با معماران عصر دیجیتال (۶)

# اندیشه های گوردون مور بنیانگذار اینتل

ترجمه و تدوین: مسعود بینش
mas-binesh@hotmail.com

گوردون مور (GORDON E. MOORE) در سال ۱۹۲۹ میلادی در سانفرانسیسکو متولد شد. پدرش قاضی و مادرش خانه دار بود. از کودکی به شیمی علاقه مند بود و تصمیم داشت یک شیمیدان شود. به همین جهت تحصیلات دانشگاهی را نیز در این رشته به پایان برد و در سال ۱۹۵۰ میلادی از دانشگاه برکلی دکترا گرفت. اما ظاهراً وقایع به سمتی سیر می کرد که او به وادی ناشناخته ای به نام «نیمه هادی» گام نهد و البته خیلی زود با آن خو کند و حتی گامهایی بردارد که در جهت گیری مسیر تاریخی این فناوری تعیین کننده بوده است. پس از فراغت از تحصیل، مدتی در آزمایشگاه دانشگاه جان هاپکینز مشغول به کار شد. اما این کار به هیچ وجه با روحیه موثربودن و کارایی و کارآفرینی او سر سازگاری نداشت: انتشار مقالاتی از سوی آزمایشگاه که طبق محاسبه خود او هزینه هر کلمه آن ۶ دلار تمام می شد و معلوم نبود کسی نیز آنها را بخواند!

بنابراین به دنبال کار جدید، طی ملاقاتی با «ویلیام شاکلی» مخترع ترانزیستور جذب او شد و با کار در آزمایشگاههای «بل» به حوزه صنعت نیمه هادی قدم گذاشت و در آنجا با «باب نویس» آشنا شد.

پس از دو سال که جهت کار به نظر او و برخی دوستانش عوض شده بود آنجا را ترک و شرکت FAIRCHILD را در زمینه نیمه هادی تاسیس کرد. با تغییراتی که در آن شرکت نیز پدید آمد، به همراه «باب نویس» شرکت را رها کرد تا بتوانند کار بدیعی در زمینه نیمه هادیها شروع کنند و بدین ترتیب ایده تاسیس شرکت «اینتل»شکل گرفت و آنها در سال ۱۹۷۱ میلادی آن را به ثبت رساندند.

اساس کسب و کار در شرکت، تولید تراشه های «حافظه» برای رایانه بود اما در بحران نفتی سال ۱۹۷۳ میلادی و بحران اقتصادی سال ۱۹۸۴ میلادی، شرکت با تلاطمهای مرگباری مواجه شد که با درایت او و مدیرعامل فعلی شرکت «اندی گرو» به خوبی آن را پشت سر گذاشت. در سال ۱۹۶۳ میلادی طی مصاحبه ای با «اندی گرو» او را استخدام کرد.

به گفته خود او مهمترین چالشی که با آن مواجه بوده تصمیم گیری در تغییر روند فعالیت شرکت از تولید تراشه های حافظه به تولید «ریزپردازنده» بوده است، تغییری که سبب شد «اینتل» در مسیر جدید رشد موفقیت آمیزی طی کند و اکنون به قطب مطرح تولید ریزپردازنده در دنیا تبدیل شود.

«گوردون مور» در سال ۱۹۸۹ میلادی به عنوان رئیس هیئت مدیره «اینتل» بازنشسته شد اما اکنون نیز به طور منظم در هفته در اتاق قدیمی خود در شرکت حضور می یابد. و در سال ۱۹۹۰ میلادی مدال ملی فناوری را از دست رئیس جمهور دریافت کرد.

پیش بینی که او در سال ۱۹۶۵ میلادی در مورد دوبرابرشدن تعداد ترانزیستورهای به کار رفته در یک تراشه در هر سال و به عبارت دیگر دوبرابر شدن قدرت تراشه ها صورت گرفته و به «قانون مور» معروف گشته، به اندازه خود او شهرت دارد. او ده سال بعد باتوجه به تغییرات پدیدآمده در فناوری نیمه هادیها، آن قانون را به روز کرد و به دوبرابرشدن قدرت تراشه ها در هر دو سال نظر داد.

در این مقاله، گزیده اندیشه های او در زمینه های مختلف فناوری و مدیریت در حوزه صنعت نیمه هادی و چگونگی تاسیس و بقای شرکت «اینتل» ارائه شده است؛ اندیشه های کارآفرینی که هیچ گاه از واردشدن به حوزه های بکر و ناشناخته فناوری ترسی به خود راه نداد و از هیچ، همه چیز ساخت. او افتخارات زیادی را در کارنامه خود به ثبت رسانده است: از تاثیرات مهم در ابداع ریزپردازنده و گسترش استفاده از آن تا بنیانگذاری شرکت عظیم «اینتل» و ثبت قانون معروف مور و تثبیت خود به عنوان راهبر انقلاب سخت افزاری و رایانه ای و دریافت مدال ملی فناوری. اما بدون تردید اگر هیچ یک از این افتخارات نیز وجود نداشت جز انتخاب هوشمندانه و استخدام و تربیت جانشینی همچون «اندی گرو» مدیرعامل موفق فعلی شرکت، برای تحکیم نام او به عنوان یک مدیر موفق از «معماران عصر دیجیتال» کافی بود.

