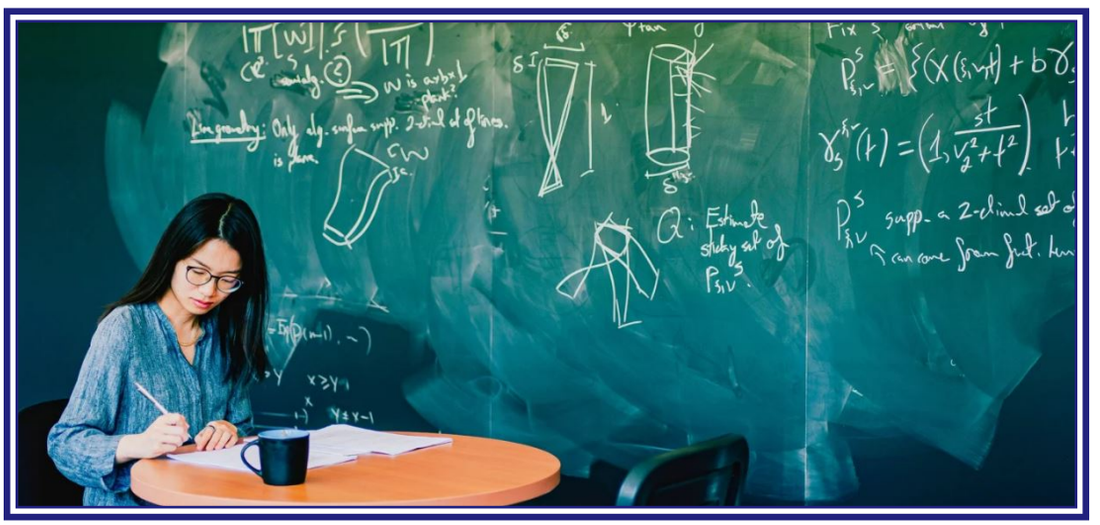
زیستن تمام‌قد در جهان ریاضیات
هونگ وانگ، مسئلهٔ کاکیا و سومین مدال فیلدز برای زنان

ترجمه و اقتباس: حسن ملکی*

بر پایهٔ گزارشی از ناتالی وولچوور در مجلهٔ کوانتا



هونگ وانگ در مؤسسهٔ IHES در فرانسه، هنگام کار روی مقاله‌ای تازه.

مقدمهٔ مترجم

گاهی یک زندگی علمی را می‌توان با نام چند قضیه و فهرستی از جایزه‌ها خلاصه کرد؛ اما این شیوه، درست همان چیزی را از دست می‌دهد که دانش را انسانی می‌کند: تردید، سماجت، انتخاب، ترس از اشتباه. لحظات طاقت‌فرسایی که در آن‌ها ذهن، پیش از آنکه چیزی را روی کاغذ بنویسد، بارها از نو آغاز می‌کند. گزارش ناتالی وولچوور[1] دربارهٔ هونگ وانگ، تنها شرح یک برندهٔ مدال فیلدز یا یک اثبات تاریخی نیست؛ داستان کسی است که برای رسیدن به یقین، ناچار شد با شکل‌های عجیب، مخلوقات ریاضی خارق العاده، مقیاس‌های تودرتو و بیش از همه، با تردیدهای خودش زندگی کند. بخش جذاب این روایت آنجاست که یک پرسش هندسیِ ظاهراً ساده دربارهٔ حرکت سوزن روی کاغذ، میان آنالیز هارمونیک، نظریهٔ اندازهٔ هندسی و معادلات دیفرانسیل پلی می‌سازد. در اینجا ریاضیات مجموعه‌ای از فصل‌های جدا از هم نیست؛ زبانی است که شاخه‌های دورافتاده را به گفت‌وگو وامی‌دارد. کوشش من در این بازنویسی آن بوده است که هم مسیر زندگی وانگ روشن بماند و هم هستهٔ ریاضی مسئلهٔ کاکیا برای خواننده‌ای غیرمتخصص، اما جدی و کنجکاو، قابل لمس شود. در فرایند آماده‌سازی این نسخه، برای سنجش روانی برخی جمله‌ها، یک‌دست‌کردن واژگان و کنترل زبانی، از هوش مصنوعی به‌عنوان دستیار زبانی استفاده شده است. با این حال، انتخاب معادل‌ها، بازسازی نثر فارسی، سازمان‌دهی روایت و مسئولیت همهٔ خطاهای احتمالی بر عهدهٔ مترجم است.

