

قانون مور زوزه‌کنان در حال رسیدن به خط پایان است. 50 سال پیش گوردون مور برای [صنعت] الکترونیک آینده روشنی را پیش‌بینی کرد. ایده‌های او بعدها در قالب اصلی سامان‌بخش موسوم به قانون مور تلخیص شد. اصلی که فناوری را به‌گونه‌ای سرسام‌آور به پیش برده است. همه ما از توسعه شگفت‌انگیزی سود برده‌ایم که جهان مدرن ما را با قدرت شکل داده است. ما در این گزارش ویژه، این تاریخ بزرگ را جشن می‌گیریم و نیز به افول گریزناپذیر این روند می‌پردازیم. ما درمی‌یابیم پایان قانون مور به‌ناگاه و نامحسوس روی نخواهد داد، بلکه به‌تدریج و به‌گونه‌ای پیچیده رقم خواهد خورد. قانون مور به‌راستی هدیه‌ای است که همچنان به دهش و شگفت‌آفرینی خود ادامه می‌دهد.

این مطلب یکی از مقالات پرونده ویژه «**پنجاه سالگی قانون مور**» است. برای دانلود رایگان کل این پرونده ویژه [اینجا](#) را کلیک کنید.

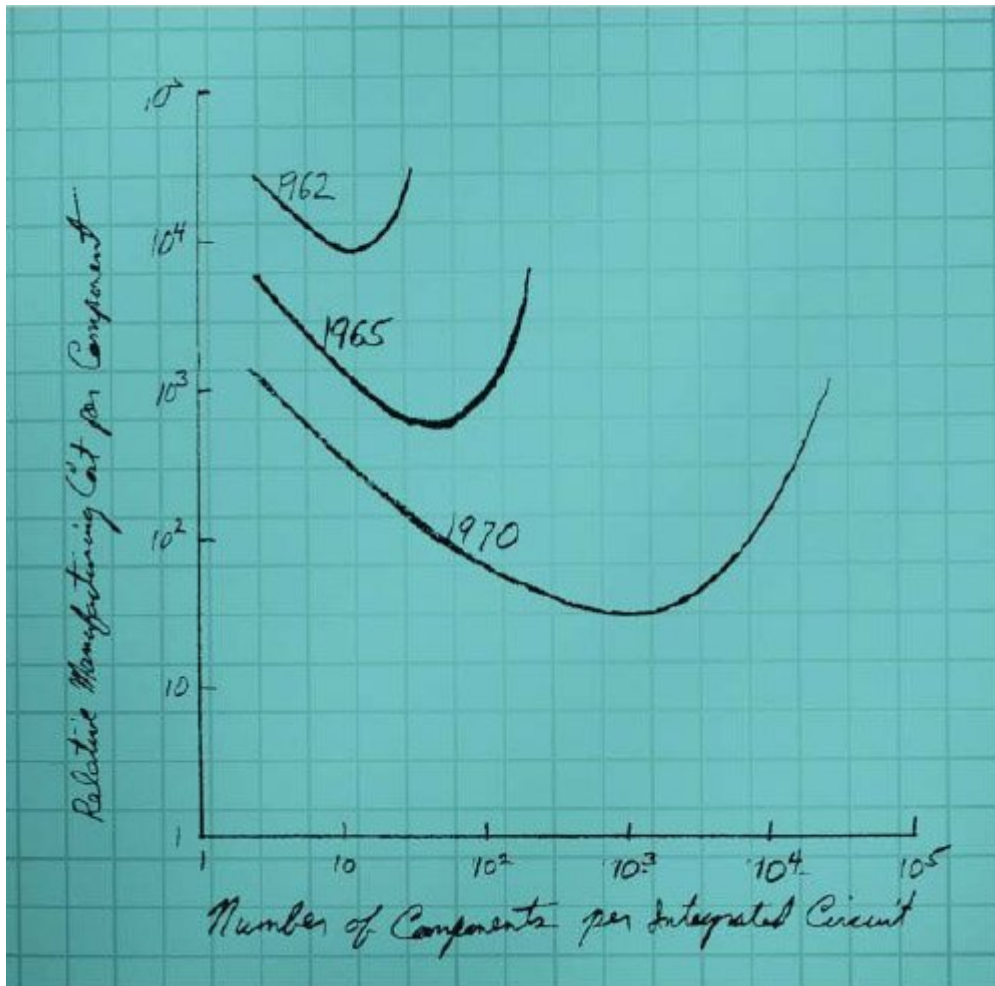
نیم قرن پیش، مهندس جوانی موسوم به گوردون ای. مور با نگرستن به صنعت نوپایی که در آن مشغول به‌کار بود، وقوع اتفاق‌های بزرگی را در آینده پیش‌بینی کرد. او در مقاله چهار صفحه‌ای خود که در مجله «الکترونیکس» چاپ شد، به پیش‌بینی آینده‌ای پرداخت که کامپیوترهای خانگی، تلفن‌های موبایل و سامانه‌های کنترل خودکار خودروها در آن حضور دارند. او نوشت که همه شگفتی‌های فوق‌ناشی از این واقعیت خواهد بود که شمار اجزای پیاده شده روی مدارها با نرخ یکنواختی هر سال دو برابر خواهد شد و این اجزا می‌توانند به‌گونه‌ای مقرون به‌صرفه روی یک تراشه یک‌پارچه شوند.

