

نقشی بر سنگ

مبانی مفهومی کامپیوتر

و. دانیل هیلز

ترجمه

بهروز بیات



فرهنگ معاصر

تهران ۱۳۸۷

دانش معاصر ۶

زیر نظر: محمدرضا خواجه‌پور
حسین معصومی همدانی

فرهنگ معاصر

شماره ۴۵، خیابان دانشگاه، تهران ۱۳۱۴۷
تلفن: ۶۶۴۶۵۵۳۰ - ۶۶۴۶۵۵۲۰ - ۶۶۹۵۲۶۳۲
فکس: ۶۶۴۱۷۰۱۸



E-mail: info@farhangmoaser.com

Website: www.farhangmoaser.com

نقشی بر سنگ

مبانی مفهومی رایانه

نویسنده: و. دانیل هیلیس

مترجم: بهروز بیات

ویراستار: حسین معصومی همدانی

حروف‌نگاری، طراحی و چاپ:

واحد کامپیوتر و چاپ فرهنگ معاصر

چاپ اول: ۱۳۸۷

تیراژ: ۳۰۰۰ نسخه

قیمت: ۲۸۰۰ تومان

فهرست مطالب

۷	مقدمه مترجم
۱	پیش‌گفتار: جادویی در سنگ
۷	فصل اول: پیچ و مهره‌ها
۸	منطق بولی
۱۸	بیت و بلوک‌های منطقی
۲۲	کامپیوتر آبگونه
۲۶	اسباب‌بازی‌های مرکب از اجزای پیش‌ساخته
۲۸	آزادید که به فکر تفاوتی باشید که تفاوت‌آفرین است
۳۱	فصل دوم: جزء سازنده جهان‌شمول
۳۱	تابع‌های منطقی
۴۳	ماشین‌های حالت متناهی
۵۷	فصل سوم: برنامه‌سازی
۵۷	گفتگو با کامپیوتر
۷۰	برقرار کردن ارتباط
۷۹	ترجمه زبان
۸۱	به سلسله مراتب خوش آمدید
۸۳	فصل چهارم: ماشین‌های تورینگ تا چه حد جهان‌شمول هستند؟
۸۴	ماشین تورینگ
۸۷	سطوح توانمندی
۹۰	اعداد تصادفی

محاسبه پذیری	۹۱
محاسبه کوانتومی	۹۶
فصل پنجم: الگوریتم و هیوریستیک	۱۰۳
تضمین الگوریتمی	۱۰۴
رضایت دادن به راه حل تقریباً همیشه	۱۱۱
چشم انداز سازگاری	۱۱۷
فصل ششم: حافظه: اطلاعات و کدهای سری	۱۲۳
فشرده سازی	۱۲۶
رمزگذاری	۱۳۵
آشکار سازی خطا	۱۳۷
فصل هفتم: سرعت: کامپیوترهای موازی	۱۴۳
موازی گری	۱۴۵
فصل هشتم: کامپیوترهایی با قدرت یادگیری و سازگاری	۱۶۱
تعلیم دادن کامپیوتر	۱۶۵
شبکه نوروئی	۱۶۸
سیستم های خود سازمان ده	۱۷۵
فصل نهم: فراسوی مهندسی	۱۷۹
مغز	۱۸۱
مشکل پیمانه ای بودن	۱۸۶
شبیه سازی تکامل طبیعی	۱۸۸
پروراندن تکاملی ماشینی متفکر	۱۹۲
واژه نامه فارسی - انگلیسی	۲۰۱

مقدمه مترجم

سرگرم رانندگی در یکی از خیابان‌های وین به رادیو گوش می‌دادم. گفتگو از کتابی بود درباره کامپیوتر که تازگی به زبان آلمانی ترجمه شده بود. برایم گیرا آمد.

