زنبورهای بلک‌آوتن[1]

مترجم: علی رفیع[2]

پیشینه: دانش حقیقی نه تنها توانایی آن را دارد که انسان را به وجد آورد، بلکه می‌تواند نحوهٔ تفکر انسان را دربارهٔ خود و جهان پیرامونش دگرگون کند. اهمیت این موضوع بدین سبب است که روند (توسعهٔ) دانش با روندهای طبیعی اغراق‌شدهٔ بازی‌ها تفاوت‌های اندکی دارد. بازی، انسان (و سایر پستانداران) را قادر می‌سازد تا روابط و الگوها را کشف (یا ابداع) کند. هنگامی که کسی قواعدی را به بازی بیفزاید، مسابقه ابداع می‌شود. دانش یعنی بازی با قواعدی که انسان را قادر می‌سازد تا الگوهای نادیدنی روابط (میان پدیده‌ها) را آشکار سازد که این خود باعث توسعهٔ آگاهی و ادراک ما از طبیعت و موجودیت انسانی می‌شود. با تعمق در این راه و روش می‌توان برای آموزش دانش به شیوه‌ای روشن و صریح و مبتنی بر ادراک مستقیم برای طرح پرسش‌ها و طراحی بازی‌هایی برای نیل به پاسخ آنها دست یافت. نتیجهٔ تمام بازی‌ها و بازی‌کردن‌ها قابل پیش‌بینی نیست، از این‌رو، پشتیبانی از این شلوغ‌کاری، که خود موتور محرکهٔ علم است، در معرض نقد آموزشگران علم (و یا به عبارت کلی‌تر آموزشگران شیوه‌های آموزشی خلاق) قرار گرفته است. درحقیقت، ما آموخته‌ایم که کاربست ملموس دانش در محیط‌های جمعی و عمومی می‌تواند علاقهٔ بیش از حد کودکان و نیز بزرگسالان را به فهم روندهایی تحریک کند که به ما تصویری از دنیای پیرامونمان می‌دهند. مطالعهٔ حاضر از این هم فراتر می‌رود، زیرا نه تنها خارج از گروه آزمون (در یک کلیسای نورمن در جنوب غربی انگلستان) انجام شده است، بلکه بازی‌ها به صورت گروهی با مشارکت ۲۵ کودک ۸ تا ۱۰ ساله طراحی شده‌اند. آنها پرسش‌ها را مطرح می‌کردند، برای پاسخ‌ها فرضیه‌پردازی می‌کردند، بازی‌ها (یا در معنایی دیگر آزمایش‌ها) را طراحی می‌کردند تا فرضیه‌ها را به بوتهٔ آزمون بگذارند و سرانجام داده‌ها را تحلیل می‌کردند. آنها همچنین نمودارها و شکل‌ها را (با مداد رنگی) می‌کشیدند و حتی گزارش را می‌نوشتند. مربی آنها دیو استرودویک[3] و من با همکاری یکدیگر برنامهٔ آموزشی را طراحی کردیم) نام آن را آی- ساینتیست[4] گذاشته بودیم(. من زنبورها را هدایت می‌کردم و گفتگوهای بچه‌ها را ثبت می‌کردم (این گفتگوها در گروه‌های کوچک‌تری در مدرسهٔ روستای مورد نظر انجام شده بود). آنچه در پی می‌آید بررسی (علمی و تعمقی- تفهمی) جدیدی از زبان کودکان بدون رجوع به نگاشته‌های پیشین در این باره است، که درواقع نوعی رویارویی با این قسم نوشته‌ها نیز به شمار می‌رود. اگرچه پیشینهٔ تاریخی هر مطالعه‌ای به طور حتم اهمیت دارد، در این مورد ویژه تمامی منابع مرجع به دو دلیل غیر قابل اطمینان و فاقد صراحت لهجه‌اند. نخست به دلیل آنکه شیوهٔ آنها برای تنظیم و گزارش داده‌های علمی و اطلاعات وابسته به آنها برای کودکان ۸ تا ۱۰ ساله غیر قابل فهم است و دوم آنکه انگیزهٔ حقیقی برای هر بررسی علمی (یا حداقل یکی از انگیزه‌های اصلی آن) کنجکاوی شخص دانشمند است که این موضوع در مورد کودکان با ادبیات علمی و گفتار دانشمندانهٔ معمول تحریک نمی‌شود، بلکه با مشاهدات آنها از دنیای پیرامون برانگیخته می‌شود. نبود پیشینهٔ تاریخی متناسب با این بررسی نه تنها باعث کمبود نتایج، روش یا تناسب این تحقیق با مخاطبان دانشمند یا غیر دانشمند آن نشده است، کاملاً برعکس، دانش را در درست‌ترین (و ساده‌ترین) شکل آن به نمایش گذاشته است و از این طریق همگونی میان دانش، هنر و به عبارت دقیق‌تر تمام کنش‌های خلاق را آشکار ساخته است.