یک دهه پس از آن، در پیشرفت تصاعدی و فزاینده مدارهای یک‌پارچه (که بعدها قانون مور خوانده شد) هیچ نشانه‌ای از توقف مشاهده نشد. امروزه، قانون مور بازگوکننده دوره موفقیت‌آمیز پنجاه ساله‌ای است که گونه‌های بی‌شماری از کامپیوترها، دستگاه‌های شخصی الکترونیک و حس‌گرها را فراروی ما نهاده است. تأثیر قانون مور بر زندگی مدرن را نمی‌توان از دیده دور داشت. ما بدون در نظر داشتن تأثیر این قانون نمی‌توانیم سوار هواپیما شویم، تلفن بزیم یا حتی ماشین ظرف‌شویی خود را روشن کنیم. بدون آن نمی‌توانستیم ذره بنیادی Higgs را بیابیم یا اینترنت را پدید آوریم. قانون مور واقعاً چیست و چرا چنین موفق بوده است؟ آیا شاهدهی بر پیروزی گریزناپذیر و پیش‌رونده فناوری است؟ یا دوران منحصر به‌فردی از تاریخ مهندسی را بازمی‌نمایاند که در آن ویژگی‌های خاص سیلیکون در کنار نوآوری‌های بی‌پای مهندسی چند دهه پیش‌رفت خیره‌کننده در حیطه فناوری را رقم زدند؟ به‌نظر می‌رسد درباره قانون

مور هیچ چیز گریزناپذیری وجود نداشت. بلکه این قانون نشان‌دهنده سخت‌کوشی، هوش انسان و انگیزه‌های موجود در بازار آزاد است. شاید پیش‌بینی مور در آغاز مشاهده‌ای ساده بر یک صنعت نوپا بود، اما در گذر زمان به پیش‌بینی چشم‌گیری بدل شد که درستی خود را به‌اثبات رساند؛ به جریان مداومی از آفرینش تازه‌ها به‌وسیله مهندسان و شرکت‌هایی که مزیت قانون مور را می‌دانستند و همه تلاش خود را به‌کار می‌بستند؛ زیرا نادیده انگاشتن آن رقابت آن‌ها را در بازار با تهدید روبه‌رو می‌کرد. همچنین، استدلال این است که قانون مور به‌رغم تعابیر پایان‌ناپذیری که برای آن ارائه شده است، مفهوم ساده‌ای نیست. معنی آن در طی سال‌ها بارها تغییر کرده و همین حالا نیز در حال تغییر است. اگر می‌خواهیم با بهره‌گیری از این قانون درباره سرشت پیش‌رفت سخن بگوییم و دریابیم که قانون مور درباره آینده چه می‌گوید، باید نگاه عمیق‌تری داشته باشیم. در اوایل دهه 1960، پیش از آن‌که دره سیلیکون معروف شود، گوردون مور مدیر واحد پژوهش و توسعه شرکت Fairchild Semiconductor بود.

مور هیچ چیز گریزناپذیری وجود نداشت. بلکه این قانون نشان‌دهنده سخت‌کوشی، هوش انسان و انگیزه‌های موجود در بازار آزاد است. شاید پیش‌بینی مور در آغاز مشاهده‌ای ساده بر یک صنعت نوپا بود، اما در گذر زمان به پیش‌بینی چشم‌گیری بدل شد که درستی خود را به‌اثبات رساند؛ به جریان مداومی از آفرینش تازه‌ها به‌وسیله مهندسان و شرکت‌هایی که مزیت قانون مور را می‌دانستند و همه تلاش خود را به‌کار می‌بستند؛ زیرا نادیده انگاشتن آن رقابت آن‌ها را در بازار با تهدید روبه‌رو می‌کرد. همچنین، استدلال این است که قانون مور به‌رغم تعابیر پایان‌ناپذیری که برای آن ارائه شده است، مفهوم ساده‌ای نیست. معنی آن در طی سال‌ها بارها تغییر کرده و همین حالا نیز در حال تغییر است. اگر می‌خواهیم با بهره‌گیری از این قانون درباره سرشت پیش‌رفت سخن بگوییم و دریابیم که قانون مور درباره آینده چه می‌گوید، باید نگاه عمیق‌تری داشته باشیم. در اوایل دهه 1960، پیش از آن‌که دره سیلیکون معروف شود، گوردون مور مدیر واحد پژوهش و توسعه شرکت Fairchild Semiconductor بود.

