

حُب، به نظر شما علم چیست؟ عقل سلیم می گوید که شما معلم های علوم جواب این سؤال را خیلی خوب می دانید. اگر هم احیاناً جوابش را نمی دانید، در همه ی کتاب های راهنمای معلم کتاب های درسی درباره ی این مسئله به اندازه ی کافی بحث شده است. در این صورت، من چه می توانم بگویم؟

حالا که این طور است، دلم می خواهد برایتان تعریف کنم که چطور یاد گرفتم که علم چیست. چیزی را که برایتان تعریف می کنم ممکن است کمی بچگانه به نظر برسد، چون آن را موقعی که بچه بودم یاد گرفتم و از همان اول در خونم بود. شاید فکر کنید می خواهم بهتان یاد بدهم که چطور درس بدهید؛ من اصلاً و ابداً چنین قصدی ندارم. فقط می خواهم با گفتن اینکه چطور آن را یاد گرفتم، به شما بگویم که علم چیست.

راستش را بخواهید، یاد دادنش کار پدرم بود و به زمانی برمی گردد که مادرم من را حامله بود! البته این حرف ها را بعداً شنیدم، چون آن موقع از صحبت هایشان بی خبر بودم! پدرم می گفت: «این بچه اگر بزرگ شود یک دانشمند درست و حسابی می شود!»

چطور این حرف درست از آب درآمد؟ او هیچ وقت به من نگفت که باید حتماً یک دانشمند بشوم. خودش که اصلاً دانشمند نبود؛ یک تاجر بود، مدیر فروش در شرکتی که لباس های یک شکل تولید می کرد. ولی تا دلتان بخواهد عاشق علم بود و زیاد می خواند. موقعی که خیلی کوچک بودم و هنوز در صندلی بچه غذا می خوردم، بعد از شام پدرم با من بازی می کرد. او تعداد زیادی کاشی های ریز کف حمام آورده بود. من آنها را روی هم می چیدم و این اجازه را داشتم که آخری را فشار بدهم تا ببینم چطوری همه چیز فرو می ریزد. حُب، تا اینجا اوضاع روبه راه بود. بعداً بازی ما پیشرفته تر شد. کاشی ها رنگارنگ بودند و این دفعه من باید یک کاشی سفید، دو کاشی آبی، یک کاشی سفید، دو کاشی آبی و همین طور تا آخر روی هم می چیدم. من دوست داشتم یک کاشی

آبی بگذارم، اما نمی شد؛ حتماً باید دو تا می گذاشتم. حالا دیگر فکر کنم متوجه کلک پنهان این بازی شده اید: اول بچه را گرفتار بازی می کنید، بعد آرام آرام چیزهایی را که ارزش آموزشی دارند به او تزریق می کنید!

حُب، مادرم زن حساسی بود و متوجه این کوشش های موزیانه شد و گفت: «مل! لطفاً بگذار اگر بچه بیچاره دلش می خواهد کاشی آبی بگذارد.» پدرم هم می گفت: «نه! دلم می خواهد متوجه طرح ها بشود. این پایین ترین سطح ریاضی است که می توانم بهش یاد بدهم.»

اگر هدفم این بود که بهتان بگویم «ریاضی چیست؟»، تا حالا باید گرفته باشید: ریاضی پیدا کردن طرح هاست. آموزش او برایم خیلی مؤثر بود. اولین کسب موفقیت از این آموزش، موقعی بود که به مهد کودک رفتم. ما در مهد کودک چیزهایی را می بافتیم. به ما می گفتند کاغذهای رنگی را مثل نوارهای عمودی ببافیم و از بافتن آنها طرح هایی به دست بیاوریم. (الان دیگر از این کارها نمی کنند؛ می گویند برای بچه خیلی سخت است.) معلم مهد به قدری از کار من تعجب کرد که نامه ای به خانه فرستاد و اعلام کرد که این یک بچه ی استثنایی است، چون قبل از بافتن می تواند تجسم کند که طرحش چه شکلی می شود و بلد است طرح های پیچیده و شگفت انگیز درست کند! معلوم می شود که بازی کاشی برای من خیلی مؤثر بود.

