

کمرنگ شدن و حذف تدریجی قانون مور، چرخه کوتاه عمر محصولات در صنعت رایانه‌ای هم ممکن است کم کم شروع به طولانی شدن کند و به این ترتیب، برنامه نویسان هم‌زمان می‌یابند تا کارهای بهتری را ارائه دهند. راهکار دیگر طراحی چیپ‌هایی است که به جای توان محاسباتی کلی‌شان، سخت‌افزار پیچیده‌تری داشته باشند. البته چیپ‌های مدرن مدتی است که به مدارهای پیشرفته‌ای مجهز می‌شوند تا از این طریق تسک‌های عادی از جمله غیرفشرده‌سازی فیلم‌ها، انجام محاسبات پیچیده مورد نیاز برای رمزگذاری دیتا یا ترسیم طرح‌های دشوار سه بعدی مورد استفاده در بازی‌های رایانه‌ای را با سرعت بالاتری به انجام برسانند.

## پردازنده‌هایی که سه بعدی می‌شوند

هم‌زمان با گسترش استفاده از رایانه‌ها در محصولات مختلف، نیاز به این گونه قطعات سیلیکونی پیشرفته نیز بیشتر می‌شود. برای نمونه ماشین‌های خودران را در نظر بگیرید که به قابلیت تازه‌ای موسوم به دید کامپیوتری (این قابلیت علم تفسیر تصاویر دریافتی از دنیای واقعی، طبقه‌بندی اشیاء و اقتباس اطلاعات را به رایانه‌ها می‌آموزد که به لحاظ محاسباتی فرآیند بسیار سنگین و دشواری است) مجهز هستند. مداربندی پیچیده می‌تواند بهبود قابلیت توجهی را در این قابلیت ایجاد نماید. با این حال، برای آن که محاسبات رایانه‌ای با همان سرعت سابق رشد و پیشرفت نماید، لازم است که فعالیتی ریشه‌ای انجام شود. یکی از نظریه‌ها آن است که قانون مور در بعد سوم پیاده‌سازی شود. چیپ‌های مدرن غالباً تخت هستند اما محققان در حال حاضر مشغول کار روی تراشه‌های جدیدی هستند که قطعات مورد نیازشان روی یکدیگر قرار می‌گیرند. در این صورت، حتی اگر ابعاد کلی این چیپ‌ها کاهش پیدا نکنند، درست مانند آپارتمان‌های مسکونی که افراد بیشتری را در خود سکنی می‌دهند، این قطعات سیلیکونی نیز قادر خواهند بود فضای لازم برای قرارگیری قطعات بیشتری را تأمین نمایند. خوشبختانه نخستین سری از این تراشه‌ها در حال ورود به بازار هستند: سامسونگ که از جمله شرکت‌های بزرگ تولیدکننده قطعات میکروالکترونیکی در کره جنوبی محسوب می‌گردد هم اکنون هارد درایوهایی را به فروش می‌رساند که مموری به خدمت گرفته شده در آن‌ها در چندین لایه روی هم قرار گرفته؛ تکنولوژی جدیدی که بسیار نویدبخش است اما همانطور که احتمالاً می‌دانید در کامپیوترهای مدرن، مموری یا حافظه دستگاه چندسانتی متری از پردازنده‌هایش فاصله دارد و در سرعت‌های سیلیکونی هم یک سانتی متر مسیری طولانی محسوب می‌گردد و این یعنی انتقال اطلاعات با تأخیرهای طولانی صورت خواهد پذیرفت.

