

أريگامی: هنر ویرة ریاضیدانان، پیتر انگل، دانشمند، سال ۲۸، شماره ۱، فروردین ۱۳۶۹، ص

آریگامی: هنر ویژه ریاضیدانان



مختلف انواع مار را که دیده بودم پیش خود تجسم کردم و به جستجوی خصوصیات برجسته آنها پرداختم. مار چه کاری می‌کند که بقیه حیوانات نمی‌کنند؟ به عبارت دیگر مارها به اعتبار چه چیزشان مار هستند؟ فکر کردم: خوب، مارها می‌خزند، پیچ و تاب می‌خورند، از درخت آویزان می‌شوند، حمله می‌کنند و چنبره می‌زنند. به نظرم رسید هیچ حیوان دیگری نیست که چنبره بزند. خلاصه، تصمیم گرفتم ماری درست کنم که چنبره زده باشد.

در جستجوی یافتن راه حل بودم و شکلهایی در ذهنم نقش می‌یست. یک کاغذ مربع شکل شناور در فضا پیش چشم ظاهر شد. روی مربع نقشی به صورت خطهای افقی وجود داشت. در ذهن خود، مربع را خم کرده به صورت لوله درآوردم. خطهای افقی به صورت حلقه‌هایی موازی درآمدند که طول لوله را می‌پوشاندند. بار دیگر مربع را خم کرده به صورت لوله درآوردم ولی

بیش از آنکه خودم راهی برای ساختن مار زنگی به‌روش کاغذوتا (اریگامی) ابداع کنم. فقط یک راه برای درست کردن مار بلند بودم. ده‌ها مدل، مختلف مار کاغذی قبلاً طراحی شده بود که از لحاظ زیبایی کم‌وبیش همانند بودند. دوستداران کاغذ و تسا برای آنکه درازترین مار ممکن را با یک برگ کاغذ مربع شکل بسازند تنه مار را روی قطر در نظر می‌گرفتند و دو راس دیگر را به سمت داخل تسا می‌زدند تا پهنای تنه را کم کنند. راهش هم همین بود. تنه‌ها و چه‌تما پیرمدلهای مختلف تفاوت‌های جزئی در محل سر و دم آنها بود. به نظر نمی‌رسید راه دیگری در کار باشد.

وقتی دیدم این مارهای کاغذی مختلف کم‌وبیش شبیه یکدیگرند، به فکر افتادم خودم هم یک نوع از آن را ابداع کنم. در یک مورد تصمیم قطعی گرفته بودم: مار من باید با بقیه مارها فرق داشته باشد. اما برای خودم روشن نبود که این تفاوت در چه باید باشد. شکلهای

مثلاً، گیرنده، مزه، شیرین به یک گیرنده محدود نمی‌شود. چه بسا ما برای تمامی احساسهای چشایی خود بیش از ده گیرنده مختلف داشته باشیم، ولی هر مولکول می‌تواند با چند گیرنده بیش و کم سازگاری داشته باشد. به عبارت دیگر هر گیرنده باید با مولکول‌های مختلفی برهم‌کنش داشته باشد تا بتواند اطلاعاتی متفاوت برای هر مولکول طعمدار را رمزگذاری کند. این ترکیبات مختلف، تصاویر حسی متعددی به دست می‌دهند که ما برای همه آنها الزاماً نامی نداشته و نداریم و چون آرایش و ترکیب گیرنده‌ها هم در هر فرد متفاوت است، پس هر کس مزه را به ذائقه خود احساس می‌کند و به این ترتیب این ضرب‌المثل قدیمی فرانسوی با این مضمون که "بر سر مزه و رنگ نباید جدال کرد" (یعنی هر کس سلیقه‌ای خاص خود دارد) امروزه از نظر فیزیولوژیکی مصداق پیدا می‌کند. □

جدید را با استفاده از تجزیه حسی به کمک در حدود ده نفر می‌آزمایند. ولی باید دید که آیا این تعداد کم آزمون‌ده برای رسیدن به نتیجه؟ قطعی درباره مزه غذا کافی است؟

با توجه به اینکه ذائقه‌ها بسیار مختلف‌اند، در این زمینه هم آنیک فوریون چنین می‌گوید: "این، درست مثل این است که برای همه مردم به یک اندازه لباس بدوزند. اکنون دیگر می‌دانیم که برای خوشایند ذائقه‌های مختلف، باید از یک محصول انواع مختلفی تهیه کرد. البته این مربوط به آینده خواهد بود". واقعیت این است که گرچه آزمایشهای آنیک فوریون اطلاعات قابل استفاده‌ای در اختیار صنایع غذایی می‌گذارند، ولی به این زودبیا در این صنایع، کاربرد نخواهند داشت. آنچه اکنون باید بدان بپردازیم شناخت گنجایش نیروی تمیز حس چشایی است. آنیک فوریون می‌افزاید: "آنچه مسلم است این است که برخلاف آنچه مدت‌ها گمان می‌شد،

این بار لبه‌های مربع را به اندازه یک خط‌پس و پیش‌کردم. به جای حلقه‌های قبلی، یک مارپیچ دراز به وجود آمد که تمامی دورادور لوله را از پایین تا بالا می‌پیمود. الگو باز هم تغییراتی کرد؛ لبه‌ها به هم وصل شد و از دو طرف مارپیچ یک سر و یک دم بیرون آمد. مار من حاضر شده بود. بخش ذهنی کار انجام شده بود. این مرحله دو یا سه ثانیه طول کشید.

بقیه کار، یعنی اجرای عملی آن دو ماه صرف وقت لازم داشت.

