

علم و جامعه

تاریخ اعداد مختلط



حسن فتاحی*

● عده‌های موهومی که در ریاضیات با نماد «i» نمایش داده می‌شوند، نخستین‌بار در سده شانزدهم میلادی وارد ریاضیات شد. اولین ریاضی‌دانی که اعداد مختلط را به کار برد «کاردانو»ی ایتالیایی بود. کاردانو حرفه‌های متفاوتی داشت؛ ریاضی‌دان، پزشک و فیلسوف. او به سال ۱۵۴۵ کتابی چاپ کرد که در آن حل معادله‌های درجه سوم و چهارم را شرح داد. کمی پیش از کاردانو، دیگر ریاضی‌دان ایتالیایی حل این معادلات را کشف کرده بود. کاردانو در کتابش روش حل معادلات را ارائه می‌کند که به نام خود او هم مشهور است. تاریخ جست‌وجوی روش کلی معادله درجه سوم بسیار جالب است و برای نخستین‌بار دیگر ریاضی‌دان ایتالیایی، تارتاگلیا، به آن پرداخت. تارتاگلیا در فقر بزرگ شد و حتی نتوانست مدرسه را تمام کند، اما با نبوغ خود ریاضیات را فراگرفت. در سال ۱۵۳۰ او توانست حالت خاصی از معادله درجه سوم را حل کند. در آن زمان مسئله حل معادله کلی درجه سوم برای دانشمندان مطرح بود؛ اما تارتاگلیا راه‌حل کلی را نمی‌دانست. درباره تارتاگلیا داستانی وجود دارد که پیروزی درخشانی را در برابر «فیوره»، مدعی حل مسائل ناب ریاضی روایت می‌کند. ۳۰ سؤال ریاضی را که فیوره نتوانست در ۵۰ روز حل کند، تارتاگلیا در یک نیم‌روز حل کرد. تارتاگلیا راه‌حلی را که برای معادله درجه سوم یافته بود، پنهان کرد و امید داشت روش حل مسئله را در سال‌های که قصد داشت درباره جبر بنویسد، منتشر کند.

امروزه دستور تارتاگلیا به نام دستور کاردانو معروف است. موضوع این بود که کاردانو از تارتاگلیا خواهش کرد راز حل معادله‌های درجه سوم را برای او فاش کند و درمقابل قبول داد که این راز را مخفی نگه دارد، ولی کاردانی پس از شش سال سوگند خود را شکست و راه‌حل او را در کتاب «فن بزرگ عمل‌های جبری» به نام خودش چاپ کرد. این رفتار کاردانو موجب خشم تارتاگلیا شد و تا پایان عمر با هم جد داشتند.

کاردانو برای اینکه دستور کلی را مطرح کند لازم بود عده‌های مختلط را به کار ببرد که در حالت‌های خاصی استفاده از آنها ضروری بود تا ما را به نتیجه‌ای برساند که ریشه‌های حقیقی را به دست آوریم.

«بومبلی»، ریاضی‌دان ایتالیایی سده شانزدهم، نخستین کسی بود که به اعداد مختلط – البته نه‌چندان دقیق- پرداخت. او به سال ۱۵۴۲ قانون ضرب عده‌های مختلط را تنظیم کرد و نشان داد که گاهی عمل روی عده‌های موهومی منجر به اعداد حقیقی می‌شود. در سده هفدهم ژنرال به جست‌وجوی کاربردهای اعداد مختلط پرداخت. او سودمندی اعداد مختلط را در رابطه‌هایی که بین ضریب‌ها و ریشه‌های یک معادله وجود دارد، یافته بود و درباره‌اش چنین نوشت: این ریشه‌های مختلط برای چیست؟ برای برقراربودن قاعده کلی درباره سه ریشه معادله؛ زیرا معادله ریشه دیگری ندارد که مورد استفاده قرار گیرد.