یافتهٔ اساسی: ما دریافتیم که زنبورهای عسل در اینکه کدام گل را با چه رنگی برای تهیهٔ عسل برگزینند، از تلفیقی از روابط مربوط به رنگ گل‌ها و فواصل میان آنها استفاده می‌کنند. ما همچنین کشف کردیم که دانش بسیار جالب و نشاط‌آور است، زیرا انسان را به انجام کاری وا می‌دارد که پیش از آن کسی انجام نداده است. (بچه‌های بلک‌آوتن)

کلیدواژه‌ها: زنبور، زنبور عسل بوف- تیلد، دریافت دیداری، توانایی دیدن رنگ‌ها، رفتار

---

1 Blackawton Bees

این مقاله توسط عده‌ای از دانش‌آموزان مدرسه بلک آوتن و آربی. لوتوا از مؤسسه چشم پزشکی کالج لندن نوشته و در ۲۷ فوریه ۲۰۱۲ در نشریه انجمن سلطنتی منتشر شد

2 alirafi@gmail.com

3 Dave Strudwick

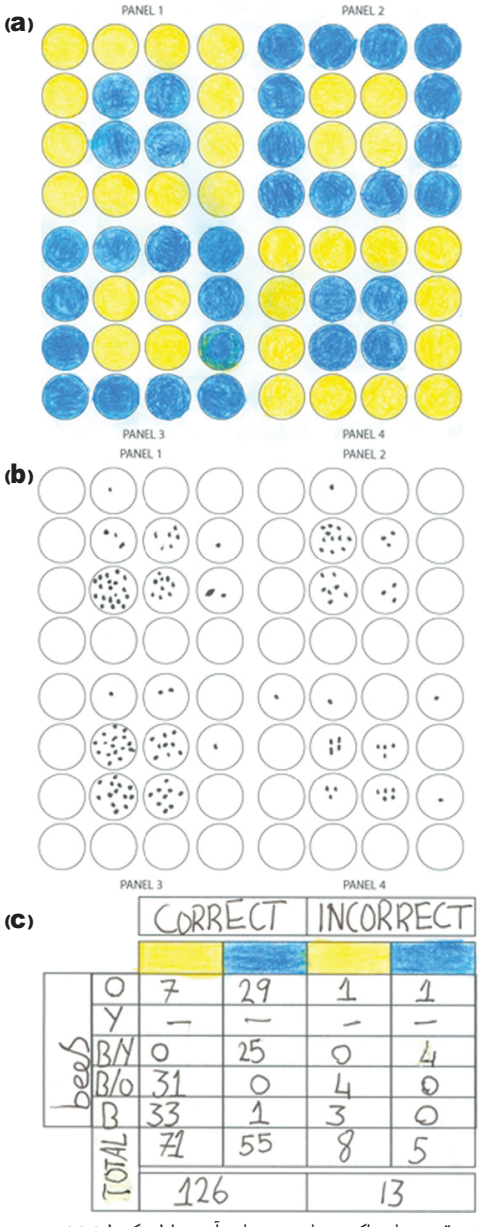
4 I ,Scientist

مقدمه

الف) روزی روزگاری ...

همه می‌پندارند که انسان‌ها باهوش‌ترین حیوانات هستند و بیشتر آدم‌ها گمان نمی‌کنند سایر حیوانات نیز دارای هوش و ذکاوت باشند و یا حداقل آنکه باهوش هستند اما نه به اندازهٔ انسان. دانستن این نکته که سایر حیوانات به هوشمندی ما هستند به این معناست که ما می‌توانیم بیشتر به ارزش آنها پی ببریم، و می‌تواند به ما کمک کند تا به آنها کمک کنیم.

دانشمندان اغلب روی میمون‌ها مطالعه می‌کنند زیرا آنها شبیه به انسان هستند، اما زنبورها نیز می‌توانند بسیار به ما شبیه باشند. ما معمولاً زنبورها را در طبیعت مشغول انجام فعالیت‌های خودشان می‌بینیم و نه در حال انجام فعالیت‌های انسانی از قبیل حل‌کردن یک معما مانند جدول‌های سودوکو. بنابراین، این موضوع حتماً موجب شگفتی شما خواهد شد اگر بدانید که آنها نیز می‌توانند مانند انسان‌ها معما حل کنند. اگر آنها بتوانند آن را حل کنند می‌توانیم نتیجه بگیریم که حقیقتاً باهوش هستند، باهوش‌تر از آنچه ما قبلاً درباره‌شان فکر می‌کردیم، و این خود می‌تواند به این معنا باشد که انسان‌ها شباهت‌هایی با زنبورها دارند. اگر زنبورها از جهاتی شبیه ما هستند، پس درک‌کردن آنها می‌تواند به ما کمک کند تا خودمان را بهتر بشناسیم. برای آمادگی انجام آزمایش روی زنبورها، نخست دربارهٔ دانش موجود دربارهٔ بازی‌کردن و ساختن معما صحبت کردیم. سپس به گروه‌هایی تقسیم شدیم و با ابزارهای آموزشی گوناگون بازی‌هایی را طراحی کردیم. سپس، مجبور بودیم بازی‌هایمان را برای دیگران توضیح دهیم. پس از صحبت کردن دربارهٔ پدید آوردن بازی‌ها و اینکه یک بازی چگونه دارای قاعده و قانون می‌شود، با استفاده از عینک‌های کروی‌شکل (که شبیه چشم حشرات هستند)، دیدن اجسام از درون آیینه‌ها و یا از داخل کتاب‌های لوله‌شده (شبیه دوربین چشمی‌های دراز قدیمی) به گفتگو پرداختیم. پس از آن با هم فیلم‌های ویدیویی دیوید لترمن[1] با نام «ترفندهای احمقانهٔ سگی» را تماشا کردیم که در آنها سگ‌ها تربیت می‌شدند تا کارهای خنده‌دار انجام دهند. سپس، ما نیز باید روش حل معمایی را یاد می‌گرفتیم که بوآ[2] (دانشمندی عصب‌شناس) و آقای استرودویک (معلم) برای ما مطرح کرده بودند (آنها برای یک هوش مصنوعی ده هزار آزمون، اما برای ما فقط چهار آزمون در نظر گرفته

