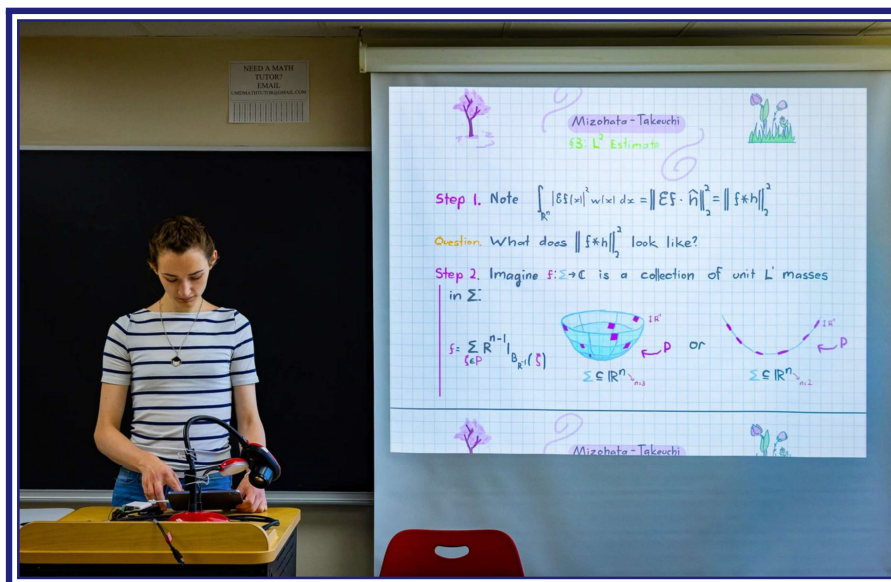


هانا کایرو در ۱۷ سالگی یک معمای بزرگ ریاضی را حل کرد*

کوپن هارتنت

مترجم: مریم صفازاده و سعید علیخانی**



وقتی هانا کایرو مثال متضاد خود را برای حدس میزوها-تا-تاکه اوجی اعلام کرد، جهان ریاضیات شگفت زده شد، چرا که هم یک مسأله بزرگ حل شده بود و هم کایرو در آن زمان هنوز دبیرستانی بود.

سال‌ها آموزش خانگی در انزوا و پیمودن مسیری نامعمول در دنیای ریاضیات، راه خود را برای یافتن اثباتی برای این مسأله پیدا کرد.

دنیایی بدون مرز

کایرو در ناسائو، باهاما بزرگ شد، جایی که والدینش به آن‌جا نقل مکان کردند تا پدرش بتواند به عنوان یک توسعه‌دهنده نرم افزار کار کند. او و دو برادرش، یکی سه سال بزرگتر و دیگری هشت سال کوچکتر، همه به صورت خانگی تحصیل کردند. کایرو یادگیری ریاضی را با درس‌های آنلاین آکادمی خان^۱ آغاز کرد و به سرعت از طریق برنامه درسی استاندارد آن پیشرفت کرد. وقتی ۱۱ ساله شد، حساب دیفرانسیل و انتگرال را تمام کرده بود.

خیلی زود او به راحتی از همه امکاناتی که به صورت آنلاین در دسترس بود، استفاده کرد. والدینش چند استاد ریاضی پیدا کردند تا از راه دور به او تدریس خصوصی بدهند. ابتدا مارتین مگید^۵ از کالج ولزلی، سپس امیر اعظمی از دانشگاه کلارک. اما بخش

او پس از این که آموزش در خانه را محدود کننده یافت، در سن نوجوانی با خواست خود به یک کلاس تحصیلات تکمیلی راه یافت، همان جایی که در نهایت یک حدس ۴۰ ساله را رد کرد. کسی هرگز نگفته است که مسائل پیچیده ریاضی نمی‌توانند توسط نوجوانان دبیرستانی حل شوند اما به نظر می‌رسد احتمال چنین نتیجه‌ای کم است. با این حال مقاله‌ای که در ۱۰ فوریه منتشر شد، دنیای ریاضیات را شگفت زده، خوشحال و آماده استقبال از یک استعداد جسور در میان خود کرد. نویسنده‌اش هانا کایرو^۱ بود که در آن زمان فقط ۱۷ سال داشت. او معمایی ۴۰ ساله، درباره رفتار توابع را حل کرده بود که به آن حدس میزوها-تا-تاکه اوجی^۲ گفته می‌شود.