در آغاز سده هجدهم لایبنیتس آلمانی از اعداد مختلط استفاده می‌کرد. او در سال ۱۷۰۲ عده‌های مختلط را برای تجزیه چندجمله‌ای‌ها به کار برد. با وجود این عده‌های مختلط را به صورت کلی خود هنوز به کار نمی‌برد؛ برای نمونه به این پرسش که عده‌های مختلط چیست چنین پاسخ می‌دهد: این اندیشه ذهنی جنبه دوگانه‌ای دارد و در مرز بود و نبود واقع است؛ در اعداد مختلط رابطه بسیار مهمی وجود دارد که به «رابطه مووآر» معروف است؛ نامی برگرفته از ریاضی‌دان فرانسوی، آبراهام دو مووآر. مووآر در فرانسه زاده شد و در انگلستان به تحقیق ریاضی پرداخت. او از دوستان آیزاک نیوتن بود و از او به نیکی یاد کرده است. با استفاده از رابطه مووآر، ریاضی‌دان ناموری به نام اولر توانست رابطه مهمی را در اعداد مختلط کشف کند که به دستور اولر معروف است. این دستور به اولر امکان داد که در ماهیت اعداد مختلط بیشتر نفوذ کند. پایه‌گذاری دقیق عمل‌های حسابی روی اعداد مختلط به وسیله «وسل»، ریاضی‌دان دانمارکی، در کارهایش که در فرهنگستان علوم دانمارک چاپ شد، انجام گرفت. او اعداد مختلط را به شکل بردارها به طریق هندسی بررسی کرد. متأسفانه نوشته‌های ریاضی وسل در زمان حیاتش چندان مورد توجه قرار نگرفت.

زمانی که ریاضی‌دان نامور آلمانی، گوس، کاری مشابه وسل انجام داد، توجه ریاضی‌دانان به آن جلب شد. گوس در شناساندن اعداد مختلط نقشی اساسی داشت و صورت امروزی را به آنها داد. تلاش‌های ریاضی‌دانان سده نوزدهم موجب پیدایش تاب‌هایی با متغیر مختلط شد که در زمان ما کاربردهای زیادی در دانش و صنعت یافته است؛ برای نمونه ژئوکوسکی از نظریه تاب‌های با متغیر مختلط برای کشف قانون‌های فشار بر بال هواپیما استفاده کرد. امروز همه قانون‌های مربوط به هواپیما و موشک و… بر اساس نظریه تواج با متغیرهای مختلط تنظیم شده‌اند.

✽ **عضو هیئت تحریریه فصل‌نامه نقد کتاب علوم محض و کاربردی**

● ترجمه: **عبدالله مصطفایی**

تصفیه‌خانه آب Sunny Slope در پاسادنا نیز شبیه اکثر تصفیه‌خانه‌های کوچک آب کالیفرنیا بوده و با مشکل آلودگی نیترات دست‌به‌گریبان است. این ماده شیمیایی میراث فعالیت‌های وسیع کشاورزی است که در این ایالت در جریان است و این ماده می‌تواند باعث نقص تولد و نیز سرطان شود. این تصفیه‌خانه جهت حصول به استانداردهای ایالتی آب آشامیدنی، باید به نحو مناسبی آب‌های استخراج‌شده از پنج چاه خود را مخلوط کند تا بتواند آب قابل شرب برای ۳۸ هزار خانوار را تامین کند. در چنین شرایطی اگر میزان نیترات یکی از چاه‌ها به حدی برسد که مجبور به بستن آن شوند، بایستی با یک مدیریت صحیح، دیگر منابع آب با هزینه بیشتری به خدمت گرفته شود و این یکی از دغدغه‌های آقای چنگ، به‌عنوان مدیر اصلی این تصفیه‌خانه آب است. این موضوع باعث شده است که آقای چنگ به‌دنبال راه‌حل‌های ارزان‌تر باشد. مشکل اصلی فناوری‌های موجود برای حذف نیترات، زائدات تولیدشده در این فناوری‌ها است چون دفع آنها پرهزینه خواهد بود. آقای چنگ دراین‌باره می‌گوید: «ما زیرساخت‌های لازم برای جابگیرن و جدید کرده است و برای این کار به قدرت تصفیه آب میکروب‌ها متوسل شده است. البته این میکروب‌ها در خاک و آب نیز وجود دارند. آقای چنگ به سراغ شرکتی به نام Microvi رفته است که در خلیج سانفرانسیسکو قرار دارد و روش منحصربه‌فرد استفاده از میکروب‌های تصفیه‌کننده برای کاهش زائدات را به خدمت گرفته است. اگر این شرکت بتواند این فرایند را در مقیاس تصفیه‌خانه‌های واقعی اجرا کند، می‌تواند با کاهش هزینه و استفاده از یک سری تجهیزات کوچک، مشکل بزرگ نیترات آب در جامعه بزرگ کالیفرنیا را حل کند. ازاین‌رو خام دارنی که یک مهندس محیط زیست در دانشگاه کالیفرنیا در دیویس است، گفته است «در صورت کارایی لازم، این فرایند شبیه جوب جادو خواهد بود».