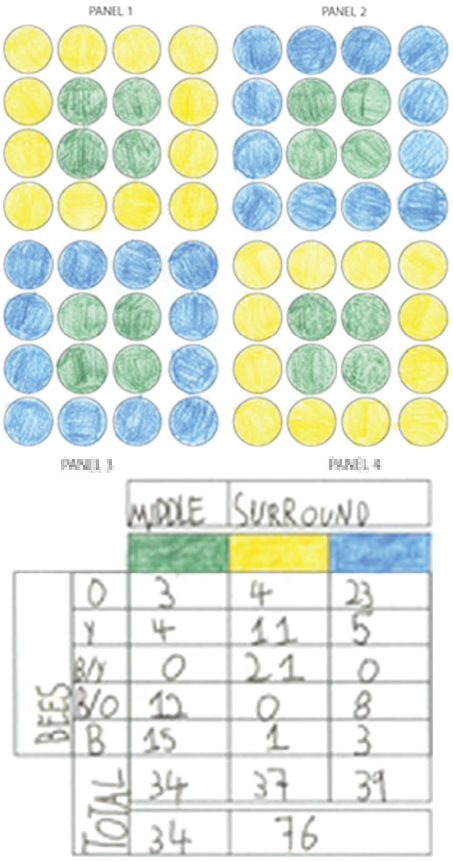


شکل ۱. موقعیت‌ها و واکنش‌های زنبورها در آزمون اول (کنترل) (a) الگوی قرارگرفتن رنگ‌ها که زنبورها براساس آنها آموزش دیده و در آزمون اول آزمایش شدند (به توضیحات متن نگاه کنید) (b) انتخاب‌هایی که همهٔ زنبورها انجام داده‌اند (هر نقطه، محلی را که هر زنبور برای یافتن آب‌قند بر روی آن نشسته را نشان می‌دهد) (c) جدولی که ترجیحات هر زنبور را در طول آزمایش نشان می‌دهد (به توضیحات متن نگاه کنید)

1 David Letterman
2 Beau

بودند). پس از تمام این کارها، ما به پرسیدن سئوال‌هایی دربارهٔ زنبورها و به ویژه دیدن رنگ‌ها توسط آنها پرداختیم. ما با پرسش‌های بسیاری روبرو شدیم، اما پرسشی را که برای بررسی انتخاب کردیم این بود که آیا زنبورها می‌توانند یاد بگیرند که چگونه از روابط میان رنگ‌ها برای فهمیدن این‌که کدام‌یک از گل‌ها حاوی آب قند و کدام حاوی آب نمک‌اند، استفاده کنند. این پرسش به خودی خود جالب بود، زیرا در زیستگاه آنها گل‌هایی یافت می‌شد که برای آنها بد به شمار می‌رفت و گل‌هایی که زنبورها صرفاً شهد آنها را جمع‌آوری می‌کردند. بنابراین، برای زنبور فهمیدن اینکه به سوی کدام گل برود یا از کدامشان پرهیز کند مهم خواهد بود، و این موضوع آنها را مجبور خواهد کرد که موقعیت گل‌ها را، درست مانند یک معما، به خاطر سپارند.

برای آزمایش این مطلب زنبورها را در موقعیت‌هایی تردیدآمیز قرار دادیم تا ببینیم که آیا می‌توانند معمای طراحی شده را حل کنند و اگر موفق به یافتن جواب شده‌اند، چگونه بدان دست یافته‌اند. معما نیز دشوار بود، زیرا زنبورها نمی‌توانستند صرفاً به سمت یک رنگ گل مشخص بروند. باید یاد می‌گرفتند به سمت رنگی بروند (آبی) که توسط رنگ دیگری (زرد) احاطه شده و یا برعکس. ما همچنین در پی آن بودیم تا دریابیم که آیا تمام زنبورها با شیوه‌ای یکسان مسئله را حل می‌کنند. وجود شیوه‌های متفاوت می‌تواند به این معنی باشد که زنبورها نیز دارای شخصیت‌های مستقل از یکدیگر هستند (مثلاً اگر یک زنبور هر بار به سمت گل‌های آبی رنگ برود، این رفتار می‌تواند به این معنی باشد که او رنگ آبی را دوست دارد).



شکل ۲. موقعیت‌ها و واکنش‌های زنبورها در آزمون دوم (a) الگوی قرار گرفتن رنگ‌هایی که زنبورها براساس آنها در آزمون دوم آزمایش شدند (به توضیحات متن نگاه کنید) (b) جدولی که ترجیحات هر زنبور را در طول آزمایش دوم نشان می‌دهد (به توضیحات متن نگاه کنید)

۲. ابزارها و روش‌ها

الف) سلول زنبورها

سلول زنبورها که از پلکسی‌گلاس (پلی‌متیل متاکریلات) ساخته شده بود، شش ضلع داشت. این محفظه یک متر ارتفاع، یک متر عرض و یک متر عمق داشت و بر روی دو ضلع آن درهایی تعبیه شده بود (در هر یک از این ضلع سه در). جعبه‌های نور عمودی در هر یک از دو ضلع مخالف سلول نصب شده بود که زنبورها از طریق سوراخی که بر روی آنها قرار داشت وارد سلول می‌شدند. جعبه‌های نور از آلومینیوم با روکشی از پلکسی‌گلاس بر روی شش لامپ فلوروسنت ساخته شده بودند. یک بست آلومینیومی در جلوی روکش پلکسی‌گلاس نصب شده بود که با بازکردن آن می‌توانستیم چهار صفحهٔ آلومینیومی سیاه در داخل جعبهٔ نور قرار دهیم. روی هر صفحه ۱۶ حفرهٔ دایره‌ای شکل (هر دایره به قطر ۸ سانتی‌متر) در چهار ردیف چهارتایی تعبیه شده بود. حفره‌ها با روکش پلکسی‌گلاس پوشانده شده بودند و در وسط هر دایره یک میله قرار داشت که حفرهٔ کوچکی در میان آن قرار داشت که در آن آب قند یا آب نمک قرار می‌دادیم یا آن را خالی باقی می‌گذاشتیم. در کنار هر حفره شکاف کوچکی قرار داشت که فیلترهای محتوی ژل رنگی

در داخل آن قرار می‌گرفت و می‌توانست نور تابیده‌شده از داخل هر حفره را به رنگ خاصی دربیاورد. این درست مانند آن است که قطعه‌ای از یک کاغذ نسبتاً شفاف را بر روی لامپی قرار دهید تا کیفیت نور تابیده‌شده را تغییر دهد.