ایتامار الیویرا^۳ از دانشگاه بیرمنگام که دو سال گذشته را صرف تلاش برای اثبات این حدس کرده است، گفت: «ما همه کاملاً شوکه شدیم، هیچ وقت چیزی شبیه به آن را ندیده‌ام». کایرو در مقاله‌اش نشان داد که این نادرست است. این نتیجه با شهود معمول ریاضی دانان درباره رفتار توابع در تضاد است. بنابراین کایرو پس از

^۱Hanna Cairo

^۲Mizohata-Takeuchi conjecture

^۳Itamar Oliveira

^۴Khan Academy

^۵Martin Magid

تا به‌طور مشترک مسائل دشوار را حل کنند. این تجربه باعث شد که او سال بعد برای یک برنامه تابستانی دوهفته‌ای آنلاین که توسط گروه ریاضی برکلی اداره می‌شد، درخواست دهد. این گروه برخی از استثنایی‌ترین استعدادهای ریاضی جهان را پرورش داده است. در درخواستش مجموعه‌ای از موضوعات خودآموز را ذکر کرد که در مجموع معادل یک مدرک ریاضی پیشرفته در مقطع کارشناسی بود. آن زمان او ۱۴ ساله بود.



کایرو در حالی که نوجوان بود، تابعی ساخت که به شیوه‌های عجیب و غیرمنتظره‌ای رفتار می‌کرد و یک حدس مهم در زمینه‌ای به نام نظریه محدودیت فوریه را رد کرد.

روزدلینا استانکووا^۶ ریاضی‌دان در برکلی و بنیان‌گذار گروه ریاضی برکلی گفت: هانا فراتر از معمول است. هربار که او برای مدرسه یا برنامه‌ای درخواست می‌دهد، چندین سطح جلوتر است. با این حال این تجربیات پراکنده هرگز کایرو را متقاعد نکرد که او دارای توانایی استثنایی در ریاضیات است. او ملایم، رک و فروتن است و به‌نظر می‌رسد واقعاً از توانایی‌هایش در مقایسه با دیگران مطمئن نیست. تا حدودی به این دلیل است که برای سال‌ها تنها نقطه مرجع او خودش بوده است.

او گفت: در حالی که بزرگ می‌شدم نمی‌دانستم که آیا واقعاً استعداد دارم یا نه. من دوست دارم پیانو بزنم و اطرافیانم می‌گفتند که در ریاضی و پیانو واقعاً با استعداد هستم و حالا که به گذشته نگاه می‌کنم، می‌بینم که بله، پیانو نواختن من بالاتر از حد متوسط بود اما به هیچ وجه استثنایی نبود. در حالی که از سوی دیگر به نظر می‌رسد از نظر ریاضی توانمند هستم.

زیادی از تحصیلات او به‌صورت خودخوان بود، زیرا او به تنهایی کتاب‌های درسی ریاضی مقطع کارشناسی ارشد را که معلمان توصیه می‌کردند، می‌خواند و جذب آن‌ها می‌شد. کایرو می‌گوید که در نهایت امیر اعظمی صحبتی کرد مبنی بر اینکه از دریافت حقوق احساس ناراحتی می‌کند، چرا که احساس می‌کند واقعاً به من درس نمی‌دهد، زیرا بیشتر مواقع کتاب را می‌خواندم و سعی می‌کردم قضایا را اثبات کنم.



هانا کایرو تا سن ۱۴ سالگی معادل یک برنامه درسی پیشرفته ریاضی در مقطع کارشناسی را خودآموزی کرد.