نوشیدنی حباب‌دار

در صنعت، روش استاندارد برای حذف نیترات‌ها از آب آشامیدنی فرایندی است که به آن تبادل یونی گفته می‌شود و در آن جریان آب از یک سری بستر رزینی مخصوص عبور داده می‌شود تا نیترات‌ها را جذب کند. نحوه کار به این صورت است که یون‌های املاح موجود در رزین با نیترات‌های موجود در آب جابه‌جا می‌شوند. کارکرد این سیستم باعث تولید یک جریان غنی از املاح می‌شود که دفع آن پرهزینه است. جالب آن است که برای اجتناب از تولید این جریان پر از املاح، اخیرا شرکت‌ها به‌دنبال سیستم‌های تصفیه‌ای رفته‌اند که از میکروب‌ها استفاده می‌کنند. البته قیلا از این سیستم‌ها در تصفیه فاضلاب‌ها استفاده می‌شد ولی بهره‌برداری از آنها در تصفیه آب آشامیدنی، دیدگاه جدیدی است. هرچند در این فرایندها جریان پر از املاح تولید نمی‌شود ولی تکثیر و سپس مرگ میکروب‌ها باعث ایجاد یک لجن می‌شود که باید به نحو مدیریت شود و در راستای این مدیریت گاهی پیشنهاد می‌شود که این لجن به تصفیه‌خانه‌های فاضلاب ارسال شود که البته این راهکار نیز مستلزم هزینه است. باوجوداین شرکت Microvi مدعی است راهکاری یافته است که هنگام استفاده از میکروب‌ها در تصفیه آب آشامیدنی لجنی تولید نمی‌شود. آنها میکروب‌ها را روی یک سری کامپوزیت پلاستیکی با قابلیت عبور آب و در اندازه دانه‌های تسبیح نشانده‌اند تا بتوانند شرایط مناسبی را برای فرایندی ایجاد کنند که به آن «رشد پنهان»

