مدال چرتکه ۲۰۲۶
استادِ «مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد» مسیر خود را می‌یابد*

بن بروبیکر

مترجم: امیرحسین علیخانی**



برای شایان اویس قَرَن، پیشرفت در حل مسائل دشوار اغلب از دلِ مسیرهای غیرمنتظره به دست می‌آید.

شایان اویس قَرَن به‌دلیل بهره‌گیری از ابزارهایی از شاخه‌های گوناگون ریاضیات برای افزایش توانمندی الگوریتم‌ها، موفق به دریافت مدال چرتکه شده است.

در علوم کامپیوتر، کلیدِ گره‌گشای مسائل دشوار، یافتن ابزارهای مناسب است. بیشتر پژوهشگران به‌طور طبیعی به سوی ابزارهایی گرایش پیدا می‌کنند که با مسائلی که قصد حلشان را دارند سازگار است و برخی حتی تمام دوران حرفه‌ای خود را صرف تسلط بر چند روشِ رایج می‌کنند. اما شایان اویس قَرَن، دانشمند علوم کامپیوتر در دانشگاه واشینگتن در سیاتل، هرگز به روش‌های مرسوم قانع نبوده است. هر زمان که بیش از حد به یک رویکرد پایبند بماند، احساس بی‌قراری می‌کند. «دیگر چیز تازه‌ای یاد نمی‌گیرم؛ فقط در همان جایی که هستم، متوقف می‌شوم.» این بی‌قراریِ او تنها به دنیای اندیشه محدود نمی‌شود؛ از نظر جسمی نیز به‌سختی می‌تواند آرام و بی‌حرکت بماند. کافی است با او دربارهٔ پژوهش‌هایش صحبت کنید؛ هرچه گفت‌وگو پیش برود، پرشورتر می‌شود و پیوسته از یک حالتِ نامتعارفِ نشستن به حالتی دیگر تغییر وضعیت می‌دهد؛ یک لحظه چهارزانو روی صندلی نشسته، لحظه‌ای بعد زانوهایش را در آغوش گرفته و سپس به پهلو می‌چرخد و پاهایش را روی دستهٔ صندلی می‌اندازد. شاید بی‌دلیل نباشد که اویس قَرَن بیش از هر چیز به‌خاطر پژوهش‌هایش دربارهٔ مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد شهرت دارد؛ یکی از دشوارترین مسائلِ شناخته‌شده در علوم کامپیوتر که به یافتن بهترین مسیر برای جابه‌جایی میان مکان‌های مختلف می‌پردازد. او همچنین در حوزه‌ای که در نگاه نخست هیچ ارتباطی با این مسئله ندارد، دستاوردهای مهمی داشته است: یافتن بهترین روش برای نمونه‌گیری تصادفی از میان مجموعه‌های بزرگِ اشیای ریاضی. اویس قَرَن به پاس این دستاوردها و پژوهش‌های برجستهٔ دیگر، موفق به دریافت مدال چرتکه از اتحادیهٔ بین‌المللی ریاضیات شده است؛ جایزه‌ای که هر چهار سال یک‌بار به یک دانشمند علوم نظری کامپیوترِ زیر چهل سال اهدا می‌شود. کمیتهٔ داوران، بهره‌گیری او از ابزارهای نوآورانه‌ای را که از شاخه‌های گوناگون و ظاهراً نامرتبطِ ریاضیات سرچشمه می‌گیرند، دلیل اصلی این انتخاب دانست؛ ابزارهایی که در نگاه نخست ارتباطی با علوم کامپیوتر ندارند. گویی یک نجارِ خلاق کشف کرده باشد که برای انجام بعضی کارها، گوشیِ پزشکی از اره کارآمدتر است. «بسیاری از پژوهشگران بزرگ و درخشان دقیقاً همین کار را انجام می‌دهند». این را آنا کارلین، همکار پژوهشی اویس قَرَن در دانشگاه واشینگتن، می‌گوید. «آن‌ها میان چیزهایی ارتباط برقرار می‌کنند که در ظاهر هیچ ارتباطی با یکدیگر ندارند».



اویس قَرَن به انرژی و اشتیاقش شهرت دارد. آنا کارلین، همکار او، می‌گوید: «همکاری با او واقعاً لذت‌بخش است. او عمیقاً باور دارد که همیشه می‌توان به پیشرفت دست یافت.»

