جنگ تراشه‌ها: نبرد بر سر مهم‌ترین فناوری جهان

مقدمه

در هجدهم اوت 2020، ناوشکن یو اس اس ماستین در حالی به تنهایی وارد دهانه شمالی تنگه تایوان شد که تفنگ پنج اینچی آن به سمت جنوب نشانه رفته بود. این ماموریت به دنبال آن بود که نشان دهد چین \_ حداقل هنوز \_ بر این آب‌راه بین‌المللی تسلط ندارد. در حالی که کشتی به سوی جنوب پیش می‌رفت، نسیم تندی از سمت جنوب‌غربی بر آن می‌وزید. سایه ابرهای بالای سر بر آب‌های تنگه که تا شهرهای بندری بزرگ چین همچون فوژو، شیامن، هنگ‌کنگ امتداد می‌یابد، سایه افکنده بود. در شرق، جزیره تایوان در دوردست دیده می‌شد؛ دشت ساحلی وسیع و پرجمعیتی که تکیه بر قله‌های بلند پنهان در ابرها دارد. در پست دیدبانی کشتی، ملوانی با کلاه نیروی دریایی و ماسک جراحی دوربین دوچشمی خود را بلند کرد و به افق نظر انداخت. کشتی‌های تجاری که می‌رفتند تا محصولات کارخانه‌های آسیا را به مصرف‌کنندگان سرتاسر جهان برسانند، همه جا دیده می‌شدند.

در کشتی ماستین، گروهی از ملوانان در اتاقی تاریک در مقابل ردیفی از نمایشگرهای رنگارنگ نشسته بودند و داده‌های مربوط به هواپیماها، پهپادها، کشتی‌ها و حتی ماهواره‌های ناظر بر رفت‌وآمدها در سرتاسر اقیانوس هند و اقیانوس آرام را بررسی می‌کردند. بالای سر آن‌ها، در کابین کنترل، داده‌های جمع‌آوری‌شده توسط مجموعه‌ای از رادارها به رایانه‌های کشتی تغذیه می‌شد. روی عرشه، نود و شش سلول پرتابه در حالت آماده‌باش قرار داشتند. هر یک از آن‌ها می‌توانست موشک‌هایی شلیک و ده‌ها یا حتی صدها مایل دورتر، هواپیماها، کشتی‌ها یا زیردریایی‌ها را با دقت بسیار هدف قرار دهد. در بحران‌های دوره جنگ سرد، ارتش ایالات متحده حتی از تهدید کاربرد نیروی بی‌رحم هسته‌ای هم برای دفاع از تایوان دریغ نکرده بود. اما این کشور امروز به ضربه‌زنی دقیق با استفاده از تجهیزات میکروالکترونیک متکی است.

در حالی که ناوشکن یو اس اس ماستین با تسلیحات رایانه‌ای خود از تنگه عبور می‌کرد، ارتش آزادی‌بخش خلق چین اعلام کرد مانورهای تلافی‌جویانه‌ای را در اطراف تایوان به اجرا خواهد گذاشت؛ مانورهایی که یکی از روزنامه‌های تحت کنترل دولت چین آن را «عملیات اتحاد مجدد قهرآمیز» نامید. اما در آن روز خاص، رهبران چین بیش از نیروی دریایی ایالات متحده، نگران مصوبه مبهم وزارت بازرگانی ایالات متحده تحت عنوان «فهرست نهادها» بودند که انتقال فناوری آمریکایی را به خارج از کشور محدود می‌کند. پیش از این، «فهرست نهادها» عمدتاً برای جلوگیری از فروش سیستم‌های نظامی مانند قطعات موشک یا مواد هسته‌ای استفاده می‌شد. اما اکنون دولت ایالات متحده سخت‌گیری‌ها را در حوزه تراشه‌های رایانه‌ای که هم در سیستم‌های نظامی و هم در کالاهای مصرفی فراگیر شده بود، به شدت افزایش می‌داد.

هدف این بار، هوآوی، غول فناوری چین و عرضه‌کننده گوشی‌های هوشمند، تجهیزات مخابراتی، خدمات رایانش ابری و دیگر فناوری‌های پیشرفته بود. ایالات متحده در واقع نگران این حقیقت بود که قیمت محصولات هوآوی به برکت عوامل مختلفی چون یارانه‌های دولت چین اکنون به قدری جذاب شده بود که می‌توانست در آینده‌ای نزدیک به ستون فقرات نسل بعدی شبکه های مخابراتی تبدیل شود. بدین ترتیب، تسلط آمریکا بر زیرساخت‌های فناوری جهان تضعیف می‌شد، و نفوذ ژئوپولیتیک چین بیش از پیش افزایش می‌یافت. برای مقابله با این تهدید، ایالات متحده هواوی را از خرید تراشه‌های رایانه‌ای پیشرفته ساخته‌شده با فناوری ایالات متحده منع کرد.

به زودی، جریان گسترش جهانی این شرکت متوقف شد. خطوط تولید آن، همگی قدرت تولید محصول را از دست دادند. درآمدها کاهش یافت. این غول تجاری عملا دچار خفگی فناورانه شد! هوآوی دریافت که مانند دیگر شرکت‌های چینی، برای ساخت تراشه‌هایی که تمام محصولات الکترونیکی مدرن به آن وابسته هستند، خود شدیدا متکی به خارجی‌ها است.

ایالات متحده همچنان تسلط خود را بر حوزه تراشه‌های سیلیکونی که منطقه تجاری سیلیکون‌وَلی نام خود را از آن گرفته، حفظ کرده است، اگرچه این موقعیت به طور خطرناکی تضعیف شده است. چین اکنون سالانه بیش از واردات نفت، برای واردات تراشه هزینه می‌کند. این نیمه‌رسانا‌ها در انواع دستگاه‌ها، از گوشی هوشمند گرفته تا یخچال‌‌ که چین هم در خانه مصرف می‌کند و هم به سرتاسر جهان صادر می‌کند، کاربرد دارند. استراتژیست‌های پشت‌میز‌نشین در مورد مشکل چین در منطقه مالاکا - کانال اصلی حمل‌ونقل بین اقیانوس آرام و اقیانوس هند - و توانایی این کشور در دسترسی به نفت و سایر کالاها در بحبوحه یک بحران احتمالی، نظریه‌های متعددی داده‌اند. اما حقیقت این است که پکن امروز بیشتر نگران قطع دسترسی‌اش به محصولی است که نه با بشکه، بلکه با بایت اندازه‌گیری می‌شود. چین اکنون بهترین مغزها و میلیاردها دلار خود را صرف توسعه فناوری نیمه‌رسانا می‌کند تا خود را از وابستگی شدید به تراشه‌های آمریکا برهاند.

