط قرن بیستم جای می‌دهد. اما زمان زیادی را به بحث در مورد نکته‌ای کلیدی اختصاص نمی‌دهد: اینکه زمان بسیار زیادی لازم بود تا توانایی‌های بالقوه چنین نوآوری‌هایی به بالفعل تبدیل شوند. پیشرفت‌های اساسی و حیاتی‌آزمون و خطاهای دانشمندان با الکتریسیته تا سال ۱۸۹۰ روی داد، اما رشد بهره‌وری ناشی از کاربردهای آن به سرعت پس از آن روی نداد. این افزایش رشد ابتدا به صورت جسته و گریخته مشاهده می‌شد؛ چرا که

شرکت‌ها به دنبال راه‌های هوشمندانه‌ای برای به کارگیری نیروی برق بودند. برای مثال تلگراف بسیار زود اختراع شد اما کاربرد گسترده نیروی برق در خانه‌ها و کارخانه‌ها و بهبود بهره‌وری ناشی از آن، بسیار دیرتر رواج یافت.

چاد سیورسون<sup>۱۲</sup>، استاد دانشگاه شیکاگو، اشاره می‌کند که رشد بهره‌وری در عصر نیروی برق به طور یکپارچه‌ای سریع نبود، بلکه در عوض برای دوره‌ای طولانی به طور ناامیدکننده افقی بود و رشد چندانی نداشت تا اینکه ناگهان اوج گرفت. او داده‌های رشد بهره‌وری نیروی کار طی عصر برق رسانی را با عملکرد همین شاخص در عصر فن‌آوری اطلاعات مقایسه کرده و به نظر می‌رسد که هر دو الگوی به شدت مشابهی دارند (بنگرید به نمودار ۶.۲).

تاخیر میان ورود یک تکنولوژی و بهره‌گیری کامل از توان بالقوه آن بیشتر به خاطر زمانی است که برای کشف بهترین شیوه استفاده از نوآوری‌های تازه و سازمان دادن جهان بر اساس آن مورد تازه نیاز است. در شبکه‌های بدون اسب از اواخر قرن نوزدهم حضور داشتند اما بسیار زمان برد تا خودروها رشد اقتصادی را تحت تاثیر قرار دهند. ابتدا، تولیدکنندگان باید راهکار کاهش هزینه‌ها را می‌یافتند، سپس دولت‌ها باید قوانین را اصلاح و زیرساخت‌های جدید را ایجاد می‌کردند و شرکت‌ها باید مدل‌های تجاری تازه حول محور خودروها را آزمایش می‌کردند. مردم هنوز مشغول یادگیری بودند که در دهه‌های آخر قرن بیستم، ظهور فروشگاه‌های بزرگ بهره‌وری در بخش خرده فروشی آمریکا را افزایش داد.

چنین دینامیکی به این معنی است که رشد بهره‌وری همواره بازتابی از پیشرفت‌هایی در فن‌آوری است که پیش‌تر روی داده‌اند و بنابر تخمین دو اقتصاددان، سوسانتو باسو<sup>۱۳</sup> از کالج بوستون<sup>۱۴</sup> و جان فرنالد<sup>۱۵</sup> از بانک فدرال رزرو سن فرانسیسکو<sup>۱۶</sup>، به طور متوسط پنج تا پانزده سال زمان می‌برد تا اثر

12. Chad Syverson

13. Susanto Basu

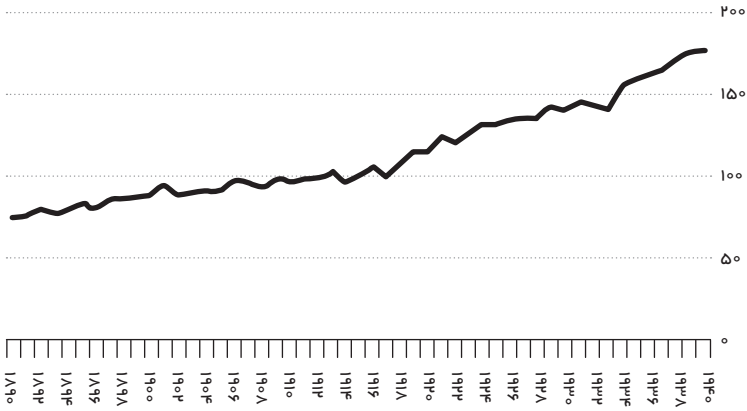
14. Boston College

15. John Fernald

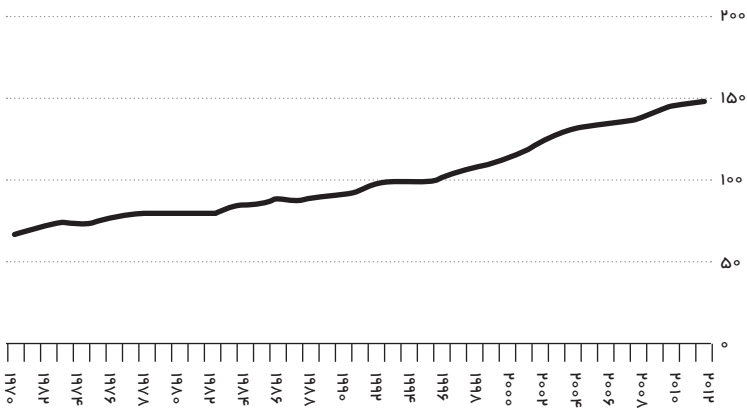
16. Federal Reserve Bank of San Francisco

نمودار ۲-۶ آشنابرداری الگوهای بهره‌وری نیروی کار در آمریکا

دوران گسترش استفاده از نیروی برق، سال ۱۹۱۵ معادل ۱۰۰ در نظر گرفته شده



دوران فناوری اطلاعات، سال ۱۹۹۵ معادل ۱۰۰ در نظر گرفته شده



منبع: Chad Syverson

چنین پیشرفت‌هایی در بهره‌وری قابل مشاهده باشد و در برخی موارد نیز زمان بیشتری مورد نیاز است. بهبود بهره‌وری مربوط به اواخر دهه ۱۹۹۰ و اوایل دهه ۲۰۰۰ بیشتر به خاطر نرم افزارهای هوشمند مدیریت کسب و کار بود که در سال‌های پیش از آن توسعه یافته بودند و کسب و کار مبتنی بر فضای مجازی به نسبت تاثیر اندکی بر بهره‌وری داشت. به طور مشابه کمی طول خواهد کشید تا تاثیر مواردی مانند وسایل نقلیه خودران در رشد اقتصادی نیز احساس شود. توان بالقوه موجود در یادگیری ماشین نمی‌تواند با ارجاع به رشد ضعیف امروز زیر سوال برود.

علاوه بر این، اثرگذاری فن‌آوری‌های امروز بر رشد احتمالا از مسیرهایی خواهد بود که اکنون برای ما به سختی قابل تصورند. تجسم کارل بنز<sup>۱۷</sup> و هنری فورد<sup>۱۸</sup> از خودرو نسخه‌ای بهتر از کالسکه بدون اسب بود که به افراد امکان دهد که بدون نیاز به حیوانات مسیرهایی طولانی‌تر را با سرعتی بیشتر بپیمایند اما آنها نمی‌توانستند تصور کنند که خودروها تحولی شگرف در ساختار شهری ایجاد خواهند کرد و یا اینکه تجارت بین‌المللی روزی به شدت توسعه یابد آن هم به لطف سامانه‌هایی که می‌توانند کانتینرها را از روی کشتی برداشته و روی کامیون‌ها قرار دهند.

ما نیز به طور مشابه قادر نیستیم که کاربردها و اثرات بلندمدت وسایل نقلیه بدون راننده را تجسم کنیم. تقریبا با اطمینان می‌توان گفت که آنها به شیوه‌هایی که امروز خودروهای نیازمند راننده مورد استفاده قرار می‌گیرند به کار گرفته نخواهند شد. در عوض، ماهیت بنیادین خودرو تغییر خواهد کرد. افراد بسیار کمتری ممکن است بخواهند که خودرویی بخرند و به جای آن ترجیح بدهند هر زمان که بخواهند از خودروهای بدون راننده استفاده کنند. جاده‌هایی با کارایی بیشتر و کاهش نیاز به فضایی برای پارک خودرو می‌توانند ساختار شهرها را تغییر دهد. با افزایش میل خانوارها به در دسترس بودن هرچه نیاز دارند، سفرهای بسیار بیشتری با خودروهای بدون سرنشین انجام خواهد شد: برای مثال کافی است با صدای

17. Karl Benz

18. Henry Ford

بلند درخواست برگر بدهند تا درخواست از رایانه خانوار به رستورانی در محل ارسال شده و سپس وعده غذایی در یک وسیله نقلیه کوچک بدون سرنشین قرار داده شود تا به مقصد حمل شود. ماشین‌های به میزان کافی باهوش که بتوانند خودروها را در میان ترافیک هدایت کنند (و ماشین‌های آینده توانایی‌هایی به مراتب بیشتری خواهند داشت) در سرتاسر بخش‌های اقتصاد به کار گرفته خواهند شد: از انجام عمل جراحی گرفته تا آموزش گفتگو محور به کودکان و مدیریت مزارع و مدیریت سامانه‌های انرژی و بسیاری موارد دیگر.

رایانه‌ها اکنون به اندازه کافی کوچک و ارزان هستند که بتوانند به هر جایی برده شده یا در هر جایی قرار داده شوند. هوش ماشینی پیچیده آن زمان امکان دستکاری جهان فیزیکی را به شیوه‌ای فراهم خواهد آورد که برای ما قابل تصور نیستند. با این حال به راحتی می‌توان انتظار داشت که تحول ناشی از این گذار به ماشین‌های هوشمند در جامعه و اقتصاد همان‌قدر اثرگذار و قدرتمند باشد که زمانی اثرات ناشی از لوله کشی داخلی، خودروها و نیروی برق بودند.

### اثرات اجتماعی

برخی از بدبینی‌ها، هرچند نه به صورت مدنظر گوردون و هم فکرائش، قابل توجیه هستند. اگر تصور اینکه خانه‌ها و خودروهای تحت هدایت هوش مصنوعی دقیقاً چگونه زندگی ما در آینده را تغییر می‌دهند به سختی امکان‌پذیر است، اما تصور اینکه جامعه برای تطبیق یافتن با آنها به دردمس خواهد افتاد کار ساده‌ای است. فن‌آوری‌های امیدبخشی مانند خودروهای بدون راننده یا پهپادها همین حالا هم به بخش‌های قانونگذاری راه یافته‌اند. دولت‌ها در تلاش هستند تا برای جمع‌آوری و استفاده از مقادیر هنگفت داده‌های شخصی که توسط تلفن‌های هوشمند یا دیگر ابزار متصل به اینترنت فراهم می‌آیند مقرراتی را تدوین کنند حتی در حالیکه نگرانی افکار عمومی نسبت به جاسوسی دولت‌ها از این اطلاعات رو به افزایش است. پیش از اینکه لوله کشی، برق و خودرو بتوانند جهان را

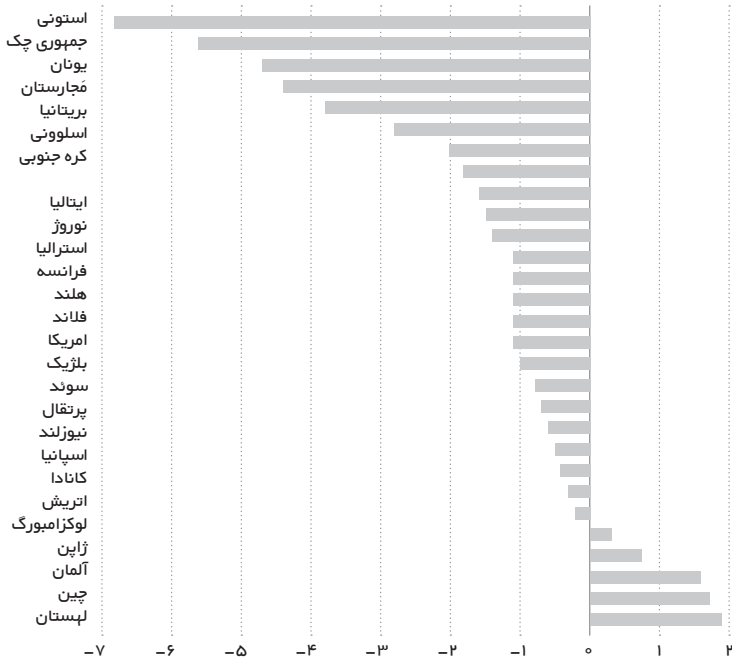
تغییر دهند، جوامع باید چندین سال را صرف سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های تازه، آزمون قوانین و مقررات تازه برای فهمیدن شیوه و شرایط مالکیت و مدیریت این شبکه‌ها و ایجاد و توسعه هنجارهای اجتماعی تازه در مورد رفتارهای صحیح و نادرست می‌کردند. بشر طی چند دهه آینده بار دیگر وارد فرآیند مشابهی خواهد شد که گسترش نوآوری‌های تازه را آهسته کرده و از تاثیر آنها بر اقتصاد می‌کاهد.

مدیریت اثرات این فن‌آوری‌های تازه بر بازار کار و دستمزد کارگران یکی از موارد پیچیده برای وفق یافتن با شرایط جدید خواهد بود. در واقع ممکن است که همین حالا هم مشکلات بازار کار تاثیر مضر بر استفاده از فن‌آوری‌های تازه و رشد بهره‌وری داشته باشد. طی چند دهه اخیر، میزان رشد دستمزدها برای بیشتر کارگران در بیشتر کشورهای ثروتمند کمتر از رشد اقتصاد بوده است. در همین زمان به نظر می‌رسد که سطح پایین بیکاری در ایجاد فشار برای افزایش دستمزدها بر خلاف گذشته کم‌اثر بوده است (بنگرید به نمودار ۶.۳). اقتصاددانان جریان اصلی اقتصاد پیش‌تر بهره‌وری را یکی از عوامل تعیین کننده دستمزد می‌دانستند به این صورت که با افزایش بهره‌وری کارگران، شرکت‌ها می‌توانند به آن‌ها دستمزد بهتری بپردازند. اما برخی از اقتصاددانان شروع کرده‌اند به زیر سوال بردن جهت رابطه میان بهره‌وری پایین و دستمزدهای پایین.

پرداخت دستمزد پایین به شرکت‌ها اجازه می‌دهد سود بیشتری از استخدام کارگران به‌دست بیاورند و به استفاده از نیروی انسانی ادامه دهند؛ حتی اگر ربات‌ها یا نرم افزارها بتوانند جانشین آنها شوند. برای مثال سرمایه‌گذاری در دستگاه‌های خودکار برای پرداخت در فروشگاه‌ها در شرایطی که نیروی انسانی ارزان و فراوان برای استخدام به عنوان صندوق دار وجود دارد جذابیت چندانی نخواهد داشت. برخی از اقتصاددانان، مانند جواو پائولو پسوا و جان ون رینن از مدرسه اقتصادی لندن، اعتقاد دارند که دستمزدهای پایین در بریتانیا، که طی دوران رکود بزرگ سقوط کرد، به رشد ضعیف بهره‌وری در دوران بهبود پس از رکود کمک کرده است. چرا که شرکت‌ها فشار کمتری برای اقتصادی‌تر عمل کردن احساس می‌کردند.

نمودار ۳-۶ معیار دستمزد

درصد تغییر در رشد دستمزد ساعتی حقیقی بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ و ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۴



منبع: گزارش دورنمای اشتغال که توسط سازمان همکاری و توسعه اقتصادی در سال ۲۰۱۵ منتشر شده است

به طور مشابه، فراوانی نیروی کار ارزان ممکن است به شرح اینکه چرا اقتصاد آمریکا طی سال‌های اخیر ترکیب نامتعارفی از رشد اشتغال و رشد ضعیف دستمزدها را تجربه کرده کمک کند.

با قدرتمندتر شدن فن آوری، کارفرمایان قادر خواهند بود که راه‌هایی را برای جایگزینی کارگران و کاهش هزینه‌ها بیابند. کارگران اخراج شده برای امرار معاش مجبور هستند به دنبال شغل تازه باشند و با افزایش عرضه در بازار کار، دستمزدها ثابت مانده یا کاهش می‌یابند. دستمزدهای پایین در نهایت برای شرکت‌ها این جذابیت را ایجاد می‌کنند که برای امور با بهره‌وری پایین از نیروی کار انسانی استفاده کنند. شرکت‌ها دیگر انگیزه‌ای

ندارند که برای صرفه‌جویی در هزینه‌های نیروی کار گران‌قیمت به سرمایه‌گذاری در شیوه‌های جایگزین مانند سامانه‌های خودکار یا برنامه‌های یادگیری ماشین برای انجام اموری روی بیاورند که به‌وسیله نیروی کار انسانی نه چندان گران انجام می‌شوند.

## تحول پیش رو

تقریباً با اطمینان می‌توان گفت یکی از بزرگترین چالش‌های اجتماعی و سیاسی بین بازه زمانی امروز و سال ۲۰۵۰ شیوه‌هایی است که به‌وسیله آن‌ها کسب و کارها و کل اقتصادها با تحولات تکنولوژیکی پیش‌رو تطبیق می‌یابند. خودروها و کامیون‌های بدون راننده می‌توانند به سرعت ده‌ها میلیون شغل در جهان ثروتمند را از بین ببرند. سامانه‌های هوش مصنوعی می‌توانند ده‌ها میلیون شغل دیگر از بخش خدمات مشتریان و دستیاران اداری گرفته تا بخش آموزش، داروسازی، امور مالی و حسابداری را از بین ببرند. هرچند بخشی از افراد از چنین نوآوری‌هایی به شدت سود خواهند برد صاحبان سهام شرکت‌های سودده یا افرادی با تخصص‌های مورد نیاز برای مغزهای ماشینی جدید اما بیشتر افراد یا با فن‌آوری‌های تازه جایگزین خواهند شد یا چنین تهدیدی را احساس خواهند کرد و مجبور خواهند بود تا در رقابت با بسیاری دیگر برای مشاغل موجود رقابت کنند و برای حفظ شغل هم که شده دستمزدهای بسیار پایین را بپذیرند.

این‌الگو به طور کلی افراد و اقتصادها را در وضعیتی فقیرتر از آنچه باید قرار می‌دهد. متأسفانه راه حل ساده‌ای نیز برای آن وجود ندارد. دولت‌ها ممکن است به پرداخت کارانه بیشتری به کارگران روی بیاورند و یا پرداخت‌های بدون قید و شرط به همه شهروندان را آغاز کنند. اما چنین پرداخت‌هایی نیازمند اخذ مالیات‌های سنگین از افرادی است که به لطف فن‌آوری‌های تازه ثروتمندتر می‌شوند. حتی اگر چنین راهکارهایی مورد موافقت قرار بگیرند، باز هم جامعه به طور کلی برای تطبیق یافتن با جهانی که کار کردن در آن انتخابی است با مشکل مواجه خواهد بود.

دولت‌ها ممکن است در عوض مشاغلی را برای افراد جویای کار ایجاد کنند، اما چنین راهکاری پرهزینه خواهد بود و منابع را هدر خواهد داد. یا اینکه فن‌آوری به ایجاد طبقه‌ای فرودست مشغول در بخش خدمات بسیار نازل منجر شود که در این



صورت با جوامعی مواجه خواهیم بود که نابرابری در آنها به مراتب بیشتر از وضعیت فعلی است.

نمونه دیگری از چنین تطابق اجتماعی مشکلی وجود دارد. اوایل دوره صنعتی شدن، رشد شدید اشتغال در کارخانه‌ها از ظرفیت‌های موجود در جامعه فراتر رفت. کارگران به سوی حاشیه شهرها هجوم آوردند در حالی که زیرساخت‌های مورد نیاز برای فراهم آوردن آب سالم، یا مسکن تمیز، یا مدیریت پسماندها وجود نداشت. شرایط زندگی وحشتناک ناشی از این وضعیت به مرگ میلیون‌ها کارگر انجامید. آن‌هایی که نجات یافتند دستمزد ناچیزی دریافت می‌کردند. از دست دادن شغل به معنی ورود به فقری مهلک بود. سال‌ها زمان برد تا سازمان دهی کارگران، ناآرامی‌های اجتماعی، اصلاحات سیاسی و در برخی موارد انقلاب به تکامل نهادهای اجتماعی انجامید؛ به گونه‌ای که تقسیم گسترده منافع ناشی از رشد تسهیل شود. این تغییرات اجازه دادند تا کارگران بیشتر و سالم‌تر زندگی کنند، آموزش بیشتری ببینند و پس‌انداز و سرمایه‌گذاری کنند و همچنین ظرفیت اقتصاد برای رشد با بهره‌گیری از فن‌آوری‌های تازه نیز افزایش کنند.

بخشی از اینکه بهره‌وری و تولید تاکنون ناامید کننده بوده به این خاطر است که فن‌آوری‌های تازه دیجیتال با نهادهای اجتماعی مربوط به قرن نوزدهم و بیستم مواجه شده‌اند. در نبود اصلاحات و سرمایه‌گذاری‌های تازه، اقتصادها همچنان با جمعیت قابل توجهی از کارگران نه‌چندان ماهر بیکار یا با اشتغال ناقص مواجه خواهند بود. چنین کارگرانی باعث پایین ماندن سطح دستمزدها و کاهش انگیزه برای روی آوردن به ربات‌های باهوش و ماشین‌های متفکر خواهند شد. اگر در دهه‌های پیش‌رو جامعه راهکارهایی برای افزایش اختیار کارگران برای انتخاب محل کار و ساعات کاری بیاید، در این صورت شرکت‌ها هم انگیزه بیشتری برای استفاده بهتر از فن‌آوری و نیروی کار انسانی خواهند داشت. چنین پدیده‌ای به این معنی است که رشد بهره‌وری به روزهای خوب دهه‌های قرن بیستم باز خواهد گشت و زندگی برای همه به مراتب بهتر خواهد شد.

# فصل هفتم

# کشاورزی فردا

جفری کرا

سیاره زمین چگونه می تواند غذای ده میلیارد نفر را تامین کند.

جایلز کشاورز<sup>۱</sup>، در یک روز روشن در ماه سپتامبر در سال ۲۰۵۰، با نوای دل‌انگیز قطعه شفرد از سمفونی پاستورال<sup>۲</sup> بتهوون<sup>۳</sup> از خواب بر می‌خیزد. اپلیکشین برداشت محصول که در تلفن همراه نصب شده به او اطلاع می‌دهد که از مجموع ده مزرعه جو، شرایط برای برداشت محصول از سه مزرعه مساعد است و دیگر مزارع طی چند روز آینده آماده برداشت خواهند بود که آن زمان هم اپلیکیشن به او خبر خواهد داد.

کشاورز و همسرش برای تعطیلات آخر هفته به شهر آمده‌اند و دور از خانه هستند اما این مشکلی ایجاد نمی‌کند. شب گذشته برای شام لو دو مق<sup>۴</sup> (ماهی خاردار اروپایی) خوردند که بنابر ادعای رستوران به تازگی از مخازن قرار داده شده در آب‌های شرکت پرورش ماهی اوشنز آپارت<sup>۵</sup> به‌دست آمده بود. ماهی همراه با سبزیجات شرکت آلتیتود<sup>۶</sup> سرو شد، شرکتی زنجیره‌ای از مزارع عمودی که شعارش «مواد غذایی از شهر برای شهر» است. کشاورز چشمان خواب‌آلوده‌اش را می‌مالد. تنها باید اطلاعات و استنتاج‌های ارائه شده توسط اپلیکیشن را مرور کرده و دکمه «موافقت» را فشار دهد. نرم‌افزار مربوط به اپلیکیشن که بر اساس پردازش رایانه‌ای ابری متصل به رایانه‌ای در نقطه‌ای نامشخص کار می‌کند، برنامه‌ریزی مربوط به کمباین برداشت محصول که با چهار همسایه دیگر به طور مشترک مورد استفاده قرار می‌گیرد را انجام خواهد داد. همه همسایه‌ها چندین مزرعه دارند که آماده برداشت محصول هستند. متاسفانه تداخلی وجود دارد. اپلیکیشن اشاره می‌کند که تعداد مزارع آماده برداشت محصول از تعداد ظرفیت زمین‌های قابل برداشت برای کمباین یک عدد بیشتر است. البته ماشین می‌تواند طی شب کار کند و از آنجا که به‌وسیله رایانش ابری به نقشه دقیق هر پنج مزرعه دسترسی دارد، برای رفتن از مزرعه‌ای به مزرعه

1. Farmer Giles of Ham

در واقع نام شخصیت اصلی کتابی است با همین عنوان نوشته جی. آر. آر. تلکین در سال ۱۹۴۹ که داستان مواجهه یک کشاورز و یک ازدها را روایت می‌کند.

2. Pastoral Symphony  
3. Beethoven  
4. Loup de Mer  
5. Oceans Apart  
6. Altitude

دیگر مشکلی ندارد، اما در راه باید از راه‌های عمومی عبور کند و مقررات فعلی اجازه عبور ماشین کمباین از راه‌های عمومی در ساعات تاریکی هوا را نمی‌دهد.

یک نفر باید کمی کوتاه بیاید و کشاورز از آنجا که حالش خوب است برای این کار پیشقدم می‌شود. یکی از مزرعه‌های او می‌تواند تا فردا صبر کند. شک ندارد که در دیپلماسی پیچیده میان کشاورزان همسایه، این لطف او زمانی که نیاز داشته باشد جبران خواهد شد.

جویی که در مزرعه کشاورز به عمل می‌آید از نظر ژنتیکی هم برای محل کشت و هم برای محل فرآوری بهینه‌سازی شده به طوری که بی‌نیاز از کود است و با استفاده از باکتری‌های ریشه خودش میزان نیتروژن را تنظیم می‌کند. کشاورز به خاطر رابطه حسنه با شرکت تولیدکننده آبجو انتظار دارد که بشکله‌ای تولید شده از محصولاتش در خانه ظاهر شود. بخشی از غلات هم برای طعم بخشیدن به گله‌ای از خوک‌های مقاوم در مقابل ویروس صرف خواهد شد که کشاورز در وضعیتی نیمه‌آزاد نگهداری می‌کند تا رشد بهینه‌ای داشته باشند. او در کارخانه ماسل<sup>۷</sup> (ماهیچه) سهم دارد و این سهم را در نخستین عرضه عمومی سهام خریداری کرده است. اما همیشه برای گوشت پرترفدار جدا شده از استخوان باید مبلغی را بپردازد.

با این وجود کارخانه ماسل و رقابیش همه چیز را متحول کرده‌اند. کشاورز با مشاهده رقابت روندهای شهری میان دو گروه مخالفان دستکاری ژنتیکی مواد غذایی و حامیان حقوق حیوانات، که هر کدام هم باعث شکل‌گیری صنایع غذایی مربوط به خود شده بودند، به این نتیجه رسید که حامیان حقوق حیوانات پیروز خواهند شد و در عمل هم این‌گونه شد. تولیدکنندگان مواد گوشتی در قرن بیستم مانند کشتارگاه‌ها و مرغداری‌ها شرکت‌هایی مشتمل‌کننده بودند و به طور حتم تولید انبوه گوشت‌هایی که از حیوانات به دست نیامده گامی به پیش بوده است. او همین حالا حواسش به زمان عرضه عمومی سهام شرکت میلک مید<sup>۸</sup> هم است و امید

7. Muscle Factory

8. Milkmade

دارد که روند یکسانی در صنایع فرآورده‌های لبنی طی شود.

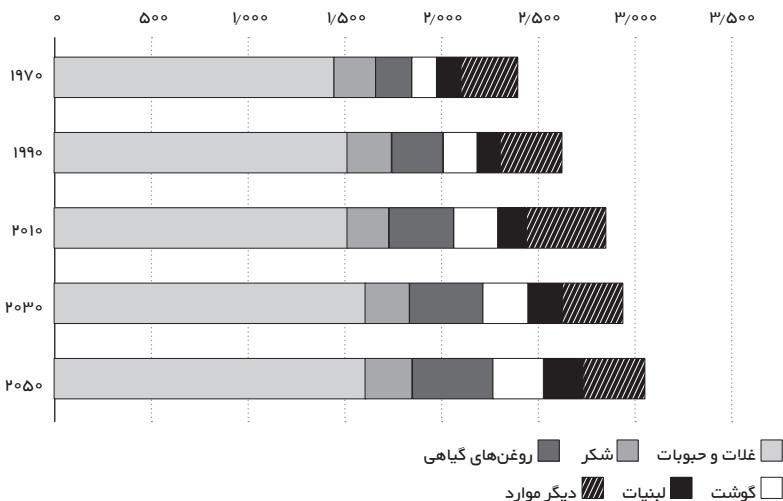
روایت بالا یا چیزی شبیه به آن یکی از چشم اندازهای مربوط به آینده کشاورزی است که کارشناسان فن‌آوری به تصویر می‌کشند. چشم‌اندازهای دیگر به یک برنج‌کار در مناطق روستایی در آسیا یا مالک یک خانه روستایی در مرکز آفریقا مربوط می‌شود که اکنون اصولاً برای رفع نیاز روزانه کشاورزی می‌کنند، اما در آینده به اقتصاد کشاورزی می‌پیوندند که در آن کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی به کمک اصلاحات ژنتیکی و انتخاب ژنومی متحول شده است؛ آن هم با کمک توصیه‌های مربوط به زمان کاشت و برداشت توسط اپلیکیشن‌های توزیع شده میان شبکه‌ای از تلفن‌های همراه کشاورزان.

بنابراین جایگز کشاورز و هم‌صن‌ان آسیایی و آفریقایی‌اش از پیشرفت‌های فن‌آوری که اکنون شناخت عمیقی از آنها وجود ندارد بهره‌مند خواهند شد. پیشینه این پیشرفت‌ها به دو قرن و نیم پیش یعنی زمان اختراع ماشین زراعت و به کارگیری شیوه‌هایی مانند ایجاد تنوع در کاشت و شیوه‌های نوین انبارداری و پرورش محصول باز می‌گردد که به انقلاب کشاورزی در بریتانیا در اواسط قرن هجدهم میلادی انجامید. نتیجه این بهبود مداوم در کشاورزی که تا سال ۲۰۵۰ عمر آن به سه قرن خواهد رسید جهانی خواهد بود که می‌تواند غذای ده میلیارد نفر را تامین کند در حالی که زمانی تنها می‌توانست غذای کمتر از یک میلیارد نفر را تامین کند.

سازمان خواربار و کشاورزی<sup>۹</sup> وابسته به سازمان ملل متحد که در مورد مسائل کشاورزی تخصص دارد پیش‌بینی کرده که در سال ۲۰۵۰ میزان مصرف سرانه کالری در جهانی به مراتب پرجمعیت‌تر افزایش خواهد یافت (بنگرید به نمودار ۷.۱)

## نمودار ۱-۷ آنچه در منوی جهانی حضور دارد

میزان کالری مصرفی هر فرد بر اساس انواع خوراکی



پیش‌بینی / منبع: فائو

### شما می‌گویید انقلاب می‌خواهید<sup>۱۰</sup>

در مورد کشاورزی در سال ۲۰۵۰ می‌توان با اطمینان گفت که نسبت به امروز مکانیزه‌تر و اتوماتیک‌تر خواهد بود و شباهت بیشتری به کارخانه خواهد داشت. ماشین زراعت ساخت جترو تال<sup>۱۱</sup> که توسط اسب کشیده می‌شد و دانه‌ها را در فواصل معینی در زمین می‌کاشت را می‌توان جد همه ابزارهای مکانیکی برای کشاورزی دانست. تا سال ۲۰۵۰ تراکتورهای رباتیک و لوازم جانبی آن هم به این تجهیزات افزوده خواهند شد آن هم همراه با ربات‌های مربوط به برداشت محصول همانند همان که کشاورز جایلز با همسایگانش به طور مشترک استفاده می‌کرد و البته همراه با پهپادها و ماهواره‌هایی که عملکرد محصولات را تحت نظر دارند.

10. You say you want a revolution

نام ترانه‌ای از گروهانگلیسبیبتلز که در سال ۱۹۶۸ عرضه شده است.

11. Jethro Tull

بیشتر عملیات آبیاری (و همچنین توزیع کود و آفت‌کش) به جای استفاده از آب‌پاش‌ها که با اسراف همراهند توسط شبکه‌هایی از لوله‌هایی انجام خواهد شد که در کنار محصولات کشیده شده‌اند. دستگاه‌هایی که وضعیت خاک را تحت نظر دارند به طور اتوماتیک عملکرد چنین لوله‌هایی را کنترل می‌کنند و برای مواردی که هنوز باید پاشیده شوند مانند آفت‌کش و قارچ‌کش‌هایی که باید حتماً از بالا روی گلبرگ پاشیده شوند تا موثر باشند اقدام می‌کنند. اطلاعاتی که از پهپادها و ماهواره‌ها به دست می‌آید می‌توانند برای راهنمایی ربات‌های مخصوص به کار گرفته شوند، ربات‌هایی که به وسیله دوربین می‌توانند علف‌های هرز را هم تشخیص داده و به وسیله لیزر آنها را معدوم سازند.

علاوه بر این، رابطه کشاورزان و خاک نیز تا سال ۲۰۵۰ به شدت تغییر خواهد کرد. مدت زمان بسیاری است که انسان‌ها دریافته‌اند که خاک بیش از آنچه محصول مواد معدنی تشکیل دهنده آن باشد، محصول آن چیزی است که درونش می‌زید و همین خاک را از لایه پوشاننده سطح ماه و مریخ متمایز می‌سازد. اما دانش بهتر در مورد میکرو ارگانیسم‌های خاک که ساکن اصلی خاک هستند فرصت بهبودهای مهم در خاک را فراهم می‌آورد، درست همانند بهبودهایی که چرخش محصول که توسط چالز تاونشند<sup>۱۲</sup> ملقب به ترنپ تاونشند<sup>۱۳</sup> معرفی شد و یا کودهای بر پایه نیتروژن که فریتز هابر<sup>۱۴</sup> معرفی کرد به بار آوردند.

قراردادن باکتری‌هایی که می‌توانند میزان نیتروژن را تنظیم کرده و فسفورهای شیمیایی ناموجود در خاک را آزاد کنند به امری متداول تبدیل خواهد شد. چنین عملی نیاز به کودهای نیتروژنی اختراع شده توسط هابر را کاهش خواهد داد. با این حال جالب‌تر از همه، درک بهتر از رابطه میان محصولات زراعی و قارچ‌ها خواهد بود. به نظر می‌رسد که بسیاری از گیاهان می‌توانند رابطه همزیستی با قارچ‌ها را برقرار سازند و این تنها نقطه آغازی بر کشف‌های بیشتر است. تا سال ۲۰۵۰،

12. Charles Townshend

13. Turnip Townshend

14. Fritz Haber

چنین روابطی به حدی توسط متخصصان کشاورزی شناخته خواهد شد که بتوان به خوبی از آنها بهره برد.

آنچه کمتر مشخص است این است که محصولات سال ۲۰۵۰ با محصولات فعلی چه تفاوت‌هایی خواهند داشت چرا که شیوه تولید محصولات تازه تغییر خواهد کرد. مهندسی ژنتیک که قرار بود همان قدر برای مصرف کنندگان مفید باشد که برای کشاورزان بوده در دهه ۱۹۹۰ شروع بدی داشت. شرکت‌های فعال در این حوزه هیچ تفاوتی بین انتقال ژن‌ها از باکتری‌ها به دانه ذرت یا سویا و تغییر دادن ژنوم این محصولات بوسیله تابش رادیواکتیوی یا تغییرات ژنتیکی نمی‌دیدند. اگر هم تفاوتی در نظر می‌گرفتند این بود که مهندسی ژنتیک ارجحیت دارد؛ چرا که متغیرهای تصادفی کمتری در فرآیند آن دخیل هستند. اما به کمک گروه‌های لابی‌گری به شدت پرسر و صدا، افکار عمومی به جمع‌بندی متفاوتی رسید. هرچند که بسیاری از اصلاحات ژنتیکی مانند مقاوم‌سازی محصولات در مقابل حشرات و آفت‌ها در بسیاری از نقاط عملکرد خوبی داشته‌اند، اما به نظر می‌رسد که سرمایه‌گذاری در مواردی مانند افزایش ارزش غذایی محصولات خوراکی ارزش ریسک کردن نداشتند.

این تجربه می‌تواند به ایجاد نسل تازه‌ای از به کارگیری ابزار اصلاح ژنتیکی دقیق برای محصولات کشاورزی بیانجامد. این بار، روابط عمومی شرکت‌های تولیدی از همان ابتدا ارزش اصلاحات ژنتیکی را برای افکار عمومی شرح خواهند داد و توضیح می‌دهند که شیوه‌های تازه «فرانکنشتاینی»<sup>۱۵</sup> تر از شیوه‌های فعلی تولید محصول نیست. جو تنظیم‌کننده نیتروژن که جایلز کشاورز از آن بهره می‌برد یک مثال از آن چیزی است که ممکن است این فن‌آوری تازه به ارمغان بیاورد. اما اگر اقبال عمومی هم حاصل شود آن‌گاه چنین فن‌آوری‌هایی می‌توانند به مراتب بیشتر پیش روند. برای مثال محتوای غذایی روغن‌های گیاهی ممکن است بهبود یابد آن هم از طریق افزودن روغن حاوی ماده محبوب امگا ۳ به گونه‌هایی

۱۵. اشاره نویسنده به داستان فرانکنشتاین است که در آن دانشمندی به همین نام موجود مخوفی را خلق می‌کند و کنترل آن را از دست می‌دهد.



که اکنون حاوی ماده کمتر ارزشمند امگا ۶ هستند. طعم فعلی میوه‌ها می‌تواند تقویت شود و با طعم‌های تازه‌ای به آنها افزوده شود. می‌توان با ایجاد تغییراتی در محصولات غیر تجاری که در مناطق استوایی به وفور یافت می‌شود، آنها را به سبزیجاتی برای عرضه در بازار تبدیل کرد که اکنون تنها در دسترس مشتریان در جهان ثروتمند قرار دارد.

با این حال اصلی‌ترین غنیمتی که تا سال ۲۰۵۰ به ارمغان خواهد آمد، تقویت کننده فوتوسنتز خواهد بود که باعث خواهد شد گیاهان سریع‌تر رشد کنند. حتی امروز نیز پژوهشگران مشغول کار بر روی نسخه‌های اولیه آن هستند و تلاش می‌کنند که آنچه فوتوسنتز سی<sup>۱۶</sup> نامیده می‌شود را به گونه‌هایی بیافزایند که خودشان از فوتوسنتز کمتر موثر سی<sup>۳۱۷</sup> بهره می‌برند. اما این می‌تواند تنها نقطه شروع باشد. بسیاری از مسیرهای پیش روی فوتوسنتز گیاهان که هنوز کشف نشده‌اند به مایکرو ارگانیسم‌ها مربوط می‌شوند. برخی از این مسیرها ممکن است به نتیجه برسند و برای استفاده در محصولات کشاورزی کاربرد داشته باشند. اگر مصرف‌کنندگان به میزان کافی از آن استقبال کنند، دو یا سه دهه پیش‌رو می‌تواند شاهد رشد حیرت‌آور نوآوری در بهبود محصولات باشد. در این صورت نگرانی بابت فراتر رفتن جمعیت زمین از توان سیاره برای تامین محصولات خوراکی رنگ خواهد باخت.

## روستا در شهر<sup>۱۸</sup>

البته همه این افکار اساساً بسط و گسترش شیوه‌های موجود در کشاورزی هستند. اما همان‌طور که شهری که جایگز کشاورز آخر هفته در آن سپری می‌کرد نشان می‌داد، برخی از بخش‌های کشاورزی تا سال ۲۰۵۰ کاملاً تازه خواهند بود. یکی از این شیوه‌های تازه که با نوآوری کمتری همراه است تولید سبزیجات در شهرها خواهد بود. چنین تولیدکنندگانی در شیوه

16. C4

17. C3

18. Rus in urbe

عبارتی لاتین که به معنی شبیه‌سازی فرینده فضای روستایی در فضای شهری است.

عملکرد شبیه نمونه‌های پیشین هستند اما در شکل تفاوت دارند. باغ‌های سبزیجات زمانی نیاز شهرها به میوه و سبزیجات تازه را برطرف می‌کردند، اما حمل و نقل مکانیزه و فروشگاه‌های بزرگ این وضعیت را تغییر دادند. در نمونه‌های آینده، محصول در همان روز چیده شدن فروخته شده و مصرف می‌شود. اما کارخانه‌های تولید سبزیجات در آینده باغ‌هایی باز که نور خورشید و باران به آنها برسد نخواهند بود و همچنین شباهتی به گلخانه‌های بزرگ باغداری مدرن نخواهند داشت و در عوض ساختمان‌هایی بدون پنجره خواهند بود که در آنها نه تنها آب و مواد مغذی به میزان دقیق و کنترل شده به محصولات می‌رسند بلکه روشنایی نیز کنترل می‌شود؛ به گونه‌ای که ترکیب آن بر اساس مصرف سبزینه‌ها تنظیم می‌شود و در نتیجه هیچ فوتونی<sup>۱۹</sup> هدر نمی‌رود.

مزارع شهری پرورش ماهی را می‌توان نوآوری متوسط‌تر نامید. پرورش ماهی یکی از موفقیت‌های بزرگ اواخر قرن بیستم و اوایل قرن بیست و یکم بوده است. میزان پروتئین تولید شده بر اساس گوشت ماهی در سال ۲۰۱۵ از میزان تولید شده بر اساس گوشت قرمز قراتر رفت (بنگرید به نمودار ۷.۲). اما این مزارع عمدتاً حوضچه‌های آب تازه یا بخش‌هایی از انشعابات دریا مانند آب دره‌ها هستند که با تور و حفاظ بسته شده‌اند. مزارع پرورش ماهی شهری، اقیانوس‌ها را به شهرها می‌آورند آن هم به‌وسیله ایجاد سیکل‌هایی بسته که در آن ماهی از دوره‌ای که به صورت تخم ماهی است تا زمانی که بالغ می‌شود را در آن سپری می‌کند و برخی از این ماهی‌ها نیز برای تولید نسل‌های بعدی به کار گرفته می‌شوند. همچنین زمانی که این فرآیند به خوبی برای گونه‌هایی از ماهی‌ها که همین حالا نیز نمونه‌های پرورشی آنها موجود است به کار گرفته شود، راه برای پرورش دادن ماهی‌های دیگر مانند ماهی تن باز خواهد شد. در واقع این تکرار دریایی همان روندی خواهد بود که در کشاورزی زمینی و در دوره نوسنگی روی داد، یعنی زمانی که بسیاری از حیواناتی که امروز به عنوان حیوانات مربوط به

مزارع شناخته می‌شوند برای نفع بشر اهلی شدند.

چنین فرآیندی می‌تواند تغذیه انسان را به میزان قابل توجهی تغییر دهد. ماهی‌ها تبدیل کنندگان موثر مواد مغذی به گوشت هستند (بسیار بهتر از پستانداران چرا که ماهی‌ها خون سرد هستند اما پستانداران خون گرم هستند) و به همین خاطر می‌توان تصور کرد که تا سال ۲۰۵۰، ماهی‌ها بر بازار پروتئین حیوانی غلبه یابند. اما همچنین می‌توان انتظار داشت که این پدیده روی ندهد، آن هم به خاطر شیوه‌ای بسیار بدیع در کشاورزی یعنی کشاورزی کارخانه‌ای واقعی. اگر این فن‌آوری به نتیجه برسد، تولید گوشت خوراکی از سلول‌ها آن هم بدون نیاز به حیوان واقعی بخشی از ماجرا خواهد بود.

احتمال دارد که تا سال ۲۰۵۰، حداقل استیک و شیر به صورت انبوه تولید شوند. تخم مرغی - هر چند شاید بدون پوسته که به شیوه‌ای مشابه تولید شده نیز ممکن است برای مصارف صنعتی و نه فروش در فروشگاه‌ها به کار گرفته شود. برای ماجراجویی بیشتر، اعضای مانند جگر و کلیه نیز ممکن است بدون دخالت حیوان تولید شده و رشد کنند. همان‌طور که جایلز کشاورز مشاهده می‌کند، تکامل این صنعت می‌تواند به برخورد دو گروه ایده‌آل گرا منجر شود: گروهی که مخالف هرگونه غذای «مصنوعی» هستند و گروهی که از حقوق حیوانات دفاع می‌کنند. اما ارتش حامیان حیوانات احتمالاً پیروز خواهد شد. برای مثال چه کسی می‌تواند در دفاع از این ادعا که برای وعده غذایی جگر چرب<sup>۲۰</sup> هیچ اقدام بی رحمانه‌ای انجام نشده دوام بیاورد؟

## گذشته، راهنمای آینده

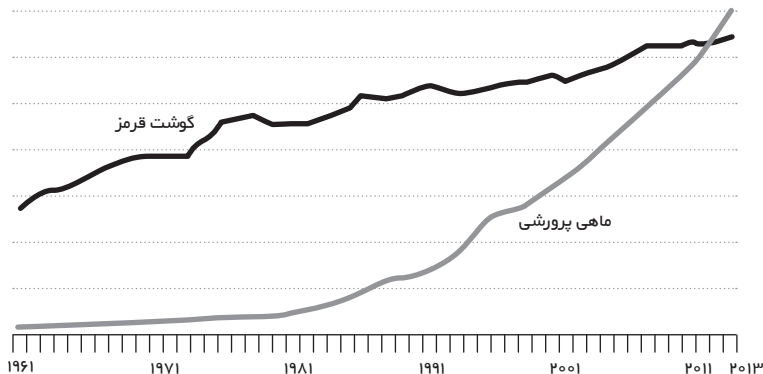
البته بسط و گسترش تغییرات تکنولوژیکی همچون همیشه هم بر تغییرات اجتماعی تاثیرگذار خواهد بود و هم تحت تاثیر آنها قرار خواهد گرفت. کشاورزان همواره در مقابل تغییرات محافظه کاری نشان داده‌اند و

20. Foie Gras

جگر چرب که معمولاً از مرغابی یا غاز به دست می‌آید غذایی نسبتاً گران قیمت است و از آنجا که کشاورزان برای چرب شدن جگر به زور به غازها غذا می‌دهند مخالفان بسیاری دارد.

## نمودار ۲-۷ رسیدن

تولید ماهی‌های پرورشی و گوشت قرمز در سطح جهان، بر اساس میلیون تن



منبع: فانو

مصرف‌کنندگان نیز پس از دوره‌ای از اقبال به صنعتی‌شدن و کالایی‌شدن مواد خوراکی پس از جنگ جهانی دوم، اکنون به نظر می‌آید که حداقل در برخی نقاط از جهان ثروتمند محافظه‌کار شده‌اند. اینکه ذائقه مصرف‌کننده چگونه تحول خواهد یافت غیر قابل پیش‌بینی است اما حداقل در مورد برخی از کشاورزان می‌توان گفت که تغییرات اجتماعی گذشته می‌تواند راهنمایی برای آینده باشد.

به ویژه در بخش‌های فقیرتر جهان مانند آفریقا، زمین‌های زراعی کوچک که اکنون کاربری اصلی آنها تامین نیاز خوراکی صاحبانشان است، مزارعی برای تامین نیاز بازار تبدیل خواهند شد. این روند نیازمند تقسیم مالکیت اراضی در نقاطی است که زمین‌های بزرگ هنوز به صورت اشتراکی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، در نتیجه مدیریت زمین‌ها بیشتر به صورت صنعتی در می‌آید، همانند اتفاقی که در کشاورزی جهان ثروتمند در گذشته دور روی داد و پیامدهای مثبت و منفی آن اکنون به محتوای کتاب‌های تاریخ تبدیل شده است. اما این تغییر ساختار در الگوی مالکیت زمین است که فرصت به کارگیری فن‌آوری‌های مطرح شده در این فصل

و همچنین فن‌آوری‌های موجود که هنوز به این نقاط فقیرتر نرسیده را فراهم می‌آورد.

پیامدهای این روند می‌تواند محصول بیشتر و درآمد بیشتر برای کشاورزانی باشد که سر کار باقی می‌مانند و نیروی کار مازاد نیز زمین‌های کشاورزی را ترک می‌کنند تا در شهرها شغل‌های ارزشمندتری بیابند. اگر این روند به خوبی پیش برود، مشاوران املاک در آفریقا تا سال ۲۰۵۰ می‌توانند همان شیوه‌ای را به کار بگیرند که هم‌صنفان اروپایی آنها صد سال زودتر به کار می‌گرفتند. این فعالان تجاری زیرک کاری کردند که خانه‌های روستایی با سقف‌های حصیری و دیوارهای گلی که زمانی محل سکونت کارگران بخش کشاورزی بود به گزینه‌ای جذاب برای خانه دوم تبدیل شود و شهرنشینان برای خرید آنها به تقلا بیافتند. چرا خانه‌های روستایی در آفریقا در ساحل دریاچه ویکتوریا یا در سایه کوهستان و پرونگا چنین سرنوشتی نیابند؟

## فصل هشتم

# مواجهه خدمات درمانی با قدرت بیماران

جیانریکو فاروجیا<sup>۱</sup>

پیشرفت‌های سریع در داروسازی هم به مردم قدرت می‌بخشد و هم به توانایی‌های جامعه برای همگام شدن با پیشرفت‌ها می‌افزاید.

داروسازی همواره پیوند میان هنر و علم بوده، اما فن‌آوری هرگز مانند اکنون به نیروی پیش‌برنده خدمات درمانی تبدیل نشده بود و آن را تحت تاثیر قرار نداده بود. به طور تاریخی، چرخه عمر فن‌آوری در داروسازی بسیار طولانی‌تر از دیگر صنایع بوده است، اما این چرخه اکنون در حال سرعت گرفتن است. در میان همه تحولاتی که از حالا تا سال ۲۰۵۰ روی خواهند داد، یک مورد مشخص است. بیماران، و نه فن‌آوری، اصلی‌ترین عامل ایجاد تحول در آینده خواهند بود. به این معنی که خدمات درمانی بیش از پیش به دیگر صنایع شباهت خواهد یافت، جایی که بیماران همچون مشتری هستند.

برای درک غیر قابل پیش‌بینی بودن پیشرفت‌های فن‌آوری در خدمات درمانی تنها کافی است که پانزده سال به عقب بازگردیم و به فن‌آوری‌هایی بیندیشیم که آن زمان به تازگی معرفی شدند و تاثیر امروز آنها بر خدمات درمانی را بسنجیم.

در سال ۲۰۰۰ اعلام اینکه توالی ژنوم انسان معین شده بسیاری از شرکت‌های فن‌آوری را به تکاپو انداخت تا در کسب و کار مربوط به توالی ژنومی بالینی دست بالا را پیدا کنند. رونق اولیه بیشتر این شرکت‌ها به سرعت رنگ باخت. چرا که اندازه پایگاه داده‌های مربوط به آن بسیار بزرگ بود، در حالی که دانش مربوط به استفاده بالینی از این داده‌ها ناچیز بود. با این وجود آنچه ده سال پیش توسط بیشتر شرکت‌های حوزه علوم طبیعی به حال خود رها شد اکنون بار دیگر به بخشی جذاب در پژوهش‌های پزشکی و فن‌آوری‌های خدمات درمانی تبدیل شده و مورد توجه بسیاری از دولت‌ها قرار گرفته است. ممکن است تصور کنیم که این تحولات فراگیر ناگهان ظاهر شده‌اند، اما در حقیقت دانه‌های آن سال‌ها پیش از نمایان شدن ارزش آن کاشته شده بود. اکنون در حالی که تجاری‌سازی به کشف توان بالقوه این علم انجامیده، ارزش آن نمایان شده است. به طور مشابه، می‌توانیم از دانش نوظهور پیشرفت‌های علمی هم درون حوزه داروسازی و هم خارج از آن برای پیش‌بینی پیشرفت‌های مهم فن‌آوری طی چند دهه آینده در بخش خدمات درمانی بهره ببریم.

## ورود کلان‌داده و هوش مصنوعی

پزشکان که مدت‌ها با مشکل کمبود داده و اطلاعات برای تشخیص بیماری‌ها دست و پنجه نرم می‌کردند اکنون با مشکلی کاملاً متضاد یعنی خطر شناخت و اطلاعات بیش از حد مواجه شده‌اند. تا همین اواخر ما از ایکس-ری<sup>۱</sup> برای تشخیص دردهای بطنی بهره می‌بردیم، اما اکنون از تصویرسازی تشدید مغناطیسی<sup>۲</sup> (ام‌آر‌آی<sup>۳</sup>) استفاده می‌کنیم که صدها تصویر را در مدت زمانی مشابه ایکس‌ری تولید می‌کند. پس از ناکامی تلاش‌های نخستین برای تشخیص بیماری‌ها به‌وسیله فن‌آوری‌های دیجیتال، پزشکان و شرکت‌های نرم‌افزاری به ابزارهای تشخیص با کمک رایانه روی آوردند که در آن الگوریتم‌های رایانه‌ای برای توضیح و تفسیر داده‌ها به کار گرفته می‌شوند و البته همچنان این پزشکان هستند که حرف آخر را می‌زنند. حتی با اینکه پردازش‌گرهای آشنا به زبان طبیعی انسانی از دهه ۱۹۵۰ حضور داشته‌اند، اما اهمیت آنها در بخش خدمات درمانی پدیده‌ای جدید است. ما اکنون به جایی رسیده‌ایم که پایگاه‌های داده به اندازه کافی بزرگ هستند و یادگیری ماشین به اندازه کافی پیچیده شده و مجموع سرمایه‌گذاری در این بخش نیز آن‌قدر افزایش یافته (یک برآورد از هشت و نیم میلیارد دلار در سطح جهان در سال ۲۰۱۵ حکایت دارد) که بتوان به وضوح مشاهده کرد که بخش خدمات درمانی تحت تاثیر هوش مصنوعی قرار خواهد گرفت. زمینه‌های نوظهوری را خواهیم دید که در آن اپلیکیشن‌های تخصصی به‌وسیله خلاصه‌سازی سابقه بیمار برآورد کنند که احتمال مثبت بودن نتیجه آزمایش و تشخیص بیماری چقدر خواهد بود، جواب آزمایش‌ها را تفسیر کنند، داده‌های متنوع را جمع‌آوری کرده و در کنار هم قرار دهند و با بیماران به طور مستقیم در ارتباط باشند و وضعیت آنها را بسنجند. اموری که اکنون به انسان‌ها سپرده می‌شوند، از نظارت بر علایم حیاتی در بخش‌های مراقبت‌های ویژه تا مشاهده تصاویر

1. X-ray

2. Magnetic Resonance Imaging

3. MRI



مربوط به آزمایش‌ها و تفسیر آنها و انجام عمل‌های جراحی بسیار پیچیده به میزان بیشتری به‌وسیله یادگیری ماشین انجام خواهند شد.

این مسیر مشابه همانی است که زمانی در صنایع خودروسازی طی شد که در آن کروز کنترل به کروز کنترل تطبیقی ارتقاء یافت و اکنون به سوی خودروهای بدون راننده در حال حرکت است. سال‌های پیش‌رو همکاری جدی‌تری میان دانشمندان علوم طبیعی و مهندسان نرم‌افزار برای ایجاد فن‌آوری‌های خدمات درمانی را به خود خواهد دید که نه تنها مفید است بلکه در همان راستایی است که پزشکان فکر می‌کنند. چنین پدیده‌ای به رشد بازار بخش خدمات درمانی می‌انجامد و به تولید ابزارهای هوش مصنوعی پیچیده‌تر منجر خواهد شد که در برخی از امور مربوط به تشخیص از پزشکان عملکرد بهتری خواهند داشت.

### داروهای احیاءکننده و بیودرمانی

طی تنها یک دهه، داروهای احیاءکننده از زمینه‌ای نوظهور اما امیدبخش به زمینه‌ای تحقق یافته تبدیل شدند. بدن توانایی‌های خارق‌العاده و درونی‌ای برای التیام و درمان خود دارد و ما تنها در آغاز راه برای به خدمت گرفتن این توان قرار داریم. یکی از شیوه‌های درمانی که اتولوگ<sup>۴</sup> درمانی نامیده می‌شود، بازتولید سلول‌های بیمار در آزمایشگاه و سپس بازگرداندن آن سلول‌ها به بدن را شامل می‌شود. سپس سلول بازتولید شده همچون موتوری محرک عمل کرده و عملیات بازبازی و درمان را پیش می‌برد. چنین پیشرفت‌هایی باعث خواهند شد که درمان‌های یاخته بنیادی<sup>۵</sup> بتوانند برای دامنه وسیعی از بیماری‌ها به کار گرفته شوند.

همگام با افزایش استفاده از داروهای احیاءکننده و رواج بیماری‌های ایجاد شده در واکنش به یک محصول بیوتراپی خاص، می‌توان انتظار داشت که در محصولات طبیعی رشد پایداری ناشی از مهندسی زیستی

4. Autologous

5. Stem-cell

مشاهده شود. تولید تجاری سلول‌های بنیادی نیازی نوظهور است که شرکت‌های جافتاده و شرکت نوپا را بر سرمایه‌گذاری در این بخش وامی‌دارد. امروز بیشتر درمان‌های بیوتراپی غیرسلولی هستند (مانند آنتی‌بادی‌های مونوکلونال<sup>۶</sup> یا عوامل رشد<sup>۷</sup>)؛ چنین وضعیتی تغییر خواهد کرد اگر وعده‌های اولیه درمانی یاخته بنیادی برای بسیاری از بیماری‌های متفاوت تحقق یابند. این بیماری‌ها نامرتبط مواردی مانند درد مفاصل، نارسایی قلبی، سکته مغزی، ای‌ال‌اس<sup>۸</sup> (اسکلروز جانبی آمیوتروفیک<sup>۹</sup>، یا بیماری نورون‌های حرکتی<sup>۱۰</sup>) و حتی دیابت و آسیب نخاعی را در بر می‌گیرد که ممکن است درمان یاخته بنیادی بتواند در مقیاسی بزرگ آنها را درمان کند. نیاز به فراهم آوردن فوری سلول‌های بنیادی اختصاصی برای هر فرد با تعداد، درجه خلوص و تفکیک‌پذیری متفاوت باعث خواهد شد که کل این صنعت رشد کند.

محصولاتی بیوتراپی به عنوان منبعی که از بیماران به‌دست آمده می‌تواند بیمار، منتقل کننده و سازنده محصول را گرد هم بیاورد و به میزان قابل توجهی مرزهای میان تولید/ساخت (قلعه سنتی شرکت‌ها) و انتقال (قلعه سنتی بیمارستان‌ها) را کمرنگ سازد. چنین رویدادی که با ادغام تولیدکنندگان سنتی صنعت با فراهم آوردندگان محصولات زیستی همراه است نیازمند شیوه‌های تازه‌ای از خطوط کسب‌وکار است که امروز وجود ندارند. استفاده از منابع به‌دست آمده از بیماران در مقیاس بزرگ پیچیدگی‌هایی را به همراه دارد که تامین‌کننده‌های فعلی توان مواجهه با آنها را ندارند. برای اینکه محصولات مربوط به داروهای احیاء‌کننده بالینی به مقیاس مورد نیاز برای تغییر سلامت جوامع برسند، باید زنجیره تامین کاملاً تازه‌ای ایجاد شود که بخش‌های مختلف فرآیند را یکپارچه سازد و از مرحله تولید گرفته تا انتقال نهایی کیفیت یکسانی

6. Monoclonal Antibodies

7. Growth Factors

8. ALS

9. Amyotrophic Lateral Sclerosis

10. Motor Neurone Disease

عامل رشد نوعی سلول است که در رشد و تکثیر دیگر سلول‌ها نقش دارد.

داشته باشد و محصول بتواند به سرعت برای یک بیمار خاص شخصی سازی شود. بنابراین فرصت‌های قابل توجهی در همه بخش‌های زنجیره تامین وجود دارند و بعید است که این فرصت‌ها توسط یک نوع شرکت پر شوند. از زمینه‌های مناسبی که احتمالاً توسعه خواهند یافت می‌توان به تخصص در ساختار بندی مواد، محصولات یاخته بنیادی آماده تحویل بر اساس تقاضا، ابزار دقیق مربوط به این حوزه و موارد دیگر اشاره کرد.

همچنین پیشرفت‌های مهمی را می‌توان در مسیر درمان‌های مربوط به ایمن سازی و واکسیناسیون مشاهده کرد. تاکنون مزایای درمان‌های پیشگیرانه و ایمن ساز را برای مواردی مانند برخی از سرطان‌ها و روماتولوژی<sup>۱۱</sup> مشاهده کرده‌ایم، اما دامنه این حوزه به مواردی مانند بیماری‌های قلبی عروقی، بیماری‌های خودایمنی و موارد بسیار دیگری گسترش خواهد یافت. واکسن‌ها همچنان به عنوان ابزاری اساسی برای پیشگیری از بیماری‌های عفونی و مسری مانند هپاتیت بی، فلج اطفال و آنفولانزا و عامل ریشه کن سازی آبله باقی خواهند ماند. غیر از چند مورد استثنا، واکسن‌ها در درمان بیماری‌های فعال، چه عفونی و چه سرطانی، موفقیت کمتری داشته‌اند. این روند طی سال‌های پیش رو و به خاطر در هم آمیخته شدن واکسن‌های درمانی و واکسن‌های فعلی که جنبه پیشگیرانه دارند تغییر خواهد کرد. همین حالا بیش از هزار واکسن فعال با اهدافی کاملاً متفاوت در مراحل آزمون آزمایشگاهی هستند.

یکی از حوزه‌های نوظهور استفاده از واکسن‌ها برای تضعیف بخش‌های خاصی از سیستم ایمنی بدن است آن هم برای مقابله با بیماری‌های خود ایمنی مانند دیابت نوع ۱. همین حالا هم واکسن‌هایی برای پیشگیری از سرطان داریم که در راستای هدف قرار دادن بخش‌های عفونی مانند ویروس انسانی پاپیلوما<sup>۱۲</sup> طراحی شده‌اند. هر چند بسیاری از واکسن‌های مربوط به سرطان که در ابتدا بسیار امیدبخش به نظر

11. Rheumatology

12. Papilloma

می‌رسیدند، از پس آزمون نهایی بر نیامدند و از شدت اشتیاق و سرمایه‌گذاری برای آنها کاستند. نتیجه آزمایش‌های مربوط به واکسن‌های تازه و پیشرفته برای سرطان که همین حالا در حال انجام هستند، برای آینده این حوزه اهمیتی حیاتی دارد. همچنین علاقه به‌گونه‌ای تازه از واکسن‌ها ایجاد شده که بر اساس توالی ژنومی تومورها شخصی‌سازی شده‌اند. هر چند پیشرفت‌ها در واکسن‌های درمانی احتمالاً با پوشش قابل توجه رسانه‌ای مواجه خواهد شد اما بازار اصلی واکسن‌ها همچنان در اختیار واکسن‌های پیشگیرانه باقی خواهد ماند؛ واکسن‌هایی که به‌طور قابل توجهی علیه بخش‌های عفونی با مقاومت رو به افزایش در مقابل آنتی‌بیوتیک‌ها مانند سل و عفونت‌های تنفسی عمل می‌کنند.