پژوهشگرانی که میان حوزه‌های متفاوت ارتباط برقرار می‌کنند،

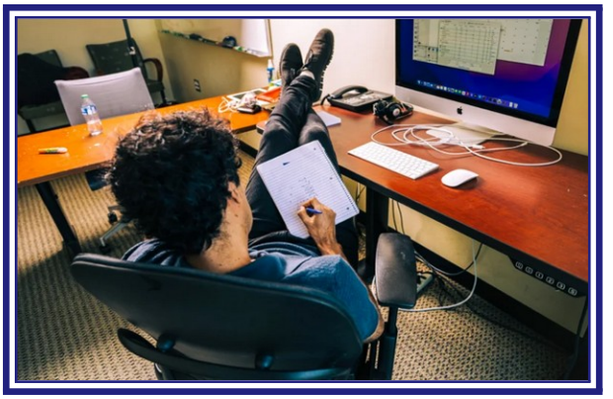
اغلب وسعت دانش خود را به بهای درگیر شدن عمیق با یک موضوعِ خاص به دست می‌آورند. اما اویس قَرَن از این قاعده مستثناست. با وجود تمام انرژی و بی‌قراری‌اش، این شکیبایی را دارد که سال‌ها روی مسائل دشوار متمرکز بماند و با دقت، تک‌تک جزئیات فنیِ یک برهانِ طولانی و پیچیده را بررسی کند. جاناتان لیک، ریاضی‌دان دانشگاه واترلو و از همکاران پژوهشی اویس قَرَن، می‌گوید: «شایان تقریباً از پسِ هر کاری برمی‌آید. راستش را بخواهید، خودم هم نمی‌دانم چطور این کار را می‌کند.» خوش‌بینیِ بی‌قرار حوزهٔ تخصصی شایان اویس قَرَن، علوم نظری کامپیوتر، بر مطالعهٔ الگوریتم‌ها متمرکز است؛ فرایندهای ریاضی‌ای که رایانه‌ها برای انجام وظایف مشخص از آن‌ها استفاده می‌کنند. برخی پژوهشگران می‌کوشند مرزهای توانِ محاسبات را مشخص کنند و نشان دهند کدام مسائل حتی برای هوشمندانه‌ترین الگوریتم‌ها نیز بیش از حد دشوارند. گروهی دیگر تلاش می‌کنند مرزهای توانایی الگوریتم‌ها را گسترش دهند. اویس قَرَن، که ذاتاً فردی خوش‌بین است، بی‌تردید در دستهٔ دوم قرار می‌گیرد. او می‌گوید: «من در سوی مثبتِ ماجرا ایستاده‌ام. دوست دارم بگویم که انجامِ کارها ممکن است». اویس قَرَن اندامی باریک و چابک دارد، با موهای مشکیِ ژولیده و لبخندی که انگار هیچ‌گاه از چهره‌اش محو نمی‌شود. اشتیاق او به پژوهش‌هایش کاملاً مشهود است و حتی به دیگران نیز منتقل می‌شود. آنا کارلین می‌گوید: «همکاری با او واقعاً لذت‌بخش است. او عمیقاً باور دارد که همیشه می‌توان به پیشرفت دست یافت». «شایان اویس قَرَن هرگز به روش‌های مرسوم قانع نبوده است. هرگاه بیش از حد به یک رویکرد پایبند بماند، بی‌قرار می‌شود». رویدادهای اخیرِ خارج از دنیای ریاضیات، خوش‌بینیِ همیشگیِ اویس قَرَن را به چالش کشیده‌اند. هم‌وطنان ایرانیِ او در سال‌های گذشته با مجموعه‌ای از تحریم‌های اقتصادیِ تنبیهی که از سوی ایالات متحده، اتحادیهٔ اروپا و سازمان ملل متحد اعمال شده، روبه‌رو بوده‌اند؛ و نیز حملات هواییِ ایالات متحده و رژیم غاصب صهیونیستی را از سر گذرانده‌اند؛ حملاتی که از جمله اهداف آن‌ها، دانشگاه صنعتی شریف در تهران ــ برجسته‌ترین دانشگاه علوم و مهندسیِ ایران و دانشگاه محل تحصیل اویس قَرَن ــ بوده است. «وقتی می‌بینم بسیاری از دوستان قدیمی و اعضای خانواده‌ام در رنج هستند، واقعاً کار کردن سخت می‌شود». اویس قَرَن در سال ۱۹۸۶، در شهر تاریخی اصفهان و در یکی دیگر از دوره‌های دشوار تاریخ ایران ــ یعنی جنگ هشت‌ساله با عراق ــ به دنیا آمد. پدرش مهندس عمران بود و مادرش، فاطمه خویی، دبیر زیست‌شناسیِ دورهٔ راهنمایی بود؛ زنی که در سال‌های جوانی، با وجود علاقهٔ فراوان، ناچار شد آرزوی تحصیل در رشتهٔ ریاضیات را کنار بگذارد. اویس قَرَن می‌گوید: «آن زمان که مادرم بزرگ می‌شد، فرهنگ حاکم این بود که دخترها نباید وارد رشتهٔ ریاضی شوند. او چنین فرصتی نداشت». در عوض، خویی فرزندانش را تشویق می‌کرد که در درس و تحصیل بهترین باشند. شایان کوچک‌ترین فرزند خانواده‌ای پنج‌نفره بود. او در حالی بزرگ شد که خواهران و برادرانش ــ که بین شش تا سیزده سال از او بزرگ‌تر بودند ــ مشغول تحصیل در رشته‌های ریاضی، علوم و پزشکی بودند. شایان در کودکی پسری خجالتی بود، اما روحیه‌ای رقابت‌جو داشت و مشتاق بود ثابت کند که می‌تواند هم‌پای خواهران و برادرانِ بااستعدادش پیش برود. خویی، در حالی که دخترش شادی سخنانش را از فارسی ترجمه می‌کرد، گفت: «او همیشه خودش را با بچه‌های بزرگ‌تر مقایسه می‌کرد».