## ابرا رایانه‌ای، به اندازه یک جعبه کفش

IBM اعلام کرده که با کمک همین چیپ‌های سه بعدی طراحان می‌توانند ابررایانه‌های امروزی را که هم اکنون درون یک ساختمان جای می‌گیرند، به اندازه جعبه کفش در بیاورند اما برای آن که چنین رایانه‌ای عملیاتی و قابل استفاده باشد، نیازمند تغییراتی بنیادین به لحاظ طراحی خواهد بود. همین حالا هم چیپ‌های مدرن در زمان فعالیت بیش از اندازه داغ می‌گردند و برای تعدیل این حرارت به هیت سینک‌های عظیم الجثه نیاز دارند. حال اگر این چیپ به صورت سه بعدی در بیاید از این هم داغ‌تر خواهد شد چرا که نسبت سطح موجود برای تعدیل حرارت و حجمی که آن حرارت را ایجاد می‌کند بسیار کم است. بنابراین دلایلی مشابه همچنین انتقال الکتریسیته و دیتای لازم به داخل این چیپ نیز با مشکلات عدیده‌ای همراه خواهد بود. بنابراین ابررایانه مدنظر IBM با ابعاد یک جعبه کفش نیازمند سیستم خنک‌کننده مایع خواهد بود. در واقع لازم است که تعدادی کانال میکروسکوپی در داخل هر کدام از چیپ‌ها ایجاد گردند تا امکان جریان یافتن مایع خنک‌کننده درون آن‌ها فراهم گردد. در عین حال، این شرکت باور دارد که سیستم خنک‌کننده مذکور می‌تواند هم‌زمان نقش منبع انرژی را هم برای چیپ ایفا کند. در واقع ایده اصلی آن است که از آن در نقش الکترولیت درون باتری مایع استفاده گردد که در آن الکترولیت از الکترودهای ثابت عبور می‌کند.

## آینده با چیپ‌های کوانتومی

البته ناگفته نماند ایده‌های عجیب و غریب دیگری هم در این باره وجود دارند؛ برای مثال در علم محاسبات کوانتومی توصیه می‌شود که از قوانین متضاد مکانیزم‌های کوانتومی برای ایجاد رایانه‌هایی استفاده شود که می‌توانند اشکال مشخصی از مسائل ریاضی را با سرعتی به مراتب بالاتر از هر رایانه معمولی حل کنند و فرقی ندارد که آن رایانه تا چه اندازه سریع یا پیشرفته باشد (هرچند رایانه‌های کوانتومی برای حل دیگر مسائل از برتری خاصی برخوردار نیستند). این سیستم‌ها بیشتر به خاطر کِرک کردن کدهای رمزگذاری شده شهرت دارند، با این همه مهم‌ترین کاربردها شبیه‌سازی پیچیدگی‌های کوانتومی شیمی است؛ مسئله‌ای که هزاران کاربرد در تولید و صنعت دارد و کامپیوترهای معمولی از انجامش عاجزند. تا همین یک دهه قبل، محاسبات کوانتومی صرفاً محدود به تحقیقاتی بود که در داخل دانشگاه‌ها انجام می‌گرفت. این روزها اما، چندین شرکت بزرگ دنیا از جمله مایکروسافت، IBM و گوگل بودجه‌های هنگفتی را صرف این تکنولوژی می‌کنند و پیش‌بینی همه‌شان هم این است که چیپ‌های کوانتومی باید دست کم ظرف یک یا دو دهه آینده برای همه در دسترس باشند (در واقع هم اکنون هر کسی که بخواهد می‌تواند با یکی از چیپ‌های ساخت IBM به صورت رایانه‌ای راه‌دور کار کند و آن را از طریق اینترنت برنامه‌ریزی کند). جالب است بدانید یک شرکت کانادایی به نام D-Wave نیز نوعی رایانه کوانتومی ساخته و آن را به صورت محدود به فروش می‌رساند. بدون تردید آینده رایانه‌ها براساس این نوع از چیپ‌ها خواهد بود. در این آینده، چندین ترلیون چیپ در هر گوشه از محیط فیزیکی پیرامون انسان قرار خواهد داشت و در نتیجه جهانی که پیش رویمان قرار می‌گیرد قابل درک‌تر بوده و بیشتر تحت نظر است. به بیان دیگر، شاید پایان قانون مور نزدیک باشد اما انقلاب رایانه‌ای هنوز به قوت خود باقی است.