مدالی که پس از یک اثبات صدوبیست‌وهفت‌صفحه‌ای، به دست آمد.

در فوریهٔ ۲۰۲۵، هونگ وانگ و جاشوا زال، اثباتی ۱۲۷صفحه‌ای را منتشر کردند که مسئله‌ای دیرپا را در سه‌بعد حل می‌کرد: حدس

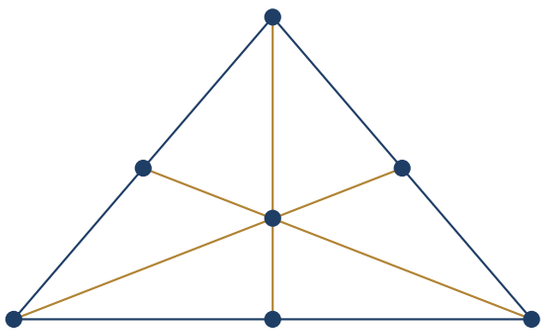
---

[1] ناتالی وولچوور، روزنامه‌نگار و نویسندهٔ علم در مجلهٔ معروف علمی کوانتا است. او بیش از یک دهه دربارهٔ فیزیک و ریاضیات نوشته و در سال ۲۰۲۲ جایزهٔ پولیتزر در گزارش‌گری توضیحی را دریافت کرده است. ویژگی برجستهٔ کار او، آمیختن دقت علمی با روایت انسانی است.

مجموعه‌های کاکیا. این مسئله در محل تلاقی چند قلمرو مهم ریاضیات قرار دارد و سال‌ها در برابر روش‌های شناخته‌شده مقاومت کرده بود. این اثبات، سرآغازِ زنجیره‌ای از جایزه‌ها برای وانگ بود: در سال ۲۰۲۵، جایزه‌های سالم، استروفسکی و طلای ریاضی کنگرهٔ ریاضیدانان چینی را از آنِ خود کرد؛ در نیمهٔ نخست ۲۰۲۶، مدال آنتونیو آمبروزتی، جایزهٔ سادوسکی، جایزهٔ پژوهشی کلی و جایزهٔ افق‌های جدید ریاضیات به او رسید؛ و سرانجام در ژوئیهٔ ۲۰۲۶، مدال فیلدز، والاترین نشان ریاضیات، که به ریاضی‌دانان زیر چهل‌سال اعطا می‌شود، به او تعلق گرفت. وانگِ ۳۵ ساله، استاد ریاضیات در دانشگاه نیویورک و مؤسسهٔ مطالعات علمی پیشرفتهٔ فرانسه (IHES)، سومین زن در تاریخ ۹۰ سالهٔ این جایزه است که به این افتخار دست یافته است. اثبات تازهٔ او، نه فقط به‌سبب طول و پیچیدگی، بلکه به‌دلیل پیوندزدن مجموعه‌ای بزرگ از ایده‌ها و فنون، به‌سرعت به رخدادی تعیین‌کننده در آنالیز و هندسه بدل شد. مقالهٔ اصلی وانگ و زال ثابت می‌کند هر مجموعهٔ کاکیا در فضای سه‌بعدی، هم بُعد مینکوفسکی و هم بُعد هاسدورف برابر با سه دارد؛ یعنی هرچند ممکن است حجم آن صفر باشد، از دید بُعدی نمی‌تواند چیزی کمتر از یک جسم سه‌بعدی باشد. در حال حاظر، وانگ استاد کرسی سیلور در مؤسسهٔ کورانت دانشگاه نیویورک و استاد دائمی مؤسسهٔ مطالعات علمی پیشرفتهٔ فرانسه، IHES، است. مدال فیلدزی که به نام او ثبت شد، تنها پاداش یک نتیجه نبود؛ اعتراف جامعهٔ ریاضی به مسیری بود که تحلیل هارمونیک، نظریهٔ اندازهٔ هندسی و هندسهٔ برخورد را دگرگون کرده بود. بااین‌همه، روایت وانگ از لحظهٔ اثبات، شبیه تصویرهای رایج از پیروزی نبود. او بیش از آنکه از نادرستی استدلال بترسد، نگران بود که نوشته روشن نباشد؛ اینکه ایده‌ای درست، زیر سنگینی بیان نامناسب پنهان شود. ماه‌ها متن را بررسی کردند و نسخه را برای چند همکار فرستادند. هنگامی که خطایی پیدا نشد و منطق اثبات به‌تدریج برای جامعه روشن شد، وانگ نیز به یقینی رسید که برایش از هیجان جایزه مهم‌تر بود: اکنون می‌شد با اطمینان گفت لوله‌هایی که در همهٔ جهت‌ها قرار گرفته‌اند، نمی‌توانند در فضای سه‌بعدی بیش از اندازه روی هم فشرده شوند.