**● از زمینه های مورد علاقه شما در دوران مدرسه شروع کنیم. ظاهراً به شیمی علاقه مند بودید؟**

**گوردون مور:** من به شیمی علاقه داشتم. همسایه ما برای کریسمس یک مجموعه بازیهای شیمی به من هدیه داد که دائماً با آنها سرگرم بودم. آن موقع این مجموعه ها کاملاً نظیف و ایمن بود. حتی می شد با آن مواد

منفجره و سایر چیزها را ساخت. ریاضیات هم البته برایم ساده بود و به خوبی آن را فرا می گرفتم. به ورزش نیز علاقه مند بودم. در دبیرستان چهار تشویق نامه از رشته های مختلف ورزشی داشتم. من هرگز بهترین نبودم اما همواره به قدر کافی خوب بودم که در مسابقات بتوانم شرکت کنم. این را باید اعتراف کنم که آنقدر که وقتم روی ورزش می گذشت از درس خبری نبود. این تا سال پایانی دبیرستان ادامه داشت. آنجا بود که کمی بیشتر به درس پرداختم.

**● پس در آن دوران علاقه شما به علم بیشتر از مهندسی بوده است؟**

- بله، من از همان دوران دبیرستان تصمیم گرفتم یک شیمیدان شوم، بااینکه دقیقاً نمی دانستم شیمیدان کیست.

**● آیا در آن دوران، الگویی در خانواده برای حرکت شما وجود داشت؟**

- عملاً نه. در خانواده، من اولین نفری بودم که به دانشگاه راه یافتم. در دوران تحصیل نیز در مقاطعی استادان خوبی داشتم. البته در دبیرستان نیز معلم ریاضی نقش مهمی در تداوم علاقه من به ریاضی و علم داشت. شانس آوردم که در حین جنگ جهانی دوم کم سن و سال بودم و به خدمت وظیفه نرفتم. برادرم که به خدمت رفت، پس از برگشت هرگز به دانشکده نرفت و در مزرعه به گاوداری مشغول شد.

**● چه عاملی سبب شد که از علم (شیمی) به فناوری برتر روی آورید؟**

- من ابتدا دوسال به دانشگاه سن خوزه رفتم. از آنجا که به دنبال بخش قوی تر شیمی بودم به دانشگاه برکلی منتقل شدم و در سال ۱۹۵۰ میلادی در شیمی فیزیک با مدرک دکتری فارغ التحصیل شدم.

بعد از اخذ مدرک، در یکی از آزمایشگاههای دولتی مشغول به کار شدم: آزمایشگاه فیزیک کاربردی در دانشگاه جان هاپکینز. وظیفه این آزمایشگاه توسعه موشکهای دریایی بود.

**● چرا آزمایشگاه را خیلی زود ترک کردید؟**

- من یکسال و نیم در آنجا کار کردم. روزی حساب کردم که هزینه مقالات چاپ شده از سوی آزمایشگاه چقدر است. دیدم ۵ دلار به ازاء هر کلمه می شود! پیش خود گفتم آیا کسی هم آنها را می خواند! مطمئن هم نبودم که حکومت این هزینه را بدهد و یا هیچ مالیات

**من به راستی نمی دانم بعد چه اتفاقی می افتد اما آشکار است که حوزه ارتباطات توسعه و رشد سریعی خواهد داشت.**

دهنده ای. بنابراین به این نتیجه رسیدم به کاری بپردازم که کاربرد عملی داشته باشد. البته تیمی هم که کار می کردیم از هم پاشید.

**● آیا کار دلخواه خود را پیدا کردید؟**

- من چند جا مصاحبه کردم. از خوشوقتی من این بود که با بیل شاکلی(SHOCKLEY) مخترع ترانزیستور در آزمایشگاههای بل (BELL) ملاقات کردم. او درصدد راه اندازی شرکتی بود برای تولید وسیله جدیدش یعنی ترانزیستور سیلیکونی. این برای من بسیار جالب بود. احساس کردم این همان جایی است که دنبال آن هستم. بنابراین، از فرصت استفاده کردم و به او پیوستم. البته من هیچ زمینه ای در نیمه هادیها (SEMICONDUCTOR) نداشتم.

**● چطور به کاری وارد شدید که هیچ زمینه قبلی در آن نداشتید؟**

- حدس می زنم من به طور طبیعی و ذاتی بیشتر مهندس بودم تا عالم، از آن نظر که برایم مهم بود که کارم خروجی داشته باشد. در کودکی که مجموعه بازیهای شیمی را هدیه گرفتم، اگر انفجار خوبی انجام نمی دادم غمگین می شدم! البته در آن دوران نیز افراد بسیار کمی راجع به نیمه هادی اطلاعات داشتند.

**● با «باب نویس»(BOB NOYCE) هم در آزمایشگاههای «بل» آشنا شدید؟**

- من هیچدهمین نفری بودم که «شاکلی» استخدام کرد. «باب نویس» جمعه برای کار نزد «شاکلی» آمد و من دوشنبه هفته بعد. من همیشه فکر می کردم چه می شد اگر من زودتر حرکت می کردم و می رسیدم! به هرحال «باب» شخصیت والا و دوست داشتنی داشت و نسبت به گروهی که نزد «شاکلی» آمده بودند در نیمه هادیها صاحب تجربه بود. او دکترای خود را در فیزیک الکترونیک گرفته بود.