اگر پکن موفق شود، ساختار اقتصاد جهانی و توازن قدرت نظامی را تغییر خواهد داد. تکلیف جنگ جهانی دوم را فولاد و آلومینیوم تعیین کرد و سپس در دوره جنگ سرد، سلاح‌های اتمی حرف آخر را می‌زد. اما در رقابت بین ایالات متحده و چین، به احتمال بسیار زیاد قدرت رایانه‌ای تعیین‌کننده خواهد بود. استراتژیست‌های پکن و واشنگتن اکنون دریافته‌اند که همه فناوری‌های پیشرفته - از سامانه‌های یادگیری ماشینی گرفته تا سیستم‌های موشکی، از وسایل نقلیه خودکار گرفته تا پهپادهای مسلح - به تراشه‌های پیشرفته‌ای نیاز دارند که بیشتر با عنوان رسمی‌تری چون نیمه‌رسانا‌ها یا مدارهای مجتمع شناخته می‌شوند. اما تولید این محصول در سیطره تنها چند شرکت‌ معدود است.

ما به ندرت به تراشه‌ها فکر می‌کنیم، اما دنیای مدرن مخلوق آن‌ها است. سرنوشت کشورها امروز به توانایی آن‌ها در استفاده از صنعت رایانه‌ بستگی دارد. جهانی شدن، آن طور که امروز می‌شناسیمش، بدون تجارت نیمه‌رسانا‌ها و محصولات الکترونیکی ساخته‌شده از آن‌ها، هرگز نمی‌توانست وجود داشته باشد. برتری نظامی آمریکا عمدتاً حاصل توانایی آن کشور در استفاده از تراشه‌ها در مصارف نظامی است. رشد شگرف آسیا در نیم‌قرن گذشته بر صنعت سیلیکون مبتنی است، زیرا اقتصادهای رو‌به‌رشد آن در تولید تراشه‌ها و مونتاژ رایانه‌ها و گوشی‌های هوشمند ساخته‌شده با مدارهای مجتمع تخصص یافته‌اند.

عملیات رایانه‌ای نیاز به میلیون‌ها 0 و 1 دارد. کل جهان دیجیتال از این دو عدد تشکیل شده است. هر دکمه گوشی تلفن همراه شما، هر ایمیل، عکس و ویدیویی در اینترنت، همه این‌ها در نهایت در رشته‌های طولانی متشکل از 0 و 1 کدگذاری شده‌اند. اما این اعداد واقعا وجود ندارند. آن‌ها ابزاری برای بیان وضعیت جریان الکتریکی در حالت خاموش (0) یا روشن (1) هستند. تراشه شبکه‌ای از میلیون‌ها یا میلیاردها ترانزیستور است. ترانزیستور نیز خود کلید الکتریکی کوچکی است که برای پردازش این ارقام، روشن و خاموش می‌شود تا آن‌ها را به خاطر بسپارد و محسوسات دنیای واقعی مانند تصویر، صدا و امواج رادیویی را به میلیون‌ها و میلیون‌ها 0 و 1 تبدیل کند.

در آن صبح هجدهم اوت 2020، در حالی که ناوشکن ماستین به سمت جنوب حرکت می‌کرد، کارخانه‌ها و تاسیسات مونتاژ در هر دو طرف تنگه تایوان در حال تولید قطعات برای آیفون 12 بودند که تنها دو ماه با آغاز عرضه در اکتبر 2020 فاصله داشت. حدود یک‌چهارم درآمد صنعت تراشه از تلفن‌ها حاصل می‌شود. در واقع، بخش بزرگی از قیمت یک گوشی جدید به نیمه‌رسانا‌های داخل آن مربوط می‌شود. طی دهه گذشته، هر یک از نسل‌های متوالی گوشی آیفون به یکی از پیشرفته‌ترین تراشه‌-پردازشگر‌های جهان مجهز بوده‌اند. یک گوشی هوشمند در مجموع، به بیش از ده نیمه‌رسانا نیاز دارد، به طوری که برای مدیریت باتری، بلوتوث، وای‌فای، صدا، دوربین، برقراری انواع ارتباط با شبکه تلفن همراه و غیره تراشه‌های متفاوتی مورد نیاز است.

اگر بخواهیم دقیق صحبت کنیم، باید بگوییم اَپل هیچ یک از این تراشه‌ها را خودش نمی‌سازد. این شرکت بیشتر نیاز خود را با خرید تراشه‌های موجود در بازار، همچون تراشه‌های حافظه از کیوکسیا[[1]](#footnote-1) در ژاپن، تراشه‌های فرکانس رادیویی از اسکای وُرکس[[2]](#footnote-2) در کالیفرنیا، و تراشه‌های صوتی از سیروس لاجیک[[3]](#footnote-3) در آستین تگزاس رفع می‌کند. اپل در عین حال، پردازنده‌های فوق‌پیچیده‌ حاوی سیستم عامل آیفون را خود طراحی می‌کند. اما این غول مستقر در شهر کوپرتینو[[4]](#footnote-4) در کالیفرنیا، خودش نمی‌تواند این تراشه‌ها را تولید کند. هیچ شرکت دیگری در ایالات متحده، اروپا، ژاپن یا چین هم قادر به این کار نیست. امروز پیشرفته‌ترین پردازنده‌های اپل - که مسلماً پیشرفته‌ترین نیمه‌رسانا‌های جهان هستند - تنها توسط یک شرکت، آن‌ هم تنها در یک ساختمان تولید می‌شود. این شرکت که گران‌ترین کارخانه تاریخ بشر است، در صبح روز هجدهم اوت 2020، تنها چندده کیلومتر با ناوشکن یو اس اس ماستین فاصله داشت.

به جرأت می‌توان گفت ساخت و کوچک‌سازی نیمه‌رسانا‌ها بزرگ‌ترین چالش مهندسی زمان ما بوده است. امروز هیچ شرکتی نمی‌تواند تراشه‌ها را با دقتی بیش از «شرکت تولید نیمه‌رسانا تایوان»[[5]](#footnote-5) یا TSMC تولید کند. در سال 2020، در حالی که جهان درگیر قرنطینه‌های ناشی از ویروسی با قطر حدودا صد نانومتری - تنها چند میلیاردم متر – بود، پیشرفته‌ترین تأسیسات شرکت TSMC، به نام Fab 18، در حال ساخت پیچ‌و‌خم‌های میکروسکوپی ترانزیستورهایی بسیار ریز بود و عملا اشکالی را در اندازه کوچک‌تر از نصف یک ویروس کرونا، و تنها یک‌صدم یک میتوکندری[[6]](#footnote-6) برش می‌داد. TSMC این فرآیند را در مقیاسی انجام داد که قبلاً در تاریخ بشر بی‌نظیر بود. اپل بعدا بیش از 100 میلیون دستگاه گوشی آیفون 12 فروخت که هر کدام به یک تراشه پردازنده A14 حاوی 11.8 میلیارد ریزترانزیستور برش‌داده‌شده در سیلیکون آن مجهز بود. به عبارت دیگر، تنها در عرض چند ماه، TSMC در تاسیسات Fab 18 خود برای فقط یکی از ده‌ها تراشه موجود در یک گوشی آیفون، بیش از یک کویین‌تیلیون[[7]](#footnote-7) (یعنی 1 با هجده صفر در جلوی آن) ترانزیستور ساخت. تعداد ترانزیستورهای تولیدشده در صنعت تراشه در سال گذشته از مجموع همه کالاهای تولیدشده توسط همه شرکت‌های دیگر، در همه صنایع دیگر، در تمام تاریخ بشریت بیشتر بود. این صنعت بی‌رقیب است.