کودکی در گویلین: هفت درخت در شش ردیف

وانگ در دههٔ ۱۹۹۰ در گویلین، شهری در جنوب چین، بزرگ شد؛ شهری شناخته‌شده با تپه‌های سبز و رودخانه‌ای که از میان آن می‌گذرد. پدر و مادرش هر دو معلم بودند، اما او از کودکی زیر فشار یک برنامهٔ سخت و از پیش نوشته‌شده قرار نداشت. کتاب می‌خواند، تلویزیون تماشا می‌کرد و تنیس روی میز و بدمینتون بازی می‌کرد. ریاضیات نیز در آغاز یکی از همین سرگرمی‌ها بود؛ با این تفاوت که هر کتاب تازه‌ای که به دستش می‌رسید، تمرین‌هایش را پیش از آغاز ترم تمام می‌کرد. یکی از معماهای کودکی‌اش می‌پرسید: هفت درخت را چگونه بکاریم تا بیشترین تعداد ردیف سه‌درختی به دست آید؟ پاسخ، آرایش مثلث متساوی‌الاضلاع است: سه درخت روی رأس‌ها، سه درخت در وسط ضلع‌ها و یکی در مرکز. در این حالت، شش خطِ سه‌نقطه‌ای شکل می‌گیرد. مسئله‌ای کوچک بود، اما درون‌مایه‌اش بعدها به قلب پژوهش وانگ بدل شد: هندسهٔ برخورد؛ اینکه نقطه‌ها، خط‌ها و شکل‌ها چگونه یکدیگر را قطع می‌کنند و چه اندازه می‌توانند روی هم بیفتند.



شکل ۲: آرایش هفت درخت در قالب یک مثلث متساوی‌الاضلاع. سه ضلع و سه میانه، شش ردیفِ سه‌درختی می‌سازند.

وانگ بعدها می‌گفت ریاضیات را به‌سبب ماندگاری‌اش دوست دارد. روایت تاریخ تغییر می‌کند؛ زبان‌ها از استثنا پر هستند؛ اما قضیه‌ای که درست اثبات شده باشد، با تغییر سلیقه یا زمان از حقیقت نمی‌افتد. این میل به قطعیت، در سراسر زندگی علمی او باقی ماند؛ گاهی نیروی محرک شد و گاهی سرچشمهٔ اضطراب برای او.

راهی که سر راست نبود.

ورود او به ریاضیات دانشگاهی یک خط صاف و بی‌مانع نبود. در سال ۲۰۰۷ نتوانست بالاترین نمرهٔ لازم برای تنها سهمیهٔ رشتهٔ ریاضی دانشگاه پکن از استان خود را به دست آورد و ابتدا در علوم زمین پذیرفته شد. همان‌جا استادی در ژئوفیزیک به او نشان داد که ریاضیات چگونه می‌تواند از امواج لرزه‌ای برای دیدن ساختار درون زمین استفاده کند. وانگ سرانجام توانست رشته‌اش را تغییر دهد. در آغاز، به‌نوعی از روی مخالفت با داوری پدرش، به جبر متمایل شد؛ پدر گفته بود آنالیز آسان‌تر است. اما مسیر بعدی نشان داد ذهن او با آنالیز، اندازه، تقریب و ساختارهای پیوسته سازگاری بیشتری دارد.