**● چه عاملی سبب شد آزمایشگاههای «بل» را ترک و شرکت جدیدی تاسیس کنید؟**

- ابتدا که آنجا رفتم «شاکلی» می خواست ترانزیستور بسازد اما بعد تصمیم گرفت دیود چهار لایه بسازد. او یک نابغه فنی بود. گروهی از ما که هشت نفر می شدیم با شرایطی که پدید آمده بود آنجا را ترک و شرکت نیمه هادی FAIRCHILD را تاسیس کردیم. البته شرکت FAIRCHILD در زمینه های دیگر مثل ابزار و دوربین فعالیت می کرد، اما ما در زمینه نیمه هادی فعالیت خود را با کمک شرکت مادر در سال ۱۹۵۷ میلادی شروع کردیم با این شرط که بعد از دو سال مالکیت شرکت در اختیار شرکت مادر باشد.

اولین هدف ما در آنجا ساخت ترانزیستورهای سیلیکونی بود، چیزی که «شاکلی» آن را کنار زده بود. ما کار را بین خود تقسیم کردیم و از تجاربی که در آزمایشگاههای «بل» اندوخته بودیم استفاده کردیم. برآوردی که ما داشتیم این بود که حدود ۳۵ شرکت به محصولات ما نیاز خواهند داشت. البته می دانید بین مدل آزمایشگاهی و دستگاه تولیدی تفاوت و فاصله زیادی وجود دارد.

مسئله مهم برای ما پیداکردن فلزی بود که با سیلیکون نوع N و نوع P اتصال خوبی داشته باشد، به عنوان پایه ترانزیستور و منتشرکننده نور. بنابراین، می توانستیم از فتولیتوگرافی روی فلز برای ساختن الگوها روی آن استفاده کنیم. روزی «نویس» پیشنهاد کرد که از آلومینیم استفاده کنیم. ما با تاکید بر آموزش حین کار

خیلی سریع رشد کردیم وبه درآمد ۱۵۰ میلیون دلاری رسیدیم.

**● پتنت «نویس» در مورد مدارهای مجتمع (IC) نیز در این سال به ثبت رسید؟**

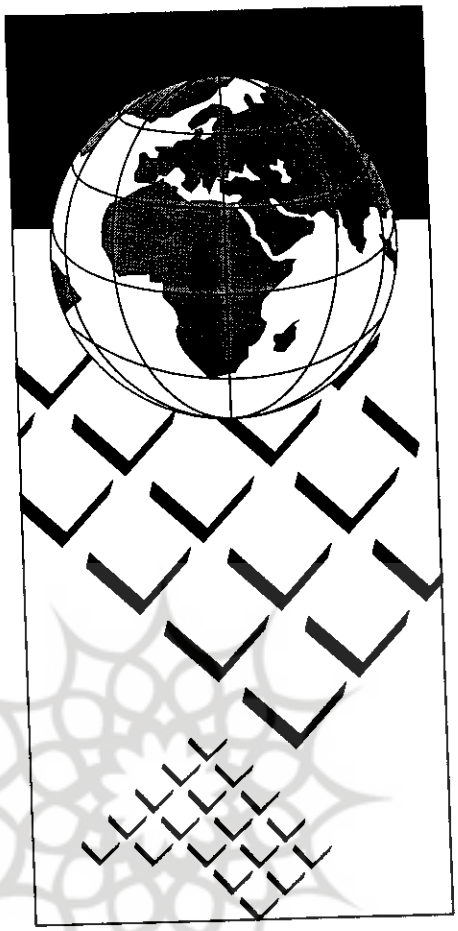
– بله، در سال ۱۹۵۹ میلادی یعنی سالی که مالکیت شرکت FAIRCHILD توسط شرکت مادر خریداری شد.

**● چه شد که این شرکت را نیز رها کردید و ایده تاسیس شرکت اینتل (INTEL) را در سر پروراندید؟**

– این را باید در زمینه و فضایی که من در آن بودم تحلیل کرد. من یکی از موسسان شرکت نیمه هادی FAIRCHILD بودم؛ مدیر تحقیقات و مسئول راه اندازی آزمایشگاهها. ناگهان در شرکت مادر تغییراتی رخ داد که من هرگز نفهمیدم. شرکت از لحاظ مدیریتی مشکل داشت و رفته رفته مشکلات انتقال و تبدیل ایده به فناوری نو بیشتر می شد. در این زمان «باب نویس» تصمیم گرفت شرکت را ترک کند. من هم تصمیم گرفتم تا دامنه تغییرات بیشتر نشده است آنجا را ترک کنم. بنابراین، ما آنجا را ترک کردیم و در وادی نیمه هادیها کار کاملاً بدیعی را شروع کردیم و آن راه اندازی «اینتل» بود. ما راه جدیدی برای ذخیره اطلاعات (حافظه) در رایانه دیده بودیم، یعنی حوزه ای که شرکتهای نیمه هادی موجود در آن فعال نبودند. باز هم بگویم من در آزمایشگاه کار می کردم و انتقال به کار تولیدی و ساخت بسیاربسیار مشکل بود، اما کار ما بیش از آنچه فکر می کردیم رونق گرفت. اولین محصول «اینتل» در سال ۱۹۶۹ میلادی به بازار آمد. در سال ۱۹۷۱ میلادی سودده شد و آن را به عنوان شرکت ثبت کردیم.