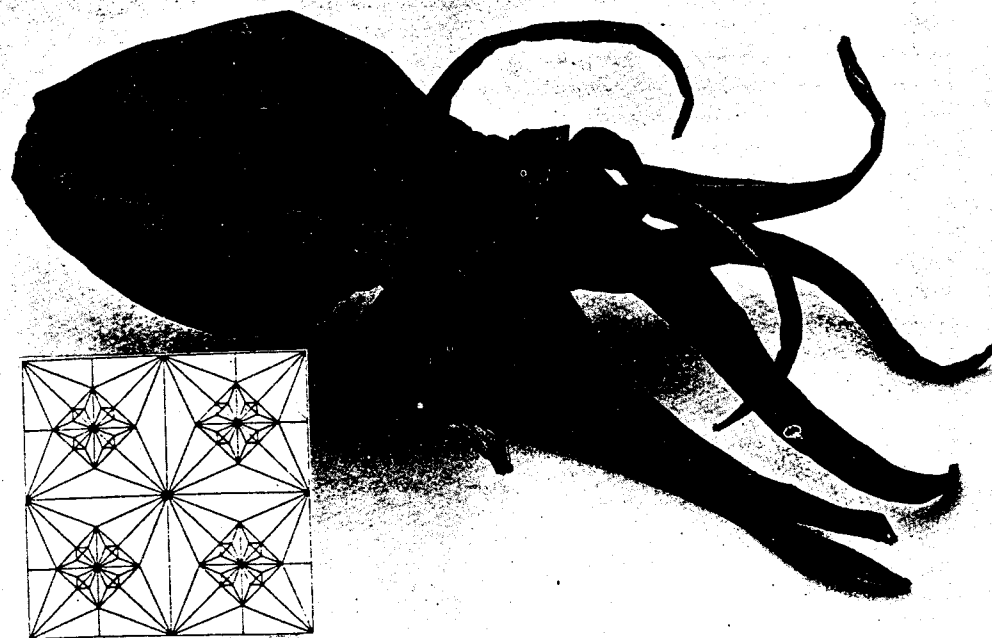
هر کس که اولین بار کارهای کاغذ و تای مرا ببیند تعجب می‌کند. طرف انتظار فایق یا فنجان ساده‌ای را دارد ولی شکلی حاصل از کاغذ و تاس می‌بیند که فوق‌العاده پیچیده است و ساختنش ناممکن جلوه می‌کند. پروانه‌ای با چهار بال، شش پا، دو شاخک، یک سر و یک دم، که بدون هیچ گونه برش یا چسباندن ساخته شده است. موضوع شک برانگیز است. جنگجوی سیاه‌رنگی سوار بر اسب سفید، فقط از یک برگ کاغذ؟ امکان ندارد. مار رنگی نود سانتی متری از یک کاغذ مربع بیست و پنج سانتی متری؟ غیر ممکن است!

با تازنی درون‌بر مبنای قورباغه، توانستم هشت‌پا و مرکب ماهی درست کنم. با دوبار تازنی درون‌بر آن، خرچنگ ساختم

این موجودات مهیب به صورت حاضر و آماده در ذهنم ظاهر نشدند، بلکه حاصل هفته‌ها، ماه‌ها و حتی سال‌ها کار پیگیر بودند که گهگاه موجی از الهام، جان تازه‌ای در آن می‌دمید. من برای ایجاد مدلهایی به این پیچیدگی، به سنت دیرینه‌ای در هنر کاغذ و تاس متوسل شدم که عبارت بود از: افزودن لایه به لایه پیچیدگی روی شکلهایی که ژاپنیهای عهد باستان ابداع کرده بودند.

ژاپنیها بیش از هزار سال قبل هنر کاغذوتا را ابداع کردند و به عنوان یک بدیده برخاسته از بطن فرهنگ خود، آن را به اصول زیبایی‌شناسی مجهز کردند. این کار در حکم پروراندن هنری "بدون شرح" و صرفاً متکی به الاء احساس بود.

طراحی هشت‌پا چند ساعتی بیش طول نکشید، تقارن هشتگانه پای‌های آن سبب می‌شود که کاغذ مربع شکل برایش مناسب باشد. مشکلترین قسمت، شکل دادن به چشمها و دهانه‌ای بود که هشت‌پا از آن مایعی به بیرون می‌افشاند



در هنر کاغذوتا، اندیشه بدون ابراز صریح بیان می‌شود و عواطف به‌طور تلویحی انتقال می‌یابند. بهترین تجلی آن در نوعی نور است که ژاپنیها آن را "که" می‌نامند. نوری ملایم و آرام برای اوقاتی که در صمیمیت سپری می‌شود. وقتی در نور ملایم هم می‌توان دید چه نیازی به نور خیره کننده؟ وقتی می‌توان نجوا کرد چه نیازی به بانگ برآوردن؟ درست همان‌طور که یک "هایکو" "ی" سه خطی حالتی درونی یا سیمای یک فصل را زنده می‌کند و قرار گرفتن صخره‌ای و برکه‌ای در یک باغ ژاپنی، عالم وجود را تداعی می‌کند. تخیل انسان با خیزشی کوتاه از صخره به کوهسار و از برکه به دریا می‌رسد.