حالا می خواهم درباره ی تجربه های ریاضی ام در نوجوانی حرف بزنم. چیز دیگری که پدرم گفت و من نمی توانم آن را کامل و خوب توضیح بدهم، این بود که نسبت محیط به قطر همه ی دایره ها همیشه بدون توجه به اندازه ی آنها مساوی است. این نظر به عقیده ی من اصلاً بدیهی نبود، ولی این نسبت یک خصوصیت جالب داشت: یک عدد خیلی جالب و عجیب و غریب به نام پی. درباره ی این عدد معمایی وجود داشت که من در نوجوانی اصلاً نمی توانستم بفهمم. اما خیلی جالب بود و به همین خاطر همه جا

دنبال پی بودم. بعدها زمانی که در مدرسه یاد گرفتم چطور می شود اعداد کسری را به اعشاری تبدیل کرد و چطور سه و یک هشتم برابر 3,125 می شود، یکی از دوستانم نوشت که این عدد مساوی پی است، یعنی نسبت محیط به قطر دایره. معلممان آن را به 3,1416 تصحیح کرد. این قصه ها را می گویم تا روی یک نکته تأکید کنم: برای من مهم نبود که خود عدد چه است، مهم این بود که درباره ی این عدد معما و شگفتی وجود داشت. بعداً وقتی در آزمایشگاه آزمایش می کردم -منظورم آزمایشگاه شخصی ام است که در آن برای خودم می پلکیدم و رادیو و وسایل مختلف درست می کردم- آرام آرام با استفاده از کتاب ها و دستورات عمل ها کشف کردم که در الکتروسیسته فرمول ها و روابطی وجود دارند که جریان، مقاومت و... را به هم ربط می دهند. یک روز با نگاه کردن به کتاب فرمول ها، فرمولی برای بسامد یک مدار تشدید کشف کردم که به صورت خودالقایی عمل می کرد و C ظرفیت خازن آن بود. آن میان، سروکله ی پی هم پیدا شده بود. ولی دایره کجا بود؟ هان؟

دارید می خندید؟ ولی من آن موقع خیلی جدی بودم. پی یک چیزی بود که به دایره مربوط می شد و حالا آنجا از مدار الکتریکی سر درآورده بود. شماها که دارید می خندید اصلاً می دانید سر و کله پی از کجا پیدا می شود؟!

من عاشق این موضوع شده بودم. دنبال جواب آن می گشتم و همیشه هم به آن فکر می کردم. بعداً فهمیدم که پیچه ها به شکل دایره ساخته می شوند. شش ماه بعد یک کتاب پیدا کردم که خودالقایی پیچه های دایره ای و مربعی را داده بود و در پی همه ی فرمول ها وجود داشت. باز فکر کردم و فهمیدم که پی به پیچه های دایره ای مربوط نیست. حالا کمی بهتر آن را می فهمم، ولی ته دلم هنوز نمی دانم دایره کجاست و پی از کجا سر درآورده است.

آن وقت ها که خیلی جوان بودم -یادم نمی آید چند سالم بود- واگنی داشتم که یک توپ

در آن بود و من آن را می کشیدم. حین کشیدن، متوجه موضوعی شدم. پیش پدرم رفتم و به او گفتم: «وقتی واگن را می کشم توپ عقب می رود، ولی وقتی با واگن می دوم و می ایستم توپ جلو می رود. چرا؟ چه جوابی می دهی؟» گفت: «هیچ کس دلیل این را نمی داند، با اینکه این یک موضوع کلی است و همیشه هم اتفاق می افتد. هر چیزی که حرکت می کند می خواهد که به حرکت خودش ادامه بدهد، هر چیز ساکنی هم دلش می خواهد وضعیت خودش را حفظ کند و ساکن بماند. اگر خوب نگاه کنی، می بینی که وقتی از حالت سکون شروع به حرکت می کنی توپ عقب نمی رود، بلکه یک کمی هم جلو می رود، ولی نه با سرعت واگن. به خاطر همین، قسمت عقب واگن به توپ می خورد. این اصل را اینرسی می گویند.» من دویدم تا قضیه را امتحان کنم و البته توپ اصلاً عقب نمی رفت.