کوشیدم نام کتاب و نویسنده آن را به خاطر بسپارم. هنگامی که برای سفارش‌اش به کتابفروشی مراجعه کردم تنها نام کتاب در ترجمه آلمانی با عنوان «منطق کامپیوتر» و بخشی از نام نویسنده‌اش در خاطرمانده بود. به مدد تکنولوژی اطلاعاتی مدرن فروشنده عنوان کتاب را در چاپ اصلی انگلیسی به همراه نام نویسنده‌اش در ظرف چند دقیقه یافت: «نقشی بر سنگ» نوشته دانیل هیلیس، از پژوهشگران نامدار دانش کامپیوتر در ایالات متحده آمریکا.

عنوان اصلی کتاب در نظرم جذاب‌تر آمد، زیرا که «نقشی بر سنگ» میان کتیبه‌ها بر کلان سنگ‌ها به مثابه حافظه تاریخی و «نوشته»‌ها روی تراشه‌های سیلیسیم، پلی زیبا بوجود می‌آورد.

کتاب را در مدتی کوتاه خواندم. شیوه نگارش کتاب چنان است که هم برای اهل فن آموزنده و خواندنی است، و هم برای دوستداران دانستنی‌های همگانی دریافتش ساده است. از این‌رو علاقه‌مند به ترجمه کتاب برای فارسی‌زبانان شدم.

ترجمه را از متن انگلیسی کتاب انجام داده‌ام چرا که بر این باورم که اگر بتوان از متن اصلی ترجمه کرد، وفای به متن را بهتر می‌توان پاس داشت.

هرچند که این نکته برای کتاب‌های علمی چنان ضرورتی ندارد که برای کتاب‌های ادبی.

در مورد واژه‌های ویژه دانش کامپیوتر کوشیدم تا آنجا که شدنی است برابر فارسی‌شان را بکار برم. اصل انگلیسی این واژه‌ها در واژه‌نامه آخر کتاب آمده است. برای پاره‌ای از واژه‌ها مانند خود واژه «کامپیوتر» از به کار بردن برابر نوآورده فارسی آن دوری جستیم زیرا که بعضی واژه‌ها آنچنان جهان‌شمول شده‌اند که کوشش پاره‌ای از کشورها برای بومی کردنشان ره به جایی نبرده است. زیاده‌روی در سره‌گرایی در ترجمه واژه‌های جا افتاده بین‌المللی دستاوردش کاهش امکان تفاهم است.

به این امید که کتاب حاضر برای خوانندگان سودی بیافریند و مورد پذیرش دانش‌پژوهان قرار گیرد.

بهروز بیات

پیش‌گفتار

جادویی در سنگ

نقشی از اشکال هندسی بر سنگ می‌کنم. این اشکال، برای ناآشنایان، رازآمیز و بغرنج به نظر می‌رسند اما می‌دانم که اگر درست مرتب شده باشند، نیروی ویژه‌ای به سنگ می‌بخشند و آن را قادر می‌سازند به اورادی به زبانی که تاکنون هیچ انسانی به آن سخن نگفته پاسخ بدهد. به این زبان از سنگ سؤال می‌کنم و او پاسخ مرا با نشان دادن رؤیایی می‌دهد: دنیایی که کلام من آن را خلق کرده است، دنیایی تخیلی در نقش روی سنگ.

چندصد سال پیش در وطن من نیوانگلند کسی را که حرفه‌ای مانند حرفه من داشت بر چوبه آتش می‌سوزاندند. البته کار من جادوگری نیست بلکه طراحی و برنامه‌سازی کامپیوتر است. منظور من از سنگ همان صفحه نازک مدور (ویفر) سیلیسم است. منظور من از اوراد جادویی همان نرم‌افزار. نقش‌هایی که بر روی صفحه سیلیسم حک می‌شوند و برنامه‌ای که کامپیوتر را هدایت می‌کند ظاهراً پیچیده و سحرآمیز به نظر می‌رسند. اما همه آنها بر اساس معدودی اصول پایه‌ای ساخته شده‌اند که به آسانی می‌توان توضیحشان داد.