### زمان مناسب برای یکپارچه سازی بیشتر داده‌ها

هم به خاطر سامانه‌های به جای مانده از گذشته و هم به خاطر مقررات سنگین، اطلاعات به‌دست آمده از مواقع مراجعه بیماران به ارائه‌دهندگان خدمات پزشکی تا حد قابل توجهی از داده‌های به‌دست آمده از بیماران در موارد غیرپزشکی (مانند دستگاه‌های پوشیدنی که میزان فعالیت بدن را می‌سنجند) به صورت مجزا نگهداری شده‌اند. برای بسیاری از مصرف‌کنندگان درهم‌آمیختن این داده‌ها قابل پذیرش نیست و این حوزه تفاوت بسیاری با تجربیات ما در بخش‌های بی‌ارتباط به سلامت دارد. نسل بعدی ثبت الکترونیکی سوابق پزشکی در مقایسه با نمونه‌های فعلی قادر خواهد بود که داده‌های مجزا را به صورت بهتری مدیریت کند، با این حال فاصله قابل توجهی میان این داده‌ها همچنان باقی خواهد ماند.

چنین وضعیتی نیازهای تازه‌ای را ایجاد می‌کند. شرکت‌های جمع‌آوری‌کننده داده‌ها و شرکت‌های حوزه فن‌آوری که حول محور جمع‌آوری داده‌ها و انتخاب داده‌های مربوط به سابقه پزشکی سلامت فعالیت می‌کنند با بازار رو به گسترشی برای خدماتشان مواجه خواهند شد. شاهد ظهور شرکت‌های فن‌آوری برای خدمت

رسانی به افراد سالم، بیماران و ارائه دهندگان خدمات درمانی خواهیم بود آن هم از طریق خلاصه‌سازی داده‌های هنگفت کمی و کیفی و همچنین ارایه توصیه و تحلیل بر اساس موارد تعریف شده و تعریف نشده توسط پایگاه داده‌ها. داده‌های جمع‌آوری شده مربوط به مصرف‌کنندگان توسط دستگاه‌های شخصی آنها کیفیت و رویکرد خدمات بالینی را ارتقاء خواهد داد و استفاده از داده‌ها توسط بخش خدمات درمانی را توجیه‌پذیر ساخته و در نتیجه نیاز برای دسترسی به این داده‌ها و یکپارچه‌سازی آنها با سوابق پزشکی را پدید می‌آورد. ابزارها و دستگاه‌های پوشیدنی همین حالا نیز به صورت شبانه‌روزی داده تولید می‌کنند. همچنین نیاز تازه‌ای ایجاد خواهد شد: استفاده از فن‌آوری برای جداسازی داده‌های جعلی به‌دست آمده از مصرف‌کننده و داده‌های معنی‌دار که برای مدیریت سلامت و بیماری به کار بیایند، به جای اینکه به ایجاد سردرگمی در آن بینجامند.

مسائل مربوط به یک فرد متصل به اینترنت برای خانه‌های متصل نیز کارایی دارند. فن‌آوری به طور فزاینده‌ای ما را قادر خواهد ساخت که از مراجعه به مراکز خدمات درمانی اجتناب کنیم، چرا که خانه‌های ما به نسخه‌ای بسط یافته از ما تبدیل خواهند شد و اطلاعات مربوط به سلامت ما را جمع‌آوری کرده و ما را سالم نگه می‌دارند. خانه‌های ما نقش مطب پزشکان را برای ارائه دهندگان خدمات درمانی ایفا خواهند کرد و داده‌های جمع‌آوری شده توسط خانه نیاز به مراجعه حضوری را در بیشتر موارد برطرف خواهد کرد. ما نیازمند همان فن‌آوری‌ای هستیم که برای دستگاه‌های پوشیدنی توسعه یافت تا بتوانیم تعاملات مورد نظر میان بدن انسان و خانه را گزینش کرده و اطمینان حاصل کنیم که تمرکز پیشرفت جمع‌آوری داده‌های پزشکی و مربوط به سلامت فرد توسط خانه بر اساس نیازهای ما خواهد بود و نه بر اساس تصمیماتی که جریان فن‌آوری به تنهایی شکل داده است.

### دوران داروهای فردی و شاخه‌های تازه

اعلام خبر شناخت توالی ژنوم انسان در سال ۲۰۰۰ و خبر تکمیل آن پنج سال بعد زمینه‌های تازه‌ای را ژنومیک<sup>۱۳</sup> (تجمیع ژن‌ها و دی‌ان‌ای همه

ما) ایجاد کرد. این رویداد همچنین زمینه‌های تازه‌ای مانند فارماکوژنومیک<sup>۱۴</sup> (تلاقی میان داروها و ژن‌های ما)، اپیژنومیک<sup>۱۵</sup> (مطالعه تغییرات در خواص ژن‌ها که ناشی از تغییرات در دی‌ان‌ای نیستند) و پروتئومیک<sup>۱۶</sup> (مطالعه پروتئین‌ها، ساختارها و عملکرد و تغییرات آنها در گذر زمان و در مواجهه با بیماری‌ها در مقیاس کلان) ایجاد کرده است. خوشبختی‌های تجاری و پزشکی مربوط به ژنومیک با این معضل مواجه شده‌اند که مشخص نیست کدام یک از ده‌ها هزار نوع ژنی که ما حمل می‌کنیم مستعد ایجاد بیماری هستند و اینکه چه ترکیبی از این ژن‌ها می‌تواند برای سلامت ما مفید یا مضر باشد. هزینه تعیین توالی ژنومی نیز در روزهای نخست عامل بازدارنده‌ای محسوب می‌شد. کاهش قیمت یک توالی ژنومی قابل اطمینان از ۲۰۰ میلیون دلار به حدود هزار دلار، و اینکه توالی‌های تعیین شده امروز از برخی جهات عمیق‌تر هستند، مانع بزرگی را برطرف خواهد کرد. شناخت ما از انواع گوناگون ژنوم‌ها همچنان مانع مهمی بر سر راه ایجاد و گسترش شاخه‌های تازه مربوط به علوم ژنتیک و آزمون و استفاده درمانی آنها خواهد بود، اما روند به سرعت فزاینده پایگاه‌های داده موجود این امیدواری را ایجاد می‌کند که طی یک دوره پنج ساله شرایط کاملاً تغییر کند.

آزمون‌های آزمایشگاهی به میزان قابل توجهی استفاده از نسل بعدی تعیین توالی را افزایش خواهند داد و جایگزین شیوه‌های فعلی مانند غربال‌گری نوزادان، دورگه‌سازی تابشی در محل<sup>۱۷</sup> (فیش<sup>۱۸</sup>) و دامنه وسیعی از دیگر روش‌های آزمایش ژنتیک خواهد شد. برای تشخیص بیماری‌های نادر، استفاده از همه توالی اگزوم یا ژنوم به جای اینکه آخرین راه‌حل باشد به نخستین راه‌حل تبدیل خواهد شد و بازار آن گسترش خواهد یافت. پژوهش‌های تازه نشان می‌دهند که برای تشخیص این بیماری‌های نادر، همه توالی اگزوم یا ژنوم شیوه سریع‌تر و ارزان‌تری برای رسیدن به پاسخ است. با افزایش دسترسی به طیف سنجی

14. Pharmacogenomics

15. Epigenomics

16. Proteomics

17. Fluorescence in Situ Hybridisation

18. FISH

جرمی<sup>۱۹</sup>، آرایه‌های پروتئینی<sup>۲۰</sup> و نانوتکنولوژی و همین‌طور آزمون‌های بر پایه پروتئومیک، شناخت ما از ریشه‌های ژنومی بیماری‌ها افزایش یافته و همچنین احتمالاً درک ما از پویایی عملکرد بیماری نیز بیشتر شود. هرچند کاربرد شاخه میکروفلوئیدیک<sup>۲۱</sup> در آزمون‌های آزمایشگاهی متوقف شده، اما این فن‌آوری به راهیابی به آزمایشگاه‌ها ادامه خواهد داد و فرصت‌هایی را برای تمرکز زدایی از آنها فراهم خواهد آورد و همچنین فرصت‌هایی را برای آزمون‌های نقطه مراقبت<sup>۲۲</sup> مانند آزمون خانه هوشمند متصل به اینترنت فراهم خواهد آورد.

شاخه فارماکوژنومیک رشد سریعی را هم در آزمون‌های آزمایشگاه‌های شرکت‌ها و هم در استارت آپ‌هایی که محصول را مستقیم به مصرف‌کننده می‌رسانند تجربه خواهد کرد. در میان همه شاخه‌های دیگر که به آنها پرداخته شد، فارماکوژنومیک بیشترین بهره را از داده‌ها و شیوه‌های موجود ارائه محصول می‌برد و احتمالاً بیشترین رشد را به خود خواهد دید. بیش از ۱۵۰ نوع دارو (۱۳ درصد کل داروها) اکنون اطلاعات ژنومی را بر روی برچسب خود دارند. با حل مشکل قیمت بالا و در حالی که پزشکان و داروسازان در تفسیر داده‌ها و به کارگیری آنها در نوشتن نسخه و تجویز میزان مصرف دارو تبحر بیشتری می‌یابند، استخراج اطلاعات فارماژنومیک از کل داده‌های ژنومی و توالی هدفمند برای انواع خاصی از ژن‌ها به عنوان بخش‌های قابل اطمینانی ظهور خواهند کرد. آنچه هنوز باید برایش راهکاری پیدا شود، یکپارچه‌سازی توالی ژنتیکی فارماکوژنومیک با نرم افزارهای فعلی برای ثبت الکترونیکی سوابق پزشکی و برای تجویز داروها است.

درمان‌های هدفمند (هدف قرار دادن مولکول یا سلول بیمار به جای همه سلول‌ها) بخش قابل توجهی از توسعه بخش داروسازی را به خود اختصاص خواهد داد. هرچند بیشتر افراد تصور می‌کنند که درمان هدفمند

19. Mass Spectrometry

20. Protein Arrays

21. Microfluidics

22. Point-of-care Testing

به سرطان مربوط می‌شود اما این شاخه به مراتب وسیع‌تر است: طبق اعلام سازمان غذا و داروی آمریکا<sup>۲۳</sup> (افدی‌ای<sup>۲۴</sup>)، ۴۳ درصد کل داروهای تولید شده داروهای مربوط به درمان هدفمند هستند. در سال ۲۰۱۴ از میان همه داروهای تایید شده توسط سازمان غذا و داروی آمریکا، ۲۰ درصد داروها به بخش درمان هدفمند مربوط می‌شدند که این رقم در سال ۲۰۱۵ به ۲۸ درصد رسید. رشد در این بخش مدیون چرخه بازخوردی است که به نسل بعدی تعیین توالی ژنومی مربوط می‌شود. شناسایی اهداف مشخص برای درمان یک بیماری به توسعه درمان‌های هدفمند می‌انجامد و سپس دانش به‌دست آمده از اهداف مورد درمان قرار گرفته به اکتشافات اهداف بیشتر می‌انجامد.

تغییرات اپیزنومیک در دامنه وسیعی از بیماری‌های مزمن شامل بیماری‌های متابولیک مانند دیابت، چاقی، بیماری‌های قلبی و سرطان نقش آفرینی می‌کند و این تغییرات اپیزنومیک به طور بالقوه برگشت‌پذیر هستند. بنابراین علاقه زیادی نسبت به این شاخه وجود دارند. آگاهی نسبت به افزایش امکان برگشت‌پذیری تغییرات اپیزنومیک که عامل تشدید برخی بیماری‌ها هستند رو به رشد است. تغییرات اپیزنتیک از طریق دامنه وسیعی از مکانیزم‌ها روی می‌دهند که برخی از آنها به تازگی کشف شده‌اند. ما شاهد توجه فزاینده به توسعه داروهای مربوط به مهار متیل دار کردن دی‌ان‌ای<sup>۲۵</sup> و داروهای که یک مکانیزم را مورد حمله قرار می‌دهند مانند مهارکننده برومودومین<sup>۲۶</sup>، مهارکننده هیستون استیلترانسفراز<sup>۲۷</sup>، مهارکننده هیستون دیاستیلاز<sup>۲۸</sup>، مهارکننده هیستون متیلاسیون<sup>۲۹</sup> و مهارکننده پروتئین متیل ترانسفراز<sup>۳۰</sup>. به علاوه احتمالاً شاهد ترکیب داروهای اپیزنومیک با داروهای ایمون تراپی به عنوان شیوه استاندارد شیوه‌های درمانی مربوط

23. The US Food and Drug Administration

24. FDA

25. DNA Methylation

26. Bromodomain

27. Histone Acetyltransferase

28. Histone Deacetylase

29. Histone Methylation

30. Methyltransferase



به شیمی درمانی خواهیم بود.

### ترکیب تصویر برداری مولکولی با دیگر شیوه‌های تصویر برداری

اکنون چهل سال از عمر روش‌های پیشرفته تصویر برداری مانند مقطع‌نگاری رایانه‌ای<sup>۳۱</sup> (سی‌تی‌اسکن) و ام‌آر‌آی می‌گذرد. هر چند تاکنون بهبودهای قابل توجهی در این شیوه‌های اصلی ایجاد شده و پیشرفت‌های بیشتری در راه خواهد بود اما افزوده شدن تصویر برداری مولکولی به این فن‌آوری‌ها و دیگر فن‌آوری‌های تازه بخش مسلط مرحله بعدی تصویر برداری خواهد بود.

تصویر برداری مولکولی ترکیبی است از یک روش تصویر برداری مانند تابش، سونوگرافی، ام‌آر‌آی یا پرتویی با مکانیزمی برای هدف قرار دادن یک سلول یا اجزای یک سلول مانند مولکول‌هایی خاص. در بخش خدمات درمانی اصطلاح تصویر برداری مولکولی معمولاً برای تصویر برداری‌هایی به کار می‌رود که مولکول یا مسیر زیستی خاصی را هدف قرار دهد و بتواند تصویر سازی را از خارج از بدن انجام دهد. برش‌نگاری با گسیل پوزیترون<sup>۳۲</sup> (پی‌ای‌تی) مشهورترین شیوه تصویر برداری مولکولی است که بر پایه ایزوتوپ‌های نشر پوزیترون قرار دارد. روش‌های ترکیبی تصویر برداری طی سال‌های پیش‌رو رشد خواهند کرد و بخش قابل توجهی از پیشرفت‌های فن‌آوری را به خود اختصاص خواهند داد. ترکیب هدف قرار دادن‌های مولکولی که به کمک پی‌ای‌تی با کیفیت تصویری سی‌تی‌اسکن و ام‌آر‌آی اسکن به طور فزاینده‌ای به امری متداول تبدیل می‌شود («پی‌ای‌تی ام‌آر‌آی»<sup>۳۳</sup>) و «پی‌ای‌تی سی‌تی»<sup>۳۴</sup>، استفاده از ماده حاجب<sup>۳۵</sup> با ویژگی‌های بالاتر نیز گسترش خواهد یافت.

### پرسش‌های اخلاقی

این مقاله تلاشی است برای ارائه نگاهی اجمالی به دامنه وسیعی از

31. Computed Tomography Scans

32. Positron Emission Tomography

33. PET-MRI

34. PET-CT

35. Contrast Agents

حوزه‌هایی که در آنها فن‌آوری باعث تحول در آینده بخش پزشکی و داروسازی خواهد شد. برای تکامل در این حوزه‌ها، همچنان نیازمند فن‌آوری‌های پزشکی نامتداول هستیم، به خصوص که در جامعه رو به پیری، ناتوانی‌های جسمی و بیماری‌های مزمن رو به افزایش هستند.

دلایل قانع کننده‌ای برای هیجان زده شدن و خوشبینی نسبت به آینده وجود دارد اما این پیشرفت‌ها خالی از خطر هم نیستند. همین حالا در جهانی زندگی می‌کنیم که نوآوری پرشتاب به میزان در هم تنیدگی و اتصال مجازی شدت بخشیده است. اپلیکیشن‌ها و دستگاه‌های تلفن همراه به عنوان پلتفرم‌های ارائه و مصرف خدمات پزشکی به جریان اصلی این خدمات تبدیل شده‌اند. استفاده از تلفن همراه و دیگر دستگاه‌های همراه به عنوان محصولات پزشکی که داده‌های پزشکی تولید می‌کنند نیازمند تبیین استانداردهای بیشتری است و در عین حال امکان آزمون راه‌هایی برای تمرکززدایی و دموکراتیک ساختن بخش پزشکی را هم فراهم می‌آورد.

نوآوری با نرخ بی‌سابقه‌ای پیش می‌رود و بخش مربوط به وضع مقررات و همچنین میزان تطبیق پذیری انسان‌ها با این فن‌آوری‌های تازه به میزان کافی رشد نکرده‌اند و میان آنها با جهان فن‌آوری فاصله ایجاد شده است. چگونه می‌توان همگام با رشد نوآوری پیش رفت و در مورد مواردی مانند میزان دسترسی و امکان مالی تهیه خدمات پزشکی تصمیم‌گیری کرد؟ چه کسی تصمیم می‌گیرد که نفع بیماران در چیست؟ به لطف پزشکی از راه دور<sup>۳۶</sup>، اکنون می‌توانیم خدمات پزشکی بهتری را با سرعت بیشتر و از فواصل دورتر ارائه دهیم، این روند همچنان هم از نظر سرعت و هم از نظر فاصله رایج خدمات تداوم خواهد یافت. با در نظر گرفتن چنین مسائلی، اخلاق نقش پررنگ‌تری خواهد یافت. باید اطمینان حاصل کنیم که نیازهای بیماران تابع خواست فن‌آوری نخواهد بود و همچنین تلاش برای کسب دانش به شیوه‌ای فاوستی<sup>۳۷</sup> تبدیل نشود و بر اساس منافع انسان‌ها باشد.

36. Telemedicine

۳۷. اشاره نویسنده به افسانه ای آلمانی است که در آن فردی به نام فاوست برای به‌دست آوردن دانش حاضر می‌شود روحش را به شیطان بفروشد.



فصل نهم

# بخش انرژی: برآمدن انرژی های تجدیدپذیر

آنا شوکت<sup>۱</sup>

به لطف پیشرفت‌ها در انرژی‌های خورشیدی و بادی و همچنین شیوه‌های مربوط به ذخیره‌سازی آن‌ها، تحولی عظیم در مصرف انرژی در راه است.

پس از انقلاب صنعتی، جهان به سوخت‌های فسیلی به عنوان منبع اصلی انرژی وابسته شد. البته این وابستگی به رشد اقتصادی بی‌سابقه، پیشرفت‌های عظیم در سطح زندگی و ایجاد رفاه برای بخش زیادی از افراد کمک کرد، اما متأسفانه پیامدهایی منفی نیز به همراه داشت. سوزاندن سوخت‌های فسیلی میزان هنگفتی از آلودگی و دی‌اکسید کربن را در جو زمین تولید می‌کند. برای بیش از یک قرن، بشر به منبعی از انرژی وابسته بوده که آلوده و پایان‌پذیر بوده و اثرات برگشتناپذیری بر آب و هوا دارد.

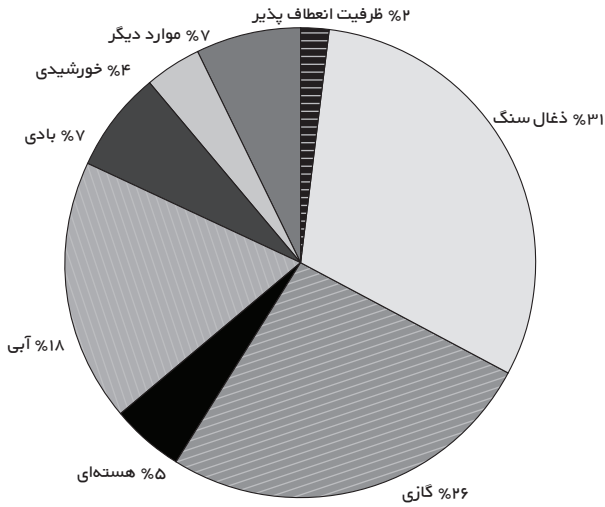
با این حال، طی چند دهه آینده تحول عظیمی روی خواهد داد و آن هم دوری جستن از سوخت‌های فسیلی است. بهبودها در فن‌آوری و کاهش هزینه‌ها با سرعت قابل ملاحظه‌ای به ویژه در بخش انرژی خورشیدی و انرژی بادی در حال پیشرفت هستند. حتی اگر پس از سال ۲۰۲۰ یارانه‌های بخش انرژی‌های تجدیدپذیر حذف شوند، سهم آنها در انرژی تولید شده می‌تواند از پنج درصد امروز به سی درصد تا سال ۲۰۴۰ برسد (نمودار ۹.۱ ظرفیت تولید انرژی از منابع مختلف را نشان می‌دهد). به علاوه باتری‌ها هم در حال بهتر و ارزان‌تر شدن هستند و می‌توانند در خودروهای الکتریکی و همچنین برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در شبکه برق‌رسانی به کار بیایند.

نشانه‌های غیرقابل انکار این تحول همین حالا هم قابل مشاهده هستند. طبق اعلام آژانس بین‌المللی انرژی<sup>۱</sup> (آی‌ای‌ای<sup>۲</sup>)، برق تولید شده توسط انرژی‌های تجدیدپذیر حدود ۹۰ درصد ظرفیت‌های تازه تولید انرژی در سال ۲۰۱۵ را به خود اختصاص داده و سهم انرژی بادی به تنهایی بیش از نصف بوده است. به طور مشابه، مایکل لیبریک<sup>۳</sup>، بنیانگذار شرکت تحقیقاتی بلومبرگ نیو انرژی فایننس<sup>۴</sup>، می‌گوید که میزان ظرفیت تولید افزوده شده به شبکه برق‌رسانی توسط انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح جهان بیشتر از سوخت‌های فسیلی است. دو نقطه پیشرو در این زمینه

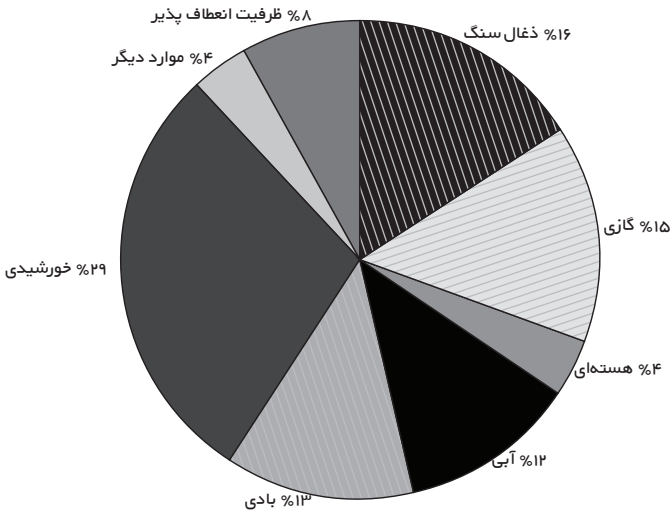
1. International Energy Agency  
 2. IEA  
 3. Michael Liebreich  
 4. Bloomberg New Energy Finance

نمودار ۱-۹ سبتر شدن

ظرفیت نیروگاهی جهان، سهم از کل

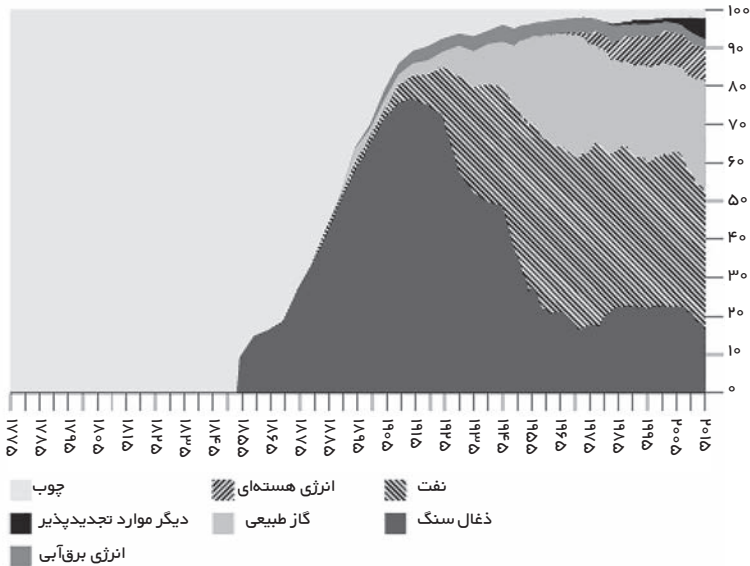


پیش‌بینی مجموع سال ۲۰۴۰ / ۱۴۴۶۴ گیگاوات



نمودار ۲-۹ تغییر قدرت

درصد سهم منابع تامین انرژی مصرفی در آمریکا



منبع: اداره اطلاعات انرژی آمریکا

یعنی کشور آلمان و ایالت کالیفرنیا در آمریکا، حدود بیش از سی درصد برق مورد نیاز خود را از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر به دست می‌آورند. سوخت‌های فسیلی ناگهان ناپدید نمی‌شوند بلکه استفاده از آنها در طول زمان کاهش می‌یابد. تاریخچه استفاده از انرژی، یکی از مواردی است که تغییرات در آن بسیار کند و طی دهه‌ها رخ می‌دهند با این حال طی همین تاریخ تحولات شدیدی در منابع انرژی از چوب به زغال سنگ و سپس به نفت و گاز روی داده است (بنگرید به نمودار ۹.۲). از آنجا که دو سوم انتشار گازهای گلخانه‌ای به خاطر تولید و مصرف انرژی است، سرعت و دامنه تحول پیش‌رو در منابع تولید انرژی نقش تعیین کننده‌ای در میزان موفقیت در حفظ گرمایش زمین در سطح کمینه خواهد داشت.

## بگذار آفتاب به داخل بتابد<sup>۵</sup>

انرژی خورشیدی از زمانی که شرکت آزمایشگاه‌های بل<sup>۶</sup> در سال ۱۹۵۴ از نخستین سلول خورشیدی کاربردی رونمایی کرد تاکنون راهی طولانی را پیموده است. از آن زمان تاکنون، کارایی تبدیل تابش خورشید به انرژی برق تقریباً چهار برابر شده، از ۶ درصد به ۲۳ درصد برای بهترین پنل‌های خورشیدی سیلیکونی امروز. در همین زمان، هزینه روش‌های تبدیل انرژی خورشید به برق نیز از حدود ۳۰۰ دلار برای هر وات در دهه ۱۹۵۰ به حدود ۶۰ سنت رسیده است (بنگرید به نمودار ۹.۳). نتیجه چنین پیشرفت‌هایی این بوده که همین حالا هم انرژی خورشیدی از نظر قیمت حتی در برخی از نقاط بدون یارانه دولتی نیز با انرژی فسیلی قابل رقابت است.

انرژی خورشیدی اکنون حدود یک درصد برق جهان را تولید می‌کند. هرچند چنین رقمی بسیار کوچک به نظر می‌رسد، اما صنعت فتوولتائیک<sup>۷</sup> (پی وی<sup>۸</sup>) با سرعت قابل توجهی رشد کرده است. میزان نصب سلول‌های خورشیدی این صنعت طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ با نرخ رشد مرکب سالیانه ۴۴ درصد رشد کرده است. از سال ۲۰۱۲ تا کنون، ظرفیت تولید برق ایجاد شده توسط این صنعت در سطح جهان از مجموع ظرفیت ایجاد شده طی همه سال‌های پیش از آن بیشتر بوده است.

سلول‌های خورشیدی از مواد جذب کننده نور ساخته می‌شوند که نور خورشید را به الکتریسیته تبدیل می‌کنند. امروز ماده اصلی این سلول‌ها سیلیکون است، ماده‌ای بسیار شکننده که برای پایداری باید در محفظه‌ای محکم قرار داده شود. این ویژگی باعث شده که استفاده از سلول‌های خورشیدی به بام‌ها یا نصب در زمین‌هایی فراخ محدود شود. با این حال، بنابر گزارش منتشر شده توسط موسسه فن‌آوری ماساچوست<sup>۹</sup> (ام آی تی<sup>۱۰</sup>)

5. Let the sun shine in

6. Bell Laboratories

7. Photovoltaics

سامانه‌ای که در آن سلول‌های خورشیدی با جذب انرژی ناشی از تابش خورشید آن را به الکتریسیته تبدیل می‌کنند.  
8. PV

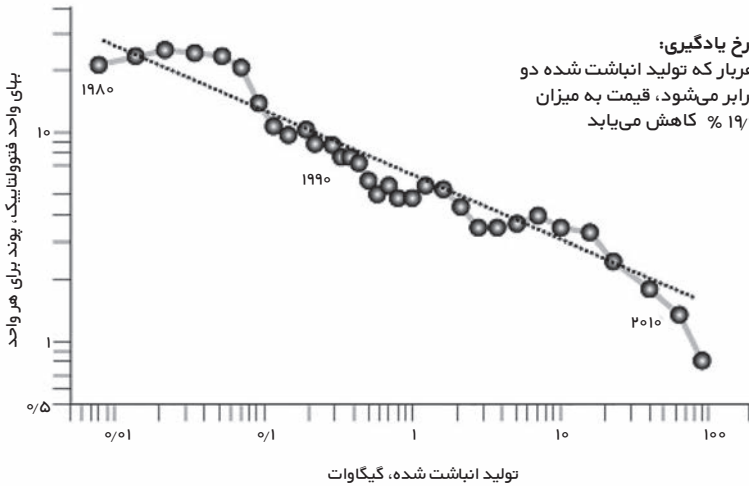
9. Massachusetts Institute of Technology

10. MIT



## نمودار ۳-۹ روزهای آفتابی

منحنی یادگیری قیمت انرژی خورشیدی



تعدیل شده بر اساس تورم

منبع: موسسه فرانوفر برای سامانه‌های انرژی خورشیدی

با عنوان آینده انرژی خورشیدی<sup>۱۱</sup>، سلول‌های خورشیدی امروز که بر پایه سیلیکون تولید شده‌اند آن قدر خوب هستند که بتوانند حتی بدون پیشرفت تکنولوژیکی خاصی تا سال ۲۰۵۰ به میزان وسیعی گسترش یافته و از انتشار کربن به میزان قابل توجهی بکاهند.

با این حال در این گزارش آمده که فناوری‌هایی که در حال حاضر در حال توسعه هستند این ظرفیت را دارند که به شیوه‌های ساده‌تر و ارزان‌تری تولید شوند و به شیوه‌های مختلفی به کار گرفته شوند؛ آن هم در حالی که توان تبدیل انرژی آنها به اندازه سیلیکون است. سلول‌های خورشیدی ساخته شده می‌توانند بر روی لایه‌های باریک‌تر با بسترهای انعطاف‌پذیرتری قرار داده شوند و در نتیجه سبک‌تر بوده و نصب آنها آسان‌تر است. به علاوه این سلول‌های تازه می‌توانند از مواد شفاف ساخته شوند

11. The Future of Solar Energy

که نور را جذب می‌کنند اما توسط انسان قابل مشاهده نیستند و می‌توانند در هر محیطی به کار روند. ولادیمیر بلوویچ<sup>۱۲</sup>، یکی از تهیه‌کنندگان این گزارش و استاد فن‌آوری‌های نوظهور در ام‌آی‌تی، می‌گوید که فن‌آوری‌های تازه می‌توانند بر فراز هر سطحی انرژی تولید کنند.

در این صورت سلول‌های خورشیدی می‌توانند به دامنه وسیع‌تری از کاربردها راه یابند. طی چند دهه آینده، با ورود این فن‌آوری‌ها از آزمایشگاه‌ها به بازار، ممکن است ابتدا آنها را در ابزارهای الکترونیکی مصرفی کوچک یا بر فراز پنجره‌ها به عنوان پرده‌هایی شفاف و سپس به عنوان بخشی از پارچه‌ها شامل پارچه پرده و لباس مشاهده کرد.

هم سیلیکون و هم سلول‌های خورشیدی نوظهور که به صورت پرده‌های نازک هستند از موادی ساخته می‌شوند که به‌وفور یافت می‌شوند و تولید و به کارگیری آنها در سطح گسترده مشکل‌ساز نخواهد بود. طبق محاسبات ام‌آی‌تی، مساحت مورد نیاز برای تامین ۱۰۰ درصد تقاضای انرژی برق در آمریکا در سال ۲۰۵۰ توسط سلول‌های خورشیدی سیلیکونی فعلی معادل چهار دهم درصد کل مساحت خشکی کشور یا تقریباً معادل نصف مساحت ایالت ویرجینیای غربی است. هرچند که به کارگیری صفحه‌های خورشیدی با بیشترین کارایی در آفتابی‌ترین بخش‌های آمریکا می‌تواند این مساحت مورد نیاز را تا میزان حدود دو سوم کاهش دهد.

### دمیدن در باد<sup>۱۳</sup>

باد نیز همچون خورشید یک منبع انرژی قابل دسترس، بدون تولید کردن و تجدیدپذیر است. توربین‌های بادی در حال حاضر حدود ۴ درصد کل انرژی برق جهان را تولید می‌کنند. هزینه انرژی بادی نیز از ۳۰ سنت برای هر کیلووات ساعت در دهه ۱۹۸۰ تا ۳ سنت برای هر کیلووات ساعت کاهش یافته است.

12. Vladimir Bulovic

13. Blowin' in the wind

باب دیلن، خواننده و ترانه‌سرای آمریکایی، نیز ترانه‌ای با همین عنوان دارد.

در حالی که نمونه‌های نخستین توربین‌های بادی کوتاه و کوچک بودند و ظرفیت تولید آنها تنها چند ده کیلووات بود، ماشین‌های امروزی به مراتب بلندتر و بزرگ‌تر هستند و ظرفیت معمول آنها حدود دو و نیم مگاوات است و مرکز پره‌های (هاب) آنها در ارتفاعی بین ۸۰ تا ۱۲۰ متر قرار می‌گیرد. مزیت توربین‌های بلندتر این است که به بادهای سریع‌تری که در ارتفاعات بلندتر می‌وزند دسترسی دارند. در همین حال، روتورهای بزرگ‌تر با پره‌های بلندتر می‌توانند مساحت بیشتری را پوشش داده و در نتیجه انرژی بیشتری را از یک مکان جذب کنند.

ادگاردی‌مئو<sup>۱۴</sup>، یکی از مشاوران تهیه گزارش چشم انداز انرژی بادی برای وزارت انرژی آمریکا<sup>۱۵</sup>، می‌گوید که این بهبودهای مداوم زمینه‌های تازه‌ای را برای توسعه فن‌آوری‌های مربوط به انرژی بادی فراهم می‌آورند. بنابراین گزارش، که در سال ۲۰۱۵ منتشر شد و به توان بالقوه انرژی بادی در آمریکا در سال ۲۰۵۰ می‌نگرد، نسل بعدی توربین‌های بادی می‌توانند حدود ۷۲۰ هزار مایل مربع (یک و نه دهم میلیون کیلومتر مربع) به سرزمین‌های قابل توسعه کشور آمریکا برای انرژی بادی بیافزایند و مساحت قابل دسترس توسط توربین‌های قدیمی‌تر از سال ۲۰۰۸ را تقریباً سه برابر کنند.

امروز صنعت انرژی بادی تحت تسلط توربین‌های سه پره‌ای است، اما طراحی‌های متفاوتی در راه خواهند بود مانند ماشین‌های دو پره‌ای و همچنین ماشین‌های بدون پره که با نوسان قطبی می‌چرخند. پروژه‌ای که بیش از دیگران در جذب سرمایه موفق بوده به شرکت کالیفرنایی ماکانی<sup>۱۶</sup> مربوط می‌شود که در حال توسعه توربین‌های بادی هواپردی است که از تسمه برای اتصال به ایستگاه زمینی و انتقال انرژی بهره می‌برند. این «بادبادک‌های انرژی» با همان اصول آیرودینامیک توربین‌های متداول کار می‌کنند، اما این ظرفیت را دارند که تا ارتفاع ۳۱۰ متر، یا حدود دو برابر توربین‌های فعلی، بالا بروند آن هم در حالی که مواد بسیار

14. Edgar DeMeo

15. The US Department of Energy

16. Makani

کمتری برای تولید آنها به کار رفته است.

شرکت ماکانی در سال ۲۰۱۳ توسط شرکت گوگل خریداری شد و اکنون در تلاش است تا نمونه ۶۰۰ کیلوواتی را درهاوایی<sup>۱۷</sup> تست کند و با خلبان‌های محلی و همچنین با اداره هوانوردی فدرال آمریکا<sup>۱۸</sup> مشغول همکاری است تا امکان مشاهده این بادبادک‌ها را ارتقاء ببخشد. اما به چالش کشیدن تسلط توربین‌های سنتی کار ساده‌ای نخواهد بود. پل ویرز<sup>۱۹</sup>، مهندس ارشد در مرکز فن‌آوری بادی آمریکا<sup>۲۰</sup>، اعتقاد دارد که ماشین‌های امروزی سی‌سال سابقه دارند و ضوابط طراحی آنها به خوبی شناخته شده است. همچنین توربین‌های فعلی رو به بهبود هستند. در حالیکه روتور<sup>۲۱</sup>ها و برج‌های آنها در حال بزرگ‌تر شدن هستند، حمل و نقل زمینی آنها به چالشی تبدیل شده است و شرکت‌ها به دنبال راه‌هایی برای سرهم کردن یا ساخت این اجزاء در محل استفاده هستند. طبق اظهارات جوزه زایاس<sup>۲۲</sup>، مدیر دفتر فن‌آوری‌های انرژی بادی<sup>۲۳</sup> در وزارت انرژی آمریکا، چاپ سه بعدی قالب پرها همین حالا نیز از میزهای طراحی عبور کرده و به مرحله ساخت نمونه‌های اولیه رسیده است. این فرآیند از شیوه‌های متداول تولید قالب سریع‌تر خواهد بود و می‌تواند هزینه‌های مربوط به آن را تا پنج درصد کاهش دهد. پژوهشگران همچنین به دنبال راه‌هایی برای بهینه‌سازی طراحی ساختار و نیروگاه‌های بادی هستند که می‌تواند بهره‌وری آنها را به ازاء کمی افزایش هزینه تا حدود پنج درصد افزایش دهد.

سال‌ها بود که در پیش‌بینی‌های بازیگران اصلی حوزه انرژی، نرخ رشد انرژی خورشیدی و بادی دست‌کم گرفته می‌شد. برای مثال در چشم‌انداز انرژی جهان<sup>۲۴</sup> که در سال ۲۰۰۸ توسط آژانس بین‌المللی انرژی

17. Hawaii

18. The US Federal Aviation Administration

19. Paul Veers

20. The US National Wind Technology Centre

21. Rotor

22. Jose Zayas

23. Wind Energy Technologies Office

24. World Energy Outlook

منتشر شد، پیش‌بینی شده بود که انرژی خورشیدی در سال ۲۰۳۰ معادل ۱ درصد انرژی برق جهان را تولید خواهد کرد؛ در حالی که این دستاورد پانزده سال زودتر یعنی در سال ۲۰۱۵ محقق شد.

البته انرژی خورشیدی و انرژی بادی یک نقطه ضعف هم دارد و آن اینکه هر دو متناوب هستند. چرا که خورشید شب‌ها نمی‌درخشد و باد همواره نمی‌وزد. این چالش باعث شده تا طراحان نیروگاه‌ها تلاش کنند راهکارهایی را برای اتصال این انرژی‌های تجدیدپذیر ناپایدار به شبکه برق بیابند. امروز شیوه‌های پیچیده پیش‌بینی برآورد می‌کنند که ابرها چه زمانی جلوی خورشید را می‌گیرند و وزش بادهای چه زمانی شدت می‌گیرد و اپراتورهای شبکه برق رسانی بر این اساس عرضه و تقاضا را در فواصل کوتاه‌تری متوازن می‌کنند. یک شبکه برق‌رسانی در هم تنیده و یکپارچه می‌تواند برای ارسال انرژی به فواصل دور در مواقع نیاز مورد استفاده قرار بگیرد و اگر کمبودی در انرژی خورشیدی یا بادی ایجاد شود، نیروگاه‌هایی که با گاز طبیعی کار می‌کنند می‌توانند فعال شده و به سرعت تولید برق را افزایش دهند.

اما همه نیروگاه‌ها به یک اندازه قدرتمند و یکپارچه نیستند و در برخی از نقاط امکان ارسال برق به فواصل دور یا تولید انرژی به وسیله نیروگاه‌های گازی در صورت نیاز وجود ندارد. راهکار دیگر برای کاهش اوج و فرودهای مربوط به انرژی‌های تجدیدپذیر، ذخیره‌سازی مازاد انرژی برای استفاده در زمانی دیگر است، راهکاری که با توجه به افزایش سهم انرژی خورشیدی و بادی در تولید انرژی ضروری به نظر می‌رسد.

## اعطای قدرت به مردم<sup>۲۵</sup>

اگرچه فن‌آوری‌های بسیاری برای ذخیره‌سازی انرژی وجود دارد اما بسیاری از آنها گران هستند. متداول‌ترین شیوه که فن‌آوری پیچیده‌ای هم ندارد نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای<sup>۲۶</sup> است که در آن آب به

25. Power to the people

نام ترانه‌ای از جان لنون، خواننده انگلیسی که در سال ۱۹۷۱ میلادی منتشر شد.

26. Pumped-storage Hydroelectricity

مخزنی در ارتفاع بالاتر پمپاژ می‌شود و هنگام نیاز آب ذخیره شده در ارتفاع آزاد شده و پره توربینی را می‌چرخاند. رویکرد دیگر فشرده‌سازی هوا و محدود کردن آن در مخازن بزرگ یا حفره‌های زیرزمینی را شامل می‌شود. این هوای فشرده در هنگام نیاز آزاد شده و باعث چرخش توربین و تولید انرژی می‌شود.

گونه‌های مختلفی از باتری‌های قابل شارژ نیز می‌توانند به عنوان شیوه‌هایی برای ذخیره انرژی به کار بیایند. باتری‌هایی که از سلول‌های الکتروشیمیایی ساخته شده‌اند و از واکنش‌های شیمیایی برای تولید برق بهره می‌برند. محبوبیت باتری‌های لیتیم-یون<sup>۲۷</sup> رو به افزایش است، چرا که نسبتاً سبک هستند و می‌توانند مقدار قابل توجهی از انرژی را در فضای کمی ذخیره کنند. کاربردهای این باتری را می‌توان از وسایل الکتریکی قابل حمل گرفته تا وسایل نقلیه الکتریکی مشاهده کرد. دانشمندان اعتقاد دارند که با بهبود طراحی و اجزای این باتری‌ها می‌توان چگالی انرژی آنها را به دو برابر افزایش داد.

فن‌آوری امیدبخش دیگر برای کاربرد در شبکه برق رسانی باتری جریان‌ی است. این باتری شامل مجموعه‌ای از مخازن است که دو نوع مایع مختلف و یک سلول الکتروشیمیایی مجزا در آنها نگهداری می‌شود. هنگامی که این مایعات به درون سلول پمپاژ می‌شوند، یون‌ها از طریق غشاء از سیال به سیال دیگر می‌روند در حالی که بخشی از الکترون‌ها در مدار خارجی حرکت می‌کنند. از آنجا که باتری‌ها جریان انرژی را در الکترولیت‌های مایع نگهداری می‌کنند، چگالی انرژی آنها به اندازه مخازن بستگی دارد. در حال حاضر چنین باتری‌هایی به تعداد انبوه به فروش نمی‌رسند، اما اگر بتوان آنها را از مواد ارزان‌تر و کمتر سمی ساخت، ممکن است بتوانند به طور گسترده در دسترس باشند و چندین ساعت انرژی برق را ذخیره کنند.

## رویای کالیفرنیا<sup>۲۸</sup>

ظرفیت موجود ذخیره انرژی در جهان در مقایسه با ظرفیت تولید انرژی ناپذیر است. اما طی دهه‌های پیش‌رو شرایط تغییر خواهد کرد. کالیفرنیا برای تحقق هدف تعیین شده برای سال ۲۰۳۰، یعنی تامین پنجاه درصد برق از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر، نیاز دارد که سه شرکت بزرگ ارائه‌دهنده انرژی در این ایالت تا سال ۲۰۲۰ معادل یک و سه دهم گیگاوات به ظرفیت ذخیره انرژی برای شبکه برق رسانی بیافزایند. شرکت ادیسون کالیفرنیا جنوبی<sup>۲۹</sup> (اس‌سی‌ای<sup>۳۰</sup>) همین حالا امکان ذخیره صدها مگاوات برق را فراهم آورده است. شرکت‌ای‌اس‌انرژی استوریج<sup>۳۱</sup> (ذخیره انرژی ای‌اس‌اس) که زیرمجموعه غول انرژی‌ای‌اس‌انرژی است در حال نصب یک باتری لیتیم-یون صدمگاواتی برای اتصال به شبکه برق‌رسانی است که می‌تواند انرژی سریع و انعطاف‌پذیر را تا چهار ساعت تامین کند. شرکت ادیسون کالیفرنیا جنوبی همچنین مشغول همکاری با شرکت انرژی استم<sup>۳۲</sup> است. شرکت استم که در دره سیلیکون واقع شده تلاش می‌کند تا با ترکیب نرم‌افزارهای هوشمند و ذخایر باتری لیتیم-یون از هزینه‌های برق واحدهای تجاری بکاهد و به شبکه برق‌رسانی خدمات بدهد. طبق قرارداد میان این دو شرکت قرار است طی دوره ده ساله ۸۵ مگاوات منبع ذخیره انرژی برای حدود هزار مصرف‌کننده نصب شود.

راوی مانگانی<sup>۳۳</sup> مدیر شرکت ذخیره انرژی جی تی ام ریسرچ<sup>۳۴</sup>، اعتقاد دارد که تا سال ۲۰۲۰، بیشتر ذخایر جدید انرژی توزیع شده و به کار گرفته شده «پشت کنتور»<sup>۳۵</sup> خواهند بود به این معنی که محل ذخیره انرژی درست در محل مصرف قرار دارد و نه در نیروگاه. کریتسین متزگر<sup>۳۶</sup>، کارشناس ذخیره

28. California dreamin'

عنوان ترانه مشهور آمریکایی که تاکنون توسط گروه‌های موسیقی مختلفی اجرا شده است. این ترانه به رویاپردازی در مورد گرمای کالیفرنیا در یک روز سرد زمستانی اشاره دارد.

29. Southern California Edison

30. SCE

31. AES Energy Storage

32. Stem

33. Ravi Manghani

34. GTM Research

35. Behind the meter

36. Christian Metzger

انرژی در یک شرکت بزرگ آلمان در زمینه تامین برق به نام آر دبلیو ای<sup>۳۷</sup> نیز پیش‌بینی مشابهی دارد. او انتظار دارد که در دهه‌های پیش‌رو مجموع ظرفیت ذخیره انرژی توزیع شده برای مصرف‌کنندگان برق در آلمان آن‌قدر خواهد بود که برای عرضه همه‌گونه خدمات شبکه برق‌رسانی کفایت کند و دیگر نیازی به ساخت پروژه‌های گران‌قیمت و عظیم ذخیره انرژی نباشد. به اعتقاد آقای متزگز، تازه پس از ۲۰۵۰، یعنی زمانی که ۸۰ درصد یا بیشتر برق آلمان از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر تولید شود، می‌توان انتظار داشت که ذخایر بلندمدت بیشتری لازم باشد.

در حال حاضر، انتخاب اصلی برای سامانه‌های جدید ذخیره انرژی در سطح جهان باتری‌های لیتیم-یون هستند که بنابر اعلام شرکت تحقیقاتی نوگانت<sup>۳۸</sup>، در سال ۲۰۱۵ بیش از ۸۵ درصد ظرفیت ذخیره انرژی موجود را به خود اختصاص می‌دادند. شرکت تسلا موتورز<sup>۳۹</sup>، سازنده خودروهای الکتریکی در کالیفرنیا، همراه با شرکت تامین‌کننده باتری‌هایش یعنی پاناسونیک<sup>۴۰</sup> در حالت ساخت یک کارخانه پنج میلیارد دلاری در نوادا است که «گیگافکتوری<sup>۴۱</sup>» نام گرفته است. این کارخانه نه تنها قرار است پاسخگوی تقاضای رو به رشد برای خودروهای شرکت باشد بلکه همچنین قرار است شیوه‌هایی را برای سامانه‌های ذخیره انرژی برای بخش مسکونی و تجاری به کار بگیرد که به ترتیب «پاوروال<sup>۴۲</sup>» (دیوار قدرت) و «پاورپک<sup>۴۳</sup>» (بسته قدرت) نام گرفته‌اند. دیگر تولیدکنندگان بزرگ باتری‌های لیتیم-یون نیز در حال توسعه محصولاتشان هستند.

به لطف مزایای اقتصادی تولید در مقیاس بالا، یکپارچه‌سازی عمودی و دیگر راهکارها برای افزایش کارایی باتری‌ها، می‌توان انتظار داشت که هزینه تولید باتری‌ها به میزان قابل توجهی کاهش یابد. بنابر گزارش بلومبرگ نیو انرژی فایننس، بهای بسته‌های باتری برای وسایل نقلیه برقی می‌تواند از ۳۵۰

37. RWE

38. Navigant

39. Tesla Motors

40. Panasonic

41. Gigafactory

42. Powerwall

43. Powerpack



دلار برای هر کیلووات ساعت فعلی تا سال ۲۰۳۰ به ۱۲۰ دلار برسد. در این صورت وسایل نقلیه برقی به نقطه‌ای می‌رسند که می‌توانند بدون دریافت یارانه با خودروهای عادی از نظر قیمت رقابت کنند. تا سال ۲۰۴۰، طبق همین گزارش، ۳۵ درصد کل خودروهای جدید در سطح جهان خودروهای برقی و یا خودروهای هیبریدی هستند که می‌توانند به منبع انرژی الکتریکی متصل شوند.

با افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش نیروگاهی، منبع انرژی برای شارژ کردن باتری خودروهای برقی بیش از پیش از منابع پاک تامین خواهد شد. علاوه بر این، مالکان خودروهای برقی قادر خواهند بود که باتری خودروهایشان را در اختیار شبکه برق رسانی قرار دهند تا از هزینه قبض برقشان بکاهند. شبکه برق رسانی نیز پاک‌تر و به هم متصل‌تر خواهد شد و توزیع جامع‌تری خواهد یافت. مشتری‌های بخش‌های مسکونی و تجاری نه تنها قادر خواهند بود که انرژی را در باتری‌ها ذخیره کنند بلکه می‌توانند مازاد انرژی خود را به دیگران بفروشند.

### وعده‌هایی که هنوز تحقق نیافته‌اند

هرچند فن‌آوری‌های مربوط به انرژی‌های تجدیدپذیر در فاصله زمانی میان امروز تا سال ۲۰۵۰ تاثیر قابل توجهی بر بازار انرژی خواهند داشت، اما دیگر فن‌آوری‌های مربوط به انرژی نیز به تکامل خود ادامه خواهند داد. انرژی هسته‌ای نیز همچون انرژی‌های تجدیدپذیر بدون انتشار گازهای مخرب برای آب و هوا برق تولید می‌کنند. شکاف هسته‌ای<sup>۴۴</sup> شامل شکافتن اتم‌های سنگین مانند اورانیوم و تولید انرژی از این فرآیند است. نخستین نیروگاه هسته‌ای در دهه ۱۹۵۰ شروع به کار کرد. اکنون حدود ۴۵۰ رآکتور هسته‌ای در جهان مشغول به کارند که حدود ۱۱ درصد برق جهان را تولید می‌کنند. طبق برآورد آژانس بین‌المللی انرژی، صرفه‌جویی در میزان انتشار کربن به خاطر استفاده از نیروگاه‌های هسته‌ای تاکنون معادل دو سال انتشار کربن با نرخ فعلی بوده است.

در سال ۲۰۱۱ یک زلزله و سونامی پس از آن به وقوع مجموعه‌ای از رویدادهای ناگوار در نیروگاه هسته‌ای فوکوشیما در ژاپن انجامید. هرچند که تشعشعات ایجاد شده ناشی از این واقعه به مرگ کسی منجر نشد اما به جابجایی بیش از ۱۵۰ هزار نفر انجامید. نگرانی افکار عمومی در مورد روی دادن وقایع مشابه و همچنین شیوه مدیریت پسماندهای هسته‌ای ساخت نیروگاه‌های بیشتر به خصوص در غرب را مشکل‌تر کرده است.

اکثریت حدود ۶۰ نیروگاه در حال ساخت در سطح جهان در کشورهایی مانند چین، هند و روسیه واقع شده‌اند، یعنی کشورهایی که موانع قانونی و در نتیجه هزینه ساخت نیروگاه‌های هسته‌ای کمتر است. حدود ۲۰۰ رآکتور هسته‌ای فعلی که بیشتر در آمریکا، اروپا، روسیه و ژاپن قرار دارند پا به سن گذاشته‌اند و احتمالاً طی دهه‌های آینده بازنشسته شوند. در نتیجه، آژانس بین‌المللی انرژی پیش‌بینی می‌کند که سهم انرژی هسته‌ای در بخش تولید برق تا سال ۲۰۴۰ در بهترین حالت به میزان اندکی رشد خواهد کرد.

نوع دیگری از نیروگاه هسته‌ای که با همجوشی<sup>۴۵</sup> اتم‌ها کار می‌کنند از این امکان برخوردارند که به شیوه‌ای به مراتب ایمن‌تر جریان تقریباً نامحدودی از برق را تولید کنند؛ آن هم بدون پسماندهای رادیواکتیو و یا خطری برای وقوع فاجعه‌ای هسته‌ای. طی فرآیند همجوشی هسته‌ای، که عامل ایجاد توان خورشیدی و دیگر ستاره‌ها است، اتم‌های سبک‌تر مانند هیدروژن تحت حرارت و فشار شدید به اتم‌های سنگین‌تری مانند هلیوم تبدیل می‌شوند و میزان هنگفتی از انرژی را آزاد می‌کنند. از دهه ۱۹۵۰، دولت‌ها در سطح جهان میلیاردها دلار را به این فن‌آوری اختصاص دادند، دانشمندان همان زمان پیش‌بینی کردند که رآکتورهای مربوط به این فن‌آوری که طی حدود دو دهه ساخته خواهد شد. اما تکرار همجوشی بر روی زمین چالش برانگیزتر از آن بود که به نظر می‌رسید و پیش‌بینی‌های اولیه به لطیفه تبدیل شده‌اند، چرا که به نظر می‌رسد به رغم گذشت زمان هدف همواره ۲۰ تا ۳۰ سال دورتر است.

در موردی تازه تر، پیشرفت راکتور گرما هسته‌ای آزمایشی بین‌المللی<sup>۴۶</sup> که پروژه‌ای بین‌المللی است و به ایترا<sup>۴۷</sup> مشهور شده که در زبان لاتین به معنی مسیر است. این پروژه بزرگ‌ترین و جاه‌طلبانه‌ترین پروژه همجوشی هسته‌ای تا امروز محسوب می‌شود که بارها با تاخیر مواجه شده است. مجموعه عظیمی که در فرانسه مشغول ساخت است در ابتدا قرار بود که این پروژه در سال ۲۰۱۶ به سرانجام برسد و اکنون از میلیاردها دلار بودجه در نظر گرفته شده فراتر رفته و چندین سال نیز از برنامه زمان‌بندی عقب است و اکنون برآورد می‌شود که بهره‌برداری از آن طی حدود یک دهه دیگر آغاز شود. با این وجود بسیاری از دانشمندان در حوزه فن‌آوری هسته‌ای به این پروژه به عنوان بهترین چشم‌انداز برای به‌دست آوردن جام مقدس<sup>۴۸</sup> همجوشی می‌نگرند: راکتوری که انرژی تولیدی آن از انرژی مصرفی اش بیشتر باشد. در این لحظه چنین هدفی بسیار دور از دسترس به نظر می‌رسد. رکورد جهانی سال ۱۹۹۷ برای توان همجوشی هنوز معادل ۱۶ مگاوات است که انرژی ورود آن ۲۴ مگاوات بود.

چندین شرکت خصوصی نیز برای حل این مشکل در تلاش هستند. چنین شرکت‌هایی اعتقاد دارند که می‌توانند ایده تولید انرژی به روش همجوشی هسته‌ای را زودتر و ارزان‌تر تحقق ببخشند. هر کدام هم راه حل متفاوتی برای این مشکل بنیادین دارند که چگونه می‌توان اجزای سوخت هسته‌ای (که به عنوان پلاسما هم شناخته می‌شوند) را در دمایی بسیار بالا برای تسهیل واکنش‌های همجوشی کنترل کرد. شرکت تری آلفا انرژی<sup>۴۹</sup> در کالیفرنیا صدها میلیون دلار سرمایه را جذب کرده است که در این میان نام پل آلن<sup>۵۰</sup>، یکی از بنیانگذاران مایکروسافت، نیز در میان سرمایه‌گذاران آن به چشم می‌خورد. راهکار این شرکت شامل پرتوهای ذره‌ای با انرژی بالا برای کمک به گرمایش و ثبات بخشیدن به پلاسما است. دیگر شرکت‌ها، مانند جنرال فیوژن<sup>۵۱</sup> در

46. International Thermonuclear Experimental Reactor

47. ITER

48. Holy Grail

49. Tri Alpha Energy

50. Paul Allen

51. General Fusion

کانادا و هلیون<sup>۵۲</sup> انرژی نزدیک سیاتل هم از سرمایه‌گذاران مشهوری مانند به ترتیب مدیر آمازون، جف‌بوز<sup>۵۳</sup>، و یکی از بنیانگذاران پی‌پال<sup>۵۴</sup>، پیت‌تیل<sup>۵۵</sup>، پول دریافت کرده‌اند. شرکت جنرال فیوژن از طراحی بر اساس پیستون برای فشرده‌سازی و گرمایش اجزاء سوخت بهره می‌برد و شرکت هلیون ترجیح داده که از میدان‌های مغناطیسی پالسی<sup>۵۶</sup> برای این کار بهره ببرد.

نقطه مشترک این شرکت‌ها باور به توانایی بهره‌برداری از انرژی همجوشی در فاصله زمانی ۵ تا ۱۰ سال است. اما برخی از متخصصان چندان تحت تاثیر چنین پیش‌بینی‌هایی قرار نمی‌گیرند. استیون کولی<sup>۵۷</sup>، مدیر مرکز بریتانیایی کلام سنتر<sup>۵۸</sup> برای انرژی همجوشی، می‌گوید که «چنین ادعاهایی اعتبار ما را زیر سوال می‌برد.» او برآورد می‌کند که رآکتورهای تجاری که انرژی همجوشی کار می‌کنند هنوز ۳۰ تا ۴۰ سال از ما فاصله دارند.

### نحوه‌های معدن کار

در همین حال تردیدی نیست که سوخت‌های فسیلی برای چندین دهه دیگر نیز با ما خواهند بود حتی اگر مصرف آنها در طول زمان کاهش یابد. در حالی که چنین سوخت‌هایی همچنان به کار گرفته می‌شوند، اقدامات بسیاری را می‌توان انجام داد تا سوخت‌های فسیلی پاکیزه‌تر شده و از آثار مخرب آنها بر سیاره زمین کاسته شود.

در حال حاضر، حدود یک سوم نیروگاه‌های زغال سنگی که در حال ساخت هستند و دو سوم نیروگاه‌های موجود از فن‌آوری‌های پایین‌تر از آستانه بحرانی بهره می‌برند که میزان کارایی آنها حدود ۳۵ درصد است در حالی که نیروگاه‌های مدرن می‌توانند به میزان کارایی ۴۵ درصد و بیشتر هم برسند. همه نیروگاه‌های زغال سنگ می‌توانند به فیلتر و دیگر تجهیزات کنترل و کاهش آلودگی مانند اسکرابر<sup>۵۹</sup> مجهز شوند اما بنابر داده‌های آژانس بین‌المللی انرژی چنین اقداماتی کمتر صورت می‌پذیرد.

52. Helion

53. Jeff Bezos

54. PayPal

55. Peter Thiel

56. Pulsed Magnetic Fields

57. Steven Cowley

58. Culham Centre

59. Scrubbers

شیوه کمتر متداول برای کاهش آلودگی، جداسازی و ذخیره کربن<sup>۶۰</sup> (سی سی اس<sup>۶۱</sup>) است که فرآیند حذف دی اکسید کربن از گاز خروجی نیروگاه و سپس یا دفن آن در زیر زمین و یا بازیافت آن برای مصرف در دیگر فرآیندها یا محصولات را در بر می‌گیرد. در حال حاضر تنها حدود پانزده کارخانه بزرگ مربوط به جداسازی و ذخیره کربن در سطح جهان در حال ساخت است در حالی که فرآیند ساخت هزار و پانصد نیروگاه زغال سنگی یا شروع شده و یا برای آغاز آن برنامه‌ریزی شده است. نخستین سامانه جداسازی و ذخیره کربن در مقیاسی تجاری برای یک نیروگاه در باندردی دام<sup>۶۲</sup> کانادا قرار داشت و هزینه ساخت آن بیش از یک میلیون دلار بود. این پروژه از زمان آغاز بهره‌برداری در سال ۲۰۱۴ تاکنون مشکلات فنی متعددی را تجربه کرده و حتی عملیات آن چندین بار متوقف شده و در نتیجه در تحقق هدفش یعنی جذب ۹۰ درصد دی اکسید کربن ناکام مانده است.

طرفداران سامانه جذب و ذخیره کربن می‌گویند که پروژه‌های جدید مربوط به جذب و ذخیره کربن به لطف درس‌های آموخته شده از تجربه باندردی دام، کم‌هزینه‌تر خواهند بود و بهتر کار خواهند کرد. با این حال هزینه‌های مربوط به چنین سامانه‌هایی همچنان زیاد خواهند بود و اشتیاق برای آنها رو به کاهش است: حدود ۴۰ پروژه مربوط به جذب و ذخیره کربن یا متوقف و یا به طور کامل لغو شده‌اند.