ب) زنبورها

بدن زنبورها منقش به نوارهای سیاه و زرد و بخش انتهایی بدنشان سفید بود. ما گونه‌ای از زنبور با نام علمی بومبوس ترستیریس[1] را انتخاب کرده بودیم که کندوهای آنها از کوپرت[2] خریداری شده بودند.

پ) دورهٔ آموزشی اول

برای فهماندن این نکته به زنبورها که میله‌های پلکسی‌گلاس را به جای گل فرض کنند، تمام حفره‌ها به رنگ سفید درآمد و همهٔ حفره‌های داخل میله‌ها با آب قند پر شد. زنبورهای کاوشگر پیش از دیگران دریافتند که در این گل‌های مصنوعی برایشان جایزه‌هایی تعبیه شده است، که این خود چهار روز به طول انجامید. در طول این مدت زنبورها را علامت‌گذاری کردیم و پازل را اجرا کردیم.

ت) علامت‌گذاری زنبورها

زنبورهای کاوشگر را به داخل محفظه فرستادیم و چراغ‌ها را خاموش کردیم، که باعث شد زنبورها دیگر پرواز نکنند (زیرا آنها مایل به پرواز در درون فضاهای تاریک نیستند). آنها را با موچین‌های مخصوصی می‌گرفتیم و در داخل گلدان‌های درداری می‌گذاشتیم. سپس، این ظرف‌ها را در یخچال مدرسه می‌گذاشتیم تا به زنبورها حالت کرختی و خواب‌آلودگی دست دهد. بعد آنها بیرون می‌آوردیم و با نقطه‌های رنگی کوچکی علامت‌گذاری می‌کردیم. (زرد، آبی، نارنجی، آبی- نارنجی، آبی- زرد و ...) دوباره آنها را به ظرف دردار بازمی‌گرداندیم و در محیط گرم قرار می‌دادیم و دوباره به محفظه باز می‌گشتند. هیچ زنبوری در طول این روند تلف نشد.

ث) دورهٔ آموزشی دوم (معما)

معمای ما برای زنبورها به صورت زیر بود: فرض کنید صفحه‌ای با ۱۶ دایره دارید، این دایره از مربعی بزرگ با ۱۲ دایرهٔ زرد و مربعی کوچک با ۴ دایرهٔ آبی در وسط آن تشکیل شده است. این الگو برای دو صفحه در نظر گرفته شد و برای دو صفحهٔ دیگر دایره‌های رنگی کاملاً برعکس چیده شد (به جای زرد برای مربع خارجی و آبی برای مربع داخلی از آبی برای مربع خارجی و زرد برای مربع داخلی استفاده شد). آب‌قند (با نسبت یک به یک قند با آب) تنها در ۴ دایرهٔ داخلی تعبیه شده بود و هر ۱۰ تا ۴۰ دقیقه جای آنها با یکدیگر عوض می‌شد تا مطمئن شویم زنبورها محل گل‌ها را به خاطر نسپرده‌اند. همچنین، به طور دائم داخل محفظه را پاک می‌کردیم تا هیچ زنبوری نتواند با بو کردن برای یافتن گل‌های مناسب برای بقیهٔ زنبورها علامت‌گذاری کند. درعوض، آنها ناچار بودند که یاد بگیرند: اگر مربع بیرونی به رنگ آبی بود، باید به حفره‌های زردرنگ داخلی رجوع کنند و اگر مربع خارجی متشکل از حفره‌های زرد رنگ بود، باید به سراغ حفره‌های داخلی آبی‌رنگ بروند. در طول دو روز اول، آب‌قند تنها در چهار حفرهٔ داخلی هر صفحه جای‌گذاری شد و در حفره‌های خارجی چیزی قرار داده نشد (به این ترتیب توجه آنها می‌بایست به این نکته جلب می‌شد). در طول دو روز بعد در ۱۲ حفرهٔ بیرونی آب‌نمک قرار داده شد. ما این کار را انجام دادیم تا آنها متوجه این موضوع شوند که نباید برای یافتن گل مناسب به رنگ گل توجه کنند بلکه موقعیت حفره در زمینهٔ صفحه مهم‌تر است. به هر حال، اگر آنها از پس این آزمون برنمی‌آمدند، طرح ما به شکست می‌انجامید. پس از این آموزش کوتاه، دوباره زنبورها را آزمودیم تا ببینیم آیا قادر به حل معمای ما هستند.