کامپیوترها پیچیده‌ترین چیزهایی هستند که ما انسان‌ها آفریده‌ایم، اما از لحاظ بنیادی بسیار ساده‌اند. همراه یک تیم که تنها متشکل از چند ده نفر بود کامپیوترهایی طراحی کرده‌ام و ساختم که میلیاردها جزء

فعال دارند. اگر روزی نقشهٔ سیمکشی چنین ماشین‌هایی ترسیم شود، همهٔ کتاب‌های یک کتابخانه عمومی نسبتاً بزرگ را پر می‌کند و هیچ‌کس حوصلهٔ مرور در همهٔ آن را نخواهد داشت. خوشبختانه کشیدن چنین نقشه‌ای ضروری نیست زیرا کامپیوتر طرح منظمی دارد. کامپیوترها از سلسله‌مراتبی از اجزای خود بنا شده‌اند، به نحوی که هر جزء به دفعات تکرار می‌شود. تنها چیزی که برای فهمیدن کامپیوتر لازم است پی بردن به این سلسله‌مراتب است.

اصل دیگری که درک کامپیوتر را آسان می‌سازد طبیعت برهم کنش اجزاء آن است. این برهم کنش‌ها مشخص و ساده‌اند. آنها معمولاً یکسویه هستند، بدین معنا که برهم کنش‌های کامپیوتر را به راحتی می‌توان به سان علت و معلول دسته‌بندی کرد. و این چیزی است که کار درونی کامپیوتر را فی‌المثل به مراتب قابل فهم‌تر از رادیو و موتور اتومبیل می‌کند. تعداد اجزای کامپیوتر بسیار بیشتر از رادیو و موتور اتومبیل است، اما شیوهٔ کار کردن این اجزا با یکدیگر به مراتب ساده‌تر است. کامپیوتر خیلی بیشتر به اندیشه‌ها وابسته است تا به تکنولوژی. گذشته از این، این اندیشه‌ها به الکترونیکی که کامپیوتر را می‌سازد بستگی چندانی ندارند. کامپیوترهای امروزی از ترانزیستورها و سیم ساخته شده‌اند. اما می‌توان آنها را طبق همان اصول از لوله و شیر آب و یا از طناب و چوب نیز ساخت. این اصول جوهر چیزی است که کامپیوتر را قادر به محاسبه می‌کند. یکی از موضوعات بسیار درخور توجه در کامپیوتر این است که جوهر طبیعتش از قلمرو فن‌آوری فرا می‌رود. این طبیعت، موضوع کتاب حاضر است.

دلم می‌خواستم که هنگام شروع یادگیری کامپیوتر چنین کتابی در دسترس می‌داشتم. بر خلاف بیشتر کتاب‌ها در مورد کامپیوتر که به شیوهٔ

کاربرد آن و یا به فن‌آوری ساختمان آن (ROM, RAM, DISC, DRIVE,...) می‌پردازند، کتاب حاضر کتابی است دربارهٔ مفاهیم. کتابی است که مهمترین مفاهیم در قلمرو علوم کامپیوتر را یا توضیح می‌دهد یا اقلأ معرفی می‌کند، مانند: منطق بولی، ماشین‌های حالت‌متناهی، زبان‌های برنامه‌سازی، همگردان، مفسر، جهان‌شمولی تورینگ، نظریهٔ اطلاعات، الگوریتم‌ها، پیچیدگی الگوریتمی، هیورستیک، توابع جابجایی‌ناپذیر، محاسبهٔ موازی، محاسبهٔ کوانتومی، شبکه‌های نورونی، آموزش ماشین و سیستم‌های خودسازمان‌ده. کسانی که تا حدودی به کامپیوتر علاقه داشته باشند هنگام خواندن این کتاب به بسیاری از مفاهیم آشنا برمی‌خورند. اما خارج از محدودهٔ آموزش رسمی علوم کامپیوتر توضیح اینکه این مفاهیم چگونه با هم جفت می‌شوند به‌ندرت یافت می‌شود. کتاب حاضر موضوعاتی را بهم پیوند می‌دهد که از یک سو فرایندهای سادهٔ فیزیکی چون قطع و وصل کلید برق را در بر می‌گیرند و از سویی دیگر روندهایی بغرنج چون قابلیت آموزش سیستم خودسازمان‌ده در کامپیوترهای موازی را.