در سال ۲۰۱۱ به مدرسهٔ پلی‌تکنیک فرانسه رفت. درس‌ها به زبان فرانسوی بود، زبانی که در آغاز نمی‌دانست. از هم‌کلاسی‌ها می‌شنید، پرسش می‌کرد و آرام‌آرام زبان و ریاضیات را هم‌زمان پیش می‌برد. در دوره‌ای کوتاه، از ریاضیات فاصله گرفت و به معماری روی آورد. کار در یک دفتر معماری پاریسی فشار کمتری داشت، اما هدف برایش روشن نبود. ریاضیات، برخلاف آن تجربه، مسئله‌هایی داشت که می‌شد دقیقاً فهمید چه چیزی حل شده و چه چیزی هنوز باقی است. بازگشت او به ریاضیات با یک تصمیم ساده اما دشوار همراه بود: دیگر نمی‌خواست مدام بپرسد آیا به‌اندازهٔ کافی خوب است؛ می‌خواست بهتر بفهمد.



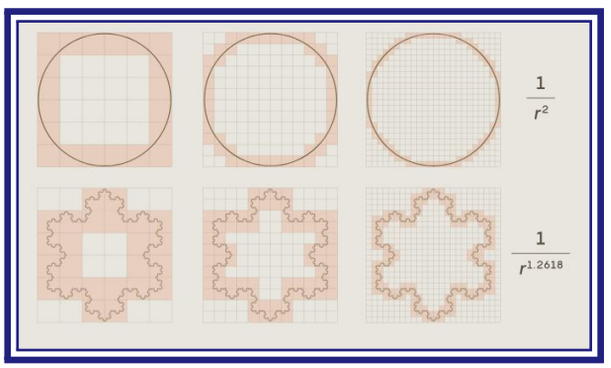
انحرافِ گذرا به سمت معماری، در دوران تحصیل در فرانسه، دیری نپایید. اهدافِ ملموسِ ریاضیات، وانگ را دوباره به سوی تحلیل کشاند.

مسئلهٔ کاکیا: سوزنی که همهٔ جهت‌ها را می‌بیند.

ریشهٔ مسئله به پرسشی از سوئیچی کاکیا در سال ۱۹۱۷ بازمی‌گردد: سوزنی با طول ثابت را در چه ناحیه‌ای می‌توان چرخاند تا همهٔ جهت‌ها را بگیرد و مساحت ناحیه تا حد ممکن کم باشد؟ اگر سوزن را فقط حول مرکز بچرخانیم، دایره‌ای جارو می‌شود. با جابه‌جاکردن سوزن هنگام چرخش، می‌توان مساحت را کاهش داد. چند سال بعد، آبرام بِسیکوویچ نتیجه‌ای شگفت‌انگیز به دست آورد: در نسخهٔ انتزاعی مسئله، مجموعه‌ای از پاره‌خط‌ها که در همهٔ جهت‌ها قرار دارند، می‌تواند مساحت صفر داشته باشد. این جمله در نگاه نخست ناممکن به نظر می‌رسد. چگونه مجموعه‌ای که خطی در هر جهت دارد، هیچ مساحتی ندارد؟ پاسخ در این است که مساحت، تنها یکی از شیوه‌های سنجش بزرگی مجموعه است. پاره‌خط‌ها را می‌توان با جابه‌جایی‌های هوشمندانه، بارها روی هم انداخت؛ اما این هم‌پوشانی به معنای فروکاستن همهٔ آن‌ها به یک خط نیست. جهت‌ها همچنان متنوع‌اند. از همین‌جا پرسش واقعی پیدا می‌شود: چنین مجموعه‌ای چندبُعدی است؟