گفته می‌شود که در آن اصطلاحا امکان تولید مثل ارگانیسم‌ها سلب می‌شود ولی هم‌زمان امکان زنده‌ماندن آنها برای پاک‌سازی آب فراهم می‌شود. این شرکت نام این کامپوزیت را «بیوکاتالیست» نامیده است. اساسا این بیوکاتالیست‌ها میکروب‌ها را در شرایطی قرار می‌دهند که نرخ رشد و نرخ مرگ آنها یکسان باشد و به بیان دیگر میکروب‌های زنده، میکروب‌های مرده را هضم می‌کنند و جمعیت کلی آنها برای یک دوره ۵ تا ۱۰ساله تقریبا بدون تغییر خواهد ماند. امین رضوی مدیر بخش نوآوری در شرکت Microvi است و در این زمینه گفته است: «ما میکروارگانیسم‌ها را تغییر نمی‌دهیم، ما فقط آنها را در شرایطی قرار می‌دهیم که دریافته‌ایم می‌توانند رشدی نداشته ولی از لحاظ متابولیکی در فاز فعال باشند». تجهیزات این شرکت بسیار شبیه پاتیل بزرگی است که برای تولید نوشیدنی‌های حباب‌دار مورد استفاده قرار می‌گیرد. آب خام وارد یک مخزن هم‌زده می‌شود که حاوی میلیون‌ها ساچمه بیوکاتالیستی است. هرکدام از این دانه‌های تسبیح نیز میله‌دارها میکروب دارند و نوع آنها از میان صدها نوع باکتری انتخاب شده است که شرکت در یافته است بهترین کارایی را در حذف آلاینده‌ها دارند. زمانی که آب از میان این دانه‌ها عبور می‌کند، میکروب‌ها با کمک اسید استیک پمپ‌شده به مخزن، نیترات‌ها را به گاز نیتروژن تبدیل می‌کند که بی‌ضرر بوده و وارد اتمسفر می‌شود. آزمایش‌های انجام‌شده توسط یک مؤسسه معتمد این اطمینان را به دولت ایالتی کالیفرنیا داده است که این روش قادر است نیترات‌های موجود در آب را به رقم پنج میلی‌گرم در لیتر یا کمتر برساند. این عدد با نتایج حاصل از روش تبادل یونی قابل رقابت بوده و از استاندارد ۱۰ میلی‌گرم در لیتر تعیین‌شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست یک کمتر است. به علاوه آزمایش‌های بنیاد تحقیقات (WRF) که یک مؤسسه غیرانتفاعی است نیز حاکی از آن است که هزینه سیستم شرکت Microvi در یک دوره ۲۰ساله حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد کمتر از هزینه سیستم رزین‌های تبادل یونی است. رضوی توضیح می‌دهد که پس از گذشت پنج تا ۱۰ سال که بیوکاتالیست‌ها خراب شدند و دیگر قابل استفاده نبودند شرکت آنها وظیفه دفع این بیوکاتالیست‌ها را برعهده خواهد داشت و می‌تواند از پلاستیک‌های بازافتی آنها برای مصارف آتی استفاده کند. نهایتا هر چیزی که باقی بماند را می‌توان به مراکز دفن زباله فرستاد و شاید از این جهت باشد که این شرکت مدت‌هاست فناوری آنها در تصفیه‌خانه آب Sunny Slope یک‌دهم دیگر فرایندهای رقیب، زائدات جامع تولید می‌کند و متخصصان امر نیز منتظرند چنین نتایجی را در سیستم‌ها و تصفیه‌خانه‌های بزرگ‌تر به رای‌العین ببینند.