طبیعت کامپیوتر را بر پایهٔ چند اصل کلی می‌توان توضیح داد: اولین اصل، اصل انتزاع عملکردی است که سلسله‌مراتب علت‌ها و معلول‌ها، که پیشتر از آن یاد کردیم، از آن مشتق می‌شود. ساختار کامپیوتر نمونه‌ای از کاربرد پی‌درپی این اصل در سطوح مختلف را نشان می‌دهد. فهم کامپیوتر از آن جهت امکان‌پذیر است که می‌توان توجه خود را بر آنچه در یک سطح از سلسله‌مراتب صورت می‌گیرد متمرکز کرد، بدون توجه به آنچه در سطوح پایین‌تر انجام می‌گیرد. در واقع انتزاع عملکردی آن چیزی است که مفاهیم را از قید فن‌آوری رها می‌سازد.

موضوع فراگیر دوم، اصل کامپیوتر جهان شمول است که می‌گوید تنها یک نوع کامپیوتر وجود دارد و یا به عبارت دقیق‌تر همه انواع کامپیوتر، به لحاظ توانایی و ناتوانیشان، شبیه هم هستند. نتیجه اینکه می‌توان ادعا کرد که هر دستگاه کامپیوتر، چه از ترانزیستورها ساخته شده باشد، چه از طناب و چوب و چه از نوروها، می‌توان به وسیله یک کامپیوتر جهان شمول شبیه‌سازی کرد. این فرضیه‌ای است در خور توجه: چنان که توضیح خواهم داد، چنین اصلی این فرض را به ذهن راه می‌دهد که ساختن کامپیوتری که مانند مغز آدمی فکر کند تنها بستگی به برنامه‌سازی درست آن دارد.

موضوع سوم کتاب حاضر، که تا رسیدن به آخرین بخش کتاب از آن صحبتی نمی‌شود، به نوعی برابر نهاد موضوع اول است. در طراحی و برنامه‌سازی کامپیوتر ممکن است راه‌هایی کاملاً نو وجود داشته باشد؛ راه‌هایی که بر روش‌های متعارف مهندسی استوار نیست. از آنجا که طراحی سیستم‌های پیچیده‌تر به شیوه متداول کارایی ندارد، این شیوه نو می‌تواند برانگیزنده باشد. اصول اولیه‌ای که ما را قادر به طراحی کامپیوترها می‌کنند به نوعی شکنندگی و کم‌بازدهی می‌انجامند. این ضعف ربطی به هیچ‌گونه محدودیت اساسی ماشین داده‌پردازی ندارد، بلکه این محدودیت ناشی از روش طراحی بر مبنای سلسله‌مراتب است. اما چه می‌شود اگر روش طراحی‌ای شبیه تکامل زیستی انتخاب شود — یعنی فرایندی انتخاب شود که در آن رفتار سیستم از انباشت بسیاری برهم کنش‌های ساده و بدون «کنترل از بالا» ناشی شود؟ یک چنین ماشین حسابی که بدین شیوه تکاملی طراحی شده باشد باید بخشی از سخت‌جانی و انعطاف‌پذیری یک سیستم زیستی را از خود نشان بدهد — دست‌کم چنین امید داریم. این رویکرد هنوز به اندازه

کافی فهمیده نشده است و شاید به این نتیجه برسیم که عملی نیست. تحقیقات من در حال حاضر معطوف به چنین موضوعی است.