بُعد را چگونه اندازه می‌گیریم؟

یکی از راه‌های عملی، پوشاندن شکل با جعبه‌های کوچکِ هم‌اندازه است. اگر پهنای هر جعبه را با r نشان دهیم، برای پوشاندن یک پاره‌خط تقریباً به $1/r$ جعبه نیاز داریم؛ برای یک ناحیهٔ دوبعدی تقریباً به $1/r^2$ و برای یک جسم سه‌بعدی به $1/r^3$. توانِ r، نشانه‌ای از بُعد است. در فراکتال‌ها این توان می‌تواند عددی غیرصحیح باشد؛ زیرا با بزرگ‌نمایی، ساختار تازه‌ای آشکار می‌شود. حدس کاکیا می‌گوید اگر مجموعه‌ای در فضای nبعدی، پاره‌خطی در هر جهت داشته باشد، بُعدش باید دقیقاً n باشد؛ حتی اگر اندازهٔ معمول آن، مانند مساحت یا حجم، صفر باشد. حالت دوبعدی در دههٔ ۱۹۷۰ حل شده بود. مسئلهٔ سه‌بعدی، با وجود دهه‌ها کوشش، باز ماند.



بُعد فرکتالی

چرا یک مسئلهٔ هندسی به امواج مربوط می‌شود؟

اهمیت کاکیا فقط در عجیب‌بودن مجموعه‌هایش نیست. این مسئله با تبدیل فوریه و تحلیل هارمونیک پیوند عمیق دارد. تبدیل فوریه به ما اجازه می‌دهد یک سیگنال را به موج‌های ساده‌تر با بسامدها و جهت‌های گوناگون تجزیه کنیم. پرسش اساسی این است که موج‌هایی که طول موج یکسان، اما جهت‌های متفاوت دارند، هنگام برهم‌نهی تا چه حد می‌توانند در یک ناحیه متمرکز شوند. هر موج را می‌توان به‌صورت مفهومی درون یک لولهٔ باریک تصور کرد. اگر لوله‌های جهت‌دار بتوانند بیش از اندازه روی هم بیفتند، انرژی سیگنال نیز می‌تواند به‌شدت متمرکز شود. حدس‌های محدودیت فوریه و هموارسازی موضعی می‌گویند چنین تمرکزی محدود است. به همین دلیل، پیشرفت در کاکیا، هم‌زمان چند مسئلهٔ مرکزی در آنالیز را بیان می‌کند. پاره‌خط در هندسه، لولهٔ باریک در مدل مقیاسی، و موج جهت‌دار در تحلیل فوریه، سه زبان برای دیدن یک پدیده‌اند: اشیایی با جهت‌های متفاوت تا چه اندازه می‌توانند در یک ناحیه روی هم جمع

شوند؟ هر پاسخ دقیق، هم هندسهٔ مجموعه را محدود می‌کند و هم امکان تمرکز سیگنال را.



«مسائلِ کاکیا» که وانگ بر آن‌ها متمرکز است، به آنالیز هارمونیک، نظریهٔ اندازهٔ هندسی و معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی پیوند خورده‌اند و همچنین به نظریهٔ اعداد، ترکیبیات و حوزه‌های دیگر راه باز کرده‌اند.

از کارآموزی در ام‌آی‌تی تا مسائل بزرگ آنالیز

در سال ۲۰۱۳، وانگ در یک دورهٔ پژوهشی در مؤسسهٔ فناوری ماساچوست، سخنرانی لری گات را شنید. گات دربارهٔ مسئلهٔ فاصله‌های متمایز اردوش و راه‌حل خود با نِتس کاتز سخن می‌گفت. وضوح توضیح او باعث شد وانگ احساس کند می‌تواند بخشی از اثبات را واقعاً بفهمد. این احساس، شاید بیش از هر تشویق رسمی، او را به پژوهش نزدیک کرد. سال بعد وارد دورهٔ دکتری ام‌آی‌تی شد و گات را به‌عنوان استاد راهنما برگزید. خیلی زود در مسائل هندسهٔ برخورد، فالکونر، محدودیت فوریه و هموارسازی موضعی پیشرفت کرد. توانایی او تنها در فراگیری سریع یک ابزار نبود؛ روش‌ها را از حوزه‌ای به حوزهٔ دیگر منتقل می‌کرد و در جایگاهی به کار می‌گرفت که سازندگان اولیهٔ آن ابزارها نیز لزوماً پیش‌بینی نکرده بودند. در سال ۲۰۱۹، همراه با گات و روی‌شیانگ ژانگ، حالت دوبعدی حدس هموارسازی موضعی را حل کرد. سپس در مؤسسهٔ مطالعات پیشرفتهٔ پرینستون دورهٔ پسادکتری را گذراند، در دانشگاه کالیفرنیا در لس‌آنجلس به عضویت هیئت علمی درآمد و در سال ۲۰۲۳ و تنها یک ماه پس از پیوستن به دانشگاه نیویورک، همراه کوین رن، حدس مجموعهٔ فورستنبرگ در بُعد دو را اثبات کرد؛ نتیجه‌ای دیگر در همان منظومهٔ مسائل مربوط به جهت، برخورد و بُعد.