در هنر کاغذوتا هم همین امساک وجود دارد. چند چین ساده کاغذ، حیوانی را مجسم می‌کند؛ با اندک تغییری در مراحل پیاپی کار، جانور دیگری ظاهر می‌شود. از دید تیزبین ژاپنی، موفقیت یک موجود نهایی حاصل از کاغذوتا بستگی دارد به قدرت چشم سازنده در تشخیص شکل، ساختار و تناسب. آیا منعکس‌کننده شکل حقیقی موجود مورد نظر هست؟ سر و دست و پا یا بال‌ها در جای درست قرار گرفته‌اند؟ حالت شانه و کفل خوب درآمده است؟ حرکت جانور از آن هم سر می‌زند؟ می‌تواند گام بردارد، بلغزد یا تاخت بزند؟ و بالاخره فقط با موضوع شباهت ظاهری دارد یا از آن فراتر رفته خصوصیات ذاتی جانور را هم منعکس می‌کند؟

کاغذوتا در آمریکا بیشتر سرگرمی بچه‌هاست، و رنگ هنر به خود نگرفته است. نسل‌های متوالی شاگردان آمریکایی با کاغذ شکلهایی از قبیل بمب دریایی، فالگیر، پرند، بال زن و قورباغه جهنده ساخته‌اند. ولی حاصل کار کودک را - بخصوص اگر از جنس بی‌دوامی مثل کاغذ باشد - بدشواری می‌توان هنر به شمار آورد، چرا که هویت چندان مشخصی ندارد و ارزش اقتصادی چندانی برخوردار نیست. اینجا کاغذ را برای دورریختن می‌سازند؛ همیشه بیش از حد نیاز درخت هست، ولی در ژاپن اوضاع به قرار دیگری است و ای بسا که کاغذ بسته‌بندی هدیه از خود هدیه ارزشمندتر است.

چندین قوطی پراز نمونه‌هایی داشتم که تا حدی شبیه یک جانور بودند و کپه‌ای از کاغذ باطله که چندین درخت برای تولید آن مصرف شده بود

در این کشور به جای هنرمندان، ریاضیدانان بودند که به هنر کاغذوتا روی آوردند. بعدها دانشمندان، مهندسان و معماران نیز با این مشغله درگیر شدند. در دهه ۱۹۵۰ معیارهای تازه‌ای در زیبایی‌شناسی مطرح شد که ریشه در هندسه داشت. منبع الهام حس زیبایی‌شناسی در ریاضیدانان، جهانی‌آرمانی‌آکنده از نظم و ترتیب و نقشهای انتزاعی است. در اینجا زیبایی در سادگی و اقتصادی بودن خلاصه می‌شود؛ ایجاز یک برهان، فشردگی یک بلور، و تقارنی که در یک نقش کاشیکاری جلوه‌گر می‌شود مصداق این برداشت است.

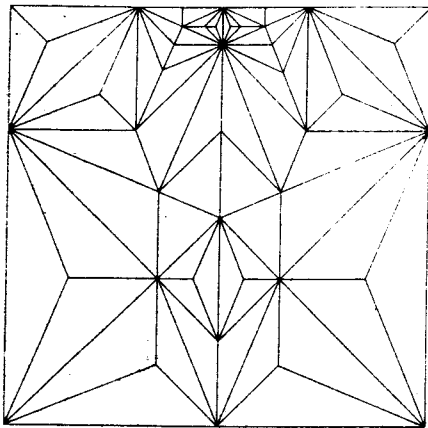
از دیدگاه ریاضیدانان، زیبایی کاغذوتا در سادگی مبنای هندسی آن است. درون هر تکه کاغذ بکر، نقشه‌هایی هندسی و ترکیب‌هایی از زاویه‌ها و نسبت‌ها نهفته است که طلسم تبدیل کاغذ به شکلهایی جالب و متقارن است. ریاضیدان از خود می‌پرسد: آیا در طرح نهایی همه امکانات هندسی به کار گرفته شده است؟ آیا شیوه تازدن ظریف و ابتکاری است؟ خطوط مشخص هستند؟ تاهای کاغذ فشرده‌اند؟ نسبت‌ها ساده و منظم‌اند؟ آیا چیزی از کاغذ هدر نرفته است؟ شکل نهایی زیاد قطور نشده؟ هر تازدنی حتماً لازم بوده؟ و بالاخره آیا در هر مرحله گامی به جلو برداشته شده است؟

در محصولی حقیقی از کاغذوتا، معیارهای زیبایی‌شناسی، ریاضیدان و هنرمند یکجا جلوه‌گر می‌شود. هر شکل از یک تکه کاغذ مربع بدون استفاده از برش پدید آمده است. موجود کاغذی از لحاظ اندام شناسی دقیق است - خواستی که در آمریکا ونه در ژاپن مطرح است - با این حال، همه چیز به همین ظاهر ختم نمی‌شود. شیوه‌های

۱. نوعی شعر کوتاه رایج در ژاپن که از لحاظ ایجاز و قدرت بیان احساس و تصویر پردازی سریع و کامل، آن را با دوبیتی‌های فارسی و بایاتی‌های آذربایجانی می‌توان مقایسه کرد.

منظم و نسبت‌های ساده‌اند. نقش‌هایی برجسته از این نمونه‌ها مشخصتر، شسته رفته‌تر و زیباتر از خطوط باقی مانده بر کاغذهای باطله بود. شبکه‌ای از خط‌ها، شکلهایی هندسی با سادگی و تقارن چشم نواز پدید می‌آوردند؛ شکلهایی که در آغاز فاقد هر گونه مبنای ریاضی به نظر می‌رسیدند، پس از مدتی کنکاش به صورت مجموعه‌ای از شکلهای ساده‌تر درمی‌آمدند. برگ‌های کاغذ تسلیم فشار انگشتانم شده بودند و به صورت شکل فشرده‌تری از کاغذ تا خورده درمی‌آمدند

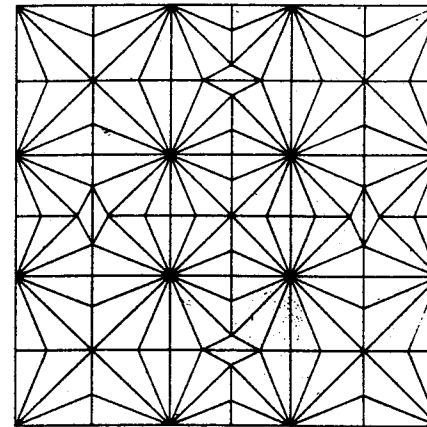
فیل



گرچه طراحی تنه و پاهای فیل تقریباً فوری انجام گرفت، شکل دادن به گوشها، دندانه‌ها و "انگشتها"ی موجود در انتهای تنه بیش از دو سال طول کشید