اویس قَرَن ذاتاً فردی خوش‌بین است. او می‌گوید: «من در سوی مثبتِ ماجرا ایستاده‌ام. دوست دارم بگویم که کارها شدنی‌اند».

شایان رابطه‌ای بسیار صمیمی با برادرش شهاب داشت. شهاب در رشتهٔ علوم کامپیوتر تحصیل کرده بود و در اواخر دههٔ ۱۹۹۰ در المپیاد جهانی انفورماتیک، رقابتی بین‌المللی در زمینهٔ ریاضیات و برنامه‌نویسی، شرکت کرده بود. وقتی شایان وارد دورهٔ راهنمایی شد، شهاب کتابی از معماهای ریاضی به او هدیه داد و شایان همان لحظه شیفتهٔ آن شد. شهاب بعدها به یاد آورد: «آن کتاب جرقه‌ای

در ذهنش روشن کرد و او را واداشت تا خیلی عمیق‌تر کاوش کند».
شایان نیز بعدها در همین المپیاد شرکت کرد و در سال ۲۰۰۴ موفق به کسب مدال طلا شد اگرچه آنچه در آغاز شایان اویس قَرَن را به علوم کامپیوتر جذب کرد، جنبهٔ ریاضیِ این رشته بود، اما او در مقطع کارشناسی، مهندسی کامپیوتر را در دانشگاه صنعتی شریف انتخاب کرد؛ زیرا تصور می‌کرد این رشته آیندهٔ شغلی باثبات‌تری برایش فراهم خواهد کرد.

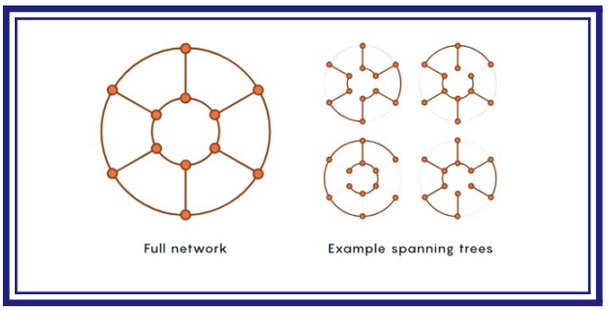


شایان اویس قَرَن در دفتر کارش در دانشگاه واشینگتن.

در سال نخست دانشگاه، او با فرناز رونقی، یکی از دانشجویان مهندسی، آشنا شد. علاقهٔ مشترکشان به کوه‌پیمایی و گفت‌وگوهای طولانی دربارهٔ فلسفه و دین، آن دو را به یکدیگر نزدیک کرد. آن‌ها در پایان دورهٔ کارشناسی ازدواج کردند و اندکی بعد، با تصمیمی مهم دربارهٔ آیندهٔ خود روبه‌رو شدند. اویس قَرَن، که در صنعت گرافیک کامپیوتری مشغول به‌کار شده بود، تمایل داشت در ایران بماند. اما رونقی می‌خواست تحصیلاتش را در خارج از کشور ادامه دهد و او را نیز متقاعد کرد که برای ادامهٔ تحصیل در مقطع تحصیلات تکمیلی درخواست بدهد. در نهایت، تنها آشنایی با طعم پژوهش کافی بود تا عشق اویس قَرَن به ریاضیات دوباره زنده شود. مسیرها و مسیرهای انحرافی دوران تحصیلات تکمیلی نخستین باری بود که اویس قَرَن با مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد روبه‌رو شد؛ مسئله‌ای مشهور و پیچیده که طی ده سال بعد، بارها به آن بازگشت و با آن دست‌وپنجه نرم کرد. این مسئله می‌پرسد: اگر نقشه‌ای از شهرها داشته باشیم که با شبکه‌ای از جاده‌ها به یکدیگر متصل شده‌اند، کوتاه‌ترین مسیرِ رفت‌وبرگشتی که از تمام شهرها عبور کند، کدام است؟ پژوهشگران بر این باورند که هیچ الگوریتمی وجود ندارد که بتواند برای همهٔ نقشه‌های ممکن، پاسخ دقیق این مسئله را در زمانی کوتاه پیدا کند. ازاین‌رو، هدف آن‌ها طراحی الگوریتم‌هایی است که همواره مسیرهای رفت‌وبرگشتیِ نسبتاً کوتاه را پیدا کنند؛ مسیرهایی که هرچند دقیقاً بهترین پاسخ نیستند، اما تقریب‌های مناسبی از مسیر ایده‌ال به‌شمار می‌آیند.