پدر بین «آنچه می دانیم» و «اسمی که برایش می گذاریم» خیلی فرق قائل بود. درباره اسم ها و واژه ها یک داستان دیگر برایتان تعریف می کنم. من با پدر روزهای آخر هفته برای گردش به جنگل می رفتیم و آنجا چیزهای خیلی زیادی درباره ی طبیعت یاد می گرفتیم. دوشنبه ها، با بچه ها توی مزرعه بازی می کردیم. یک بار پسری به من گفت: «آن پرنده را می بینی که روی چمن ها نشسته است؟ اسمش چیست؟» گفتم: «هیچ چیز از آن نمی دانم!» برگشت و گفت: «اسمش باسترک گلوقهوه ای است. پدرت به تو چیزی یاد نداده است؟»

توی دلم به او خندیدم. پدر قبلاً به من یاد داده بود که اسم، هیچ چیز درباره آن پرنده به من یاد نمی دهد. او به من یاد داده بود که: «آن پرنده را می بینی؟ اسمش باسترک گلوقهوه ای است. توی آلمان بهش هالتسن فلوگل می گویند و در چین چونگ لینگ. ولی اگر تو همه اسم های آن پرنده را هم بدانی، هنوز چیز زیادی درباره ی آن پرنده نمی دانی. فقط می دانی که مردم آن را چه صدا می کنند. ولی باسترک آواز می خواند و به جوجه هایش یاد می دهد که چطوری پرواز کنند و در تابستان کیلومترها پرواز می کند و هیچ

کس هم نمي داند که از کجا راهش را پيدا مي کند.» و خيلي چيزهاي مشابه اين. تفاوتی اساسي وجود دارد بين اسم یک چيز و آن چيزي که واقعاً وجود دارد.

حالا که بحث به اینجا رسید، دلم مي خواهد چند کلمه درباره ي واژه ها و تعاریف برایتان بگویم. بنابراین، بحث را به طور موقت قطع مي کنم. یاد گرفتن واژه ها خيلي لازم است، اما این کار علم نیست. البته منظور من این نیست که چون علم نیست نباید آن را یاد بدهیم. ما درباره ي این که چه چيزي را باید یاد بدهیم حرف نمي زنیم؛ درباره ي این بحث مي کنیم که علم چیست. این که بلد باشیم چطور سانتی گراد را به فارنهایت تبدیل کنیم علم نیست. البته دانستنش خيلي لازم است، ولي دقیقاً علم نیست. برای صحبت کردن با همدیگر باید واژه داشته باشیم، کلمه بلد باشیم و درست هم همین است. ولي خوب است بدانیم که فرق «استفاده از واژه» و «علم» دقیقاً چیست. در این صورت، مي فهمیم که چه وقت ابزار علم مثل واژه ها و کلمه ها را تدریس مي کنیم و چه وقت خود علم را یاد مي دهیم.

برای آموزش من، پدرم با مفهوم انرژی ور مي رفت و کلمه را پس از این که ایده اي درباره آن به دست مي آوردم به کار مي برد. کاری را که مي کرد خوب یادم هست. یک روز به من گفت: «سگ عروسکي حرکت مي کند، چون خورشید مي تابد.» من جواب دادم: «نه خیر هم! حرکت آن چه ربطی به تابیدن خورشید دارد؟ سگ برای این حرکت مي کند که من کوکش کرده ام.» پدر گفت: «... و واسه ي چي، دوست من، مي تواني فنرش را کوک کنی؟» گفتم: «چون غذا مي خورم.» پرسید: «چي مي خوري دوست من؟» جواب دادم: «گیاهان را.» دوباره پرسید: «... و گیاهان چطور ي رشد مي کنند؟» گفتم: «گیاهان رشد مي کنند چون خورشید مي تابد.»