تنها شصت سال پیش یک تراشه پیشرفته نه 11.8 میلیارد، بلکه تنها 4 ترانزیستور داشت. در سال 1961، در جنوب سانفرانسیسکو، شرکت کوچکی به نام فِرچایلد سمیکنداکتر[[8]](#footnote-8) محصول جدیدی به نام میکرولاجیک [[9]](#footnote-9)را تولید کرد که تراشه‌ای سیلیکونی بود با چهار ترانزیستور تعبیه شده در آن. به زودی این شرکت راه‌هایی ابداع کرد تا ده‌ها و سپس صدها ترانزیستور را روی یک تراشه قرار دهد. گوردون مور،[[10]](#footnote-10) یکی از بنیانگذاران فرچایلد در سال 1965 متوجه شد با پیشرفت مهندسان در ساخت ترانزیستورهای کوچک‌تر و کوچک‌تر، تعداد قطعات روی تراشه‌ها هر سال نسبت به سال قبل دو برابر می‌شود. این پیش‌بینی – که قدرت محاسباتی تراشه‌ها به‌طور تصاعدی افزایش خواهد یافت – «قانون مور» نام گرفت و مور را به پیش‌بینی اختراع دستگاه‌هایی مانند «ساعت مچی الکترونیکی»، «رایانه‌های خانگی» و حتی «تجهیزات مخابراتی قابل‌حمل شخصی» رهنمون شد که در سال 1965 غیرممکن به نظر می‌رسیدند. با چنین امیدی به آینده در سال 1965، مور رشدی تصاعدی را تنها برای یک دهه پیش‌بینی کرد، اما این نرخ خیره‌کننده پیشرفت بیش از نیم قرن ادامه داشته است. در سال 1970، اینتل، دومین شرکتی که مور تأسیس کرد، از تراشه حافظه‌ای رونمایی کرد که می‌توانست 1024 واحد اطلاعات («بیت») را به خاطر بسپارد. قیمت این تراشه حدود 20 دلار بود، یعنی هر بیت تقریباً دو سنت. امروز، ما با 20 دلار می‌توانیم یک حافظه ترابرد (فلش مموری) با بیش از یک میلیارد بیت ظرفیت را بخریم.

وقتی امروز به سیلیکون‌وَلی فکر می‌کنیم، بیشتر به یاد شبکه‌های اجتماعی و شرکت‌های نرم‌افزاری می‌افتیم، تا ماده‌ای که این منطقه نام خود را از آن گرفته است. با این حال، پدیده‌هایی چون اینترنت، ابر، رسانه‌های اجتماعی و اساسا کل جهان دیجیتال تنها به این دلیل وجود دارند که مهندسان یاد گرفته‌اند کوچک‌ترین حرکت الکترون‌ها را در حین جابه‌جایی در میان صفحات سیلیکونی کنترل کنند. در واقع، اگر هزینه پردازش و به خاطر سپردن 0ها و 1ها در نیم قرن گذشته یک میلیارد برابر کاهش نمی‌یافت، آنچه که امروز «فناوری بزرگ» خوانده می‌شود، هرگز وجود نداشت.

این صعود باورنکردنی تا حدی مدیون دانشمندان برجسته و فیزیکدانان برنده جایزه نوبل است. اما هر اختراعی به شکل‌گیری یک استارت‌آپ موفق منجر نمی‌شود و هر استارت‌آپی هم صنعت جدیدی را راه‌اندازی نمی‌کند که دنیا را متحول سازد. نیمه‌رسانا‌ها در جای‌جای جوامع گسترش یافتند زیرا شرکت‌ها تکنیک‌های جدیدی را برای تولید میلیونی آن‌ها ابداع کردند؛ زیرا مدیران بااراده و بلندپرواز بی‌وقفه هزینه‌ تولید آن‌ها را کاهش دادند؛ و به این علت که کارآفرینان خلاق راه‌های جدیدی را برای استفاده از آن‌ها اندیشیدند. عملکرد قانون مور به همان اندازه که نتیجه زحمات کارشناسان تولید، متخصصان زنجیره تامین و مدیران بازاریابی است، حاصل کار فیزیکدانان و مهندسان برق نیز می‌باشد.

شهرک‌های جنوب سانفرانسیسکو - که تا دهه 1970 سیلیکون وَلی نامیده نمی‌شدند - کانون شکل‌گیری این انقلاب بودند، زیرا تخصص علمی، دانش‌فنی تولید و تفکر دوراندیشانه در کسب‌وکار را با هم ترکیب کردند. کالیفرنیا مهندسان زیادی داشت که در صنایع هوانوردی یا رادیویی و در استنفورد یا برکلی آموزش دیده بودند. هر یک از این دانشگاه‌ها دلارهای دفاعی هنگفتی را جذب می‌کردند، زیرا ارتش ایالات متحده به دنبال تقویت مزیت فناوری خود بود. البته فرهنگ کالیفرنیا هم خود به اندازه هر ساختار اقتصادی در این تحول نقش داشت. احساس برخورداری از فرصت‌های فراوان در سیلیکون‌ولی در تصمیم‌گیری بیشتر افرادی که سواحل شرقی آمریکا، اروپا و آسیا را برای ساختن صنعت تراشه ترک و به این منطقه نقل مکان کردند موثر بود. برای باهوش‌ترین مهندسان و خلاق‌ترین کارآفرینان جهان، هیچ مکانی هیجان‌انگیزتر از سیلیکون‌ولی نبود.

همین که صنعت تراشه شکل گرفت، خارج شدن از سیلیکون ولی برای آن غیرممکن شد. زنجیره تامین نیمه‌رسانا‌های امروز به اجزایی نیاز دارد که در بشهرها و کشورها متعددی ساخته می‌شوند، اما تقریباً همه تراشه‌های ساخته‌شده در سرتاسر جهان همچنان به طریقی با سیلیکون‌ولی ارتباط دارند یا حداقل با ابزار طراحی و ساخته‌شده در کالیفرنیا تولید می‌شود. ذخایر عظیم تخصصی و علمی آمریکا که توسط بودجه تحقیقاتی دولت تغذیه، و با توانایی این کشور در جذب بهترین دانشمندان از کشورهای دیگر تقویت شده است، بدنه اصلی دانشی را فراهم کرده است که تحولات فناورانه را به پیش می‌راند. شبکه شرکت‌های سرمایه‌گذاری خطرپذیر این کشور و بازارهای سهام آن سرمایه‌ای را فراهم کرده‌اند که شرکت‌های جدید برای رشد بدان نیاز دارند - و البته از سوی دیگر به طور بی‌رحمانه‌ای شرکت‌های ناموفق را هم مجبور به خروج از این بازار کرده‌اند. در همین حال، بزرگ‌ترین بازار مصرف جهان در ایالات متحده موتور رشدی بوده که طی چندین دهه هزینه‌ تحقیق‌وتوسعه بر روی انواع جدید تراشه‌ها را تامین کرده است.