در سال ۱۹۷۶، نیکوس کریستوفیدس[1]، ریاضی‌دان، الگوریتمی ساده ارائه کرد که تقریبی شگفت‌انگیز از پاسخ این مسئله به دست می‌دهد: این الگوریتم همواره مسیری رفت‌وبرگشتی پیدا می‌کند که حداکثر ۵۰ درصد از کوتاه‌ترین مسیر ممکن طولانی‌تر است (تقریباً هم‌زمان، آناتولی سردیوکوف نیز در اتحاد جماهیر شوروی، مستقل از کریستوفیدس، به همین ایده دست یافت). از آن زمان تاکنون، پژوهشگران بی‌وقفه کوشیده‌اند الگوریتمی طراحی کنند که به‌طور تضمین‌شده به پاسخ دقیق نزدیک‌تر شود، اما موفق نشده‌اند.
در نخستین سال تحصیلات تکمیلی، اویس قَرَن به همراه استاد راهنمایش، امین صابری، و چند پژوهشگر دیگر، الگوریتمی برای نسخهٔ نامتقارن مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد طراحی کرد؛ نسخه‌ای که در آن نقشه می‌تواند شامل جاده‌های یک‌طرفه نیز باشد. این موفقیت، اویس قَرَن، صابری و دانشمند علوم کامپیوتر موهیت سینگ[2] را بر آن داشت تا نشان دهند روشی مشابه می‌تواند در نسخهٔ اصلی و متقارن این مسئله نیز از رکورد کریستوفیدس فراتر برود. اویس قَرَن که آن زمان تنها دانشجوی سال دوم تحصیلات تکمیلی بود، خیلی زود هدایت این پروژه را بر عهده گرفت. صابری عادت داشت در جلسات، دربارهٔ ایده‌های دانشجویانش بازخورد بدهد؛ اما در گفت‌وگوهایش با اویس قَرَن، اغلب این خودش بود که بازخورد دریافت می‌کرد. صابری می‌گوید: «او با همان لحن همیشگیِ شاد و مؤدبانه‌اش، در همان ده دقیقهٔ اول جلسه توضیح می‌داد که چرا روشی که من پیشنهاد کرده‌ام، احتمالاً نتیجه نخواهد داد. بعد، پانزده دقیقهٔ بعدی را صرف بحث دربارهٔ روشی می‌کردیم که از نظر او راه درست بود».
پژوهشگرانی که روی مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد کار می‌کنند، برای نمایش ریاضیِ نقشه‌ها از ساختارهایی به نام گراف استفاده می‌کنند؛ شبکه‌هایی که در آن رأس‌ها نمایندهٔ شهرها هستند و یال‌ها ــ یعنی پیوندهای میان رأس‌ها ــ نمایندهٔ جاده‌ها. نخستین گام در بسیاری از الگوریتم‌ها، از جمله الگوریتم کریستوفیدس، یافتن نوع خاصی از مسیر در گراف است که درخت فراگیر[3] نام دارد؛ ساختاری که همهٔ رأس‌ها را به هم متصل می‌کند، اما هیچ چرخهٔ بسته‌ای ندارد. هر گراف می‌تواند درخت‌های فراگیر گوناگونی داشته باشد.