**● در زمان تصدی مدیرعاملی «اینتل» با چه بحرانهایی مواجه شدید؟**

– بحرانی را که می توانم به یادآورم زمانی است که کسب و کار اساساً به دلیل فقدان نیاز و تقاضا راکد شده بود. ما دو مقطع زمانی در تاریخ «اینتل» داشته ایم: سال ۱۹۷۴ میلادی و ۱۹۸۴ میلادی. در سال ۱۹۷۴ میلادی بحران نفتی در دنیا روی داد و کسب وکار از قله رونق فرو افتاد. نتیجه آن که ما مجبور بودیم سازمان را کوچک کنیم، به قدر کاری که می کردیم. در سال ۱۹۸۴ میلادی نیز حالت مشابهی پدید آمد و آن زمانی بود که صنعت نیمه هادی دچار بحران اقتصادی شد و نیاز بازار به یک سوم



توانایی تولید ما تقلیل پیدا کرد. بنابراین، باوجود ظرفیتهای فوق العاده زیاد، قیمت افت کرد و ما مجبور بودیم ۱۲ کارخانه مان را ببندیم و یک سوم نیروهایمان را آزاد کنیم.

**● بحران فنی چطور؟**

– ما بحران فنی هم داشته ایم. مخصوصاً یکی از آنها را به یاد دارم، وقتی تراشه نیمه هادی حافظه (MEMORY) محصول تولیدی ما بود. روزی یکی از مشتریان گفته بود که سیستم او گاه اشتباه می کند. ما ایده ای نداشتیم که مشکل چیست، لذا تیمی را از کارشناسان مختلف جهت بررسی موضوع فراهم آوردیم تا بالاخره موفق به حل آن شدند و دریافتند که ذرات X با برخورد با سیلیکون می تواند شارژ کافی برای جفت الکترون ایجاد کند و اطلاعات را روی یک بیت از بین ببرد. این امر هم به دلیل مکانیسم کوچک کردن ماست که با کافی نبودن الکترون در یک بیت، محافظت و مقاومت در برابر ذره ورودی X از بین می رود.

**● نقش شما در مواجهه و پشت سرگذاشتن این بحرانها چه بود؟**

– من اول باید مطمئن می شدم منابع کافی برای انجام کار در اختیار داریم. دوم باید تمام موانع اداری و کاغذبازی را کنار می گذاشتیم تا بتوان پیشنهادی فنی را انجام داد. البته من فکر می کنم یک راه حل واحد و عمومی وجود ندارد. شما اگر مراقب نباشید می توانید یک راه حل را به قدری مشکل کنید که افراد نتوانند کارشان را انجام دهند.

**● چگونه شد که از ساخت حافظه به ساخت ریزپردازنده (MICRO PROCESSOR) تغییر جهت دادید؟**

– همانگونه که اشاره کردم بحرانهای زیادی پشت سر گذاشتیم اما به دلیل سوددهی و حاشیه سود مناسب در آن دوره باقی ماندیم. پایه مدل کسب وکار «اینتل» ساخت مدارهای مجتمع (IC) پیچیده بود و تراشه حافظه اولین تولیداتی بود که این IC ها در آن به کار می رفت و در حجم بالایی به فروش می رسید. اما باتوجه به آن بحرانها ما به دنبال چیزی فراتر از حافظه بودیم.

**● چه چیزی؟**

– یکی از ایده ها در آن زمان کار روی ماشین حسابهای الکترونیکی بود. بنابراین، ما به دنبال یک شرکت سازنده این نوع ماشین حسابها بودیم اما همه شرکتها قبلاً با یک شرکت نیمه هادی ساز قرارداد بسته بودند. ما ارتباطاتی با شرکت ژاپنی BUSICOM داشتیم که برای ساخت ۱۳ تراشه خیلی پیچیده ماشین حسابهایشان به دنبال منبعی بودند. آنها همه کارها را نیز طراحی کرده بودند. تیم مهندسی ما آن موقع کوچک بود و نمی توانست این حجم کار را انجام دهد. یکی از اعضای تیم ما TED HOFF تلاش داشت این کار صورت گیرد. او می گفت ما با یک معماری عمومی و ساختار کلی برای رایانه می توانیم تمام این ماشین حسابها را راه بیندازیم و این تراشه – که بعدها ریزپردازنده نامیده می شد – از تراشه حافظه که امروز می سازیم پیچیده تر نیست. البته او قبلاً در مورد چنین کنترل کننده های عمومی در آسانسور و چراغ راهنمایی نیز پیشنهاد داده بود.

**● با ژاپنی ها به کجا رسیدید؟ آیا ایده شما را پذیرفتند و طرحهای خود را رها کردند؟**

– من راجع به امکان داشتن یک عملگر منطقی عمومی و تولید انبوه آن بسیار هیجان زده بودم.