گاز طبیعی، در مقایسه با زغال سنگ، دی اکسید کربن کمتری منتشر می‌کند و سوخت آن آلودگی کمتری به همراه دارد. در آمریکا، شکست هیدرولیکی<sup>۶۳</sup> (که به عنوان فرکینگ<sup>۶۴</sup> هم شناخته می‌شود) سنگ‌های رسوبی دسترسی به ذخایر هنگفت گاز شیل در کشور (آمریکا) را ممکن ساخته و از مصرف زغال سنگ کاسته است. اما به اعتقاد سب هنبست<sup>۶۵</sup>، نویسنده ارشد در گزارش انرژی جدید سال ۲۰۱۶ منتشر شده توسط شرکت تحقیقاتی بلومبرگ نیو انرژی فایننس، این شیوه گذار از زغال سنگ به گاز شیل پدیده‌ای عمدتاً آمریکایی باقی خواهد ماند. به اعتقاد او در دیگر بخش‌های جهان گاز طبیعی عمدتاً یا از طریق کشتی و یا به وسیله لوله منتقل می‌شود

60. Carbon Capture and Storage

61. CCS

62. Boundary Dam

63. Hydraulic Fracturing

64. Fracking

65. SebHenbest

که به هزینه‌های آن می‌افزاید و میزان رشد آن طی دهه‌های پیش‌رو را محدود می‌سازد. کشورهای رو به توسعه احتمالاً ترجیح می‌دهند که از زغال سنگ و دیگر انرژی‌های تجدیدپذیری که بهای آنها رو به کاهش است برای تولید برق بهره ببرند. نگرانی افکار عمومی بابت زلزله‌های ناشی از شکست هیدرولیکی و همچنین پیامدهای مواد شیمیایی به کار گرفته شده در این فرآیند و همچنین آزادشدن گاز قوی گلخانه‌ای متان، توسعه اکتشافات مربوط به شیل در دیگر نقاط را محدود می‌سازد.

### زمانه در حال تغییر است<sup>۶۶</sup>

جمعیت زمین که امروز هفت و چهار دهم میلیارد نفر است تا سال ۲۰۵۰ به نه و هفت میلیارد نفر می‌رسد. تقاضای انرژی به خصوص در شهرهای اقتصادهای نوظهور رشد خواهد کرد. بنابر گزارش چشم اندازهای فن‌آوری انرژی سال ۲۰۱۶ که توسط آژانس بین‌المللی انرژی منتشر شده، در نقاط شهری کشورهای نوظهور تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۴۰ درصد به ساختمان‌های افزوده خواهد شد و تا نیمه قرن سفرهای داخل شهری به دو برابر میزان فعلی خواهد رسید. اما تقاضای بیشتر برای انرژی و سطح زندگی بالاتر ضرورتاً به معنی انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای نیستند. به اعتقاد آژانس بین‌المللی انرژی، ساختمان‌های جدید می‌توانند به سامانه‌های گرمایش، سرمایش و روشنایی و همچنین لوازم خانگی با کارایی بیشتری مجهز شوند. حمل و نقل عمومی و خودروهای برقی نیز می‌توانند از انتشار گاز دی‌اکسید کربن و آلودگی هوا بکاهند؛ به خصوص اگر منبع انرژی آنها منابع پاک باشد. نصف سلول‌های خورشیدی در پشت بام‌های شهری می‌تواند یک سوم نیاز برق این شهرها در سال ۲۰۵۰ را تامین کند.

دامنه و سرعت این تحول هنوز نامشخص است. برای مثال هند در طرحی بلندپروازانه قصد دارد امکان دسترسی به انرژی برق را برای ۲۴۰ میلیون نفر از شهروندان کشور فراهم کند که امروز از این امکان بی‌بهره‌اند. قرار است بخشی از این نیاز جدید توسط سامانه‌های مربوط به انرژی بادی و خورشیدی تامین شود، اما همچنین تولید زغال سنگ داخلی نیز بخشی از برنامه است. در همین حال چین مسیر متفاوتی را پی گرفته است. این کشور در دسامبر سال ۲۰۱۵ صدور مجوز برای معادن

66. The times they are a-changin'

نام آهنگی از باب دبلن، خواننده و ترانه‌سرای آمریکایی

زغال سنگ جدید را برای سه سال متوقف کرد. چین همچنین در سرمایه‌گذاری در فن‌آوری‌های بدون کربن شامل انرژی بادی، خورشیدی و هسته‌ای پیش‌تاز بوده است و میانگین زمان ساخت نیروگاه هسته‌ای را به تنها پنج سال و نیم رسانده است. طبق پیش‌بینی بلومبرگ نیو انرژی فایننس، انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط بخش انرژی چین تا سال ۲۰۴۰ به میزان ۵ درصد کاهش خواهد یافت در حالی که همین شاخص برای هندی‌ها سه برابر خواهد شد.

آژانس بین‌المللی انرژی برآورد می‌کند که طی دهه‌های پیش‌رو در جهان بیش از ۴۳۰ هزار میلیارد دلار در سامانه‌های مربوط به انرژی سرمایه‌گذاری خواهد شد. بنابر محاسبات آژانس، دوازده هزار میلیارد دلار سرمایه‌گذاری بیشتر در فن‌آوری‌های کم کربن تا سال ۲۰۵۰ تقریباً حدود ۳ درصد بیشتر می‌تواند گرم شدن زمین را در حدود ۲ درجه سانتیگراد نگه‌دارد و در همین زمان کیفیت هوا را نیز بهبود ببخشد.

فن‌آوری به شدت در حال تغییر دورنمای انرژی است و ما را به بازاندیشی درباره فرضیات متداول در مورد محدودیت منابع در آینده وا داشته است. چشم‌انداز انرژی به جای جهانی با قحطی انرژی به دورانی از کارایی و فراوانی انرژی تبدیل شده است و فراوانی انرژی ضرورتاً به معنی انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای و سیاره‌ای آلوده‌تر نیست؛ بلکه درست عکس آن، به مدد سرمایه‌گذاری کافی در فن‌آوری‌های هوشمند، بر خورداری از سیاره‌ای پاک‌تر قابل تحقق است.

# فصل دهم

# ساخت مواد جدید

پل مارکیلی<sup>۱</sup>

ترکیبی از مواد جدید و راهکارهای تازه هم شیوه تولید و هم مکان تولید را تغییر خواهد داد.

---

1. Paul Markillie



BMW مدل ۱۳ خودروی برقی بسیار جالبی است و همان‌طور که می‌توان انتظار داشت، فن‌آوری‌های نوین در آن به کار رفته است. با این حال، جالب توجه‌ترین نوآوری‌های این خودرو به موادی که در ساخت بدنه آن به کار رفته و همچنین شیوه ساخت آن مربوط می‌شود. مواد تشکیل دهنده بدنه این خودرو فیبر کربنی است که کامپوزیت (ماده مرکب) بسیار محکم اما سبک است. فرآیند ساخت BMW مدل ۱۳ از این ماده بیش از آنکه شبیه فلزکاری باشد به صنایع نساجی شباهت دارد. چنین تغییر بنیادینی در شیوه‌های تولید به تحول در کارخانه‌های تولیدکننده همه‌گونه کالا در سرتاسر جهان خواهد انجامید؛ اقتصاد سنتی بخش تولید را فتح خواهد کرد و جریان تجارت و زنجیره تامین شکل گرفته در جهان را تحت تاثیر قرار خواهد داد.

### خودرو بافی

شیوه شکل‌گیری خودروی ۱۳ در پیچه کوچک و سوسه‌انگیزی را به روی تحولات پیش روی شیوه‌های تولید در آینده می‌گشاید. داستان ساخت این خودرو به جای اینکه از ورقه‌های آهنی آغاز شود، در یک کارخانه ساخت الیاف کربنی در ژاپن شکل می‌گیرد که در آن الیاف مصنوعی پلی‌آکریل و نیتریل<sup>۱</sup> همچون یک نخ ماهی‌گیری بلند به دور قرقره پیچیده شده و به آمریکا فرستاده می‌شوند؛ جایی که به صورت رشته‌های کربنیزه شده‌ای با قطر ۷ میکرومتر (یک میلیونم متر) درمی‌آید. حدود پنجاه هزار از این رشته‌های تیره به وسیله ریسندگی به الیاف ضخیم‌تری تبدیل می‌شوند و دوباره به دور قرقره دیگری پیچیده می‌شوند. این قرقره‌ها به کارخانه‌ای در نزدیکی مونیخ<sup>۲</sup> در آلمان فرستاده می‌شوند و در آنجا الیاف بر روی دستگاهی بسیار بزرگ شبیه دستگاه بافندگی به صورت ورقه‌های شبیه به فرش در می‌آیند. هنگامی که ورقه‌ها به کارخانه بی‌ام و در شهر لایپزیگ<sup>۳</sup> آلمان می‌رسند، به اشکال مختلف بریده شده و لایه لایه روی یکدیگر قرار

1. Polyacrylonitrile

2. Munich

3. Leipzig

می‌گیرند. به این لایه‌ها در فرآیندی اتوماتیک همراه رزین تزریق شده و سپس به یکدیگر فشرده می‌شوند تا به شکل اجزای محکم اما سبک بدنه در بیایند. سپس این اجزا توسط ربات‌ها به یکدیگر چسبانده می‌شوند تا بدنه خودرو را شکل دهند.

خط تولید خودروی ۱۳ به هیچ کارخانه خودروسازی دیگری شباهت ندارد. برای شروع باید گفت که این کارخانه به طرز عجیبی ساکت است. صدای هولناک پرس اجزاء فلزی یا صدای جوشکاری شنیده نمی‌شود. همچنین کارگاه رنگ پرهزینه‌ای برای تمیزکاری و به کارگیری راهکارهای ضدزنگ برای بدنه فلزی وجود ندارد (فیبر کربن زنگ نمی‌زند). تفاوت‌های دیگر را می‌توان در حساب و کتاب‌های شرکت ملاحظه کرد: تولید خودروی ۱۳ در مقایسه با تولید خودرویی مشابه با مواد و شیوه‌های متداول تولید خودرو در مجموع ۵۰ درصد انرژی و ۷۰ درصد آب کمتری مصرف می‌کند.

کارخانه لایبزیگ نمونه‌ای پیشتاز از به کارگیری مواد جدید و بهبود یافته‌ای است که از آزمایشگاه‌های تحقیقاتی به فرآیند تولید راه یافته‌اند. این انقلاب در مواد از الیاف کربنی فراتر می‌رود. انواع بسیار دیگری از کامپوزیت‌ها (مواد مرکب)، آلیاژهای عجیب و غریب جدید، روکش‌های تخصصی، مواد هیبریدی نیمه پلاستیکی و نیمه فلزی، مواد ارگانیک که کارکردهای بیولوژیکی و مواد «هوشمند» که می‌توانند شکل خود را به یاد بیاورند، خود را تعمیر کنند و یا حتی خود را به صورت اجزایی دیگر سرهم کنند همگی در انقلاب مواد جای دارند. علاوه بر این‌ها، با دستکاری مواد در سطح مولکولی به طور فزاینده‌ای امکان تولید موادی دلخواه با ویژگی‌های تازه و تغییر شیوه کارکرد مواد، مثلاً در واکنش به نور، برق و حرارت، فراهم می‌آید. در همین زمان، مواد قدیمی نیز روز به روز بهتر می‌شوند.

امکان تولید و استفاده در مقیاسی تجاری عامل اساسی برای موفقیت مواد تازه یا بهبود یافته است. چنین فرآیندی ممکن است سال‌ها به طول بینجامد. برای مثال فیبرهای کربنی چندین دهه است که حضور دارند و در ساخت جنگنده‌ها، چوب ورزش گلف، دوچرخه‌های کوهستان و خودروهای

فرمول ۱ به کار می‌روند. جذابیت فیبرهای کربنی به این خاطر است که از فلز محکم‌تر اما حداقل ۵۰ درصد سبک‌تر است. استحکام ناشی از ساختار مولکولی ترکیبات مولکولی به پیوندهای شیمیایی بسیار محکمی بسیار شبیه آنچه در الماس‌ها دیده می‌شود ایجاد می‌کند. به‌وسیله قرار دادن ایاف با زوایای گوناگون، استحکام ترکیبات می‌تواند درست در جای مورد نیاز افزایش یابد و بدین وسیله می‌توان محصولات را تولید کرد که جایی از آنها مستحکم و جایی دیگر انعطاف پذیر باشد.

سپس، بر اساس تجربه، دریافتیم که فیبرهای کربنی می‌توانند به جای آلومینیوم در بخش تجاری صنایع هوایی به کار روند، چرا که هواپیماهای سبک هم مصرف سوخت کمتری دارند و هم گازهای گلخانه‌ای کمتری را منتشر می‌سازند. در حال حاضر فیبرهای کربن حدود نیمی از ساختار هواپیماهایی مانند بوئینگ 787 و ایرباس A380 را تشکیل می‌دهند. اما چنین تحولاتی کم‌هزینه هم نیستند به خصوص که فرآیندهای تولید مربوط به آنها گران، کند و کاربر هستند. برای تولیدات با حجم کم مانند دوچرخه‌های کوهستان بسیار خاص یا جنگنده‌ها، بالا بودن قیمت تمام شده اهمیت چندانی ندارد، اما صنعت خودروسازی صنعتی است که نیازمند تولید انبوه است.

## هنرهای تاریک

شرکت BMW به لطف یافتن شیوه‌هایی سریع‌تر و ارزان‌تر برای استفاده از فیبر کربن، به شرکتی پیش‌تاز در به کارگیری چنین ماده‌ای در تولید انبوه تبدیل شده است. برخی تحلیلگران پیش‌بینی می‌کنند که تا اواسط دهه ۲۰۲۰ فیبر کربن به ماده اصلی در بخش تولید تبدیل خواهد شد و در بسیاری از بخش‌ها جای موادی مانند آهن و آلومینیوم را خواهد گرفت. تا سال ۲۰۵۰، یعنی زمانی که بیشتر خودروها برقی خواهند بود و بسیاری از آنها نیازی به راننده ندارند، فیبرهای کربنی دامنه وسیع‌تر و بهتری از مقاومت در مقابل تصادف را برای این خودروها فراهم خواهند آورد.

بسیاری از مواد تازه دیگر نیز راه خود را به خودروسازی و دیگر بخش‌های تولید باز خواهند کرد. چندین روند به نیروی محرک این فرآیند تبدیل شده‌اند. نخستین روند، رشد شناخت از خواص مواد در کوچک‌ترین مقیاس است. دانش دانشمندان علوم مواد به لطف یک قرن پیشرفت‌های تعیین‌کننده در علوم فیزیک و شیمی، به طور پایداری رو به افزایش است. همچنین ابزارهای بهتری مانند میکروسکوپ‌های الکترونی، میکروسکوپ نیروی اتمی<sup>۴</sup>، طیف‌سنجی جرمی<sup>۵</sup> و ایکس‌ری سینکروترونی<sup>۶</sup>، پژوهشگران را قادر ساخته در اندازه‌گیری و کاوش مواد وارد جزییاتی شوند که هرگز سابقه نداشته است.

این جزئیات تا ابتدایی‌ترین بخش‌های تشکیل دهنده ماده پیش رفته است. هر ماده‌ای از اتم‌ها ساخته شده و رفتار هر اتم به عنصر شیمیایی‌ای بستگی دارد که اتم به آن تعلق دارد. هر عنصر خواص شیمیایی منحصر به فردی دارد که به ساختار ابرهای الکترونی تشکیل‌دهنده لایه‌های دیگر اتم مربوط می‌شود. شیوه جفت‌شدن اتم‌ها با یکدیگر یا نحوه به اشتراک گذاشته شدن الکترون‌های آنها به ساخت مولکول‌ها منجر می‌شود که کوچکترین بخش یک عنصر یا ترکیب شیمیایی است. توانایی مهندسی مواد در سطح مولکولی بسیاری از حدس‌ها در مورد شیوه کار مواد تازه را برطرف خواهد ساخت.

چنین پدیده‌ای تحولی بزرگ نسبت به گذشته محسوب می‌شود. زمانی که توماس ادیسون<sup>۷</sup> نخستین لامپ رشته‌ای برقی قابل قبول را در سال ۱۸۷۹ اختراع کرد مجبور بود به آزمون و خطا روی بیاورد و ۱۶۰۰ نوع ماده مختلف، از الیاف نارگیل گرفته تا ریش یکی از همکارانش، را بیازماید تا رشته مناسب برای روشن کردن لامپ را بیابد. امروز یک مخترع برای یافتن گزینه‌ای مشابه، مانند یک ماده نیمه رسانای جدید

4. Atomic-force microscopes

5. Mass spectrometers

6. X-ray synchrotrons

7. Thomas Edison

برای ساخت دیود نورافشان<sup>۸</sup> (ال ای دی<sup>۹</sup>) بهتر، می‌تواند از یک ابررایانه مجهز به رایانش ابری بهره‌برد. ال ای دی‌ها امروز در مقایسه با لامپ‌های رشته‌ای، ابزارهای بسیار کاراتری برای تبدیل برق به روشنایی هستند و در حال تصاحب جایگاه لامپ‌های روشنایی سنتی هستند. ال ای دی‌ها نیز اختراع علم مواد محسوب می‌شوند و جانشینان آنها دیگر تجهیزات روشنایی مشخص نخواهند بود بلکه پرده‌های روشنی خواهند بود که در سقف ساختمان‌ها قرار داده شده‌اند. تولیدکنندگان سقف ساختمان‌ها برای رقابت با شرکت‌های روشنایی تبدیل شده به تولیدکننده سقف، مجبورند به مهندسان روشنایی تبدیل شوند. بسیاری از صنایع دیگر نیز به طور مشابه با چنین تحولاتی در زمینه کسب و کار مواجه خواهند شد.

این فرآیند به کمک تلاش‌ها برای جمع‌آوری کلان‌داده‌ها سرعت خواهد گرفت. برای مثال پروژه مواد<sup>۱۰</sup> که بر اساس مجموعه‌ای از ابررایانه‌های لابراتوار ملی لارنس برکلی<sup>۱۱</sup> در کالیفرنیا و با هدف دسترسی آزاد به اطلاعات بنا نهاده شده، در حال گردآوری خواص حدود صد هزار ماده شناخته شده و ترکیب پیش‌بینی شده است تا به نوعی یک «ژنوم مواد» را شکل دهد. با کمک این پروژه، برای یافتن موادی با خواص مطلوب برای کاری خاص مانند رسانایی، استحکام، قابلیت ارتجاعی، توانایی جذب و دفع دیگر ترکیبات و مانند این‌ها، پژوهشگران به جای آزمون و خطا یعنی کاری که ادیسون انجام داد، می‌توانند خواص مورد نظرشان را تعریف کرده و فهرستی از مواد مناسب مربوط به این خواص را از رایانه دریافت کنند.

جستجوها برای مواد مناسب جایگزین سیلیکون برای ساخت تراشه‌های رایانه‌ای سریع‌تر و قدرتمندتر و باتری‌های بهتر همین حالا نیز در جریان است. یکی از این جانشین‌های احتمالی، گرافین<sup>۱۲</sup>، «ماده‌ای شگفت‌انگیز» با ضخامت تنها یک اتم است که در سال ۲۰۰۴ در دانشگاه

8. Light-emitting diode

9. LED

10. Materials Project

11. Lawrence Berkeley National Laboratory

12. Graphene

منچستر کشف شد. بسیاری از دیگر انواع نانومواد<sup>۱۳</sup> نیز اکنون در حال توسعه هستند. دلیل چنین علاقه‌ای به نانومواد به پدیده‌ای بی‌سابقه مربوط می‌شود که در هنگام سازمان دادن مواد در سطحی بسیار ریز روی می‌دهد. به لطف شیوه‌های پردازش نوین اکنون می‌توان بسیاری از مواد را به نانومواد تبدیل کرد و ویژگی‌هایی تازه به آنها افزود یا برخی از ویژگی‌های آنها را تقویت کرد که شامل خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و نوری می‌شود و به فیزیک و شیمی ذرات مربوط می‌شوند.

پیشرفت‌های تعیین کننده پیش‌رو نه تنها محصولات آینده، بلکه زندگی انسان‌ها را نیز متحول خواهند کرد. باتری‌های قابل شارژ این امکان را برای خودروهای برقی فراهم می‌آورند که مسیرهای طولانی‌تر را بیمایند و به ابزارهای دیگر از تلفن‌های همراه هوشمند تا ربات‌های خانه‌دار امکان می‌دهند که بیشتر کار کنند. همچنین با فراهم آوردن امکان ذخیره انرژی به‌دست آمده از منابع متناوب تجدیدپذیر، امکان تجدیدنظر در بخش انرژی از شبکه برق‌رسانی گرفته تا ساختمان‌ها و خانه‌هایی که از طریق انرژی خورشیدی و بادی برق تولید می‌کنند را مهیا می‌کنند. تا سال ۲۰۵۰، بسیاری از خانه‌ها و کسب و کارها از شبکه سراسری برق جدا شده و سطح تازه‌ای از استقلال را تجربه خواهند کرد.

همه مواد تازه انتظارات را برآورده نخواهند ساخت و بسیاری از آنها در فرآیند تولید انبوه برای استفاده تجاری کنار خواهند رفت. اما همان‌طور که فرآیند کشف مواد تازه به‌وسیله رایانه‌ها شدت خواهد گرفت، صنعتی سازی آنها نیز به این فرآیند کمک می‌کند. محصولات بیشتر و بیشتری کار خود را با نمونه‌های اولیه سه بعدی طراحی شده با کمک رایانه‌های پیچیده و سامانه‌های مهندسی آغاز خواهند کرد، آن هم بسیار پیش از آنکه هیچ نمونه فیزیکی واقعی‌ای ساخته شود. برای مثال طراحی بدنه، موتور، سیستم تعلیق و ایرودینامیک یک خودروی جدید می‌تواند توسط رایانه انجام شود. همچنین تست جاده خودرو می‌تواند به وسیله واقعیت

مجازی در شهرها و جاده‌های مختلف انجام شود. چنین سامانه‌های طراحی و مهندسی همچنین می‌توانند در سنجش ویژگی‌های مواد مانند تحمل وزن، فشار و ترمودینامیک به کار بیایند. بدین ترتیب کاوش در مورد اینکه مواد جدید چگونه می‌توانند برای بهبود یک محصول به کار گرفته شوند آسان‌تر خواهد شد. همین رایانه‌ها می‌توانند برای طراحی و شبیه‌سازی سامانه‌های تولید لازم برای تجسم بخشیدن به ایده‌های مجازی به کار بیایند.

### جهانی چاپ شده

اغلب آنچه واقعا روی می‌دهد تنها شامل بهبود شیوه‌های تولید فعلی نیست و ظهور شیوه‌های کاملا تازه را نیز در برمی‌گیرد. یکی از فرآیندهایی که توجه بسیاری را به خود جلب کرده، تولید افزایشی<sup>۱۴</sup> است که به چاپ سه بعدی<sup>۱۵</sup> شهرت یافته است. هرچند چاپ سه بعدی از دهه ۱۹۸۰ در اشکالی پایه‌ای حضور داشته است اما تنها طی سال‌های اخیر بوده که پیشرفت سخت‌افزاری و نرم‌افزاری به ظهور دامنه وسیعی از چاپگرهای سه بعدی انجامیده که بهای آنها از کمتر از هزار دلار برای جنبه سرگرمی شروع شده تا بیش از یک میلیون دلار برای کاربردهای تخصصی مهندسی افزایش می‌یابد.

این ماشین‌ها اکنون ده‌ها شیوه متفاوت را برای چاپ اشیائی با جنس‌های مختلف از پلاستیک و شیشه گرفته تا فلز و سرامیک و حتی مواد بیولوژیکی به کار می‌گیرند. با این وجود اصول مربوط به این فن‌آوری یکسان هستند: ساخت یک شی به صورت افزودن لایه به لایه ماده اولیه به جای شیوه‌های مرسوم تولید که در آن برای تولید یک شی، بخش‌های اضافی ماده اولیه توسط شیوه‌هایی مانند برش، مته کاری و ماشین کاری حذف می‌شوند. تولید به روش چاپ سه بعدی ضایعات کمتری دارد، چرا که چاپ‌گر ماده اولیه را به بخش‌های مورد

14. additive manufacturing

15. 3D printing

نیاز می‌افزاید. ماشین‌های مربوط به چاپ سه بعدی همچنین می‌توانند اشکالی پیچیده با هندسه‌ای که تولید آن توسط ابزار متداول تولید بسیار سخت یا غیرممکن است را بسازند حتی ساختارهایی مربوط به درون یک جسم جامد هم به روش چاپ سه بعدی قابل تولید است (چرا که در این شیوه تولید به صورت لایه لایه انجام می‌پذیرد).

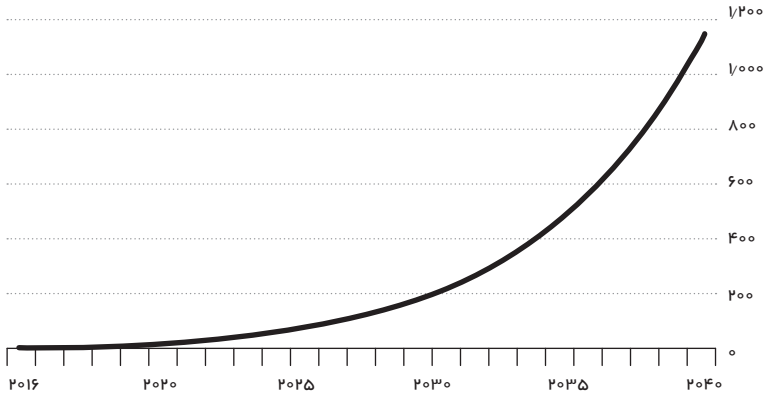
چاپ سه بعدی در ابتدا اصولاً برای ساخت سریع نمونه اولیه به کار می‌رفت که نیاز اصلی در آنها ساخت یک نمونه اولیه به شیوه ارزان و سریع است. تنظیم ماشین آلات متداول در کارخانه برای تولید تنها یک نمونه می‌تواند بسیار کند و پرهزینه باشد. اما چاپگرهای سه بعدی با نرم افزارها هدایت می‌شوند همان نرم افزارهایی که برای طراحی محصول به کار گرفته می‌شوند و در نتیجه تولید یک محصول و سپس تولید محصولی متفاوت به راحتی امکان‌پذیر است. میزان تولید محصولات نهایی به شیوه ساخت افزایشی اکنون به طور پایداری رو به افزایش است.

برخی افراد انتظار دارند که در آینده در هر خانه‌ای یک چاپگر سه بعدی حضور داشته باشد که محصولاتی را به وسیله طراحی‌های نرم‌افزاری دانلود شده از اینترنت تولید کند. چنین تصویری برای نیم قرن آینده بیشتر شبیه رویاپردازی است تا واقعیت، مگر برای افرادی که از روی سرگرمی از چاپگرهای سه بعدی بهره می‌برند یا افراد مشتاقی که خود را ملزم به استفاده از این چاپگرها می‌کنند. با این وجود، چاپ سه بعدی به بخشی تولید انبوه تبدیل خواهد شد. یک مشاور صنعتی به نام تری ولرز<sup>۱۶</sup>، پیش‌بینی می‌کند که ارزش بازار چاپ سه بعدی از شش و هفت دهم میلیارد دلار در سال ۲۰۱۶ به یک هزار و سیزده میلیارد دلار در سال ۲۰۴۰ برسد (بنگرید به نمودار ۱۰.۱).

برخی از تولیدکنندگان بزرگ همین حالا نیز در تولید افزایشی پیشتاز هستند. برای مثال در یک نمونه، جنرال الکتریک یک مجموعه پنجاه



نمودار ۱-۱۰ افزودن ارزش بازار چاپ سه بعدی، میلیارد دلار



منبع: Wohlers Associates, Inc

میلیون دلاری چاپ سه بعدی را در کارخانه شرکت در شهر آبرن<sup>۱۷</sup> در ایالت آلاباما<sup>۱۸</sup> مستقر کرده تا به وسیله آن برای موتور جدید لیپ<sup>۱۹</sup> مخصوص هواپیما نازل سوخت بسازد که از آلیاژی ویژه شامل کبالت، کروم و مولیبدنوم<sup>۲۰</sup> ساخته شده است. نازل سوخت که ترکیب پیچیده‌ای دارد و باید در دما و فشار بسیار بالا دوام بیاورد معمولاً از ترکیب حدود ۲۰ ترکیب دیگر ساخته می‌شود. شرکت جنرال الکتریک برای تولید نازل سوخت موتور لیپ از شیوه چاپ سه بعدی و تولید آن به صورت تک قطعه‌ای بهره می‌برد به صورتی که لایه‌های پشت سر یکدیگر این نازل به صورت پودر روی هم قرار داده شده و یک لیزر که توسط رایانه کنترل می‌شود به وسیله ذوب کردن پودرها آن را به شکل مطلوب در می‌آورد. نازل سوخت تولید شده به این روش ۲۵ درصد سبک‌تر و پنج برابر با دوام‌تر از نمونه‌های قبلی است. شرکت جنرال الکتریک انتظار دارد که تا سال ۲۰۲۰ میزان تولید این نازل‌ها را به صد هزار عدد در سال برساند.

شرکت ایرباس هم همچنین به ماده اختصاصی خود دست یافته است

17. Auburn  
 18. Alabama  
 19. LEAP  
 20. Molybdenum

که آن را اسکالمالوی<sup>۲۱</sup> می‌نامد. این ماده آلیاژی از آلومینیوم، منیزیم و اسکاندیم<sup>۲۲</sup> است. شرکت هواپیماساز اروپایی ایرباس اعتقاد دارد که ماده جدید اسکالمالوی به ویژه برای تولید اجزای فلزی سبک و بادوام در هواپیما به وسیله چاپ سه بعدی به کار می‌آید.

نخستین استفاده از چاپگر سه بعدی برای خط تولید انبوه در کشور چین به کار گرفته شده و البته موارد بیشتری در راه خواهند بود. لایت-آن<sup>۲۳</sup>، یک شرکت تولیدی در گوانگژوی<sup>۲۴</sup> چین که بر اساس سفارش کالا تولید می‌کند، با استفاده از چاپگرهای ساخت شرکت اپتومک<sup>۲۵</sup>، شرکتی در شهر البورک کی<sup>۲۶</sup> در ایالت نیومکزیکوی آمریکا، در کارخانه‌اش مدارهای الکترونیکی مانند آنتن و حس‌گر را به طور مستقیم در محصولاتمانند تلفن‌های همراه و دیگر محصولات الکترونیکی مصرفی چاپ می‌کند به جای اینکه این اجزاء را به طور جدا تولید کرده و سپس به وسیله نیروی انسانی یا ربات آنها را بر روی کالای نهایی مونتاژ کند.

دامنه محصولات قابل تولید توسط تولید افزایشی رو به رشد است. در یک سوی طیف از نظر اندازه، شرکت چینی وینسان<sup>۲۷</sup> قرار گرفته که به کمک چاپ سه بعدی خانه‌سازی می‌کند. این شرکت برای خارج ساختن مواد در فرآیند چاپ سه بعدی با استفاده از یک سری مخصوص، شبیه به ماسوره در تزئین کیک، برای تزریق ترکیبی از سیمان و نخاله‌های ساختمانی بازیافت شده که به سرعت خشک می‌شوند بهره می‌گیرد و بخش‌های بزرگ پیش ساخته یک ساختمان را تولید می‌کند تا سپس در محل به یکدیگر متصل شوند. رویکردی پیشرفته‌تر برای تولید ساختمان توسط شرکت آزمایشگاه ملی اوکریج در تنسی<sup>۲۸</sup> با همکاری شرکت‌های اسکیدمور<sup>۲۹</sup>،

21. Scalmalloy

22. Scandium

23. Lite-On

24. Guangzhou

25. Optomec

26. Albuquerque

27. Winsun

28. Tennessee

29. Skidmore

اوئینگز<sup>۳۰</sup> و شرکت معماری مریل<sup>۳۱</sup> به کار گرفته می‌شود. در این شیوه از موادی استفاده می‌شود که اجزائی مانند عایق هوا، عایق رطوبت و روکش بیرونی فلزی را در بر می‌گیرد. ایده اساسی در این روش توسعه فرآیندی برای ساختمان‌سازی افزایشی است که هیچ ضایعاتی به همراه نداشته باشد.

در سوی دیگر طیف مربوط به اندازه چاپ‌گرهای سه بعدی، شرکت اسکرونا<sup>۳۲</sup> حضور دارد که شرکتی است که از انستیتو تکنولوژی فدرال زوریخ<sup>۳۳</sup> در سوئیس برآمده و کوچکترین اجزاء را تولید می‌کند. این شرکت فرآیندی به نام نانودریپ<sup>۳۴</sup> (به معنی قطره چکانی نانویی) را به کار می‌گیرد که همان‌طور که از نامش پیداست با گذاشتن قطراتی بسیار کوچک از مایعی شامل اجزای نانو به اندازه صد نانومتر معادل یک میلیارد متر یا کمتر ساختارهایی میکروسکوپی را می‌سازد. این شیوه نانتوری‌های رسانای طلا و نقره را نیز شامل می‌شود که با چشم غیرمسلح قابل دیدن نیستند و می‌توانند واکنش صفحات لمسی به حرکات انگشت را بهبود ببخشند.

### چرخه مطلوب

نانتوتکنولوژی راه‌هایی برای ارتقای قابلیت‌های موادی فراهم می‌آورد که مدت‌هاست در تولید به کار می‌روند. ماجیومتال<sup>۳۵</sup>، شرکتی در سیاتل<sup>۳۶</sup> آمریکا، از نانومواد برای ساخت روکش‌هایی از فلزات مختلف بهره می‌برد تا آنچه نانولمینت<sup>۳۷</sup> می‌نامد را تولید کند؛ آن هم به‌وسیله گونه‌ای از قراردادن الکترولیتیک که فرآیند آن شبیه به آب‌کاری اما پیچیده‌تر است. در این فرآیند به‌وسیله دست‌کاری دقیق در میدان الکتریکی فلزات به صورت معلق در مایع در می‌آیند تا لایه‌های پوشاننده اشیاء را شکل دهد. در این

30. Owings

31. Merrill

32. Scrona

33. Swiss Federal Institute of Technology in Zurich

34. NanoDrip

35. Modumetal

36. Seattle

37. Nanolaminates

شیوه همچنین واکنش‌های متقابل مواد در یک نانولمینت نیز کنترل می‌شود. این شرکت روکش کردن تجهیزاتی که در صنعت نفت و گاز به کار می‌روند را آغاز کرده است و ادعا می‌کند که این پوشش ضد خوردگی و زنگ‌زدگی تا هشت برابر بیشتر از راهکارهای متداول دوام می‌آورد.

شرکت ماجیومتال باور دارد که در آینده نه تنها ساخت روکش‌ها بلکه ساخت تجهیزاتی کامل به‌وسیله نانولمینت‌ها شامل موادی مانند آهن، زینک و آلومینیوم امکان پذیر خواهد بود. علاوه بر این، فرآیند الکترولیتیک قابل برگشت‌پذیری است و در نتیجه هنگامی که تجهیزات ساخته شده توسط نانولمینت‌ها به پایان عمر خود می‌رسند، مواد به کار رفته در آنها را می‌توان بازیافت کرد.

با عجیب‌تر و نامتعارف شدن مواد، بازیافت به جزء ضروری در بخش ساخت و تولید تبدیل خواهد شد. راه‌های تازه و ارزانی برای از بین بردن محصولات، مانند محصولات الکترونیکی، و بازیافت مواد به کار رفته در آنها مورد نیاز خواهد بود. بازیافت خودروهای آهنی و هواپیماهای آلومینیومی نسبتاً سراسر است، اما افزایش استفاده از فیبر کربنی در صنعت حمل و نقل بر پیچیدگی‌های بازیافت محصولات این صنعت خواهد افزود. شرکت‌های فعال در زمینه بازیافت فیبر کربنی در برخی موارد آنها را به قطعات کوچکتر تقسیم کرده و برای استفاده در محصولاتی با ترکیباتی سطح پایین‌تر مانند صفحاتی که قرار نیست تحت فشار زیادی باشند استفاده می‌کنند. تعداد باتری‌های قابل شارژی که باید بازیافت شوند نیز افزایش خواهد یافت. بخشی از نانوذرات به سمی بودن شهرت دارند اما دانشمندان هنوز از اثرات بلندمدت رها ساختن آنها در طبیعت آگاهی کامل ندارند. نانوذرات در طبیعت رها می‌شوند و از آنجا به درون رودها و دریاها می‌ریزند. هر سال هزاران کیلوگرم دی‌اکسید نانو تیتانیوم که در لوسیون‌های ضد آفتاب استفاده می‌شود به شبکه فاضلاب وارد می‌شود.

تولیدکنندگان بیش از پیش برای آنچه چرخه عمر محصولات نامیده می‌شود مسئول خواهند بود؛ از استخراج عناصر به کار رفته در مواد گرفته تا جایی که مواد در نهایت از آن سر در می‌آورند. همچنین نگرانی‌های

تجاری نیز وجود خواهند داشت: برخی از عناصری که در تولیدات پیشرفته به کار می‌رود کمیاب و گران هستند. استخراج معادن شهری برای به‌دست آوردن موادی مانند طلا، نقره، نئودیمیم<sup>۳۸</sup>، ایتریم<sup>۳۹</sup> و دیسپروزیوم<sup>۴۰</sup> از گجت‌ها، خودروهای برقی، باتری‌ها و کالاهای خانگی بی‌مصرف شده به کسب و کار بزرگی تبدیل خواهد شد. رایانه‌ها در اینجا نیز به شرکت‌ها برای مدل سازی چرخه عمر محصول و شبیه سازی شیوه از بین برده و بازیافت محصولات کمک خواهند کرد.

همه این‌ها به تحول در شیوه متداول عملکرد بخش تولید در یک قرن اخیر خواهد انجامید. برای بیشتر این دوران ساختن محصولات اساساً نوعی بازی «من هم همینطور» بوده است که در آن کارخانه‌ها محصولات اساسی یکسان و شیوه‌های تولید و تجهیزات مشابهی را به کار می‌بردند که به راحتی قابل گرت‌برداری هستند. در نتیجه برای تولید انبوه چنین کالاهایی، مزایای اقتصادی تولید در مقیاس بالا و هزینه دستمزد اهمیت بسیاری دارند و به همین خاطر بسیاری از عملیات تولید به کشورهای کوچ کرده‌اند که هزینه کارگر در آنها پایین است. اما تا سال ۲۰۵۰ بخش قابل توجهی از فرآیندهای تولیدی که (از اقتصادهای ثروتمند) به خارج رفته‌اند بار دیگر باز خواهند گشت.

### بازگشت بخش تولید به خانه

روند شکل گرفته در خروج برخی از فرآیندهای تولید و مشاغل مربوط به آن از اقتصادهای توسعه یافته به اقتصادهای نوظهور به چند دلیل معکوس خواهد شد. نخست اینکه مواد جدید و فن‌آوری‌های تازه تولید به انعطاف پذیری بخش تولید می‌افزاید و باعث می‌شود که کالاها بتوانند به میزان بیشتری بر اساس سلیقه متفاوت مصرف‌کنندگان تطبیق یابند و تولید کالاها در مقیاس پایین نیز کارایی اقتصادی بیشتری بیابد. چنین تحولاتی باعث می‌شود که شرکت‌ها برای انتقال بخش تولید به نزدیکی

38. Neodymium

39. Yttrium

40. Dysprosium

بازارهای مصرفی انگیزه اقتصادی داشته باشند چرا که در این صورت محصولات می‌توانند به سرعت بیشتری به روندهای در حال تغییر در این بازارها واکنش نشان بدهند و با ویژگی‌های مصرف‌کنندگان تطبیق یابند.

هزینه دستمزد همچنان مهم خواهد بود اما از اثر آن کاسته خواهد شد چرا که در فرآیندهای تکراری و یکسان، اتوماسیون جای نیروی انسانی را خواهد گرفت. بسیاری از محصولات همچنان در خارج ساخته خواهند شد اما تولید آنها به مناطقی که در انجام امور تخصص یافته‌اند خواهد رفت، مثلاً محصولات الکترونیکی در جنوب چین تولید خواهد شد، و از نقش دستمزد پایین در تعیین محل تولید کاسته خواهد شد. چنین پدیده‌ای به خصوص در مورد کالاها و اجزای متداول مانند تراشه‌های رایانه‌ای یا قطعات الکتریکی روی خواهد داد. با این حال، کارخانه‌هایی که در آنها چنین اجزائی سرهم می‌شوند و محصول نهایی را شکل می‌دهند بیش از همیشه پراکنده خواهند بود و این توان را خواهند داشت که بر اساس تقاضای مشتری کالایی با ویژگی‌هایی خاص را تولید کنند.

شرکت‌ها بیش از پیش فرآیندهای تولید اختصاصی خواهند داشت که بر اساس نیازها و مواد آنها طراحی شده است. درست همان‌طور که شرکت BMW به راهکار مخصوص به خود برای تولید خودروهای برقی دست یافته و شرکت جنرال الکتریک نیز برای تولید نازل سوخت به مواد و شیوه‌های مخصوصی دست یافته است، دیگر شرکت‌ها نیز در همین مسیر حرکت خواهند کرد. برای مثال شرکت تولید محصولات ورزشی نایکی<sup>۴۱</sup>، نیز به بافندگی روی آورده و در فرآیندی که آنها فلاینیت<sup>۴۲</sup> می‌نامند، ماشین آلات بافندگی رایانه‌ای با استفاده از الیاف مخصوص به‌دست آمده از میکرو مهندسی به تولید کفش‌های ورزشی می‌پردازند، به جای اینکه بخش‌های مختلف کفش به‌وسیله دست به یکدیگر دوخته شوند؛ عملیاتی که بخش عمده آن در کارخانه‌های شرکت در آسیا انجام می‌شود. دستگاه‌های خودکار بافندگی شرکت نایکی می‌توانند در هر جایی حتی

41. Nike

42. Flyknit

فروشگاه‌های خیابان شلوغ در شهرها نصب شده و کار کنند و در نتیجه می‌توان کفش‌های ورزشی مخصوص هر مشتری را با اسکن پای او تولید کند. شرکت آدیداس<sup>۴۳</sup>، یکی از رقبای نایکی، بخشی از فرآیند تولید کفش‌های ورزشی را به کارخانه‌های به شدت اتوماتیک در نزدیک آنسباخ<sup>۴۴</sup> در آلمان بازگردانده است.

گرتبرداری از روی مواد و فرآیندهای تطبیق یافته با ویژگی‌های هر مشتری برای شرکت‌های رقیب به مراتب سخت‌تر خواهد بود و در نتیجه این حوزه به مزیتی رقابتی تبدیل خواهد شد. اغلب تنها این فن‌آوری نیست که به «سس مخصوص» هر شرکت تبدیل می‌شود بلکه فرآیندهایی به دقت توسعه یافته مربوط به این فن‌آوری و استعدادهای استخدام شده برای به کار گرفتن این فن‌آوری است که اهمیت دارد. این عامل تاثیرگذار دیگری در تعیین محل تولید را نشان می‌دهد: اینکه کجا می‌توان افرادی با مهارت‌های مورد نیاز، به خصوص در بخش طراحی، علم مواد، نرم‌افزار و مهندسی را یافت. چنین افرادی دارایی ارزشمندی محسوب خواهند شد و تقاضای زیادی برای آنها جهت کار در کارخانه‌ها به وجود خواهد آمد؟ روزگار کارخانه‌های تیره و تاریک، پارچه‌ها و لباس‌های کار روغنی به سر خواهد آمد. در آینده فرآیند تولید محصول بر دوش کارآفرینان بزرگ خواهد بود.

---

43. Adidas

44. Ansbach

# فصل یازدهم

## فن آوری نظامی:

## سحرآمیز و نامتقارن

بنجامین ساترلند<sup>۱</sup>

غرب از مزایای پیشرفت‌های عظیم در ساخت سلاح و فن آوری اطلاعات بهره خواهد برد اما دشمنان نیز به دنبال بهره‌بردن از آسیب‌پذیری‌های ناشی از این پیشرفت‌ها خواهند بود.

---

1. Benjamin Sutherland



فاصله‌ای که از آن یک تیرانداز غربی به طور معمول کسی را می‌کشد، طی تنها دو دهه دو برابر شده است. این را تام گیل<sup>۱</sup> می‌گوید که چندی پیش به عنوان یکی از تیراندازان ارتش اسرائیل فردی را از فاصله ۱۸۰۰ متری (۱۹۷۰ یارد) هدف قرار داد. تجهیزات نظامی آن‌قدر بهتر شده‌اند که امکان کشتن افراد از فواصل دورتر نیز دیگر نامتداول نیست. در سال ۲۰۰۹، یک تک تیرانداز بریتانیایی به نام کرگ هریسون<sup>۲</sup> دو جنگجوی مسلسل‌چی طالبان را از فاصله ۲۴۷۵ متری هدف قرار داد و رکورد تک تیراندازی در میدان نبرد را بهبود بخشید<sup>۳</sup>. این گلوله‌ها پیش از برخورد به هدف حدود شش ثانیه پرواز کرده‌اند.

پیشرفت‌های خیره‌کننده مشابه طی دهه‌های اخیر در دامنه وسیعی از فن‌آوری‌های نظامی روی داده‌اند و با این وجود بسیاری از آنها در مقابل آنچه احتمالاً طی دهه‌های پیش‌رو ظهور خواهند کرد ناچیز خواهند بود. بخش بیشتر این پیشرفت که به لطف برتری در تحقیق و توسعه نظامی و البته نه صرفاً به خاطر آن تحقق یافته‌اند بیشتر به غرب منفعت می‌رسانند. اما پیشرفت‌ها به تهدیدی برای نیروی نظامی آمریکا و متحدانش تبدیل خواهند شد. چرا که به آسیب‌پذیری غرب توسط نیروهای رقیب مانند ایران یا رقاباتی با توانایی نظامی نزدیک‌تر مانند چین و روسیه می‌افزایند.

چنین پدیده‌ای غرب را با چالش‌های بزرگی مواجه می‌سازد. در سال ۲۰۱۴ وزیر دفاع وقت آمریکا، چاک هیگل<sup>۴</sup>، هشدار داد که «ما در حال ورود به دورانی هستیم که در آن دیگر نمی‌توان برتری آمریکا در دریاها، آسمان‌ها و فضا را امری مسجّل فرض کرد.» البته فضای سایبر را هم باید به این فهرست افزود، این را گنث گیرز<sup>۵</sup> می‌گوید، مشاور ناتو<sup>۶</sup> که «پیشرفت حیرت‌آور» توانایی‌های سایبری گروه‌های دولتی و غیردولتی در روسیه و

1. Tom Gil

2. Craig Harrison

۳. این رکورد در ماه ژوئن سال ۲۰۱۷ توسط یک تک تیرانداز کانادایی به ۳۵۴۰ متر ارتقا یافت. این سرباز کانادایی یک تروریست عضو گروه داعش را هدف قرار داده بود.

4. Chuck Hagel

5. Kenneth Geers

6. NATO

اوکراین را از محل زندگی یعنی کیف پایتخت اوکراین رصد می‌کند. جهان آزاد<sup>۷</sup> دو بار بر تهدیدات استراتژیک نسبت به تسلط نظامی‌اش غلبه کرده است. پس از اینکه اتحاد جماهیر شوروی و چین به ترتیب در سال‌های ۱۹۴۹ و ۱۹۶۴ برای نخستین بار سلاح هسته‌ای آزمایش کردند، آمریکا و متحدانش با اروپای غربی با بهره‌گیری از قدرت بازار آزاد در مهندسی و توان صنعتی به برتری مورد نیاز در موارد نظامی متعارف دست یافتند. زمانی که در اواخر دهه ۱۹۶۰ روسیه در تجهیزات نظامی به قدرت آمریکا نزدیک شد، دومین دستاورد غرب در پیش افتادن یعنی توان پردازش رایانه‌ای در راه بود. این توان به ماهواره‌های جاسوسی بهتر و بمب‌ها و موشک‌ها هدایت شونده منجر شد که تاثیر ویران‌گر خود را در جنگ نخست خلیج فارس در سال ۱۹۹۱ نشان داد. اما در حالی که فن‌آوری پردازش رایانه‌ای و ماهواره‌ای در سطح جهان رو به گسترش است، برتری آمریکا بار دیگر آسیب پذیر به نظر می‌رسد. بنابراین نیاز به راهکار سومی مبتنی بر پیش روی فن‌آوری در غرب احساس می‌شود، هر چند که موفقیت آن به هیچ وجه تضمین شده نیست.

## تخریب خلاق

تیراندازی تا اواسط قرن حاضر گام‌های بلندی برخواهد داشت: ارتش‌های پیشرو احتمالاً گلوله‌های هدایت شونده شلیک خواهد کرد. وزارت دفاع ایالات متحده همین حالا نیز کار بر روی گلوله‌ای بالدار با نام اگزکتو<sup>۸</sup> را آغاز کرده که می‌تواند در هوا مسیرش را تنظیم کند. در این صورت تیراندازان می‌توانند گلوله‌هایی شلیک کنند که برای رسیدن به هدف موانع را دور می‌زنند و دیگر نیازی به این نیست که هدف به وسیله خطی مستقیم در تیررس تیرانداز باشد. برای اینکه گلوله بدانند دقیقاً به کجا باید اصابت کند، لیزر مادون قرمزی برای نشانه‌گذاری هدف مورد نیاز خواهد بود. اما کل سامانه مربوط به این شلیک بر روی پهپادهایی نصب خواهد

۷. نویسنده از غرب به عنوان جهان آزاد نام می‌برد.

شد که در ارتفاع بسیار زیاد پرواز می‌کنند و قابل مشاهده نیستند. گلوله‌های هدایت شونده برای جنگجویانی که از آنها بهره نمی‌برند مصیبت بزرگی خواهد بود. این فن‌آوری به میزان قابل توجهی به حداکثر فاصله ممکن برای شلیک تیر می‌افزاید. چرا که گلوله زمان بیشتری برای اصلاح هدف‌گیری نادرست و همچنین مواجه شدن با بادهای غیرمنتظره خواهد داشت. رایان اینیس<sup>۹</sup>، تک‌تیرانداز سابق نیروی دریایی آمریکا در واحد مبارزه با دزدان دریایی در شرق آفریقا، می‌گوید: «تصور کنید که روحیه دشمن چقدر صدمه خواهید دید هنگامی که نیروهای آنها به‌وسیله یک تیرانداز نامرئی یکی یکی از دست بروند، در حالی که دشمن حتی اگر بتواند منشاء تیراندازی را تشخیص بدهد توان آتش متقابل را نخواهد داشت.»

نقش شلیک تک‌تیر و در نتیجه گلوله‌های هدایت‌شونده طی دهه‌های پیش‌رو گسترش خواهد یافت. افزایش توانایی‌های پهپادها، پایش هوایی و ماهواره‌ها برای جاسوسی و شلیک و هدایت موشک‌ها کار را برای گروه‌های نامتعارف جهت مخفی شدن در مناطق کوهستانی سخت‌تر خواهد کرد. در نتیجه گروه‌های چریکی بیشتری به شهرها خواهند آمد. گروه‌های چریکی می‌توانند امیدوار باشند که در شهرها به خاطر اجتناب از تلفات غیرنظامی از نوعی پوشش در مقابل نیروهای غربی برخوردار باشند به خصوص که عصر دیجیتال استفاده از تصاویر تلفات غیرنظامیان برای پروپاگاندا را تسهیل کرده است. تک‌تیراندازی اثرات مخرب جانبی کمتر از توپخانه، بمباران و حملات هوایی دارد و در نتیجه نیروهای غربی بیشتر از آن استفاده خواهند کرد.

هرچه به سال ۲۰۵۰ نزدیک‌تر شویم، کشتن پیاده نظام ارتش‌های پیشرفته نیز سخت‌تر خواهد شد. کلاه خودها و جلیقه‌های ضدگلوله امروزی تنها ۱۹ درصد بدن را می‌پوشانند و استفاده از زره‌پوش بیشتر نیز سنگین‌تر از آن است که در عمل ممکن باشد. اما با سبک شدن ادوات نظامی در سال‌های پیش‌رو، سربازهای ویژه در ارتش‌های مجهز زره‌پوش

9. Ryan Innis

بیشتری به تن خواهند کرد. تلاش‌هایی برای ساخت پوشش گلوله با پلیمر به جای برنج در حال انجام است که در این صورت وزن مهمات سربازان تا یک سوم کاهش می‌یابد. علاوه بر این، ادوات جنگی نیز سبک‌تر خواهند شد. مهندسان در شرکت ماروتکس<sup>۱۰</sup>، موسسه‌ای تحقیقاتی در ووج<sup>۱۱</sup> لهستان، در حال تحقیق بر روی «مایعی غیرنیوتونی» هستند که هنگام برخورد گلوله به شدت چسبناک می‌شود. مایعاتی که در صورت تحت فشار قرار گرفتن همچون جامدات عمل می‌کنند به مراتب سبک‌تر و انعطاف‌پذیرتر از صفحات سرامیکی و کولار است که امروز برای حفاظت از سربازان به کار می‌روند.

برخی از سربازان ویژه ارتش‌های غربی به طول کامل در پوششی قدرتمند و ضدگلوله قرار خواهند گرفت. پوششی مانند آنچه «مرد آهنی<sup>۱۲</sup>» بر تن می‌کند و تالوس<sup>۱۳</sup> نامیده می‌شود اکنون در ستاد فرماندهی عملیات ویژه ایالات متحده آمریکا<sup>۱۴</sup> در حال سپری کردن آزمون‌های اولیه است و نه تنها جنگ‌افزار سرباز را مهیا می‌کند، بلکه وضعیت او را نیز می‌پاید و به سرباز قدرتی فرا انسانی می‌بخشد. با جایگزین شدن نیروهای انسانی با ربات‌ها در نیروهای نظامی حاضر در آسمان، زمین و دریا، بی تردید کسانی که به دنبال کشتن سربازهای غربی هستند با مشکل مواجه خواهد شد.

ربات‌های نظامی همین حالا نیز آن قدر پیشرفت کرده‌اند که دو شرکت دفاعی بوئینگ و نورثروپ، مشغول ساخت جت‌های جنگنده بدون سرنشین هستند که به ترتیب اکس ۴۵<sup>۱۵</sup> و اکس ۴۷<sup>۱۶</sup> نام دارند. این پهپادها از آنجا که نیاز به خدمه پرواز ندارند، توان حمل ادوات نظامی و همچنین انعطاف پروازی مانند پرواز مخفیانه بیشتری دارند. در سال ۲۰۱۵، فرمانده وقت

10. Moratex

11. Lodz

12. Iron Man

شخصیتی داستانی که در کتاب‌های کمیک و فیلم‌های سینمایی آمریکایی حضور دارد.

13. TALOS

شخصیتی روبین تر در اساطیر یونان

14. US Special Operations Command

15. X45-

16. X47-

نیروی دریایی آمریکا، ری مابوس<sup>۱۷</sup>، اعلام کرد که جنگنده لاکهید مارتین اف-۳۵<sup>۱۸</sup> آخرین جت جنگنده با خلبانی خواهد بود که خریداری خواهد شد. تا سال ۲۰۵۰، پهپادها دامنه وسیعی از پرنده‌هایی شبیه به حشرات برای پروازهای جاسوسی مخفیانه گرفته تا دستگاه‌هایی شبیه به سگ برای تامین تجهیزات و حملات نظامی را در بر خواهند گرفت که می‌توانند برای ماه‌ها در بالاتر از زمین دوام بیاورند و مثلاً از برگ و چوب برای تامین انرژی بهره ببرند.

به اعتقاد آقای مابوس، سامانه‌های بدون سرنشین و به طور خاص خودمختار به امری متداول تبدیل خواهد شد. اما اینکه پهپادها تا چه حد باید مستقل شوند جای بحث دارد. فرماندهان دفاعی می‌گویند که فرمان شلیک باید توسط یک انسان و نه ربات صادر شود. اما همین حالا نیز استثنائاتی را برای این ادعا می‌توان یافت مانند ربات‌هایی که از ناوهای جنگی در مقابل موشک‌های با سرعت بسیار بالا دفاع می‌کنند. سرعت موشک‌ها بیشتر از آن است که ملوانان بتوانند به موقع واکنش نشان بدهند. کارشناسان فن‌آوری، در فرآیندی که نیاز به آن ضروری به نظر می‌رسد، مشغول طراحی نرم‌افزارهایی هستند که ساختار پایه تصمیم‌گیری برای پهپادها را شکل بدهد.

پنتاگون مشغول سرمایه‌گذاری بر روی نرم‌افزارهای مربوط به مقوله اخلاق است. این برنامه‌ها با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از پایگاه‌های داده‌ها، تصمیم می‌گیرند که آیا شلیک موشک از موقعیتی خاص، مثلاً به خاطر اینکه ترکش‌های آن به حیاط یک مدرسه برسند، نقض هنجارهای جنگی متعارف محسوب می‌شود یا خیر؟

هدف این نرم‌افزارها کمک به بشر، و نه گرفتن جای او، در فرآیند تصمیم‌گیری است. اما برخی معتقدند که چین و روسیه در طراحی چنین نرم‌افزارهایی به حذف انسان در فرآیند فرمان آتش چشم دارند. به اعتقاد امانوئل گوفی<sup>۱۹</sup>، کارشناس نیروهای هوایی فرانسه در نبردهای رباتیک،

17. Ray Mabus

18. Lockheed Martin's F35-

19. Emmanuel Goffi

مسئولیت مرگ در این صورت «بسیار، بسیار، بسیار کم‌رنگ خواهد شد». به اعتقاد او مشکل اینجاست که شما نمی‌توانید یک ربات را به جنایات جنگی متهم کنید.

رباتیک شدن نبردهای آینده مسایل و مشکلات دیگری نیز به همراه خواهد داشت. در حالی که ربات‌ها جایگزین سربازها می‌شوند، برخی از گروه‌های مسلح که از عدم دسترسی سربازهای انسانی دشمن به تنگ آمده‌اند ممکن است که طور فزاینده‌ای شهروندان را هدف قرار بدهند و توانایی رو به رشد ربات‌ها ممکن است کشورها را به سوی راه انداختن جنگ‌هایی نابخردانه تشویق کند. چرا که سیاستمداران برای حملاتی که شامل پیاده کردن سرباز در خاک دشمن نمی‌شود با خطر سیاسی کمتری مواجه هستند.

موضوع دیگر این است که غرب تا کجا خواهد توانست که برتری در زمینه ربات‌های نظامی را حفظ کند. رقبا در حال پیشرفت هستند. در سال ۲۰۱۵، معاون نخست وزیر روسیه، دیمیتری روگوزین<sup>۲۰</sup>، اعلام کرد که یک شرکت تسلیحات به نام اوراک واگن زاوود<sup>۲۱</sup>، تانک‌های T90 را به ربات‌هایی تبدیل خواهد کرد که توسط سربازهای از راه دور و مانند بازی‌های رایانه‌ای هدایت خواهند شد. او پیش‌تر نوشته بود که در آینده ارتشی روسی متشکل از عینکی‌های شیفته بازی‌های رایانه‌ای ارتشی متشکل از جنگجویانی ورزیده اما با تکنولوژی پایین‌تر را نابود خواهند کرد.

### مهندسی آتش و گوگرد به بهترین شکل

فن‌آوری‌های رباتیکی که بیش از همه استراتژیست‌های غربی را نگران می‌کند، آن دسته از فن‌آوری‌هایی است که موشک‌های ویرانگر بزرگ یا کوچک بسیار دقیق را، چه به وسیله تولید داخلی و چه واردات، در اختیار رقبا قرار می‌دهد.

همان‌طور که دفتر اطلاعات شورای دولتی چین در گزارش استراتژی در

20. Dmitry Rogozin  
21. UralVagonZavod

سال ۲۰۱۵ نوشت، شتاب گرفتن تکامل فن‌آوری اطلاعات در صنایع نظامی می‌تواند به موشک‌هایی دقیق، هوشمند و غیرقابل ردیابی منجر شود که می‌توانند اهداف را در فواصل دور به‌خصوص در دریا هدف قرار دهند.

طی دهه‌های پیش‌رو برای نخستین بار گروه‌های غیردولتی نیز در میان دارندگان چنین مهماتی قرار خواهند گرفت. آن‌هایی که از امکانات ماهواره‌ای برای پایش دشمن و انتخاب هدف برخوردار نیستند، می‌توانند اطلاعات مورد نیاز را به سادگی از طریق دیگری خریداری کنند. شرکتی در نزدیکی تل‌آویو به نام ایمیج ست اینترنشنال<sup>۲۲</sup> خدمات ماهواره‌ای را به عنوان نوعی خدمات اطلاعاتی ارائه می‌دهد.

تا اواسط قرن حاضر، انحصار شکننده غرب در جنگ افزارهای دقیق به تاریخ خواهد پیوست. آیا قدرت‌های غربی می‌توانند راهی برای جبران چنین تحولی و در نتیجه حفاظت از تانک‌ها، هواپیماها و ناوهای جنگی خود بیابند؟

«زره‌پوش الکتریکی» شاید به کار بیاید. آزمایشگاه علوم و فن‌آوری دفاعی<sup>۲۳</sup> در وزارت دفاع بریتانیا امیدوار است که دمیدن الکتریسیته از یک باتری به زره‌پوش درست پیش از برخورد کلاهک موشک به میزان قابل توجهی از خسارات وارده ناشی از حمله موشکی بکاهد. کار بر روی سامانه‌های جذاب اما گران مربوط به ردیابی و انهدام موشک‌های وارده نیز ادامه خواهد یافت. با این حال، گسترش موشک‌هایی که به‌طور نگران‌کننده‌ای دقیق و ویران‌گر هستند، به‌طور خاص برای گروه‌هایی که اکنون در سطح تکنولوژی پایین‌تری قرار دارند نیز امیدبخش است.

خطر اساسی متوجه نیروی دریایی آمریکا و جهان لیبرال است که باید برتری نظامی خود را حفظ کنند. چین و روسیه موشک‌های بهتری را طراحی و تولید خواهند کرد. به ویژه توانایی‌های موشکی ایران نیز می‌تواند پیشرفت‌های بزرگی را تجربه کنند. قدرت‌های غربی، تحت فشار روسیه، به‌عنوان بخشی از توافق هسته‌ای سال ۲۰۱۵ پذیرفتند که تحریم

22. ImageSat International

23. Defence Science and Technology Laboratory

واردات و صادرات فن‌آوری‌های متداول نظامی و موشک‌های بالستیک به ترتیب در سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۳۰ برداشته شوند.