[1] Nicos Christofides [2] Mohit Singh [3] Spanning Tree



پس از یافتن یک درخت فراگیر، می‌توان با افزودن چند یال یا بازگشت از بن‌بست‌ها، آن را به یک مسیر رفت‌وبرگشتی تبدیل کرد. یکی از پرسش‌های اساسی در طراحی الگوریتم‌های مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد این است که از میان درخت‌های فراگیر متعدد، کدام‌یک باید به‌عنوان نقطهٔ شروع انتخاب شود؟ الگوریتم کریستوفیدس درختی را برمی‌گزیند که مجموع طول یال‌هایش کمترین مقدار ممکن را داشته باشد. این انتخاب معمولاً نقطهٔ شروع مناسبی است. اما در برخی گراف‌ها، کوتاه‌ترین درخت فراگیر شاخه‌های بن‌بستِ زیادی دارد؛ در نتیجه، فرایند تبدیل آن به یک مسیر رفت‌وبرگشتی ممکن است در عمل باعث شود طول مسیر به‌مراتب بیشتر شود. اویس قَرَن و همکارانش امیدوار بودند با بهره‌گیری از تصادفی‌سازی برای انتخاب یک درخت پوشای مناسب، از به‌وجود آمدن این مسیرهای بیش‌ازحد طولانی جلوگیری کنند و سپس آن درخت را به یک مسیر رفت‌وبرگشتی تبدیل کنند. تصادفی‌سازی، عنصر کلیدیِ الگوریتم آن‌ها برای نسخهٔ نامتقارن مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد بود و آن‌ها خیلی زود دریافتند چگونه می‌توان همان ایده را برای نسخهٔ متقارن نیز به کار گرفت. آن‌ها تصور می‌کردند این رویکرد می‌تواند عملکردی بهتر از الگوریتم کریستوفیدس داشته باشد. از نظر شهودی، اگر درخت پوشا را به‌صورت تصادفی انتخاب کنید، دیگر در موقعیت‌هایی که کوتاه‌ترین درخت پوشا انتخاب مناسبی از آب درنمی‌آید، گرفتار نخواهید شد. هرچه تصادفی‌سازی بیشتر باشد، بهتر است. اما تبدیل این شهود به یک برهانِ ریاضیِ دقیق کار آسانی نبود. آن‌ها به روشی نیاز داشتند تا عبارت‌های ریاضی‌ای را که احتمال انتخاب هر یک از درخت‌های پوشای ممکن را مشخص می‌کنند، تحلیل کنند. حتی یک گراف نسبتاً کوچک نیز می‌تواند میلیاردها درخت پوشای متفاوت داشته باشد و استدلال دربارهٔ مسئله‌ای با این همه حالتِ ممکن، بسیار دشوار است. کلید حل مسئله این بود که آن عبارت‌های ریاضی را به فرمول‌هایی به نام چندجمله‌ای تبدیل کنند؛ فرمول‌هایی که در آن‌ها متغیرها با یکدیگر ضرب و جمع می‌شوند. بازنویسی مسئله در این قالبِ نامعمول ــ به‌طوری‌که برای هر درخت پوشای ممکن، یک جمله به فرمول افزوده می‌شد ــ به اویس قَرَن امکان داد تا آن را با مجموعه‌ای تازه از ابزارهای ریاضی تحلیل کند. او می‌گوید: «بعد، نتیجه‌ای را که به دست آورده‌اید، دوباره به زبانِ مسئلهٔ اصلی برمی‌گردانید. این مثل یک مسیر انحرافی است». مجهز به این ابزارهای جدید، اویس قَرَن و همکارانش ثابت کردند که الگوریتم تازهٔ آن‌ها، در یک حالتِ مهم و خاص از مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد، عملکردی بهتر از الگوریتم کلاسیک کریستوفیدس دارد. بااین‌حال، آن‌ها گمان می‌کردند داستان به همین‌جا ختم نمی‌شود؛ بلکه این الگوریتم، در واقع، در کلی‌ترین حالت نیز برتر است. البته اثبات این موضوع، به چند مسیر انحرافی دیگر نیاز داشت. آجر به آجر پژوهش‌های اولیهٔ اویس قَرَن دربارهٔ مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد، نخستین نمونه از الگویی بود که بعدها بارها در طول دوران حرفه‌ای او تکرار شد. او هیچ تردیدی به خود راه نمی‌دهد که به سراغ منابع و پژوهش‌های حوزه‌هایی برود که برایش ناآشنا هستند؛ از نظریهٔ احتمال و فیزیک آماری گرفته تا شاخه‌های انتزاعیِ ریاضیات، مانند هندسهٔ جبری. سپس ابزارها و ایده‌های تازه‌ای را از دل آن‌ها برمی‌گزیند و در پژوهش‌های خود به کار می‌گیرد. «این دقیقاً همان کاری است که بسیاری از پژوهشگران بزرگ و درخشان انجام می‌دهند. آن‌ها میان چیزهایی ارتباط برقرار می‌کنند که در نگاه اول کاملاً بی‌ارتباط به نظر می‌رسند». رونقی می‌گوید: «او همیشه دوست داشت صدها مقاله بخواند. ظرفیتش برای یاد گرفتن مفاهیم جدید، انگار هیچ حد و مرزی ندارد». با این حال، اگر از زبان خود اویس قَرَن بشنوید، پژوهش بیش از هر چیز با دشواری همراه است. او می‌گوید: «پژوهش پر از فراز و نشیب است؛ البته بیشتر نشیب تا فراز. مدام از خودت می‌پرسی: "آیا اصلاً می‌توانم به ایده‌ای برسم که شکست نخورد؟"» برخلاف آنچه در روایت‌های عامه‌پسند از پژوهش‌های ریاضی به تصویر کشیده می‌شود، او به‌ندرت لحظه‌های ناگهانیِ «یافتم!» را تجربه می‌کند. از نگاه او، ساختن یک برهان بیشتر شبیه ساختن خانه، آجر به آجر است. راه‌های زیادی برای کنار هم قرار دادن این قطعه‌ها وجود دارد و تنها زمانی که تقریباً همهٔ بنا کامل شده باشد، می‌توان مطمئن شد که از نظر ساختاری استحکام کافی دارد. او می‌گوید: «آجرها را یکی‌یکی روی هم می‌گذاری، اما هیچ‌وقت مطمئن نیستی که آیا آن‌ها را به روش درست روی هم چیده‌ای یا نه». اویس قَرَن اغلب هنگام فکر کردن به مسائل ریاضی، انجام دادن فعالیتی دیگر را مفید می‌داند. در دوران تحصیلات تکمیلی، سرگرمی محبوبش نوع دیگری از روی هم چیدن آجرها بود: او پشت میزش آن‌قدر تتریس بازی می‌کرد که یکی از

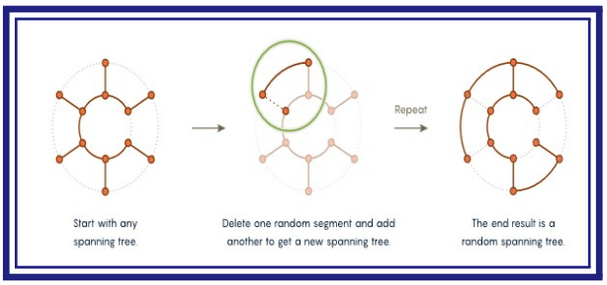
استادانی که دفتر کارش در همان نزدیکی بود، یک روز از او پرسید: «پس تو اصلاً کی کار می‌کنی؟» یک‌بار، راه‌حل مسئله‌ای که مدت‌ها ذهنش را درگیر کرده بود، در خواب به سراغش آمد؛ اما وقتی از خواب بیدار شد، دفترچه‌ای همراهش نبود تا پیش از آنکه ایده از ذهنش محو شود، آن را یادداشت کند. مدتی بعد، هر شب هنگام به خواب رفتن، ذهنش را روی مسائل ریاضی متمرکز می‌کرد؛ به این امید که دوباره در خواب به کشفی ناگهانی برسد، اما این روش هیچ نتیجه‌ای نداد. او با خنده می‌گوید: «آخرش فقط با سردرد از خواب بیدار می‌شدم». اویس قَرَن می‌گوید بهترین ایده‌هایش اغلب زمانی به ذهنش می‌رسند که در دل طبیعت باشد.