1 Bombus Terrestris
2 Koppert

ج) آزمودن زنبورها

با استفاده از ترکیب‌های رنگ یکسان با موقعیت‌های مشابه اما این بار با قراردادن آب‌نمک یا آب‌قند، زنبورها را امتحان کردیم تا ببینیم کدام گل‌ها را انتخاب می‌کنند. صفحه‌های حفره‌دار را با یکدیگر جابه‌جا می‌کردیم تا با زمانی که آموزش می‌دیدند فرق داشته باشند و زنبورهای کاوشگر را هر دفعه فقط یک بار وارد محفظه می‌کردیم تا نتوانند از یکدیگر تقلید کنند (کاری که آدم‌ها معمولاً انجام می‌دهند). سپس، بر روی یک برگ کاغذ منقش به ۶۴ دایرهٔ رنگی (۸ در ۸) انتخاب‌های زنبورها را ثبت می‌کردیم. زمانی که زنبورها روی هر کدام از حفره‌ها می‌نشستند و زبانشان را به میلهٔ پلکسی‌گلاس می‌زدند ما روی کاغذ بر روی دایرهٔ متناظر با آن علامت می‌زدیم. دایره‌ها را با اعداد ۱، ۲، ۳ و به همین ترتیب تا آخر علامت می‌زدیم تا اگر رفتار زنبورها در طول زمان آزمایش تغییر کرد بتوانیم این موضوع را تشخیص دهیم. پس از مدتی، ممکن بود زنبورها از اینکه تلاش بی‌حاصلی انجام می‌دهند به ستوه آیند، اشتباهاتی مرتکب شوند و یا به صورت تصادفی به جستجو بپردازند. به همین دلیل، به هر زنبور کاوشگر تا پایان آزمایش تنها چیزی در حدود ۳۰ بار امکان انتخاب دادیم و هر زنبور ۳ بار آزمایش شد.

۳. نتایج

پس از تربیت زنبورها در داخل محفظه، سه بار آنها را آزمایش کردیم تا معلوم شود آیا در طول آموزش چیزی فرا گرفته‌اند.

الف) آزمون اول (کنترل)

در آزمون اول زنبورها با همان ترکیب و الگوی حفره‌ها که آموزش دیده بودند، آزمایش شدند. پس از آموزش، صفحه‌های حفره‌دار را در جهت عقربه‌های ساعت یک بار جابه‌جا کردیم، به گونه‌ای که رنگ‌ها برای زنبورها متفاوت جلوه کند و نتوانند به همان محلی که دفعهٔ قبل بر روی آن نشسته و آب قند گرفته بودند بروند (برای تصویر دست‌نویسی از نتایج ثبت‌شده در این آزمون به شکل ۱a نگاه کنید). اگر زنبورها معمای ما را حل کرده باشند باید بر روی حفره‌هایی بنشینند که در مربع داخلی قرار دارد و زبانشان (خرطومشان) را بر روی این گل‌های مصنوعی بزنند؛ درست به همان ترتیبی که در طول آموزش به آب‌قند دسترسی پیدا می‌کردند.

شکل ۱b مکان‌هایی را که چهار زنبور در طول آزمایش برای نشستن انتخاب کرده بودند، نشان می‌دهد (متأسفانه زنبور پنجم در طول آزمایش از کندو بیرون نیامد). هر نقطه در شکل ۱b نمایندهٔ یک‌بار نشستن زنبور بر روی یک حفره است. این تصویر نشان می‌دهد که زنبورها ۱۲۶ بار بر روی حفره‌های میانی و در مجموع تنها ۱۳ بار بر روی حفره‌های خارجی نشستند. (برای مجموع دفعات به شکل ۱c نگاه کنید). به این ترتیب، از مجموع ۱۳۹ بار نشستن، ۹۰٫۶ درصد از انتخاب‌هایشان درست بوده است (انتخاب درست به معنی انتخاب حفره‌هایی است که در طول آموزش حاوی آب‌قند بوده‌اند).

شکل ۱c نشان می‌دهد که هر کدام از زنبورها چه تعداد از حفره‌های آبی و زرد را برای نشستن درست یا اشتباه انتخاب کرده‌اند. ما این کار را انجام دادیم تا انتخاب‌های هر کدام از زنبورها در طول آزمایش قابل تشخیص باشد. زنبور نارنجی ۷ بار حفره‌های زرد داخلی و تنها یک بار حفره‌های زرد خارجی را انتخاب کرد. او در طول آزمایش حفره‌های آبی را ۲۹ بار درست و تنها یک بار در مورد آنها اشتباه داشت. این زنبور هم حفره‌های آبی داخلی و هم حفره‌های زرد داخلی را برای نشستن ترجیح داده است و می‌توان گفت که انتخابش کاملاً درست بوده است، زیرا در مواجهه با هر دو رنگ، حفره‌های درست را برگزیده است. اما زنبور آبی- زرد هیچ یک از حفره‌های زرد داخلی و خارجی را انتخاب نکرد و درعوض حفره‌های آبی را ۲۵ بار درست (حفره‌های آبی داخلی) و ۴ بار اشتباه (حفره‌های آبی خارجی) انتخاب کرد. پس می‌توان گفت که او رنگ آبی را به رنگ زرد ترجیح داده است. زنبور آبی- نارنجی حفره‌های زرد را ۳۱ بار درست و ۴ بار نادرست انتخاب کرد و سراغ هیچ حفرهٔ آبی نرفت. درنهایت، زنبور آبی تنها یک‌بار بر روی حفره‌های آبی رنگ داخلی نشست و حفره‌های زرد را ۳۳ بار درست و ۳ بار نادرست انتخاب کرد. از نتایجی که در شکل ۱c نشان داده شده است به این نتیجه رسیدیم

که تنها یک زنبور ترکیبی از دو رنگ را برای نشستن انتخاب کرده است و بقیهٔ زنبورها تنها بر روی یک رنگ نشستند. با وجود این، اگرچه بیشتر زنبورها یک رنگ را ترجیح داده‌اند، همهٔ آنها حفره‌های مربع داخلی را انتخاب کرده‌اند (که به مثابهٔ گل‌های شهددار بودند). این آزمایش همچنین، نشان داد که با توجه به این نکته که انتخاب آنها در کل میان حفره‌های زرد و آبی به نسبت مساوی تقسیم شده بود، همهٔ زنبورها معمای ما را کاملاً درست حل کردند. در ادامه، دو آزمون دیگر نیز برای آنها طراحی کردیم تا مشخص شود آیا قادر به حل معماهایی که برای آنها آموزش دیده‌اند هستند.