می‌دانم که هر هنرمندی دوره‌های بحران و رکود خاص خود را دارد. اما بزرگترین هنرمندان آنهایی هستند که تا بروز گشایشی در کار خود از پای نمی‌نشینند. آیا من هم مثل آن هنرمندان در جستجوی منبع الهام بودم؟ اصلاً آیا من هم هنرمند بودم؟ آیا کاغذ و تا را می‌توان هنر نامید؟ دچار سرگشتگی شده بودم. در همه کتابها بی استثنا، ساختن نمونه‌های کاغذی، "هنر باستانی ژاپن" خوانده شده بود ولی من احساسی همانند ریاضیدان یا دانشمند داشتم که خود را کاشف می‌داند، نه خالق. هیچ وقت حس نمی‌کردم که این نمونه‌ها از اعماق درون خودم سرچشمه می‌گیرند، در حالی که به نظم می‌رسید شراره الهام هنرمندان از اعماق درون خودشان برمی‌خیزد. قصدم ابداع شکلهای هنرمندانه جدید نبود. بلکه وقتی مدت زیادی با یک برگ کاغذ روم‌ی‌رفتم و سرانجام ماهی، پرند یا زرافه‌ای ظاهر می‌شد احساس می‌کردم با شکلهایی روبه‌رو شده‌ام که سالها در خواب آرمیده بودند. من نهایتاً کاورده خوش‌شانسی بودم که پرده از رویشان کنار می‌زد.

این احساس با نکته مهمی که در ایام شکوفایی کارم دریافته بودم وفق می‌کرد. به نقش‌هایی که روی کاغذ پدید آمد دقت کرده بودم. مقایسه یک مشت نمونه کارهای تکمیل شده‌ام با حجم عظیم کاغذهای دور ریختنی، حاکی از آن بود که نمونه‌های موفق ناگزیر حاوی زاویه‌های



پروانه

سرچشمه، تخلیم رو به خشکیدن گذاشت. نمونه‌هایی که با الگوهای معمولی ساخته می‌شد دیگر برایم جذابیتی نداشت. به نظرم می‌رسید که میراث هزار ساله هنر ژاپنی کاغذوتا تکراری و بی‌لطف شده است. آیا ممکن بود که قابلیت تنوع‌پذیری مربع با این چهار مبنای اصلی ساده ته کشیده باشد؟ آیا این تمامی چیزی بود که کاغذوتا در چنته داشت؟ کم‌کم حوصله‌ام سر رفت و دلزده شدم (دیگر در فکر تهیه فهرستی از حیوانات برای ساختن آنها نبودم). می‌ترسیدم که روزگار خوشبها را پشت گذاشته باشم. اوج کارم در ۱۴ سالگی بود، در ۱۵ سالگی کفگیرم به ته دیگ خورد. کارم به آخر رسیده بود. دست‌کم خودم این طور خیال می‌کردم.

تازدنی در آن به کار رفته که اغلب غیرقابل پیش‌بینی و در عین حال الزامی است و منطق حاکم بر آن تنها پس از تکمیل کار معلوم می‌شود. مثل خیلی دیگر از آمریکاییهایی که به این کار می‌پردازند، من هم از طریق ریاضیات به کاغذوتا جلب شدم. در ۱۳ سالگی اسباب‌بازیها و سرگرمیها معمایی را کنار گذاشتم و کاغذوتا را جایگزین آنها کردم. با همه صرف وقت و تلاشی که می‌کردم تا مسئله‌ای را حل کنم و شکل تازه‌ای بیافرینم، متوجه می‌شدم که قبلاً کسی در مدت زمان کمتری مسئله را حل کرده و شکل را ساخته است. داشتم مایوس می‌شدم. پس من هیچ وقت خودم چیزی را به طور کامل ابداع نخواهم کرد؟ با کشف هنر کاغذوتا مطلوب خود را یافته.

در اندک زمانی همه کتابهای کاغذوتا را که گیرم آمد خواندم. دستورهای تا کردن کاغذ را برای ساختن بمب دریایی، پرند، بال زن و قورباغه جهنده دنبال کردم و سپس مرحله بعدی فرارسید که خودم آنها را می‌ساختم و اصلاح می‌کردم. وقتی بر همه نمونه‌های سنتی مسلط شدم شروع کردم به ابداع شکلهایی که قبلاً هیچ‌جا ندیده بودم. چیزهایی که خودم می‌ساختم خیلی هم بدیع نبود. طرحهای من هم مثل نمونه‌های سنتی بر اساس شکلهایی ساخته می‌شد که آنها را چهار مبنای اصلی می‌نامم. در هنر کاغذوتا مینا عبارت از شکلی هندسی است که بر اساس آن، نمونه‌های مختلفی می‌توان ساخت. ژاپنیها چهار نوع مینا دارند که به ترتیب مینای بادبادک، مینای ماهی، مینای پرند و مینای قورباغه نامیده می‌شوند. هر مینا گوشه‌های خاصی دارد که می‌توان آنها را به شکل اندامی از یک حیوان درآورد: سر، گردن، بازو، ساق، بال، شاخ یا شاخک. مینای بادبادک یکی از این گوشه‌ها را دارد، مینای ماهی دوتا، مینای پرند چهارتا و مینای قورباغه پنج تا. با استفاده از این چهار مبنای اصلی توانستم دهها شکل مختلف شامل کوسه ماهی، مرغ مکس‌خوار، پنگوئن و زرافه بسازم. چندین قوطی پر از نمونه‌هایی داشتم که تا حدی شبیه یک جانور بودند (فیلی با سه پا، کرگدنی بدون شاخ) و کپه‌ای از کاغذ باطله که چندین درخت برای تولید آن مصرف شده بود. سرانجام به مرحله‌ای رسیدم که می‌توانستم طرحهای کاملی را مستقلاً ابداع کنم.