در دوران تحصیلات تکمیلی، اویس قَرَن بیشتر به‌تنهایی پژوهش می‌کرد و هر از گاهی با استادان راهنما و مشاورانش دیدار می‌کرد تا دربارهٔ ایده‌ها تبادل نظر کنند. از آن زمان به بعد، او همکاری‌های نزدیک را ترجیح داده است. این همکاری‌ها معمولاً با ساعت‌ها هم‌فکری و تبادل نظر همراه‌اند. در سال ۲۰۱۳، او همکاری‌ای را با نیما اناری آغاز کرد؛ همکاری‌ای که بعدها به شراکتی علمی، طولانی‌مدت و پربار تبدیل شد. اناری نیز از اعضای پیشین تیم المپیاد انفورماتیک ایران بود و زمانی که اویس قَرَن برای گذراندن دورهٔ پسادکتری به دانشگاه کالیفرنیا، برکلی رفت، او دانشجوی تحصیلات تکمیلی همان دانشگاه بود. اویس قَرَن و اناری با همکاری یکدیگر، از روش‌های مبتنی بر چندجمله‌ای‌ها برای پیشبرد پژوهش‌ها دربارهٔ نسخهٔ نامتقارن مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد استفاده کردند و همچنین یکی از پرسش‌های قدیمی و حل‌نشدهٔ نظریهٔ گراف را پاسخ دادند. سپس توجه آن‌ها به یکی از پرسش‌های بنیادی دربارهٔ الگوریتم‌هایی جلب شد که از تصادفی‌سازی بهره می‌برند. این الگوریتم‌ها فرض می‌کنند که می‌توان به‌سادگی یک عضو را به‌طور تصادفی از میان مجموعه‌ای از اشیای ریاضی انتخاب کرد؛ کاری که آماردانان آن را نمونه‌برداری[4] می‌نامند. اما پرسش اینجاست که اصلاً چنین نمونهٔ تصادفی‌ای را چگونه به دست می‌آوریم؟ واکنش زنجیره‌ای مسئلهٔ نمونه‌برداری در دنیای واقعی بسیار رایج است. بازی‌های ورق نمونه‌ای کلاسیک از آن هستند: پیش از پخش کردن کارت‌ها، باید دستهٔ ورق در ترتیبی کاملاً تصادفی قرار گرفته باشد. وقتی برای تصادفی کردن ترتیب کارت‌ها، بارها دستهٔ ورق را بر می‌زنید، در واقع نوعی الگوریتم نمونه‌برداری را اجرا می‌کنید که زنجیرهٔ مارکوف[5] نام دارد. هر الگوریتم زنجیرهٔ مارکوف با یک عضو از میان مجموعه‌ای بزرگ از اشیای ریاضی آغاز می‌شود؛ برای مثال، یکی از تمام ترتیب‌های ممکن یک دستهٔ ورق، یا یکی از تمام درخت‌های پوشای ممکن یک گراف. سپس الگوریتم، در هر مرحله، با وارد کردن مقدار اندکی تصادفی‌سازی، آن شیء را اندکی تغییر می‌دهد. برای مثال، در مورد درخت‌های پوشا، در هر مرحله یک یال به‌طور تصادفی حذف می‌شود و یال دیگری به آن افزوده می‌شود تا درخت پوشای جدیدی به دست آید. این فرایند بارها تکرار می‌شود تا درخت پوشای حاصل، دیگر هیچ اثری از درخت اولیه نداشته باشد. خروجیِ آخرین مرحله، همان نمونهٔ تصادفی مورد نظر است. با این حال، اگر بخواهیم مطمئن باشیم که نمونه واقعاً تصادفی است، باید بدانیم این فرایند را چند بار باید تکرار کنیم؛ یا به بیان دیگر، زنجیرهٔ مارکوف چه مدت باید اجرا شود. به این کمیت زمان اختلاط[6] گفته می‌شود و مقدار آن به ساختار ریاضیِ اشیایی که از آن‌ها نمونه‌برداری می‌شود، بستگی دارد. در سال ۱۹۸۹، میلنا میهایل[7] (که در آوریل ۲۰۲۶ درگذشت) و اومش وازیرانی[8]، دو دانشمند علوم کامپیوتر، حدس مهمی دربارهٔ نمونه‌برداری از اشیای ریاضیِ مرتبط با درخت‌های پوشا، یعنی پایه‌های ماتروید[9]، مطرح کردند؛ مسئله‌ای که کاربردهای فراوانی در علوم کامپیوتر و بسیاری از حوزه‌های دیگر دارد. آن‌ها پیشنهاد کردند که یک زنجیرهٔ مارکوفِ ساده می‌تواند این نمونه‌برداری را انجام دهد، اما نمی‌دانستند چگونه ثابت کنند که زمان اختلاط این زنجیره به اندازهٔ کافی کوتاه است. سال‌ها پژوهشگران بسیاری کوشیدند این حدس را اثبات کنند، اما همگی ناکام ماندند. دنیل اشپیلمن،[10] دانشمند علوم کامپیوتر دانشگاه ییل که خود در دههٔ ۱۹۹۰ با این مسئله دست‌وپنجه نرم کرده بود، می‌گوید: «هر روشی که تا آن زمان امتحان شده بود، به نتیجه نمی‌رسید. ما به ریاضیات تازه‌ای نیاز داشتیم». اویس قَرَن و اناری در سال ۲۰۱۸ به همراه همکاران جدیدشان، همان ریاضیات تازه را ارائه کردند. آن‌ها با همکاری ریاضی‌دان سینتیا وینزنت[11]، همان‌گونه که اویس قَرَن پیش‌تر در پژوهش‌هایش دربارهٔ مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد انجام داده