ب) آزمون دوم (تجربهٔ اول)

آزمون دوم بسیار شبیه به آزمون اول طراحی شده بود، تنها با این تفاوت که حفره‌های مربع داخلی هر صفحه این بار به رنگ سبز بود. این تغییر را برای آن اعمال کردیم تا ببینیم زنبورها در طول آموزش‌های خود آموخته‌اند که به سراغ رنگ‌ها بروند یا به سراغ مکان‌ها. اگر آنها یاد گرفته بودند که برای یافتن شهد به محل حفره‌های توجه کنند، پس در آزمون دوم باید به سراغ حفره‌های سبز می‌رفتند (برای تصویر دست‌نویسی از نتایج ثبت‌شدهٔ این آزمون به شکل ۲a نگاه کنید).

شکل ۲b جدولی از انتخاب زنبورها در طول این آزمون را نشان می‌دهد. درمجموع، زنبورها ۳۴ بار به سراغ حفره‌های سبزرنگ رفتند و ۷۶ بار حفره‌های زرد و آبی خارجی را برای نشستن انتخاب کردند (برای مجموع نتایج به شکل ۲b نگاه کنید). از مجموع ۱۱۰ بار نشستن زنبورها بر روی حفره‌ها، تنها ۳۰٫۹ درصد بر روی حفره‌های میانی انجام شده است. اگر این بار بخواهیم نتایج را در کل تخمین بزنیم، می‌توانیم بگوییم که زنبورها در ۲۵ درصد کل انتخاب‌هایشان (که به عدد ۳۰ نزدیک است) باید حفره‌های سبز را برگزینند. بنابراین، نتیجه می‌گیریم زنبورها در طول آزمون اول تنها براساس موقعیت حفره‌های میانی آنها را انتخاب نکردند. با این حال، از میان این چهار زنبور، آنها (که با رنگ آبی- نارنجی و آبی علامت‌گذاری شده بودند) بیشتر به سراغ حفره‌های سبز واقع در مربع داخلی صفحات رفته بودند که نشان می‌دهد ظاهراً درمقایسه با سایر زنبورها قاعدهٔ متفاوت این آزمون را فرا گرفته‌اند.

پ) آزمون سوم (تجربهٔ دوم)

درآزمون سوم به جای در نظر گرفتن ترکیبی از یک مربع بزرگ (خارجی) و یک مربع کوچک (داخلی) از حفره‌های زرد و آبی، هر چهار حفرهٔ داخلی را از جای خود درآوردیم و در چهار گوشهٔ صفحه قرار دادیم (برای تصویر دست‌نویسی از نتایج ثبت‌شدهٔ این آزمون به شکل ۳a نگاه کنید). این تغییر را اعمال کردیم تا دریابیم آیا حل معمای اول از طریق یافتن حفره‌هایی رنگی از هر مربع که کم‌تعدادتر از دیگر رنگ‌ها بوده‌اند، صورت گرفته است. درعین حال، می‌توانستیم ببینیم که آیا آنها همچنان حفره‌های مربع داخلی را ترجیح می‌دهند یا خیر.

جدول شکل ۳b انتخاب‌های پنج زنبور شرکت داده شده در این آزمون را نشان می‌دهد. زنبورها در این آزمون در مجموع ۵۹ بار حفره‌های گوشهٔ صفحه و ۸۶ بار سایر حفره‌ها را برگزیدند (برای مجموع نتایج به شکل ۳b نگاه کنید) که نشان می‌دهد از مجموع ۱۴۵ بار نشستن زنبورها بر روی حفره‌ها، ۴۰٫۱ درصد به حفره‌های گوشهٔ صفحه اختصاص دارد. این نتیجه با آنچه پیش از این در آزمون اول انجام داده بودند، بسیار متفاوت است. وقتی همین حفره‌ها در وسط صفحه بودند، ۹۰٫۶ درصد از تعداد کل انتخاب‌های زنبورها را شامل می‌شدند که ۲٫۲ برابر بیشتر از آزمون سوم است. گمان می‌کنیم زنبورها در آزمون سوم، حفره‌ها را تصادفی انتخاب کرده‌اند و نتیجه می‌گیریم آنها درنیافته‌اند که باید به سراغ رنگی بروند که درمقایسه با سایر رنگ‌ها تعداد کمتری از حفره‌ها را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین، این بار نیز زنبور آبی و آبی- نارنجی حفره‌های میانی را ترجیح ندادند (و انتخاب درستی داشته‌اند). درنتیجه، آنها درآزمون دوم بایستی از مربع خارجی حفره‌های زرد و آبی برای تصمیم‌گیری در انتخاب حفره‌های سبز مربع داخلی استفاده کرده باشند.

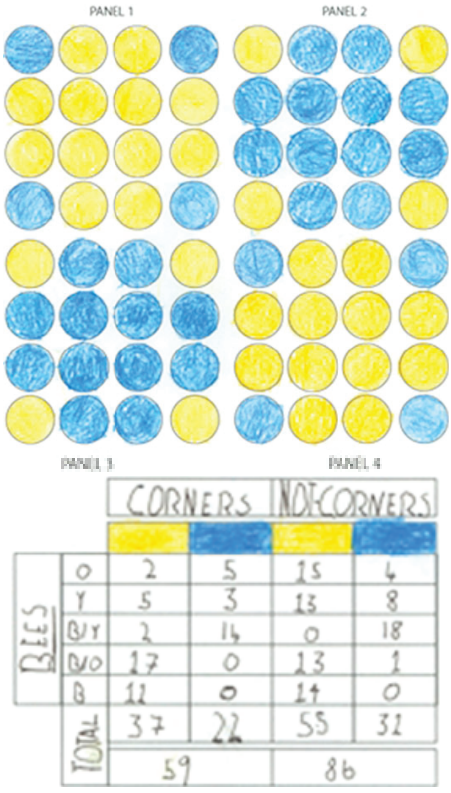
۴. بحث

این آزمایش بسیار مهم است، زیرا در طول تاریخ کسی تاکنون (حتی بزرگترها) آن را انجام نداده است و به ما نشان