علم

تصفیه آب وفاضلاب به‌کدام سومی‌رود؟

حذف نیترات از آب آشامیدنی با کمک میکروب‌ها



نیودر‌احل ساده

هرچند شرکت Microvi از این فناوری برای حذف آمونیاک، فسفر و چند آلاینده دیگر از آب آشامیدنی و فاضلاب استفاده کرده، ولی شاید تنها اشکال آن است که هنوز در تصفیه‌خانه‌های بزرگ آب اجرا نشده است. راکتورهای این فرایند باید به صورت اجزای جداگانه (مدولار) درون سیستم تأسیسات بزرگ‌تری که مراحل مختلف تصفیه آب از (فیلتراسیون تا کلریناسیون) را در خود دارد، قرار داده شود. این مدولاربودن دارای هزینه کمتری نسبت به ساختن یک تصفیه‌خانه کامل است و همین مشخصه باعث جذاب‌ترشدن موضوع برای صاحبان تصفیه‌خانه‌ها خواهد شد. آقای امل مشاور شرکت Micovi معتقد است که سیستم بیوکاتالیستی این شرکت قادر است در یک دوره پنج‌ساله سهم قابل توجهی از این بازار را به خود اختصاص دهد. رضوی اشاره می‌کند که سیستم نصب‌شده در تصفیه‌خانه آب Sunny Slope حدود دو سال دیگر به فعالیت خود ادامه خواهد داد و در آینده سیستم بزرگ‌تر این شرکت به ظرفیت سه راکتور ۳۸هزارلیتری به کار گرفته خواهد شد تا بتواند روزانه پنج و سه دهم میلیون لیتر آب را تصفیه کند. مقرر شد است این سیستم بزرگ‌تر در تابستان ۲۰۱۹ میلادی به عنوان قسمتی از یک پروژه بزرگ‌تر در کنار دیگر شرکت‌ها در شرکت آب دره کوکامونگا در خارج از لس‌آنجلس نصب شود. البته قیلا این شرکت تأسیسات خود را در استرالیا و انگلستان نصب کرده و قرار است دو سیستم دیگر را نیز در تصفیه‌خانه‌های دره مرکزی کالیفرنیا به مرکز آلودگی نیتراتی این ایالت به‌شمار می‌روند، نصب کند. آقای سوزا مهندس ارشد شورای کنترل منابع آب ایالت کالیفرنیاست و معتقد است که این سیستم جدید «نسبتا جذاب» است. او می‌افزاید: «یک راه‌حل ساده برای مشکل نیترات وجود ندارد. یعنی ما در حال مذاکره با چندین شرکت درخصوص حل مشکل نیترات هستیم و هر کدام از آنها مزایا و معایب خود را دارند». البته او متذکر شده است که سیستم Microvi برای تصفیه‌خانه‌های کوچک آب و نیز تصفیه‌خانه‌هایی که دور از ساحل هستند، مناسب است چون این تصفیه‌خانه‌ها نمی‌توانند با هزینه کم، جریان غلیظ حاوی املاح را دفع کنند. در ادامه رضوی اشاره می‌کند که یکی از بزرگ‌ترین اهداف ما تغییر سیستم‌های تصفیه آب آشامیدنی این کشور از فرایندهای شیمیایی فیزیکی موجود است، چون این سیستم‌ها به انرژی زیاد نیازمند بوده و زائدات زیادی نیز تولید می‌کنند. البته آقای چنگ از تصفیه‌خانه آب Sunny Slope در پاسادنا ی کالیفرنیا نیز از این مشارکت خوشحال است و می‌گوید: «ما با همکاری شرکت Microvi در حال عرضه این فناوری به بازار هستیم. ما اولین مؤسسه‌ای هستیم که بهره‌برداری از این سیستم در آن مورد موافت قرار گرفته است و از این موضوع مشعوف هستیم».

درباره شرکت Microvi

اگر سری به سایت این شرکت بزنید، خواهید دید که بسیاری از افراد کلیدی این شرکت ایرانی هستند و آنها توانسته‌اند فناوری‌های جدید را در خدمت محیط زیست قرار دهند. در یک جست‌وجوی ساده متوجه می‌شوید که با توجه به حساسیت‌های اجتماعی و زیست‌محیطی موجود، شرکت مایکرووی بیوکامپوزیت‌ها تمرکز داشته است. مواد اولیه به شکل جامد، مایع یا گاز در یک تانک یا بیوراکتور با بیوکامپوزیت‌ها در تماس قرار می‌گیرند. خروجی فرایند تبدیل زیستی می‌تواند شامل آب تصفیه‌شده و انواع مواد شیمیایی باشد. در بیوتکنولوژی صنعتی، نیاز به نگاهی فراتر‌از کدهای ژنتیکی ارگانیسم‌ها و بررسی محرک‌های محیطی به عنوان یک عامل کلیدی در درک، کنترل و توسعه فناوری‌های مبتنی بر بیوکاتالیست، کاملا محسوس است. شرکت مایکرووی با اجرای طرح «مهندسی مایکرونیچ» (Microniche) در این زمینه پیشگام بوده است. این شرکت با استفاده