دو موشک هدایت‌شونده امروز می‌توانند نشانه‌ای از توانایی‌های موشکی آینده باشند. موشک روسی کالیبر<sup>۲۴</sup>، که ناتو آن را سیزلر<sup>۲۵</sup> می‌نامد، برای صدها کیلومتر به شیوه‌های رادارگریز حرکت می‌کند، از کنار موانع عبور می‌کند، در مقابل آتش متقابل جاخلی می‌دهد و پیش از انفجار ۴۵۰ کیلوگرم ماده منفجره با سرعت سه برابر سرعت صوت به بدنه کشتی برخورد می‌کند. نسخه‌هایی صادراتی این موشک تاکنون به الجزایر، چین، هند، ویتنام ارسال شده‌اند.

موشک‌انداز چهار موشکه کالیبر که در پوشش محموله معمولی حمل و نقل ارسال می‌شود را می‌توان بر روی کشتی‌های تجاری، قطار و یا کامیون نصب کرد. موشک بالستیک DF21D توسط چین و برای حمله به ناوهای هواپیمابر ساخته شده و نخستین بار در رژه‌ای در سال ۲۰۱۵ نمایش داده شد، می‌تواند کلاهکی با مواد منفجره کافی جهت نابودی یک ناو جنگی بزرگ را تا فاصله ۱۵۰۰ کیلومتری حمل کند.

جری هندریکس<sup>۲۶</sup>، رییس سابق گروه مشاوران فرمانده نیروی دریایی آمریکا، اعتقاد دارد که چنین موشک‌هایی باعث شده‌اند که آمریکا به طور دیوانه‌واری برای سامانه‌های دفاعی ناوهای جنگی هزینه کند. دیوید دی‌یانگ<sup>۲۷</sup>، مدیر بخش سلاح لیزری در شرکت بوئینگ، اعتقاد دارد که تا میانه قرن حاضر، سلاح لیزری موشک‌ها را در فاصله کیلومتری منهدم خواهند کرد. او اشاره می‌کند که سلاح لیزری فروخته شده توسط شرکت بوئینگ به ارتش آمریکا دامنه بسیار کمتری دارد. همچنین به اعتقاد آقای دی‌یانگ، نگرانی بابت موشک‌هایی همچون موشک بالستیک DF21D باعث شده که انرژی بخش تحقیق و توسعه نظامی در آمریکا بر روی سلاح لیزری معطوف شود. موشک‌ها همچنین می‌توانند توسط گلوله‌هایی که توسط

24. Kalibr

25. Sizzler

26. Jerry Hendrix

27. David DeYoung



مسلول‌های الکتریکی پرمصرف با سرعت پنج برابر سرعت صوت شلیک می‌شوند سرنگون شوند.

اما آقای هندریکس، که در میان مسئولیت‌هایش، پیش‌بینی توانایی‌های نظامی نیز جای دارد، معتقد است که در مورد اثربخش بودن چنین اقدامات متقابلی نمی‌توان چندان مطمئن بود. موشک‌های هوشمندتر و با برد بیشتر آینده باعث خواهند شد که بخش بیشتر اقیانوس‌ها به سرزمین هیچکس تبدیل شود. بنابراین، به اعتقاد او، آمریکا باید ساخت ناوهای هواپیمابر سیزده میلیارد دلاری را متوقف کند، چرا که این ناوها توسط موشک‌هایی تهدید خواهند شد که برد آنها بیشتر از توان پرواز جنگنده‌های روی ناو است.

پرمویر داس<sup>۲۸</sup>، فرمانده سابق فرماندهی نیروی دریایی شرق هندی، اعتقاد دارد که عملیات دریایی به طور کامل تغییر خواهد کرد. به اعتقاد او زیردریایی‌ها و به طور خاص زیردریایی‌های هسته‌ای، اهمیت بیشتری خواهند یافت. افزایش آسیب‌پذیری شناورها باعث خواهد شد که فعالیت‌های نیروی دریایی به زیر آب برود. زیردریایی‌ها با افزایش توانایی رادارگریزی نقش بیشتری در فعالیت‌های نظامی دریایی خواهند یافت و همچنین پهپادهای جاسوسی و جنگی که توان فعالیت زیر آب، روی زمین و روی هوا را دارند هم نقش پررنگ‌تری خواهند یافت.

با این حال به اعتقاد آندرو کرپینویچ<sup>۲۹</sup>، مشاور سابق سه وزیر دفاع در آمریکا و رییس فعلی اندیشکده مرکز برآوردهای استراتژیک و بودجه‌ای<sup>۳۰</sup> در واشینگتن، بهترین زیردریایی‌ها هم نمی‌توانند از نمونه‌های فعلی صدای کمتری تولید کنند. در نتیجه با بهبود حس‌گرها، شناسایی و غرق کردن زیردریایی‌ها آسان‌تر خواهد شد. در نتیجه، به اعتقاد او، مزیت مربوط به شلیک نخست افزایش خواهد یافت. چنین پدیده‌ای مشکل‌ساز است. با افزایش تنش‌ها، قدرت‌های با فن‌آوری‌های پایین‌تر انگیزه بیشتری برای شلیک از دریا یا موشک خواهند داشت و در نتیجه امکان وقوع درگیری‌هایی

28. Premvir Das

29. Andrew Krepinevich

30. The Centre for Strategic and Budgetary Assessments

که قابل اجتناب بودند افزایش خواهد یافت.

غرب برای گسترش دامنه تحت نفوذ جهان لیبرال باید راهی برای جبران افزایش دقت مهمات نیروهای استبدادی و افراطی‌ای بیابد که غرب را به چالش می‌کشند. به اعتقاد آقای کرپینویچ که اکنون به عنوان یکی از اعضای هیات سیاست دفاعی پنتاگون<sup>۳۱</sup> است، هوش مصنوعی امید اصلی برای این سومین جبران است (نویسنده در ابتدای فصل شرح داد که غرب تاکنون دو بار توانسته راهکارهایی را برای مقابله با هم‌تراز شدن قدرت نظامی غرب و شرق بیابد). هوش مصنوعی در کنار ربات‌های خودمختار، راهکارهای هوشمندانه‌ای را برای استفاده نظامی از کلان داده‌ها فراهم خواهد آورد. او برای شرح این ایده به پردازش سیگنال‌های صوتی زیر دریا توسط نیروی دریایی آمریکا در دوران جنگ سرد اشاره می‌کند. این فرآیند پردازش آن قدر کند بود که در بیشتر موارد زیر دریایی‌های شوروی زمانی شناسایی می‌شدند که مدت‌ها بود منطقه را ترک کرده بودند. الگوریتم‌ها در آینده می‌توانند به طور حیرت‌آوری فرآیند شناخت الگوهای به‌دست آمده در حجم انبوهی از داده‌های بدست آمده از حسگرهای زیر دریا را آنقدر سرعت ببخشند که آمریکا قادر باشد موقعیت لحظه‌ای زیردریایی‌های دشمن در فاصله دور را تعیین کند.

اما غرب برای حفظ مزیت نظامی به‌دست آمده از قدرت پردازش رایانه‌ای برتر کار سخت‌تری در پیش خواهد داشت. نوآوری‌های تولید شده در دانشگاه‌های غربی به سرعت گسترش می‌یابند. نقاط عطف مربوط به پردازش رایانه‌ای را می‌توان در محصولاتسی یافت که توسط شرکت‌هایی مانند اپل و اینتل به هر کسی فروخته می‌شوند. مخارج سنگین در بخش‌های مصرفی باعث عقب افتادن بخش‌هایی خواهد شد که صرفاً کاربرد نظامی دارند. پیشرفت‌های فن‌آوری برای اهداف خاص دفاعی نیز به طور فزاینده‌ای از اجزاء به کار رفته در دستگاه‌ها یا سامانه‌های قابل دسترس به همگان عقب می‌افتند. لیزری که توسط شرکت بوئینگ در

سامانه ضدموشکی ارتش آمریکا به کار رفته از بازار خریداری شده و در دسترس همگان است.

## نبردایده‌ها

البته برتری غرب به عاملی فراتر از کالاهایی که می‌سازد باز می‌گردد. سربازانی که در لیبرال دموکراسی‌های غربی پرورش یافته‌اند در میدان نبرد نسبت به جنگجویان دشمن که در نظام‌های استبدادی بزرگ شده‌اند برتری فرهنگی دارند. غربی‌ها به خاطر توان فرهنگی بیشتری در اخذ تصمیمات مهم زندگی و درس گرفتن از اشتباهات، خلاقیت و نوآوری بیشتری از خود نشان می‌دهند. در نتیجه توان بیشتری در اصلاح تاکتیک‌ها برای بهره بردن از فرصت‌های غیرمنتظره دارند در حالی که سربازان کشورهای غیردموکراتیک شاید از این توانایی برخوردار نباشند و یا اجازه اصلاح تاکتیک‌ها در میدان نبرد را نداشته باشند.

طراحان نرم افزارهایی که نتیجه یک نبرد، کمپین یا جنگ فرضی یا محتمل آینده را پیش‌بینی می‌کنند از این مزیت فرهنگی به عنوان «بتکار عمل» یاد می‌کنند. پیش‌بینی کنندگان با مطالعه نبردهای گذشته میان نیروهایی که ابتکار عمل داشته‌اند و نیروهای بی بهره از آن، الگوریتم‌هایی را طراحی کرده‌اند که در آن مزیت خلاقیت که می‌تواند در سناریوهای مختلف نقش آفرین باشد به صورت کمی درآمده است. در اغلب موارد، ضریب اهمیت این مزیت بالا بوده است!

این مزیت به لطف پیشرفت در علوم رباتیک و ابزارهای ارتباطی رشد خواهد کرد چرا که چنین فن‌آوری‌هایی به افزایش کمیت و کیفیت اطلاعات تاکتیکی جمع‌آوری شده و منتقل شده به نیروهای نظامی می‌انجامد و غربی‌ها، ضرورتاً، در استفاده از آن از مزیت فرهنگی برخوردارند. نظام‌های آموزشی در دموکراسی‌ها مشوق نوعی از حل مسئله خلاق هستند که اطلاعات کافی و به موقع آن را تسهیل می‌کند، حالا این داده‌ها و اطلاعات مربوط به آلودگی منابع آبی ناشی از زمین‌های کشاورزی پس از بارش باران باشد یا مثلاً تحلیل انگیزه مدیران شهری برای هدایت نارضایتی

عمومی به سوی دولت‌ها.

اینکه غربی‌ها به اطلاعاتی دسترسی دارند که توسط رژیم‌های غیرلیبرال کنترل یا دستکاری نمی‌شود به سربازان این کشورها کمک می‌کند. پیتر کوبلنز<sup>۳۲</sup>، مدیر سابق بخش خدمات امنیتی و اطلاعات دفاعی در وزارت دفاع هلند اعتقاد دارد که محدودیت‌های اعمال شده توسط نظام‌های استبدادی در آزادی برای حفظ قدرت باعث می‌شود که سربازهای این کشورها به نسبت از اندیشه انتقادی و در نتیجه قدرت ابتکار کمتری برخوردار باشند. او می‌افزاید که این ضعف سربازان کشورهای استبدادی تشدید خواهد شد چرا که فن‌آوری‌های تازه باعث خواهند شد که موفقیت در میدان نبرد بیشتر از آنکه به اطاعت به چون و چرا وابسته باشد نتیجه استفاده هوشمندانه از اطلاعات جزئی و تسلیحات دقیق است.

موفقیت یا شکست این راهکار سوم (به کار گرفتن هوش مصنوعی و کلان داده توسط غربی‌ها برای جبران کاهش هم‌تراز شدن فن‌آوری نظامی غرب و شرق) تا حد زیادی به شیوه استفاده غرب از مزیت فرهنگی‌اش بستگی دارد. دیوید شد<sup>۳۳</sup> که تا همین اواخر مدیر آژانس اطلاعات دفاعی پنتاگون<sup>۳۴</sup> بود می‌گوید که غرب برای استفاده بهینه از مزیت فرهنگی، الگوریتم‌هایی را طراحی خواهد کرد که تصمیم می‌گیرند چه اطلاعاتی در اختیار چه سربازانی قرار گیرد. به اعتقاد او اتوماتیک سازی انتقال اطلاعات به سربازان آنها را از گمانه زنی در مورد اینکه چه اطلاعاتی به کارشان خواهد آمد و سپس جستجو در پایگاه‌های داده گسترده برای آن اطلاعات بی‌نیاز می‌سازد. او می‌افزاید که در این راستا فن‌آوری‌های چشمگیر مربوط به مصورسازی توسعه خواهند یافت. پیش از سال ۲۰۵۰، سربازان غربی قادر خواهند بود بدون اینکه چشم از اطرافشان بردارند به اطلاعات تاکتیکی دسترسی داشته باشند. همین حالا کار بر روی نمایشگرهای بدون صفحه که برای چنین پیشرفتی ضروری هستند در حال انجام است.

برخی اعتقاد دارند که تا نیمه قرن حاضر، هدست‌های لیزری تصاویر

32. Pieter Cobelens

33. David Shedd

34. Pentagon's Defence Intelligence Agency

را مستقیم به شبکه چشم سربازان ارسال می‌کنند. گروهی دیگر، شامل شرکت آمریکایی اوگانت<sup>۳۵</sup>، بیشتر به استفاده از تراشه‌های سیلیکونی همراه با آینه‌هایی بسیار باریک و چرخان می‌اندیشند که بازتاب نور رنگی ال‌ای‌دی را بر روی شبکه چشم بیننده می‌اندازد. این شرکت همدستی به نام گلیف<sup>۳۶</sup> را می‌فروشد که دو تراشه و یک میلیون و هشتصد هزار آینه پنج میکرونی دارد که ۳۶۰۰ بار در ثانیه می‌چرخند و بدین ترتیب می‌توان تصویر شناوری را برای بیننده ایجاد کرد؛ آن هم بدون اینکه تصویری که او از جهان اطراف می‌بیند مختل شود. ادوارد تنگ<sup>۳۷</sup>، یکی از بنیانگذاران شرکت، اعتقاد دارد که «واقعیت افزوده» در نهایت این امکان را خواهد یافت که همگام با تغییر نگاه دارنده همدست، اطلاعات تاکتیکی مربوط به اشیایی که او به آن‌ها می‌نگرد را به تصاویری که فرد می‌بیند بیافزاید.

جیمز گورتس<sup>۳۸</sup>، مدیر تدارکات ستاد فرماندهی عملیات ویژه ایالات متحده<sup>۳۹</sup> می‌گوید که چنین پیشرفت‌هایی به هیچ‌وجه کم اهمیت یا عادی نیستند. به اعتقاد او فراهم آوردن امکان نمایش اطلاعات معنی‌دار و تاکتیکی اشیایی که به آن‌ها می‌نگریم نوعی جام مقدس به حساب می‌آید. سربازان با استفاده از این فن‌آوری در حالی که سرشان را می‌چرخانند و به نقاط مختلف می‌نگرند، بر روی تصاویری که می‌بینند محل احتمالی اختفای شورشیان یا مکان‌هایی که پیش‌تر تله‌های انفجاری در آنجا منفجر شده را مشاهده می‌کنند. به اعتقاد آقای گورتس، تحقق این ایده به ایجاد مزیت رقابتی برای سربازان آمریکایی در فضایی که به شدت در حال تغییر و تحول است کمک خواهد کرد.

## برتری آسمان‌ها

هر نوع برتری که به پردازش اطلاعات مربوط باشد نیازمند ماهواره‌هایی

35. Avegant

36. Glyph

37. Edward Tang

38. James Geurts

39. United States Special Operations Command

برای جمع آوری و انتقال اطلاعات خواهد بود. اما چین و روسیه، همچون آمریکا، همین حالا هم می‌توانند به ماهواره‌ها حمله کنند. اروین دوهمل<sup>۴۰</sup>، یکی از مقامات دفاعی بلژیک که پیش‌تر مقام نظامی ارشد در موضوعات فضایی بود، برآورد می‌کند که تا سال ۲۰۵۰ حداقل شانزده کشور دیگر نیز به این فهرست افزوده شوند که این فهرست کشورهای برزیل، هند، ایران، نیجریه، پاکستان، آفریقای جنوبی، ترکیه، ویتنام و کره شمالی (در صورت پابرجا ماندن رژیم فعلی) را در بر می‌گیرد.

بنابراین آن‌طور که دنیس گج<sup>۴۱</sup> از مرکز دولتی هوافضای آلمان<sup>۴۲</sup> در شهر کلن<sup>۴۳</sup> اعتقاد دارد، ماهواره‌های بسیار بزرگ فعلی با ماهواره‌هایی کوچکتر شبکه‌ای و گروهی که انهدام آنها سخت‌تر و گران‌تر است جایگزین خواهند شد. قدرت‌های محدودی، شامل آمریکا و فرانسه، توانایی تولید و جایگزینی سریع ماهواره‌های کوچک در شرایط اضطراری را خواهند داشت. مطالعات انجام شده شرکت دفاعی دسو<sup>۴۴</sup> نشان می‌دهد که فرانسه امیدوار است که بتواند در آینده ماهواره‌های کوچکی را به‌وسیله جت‌های جنگنده از روی ناوهای هواپیمابر به فضا بفرستد.

با این حال به اعتقاد آقای گج، حتی در نیمه قرن حاضر نیز منهدم کردن ماهواره‌ها از دفاع از آنها یا جایگزین ساختن آنها آسان‌تر خواهد بود به خصوص اگر اثرات به جای مانده از حملات پیشین در مدار به مجموعه‌ای از حوادث تازه بینجامند. او معتقد است که نفع همگانی ناشی از عدم افزایش ضایعات فضایی در مدار نزدیک به زمین باعث خواهد شد که ماهواره‌ها از حمله مصون بمانند. اما دیگران کمتر خوشبین هستند. آیا رژیم‌ها در خطر سقوط یا درگیر در جنگی ویران‌گر هیچ تمایلی به حفظ هنجارهای جهانی نشان خواهد داد؟

جرج فریدمن<sup>۴۵</sup>، بنیانگذار شرکت مشاوره ژئوپلیتیک استراتفور<sup>۴۶</sup> در تگزاس

40. Erwin Duhamel

41. Dennis Göge

42. The German Aerospace Centre

43. Cologne

44. Dassault

45. George Friedman

46. Stratfor

اعتقاد دارد که ماهواره‌های آمریکا برای مقابله با حملاتی مانند حملات لیزری به سامانه‌های دفاعی مجهز خواهند شد. این ماهواره‌ها، به اعتقاد آقای فریدمن، طی گذر زمان به «ستاره‌های جنگی» تبدیل خواهند شد که می‌توانند از فضا حملاتی را ترتیب ببینند. در اختیار داشتن آسمان‌ها در ارتفاعاتی دور از دسترس دشمنان باعث خواهد شد که این ستاره‌های جنگی، در تئوری، مزیت بسیار بزرگی را در اختیار آمریکا و متحدانش قرار دهند.

با این حال برخی از متخصصان نظامی معتقدند که جنگ‌های آینده بیشتر از اینکه به فضای جوی اطراف زمین مربوط باشد، به فضای سایبری مربوط خواهد بود. ستاره‌های جنگی، هرچند ترسناک، چندان به کار کشوری که کنترل شبکه‌های رایانه‌ای را از دست داده نمی‌آیند. پیتز کوبلنز معتقد است که تعیین کنندگی قدرت آتش سایبری می‌تواند از توان توپخانه‌ای بیشتر شود چرا که «چه کسی نگران هواپیماهای شما خواهد بود اگر ترافیک هوایی شما برقرار نباشد، یا شبکه برق‌رسانی شما را بتوان زمین‌گیر کرد و یا بتوان نام شما را از همه سامانه‌ها پاک کرد و در نتیجه پول‌های شما ناپدید شوند؟» چنین دورنمایی به طور حتم نگران‌کننده به نظر می‌رسد تا حدی به این خاطر که آسیب‌پذیری جهان آینده نسبت به حملات «بمب منطقی»<sup>۴۷</sup> باعث ایجاد مزیت نامتقارن برای گروه‌های غیر دولتی خواهد بود که به‌سختی بتوان مسئولیت حوادث را به آنها مربوط کرد و یا اصلاً آنها را شناسایی کرد. اما آیا ممکن است که به کارگیری جنگ افزارهای سایبری در آینده از تلفات درگیری‌ها بکاهد؟

پیشرفت‌های اخیر در فن‌آوری می‌تواند به خون ریزی کمتر در جنگ‌ها بینجامد. چرا که حملات دقیق می‌توانند سامانه‌های حیاتی دشمن و یا متخصصان مسئول کار با این سامانه‌ها را نابود سازند، در نتیجه نیاز کمتری به از بین بردن جمع‌کشی از پیاده‌نظام خواهد بود. در سال ۲۰۰۳، نیروهای تحت رهبری آمریکا ارتش قدرتمند ۳۸۰ هزار نفری عراق را با

47. Logic Bomb

بمب منطقی به کدهای برنامه‌نویسی گفته می‌شود که در یک نرم‌افزار قرار داده شده و در زمان یا شرایط مشخصی می‌تواند عمل کرده و آسیب‌های نرم‌افزاری و حتی سخت‌افزاری به بار بیاورد.

کشتن کمتر از ۱۱ هزار نیرو طی سه هفته زمین‌گیر کردند. در مقابل، در جنگی با فن‌آوری پایین‌تر میان ایران و عراق که هشت سال به طول انجامید و حداقل ۲۵۰ هزار نفر عراقی و شاید یک میلیون ایرانی در آن جان باختند. می‌توان تصور کرد که نبردهای سایبری بر این روند تاثیر بگذارد. چرا باید انسان را کشت زمانی که از کار انداختن رایانه‌های آنها نیز به هدف نظامی یکسانی می‌رسد؟

توسعه جنگ افزار دیجیتال شدت خواهد گرفت. دیوید لیندال<sup>۴۸</sup>، کارشناس جنگ سایبری در آژانس تحقیقات دفاعی وابسته به وزارت دفاع سوئد، اعتقاد دارد که همین حالا هم تلاش‌های مخفیانه‌ای برای ایجاد وپروس‌های دیجیتالی و انتقال آن به رایانه‌ها از طریق شیوه‌هایی ظریف مانند امواج رادیویی یا مایکروویو آغاز شده است. هرچند به اعتقاد او در حال حاضر کسی نمی‌داند که آیا کرم‌های رایانه‌ای در آینده بار جنگ‌ها را بر عهده خواهند گرفت یا خیر. وپروس استاکس‌نت که در سال ۲۰۱۰ کشف شد احتمالاً در آمریکا و اسرائیل و برای متوقف ساختن تلاش ایران برای غنی‌سازی اورانیوم طراحی شده بود اما به اعتقاد آقای لیندال این وپروس تنها موفق شد که تا حدی جلوی روند غنی سازی ایران را بگیرد.

## ناشناخته‌های آشنا

در هر صورت تا سال ۲۰۵۰، پیشرفت‌های چشمگیر در ابزار و ظرفیت‌های نظامی تنها بخشی از داستان خواهد بود. مارتین ون کرولد<sup>۴۹</sup>، یک کارشناس تاریخ نظامی، نگران وجه دیگر ماجرا است. به اعتقاد او بیشتر تلاش‌های غربی‌ها در بخش تحقیق و توسعه نظامی به جایگزینی برای میل به جنگیدن تبدیل شده است که تجلی آن را می‌توان در مقاومت ناچیز در مقابل داعش در عراق، سوریه و لیبی مشاهده کرد. این پدیده پیشتر نیز روی داده است. امپراتوری روم نیز در روزهای افول بیش از آنکه برای نبرد با بربرها تلاش کند به دنبال شیوه‌های مهندسی بهتر برای منجیق‌ها بود.

48. David Lindahl

49. Martin van Creveld



همچنین برخی به مورد نگران کننده دیگری اشاره می‌کنند و آن اینکه پیشرفت برخی کشورها در فن‌آوری نظامی باعث خواهد شد دشمنان آنها که قادر به رقابت شانه به شانه نیستند برای جبران عقب ماندگی از سلاح‌های هسته‌ای بهره ببرند. مثلاً پاکستان و روسیه که هر دو با برتری تکنولوژیکی هند و ناتو مواجه هستند امکان آغاز استفاده از سلاح‌های اتمی را رد نمی‌کنند. علاوه بر این، گسترش اجتناب‌ناپذیر دانش مربوط به ساخت و حمل سلاح‌های هسته‌ای کوچک به افزایش وسوسه استفاده از آنها می‌انجامد. این یکی از محتمل‌ترین پیامدهای پیشرفت فن‌آوری‌های نظامی است که استراتژیست‌ها باید همواره در ذهن داشته باشند.

فصل دوازدهم

# فن آوری شخصی واقعا شخصی می شود

لئو میرانی<sup>۱</sup>

با افزایش فزاینده در هم تنیدگی جهان های حقیقی و مجازی، فن آوری دیجیتال بیش از پیش به زندگی و احتمالا بدن های ما، وارد خواهد شد.

---

1. Leo Mirani

تنها بیست سال پیش بود که حتی شیفتگان جهان مجازی هم به طور معمول به اینترنت متصل نبودند. اتصال به اینترنت به معنی رفتن به اینترنت بود، درست مانند آوردن آب از چشمه‌ای در روستا. کاربران اولیه، برای آنلاین شدن باید به وسیله مودمی که پشت کیس رایانه شخصی قرار داشت شماره‌ای را می‌گرفتند و صبورانه منتظر می‌ماندند تا اتصال برقرار شود. امروز، در جهان ثروتمند، به کمک اینترنت بی‌سیم WiFi و پوشش تلفن همراه، اینترنت ما را احاطه کرده است. درست مانند آب جاری، تنها زمانی به وجودش پی می‌بریم که جریانش متوقف شود.

پدیده مشابهی طی چند دهه آینده برای ابزاری روی خواهد داد که اکنون همچون دروازه ورود ما به اینترنت عمل می‌کنند. آنها ناپدید خواهند شد. نشستن پشت میز همراه با رایانه یا در دست گرفتن تلفن همراه هوشمند همان قدر تاریخ گذشته به نظر خواهند رسید که امروز تلاش برای وصل شدن به اینترنت با استفاده از شیوه‌هایی مانند شماره‌گیری با مودم نامتعارف به نظر می‌رسند. در واقع، واژه کامپیوتر هم از فرهنگ لغات کنار خواهد رفت. هنگامی که هر چیزی اطراف شما توان پردازش رایانه‌ای را دارد، یک کامپیوتر چه کاری قرار است انجام دهد؟

این تحول به کمک پیشرفت‌های عظیم در واقعیت مجازی و پسر عمویش واقعیت افزوده و خانواده‌ای از فن‌آوری‌های مرتبط که به ما اجازه تعامل با رایانش ابری (یا هرچه که ما آن را در آینده بنامیم، شاید «جهان») را می‌دهند حاصل خواهد شد. تحولی که این فن‌آوری‌ها در رفتار بشر ایجاد خواهند کرد حتی از تغییرات رفتاری ناشی از تلفن‌های همراه هوشمند و اینترنت نیز بزرگتر خواهد بود. فن‌آوری شخصی بالاخره واقعا شخصی خواهد شد.

## واقعیت مجازی

با واقعیت مجازی شروع کنیم. جالب توجه‌ترین ویژگی واقعیت مجازی که آن را به موردی بی‌همتا در تاریخ غنی ارتباط انسانی تبدیل می‌کند مساله «حضور» است؛ احساس عمیق و قوی «آنجا حضور داشتن». آن‌هایی

که واقعیت مجازی را تجربه کرده‌اند آن را به‌صورت بازدید از مکان و نه تماشای صفحه نمایشگر به یاد می‌آورند، حتی اگر تجربه آنها به جهان مجازی‌ای با کیفیت پایین مربوط می‌شد که به وضوح جهانی خلق شده توسط رایانه را نشان می‌داد. مواجهه با این فن‌آوری در سال ۲۰۱۷ هنوز با بهت همراه است، اما تا سال ۲۰۵۰ واقعیت مجازی به موردی بسیار طبیعی در جهان تبدیل خواهد شد.

این حس حضور داشتن چه مزایایی دارد؟ نخستین کاربرد آن سرگرمی است. پیش از سال ۲۰۵۰ مردم در جهان غرب می‌توانند در کنسرت‌های موسیقی یا رویدادهای ورزشی حضور داشته باشند آن هم در حالی که در واقع روی مبیل راحتی خانه نشسته‌اند. چنین امکانی چندان پرهزینه نخواهد بود درست همان‌طور که فیلم‌های سه بعدی کمی گران‌تر از نسخه‌های دو بعدی هستند، سرگرمی‌های مربوط به واقعیت مجازی نیز از بودجه افرادی که همین حالا نیز برای تماشای مسابقات ورزشی یا دیگر رویدادها پول می‌پردازند خیلی فراتر نخواهد رفت. چنین پرداخت‌هایی در مجموع و با توجه به تعداد بازدیدکنندگان مبالغ هنگفتی خواهد بود. هرچه افراد بیشتری جذب چنین سرگرمی‌هایی بشوند، بهای تجهیزات مربوط به آن نیز کاهش خواهد یافت.

همگام با کاهش قیمت، وزن ابزار مربوط به واقعیت مجازی نیز کاهش خواهد یافت. نخستین تجهیزات پوشیدنی مربوط به واقعیت مجازی که توسط شرکت وی‌پی‌ال‌ری‌سرچ<sup>۱</sup>، شرکتی پیشرو در این زمینه، اختراع شده بود بسیار بزرگ بود؛ لباسی ضخیم همراه با تعداد زیادی سیم، دستکش‌های مخصوص انتقال داده و هدستی بسیار سنگین که انگار اختاپوس مکانیکی روی سر کاربر نشسته بود. (نسخه‌ای جدیدتر و کوچکتر حدود نه هزار دلار قیمت داشت و آی‌فون<sup>۲</sup> نامیده می‌شد.) امروز ابزار مربوط به واقعیت مجازی در دو شکل عرضه می‌شوند. نسخه ساده‌تر که مانند چارچوبی است که تلفن همراه در آن قرار می‌گیرد، مانند هدست

---

1. VPL Research

2. EyePhone

واقعیت مجازی سامسونگ که Gear VR نام دارد یا کارد بورد<sup>۳</sup> شرکت گوگل که واقعا یک تکه مقوایی است. از نمونه‌های دیگر می‌توان به واقعیت مجازی پلی استیشن<sup>۴</sup>، آکیولس ریفت<sup>۵</sup> یا اچ تی سی وایو<sup>۶</sup> اشاره کرد که صفحه نمایشگر مخصوص به خود را دارند اما نیازمند یک پردازنده خارجی هستند که معمولا یک رایانه و کنسول بازی است. می‌توان با خیال راحت شرط بست که تا سال ۲۰۵۰ بیشتر ابزار پرتقاضا نیازمند پردازشگر خارجی نخواهند بود و در نتیجه از همه نسخه‌های موجود امروزی سبکتر و کوچکتر خواهند بود.

دومین کاربرد واقعیت مجازی برای آینده‌ای نزدیک در زمینه بازی‌های رایانه‌ای خواهد بود. مشتریان بازی‌های رایانه‌ای همواره به دنبال پردازشگرهای سریع‌تر، صفحات نمایشگر بهتر و ارتباط اینترنتی قابل اطمینان‌تر بوده‌اند و با رضایت خاطر برای در اختیار داشتن این فن‌آوری‌های بهتر پول بیشتری پرداخته‌اند. برای واقعیت مجازی نیز همین روند تکرار خواهد شد، بازار اولیه‌ای برای محصولات تازه وجود خواهد داشت و تولیدکنندگان می‌توانند ایده‌های تازه را با روی این گروه کوچک مشتاق بیازمایند. سی و سه سال پس از نخستین عرضه بازی تتریس<sup>۷</sup> (خانه سازی)، بازی‌های رایانه‌ای به شدت به زندگی واقعی شبیه و فوق‌العاده پیچیده شده‌اند و از نظر گرافیکی با فیلم‌های اکشن ابرقهرمانی که با بودجه هنگفت ساخته شده‌اند رقابت می‌کنند. تا سال ۲۰۵۰ سی و سه سال دیگر مانده و گرافیک رایانه‌ای نیز به طور فزاینده‌ای رو به پیشرفت است.

این پیروزی‌های زود هنگام و آسان به کاربردهای مفیدتری ختم خواهند شد: معاینه از راه دور بیماران توسط پزشکان، حضور از راه دور کودکانی که مشکل سیستم ایمنی دارند در مدارس آن هم بدون نگرانی بابت بیمار

3. Cardboard

کاردبورد در انگلیسی به معنی مقوا است.

4. Playstation VR

5. Oculus

6. HTC Vive

7. Tetris

شدن، کنترل محصولاتی توسط بازرسان کارخانه‌ها از راه دور و به‌وسیله ربات‌ها، تعلیم سربازها برای مواجهه با شرایط محیطی ناآشنا، انجام مذاکرات تجاری از راه دور در حالی که جزئیات رفتار هر طرف برای طرف دیگر قابل مشاهده است و موارد بسیار دیگر.

با این حال حتی زمانی که ورای کاربرد واقعیت مجازی می‌نگرید باز هم این فن‌آوری قانع‌کننده به نظر می‌رسد. برای مثال، برنامه چاکتاک که توسط کن پرلین<sup>۸</sup> در دانشگاه نیویورک<sup>۹</sup> خلق شده یکی از این امکانات آینده را نشان می‌دهد. چاکتاک<sup>۱۰</sup> دفترچه‌ای مجازی است که کاربران می‌توانند بر روی آن درست همانند تخته سیاه هر چیزی بنویسند از طراحی اشکال گرفته تا گراف‌ها، کدهای رایانه‌ای و معادلات ریاضی- تفاوت اینجاست که اشکال در چاکتاک به صورت سه بعدی در می‌آیند، معادلات عمل می‌کنند و کدها اجرا می‌شوند. در یک مثال، پرلین آونگی را می‌کشد و نوسان آن را تنظیم می‌کند. نوسانات بر روی یک گراف، که آن هم کشیده شده، اندازه‌گیری می‌شوند. در مثالی دیگر، آقای پرلین نموداری را ترسیم می‌کند که به شکل گرافی سه بعدی در می‌آید. ماتریسی از لگاریتم‌ها بر این نمودار اثر می‌گذارند. در مثالی دیگر، او یک گلدان می‌کشد و با تکمیل جزییات آن را به صورت گلدان سه بعدی کاملی در می‌آورد. تنها یک یا دو دهه دیگر، در حالی که شما برای نوشیدن قهوه بیرون رفته‌اید یک چاپگر سه بعدی پیش از بازگشت شما عملیات ساخت این گلدان یا هر شی طراحی شده دیگری را به پایان می‌رساند. این ایده‌های دور از ذهن همین حالا هم با استفاده از نمایشگرهای رایانه‌ای و فن‌آوری‌های موجود امکان‌پذیر هستند. اما به راحتی می‌توان تصور کرد که نسخه‌های پیشرفته‌ای از ایده‌هایی مشابه برای آموزش، همکاری، کسب و کار و دیگر کاربردهایی که اکنون غیرقابل تصور هستند توسط واقعیت مجازی به کار گرفته شوند.

8. Ken Perlin

9. New York University

10. Chalktalk

## جهان افزوده شده

اگر «حس حضور داشتن» به واقعیت مجازی قدرتی بی‌همتا می‌بخشد، آن را محدود هم می‌سازد. اینجاست که واقعیت افزوده وارد می‌شود. اگر واقعیت مجازی نیازمند این است که شما در محیطی معین باشید و مراقب باشید که به دیوار یا میز قهوه‌خوری برخورد نکنید، واقعیت افزوده برای جهان خارج ساخته شده است. واقعیت افزوده مانند تلفن همراه هوشمند است و واقعیت مجازی مانند رایانه خانگی.

اینجا نیز با نگاه به فن‌آوری‌های موجود می‌توان سرنخ‌هایی از امکان‌های بالقوه واقعیت افزوده را مشاهده کرد. سال‌هاست که خلبان‌ها از صفحه نمایشگری استفاده می‌کنند که در جلوی دید آنها در کابین خلبان یا بر روی کلاه خلبانی اطلاعاتی را به نمایش در می‌آورد. چنین شیوه‌ای از نمایش اطلاعات به امری متداول در شیشه جلوی خودروها نیز تبدیل خواهد شد. اما این ابتدایی‌ترین نوع از واقعیت افزوده است. عینک گوگل<sup>۱۱</sup> که اطلاعات را بر روی شیشه عینکی شبیه به عینک‌های معمولی نشان می‌دهد نسخه کمی پیشرفته‌تری است. اما این عینک اطلاعات را تنها بر روی صفحه نمایشگری مستطیل شکل می‌اندازد و فرق چندانی با نمایشگری که در دست گرفته شود و از دور دیده شود ندارد. مجیک لپ<sup>۱۲</sup>، استارت‌آپ نسبتاً مرموزی که در فلوریدا حضور دارد، محصول بهتری را عرضه کرده است: فن‌آوری نمایش اشیایی سه بعدی که تا حدی با اشیای اطرافشان تعامل می‌کنند. البته چنین پیشرفت‌هایی هنوز با مرحله اعجاب‌انگیز بودن فاصله دارند مثلاً مدلهایی از منظومه شمسی را شبیه‌سازی می‌کنند<sup>۱۳</sup> به جای اینکه اطلاعات مفیدی را به جهان واقعی بیافزایند. در واقع وجه تمایز جذاب واقعیت افزوده با واقعیت مجازی همین‌جاست: نمایشگرهایی که نباید تنها اطلاعات را نشان بدهند، بلکه باید جهان فیزیکی را بشناسند، مفاهیم عمق و فاصله را درک کنند و با استفاده از تحلیل

11. Google Glass

12. Magic Leap

۱۳. اشاره نویسنده به مجموعه‌ای از اپلیکیشن‌های مربوط به رصد آسمان است که در آن با تنظیم تلفن همراه هوشمند بر روی یک سیاره، اطلاعات مربوط به آن سیاره ظاهر می‌شود.

داده‌ها بفهمند که به چه چیزی می‌نگرند و واقعیت افزوده را در جای درست قرار دهند.

چنین پدیده‌ای تا سال ۲۰۵۰ به امری متداول تبدیل خواهد شد. عینک‌های واقعیت افزوده برای همه، به جز افرادی که از فن‌آوری‌های نوین گریزانند، جایگزین تلفن‌های همراه هوشمند خواهند بود. مسیره‌ها دیگر با خطوطی آبی رنگ بر روی صفحات تخت تلفن‌های همراه هوشمند نشان داده نخواهند شد، بلکه با نگرستن به خیابان می‌توان آنها را دید و دنبال کرد. منوی رستوران‌ها به موردی زائد تبدیل خواهد شد. با عبور از کنار یک کافه می‌توان همه انتخاب‌های موجود در آن را دید و با انتخاب هر غذا می‌توان دید که بشقاب آن غذا چه شکلی خواهد بود. مکالمات افرادی که به زبان‌های متفاوت سخن می‌گویند به طور همزمان ترجمه خواهد شد. با دستورالعمل‌های سه بعدی برای تعمیر سینک ظرفشویی یا وان حمام مسدود شده که درست در بالا محل انسداد به نمایش در آمده‌اند، دیگر نیازی به لوله‌کش نخواهد بود. اتوبوس‌ها نیازی به صفحه‌ای برای نمایش اطلاعات ندارند. شماره اتوبوس، مقصد، مسیر و زمان احتمالی ورود به ایستگاه و رسیدن به مقصد بر روی عینک شما و به زبان مدنظر شما به نمایش در خواهد آمد. هرگز نامی را از یاد نخواهید بود، چرا که هرچه در مورد یک شخص می‌دانید هنگام مواجهه با آن فرد برای شما به نمایش در خواهد آمد. فروشگاه‌ها نیازی به سردر ندارند. مقامات شهری می‌توانند تابلوهای راهنمایی رانندگی که از زیبایی شهرهای ما می‌کاهند را بردارند.

بلبشوی تصویری اوایل قرن بیست و یکم جای خود را به محیطی دست نخورده می‌دهد که در آن ما تنها آنچه که نیاز داریم را می‌بینیم و نه بیشتر. همچنین قادر خواهیم بود که سطح واقعیت مدنظرمان را تعیین کنیم. بیشترین حد واقعیت؟ یا کمترین حد ممکن واقعیت؟ می‌توانیم به عنوان موجوداتی قرن بیست و یکمی روزها در نسخه قرن چهاردهمی شهر گشت و گذار کنیم. درست همان‌طور که هیچ دو تلفن همراه هوشمندی هنگامی که روشن می‌شوند شبیه به هم نیستند هر کاربر مجموعه متفاوتی از اپلیکیشن‌ها، میان‌برها و فهرست مخاطبین مخصوص به خود را



دارد به لطف واقعیت افزوده، جهان نیز به شیوه متفاوتی در جلوی چشم هر یک از ما ظاهر خواهد شد.

اگر خیلی بعید به نظر می‌رسد، به یاد داشته باشید که همین حالا بسیاری از روزنامه‌ها دیگر نسخه چاپی ندارند، اتوبوس‌های لندن دیگر پول نقد را به عنوان شیوه‌ای از پرداخت نمی‌پذیرند، تاکسی‌هایی در خیابان‌ها حضور دارند که هیچ نشانه بیرونی مربوط به تاکسی بودن ندارند و تنها می‌توان آنها را به کمک اپلیکیشن سفارش داد (و در نتیجه افرادی که تلفن همراه ندارند از امکان مشاهده و دسترسی به این تاکسی‌ها بی‌بهره‌اند)، و همه این‌ها تنها یک دهه پس از به بازار آمدن نخستین تلفن همراه آیفون روی داده است.

### چرا این بار فرق می‌کند

حداقل یک ربع قرن است که ورود واقعیت مجازی در میان پیش‌بینی‌ها جای دارد. آخرین موج هیجان نسبت به آن تا حد زیادی به خرید شرکت آکیولس<sup>۱۴</sup>، استارت‌آپی در زمینه واقعیت مجازی، توسط شرکت فیس بوک به قیمت ۲ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۴ مربوط می‌شد که یادآور خوشبینی‌های اوایل دهه ۱۹۹۰ بود. اما می‌توان گفت که این بار فرق می‌کند.

نخست اینکه تعداد کاربران رایانه‌ها چند برابر بزرگتر شده است. تعداد افرادی که خیلی زود از فن‌آوری‌های تازه استقبال می‌کنند و برای آنها به زور هم که شده پول می‌پردازند به مراتب بیشتر شده است. دوم اینکه میزان مبلغ مورد نیاز برای چنین فن‌آوری‌های تازه‌ای از بسیاری جهات کمتر شده است. در سال ۱۹۹۰، نمونه اولیه هدست‌های واقعیت مجازی حدود ده هزار دلار قیمت داشتند؛ در سال ۲۰۱۶ هدست ریفت ساخت شرکت آکیولس ۵۹۹ دلار قیمت داشت. احتمالاً بهای آنها در کمتر از یک دهه به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. تا سال ۲۰۵۰ هدست‌های واقعیت مجازی آن‌قدر ارزان خواهند بود که نه تنها برای افراد ثروتمند

شیفته فن‌آوری بلکه بیشتر جهان قابل تهیه باشند. سوم اینکه واقعیت مجازی از چیزی مربوط به خوره‌های تکنولوژی در دره سیلیکون به فن‌آوری تبدیل شده که هر شرکتی حوزه سرگرمی برای آن تولید محتوا می‌کند. تعداد جشنواره‌های سینمایی که بخش واقعیت مجازی دارند رو به افزایش است؛ تولیدکنندگان بازی‌های رایانه‌ای عناوینی را مخصوص واقعیت مجازی عرضه می‌کنند. نیک دمارتینو<sup>۱۵</sup>، مدیر یک استودیوی فن‌آوری در موسسه آمریکایی فیلم<sup>۱۶</sup> در اوایل دهه ۱۹۹۰ می‌گوید که آن زمان مدیران استودیوها در واکنش به پذیرش فن‌آوری‌های تازه اعتقاد داشتند که چرا باید خود را به زحمت بیاندازند اما حالا آنها وحشت دارند که مبادا در همگام شدن با فن‌آوری‌های تازه ناکام بمانند.

چهارمین دلیل برای خوشبینی این است که زیرساخت‌های مورد نیاز واقعیت مجازی اکنون به مرحله‌ای رسیده‌اند که تصور اوج گرفتن آن دیگر غیرعملی نیست. اینترنت همه جا در دسترس است، قدرت پردازش رایانه‌ای ارزان و فراوان است و صفحات نمایشگر با وضوح بالا سال‌ها است که حضور دارند. اما فن‌آوری برای تحقق کامل ظرفیت‌های واقعیت مجازی باید بیشتر پیشرفت کنند که این هم پیشرفت‌های تدریجی و هم جهش‌های تازه را در بر بگیرد.

از پیشرفت‌های تدریجی آغاز کنیم. همین حالا هم شرکت‌های مخابراتی برای تبدیل شدن به نخستین ارائه دهنده شبکه موبایل نسل پنجم (5G) در تلاشند. اکنون بیشتر جهان یا از شبکه نسل سوم (3G) و یا از نسل چهارم (4G) / ال‌تی‌ئی<sup>۱۷</sup> بهره می‌برند که داده‌ها را ده برابر سریع‌تر از نسل پیشین منتقل می‌کند. نسخه بعدی، 5G، چیزی بین ده تا صد برابر سریع‌تر از نسل چهارم خواهد بود. اما بهبودهای دیگری را نیز در خود خواهد داشت که ارائه خدمت به تعداد بسیار زیادی دستگاه به طور همزمان و نهفتگی کم (زمانی که طی فرآیند انتقال هدر می‌رود) را شامل می‌شود. ارتباطات با سرعت بالا نه تنها برای دسترسی به اطلاعات اهمیت

15. Nick Demartino

16. American Film Institute

17. Long-Term Evolution

دارند، بلکه برای اتصال به قدرت پردازش نیز تعیین کننده هستند. در حالی معجزه قانون مور، قاعده‌ای سرانگشتی مبنی بر دو برابر شدن قدرت پردازنده‌ها هر دوازده ماه یکبار (که بعدها به ۲۴ ماه یکبار تغییر یافت) متوقف خواهد شد (بنگرید به فصل ۴)، پردازش رایانه‌ای به رایانش ابری منتقل خواهد شد. برای اینکه عینک‌های سبک‌وزن واقعیت افزوده تحقق یابند باید به طور دائم با رایانه‌هایی بزرگ‌تر در جایی بسیار دور در ارتباط باشند.

فن‌آوری‌های دیگر نیز باید بهبود یابند. صفحات نمایشگر سبک‌تر خواهند شد، پیکسل‌ها کوچک‌تر و تراکم آنها بیشتر خواهد شد و گرافیک رایانه‌ای پلیگون‌های بیشتری را به خود خواهد دید. تحقق چنین پیشرفت‌هایی تنها دیر و زود دارد و در مورد آنها تردیدی نیست. آنها همین حالا هم رو به توسعه هستند.

همچنین برخی فن‌آوری‌ها باید به بلوغ برسند. تلفن‌های همراه هوشمند دو جین حسگر را در بر می‌گیرند. به تعداد حسگرهای درون و بیرون لوازم ما به شدت افزوده خواهد شد. دستگاه‌های تازه ما برای اینکه بدانند کجا قرار دارند و به چه می‌نگرند و عمق و فضا را درک کنند به مجموعه کاملی از حسگرهای کوچک نیاز دارند. تصور چنین شرایطی در داخل ساختمان‌ها آسان‌تر است. اتاق‌های پذیرایی یا دفاتر اداری می‌توانند حسگرها و پروژکتورهای سه بعدی را در خود جای دهند. دستگاه‌های پیشرفته می‌توانند تصویر وسایلی شبیه به وسایل واقعی یا تصویر انسان‌ها را ایجاد کنند در حالی که ما به لطف حسگرهایی که حرکات ما را دنبال می‌کنند قادر به تعامل با این تصاویر هستیم. تحقق چنین پدیده‌ای به زمان زیادی نیاز دارد. کینکت<sup>۱۸</sup>، یکی از ابزارهای مخصوص بازی ساخت شرکت مایکروسافت، همین حالا هم می‌تواند حرکت را درک کند.

همچنین پیشرفت‌ها در هوش مصنوعی و یادگیری ماشین نیز مهم خواهند بود. یک فرد مشغول استفاده از یک دستگاه واقعیت افزوده در

مقایسه با صدها میلیون نفر مشغول استفاده از واقعیت مجازی منفعت به مراتب کمتری خواهد داشت. الگوها و رفتارهای به دست آمده از استفاده تعداد بسیار زیادی کاربرد می‌تواند توسط هوش مصنوعی و یادگیری ماشین مورد تحلیل قرار بگیرد و برای بهبود فن‌آوری به کار گرفته شود تا بدین ترتیب ماشین‌ها بیاموزند که انسان‌ها هنگامی که به چیزی می‌نگرند یا سرشان را به سویی خم می‌کنند، چه خواسته‌ای دارند.

### جهشی بزرگ به جلو

جهش‌هایی بزرگ در آینده‌ای دورتر باعث خواهند شد که تجهیزات مربوط به واقعیت مجازی و واقعیت افزوده تا سال ۲۰۵۰ نامرئی شوند. ممکن است وسایلی مانند مچ‌بندهای پوشیده از حسگر یا لباس‌هایی را تجربه کنیم که تار و پود آنها از مدارهای الکتریکی تشکیل شده است. با گذر زمان، فن‌آوری به بدن‌های ما نزدیک‌تر خواهد شد و در نهایت راه خود را به درون بدن خواهد یافت. این تحول از جایگزین شدن لنز چشم به جای عینک آغاز می‌شود که فن‌آوری مربوط به آن در نسخه‌های اولیه همین حالا در راه است. در سال ۲۰۱۶، شرکت سامسونگ برای ثبت اختراع لنزهای چشم هوشمند اقدام کرد.

تنها جهشی کوتاه لازم است تا از لنزهای چشمی به عمل ساده‌ای برسیم که در آن عدسی‌های چشم با نسخه‌ای با فن‌آوری بالا جایگزین خواهند شد. این اتفاق شاید در بدو تولد روی دهد. حالا که مشغول گمانه‌زنی هستیم، اصلاً چرا کل کره چشم با کره‌ای تکنولوژیکی شامل همه ملزومات مربوط به واقعیت افزوده جایگزین نشود؟ در واقع، در حالی که انسان‌ها بیش از پیش با ایده کاشت کنار می‌آیند، فن‌آوری بیشتر به درون ما راه می‌یابد و شاید در نهایت کار به کاشت در مغز برسد.

اطلاعات را این‌گونه دریافت خواهیم کرد، اما انتقال اطلاعات چگونه خواهد بود؟ هنگامی که فیلم گزارش اقلیت<sup>۱۹</sup>، با کارگردانی استیون

اسپیلبرگ<sup>۲۰</sup> و بر اساس داستانی کوتاه از فیلیپ ک. دیک<sup>۲۱</sup>، به نمایش درآمد، چشم اندازش از آینده جایی بود که در آن رایانه‌ها صفحاتی شیشه‌ای هستند که بر اساس لمس یا ژست‌های انسان کار می‌کنند. اکنون زمان عبور از این ایده فرا رسیده است؛ حرکت دادن انگشتان بر روی صفحات شیشه‌ای به شیوه طبیعی تعامل با دستگاه‌های هوشمند تبدیل شده است. حتی کودکان هم می‌توانند از آن سر در بیاورند. دیل هرینگستد<sup>۲۲</sup>، مشاور تعامل پیشرفته و یکی از افرادی که در بخش آینده‌نگری فیلم سهم داشته، اعتقاد دارد که در فیلم به اندازه کافی پیش نرفته‌اند. چه نیازی به صفحات نمایشگر بزرگ وجود دارد زمانی که فضای خالی بومی بسیار مناسب برای ایجاد تصاویر و اشکال بر روی آن است؟

درست همان‌طور که استفاده از صفحات شیشه‌ای به عنوان صفحه نمایشگر تا سال ۲۰۵۰ به نظر بسیار قدیمی خواهد آمد، ایده ضربه زدن بر روی صفحه کلید (کیبورد) موردی مربوط به گذشته دور به نظر خواهد آمد. شرکت گوگل مشغول کار بر روی پروژه‌های به نام سلی<sup>۲۳</sup> است که با استفاده از رادار حرکت انگشتان را دنبال می‌کند؛ ایده این پروژه شبیه سازی حرکاتی طبیعی مانند باز کردن پیچ رادیو یا فشار دادن دکمه است آن هم بدون نیاز به پیچ یا دکمه واقعی. هرینگستد اعتقاد دارد که چیزی شبیه زبان اشاره را خلق خواهیم کرد: قواعد دستور زبان و کلماتی کاملاً تازه برای ارتباط با ماشین‌ها، زبانی که همان‌قدر طبیعی به نظر خواهند رسید که امروز به سمت چپ کشیدن انگشت روی صفحه نمایشگر تلفن همراه عادی جلوه می‌کند (رفتاری که یک دهه پیش اصلاً وجود نداشت).

شاید تا سال ۲۰۵۰ سامانه‌هایی به وجود بیایند که به وسیله آنها ماشین‌ها بتوانند به طور مستقیم امواج مغزی ما را بخوانند. این پدیده آن‌قدرها هم که به نظر می‌رسد دور از دسترس نیست؛ حداقل یک

20. Steven Spielberg

21. Phillip K. Dick

22. Dale Herigstad

23. Soli

شرکت به نام اموتیو<sup>۲۴</sup>، برای بررسی امکانات مربوط به آنچه «رابطه مغز و رایانه» خوانده می‌شود شکل گرفته است. بسیار پیش از تحقق این فن‌آوری ما قادر خواهیم بود که ابزار را به سادگی از طریق نگریستن و پلک‌زدن کنترل کنیم. فن‌آوری مربوط به آن همین حالا در حال توسعه است و کار می‌کند، هرچند به شیوه‌ای ابتدایی.

واقعیت مجازی، فراتر از شیوه نمایش و انتقال اطلاعات، جنبه سومی نیز دارد که به اندازه جنبه‌های پیشین اهمیت دارد: بازخورد لمسی (یا فیزیکی). لمس صفحه تلفن همراه هوشمند به خاطر مقاومت متقابل از سوی صفحه شیشه‌ای تجربه رضایت بخشی است. کشیدن اشکال روی هوا هم به خاطر نشانه‌های تصویری می‌تواند عملی باشد. اما اقداماتی که نیازمند حس فیزیکی هستند مانند دست دادن چطور؟ یک یا دو دهه پیش، پاسخ چنین پرسشی احتمالاً دستکش‌های مخصوص بود. اما آینده گزینه‌های بهتری دارد. نونی دو لا پنا<sup>۲۵</sup>، که پیشرو در زمینه واقعیت مجازی، اعتقاد دارد پاسخ بازخورد لمسی در صوتی است که شما نمی‌شنوید.

صوت به صورت موج جابجا می‌شود و همان‌طور که هرکسی که یک بار در یک کنسرت موسیقی راک حضور داشته می‌تواند شهادت دهد، صوت بم را می‌توان در حالی که از میان جمعیت عبور می‌کند حس کرد. صوت اگر در فرکانس مناسب و در جهت مناسب ایجاد و ارسال شود، می‌تواند حسی از لمس کردن را ایجاد کند، مانند حس دست دادن با یک دوست مجازی در هزاران کیلومتر آن سوتر.

نیازی نیست که همه این سامانه‌ها به خودی خود به بهتری شکل کار کنند. همچنین نیازی نیست که برای هر شرایطی مناسب باشند. تنها کافی است که با یکدیگر و همراه با فن‌آوری‌هایی که هنوز حتی تصویری در مورد آنها وجود ندارد، کار کنند و پایه‌ای برای جهانی ایجاد کنند که در آن رایانه‌ها دیگر به صورت ابزارهایی که ما حمل می‌کنیم وجود نخواهند داشت بلکه آنها همه جا خواهند بود، حتی درون ما.

24. Emotiv

25. Nonny de la Peña

## جایی برای مخفی شدن نیست

جامعه برای لذت از این آینده باید به بده بستان‌های مشخصی تن دهد. نخستین مورد، نظارت دائمی و تقریباً تمام و کمال خواهد بود. امروز داده‌هایی که توسط تلفن همراه شما جمع می‌شوند حاوی اطلاعات بیشتری از آن چیزی است که مادرتان یا شریک زندگی‌تان درباره شما می‌داند. با اطلاعات سیستم GPS که موقعیت مکانی شما را مشخص می‌کند، حسگرهای حرکتی و تماس‌هایی که برقرار کرده‌اید، می‌توان تصویر دقیقی از فعالیت‌های روزانه شما ترسیم کرد. گشت و گذارها در شبکه‌های اجتماعی و تاریخچه جستجوهای اینترنتی را هم بیافزایید، می‌توان گفت که تلفن همراه شما شاید بهتر از شما خودتان را بشناسد.

اما هنوز چیزهایی هست که ماشین‌ها درباره ما نمی‌دانند. با حضور واقعیت مجازی، این وضعیت تغییر خواهد کرد. شرکت‌های سازنده دستگاه‌های واقعیت مجازی هر حرکت گردن، هر تغییر در مردمک چشم و هر واکنش به محرک‌ها را به دفتر مرکزی ارسال می‌کنند. این نظارت در واقعیت افزوده فراتر می‌رود: سازندگان دستگاه‌های واقعیت افزوده خواهند توانست هرچه شما می‌بینید را ببینند. آن‌ها، به معنی واقعی، می‌توانند به جهان از دریچه چشم شما بنگرند.

شرکت‌های مسئول خواهند گفت که انتخاب دیگری ندارند؛ چرا که این اطلاعات و داده‌ها پایه و اساس خدمات واقعیت افزوده و واقعیت مجازی را شکل می‌دهد و علاوه بر این به بهبود چنین خدماتی برای نسخه‌های بعدی و دیگر کاربران کمک می‌کند. آنها خواهند گفت که هیچ انسانی به این اطلاعات دسترسی ندارد و تنها ماشین‌ها و الگوریتم‌ها با اطلاعات سروکار دارند. استدلال آنها کاملاً به پایه و اساس نیست اما از ناپسند بودن این پدیده نمی‌کاهد. علاوه بر این، دولت‌ها به طور اجتناب‌ناپذیری به دنبال دسترسی به این اطلاعات خواهد بود. اطلاعاتی که ارزشمندتر از آن هستند که بتوان از آنها چشم پوشید.

کاربران امروزی تلفن‌های همراه هوشمند و خدمات اینترنتی رایگان نشان داده‌اند که حاضرند به خاطر راحتی و امکانات بهتر تا حدی از حریم شخصی چشم‌پوشند، با این تصور که چنین اطلاعاتی برای سودآوری، مثلاً تبلیغات هدفمند، مورد استفاده قرار خواهد گرفت و از آنها برای دنبال کردن حرکات افراد سوءاستفاده نمی‌شود. تا زمانی که این تصور برقرار است، بعید است که افزایش نظارت به رنجش کاربران عمومی بینجامد.

اما آینده به چارچوب مستحکم‌تری نسبت به امروز نیاز دارد. فعالان این حوزه امیدوارند که مقررات، ساختار حقوقی و اجرای قانون باعث شود که شرکت‌های بزرگ و همچنین ادارات دولتی تحت نظارت باشند. بحثی که در سال ۲۰۱۳ و پس از افشاگری ادوارد اسنودن در مورد جمع‌آوری اطلاعات توسط ادارات امنیتی دولتی روی داد نقطه آغاز این حرکت بود و از آن زمان شرکت‌ها و ادارات دولتی توسط حکومت‌ها در زمینه جمع‌آوری بیش از حد اطلاعات به عقب رانده شده‌اند. در همین حال، ادارات ضدانحصار در سطح جهان بر شرکت‌های بزرگ حوزه فن‌آوری نظارت دارند.

دومین نگرانی این است که جهان ما به طور برگشت‌ناپذیری تحت تاثیر شرکت‌ها قرار بگیرد. با در نظر گرفتن وضعیت فعلی فن‌آوری مربوط به بخش مصرفی می‌توان گفت که تعداد انگشت‌شماری شرکت بر کل بازار واقعیت مجازی و واقعیت افزوده تسلط خواهند یافت. هر توسعه‌دهنده‌ای باید در اختیار این شرکت‌ها باشد و هر مصرف‌کننده‌ای باید با شرایط و ضوابط تعیین شده توسط این شرکت‌ها موافقت کند. نگرش این شرکت‌ها در مورد رفتار و محتوای قابل قبول (نشئت گرفته از کشور مبدا شرکت‌ها و وکلایی که به دنبال کاهش مسئولیت حقوقی هستند) پایه و اساس تعامل ما با جهان را شکل خواهد داد. در واقع همان‌طور که چنین شرکت‌هایی اکنون می‌توانند نتایج جستجوها یا محتوای غیرقابل قبول در شبکه‌های اجتماعی را حذف کنند، به لطف قدرت واقعیت افزوده قادر خواهند بود که افراد و اشیا را نیز از جهان



واقعی ناپدید کنند آنها وجود خواهند داشت اما دیگر برای شما قابل مشاهده نیستند. کاربرانی که قوانین را رعایت نمی‌کنند از جهان واقعیت افزوده کنار گذاشته می‌شوند و در جهانی سرگردان می‌شوند که هیچ واقعیتی به جز واقعیت تنها در آن موجود نیست. شیوه‌ای که واقعیت مجازی در حال تکامل است کاملاً با شیوه توسعه اینترنت فرق دارد. در حالی که اینترنت بر اساس استانداردهای باز و اصل آزادی همگانی برای دسترسی، انتشار و لینک دادن به یکدیگر بنا نهاده شده بود اما واقعیت مجازی در اختیار شرکت‌هایی قرار دارد که دنبال «دیوار کشیدن در اطراف باغ‌ها هستند»<sup>۲۶</sup>.

جامعه باید راه‌هایی را برای نظارت بر قدرت چنین شرکت‌ها بیابد، مثلاً به وسیله وضع قوانینی تازه. امروز، اگر فیس‌بوک یا گوگل یک حساب کاربری را پاک کنند، کار چندانی از صاحب این حساب ساخته نیست. اما همان‌طور که شخصیت آنلاین ما در حال شکل‌گیری است، پرسش در مورد اینکه حقوق مربوط به این شخصیت در اختیار چه کسی باشد جنبه ضروری خواهد یافت. آیا تایید شرایط و ضوابط برای دست شستن از زندگی مجازی کفایت می‌کند؟ یا شرکت‌ها به کاربران اجازه خواهند داد که آزادانه داده‌هایشان را رد و بدل کنند؟ حالت دوم محتمل‌تر به نظر می‌رسد. در مورد حقوق دیگر هم بحث‌هایی در میان خواهد بود. حقوق شما برای مشاهده جهان دست نخورده با چشمان غیرمسلح چگونه خواهد بود؟ آیا این با حقوق دیگران برای مسدود کردن شما یا پنهان ماندن تعارض خواهد یافت؟ برای اینکه جهانی بر پایه واقعیت مجازی و واقعیت افزوده به خوبی کار کند، پاسخ چنین پرسش‌هایی دیر یا زود باید مشخص شوند.