[4]Sampling [5]Markov Chain [6]Mixing Time [7]Milena Mihail [8]Umesh Vazirani [9]Matroid Bases [10]Daniel Spielman [11]Cynthia Vinzant

بود، مسئلهٔ نمونه‌برداری از پایه‌های ماتروید را به

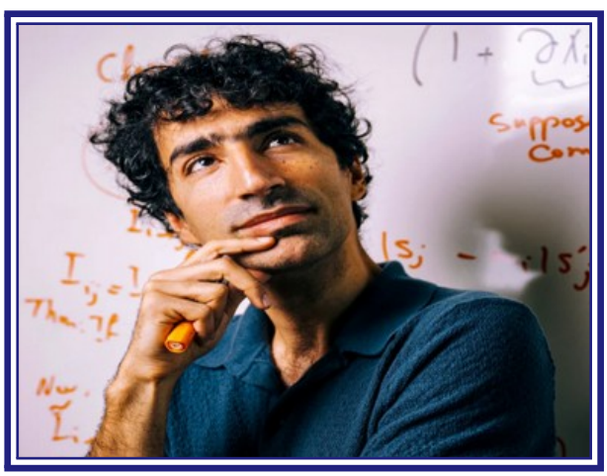


زبان چندجمله‌ای‌ها ترجمه کردند و ویژگیِ کلیدیِ مشترک میان آن چندجمله‌ای‌ها را شناسایی کردند. این دستاورد، به‌خودیِ خود، پیشرفتی مهم در ریاضیات محض به شمار می‌رفت و در عین حال، ابزار تازه و ارزشمندی نیز در اختیار آن‌ها قرار داد. سپس این گروه، با پیوستن کویی‌کویی لیو[۱۲]، دانشجوی اویس قَرَن، از همین ویژگیِ کلیدی در کنار چند ابزار دیگر که در ظاهر هیچ ارتباطی با آن نداشتند، استفاده کردند و سرانجام، سی سال پس از مطرح شدن این حدس، آن را به اثبات رساندند. وازیرانی می‌گوید: «این نتیجه واقعاً خیره‌کننده بود. انگار تکه‌ای از جادو بود».



اویس قَرَن (سمت راست) در سال ۲۰۰۵، در کنار خواهران و برادرانش: (از چپ) شهاب، شهرام، شیدا و شادی.

اثبات سرنوشت‌ساز این گروه، انقلابی در پژوهش دربارهٔ الگوریتم‌های نمونه‌برداری به راه انداخت. اویس قَرَن، اناری و لیو بعدها چهارچوبی کلی‌تر برای شناسایی مواردی ارائه کردند که در آن‌ها زنجیره‌های مارکوف به‌سرعت به تعادل می‌رسند؛ از جمله مدل‌های ریاضیِ برخی مواد که سال‌هاست توجه فیزیک‌دانان را به خود جلب کرده‌اند. دنیل اشپیلمن می‌گوید: «بعد از آن، انگار همه، همراه با استاد راهنمایشان، وارد این حوزه شدند. این اتفاق واقعاً شیوهٔ کار این رشته را دگرگون کرد». بازگشت به نقطهٔ آغاز در اواخر سال ۲۰۱۸، درست زمانی که انقلابِ نمونه‌برداری تازه در حال شکل‌گیری بود، اویس قَرَن از همان روحیهٔ بی‌قرار همیشگی‌اش، به دنبال چالشی تازه می‌گشت. او تصمیم گرفت بار دیگر به مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد بازگردد؛ همان مسئله‌ای که حدود یک دهه پیش، سفر علمی‌اش از آنجا آغاز شده بود. او در این سال‌ها، در مسیر پژوهش‌هایش، ابزارهای ریاضی فراوانی آموخته بود. اکنون امیدوار بود با استفاده از همان ابزارها ثابت کند الگوریتمی که در دوران دانشجویی در طراحی آن نقش داشت، در کلی‌ترین حالتِ مسئله نیز از الگوریتم کریستوفیدس[۱۳] بهتر عمل می‌کند. دیوید ویلیامسون[۱۴]، از پژوهشگران باسابقهٔ مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد در دانشگاه کرنل، می‌گوید: «در او نوعی جسارتِ کم‌نظیر وجود دارد؛ اینکه با خودش بگوید: می‌خواهم سراغ مسئله‌ای بروم که همهٔ دیگران در حل آن ناکام مانده‌اند».