سپس در گرماگرم ابداع نمونه‌های گوناگون،



عناصر از لحاظ اندازه در مرتبه‌های مختلف ظاهر می‌شدند، متوالیا با هم ترکیب می‌شدند، در یکدیگر بُر می‌خوردند ولی همیشه هویت اصلی خود را حفظ می‌کردند. این عناصر در اندازه‌های درسته، نصفه، یک چهارم، یک هشتم و همچنین اندازه‌های دو برابر، چهار برابر و هشت برابر ظاهر می‌شدند. از آنجا که شکل ظاهری مستقل از مقیاس است، این خاصیت نقشها را "خودمانایی" یا ویژگی مقیاسی نامیده‌اند.

شگفت‌انگیز اینکه خیلی چیزها و فرایندها این ویژگی را دارند. کهکشانها، تشکیل دهنده‌ها، خوشه‌ها و ابرخوشه‌ها و شاید حتی، "مجتمعهای خوشه‌ای" هستند. رودها به نهرها منشعب می‌شوند، نهرها به جویها و جویها به جریانهای که مراتب کوچکتر و کوچکترند. درشها، رگهای خونی ۱۵ بار به شاخه‌های "خودمانای" کوچکتری منشعب می‌شوند تا سرانجام به صورت مویرگ درمی‌آیند و "خودمانایی" به پایان می‌رسد. پدیده‌آشوب نیز خودماناست: در اقیانوس، گردابهای بزرگتر گردابهای کوچکتر را پدید می‌آورند و در جو، جریانهای باد جریانهای کوچکتر را تولید می‌کنند. نمونه‌های دیگری از این دست نیز می‌توان برشمرد.

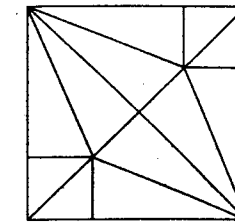
خودمانایی نشانه‌آن است که فرایندی ساده و تکرار شونده در کار است. هر فرایند تکراری سازواره (مکانیسم) کارآمدی برای تولید شکل و ایجاد ساختارهایی پیچیده با صرف حداقل انرژی و اطلاع است. در هر فرایند تکراری خاص، عملی انجام می‌شود و نتیجه‌ای تولید می‌کند که آن را با x نشان می‌دهیم. سپس این نتیجه دوباره وارد فرایند می‌شود و نتیجه دیگری (x') تولید می‌کند که از وارد شدن آن در فرایند، "x تولید می‌شود، الی آخر. چنین فرایندی را در کل، یک "حلقه" پشخوراند" می‌نامند. در چهل ساله اخیر فرایندهای تکراری را بلورشناسان، یاخته شناسان تکامل‌گرا، کارشناسان ژنتیک و پژوهشگران هوش مصنوعی مورد بررسی دقیق قرار داده‌اند. طی سالهای اخیر، این گونه فرایندها موجب ظهور شاخه‌های نوین ریاضی از جمله هندسه بر خالها^۲ و نظریه آشوب شده‌اند. سالها پیش، از این پژوهشها بی‌خبر بودم. اما این نکته

با به کاغذ پاره مجالهای تبدیل می‌شدند که راهی برای ادامه تکرارنها و رسیدن به شکلی فشرده ارائه نمی‌کردند. با وجود همه کوشش برای ساختن نمونه‌های مبتنی بر تاهای تصادفی، هندسه علیه من شمشیر کشید و مرا سر جای خود نشاند. روشن بود که نقشها نوعی وجود "مستقل از ذهن انسان" دارند که بیشتر به امکانات نهفته در برگ کاغذ بستگی دارد تا به اندیشه من. خود را در حکم فیلتری برای یک قانون بی‌چون و چرای طبیعت احساس می‌کردم.

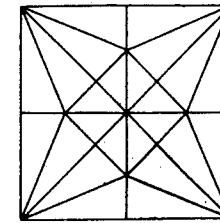
بتدریج، ضمن تامل در این باره به علت بروز این احساس پی بردم. مثل "نجیب‌زاده" بورژوازی مولیر که در همه عمرش لفظ قلم حرف می‌زد بی آنکه معنای آن را بفهمد، من هم با ریاضیات که زبان شکلیاست سخن گفته بودم. جهان پیرامون ما هندسی است. ترکیهای ایجاد شده در چینی همیشه یکدیگر را با زاویه ۹۰° قطع می‌کنند. گلبرگهای گل آفتابگردان، شاخهای بز کوهی و صدف حلزون دریایی، همه به صورت لگاریتمی رشد می‌کنند. ریاضیات می‌تواند تشکیل ابرها را (با توجه به تغییرات فشار جو) و انشعاب رودها را (بر اساس اندازه حرکت جریان آب و مقاومت زمین) تعیین کند. در زیر ضربات نیروهای پرتوان طبیعت، و در گیرودار نبرد بین انرژی و آنترپی، پدیده‌ها اشکال و ابعادی به خود می‌گیرند که آنها را قادر می‌سازد در برابر نیروهای فوق تاب بیاورند. این شکل پذیریها تابع قوانین ریاضی ساده‌ای است. هندسه همچون میانجی هوشمندی است که امکان سازش متقابل بین انرژی و آنترپی را فراهم می‌آورد.