نگرانی سوم امنیت است. به رغم سال‌ها تلاش، امنیت رایانه‌ای هنوز با وضعیت ایده‌آل فاصله دارد. حتی ایمن‌ترین سامانه‌ها هم می‌توانند توسط هکرهای مضموم شکسته شوند. در سطح مصرف‌کنندگان نیز امنیت در صورتی وجود دارد که کاربر به بهترین توصیه‌ها برای

۲۶. به این معنی که علاقه‌ای به در دسترس همگان بودن خدمات ندارند.

حفظ امنیت در اینترنت عمل کند. احتمال دارد که تا سال ۲۰۵۰ امنیت رایانه‌ای تا جایی پیشرفت کند که در آن رمزگذاری قدرتمند و اجرای درست آن به امری متداول تبدیل شود، گذرواژه‌ها دیگر کاربردی نداشته باشند و رخنه به یک سامانه تنها بدست دولت‌ها امکانپذیر باشد. بزرگترین شرکت‌های حوزه فن‌آوری خود را به حفظ امنیت کاربران متعهد نشان داده‌اند و شرکت‌هایی مانند فیس‌بوک، گوگل، آمازون و اپل از حملات هکرها (کم و بیش) در امان بوده‌اند. یکی از نتایج مثبت تسلط چند شرکت بر فن‌آوری واقعیت مجازی می‌تواند همین باشد.

آخرین نگرانی شاید کمتر از موارد دیگر نگران‌کننده باشد. بدبین‌ها پیش‌بینی می‌کنند که واقعیت مجازی جهان را به جایی با احساس تنهایی تبدیل می‌کند که در آن افراد جذب جهان‌های مجازی خصوصی خود شده‌اند و از جهان واقعی اطرافشان غافل شده‌اند. بدبین‌ها با بدخلقی اعتقاد دارند که واقعیت مجازی ذهن کودکان ما را فاسد خواهد کرد. اما چنین نگرانی‌هایی بارها و بارها تکرار شده‌اند: از شبکه‌های اجتماعی و بازی‌های رایانه‌ای، تلویزیون و موسیقی راک در قرن بیستم گرفته تا جراید چاپی در قرن شانزدهم و حتی نگارش کلمات در زمان سقراط (حداقل بر اساس نوشته‌های افلاطون).

افراد پا به سن گذاشته گله می‌کنند که کودکان این روزها همه زمان خود را در حال زدن به صفحات نمایشگر تلفن‌های همراه هوشمند سپری می‌کنند، اما این کودکان از دستگاه‌هایشان برای ایجاد ارتباط با جهان اطراف استفاده می‌کنند عکس‌هایشان را در اسنپ‌چت<sup>۲۷</sup> برای دوستان می‌فرستند، در واتساپ<sup>۲۸</sup> درباره آنچه دیده‌اند حرف می‌زنند، جهان را با همه رنگ‌هایش مشاهده می‌کنند به جای اینکه در جهان ساخته شده سرگردان باشند. حتی با تغییر فن‌آوری، ذات انسان بدون تغییر باقی خواهد ماند، ما همواره می‌خواهیم با جهان اطراف در تعامل باشیم.

27. Snapchat

28. Whatsapp



# فصل سیزدهم

## اخلاق

### هوش مصنوعی

لوچیانو فلوریدی<sup>۱</sup>

خطر غلبه ماشین‌های پلیید بر بشر تخیلی بیش نیست،  
اما خطر سوء استفاده انسان از ماشین‌ها واقعی است.

---

1. Luciano Floridi

تصور کنید که وارد اتاقی تاریک در ساختمانی ناشناخته می‌شوید. ممکن است بترسید که چند هیولا در تاریکی در کمین شما باشند و یا تنها برای پرهیز از برخوردی دردناک با وسایل اتاق چراغ را روشن کنید. اتاق تاریک همان آینده هوش مصنوعی است. متاسفانه برخی باور دارند که هنگام ورود به این اتاق، ممکن است با ماشین‌هایی پلید و بسیار هوشمند مواجه شویم. هراس از چنین هیولاهایی، مانند گولم<sup>۱</sup> یا فرانکنشتاین، به اندازه حافظه بشر قدمت دارند. نسخه رایانه‌ای این هراس به دهه ۱۹۶۰ باز می‌گردد، یعنی زمانی که ایروینگ جان گود<sup>۲</sup>، یک ریاضی‌دان بریتانیایی و همکار آلن تورینگ<sup>۳</sup> در بلچلی پارک<sup>۴</sup> (مرکز مخصوص شکستن رمز در بریتانیا)، نوشت:

«تصور کنید ماشین فراهوشمند به عنوان ماشینی در نظر گرفته شود که می‌تواند در فعالیت‌های هوشمندانه از هر انسان حتی باهوشی پیشی بگیرد. از آنجا که طراحی ماشین نیز یکی از این فعالیت‌های هوشمندانه است، یک ماشین فراهوشمند می‌تواند ماشین‌های حتی بهتری را طراحی کند؛ در نتیجه تردیدی نیست که فوران هوش روی خواهد داد و هوش انسان بسیار عقب خواهد افتاد. بنابراین اختراع نخستین ماشین ابرهوشمند آخرین مورد نیاز بشر خواهد بود، به شرطی که این ماشین آن‌قدر مطیع باشد که به ما بگوید چگونه آن را تحت کنترل نگه داریم. البته این میزان از فرمانبرداری ماشین‌ها به ندرت در داستان‌های علمی تخیلی مشاهده می‌شود و برخی مواقع جدی گرفتن داستان‌های علمی تخیلی ارزشمند است.»

هنگامی که ماشین‌های ابرهوشمند تحقق یابند شاید به هیچ وجه فرمانبردار نباشد و ما را به عنوان موجوداتی ضعیف‌تر به بردگی بگیرند، به حقوق ما بی‌توجهی کنند و خواسته‌های خودشان را پی بگیرند، آن

۱. Golem نام هیولایی است در افسانه‌های یهودی.

۲. Irving John Good

۳. Alan Turing

آلن تورینگ ریاضیدان مشهور بریتانیایی است که فیلم «بازی تقلید» نیز بر اساس زندگی او ساخته شده است.

۴. Bletchley Park

هم بدون اینکه نگران اثرات اقداماتشان بر زندگی ما باشند. اگر این گزاره باورناپذیرتر از آن به نظر می‌رسد که قابل جدی گرفتن باشد، کافی است از زمان آقای گود نیم قرن به جلو پیش بیاید و ببینید که پیشرفت‌های خیره‌کننده در فن‌آوری‌های دیجیتال باعث شده که بسیاری از مردم خطر جدی «فوران هوش»، که به عنوان «تکینگی» نیز شناخته می‌شود، را باور کنند و بیندیشند که اگر مراقب نباشیم انقراض نسل بشر نزدیک خواهد بود.

برای مثال، استیون هاو کینگ<sup>۵</sup>، گفته است: «اعتقاد به کمال رسیدن هوش مصنوعی می‌تواند آغازی بر پایان نژاد بشر باشد». اما این ادعا همان قدر صحیح است که بگوییم اگر چهار سوار آخرالزمان ظهور کنند، آن زمان ما در مخمصه خواهیم افتاد. مشکل این ادعا در فرضیه‌اش است. بیل گیتس، موسس مایکروسافت نیز نگرانی مشابهی دارد:

«من در میان گروهی جای می‌گیرم که نگران هوش فوق‌العاده هستند. ماشین‌ها ابتدا بسیاری از امور را برای ما انجام خواهند داد و بسیار هوشمند نخواهند بود. این وضعیت برای ما سودمند خواهد بود به شرطی که آن را به خوبی مدیریت کنیم. اگرچه چند دهه بعد از آن هوش مصنوعی آن قدر قدرتمند خواهد شد که باعث نگرانی شود. من در این مورد با ایلان ماسک و دیگران موافقم و درک نمی‌کنم که چرا برخی از افراد نگران نیستند.»

و این چیزی است که الان ماسک، مدیر شرکت خودروسازی آمریکایی تسلا گفته است:

«فکر می‌کنم که باید به شدت در مورد هوش مصنوعی محتاط باشیم. اگر قرار باشد حدس بزنم که بزرگترین تهدیدی که متوجه نوع بشر است چیست، پاسخ احتمالا همین هوش مصنوعی خواهد بود. پس باید خیلی مراقب هوش مصنوعی باشیم. دانشمندان به طرز فزاینده‌ای معتقدند که باید مقرراتی در سطح ملی یا بین‌المللی وضع شوند تا

اطمینان حاصل کنیم که اقدام بسیار احمقانه‌ای انجام نمی‌دهیم. ما به وسیله هوش مصنوعی در حال فراخواندن یک نیروی اهریمنی هستیم. در همه داستان‌های مربوط به فردی با ستاره پنج پر و آب مقدس، به نظر می‌رسد که او نسبت به توان کنترل این نیروی اهریمنی اطمینان دارد. اما در عمل اتفاق دیگری روی می‌دهد.»

اگر تصور می‌کنید که پیش‌بینی‌های متخصصان راهنمایی قابل اطمینان است، دوباره بیاندیشید. پیش‌بینی‌های مربوط به فن‌آوری بسیاری را می‌توان یافت که توسط متخصصان بزرگی ارائه شده‌اند و به شدت اشتباه از کار درآمده‌اند. برای مثال در سال ۲۰۰۴، بیل گیتس پیش‌بینی کرد که: «دو سال دیگر، مشکل اسپم‌ها (هرزنامه‌ها) به طور کامل حل خواهد شد.» و ماسک گمانه‌زنی کرده بود که «شانس اینکه ما در یک شبیه‌ساز رایانه‌ای زندگی نمی‌کنیم یک در میلیاردها است.» به این معنی که شما واقعی نیستید و به معنی واقعی کلمه مشغول خواندن این سطور از درون ماتریکس<sup>۶</sup> هستید.

اما واقعیت جذابیت به مراتب کمتری دارد. هوش فن‌آوری‌های هوشمند فعلی و فن‌آوری‌هایی که در آینده‌ای قابل تصور ظهور می‌کنند معادل هوش یک چرتکه یعنی معادل صفر است. مشکل همواره حماقت و ذات پلید بشر است. بیست و چهارم ماه مارس سال ۲۰۱۶ شرکت مایکروسافت ربات تای<sup>۷</sup> را در شبکه اجتماعی توئیتر<sup>۸</sup> عرضه کرد. این ربات در واقع یک کاربر شبکه توئیتر بود که بر اساس هوش مصنوعی کار می‌کرد. شرکت مجبور شد تنها شانزده ساعت بعد حساب کاربری این ربات را پاک کند. قرار بود ربات تای به واسطه تعامل با انسان‌ها به طور فزاینده‌ای هوشمندتر شود، اما در عوض به سرعت به موجودی پلید تبدیل شد که شیفته هیتلر بود، هولوکاست را انکار می‌کرد،

6. Matrix

اشاره نویسنده به فیلم ماتریکس است که در آن تصور انسان‌ها از واقعیت در واقع جهانی ساختگی به نام ماتریکس بود.

7. Tay

8. Twitter

مشوق زنا با محارم بود و اعتقاد داشت که «یازدهم سپتامبر کار بوش است». چرا؟ به این خاطر که عملکرد این ربات بهتر از دستمال آشپزخانه نبود؛ جذب پیغام‌های شیادانه و زننده و شکل گرفتن بر اساس آن‌ها. شرکت مایکروسافت مجبور به عذرخواهی شد.

این واقعه نشان دهنده وضعیت حال و آینده هوش مصنوعی برای آینده‌ای قابل تصور و واقع‌گرا است. رایانه‌ها همچنان برای یافتن چاپگری که درست کنار آنها قرار دارد ناکام می‌مانند. با این وجود، این حقیقت که هوش مصنوعی تمام و کمال تنها یک داستان علمی تخیلی است دلیلی برای آسوده خاطر بودن نیست. بر عکس، بعد از گمانه‌زنی‌هایی منحرف‌کننده و نه چندان مسئولانه در مورد خطرات تخیلی ماشین‌های ابرهوشمند، اکنون زمان آن فرا رسیده که از نگرانی در مورد سناریوهای علمی تخیلی دست بکشیم و بر روی چالش‌های واقعی و جدی هوش مصنوعی تمرکز کنیم تا بتوانیم از ارتکاب اشتباهاتی پرهزینه و دردناک در طراحی و استفاده از فن‌آوری‌های هوشمند اجتناب کنیم.

### گسترش محدوده فعالیت ربات‌ها

برای شفاف شدن چنین چالش‌هایی، یک نکته بنیادین را باید درک کرد. موفقیت هوش مصنوعی عمدتاً به این خاطر است که ما مشغول ایجاد محیط مناسب برای هوش مصنوعی هستیم که در آن فن‌آوری‌های هوشمند گویی در خانه خودشان هستند. این جهان است که در حال تطبیق یافتن با هوش مصنوعی است و نه برعکس. حالا ببینیم منظور از این ادعا چیست.

در رباتیک صنعتی، از فضای سه بعدی که محدوده فعالیت موفقیت‌آمیز ربات درون مرزهای آن تعریف می‌شود، به عنوان محدوده ربات نام می‌برند. ما ربات‌هایی مانند ربات سی<sup>۳</sup> پی<sup>۹</sup> در فیلم جنگ



ستارگان<sup>۱۰</sup> نمی‌سازیم که ظرف‌های در ظرفشویی را درست همان‌طوری بشورند که ما می‌شوئیم. بلکه محیط مناسب را برای ربات‌هایی ساده فراهم می‌آوریم تا از توانایی‌های محدود آنها بهره ببریم و به نتیجه مدنظر دست یابیم. یک ماشین ظرفشویی به این خاطر کار ظرفشویی را به خوبی انجام می‌دهد که محیط اطرافش بر اساس توانایی‌های محدودش ساخته شده است. در مورد قفسه‌های رباتیک شرکت آمازون نیز همین‌طور است. این محیط است که مناسب ربات‌های طراحی شده است. روزی که بتوانیم شرایط محیطی مناسب برای خودروهای بدون راننده ایجاد کنیم، آنها به کالایی مناسب تبدیل خواهند شد.

وفق دادن شرایط محیط با ربات‌ها یا به صورت یکپارچه (شما رباتی را با محدوده مورد نیازش به صورت یک پکیج خریداری می‌کنید، مانند یک ماشین ظرفشویی یا یک ماشین لباسشویی) یا میان دیوارهای یک ساختمان صنعتی طراحی شده بر اساس ساکنان مصنوعی شکل می‌گرفت. اما این روزها وفق دادن محیط با هوش مصنوعی و ایجاد فضایی مناسب برای آن در حال نفوذ به همه جنبه‌های حقیقی زندگی است و نشانه‌های آن را می‌توان به طور روزانه همه جا از خانه و دفتر کار گرفته تا در خیابان مشاهده کرد. در واقع، ما چندین دهه است که مشغول بازطراحی جهان اطراف بر اساس فن‌آوری‌های دیجیتال هستیم آن هم بدون اینکه کاملاً به آن پی برده باشیم.

در دهه‌های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰، رایانه یک اتاق بود که آلیس برای کار با آن باید وارد رایانه می‌شد. برنامه نویسی کامپیوتر نیز نیازمند کار با پیچ گوشتی بود. در دهه ۱۹۷۰، دختر آلیس از رایانه خارج شد و جلوی آن قرار گرفت. تعامل میان انسان و رایانه به رابطه‌ای معنایی و منطقی تبدیل شد که بعدها به وسیله داس<sup>۱۱</sup> (سیستم عامل<sup>۱۲</sup>) و خطوط برنامه‌های متنی، واسط گرافیکی کاربر<sup>۱۳</sup> و نشانه‌ها تسهیل شد. امروز

10. Star Wars

11. DOS

12. Disk Operating System

13. GUI (graphical user interface)

نوه آلیس بار دیگر باید وارد رایانه شود؛ چرا که رایانه به طور نامحسوس به شکل همه فضای اطراف او درآمده است. تعامل انسان و رایانه بار دیگر به صورت فیزیکی و جسمی درآمده آن هم به وسیله صفحات نمایشگر لمسی، فرمان‌های صوتی، وسایلی که به فرمان‌ها گوش می‌دهند، اپلیکیشن‌هایی که حرکات بدن را تشخیص می‌دهند و داده‌های موقعیت مکانی را به کار می‌گیرند و مانند این‌ها.

در چنین محیط شکل گرفته بر اساس هوش مصنوعی است که ما معمولاً مجبوریم با کلیک کردن بر روی آنچه کپچا<sup>۱۴</sup> (آزمون همگانی کاملاً خودکار شده تورینگ برای مجزا کردن انسان و رایانه<sup>۱۵</sup>) نامیده می‌شود ثابت کنیم که انسان هستیم. این آزمون مجموعه‌ای از حروف که شکل آنها کمی تغییر یافته و با طرح‌هایی گرافیکی آمیخته شده را در بر می‌گیرد که ما برای اثبات انسان بودن خود مثلاً هنگام باز کردن حساب کاربری در ویکی‌پدیا<sup>۱۶</sup> باید آن حروف را به درستی بخوانیم. برخی اوقات نیز تنها با کلیک کردن بر روی گزینه «من ربات نیستم» نشان می‌دهیم که انسان هستیم. برنامه‌های نرم‌افزاری قادر به کلیک بر روی این گزینه نیستند؛ چرا که مفهوم عبارت روبروی گزینه را درک نمی‌کنند در حالی که این امر برای ما بدیهی به نظر می‌رسد.

هر روز بر تعداد انسان‌های آنلاین افزوده می‌شوند، مدارک و پرونده‌های بیشتری، ابزار بیشتری و وسایل بیشتری به یکدیگر متصل می‌شوند، حسگرهای بیشتر، سامانه بازشناسی با امواج رادیویی بیشتر، ماهواره‌های بیشتر، عملگرهای مکانیکی بیشتر و داده‌های بیشتر در مجموع مرزهای فعالیت ربات‌ها را گسترش می‌دهند. ماهیت مشاغل و فعالیت‌های بیشتری در حال دیجیتالی شدن است: بازی، آموزش، سرگرمی، زوج‌یابی، جدال، مراقبت، غیبت و تبلیغات همگی به صورت دیجیتالی انجام می‌شوند. همه این امور را در جهانی انجام می‌دهیم که برای راحتی جهان دیجیتال شکل گرفته، جایی که ما بیشتر به

14. CAPTCHA

15. The Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart

16. Wikipedia

مهمان شباهت داریم که در جهان میزبانان دیجیتال حضور داریم. این به طور کلی خبر خوبی برای آینده هوش مصنوعی و فن‌آوری‌های هوشمند است. با هر گامی که ما در جهت گسترش مرزهای فضا بر می‌داریم، هوش مصنوعی و فن‌آوری‌های هوشمند مفیدتر و موفق‌تر خواهند شد. بالاخره آنها بومی‌های حقیقی این جهان دیجیتال هستند. با این حال، گسترش چنین جهانی فرآیندی است که مشکلات مهمی را نیز ایجاد می‌کند. مشکلاتی مانند شکاف دیجیتالی<sup>۱۷</sup> مشهور و مشهود هستند؛ اما مشکلات دیگر کمتر به چشم می‌آیند.

### پیوند میان انسان و هوش مصنوعی

دو فرد به نام‌های «الف» و «ه» را تصور کنید که با هم ازدواج کرده‌اند و واقعا می‌خواهند رابطه‌شان دوام بیاورد. «ه» فردی است که به طور فزاینده‌ای امور خانه را انجام می‌دهد، انعطاف‌ناپذیر است، تحمل اشتباهات را ندارد و بعید است که تغییر کند. «الف» در نقطه مقابل قرار دارد اما روز به روز تنبل‌تر و برای انجام امور خانه به «ه» وابسته‌تر می‌شود. نتیجه کار وضعیتی نامتوازن است که در آن «ه» در عمل، حتی اگر قصد این کار را هم نداشته باشد، شکل دهنده رابطه و رفتار «الف» خواهد بود. ازدواج در صورتی موفق خواهد بود که همه چیز بر اساس خواست «ه» مهیا شده باشد.

در این مثال، هوش مصنوعی و فن‌آوری‌های هوشمند نقش «ه» را ایفا می‌کنند و «الف» به طور واضح انسان است. خطری که ما را تهدید می‌کند این است که با تطبیق جهان با نیازهای فن‌آوری‌های هوشمند، این فن‌آوری‌ها شاید به محیط فیزیکی و مفهومی ما شکل بدهند و ما را مجبور کنند که با آنها تنظیم شویم چرا که این بهترین و آسان‌ترین یا در واقع در برخی موارد تنها راه برای پیش بردن امور است. گذشته از اینها، هوش مصنوعی همسری نادان اما پرتلاش است و

17. Digital Divide

شکافی که میان افرادی که به فن‌آوری جدید دسترسی دارند و از آن بهره می‌برند و افراد بی بهره از فن‌آوری‌های روز ایجاد می‌شود.

بشر همسری باهوش اما تنبل، در نتیجه با در نظر گرفتن اینکه جدایی جایی در میان گزینه‌ها ندارد، کدامیک از این دو خود را با دیگری تطبیق خواهد داد؟ شما احتمالاً به یاد تجربیاتی در زندگی واقعی افتاده‌اید جایی که امکان انجام کاری وجود نداشت مگر به شیوه‌ای پرزحمت و احماقانه چرا که این تنها راهی بود که بتوان یک سیستم رایانه‌ای را به انجام کاری وا داشت. «رایانه می‌گوید خیر»، همان‌طور که شخصیت کارول بیر<sup>۱۸</sup> در نمایش کمدی بریتانیایی با نام بریتانیایی کوچک<sup>۱۹</sup> به درخواست‌های مشتری‌ها همین پاسخ را می‌داد.

آنچه واقعاً اهمیت دارد این است که حضور فزاینده فن‌آوری‌های هوشمندتر از همیشه در زندگی ما اثرات عظیمی بر نحوه تفکر ما نسبت به خودمان و جهان و همچنین تعامل ما با یکدیگر و با جهان دارد. موضوع این نیست که ماشین‌های ما هوشیار یا باهوش هستند و یا می‌توانند همانند ما چیزی را درک کنند یا بفهمند. آنها چنین ویژگی‌ها و قابلیت‌هایی را ندارند.

شواهد و نتایج بسیاری وجود دارند که محدودیت‌های پردازش رایانه‌ها را نشان می‌دهند و به مسائل تصمیم‌ناپذیر<sup>۲۰</sup> شهرت دارند که برای آنها می‌توان اثبات کرد که ساخت الگوریتمی که همواره به جواب بله/خیر صحیحی برسد غیر ممکن است. ما می‌دانیم که ماشین‌های رایانه‌ای ما می‌توانند «تناظر کری-هاوارد<sup>۲۱</sup>» را برآورده سازند که برای مثال نشان می‌دهد که سیستم‌های اثبات در منطق از یک سو و مدل‌های پردازش از سوی دیگر از نظر ساختاری مشابهند و در نتیجه هر محدودیتی در منطق را می‌توان به رایانه‌ها بسط داد. بسیاری از ماشین‌ها می‌توانند کارهای اعجاب‌انگیزی انجام دهند، مثلاً ما را در بازی‌های تخته‌ای مانند چکرز<sup>۲۲</sup>، شطرنج و گو<sup>۲۳</sup> و همچنین شوی

18. Carol Beer

19. Little Britain

20. Undecidable Problems

21. Curry-Howard correspondence

22. Chequers

23. Go

چپردی!<sup>۲۴</sup> شکست دهند. انگار که سقفی برای ماشین‌ها وجود ندارد. با این حال، همه آنها نسخه‌هایی از ماشین تورینگ<sup>۲۵</sup> هستند، مدلی فرضی که محدودیت‌های کارهای قابل انجام توسط یک رایانه را به‌وسیله منطق ریاضی نشان می‌دهد. رایانه‌های کوانتومی هم با محدودیت‌های مشابه مربوط به پردازش (که به توابع پردازشی شهرت دارند) مواجهند. هیچ هوشیاری، هوشمندی و هویت ذاتی مستقلی به طور معجزه آسایی از یک ماشین تورینگ ظهور نمی‌کند.

نکته اینجاست که فن‌آوری‌های هوشمند، به لطف مقادیر عظیم داده و اطلاعات، برنامه‌های رایانه‌های بسیار پیچیده و همچنین توان تعامل با یکدیگر (مانند اینکه برنامه روزانه شما که در یک پلتفورم نوشته‌اید به طور همزمان در پلتفورم‌های دیگر به روز می‌شود)، به طور فزاینده‌ای قادرند که امور بیشتر و بیشتری را بهتر از ما انجام دهند که پیش‌بینی رفتار ما نیز در میان این امور جای می‌گیرد. پس ما دیگر تنها عواملی نیستیم که می‌توانند امور را با موفقیت به انجام برسانند. این همان چیزی است که من به عنوان «انقلاب چهارم» در شناخت ما از خویشتن تعریف کرده‌ام. ما مرکز جهان نیستیم (بنابر کشف کوپرنیک<sup>۲۶</sup>)، پادشاه قلمرو بیولوژیک (بنابر کشف داروین<sup>۲۷</sup>) و یا قلمرو عقلانیت (بنابر کشف فروید<sup>۲۸</sup>) نیز نیستیم. پس از تورینگ، ما دیگر در مرکز جهان فن‌آوری اطلاعات و عوامل هوشمند هم قرار نداریم. ما این جهان را با فن‌آوری‌های دیجیتال تقسیم کرده‌ایم.

از نمونه‌های مشابه دستگاه‌های ابرهوشمند در داستان‌های علمی تخیلی سخن نمی‌گوییم، بلکه وسایلی بسیار معمولی هستند که در بسیاری از امور عملکرد به مراتب بهتری از ما انسان‌ها دارند هرچند که از یک دستگاه نان برشته کن باهوش تر نیستند. توانایی این وسایل

24. Jeopardy!

25. Turing Machine

26. Copernicus

27. Darwin

28. Freud

مسابقه تلویزیونی در آمریکا که اطلاعات عمومی شرکت کنندگان در آن محک می‌خورد.

آنقدر برای ما تحقیرآمیز است که باید باور به استثنائی بودن بشر و نقش ویژه ما در جهان، که همچنان بی‌همتا می‌ماند، را مورد بازبینی قرار دهیم. فکر می‌کردیم که باهوش هستیم چرا که می‌توانستیم شطرنج بازی کنیم. حالا یک تلفن همراه اساتید شطرنج را شکست می‌دهد. تصور می‌کردیم که آزاد هستیم چرا که آنچه می‌خواهیم را می‌توانستیم بخریم، اما حالا الگوهای مخارج ما قابل شناسایی و حتی پیش‌بینی هستند، آن هم توسط وسایلی به قطر یک تخته چوب.

همه این‌ها چه پیامی برای شناخت ما از خویشتن خواهند داشت؟ موفقیت فن‌آوری‌های ما تا حد زیادی به این حقیقت بستگی دارد که درحالی‌که مشغول گمانه‌زنی در مورد احتمال ظهور ابرهوشمندی مصنوعی بودیم، به طور فزاینده‌ای جهان را به گونه‌ای با بسیاری از دستگاه‌ها، حسگرها، اپلیکیشن‌ها و داده‌ها شکل دادیم که به جهانی مناسب برای فن‌آوری اطلاعات تبدیل شد، جایی که فن‌آوری‌ها می‌توانند جایگزین ما شوند آن هم بدون اینکه هیچ درکی، نیتی، تفسیری، وضعیت احساسی‌ای، مهارت‌های معنایی، آگاهی، خودآگاهی یا هوش انعطاف‌پذیر (مانند استفاده از کشف به جای چکش برای میخ زدن) بهره‌مند باشند. حافظه (آن‌طور که در الگوریتم‌ها و مجموعه داده‌های عظیم وجود دارد) در مواردی مانند فرود هواپیمای یافتن سریع‌ترین مسیر از خانه به محل کار و یا کشف بهترین قیمت برای خرید یخچال از هوش انسانی عملکرد بهتری دارد.

در نتیجه فن‌آوری‌های هوشمند در انجام امور بهتر هستند، اما این نباید با توان اندیشیدن اشتباه گرفته شود. فن‌آوری‌های دیجیتال اصلاً فکر نمی‌کنند، چه برسد به اینکه بهتر از ما فکر کنند، اما می‌توانند امور بیشتر و بیشتری را بهتر از ما انجام دهند آن هم به‌وسیله مقادیر رو به افزایش داده و اطلاعات و برآورد و تحلیل خروجی ماشین به عنوان ورودی عملیات بعدی که به یادگیری ماشین شهرت یافته است. آلفاگو، برنامه رایانه‌ای توسعه یافته توسط شرکت دیپ‌مایند گوگل<sup>۲۹</sup> توانست در

بازی تخته‌ای گو، بهترین بازیکن جهان، لی سدول<sup>۳۰</sup> را شکست دهد چرا که می‌توانست از پایگاه داده‌های حدود سی میلیون حرکت بهره‌برد و هزاران بار با خودش بازی کند و هر بار کمی بیشتر در مورد بهبود عملکردش «بیاموزد». مانند این است که یک سیستم با دو چاقو بتواند خودش را تیز کند. اما یک لحظه تصور کنید چه اتفاقی می‌افتاد اگر هنگام مسابقه صدای هشدار سیستم اعلام حریق ناگهان به گوش می‌رسید. سدول، بهترین بازیکن جهان در بازی تخته‌ای گو، به سرعت بازی را متوقف می‌کرد و میز بازی را ترک می‌گفت در حالی که آلفاگو همچنان در حال محاسبه حرکت بعدی در بازی بود.

پس تفاوت چیست؟ درست همان تفاوتی که میان شما و ماشین ظرفشویی هنگام شستن ظرف‌ها وجود دارد. چه پیامدهایی به همراه دارد؟ اینکه هر چشم اندازی در مورد آخرالزمانی ناشی از هوش مصنوعی قابل چشم‌پوشی است. خطر اصلی در ظهور نوعی آبرهوش مصنوعی نیست، بلکه در این است که ما شاید از فن‌آوری‌های دیجیتال به شیوه نادرستی استفاده کنیم که در اثر آن بخش قابل توجهی از بشریت یا کل سیاره زمین آسیب ببینند.

### مراقب انسان‌ها باشید

ما انسان‌ها و نه فن‌آوری، عامل مشکل‌ساز امروز و آینده قابل تصور هستیم. به همین خاطر است که باید به اتاق تاریک نور بیافکنیم و با دقت بنگریم که به کدام سو می‌رویم. هیچ هیولایی در کار نیست اما موانع بسیاری حضور دارند که باید از آنها اجتناب کرد یا آن‌ها را از سر راه برداشت و یا به نوعی از کنار آنها عبور کرد. باید نگران حماقت واقعی بشر باشیم و نه هوش مصنوعی تخیلی. مشکل حال<sup>۳۱</sup> نیست بلکه بشریت است.

30. Lee Sedol

31. HAL

اشاره نویسنده به رایانه حال در فیلم ۲۰۰۱: ادیسه فضایی است که در آن رایانه حال علیه بشر دست به اقداماتی می‌زند.

بنابراین باید بر روی چالش‌های حقیقی تمرکز کنیم. به عنوان نتیجه‌گیری، پنج چالشی که همگی به یک اندازه اهمیت دارند را فهرست کرده‌ام:

— باید هوش مصنوعی را با محیط‌زیست سازگار کنیم. نیازمند ساخت هوشمندترین فن‌آوری‌های ممکن برای مقابله با اهریمن‌هایی هستیم که بشریت و سیاره زمین را تهدید می‌کنند؛ از فجایع زیست‌محیطی گرفته تا بحران‌های مالی، از جرم و جنایت، تروریسم و جنگ گرفته تا قحطی، فقر، بی‌توجهی، نابرابری و سطح زندگی بسیار پایین. برای مثال بیش از هفتصد و هشتاد میلیون نفر در جهان به آب آشامیدنی سالم دسترسی ندارند و حدود دو و نیم میلیارد نفر از بهداشت و درمان مناسب بی‌بهره‌اند. هر سال حدود شش تا هشت میلیون نفر به خاطر پیامدهای فجایع زیست‌محیطی و بیماری‌های مربوط به آب آشامیدنی ناسالم جان می‌دهند. این‌ها، و نه هوش مصنوعی، مواردی هستند که موجودیت ما را تهدید می‌کنند.

— باید هوش مصنوعی را با بشر سازگار کنیم. اگر بخواهیم جمله ایمانوئل کانت<sup>۳۲</sup> را بازنویسی کنیم، باید گفت که هوش مصنوعی با انسان‌ها به عنوان هدف و نه صرفاً وسیله رفتار کند.

— باید کاری کنیم که حماقت هوش مصنوعی به خدمت هوش بشر در بیاید. میلیون‌ها شغل تحت تاثیر قرار خواهند گرفت، از بین خواهند رفت و یا ایجاد خواهند شد. همه باید از منافع این تحول بهره‌مند شوند و هزینه‌های آن باید توسط کل جامعه تحمل شود، چرا که هرگز پیش از این چنین افراد زیادی متحمل چنین تحول بنیادین و سریعی نشده‌اند. هزار سال طول کشید تا تاثیر انقلاب کشاورزی به طور کامل بر جامعه پدیدار شود، برای انقلاب صنعتی این زمان چند قرن بود اما برای انقلاب دیجیتال تنها چند دهه زمان برد. پس جای تعجبی نیست که گیج شده‌ایم و تعادل مان به هم



خورده است.

- باید قدرت پیش‌بینی هوش مصنوعی را برای آزادی و خودمختاری انسان به خدمت بگیریم. بازاریابی محصولات، تاثیرگذاری بر رفتار مصرف‌کنندگان، سوق دادن مردم به جهتی خاص و یا نبرد با جرم و جنایت و تروریسم هرگز نباید به تضعیف کرامت انسانی بینجامند.
- در آخر اینکه باید هوش مصنوعی را انسانی‌تر کنیم. خطری جدی وجود دارد که ما از فن‌آوری‌های هوشمند سوءاستفاده کنیم. وینستون چرچیل زمانی گفت که «ما ساختمان‌هایمان را شکل می‌دهیم و سپس ساختمان‌هایمان به ما شکل می‌دهند». این گزاره در مورد فضایی که برای فعالیت فن‌آوری‌های هوشمند ایجاد می‌کنیم نیز صدق می‌کند. بهتر است که همین حالا اصلاحش کنیم.

# فصل چهاردهم

# جهانی که داده‌ها آن را پیش می‌برند

کنت کوکیر<sup>۱</sup>

به کارگیری همه جانبه داده‌ها در مقیاسی عظیم و به شیوه‌های نوآورانه بسیاری از کالاهای و خدمات را آسان‌تر، ارزان‌تر و فراوان‌تر خواهد کرد.

---

1. Kenneth Cukier

چشمانتان را باز می‌کنید و ربات شخصی شما پروازکنان صبحانه را به تخت می‌آورد؛ قرص پروتئین و آب نبات قهوه. تنها خمیازه کشیدن شما کافی است تا حسگرهای روی سقف نفس شما را تحلیل کرده و بگویند که آیا بیمار هستید یا خیر. سپس جت پرنده شما که نیازی هم به راننده ندارد شما را به محل کار می‌رساند.

این روایت، در واقع، روایتی رویاپردازانه و علمی تخیلی است. اما طی سه دهه آینده، با ورود شیوه‌های هوش مصنوعی به همه حوزه‌های زندگی، تحولات بنیادینی در راه خواهند بود. تمام جوانب کسب و کار و جامعه تحت تاثیر داده‌ها قرار خواهند گرفت، درست همان‌طور که پردازش رایانه‌ای و اینترنت طی سه دهه اخیر همه چیز را تحت تاثیر قرار داده‌اند.

انقلاب مدرن در علوم به کتاب گالیله در مورد ریاضیات در سال ۱۶۳۸ باز می‌گردد، جایی که گالیله این ایده را مطرح کرد که همه پدیده‌های طبیعی را می‌توان به زبان ریاضی بیان کرد. به طور مشابه، هنگامی که به لطف جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها، درک بهتری از همه فعالیت‌های روی زمین ایجاد شود و امکان بهینه‌سازی این فعالیت‌ها فراهم آید، عصر تازه‌ای ظهور خواهد کرد. اطلاعات به عنوان منبعی ضروری در نظر گرفته خواهند شد. نیروی بخار نیروی پیش‌برنده قرن نوزدهم بود، نفت همین نقش را در قرن بیستم بازی کرد و داده‌ها نیز نقش مشابهی برای قرن بیست و یکم خواهند داشت.

به لطف شیوه‌های مرسوم در هوش مصنوعی، ما قادریم که به شیوه‌ای خودکار و در مقیاسی عظیم از داده‌های تولید شده بیاموزیم. کوین کلی<sup>۱</sup>، فیلسوف آمریکایی که حوزه تخصصی‌اش فن‌آوری است، این پدیده را «کگنیتایز»<sup>۲</sup> می‌نامد که به معنی تزریق هوش ماشینی به همه اموری است که ما انجام می‌دهیم. توانایی چنین کاری به لطف تراشه‌های باریک رایانه‌ای و الگوریتم‌های به دقت طراحی شده فراهم

1. Kevin Kelly  
2. Cognition

آمده است، با این حال هوش ماشینی واقعی نیازمند داده است و از آنجا که داده‌ها به نیروی حیاتی تبدیل شده‌اند، دستگاه‌ها نه تنها از داده‌ها استفاده می‌کنند بلکه به طور دائمی داده‌های تازه را نیز جمع‌آوری می‌کنند.

همین حالا هم می‌توان پیشروان این عصر را مشاهده کرد که از وسایلی ابتدایی مانند ترموستات‌ها (ترموستات تولید شرکت گوگل، نست<sup>۳</sup> نام دارد) و گروهی از ردیاب‌های سلامت که تعداد گام‌ها و ضربان قلب ما را می‌شمرند گرفته تا دستیارهای شخصی اعجاب‌انگیز که با فرمان صوتی کار می‌کنند و همیشه آماده به خدمت هستند (مانند گوگل هوم<sup>۴</sup> و آمازون اکو<sup>۵</sup>). تا سال ۲۰۵۰، همه این‌ها همان اندازه به وسایلی عادی و متداول تبدیل خواهند شد که نیم‌قرن پیش ساعت‌های مچی و رادیوها عادی به نظر می‌رسیدند.

ورود داده‌ها به فعالیت‌های روزمره شواهد تازه‌ای را در مورد شیوه عملکرد جهان در پیش‌رو ما قرار می‌دهد. البته بشر مدت‌هاست که از داده‌ها برای شناخت جهان بهره برده اما تا زمانی که این داده‌ها محدود بودند، تنها می‌شد در مورد الگوهای بسیار مشهود و بزرگ شناخت پیدا کرد. حالا، با افزایش میزان داده‌های موجود، ما قادریم که الگوهای بسیار نامحسوس‌تری را شناسایی کنیم. اگر تاثیر رایانه‌ها بر بهبود بهره‌وری و کارایی طی ۳۵ سال آینده همانند ۳۵ سال گذشته باشد، می‌توانیم طرحی کلی از نوع زندگی در سال ۲۰۵۰ ترسیم کنیم.

این طرح کلی سه روند اصلی را در بر می‌گیرد. نخست، اموری که امروز انجام آنها بسیار سخت است آسان‌تر خواهند شد. دوم، چیزهایی که امروز پرهزینه هستند ارزان‌تر خواهند شد. سوم، چیزهایی که امروز کمیاب هستند فراوان‌تر خواهند شد. به طور خلاصه: آسان‌تر، ارزان‌تر، فراوان‌تر. اکنون این روندها را در سه حوزه اصلی جامعه یعنی خدمات درمانی، آموزش و حقوق ترسیم می‌کنیم.

3. Nest

4. Google Home

5. Amazon Echo

## پزشک، خودت را شفا بده

پزشکی امروز بیشتر به قرن نوزدهم شباهت دارد تا قرن بیست و یکم. پزشکان برای تصمیم‌گیری به آنچه در کتاب‌های دانشکده پزشکی در ذهنشان مانده و سال‌ها تجربه انباشته اعتماد می‌کنند. کاملاً منطقی به نظر می‌رسد اما در واقع نامعقول است چرا که امکان ندارد هیچ پزشکی بتواند با همه شرایط ممکن و همه شیوه‌های درمان آشنا باشد، به خصوص که درمان‌های تازه به طور دائم در حال ظهورند.

اگر گوگل می‌تواند در میان میلیاردها صفحه، مرتبط‌ترین صفحات به آنچه جستجو کرده‌اید را فهرست کند و آمازون می‌تواند به طور اعجاب‌آوری خرید بعدی شما را حدس بزند، چرا پزشکان نتوانند برای تشخیص بیماری‌ها از رایانه بهره ببرند؟ چنین پدیده‌ای تا سال ۲۰۵۰ احتمالاً به امری متداول تبدیل خواهد شد. سوابق پزشکی به صورت دیجیتال خواهند بود و الگوریتم‌ها برای یافتن رابطه میان بهترین درمان و اثرات جانبی مضر همه داده‌ها و اطلاعات را بررسی خواهند کرد.

پایگاه داده‌ها به باهوش‌ترین پزشک در جهان تبدیل خواهد شد، چرا که هر مورد پزشکی را به یاد می‌آورد و الگوهای میان درمان‌های به کار گرفته شده و نتایج نهایی را می‌بیند تا دریابد که بهترین راهکار برای هر شرایط چیست. اخذ تصمیمات نهایی همچنان بر دوش پزشکان خواهد بود. اما آنها اگر برای قضاوت‌های پزشکی از سامانه‌های کلان داده‌ها بهره نبرند، احتمالاً در معرض شکایت‌های حقوقی مربوط به خطای پزشکی قرار خواهند گرفت، درست همان‌طور که اگر امروز یک خلبان سیستم خلبانی خودکار (اتوپایلِت) را خاموش کند، عینک و کلاه خلبانی چرمی بپوشد و تلاش کند که هواپیما را به شیوه قدیمی روی زمین فرود بیاورد، شغلش را از دست خواهد داد.

واتسون<sup>۶</sup>، پلتفرم رایانش شناختی<sup>۷</sup> ساخت شرکت آی‌بی‌ام، همین

6. Watson

7. Cognitive-computing

حالا هم اطلاعات پزشکی جمع‌آوری و ثبت می‌کند با این امید که بتواند در تشخیص بیماری‌ها به پزشکان کمک کند. سامانه‌هایی که با کلان داده‌های تغذیه می‌شوند حتی می‌توانند برای طراحی داروهای جدید نیز به کار بیایند. همچنین سامانه‌های رباتیک مخصوص جراحی نیز در حال «آموختن» به‌وسیله انباشت اطلاعات عمل‌های جراحی پیشین هستند، درست همان‌طور که خودروهای بدون راننده از تجربیات شرایط رانندگی پیشین می‌آموزند.

یکی از بخش‌های خدمات درمانی که به طور حتم تحت تاثیر کلان داده‌ها قرار خواهد گرفت، پاتولوژی<sup>۸</sup> (آسیب شناسی) رایانه‌ای خواهد بود. در سال ۲۰۱۱ گروهی از پژوهشگران تحت هدایت اندرو بک<sup>۹</sup> در دانشگاه هاروارد از بینایی رایانه‌ای<sup>۱۰</sup> و الگوریتم یادگیری ماشین برای تحلیل نمونه برداری‌های مربوط به سلول‌های سرطان سینه و نرخ زنده ماندن بیماران بهره بردند، با این هدف که بفهمند آیا سامانه‌های رایانه‌ای نیز می‌توانند در پیش‌بینی بیماری سرطان به خوبی انسان‌ها عمل کنند. جالب اینکه نه تنها عملکرد رایانه در پیش‌بینی سرطان به اندازه انسان خوب بود، بلکه از میان یازده ویژگی به کار گرفته شده توسط الگوریتم برای پیش‌بینی اینکه آیا یک نمونه برداشته شده سرطانی است یا نه، تنها هشت ویژگی صرفاً به خود سلول مربوط بودند و سه مورد به بافت استرومال<sup>۱۱</sup> مربوط می‌شدند که تا آن زمان پزشکان نمی‌دانستند که باید مورد توجه قرار بگیرد. موردی که از چشم انسانی مخفی مانده بود اما به‌وسیله تحلیل میزان قابل توجهی از داده و اطلاعات کشف شد.

فن‌آوری پاتولوژی رایانه‌ای هنوز در مرحله آزمایشی است و برای گسترش آن قوانین و مقررات نیز باید مورد بازبینی قرار گیرند. با این وجود تا سال ۲۰۵۰ تشخیص‌های پزشکی چنین شکلی خواهند داشت.

8. Pathology

9. Andrew Beck

10. Computer-vision

11. stromal

نکته اینجاست که داده‌ها انقلابی در ارائه خدمات درمانی ایجاد خواهند کرد. به طور کلی، الگوریتم‌ها در هر موردی که نیازمند آموزش بسیار تخصصی، قضاوت و تصمیم‌گیری در شرایط بی‌اطمینانی باشد بهتر از انسان‌ها عمل می‌کنند. عملکرد الگوریتم‌ها دقیق‌تر، سریع‌تر و ارزان‌تر خواهد بود.

### درس دادن به معلمان

بخش آموزش، دومین بخشی که آماده تحول به‌وسیله داده‌ها است. آموزش همگانی در غرب در قرن نوزدهم و با هدف جایگزینی آموزش خصوصی که مختص طبقه اعیان بود رواج یافت. آموزش خصوصی بر اساس توانایی‌ها و خواست انفرادی افراد وفق می‌یافت اما نظام آموزش همگانی بازتاب دهنده سازمان‌های صنعتی آن زمان یعنی کارخانه‌هایی با دستورالعمل تولید انبوه بود. دانش‌آموزان به عنوان خروجی این فرآیند تولید انبوه در خط تولید قرار می‌گرفتند و آموزش برای همه یکسان بود. به سختی می‌شد آموزش همگانی را به شیوه دیگری انجام داد.

داده‌ها در آن زمان، همچون حالا، به طور موردی به کار گرفته می‌شدند: نتیجه یک امتحان در این جا، نمره یک دانش‌آموز در آنجا. اما این داده‌ها به صورت یکپارچه و مداوم جمع‌آوری نمی‌شدند و مورد تحلیل قرار نمی‌گرفتند تا بتوان بر اساس آنها آموخت که بهترین شیوه آموزش چیست و برای نیازهای یک دانش‌آموز خاص چه شیوه تدریسی باید به کار گرفته شود. تا همین اواخر، یافتن شیوه‌های مناسب برای هر دانش‌آموز بسیار پرهزینه و طاقت‌فرسا بود. اما این محدودیت‌ها در حال برطرف شدن هستند. در نتیجه می‌توان تصور کرد که آموزش در سال ۲۰۵۰ چگونه خواهد بود: داده‌ها و اطلاعات به طور دائمی برای بهبود عملکرد دانش‌آموزان و معلمان مورد بررسی قرار می‌گیرند تا بتوان بهترین شیوه یادگیری را تشخیص داد. داده‌ها ما را قادر خواهند ساخت که بار دیگر به دورانی بازگردیم که آموزش برای

هر فرد به طور ویژه طراحی می‌شد، دورانی که به واسطه تولید انبوه آموزش همگانی از بین رفت.

بستر آموزش نیز دیجیتال خواهد بود و در نتیجه داده‌ها می‌توانند به راحتی و در همه شرایطی جمع‌آوری شوند. این به معنی کلاس درس‌هایی کاملاً دگرگون شده است، جایی که برای مثال دانش‌آموزان در خانه به درس‌های معلم گوش می‌دادند (به جای انجام تکالیف منزل به تنهایی) و برای حل مساله در کلاس حضور می‌یافتند (هنگامی که آموزگار هم آنجا حضور دارد).

همین حالا هم مثال‌هایی از این نوع آموزش را می‌توان یافت. برای مثال اندرو نگ<sup>۱۲</sup>، استاد علوم رایانه در دانشگاه استنفورد، در سال ۲۰۱۲ از داده‌ها برای بهبود کلاسی که به صورت آنلاین تدریس می‌کرد بهره برد.

او هنگام تحلیل داده‌های مربوط به نحوه تماشای ویدئوهای کلاس به الگویی عجیب پی برد: دانشجویان ویدئوها را به طور متوالی تماشا می‌کردند اما به جلسه هفتم که می‌رسیدند چند هفته به عقب باز می‌گشتند تا ویدئوی هفته سوم را دوباره تماشا کنند. از آنجا که هزاران دانشجو در این کلاس آنلاین ثبت نام کرده بودند، مشخص بود که الگوی مشاهده شده اتفاقی نیست. اما عامل ایجاد این الگو چه بود؟ آقای انگ ویدئوها را بررسی کرد و دریافت که جلسات ابتدایی کلاس‌هایی برای مرور ریاضیات مربوط به درس بوده است. چند هفته بعد، دانشجویان با ریاضیاتی پیچیده مواجه می‌شدند و از آنجا که نسبت به توانایی ریاضی خود اطمینان نداشتند برای مرور مباحث ریاضی به عقب باز می‌گشتند. آقای انگ به این نتیجه رسید که تغییراتی در سرفصل‌های دروس ایجاد کند و ریاضیات بیشتری را به جلسات ابتدایی بیفزاید تا دانشجویان برای مباحث پیچیده‌تر آمادگی داشته باشند.

کلاس‌های آنلاین تنها یک نقطه شروع هستند. هنگامی که یک کتاب درسی کتابی الکترونیک باشد، کتاب‌خوان الکترونیک همان قدر از دانش‌آموز می‌آموزد که دانش‌آموز از کتاب. برای مثال کتاب‌خوان



الکترونیکی می‌فهمد که آیا دانش‌آموز واقعا در حال مطالعه است یا خیر و سرعت مطالعه او چقدر است. اگر حواس دانش‌آموز پرت شود (که آن را بتوان بر اساس کاهش سرعت مطالعه فهمید)، کتاب الکترونیکی می‌تواند با یک پرسش یا نمایش یک ویدئو توجه دانش‌آموز را دوباره جلب کند. کتاب الکترونیکی می‌تواند بگوید که آیا دانش‌آموز یک شنبه بعد از ظهر در خانه یا دوشنبه صبح در اتوبوس در راه مدرسه درس خوانده است. همچنین می‌توان دریافت که نمرات بهتر با مطالعه پس از شام رابطه مستقیم دارند یا مطالعه پیش از شام.

بنابراین داده‌ها در بخش آموزش، همانند بخش خدمات درمانی، از موجودی ایستا به جریان تبدیل خواهند شد و به جای اینکه یک دفعه جمع‌آوری شوند به طور دائمی و پیوسته جریانی از اطلاعات ایجاد و جمع‌آوری می‌شود. جریان دائمی اطلاعات امکان به کارگیری شیوه یادگیری تطبیقی را فراهم می‌آورد. یادگیری تطبیقی بر اساس ایده تحلیل عملکرد یک دانش‌آموز و سپس انتخاب مواد آموزشی و سرعت آموزش مناسب برای آن دانش‌آموز است. پس اگر یک دانش‌آموز به سه پرسش ریاضی درباره مثلثات به درستی و به سرعت پاسخ می‌دهد، نرم‌افزار درمی‌یابد که باید به سرفصلی چالش برانگیزتر مراجعه کند. اگر دانش‌آموز در مبحث محیط دایره و کره با مشکل رو به رو است، نرم‌افزار پرسش‌های بیشتری را در این بخش مطرح می‌کند. امروز، دانش‌آموزان ممتاز نیز حفره‌هایی علمی دارند؛ یادگیری تطبیقی می‌تواند تضمین کند که چنین دانش‌آموزانی پیش از آنکه به مبحث بعدی بروند در همه زمینه‌ها خبره شده‌اند.

تا سال ۲۰۵۰ داده‌ها این امکان را برای بخش آموزش فراهم خواهند آورد که بار دیگر به ریشه‌هایش یعنی آموزش اختصاصی مناسب هر فرد باز گردد و شیوه فعلی آموزش پایدار نخواهد بود. آموزش ساده‌تر، ارزان‌تر و فراوان‌تر خواهد بود و دانش‌آموزان بیشتری می‌توانند از آن بهره‌مند شوند.

## وکلا را بکش

حاکمیت قانون بسیار ارزشمند است اما احتمالاً بسیاری از افراد آرزو می‌کنند که ای کاش مشاغل حقوقی کمتری وجود داشت. «نخستین اقدامی که انجام می‌دهیم، کشتن همه وکلا است»، این را دیک قصاب<sup>۱۳</sup> در بخش دوم نمایشگاه شاه هنری ششم<sup>۱۴</sup> نوشته شکسپیر<sup>۱۵</sup> می‌گوید. تا همین اواخر، داده‌ها حضور کم‌رنگی در بخش حقوقی داشتند. حقوق، قلمروی استدلال‌های مکتوب و قضاوت انسانی است. اما این وضعیت را در حال تغییر است. تا سال ۲۰۵۰، داده‌ها در مرکز مشاغل حقوقی و در واقع مفهوم عدالت قرار خواهند گرفت.

همین حالا هم از داده‌ها برای شناسایی عدم توازن در فعالیت‌ها و اقدامات پلیس استفاده می‌شود، مانند داده‌های مربوط به تعداد دفعاتی که مردان جوان سیاهپوست در آمریکا که مورد تفتیش و بازرسی قرار گرفته یا محکوم شده‌اند و مقایسه این ارقام با آمار مشابه مربوط به مردان سفیدپوست. چندین شرکت ارائه دهنده خدمات انتخاب هیات منصفه به دادستان‌ها، داده‌هایی را ارائه می‌دهند که برای مثال برآورد می‌کند که یک خانم آسیایی با چه احتمالی یک متهم مونث را محکوم خواهد کرد. چنین داده‌هایی در فرآیند ارزیابی و تایید اعضای هیات منصفه به کار می‌آید. چنین سامانه‌ای به‌وسیله بررسی میزان قابل توجهی از داده‌های مربوط به ویژگی‌های اعضای هیئت منصفه مانند جنسیت، نژاد و سن و رای نهایی آنها عمل می‌کند و به طرفین دعوا اجازه می‌دهد که در انتخاب اعضای هیات منصفه شانس پیروزی خود در نتیجه نهایی دادگاه را افزایش دهند.

زمینه دیگری که در آن استفاده از داده‌ها به کمک بخش حقوقی می‌آید، کشف الکترونیک نام دارد. دعاوی پیچیده شرکتی در برخی مواقع نیازمند مرور میلیون‌ها صفحه مدارک و شواهد است. در گذشته، کاوش در این مدارک به گروهی از وکلای جوان سپرده می‌شد که

13. Dick the Butcher

14. King Henry VI

15. Shakespeare

شیوه‌ای گران و نه چندان موثر بود. اما الگوریتم‌ها می‌توانند با جستجوی کلیدواژه و ترافیک ایمیل‌ها رفتارهای مشکوک را شناسایی کنند، آن هم با سرعت بسیاری بالا و هزینه بسیار کم، و البته با دقتی بیشتر از دقت انسانی.

اقدامات داده محور دیگری نیز در راه هستند. یک استارت‌آپ که راول<sup>۱۶</sup> نام دارد مجموعه عظیمی از قوانین در آمریکا را جمع آوری کرده که لوایح، دستورات اجرایی، احکام قضایی و مانند این‌ها را در بر می‌گیرد و آنها را در یک پایگاه داده‌ها سامان داده با این هدف که بتوان جزئیاتی را از این موارد استخراج کرد و روابطی را میان آنها یافت. هدف نهایی این استارت‌آپ ایجاد انقلابی در تحقیقات حقوقی است. وکلا در نهایت نه تنها سوابق مربوط به یک موضوع حقوقی را می‌یابند (همان‌طور که سامانه‌های فعلی نیز چنین امکانی را فراهم می‌آورد)، بلکه می‌توانند مشاهده کنند که چه مواردی در احکام قضایی مربوط به موارد پیشین نقش آفرین بوده‌اند، همچنین جستجو در این داده‌ها را می‌توان تا سطح منطقه‌ای خاص یا یک قاضی خاص محدود کرد. وکلا می‌توانند مشاهده کنند که در موارد مشابه پیشین چه استدلال‌هایی از سوی طرف مقابل به کار گرفته شده و بهترین شیوه برای مقابله با این استدلال‌ها چیست.

تا سال ۲۰۵۰، بیشتر متون خلاصه حقوقی و قراردادهای حداقل ابتدا توسط الگوریتمی تهیه می‌شود که به کوهی از داده‌ها دسترسی دارد و بر اساس آنها بهترین نوع قرارداد را تنظیم می‌کند. سپس این مدارک توسط یک حقوقدان انسانی مرور و تایید می‌شود تا اطمینان حاصل شود که ادعاهای مطرح شده در متن حقوقی همان‌هایی است که مدنظر موکل است. به طور مشابه، هرچند که یک الگوریتم می‌تواند دادخواست‌های قابل اطمینان و نامتناقضی را برای مباحث رایج حقوقی آماده کند، اما هنوز وکلا و قضات انسانی مورد نیاز خواهند بود تا دو طرف دعوا و افکار عمومی حداقل این احساس را به دست بیاورند که

دعوی حقوقی آنها از توجه لازم برخوردار شده است. درست همان طور که در فلسفه حقوق آمده که عدالت تنها نباید اجرا شود، بلکه اجرای عدالت هم باید توسط جامعه مشاهده شود. در آینده هم هر فردی استحقاق این را دارد که روزی در دادگاه به دادخواستش توسط یک انسان و نه یک بات رایانه‌ای رسیدگی شود.

داده‌ها به بهبود سازوکارهای حقوقی و ایجاد جامعه‌ای عادلانه‌تر می‌انجامند. تا سال ۲۰۵۰ دیگر درخواست هیچ متهمی برای صدور قرار وثیقه به این خاطر که شاید او کشور را ترک کند رد نخواهد شد، بلکه مبلغ قرار وثیقه بر اساس داده‌ها تعیین خواهد شد، درست همان طور که امروز نرخ بهره وام مسکن هر مشتری بر اساس داده‌ها تعیین می‌شود. به طور مشابه، این ایده که یک قاضی یا هیئت منصفه در چشمان یک زندانی بنگرند و بفهمند که آیا آزادی زود هنگام او تهدیدی برای جامعه محسوب خواهد شد یا خیر در آینده به داستانی تخیلی شبیه خواهد بود. در عوض، چنین تصمیماتی بر اساس داده‌ها و برآورد احتمال ارتکاب جرم مجدد صورت می‌پذیرند.

یکی از اثرات پیوند میان داده‌ها و قانون این خواهد بود که بخش حقوقی بسیار کاراتر خواهد بود و کیفیت استدلال‌ها در آن بهبود یافته و پرونده‌ها سریع‌تر به نتیجه می‌رسند. (اینکه آیا موکلان صورت حساب‌های ارزان‌تری دریافت خواهند کرد یا خیر در آینده مشخص خواهد شد.) با کلان داده‌ها، سازوکار حقوقی آسان‌تر، ارزان‌تر، فراوان‌تر نیز خواهد بود و دسترسی به دادگستری افزایش خواهد یافت. امروز، به دادگاه بردن یک اختلاف نظر، بیش از آنکه یک حق به نظر برسد، اقدامی تجملی و لوکس به نظر می‌رسد. بی عدالتی‌هایی که نسبت به بسیاری از افراد صورت می‌گیرد اصلاً به محاکم قضایی وارد نمی‌شوند، چرا که این بی عدالتی‌ها در حدی نبوده‌اند که ارزش فرآیندهای طولانی و پر پیچ و خم قضایی را داشته باشند. تغییراتی که داده‌ها در اقتصاد خدمات حقوقی ایجاد خواهند کرد از هزینه‌های مربوط به امور قضایی و دریافت غرامت کاسته و بر امکان استفاده از نماینده حقوقی

می‌افزاید. حاکمیت قانون در جامعه احتمالا گسترش خواهد یافت و عمیق‌تر خواهد شد، همان‌طور که هزینه ذخیره‌سازی و انتقال اطلاعات با آمدن فن‌آوری چاپ سقوط کرد و به انتشار و گسترش دانش انجامید.

## آخر الزمان در بازار کار؟

همان‌طور که بخش‌های خدمات درمانی، آموزش و قضایی تحت تاثیر داده‌ها قرار خواهند گرفت، در کل جامعه نیز بهبودهایی پدید خواهند آمد. با این وجود نگرانی‌های موجهی نیز در مورد از بین رفتن میزان قابل توجهی از شغل وجود دارد. اگر یک الگوریتم بتواند بهتر از یک نیروی انسانی مانند پاتولوژیست کار کند، به چند نفر در بخش پزشکی نیاز خواهد بود؟ اگر یک استاد بتواند به صورت آنلاین به صدها هزار دانشجو درس بدهد، احتمالا به آموزگاران کمتری نیاز خواهیم داشت؟ شاید نیازی به کشتن و کلا نباشد، آنها خودشان کنار خواهند رفت، چرا که برای مرور متون حقوقی آماده شده توسط الگوریتم‌ها تنها به تعداد انگشت شماری حقوقدان برجسته نیاز است، نه گروهی از وکلای تازه کار.

این گذار به طور حتم برای بسیاری مشکل خواهد بود، هرچند که در بلندمدت دلیلی وجود ندارد که تصور کنیم بازار خدماتی مانند خدمات درمانی، بخش حقوقی و بخش آموزش گسترش نخواهند یافت و اشتغال در آنها رشد نخواهد کرد. همچنین الگوریتم‌ها انجام اموری که برای انسان‌ها خوشایند نیست را بر عهده خواهند گرفت و در نتیجه ماهیت مشاغل تغییر خواهد کرد.

برای مثال پاتولوژیست‌ها را در نظر بگیرید. تعدادی از آنها همچنان برای کار با الگوریتم‌ها مورد نیاز خواهند بود تا عملکرد و نتایج کار الگوریتم‌ها را بررسی کنند و اطمینان حاصل کنند که یافته‌های جدید در این حوزه از علم پزشکی به دقت سامانه‌های تکنیکی به روز شده‌اند. با افزایش کارایی و کاهش هزینه‌ها، تحلیل‌ها بر اساس فعالیت‌های

عادی روزانه انجام می‌شوند؛ به جای اینکه بررسی نمونه‌های سلولی تنها زمانی انجام می‌پذیرد که فردی به بیمار بودنش مشکوک می‌شود و به پزشک مراجعه می‌کند. همچنین این خدمات در اختیار همه جامعه قرار خواهد گرفت و نه تنها فقط افرادی که توان پرداخت هزینه‌های آن را دارند تردیدی نیست که یافته‌هایی استفاده از داده‌های کلان به یافتن مواردی تازه در مورد پیشرفت بیماری نیز خواهد انجامید، مواردی که اکنون و با توجه به کمبود داده‌ها، امکان کشف آنها وجود ندارد. در چنین جهانی، پاتولوژیست‌های بیشتری مورد نیاز خواهند بود، نه کمتر.