مجموعه‌های چسبناک و دشمن اصلی

وانگ در دوران همه‌گیری، توجهش را به حالت سه‌بعدی کاکیا معطوف کرد. مسئله سابقه‌ای طولانی از تلاش‌های ناکام داشت و حتی چند بار ادعای اثبات آن مطرح و سپس رد شده بود. او نوشته‌ای از ترنس تائو دربارهٔ راهبردی قدیمی از تائو و کاتز خواند و با جاشوا زال تماس گرفت. آن دو تصمیم گرفتند ببینند آیا می‌توان این مسیر را تا پایان برد. منطق کلی، برهان خلف بود. فرض می‌کنیم مجموعه‌ای کاکیا در سه‌بعد وجود دارد که بُعدش کمتر از سه است. چنین مثال فرضی باید به‌قدری فشرده و منظم باشد که بتوان لوله‌ها را با کارایی بسیار بالا در کنار هم قرار داد. سپس می‌کوشیم نشان دهیم همین نظمِ بیش از حد، با قضیه‌هایی در جمع‌وترکیب و هندسه ناسازگار است.



هونگ وانگ : «تصمیم گرفتم دیگر نگران این نباشم که خوب هستم یا نه، فقط روی بهتر فهمیدن کار کنم.»

بخش نخست اثبات به مجموعه‌های «چسبناک» مربوط بود. در چنین مجموعه‌هایی، پاره‌خط‌ها یا لوله‌هایی با جهت‌های نزدیک، تمایل دارند در فضا کنار هم بمانند. این چسبندگی باعث می‌شود بتوان لوله‌ها را در مقیاس‌های درشت‌تر به صورت دسته‌ها یا صفحات باریک دید. وانگ و زال ابتدا ثابت کردند همین مجموعه‌های ظاهراً خطرناک نیز سه‌بعدی‌اند. اما آیا هر ضدنمونهٔ احتمالی ناگزیر چسبناک است؟ این پرسش دشوارتر بود. آن‌ها یک مجموعهٔ فرضی با بُعد $x-۳$ را بررسی کردند و تعداد لوله‌هایی را که از ناحیه‌ای کروی در یک مقیاس میانی می‌گذشتند سنجیدند که اگر این تعداد از یک کران مشخص بیشتر بود، مجموعه که پیش‌تر سه‌بعدی‌بودن آن ثابت شده بود، چسبناک محسوب می‌شد، و اگر کمتر از آن کران مشخص بود، مجموعه غیرچسبناک و در آن صورت تحلیل نشان می‌داد که بُعد آن از مقدار فرض‌شده $x-۳$ بیشتر است. به این ترتیب، هر دو حالت ممکن به تناقض می‌رسید. این استدلال را می‌شد برای مقدارهای کوچک‌تر و کوچک‌ترِ x تکرار کرد تا هیچ فاصله‌ای میان بُعد مجموعه و عدد سه باقی نماند. وانگ می‌گفت منطق اثبات را در

ذهنش به‌صورت تبدیل لوله‌ها به تخته‌ها و سپس ورقه‌هایی می‌دید که سرانجام کل حجم را پُر می‌کنند. رسیدن به این تصویر یک چیز بود؛ نوشتن آن به شکلی که صدها جزئیات فنی و استقرایی بی‌نقص کنار هم بنشینند، یک سال دیگر زمان برد.