کشف هندسه در طبیعت، حس اعتماد به نفس را در من زنده کرد. راستی چه می‌شد اگر منبع الهام را نه در درون خود بلکه در دنیای پیرامون خود جستجو می‌کردم؟ در بررسی طبیعت، با نقشهای موجود در آن مواجه شدم؛ نقشهایی پیچیده که شخص را به سوی نیروهای متضاد موثر بر پدیده‌ها هدایت می‌کنند. چقدر هم این نقشها زیبا بودند! اغلب، در اولین نگاه بی‌معنی و ناهماهنگ به نظر می‌رسیدند، اما با نگاهی دقیقتر، سادگی چشمگیر آنها جلوه‌گر می‌شد. هر شکل تنها از چند عنصر ساده تشکیل می‌شد. این

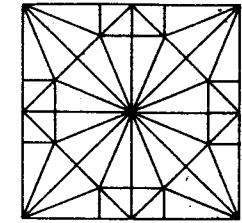
۲. برخال (فراکتال) نوعی نقش پیچیده خودماناست که به کمک رابطه ریاضی ساده‌ای که بیانگر یک فرایند تکراری است تعریف می‌شود.



مبنای ماهی



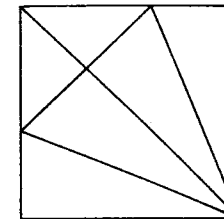
مبنای پرند



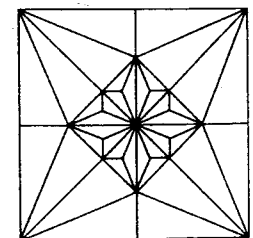
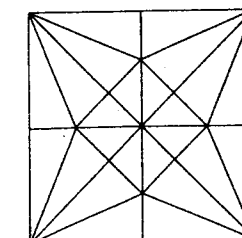
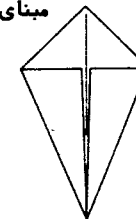
مبنای قورباغه



چهار مبنای اصلی (بادبادک، ماهی، پرند و قورباغه) با یکدیگر ارتباط هندسی دارند. نقش تازنی آنها در بالا دیده می‌شود

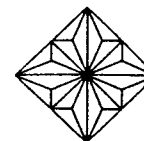


مبنای بادبادک



+

=



اساسی را از فرایندهای تکراری دریافتی بودم که: نیروهای ساده، نقشهای پیچیده تولید می کنند. زیبایی این نقشها ناشی از کارایی و صرفه جویی طبیعت است نه از بی میلانی و دست و دل بازی آن.

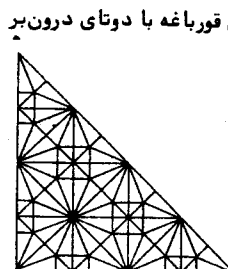
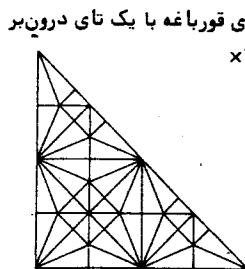
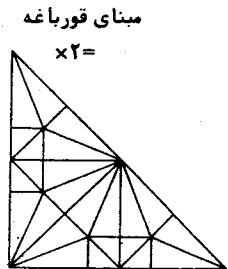
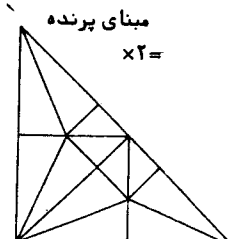
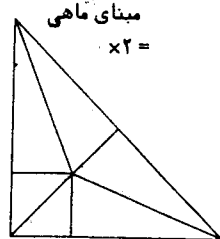
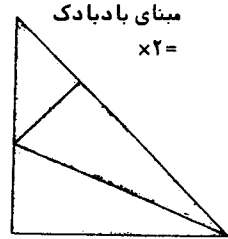
نیروهای ساده نقشهای پیچیده تولید می کنند. طبیعت به من آموخت که نقشها حاوی معنایی هستند. هر جا که نقشهایی ظاهر شوند، دست نیروهایی در کار است که این نقشها را پدید آورده اند. تاهای موجود در نمونه های کاغذوتای خود را واریسی کردم و وجود نقشها را در کاغذ عملاً مشاهده کردم. اکنون هنگام انتخاب فرارسیده بود. اگر می توانستم اصول طبیعت را در کاغذها به کار ببرم، قادر بودم نیروهای نهفته در کاغذ را مهار کنم و نقشهای تازه ای پدید آورم. آنگاه شکلهایی که تا کنون به چشم هیچ آدمیزادی نرسیده بود برای نخستین بار در اتاق من ظاهر می شد!

بهترین راه برای درک یک نمونه کاغذوتا ترسیم شکلی است که آن را "نقش تازنی" می نامم. برای تهیه نقش تازنی یک نمونه، تاهای کاغذ را باز کرده آن را به صورت کاغذ اولیه پهن کنید و شکل تاهای مهم آن را رسم کنید. ترسیم جزئیات لازم نیست و فقط تاهایی که نشان دهنده ویژگیهای هندسی نقش هستند کافی است. نقش تازنی بناگیز صورت انتزاعی یا تقلیل یافته شکلی پیچیده، به ساختار اساسی آن است.