TSMC (کمپانی تولیدکننده نیمه رسانای تایوان) میلیارد‌ها دلار را صرف آن می‌کنند تا تشخیص دهند که چگونه این قطعات را کوچک و کوچک‌تر نمایند. قانون مور، ضمن آن که رقابتی تنگاتنگ را میان این شرکت‌ها ایجاد کرد، دنیایی را پدید آورد که در آن چیپ‌ها در هر کالایی به خدمت گرفته می‌شوند؛ از کتری‌ها گرفته تا ماشین‌ها (که روزبه‌روز به مهارت‌های بیشتری برای هدایت خودکار دست می‌یابند)، دنیایی که در آن میلیون‌ها نفر از مردم در حال تمدد اعصاب در جهان‌های مجازی هستند و الگوریتم‌ها زمام بازارهای اقتصادی را در دست گرفته‌اند و کارشناسان نیز نگرانند که مبادا در آینده نزدیک هوش مصنوعی تمامی مشاغل انسانی را از بین برده و جایگزین بشر شود اما نیک که بنگریم قابلیت بشر برای کوچک‌تر نمودن مستمر چیپ‌ها را می‌توان تمام شده قلمداد کرد؛ هر بار که این اتفاق رخ می‌دهد، مسیر برای انجامش در آینده دشوارتر می‌گردد و با در نظر داشتن این که ترانزیستورهای امروزی به بخش‌هایی مجهزند که ابعادشان از چند ده اتم فراتر نمی‌رود، می‌توان اینطور نتیجه گرفت که مهندسان این صنعت دیگر امکان پیشروی بیشتر را ندارند. از سال ۱۹۷۱ میلادی که قانون مور مطرح شد تا اواسط سال ۲۰۱۶ میلادی، این قانون تنها ۲۲ چرخه را طی کرده است و برای آن که تا سال ۲۰۵۰ پابرجا بماند ضروری است ۱۷ بار دیگر این فرآیند تکرار شود و در این صورت مهندسانی که به آن‌ها اشاره گردید باید تولید چیپ‌هایی کوچک‌تر از یک اتم هیدروژن را یاد بگیرند که در واقع کوچک‌ترین عنصر محسوب می‌شود و تا جایی که همه ما می‌دانیم این امر غیرممکن است.

## آیا از این کوچکتر فایده دارد؟

در هر حال روشن است که بازار پیش از علم فیزیک، قانون مور را حذف می‌کند چرا که مزایای کوچک کردن ترانزیستورها دیگر مانند سابق زیاد نیست. گفتنی است قانون مور تحت تأثیر پدیده‌ای دیگر به نام «مقیاس پذیری ندارد یا Dennard Scaling» مورد توجه گرفت (این نام از روی اسم روبرت دینارد یکی از مهندسان IBM انتخاب گردید که نخستین بار در سال ۱۹۷۴ میلادی این نظریه را مطرح نمود) که براساس آن با کوچک‌تر شدن قطعات یک چیپ، آن تراشه سریع‌تر می‌شود، انرژی کمتری مصرف می‌کند و تولیدش نیز ارزان‌تر تمام می‌گردد. به بیان دیگر چیپ‌هایی که قطعات کوچک‌تری داشته باشند، بهتر هستند و به همین خاطر است که صنعت رایانه توانسته مشتریان را متقاعد نماید که برای خرید جدیدترین محصولات ارائه شده به بازار هر چند سال یک بار مبلغ گزافی را پرداخت نمایند اما این جادوی قدیمی به تدریج در حال از میان رفتن است. این روزها دیگر کوچک‌تر نمودن چیپ‌ها باعث سرعت پیدا کردنشان نمی‌شود یا مانند سابق از میزان مصرف انرژی آن‌ها نمی‌کاهد. از سوی دیگر، هزینه فزاینده خرید تجهیزات پیشرفته لیتوگرافی فراینش مورد نیاز برای تولید چیپ نیز به میزان قابل توجهی از سود حاصل از تولید این شرکت‌ها کم می‌کند. لذا می‌توان اینطور نتیجه گرفت که قانون دوم مور از قانون نخست آن جالب‌تر است؛ براساس این قانون، هزینه ایجاد یک کارخانه تولید چیپ هر چهار سال دو برابر می‌شود که این رقم هم اکنون برای ساخت یک کارخانه مدرن برابر با ده میلیارد دلار است و باید بگوییم این مبلغ حتی برای شرکتی مانند اینتل نیز زیاد محسوب می‌گردد. نتیجه این می‌شود که متخصصان و کارشناسان دره سیلیکون با اتفاق نظر پایان قانون مور را اعلام می‌نمایند. Linley Gwennap که مدیریت یکی از شرکت‌های تحقیقاتی در این ناحیه را بر عهده دارد در این باره می‌گوید: از منظر اقتصادی قانون مور دیگر مرده است.