روزی رئیس فنی و مهندسان آن شرکت برای بازدید نزد ما آمده بودند. وقتی موضوع را مطرح کردیم. انتظار بحثهای طولانی داشتیم. اما آنها گفتند این کار را انجام دهید. من شوکه شده بودم. آنها بخشی از هزینه های توسعه را پرداختند و حقوق طرح را صاحب شدند. آنها متقاعد شدند که کلیه طرحهای خود را رها کنند و روش ما را در استفاده از یک تراشه مرکزی رایانه که برنامه ها و حافظه را برای همه ماشین حسابها انجام می داد بپذیرند. حاصل تلاش ما ریزپردازنده ای بود که در سال ۱۹۷۱ میلادی عرضه شد. بعدها آنها تحت فشار قیمت قرار گرفتند و خواستار کاهش قیمت شدند. ما به آنها گفتیم می توانیم قیمت را کاهش دهیم اگر حجم زیادتری از ما بخواهید، که نپذیرفتند. راه حل دیگر اجازه دادن به ما بود که بتوانیم تراشه ها را برای سایر مصارف غیر از ماشین حساب به کار ببریم. با بالاگرفتن بحران اقتصادی آنها، ۶۵۰۰۰ دلار دادیم و تمام حقوق طراحی و فروش را در غیرماشین حساب از آنها پس گرفتیم.

**● یعنی ژاپنی ها در آن مقطع به خاطر ۶۵۰۰۰ دلار، دانش فنی نیمه هادی را برگرداندند؟**

- بله.

**● از چه موقع استفاده از ریزپردازنده در رایانه ها مطرح شد و گسترش یافت؟**

- سال ۱۹۸۱ میلادی که رایانه های شخصی (PC) از سوی شرکت IBM به بازار عرضه شد. ما در آن موقع با شرکت «موتورولا» روی تولید ریزپردازنده ۱۶ بیتی کار می کردیم.

**● تراشه ۴۰۰۴ که اولین ریزپردازنده تجاری «اینتل» بود، چه مدت زمان برای طراحی و ساخت به آن اختصاص یافت و چند مهندس روی آن کار می کردند؟**

- در آن روزها تمام تراشه ها حدود ۹ ماه کار می برد. ما به دلیل نداشتن نفرات کافی برای طراحی، افرادی را از بیرون به کار می گرفتیم. روی ۴۰۰۴ چهار مهندس کار می کردند. الان برای طراحی یکی از تراشه هایمان ۴۰۰ مهندس داریم که اغلب در مکانهای مختلف پراکنده هستند و زمان نیز ۴ سال طول می کشد.

**● پس زمانه بسیار دگرگون شده است. آیا «اینتل» هم تغییر کرده است.**

- من تغییرات را در اینتل می بینم، در روزهای نخست ما افراد زیادی را برای کار در خط تولید

**شکست چیزی نیست که از آن اجتناب کنیم. باید بخواهیم که آنها به سرعت اتفاق بیفتد تا بتوانیم سریعتر به پیشرفت دست یابیم.**

به کار می گرفتیم، آن هم صرفاً براساس چالاکی دستی آنها. وقتی آنها را تست می کردیم تنها توجهمان به این بود که آیا فرد به راحتی می تواند این اشیاء کوچک را جابه جا کند. آنها هیچ چیز دیگربلد نبودند. تنها به آنها جابه جایی سریع و صحیح اشیاء را که به آن نیاز داشتیم آموزش می دادیم. امروزه تمامی آن کارکنان کارهای اتوماتیک انجام می دهند. اپراتورهای ما مجبورند یاد بگیرند که با رایانه هایی کار کنند که ماشین ها را کنترل می کنند. آنها باید به خوبی انگلیسی بدانند. قادر باشند به راحتی با رایانه کار کنند. اینها مستلزم ارائه آموزشهای پایه ای به آنهاست، در حالی که قبلاً چنین نبود.

**● مشکل ترین تصمیمی که به عنوان مدیرعامل گرفته اید چه بوده است؟**

- خارج شدن از کسب و کار «حافظه» و روآوردن به کسب و کار «ریزپردازنده». موفقیت اولیه «اینتل» با تراشه های حافظه بود اما بسیاری از شرکتهای تولیدکننده موقعیت خود را از دست دادند.

«اینتل» نسل بعد فرآیند و محصول خود را توسعه داد و آن یک حافظه یک مگابایتی بود که برای راه اندازی آن ۴۰۰ میلیون دلار سرمایه گذاری نیاز بود. این امر مشکل بود و ما مجبور به ترک کسب و کار حافظه بودیم که دشواریهای زیادی داشت. افراد بسیاری در شرکت داشتیم که ۱۵ سال در این زمینه کار کرده بودند. آنها باید در جای دیگر شرکت جا داده می شدند. برخی جابه جا می شدند. برخی را از دست می دادیم. این تصمیم سختی بود. اما تصمیم سخت تر آن چیزی بود که ما انجام دادیم و به سمت ریزپردازنده رفتیم. با اندی گرو (ANDY GROVE) نشستیم. گرچه کمی اختلاف نظر در چگونگی تصمیم گیری داشتیم اما تصمیم گرفتیم آن را انجام دهیم. ما بازار ۱۵ میلیون دلاری فروش LCD برای ساعتهای دیجیتالی را نیز که در آن زمان پیشرو بودیم کنار گذاشتیم.

**● از «اندی گرو» ذکر کردید. از سال ۱۹۶۳ میلادی بگویید و مصاحبه ای که با او انجام داده اید.**

- من هنوز آن مصاحبه را به خاطر دارم. او تازه از برکلی دکترا گرفته بود و کارهای جالبی در زمینه مکانیک سیالات انجام داده بود. گرچه تجربه او مستقیماً در حوزه نیمه هادی کاربرد نداشت اما مصاحبه خوبی انجام داد. من هم همان تجربه را داشتم؛ وقتی به «شاکلی» پیوستم تقریباً هیچ چیز راجع به نیمه هادی نمی دانستم.