موفقیت، تردید را یک‌باره خاموش نمی‌کند

تصویر بیرونی زندگی وانگ، زنجیره‌ای از موفقیت‌های سریع است: نتایج بزرگ، کرسی دانشگاهی، جایزه‌های معتبر و سپس مدال فیلدز. اما تجربهٔ درونی او با این خط رو به بالا هم‌خوان نبود. هر نتیجه را تا حدی به بخت نسبت می‌داد و همچنان خود را کسی می‌دید که باید بیش از دیگران کار کند تا هم‌سطح آنان باشد. این بخش از روایت اهمیت ویژه‌ای دارد. در فرهنگ عمومی، نابغه معمولاً کسی است که بی‌تردید و بی‌درنگ راه درست را می‌بیند. اما در پژوهش واقعی، قدرت علمی اغلب با حساسیت شدید نسبت به خطا همراه است. تردید، اگر فلج‌کننده نشود، می‌تواند سازوکاری برای کنترل کیفیت باشد. وانگ اثبات خود را یک سال دیرتر اعلام نکرد چون چیزی نمی‌دانست؛ چون به‌خوبی می‌دانست در مسئله‌ای با این سابقه، کوچک‌ترین ابهام چه وزنی دارد. او با انضباطی کم‌نظیر کار می‌کند و بسیاری از سرگرمی‌های وقت‌گیر را کنار گذاشته است. بااین‌حال، دوستی، یوگا و پیاده‌روی‌های صبحگاهی را حفظ کرده است. این‌ها برایش نه زینت زندگی، بلکه راهی برای تحمل فشار پژوهش‌اند.



پیاده‌روی‌های صبگاهی به وانگ کمک می‌کند با فشار و خودتردیدیِ همراه پژوهش ریاضی کنار بیاید.

پس از جام مقدس چه می‌ماند؟

حل حالت سه‌بعدی کاکیا، فضای یک شاخه را تغییر داد. مسئله‌ای که برای نسل‌ها هدفی مرکزی بود، اکنون در سه‌بعد بسته شده است؛ اما این پایان کار نیست. حدس در ابعاد بالاتر باز است. مسائل محدودیت فوریه و هموارسازی موضعی در سه‌بعد نیز همچنان مقاومت می‌کنند. از سوی دیگر، ابزارهای ساخته‌شده در اثبات وانگ و زال، خود می‌توانند به مسائل تازه راه پیدا کنند. یکی از ویژگی‌های نتایج بزرگ همین است: پاسخ، پرسش‌ها را کم نمی‌کند؛ شکل آن‌ها را تغییر می‌دهد. پیش از اثبات، مسئله این بود که آیا هر مجموعهٔ کاکیا در سه‌بعد بُعد کامل دارد. پس از اثبات، پرسش‌ها به این سمت می‌روند که چه بخش‌هایی از روش به چهار بعد منتقل می‌شوند، کدام موانع تازه پدید می‌آیند و آیا می‌توان نظریه‌ای عمومی برای همهٔ ابعاد ساخت. برای وانگ، چالش دیگری نیز وجود دارد: چگونه می‌توان در جهان ریاضیات تمام‌قد زیست، بی‌آنکه همهٔ فضای زندگی را فقط ریاضیات اشغال کند؟ عنوان گزارش وولچوور نیز از همین تنش نیرو می‌گیرد. وانگ از استادش لری گات می‌بیند که هنوز برای مطالعهٔ غیردرسی وقت پیدا می‌کند و آرزو دارد دوباره حس کودکی را تجربه کند؛ زمانی که گویی برای خواندن، فرصت بی‌پایانی وجود داشت.



هونگ وانگ پیش از مدال فیلدز نیز در چین چهره‌ای شناخته‌شده بود؛ جایزه، دامنهٔ توجه عمومی و فشارهای همراه آن را افزایش می‌دهد.