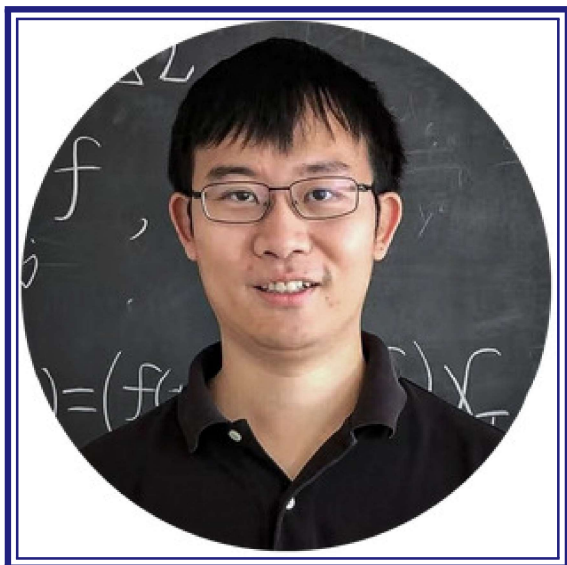
اما کایرو آموزش در خانه را محدود کننده یافت.

«یک نوع یکنواختی غیرقابل اجتناب وجود داشت. مهم نبود چه کار می‌کردم، در همان مکان بودم و عمدتاً همان کارها را انجام می‌دادم. من بسیار تنها بودم و هیچ کاری نمی‌توانست این وضعیت را تغییر دهد. بعضی روزها بیدار می‌شدم و متوجه می‌شدم که فقط بزرگتر شده‌ام.» ریاضی به‌نوعی فرار تبدیل شد، فضایی که در آن احساس وسعت می‌کرد وقتی که زندگی روزمره‌اش اینگونه نبود. او گفت: «ریاضی دنیای دیگری بود که می‌توانستم کشف کنم. دنیایی که محدودکننده نبود، دنیایی که می‌توانستم به هر نقطه‌ای از آن فقط با فکر کردن دسترسی پیدا کنم. من اینگونه بزرگ شدم، با فکر کردن به ریاضی به عنوان دنیایی از ایده‌ها که می‌توانم به‌تنهایی آن را کشف کنم. آن نوع فرآیند به من کمک کرد که ریاضی را نسبت به دیگران متفاوت ببینم.»

در سال ۲۰۲۱ هنگام پاندمی کووید، جهان کایرو شروع به رشد و گسترش کرد، در حالی که برای بسیاری دیگر در حال تنگ شدن بود. محدودیت‌های سفر، خانواده او را در خانه پدربزرگ و مادر بزرگش در شیکاگو گیر انداخت. وقتی آنجا بودند او به نشست‌های ریاضی شیکاگو پیوست، جایی که معلمان و دانش‌آموزان گرد هم می‌آیند

⁶ Zvezdelina Stankova

مدرک دکتری از دانشگاه پرینستون، مدرک پسادکتری از مؤسسه مطالعات پیشرفته و سمت استاد تمام وقت در برکلی یکی از برترین دانشکده‌های ریاضی جهان.



ریاضی‌دان روزیانگ ژنگ به کایرو یک مسأله به‌عنوان تکلیف داد که او نتوانست از فکر کردن به آن دست بردارد. او بعداً مشاور کایرو شد.

کایرو به ژانگ ایمیل زد و درخواست ثبت نام کرد. ژانگ گفت: هانا بسیار متمرکز بود و به نظر می‌رسید که به موضوع علاقه‌مند است، این نگرش به‌تنهایی برای من کافی است، بنابراین به او اجازه دادم. ظرف چند هفته، هنگام کار روی یک مجموعه مسأله، به مسأله‌ای برخورد که نمی‌توانست از فکر کردن به آن دست بردارد.

اعتبار اضافی

مسئله نسخه‌ای ساده شده از حدس میزوهارتا-تاکه‌اوجی بود. ژانگ آن را در یکی از تکالیف به عنوان دست گرمی گنجانده بود، با امید به این که دانشجویان را به تمرین تکنیک‌های پیشرفته در یک حوزه‌ی عمیق از ریاضیات تشویق کند. این تکلیف شامل یک تعمیم (بسط) اختیاری نیز بود که از آن‌ها می‌پرسید آیا اثباتی که برای مورد ساده یافته‌اند می‌تواند به فرمول‌های پیچیده‌تر مسأله تعمیم داده شود. دنبال کردن یک ایده تا جای ممکن، طبیعی به‌نظر می‌رسید. او با خود گفت: «چرا باید متوقف شوم؟» حدس میزوهارتا-تاکه‌اوجی مسئله‌ای در آنالیز هارمونیک است،