کشورهای دیگر هم دریافته‌اند که ماندگاری در این بازار به‌تنهایی غیرممکن است؛ آن‌ها تنها زمانی موفقیت را تجربه کرده‌اند که عمیقاً در زنجیره تأمین سیلیکون‌ولی ادغام شدند. برای نمونه، در اروپا مناطق جزیره‌ای و منفردی برای تولید تخصصی نیمه‌رسانا‌ها وجود دارند که کارشان مشخصا تولید ماشین‌آلات مورد نیاز برای ساخت تراشه‌ها و همچنین طراحی و معماری‌ تراشه‌ها است. از سوی دیگر دولت‌های آسیایی در تایوان، کره جنوبی و ژاپن، با یارانه دادن به شرکت‌ها، تأمین مالی برنامه‌های آموزشی، پایین نگه داشتن ارزش پول خود و اخذ تعرفه از واردات تراشه، در صنعت تراشه دخالت کرده‌اند. این استراتژی قابلیت‌های خاصی را به ارمغان آورده است که هیچ کشور دیگری نمی‌تواند آن‌ها را تکرار کند - اما آنچه که همه آن‌ها امروز دارند در واقع نتیجه مشارکت با سیلیکون‌ولی است و آن‌ها همچنان به ابزارها، نرم‌افزارها و مشتریان آمریکایی متکی‌اند. در همین حال، موفق‌ترین شرکت‌های تولید تراشه در آمریکا، زنجیره‌های تامینی را ایجاد کرده‌اند که در سرتاسر جهان گسترش یافته‌اند و از هزینه‌ها می‌کاهند و تخصص‌هایی را تولید می‌کنند که عملکرد قانون مور را ممکن ساخته است.

امروز به لطف عملکرد قانون مور، نیمه‌رسانا‌ها در هر دستگاهی که به محاسبات رایانه‌ای نیاز دارد تعبیه شده است - و البته در عصر اینترنت اشیا، تقریباً هر دستگاهی این گونه است. اکنون دیگر حتی در محصولاتی مانند خودرو که صدسال از اختراعشان می‌گذرد هم، اغلب تا معادل هزار دلار تراشه نصب شده است. بیشتر تولید ناخالص داخلی جهان با وسایلی تولید می‌شود که به نیمه‌رسانا‌ها متکی‌اند. برای محصولی که هفتادوپنج سال پیش وجود نداشت، این یک تحول فوق‌العاده است.

در زمانی که ناوشکن ماستین در اوت 2020 در تنگه تایوان به سمت جنوب حرکت می‌کرد، جهان تازه کم‌کم متوجه اتکای ما به نیمه‌رسانا‌ها - و همچنین وابستگی ما به تایوان به عنوان سازنده تراشه‌های حاوی یک سوم قدرت محاسباتی جدیدی که هر ساله استفاده می‌کنیم - می‌شد. شرکت TSMC تایوان تقریباً همه پیشرفته‌ترین تراشه‌‌پردازنده‌های جهان را می‌سازد. هنگامی که بیماری کووید 19 در سال 2020 به جهان هجوم آورد، صنعت تراشه را نیز مختل کرد. برخی از کارخانه‌ها موقتا تعطیل شدند. خرید تراشه برای خودروها به شدت کاهش یافت. از سوی دیگر، تقاضا برای رایانه‌های شخصی و تراشه‌های مرکزِداده افزایش یافت، زیرا بسیاری از مردم جهان برای کار از خانه آماده شدند. سپس در سال 2021، مجموعه‌ای از حوادث - آتش‌سوزی در تاسیسات تولید نیمه‌رسانا در ژاپن؛ تخریب مرکز تراشه‌سازی تگزاس در اثر طوفان‌های یخ در ایالات متحده؛ و آغاز دور جدید محدویت‌‌های مرتبط با همه‌گیری بیماری کووید 19 در مالزی به عنوان محل مونتاژ و آزمایش بسیاری از تراشه‌های جهان - این اختلالات را تشدید کرد. ناگهان، بسیاری از صنایع که اصلا هم به سیلیکون‌وَلی نردیک نبودند، با کمبود جدّی تراشه‌ مواجه شدند. خودروسازان بزرگ، از تویوتا گرفته تا جنرال موتورز مجبور شدند کارخانه‌های خود را برای چندین هفته تعطیل کنند، زیرا نمی‌توانستند نیمه‌رسانا‌های مورد نیاز خود را تهیه کنند. کمبود حتی ساده‌ترین تراشه‌ها کارخانه‌ها را در آن سوی جهان به تعطیلی کشاند. تصویر بی‌عیب‌ونقصی که از جهانی‌شدن ترسیم شده بود، اکنون به یک‌باره نادرست از آب در می‌آمد.

رهبران سیاسی در ایالات متحده، اروپا و ژاپن در دهه‌های گذشته زیاد به نیمه‌رسانا‌ها فکر نکرده بودند. مانند بقیه ما، آنها هم فکر می‌کردند که «فناوری» یعنی تنها موتورهای جستجو یا رسانه‌های اجتماعی، و نه ویفرهای سیلیکونی. وقتی جو بایدن و آنگلا مرکل درباره علت تعطیلی کارخانه‌های خودروسازی کشورشان پرس‌وجو می‌کردند، پاسخ را پنهان در پشت زنجیره‌های به شدت پیچیده تامین نیمه‌‌رساناها می‌یافتند. یک تراشه معمولی ممکن است با طرح‌های اولیه شرکت ژاپنی مستقر در بریتانیا به نام آرم[[11]](#footnote-11) و توسط گروهی از مهندسان در کالیفرنیا و اسراییل و با استفاده از نرم‌افزاری از ایالات متحده طراحی شود. طرح کامل‌شده به تاسیساتی در تایوان فرستاده می‌شود که ویفرهای سیلیکونی فوق‌العاده خالص و گازهای تخصصی را از ژاپن خریداری می‌کند. این طرح با استفاده از دقیق‌ترین ماشین‌های جهان که می‌توانند لایه‌هایی از مواد را با ضخامت چند اتم برش بزنند، نهشت کنند و اندازه‌ بگیرند، در سیلیکون حک می‌شود. این ابزارها عمدتاً توسط پنج شرکت تولید می‌شوند: یک شرکت هلندی، یکی ژاپنی و سه شرکت کالیفرنیایی که بدون آن‌ها اساساً ساخت تراشه‌های پیشرفته غیرممکن است. تراشه آنگاه اغلب در آسیای جنوب شرقی بسته‌بندی و آزمایش می‌شود، و نهایتا برای مونتاژ در گوشی تلفن یا رایانه به چین ارسال می‌شود.