و همین طور سگ. درباره ي بنزین چه؟ انرژی ذخیره شده ي خورشید که گیاهان آن را گرفته اند و در زمین ذخیره شده است. همه ي مثال هاي دیگر هم به خورشید ختم مي

شود. همه ي چیزهائي که حرکت مي کنند، حرکتشان به خاطر تابیدن خورشيد است. همين طور ارتباط يک منبع انرژي با منبع ديگر روشن مي شود و دانش آموز دقيقا مي تواند آن را تکذيب کند : «فکر نکنم به خاطر تابیدن خورشيد باشد.» و به اين ترتيب بحث شروع مي شود. اين هم يک مثال از فرق بين تعريف ها-که البته لازم هستند و علم است.

در پياده روي هايي که در جنگل با هم داشتيم چيزهاي زيادي ياد گرفتيم. درباره ي پرندگان، مثالي را پيش از اين طرح کردم، ولي باز يک مثال از پرنده هاي جنگل مي آورم. پدرم به جاي نام بردن آن ها مي گفت : «نگاه کن! مي بيني که پرنده ها خيلي به پرهايشان نوک مي زنند. فکر مي کنی براي چي به پرهايشان نوک مي زنند؟» حدس زد که پرهايشان ژولیده شده اند و پرنده مي خواهد با اين کار آن ها را مرتب کند. گفت : «خب، فکر مي کنی پرها کي نامرتب مي شوند؟ يا چطوري ژولیده مي شوند؟» گفتم : «قبل از اين که پرواز کنند و اين طرف و آن طرف بروند، پرهاشان مرتب است، ولي وقتي پرواز مي کنند پرها به هم مي ريزند و ژولي پولي مي شوند.» گفت : «پس حدس مي زني وقتي پرنده از پرواز برگشته است بايد بيشتري به پرهايش نوک بزند تا موقعي که فقط مدتي براي خودش اين طرف و آن طرف راه رفته و آنها را مرتب کرده است. خب بگذار ببينيم.» يک مدت نگاه کرديم و پرنده ها را پاييديم. معلوم شد که پرنده ها، خواه روي زمين راه بروند يا از پرواز برگشته باشند، يک اندازه نوک مي زنند. پس حدس من غلط بود. پدرم گفت پرنده به اين علت به پرهايش نوک مي زند که شپش دارد. پوسته ي کوچکی از ريشه پر پرنده خارج مي شود که خوراکی است و شپش آن را مي خورد. از بين پاهاي شپش مومي خارج مي شود که غذاي کرم هاي کوچکی است که آنجا زندگي مي کنند. اين غذا براي کرم خيلي زياد است و نمي تواند آن را خوب هضم کند. بنابراين، از بدنش مايعي بيرون مي آيد که شکر زيادي دارد و موجود خيلي کوچولويي از آن شکر تغذيه مي کند و

چيزي که گفتم درست نيست، ولي روح مطلب درست است. در اين مورد، من اولين چيزي که درباره ي انگل ها ياد گرفتم اين بود که يکي از آنها روي يکي ديگر زندگي مي کند. دوم اين که هر جايي در دنيا منبعي از چيزي وجود دارد که قابل خوردن است و مي تواند باعث ادامه ي زندگي شود. يعني موجود زنده اي پيدا مي شود که از آن استفاده کند و هر چيز کوچکي که باقي مي ماند يک موجود ديگر آن را مي خورد.

نتيجه ي اين مشاهده، حتي اگر به نتيجه گيري درست و حسابي هم نرسد، گنجينه اي از طلاست! باور کنيد که نتيجه ي بسيار جالبی است. فکر کنم خيلي مهم است - دست کم از نظر من - که اگر مي خواهيد به مردمديدن و آزمائش کردن را ياد بدهيد، به آن ها نشان بدهيد که از اين کارها چيز قابل توجهي بيرون مي آيد. آن موقع بود که ياد گرفتم علم چيست. علم حوصله بود؛ علم شکیبائي بود. اگر نگاه مي کرديد و مواظب بوديد، توجه مي کرديد و حواستان جمع بود، چيز خوبي گيرتان مي آمد، اگرچه نه هميشه.