چند درس از زندگی و کار هونگ وانگ

نخستین درس، اهمیت فهم روشن است. وانگ بارها نشان داده که برای او حل مسئله با نوشتن آخرین سطر پایان نمی‌یابد. برهان باید بتواند از ذهن سازنده‌اش بیرون بیاید و در ذهن ریاضی‌دان دیگری دوباره ساخته شود. این وسواس در بیان، بخشی از خودِ ریاضیات است، نه کاری ویرایشی پس از پایان آن. دومین درس، ارزش جابه‌جایی میان حوزه‌هاست. او ابزارهای نظریهٔ اندازهٔ هندسی، آنالیز چندمقیاسی، هندسهٔ برخورد و جمع‌وترکیب را در مسئله‌ای گرد آورد که با هیچ ابزار منفردی تسلیم نمی‌شد. پژوهش خلاق اغلب نه از

اختراع چیزی کاملاً بی‌سابقه، بلکه از دیدنِ جای تازه‌ای برای یک ایدهٔ شناخته‌شده آغاز می‌شود. سومین درس، نقش تردید است. اعتمادبه‌نفس در علم به معنای نبود شک نیست؛ توانایی ادامه‌دادن با وجود شک است. وانگ سال‌ها با این احساس کار کرده که شاید به‌اندازهٔ کافی خوب نباشد، اما تصمیم گرفته بود سنجهٔ اصلی را از «خوب‌بودن» به «بهتر فهمیدن» منتقل کند. شاید همین تغییر کوچک، یکی از ریشه‌های بزرگ‌ترین نتیجهٔ او بوده باشد. و سرانجام، مسئلهٔ تعادل است. جامعهٔ علمی معمولاً از تمرکز و فداکاری تمجید می‌کند، اما موفقیت بزرگ می‌تواند همان زمان و خلوتی را که برای پژوهش لازم بوده، از پژوهشگر بگیرد. دعوت‌ها، سفرها، مصاحبه‌ها و جایزه‌ها، همگی نشانهٔ اعتبارند؛ بااین‌همه، ریاضیات در سکوتی شکل می‌گیرد که شهرت به‌آسانی آن را برهم می‌زند. آیندهٔ وانگ فقط در حل مسئلهٔ بعدی خلاصه نمی‌شود؛ در یافتن شیوه‌ای برای حفاظت از این سکوت نیز هست.

سخن پایانی

روایت هونگ وانگ، از آن دست روایت‌هایی است که واژهٔ «نابغه» را هم تأیید می‌کند و هم به پرسش می‌گیرد. بی‌تردید استعداد او استثنایی است؛ اما آنچه در متن پررنگ‌تر دیده می‌شود، شیوهٔ زیستن با استعداد است: صبر در برابر نفهمیدن، فروتنی در برابر مسئله، شجاعت عبور از مرز رشته‌ها و سخت‌گیری در برابر نوشتهٔ خود. مسئلهٔ کاکیا می‌پرسد مجموعه‌ای از خط‌ها که در همهٔ جهت‌ها کشیده شده‌اند، واقعاً چه اندازه فضا اشغال می‌کند. زندگی وانگ نیز در سطحی انسانی، پرسشی نزدیک را پیش می‌کشد: انسانی که ذهنش در همهٔ جهت‌های ریاضیات امتداد یافته، چگونه برای دوستی، آرامش، خواندن و خودِ زندگی نیز فضا نگه می‌دارد؟ اثبات سه‌بعدی کاکیا اکنون قطعی است. پاسخ پرسش دوم، مانند بسیاری از مهم‌ترین مسائل زندگی، هنوز در حال ساخته‌شدن است.

[1] Natalie Wolchover, “Living Fully in the Math World Means Threading the Needle,” *Quanta Magazine*, 23 July 2026.

[2] Hong Wang and Joshua Zahl, “Volume estimates for unions of convex sets, and the Kakeya set conjecture in three dimensions,” arXiv:2502.17655, 2025, 127 pages.

[3] International Mathematical Union, “Fields Medals 2026” and “Fields Medal: Statutes and Laureates,” 2026.

[4] NYU Courant Institute, “Hong Wang Wins the Fields Medal,” 23 July 2026.

[5] Institut des Hautes Études Scientifiques, “Hong Wang, mathematician,” profile and research biography, 2026.

[6] S. Kakeya, historical formulation of the needle problem, 1917; A. S. Besicovitch, constructions of plane sets containing a unit segment in every direction. For a modern overview, see standard surveys in harmonic analysis and geometric measure theory.

* دانشگاه ملایر