یافتن جایگاه خود

در سال ۲۰۲۳ پس از دومین تابستان با گروه ریاضی برکلی، کایرو این سؤال را از خود پرسید که گام بعدی چه باید باشد. او قبلاً به چندین دانشگاه درخواست داده بود و توسط دانشگاه کالیفرنیا، دیویس پذیرفته شد، در حالی که بیشتر مدارس او را رد کردند چرا که هنوز دبیرستان را تمام نکرده بود. آیا او باید سه سال زودتر تحصیلات کارشناسی خود را آغاز کند؟ یا باید به دنبال فرصت‌های آموزشی در جاهای دیگر باشد؟

استانکوا او را تشویق کرد که به جای آن در برنامه‌ی ثبت نامی برکلی شرکت کند که در همان زمان برگزار می‌شد، جایی که می‌توانست دوره‌های ریاضی در سطح تحصیلات تکمیلی را از محققان برجسته این حوزه بیاموزد.

کایرو این پیشنهاد را پذیرفت. در پاییز ۲۰۲۳ خانواده‌اش به دیویس در ۶۰ مایلی شمال شرقی برکلی نقل مکان کردند. در آنجا برادر بزرگترش به‌عنوان دانشجوی سال اول دانشگاه کالیفرنیا، دیویس ثبت نام کرد و والدینش به او اجازه دادند که سه‌شنبه‌ها و پنجشنبه‌ها به برکلی رفت و آمد کند. تا بهار او پنج روز در هفته می‌رفت و چند کلاس دیگر هم گرفت. او این دوران را اینگونه به یاد می‌آورد که در زندگی‌اش شروع به استفاده از همه امکانات کرد.

او گفت: «من شروع کردم به پیدا کردن دوست و از این بابت احساس خوبی داشتم». بعد از پایان ترم بهاری، خانواده‌اش از دیویس به برکلی نقل مکان کردند، برادرش تصمیم گرفته بود که به آنجا منتقل شود و کایرو بالاخره احساس کرد که می‌تواند به‌طور ثابت در آنجا بماند. او در ادامه گفت که این برای من یک نوع تعادل ایجاد می‌کرد زیرا تجربه‌های اجتماعی زیادی نداشتم، بنابراین باید یاد می‌گرفتم که چه‌طور با دیگر انسان‌ها تعامل کنم.

با نزدیک شدن سال تحصیلی ۲۰۲۴-۲۰۲۵، کایرو به این فکر کرد که چه دروسی را انتخاب کند. یک کلاس خاص، توجه او را جلب کرد، یک دوره تحصیلات تکمیلی در نظریه‌ی تحلیل هارمونیک، شاخه‌ای از آنالیز هارمونیک. او گفت: «این یکی از پیشرفته‌ترین کلاس‌های تحلیل بود که در آن ترم ارائه می‌شد، بنابراین به فکر افتادم که آن را بگذرانم.»

استاد درس روزیانگ ژنگ^۷ بود، ریاضی‌دان برجسته‌ای که مسیر ورودش به این رشته الگوی سنتی‌تری را دنبال کرده بود: مدال طلای المپیاد بین المللی ریاضی ۲۰۰۸، مسابقات معتبر دبیرستانی،

⁷Ruixiang Zhang

شده و بسیار گسترده است، در نهایت باید درست باشد. صبح‌های دیگر، بیدار می‌شدم و می‌گفتم این مسأله نمی‌تواند به هیچ‌وجه به طرز ساده‌ای درست باشد. ریاضی‌دانان در بن بست قرار گرفتند.

فرا تر از محدودیت‌ها

در مسیر رسیدن به اثبات یک مسأله سخت، شک و تردید زیادی وجود دارد. ریاضی‌دانان به رویکردهای خود شک دارند، به شهودهای خود شک دارند، به پایدار بودن ایده‌ای که دنبال می‌کنند و در آن لحظه بسیار امیدوارکننده به نظر می‌رسد، شک دارند. در مورد کایرو، این شک‌ها تشدید شد. او در این زمینه تازه کار بود و تلاش‌های اولیه‌اش برای اثبات کامل حدس، موقتی و ناقص بود. او در مورد اینکه آیا در مسیر درستی قرار دارد، تردید داشت. ژانگ هم همینطور.