در جنگل چيزهاي ديگري هم ياد گرفتم. ما به جنگل مي رفتيم، چيزهاي زيادي مي ديديم و درباره ي آن ها با هم حرف مي زديم. راجع به گياهان، مبارزه ي آن ها براي نور، اينکه چگونه تلاش مي کنند تا ارتفاع بيشتري بالا بروند و مشکل بالا بردن آب به ارتفاع بيش از 10 تا 12 متر را حل کنند، گياهان کوچکي که دنبال نور کمي بودند و اين که نور چطور از آن بالا به لاي برگ ها نفوذ مي کرد....

يک روز بعد از ديدن همه ي اين ها، پدرم دوباره مرا به جنگل برد و به من گفت: «در تمام مدتي که به جنگل نگاه مي کرديم، فقط نصف آن چيزي را که اتفاق مي افتاد مي ديديم. دقيقا نصف!» گفتم: «منظورت چيست؟» گفت: «ما فقط مي ديديم که چيزها چگونه رشد مي کنند. ولي براي هر رشد بايد به همان اندازه مرگ و فروپاشي هم وجود داشته باشد، وگرنه مواد هميشه مصرف مي شوند. درخت هاي خشک شده با تمام موادي که از هوا، زمين و جاهاي ديگر گرفته اند، آنجا افتاده اند. اگر اين مواد به هوا يا زمين

برنگردند هیچ چیز جدید دیگری به وجود نمی آید، چون مواد لازم وجود ندارند. به همین علت، باید به همان اندازه، فروپاشی هم وجود داشته باشد.»

از آن به بعد ما در گردش هایمان در جنگل گنده های پوسیده را می شکستیم و موجودات ریز و قارچ های بامزه ای را می دیدیم که رشد می کردند. او نمی توانست باکتری ها را به من نشان بدهد، ولی اثر نرم کننده ی آن ها را به من نشان می داد. می دیدیم که چطور جنگل مدام دارد مواد را به یکدیگر تبدیل می کند. چیزهای خیلی زیادی وجود داشت. وصف چیزها به روش های عجیب و غریب. شاید هم فکر کنید که سرانجام چیزی عاید پدرم شد.

من به MIT رفتم و بعد به پرینستون. به خانه که برگشتم، پدرم گفت: «همیشه دلم می خواست چیزی را بدانم که هیچ وقت از سر در نیاوردم. خُب پسر جان! حالا که علوم را بهت یاد داده اند، می خواهم آن را برایم روشن کنی.» گفتم: «بله» گفت: «تا آنجایی که می فهمم، می گویند نور وقتی از اتم گسیل می شود که اتم از یک حالت به حالت دیگر می رود؛ از حالت برانگیخته به حالتی با انرژی کمتر.» گفتم: «درست است.» گفت: «و نور نوعی ذره است: فوتون. فکر می کنم به آن فوتون می گویند» گفتم: «بله» ادامه داد: «پس اگر فوتون موقعی که اتم از حالت برانگیخته به حالت پایین تر می رود از آن بیرون بیاید، باید در حالت برانگیخته در اتم وجود داشته باشد.» گفتم: «خُب، نه!» گفت: «خُب، پس چطوری توجیه می کنی که فوتون می تواند از اتم بیرون بیاید بدون اینکه در حالت برانگیخته در آن باشد؟» چند لحظه فکر کردم و گفتم: «متأسفم، نمی دانم و نمی توانم توجیهش کنم.»