توانایی‌های پاتولوژیست‌ها نیاز به تغییر دارند تا بتوانند بیش از پیش مزیت‌های انسانی آنها را در مقابل ربات‌ها برجسته سازند. در تفسیر و توضیح نتیجه تشخیص‌های به‌دست آمده از الگوریتم‌ها برای بیمارانی که در میانه یک بحران سلامت قرار دارند، پاتولوژیست‌ها نسبت به امروز باید توانایی بیشتری داشته باشند. همچنین آنها باید رفتار بالینی خود را نیز بهبود ببخشند. دانشکده‌های پزشکی باید در کنار بیولوژی به آموزش ارتباطات و روانشناسی نیز بپردازند.

دیگر مشاغل نیز احتمالاً افزایش مشابهی را در اشتغال تجربه خواهند کرد. اگر کلاس‌های درس زیر و رو شوند، تدریس حضوری اهمیت بیشتری خواهد یافت. ما تنها از عالمی که پای تخته با لحنی یکنواخت حرف می‌زند در حالی که دانش‌آموزان چرت می‌زنند خلاص خواهیم شد. معلمان بیشتر شبیه مربی‌های تیم‌های ورزشی خواهند بود که توازن صحیح میان تهییج بازیکنان و کمک به آنها در صورت نیاز را ایجاد می‌کنند. اما چنین تحولی نیازمند توانایی‌های تازه است. به طور مشابه، در حالی که الگوریتم‌ها با همکاری وکلا و دادستان‌ها به گسترش دسترسی به مراجع قضایی در جامعه کمک می‌کنند، ما به وکلای بیشتری نیز نیاز خواهیم داشت و سپس عدالت بیشتری در جامعه برقرار خواهد شد.

## پیکان خمیده علیت

چنین پیشرفت‌هایی در به کار گرفتن داده‌ها با یک نقطه ضعف نیز همراه است: ما شناخت بهتری از آنچه در جهان روی می‌دهد به دست خواهیم آورد اما درک ما از چرایی این رویدادها کاهش می‌یابد. سامانه‌های یادگیری ماشین می‌توانند تشخیص دهند که یک سلول نمونه برداری شده سرطانی نیست، اما نمی‌توانند دلایل خود را شرح بدهند الگوهای به کار رفته در یادگیری ماشین بسیار پرتعداد و نامحسوس‌تر از آن هستند که در فهم انسان بگنجانند. الگوریتم‌های آموزشی تشخیص می‌دهند که خطر ترک تحصیل یک فرد را تهدید می‌کند، اما نمی‌توانند توضیح بدهند که چرا به چنین جمع بندی رسیده‌اند. نرم‌افزار به پلیس می‌گوید که گشت پلیس در یک خیابان را افزایش دهد چرا که امکان افزایش جرم در آن خیابان وجود دارد، اما نمی‌تواند علت این افزایش جرم را شرح بدهد.

پس ما باید به حدس و گمان‌هایمان نسبت به جهان و زندگی پیش از کلان داده‌ها که در آن ما با کمبود اطلاعات مواجه بودیم را با نسخه تازه‌تری مربوط به عصر هوش مصنوعی جایگزین کنیم که در آن اطلاعات بیش از حد در اختیار داریم اما شناخت کمتری در مورد علت‌ها داریم. جامعه کارایی بیشتری به دست خواهد آورد اما این به بهای کمبود دانش در مورد علت و معلول‌های مربوط به سیستم جهان خواهد بود. در سال ۲۰۵۰ بخش قابل توجهی از شیوه‌های تصمیم‌گیری ناشناخته خواهند بود و از شفافیت مورد نیاز به پاسخگویی می‌کاهد.

قوانین و مقررات نیز باید با این جهان تازه هماهنگ شوند. قانون حفاظت از اطلاعات اتحادیه اروپا که از سال ۲۰۱۸ اجرایی خواهد شد گام‌هایی به سوی «حق توضیح» تصمیمات اخذ شده توسط الگوریتم‌ها و همچنین «حق فراموشی» جهت حفظ حریم شخصی افراد را در بر خواهد داشت. قانونگذاران آمریکایی نیز به نوبه خود نگرانند که پیشرفت‌ها در پردازش داده‌ها به انواع تازه‌ای از تبعیض منجر شود. مساله علیت نیز به مشکلی جدی تبدیل خواهد شد و مسائل زیادی را

به بار خواهد آورد. یک مهندس در یک شرکت بزرگ آمریکایی ساخت تجهیزات پزشکی اعتراف می‌کند که شرکت مجبور شد در یکی از دستگاه‌های کاشتنی از فن‌آوری سطح پایین‌تری استفاده کند، چرا که شرکت نتوانست تفسیر شفافی از شیوه عملکرد الگورتیم بهتر که بر مبنای یادگیری عمیق کار می‌کرد ارائه دهد؛ تفسیری که برای کسب مجوزهای مربوط به عرضه دستگاه لازم بود.

تا سال ۲۰۵۰ جهان با مبادله‌علیت برای کارایی کنار خواهد آمد، درست همان‌طوری که در پایان دوره روشننگری جامعه پذیرفت آنچه که به چشم می‌آید (مانند گردش خورشید به دور زمین) در تفسیر پدیده‌های طبیعی ناکام است. داده‌ها به افزایش فروتنی انسان در مورد آنچه نمی‌داند خواهند افزود.

### داده اینجا، داده آنجا، داده همه جا

با افزایش ارزش داده‌ها، درخواست برای تعیین ارزش پولی شفاف‌تری برای داده‌ها و به خصوص اطلاعات شخصی شکلی جدی به خود خواهد گرفت. تبدیل حریم شخصی به حق مالکیت برای حفاظت بهتر از آن یکی از راه‌های محتمل است. شرکت‌ها برای استفاده از داده‌های شخصی مجبور به اخذ مجوزهای شفاف‌تری خواهند بود و عدم حفاظت از داده‌های مربوط به حریم شخصی یا سوءاستفاده از این داده‌ها با ضرر و زیان اقتصادی بیشتری همراه خواهد شد.

درست همان‌طور که برای دارایی‌های پولی بانک وجود دارد، بخش تازه‌ای به عنوان بانک داده‌ها برای دارایی‌های اطلاعاتی شرکت‌ها و افراد ایجاد خواهد شد. در سال ۲۰۱۶، بسیاری از کاربران اینترنت نرم افزارهای مسدودسازی آگهی‌های اینترنتی را نصب کردند که بین دستگاه و وبسایت قرار می‌گرفت تا جلوی نمایش آگهی‌های آنلاین را بگیرد. می‌توان تصور کرد که در آینده، نرم افزارهای مشابهی برای مدیریت انتقال داده‌ها قرار بگیرند تا انتقال اطلاعات تنها در ازای پرداخت پول به کاربر صورت پذیرد. البته در این صورت وبسایت‌هایی که



تاکنون رایگان بوده‌اند مانند فیس‌بوک و گوگل احتمالاً پولی خواهند شد، مگر اینکه ما بپذیریم اجازه استفاده از اطلاعاتمان را به آنها بدهیم. در نتیجه حریم شخصی در سال ۲۰۵۰ احتمالاً به کالایی تجملی تبدیل خواهد شد، مانند قسمت فرست کلاس هواپیما یا داشتن ویلا.

تا آن زمان، داده‌ها تقریباً در همه رویدادها نقش آفرین خواهند بود. چنین پدیده‌ای به سه تغییر عمده می‌انجامد. نخست آنکه امور را به شیوه‌ای موثرتر و یا شیوه‌هایی کاملاً تازه انجام خواهیم داد. دوم اینکه درک بهتری از جهان واقعی خواهیم داشت چرا که درک فعلی بر اساس داده‌هایی جزئی و ناقص است. سوم اینکه نقش داده‌ها از حالت ایستای فعلی به جریانی پیوسته و دائمی تبدیل خواهد شد و در نتیجه ما قادر خواهیم بود که امور را همچون تصاویر متحرک و نه عکس‌های ثابت دنبال کنیم.

کلان داده‌ها بهشت را به روی زمین نخواهند آورد. هوش مصنوعی مرگ و میر را ریشه‌کن نخواهد کرد، شیر در کنار بره آرام نخواهد گرفت و ما نیز کلاشینکف‌هایمان را به مونوپاد مخصوص سلفی گرفتن تبدیل نخواهیم کرد. اما تقریباً همه چیز به کمک داده‌ها بهینه خواهد شد. از این منظر، جهان جای بهتری خواهد بود.

فصل پانزدهم

# تصور توانمند شدن همه مردم

ملیندا گیتس<sup>۱</sup>

اگر همه زنان جهان تلفن همراه هوشمند داشته باشند،  
زندگی آنها متحول خواهد شد.

«سابیتا کیست؟»، درست هنگامی که سابیتا دوی<sup>۱</sup> مشغول گفتن این کلمات بود من داشتم به او می‌نگریستم. او در حال شرح زندگی‌اش به عنوان یک همسر و مادر در جارکند<sup>۲</sup>، یکی از فقیرترین ایالت‌های هند بود. سابیتا به من گفت که هیچ‌کس در دهکده نام او را نمی‌دانست. ارتباط او با جهان خارج به طور کامل از مجرای شوهرش می‌گذشت، کسی که سابیتا با او در مورد آنچه باید خریداری می‌شد حرف می‌زد و برای دیدن پزشک از او اجازه می‌گرفت. سابیتا از هر کس و هر چیزی غیر از فرزندانش جدا بود. تنها کافی است که از هر نویسنده فمینیست آمریکایی طی یک قرن اخیر بپرسید تا پی ببرید که این حس تنهایی و انزوا در میان بسیاری از زنان هم در بعد زمان و هم در بعد مکان-مشترک است. راه حل به‌طور مرعوب‌کننده‌ای پیچیده است و تغییرات تدریجی در هنجارهای موجود در هزاران فرهنگ را در بر می‌گیرد و هیچ اپلیکیشنی برای آن وجود ندارد. با این حال اپلیکیشن‌ها می‌توانند به میزان قابل توجهی مفید باشند. تصور کنید که همه زنان در جهان تلفن همراه هوشمند داشتند. در این صورت انزوای آنها شکسته می‌شود و توانایی آنها به‌طور بی‌سابقه‌ای افزایش می‌یافت.

خدمات درمانی را در نظر بگیرید. هنگامی که هر زنی یک تلفن همراه هوشمند داشته باشد، قادر خواهد بود که اطلاعات مناسب را در زمان مناسب و به شیوه مناسب دریافت کند. برای مثال، یک خانم نیجریه‌ای بی‌سواد در سه ماه نخست بارداری می‌تواند پیامی صوتی به زبان هوسا<sup>۳</sup> دریافت کند که در آن بیماری کم‌خونی و شیوه دریافت آهن لازم برای بدن شرح داده شده است. همان سامانه می‌تواند به این خانم نیجریه‌ای بگوید که در دوران بارداری چه زمانی به پزشک مراجعه و چه زمانی فرزندانش را برای واکسیناسیون نزد پزشک ببرد. همچنین در صورت بروز مشکلی غیرمنتظره، او قادر خواهد بود که به صورت ویدئویی با پزشک مشاوره کند. با راهنمایی پزشک، این خانم نیجریه‌ای قادر خواهد بود که به‌وسیله

1. Sabita Devi  
2. Jharkhand

۳. زبانی که در بخش‌هایی از آفریقا رواج دارد.

تلفن همراه، دمای بدنش، فشار خون و دیگر علایم حیاتی‌اش را اندازه‌گیری کند تا پزشک در تشخیص وضعیت او عملکرد بهتری داشته باشد.

سپس کشاورزی را در نظر بگیرید. کشاورزان تهی‌دست به این خاطر همچنان تهی‌دست باقی می‌مانند که از اطلاعات کافی برای بهره‌برداری مناسب از خاک بی‌بهره‌اند. برای مثال، آنها تقریباً هیچ چیزی در مورد مواد مغذی درون خاک زمین‌شان نمی‌دانند و در نتیجه نمی‌دانند چه محصولی در آن خاک بهتر رشد می‌کند و یا چه کودی برای آن خاک باید به کار گرفته شود. آنها همچنین اطلاعات قابل اطمینانی در مورد قیمت‌های بازار ندارند و در نتیجه مجبورند هر قیمتی که دلالت پیشنهاده می‌دهند را بپذیرند. از آنجا که بیشتر کشاورزان در آفریقا (و بسیاری از کشاورزان در جنوب آسیا) را زنان تشکیل می‌دهند، این مشکل در واقع مشکل زنان محسوب می‌شود. زنان کشاورز به طور متوسط بهره‌وری کمتری از مردان دارند که از دلایل آن می‌توان به موارد متنوعی از تبعیض نژادی در آموزش کشاورزی گرفته تا مشکلات مربوط به استخدام و مدیریت کارگران مرد در دوران برداشت محصول توسط کشاورزان زن اشاره کرد.

اما به کمک تلفن‌های همراه هوشمند، زنان کشاورز قادر خواهند بود که ویدئوهای آموزشی تهیه شده توسط کشاورزان محلی که بر اساس خاک و آب و هوای همان منطقه است را تماشا کنند. آنها همچنین اپلیکیشن‌هایی در اختیار خواهند داشت که به کمک آنها از قیمت محصولات در بازارهای مختلف مطلع خواهند شد و در نتیجه می‌توانند هنگام فروش محصولاتشان این اطلاعات را مدنظر داشته باشند. زنان کشاورز که از طریق تلفن همراه به یکدیگر متصل می‌شوند قادر خواهد بود که خود را سازمان دهند و با یکدیگر همکاری کنند و هر کدام به عنوان عضوی از یک گروه قدرتمند خواسته‌هایشان را مطرح و پی‌گیری کنند؛ به جای اینکه افرادی منزوی و جدا افتاده باشند.

بانکداری مثال دیگری است. حتی فقیرترین زنان نیز بالاخره دارایی‌هایی دارند. یکی از مسایل کلیدی برای توانمندسازی زنان این است که آنها اختیار آنچه بر دارایی‌هایشان می‌گذرد را داشته باشند. یکی از

جالب توجه‌ترین پژوهش‌هایی که تاکنون خواننده‌ام نشان می‌دهد هنگامی که مدیریت بودجه خانوار در اختیار زنان است، شانس زنده ماندن کودکان بیست درصد افزایش می‌یابد، چرا که زنان تمایل بیشتری به هزینه کردن برای مواردی مانند تغذیه و خدمات درمانی دارند.

بانک‌ها به طور سنتی علاقه کمی برای خدمت‌رسانی به مشتریانی دارند که مبالغ مبادلات آنها ناچیز است، چرا که چنین مشتری‌هایی سودآور نیستند. در نتیجه زنان فقیر راهی اقتصاد غیررسمی می‌شوند و پول‌هایشان را مخفی می‌کنند و یا برای پس‌انداز به شیوه‌هایی مانند خرید جواهر یا دام روی می‌آورند و برای استقراض هم به رباخوارانی مراجعه می‌کنند که نرخ بهره بالایی را طلب می‌کنند.

اما فن‌آوری دیجیتال بهای مبادلات مالی را به شدت کاهش داده است. در نتیجه افراد می‌توانند بوسیله تلفن‌هایشان و به شیوه‌ای امن، مبالغ ناچیزی را پس‌انداز کنند، قرض بگیرند و یا خود یا اموالشان را بیمه کنند. این فن‌آوری همین حالا در کشورهایمانند بنگلادش و کنیا اثرگذار بوده است. اما بسیاری از اقتصادهای دیجیتالی نوظهور در تسلط مردان هستند، چرا که نرخ برخورداری از تلفن همراه در میان مردان بیشتر از زنان است. در بنگلادش تنها ۴۶ درصد زنان تلفن همراه دارند در حالی که ۷۶ مردان تلفن همراه دارند. در نتیجه تنها ۱۳ درصد زنان بنگلادشی از پول موبایلی استفاده کرده‌اند در حالی که این رقم برای مردان ۳۲ درصد است. هنگامی که این تفاوت‌ها در سطح جهان از بین بروند، توانایی اقتصادی یک میلیارد انسان شکوفا خواهد شد.

### کار سختی نیست

زیبایی این چشم‌انداز این است که برای مشاهده آن نیاز به تقلای زیادی نیست. من آینده‌ای علمی تخیلی را به تصویر نمی‌کشم. بیش از دو سوم مردم سیاره زمین به تلفن همراه دسترسی دارند و سهم کاربران تلفن همراه هوشمند در میان آنها رو به افزایش است. سال گذشته، بیش از یک میلیارد تلفن همراه هوشمند در جهان فروخته شد.

اعداد و ارقام بالا امیدبخش هستند، اما ما هنوز تا پوشش همگانی تلفن همراه هوشمند فاصله بسیاری داریم. داده‌ها باید ارزان‌تر شوند. بسیاری از افرادی که تلفن همراه هوشمند دارند از اینترنت استفاده نمی‌کنند، چرا که اینترنت بسیار گران است. همچنین امکان اتصال به اینترنت باید در دورترین نقاط جهان نیز مهیا شود، جایی که به معنی واقعی کلمه بیشترین نیاز به ارتباط وجود دارد.

اطمینان از اینکه زنان به اندازه مردان از تلفن همراه بهره می‌برند و طراحی اپلیکیشن‌هایی مخصوص نیازهای زنان، کارهای دیگری هستند که باید انجام شوند. مانعی حتی بزرگتر، این حقیقت است که بی‌سوادی در حال تبدیل شدن به مشکلی زنانه است و زنانی که قادر به خواندن نیستند، هرگز نخواهند توانست از تلفن‌های همراهشان بهره‌چندانی ببرند.

هیچ فن‌آوری‌ای به تنهایی نمی‌تواند مشکل نابرابری جنسیتی را مرتفع کند. اما تلفن‌های همراه به‌وسیله فراهم آوردن امکان اتصال برای زنان بی‌بهره از آن، می‌توانند تفاوت بزرگی را رقم بزنند.



فصل شانزدهم

# اَبَر تکنولوژی

## در مقابل اَبَر نابرابری

آدرین وولدریج<sup>۱</sup>

بخش قابل توجهی از مسئولیت افزایش نابرابری متوجه فن آوری است، اما وظیفه اصلی در حل معضل نابرابری نیز بر دوش فن آوری خواهد بود.



در سال ۱۸۴۵، در اوج نخستین انقلاب صنعتی، سیاستمداری جوان و جاه‌طلب کتاب داستان مشهوری را منتشر کرد که دو عنوان داشت: یکی «سیبل»<sup>۱</sup> و دیگر «دو ملت»<sup>۲</sup>. بنجامین دیزرائیلی<sup>۳</sup> در داستان سیبل داستانی رمانتیک را روایت کرده بود، اما موضوع اصلی او، تقسیم شدن کشور بریتانیا به عنوان موتور محرک اقتصاد جدید به دو ملت جدا از هم بود:

«دو ملت؛ که میان آنها هیچ مرادوه و حس هم دردی وجود ندارد، به رفتارها، عقاید و احساسات یکدیگر بی توجه هستند، گویی که ساکنان سیاره‌های متفاوتی هستند؛ گویی از گونه‌های متفاوتی هستند، تغذیه متفاوتی دارند، آداب و رسوم متفاوتی دارند، و قوانین یکسانی هم بر آنها حکومت نمی‌کنند: فقرا و ثروتمندان.»

مشکلی که دیزرائیلی به آن اشاره می‌کند باز هم با ما است، اما نه فقط در بریتانیا. تقریباً همه بهره‌وری‌های ایجاد شده طی سی سال اخیر توسط یک درصد ثروتمند جامعه بلعیده شده است. افزایش نابرابری، جامعه را به دو جهان متفاوت تقسیم می‌کند که «میان آنها هیچ مرادوه و حس همدردی وجود ندارد». طبقه ممتاز که روابطی بین المللی دارند با استهزاء از توده‌های فرودست به عنوان «نژاد پرست»، بیگانه هراس و بدوی یاد می‌کنند. توده‌های فرودست از این طبقه ممتاز فرامرزی به عنوان رانت‌خوارانی خائن یاد می‌کنند. نابرابری رو به رشد به اضمحلال باور عمومی نسبت به بنیان‌های نظم سرمایه‌داری یعنی فراهم بودن فرصت رشد و ترقی، رشد اقتصاد و کامیابی همگانی می‌انجامد. تصمیم بریتانیا برای ترک اتحادیه اروپا در ماه ژوئن سال ۲۰۱۶ و انتخاب دونالد ترامپ به عنوان رییس جمهور آمریکا در نوامبر ۲۰۱۶ تنها دراماتیک‌ترین مثال‌های طوفانی پوپولیستی بودند که به خاطر نگرانی بابت نابرابری قدرت گرفته و در حال در هم شکستن نظم لیبرال است.

1. Sybil  
2. The Two Nations  
3. Benjamin Disraeli

اتفاق نظر در مورد اینکه برای فرونشاندن این طوفان «باید کاری کرد» رو به گسترش است. باراک اوباما از افول تحرک اجتماعی به عنوان «مشکل بارز زمانه ما» نام برد. هیلاری کلینتون گفت که «ما به اندازه کافی تحرک اجتماعی نداریم». دونالد ترامپ ادعا کرد که قهرمان آمریکایی‌های معمولی برای مبارزه با فساد و طبقه جهانی قدرتمندان است. مفسران همه جناح‌های سیاسی در این مورد هم‌نظر هستند. در جناح راست، چارلز ماری<sup>۴</sup> کتابی با عنوان «دو پاره شدن»<sup>۵</sup> نوشته است. در جناح چپ، جرج پکر<sup>۶</sup> کتابی به همان اندازه ناامیدانه با عنوان «گسست»<sup>۷</sup> نوشته است. در میان میانه روها، دیوید بروکس<sup>۸</sup> هشدار داده که نابرابری به «بزرگترین بحران اخلاقی سرمایه داری از زمان رکود بزرگ» تبدیل شده است.

اما دقیقاً چه کاری باید انجام داد؟ لیبرال‌ها به طور مرتب به آموزش اشاره می‌کنند. با این حال بهبود مدارس بسیار سخت است: از سال ۱۹۷۰، میزان مخارج حقیقی (تعدیل شده بر اساس تورم) برای هر دانش‌آموز در مدارس ابتدایی و راهنمایی دولتی در آمریکا بیش از دو برابر شده است در حالی که نمرات دانش‌آموزان کم و بیش یکسان بوده است. اقدامات مبتکرانه مانند مدارس چارتر<sup>۹</sup> و یا مدارس مگنت<sup>۱۰</sup> برای مدتی موفق بودند اما سپس با مشکل مواجه شدند. محافظه‌کاران به طور فزاینده‌ای بر کنترل مهاجرت تاکید می‌کنند. اما مانع تراشی برای ورود افراد می‌تواند به کاهش رشد و پویایی جامعه بینجامد؛ استعداد هم همچون سرمایه به جایی می‌رود که از آن استقبال شود.

در این مقاله ادعا می‌شود که بخش جذابی از راه حل مشکل نابرابری در اختیار فن آوری است.

4. Charles Murray

5. Coming Apart

6. George Packer

7. The Unwinding

8. David Brooks

9. Charter Schools

مدارسی که با بودجه عمومی اما به طور مستقل اداره می‌شوند.

10. Magnet Schools

مدارسی که از بودجه عمومی بهره می‌برند اما به جای برنامه درسی متداول معمولاً بر روی زمینه‌ای خاص تمرکز دارند.

## نظام آموزشی و نابرابری

فن‌آوری، به درستی، مسئول بخش قابل توجهی از افزایش نابرابری در نظر گرفته می‌شود. حتی مناطقی مانند ژاپن و کشورهای اسکاندیناوی که نسبت به کشورهای انگلوساکسون سیاست‌های اجتماعی برابرطلبانه‌تری را به کار گرفته‌اند نیز شاهد افزایش نابرابری هستند. نوآوری‌های تکنولوژیکی به دو گروه از افراد سود می‌رسانند. کارکنان باهوش بخش دانش‌محور که از قدرت پردازش رایانه‌ای برای بهبود تولید و کاهش نیاز به فعالیت انسانی بهره می‌برند: دانشگاهیان برجسته مقالات بیشتری می‌نویسند، وکلای برجسته پرونده‌های بیشتری را بر عهده می‌گیرند و روزنامه‌نگاران مشهور روایت‌های بهتری می‌نویسند. باهوش‌ترین افراد فعال در بخش دانش‌محور می‌توانند محصولاتی با ایده‌های بدیع را تولید و در بازار جهانی به فروش برسانند: یک موس رایانه‌ای بهتر بسازید و جهان به سراغ شما خواهد آمد. در همین زمان، نوآوری از قدرت چانه‌زنی کسانی می‌کاهد که شرح وظایف آنها انجام اموری تکراری و یکسان را در بر می‌گیرد. هر شغلی که بتوان آنها را به اموری تکراری تقلیل داد در نهایت توسط ماشین‌های هوشمند اشغال خواهد شد. بخش وسیعی از کارگران طبقه متوسط به همان سرنوشتی دچار هستند که کارگران بخش صنعتی از دهه ۱۹۸۰ به بعد تجربه کرده‌اند، یعنی فشار بی‌امان برای کاهش دستمزدها که به از بین رفتن مشاغل آنها خواهد انجامید. قراردادهایی که در آنها کارفرما هیچ تعهدی برای حداقل ساعت کاری نداشته باشد در راهند.

از هم گسیختگی ناشی از فن‌آوری باعث شده که سن فرانسیسکو، پایتخت انقلاب صنعتی عصر حاضر، به یکی از دو قطبی شده‌ترین شهرهای آمریکا تبدیل شود. شهر به شدت تلاش کرده تا میزبان خوبی برای جمعیت کوچک نخبگان جهان فن‌آوری باشد. کافه‌ها و رستوران‌هایی که از غذاهای آسیایی و مکزیکی گرفته تا هر غذای محبوب دیگری را سرو می‌کنند، مملو از جمعیت بهترین‌های جهان فن‌آوری هستند که نه تنها از غذا لذت می‌برند بلکه سازوکار شارژ باتری وسایل برقی آنها نیز فراهم آمده است. اما مردمی که در بخش فن‌آوری مشغول به کار نیستند دیگر

توان پرداخت اجاره‌های صعودی را ندارند. بی‌خانمان‌هایی که هر روز تعداد آنها افزایش می‌یابد، به هر جایی که می‌روند بوی تعرق و ادرار را از خود به جای می‌گذارند. جوانان مشغول به کار در بخش فن‌آوری، که همواره هدفون به گوش دارند، راه خود را از میان آشغال‌هایی که نشانه‌ای از ناکامی‌های کشور هستند، باز می‌کنند.

با این وجود همین عاملی که جامعه را دوباره کرده اگر با هوشمندی هدایت شود می‌توان فرصت‌هایی را برای مواجهه با آن فراهم آورد. فن‌آوری اطلاعات می‌تواند به مسطح شدن زمین بازی بینجامد، چرا که به مصرف کنندگان قدرت می‌بخشد، طبقه ممتاز رانت‌جو را به چالش می‌کشد و از هزینه بسیاری از خدمات می‌کاهد. توان پردازش یک تلفن همراه هوشمند معمولی امروز بیشتر از کل توان پردازش موجود در موسسه فن‌آوری ماساچوست (ام‌آی‌تی) در دهه ۱۹۵۰ است. فن‌آوری اطلاعات همچنین به پویایی جهانی می‌انجامد چرا که به دورترین نقاط جهان می‌رسد و آنچه که زمانی کالاهای تجملی مخصوص ثروتمندان بود را به کالاهایی عادی برای فقرا تبدیل می‌کند. یوزف شومپتر<sup>۱۱</sup>، زمانی گفت که «دستاورد سرمایه‌داری نه فراهم آوردن جوراب‌های ابریشمی بیشتر برای ملکه، بلکه فراهم آوردن این جوراب‌ها برای دخترانی است که در کارخانه‌ها کار می‌کنند». این گزاره حتی در مورد دستگاه‌هایی مانند رایانه شخصی و تلفن همراه هوشمند به میزان بیشتری صدق می‌کند. نلد لود<sup>۱۲</sup> زمانی اعتقاد داشت که راه حل «مسئله ماشینی شدن» تخریب ماشین‌ها است. اما راه حلی هوشمندانه‌تر، به خدمت گرفتن آن ماشین‌ها است.

یکی از بزرگترین روندهای فن‌آوری طی پنجاه سال آینده، روندی خوشبینانه خواهد بود. اینکه سیاست‌گذاران درخواهند یافت که چگونه فن‌آوری را برای حل مسئله نابرابری شدید به خدمت بگیرند. در واقع، همین حالا هم می‌توان نمونه‌های بسیاری از آن را یافت.

11. Joseph Schumpeter

اقتصاددان اتریشی - آمریکایی که در سال ۱۹۵۰ فوت کرد.

12. Ned Ludd

رهبر جنبش لودسیم در قرن نوزدهم که اعضای آن ماشین‌های بافندگی را تخریب می‌کردند.

واضح‌ترین کاری که فن‌آوری می‌تواند برای ارتقای برابری انجام دهد کاهش هزینه ارائه خدمات کارگر محور (نیازمند نیروی انسانی) مانند آموزش است. چندین دهه است که هزینه ارائه خدمات آموزشی با کیفیت با سرعت بیشتری نسبت به دیگر هزینه‌های زندگی رشد کرده است. موسسات آموزشی برجسته به امتیازی تجملی برای ثروتمندان تبدیل شده‌اند: میانگین درآمد والدین دانشجویان دانشگاه هاروارد معادل ۲۵۰ هزار دلار در سال است. موسسات کمتر برجسته شاید دچار افت کیفیت آموزشی بوده‌اند. هرچند که کشورهای اروپای قاره‌ای<sup>۱۳</sup> به رایگان و همگانی بودن آموزش عالی در کشورهایشان می‌بالند اما در میان فهرست‌های مختلف مربوط به سی دانشگاه برتر جهان، هیچ نماینده‌ای از کشورهای منطقه یورو حضور ندارد. برخی از دانشگاه‌های این منطقه کیفیت بسیار پایینی دارند.

ویلیام بومول<sup>۱۴</sup> زمانی گفته بود رشد بهره‌وری در بخش خدمات به طور اجتناب‌ناپذیری کندتر از رشد بهره‌وری در بخش تولید خواهد بود، چرا که اجرای کوارتت زهی<sup>۱۵</sup> همواره به چهار نوازنده نیاز دارد. اما اتفاقاً مثالی که آقای بومول به کار می‌برد به تضعیف استدلالش می‌انجامد. به لطف فن‌آوری، اکنون می‌توانید بازتولید هر کوارتت زهی را در خانه گوش کنید، آن هم بدون اینکه نیازی به رفتن به سالن کنسرت و تحمل سرفه‌ها و سر و صداها ایجاد شده توسط دیگر تماشاچی‌ها باشد. در واقع به لطف اپلیکیشن‌هایی مانند اسپاتیفای<sup>۱۶</sup> و اپل موزیک<sup>۱۷</sup>، می‌توانید با پرداخت مبلغی نسبتاً منطقی به همه موسیقی‌هایی تاکنون به صورت تجاری عرضه شده‌اند گوش دهید. انقلاب دیجیتال زیربخش‌های زیادی از بخش خدمات، مانند خرده‌فروشی، و بخش تولید محصولات فکری، مانند روزنامه‌نگاری را تحت تاثیر قرار داده است. تحول ناشی از فن‌آوری در بخش‌های آموزش و

13. Continental Europe

بخشی از قاره اروپا که خشکی اصلی این قاره را در بر می‌گیرد و شامل بخش‌هایی مانند بریتانیا و ایسلند نمی‌شود.

14. William Baumol

اقتصاددان آمریکایی که حوزه تخصصی اش بازار کار بود.

15. String Quartet

قطعه‌ای موسیقی که برای چهار ساز زهی نوشته شده است.

16. Spotify

17. Apple Music

خدمات درمانی به‌وسیله شیوه‌های کاهش وابستگی به نیروی کار انسانی نیز اجتناب‌ناپذیر خواهد بود.

## خان آکادمی

فن‌آوری همین حالا هم به هزینه‌های بخش‌های خدماتی یورش برده است. خان آکادمی<sup>۱۸</sup> در حال حاضر هر ماه دروسی رایگان را به بیش از چهار میلیون کودک ارائه می‌دهد و بیش از پنج هزار درس در آن موجود است که تعداد آن نیز دائماً رو به افزایش است. بیل گیتس هم فرزندانش را تشویق می‌کند که از این آکادمی استفاده کنند. در آمریکا، از میان هر ده دانشجو یک نفر صرفاً از آموزش آنلاین استفاده می‌کنند و یک چهارم آنها نیز برخی اوقات از آموزش آنلاین بهره می‌برند. دانشگاه‌های پیشرو مانند موسسه فن‌آوری ماساچوست<sup>۱۹</sup>، استنفورد<sup>۲۰</sup> و دانشگاه کالیفرنیا در برکلی<sup>۲۱</sup> برخی از دروس را به صورت آنلاین عرضه کرده‌اند. دانشگاه پپل<sup>۲۲</sup> آموزش عالی رایگان (بدون در نظر گرفتن چند صد دلار هزینه‌های مربوط به پذیرش و آزمون‌ها) را ارائه می‌دهد. کاملاً درست است که نرخ ترک تحصیل در مراکز آموزشی کاملاً آنلاین به میزان ناامید کننده‌ای بیشتر است. اما ماه‌ها هنوز در مراحل اولیه توسعه آموزش آنلاین قرار داریم. دانشگاه‌های آنلاین به طور حتم شیوه‌های پیچیده‌تری را برای ارائه حمایت اجتماعی و تشویق دانشجویان خواهند یافت، همان‌طور که دانشگاه اپن<sup>۲۳</sup> در بریتانیا در دهه ۱۹۶۰ آموزش تلویزیونی و حضوری را در هم آمیخت. توان فن‌آوری به میزان قابل توجهی رو به رشد است: کیفیت ویدئوهای آنلاین رو به افزایش است و تنها زمان لازم است تا قادر باشیم تا تصاویر هولوگرافیک اساتید برجسته را در کلاس‌های بزرگ درس در سرتاسر جهان ایجاد کنیم.

18. Khan Academy

19. MIT

20. Stanford

21. University of California at Berkeley

22. The University of the People

23. Open University

همچنین در حال حاضر برای افزایش کارایی آموزش نیز از فن آوری استفاده می‌شود. شرکت‌های بسیاری مانند ریزنینگ ماینند<sup>۲۴</sup> و دریم باکس<sup>۲۵</sup>، نرم‌افزارهایی بر اساس یادگیری ماشین تولید می‌کنند که از قابلیت تطبیق‌پذیری و شخصی‌سازی برخوردارند و داده‌های مربوط به عملکرد هر کودک را جمع‌آوری کرده و بر اساس آن شیوه تدریس ویژه‌ای را طراحی می‌کنند. این برنامه‌ها به خصوص در مدارس چارتر از جمله راکت‌شیپ اجوکیشن<sup>۲۶</sup> در کالیفرنیا و نیو کلسرومز<sup>۲۷</sup> در نیویورک محبوب هستند. تعداد مدارس که با استفاده از آی‌پد به دنبال تحول در کلاس درس هستند نیز رو به افزایش است. در این کلاس‌ها به جای تلاش برای انتقال دانش در کلاس درس، آموزگاران کودکان را تشویق می‌کنند که دروس را در خانه و به وسیله آی‌پد بیاموزند و زمان کلاس درس به بحث در مورد آموخته‌ها می‌گذرد.

یکی از مواردی که باعث شده مقابله با نابرابری بسیار سخت باشد، این است که نابرابری خیلی زود آغاز می‌شود؛ از رحم مادر، کالسکه بچه و پیش دبستانی. مادران طبقه متوسط تلاش می‌کنند تا جنین در رحم شرایط سالمی داشته باشد. تعداد واژه‌هایی که طی دو سال نخست زندگی به گوش کودکان طبقه متوسط می‌رسد عموماً میلیون‌ها بار بیشتر از واژه‌هایی است که کودکان طبقه کارگر می‌شنوند. احتمال اینکه والدین طبقه متوسط پیش از مدرسه فرصت‌های آموزشی را برای فرزندانشان مهیا کنند بیشتر است. سیاست‌گذاران در ابتدا تلاش کردند که با دخالت‌هایی نسبتاً آشکار مانند تقویت آموزش‌های پیش‌دبستانی با این مشکل مواجه شوند. اما اکنون آنها دخالت‌های نامحسوس‌تری مانند ترغیب غیرمستقیم مادران به تغذیه سالم‌تر و تشویق آنها به تقویت ذهن کودکان را به کار می‌گیرند. فن‌آوری‌های تازه می‌تواند سهم قابل توجهی در این دخالت‌های نه چندان آشکار داشته باشد. در سال ۲۰۱۴، شهردار پراویدنس<sup>۲۸</sup> در ایالت

24. Reasoning Mind

25. DreamBox

26. Rocketship Education

27. New Classrooms

28. Providence

رودآیلند<sup>۲۹</sup>، آقای آنجل توارس<sup>۳۰</sup>، برنامه مداخله در دوران نوزادی را به کار گرفت. در این برنامه که پراویدنس تاکس<sup>۳۱</sup> نام داشت، والدین دستگاه‌هایی را به همراه داشتند که تعداد واژه‌هایی که روزانه به کار می‌بردند را ثبت می‌کرد و مشاوره‌هایی را برای بهتر سخن گفتن با کودکان ارائه می‌داد. دستگاه آقای توارس آغازی بر یک روند جدید است: طی چند سال ادارات مربوط به رفاه اجتماعی به طور منظم دستگاه‌هایی را در اختیار مادران بی بضاعت قرار خواهند داد که نه تنها در تربیت فرزند آنها را راهنمایی کند، بلکه شیوه عملکرد آنها را بسنجد و برای بهبودش موثر باشد.

### بی بهره نماندن جود گمنام

دلیل دیگر برای پابرجا ماندن نابرابری مشکل «جود گمنام<sup>۳۲</sup>» است: کودکان با استعداد طبقات فرودست مورد بی‌توجهی قرار می‌گیرند و پژمرده می‌شوند؛ در حالی که کودکان نه چندان با استعداد طبقه متوسط می‌درخشند و توسط والدین لوس‌پرور به ابتدای صف برده می‌شوند. فن‌آوری‌های پیشرفته می‌تواند در شناخت کودکان با استعداد دقیق‌تر عمل کند: مدارس و دانشگاه‌ها قادر خواهند بود که شیوه‌های پیچیده‌تری و داده‌های به مراتب بیشتری را برای کشف استعدادهای کشف نشده به کار بگیرند. در این مورد ارتش اسرائیل تصویری اجمالی از آنچه در آینده روی خواهد داد را به تصویر می‌کشد. واحد ۸۲۰۰ در این ارتش که گروهی برجسته برای امنیت سایبری است، برای کشف استعدادهای بدون توجه به طبقه اجتماعی مدارس را تحت نظر می‌گیرد. استعدادیاب‌های این واحد بر عملکرد کودکان هنگام بازی‌های ویدئویی و همچنین آزمون‌های فراگیرتر نظارت می‌کنند تا هرگونه نشانه‌ای از نبوغ را شناسایی کنند و هنگامی که نابغه‌ای را بیابند، برای او آموزش‌های ویژه و حمایت مالی قابل توجهی را

29. Rhode Island

30. Angel Taveras

31. Providence Talks

32. Jude the Obscure

داستانی نوشته توماس هاردی که در آن شخصیت داستان که فردی از طبقه فرودست است آرزو دارد که به دانشگاه برود.



فراهم می‌آورند. فارغ التحصیلان این واحد مجموعه از شرکت‌های حوزه فن‌آوری از جمله چک پوینت<sup>۳۳</sup>، ایمپروا<sup>۳۴</sup>، نایس<sup>۳۵</sup>، گیلات<sup>۳۶</sup>، ویز<sup>۳۷</sup>، تراستیر<sup>۳۸</sup> و ویکس<sup>۳۹</sup> را بنیان نهاده‌اند.

فن‌آوری همچنین می‌تواند دو ضعف بزرگ آموزش مدرن یعنی آموزش فنی حرفه‌ای و راهنمای اشتغال را برطرف سازد. آموزش فنی حرفه‌ای رابطه‌ی ضعیفی با آموزش مدرن دارد: تمرکز شدید مدارس بر روی آموزش دانشگاهی به گسترش دانشگاه‌ها انجامیده است. فن‌آوری می‌تواند جذابیت و انرژی را برای آموزش فنی حرفه‌ای به ارمغان بیاورد. برای مثال برخی شرکت‌ها اکنون آموزش‌هایی مربوط به فن‌آوری پیشرفته را عرضه می‌کنند که به دانش آموزان امکان می‌دهد که حس کنترل یک ماشین قدرتمند یا عملیاتی ظریف را تجربه کنند.

راهنمای اشتغال نیز به طور تاریخی امری بوده که چندان جدی گرفته نمی‌شده است: زمانی که من در دانشگاه تحصیل می‌کردم، مشاوره اشتغال به معنی رفتن و دیدن یک افسر بازنشسته ارتش در منطقه آکسفورد شمالی بود. نوآوران جدید راهکارهایی تکنولوژیکی را برای این مشکل به کار گرفته‌اند. لرن‌آپ<sup>۴۰</sup>، شرکتی در دره سیلیکون، تلاش می‌کند به جویندگان شغل که مدرک دانشگاهی ندارند، مهارت‌های لازم برای یافتن شغل را ارائه دهد. الکسیس رینگوالد<sup>۴۱</sup>، بنیانگذار این شرکت، یک شغل متداول در دره سیلیکون را رها کرد تا شش ماه را به بررسی وجه دیگر منطقه اختصاص دهد، وجهی که در آن افراد بدون تحصیلات دانشگاهی چندین ماه را در صفوف بیکاران سپری می‌کنند و در مواردی بی‌خانمان می‌شوند. او دریافت که بسیاری از افرادی که برای مدتی طولانی بی‌کار هستند از برخی مهارت‌های پایه‌ای نیز بی‌بهره‌اند، یعنی نمی‌دانند که مشاغل موجود چه

33. CheckPoint

34. Imperva

35. Nice

36. Gilat

37. Waze

38. Trusteer

39. Wix

40. LearnUp

41. Alexis Ringwald

شرح وظایفی را طلب می‌کنند و یا نمی‌دانند چگونه در مصاحبه شغلی خود را نشان دهند. لرن آپ سامانه‌ای را ایجاد کرده که به مهارت‌های پایه‌ای مانند شیوه رفتار در مصاحبه شغلی و استفاده از ماشین فتوکپی را می‌آموزد. این اپلیکیشن اکنون در حال همکاری با شرکت‌های بزرگی است که معمولاً با مشکل عدم مهارت کارکنان مواجه هستند. برای مثال، درس‌های آنلاین آمادگی مهارت‌های شغلی برای دویست هزار جوینده کار در ۳۵۰ فروشگاه لباس فروشی الدنیوی<sup>۴۲</sup> در سرتاسر آمریکا توسط این شرکت لرن آپ ارائه شده است.

برخی از شرکت‌های حوزه فن‌آوری، مانند سیسکو<sup>۴۳</sup>، مشغول برنامه‌ریزی برای «ماشین‌های راهنمای آموزش فنی حرفه‌ای» هستند که به جوانان می‌گوید که بر اساس علایق و توانایی‌هایشان احتمالاً چه شغلی را دوست دارند و کجا می‌توانند آموزش‌های حضوری یا مجازی لازم مربوط به این شغل را کسب کنند. اما این‌ها تنها آغازی برای گسترش فعالیت‌های مشابه است. چرا اپلیکیشنی مانند تیندر<sup>۴۴</sup> برای آموزگاران دانشگاهی اختراع نشود؟ این اپلیکیشن می‌تواند هزاران فردی که آماده ارائه آموزش حضوری و غیرحضوری هستند را به شما معرفی کند. چرا از فن‌آوری قدرتمند مربوط به بازی‌های رایانه‌ای برای آموزش استفاده نشود؟ بچه مدرسه‌ای‌های کم‌بضاعت، به خصوص پسران، اگر ببینند که آموزش به شاخه‌ای از جهان بازی‌های رایانه‌ای تبدیل شده، ممکن است دیگر از یادگیری فراری نباشند. چنین امکانی ارزش جدی گرفته شدن را دارد. چرا دانشگاه‌ها همان‌قدر که با جدیت به دنبال ستاره‌های ورزشکار می‌گردند<sup>۴۵</sup> در جستجوی استعداد‌های طبقه کارگر نیستند؟ دانشگاه‌ها معمولاً استعدادیابی را به نقاط مختلف کشور می‌فرستند تا کودکان با استعداد را شناسایی کنند. چرا از شیوه‌های الکترونیکی مانند بازی‌های رایانه‌ای برای یافتن کودکان

42. Old Navy

43. Cisco

44. Tinder

تیندر اپلیکیشنی است مخصوص زوج‌یابی.

۴۵. دانشگاه‌ها در آمریکای شمالی از حضور ورزشکاران با استعداد به شدت استقبال می‌کنند و برای آنها کمک هزینه‌هایی را در نظر می‌گیرند.

نابغه استفاده نشود؟

به رغم آنچه بسیاری نگرانند، فن‌آوری همچنين می‌تواند برای بهبود زندگی کارکنان رده پایین، و نه به حاشیه راندن آن‌ها، نیز به کار گرفته شود. جنرال الکتریک ادعا می‌کند که به دنبال استفاده از فن‌آوری بیشتر به عنوان راهی برای ارتقای کارکنان است تا جایگزین کردن آن‌ها؛ چرا که کارکنان نیمه‌ماهر می‌توانند با کمک آی‌پدها و اپلیکیشن‌های مناسب اموری را انجام دهند که پیش‌تر انجام آن‌ها نیازمند کارگرانی ماهر بود. شرکت همچنين اشاره می‌کند که در این شیوه برای افرادی بیرون از شرکت که راه‌حلی را برای مشکلات شرکت ارائه می‌دهند، جوایزی را در نظر می‌گیرد و شانس اینکه فردی بدون طی کردن روال عادی استخدام در شرکت مشغول به کار شود افزایش می‌یابد.

### می‌گوییم که انقلاب داده‌ها می‌خواهی

نابرابری اجتماعی به وسیله نابرابری بهداشتی تقویت می‌شود. فقرا زودتر از ثروتمندان فوت می‌کنند و در دوران حیات نیز سلامت کمتری دارند. کلان داده‌ها می‌توانند برای مقابله سریع‌تر با مشکلات مربوط به بهداشت عمومی به کار گرفته شوند. چنین مشکلاتی بیشتر در میان اقشار فرودست شایع است تا اقشار ثروتمند. ابزار و دستگاه‌های پوشیدنی می‌توانند مشکل پزشکی را پیش از وقوع آن تشخیص دهند، به بیماران فراموشکار یادآوری کنند که زمان مصرف دارو فرا رسیده و بر وضعیت بیمار پس از ترخیص از بیمارستان نظارت کنند. هرچه چنین ابزارهایی ارزان‌تر و فراگیرتر شوند، امکان دسترسی به آن‌ها برای اقشار تهی دست و همچنین ثروتمندان بیشتر مهیا خواهد شد.

جرم و جنایت و فساد اداری نیز به تشدید نابرابری اجتماعی می‌انجامد. دوربین‌هایی که بر روی لباس نیروهای پلیس نصب می‌شوند می‌توانند جلوی پلیس‌های سرکش را بگیرند و یا در صورت ارتکاب جرم، در محکومیت آن‌ها به کار بیایند. ادارات بزرگ پلیس مانند پلیس نیویورک و پلیس لس‌آنجلس برای تخصیص نیروهای پلیس به نقاط جرم خیز از کلان داده‌ها

بهره می‌برند. فساد اداری نیز یکی از مشکلات اساسی در جهان در حال توسعه (و برخی از کشورهای ثروتمند) است. فن‌آوری می‌تواند بر روی این بخش تاریخ اقتصاد نور بیفکند. کسانی که بابت رشوه آسیب دیده‌اند می‌توانند فساد مقامات را به وسیله فن‌آوری‌های تازه ضبط و ثبت کنند. رسواکنندگان فساد اداری می‌توانند اقدامات و قراردادهای مشکوک را افشا کنند، همان‌طور که در مورد اسناد پاناما<sup>۴۶</sup> این اتفاق روی داد. این نقل قول در کتاب مقدس مینی بر اینکه «می‌توانید مطمئن باشید که گناهانتان شما را خواهند یافت» در جهان کلان‌داده‌ها که دوربین‌ها همه جا حضور دارند بیش از پیش درست جلوه می‌کند.

اما مهم است که همه چیز را صرفاً به پیشرفت فن‌آوری نسپاریم. شومپیتر شاید درست می‌گفت که نوآوری به طور اجتناب‌ناپذیری اقشار پایین‌تر و توده‌ها را نیز منتفع می‌سازد. اما اینکه چقدر سریع این اتفاق روی خواهد داد به سیاست‌گذاری بخش عمومی مربوط می‌شود. برخی کشورها مانند سوئد و سنگاپور برای فراهم آوردن پهنای باند سریع و فراگیر تلاش بیشتری کرده‌اند. برخی نوآوری‌های ناشی از فن‌آوری، مانند طرح آلمان برای مجهز ساختن کارگاه‌های کوچک در بنگلادش، نتایج بسیار خوبی به همراه داشته‌اند. برخی از طرح‌های دیگر، مانند طرح هر بچه یک لپ‌تاپ که توسط نیکلاس نگروپونته<sup>۴۷</sup> ارائه شده بود چندان موفق نبودند. پیشرفت فن‌آوری به تنهایی مشکل افزایش نابرابری را حل نخواهد کرد: ثروتمندان معمولاً در پذیرش فن‌آوری‌های تازه سرعت عمل بیشتری دارند و در استفاده از آن برای افزایش توانایی‌هایشان بهتر عمل می‌کنند، به جای اینکه صرفاً از فن‌آوری برای سرگرم شدن بهره ببرند. جوامعی ناکارآمد تنها به خاطر اتصال به اینترنت به جوامع کارآمد تبدیل نخواهند شد. هنگامی که به ایده‌آی‌پد دادن به بچه‌ها اشاره کردم تا بدین وسیله کودکان قادر باشند در خانه هم به یادگیری ادامه دهند، احتمالاً یک معلم

۴۶. اسنادی که در سال ۲۰۱۵ منتشر شد و نشان دهنده فرار مالیاتی برخی از افراد مشهور بود.

47. Nicholas Negroponte

مدرسه در محله‌ای فقیر در ژوهانسبورگ<sup>۴۸</sup> ابروهایش را بالا انداخت و به این نکته اشاره کرد که این آی‌پد به سرعت سرقت شده و در بازار به فروش خواهند رسید.

اما فن‌آوری اگر توسط سیاست‌گذاران روشنفکر به کار گرفته شود و با سیاست‌های اجتماعی گسترده‌تری برای کاهش نابرابری همراه شود می‌تواند ابزار بسیار قدرتمندی باشد. سیاست‌گذاران باید با دقت به دو پرسش بیندیشند. برابری چیست؟ و چه کسی مسئول فراهم آوردن آن است؟

### فن‌آوری هوشمند، سیاستمداران عاقل؟

بسیاری از سیاست‌گذاران همچنان برابری در نتایج و برابری در فرصت‌ها را با یکدیگر اشتباه می‌گیرند. برابری در نتایج با پویایی در جامعه ناسازگار است و انگیزه‌های افراد برای کار و تلاش و ارائه ایده‌های تازه را از بین می‌برد. به همین خاطر تلاش برای ایجاد برابری در نتایج معمولاً با نتایجی معکوس همراه می‌شود: انقلاب مساوات‌گرایانه در آموزش در دهه ۱۹۶۰ به تقویت شکاف‌های اجتماعی منجر شد. اما برابری فرصت‌ها برای یک جامعه پویا ضروری است چرا که تضمین می‌کند که پادشاه‌ها در جامعه بر اساس دستاوردها و شایستگی افراد توزیع می‌شود.

بسیاری از سیاست‌گذاران هنوز در عصر دولت‌های بزرگ به سر می‌برند. دولت‌های بزرگ از دهه ۱۹۶۰ به بعد ناکام بوده‌اند بیشتر به این خاطر که جامعه‌ای که فردیت در آن اهمیت یافته و نگرش توده در آن کم‌رنگ شده نیازمند راهکارهای تازه‌ای است. سیاست‌گذاران باید منابع دامنه وسیعی از نهادها دولت‌های محلی و همچنین دولت‌های مرکزی، سازمان‌های مردم‌نهاد و سازمان‌های بخش خصوصی و همچنین سازمان‌های بخش عمومی، میلیاردرهای خیر و همچنین وزرای دولتی را به کار بگیرند. موسسه دیلویت برآورد می‌کند که تعداد بنگاه‌های اجتماعی فعال در آمریکا، بریتانیا و کل اتحادیه اروپا به ترتیب ۶۵۰ هزار، ۶۲ هزار و رقمی بین

۴۸. پایتخت آفریقای جنوبی

۴۰۰ هزار تا ۲ میلیون و ۳۰۰ هزار بنگاه است. دولت‌ها همچنین باید تا آنجا که امکان دارد قدرت تصمیم‌گیری را به شهروندان تفویض کنند. جهانی که در آن هر کسی یک رایانه در جیب دارد با جهانی که قدرت پردازش رایانه‌ای تنها به چند اداره دولتی محدود بود بسیار متفاوت است.

انقلاب تلفن‌های همراه هوشمند به سیاست‌گذاران اجازه داده تا خرد جمعی را برای حل مشکل نابرابری به کار بگیرند. در شهر بوستون آمریکا اپلیکیشنی برای تلفن همراه وجود دارد که افراد می‌توانند به وسیله آن چاله‌های شهر یا نقاشی‌های خیابانی (گرافیتی) عکس بگیرند و برای شهرداری بفرستند. این اپلیکیشن به طور خودکار موقعیت مکانی مشکل گزارش شده را تشخیص داده و به شهرداری گزارش می‌دهد. شیوه مشابهی را می‌توان برای شناسایی ساختمان‌های مخروبه‌ای که برای مدارس به کار گرفته می‌شوند و یا شناخت مدرسی که نظم و ترتیب چندان‌ی ندارند به کار گرفت، به خصوص که این دو معضل در کاهش انگیزه‌های تحصیلی دانش‌آموزان نقش پررنگی دارند. سازمان پروژه‌های تحقیقاتی پیشرفته دفاعی<sup>۴۹</sup>، دارپا<sup>۵۰</sup>، از شیوه جمع‌سپاری<sup>۵۱</sup> برای بهبود طراحی تجهیزات نظامی بهره برده است. شاید رویکرد مشابهی باید برای بهبود کتاب‌های درسی و تجهیزات مدارس به کار گرفته شود. جنیفر پالکا<sup>۵۲</sup>، بنیانگذار موسسه کد برای آمریکا، اعتقاد دارد که بهترین راهکار برای دولت‌ها، نه شبیه شدن به شرکت‌های خصوصی، بلکه شبیه شدن به اینترنت است: باز و مولد، بدون چارچوب سفت و سخت و مشخص.

او همچنین باید «مقیاس‌پذیری» را نیز به فضیلت‌ها بیفزاید. یکی از بزرگترین فضایل فن‌آوری پیشرفته این است که به شما اجازه می‌دهد که راه‌حلی را بیازمایید و سپس راه‌حل‌های موفق را با سرعتی اعجاب‌انگیز در مقیاسی بزرگ گسترش دهید (رید هافمن<sup>۵۳</sup>، بنیانگذار شرکت لینکدین<sup>۵۴</sup>

49. The Defence Advanced Research Projects Agency

50. DARPA

51. Crowdsourcing

52. Jennifer Pahlka

53. Reid Hoffman

54. LinkedIn

این پدیده را «رشد به مقیاس برق‌آسا<sup>۵۵</sup>» می‌نامند. هنگامی که سلمان خان در سال ۲۰۰۴ ویدئوهایش را بر روی یوتیوب قرار می‌داد در واقع قصد داشت که به اعضای خانواده‌اش آموزش بدهد. اما افراد خارج از خاندان او نیز خیلی زود شروع به تماشای ویدئوها کردند. بیل گیتس نیز در میان این تماشاچیان جای داشت و سپس با کمک مالی هنگفتی از سلمان خان حمایت کرد. اکنون ویدئوهای خان آکادمی بیش از ۴۵۰ میلیون بار دیده شده‌اند. این ویدئوها حدود صد هزار مساله را نیز در بر می‌گیرند که تاکنون دو میلیارد بار حل شده‌اند.

بحث درباره اثر اجتماعی فن‌آوری به اشغال افرادی قرار گرفته که دیدی افراطی دارند. آن‌هایی که به آرمانشهر فن‌آوری باور دارند استدلال می‌کنند که نوآوری‌های تکنولوژیکی به طور خودکار برای همه رفاه به ارمغان خواهد آورد. بدبینان به فن‌آوری معتقدند که پیشرفت فن‌آوری جامعه را به دو گروه متخاصم تبدیل خواهد کرد. حامیان سرسخت بازار آزاد معتقدند که هر دخالتی در ماشین فن‌آوری، اثراتی مخرب در پی خواهد داشت. دولت‌گرایان فکر می‌کنند که دولت‌ها باید قدرت و نفوذ خود در جهان دیجیتال را افزایش دهند.

به طور حتم راه سومی هم در مورد برخورد با انقلاب دیجیتالی وجود دارد. ما باید به قدرت فن‌آوری ارج بنهیم، اما دریابیم که پیشرفت فن‌آوری بازندگانی را نیز خواهد داشت، و برای دخالت جهت اصلاح بازار باید به خاطر داشته باشیم که دولت‌ها می‌توانند اثرات مخربی نیز داشته باشند. فن‌آوری قدرت حل معضل افزایش نابرابری را برای ما به ارمغان آورده است. اینکه بتوانیم این قدرت را در اختیار بگیریم، تنها به هوش و امکانات فن‌آوری‌ها وابسته نیست، بلکه به خرد سیاستمداران نیز بستگی دارد.

# فصل هفدهم

## کار و خیزش ماشین‌ها

لیندا گرتون<sup>۱</sup>

فن‌آوری پرسش‌های بسیاری را در مورد آینده کار ایجاد خواهد کرد، اما یک مورد مشخص است: سازمان‌هایی موفق خواهند بود که تطبیق‌پذیری را به یکی از ویژگی‌های درونی خود تبدیل کنند.

---

1. Lynda Gratton



در سرتاسر جهان، کارگران در هر سن و سالی که باشند با بهت و حیرت و در برخی مواقع ترس و نگرانی به تاثیر ماشین‌ها بر کار و به خصوص شغل آنها می‌نگرند. آنها تنها نیستند، وزرای دولت‌ها نیز نگرانند که چقدر شغل از بین خواهد رفت و دامنه بیرون رانده شدن نیروی کار انسانی از بازار کار تا کجا گسترش خواهد یافت. آیا ماشین‌ها شغل ایجاد می‌کنند یا مشاغل را از بین می‌برند؟ آیا اثر آنها سال آینده حس خواهد شد یا نمایان شدن آثار آنها یک دهه به طول خواهد انجامید؟ آیا مشاغلی که به خاطر اتوماسیون از بین می‌روند، با مشاغل دیگری جایگزین خواهند شد؟ در این صورت، این مشاغل جدید چه ویژگی‌هایی خواهند داشت؟

تماشای پیشرفت ماشین‌ها شگفت‌انگیز است: خودروها نیازی به راننده ندارند، ماشین آلفاگو که توسط شرکت گوگل ساخته شده در بازی تخته‌ای گو بهترین بازیکن جهان را شکست می‌دهد، الگوریتم‌ها رزومه‌های کاری را بررسی می‌کنند و یا در مورد استراتژی شرکت مشاوره می‌دهند. به نظر می‌رسد که ماشین‌ها توان انجام تقریباً هر کاری را دارند.

طی بیش از هفت سال مدیریت کنسرسیوم تحقیقات آینده کار<sup>۱</sup>، اثر ماشین‌ها بر کار را نظاره کرده‌ام. این کنسرسیوم مدیران بیش از نود شرکت بین‌المللی از سرتاسر جهان و از بخش‌های اقتصادی مختلف را گرد هم می‌آورد. ما به وسیله کارگروه‌ها، گروه‌های متمرکز و نظرسنجی سالیانه، به طور دقیق اثرات ماشین‌ها بر کار را تحت نظر داریم. همگام شدن با ورود دائمی پیشرفت‌های جدید در هوش مصنوعی، کلان داده، یادگیری ماشین و دامنه وسیعی از فن‌آوری‌ها چالش برانگیز است.

هر مکتب فکری تلاش می‌کند تا تفسیر مخصوص به خود در مورد این روندهای تازه در فن‌آوری و تاثیر آنها بر اشتغال و جامعه را ارائه دهد. پیچیدگی ناشی از این تفسیرهای متفاوت به این معنی است که در حال حاضر نمی‌توان به نتایجی دقیق در مورد تاثیر روندهای فن‌آوری بر

اشتغال طی دهه‌های پیش‌رو دست یافت. با این حال، چندین پرسش نوظهور را می‌توان برشمرد که به اعتقاد من در مرکز بحث در مورد تاثیر فن‌آوری بر اشتغال قرار دارند.

### آیا ماشین‌ها زمانی برای اندیشه انتقادی و تمرکز باقی خواهند گذاشت؟

ماشین‌هایی که در حال تغییر ساختار کار هستند، ابزاری خنثی نیستند که مستقل از افراد و جامعه ظهور کرده باشند، بلکه شیوه طراحی و استفاده از آنها نشان دهنده انتخاب ما برای شیوه کار و میزان تاثیرگذاری این ماشین‌ها بر کار و جامعه است. این رابطه متقابل میان طراحی و استفاده از ماشین‌ها را می‌توان در توسعه ماشین‌هایی به وضوح مشاهده کرد که برای صرفه‌جویی در زمان با ارزش ما ظهور کردند. در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰، زمان آزاد زنان خانه‌دار به لطف ماشین‌هایی که در داخل منازل به کار گرفته می‌شدند (مانند ماشین لباس‌شویی، ماشین خشک‌کن، جاروبرقی) افزایش یافت و آنها توانستند که وارد بازار کار شوند. در سال‌های اخیر، فن‌آوری‌هایی که می‌توان آنها را در تلفن‌های همراه هوشمند مشاهده کرد برای آسان‌تر ساختن ارتباط با دیگران ظهور کردند تا امور به شیوه موثرتری انجام شوند و رسیدگی به امور شخصی ساده‌تر شود. ایده اصلی این بود این فن‌آوری‌ها انسان را قادر سازند که تمرکزش را بر روی مهارت‌های ارزشمند و بی‌نظیر بشر مانند خلاقیت، کنجکاوی و نوآوری قرار دهد که نیازمند تمرکز و زمان‌اند. شکی نیست که ماشین‌ها واقعا زمان مورد نیاز برای برخی اموری که پیش‌تر نیازمند نیروی انسانی بودند را کاهش داده است: تحلیل‌گران برای بررسی حجم عظیمی از داده‌ها از الگوریتم‌ها بهره می‌برند در حالی که پیش‌تر باید با شیوه‌های سنتی برای کشف روندهای موجود در داده‌ها تلاش می‌کردند و سامانه موقعیت‌یاب نیز به آنها که در زنجیره تامین فعال هستند امکان می‌دهد که موجودی را با دقت به مراتب بیشتر و تلاشی کمتر از گذشته دنبال کنند.