## قانون مور، مرده است

Dario Gil مدیر واحد توسعه و تحقیق IBM هم نظری مشابه در این رابطه دارد و می‌گوید: من قاطعانه خواهم گفت که آینده محاسبات صرفاً بر پایه قانون مور نخواهد بود. Bob Colwell از طراحان چیپ در اینتل نیز براین باور است که شاید صنعت تا اوایل دهه ۲۰۲۰ میلادی بتواند چیپ‌هایی بسازد که قطعاتش تنها ۵ نانومتر باشند، اما باور ندارد که از آن نقطه به بعد تغییر زیادی در ابعاد آن‌ها اعمال گردد. با در نظر داشتن آنچه گفته شد، به نظر می‌آید که یکی از محرک‌های تکنولوژیکی ۵۰ سال گذشته به زودی به پایان عمر خود خواهد رسید. بله این فرضیه که رایانه‌ها همچنان با سرعتی وحشتناک بهتر و ارزان‌تر می‌شوند در تصورات افراد پیرامون آینده نهادینه شده و اصل اولیه بسیاری از پیش‌بینی‌های تکنولوژی است (از ماشین‌های خودران گرفته تا هوش مصنوعی بهتر و گجت‌هایی پیشرفته‌تر برای مصرف‌کننده‌ها) اما روش‌های دیگری هم غیر از کوچک کردن قطعات به کار رفته در رایانه‌ها برای بهبود عملکردشان وجود دارد. به بیان دیگر نمی‌توان اینطور قلمداد کرد که پایان قانون مور، به معنای خاتمه انقلاب رایانه‌ای هم هست. بلکه این بدان معناست که دهه‌های آتی، متفاوت از دوران گذشته خواهند بود چرا که هر اتفاقی هم رخ دهد همچون کوچک شدن ترانزیستور تکرار شدنی و پایدار نخواهد بود. رایانه‌ها به واسطه قانون مور کوچک‌تر شدند و از ابزارهایی که زمانی فضای درون یک اتاق را پر می‌کردند به دستگاه‌هایی جیبی با ضخامت اندک بدل شدند. در این روند همچنین میزان مصرف انرژی رایانه‌ها نیز کمتر شد: اسمارت فونی که توان محاسباتی‌اش بیشتر از میزان قدرت پردازشی رایانه‌های سال ۱۹۷۱ است می‌تواند تنها با یک بار شارژ باتری تا یک روز یا حتی بیشتر دوام بیاورد اما شاید مهم‌ترین و ملموس‌ترین اثر این اتفاق بالا رفتن سرعت محاسباتی رایانه‌ها باشد. لذا تا سال ۲۰۵۰ میلادی، وقتی قانون مور به داستان‌ها می‌پیوندد، مهندسان باید مجموعه ترفندهای دیگری را برای سریع‌تر نمودن رایانه‌ها به کار ببرند. البته راهکارهای ساده‌ای هم برای تحقق این امر وجود دارد که یکی از آن‌ها برنامه‌ریزی بهتر این دستگاه‌هاست. سرعت قانون مور در گذشته به قدری بالا بوده که شرکت‌های نرم‌افزاری کمترین زمان را برای ترویج و فراگیر نمودن محصولاتشان در اختیار داشته‌اند و این حقیقت که مشتریانشان هر چند سال یک‌بار رایانه‌های قدرتمندتری را خریداری خواهند نمود هم، انگیزه‌شان برای نوآوری را پایین آورد؛ لذا آن‌ها به این نتیجه رسیدند که شاید ساده‌ترین راه‌برای سرعت بخشیدن به کدهای نرم‌افزاری انتظار یک یا دو ساله باشد تا سخت‌افزار تولیدی شرکت‌ها انطباق بهتری با آن‌ها بیابند. از سوی دیگر، با