او و دیگران این شرکت را در سال 1957 و پس از ترک شرکت Shockley Semiconductor Laboratory تأسیس کردند. همان شرکت که برخی از نخستین تلاش‌ها برای ساخت تجهیزات الکترونیک سیلیکونی در آن‌جا صورت پذیرفته بود. فیرچایلد گروه کوچکی متشکل از چند شرکت بود که درباره ترانزیستورها پژوهش می‌کرد. قطعه‌هایی که امروزه به سویچ‌های همه‌جا حاضر تبدیل شده و از کنار هم نهادن میلیاردها ترانزیستور روی یک تراشه پدید آمده‌اند و برای محاسبه‌ها و ذخیره داده‌ها به‌کار می‌روند. این شرکت به‌سرعت برای خود جایگاه مطلوبی دست و پا کرد. در آن زمان، بیش‌تر مدارها از ترانزیستورها، مقاومت‌ها، خازن‌ها و دیودهای منفردی پدید آمده بودند که به‌صورت دستی با سیم روی مدار به‌هم متصل می‌شدند. اما در سال 1959، ژان هورنی از شرکت فیرچایلد ترانزیستور مستوی را اختراع کرد. این گونه از ترانزیستورها به‌جای صفحه‌های تپه‌ای‌شکل سیلیکونی، روی یک بورد ویفر سیلیکونی ساخته می‌شدند.



1: در سال 1965، مهندسان می‌توانستند سیم‌ها را از فراز ترانزیستورها عبور دهند و آن‌ها را به هم متصل کنند و در نتیجه یک مدار مجتمع پدید آورند. جک کیلی از شرکت تگزاس اینسترومنتس مسئول پدید آوردن طرح اولیه‌ای شد که در آن قطعه‌ها با سیم‌های شناوری که از فراز تراشه عبور می‌کرد، به هم متصل می‌شدند. اما رابرت نویس، همکار مور، نشان داد که می‌توان از ترانزیستورهای مستوی برای ساخت مدارهای مجتمعی که همچون بلوک‌های سخت عمل می‌کنند، بهره برد. برای این کار باید ترانزیستورها را با یک لایه عایق اکسید پوشاند و سپس برای اتصال قطعه‌ها از آلومینیوم استفاده کرد. فیرچایلد از این معماری جدید برای ساخت نخستین مدار مجتمع سیلیکونی سود برد که در سال 1961 معرفی شد و شامل چهار ترانزیستور بزرگ بود. در سال 1965 این شرکت آماده شد تا نخستین تراشه خود با 64 جزء را عرضه کند. مور با برخورداری از این دانش، مقاله معروف خود در سال 1965 را با این عبارت جالب توجه آغاز کرد: «آینده [مدارهای] الکترونیک مجتمع همان آینده الکترونیک خواهد بود.»

با چنین ساختاری، مهندسان می‌توانستند سیم‌ها را از فراز ترانزیستورها عبور دهند و آن‌ها را به هم متصل کنند و در نتیجه یک مدار مجتمع پدید آورند. جک کیلی از شرکت تگزاس اینسترومنتس مسئول پدید آوردن طرح اولیه‌ای شد که در آن قطعه‌ها با سیم‌های شناوری که از فراز تراشه عبور می‌کرد، به هم متصل می‌شدند. اما رابرت نویس، همکار مور، نشان داد که می‌توان از ترانزیستورهای مستوی برای ساخت مدارهای مجتمعی که همچون بلوک‌های سخت عمل می‌کنند، بهره برد. برای این کار باید ترانزیستورها را با یک لایه عایق اکسید پوشاند و سپس برای اتصال قطعه‌ها از آلومینیوم استفاده کرد. فیرچایلد از این معماری جدید برای ساخت نخستین مدار مجتمع سیلیکونی سود برد که در سال 1961 معرفی شد و شامل چهار ترانزیستور بزرگ بود. در سال 1965 این شرکت آماده شد تا نخستین تراشه خود با 64 جزء را عرضه کند. مور با برخورداری از این دانش، مقاله معروف خود در سال 1965 را با این عبارت جالب توجه آغاز کرد: «آینده [مدارهای] الکترونیک مجتمع همان آینده الکترونیک خواهد بود.»