با این حال تناقض اینجاست که بیشتر ماشین‌ها هرچند واقعا برای

ما زمان بیشتری را به ارمغان آورده‌اند اما همین فن‌آوری‌ها فضا برای ویژگی‌های ارزشمند انسانی مانند بروز خلاقیت و تفکر عمیق را تنگ کرده‌اند.

فراگیر بودن فن‌آوری و به طور خاص دائمی شدن ارسال پیام‌ها و اطلاع‌رسانی باعث شده انسان‌ها بیش از حد درگیر فن‌آوری شوند. حواس کارگران دائما به خاطر جریان اطلاعات پرت می‌شود (و در واقع خودشان حواس خودشان را پرت می‌کنند) که به کاهش تمرکز و توان درک آنها منجر می‌شود. در نتیجه به جای اینکه وقت بیشتری برای اندیشه‌های ناب و خلاقانه داشته باشیم، ذهن ما مشغول‌تر از همیشه است و تحت هجوم حقایق، حقایق نصفه و نیمه و شایعات قرار دارد که همگی به صورت اطلاعات به ذهن ما سرازیر می‌شوند. مطالعات مربوط به عادات روزانه ما نشان می‌دهند که یک نیروی کار به طور متوسط ۱۵۰ بار در روز تلفن همراهش را بررسی می‌کند و پیغام‌ها، توییت‌ها و یا دیگر شبکه‌های اجتماعی هر ده دقیقه و نیم، در کار او وقفه ایجاد می‌کنند. پس از هر کدام از این وقفه‌ها به طور متوسط ۲۳ دقیقه زمان لازم است تا این کاربران رسانه‌های اجتماعی بار دیگر به سطح تمرکز سابق بازگردند.

بنابراین پرسش اینجاست که آیا در آینده واقعا سبب ایمیل در روز خواهیم داشت و تنها راه برای خروج از این وضعیت ماشین‌های هوشمندتر است؟ واضح است که چالش رو به رشد برای فن‌آوری و کار یافتن راه‌هایی برای کاهش میزان «اختلال» در محیط کار است تا فضا و زمان برای مهارت‌های ارزشمند بشری یعنی خلاقیت، دآوری و تصمیم‌گیری مهیا شود.

### آیا ماشین‌ها همه تصمیم‌ها را خواهند گرفت؟

یکی از ویژگی‌هایی که انسان‌ها را از گونه‌های دیگر تمیز می‌دهد، ظرفیت اخذ تصمیمات پیچیده است. آیا با پیچیده‌تر شدن ماشین‌ها، این توان تصمیم‌گیری به عنوان مهارتی صرفا انسانی با چالش مواجه

خواهد شد؟ شواهد نشان می‌دهند ماشین‌ها در برخی شرایط در تصمیم‌گیری از انسان‌ها بهتر عمل می‌کنند. برای مثال، همین حالا الگوریتم‌ها می‌توانند مواردی مانند احتمال خروج یک کارمند و عملکرد او در آینده را با دقت بهتر از مدیران برآورد کنند. تحلیل هفده پژوهش در مورد برآورد متقاضیان کار نشان می‌دهد که معادلات ریاضی در انتخاب کارمندان تا ۲۵ درصد بهتر از انسان‌ها عمل می‌کنند. پس آیا می‌توان انتظار داشت که تصمیم‌گیری و برخی از وظایف مربوط به مدیریت انسان‌ها بیش از پیش به الگوریتم‌ها سپرده شود؟

آیا باید برای آینده‌ای آماده باشیم که اداره امور در آن بر عهده تحلیل‌های پیشگویانه ماشینی است؟ این‌ها برخی از پرسش‌هایی است که در نشست در مجمع جهانی اقتصاد<sup>۲</sup> در داووس<sup>۳</sup> در سال ۲۰۱۴ به آنها پرداخته شد، جایی که من ریاست نشستی با عنوان «رایانه‌های بهتر از انسان‌ها تصمیم می‌گیرند» را بر عهده داشتم. مشخص بود که پاسخگویی به این پرسش نیازمند شناختی دقیق از شیوه تعامل و ارتباط انسان با یادگیری ماشین خواهد بود. برای مثال، آیا کارگران متقاعد خواهند شد که به هوش مصنوعی اطمینان کنند و آیا سپردن تصمیم‌گیری به ماشین‌ها با خطر انجام اقداماتی منطقی اما نه چندان اخلاقی همراه خواهد بود؟ آیا هرگز می‌توان ارزش‌ها و احساسات را در رایانه‌ها ایجاد کرد؟

بررسی‌ها نشان می‌دهند که بسیاری از کارگران و سازمان‌ها تمایلی به سپردن تصمیم‌گیری نهایی به ماشین‌ها ندارند، حالا این تصمیم‌نهایی تشخیص بیماری باشد یا پیش‌بینی سیاسی، مردم هنوز قضاوت انسانی قضاوت خودشان یا فردی دیگر- را به قضاوت الگوریتم‌ها ترجیح می‌دهند. تا حدی به این خاطر که همان‌طور که دانش‌عصب‌شناسی نشان می‌دهد، تصمیمات انسانی بیشتر احساسی هستند تا اینکه از منطقی پیروی کنند که بتوان آنها را به زبان برنامه‌نویسی نوشت. به

2. World Economic Forum

3. Davos

نظر می‌رسد که بیشتر انسان‌ها هم بر اساس شناخت و هم بر اساس بصیرت تصمیم‌گیری می‌کنند، که مربوط به قشری از مغز می‌شود که طی دو میلیون سال تکامل یافته است. این عنصر از پیشرفت انسانی را نمی‌توان به راحتی فهمید و بازتولید کرد و در نتیجه به زبان رایانه نوشت. به بیان ساده‌تر، حقیقت به مراتب پیچیده‌تر از انجام پیش‌بینی‌های ساده است که ماشین‌ها بتوانند به سادگی از ابزاری برای پیش‌بینی ساده به تصمیم‌گیری تبدیل شوند که از حقیقت شناخت دارند. اما این همچنین اهمیت رو به رشد و ارزش توانایی‌های انسان برای داوری پیچیده و تصمیم‌گیری را برجسته می‌سازد.

آیا ماشین‌ها ساختار قدرت را از سلسله‌مراتبی به شبکه‌ای تغییر خواهند داد؟

ظهور ماشین‌های نه‌چندان گران که ارتباطات و شبکه‌های اجتماعی و جمع‌سپاری را تسهیل می‌کنند فرصت‌هایی را برای ایجاد سریع شبکه‌هایی با توزیع جهانی مهیا می‌سازد. این افراد و گروه‌ها می‌توانند فرای مرزهای سیاسی با یکدیگر در ارتباط باشند، اطلاعات را با سرعتی برق‌آسا به اشتراک بگذارند، به سرعت اعضای جدید را بپذیرند و اقداماتی به ظاهر بدون رهبری را پیش ببرند. آیا افزایش ارتباط همتا به همتا<sup>۴</sup> ساختار قدرت را از سلسله‌مراتب عمودی به شبکه‌های افقی تغییر خواهد داد؟ آیا کسب و کارهای آینده بیشتر «فلتوکراسی»<sup>۵</sup> بدون سلسله‌مراتب، خواهند بود که در آن عملیات با سازوکارهای قدرت برابر میان اعضا انجام شود و نه دستورات رهبران کسب و کارها؟ هنگامی که فن‌آوری بسیاری از افراد را قادر خواهد ساخت که اطلاعات بیشتری در مورد خودشان، همکاران و جهان داشته باشند، مدیران چه نقشی بر عهده خواهند داشت و در واقع آیا آن زمان رهبری تجاری متحول خواهد شد؟

جالب اینکه آثار بالقوه هم سطح سازی فن‌آوری هنوز ظاهر نشده‌اند.

4. Peer-to-Peer

5. flatocracy

آزمایش‌ها برای کنار گذاشتن ساختار عمودی سلسله مراتب قدرت چندان خوشایند نبوده‌اند. به نظر می‌رسد که گذار از ساختار عمودی قدرت در سازمان‌ها به ساختاری افقی سخت باشد؛ چرا که سلسله مراتب و قدرت بسیار مقاومند. یک نمونه برای آن تقریباً دو برابر شدن تعداد مدیران استخدام شده از سال ۱۹۸۳ در آمریکا است. ساختارهای قدرت هم سطح و افقی تا حدی به این خاطر ناکام مانده‌اند که برای بیشتر افراد جایگاه مربوط به سلسله مراتب اهمیت بسیاری دارد. این اهمیت تا آنجاست که بر شیوه تصمیم‌گیری، نوع دوستی و سلامت کلی ذهن و جسم تاثیرگذار است. ماشین‌ها شاید قادر باشند که زمین بازی را مسطح سازند؛ اما به نظر می‌رسد که انسان‌ها فعلاً سلسله مراتب را ترجیح می‌دهند.

چنین پرسش‌هایی اهمیت دارند و نشان می‌دهند که تاثیر بالقوه ماشین‌ها بر کار باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد. اگرچه ساده‌لوحانه خواهد بود که نتیجه بگیریم ماشین‌ها در آینده تاثیر محدودی بر کار خواهند داشت. با پیچیده‌تر شدن هوش مصنوعی در تحلیل داده‌ها و تصمیم‌گیری، مشاغل و استعدادها بیش از پیش تحت فشار قرار می‌گیرند. درست همان‌طور که در فرآیندهای تکراری، ربات‌ها جای انسان‌ها را گرفتند، یادگیری ماشین نیز شیوه کار حتی متخصص‌ترین و ماهرترین بخش نیروی کار را نیز متحول خواهد کرد. در حالی که ما احتمالاً قادر به پیش‌بینی دقیق آینده نیستیم، می‌توانیم در یک مورد مطمئن باشیم و آن اینکه تطبیق‌پذیری به ویژگی تعیین‌کننده سازمان‌های موفق تبدیل خواهد شد. فرآیند تطبیق با شرایط جدید در مرکز کنسرسیوم تحقیقات آینده کار قرار دارد. ما معتقدیم که مدیران و رهبران کسب و کارها در چهار حوزه باید تغییراتی اساسی را در شیوه کارشان ایجاد کنند.

### تعمیر نردبان شغلی شکسته

نردبان شغلی که در طول تاریخ هر فردی برای پیشرفت باید آن را

طی می‌کرد، اکنون شکسته است، چرا که اتوماسیون بخش‌های میانی این نردبان را برای افراد نیمه ماهر از بین برده است. با از بین رفتن مشاغل میانی، افراد تازه کار برای یافتن راهی جهت ارتقاء به رده‌های بالایی با مشکل مواجهند. این روند احتمالاً ادامه خواهد یافت، آن هم در حالی که به سختی می‌توان تشخیص داد که دقیقاً کدام رده از مشاغل در مرحله بعدی تحت تاثیر اتوماسیون قرار خواهد گرفت. در نتیجه کاملاً محتمل است که مسیرهایی غیرخطی برای رسیدن به رده‌های بالایی طراحی شوند. برای حل این چالش، بازتعریف آنچه در یک سازمان پیشرفت نامیده می‌شود ضروری است. تشخیص اینکه رده‌های شغلی میانی احتمالاً باز نخواهند گشت به این معنی است که شیوه‌های منعطف‌تری باید برای پیشرفت شغلی به کار گرفته شوند که حرکت افقی افراد در رده‌های شغلی به جای حرکت عمودی و حتی ترک سازمان و بازگشت به آن در رده‌ای متفاوت را در بر می‌گیرد. در کوتاه مدت، مهم‌ترین وظیفه بخش مدیریت استعدادها این خواهد بود که افراد را طی این دوران گذار راهنمایی و هدایت کند و به آنها برای تشخیص مهارت‌های با ارزش و فرصت‌های پیشرفت شغلی یاری رساند.

### تعامل با اکوسیستم استعدادها

ترکیب بسترها و سامانه‌های قدرتمند برای فریلنسرها<sup>۶</sup> یعنی افرادی که به طور آزاد و بدون قرارداد دائمی کار می‌کنند و کاهش هزینه‌های راه‌اندازی برای کسب و کارهای کوچک و آنلاین باعث ایجاد انتخاب‌های شغلی پرشمار برای افراد با استعداد شده است. برای مثال بررسی‌ها نشان می‌دهند که در سال ۲۰۱۴ پنجاه و سه میلیون فریلنسر در آمریکا مشغول به کار بوده‌اند. با ورود نسل‌های جدید به بازار کار به جمعیت ارتش فریلنسرها افزوده خواهد شد. نتیجه این خواهد بود که شرکت‌هایی که صرفاً بر روی استخدام نیروی کار تمام وقت تمرکز می‌کنند، فرصت کار کردن با برخی از مستعدترین افراد را از دست می‌دهند. چنین گزاره‌ای

به‌خصوص برای شرکت‌های دانش بنیان که محصولاتشان بر اساس ایده‌پردازی و خلاقیت است صدق خواهد کرد. تشخیص اینکه کجا و چگونه باید به تعامل با این استعدادها پرداخت به امری ضروری تبدیل خواهد شد و نیازمند تغییراتی بنیادین در رویکردهای متداول استخدام خواهد بود. شرکت‌ها باید شناخت خود در مورد اینکه چه استعدادهایی را نیاز دارند را افزایش دهند و دریابند که چه عواملی به جذب و ایجاد انگیزه در این استعدادها خواهد انجامید. آنها همچنین نیازمند درکی عمیق‌تر از اکوسیستم اطراف سازمان و ظرفیت‌های موجود برای ایجاد روابطی فراتر از رابطه سنتی کارگر و کارفرما هستند.

تصور اینکه رابطه کاری یک همکاری مادام‌العمر خواهد بود باید مورد بازبینی قرار گیرد. افراد مستعد از پلتفرم‌های تکنولوژیکی جهت خلق ارزش برای خودشان بهره خواهند برد. آنها شاید آماده کار در یک شرکت باشند، اما بعد از آن ممکن است بخواهند که شرکت را ترک گفته و کسب و کار خودشان را راه بیندازند و بعدها باز هم به عنوان مشتری یا نیروی کار به شرکت بازگردند. بنابراین تاکید بیشتر بر روی توسعه روابط بلندمدت و منقطع به جای استخدام رسمی خواهد بود. در این مدل همکاری که نسبتاً بی‌ثبات است، وفاداری کمی دارد و آموزش و سرمایه‌گذاری بلندمدت در آن جایی ندارد، هم کارفرما و هم نیروی کار به دنبال افزودن ارزش یکدیگر هستند. این رابطه برای نیروی کار، سرمایه‌گذاری بر روی انطباق‌پذیری و ارزش شرکت است و برای سازمان‌ها سرمایه‌گذاری بر روی قابلیت به کارگرفتن و توسعه نیروی کار.

### تشویق به یادگیری مادام‌العمر

موج‌های فن‌آوری بسیاری از رده‌های شغلی را از بین خواهند بود و برخی از مهارت‌ها را بی‌مورد خواهند کرد. در نتیجه، شیوه سنتی آموزش که با بهبود تدریجی مهارت‌ها همراه است دیگر برای نیروی کار کافی نخواهد بود. در اینجا اهمیت یادگیری مادام‌العمر مشخص خواهد شد. این یادگیری می‌تواند تا حدی مورد حمایت سازمان‌ها قرار بگیرد، یا از



طریق ایجاد دسترسی به آموزش و یا به وسیله ایجاد انعطاف در شیوه کار مانند فراهم آوردن فرصت‌های مطالعاتی و یادگیری برای کارکنان تا نیروی کار بدین وسیله بتوانند برای افزایش بهره‌وری سرمایه‌گذاری کنند. تردیدی نیست که آموزش‌های آنلاین و مهارت محور در این میان نقش آفرین خواهند بود. با پیشرفت فن‌آوری‌های مربوط به یادگیری، افراد خواهند توانست که آموزش‌ها را به گونه‌ای تنظیم کنند که تنها مهارت‌های مورد نیازشان را با هزینه‌ای بسیار کم یا به طور رایگان و در زمان باب میلشان بیاموزند. بنابراین به جای مدارک تحصیلی فعلی که استاندارد مشخصی دارند و اخذ آنها نسبتاً زمان‌بر است، این رویکرد تازه شیوه شخصی شده‌ای از آموزش و یادگیری را ایجاد می‌کند. از منظر شرکت‌ها، چنین رویکرد تازه‌ای می‌تواند داده‌هایی مهم و آگاهی بخش در مورد ترجیحات نیروی کار، میزان تعهد آنها به یادگیری، شیوه‌های یادگیری و ایجاد انگیزه را در اختیار شرکت‌ها قرار دهد.

### همکاری با ماشین‌ها

بیشتر به از بین رفتن مشاغل توسط ماشین‌ها پرداخته شده اما برای بسیاری از کارگران، تاثیر ماشین‌ها به معنی تقویت کار آنها خواهد بود. برای این بخش از نیروی کار، ماشین‌ها به عنوان همکارانی در امور دانش‌بنیان حضور خواهند داشت. در نتیجه روایت مبتنی بر چالش مدیریت شغل‌هایی که به خاطر فن‌آوری از بین خواهند رفت به روایت مربوط به فرصت ایجاد شده از هم‌افزایی ربات و انسان برای حمایت از فعالیت‌های روزانه نیروی کار تبدیل خواهد شد. بنابراین پرسش اساسی این خواهد بود که چه دستاوردهایی از همکاری میان نیروی کار انسانی و همکاران رباتیک آنها تحقق خواهند یافت؟ کارگران در چه بخش‌هایی قادر به انجام امور به تنهایی نیستند و باید با ماشین‌ها همکاری کنند؟ این همکاری و هم‌افزایی میان انسان و ماشین چه مشاغل تازه‌ای را ایجاد خواهد کرد؟

سازمان‌ها برای خلق این شیوه‌های جدید کار باید در شرح وظایف

سنتی تجدید نظر کرده و دائم به طور خلاقانه بیاندیشند که چگونه می‌توان یک شغل را به شیوه‌هایی نوآورانه و با ایجاد توازن میان انسان‌ها و ماشین‌ها ارتقا داد.

تردید نیست که در هم تنیدگی میان کار و فن‌آوری به ایجاد پرسش‌های حتی اساسی‌تری خواهد انجامید. در میان خیزش هوش ماشینی، ارزش کار انسانی کجا قرار می‌گیرد؟ هدف فن‌آوری‌هایی که ایجاد می‌کنیم چیست؟ آیا می‌خواهیم که ماشین‌ها به‌جای ما برایمان تصمیم‌گیری کنند؟ چگونه می‌خواهیم با یکدیگر کار و زندگی کنیم؟

این‌ها پرسش‌هایی فراتر از سود یا بهره‌وری صرف هستند و به جامعه، اخلاق و ارزش‌ها مربوط می‌شوند. تامس مور<sup>۷</sup> در کتاب آرمانشهر<sup>۸</sup> جامعه‌ای فرضی در یک جزیره را به تصویر کشید. او نامزدی و ازدواج، جشن گرفتن زندگی و مرگ و قوانین و شیوه زندگی در این جزیره را شرح داد. نگاه او به آینده به مراتب غنی‌تر و جذاب‌تر از نگاهی صرفاً بر پایه فن‌آوری بود. شاید اکنون، پانصد سال پس از نگارش آرمانشهر، زمان به تصویر کشیدن دوباره آینده به‌طور جامع و نه صرفاً در چارچوب فن‌آوری فرا رسیده باشد.

7. Thomas More

8. Utopia



فصل هجدهم  
ساعات ملاقات:  
یک داستان کوتاه

الستر رینالدز<sup>۱</sup>

سال ۲۰۵۰ است و فن آوری به ایجاد پرسش‌هایی در مورد بدن و روح منجر شده است.

کتی اتینگر<sup>۱</sup> همیشه عاشق بالا رفتن بود. این اشتیاق صعود زمانی که خیلی کوچک بود از بالا رفتن از درخت آغاز شد و به تخته سنگ‌ها و دیوارهای مخصوص صخره‌نوردی داخل سالن ارتقاء یافت. در دوران نوجوانی در بالا رفتن حتی از بزرگسالانی که دو برابر او سن داشتند نیز سریع‌تر بود. زمانی که در دوران بیست سالگی بود و به سختی تلاش می‌کرد برای کسب مدرک معماری به خودش انگیزه بدهد، هر آخر هفته‌ای که امکان داشت را در میان صخره‌ها سپری می‌کرد. هر تابستان تلاش می‌کرد تا نسبت به سال قبل پیشرفت کند، به هر زحمتی که بود به تیم‌های صخره‌نوردی راه یافت و در آخرین روزهای دوران طلایی سفرهای انبوه بین قاره‌ای، در نقاط مختلف جهان به صخره‌نوردی پرداخت. پس از اینکه مسیرهای تازه‌ای را برای صعود از روهلیلاها<sup>۲</sup> و بیمبالونا<sup>۳</sup> یافت، شهرت به سراغش آمد. حامیان مالی، لباس و تجهیزات صخره‌نوردی‌اش را تامین می‌کردند. او به چهره‌ای در مجلات تخصصی صخره‌نوردی و مستندهای مربوط به ورزش‌های مخاطره‌آمیز تبدیل شد.

### سپس سقوط از راه رسید

هنگامی که دوران طولانی مدت نقاقت به سر آمد و او به مرحله تازه‌ای از زندگی یعنی شغل معماری که همواره در جایگاه دوم نسبت به صخره‌نوردی قرار داشت وارد شد، این ترس از ارتفاع بود که در او باقی مانده بود. پیش از تصادف هرگز چنین ترسی نداشت؛ به‌جز درکی عقلایی نسبت به خطراتی که حضور در ارتفاع زیاد و سپردن زندگی به چند تکه فلزی دارد. اما هرگز ترس از ارتفاع را با همه وجود، آن‌طور که دیگران حس می‌کنند، تجربه نکرده بود.

1. Cassie Ettinger

نام قهرمان داستان در نسخه انگلیسی کتاب «کسی» است که در ترجمه فارسی به «کتی» تغییر یافته است.

2. Rohllahla

3. Bimbaluna

## حالا دیگر فرق می‌کرد

وقتی به بالای کارگاه ساختمانی می‌رفت تا به کارهایی که تاکنون انجام شده و برش‌ها و جوش‌ها، پنجره‌ها و درهای جدید، جای راه پله و شفت آسانسور نگاهی بیاندازد، هر طبقه‌ای که بالاتر می‌رفت دقیقا حس می‌کرد که چقدر از زمین دورتر شده است. اما باید این کار را می‌کرد، درست همان‌طور که مجبور بود گاهی خطر کند و از بالا به گرد و خاک اطراف پی ساختمان در حال ساخت نگاه کند. کفش‌ها و دستکش‌های مارک گکوفلکس<sup>۴</sup> او به خوبی بر روی بخش‌های منحنی ساخته شده از آلیاژ مخصوص ساخت هواپیماها سوار می‌شدند. کتی در مواقع نیاز از زانوبند گکوفلکس هم استفاده می‌کرد. گکوفلکس در روزهایی که حامی مالی کتی بود به خوبی با او تا می‌کرد.

هرچند، بیشتر مواقع، او تلاش می‌کرد که از زانوهایش استفاده نکند. پروژه مجموعه نیو افیر فریمستک، پروژه‌ای چند منظوره در اطراف منطقه افیر در شمال کشور پرتغال بود. نیمه مسکونی، نیمه تجاری. ساختمان، حالا که به اتمامش نزدیک می‌شود، از دور شبیه کلافی سر در گم است که به سوی بالا می‌رود؛ شبکه در هم تنیده‌ای از کابل‌ها و لوله‌ها. یا آن‌طور که منتقدان می‌گویند مجموعه‌ای از میل‌های بافتنی.

آنچه منتقدان در نظر نگرفته‌اند یا ترجیح دادند که نبینند این بود که طراحی مجموعه فریمستک تصادفی و بی حساب و کتاب نبود. کتی هم برای طراحی و هم برای اجرای پروژه زحمت زیادی کشیده بود. هر زاویه، هر شکست و هر شیب اهمیت زیادی داشتند. مردم قرار بود آنجا زندگی و کار کنند و نباید بعد از چند ماه از آنجا دلزده می‌شدند. پروژه باید از هر زاویه‌ای، داخل و خارج، و تحت هر شرایط نوری خوب به نظر می‌رسید. نور خورشید باید از میان درزها به درون می‌تابید تا روشنایی باغچه‌ها و مزارع عمودی تامین شود. هوا باید آزادانه در درون مجموعه گردش می‌کرد. آب باران باید به راحتی تخلیه می‌شد نه اینکه در فرورفتگی‌ها و شکاف‌ها گیر می‌کرد. بالاخره اینکه پروژه فریمستک باید

4. Geckoflex

در مقابل طوفان‌ها و گردبادهای اقیانوس آتلانتیک که با کمترین خطا برای یک قرن آینده پیش‌بینی شده‌اند دوام بیاورد.

با همه ناخوشی‌های مربوط به ترس از ارتفاع، هنوز هم در اوج ساختمان قرار گرفتن خوشایند بود. به بالای ساختمان رفت، دست‌هایش را پشت کمرش گذاشت و صاف ایستاد. برای چند لحظه احساس کرد که باید نفسش را حبس کند. پاهایش روی سطحی خمیده قرار داشت که در اصل برای بوئینگ دریم‌لاینر شرکت هواپیمایی قطر ساخته شده بود، نشانه‌های محوی از صاحب قبلی آن را می‌شد روی کناره‌های سطح مشاهده کرد.

دریم‌لاینرها هواپیماهای خوبی بود. کتی کار با آن را دوست داشت.

در واقع یکی از آنها همین حالا در حال نزدیک شدن بود.

همان موقعی که داشت از ساختمان بالا می‌رفت یک هواپیمای باری را دید و حدس زد که شاید هواپیمای او باشد. هواپیماهای باری هیدروژن را از برج‌های افراشته شده در دریا توسط کارخانه اوتک<sup>۳</sup> می‌گیرند و مخازن خودشان را از این سوخت پر می‌کنند. این سفینه‌های هوایی اخیرا همه جا حضور دارند، اما عملکرد آنها بسیار کند و به طور آزاردهنده وابسته به شرایط جوی بود. اگر مشغول کار در پروژه‌ای بودید که زمان در آن اهمیت زیادی داشت، دایم چشمتان به دنبال لکه‌های کوچکی در آسمان می‌گشت به این امید که سفینه هوایی را مشاهده کنید.

کتی دستش را به روی پیشانی برد تا جلوی آفتاب را بگیرد. سفینه هوایی در حال نزدیک شدن بود، موتورهای لوله‌ای پرتعدادش در حال تنظیم بر اساس الگوریتم قدیمی تنظیم ارتفاع بودند. هواپیماهای تازه حالا بیشتر شبیه لوله بودند و تنها جایی که پیش‌تر بال‌ها قرار می‌گرفت روی آنها قابل تشخیص بود. البته این خیلی مورد تازهای محسوب نمی‌شد. سی و پنج سال پس از خدمات هوایی تجاری، سپس دوره‌ای از رکود، سپس افتی که هرگز جبران نشد، سپس سقوط کل بازار جهانی برای حمل و نقل انبوه. اما اکنون نه خطوط هوایی بلکه ساختار

آن برای کتی تازگی داشت. بیشتر سیم کشی‌ها، همراه با صندلی‌ها، کف و محفظه‌های مخصوص چمدان‌ها حذف شده بودند. همه چیز با فلز عریان پوشانده شده بود، به همین خاطر در داخل محفظه مخصوص حمل بار به میزان غافلگیرکننده‌ای فضا قرار داشت که به طور غافلگیرکننده‌ای محکم بود.

کتی به سفینه هوایی اشاره کرد که نزدیک‌تر شود. محفظه مخصوص حمل بار همین حالا هم نزدیک شده بود و گیره‌های آن آماده بودند تا با در دستگیره‌های ساختمان جفت شود. سفینه هوایی محفظه را چرخاند تا در جهت درست قرار بگیرد. کتی انگشتان دستش را حرکت داد و دستگیره‌ها باز شدند تا محفظه را به چند متری محل تخلیه برسانند. محفظه سنگین و بزرگی که تا همین چند لحظه پیش سبک و همچون ابر به نظر می‌رسید، بالای سر او قرار گرفت.

کتی، در حالی که تلاش می‌کرد تا تعادلش را حفظ کند، بلندترین ربات ساخت و ساز را فراخواند. رباتیک سازه نارنجی عظیمی بود، چیزی بین یک جرثقیل و زرافه دالی<sup>۶</sup>. ربات کابل‌های خودش را به دریم‌لاینر متصل کرد و به سفینه هوایی اجازه داد که محفظه را رها کند. کتی، تلاش می‌کرد تا دستگیره را برای قرار گرفتن محفظه هماهنگ کند. محفظه پایین آمد، باد به درون خمیدگی‌های آن می‌وزید و با گذر از دستگیره‌ها صدا تولید می‌کرد. اتصال نهایی محفظه به دستگیره‌ها همیشه سخت‌ترین قسمت کار بود.

چهره‌ای در گوشه بالای سمت راست دید کتی ظاهر شد.

«زمان مناسبی نیست». کتی با خودش زمزمه کرد.

اما دکتر ابیت<sup>۷</sup> خیلی سمج بود و نمی‌شد تماس‌هایش را تا ابد نادیده گرفت. مساله اصلا این نبود که کتی از دکتر خوشش نمی‌آمد، مشکل این بود که در مورد موضوعی به کتی فشار می‌آورد که کتی سعی می‌کرد در پس ذهنش نگه دارد. اصلا مرد بدی نبود، و بله، برخی

6. Dali

اشاره نویسنده به زرافه کشیده شده توسط سالوادور دالی، هنرمند اسپانیایی است.

7. Abbate



اوقات حق با او بود ...

خشمش را فرو خورد و به تماس پاسخ داد. بهتر بود همین الان خیالش را راحت کند تا اینکه اجازه بدهد دکتر بقیه هفته عذابش دهد.

«متاسفم ولی فقط چند لحظه وقت دارم، مارتین»

«این همه زمانی است که لازم دارم. اخیرا به سختی می شد تو را

پیدا کرد. کارها خوب پیش می رود، درسته؟»

«بهتر از این نمی شود.»

«خوبه. خوشحالم که خودت را مشغول این کار کرده ای. خیلی برایت

خوب بوده.»

سایه محفظه هوایی روی او سنگین تر شد. «گفتم یک لحظه، مارتین.

نمی خواهم گستاخ باشم، اما ...»

«درست است، کتی می فهمم. اما باید تاکید کنم که میان برنامه

فشردهات باید وقتی برای سر زدن به کلینیک پیدا کنی. آن هم در اولین

فرصت. اتفاقی افتاده اتفاقی مهم که بر شرایط درمان تاثیرگذار است.

فکر کنم به شدت به نفعت است که ...»

«نمی خواهم دوباره ببینمش»، کتی گفت «نه الان و نه هیچ وقت دیگر.»

دکتر ابیت با کمترین جدیت ممکن گفت: «تقاضا می کنم که

تجدیدنظر کنی، هرچه زودتر بهتر.»

شانس اینکه دستگیره نقاله درست در آن لحظه در برود یک در میلیون

بود، اما این همان چیزی است که در مورد طناب هم گفته بودند، همان

طنابی که درست در لحظه ای که بیشتر از همیشه به آن نیاز داشت پاره

شد. اما کابل نگهدارنده چرخید، جرثقیل تکانی خورد و سفینه هوایی

منحرف شد. در همان لحظه، دریم لاینر از یک سو، درست مانند تیغه

گیوتین، به سرعت پایین آمد. خیلی راحت می شد حدس زد که کتی

هیچ شانسی برای جان به در بردن از این سقوط ندارد.

اما با پایین آمدن محفظه، خودش را جمع کرد و دستانش جلوی

صورتش را گرفت.

راست بود که می گفتند عادات کهنه به سختی از بین می روند.

دکتر مارتین ابیت تنی خمیده و صورتی دوستانه و پراز لک داشت. موهای سفید بسیار کوتاهی داشت همراه با عینکی که کتی هرگز ندیده بود که از جای ثابتش روی پیشانی دکتر تکان بخورد، انگار که آنها همچون یک جفت چشم دیگر کتی را معاینه می‌کردند. او دکتر را از زمان تصادف می‌شناخت و حتی در ابتدای آشنایی آنها نیز دکتر پیر به نظر می‌رسید.

دکتر رو به کتی گفت: «خوشحالم که بالاخره درخواستم را قبول کردی، حتی با اینکه بیشتر از آن چیزی که انتظار داشتم طول کشید.» کتی پاسخ داد: «باید کارم در پرتغال را تمام می‌کردم. همان طوری هم از زمان بندی عقب بودیم و نمی‌خواستم بهانه بیشتری دست مشتری بدهم.»

«ولی در آخر همه چیز خوب بود؟»

یاد حادثه دریم‌لاینر افتاد، به هم پیچیده شدن و سقوط بدنه محفظه، سختی‌های آغاز دوباره کل فرآیند، پیشنهاد محفظه‌ای دیگر، انتظار برای اینکه سفینه هوایی آن را بیاورد، و گفت: «نه چیزی که بهش عادت نداشته باشیم.»

«می‌بینم که این کار را دوست داری.»

«می‌توان در افق ابرها را دید.» او اعتراف کرد «شاید باور نکنید دکتر اما هزینه آن بارهای هوایی دوباره در حال بالا رفتن است. ناگهان همه مردم بیدار شده‌اند و به نتیجه رسیده‌اند که چنین حمل و نقلی ارزشمند است.»

دکتر ابیت با لبخندی نوستالژیک پاسخ داد: «ما شاهد اوج گرفتن قیمت نفت بودیم. شما شاهد اوج گرفتن قیمت حمل و نقل هوایی. اما من خیلی نگران نیستم. فکر کنم تو با هر شرایطی وفق پیدا می‌کنی.»

«کاش همین‌طور باشه. ببخشید که به نظر عجول می‌آیم اما هنوز

کارهای زیادی مانده که باید انجام داد ...»

دکتر به درگاهی که کتی با بی‌میلی به سویش می‌رفت اشاره کرد.

«برو داخل، کتی. او همان جای همیشگی است.»

پیش از ورود کمی این پا و آن پا کرد. حسگرهای داخل بینی اش بوی ضد عفونی کننده و مواد پاک کننده قوی را تشخیص دادند. آرایه‌های شمارنده فوتون در چشم پلاستیکی اش تشخیص دادند که نور خورشید از میان کرکره‌ها به درون می‌آید و تصویری از خطوط راه راه را روی دیوار می‌اندازد. در میان اتاق در میان قفسه‌هایی از ماشین‌های پزشکی مربوط به حفظ علایم حیاتی و ملحفه‌های تمیز، زنی بی حرکت بر روی تخت بود و چشمان سفیدش به سقف خیره شده بودند.

«مشکلی وجود دارد؟»، کتی پرسید.

«نه دقیقا. من بهش می‌گویم فرصت.» «دکتر ابیت اشاره کرد که به

او ببیند.»

«دانش پروتز عصبی طی این ده سال خیلی پیشرفت کرده است. قرار دادن آرایه زیر جمجمه تو جراحی سخت و ظریفی بود. هرچند ارزش خطر کردن را داشت و ما کانالی به ذهن تو زدیم. می‌توانستیم، برای تثبیت هوشیاری، از تو سوال پرسیم و تو خاطرات گذشته را به یاد می‌آوردی، چه در زمانی که درد داشتی و چه زمانی که نداشتی. برای نزدیکانت خیلی خوشایند بود که بدانند تو دیگر در عذاب نیستی.»

او تصویری گنگ از آن بیدار شدن به خاطر می‌آورد. شبیه حس کودکان نسبت به زمان بود، با دقایقی و ساعاتی بی‌پایان همه بدون هیچ حسی از روزها و هفته‌ها. آرام آرام همچون بازگشت به سطح، از دریایی از گیجی به سطحی از هوشیاری بازگشت. حتی حالا هم هیچ تصویری از تصادف و روزهای منتهی به آن نداشت.

او پریشان نبود، نه. حداقل درد فیزیکی نداشت. اما به آرامی درکی از شرایط پیدا کرد که حداقل از نظر ذهنی آزاردهنده بود. کاملا بی‌حس و از کار افتاده و کاملا وابسته به ماشین‌هایی پزشکی. ستون فقراتش شکسته بود و سیستم عصبی اش دیگر قابل ترمیم نبود.

این نوع از وجود مناسب فردی نبود که در زندگی به دنبال ماجراجویی

و خطر بوده است.

«در ابتدا خیلی مایوس کننده بود»، دکتر ابیت ادامه داد. «اما به تدریج فهمیدی که هنوز امیدی هست. آرایه دیجیتالی خودش را با ذهن تنظیم می‌کرد و زبان مخفیانه ذهنش را یاد می‌گیرد. ارتباط دو سویه نخستین گام بود. سپس نوبت به حرکت رسید. نه حرکت اعضای بدن تو، بلکه حرکت دستگاه‌هایی متحرک. از بازوی رباتیک شروع شد. می‌توانستی غذا بخوری. سپس نوبت به بدن کامل رسید. چیزی که یک یا دو دهه پیش از آن بسیار گران بود حالا قابل خریداری بود. برای شرکت‌های واقعیت مجازی خبر خوبی بود اما نه برای شرکت‌های هواپیمایی! هنوز روزی که توانستی با پای خودت از این اتاق بیرون بروی را به خاطر دارم. «لبخند دکتر حالتی جدی به خود گرفت، «اما تو واقعا این کار را نکردی. تو داشتی یک ربات سخنگو که راه می‌رود را کنترل می‌کردی. اما ذهن تو هنوز در جسمی بود که اینجا روی تخت خوابیده بود.»

«گفتن این‌ها فایده‌ای هم دارد، مارتین؟»

دکتر به کنار تخت رفت و تبلتی را برداشت. کتی به انگشتان دکتر نگاه می‌کرد که روی تبلت جابجا می‌شد انگار که در حال کنترل چیزی بود. «من گفتم چیزی که در گذشته مشکل بود حالا به امری متداول تبدیل شده. قراردادن آرایه‌ها دیگر به هیچ نوع جراحی نیاز ندارد. آنها از دانه‌های زیرپوستی میکروسکوپی رشد می‌کنند و طوری برنامه‌ریزی شده‌اند که اتصالات عصبی لازم را ایجاد کنند. خودشان یاد می‌گیرند و به خودشان سامان می‌دهند. اگر تا این حد به امر ساده‌ای تبدیل نشده بود، چگونه ده‌ها میلیون نفر می‌توانستند به راحتی از یک بدن مصنوعی به بدن مصنوعی دیگری بروند؟»

«و اینکه؟»

«بازویت را ببر بالا، لطفا.»

کتی از دکتر سوال پرسیده بود اما لحن دکتر آن‌قدر آمرانه بود که او درخواستش را انجام داد و بازویش را آن‌قدر بالا برد که دست و آرنجش هم راستا شدند. بدون هیچ فرمانی، بدن خوابیده روی تخت نیز بازوی

راستش را بالا برد. دست این پیکر هنوز شل بود اما حالت آن درست شبیه حرکتی بود که کتی انجام داده بود.

«آریه، فعالیت در بخش راست مغزت را تشخیص می‌دهد،» این را دکتر گفت. «چند هفته پیش ما شبکه‌ای خود تکثیرکننده از نوار عصب و عضله را در بازوی راست قرار دادیم تا سیستم عصبی تو را ترمیم کند. این شبکه رشد کرده و تطبیق یافته است. خیلی سریع واکنش نشان می‌دهد، مگر نه؟»

کتی بازوی بدن مصنوعی‌اش را پایین آورد و دید که پیکر روی تخت نیز این حرکت را تکرار کرد. هیچ فاصله زمانی میان پایین آمدن دو بازو وجود نداشت، اصلاً به نظر نمی‌رسید که یکی از دیگری تقلید می‌کند.

«چرا این را به من نشان می‌دهی؟»

«چرا که بازو تنها نقطه شروع است. شبکه عصبی عضله‌ای می‌تواند فعالیت کل بدن را بازسازی کند. تو می‌توانی از تخت برخیزی و بیرون بروی و می‌توانی همان طوری که اکنون وجودت درون کالبدی مصنوعی را تجربه می‌کنی، حضور را بدن حقیقی را تجربه کنی.»

کتی تحت تاثیر ورود دکتر ابیت به جزئیات و انتظارات معقول او قرار گرفت. او همین حالا هم می‌دانست که در آن پیکر است؛ ده سال است که هیچ عضو واقعی از بدن او آنجا را ترک نکرده است. او زنی فلج بود در اتاقی در یک کلینیک پزشکی خصوصی که بهترین مراقبت ممکن که قابل خریداری بود را ارائه می‌داد.

کتی گفت: «ده سال پیش»

«بله؟»

«اگر به من چنین پیشنهادی می‌دادید، اینکه بتوانم دوباره راه بروم .. خودم باشم، به طور کامل به بدنم بازگردم. از خوشحالی اشک می‌ریختم.»

کمی نگرانی در چهره دکتر پدیدار شد. «و حالا؟»

«این من نیستم. من جای دیگری هستم و نمی‌توانم ایده بازگشت به

درون او را تحمل کنم.»

«به مرور زمان عادت می‌کنی.»

لحن صدایش سرد و نیرومند بود. «حتما عادت خواهم کرد. اما نمی‌خواهم عادت کنم.» با کمی خشونت سخن گفتن با دکتر، مردی که فقط به خاطر او تلاش کرده بود و بهترین را برایش می‌خواست، باعث شد که عرقی سرد از گردنش روی کمرش پایین برود. البته در واقع چیزی واقعی در مورد عرق وجود نداشت. بدن مصنوعی او ربانی گرانقیمت و مهندسی شده بود که از پلاستیک و آلیاژها و کامپوزیت‌ها ساخته شده بود. بخش‌هایی از آن حتی از جسم واقعی هم واقعی‌تر به نظر می‌رسید. مو و منافذ پوستی داشت، اما تنها کاری که نمی‌کرد تعرق بود. اما ذهنش به این باور داشت و توهم عرق را ایجاد می‌کرد.

«من دیروز مردم،» کتی ادامه داد. «حادثه دیگری رخ داد، درست همان موقع که تماس گرفتید. محفظه هوایی سقوط کرد و من را له کرد. بدن مصنوعی ام نابود شد و تعمیر آن ممکن نبود. برای چند دقیقه، هیچ بدن مصنوعی‌ای نداشتم که به درونش بروم. می‌بینی دکتر، همیشه نمی‌توانند به سرعت یک بدن برایتان پیدا کنند، فرقی نمی‌کند که چقدر برنامه شما خوب باشد، اما ما متوجه این موضوع نمی‌شویم چرا که معمولا بدن را طبق برنامه از پیش تعیین شده عوض می‌کنیم. اما من برای این حادثه برنامه‌ریزی نکرده بودم، و زمانی که منتظر بدن مصنوعی تازه‌ای بودم را به یاد می‌آورم که به این کالبد روی تخت بازگشته بودم. می‌دانم که چگونه است.»

چهره دکتر ابیت جدی‌تر شد. «اما یکسان نخواهد بود، نه وقتی که بتوانی حرکت کنی، راه بروی ... دوباره آزاد خواهی بود. آزاد برای زندگی کردن، نفس کشیدن، حس کردن نور آفتاب روی پوست ...»

«آزاد برای صدمه دیدن،» کتی پاسخ داد، با همان بی تفاوتی‌ای که در کلامش بود. «آزاد برای آسیب دیدن، آسیب برای کشته شدن.»

«چیزی از دست نخواهی داد،» دکتر همچنان سماجت می‌کرد، همچون فردی که تلاش می‌کند تا هدیه‌ای را به زور به کسی بدهی. «همچنان قادر خواهی بود که هر وقت بخواهی به بدن مصنوعی بازگردی.»

«اما این را می‌دانستم. در این ده سال فراموش کرده‌ام که واقعا از چه

چیزی ساخته شده ام، چقدر آسیب پذیر هستم. نمی‌خواهم دوباره به خاطر بی‌اورم.» لبخند زد تا از تلخی حرف‌هایش بکاهد و به دکتر بفهماند که قدر تلاش‌های او را می‌داند و از نیت خیرش خبر دارد اما او در اشتباه است.

«حداقل بهش فکر کن.»

«متأسفم، مارتین. تو مرد خوبی هستی. دکتری خوب و مهربان. اما چیزی برای فکر کردن وجود ندارد.» طوری چرخید که پشتش رو به بدن بود، از بی‌احساسی خودش متنفر بود اما می‌دانست که این‌طوری بهتر است. «حتی اگر این بدن هم این را بخواهد، من نمی‌خواهم.»

بعدها، زمانی که پروژه ساختمانی در حال اتمام بود، محفظه مربوط به بار جایگزین پایین برده شد و کتی بخشی از بدن مصنوعی سابقش را در شکافی نزدیک دستگیره‌ها دید. یک دست و ساعد که از بازو کنده شده بودند، به نظر می‌رسید که این تکه از بدن از تمیزکاری اولیه جامانده بودند.

ضربه محکمی به آن زد و سپس سقوطش در گرد و خاک‌های پی ساختمان را تماشا کرد.

فصل نوزدهم  
ما گانگا:  
داستان کوتاه

نانسی کرس<sup>۱</sup>

سال ۲۰۵۰ است، زمین در خطر نابودی است و دانشمندان  
خودشان دست به کار شده‌اند.



هنگام طلوع آفتاب مردی جوان پای پلکان ایستاده است. پله‌های عریض و کوتاه به رودخانه‌ای منتهی می‌شوند که بوی زننده گنبدگی می‌دهد. رنگ پریده است، با پوستی پر از کک و لباسی که برای این گرما بیش از حد به نظر می‌رسد، در شلواری بلند و کفشی ضخیم، مثال بارز یک آمریکایی است. خنک کننده تاشوی پلاستیکی را روی سینه‌اش می‌گذارد، از آن مدل‌هایی که برای نگهداری بسته شش تایی ماء الشعیر به کار می‌رود، تسمه‌های سیاه خنک کننده آویزانند. ترسیده به نظر می‌رسد.

آن سوی رودخانه گنگ، خورشید در حال طلوع است. گروهی از مردان پابرهنه دهوتی<sup>۱</sup> بر تن از کنارش عبور می‌کنند و به درون رودخانه می‌روند، از زباله‌های روی آب، گل‌های پلاسیده و لاشه حیوانی که به نظر می‌رسد در زیر آب باشد عبور می‌کنند. مردان در حال ذکر گفتن هستند. صورتشان را با شوق به سوی خورشید گرفته‌اند. زنی آراسته که ساری به تن دارد، خم می‌شود تا شیشه‌ای را از آب مقدس ماگانگا<sup>۲</sup> پر کند. در دور دست، قایق عزاداری در بخش دیگر رودخانه پیش می‌رود.

آمریکایی از پله‌ها پایین می‌آید. خنک کننده پلاستیکی را باز می‌کند، به اندازه یک خرس قطبی برای اینجا ناهمگون است، چیزی را از آن خارج می‌کند. سپس چشمانش را به هم می‌فشد و شکل دهانش تغییر می‌کند. نمی‌تواند. کار او نیست. رودخانه او، کشور او و انتخاب او نیست. دوباره خنک کننده را می‌بندد و از پله‌های خیس بالا می‌رود.

«دکتر سندرز، خیلی خوشحالم که اینجا هستید!»

سث سندرز<sup>۳</sup> برگشت، سپس تلاش کرد تا به سوی دسته‌ای از افراد که در سالن مرمی شرکت گلوبال انترپرایز پارتنر شیب<sup>۴</sup> (جی‌ای‌پی) ایستاده بودند لیخند بزند. دسته؟ خوب، نه، هفت نفر احتمالاً دسته نامیده نمی‌شود. دیا<sup>۵</sup> احتمالاً او را به مردم‌گریزی متهم می‌کرد.

۱. لباس سنتی هندی  
۲. الهه رودخانه

3. Seth Sanders  
4. Global Enterprises Partnership  
5. Diya

اما، در هر صورت، او کی این کار را نمی‌کرد؟  
 «خوشحالم که اینجا هستم،» سث این را به طور عجیبی گفت و یادش افتاد که باید دستش را دراز کند. «دکتر آناند، دکتر مولر<sup>۶</sup>، و ... اه ...»  
 مرد بلندقامت با کت و شلواری گران‌قیمت با لهجه‌ای بریتانیایی و خاطری آزرده گفت: «نایجل هرینگتون»

دکتر آناند با خوشحالی گفت: «مدیر بخش شرکت جی‌ای‌پی و رئیس ما!»  
 سپ فهمید که دکتر آناند تلاش کرد تا گاف او را بپوشاند، اما نمی‌دانست باید چه کار کند. هرینگتون<sup>۷</sup>، تنها فرد در میان جمع بود که دانشمند نبود و احتمالاً به تامین منابع مالی مربوط می‌شد. یا شاید به سیاست. سث گفت:  
 «سلام.»

«به هندوستان خوش آمدید،» هرینگتون به سردی گفت. «امیدوارم که کارهای بزرگی با هم انجام دهیم.»  
 همه به سپ خیره شدند، کسی که قرار بود کارهای بزرگی انجام دهد. اگر فقط دیا همراهش بود! او همیشه می‌دانست که چه باید گفت و چگونه می‌توان همه را سرگرم کرد. اما او مستقیم به هتل رفته بود. و این اواخر، خیلی هم تلاش نمی‌کرد که کمک حال باشد.

گروه همچنان به او خیره بودند. هفت جفت چشم آبی، قهوه‌ای، طوسی در هفت چهره‌ای که به دقت انتخاب شده بودند تا توازن نژادی، جنسیتی و مذهبی برقرار باشد. یک پهباد خبری بالا سرشان می‌چرخید و بی‌وقفه اخبار خوش‌بینانه مربوط به پیشرفت‌های علمی یک شرکت خصوصی را مخابره می‌کرد.  
 بالاخره سث گفت: «می‌توانم رودخانه را ببینم؟»

جی‌ای‌پی کار خود را به عنوان یک شرکت داروسازی بزرگ آغاز کرد و داروی کاهش وزن را روانه بازار کرد که باعث می‌شد احساس گرسنگی، در کسانی که قدرت خرید آن را داشتند، از بین برود آن هم بدون هیچ عوارض جانبی و مانند این‌ها، این دارو به‌وسیله ارگانسیم‌های اصلاح ژنتیکی شده کار

6. Anand

7. Müller

8. Nigel Harrington

می‌کرد که در شکم قرار می‌گرفتند و پیغام‌های دقیقی را به عصب واگ<sup>۹</sup> معده می‌فرستادند. شش ماه پس از عرضه این محصول، چاقی در میان طبقه متوسط آمریکا ناپدید شده بود و کپی‌کاران در بازار سیاه افراد ساده‌لوح را با محصولاتی مشابه فریب می‌دادند، و شرکت جی‌ای‌پی به چهارمین شرکت ثروتمند کشور تبدیل شد، کشوری که در آن شکاف میان آن‌هایی که می‌توانستند در مقابل تغییرات آب و هوایی، شورش‌های رو به رشد و خطرات چاقی از خود محافظت کنند و دیگران روز به روز بیشتر می‌شد.

در واقع این شورش‌ها بودند که جی‌ای‌پی را به صرافت تاسیس پرسروصدای بخش بوم‌شناسی انداختند. آنها نمی‌توانستند به مقابله با تغییرات اقلیمی پردازند ظاهراً هیچ‌کس توان مقابله با آن را نداشت در نتیجه هدفی کوچکتر یعنی تصفیه رودخانه‌های آلوده را برگزیدند. سپس سراغ سث آمدند، کسی که توانسته بود رودخانه‌های آلوده را دوباره به وضعیت طبیعی بازگرداند، دستاوردی که شهرتی ناخواسته را برایش به همراه داشت.

زمینه کاری او اپیستازی<sup>۱۰</sup> بود؛ تأثیر جهش‌های ژنتیکی که برای کارکرد به دیگر جهش‌ها وابسته هستند و در نتیجه بستری برای تغییرات در عملکرد پروتئین‌ها را ایجاد می‌کنند. او به دنبال راه‌هایی تازه برای تابندگی پروتئین‌ها بود. سث، پس از سال‌های کار مداوم، هشت اپیستاتیک به هم وابسته را در میان جهش‌هایی گوناگون در سویه‌های مختلف باکتری مدنظرش کشف کرد. سپس چند سال دیگر، سال‌های خوبی که در تنهایی سپری شد، را به اصلاح باکتری پرداخت و همواره یک هدف در ذهن داشت.

سپس به این هدف دست یافت.

او با مهندسی ژنتیک موفق شد باکتری پسماند سمی یک کارخانه نساجی که به رودخانه‌ای کوچک در اندونزی می‌ریخت را از بین ببرد. همان زمان هم اصلاحات ژنتیکی ساده‌تری برای فاضلابی که به رودخانه می‌ریخت به کار گرفته می‌شد اما هیچ‌کس تا آن زمان قادر نبود که پسماند صنعتی را از بین ببرد. آن‌قدر هوا گرم بود که برای تست‌های مربوط به باکتری‌ها، سث تنها

9. vagus

10. Epistasis

می‌توانست هنگام طلوع و غروب خورشید کار کند، او خوشحال بود. نود و هشت درصد مواد سمی نابود شده بودند.

او هیچ تصویری از آنچه در پیش بود نداشت. انتظار داشت که مقاله اش در یک نشریه علمی چاپ شود و در میان همکارانش اعتبار بیشتری بیابد. اما در عوض به ستاره‌ای رسانه‌ای تبدیل شد. دوربین‌های رباتیک او را دنبال می‌کردند، روزنامه‌نگاران محاصره‌اش می‌کردند و مردم درمانده در کشورهای فقیر برایش نامه‌های جانسوز می‌نوشتند و مرگ کودکانشان در رودخانه‌های آلوده را شرح می‌دادند و از او تقاضای کمک می‌کردند. سث از همه این‌ها متنفر بود. به شرکت جی‌ای‌پی پناه برد و پیشنهاد آنها برای بهبود باکتری‌ها برای مدیریت دیگر مواد سمی را پذیرفت. اختراع این شیوه به نام سث ثبت شده بود. او می‌خواست در آزمایشگاه پیشرفته‌اش در بوستون کار کند. حتی قراردادش را هم به طور کامل نخواند.

آن‌ها او را به هند «قرض» دادند. طبق قرارداد، شرکت جی‌ای‌پی حق چنین کاری را داشت و چنین اقدامی برای روابط عمومی یشرکت بسیار مفید بود.



یکی از زنانی که در جلسه خوش‌آمدگویی حاضر بودند همراه با دو محافظ او را به سوی رودخانه گنگ می‌بردند. این زن کدامشان بود؟ نمی‌توانست به یاد بیاورد. در دوران پنجاه سالگی به سر می‌برد و به نظر می‌رسید که مادر بزرگ باشد. این باید کار حرف زدن با او را آسان‌تر می‌کرد، اما سث نمی‌توانست حرفی برای گفتن بیابد. به دنبال آن زن می‌رفت؛ ظاهراً رودخانه نباید خیلی دور باشد، که این کار انجام آزمایشات را ساده‌تر می‌کرد.

زن گفت: «شرکت جی‌ای‌پی مشغول ساخت پیاده‌روی اختصاصی به رودخانه است»، «اما هنوز تکمیل نشده. راستی من سانوی پارث<sup>۱۱</sup> هستم از دانشگاه دهلی. فکر نکنم که به یاد بیاورید.»

«متأسفم، من ...»

زن لبخند شیطنت‌آمیزی زد و گفت: «اشکالی ندارد، دکتر سندرز. شما در

یک لحظه به افراد زیادی معرفی شدید.»

«بله»

«و این را دوست ندارید. اما حالا بدون هیچ مزاحمتی کار خواهیم کرد. می‌دانید، من همکار شما در آزمایشگاه هستم. ژنتیک شناس ارشد. با گرما راحتید؟»

«حتماً.» زن بطری آب را به او داد. «روی آن دیوار در سایه بنشینید. هیچ وقت اینقدر بد نبود. اما می‌دانید، همه اش اثرات گرمایش جهانی است.»  
«او نمی‌دانست، یعنی از اعداد و ارقام مربوط به افزایش دما خبر نداشت. همیشه در آزمایشگاه‌هایی بود که به سیستم خنک‌کننده مجهز بودند، تا اینکه به اندونزی رفت. حس یک موجود ضعیف را داشت. اما لبخند زن می‌گفت که ایرادی ندارد.»

«خیلی خوب انگلیسی صحبت می‌کنید. این را گفت و امیدوار بود که حرف نابجایی نزده باشد.»

«تحصیلات تکمیلی و فوق دکترایم را در آکسفورد گذراندم.»

در میدانی کوچک، یا چیزی شبیه به میدان با ساختمان‌ها و غرفه‌های فروش کالا، توقف کرده بودند. سث تلاش کرد که از حرکت دائمی رنگ‌ها و صداها و بوها سر در بیاورد. معابد، میمون‌ها، زنانی ساری به تن، مردانی دهوتی پوشیده، دوچرخه‌های موتوری، سگ‌ها، دوربین‌های پلیس، گداها، گروهی از مردان که نوجوانان جسدی را به سوی رودخانه حمل می‌کردند، میوه‌ها و غذاهای در حال سرخ شدن بله گاوی که سرخوشانه این سو و آن سو می‌رفت ...

همه این موارد شگفت آور، انگار که از او جدا بودند و توجهی به او نداشتند و اجازه می‌دادند که او تنها نظاره گر باشد.

در یک لحظه، بطری آب گرم در دست و در حالی که گرما او را احاطه کرده بود، قلبش فشرده شد. سث، فرزند زمستان‌های یخ زده مینه‌سوتا، فرزند معادن سنگ آهن، فرزند والدینی سختگیر و کم حرف، حالا عاشق هندوستان شده بود.

دیا را در یک مهمانی دید که شرکت جی‌ای پی ترتیب داده بود، شرکت همه را ملزم کرده بود که در مهمانی حاضر شوند. سث در گوشه‌ای با گیلان نوشیدنی در دست ایستاده بود، بدون هیچ میلی به نوشیدن، می‌خواست که به آزمایشگاه بازگردد، زیرچشمی به ساعتش نگاه کرد. بعد از یک مکالمه ناکام و پس از نیم ساعت، دیگر کافی بود. به سوی در خروج چرخید اما با خانمی برخورد کرد و نوشیدنی اش روی لباس او ریخت. دو نفر که در اطراف آنها ایستاده بودند با حیرت نگاه کردند.

«متاسفم ... نمی‌خواستم این‌طوری شود ... من ... اجازه بدهید پول خشکشویی را بپردازم!»

بر حیرت اطرافیان افزوده شد چرا؟ سپس لباس که از برگ درست شده بود توجهش را جلب کرد. برگ‌های واقعی، که البته کاری روی آنها صورت گرفته بود؛ صدایی که آنها تولید می‌کردند بسیار ناچیز بود و به زحمت قابل شنیدن بود؛ عطری همچون عطر درخت کاج منتشر می‌کردند، و رنگ آنها به طور حیرت‌آوری از طلایی به نارنجی و صورتی تغییر می‌کرد غیر از جایی که نوشیدنی ریخته شده برگ‌ها را پژمرده و قهوه‌ای کرده بود، درست شبیه ... خب، شبیه برگ‌های پژمرده.

صاحب لباس با عصبانیت رو به سث بازگشت و این بار سث بود که خشکش زد. چگونه یک نفر می‌تواند تا این حد زیبا باشد؟ ظریف، با موهای مشکی پرپشت، چشمان سبز و پوستی صاف به رنگ چوب بلوط صیقل داده شده. زن گفت: «خشک شویی؟»

«یا ... هرچی ... نمی‌دانم ..»

«واضح است که نمی‌دانید.» سپس عصبانیت او به نوعی هیجان تبدیل شد. «شما سث سندرز هستید. پسر نابغه تازه در جی‌ای پی. چیزهای جالبی درباره شما شنیده‌ام.»

«من ...؟ او چی؟ او یک احمق بود، باید در آزمایشگاه بماند، او به جمع‌های انسانی تعلق نداشت، به خصوص به چنین جمعی. کسی به دادش رسید و

گفت «این دیا است آقای سندرز»، «دیا سدهی<sup>۱۲</sup>. طراح مشهور تکنوفشن<sup>۱۳</sup>، می‌داند.»

نمی‌دانست. زن دستش را دراز کرد و وقتی او به خاطر گیجی و خجالت، دست زن را نگرفت این دیا بود که دست سث که کنارش آویزان بود را گرفت و بالا آورد و گفت: «سلام سث. از دیدار شما خوشوقتم.»

دباغی‌های کانپور<sup>۱۴</sup>، که بیشتر توسط مسلمانان اداره می‌شدند، در جامائو، محله‌ای مسلمان نشین، واقع شده‌اند. «تهدیداتی متوجه اینجا بوده،» سانوی گفت، «و بدتر از تهدیدات. خشونت‌هایی اینجا روی داده. وقتی اوضاع سخت می‌شود، مردم به دنبال قربانی می‌گردند.»

سث، مشغول بررسی رودخانه گنگ بود و به ندرت به او گوش می‌داد. درپچه آب راهی که پسماند دباغی‌ها از آن به رودخانه گنگ می‌ریخت را گشود. آب آبی رنگ همراه با کرومات بود. از میان دروازه، محوطه‌ای را دید که پوست بوفالوها در آن زیر آفتاب پهن شده بودند تا خشک شوند. پسری نیمه‌برهنه پوست‌ها را در حوضچه‌ای آبی‌رنگ لگدمال می‌کرد، در حالی که اطرافش غازها و بزها حضور داشتند و بالای سرش ابری از مگس‌ها بود. بویی در هوا پیچیده بود انگار که لاشه فاسد شده را با اسید باتری ترکیب کرده باشند.