می‌دهد که زنبورها نیز می‌توانند معما حل کنند (و اگر بخت با ما یار باشد می‌توانیم حتی در طول چند سال آینده به گونه‌ای آنها را تربیت کنیم که بتوانند سودوکو نیز حل کنند). در این آزمایش ما آنها را برای حل معمای خاصی تربیت کردیم. معما این بود که اگر رنگ زرد احاطه شده بود به سراغ رنگ آبی بروند و اگر رنگ آبی در میان قرار گرفته بود به سراغ رنگ زرد بروند.

آزمون اول نشان داد که آنها راه‌حل این معما را یاد گرفته‌اند. این حکم را از آنجا صادر می‌کنیم که نتایج آزمون نشان می‌دهد زنبورها به سراغ گل‌هایی رفته‌اند که باید می‌رفتند، زیرا این گل‌ها همان‌هایی بودند که در مراحل پیشین دارای آب قند بودند. با این حال، ما دریافتیم که زنبورها به شیوه‌های متفاوتی معمای ما را حل کرده‌اند و حتی فهمیدیم که برخی از آنها از دیگران باهوش‌ترند. دو زنبور، ترجیح دادند رنگ زرد را برگزینند و دو عدد دیگر رنگ آبی را. زنبور آبی‌رنگ در تشخیص الگویی که طراحی کرده بودیم بهترین بود، زیرا نسبت انتخاب درست به انتخاب‌های نادرست او از دیگر زنبورها بیشتر بود. اگرچه، او نیز رنگ آبی را ترجیح داده است هم گل‌های زرد و هم گل‌های آبی را درست انتخاب کرده است.

نکتهٔ مهم دربارهٔ معمای ما این بود که زنبورها می‌توانند تدابیر متفاوتی برای حل آن به کار برند. یکی از این راه‌حل‌ها می‌تواند به این ترتیب باشد که (۱) در هر صفحه به سراغ گل‌های مربع داخلی برو؛ و (۲) به رنگ توجهی نداشته باش. و راه حل دیگر می‌تواند این باشد که رنگ آبی را انتخاب کن اگر پیرامون آن را رنگ زرد فرا گرفته باشد و رنگ زرد را برگزین اگر رنگ آبی آن را فرا گرفته باشد. از طرفی آنها می‌توانستند دریابند که باید از گل‌های دایرهٔ خارجی هر صفحه دوری کنند. نتایج نیز نشان می‌دهد که آنها غالباً به سراغ حفره‌های مربع میانی رفته‌اند و یا توانسته‌اند این نکته را بفهمند که به سراغ رنگی بروند که در هر مربع کمترین تعداد حفره از آن رنگ وجود دارد. البته زنبورها می‌توانند کاملاً تصادفی همهٔ این کارها را انجام داده باشند و ممکن است هم از مسیری نادرست و هم از مسیری درست به این نتایج دست یافته باشند و یا صرفاً به سراغ یک رنگ رفته باشند که در این صورت، نه کل معما که تنها نیمی از آن را حل کرده‌اند.



شکل ۳. موقعیت‌ها و واکنش‌های زنبورها در آزمون سوم (a) الگوی قرارگرفتن رنگ‌هایی که زنبورها براساس آنها در آزمون سوم آزمایش شدند (به توضیحات متن نگاه کنید) (b) جدولی که ترجیحات هر زنبور را در طول آزمایش سوم نشان می‌دهد (به توضیحات متن نگاه کنید)

آزمون دوم نشان می‌دهد که آیا زنبورها فهمیده‌اند که باید بدون درنظر گرفتن رنگ، به سراغ حفره‌های میانی مربع بروند. اگر دریافته باشند پس قاعدتاً باید گل‌های سبز رنگ را انتخاب کرده باشند و اگر یاد گرفته باشند که تنها به سراغ گل‌های آبی و زرد میانی بروند، یا باید حفره‌های آبی و زرد خارجی مربع را انتخاب کنند و یا اصلاً هیچ گلی را انتخاب نکنند. نتایج به ما نشان می‌دهد که سه زنبور تنها به سراغ رنگ‌هایی که پیش از این یاد گرفته بودند، رفتند و از انتخاب گل‌های سبز اجتناب کردند. با این حال، دو زنبور دیگر بیش از همه به سراغ گل‌های سبز میانی رفته بودند که یکی همان زنبور آبی بود که در آزمون اول (کنترل) جواب‌های درست از هر دو رنگ را انتخاب کرده بود. پس آنها توانسته بودند معمایی را که قاعدهٔ متفاوتی داشت حل کنند. اما آزمون سوم برای این بود تا معلوم شود زنبورها قادر به فهم این نکته هستند که یکی از قاعده‌های معما این است که نباید تنها به سراغ گل‌های میانی مربع رفت، بلکه باید

به سراغ رنگی رفت که کمترین تعداد در صفحه را دارد. البته نتایج این آزمون نشان می‌دهد که آنها نه فقط خیلی کم به سراغ گل‌های میانی رفتند بلکه رنگی را نیز که دارای کمترین تعداد گل بود، انتخاب نکردند، زیرا گل‌های گوشهٔ صفحه را ترجیح ندادند. درعوض، به نظر می‌رسد بسیار تصادفی گل‌ها را انتخاب کرده‌اند اما جالب است که اغلب به سراغ رنگ مورد علاقهٔ خویش رفته‌اند.