**● با اینکه او در حوزه مورد نظر شما کار نکرده بود، چطور قانع شدید که او را استخدام کنید؟**

- من از عنوان پایان نامه او و استادش سوال کردم. در توصیه نامه ای که استادش نوشته بود از او تعریف کرده بود و نوشته بود «هرکس او را به کار گیرد خوشوقت خواهد بود.» و من موفق شدم او را استخدام کنم و او به خوبی پیشرفت کرد.

**● نام شما همواره «قانون مور» را به یاد می آورد و آن پیش بینی معروف شما در مورد روند افزایش قدرت تراشه ها. چه موقع این پیش بینی را مطرح کردید؟**

- در سال ۱۹۶۵ میلادی در سی وپنجمین سالگرد چاپ مجله الکترونیک من مقاله ای در آنجا چاپ کردم. خلاصه حرف من این بود که فناوری IC الکترونیک را ارزان خواهد کرد. من تلاش داشتم این حقیقت را بیان کنم که این

فناوری راهی است برای کاهش قیمت در صنعت الکترونیک. من واقعیت را دیدم و آن را برای ۱۰ سال بعد برون یابی (EXTRAPOLATE) کردم. ترانزیستور در سال ۱۹۵۹ میلادی ساخته شد و سپس اولین IC که در ۱۹۶۱ میلادی ۸ جزء روی آن قرار داده شده بود. طبق استنتاج و پیش بینی من، در سال ۱۹۶۵ میلادی باید ۶۰ جزء روی آن قرار می گرفت و ظرف ده سال از ۶۰ به ۶۰۰۰۰ می رسید.

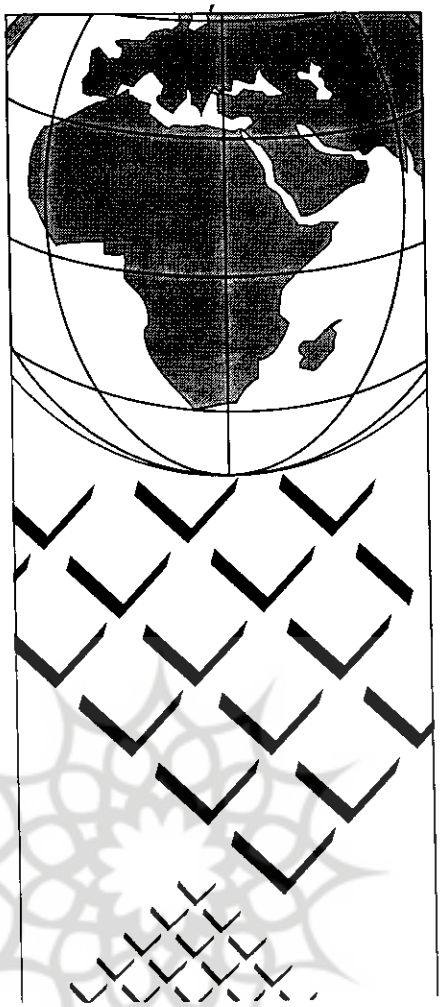
**● آیا این قانون واقعاً دقیق است و در عمل جواب داده است؟**

– من واقعاً هیچ احساسی نسبت به دقت این قانون ندارم. بیشتر «دقت» نسبت به آنچه سعی در بیان کردن آن داشته ام برایم مهم بوده است. بنابراین، در سال ۱۹۷۵ میلادی مقاله ای منتشر و مطلب را به روز کردم و پیش بینی رشد دوبرابر در هر سال را به هر ۲ سال تغییر دادم و این وضعیتی است که ما الان در آن هستیم. من هرگز نگفته ام ۱۸ ماه، در حالی که اغلب در انتشارات چنین نوشته می شود! همانگونه که اشاره کردم هدف اصلی من در آن مقاله تلاش برای تبیین والقاء این ایده بود که IC ها ارزان خواهد شد، چون تا آن زمان، IC ها بیشتر کاربرد نظامی داشتند و بسیار گران بودند.

**● اما به هرحال این سرعت افزایش قدرت تراشه ها امروزه کندتر شده است. به نظر می رسد با ادامه پیشرفت فناوری، وقتی به سطح اتم می رسیم محدودیتهای فیزیکی پدید می آید. پس از آن چه اتفاقی می افتد؟**

– ما فقط ضریب «قانون مور» را تغییر خواهیم داد! این به معنای پایان پیشرفت نیست. پیشرفتهای بسیاری که ما در فناوری نیمه هادی داشته ایم نتیجه کوچک و کوچکترکردن بوده است. بااین کار همه چیز بهتر می شود. اما راست می گویید، محدودیتهایی وجود دارد. این واقعیت که مواد از اتم ها ساخته شده اند ما را در چند نسل آینده تحت فشار قرار خواهد داد. اما راههای دیگری نیز وجود دارد که می توانیم به حرکت ادامه دهیم. مثلاً می توانیم برای مدارهای پیچیده تر تراشه های بزرگتر بسازیم.