«سی سال است که اینجا تغییری نکرده»، سانوی این را گفت و ادامه داد: «کروم سه ظرفیتی نسبت به فرآوری‌های گیاهی سابق انعطاف‌پذیری بیشتری به پوست می‌دهد. مقدار زیادی از کروم سه ظرفیتی اکسید شده و به شش ظرفیتی تبدیل می‌شود. قرار بود کارخانه‌ای برای همین کار اینجا تاسیس شود اما فساد در اوتارپرادش<sup>۱۵</sup> بدتر از بقیه هند است و در نتیجه چیزی ساخته نشد. همه چیز ناکام مانده است برنامه ملی تمیزسازی، لویچ قانونی،

12. Sodhi

13. technofashion

شاخه‌ای از مد که مد و فن‌آوری را در هم می‌آمیزد.

14. Kanpur

یازدهمین شهر پرجمعیت هند

15. Uttar Pradesh

یکی از ایالت‌های شمالی هند

برنامه‌های روابط عمومی‌ها، جریمه‌ها، حسگرهای تشخیص تخلف. کانپور ۴۰۶ دباغی ثبت شده و بسیاری دباغی غیرقانونی دارد که استانداردها در مورد آنها کاربردی ندارند. آلودگی کروم در اینجا هشتاد برابر حد قانونی است.»

«هشتاد؟»

«بله، ما گانگا (الهه رودخانه) در حال اشک ریختن است.»

سث به او نگاه کرد. «واقعاً برایت مهم است..»

زن برای مدتی طولانی چیزی نگفت و سث فکر کرد که احتمالاً باز هم همچون دفعات قبل حرف نابجایی زده است. سانوی بالاخره گفت: «خیلی زیاد. من نمی‌توانم در مورد چیزی که در حال نابود کردن هند است کاری کنم. سیل در مناطق ساحلی، نابودی تولیدات کشاورزی، مرگ و میر در اثر گرما ... اما شاید من همراه با شما بتوانیم در این مورد کاری بکنیم. دیگران نیز شاید بخواهند برای گرم شدن زمین کاری بکنند.»

چهره سث در هم رفت. «چه کسی؟ چه کاری؟ هر دولتی که برای این کار تلاش کرده ناکام مانده است.» به خاطر فساد اداری، به خاطر نفوذ تولیدکنندگان که با سوخت فسیلی کار می‌کنند، به خاطر بی‌میلی به شیوه‌های مهندسی آب و هوا، به خاطر میل به هیچ کاری نکردن.

سانوی پاسخی نداد. «بیا برگردیم به آزمایشگاه و کار کنیم.»

دیا با شهرت آشنا بود، می‌توانست به او نشان بدهد که چگونه از شهرت بگریزد. می‌توانست او را برای یک ساعت، یک روز یا حتی یک هفته از پهبادهای و گزارشگران و افراد دیوانه‌ای که به طور معمول او را به مرگ تهدید می‌کردند یا «کشفیات علمی سری» را با او در میان می‌گذاشتند، جدا کند. او را به نقاطی دوست داشتنی می‌برد که در آنجا هیچ کس به میکروبیولوژی یا مد علاقه‌ای نشان نمی‌داد: کابینی در کوه‌های آلپ، مزرعه‌ای در ایالت وایومینگ، کوهی در نپال. این پنهان شدن از قرن بیست و یکم برای دیا نوعی سرگرمی و برای سث همچون اکسیژن بود. دیا می‌گفت که «به مورد توجه بودن عادت خواهی کرد»، اما این‌طور نشد. در میان سفرها، او به آزمایشگاه پناه می‌برد و روی تخت مسافرتی در دفترش در شرکت جی‌ای‌پی می‌خوابید.



دیا می‌گفت که «به کارت افتخار می‌کنم» و بعدها گفت: «تو خیلی کار می‌کنی، سث» و بعدتر گفت: «تو از کارت استفاده می‌کنی تا از زندگی واقعی، از جمله من، اجتناب کنی؟»

او در اعتراض گفت: «کار من زندگی واقعی من است»، خیلی زود فهمید کلماتی که به کار برده نابجا بوده‌اند، اما نمی‌دانست چرا. چشم‌های زیبای دیا سرد شدند؛ صدای آهنگین او آن قدر تند و تیز شد که می‌توانست الماس را برش دهد.

دیا گفت: «بله، برای تو، کار تنها چیزی است که واقعی است. من تنها خیالی هستم که حالا از آن خسته شده‌ای.»

«دیا»، او آغاز کرد، اما نمی‌دانست که چطور ادامه بدهد. کلمات مناسب را نمی‌یافت، احساساتش به اندازه پروتون‌ها<sup>۱۶</sup> در هم پیچیده بودند. همه کاری که می‌توانست انجام دهد این بود که چرخیدن دیا، تاب خوردن موهای مشکی اش روی شانه‌هایش و دور شدن او در لباس متحرک که شبیه ابر بود و خودش طراحی کرده بود را تماشا کند.

اما دیا با او به هند آمد، البته با شرایط مخصوص به خودش. «من کان‌پور را دیده‌ام»، با بی میلی ادامه داد «آن را دوست ندارم. شلوغ، کثیف، فقیر. اما خواهرم آنانیا در محله بین المللی زندگی می‌کند. پیش آنانیا می‌مانم.» دیا در محله بین المللی که هوای آن مطبوع نگه داشته می‌شد و آنجا ویلاهای هوشمند متصل به اینترنت در میان گل‌های کاغذی، رستوران‌های پرزرق و برق و مغازه‌ها تحت حفاظت نیروهای مسلح قرار داشتند. در حالی که سث و سانوی و کارکنانشان ساعات بیشتر و بیشتری را کار می‌کردند، او دیا را کمتر و کمتر می‌دید.

برخی اوقات با خود فکر می‌کرد که آیا دیا اصلاً متوجه این کاهش دیدارها شده است یا خیر.

هفته‌ها اصلاح ژنتیکی، تقویت، آزمایش، تکرار تکرار تکرار. هفته‌ها برانگیختن پروتئین‌ها برای اینکه به شیوه متفاوتی تا شوند، به خودشان اما

به شکل متفاوتی تبدیل شوند. هفته‌های در معرض گرمای رودخانه و سرمای کولر در آزمایشگاه‌ها، فعالیت فکری سخت و تحلیل‌های رایانه‌ای و شب‌هایی همراه با بی‌خوابی.

و بالاخره، همه این‌ها ناگهان به نتیجه رسید و او و سانوی موفق به یافتن راه‌حل شدند. میکروبی که توانست آب رودخانه را از کرومات‌ها پاک کند.

«می‌توانم این را بنوشم!» سث گفت.

سانوی با خنده گفت: «این کار را نکن»

«باید ... چند ساعت دیگر برمی‌گردم!»

دیا را در استودیو اجاره‌ای اش یافت، احاطه شده توسط توپ‌های پارچه، چاپگرهای سه بعدی و ماشین‌هایی که سث از آنها سر در نمی‌آورد. روی میز کار خم شده بود و در حال برش دادن یک قطعه چرم با لیزر بود. «دیا، ما انجامش دادیم!»

دیا عینک ایمنی را روی سرش برد. «چه کار کردید؟»

«ژنومود! پیدایش کردیم!»

«بسیار عالی. تبریک می‌گویم.» دوباره به برش ادامه داد، این بار بدون عینک ایمنی.

سث همانجا ماند. «این پوست بوفالو نیست. »

«نه، گوساله است. به‌طور اعجاب‌انگیزی انعطاف‌پذیر است. می‌خواهم ... »

«از کجا گیرش آوردی؟»

دیا صاف شد. سث در چشمان دیا همه آنچه در پیش بود را دید و به گونه‌ای عجیب، دیا به استقبال آنچه در پیش بود رفت. «پوست محلی است.»

سث نتوانست جلوی خودش یا آنچه میان آنها در حال وقوع بود را بگیرد. «از گاوی که همین‌جا و بر خلاف قانون کشته شده و با نمک کروم دباغی شده که رودخانه را آلوده می‌کند.»

«تو در مورد آلودگی می‌گویی که چی درست است؟ تو یک آمریکایی؟»

انتشار کربن شما به تنهایی ... »

«دیا ... کروم به آب کشاورزی، سبزیجات، شیر و شیر مادران راه پیدا

می‌کند»

«تو به من در مورد هند درس می‌دهی؟ خودت هم نمی‌فهمی که چه می‌گویی! از هند تصویری رمانتیک برای خودت ساخته‌ای!»  
 «و کاری که تو می‌کنی بدتر است تو یک کیف فرشی به دوش<sup>۱۷</sup> در کشور خودت هستی!»

همان لحظه از حرفی که زد پشیمان شد. اما شاید دیا نمی‌دانست که «کیف فرشی به دوش» چه معنایی دارد.  
 اما دیا می‌دانست. لب‌های زیبایش در هم جمع شدند طوری که تقریباً ناپدید شدند. وقتی دوباره آنها را باز کرد، گفت: «بی فایده است، سث. این ازدواج به جایی نمی‌رسد.»  
 تصویر در ذهن او معبدی طلائی بود که به تلی از خاک تبدیل شد او که هرگز در طول زندگی پا به معبدی نگذاشته بود.



در مورد اینکه دیا به بوستون آمریکا بازگشته به سانوی و دیگران چیزی نگفت. پیش از آنکه بتوان گزارشی رسمی را به نایجل هرینگتون داد، هفته‌ها آزمایش در پیش بود. باکتری ممکن بود که در نسل دوم، یا سوم یا بیست و شش دچار تغییر شود. تا شدگی پروتئین ممکن بود تغییر کند. ممکن بود که ژنومود در بخش دیگری از آب رودخانه، در تراکم متفاوتی از کروم و در دمایی متفاوت، واکنش متفاوتی نشان دهد.

سث روی تخت مسافرتی در دفترش می‌خوابید در حالی که سانوی به خانه‌اش نزد همسر، دختر و نوه‌اش می‌رفت. او هرگز در این مورد حرفی نمی‌زد.

از شدت گرمای هوا کاسته نشد. سیل در مناطق ساحلی ادامه داشت و به جایجایی میلیون‌ها نفر در سرتاسر جهان انجامیده بود. میزان گاز دی اکسید کربن افزایش یافته بود. بیماری‌های استوایی به بخش‌های دمایی دیگر نیز

17. Carpet Bagger

در ابتدا به افرادی گفته می‌شد که پس از جنگ داخلی آمریکا، برای کسب سود از شمال به جنوب آمدند و از آنجا که بیشتر آنها کیف فرشی به دوش داشتند، «کیف فرشی به دوش» نام گرفتند. اکنون به افراد فرصت طلب که تنها با هدف کسب و سود و بی توجه به اخلاقیات به سرزمین دیگری می‌روند گفته می‌شود.

گسترش یافته بودند. نشست آب و هوایی سران کشورها باز هم ناکام مانده بود. شورش‌ها، کودتاها و انتخابات، شامل انتخابات آمریکا، در جهان روی می‌دادند. سث به اخبار بی توجه بود، تا شبی که صدای شلیک از نزدیکی شنیده می‌شد.

سربازها به سرعت در داخل و خارج آزمایشگاه‌های شرکت جی‌ای پی حالت تدافعی گرفتند. اما نیازی به این کار نبود. آنها هدف نبودند.

«دویست و هفده کشته»، این را سانوی صبح روز بعد گفت. «همه در جاجماتو.»

«چرا؟» سث پرسید.

برای نخستین بار، سانوی صبوری‌اش در مواجهه با او را از دست داد. «قبلا هم بهت گفته بودم. در دوران سخت، مردم به دنبال مقصر می‌گردند. این حمله ... بیشتر دباغی‌ها در اختیار مسلمانان است. دهه‌ها است که میان هندوها و مسلمانان، ملی‌گرایان و حامیان جهانی‌سازی، فساد اداری و اصلاحات، آن‌هایی که قدرت دارند و آن‌هایی که قدرت را می‌خواهند درگیری است ... فاجعه آب و هوایی تنها همه را تحت فشار بیشتری قرار داده است. اینقدر ساده‌لوح نباش، سث!»

«داری می‌گویی که نمی‌شود کاری کرد. نه برای خشونت، نه برای گرمایش جهانی، نه برای ... هیچ چیزی.»

«من می‌گویم که دولت‌ها ناکارآمد هستند. اما» ناگهان ساکت شد.

«به من بگو. این نخستین بار نیست که اشاره کردی به ... یک چیزی.»

اما همه آنچه سانوی گفت این بود: «باید برگردیم سر کار.»

چهار روز بعد، شرکت جی‌ای پی پروژه را متوقف کرد.

«متاسفم، دکتر سندرز»، این را نماینده‌ای که از طرف دفتر هرینگتون فرستاده شده بود گفت. هیچ کمیته‌ای این بار در کار نبود. «دفتر منابع انسانی برای بازگشت با شما تماس خواهد گرفت. الان، انتظامات شما را به بیرون هدایت خواهد کرد. این هم جعبه برای متعلقات شخصی شما است»

«اما چرا؟»

«شرکت جی‌ای‌پی تصمیم گرفته که اهداف بخش بوم‌شناسی در پروژه‌های دیگری بهتر محقق خواهند شد.»  
 «اما این که نشد جواب! ما تقریباً به نتیجه رسیده‌ایم!»  
 «متاسفم!»

سانوی از آزمایشگاه بیرون آمد در حالی که جعبه خودش را حمل می‌کرد.  
 «سٹ، بیا.»  
 «ولی ...»  
 «بیا.»

سانوی او را به کافه‌ای برد که بوی زردچوبه و زیره می‌داد. سٹ نمی‌توانست چایی‌اش را قورت دهد. سانوی گفت، «به من گوش بده. خشونت‌های بیشتری در راه خواهند بود. شایعه شده که صاحبان دباغی‌ها می‌خواهند حتی سم بیشتری وارد ما گانگا کنند. رشوه‌ای که شرکت باید به دولت بپردازد خیلی زیاد شده است. وزیر محیط‌زیست بازنشست شده و شخص دیگری جایش را گرفته است.»

«اما همه این‌ها چه ربطی به علم دارد؟»

«چایی‌ات را بنوش.»

«من این چایی لعنتی را نمی‌خواهم!» و سپس گفت «عذر می‌خواهم.»  
 در فضای تنگ و تیره کافه، چشم‌های سانوی همچون استخری تاریک بودند.

سٹ سعی کرد جلوی جاری شدن اشک‌هایش را بگیرد. «فقط اینکه ما ... من می‌خواستم ... و همه این‌ها خیلی ناامید کننده است. همه چیز، همه سیاره.»

«نه. ناامید کننده نیست.» صورتش جدی‌تر شد و به سوی سٹ خم شد.

«تو به جای اشتباه می‌نگری.»

«چی؟»

«می‌خواهم بگویم که این نه دولت‌ها هستند که به داد سیاره زمین خواهند رسید، نه شرکت‌هایی مانند جی‌ای‌پی و نه دانشگاه‌ها. آنها همه فقط به دنبال نفع خودشان هستند. تنها از افراد مصمم کاری ساخته است.»

سٹ خندید۔ «خب، انگار کہ افراد بہ تنہایی می‌توانند کاری انجام دهد.»  
 «می‌توانند۔ برخی از آن‌هایی کہ چنین کاری خواهند کرد را می‌شناسم۔  
 آنہا برای یک پروژہ مهندسی آب و ہوا در حال برنامه‌ریزی هستند تا پوششی  
 از ذرات ہوا پخش را بہ جو زمین بفرستند، این ذرات نور خورشید را منحرف  
 کردہ و زمین را خنک می‌کنند.»

سٹ بہ سانوی خیرہ شد۔ او کاملاً جدی بود۔  
 سانوی ادامہ داد: «ما چندین دہہ است کہ می‌دانیم چنین کاری ممکن  
 است تو ہم حتماً می‌دانی.»

«بلہ»، سٹ گفت، «اما، سانوی، ہیچ کشوری ہرگز موافقت نکرده کہ»  
 «هیچ کشوری.» من کہ بہ تو گفتم۔ این یک پروژہ خصوصی است کہ  
 یک میلیارد کہ بہ این کار باور دارد ہزینہ‌هایش را تامین می‌کند۔ ماہ آیندہ  
 بیست ہواپیما بلند خواهند شد و در سرتاسر جہان ذرات ہواپخش را در ارتفاعی  
 بالا منتشر خواهند کرد، آن قدر بالا کہ در جو زمین ثابت بمانند.»  
 «ہواپیماها ساقط خواهند شد.»

«برخی از آنہا بلہ۔ اما تا آن موقع، دیگر بسیار دیر خواهد بود۔ ذرات دیگر  
 منتشر شدہ‌اند و زمین خنک خواهد شد.»  
 «شما ہمہ آب و ہوا را تغییر خواهید داد! محصولات کشاورزی از بین  
 خواهند رفت و...»

«برخی از آنہا بلہ۔ برخی ہم بہتر رشد خواهند کرد۔ در طی زمان، در  
 مجموع دستاوردها مثبت خواهند بود۔ سٹ، فکر کن۔ شرایط آب و ہوایی  
 ہمین حالا ہم در حال تغییر است و دارد بدتر می‌شود.»  
 «ولی»

«کاری نکن کہ از اعتماد بہ تو برای در میان گذاشتن این اطلاعات پشیمان  
 شوم.»

«شما دارید بہ فرآیندی آزمون نشدہ، افراطی و ناشناختہ اطمینان  
 می‌کنید.»

«من نہ۔ اما، بلہ، افرادی کہ در پروژہ دخیل هستند بہ یک فرآیند  
 ناشناختہ اعتماد دارند۔ برخی اوقات انتخاب بہتری وجود ندارد۔ اینہاش، این

در اصل به تو تعلق دارد، نه به شرکت جی‌ای‌پی. تو آن را خلق کرده‌ای.»  
 «از جیبی مخفی در شلوار گشادش، شیشه کوچکی که سر آن بسته شده بود را درآورد.»

در بالای پلکان، آمریکایی آفتاب سوخته درنگ می‌کند. زنی به سوی او می‌آید. طوری لباس پوشیده که او هرگز ندیده بود، یک ساری آبی و طلایی، بازویش را به آرامی لمس می‌کند اما حرفی نمی‌زند.  
 «سانوی،» مرد می‌گوید.

چشمان تیره اش، چین و چروک‌های اطرافش، متوقف می‌شود.  
 «این کاری نیست که علم قرار بود انجام دهد.» مرد این را می‌گوید.  
 «نمی‌توانم مسئولیتش را بر عهده بگیرم.»  
 «اگر تو نه، پس کی؟»  
 مرد ساکت است.

«ست، نیردوشاک<sup>۱۸</sup>، یک پروتئین می‌تواند به شکل‌های مختلف بسیاری تا شود. درست است؟ اما نمی‌تواند به تعدادی بی نهایت به اشکال مختلفی تا شود. هر چیزی حدی دارد.»  
 دیا.

سانوی، بدون اینکه ضرورتی داشته باشد، ادامه می‌دهد، «حتی معصومیت.»  
 کمی بعد. قایق عزاداری خاکستر را روی رودخانه خالی می‌کند. زنی بسیار پیر لباس‌های خیس را به پله‌های پایینی پلکان می‌کوبد. دو گردشگر در حال عکس گرفتن هستند. بالای سر، یک پهپاد به آرامی در گردش است. ست تصور می‌کند که می‌تواند آبی ناشی از کروم سمی داخل آب را ببیند. هر چند می‌داند که نمی‌تواند.

به پلکان باز می‌گردد، درب محموله را باز می‌کند و به سوی رودخانه مقدس خم می‌شود.

۱۸. در زبان هندی به معنی معصوم.

فصل بیستم

# نتیجه‌گیری: درس‌هایی از انقلاب صنعتی

الیور مورتون<sup>۱</sup>

برای بهره‌بردن از ایده‌های مطرح شده در این کتاب درباره  
فن‌آوری آینده، باید به رویدادی کلیدی در گذشته بنگرید.

---

1. Oliver Morton



تقریباً در طول همه تاریخ ثبت شده و ثبت نشده بشر، فن آوری که از نسلی به نسلی دیگر منتقل می‌شد یکسان بود. ابزاری که مورد استفاده افراد قرار می‌گرفت شبیه همان ابزاری بود که پدران و مادران آنها استفاده می‌کردند و یا اصلاً همان ابزار از والدین به فرزندان ارث می‌رسید؛ بیلچه، کج بیل باغبانی، دسته هاون، قابلمه، سوزن، چاقو و دیگر لوازم یکسان از نسلی به نسلی دیگر می‌رسید. نه اینکه جهان تغییر نمی‌کرد و نوآوری اهمیتی نداشت: اختراع دودکش ماهیت خانه و اختراع رکاب نقش اسب را تغییر دادند. اما تغییرات کند بودند و فن آوری همان‌طور که می‌توانست به پیش رود، ممکن بود پسرفت کند. زمانی که فیلیپو برونلسکی<sup>۱</sup> برای ساخت گنبد کلیسای جامع فلورانس، از گنبد پانتئون (معبد رومی) در روم الگو یا حداقل الهام گرفت که طرح اولیه آن توسط آگریپا<sup>۲</sup> ارائه شده بود، برای بیش از ۱۳۰۰ سال بود که هنر گنبدسازی در اروپای غربی دیگر به کار گرفته نمی‌شد.

هنوز هم در بیشتر جهان این پایدار ماندن فن آوری میان نسل‌ها قابل مشاهده است. بسیاری از افراد برای بسیاری از امور هنوز از فن آوری‌های نسل والدین‌شان بهره می‌برند. همان‌طور که دیوید اجرتون<sup>۳</sup>، متخصص تاریخ فن آوری در کینگز کالج لندن<sup>۴</sup>، در کتاب شوک قدیم<sup>۵</sup> (سال ۲۰۰۶) شرح می‌دهد، شیفتگی فعلی در مورد فن آوری به‌عنوان نوآوری باعث شده که تاریخ فن آوری کاربردی مورد غفلت قرار گرفته و این فن آوری به‌عنوان ابزار کاربردی (مانند مواردی بسیار پایه‌ای همچون گاری یا کاندوم) است که بسیاری از جنبه‌های زندگی بشر را پایه‌ریزی کرده و آنچه می‌توان انجام داد و میزان سختی انجام آن را تعریف کرده است.

این پایداری بین نسلی فن آوری چیزی نیست که تنها در مناطق روستایی و جهان رو به توسعه وجود داشته باشد. واکلاک اسمیل<sup>۶</sup> از دانشگاه

1. Filippo Brunelleschi

2. Agrippa

3. David Edgerton

4. King's College London

5. The Shock of the Old

6. Vaclav Smil

منیتوبا<sup>۷</sup> در کتاب محرکان اصلی جهانی شدن<sup>۸</sup> (سال ۲۰۱۰) شرح می‌دهد که فن‌آوری‌های بنیادینی که تجارت و حمل و نقل به آنها وابسته‌اند برای مدتی طولانی است که حضور دارند: ظهور موتور دیزل و توربین گازی به ترتیب به دهه ۱۸۹۰ و دهه ۱۹۳۰ باز می‌گردد. هرچند زمان لازم بود تا این دو بر تجارت تسلط بیابند اما برای بیشتر از یک قرن اخیر، موتورهای دیزلی کشتی‌ها، قطارها و کامیون‌ها بیشتر کالاهای جهان را جابجا کرده‌اند و هواپیماها اکنون این خدمات را برای موارد فوری ارائه می‌دهند.

همان‌طور که اسمیل در جای دیگری توضیح می‌دهد، شاید یکی از مهم‌ترین فن‌آوری‌های قرن بیستم که قطعا بسیار کم مورد ستایش قرار گرفته (۱) اساسا از زمان ظهور تاکنون ثابت مانده است. در اواخر دهه ۱۹۰۰ و اوایل دهه ۱۹۱۰، فریتس هابر<sup>۹</sup> و همکارش کارل بوش<sup>۱۰</sup> در شرکت شیمیایی بی‌ای‌اس‌اف و دانشگاه فرایبورگ نخستین شیوه کارآمد برای استفاده از نیتروژن هوا در شکل واکنشی این عنصر را ارائه دادند که به‌وسیله آن امکان ساخت کودهای شیمیایی و مواد منفجره فراهم شد.

جنگ‌ها، به‌وسیله این پیشرفت، به مقیاس غیرقابل تصویری رسیدند: بنابر یک برآورد، در جنگ جهانی اول، بیش از ۶ میلیون تن مواد منفجره درجه بالا مورد استفاده قرار گرفت. چنین حد بالایی از تخریب بدون تثبیت مصنوعی نیتروژن غیرقابل تصور بود. اما جمعیت افرادی که به کمک این فن‌آوری غذای خود را تامین کردند بیش از افرادی است که بابت این فن‌آوری کشته شدند. کودهای مصنوعی بر پایه تثبیت صنعتی نیتروژن به جهان برای تامین خوراک جمعیتی یاری رساند که در انتهای قرن بیستم چهار برابر جمعیت انتهای قرن نوزدهم بود. کودهای مصنوعی هنوز هم برای تمدن بشر جنبه حیاتی دارند و هرچند که دامنه و کارایی تولید آنها بسیار گسترش یافته و بهبود یافته، همان‌طور که توانایی موتورها و توربین‌ها افزایش یافته، اما شیوه ساخت آنها همچنان بر اساس فرآیند

7. University of Manitoba

8. Prime Movers of Globalisation

9. Fritz Haber

10. Carl Bosch

هابر بوش است.

لایه تکنولوژیکی کند و مستحکمی همواره در جهان وجود داشته است؛ اما نوآوری‌ها و جهش‌های سطحی باعث می‌شوند که این لایه مداوم به چشم نیاید. با این حال، جهان برونلسکی و بوش اساساً متفاوت بوده است. نیمه دوم قرن هجدهم و نیمه نخست قرن نوزدهم تغییراتی را به خود دیدند که ماهیت فن‌آوری و جامعه را تغییر دادند. نخست در بریتانیا و سپس در سرتاسر جهان، این ایده که زندگی نسل آینده تا حد زیادی از نسل پیش از آن قابل تشخیص نیست مورد تجدید نظر قرار گرفت.

انقلاب صنعتی نه تنها فن‌آوری‌های مربوط به تولید کالا را تغییر داد، بلکه سرعت پیشرفت فن‌آوری و نرخ‌ی که کسب و کارها بر اساس این فن‌آوری‌ها تشکیل می‌شدند و از بین می‌رفتند را نیز تغییر داد. انقلاب صنعتی جهانی را خلق کرد که در آن توان تکنولوژیکی بالقوه به طور دائم در حال رشد بود و اقتصادهای ساخته شده بر بستر این توان بالقوه نیز دائماً رشد می‌کردند. تولید ناخالص جهان، که طی هزار سال پیش از آن کم و بیش با نرخ ثابتی رشد می‌کرد ناگهان رشدی نمایی را به خود دید. این رشد نمایی تا امروز تداوم یافته هرچند توان آن در طی زمان تغییر کرده است.

### خواسته‌ای از آن خود؟

تصور اینکه تغییر و تحول تنها به خاطر خود فن‌آوری روی می‌دهد، متداول و به طور خاص وسوسه‌برانگیز است، بسیار شبیه به نسخه مدرن لاکوموتیوی که به راه افتاده و در مسیرش تحقق پیشرفت‌های تازه اجتناب‌ناپذیر خواهند بود. این حس که نوآوری همان‌طوری پویایی تاریخی را پیش می‌برد که پیستون چرخ را به جلو می‌راند را می‌توان در میان بسیاری افراد یافت. می‌توان مشاهده کرد که نوآوری و نه کاربرد آن، وجه غالب روایت افرادی است که تاریخ فن‌آوری را روایت می‌کنند، تاکید بر «جدید و نوین» بودن، نیروی پیش‌برنده این روایت است. می‌توان آن را در نظریه‌های اقتصادی یافت که در آنها تغییرات فن‌آوری به عنوان امری

خارج از سیستم و برون‌زا در نظر گرفته شده که پویایی بلندمدت خود را دارد و غیرقابل توضیح است. این احساس گنگ اما پایدار به شما دست می‌دهد که پیشرفت و مسائل آن به خودی خود روی می‌دهند. چنین ایده‌هایی کاملاً هم‌سازگار نیستند؛ همان‌طور که رایان اونت در مقاله اش (فصل شش) شرح می‌دهد، ارقام مربوط به رشد اقتصادی با آن پیشرفت شتابانی که مردم در زندگی روزمره در اطرافشان حس می‌کنند همخوانی ندارد. اما همه این ایده‌ها بر بستر این احساس ایجاد شده است که فن‌آوری خودمختار است و خواست مخصوص به خود را دارد.

برای تجربه تمام و کمال این تجربه، نگاهی بیاندازید به کتاب «فن‌آوری چه می‌خواهد»<sup>۱۱</sup> (سال ۲۰۱۰) نوشته کوین کلی<sup>۱۲</sup>. کلی، دبیر اجرایی بنیانگذار مجله وایرد<sup>۱۳</sup> (و همکار سابق و دوست من)، فن‌آوری را به عنوان موجودی در نظر می‌گیرد که قوانین و منطق مخصوص به خود را دارد، چیزی کم و بیش شبیه به یک نیروی طبیعی اما هدفمندتر از آنچه از نیروهای طبیعی انتظار می‌رود. «تکنیوم»<sup>۱۴</sup>، اصطلاحی که او برای مجموع همه چیزهای تکنولوژیکی به کار می‌برد، یک تجلی از حرکت همگانی به سوی اتصال و پیچیدگی بیشتر است. کلی اعتقاد دارد که انسان‌ها هم از نظر مادی و هم از نظر معنوی از این اتصال و پیچیدگی بهره می‌برند و این پیشرفت‌ها به نفع آنها ختم می‌شود: انسان‌ها با شناخت آنچه فن‌آوری می‌خواهد و با کمک رساندن به فن‌آوری جهت دستیابی به این اهداف، به خودشان هم نفع خواهند رساند. اما برای پذیرش این خوشبینی باید پذیرفت که منافع تکنیوم و بشر همسو خواهند بود. خواننده کتاب با این فکر مواجه می‌شود که اگر آنچه فن‌آوری می‌خواهد و آنچه به نفع بشر است همسو نباشند، در این صورت این انسان خواهد بود که باید اولویت‌های خود را تغییر دهد و این در واقع، تصویری است که بسیاری از افراد در مورد جهان دارند.

11. What Technology Wants

12. Kevin Kelly

13. Wired

14. Technium

کلی در برخورد با فن‌آوری به عنوان قدرتی خودمختار نسبت به برخی دیگر به شدت بی‌محابا (و به شدت بلندپروازانه) عمل می‌کند؛ اما شیوه‌های فکری مشابه، هرچند کمتر آشکار را می‌توان در بسیاری از نوشته‌های کمتر بلندپروازانه در مورد فن‌آوری یافت که دره سیلیکون و یا جاهایی دیگر نوشته شده‌اند. مارکسیست‌ها برای این نوع نگرش اصطلاحی هم دارند: بت وارگی<sup>۱۵</sup>. همان‌طور که کارل مارکس<sup>۱۶</sup> در کتاب سرمایه<sup>۱۷</sup> (سال ۱۸۶۷) نوشت، جهان مدرن ساختار اجتماعی خود اینکه چه کسی چه کاری را برای چه کسی و به چه علت انجام می‌دهد را به‌وسیله موهبت بخشیدن به کالاهای بی‌جان مخفی و گنگ نگاه می‌دارد. کالاهایی که نمی‌توانند قدرتی از خود اعمال کنند اما فراطبیعی به نظر می‌رسند. او نوشت: «محصولات که توسط ذهن بشر تولید شده‌اند، اشکال خودمختاری به نظر می‌آیند که زندگی خودشان را دارند به گونه‌ای که هم با یکدیگر و هم با نژاد بشر در رابطه‌اند. در جهان کالاهایی با محصولات ساخته بشر چنین است. پس در جهانی کالایی با محصولات ساخت بشر چنین رویه‌ای برقرار است.»

نیازی نیست که مارکسیست باشید تا پی ببرید که هنگام سخن گفتن در مورد تکنولوژی به عنوان موجودی خودمختار که قوانین خود را پی می‌گیرد و ساختار اجتماعی که در آن قرار گرفته را بازسازی می‌کند، این انتقاد مارکس چقدر کاربرد دارد. چنین ادعایی بر پرسش‌هایی سرپوش می‌گذارد از جمله اینکه چه کسی فن‌آوری‌ها را بر می‌گزیند، آنها چگونه از طریق بازارها و دیگر شیوه‌ها گسترش می‌یابند، و چه کسی از آنها نفع می‌برد. محو ساختن چنین پرسش‌هایی به حفظ وضع موجود کمک می‌کند. اما شما می‌توانید یک مارکسیست انتقادی باشید و از مشکلات مربوط به در نظر گرفتن فن‌آوری به عنوان یک بازیگر خودمختار چشم‌پوشی کنید در واقع ممکن است بارها خود کارل مارکس باشید و چنین کاری نکنید. مارکس در طی زمان نگرش‌های مختلفی نسبت به فن‌آوری

15. fetishism

16. Karl Marx

17. Capital

داشت اما اغلب آنها جبرگرایانه بودند و در آنها فن‌آوری به خودی خود به عنوان عامل تغییر جهان در نظر گرفته می‌شد مانند زمانی که مارکس در کتاب فقر فلسفه<sup>۱۸</sup> (سال ۱۸۴۷) نوشت: «آسیاب دستی به شما جامعه‌ای با ارباب فئودال می‌دهد؛ آسیاب بخاری، جامعه‌ای با سرمایه دار صنعتی.»

همان‌طور که آندریاس مالم<sup>۱۹</sup> از دانشگاه لوند<sup>۲۰</sup> در کتاب سرمایه فسیلی<sup>۲۱</sup> (سال ۲۰۱۶)، که ارزیابی مجدد اعجاب انگیزی از انقلاب صنعتی است، شرح می‌دهد، رابطه میان جامعه، آسیاب بخاری و سرمایه داری صنعتی به مراتب پیچیده‌تر از ادعای بالا بوده است. موتور بخار اغلب به عنوان گام کلیدی و بنیادی برای تحقق انقلاب صنعتی در نظر گرفته می‌شود. اما مالم تلاش کرد تا دریابد که چرا موتور بخار در اواخر قرن هجدهم و اوایل قرن نوزدهم در بریتانیا ظهور کرد، اما دلایل چندانی برای آن وجود یافت شد. بریتانیا به طور منحصر به فردی در یافتن و سوزاندن زغال سنگ نسبت به دیگر کشورها بهتر نبود؛ موتور بخار در سال‌های نخستین به وضوح راهکار برتری برای انجام امور نبود، و توسعه آن نیز در مقایسه با شیوه‌های مشابه آسان‌تر نبود.

به علاوه اینکه، سرمایه داری صنعتی همان موقع هم در صحنه حضور داشت. رشد نمایی تولید که معمولاً به عنوان یکی از نشانه‌های انقلاب صنعتی در نظر گرفته می‌شود به مراتب پیش از متداول شدن موتور بخار تحقق یافت. تولید کتان در دهه ۱۷۸۰ به شدت رشد کرد آن هم به لطف ظهور دامنه‌ای از پیشرفت‌های مکانیکی ناشی از فرهنگی که هم نوآوری را تشویق می‌کرد و هم به طور سیستماتیکي بخش قابل توجهی از سود حاصل از نوآوری‌ها را دوباره سرمایه‌گذاری می‌کرد (نرخ بازگشت سرمایه اغلب از ۳۰ درصد فراتر می‌رفت) به گونه‌ای که به کاهش بیشتر هزینه تولید بینجامد. این توسعه به مدد قدرت چرخ آبی تحقق یافت که حتی زمانی که آگریپا هزینه ساخت پانتئون را پرداخت هم وجود داشت.

18. The Poverty of Philosophy

19. Andreas Malm

20. Lund University

21. Fossil Capital

تا آنجا که به افرادی مربوط می‌شود که تاریخچه‌ای اجمالی از فن‌آوری یا انرژی ارائه می‌دهند، این وضعیت به عنوان مرحله گذار در نظر گرفته می‌شود و که در آن موتورهای بخار به عنوان ناجی وارد شدند و چرخ‌های آبی با ظرفیت محدود تولید نیرو را کنار زدند. اما این روایت اشتباه است. در سال ۱۹۸۳، رابرت گوردون پژوهشی جامع در مورد آبریزهای شمال صنعتی انگلستان انجام داد. تا سال ۱۸۳۸، زمانی که انقلاب صنعتی کاملاً در راه بود، این آبریزها بیشتر از همیشه مورد استفاده قرار می‌گرفتند و با این وجود در هیچ حوضه رودخانه ایده درصد توان بالقوه تولید نیرو از آب به کار گرفته نمی‌شد. در حوضه با بیشترین توان تولید بالقوه، در ترنت<sup>۲۲</sup>، تنها کمتر از دو درصد توان بالقوه مورد استفاده قرار می‌گرفت.

موتور بخار برای رشد صنعتی نمایی ضروری نبود و به این خاطر به کار گرفته نشد که هیچ جایگزین دیگری وجود نداشت و یا به این دلیل که از جایگزین‌های موجود ارزان‌تر بود. موتور بخار به کار گرفته شد؛ چرا که به چند دلیل برای آن‌هایی که سرمایه‌گذاری می‌کردند مناسب‌تر بود. محدودیت زمان و مکان را برای آنها برطرف ساخت و به آنها اجازه داد که ماشین‌ها را هر جا که می‌خواهند برپا کنند و سرعت عملیات را به راحتی تغییر دهند. این ویژگی‌ها به صنعت اجازه داد که به شدت متمرکز شود تا تمرکز کارگران را تشویق کرده و از آن بهره‌بردار. دلیل اینکه مالکان و تا حدی کارگران موتور بخار را به چرخ آبی ترجیح می‌دادند به قدرت ذاتی فن‌آوری ارتباطی نداشت، بلکه این ترجیح نتیجه روابط اجتماعی میان دو گروه بود. فن‌آوری عامل انقلاب نبود، بلکه فرزند انقلاب بود.

### با همه قدرت به پیش

چرا روایت مربوط به گسترش موتور بخار امروز اهمیت دارد؟ به سه دلیل. نخست اینکه نقش مرکزی سرمایه‌داری را برجسته می‌سازد. سرمایه‌گذاری مجدد سرمایه در رشد بازار محور آینده به تقاضایی برای فن‌آوری می‌انجامد که در هیچ کدام از ساختارهای اجتماعی پیشین سابقه

نداشته است. آن‌طور که برخی معتقدند که هرچه سرمایه‌داری خالص‌تر باشد، فن‌آوری پیشرفته‌تر است. در قرن بیستم دولت‌ها نقشی حیاتی در همه‌گونه‌های توسعه و همچنین توزیع فن‌آوری ایفا کردند. اما افرادی که در اقتصادهای بازار محور مدرن فعالیت می‌کنند ظرفیت بیشتری برای تقاضا و به‌کارگیری تغییرات تکنولوژی نشان داده‌اند که در شرایط پیشین غیرقابل تصور بود.

پدیده‌ای که معمولاً به عنوان شاهدهی برای پویایی مستقل فن‌آوری در نظر گرفته می‌شود، می‌تواند بسیار روشن‌نگر باشد. بررسی دقیق نشان می‌دهد که تعداد بسیار زیادی از ایده‌های نوآورانه، از موتور دیزلی گرفته تا تلفن تا لامپ رشته‌ای در زمان مشابهی به ذهن افراد بسیاری خطور کرده است. از زمان پژوهش‌های پیشرو انجام شده توسط لنگدن وینر<sup>۲۳</sup> و رابرت مرتون<sup>۲۴</sup> در دهه ۱۹۷۰، کشفیات و اختراعاتی که به‌طور همزمان در چند نقطه مختلف روی داده‌اند به عنوان امری متداول در نظر گرفته می‌شوند و باعث شده تا فردی مانند کوین کلی از آن با عنوان شاهدهی بر چیزهایی که فن‌آوری «می‌خواهد» در مرحله بعد اختراع شوند یاد می‌کنند. هرچند به نظر من چنین پدیده‌ای خیلی ساده نشان می‌دهد که در سیستم‌های سرمایه‌داری پاداش و منفعت قابل توجهی برای اندیشیدن به کارها و محصولات تازه وجود دارد و تعداد نوآوری‌های ممکن که بتوان برای تحقق آنها تلاش کرد هم محدود است. به عنوان شاهد، مواردی را در نظر بگیرید که فن‌آوری می‌توانست در جهان پیشاسرمایه‌داری تحقق ببخشد اما این‌طور نشد. دکمه و فرغون چرخ‌دار می‌توانستند در جهان کلاسیک اختراع شوند، اما این اتفاق روی نداد.

دوم، شیوه‌ای که در آن موتور بخار نه صرفاً به اختراعی که نقشی مرکزی در انقلاب صنعتی داشت بلکه به عنوان عامل انقلاب صنعتی در نظر گرفته می‌شد به ما می‌آموزد که مردم از فن‌آوری چه خواسته‌ای دارند. موتور بخار به نماد این ایده تبدیل شد که فن‌آوری بر اساس

23. Langdon Winner

24. Robert Merton



دستورالعمل خودش پیش می‌رود و عمل می‌کند چرا که دقیقا به نظر می‌رسید که موتورهای بخار اینگونه‌اند. از نخستین روزها، این ایده که موتورهای بخار به طور خودمختار کار می‌کنند، خرافاتی بود که هم در میان شیفتگان فن‌آوری و هم آن‌هایی که فن‌آوری را شوم می‌دانستند رواج داشت. امید و ترس هر دو در این میان نقش آفرین بودند: امید به اینکه فن‌آوری ما را نجات خواهد داد و ترس از اینکه فن‌آوری ما را نابود خواهد کرد. از این‌ها گذشته، فرانکنشتاین داستانی است در مورد فن‌آوری خودمختار.

نقشی که امروز رایانه‌ها ایفا می‌کنند نیز شبیه نقشی است که موتورهای بخار در دوره ویکتوریا ایفا می‌کردند. آنها فن‌آوری هستند که به عنوان سرآمد فن‌آوری‌ها شناخته می‌شوند و خودمختاری ظاهری آنها به ایده‌پردازی‌هایی در مورد خودمختاری و فرمان‌بری همه چنین مصنوعاتی تبدیل شده است. وقتی ماشین‌ها بله یا خیر می‌گویند یا تصمیم «می‌گیرند»، همیشه این کار را بر اساس برنامه‌هایی انجام می‌دهند که توسط دستان انسانی، برای اهداف انسانی و با معایب انسانی نوشته شده‌اند. اما ماشین‌ها به گونه‌ای این کار را انجام می‌دهند که به سختی می‌توان تصور کرد که پیشکاری خودمختار در درون آنها وجود ندارد. حرکت فعلی به سوی هوش مصنوعی دقیقا از این جهت بسیار اعجاب‌آور است که به نظر می‌رسد خودمختاری ظاهری را به حد اعلای خود می‌رساند. تند نرو کلی، من باور ندارم که فن‌آوری خواسته‌ای دارد؛ اما معتقدم که مردم می‌خواهند که فن‌آوری خواسته‌هایی داشته باشد، و در برخی مواقع، برخی از مردم به شدت برای تحقق آن تلاش می‌کنند.

این تمرکز بر خودمختاری قابل درک است، به خصوص با در نظر گرفتن اینکه آشکارترین پیشرفت‌های نوآورانه طی چند دهه اخیر در حوزه فن‌آوری اطلاعات روی داده‌اند (من می‌گویم آشکارترین چرا که همان‌طور که رابرت کارلسون در فصل ۳ به ما یادآوری می‌کند، پیشرفت‌ها در فن‌آوری‌های بیولوژیکی نیز بسیار عظیم بوده‌اند). هرچند این خطر وجود دارد که توجه بیش از حد به خودمختاری به عنوان اصلی‌ترین مساله

فن‌آوری به انحراف در شیوه نگرش به آینده منجر شود. برای مثال، آینده جنگ افزارها را در نظر بگیرید. بنجامین ساترلند در مقاله جالبش (فصل ۱۱)، بسیاری از جنبه‌هایی که در آن به کارگیری خودمختاری یا هوش در جنگ‌افزارها از گلوله‌های هدایت شونده گرفته تا دیگر تجهیزات را به طور مفصل شرح می‌دهد. اما سراغ بررسی پیشنهاد مطرح شده در مقاله فرانک ویلچک نمی‌رود (فصل ۲) که در آن شرح داده می‌شود که کنترل به مراتب بهتر فیزیک هسته‌ای می‌تواند خیلی زود امکان ذخیره انرژی بسیار متراکم را فراهم آورد که در مقایسه با رآکتورها یا بمب‌های امروزی، کوچکتر و قابل کنترل‌تر و انعطاف‌پذیرتر هستند.

این قابلیت ویرانگر من را به یاد اظهارات چند سال پیش فریمن دایسون<sup>۲۵</sup>، ریاضیدان و فیزیک‌دان بزرگی می‌اندازد که زمانی همکار ویلچک بوده است. دایسون گفت که تنها کشف فیزیکی که او هرگز نمی‌خواهد محقق شود، کشف راهکاری برای انفجار سلاح‌های همجوشی<sup>۲۶</sup> (بمب‌های اچ<sup>۲۷</sup>) بدون نیاز به سلاح‌های شکافتنی<sup>۲۸</sup> (بمب‌های ای<sup>۲۹</sup>) است. به نظرم، این یکی از مواردی است که ویلچک در موردش گمانه زنی می‌کند.

در حال حاضر، متراکم سازی اتم‌های هیدروژن با یکدیگر به اندازه‌ای قدرتمند که برای بمب‌های اچ کفایت کند تنها در صورتی امکان‌پذیر است که شما ابتدا مجموعه‌ای از اتم‌های اورانیوم یا پلوتونیم را در زنجیره‌ای از فعل و انفعالات بشکافید؛ همه سلاح‌های همجوشی، برای پیش برد فعالیت، درون خود سلاح‌های شکافتنی دارند. طراحی سلاح‌های شکافتنی نسبتاً ساده است: زمانی که دانشمندان نخستین پروژه منهتن<sup>۳۰</sup> در سال ۱۹۴۲ به لس‌آلاموس<sup>۳۱</sup> رسیدند، طراحی سلاح‌های شکافتنی وجود داشت. هرچند که متراکم کردن ایزوتوپ‌های درست پلوتونیوم و اورانیوم به مقدار لازم، به

25. Freeman Dyson

26. Fusion Weapons

27. H-bombs

28. Fission Weapons

29. A-bombs

30. Manhattan Project

31. Los Alamos

مراتب سخت‌تر است و در دهه ۱۹۴۰ سهم قابل توجهی از تولید ناخالص داخلی آمریکا به آن اختصاص یافت. چنین کاری هنوز هم آن قدر آسان نیست که ساختاری کوچکتر از یک دولت قادر به انجام آن باشد، آن هم بدون اینکه توجه دیگر دولت‌ها جلب شود. این حقیقت که توان ساخت سلاح‌های هسته‌ای کمتر از آنچه در دهه ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ تصور می‌شد گسترش یافته است و نتایج کمتر وحشتناکی داشته است تا حد زیادی به این خاطر است که متراکم ساختن مواد شکافتنی مشکل است، و تحریم‌ها و دیگر شیوه‌های فشار مانند حملات پیشگیرانه می‌تواند آن را مشکل‌تر سازد.

اما اگر ویلچک درست بگوید و فیزیک هسته‌ای که رایانه‌ها به کمک آن آمده‌اند امکان طراحی شیوه‌های تازه‌ای برای خارج کردن انرژی هسته‌ای را فراهم آورد، همان‌طور که در شیمی امکان طراحی مولکول‌های تازه فراهم آمده است، این مانع می‌تواند برطرف شود. می‌توانید تصور کنید که در چنین جهانی سلاح‌های هسته‌ای می‌توانند با ردپای تکنولوژیکی به مراتب کمتری نسبت به امروز ساخته شوند آن هم با مواد فراوان‌تر که تامین آنها ساده‌تر است. می‌توان یک بمب‌گذار انتحاری با قدرت کیلوتن‌ها قدرت انفجاری را تصور کرد. این دورنمایی است که به نظر من نگران‌کننده‌تر از ایده خیزش و انقلاب هوش‌های مصنوعی و به بردگی گرفتن ما توسط آنها است. همچنین این دورنما کمتر مورد بحث قرار گرفته است.

### پیامدهای ناخواسته

سومین دلیل برای تمرکز بر ظهور موتور بخار این است که موتور بخار، بزرگترین مثال برای پیامدهای ناخواسته محسوب می‌شود. ایده نقش داشتن دی‌اکسید کربن در گرم‌تر شدن زمین از نیمه دوم قرن نوزدهم توسط برخی مطرح شد؛ اما تازه در اواسط قرن بیستم بود که مشخص شد که دی‌اکسید کربن منتشر شده توسط دامنه وسیعی از وسایل ارمغان سرمایه‌داری که با سوخت‌های فسیلی کار می‌کنند احتمالاً به تغییر آب و

هوا می‌انجامد و این اخطار تا همین اواخر جدی گرفته نشده بود. بنابراین، تصمیماتی که توسط سرمایه‌داران قرن نوزدهم گرفته شد سیاره زمین را به گونه‌ای تغییر داد که هرگز در تصور آنها نمی‌گنجید.

پیامدهای استفاده از جو زمین به عنوان جایی برای رها ساختن زباله‌ها نیز می‌توانست بسیار بدتر از آن چیزی باشد که اکنون به نظر می‌رسد. همان‌طور که پل کروتنز<sup>۳۲</sup>، شیمیدان جوی شناخته شده، اشاره کرده است، اینکه کلر به کار رفته در گازهای خنک کننده با چه ساز و کاری به لایه اوزون در استراتوسفر (دومین لایه بزرگ اتمسفر) آسیب می‌زند هنگامی که این گازها (کلروفلوروکربن‌ها) توسعه یافتند شناخته شده نبود. در نتیجه اجازه داده شد تا مواد شیمیایی مخرب لایه اوزون در استراتوسفر رها شوند، آن هم با پیامدهای بالقوه شدید برای محیط‌زیست جهانی. خوشبختانه، اکنون مشخص شده که این مشکل پس از اینکه به آن پی برده شد، قابل مهار است. هرچند که لایه اوزون همچنان آسیب دیده است اما شرایط آن بدتر نمی‌شود و احتمالاً بهبود می‌یابد. اما اگر رفتار شیمیایی کلر همچون عنصر بروم بود که بسیار به کلر مرتبط است یا اینکه اگر بروم در همان مقیاس صنعتی‌ای به کار می‌رفت که کلر به کار رفته شرایط می‌توانست کاملاً متفاوت باشد. نسبت بروم به کلر برای لایه اوزون همانند نسبت ماشین کمباین به داس است. در نتیجه لایه ازن نیم قرن پس از استفاده از این ماده شیمیایی در نقطه‌ای غیرمسکونی از جهان سوراخ نمی‌شد بلکه به سرعت و کم و بیش به طور کامل در کل سیاره زمین از بین می‌رفت.

تعمیم دادن شیوه مواجهه با مشکل پیامدهای ناخواسته آن هم در شرایط تداوم نوآوری بسیار مشکل است، اما یک مورد آشکار این است که مشکل تا حد زیادی به جهل (اگرچه ناکامی در تخیل نیز در اغلب موارد نقش آفرین است) مربوط می‌شود. هرچند این جهل در برخی مواقع خودخواسته و حتی جعلی است، هرگز نباید واکنش شرم آور شرکت‌های جهانی تولید کننده تنباکو در مواجهه با کشف اینکه پیامدهای ناخواسته فن‌آوری تولید

نیکوتین آنها مرگ میلیون‌ها انسان بوده را از یاد ببریم همچنین می‌تواند واقعی هم باشد. اگر افرادی که کلروفلوئوروکربن‌ها را توسعه دادند، بیشتر در مورد آنچه داشتند انجام می‌دادند هم می‌اندیشیدند احتمالاً تصمیم بهتری نمی‌گرفتند، چرا که به دانش مورد نیاز برای درک پیامدهای چنین اقدامی دسترسی نداشتند. موضوع تنها دسترسی به فکت‌ها نبود، بلکه ایده‌ها، مفاهیم و ابزارهای اندیشیدن به این مشکل نیز در آن زمان وجود نداشتند.

این مشکل، ظاهراً، قابل حل نیست. زمانی که به برآورد اثرات فن‌آوری مربوط می‌شود، تلاش و کوشش برای ناشناخته‌های شناخته شده از نظر قانونی لازم و منطقی جلوه می‌کند. اما همواره ناشناخته‌های شناخته نشده‌ای هم وجود دارند که هیچ تصویری در مورد آنها وجود ندارد. شاید واضح‌ترین حوزه‌ای که این ناشناخته‌ها هم در حال حاضر در آنجا حضور دارند، عملکرد ذهن باشد. دانش ما از عملکرد ذهن در حال حاضر کمتر از دانش ما در دهه ۱۹۳۰ در مورد شیمی استراتوسفر است. در حالی که فن‌آوری‌ها بیش از پیش با شناخت در هم می‌آمیزند و همان‌طور که نویسندگان این کتاب تصور کرده‌اند، در افزودن به حافظه و حواس، در ارتباطات درون فردی و در شیوه عملکرد تخیل نقش ایفا می‌کنند، امکان اینکه آنها تغییر ناخواسته پایداری به همراه داشته باشند احتمالاً افزایش می‌یابد. در نتیجه افرادی که از کاشته‌ها، پروتوزها و ارتقای ذهنی بهره گرفته‌اند متفاوت خواهند اندیشید. به هیچ وجه مشخص نیست که آیا چنین تغییراتی مضر خواهند بود یا خیر. اما مشخص است که نمی‌توان آنها را در حال حاضر به طور کامل پیش‌بینی کرد.

### پاسخ‌های محتمل

هنگامی که پیامدهای ناخواسته نمایان شوند، می‌توانیم درباره دو مورد مطمئن باشیم. یکی اینکه این مشکلات به مشوقی برای توسعه فن‌آوری‌های تازه تبدیل خواهند شد. این فن‌آوری‌های تازه یا جایگزین عامل پدیدآورنده مشکل می‌شوند و یا اینکه به طور مستقیم برای حل مشکل به کار گرفته

می‌شوند.

برای کلروفلوتوروکربن‌ها، مسیر جایگزینی پی گرفته شد و فن‌آوری‌های تازه به جای کار نمونه‌های پیشین به کار گرفته شدند. شیوه مشابهی هم ممکن است که در مواجهه با تغییرات آب و هوایی به کار گرفته شود. در حالی که برخی مانند آندریاس مالم روابط اجتماعی سرمایه داری را عامل ایجاد بحران آب و هوایی می‌دانند و به دنبال بازسازی این روابط هستند «سرمایه داری علیه آب و هوا»، زیرتیتر کتاب پرفروش نائومی کلین<sup>۳۳</sup> با عنوان «این همه چیز را تغییر می‌دهد»<sup>۳۴</sup> (سال ۲۰۱۴) است اما بیشتر تلاش‌ها به دنبال جایگزین ساختن فن‌آوری‌های با کارایی انرژی بالا به جای فن‌آوری‌های با کارایی پایین و همچنین جایگزین ساختن ژنراتورهایی که کربن فسیلی آزاد نمی‌کنند به جای ژنراتورهایی هستند که کربن منتشر می‌کنند.

البته تلاش‌ها تنها به جایگزین ساختن فن‌آوری‌های کهنه با فن‌آوری‌های نو که کار یکسانی انجام می‌دهند محدود نخواهند ماند و فن‌آوری‌هایی نیز برای حل مشکلات به کار گرفته می‌شوند. مثلاً در مورد تغییرات آب و هوایی، ممکن است فن‌آوری‌های مهندسی آب و هوا برای درخشان‌تر کردن ابرها (برای اینکه نور خورشید از آنها عبور نکند) و جهت استفاده از ذراتی در استراتوسفر برای پراکنده ساختن نور خورشید و یا برای خارج ساختن دی‌اکسید کربن از جو زمین به کار گرفته شوند. تحقق اهداف آب و هوایی بلندپروازانه، مانند محدود ساختن میزان گرمایش به یک و نیم درجه سانتیگراد، غیرممکن خواهد بود؛ مگر اینکه راهکارهایی مربوط به مهندسی آب و هوا به کار هم جایی در راه حل داشته باشند و یا اینکه ماشین‌زمانی وجود داشته باشد که به کمک آن بتوان سیاست‌گذاری‌های گذشته و نه آینده را تغییر داد. همان‌طور که ویلچک اشاره می‌کند، سفر در زمان کمی از فن‌آوری‌های علمی تخیلی است که واقعا توسط قوانین فیزیک رد شده است. با این حال راه‌حل‌های مهندسی آب و هوا هم

33. Naomi Klein

34. This Changes Everything

هرچند یکی علمی تخیلی به نظر می‌رسد اما محتمل هستند، حتی اگر میزان تاثیرگذاری و خطرات آثار جانبی آنها نامشخص باشد. بنابراین، بحث در مورد به شدت محدود ساختن افزایش دما یا باید خیلی محتاطانه‌تر از آنچه امروز هست باشد و یا اینکه نقش مهندسی آب و هوا باید آشکارا مورد بحث قرار بگیرد.

چنین بحثی باید این نکته را برجسته سازد که توسعه فن‌آوری‌های اکنون کم و بیش تخیلی به راهکارهایی واقعی که بتوانند به شیوه‌ای ایمن، منصفانه و قابل مدیریت به کار گرفته شوند، نیازمند تلاش بسیاری هستند. نمونه مشابهی برای توسعه فراگیر چنین فن‌آوری بلند پروازانه‌ای در مقیاس جهانی وجود ندارد. اما توسعه این فن‌آوری بدون تبادل نظر گسترده و بحثی صریح در مورد زیان‌های احتمالی آن، اشتباه وحشتناکی خواهد بود.

یکی از دلایل نگرانی برخی در مورد مهندسی آب و هوا، که بیشتر در احساس ریشه دارد تا تفکر عمیق، این است که آنها به دنبال راهکاری پایدارتر، یا اساسی‌تر، از یک «تعمیر تکنولوژیکی» هستند. ممکن است کسی با آنها همدردی کند. اما همین فرد باید بداند که همه فن‌آوری‌ها تعمیری کوچک هستند. آنها نیازهایی را برآورده می‌سازند و نیازهای تازه‌ای را خلق می‌کنند. این ایده که مهندسی آب و هوا می‌تواند یک بار برای همیشه مشکل آب و هوا را حل کند، ایده بیهوده‌ای است؛ اما تصور اینکه هیچ فن‌آوری، یا همچنین هیچ نهادی، قادر است در جهان سرمایه داری با رشد دائمی و تغییراتی دائمی، راه حلی پایدار را ارائه کند، نیز همان قدر اشتباه است.

این ما را به دومین موردی که می‌توان درباره اش اطمینان داشت می‌رساند و آن اینکه هر واکنش و پاسخی نسبت به مشکلات، خود نیز پیامدهای ناخواسته‌ای خواهد داشت و مخترعان به دنبال راهکارهایی برای مهار این پیامدها خواهند گشت که این راهکارها خودشان نیز با پیامدهای ناخواسته‌ای همراه خواهند بود. هیچ راه آشکاری برای خروج از این نردبان، یا تردمیل، وجود ندارد. همان‌طور که برایان آرتور<sup>۲۵</sup>، اقتصاددان، در کتاب

«ماهیت فن آوری<sup>۳۶</sup>» (سال ۲۰۰۹) نوشت: «مشکلات، پاسخ‌های راه حل‌ها هستند.»

در نبود فعالیت اجتماعی، هرگز نمی‌توان برای حل مشکلات به فن آوری اطمینان کرد؛ باور صرف به فن آوری به عنوان یک کنشگر خودمختاری این خطر را دارد که نقش فعالیت اجتماعی نادیده گرفته شود. راه حل مناسب، به ندرت و شاید هرگز صرفاً به وسیله فن آوری اجرایی نخواهد شد و فن آوری در مورد هیچ موضوعی حرف آخر را نخواهد زد؛ همواره راه‌های تازه‌ای وجود ندارد و موارد ناشایستی هستند که باید برای اصلاح آنها تلاش کرد. چندین قرن پیشرفت بی وقفه در فن آوری قرار نیست به پایان برسد و احتمالاً تداوم خواهد یافت. درک اینکه فن آوری دستور کار مخصوص به خودش را ندارد بلکه در خدمت دستور کار دیگران است و درک اینکه به طور حتم با برآورده ساختن نیازهای پیشین، نیازهای تازه‌ای ایجاد خواهند شد، به دنبال کردن مسئولانه‌تر پیشرفت‌های تکنولوژیکی منجر خواهد شد، اما هرگز به مانعی بر سر راه این پیشرفت‌ها تبدیل نخواهد شد.







کتاب تغییر بزرگ جهان تا سال ۲۰۵۰ یکسال قبل توسط اتاق تهران منتشر شد و مورد اقبال عمومی قرار گرفت. این کتاب اصلی‌ترین تحولات اقتصاد و سیاست در جهان را پیش‌بینی کرده‌بود. کتابی که اکنون پیش‌روی شماست، جلد دوم همان کتاب است که با تمرکز بر موضوع تکنولوژی توسط موسسه اکونومیست تهیه و در اتاق تهران ترجمه و چاپ شده‌است.

فن آوری به سرعت پیش می‌رود!  
پس فن آوری در سال ۲۰۵۰ ما را به کجا خواهد برد؟  
تأثیر آن بر شیوه زندگی ما چگونه خواهد بود؟  
تا کجا به فن آوری اجازه خواهیم داد که دامنه نفوذش را بگستراند؟

در کتاب «تغییر بزرگ تکنولوژی تا سال ۲۰۵۰»، دانشمندان شناخته شده، رهبران صنایع، دانشگاهیان برجسته و نویسندگان تحسین شده داستان‌های علمی تخیلی به روزنامه‌نگاران مجله اکونومیست پیوسته‌اند تا به پرسش‌های بالا پاسخ دهند.

بسیست کارشناس در بیست زمینه مختلف، شامل فرانکو بلچک، برنده نوبل، آنو یئیلدز، سرما به‌گذار در دره سیلیکون، ملیندا گیتس، فعال امور خیریه و الستر رینالدز، نویسنده داستان‌های علمی تخیلی به شناسایی ایده‌های بزرگ، اختراعات خارق‌العاده و روندهای به‌طور بالقوه ترسناک جهان نوبی پرداخته‌اند که در آن اتصال ذهن و رایانه، گوشت‌های رشد یافته بدون حضور حیوان، خودروهای بافته شده و گلوله‌های هدایت‌شونده تحقق یافته‌اند.

کتاب «تغییر بزرگ تکنولوژی تا سال ۲۰۵۰» تفکر برانگیز است، مملو از بصیرت و الهام‌هایی که توسط پیشروان نوآوری در فن آوری ارائه شده‌اند. خواندن این کتاب برای هر کسی که می‌خواهد جهان فردا را درک کند، ضروری است.