از علم مواد، انواع مختلف فرایندهای تجاری برای استفاده از جمعیت‌های میکروبی در زیست‌فرایندهای صنعتی را توسعه داده است. مهندسی مایکرونیچ در واقع بازسازی زیستگاه طبیعی میکروارگانیسم‌ها برای دستیابی به اهداف عملکردی مشخص و تعیین‌شده است. توسعه مهندسی مایکرونیچ بر پایه استفاده از کامپوزیت‌ها به عنوان حامل برای تحت تأثیر قراردادن رفتار و ساختار جمعیت‌های میکروبی و آراییم‌ها استوار است. این رویکرد مشابه استفاده از پلاسمدها به عنوان حامل برای انتقال صفات مورد نظر به میکروارگانیسم‌ها در مهندسی ژنتیک است. بیوکاتالیست، ابزاری قدرتمند برای بسیاری از کاربردهای صنعتی محسوب می‌شود. بیوکاتالیست علاوه بر صنایعی چون صنعت غذا، دارو و شونده‌ها، در فناوری‌های فرایندی آب، پساب و مواد شیمیایی زیست‌بنیان نیز کاربرد دارد. این صنایع نیازمند فناوری‌های کم‌هزینه و در عین حال کارآمد و قابل اطمینان هستند. مهندسی ژنتیک، امکان دستیابی به اهداف ارزشمندی را با استفاده از بیوکاتالیست فراهم می‌کند. از این رو، بیوتکنولوژی سفید با فرایندهای فیزیکی و شیمیایی فعلی قابل رقابت است. مشابه عملکرد پلاسمدها، در این روش نیز تنظیمات سلولی جمعیت‌های میکروبی در پاسخ به ویژگی‌های کامپوزیت مورد استفاده دستخوش تغییر می‌شود. اولین مرحله در مهندسی مایکرونیچ، تعیین پارامترهای بیولوژیکی و فیزیکی- شیمیایی موردنظر و توسعه ویژگی‌های کامپوزیت زیستی بر اساس آن پارامترهاست. در مرحله دوم با استفاده از اطلاعات مرحله اول: ۱- ماکروساختار کامپوزیت مورد نظر بهینه می‌شود، ۲- عملکرد آن در شرایط مختلف ارزیابی می‌شود، ۳- کنترل و تولید نمونه اولیه صورت می‌گیرد و ۴- بازخورد نمونه نهایی برای بهینه‌سازی ساختار و ترکیب بیوکاتالیست حاصله تعیین می‌شود. انواع مختلف میکروارگانیسم‌ها شامل مخمرها، قارچ‌ها، آرکی‌ها، میکروخلیک‌ها، باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی، میکروارگانیسم‌های ریس‌های، ترومفیل‌ها، ارگانیسم‌های مهندسی‌ژنتیک‌شده و مخلوط‌های میکروبی، قابلیت استفاده در این فناوری را دارند. شناسایی گونه میکروبی بهینه، خود درآورد مهمی است که طی اجرای مهندسی مایکرونیچ کامل می‌شود. محصول مهندسی مایکرونیچ، یک بیوکامپوزیت مناسب فرایندی شامل میکروارگانیسم‌ها، آنزیم‌ها و ماده مشخصی است که می‌تواند سبب بهبود و ارتقای راندمان فرایند شود. بیوکامپوزیت حاصله می‌تواند برای تولید مواد شیمیایی تجدیدپذیر و مصرف آب به‌ساده با راندمان‌های بسیار بالاتر مورد استفاده قرار گیرد. کاربرد صنعتی بیوکامپوزیت‌های مایکرونیچ وابسته به ساختار و ترکیب آنهاست.

Scientific American, Jun.2019

انتخاب طبیعی

دست‌کاری حافظه، از پرندۀ تا انسان



سیده‌ضحی حسینی‌نصر*

● در چند سال اخیر نتایج تحقیقات در زمینه هوش مصنوعی و علوم اعصاب تعجب بسیاری را برانگیخته است؛ از رونمایی از رباتی به نام سوفیا گرفته تا نتیجه پژوهشی که دانشمندان چینی طی آن توانستند از روی نوار مغز افراد فکشان را به واژه‌های معمول رمزگشایی کنند. مطالعاتی از این دست که در گذشته نه‌چندان دور محال به نظر می‌رسید، اکنون به خبرهایی نه‌چندان عجیب بدل شده‌اند. در اکتبر سال جاری خبر جالب دیگری در این حوزه به گوش عموم رسید. دانشمندان در دانشگاه تکراس توانستند «خاطراتی» را در مغز فنج‌های اراره جای دهند و بدین وسیله آنها توانستند آوازهایی بخوانند. جزئیات نتایج این آزمایش به شرح زیر است:

دانشمندان موفق شدند نته‌ای موسیقی را از طریق دست‌کاری فعالیت‌های نورون‌های مغز چند پرندۀ رمزگشایی کنند. سپس پرندگان از خاطره کاشته‌شده به منظور یادگیری آوازی جدید که تا پیش از آن نشنیده بودند، استفاده کردند. همان‌طور که می‌دانیم تأثیرگذارترین ابزار در یادگیری زبان جدید تکرار است. این همان تکنیکی است که نوزاد انسان به کار می‌گیرد. نوزادان با تقلید از والدین خود یاد می‌گیرند چطور حرف بزنند. فنج‌های والد نیز زمانی که زاده‌هایشان جوان هستند برایشان آواز می‌خوانند و در نتیجه بچه‌ها شروع می‌کنند به تقلید از صدای آنها. به مرور زمان آنها در خواندن آواز استاد شده و همین مهارت را به زاده‌های خود منتقل می‌کنند. می‌توان گفت به‌نوعی فنج‌های اراره نسخه ساده‌شده‌ای از تحول زبان شفاهی در انسان را نشان می‌دهند. آنچه در مطالعه جدید اتفاق افتاد، جالب توجه است. محققان فرایند یادگیری را دور زدند و به جای آن مستقیما مغز فنج‌های جوان را دست‌کاری کردند و در نتیجه آن، فنج‌ها توانستند بخشی از یک آواز را مستقل از هرگونه آموزش‌ای ازسوی والدین‌شان، بخوانند. دانشمندان این کار را با استفاده از اپیزونتیک –ترکیبی از علم ژنتیک و روش‌های نوری- انجام دادند. تکنیکی که در آن از فلش‌های نور به‌منظور تحریک نورون‌های مشخصی در مغز استفاده می‌شود. در این مورد، دانشمندان از روشی برای بخشی از مغز را که آنچه پرندۀ می‌شود، پردازش می‌کند و بخشی که قسمت حرکتی مربوط به آواز را کنترل می‌کند، دست‌کاری کردند. دربی این دست‌کاری، حافظه‌های شنیداری را ایجاد کردند؛ درحالی‌که به‌طور طبیعی باید از محیط بیرون می‌آمد و پرندۀ به تقلید آن می‌پرداخت. در این آزمایش محققان برای آموزش اینکه هجاهای آواز باید چقدر بلند باشد از نوعی که مورش استفاده کردند. در واقع پالس‌های طولانی‌تر نور به پرندۀ می‌گفت که مجاها را طولانی‌تر بخواند و برعکس. همان‌طور که پیش‌بینی می‌شد درنهایت فنج‌ها با اینکه هرگز تحت آموزش هیچ پرندۀ دیگری قرار نگرفته بودند، توانستند یاد گرفتند تا بخشی از یک آواز را بخوانند. البته از این نکته نباید غافل شد که یادگیری آواز به طریقی که توضیح داده شد نتیجه‌ای به‌مراتب ساده‌تر از آوازی که فنج‌ها به‌طور طبیعی از والدین‌شان می‌آموزند، دربی داشت. پژوهشگران اظهار کردند که با این حال هنوز به‌درستی نمی‌دانند کدام بخش‌های مغز جنبه‌های دیگری نظیر فکر صدا یا ترتیب هر آوا را کنترل می‌کند. تاد رابرتز، دانش‌آموخته دانشگاه مرلند که روی تکامل مدارهای عصبی کار می‌کند و محقق اصلی در این تحقیق است، می‌گوید: «ما به پرندۀ تمام چیزهایی که لازم است بدانم، یاد نمی‌دهیم، فقط مدت زمان را که باید با تکرار، یاد این فنایوری می‌تواند از سوی برخی دولت‌ها به شکل نادرستی مورد سوءاستفاده قرار گیرد، در نتیجه آن می‌توان خاطراتی کاملا غلط و غیرواقعی را در مغز مردم جای داد و این‌گونه می‌توان به مردم چیزهایی را القا کرد که هرگز انجام نداده‌اند؛ یا ترسان‌کتر از آن می‌توان خاطرات غلطی را در ذهن افراد کاشت و از این طریق واکنش‌های غیرطبیعی بدن را که دستگاه دروغ‌سنج ثبت می‌کند، به واکنش‌های طبیعی تبدیل کرد و به این ترتیب دروغ‌سنج را دور زد.

✽ **کارشناس ارشد روان‌شناسی بالینی کارشناس زیست‌شناسی**