نوآوری، به دلیل اینکه ما نمی توانیم چیزهای کوچکتر بسازیم متوقف نمی شود. این بدان معناست که زمان دوبرابر برای این عوامل از ۲ سال به ۴ یا ۵ سال تغییر می کند اما به هرحال



این راهی است که در صنایع دیگر قابل تعقیب نیست.

**● بسیاری کارشناسان معتقدند به محدودیتهای فناوری اپتیک (OPTIC) در مورد ساخت مدارهای کوچکتر رسیده ایم. برخی معتقدند پرش کیفی در گذر از دوران اپتیک، هزینه های ساخت را بالا می برد. وضعیت چگونه است؟**

– حرکت به مرزهای فراپتیک یک چالش حقیقی است. ما فناوری اپتیک را فوق حد تصور جلو برده ایم. قبلاً فکر می شد حداقل ضخامت یک مدار خطی در یک تراشه یک میکرون است که می توان با اپتیک انجام داد. امروز ما می توانیم یک چهارم میکرون انجام دهیم. به نظر می رسد تا ۰/۱۸ و شاید ۰/۱۳ میکرون نیز بتوان انجام داد. از سوی دیگر سه یا چهارگزینه نیز وجود دارد: کار روی اشعه X که می تواند جایگزین مثلاً ۰/۱۳ میکرون شود اما برای جذب اشعه X ضخامت لایه ماسک باید زیاد باشد. سپس ایده نوشتن پرتوالکترونی که مشخصه های کوچکتری به دست می دهد اما سرعت آن پایین است. این سرعت در ساختارهای پیچیده و ابعاد نازک تر کمتر می شود. انتخاب دیگر طول موج متوسط است بین اشعه X و نور ماوراء بنفش که الان مورد استفاده است. گاه به آن اشعه X نرم می گویند. این محدوده طول موج ۱۳ نانومتر است. البته به دلیل نازکی پوشش، مواد باید با ماسک پوشانده شوند، آن هم ماسک منعکس کننده که یک تغییر واقعی برای فناوری است و به سیستم خلاء و گازهای خنثی برای تثبیت مواد نیاز دارد.

**● افزودن لایه ها به تراشه چطور؟**

– این چیزی است که الان انجام می دهیم. رفتن از یک لایه به دو لایه ساده ولی از دو لایه به سه لایه مشکل و از ۵ به ۶ یک تکه کیک درست می کند. اینجا بحث پویش دقیق شیمیائی مکانیکی مطرح است. باید روی فناوری پولیش ساختارهای چندلایه کار شود.

**● تصور وجود یک میلیارد جزء روی یک تراشه واقعاً تعجب آور است. قیمتها به کجا خواهد رسید؟**

– اولین ترانزیستورهای شرکت FAIRCHILD، ۱۵۰ دلار فروخته می شد و وقتی تولید انبوه شروع شد به چنددلار رسید. چندسال پیش بااین چنددلار شما یک تراشه RAM ۶۴ مگابایتی با ۶۸-۶۷ میلیون ترانزیستور روی آن می خریدید. من فناوری دیگری سراغ ندارم که هزینه تولید آن چنین وحشتناک افت کند.

**● مقایسه فضای کار کنونی با زمانی که شما کار را شروع کردید می تواند جالب باشد.**

– بله، ما وقتی FAIRCHILD را راه انداختیم فناوری نیمه هادی تازه در حال توسعه بود. کسی آن را نمی فهمید. فیزیک تجهیزات و دستگاهها کاملاً شناخته نبود. تمایل ما بکارگیری دانشمندان بود تا مهندسان، زیرا محل بحث فهم موضوع بود نه بهره برداری. همه چیز تازه بود. راه اندازی شرکتها در آن مقطع تقریباً ایده جدیدی بود. یک فضای کاملاً متفاوت وجود داشت. اما امروزه فناوری پخته شده و پیش رفته است. افراد باید تخصصی تر در این وادی وارد شوند. حتی طبیعت کیفی مشاغل نیز تغییر کرده است. ما افراد آموزش دیده داریم.

**● شما خود بخشی از این انقلاب یعنی انقلاب فناوری اطلاعات بوده اید. چه چیز الان برای شما**

**جالب است؟**

- سرعت تغییر. این کسب و کار بسیار سریع تغییر می کند و این پدیده جالبی است. البته من الان ظاهراً بازنشسته هستم اما هفته ای یک روز به «اینتل» می آیم تا در جریان باشم چه می گذرد. به هرحال همین چندسال پیش بود که ما درست در مرکز انقلاب بودیم. من به راستی نمی دانم بعد چه اتفاقی می افتد اما آشکار است که حوزه ارتباطات توسعه و رشد سریعی خواهد داشت و مسلماً تحول ادامه می یابد.

**● «اینتل» هم اکنون در ۳۰۰ شرکت، ۸ میلیارد دلار سرمایه گذاری کرده است. آیا راهبرد «اینتل» سرمایه گذاری و پشتیبانی از راه اندازی شرکتهای جدید است.**

- به نظر می رسد حوزه ارتباطات از حوزه هایی است که تقریباً به صورت نامحدود استعداد سرمایه گذاری را دارد.