اویس قَرَن، که پژوهش‌هایش بر گسترش مرزهای توانایی الگوریتم‌ها متمرکز است، می‌گوید: «من در سوی مثبتِ ماجرا ایستاده‌ام. دوست دارم بگویم که کارها شدنی‌اند». اویس قَرَن کار روی این مسئله را با کارلین و نیتن کلاین[۱۵]، دانشجوی جدید تحصیلات تکمیلی، آغاز کرد. آن‌ها روش‌های تازه‌ای برای تحلیل گراف‌های پیچیده‌ای ابداع کردند که نواحی مختلف آن‌ها هم‌پوشانی زیادی داشت، در حالی که الگوریتم باید هر یک از آن نواحی را به‌صورت جداگانه بررسی می‌کرد. آن‌ها با ترکیب این روش‌های جدید و روش‌های مبتنی بر چندجمله‌ایِ اویس قَرَن، در بهار سال ۲۰۱۹ یکی دیگر از حالت‌های مهم و خاص این مسئله را حل کردند و سرانجام، در دسامبر همان سال، موفق شدند کلی‌ترین حالت آن را نیز حل کنند؛ دستاوردی که رکورد الگوریتم کریستوفیدس را، که

[12] Kuikui Liu [13] Christofides' algorithm [14] David Williamson [15] Karlin and Nathan Klein

بیش از ۴۰ سال پابرجا مانده بود، شکست. با این حال، هفت ماه دیگر صرف شد تا همهٔ جزئیات برهان را بارها بازبینی کنند و مقاله‌ای ۹۰ صفحه‌ای و فشرده را که نتایج پژوهش‌شان را شرح می‌داد، به نگارش درآورند. امین صابری، کسی که نخستین بار اویس قَرَن را با مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد آشنا کرده بود، از دستاورد شاگرد سابقش شگفت‌زده شد. او می‌گوید: «برای من، این دستاورد شبیه این بود که برادران رایت را ببینی که با زحمت هواپیمایی ابتدایی می‌سازند و بعد، تنها ده سال بعد، با چیزی در حد یک بوئینگ ۷۴۷ روبه‌رو شوی». مطالب مرتبط: ۱. دانشمندان علوم کامپیوتر رکورد مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد را شکستند. ۲. «غیرخودی‌ها» مسئله‌ای ریاضی را که ۵۰ سال بی‌پاسخ مانده بود، حل کردند. ۳. هفت بار بر زدنِ کامل، دستهٔ ورق را تصادفی می‌کند؛ اما اگر بر زدن‌ها ناقص باشند، چند بار کافی است؟ ۴. هفت بار بر زدنِ کامل، دستهٔ ورق را تصادفی می‌کند؛ اما اگر بر زدن‌ها ناقص باشند، چند بار کافی است؟ از زمانی که اویس قَرَن در سال ۲۰۱۵ به دانشگاه واشینگتن پیوست، به همراه همسرش فرناز رونقی زندگی خود را در شهر سیاتل سامان داده است. رونقی که در دوران تحصیلات تکمیلی شرکت نوپایی را بنیان گذاشته بود، اکنون مدیر ارشد فناوری (CTO) همان شرکت است. اویس قَرَن در گوشه‌وکنار خانه دفترچه‌های یادداشت گذاشته است تا اگر در ساعت‌های غیرمنتظره ایده‌ای به ذهنش رسید، بتواند فوراً آن را ثبت کند. با این حال، او به‌مرور یاد گرفته است که کار را کنار بگذارد؛ به‌ویژه زمانی که با پسر ده‌ساله‌شان، فراز، وقت می‌گذراند. رونقی می‌گوید: «شایان توانایی واقعاً شگفت‌انگیزی در بازی کردن دارد. ذهنش می‌تواند مثل ذهن یک کودک، از بازی لذت ببرد و همه‌چیز را بیش از حد جدی نگیرد». با این حال، حتی زمانی که اویس قَرَن مشغول کار نیست، روحیهٔ رقابت‌جویی که از کودکی در او شکل گرفته بود، گاهی خود را نشان می‌دهد. وقتی همه‌گیری کووید-۱۹ آغاز شد، او به آشپزی علاقه‌مند شد و این سرگرمی را نیز با همان کمال‌گرایی دنبال کرد که در دیگر جنبه‌های زندگی و پژوهشش دیده می‌شود؛ به‌ویژه زمانی که میزبان مهمانان است. خواهرش شادی با خنده می‌گوید: «بچه‌های من باور دارند که او بهترین آشپز دنیاست. من هم به او می‌گویم: "داداش، یه کم آروم‌تر! لازم نیست توی همه‌چیز بهترین باشی."

* Ben Brubaker (2026). A Master of the Traveling Salesperson Problem Finds His Own Path, Quanta Math.

* دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه یزد