با ترسیم نقش تازنی مربوط به چهار مبنای اصلی، موفق به کشف تصاعد جالبی شدم. ساده ترین مبنا، یعنی مبنای بادبادک از شش مثلث تشکیل می شود که دوتایشان از یک نوع و چهارتا از نوع دیگرند. یک مثلث کوچک و دو مثلث بزرگ، واحد تکرار شونده ای پدید می آورند. وقتی انواع پیچیده آنها پرداختم، بارها و بارها به همان عناصر ساده برخوردم. بالاخره به نکته تکان دهنده ای پی بردم: مبنای بادبادک از ۲ واحد نقش تشکیل شده است، مبنای ماهی از ۴ واحد، مبنای پرده از ۸ واحد و مبنای قورباغه از ۱۶ واحد! مثل باخته هایی که از تکثیر یک باخته پدید آیند شباهتشان با یکدیگر انکارناپذیر بود. تکرار این واحد نقش در مقیاسهای کوچکتر و کوچکتر الزاماً مبنای بادبادک را به مبنای ماهی تبدیل می کند، مبنای ماهی را به مبنای پرده و مبنای

پرده را به مبنای قورباغه می برد. زاپنیاها از این حد فراتر نرفته بودند. ولی به نظر من دلیلی برای متوقف کردن نقشها وجود نداشت. شیوه ساختن پیاپی مبناها نوعی حلقه پسخوراند است. مثلث قائم الزاویه، متساوی الساقینی اختیار کنید. در آن مطابق نسبتهای واحد نقش (مرکب از یک مثلث کوچک و دو مثلث همانند بزرگتر) تا بیندازید. آنچه به دست می آید نصف یک مبنای بادبادک است. مثلث را به دو مثلث کوچکتر تقسیم کنید به طوری که هر کدام مشابه مثلث اولیه باشند. در مثلثهای جدید هم طبق نسبتهای واحد نقش، تا بیندازید. نتیجه نصف یک مبنای ماهی خواهد بود. مثلثهای جدید را به چهار مثلث قائم الزاویه متساوی الساقین تقسیم کنید که هر کدام مشابه مثلث اولیه باشند. در این چهار مثلث هم طبق نسبتهای واحد نقش، تا ایجاد کنید. نتیجه، نصف یک مبنای پرده است. مثلثهای جدید را به هشت مثلث قائم الزاویه تقسیم کنید که هر یک مشابه مثلث اولیه باشند. در این هشت مثلث مطابق نسبتهای واحد نقش تا بیندازید. نتیجه کار، نیمه ای از مبنای قورباغه خواهد بود. دوباره تقسیم کنید. دوباره و دوباره تقسیم کنید...

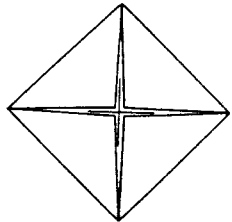
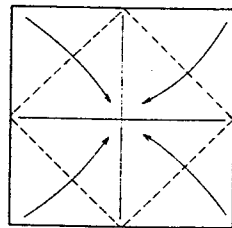
وقتی این نقش را بعد از مبنای قورباغه هم ادامه دادم، به پیچیدگیهایی در مقیاس غیر قابل پیش بینی برخوردم. یک مرحله بعد از مبنای قورباغه، ۳۲ واحد نقش تولید می شود. دو مرحله بعد از مبنای قورباغه ۶۴ واحد نقش پدید می آید. این کار را می توان به طور نامحدود ادامه داد و به سطوح بالاتری از پیچیدگی دست یافت. هر مرحله مطابقت دارد با روش تازنی ساده ای که آن را "درون بر" می نامند. برای تازنی درون بر مربع کاغذی، باید گوشه های آن را به وسیله تا کردن بر مرکز مربع منطبق کرد. شکل حاصل، مربع کوچکتري است که ۴۵ درجه چرخیده و شبیه مربع اولیه است ولی چهار لبه کاغذی مثلث شکل به آن اضافه شده است. متوجه شدم که تازنی درون بر، یک فرایند تکراری است: کار با یک شکل هندسی مفروض (که مبنای باشد) آغاز می شود، سپس شکل نصف می شود (مساحت چهار مثلث واقع در گوشه ها، نصف مساحت مربع است)، و شکلی مشابه شکل اولیه به وجود می آید. در نتیجه، تازنی درون بر را می توان روی هر مبنایی انجام داد و تعداد لایه های درونی آن را دوبرابر کرد. اما چه دلیلی



تکرار یک واحد نقش در مقیاسهای کوچکتر و کوچکتر سبب افزایش پیچیدگی می شود و امکان ساختن انواع بی پایانی از نمونه های کاغذوتا را که به طور تصاعدی پرجزئیتر می شوند، فراهم می آورد

برای توقف وجود دارد؟ تازنی درون بر مبنایی که قبلاً تایی درون بر خورده است، زنجیره ای از مربعهای تودرتو پدید می آورد که هر کدام نسبت به قبلی ۴۵ درجه چرخیده است. مبنای قورباغه پس از دوبار تازنی درون بر ۶۴ واحد نقش و پس از سه بار تازنی درون بر ۱۲۸ واحد نقش پدید می آورد و ادامه این کار سر به ارقام نجومی می زند و بیش از حد نیاز هر تازنده ای واحد نقش تولید می کند.

تازنی درون بر دروازه ای به سوی نمونه های تازه گشود. با تازنی درون بر مبنای قورباغه، توانستم هشتپا، کژدم و مرکب ماهی درست کنم. با دو بار تازنی درون بر مبنای قورباغه، توانستم ستاره هشتپر، جنگجوی اسب سوار و خرچنگ بسازم. برای ساختن خرچنگ شیوه تازه ای ابداع



تای درون بر، صورت ساده ای از تکرار است. تازدن گوشه ها به مرکز، مربع کوچکتري (نصف مربع اصلی) پدید می آورد که چهار لبه مثلث شکل به آن اضافه شده است

کردم (که خودم اسمش را تای دوجاله‌ای فشرده گذاشتم) و متوجه شدم تکرار بیایی این نوع تازنی با اجزای بدن هزارپا جور درمی‌آید.