**● شما دهها سال در یکی از نوآورترین شرکتهای دنیا مشغول کار بوده اید. به نظر شما منشاء «نوآوری» چیست؟**

- نوآوری منشاهای مختلف دارد. شما باید در محیط و فضایی باشید که نوآوری مورد پذیرش باشد و این در هرجا واقعیت ندارد. ما دائماً باید به دنبال ایده های نو باشیم. من خوشوقت بوده ام که در شرکتهایی کار کرده ام که در این مسیر بوده اند. اما به هرحال نوآوریهای واقعی یا اموری که مسیر را تغییر دهند گاه اتفاق می افتد. من وقتی به سابقه خودم در صنعت نیمه هادی بر می گردم می توانم بگویم سه نوآوری اصلی پدید آمده است. اولین آن ترانزیستور بود که کلید اصلی را به ما معرفی کرد. دومین آن IC بود. IC حقیقتاً آن چیزی بود که قیمتها را شکست و به نظر من کاهش قیمت، پایه نیروی محرک برای اتفاقات بعدی بود و سومین آن ریزپردازنده بود که به ما ماشین هایی با برنامه ذخیره شده را در هرجا معرفی کرد. شما می دانید ریزپردازنده فقط در رایانه مصرف ندارد. هر تجهیز اصلی که دارای کاربردهای کنترلی است به آن نیاز دارد. ریزپردازنده واقعاً یک محصول انقلابی بوده است.

**● به نظر شما بزرگترین دستاورد مهندسی و بزرگترین شکست مهندسی در قرن بیستم چه بوده است؟**

**سرعت تغییر در انقلاب فناوری اطلاعات پدیده بسیار جالبی است.**

- بزرگترین دستاورد «رایانه» بوده است. من معتقدم رایانه و بمب اتمی بیشترین تاثیر را بر بشریت داشته است. بمب اتمی کم شده در حالی که رایانه های دیجیتالی هنوز تا قرن بعد ادامه دارد. هواپیما نیز در حمل و نقل یک انقلاب کامل ایجاد کرد. اما فکر می کنم انقلاب در ارتباطات قدرتمندتر از آن خواهد بود.

**● شکست چطور؟**

- حقیقتاً نه. با دید مهندسی که من دارم، شکست امسال فرصت سال آینده است که باید دوباره تلاش کرد. البته گاه تلاش شده بعضی چیزها قبل از زمانشان عرضه شوند. اگرامر مخالف قوانین فیزیک در آنها نباشد، زمانی بعد خود را اثبات و عرضه خواهند کرد. این راهی است که ما پیشرفت می کنیم. شکست چیزی نیست که از آن اجتناب کنیم. باید بخواهیم که آنها به سرعت اتفاق بیفتد تا بتوانیم به سرعت پیشرفت کنیم. افراد فنی را می شناسم که از انجام تجاربی که ممکن است نتیجه آن غلط یا درست باشد اجتناب می کنند. اینگونه افراد بهره وری چندانی ندارند. اما افرادی را هم می شناسم با همان درجه هوش که حول محور مشکلات کار می کنند و به وسط موضوع می پرند! آنها بیشترین بهره وری را دارند. بنابراین، توصیه می کنم در انجام آزمونهای بحرانی شک نکنیم . این همان چیزی است که به ما می گوید درست یا غلط حرکت می کنیم و قدم بعد چیست.

**● سیر زندگی شما به ویژه زندگی شغلی شما تغییرات جالبی داشته است. ابتدا به شیمی علاقه مند بودید اما سر از نیمه هادی درآوردید. از آزمایشگاه دانشگاه به آزمایشگاه «بل» و از آنجا به FAIRCHILD و سپس «اینتل». آیا این می تواند الگوی جوانان امروز هم باشد؟**

- فناوری بسیار سریع تغییر می کند و بنابراین پس از فراغت از دانشگاه نیز باید به صورت مداوم در جریان آن بود. من فکر می کنم در این راه شاید مهمترین مسئله داشتن پایه های قوی و خوب است.

امروزه بعید است یک نفر در رشته ای فارغ التحصیل شود و در تمام طول عمر خود به آن مشغول باشد. من کار راهه (CAREER) خودم را می بینم. همانگونه که گفتید دانش آموخته شیمی هستم اما راهم را در نیمه هادی یافتم. من از آنچه در مدرسه آموختم بسیار دور شدم. به نظر من دانشجویان امروزه مجبورند به دنبال امکان داشتن سه یا چهار کار راهه باشند.

**● چه کسانی را تحسین می کنید؟**

- بسیاری از دانشمندان پیشرو را. بسیاری از همکارانم را مثل «اندی گرو» و «باب نویس» که حقیقتاً افراد فوق العاده هستند. همسرم را و فرزندانم را!

**● دوست دارید صد سال بعد چگونه از شما یاد کنند؟**

- فکر می کنم به عنوان کسی که سهمی در توسعه این صنعت جذاب داشته است.

البته می ترسم اصلاً مرا از یاد ببرند!□

**منابع:**

1 - J. WOLFSON, T. CERVANTES, "THE REVOLUTIONARIES: AN INTERVIEW WITH GORDON MOORE". WWW. THETECH. ORG
2 - "INGENUITY, AN INTERVIEW WITH GORDON MOORE", VOL.5, NO.2. 2000.WWW. ECE. UIUE. EDU
ECE مجله دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه ایلی نویز.
3 - "ORAL HISTURY TRANSCRIPT", MAR. 2000. WWW. CWHEROES. ORG.
4 - W.W. GIBBS, "SCIENTIFIC AMERICAN INTERVIEW", SEP. 1997.