پس از تصمیم برای عدم ورود به کالج، کایرو تحصیلات دکتری خود را به‌زودی در دانشگاه مریلند آغاز خواهد کرد.

من ساعت‌ها به دفتر مراجعه کردم و از ژانگ پرسیدم که آیا این ایده‌ها نتیجه خواهند داد؟ کایرو در ادامه گفت: معلوم شد که نه، چون احمقانه بودند و این رفت و برگشت ادامه داشت. من ساعت‌های اداری با ایده‌های جدید مراجعه می‌کردم و از ژانگ می‌پرسیدم آیا این ایده کار می‌کند؟ و او جواب می‌داد: نه. کایرو به خواندن و فکر کردن ادامه داد. او در نهایت راهی برای ساختن یک تابع عجیب و پیچیده از امواجی پیدا کرد که فرکانس‌های آن‌ها همه بر روی یک سطح منحنی قرار داشتند، نوعی سطح که حدس به آن نیاز داشت. معمولاً وقتی این نوع امواج را با هم جمع می‌کنید، تداخل پیدا می‌کنند و در برخی جاها یکدیگر را خنثی کرده و در جاهای دیگر یکدیگر را تقویت می‌کنند.

اما کایرو نشان داد که در تابع او طبق انتظار پیش نرفت. در

حوزه‌ای که چگونگی تشکیل توابع از اجزای موج مانند را بررسی می‌کند. هر تابعی می‌تواند به صورت مجموع قطعات ساده‌تر موج مانند نوشته شود که به آنها موج‌های سینوسی گفته می‌شود. هر یک از این موج‌های سینوسی به نوبه خود دارای فرکانسی است. ریاضی‌دانان اغلب می‌خواهند ماهیت توابعی را درک کنند که تنها می‌توانند از موج‌های سینوسی با فرکانس‌های خاص ساخته شوند. در این موارد تنها فرکانس‌های مجاز آن‌هایی هستند که معادلاتی را برآورده می‌کنند که سطوح خاصی را ایجاد می‌کنند، مانند یک کره، زیرا توابعی که بسیاری از امواج فیزیکی مانند نور، صدا و ذرات کوانتومی را تعریف می‌کنند، به این نوع فرکانس‌ها محدود هستند.



کایرو گفت ریاضیات دنیای دیگری بود که می‌توانستم آن را کشف کنم. دنیایی که محدودکننده نبود، دنیایی که می‌توانستم در هر لحظه فقط با فکر کردن، به آن دسترسی پیدا کنم.

حدس می‌زوهاتا-تاکه‌اچی به توابعی می‌پردازد که از امواجی ساخته شده‌اند که فرکانس‌هایشان بر روی چنین سطحی قرار دارد. این حدس بیان می‌کند که انرژی تابع که معیاری از بزرگی تابع است، تنها می‌تواند در الگوهای خاص پخش و متمرکز شود. گویا در اتاقی با شکل عجیب موسیقی می‌نوازی. گاهی اوقات ممکن است موسیقی طنین انداز شده و صدایش بلند شود، اما این اتفاق فقط در نقاط خاصی می‌تواند رخ دهد. در طول دهه‌ها ریاضی‌دانان پیشرفت محدودی در چند مورد خاص از حدس می‌زوهاتا-تاکه‌اچی داشتند. اما مسأله کلی همچنان باز باقی ماند. به نظر نمی‌رسید که هیچ‌یک از روش‌های استاندارد بتوانند به آن نزدیک شوند. سختی مسأله باعث شد که برخی از ریاضی‌دانان شک کنند که حدس نادرست است؛ دیگران احساس کردند که زیبایی آن احتمال درست بودنش را بیش‌تر می‌کند. تونی کاربری^۸، ریاضی‌دان دانشگاه ادینبرو (ادینبورگ) که دهه‌ها روی این مسأله کار کرده است، گفت: برخی صبح‌ها با این فکر بیدار می‌شدم که چون این موضوع به طرز ساده و زیبایی بیان