اگر هر یک از مراحل فرآیند تولید نیمه‌رسانا متوقف شود، جریان عرضه نیروی محاسباتی جدید در جهان به خطر می‌افتد. غالبا گفته می‌شود داده‌ها نفت عصر هوش مصنوعی هستند. با این حال، محدودیت واقعی ما در دسترس بودن داده‌ها نیست، بلکه قدرت پردازش آن‌ها است. تعداد محدودی نیمه‌رسانا وجود دارد که می‌توانند داده‌ها را ذخیره و پردازش کنند. تولید آن‌ها به شکل گیج‌کننده‌ای پیچیده و به طور سرسام‌آوری گران است. برخلاف نفت، که می‌توان آن را از بسیاری از کشورها خریداری کرد، تولید قدرت محاسباتی ما اساساً به مجموعه‌ای از گلو‌گاه‌ها بستگی دارد: ابزارها، مواد شیمیایی، و نرم‌افزارهایی که اغلب توسط تعداد انگشت‌شماری از شرکت‌ها و حتی گاهی تنها توسط یک شرکت تولید می‌شوند. هیچ بخش دیگری از اقتصاد تا این حد به چنین تعداد کمی از شرکت‌ها وابسته نیست. تراشه‌های ساخت تایوان سالانه 37 درصد قدرت محاسباتی جدید جهان را تامین می‌کنند. تنها دو شرکت کره‌ای 44 درصد تراشه‌های حافظه جهان را تولید می‌کنند. شرکت هلندی ASML صد درصد «ماشین‌های لیتوگرافی فرابنفش شدید»[[12]](#footnote-12) جهان را می‌سازد که به راحتی می‌توان گفت بدون آن، ساخت تراشه‌های پیشرفته غیرممکن است. سهم 40 درصدی اوپک در تولید نفت جهان، در مقایسه با سطح تمرکز در حلقه‌های زنجیره تامین این صنعت چندان مهم به نظر نمی‌رسد.

ایجاد شبکه‌ای جهانی از شرکت‌هایی که سالانه یک تریلیون تراشه در اندازه‌های نانومتری تولید می‌کنند، بی‌شک یک پیروزی در حوزه کارآمدی، و البته همچنین موجب یک آسیب‌پذیری جدّی است. اختلالات ناشی از همه‌گیری بیماری کووید 19 تنها نمونه‌ای است از بلایی که وقوع زلزله‌ای در منطقه‌ای حساس می‌تواند بر سر اقتصاد جهانی بیاورد. تایوان روی خط گسلی قرار دارد که در سال 1999 زمین‌لرزه‌ای به بزرگی 7.3 ریشتر به بار آورد. خوشبختانه، این زلزله خط تولید تراشه را تنها برای چند روز متوقف کرد. اما دیر یا زود زلزله‌ای قوی‌تر تایوان را خواهد لرزاند. به علاوه، ژاپن که 17 درصد تراشه‌های جهان را تولید می‌کند و همچنین سیلیکون‌ولی که هرچند تراشه‌های زیادی در آن تولید نمی‌شود، اما تاسیسات واقع روی گسل سن‌آندریاس در آنجا محل تولید حساس‌ترین ماشین‌آلات تراشه‌سازی‌اند، هر دو در معرض زمین‌لرزه‌های ویرانگری قرار دارند.

با این وجود باید اذعان داشت لرزه‌هایی که امروز بیش از هر چیز عرضه نیمه‌رسانا‌ها را به خطر می‌اندازد، نه برخورد صفحات تکتونیکی زمین، بلکه برخورد قدرت‌های بزرگ جهان است. در حالی که چین و ایالات متحده برای برتری یافتن بر جهان در رقابت‌اند، توجه واشنگتن و پکن، هر دو بر کنترل آینده صنعت رایانه متمرکز است، و در این میان واقعیت نسبتا ترسناک این است که آینده این صنعت به جزیره کوچکی وابسته است که از یک سو پکن آن را بخشی - هرچند یاغی - از سرزمین خود تلقی می‌کند؛ و از سوی دیگر آمریکا خود را متعهد به دفاع از آن - حتی اگر شده به زور - می‌داند.

ارتباطات متقابل بین صنایع تراشه در ایالات متحده، چین و تایوان در حد گیج‌کننده‌ای پیچیده است. گویاترین نمونه این وضعیت، چیزی نیست جز این حقیقت که آقای موریس چانگ،[[13]](#footnote-13) موسس TSMC، شرکتی که تا سال 2020 اپل آمریکا و هوآوی چین را دو مشتری بزرگ خود می‌دانست، در سرزمین اصلی چین متولد شده؛ در هنگ‌کنگ دوران جنگ جهانی دوم بزرگ شده؛ در هاروارد، ام‌آی‌تی و استنفورد تحصیل کرده؛ در زمان کار برای شرکت تگزاس اینسترومنتز در دالاس، به شکل‌گیری صنعت نوپای تراشه در آمریکا کمک کرده؛ مجوز امنیتی فوق‌محرمانه دولت ایالات متحده برای توسعه صنعت الکترونیک برای ارتش آمریکا را در اختیار داشته؛ و تایوان را به مرکز تولید نیمه‌رسانای جهان تبدیل کرده است. برخی استراتژیست‌های حوزه سیاست خارجی در پکن و واشنگتن رویای جداسازی بخش‌های فناوری دو کشور را در سر می‌پرورانند، اما شبکه بین‌المللی فوق‌العاده کارآمد متشکل از طراحان تراشه، تامین‌کنندگان مواد شیمیایی و سازندگان ابزارها و ماشین‌آلات که افرادی مانند چانگ به ساخت آن کمک کرده‌اند، به این سادگی از هم نخواهد پاشید.

پکن همواره آشکارا از رد احتمال حمله به تایوان برای «الحاق مجدد» آن به سرزمین اصلی خودداری کرده است؛ اما مگر در صورت رخداد اتفاقی غیرمترقبه، این کشور به احتمال بسیار زیاد به هیچ اقدام تندروانه‌ای مثلا از جنس حمله آبی-خاکی به این جزیره که قطعا موجب انتشار سریع امواج شوک ناشی از آسیب صنعت نیمه‌رسانا در اقتصاد جهانی خواهد شد، دست نخواهد یازید. حتی محاصره جزئی تایوان توسط نیروهای چینی هم به ایجاد اختلالاتی ویرانگر خواهد انجامید. تنها یک حمله موشکی به پیشرفته‌ترین تأسیسات ساخت تراشه در شرکت TSMC به سادگی می‌تواند با ایجاد تأخیر در تولید تلفن‌ها، مراکز داده، خودروها، شبکه‌های مخابراتی و سایر فناوری‌ها، صدها میلیارد دلار خسارت به بار آورد.

گروگان نگه داشتن اقتصاد جهانی در میانه یکی از خطرناک‌ترین مناقشات سیاسی جهان ممکن است اشتباهی با ابعاد تاریخی به نظر برسد. با این حال، تمرکز تولید تراشه‌های پیشرفته در تایوان، کره جنوبی و جاهای دیگر در شرق آسیا اصلا تصادفی نیست. مجموعه‌ای از تصمیمات ارادی مقامات دولتی و مدیران شرکت‌ها موجب شکل‌گیری گسترده‌ترین زنجیره‌های تامین مورد اتکای ما در جهان شده است. ذخایر بزرگ نیروی‌کار ارزان در آسیا، سازندگان تراشه را به دنبال کارگران ارزان قیمت به این منطقه جذب کرد. دولت‌ها و شرکت‌های این منطقه از تاسیسات مونتاژ تراشه‌ها در خارج از کارخانه مادر برای یادگیری و نهایتا بومی کردن فناوری‌های پیشرفته‌تر استفاده کردند. استراتژیست‌های حوزه سیاست خارجی در واشنگتن از زنجیره‌های پیچیده تامین نیمه‌رسانا به عنوان ابزاری برای ادغام آسیا به دنیای تحت رهبری آمریکا سود جستند. تقاضای اجتناب‌ناپذیر سرمایه‌داری برای کارایی اقتصادی، موجب تلاش مستمر برای کاهش هزینه‌ها و ادغام شرکت‌ها می‌شد. سرعت ثابت نوآوری‌های تکنولوژیکی که ضامن عملکرد قانون مور بود، بر نیاز به مواد، ماشین‌آلات و فرآیندهای پیچیده‌تری می‌افزود که تنها در بازارهای جهانی قابل تامین بود. و بدین ترتیب است که تقاضای عظیم ما برای قدرت رایانه‌ای همچنان در حال رشد باقی می‌ماند.