سرانجام، نتیجه گرفتیم زنبورها می‌توانند با یادگیری قاعده‌های پیچیده معما حل کنند، اما گاهی مرتکب اشتباه می‌شوند. همچنین، آنها می‌توانند در حل معما (به صورتی غیرمستقیم) با یکدیگر همکاری کنند که این خود نشان می‌دهد هریک از آنها دارای شخصیت و علایق خاص خود است. همچنین، دریافتیم زنبورها می‌توانند برای تصمیم‌گیری دربارهٔ انتخاب گل از شکل ظاهری الگوهای متفاوت هر گل به صورت جداگانه، استفاده کنند. بنابراین، باید بسیار باهوش باشند تا بتوانند یک الگو را به خاطر بسپارند. این نکته ممکن است در جمع‌آوری شهد بسیار سودمند باشد تا با به خاطرسپردن گل‌هایی که بهترین گزینه هستند، از صرف بیش از حد توان و نیروی خود جلوگیری کنند. در دنیای واقعی، این بدان معنی است که آنها اطلاعات را گردآوری می‌کنند و هنگامی که به محیطی دیگر وارد می‌شوند آن را به خاطر می‌سپارند. درنتیجه، اگر برخی از گیاهان پژمرده شوند، زنبورها قادر خواهند بود از نوع دیگری از گل، شهد مورد نیاز خود را جمع‌آوری کنند.

پیش از انجام این آزمون‌ها چندان دربارهٔ زنبورها و اینکه آیا به هوشمندی ما هستند یا نه فکر نکرده بودیم. همچنین، به این نکته که بدون زنبورها زنده نخواهیم ماند، زیرا آنها به ادامهٔ حیات گل‌ها کمک می‌کنند، نیز چندان نیندیشیده بودیم. بنابراین، شناختن زنبورها بسیار مهم است. ما دریافتیم که تربیت‌کردن زنبورها تا چه حد می‌تواند لذت‌بخش باشد. از طرفی، این کار می‌تواند بسیار جالب باشد، زیرا شما مطمئناً هر روز زنبور تربیت نخواهید کرد. ما زنبورها را دوست داریم. دانش نیز بسیار جالب و حتی نشاط‌آور است چون شما کاری را انجام می‌دهید که تابه‌حال هیچ کس انجام نداده است. و سرانجام آنکه به نظر می‌آید زنبورها هم فکر می‌کنند!

ما از تمامی ساکنان بلک‌آوتن سپاسگزاریم که عهده‌دار این تحقیق علمی شدند، به‌ویژه از جورج این[1] به دلیل ذغال‌هایی که برای بچه‌ها آورد. ما از اهالی محله نیز سپاسگزاریم که به ما اجازه دادند تا از کلیسای نورمان استفاده کنیم (جایی که آزمایش‌ها انجام می‌شد) و همین‌طور از والدین که به بچه‌ها اجازهٔ شرکت در طرحی خارج از برنامهٔ جاری مدرسه را دادند و صدالبته که هیچ‌یک از برنامه‌های ما بدون پشتیبانی خلاقانه و مشتاقانهٔ آموزگاران بلک‌آوتن اجراشدنی نبود. ما همچنین خود را مدیون لری ملونی[2] و ناتالی همپل دِ ایبارا[3] می‌دانیم که بی‌دریغ امکانات و زمان در اختیار ما گذاشتند و با جدیت و دقت ما را در ثبت شواهد و تفاسیر یاری دادند و همینطور از دیل پروس[4]، لارس چیتکا[5]، رید مونتگیو[6]، کارل فریستون[7] و جف نورث[8] به خاطر راهنمایی‌های مؤثرشان سپاسگزاریم. در پایان مایلیم تا از کریس فریث[9] و برایان چارلزورث[10] برای منش آزاداندیشانه‌شان قدرشناسی کنیم. استودیو لوتولب[11] این طرح را به طور اختصاصی از نظر مالی پشتیبانی کرد، زیرا داوران سایر مؤسسات و پشتیبانان مالی باور نداشتند که جوانان می‌توانند تحقیقات واقعی دانشمندانه انجام دهند.

1 George Inn
2 Larry Maloney
3 Natalie Hempel de Iberra
4 Dale Purves
5 Lars Chittka
6 Read Montague
7 Karl Friston
8 Geoff North
9 Chris Frith
10 Brian Charlesworth
11 Studio Lottolab

اسامی نویسندگان مقاله به شرح زیر است:

P. S. Blackawton[1], S. Airzee[1], A. Allen[1], S. Baker[1], A. Berrow[1], C. Blair[1], M. Churchill[1], J. Coles[1], R. F. – J. Cumming[1], L. Fraquelli[1], C. Hackford[1], A. Hinton Mellor[1], M. Hutchcroft[1], B. Ireland[1], D. Jewsbury[1], A. Littlejohns[1], G. M. Littlejohns[1], M. Lotto[1], J. McKeown[1], A. O'Toole[1], H. Richards[1], L. Robbins – Davey[1], S. Roblyn[1], H. Rodwell – Lynn[1], D. Schenck[1], J. Springer[1], A. Wishy[1], T. Rodwell – Lynn[1], D. Strudwick[1] and R. B. Lotto[2],*

[1] Blackawton Primary School, Blackawton, Devon, UK

[2] Institute of Ophthalmology, University College London, 11 – 43 Bath Street, London EC1V 9EL, UK

*(Author for correspondence (lotto@ucl.ac.uk).

از جناب آقای دکتر میرلوحی که این مقاله را برای ترجمه معرفی کردند سپاسگزاری می‌شود.