⁸ Tony Carbery

از این به بعد هرگاه با مشکلی از این دست مواجه شویم، سعی خواهیم کرد آن را در برابر ساختارهای مشابه کایرو آزمایش کنیم. او و دیگران در گروه آنالیز هارمونیک نیز باید با یک چشم انداز تغییر یافته کنار بیایند. در آنالیز هارمونیک، مجموعه‌ای از سؤالات درباره اینکه چگونه انرژی یک موج متمرکز می‌شود، وجود دارد. اگر حدسی به نام حدس اشتاین درست باشد، ارتباطاتی را بین برخی از مهم‌ترین سؤالات در آن مجموعه وسیع تثبیت می‌کند. اما کار کایرو نشان می‌دهد که حدس اشتاین نادرست است. این یکی از امیدوارکننده‌ترین پیوندهایی را که ریاضی‌دانان امیدوار بودند بین بخش‌های مختلف آنالیز هارمونیک برقرار کنند، حذف می‌کند. جهان ریاضی نیز خودش را با واقعیتی که کایرو مطرح کرد، سازگار می‌کند. پس از اتمام اثبات او تصمیم گرفت مستقیماً به تحصیلات تکمیلی برود و از کالج (و دیپلم دبیرستان) کاملاً صرف نظر کند. از نظر کایرو، او در حال حاضر مانند یک دانشجوی تحصیلات تکمیلی زندگی می‌کند. کایرو به ۱۰ موقعیت (برنامه) برای تحصیلات تکمیلی درخواست فرستاد. شش موقعیت او را رد کردند، چون مدرک دانشگاهی نداشت. دو دانشگاه او را پذیرفتند اما پس از آن مقامات بالاتر در اداره‌های آن دانشگاه‌ها این تصمیمات را رد کردند. فقط دانشگاه مرلند و دانشگاه جانز هاپکینز حاضر بودند او را مستقیماً در مقطع دکتری بپذیرند. او پاییز در مرلند شروع خواهد کرد. هنگامی که درسش را تمام کند، این اولین مدرک او خواهد بود.

*Kevin Hartnett , [At 17, Hannah Cairo Solved a Major Math Mystery](#), quantamagazine, August 1, 2025.

**دانشگاه یزد

عوض تداخل آن‌ها الگوهای نامنظم ایجاد کرد و باعث شد انرژی تابع در بعضی نواحی پخش شود و در نواحی دیگر به‌طور فراکتالی متمرکز گردد، همان حالتی که حدس میزوواتا-تاکه‌اچی آن را ممنوع کرده بود. او یک ساختار ریاضی یافت که به گفته بسیاری نباید وجود می‌داشت.

ابتدا او محتاطانه عمل کرد. کایرو گفت: اغلب این اتفاق برای من می‌افتد، به چیزی می‌رسم که به‌نظر می‌رسد یک اثبات است و فکر می‌کنم که یک اثبات دارم اما سپس به این نتیجه می‌رسم که در واقع اشتباه کرده‌ام. سپس دو اتفاق افتاد. اول اینکه او متوجه شد می‌تواند ساختار پیچیده‌اش را با یک ساختار ساده‌تر جایگزین کند و همان نتیجه را به‌دست آورد و دیگر اینکه خودش و ژانگ را قانع کرد که نتیجه درست است. اولیویرا گفت: مقاله کایرو نمونه عالی از این است که چگونه حدس‌های طبیعی و زیبا می‌توانند به شیوه‌هایی که فکرش را هم نمی‌کردیم، اشتباه باشند، اما برای دیدن این موضوع، باید از لنزهای درست نگاه کنیم.

یک چشم انداز جدید

از زمانی که کایرو در فوریه این اثبات را منتشر کرد، جامعه ریاضی از این اثبات و نویسنده جوان آن به وجد آمده است. کاربری گفت: من کاملاً شگفت زده شدم. این مسأله در طول تقریباً ۴۰ سال مورد علاقه من بوده است و واقعاً هیجان زده شدم. وقتی فهمیدم کایرو خیلی جوان‌تر از آن چیزی است که قبلاً فکر می‌کردم، بسیار تحت تأثیر قرار گرفتم. زیبایی نوشتاری مقاله واقعاً فوق العاده است. ریاضی‌دانان از اینکه کار جدید کایرو الهام بخش تحقیقات جدید خواهد بود، هیجان زده هستند. الیویرا گفت: من مطمئن هستم که