در این کتاب با تکیه بر تحقیق در آرشیوهای تاریخی در سه قاره آمریکا، اروپا و آسیا، از تایپه گرفته تا مسکو، و بیش از صد مصاحبه با دانشمندان، مهندسان، مدیران‌عامل و مقامات دولتی، به این نتیجه رسیده‌ایم که نیمه‌رساناها جهانی که در آن زندگی می‌کنیم را شکل می‌دهند و ساختار سیاست بین‌الملل، اقتصاد جهانی و توازن قدرت نظامی جهان را تعیین می‌کنند. در عین حال، این مدرن‌ترین صنعت جهان تاریخ پیچیده و پرحادثه‌ای دارد. مسیر توسعه آن نه تنها توسط شرکت‌ها و مصرف‌کنندگان، بلکه توسط دولت‌های بلندپرواز شکل گرفته و از الزامات جنگ نیز اثر پذیرفته است. برای درک این که چگونه میلیون‌ها ترانزیستور و معدود شرکت‌های منحصربه‌فرد جهان ما را شکل داده‌اند، باید به آغاز عصر سیلیکون بازگردیم.

بخش اول

تراشه‌های دوران جنگ سرد

فصل ۱

از فولاد تا سیلیکون

سربازان ژاپنی جنگ جهانی دوم را "طوفان فولاد" نامیده بودند. آکیو موریتا،[[14]](#footnote-14) مهندس جوان و سخت‌کوش ژاپنی که از خانواده‌ای تاجرپیشه و مرفه می‌آمد نیز بی‌شک همین احساس را داشت. او با استخدام در آزمایشگاه مهندسی نیروی دریایی ژاپن چیزی نمانده بود که از خطر حضور در خطوط مقدم جنگ برهد. اما حتی سرزمین مادری موریتا هم از بلایای طوفان فولاد در امان نماند، زیرا بمب‌افکن‌های بی-29 آمریکایی به شهرهای ژاپن تاختند و بخش اعظم توکیو و دیگر شهرها را ویران کردند. در این میان محاصره ژاپن توسط آمریکا بر این فلاکت افزود، گرسنگی گسترده‌ای را ایجاد کرد و کشور را به سمت اقدامات ناامیدکننده سوق داد. برادران موریتا در اواخر جنگ آموزش می‌دیدند تا خلبان کامیکازه شوند.

بخش عمده کودکی موریس چانگ[[15]](#footnote-15) در سرتاسر ساحل دریای چین شرقی مملو از صدای شلیک گلوله و آژیرهایی بود که هشدار حمله هوایی قریب‌الوقوع را می داد. چانگ سال‌های نوجوانی‌اش را در حال فرار از دست ارتش ژاپن که سراسر چین را تحت سیطره خود گرفته بود، گذراند و در این مسیرابتدا به گوانگژو، سپس به هنگ‌کنگ که در آن زمان مستعمره بریتانیا بود، و از آنجا به چونگ‌کینگ[[16]](#footnote-16) پایتخت چین در زمان جنگ رفت؛ و نهایتا پس از شکست ژاپنی‌ها به شانگهای بازگشت. اما حتی در آن زمان هم، جنگ واقعاً به پایان نرسید، زیرا چریک‌های کمونیست مجددا مبارزه با دولت چین آغاز آغاز کردند. خیلی زود نیروهای مائو تسه‌دونگ به شانگهای یورش بردند و موریس چانگ بار دیگر مجبور شد برای بار دوم به هنگ‌کنگ فرار کند.

بوداپست در سوی دیگر جهان قرار داشت؛ اما اندی گرُوْ[[17]](#footnote-17) از اهالی این شهر هم قربانی همان طوفان فولادی شد که سرتاسر آسیا را درنوردید. اندی (یا آن طور که در آن زمان نامیده می‌شد، آندرس گرُف[[18]](#footnote-18)) از چندین تهاجم دشمن به جان سالم به در برد. دولت راست افراطی مجارستان با خانواده گرو هم مانند دیگر یهودیان، همچون شهروندان درجه دو برخورد می‌کرد. اما وقتی آتش جنگ در اروپا شعله‌ور شد، پدر اندی بدون توجه به یهودی بودنش برای جنگ علیه اتحاد شوروی در کنار متحدان نازی مجارستان به جبهه‌ها فراخوانده شد و دست آخر هم در استالینگراد کشته شد. سپس در سال ۱۹۴۴، نازی‌ها خود به مجارستان که ظاهراً متحد آلمان بود حمله کردند. ستون‌هایی از تانک‌های آلمانی وارد بوداپست شدند. آلمانی‌ها اعلام کردند یهودیان، از جمله اندی گرو را به اردوگاه‌های مرگ خواهند فرستاد. اندی که هنوز کودکی بیش نبود، ماه‌ها بعد و هنگام ورود سربازان ارتش سرخ به پایتخت مجارستان، بار دیگر صدای توپخانه را شنید. نیروهای ارتش سرخ که برای آزاد کردن مجارستان آمده بودند، به مادر اندی تجاوز کردند و رژیم دست‌نشانده بی‌رحمی را به جای رژیم نازی بر اریکه قدرت نشاندند.

ستون‌های بی‌پایان تانک‌ها؛ امواج هواپیماها؛ هزاران تن بمب که از آسمان فرو ریخت؛ ناوگان‌های متشکل از کشتی‌های حامل کامیون‌ها، خودروهای جنگی، محصولات نفتی، لوکوموتیوها، واگن‌های قطار، توپ‌های جنگی، تسلیحات، زغال‌سنگ و فولاد جنگ - جهانی دوم موجب فرسایش صنایع شد. ایالات متحده هم می‌خواست که چنین باشد: جنگی صنعتی که آمریکا برنده آن بود. درستدر زمانی که ایالات متحده قدرت تولید صنعتی خود را به قدرت نظامی تبدیل می‌کرد، اقتصاددانان حاضر در کمیته تولید برای جنگ[[19]](#footnote-19) تنها میزان تولید مس و آهن، پلاستیک و نفت، آلومینیوم و قلع را معیار اندازه‌گیری پیشرفت کشور می‌دانستند.

ایالات متحده در دوره جنگ جهانی دوم بیش از کل کشورهای گروه محور، کشتی و هواپیما تولید کرد و حتی تعداد توپ‌های جنگی و مسلسل‌های خودکار تولیدی این کشور حدود دو برابر کشورهای گروه محور بود. در این دوره، کشتی‌های آمریکایی بی‌وقفه محصولات صنعتی را از بنادر این کشور به بریتانیا، اتحاد شوروی، چین و سایر اعضای گروه متحدین ارسال می‌کردند. سربازان در جبهه‌های استالینگراد مشغول جنگ بودند، اما قدرت قدرت جنگ در آمریکا و در کارخانه‌های کشتی‌سازی چون کایزر[[20]](#footnote-20) و خطوط مونتاژ چون ریور روژ[[21]](#footnote-21) خلق می‌شد.