آن ادعا امروزه بدیهی به نظر می‌رسد، اما در آن زمان دیدگاه هیاهو برانگیزی به شمار می‌رفت. خیلی‌ها در این باره که مدار مجتمع اصلاً بتواند از وضعیت محدود خود فراتر رود، اظهار تردید کردند. با این‌که نخستین تراشه‌های مجتمع از نیاکان خود که با دست سیم‌کشی می‌شدند کوچک‌تر بودند، اما هزینه آن‌ها نیز به‌گونه چشم‌گیری بیشتر بود. تنها معدودی از شرکت‌ها مدار مجتمع می‌ساختند و مشتریان واقعی آن‌ها فقط ناسا و ارتش ایالات متحده بود. آن‌چه مشکل فوق را شدت می‌بخشید، این واقعیت بود که ترانزیستورها هنوز نامطمئن بودند. از کل ترانزیستورهایی که ساخته می‌شدند، فقط شمار کمی از آن‌ها (که مور بعدها گفت فقط 10 تا 20 درصد) واقعاً کار می‌کردند. در نتیجه، وقتی یک دوجین از آن‌ها روی یک مدار مجتمع پیاده می‌شد، انتظار می‌رفت که تنها 10 تا 20 درصد آن‌ها عمل ضرب را انجام دهند و این نشان می‌دهد تراشه‌هایی که می‌توانستند کار کنند، چه کم‌شمار بودند. این منطق و رویه ایراد داشت. کارایی یک تراشه با هشت ترانزیستور بسیار کم‌تر از کارایی عملی هشت ترانزیستور مستقل بود؛ زیرا موارد احتمالی را نمی‌شد نادیده انگاشت. اجزای معیوب نیز فضا اشغال می‌کنند و بسیاری از آن‌ها به‌صورت تصادفی، مانند

پاشیده شدن رنگ روی سطح تراشه توزیع می‌شدند. اگر دو ترانزیستور نزدیک یکدیگر نصب شده باشند، وجود فضایی معیوب به اندازه یک ترانزیستور می‌تواند هر دو آن‌ها را از دور خارج کند. در نتیجه، استقرار دو ترانزیستور در کنار هم تقریباً همان ریسک یک ترانزیستور معیوب را به دنبال دارد.

در سال 1965، شرکت انیگرا (Anigra) یک تراشه یکپارچه سازی شش‌پایه (Six-Terminal) برای استفاده در مدارهای مجتمع (IC) طراحی کرد. این تراشه، که به نام **Planar** شناخته می‌شد، از یک لایه سیلیکون استفاده می‌کرد و تمام اجزای آن در یک سطح قرار داشتند. این تراشه، که به اندازه یک ترانزیستور معیوب در کنار هم تقریباً همان ریسک یک ترانزیستور معیوب را به دنبال دارد.

مور به این نتیجه رسیده بود که یک پارچه‌سازی شیوه مقرون به صرفه‌ای خواهد بود. او در مقاله خود در سال 1965، به‌عنوان شاهدی بر موفقیت مدارهای مجتمع در آینده پنج نقطه را در روند زمانی این جریان ترسیم کرد که آغاز آن ساخت نخستین ترانزیستور مستوی (Planar) فیرچایلد بود و پس از آن دیگر مدارهای مجتمع شرکت درج شده بودند. او برای این کار از نمودار نیمه‌لگاریتمی بهره برد که در آن یکی از محورهای نمودار لگاریتمی و دیگری خطی بود و تابع نمایی به صورت یک خط مستقیم ظاهر می‌شد. خطی که او در امتداد نقطه‌ها ترسیم کرده بود، کم و بیش مستقیم بود، با دو شیب که دو برابر شدن شمار اجزای مدار مجتمع در هر سال را نشان می‌داد. او با اشاره به این خط، پیش‌بینی متهورانه‌ای را مطرح کرد؛ روند دو برابر شدن اجزای تراشه در هر سال تا 10 سال آینده ادامه خواهد داشت. او پیش‌بینی کرد تا سال 1975 شمار اجزای مدارهای مجتمع تقریباً از 64 عدد به 65 هزار عدد افزایش خواهد یافت. پیش‌بینی او تا اندازه بسیار زیادی درست از آب درآمد. در سال 1975، اینتل، شرکتی که مور پس از ترک کردن فیرچایلد در سال 1968 به یکی از بنیان‌گذاران آن بدل شد، تراشه حافظه‌های CCD (سرنام Charged-Coupled-Device) با تقریباً 32 هزار ترانزیستور را معرفی کرد.

منبع:
اسپکتروم
تاریخ انتشار:
16 خرداد 1394