شوق این دریافت مرا به جستجوی واحدهای تکرار شونده، تازه و متفاوتی در نقشها کشاند. متوجه شدم که می‌توانم با استفاده از مستطیلی که نسبت اضلاعش یک به ریشه دوم ۲ است یک نقش تازنی پدید آورم که نقشهای مشابه تکراری ایجاد می‌کند: اگر مستطیل را از طول نصف کنیم، مستطیل کوچکتری به دست می‌آید که نسبت اضلاعش مانند مستطیل اولیه است. با این شکل توانستم فیل و ببر سازم. واحد نقش متفاوتی، به صورت مثلثی با نسبت اضلاع یک به ریشه دوم ۳ امکان ساختن گوزن و خرچنگ دیگری را فراهم آورد.

دیگر روی غلتک افتاده بودم. با ترکیب واحدهای مختلف، توانستم شکلهای باز هم تازه‌تری سازم. به روشی که بی‌شابهت به پیوند زدن نبود، یک مبنای قورباغه را در مرکز مبنای پرند جادام و بجای یک کانگورو درست کردم. با تکرار این روش در مقیاسی بزرگتر، چهار مبنای قورباغه را در یک مبنای قورباغه که تای درون‌بر خورده بود فرو کردم تا چشمها و دهانه، مرکب پاشی یک هشت‌پا را بسازم. بالاخره، در بلندپروازانه‌ترین نمونه‌ای که تاکنون ساختم پنج مربع و چهار مستطیل را برای ساختن یک پروانه ترکیب کردم. با گذشت زمان، نمونه‌های پیچیده‌تر و پیچیده‌تری ابداع می‌کردم. هشت‌پا به خاطر پاها و یک سرش ۹ لبه، گوشه‌دار لازم داشت، برای جنگجوی اسب سوار ۱۱، برای گوزن ۱۲ و برای پروانه ۱۶ لبه، گوشه‌دار لازم بود.

هر چه بیشتر در بحر نقشهای کاغذ فرو می‌رفتم، بیشتر این احساس در من زنده می‌شد که ساختن هر نمونه، کاغذوتا چقدر شبیه زندگی جانداران است. هر واحد نقش حاوی نقشه، تقسیم و تکثیر بعدی است؛ هر مبنای تازه، تاریخچه، تمامی زندگی خود را در بردارد. این نحوه تولید مثل در خیلی از فرایندهای زیستی قابل مشاهده است: تقسیم باخته‌ای غیر مستقیم (میتوز) تخمک بازور شده، تبدیل هر آمیب به دو آمیب مشابه، جوانه زدن مرجان، انتقال کروموزومها از نسلی به نسل دیگر. این سوال برایم مطرح بود که آیا نمونه در بطن کاغذ نهفته است یا مربع

همچون لوح سپیدی است که باید به دست آفرینشگر کاغذوتا نوشته شود. آیا هر نمونه دارای مجموعه‌ای از قوانین تکاملی است که بر شکل و ساختار آن حاکم‌اند؟ در تشکیل صورت نهایی هر نمونه چگونه ساختارهای موضعی (یاخته‌ای) و کلی (اندامی) با هم پیوند می‌خورند؟ آیا ابداع‌گر کاغذوتا هم مثل پدیده، انتخاب طبیعی - یا خدا - مقصدی نهایی برای فرایندی کور و مکانیکی تعیین می‌کند؟ پاسخ این سوالها دور از دسترس و ابهام آلود است - همان قدر که منشاء حیات ابهام‌آلود است.

در جریان تلاش برای ساختن شکلهای تازه، روزهای نومیدی از من دورتر و دورتر می‌شد. البته موفقیت به آسانی حاصل نشد. در نمونه‌هایی مثل مار رنگی، حل مسئله با کاغذ چندین ساعت وقت، علاوه بر سالیهای سپری شده، می‌طلبید. بنابه تجربه، شخصی من، گهگاه لحظاتی از تولید خود به خودی وجود دارد که در آنها برخی نمونه‌ها ظاهراً "خودشان تا می‌خورند" و در لحظه تولد به صورت کاملاً پرداخته‌ای ظاهر می‌شوند. اما خیلی وقتها، مثلاً در مورد مار رنگی، نتیجه مطلوب تنها پس از دوران زایش طولانی و دردناکی پدید می‌آید. در اینجا فرایند ابداع پر زحمت و کند پاست، با بازگشتهای طولانی در مسیر ساخت و دقایق کشداری که در آنها هر حرکت، آغاز یک انحراف یا رسیدن به انتهای یک بن‌بست است. با این حال، به اعتقاد من، سخت به یاری ذهن آماده می‌آید و ساعت‌های متوالی که با دور ریختن ترکیبهای بی‌فایده همراه است، به هدر نمی‌رود. گاهی مسئله شخص را سردرگم می‌کند و چاره‌ای نیست جز اینکه ذهن ابداع‌گر آن را حل نشده رها کند تا پس از گذشت هفته‌ها، ماه‌ها یا سالها، دوباره در دوران او سر بردارد و راه حلی طلب کند. و تنها در این هنگام، به دنبال زنجیره، ظاهراً بی‌انتهایی از تلاشهای ناموفق، لحظه، پرشکوه الهام فرامی‌رسد و نقش مطلوب از میان آمیزه، سردرگمی از زاویه‌ها و لبه‌ها پدیدار می‌شود و راه حل مطلوب به دست می‌آید. اکنون بخوبی می‌دانم که امکانات بالقوه، مربع در هنر کاغذوتا هیچ‌گاه پایان نخواهد گرفت. با توجه به گوناگونی بی‌پایان جلوه‌های حیات که می‌تواند الهام بخش ما باشد، تنها محدودیت موجود برای آنچه می‌توان از یک برگ کاغذ ساخت به قوه تخیل خود ما مربوط می‌شود. □