بالاخره در ۱۹۴۵، ایستگاه‌های رادیویی پایان جنگ را اعلام کردند. در ژاپن آکیو موریتا مهندس جوان داستان ما لباس فرم خود را پوشید و به سخنرانی تسلیم امپراتور هیروهیتو گوش فرا داد. البته او تنها بود، زیرا نمی‌خواست در کنار دیگر افسران نیروی دریایی مجبور شود طبق سنت ژاپنی‌ها خودکشی کند. در سوی دیگر دریای چین شرقی، موریس چانگ شکست ژاپن و پایان جنگ را جشن گرفت و بلافاصله به زندگی پر از تفریح دوران نوجوانی خود بازگشت. در مجارستان هم اندی گرو و مادرش آرام آرام از پناهگاه بیرون آمدند، اما آزاری که آن‌ها بعدا در دوران اشغال مجارستان توسط اتحاد شوروی تحمل کردند، چیزی کم از دوران جنگ نداشت.

نتیجه جنگ جهانی دوم را تولیدات صنعتی تعیین کرد، اما همان موقع هم معلوم بود که فناوری‌های جدید در حال متحول کردن قدرت نظامی است. قدرت‌های بزرگ هزاران هواپیما و تانک تولید کرده بودند، اما آن‌ها همچنین هزاران آزمایشگاه تحقیقاتی تاسیس کرده بودند که محصولشان ابزارهایی چون موشک و رادار بود. دو بمب اتمی که هیروشیما و ناگازاکی را ویران کردند موجب شکل‌گیری این نظریه شدند که عصر اتم به زودی جایگزین عصر زغال‌سنگ و فولاد خواهد شد.

موریس چانگ و اندی گرو در سال ۱۹۴۵ دانش آموز بودند و هنوز نمی‌توانستند درک دقیقی از فناوری یا سیاست داشته باشند. اما آکیو موریتا در آن زمان جوانی بیست‌وچندساله با تجربه کار در پروژه تولید موشک‌های گرماجو در سال‌های آخر جنگ بود. ژاپن اصلا به تولید موشک‌های هدایت شونده نزدیک نبود. اما پروژه‌ای که موریتا روی آن کار کرد، تصویری اجمالی از آینده پیش روی او نمایان کرده بود. کم‌کم می‌شد جنگ‌هایی را تصور کرد که تکلیفشان نه توسط کارگران خطوط مونتاژ تانک و خودروی جنگی؛ بلکه توسط تسلیحاتی تعیین خواهد شد که می‌توانند به طور خودکار اهدافشان را شناسایی و تعقیب کنند. این ایده مانند داستان‌های علمی-تخیلی به نظر می‌رسید و موریتا از تحولات اخیر در حوزه محاسبات الکترونیکی که به ماشین‌ها امکان می‌داد از طریق حل مسائل ریاضی با اعمالی چون جمع و ضرب و رادیکال‌گیری «فکر کنند»، تا حدودی اطلاع داشت.

البته ایده استفاده از ابزار برای محاسبه چیز جدیدی نبود. هزارها سال قبل، انسان‌های اولیه یاد گرفتتد از انگشتان خود برای شمارش استفاده کنند. بابِلیان در دوران باستان برای ضرب کردن اعداد بزرگ چرتکه را اختراع کردند و از آن پس، مردم در طول قرن‌ها برای ضرب و تقسیم اعداد، مهره‌های چرتکه را جلو و عقب می کشیدند. در اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم، شکل‌گیری و رشد دیوان‌سالاری در دولت‌ها و بنگاه‌های تجاری استخدام خیل عظیم «رایانه‌های انسانی»، یعنی کارمندان مسلح به قلم و کاغذ و حتی بعضا ماشین‌حساب‌های ساده مکانیکی - جعبه دنده‌هایی که می‌توانستند چهار عمل اصلی ریاضی و رادیکال‌گیری‌های ساده را انجام دهند - را ضروری ساخت.

این رایانه‌های زنده قادر بودند لیست‌های حقوق و دستمزد را تنظیم کنند، نتایج سرشماری را جمع‌آوری کنند، و داده‌های مربوط به آتش‌سوزی‌ها و خشکسالی‌ها را که برای تعیین نرخ بیمه‌ها ضروری است، غربال کنند. در دوره رکود بزرگ در ایالات متحده، اداره پیشرفت کار آمریکا[[22]](#footnote-22) که به دنبال استخدام کارمندان دفتری بیکار بود، پروژه‌ای را تحت عنوان «پروژه جداول ریاضی»[[23]](#footnote-23) را به اجرا گذاشت که در چهارچوب آن صدها «رایانه انسانی» در ساختمانی اداری در منهتن پشت میز نشستند و مشغول تهیه جداول لگاریتمی و توابع نمایی شدند! نهایتا نتایج پروژه در قالب گزارشی بیست‌وهشت جلدی، شامل خروجی توابع پیچیده با عناوینی چون جداول متقابل اعداد صحیح از ۱۰۰,۰۰۰ تا ۲۰۰,۰۰۹ منتشر شد که فقط بیش از دویست صفحه آن را جداول اعداد تشکیل می‌داد.

این گروه‌های سازماندهی‌شده متشکل از  ماشین‌حساب‌های انسانی نویدبخش آینده‌ای روشن برای بازار صنعت محاسبات و البته نشانگر محدودیت‌های استفاده از مغز انسان برای انجام محاسبات بود. حتی وقتی ماشین‌حساب‌های مکانیکی به کمک مغز انسان می‌آمدند هم، کار انسان سرعت چندانی نداشت. اگر کسی می‌خواست از نتایج پروژه جداول ریاضی استفاده کند، می‌بایست صفحات تک‌تک مجلدهای بیست‌وهشتگانه گزارش پروژه را ورق به ورق جستجو می‌کرد تا نتیجه محاسبه لگاریتم یا توان خاصی را بیابد. هرچه تعداد نتایج مورد نیاز بیشتر می‌شد، صفحات بیشتری می‌بایست ورق زده می‌شد.