برای توضیح طبیعت کامپیوتر باید پیش از روی آوردن به موضوعات جالب بعدی به سلسله‌ای از اصول پایه‌ای پرداخت. در دو بخش نخست کتاب به معرفی این اصول می‌پردازیم: منطق بولی، بیت و ماشین حالت‌متناهی. مزد زحماتی را که در بخش اول می‌کشید در بخش سوم از راه درک کل شیوه عملکرد کامپیوتر دریافت خواهید کرد. و از این راه است که بنیان پی بردن به فکر ماشین محاسباتی جهان‌شمول، که در بخش چهارم می‌آید، ریخته می‌شود.

فلسوفی بنام گری‌گوری بیتسون تعریفی برای اطلاع ارائه داده است، به این صورت: «تفاوتی که تفاوت‌آفرین است»؛ به زبان دیگر، اطلاع، آن تفاوتی است که پراهمیت تلقیش می‌کنیم. در محاسبه‌گرهای ابتدایی الکتریکی اطلاعات از طریق روشن و خاموش شدن لامپ‌های الکتریکی، یعنی حسب اینکه جریان الکتریکی جاری است یا نه، پدیدار می‌شوند. نه ولتاژ این سیگنال اهمیتی دارد و نه جهت جریان الکتریکی. مهم این است که سیمی یکی از دو سیگنال ممکن را، یعنی سیگنالی را که منجر به روشن شدن چراغ می‌شود انتقال می‌دهد. تفاوتی که با اهمیت تلقیش می‌کنیم - آن تفاوتی که، به قول بیتسن، تفاوت‌ساز است - تفاوتی است که بین بودن جریان و نبودن جریان وجود دارد. تعریف بیتسن تعریف خوبی است، اما این عبارت همیشه در نظر من معنای بیشتری داشته است. در مدت چهار دهه زندگی من، جهان دگرگون شده است و بسیاری از دگرگونی‌هایی که ما در این مدت در اقتصاد، سیاست، علم و فلسفه دیده‌ایم، یا بر اثر تحولات فن‌آوری اطلاعات پدید آمده‌اند یا این فن‌آوری سرعتشان را بیشتر کرده است.

بسیاری چیزها در روزگار ما متفاوت شده‌اند اما تفاوتی که تفاوت‌ها را پدید آورده است همان کامپیوتر است.

امروزه کامپیوتر در افواه عمومی ابزاری چندرسانه‌ای تلقی می‌شود که می‌تواند همهٔ انواع رسانه‌های قبلی چون متن، گرافیک، عکس‌های متحرک و صدا را در خود جذب و با هم تلفیق کند. من بر این اعتقادم که در چنین نگرشی امکانات بالقوهٔ کامپیوتر دست‌کم گرفته شده است. یقیناً درست است که کامپیوتر می‌تواند همهٔ انواع رسانه‌های یاد شده را در خود جذب و در آنها دستکاری کند، اما توان واقعی کامپیوتر در این است که نه تنها قادر به دستکاری در نحوهٔ بیان اندیشه‌هاست بلکه می‌تواند خود اندیشه‌ها را نیز دستکاری کند. آنچه مرا به شگفتی واد می‌دارد این نیست که کامپیوتر می‌تواند تمام کتاب‌های یک کتابخانه را دربرگیرد بلکه این است که می‌تواند بین مفاهیمی نیز که در آن کتاب‌ها بیان شده است روابطی برقرار کند — نه تنها می‌تواند تصور یک پرنده در حال پرواز یا چرخش یک کهکشان را نشان دهد بلکه می‌تواند نتایج آن قوانین فیزیکی را که این شگفتی‌ها را آفریده‌اند تصوّر و پیش‌بینی کند. کامپیوتر تنها یک ماشین حساب پیشرفته، یک دوربین عکاسی یا یک قلم‌موی نقاشی نیست، بلکه ابزاری است که روند تفکر ما را شتاب و گسترش می‌بخشد. یک ماشین تخیلی است که با اندیشه‌هایی که در آن انباشته‌ایم آغاز شده است ولی آنها را تا جایی پیش می‌برد که هرگز از دست ما به‌تنهایی برنمی‌آید.