در همین حال، تقاضای بازار برای صنعت محاسبات همچنان رشد می‌کرد. حتی پیش از جنگ جهانی دوم هم مبالغی هنگفت به  پروژه‌هایی تزریق می‌شد که هدفشان تولید رایانه‌های مکانیکی با قابلیت‌های بیشتر بود. اما جنگ، مسابقه برای رسیدن به قدرت محاسباتی را تسریع بخشید. نیروی هوایی در چندین کشور اقدام به تولید دستگاه‌های مکانیکی نشانه‌گیری بمب کرد تا به خلبانان هواپیماهای جنگی خود در ضربه زدن به اهدافشان کمک کند. این دستگاه‌ها مجهز به آینه‌های شیشه‌ای متصل به چند اهرم بودند. اهرم‌ها نیز به نوبه خود، به دو پیچ دستی متصل بودند که خدمه بمب‌افکن‌ها بر اساس سرعت و ارتفاع هواپیما آن‌ها را تنظیم می‌کردند. دستگاه با استفاده از این پیچ‌های دستی و اهرم‌ها، بسیار دقیق‌تر از خلبانان، بر اساس ارتفاع و سرعت هواپیما دوربین آن را روی هدف متمرکز، و زمان دقیق پرتاب بمب را تعیین می‌کرد. البته محدودیت‌های این دستگاه‌ها در همان زمان هم آشکار بود. این نشانه‌گیرها تنها چند فاکتور را به عنوان داده دریافت می‌کردند و بر اساس آن، تنها یک خروجی بیرون می‌دادند که عبارت بود از رها کردن زمان رها کردن بمب. در شرایط ایده‌آل آزمایشی، نتیجه عملکرد دستگاه‌های نشانه‌گیر آمریکایی دقیق‌تر از نتیجه حدس و گمان خلبانان بود. با این حال، وقتی این دستگاه‌ها در آسمان آلمان مورد استفاده قرار گرفت، تنها بیست درصد بمب‌های رها‌شده از هواپیماهای آمریکایی در شعاع ۱۰۰ متری هدف به زمین اصابت کرد. حقیقت این است که تکلیف جنگ را تعداد بمب‌های رهاشده و گلوله‌های توپ شلیک‌شده تعیین کرد؛ نه تعداد پیچ‌های دستی نصب‌شده در رایانه‌های مکانیکی که کارشان هدایت بمب‌ها و توپ‌ها بود و البته غالبا در کارشان هم موفق نبودند.

دقت بیشتر مستلزم محاسبات بیشتر بود. به همین علت، مهندسان کم‌کم بارهای الکتریکی را جایگزین چرخ‌دنده‌های مکانیکی رایانه‌های اولیه کردند. در نخستین رایانه‌های الکتریکی در آن زمان، از لامپ‌های خلأ استفاده شد که عبارت بود از رشته‌ای فلزی در حبابی شیشه‌ای، درست مانند لامپ روشنایی. جریان الکتریکی که از این حباب شیشه‌ای عبور می‌کرد، می‌توانست قطع و وصل شود و عملاً کارکردی تقریبا شبیه حرکت مهره‌های چرتکه که روی میله‌های آن جلو و عقب می‌روند داشته باشد. لامپ خلئی که روشن بود به عنوان عدد «۱»، و لامپی که خاموش بود به عنوان عدد «۰» در نظر گرفته می‌شد. این دو رقم می‌توانستند در چارچوب یک سیستم شمارش «دودویی» هر عددی را بسازند - و بدین ترتیب، به طور تئوریک می‌توانستند انواع مختلف محاسبات را انجام دهند.

به علاوه وجود لامپ‌های خلأ برنامه‌ریزی مجدد این رایانه‌های دیجیتال را میسر می‌کرد. چرخ‌دنده‌های مکانیکی از نوعی که در دستگاه‌های نشانه‌گیر بمب به کار گرفته می‌شد، تنها می‌توانستند یک نوع محاسبه را انجام دهند، زیرا هر پیچ دستی در این دستگاه‌ها به شکل فیزیکی به اهرم‌ها و چرخ‌دنده‌های مشخصی متصل بود. مهره‌های چرتکه هم با این محدودیت روبه‌رو بودند که تنها در طول یک میله‌ جلو و عقب می‌رفتند. این در حالی است که نحوه ارتباط لامپ‌های خلأ با هم قابل سازماندهی مجدد بود و این قابلیت به رایانه الکتریکی اجازه می‌داد انواع محاسبات را انجام دهد.

این جهشی رو به جلو در صنعت محاسبه بود - البته اگر شب‌پره‌ها مانع نمی‌شدند! از آنجا که این لامپ‌های خلأ مانند لامپ‌های روشنایی می‌درخشیدند، شب‌پره‌ها را به خود جذب می‌کردند. در نتیجه مهندسان می‌بایست به طور منظم عیب آن‌ها را رفع می‌کردند. به علاوه، این لامپ‌ها هم مانند لامپ‌های روشنایی زود‌به‌زود می‌سوختند. یک رایانه پیشرفته در آن زمان به نام انیاک (ENIAC) که دانشگاه پنسیلوانیا آن را در سال ۱۹۴۵ به منظور محاسبه مسیر پرتابه‌های توپخانه ارتش آمریکا ساخته بود، هجده هزار لامپ خلأ داشت. به طور متوسط، در هر دو روز یک لامپ خلاء این دستگاه غول‌پیکر خراب می‌شد و کل دستگاه را از کار می‌انداخت و تکنسین‌ها را مجبور می‌کرد در میان هجده هزار لامپ خلأ، قطعه ازکارافتاده را بیابند و تعویض کنند. انیاک می‌توانست با سرعتی بیشتر از هر ریاضیدانی، در هر ثانیه صدها عدد را در هم ضرب کند؛ اما فضایی در اندازه یک اتاق را اشغال می‌کرد، زیرا هر یک از هجده هزار لامپ خلاء آن به اندازه یک مشت بود. بدین ترتیب، فناوری لامپ خلأ آشکارا بیش از حد پیچیده، کُند و غیرقابل‌اعتماد بود. تا زمانی که رایانه‌ها همچنان هیولاهایی عظیم‌الجثه‌ و در عین حال، در معرض آسیب شب‌پره‌ها می‌ماندند، تنها برای کاربردهای خاصی چون شکستن کدها مناسب بودند؛ مگر آن‌که دانشمندان می‌توانستند کلیدهایی کوچکتر، سریع‌تر و ارزان‌تر بیابند.

1. Kioxia. [↑](#footnote-ref-1)
2. Skyworks. [↑](#footnote-ref-2)
3. Cirrus Logic. [↑](#footnote-ref-3)
4. Cupertino. [↑](#footnote-ref-4)
5. Taiwan Semiconductor Manufacturing Company. [↑](#footnote-ref-5)
6. بخش کوچکی از سلول. مترجم [↑](#footnote-ref-6)
7. Quintillion. [↑](#footnote-ref-7)
8. Fairchild Semiconductor. [↑](#footnote-ref-8)
9. Micrologic. [↑](#footnote-ref-9)
10. Gordon Moore. [↑](#footnote-ref-10)
11. Arm. [↑](#footnote-ref-11)
12. Extreme ultraviolet lithography machines. [↑](#footnote-ref-12)
13. Morris Chang. [↑](#footnote-ref-13)
14. Akio Morita. [↑](#footnote-ref-14)
15. Morris Chang. [↑](#footnote-ref-15)
16. Chongqing. [↑](#footnote-ref-16)
17. Andy Grove. [↑](#footnote-ref-17)
18. Andres Grof. [↑](#footnote-ref-18)
19. The War Production Board. [↑](#footnote-ref-19)
20. Kaiser. [↑](#footnote-ref-20)
21. River Rouge. [↑](#footnote-ref-21)
22. America's Work Progress Administration. [↑](#footnote-ref-22)
23. Mathematical Tables Project. [↑](#footnote-ref-23)