بعد از آن همه سال که سعی کرده بود چیزی را به من یاد بدهد، از این که به نتیجه ای چنین ضعیف رسیده بود خیلی ناامید شد. داشتن گنجینه ای از انبوه معلومات که بتواند از نسلی به نسل دیگر منتقل شود چیز جالبی است. اما یک آفت بزرگ دارد: امکانش

هست که ایده هایی که منتقل می شوند زیاد برای نسل بعدی مفید نباشند. هر نسلی ایده هایی دارد، اما این ایده ها لزوماً مفید و سودمند نیستند. زمانی می رسد که ایده هایی که به آرامی روی هم تل انبار شده اند، فقط یک مشت چیزهای عملی و مفید نباشند؛ انبوهی از تعصبات و باورهای عجیب و غریب هم در آنها وجود داشته باشند.

بعد از آن، راهی برای دوری از این آفت کشف شد و آن راه، تردید در مورد چیزی است که از نسل گذشته به ما منتقل شده است. جریان از این قرار است که هر کس به جای اطمینان به تجربیات گذشته، تلاش کند تا موضوع را خودش تجربه کند و این است آنچه «علم» نامیده می شود؛ نتیجه ی اکتشافی که ارزش امتحان کردن دوباره با تجربه ی مستقیم را دارد، و نه اطمینان به تجربه ی نسل گذشته. من آن را این گونه می بینم و این بهترین تعریفی است که می دانم.

قشنگی ها و شگفتی های این دنیا با توجه به تجربه های جدید کشف می شوند. اعجاب از چیزهایی که برایتان گفتم: اینکه چیزها حرکت می کنند چون خورشید می تابد. (البته همه چیز به خاطر تابیدن خورشید حرکت نمی کند؛ زمین مستقل از تابیدن خورشید می چرخد و واکنش های هسته ای می توانند بدون توجه به خورشید انرژی تولید کنند و احتمالاً آتشفشان ها را چیزی جز تابیدن خورشید به تلاطم و خروش درمی آورد.) دنیا پس از آموزش علوم متفاوت تر به نظر می رسد. مثلاً درخت ها از هوا ساخته شده اند. وقتی می سوزند به هوا برمی گردند. در گرمای شعله، گرمای خورشید آزاد می شود. این گرما در تبدیل هوا به درخت در آن نهفته شده بود. در خاکستر درخت بخش کوچکی باقی می ماند که به خاطر هوا نیست، بلکه از زمین به آن اضافه شده بود. همه ی این چیزها قشنگند و علم به طور اعجاز آمیزی سرشار از همه ی این هاست. آن ها الهام برانگیزند و می شود آنها را به دیگران هم بخشید.

ما خیلی مطالعه می کنیم و در طی آن مشاهداتی انجام می دهیم، فهرست هایی فراهم

مي آوريم، آمارهايي مي گيريم و خيلي کارهاي ديگر. اما علم واقعي از اين راه به دست نمي آيد و معلومات حقيقي از اين کارها بيرون نمي زند. اينها فقط قالب تقليدي علم هستند. مثل فرودگاه هاي جزاير درياي جنوب با برج هاي راديويي و چيزهاي ديگري که همه از چوب ساخته شده بودند. ساکنان جزيره آمدن هواپيماهاي بزرگ را انتظار مي کشيدند. آنها حتي هواپيمايي چوبي به شکل هواپيماهايي که در فرودگاه هاي خارجي ديده بودند ساخته بودند. اما هواپيمايي چوبي آنها پرواز نمي کرد!

شما معلم هايي که در پايين هرم به بچه ها درس مي دهيد، شايد بتوانيد بعضي وقت ها درباره ي متخصصان شک کنيد. از علم ياد بگيريد که بايد به متخصصان شک کنيد. در واقع، مي توانم علم را جور ديگري هم تعريف کنم : علم اعتقاد به ناآگاهي متخصصان است.

وقتي يک نفر مي گويد «علم اين و آن را ياد مي دهد.» کلمه را درست به کار نبرده است؛ علم چيزي ياد نمي دهد، تجربه است که به ما ياد مي دهد. اگر به شما بگويند «علم اين و آن را نشان داده است.» مي توانيد پيرسيد که «علم چطور آن را نشان داده است؟ چطور دانشمندان فهميده اند؟ چطور؟ چه؟ کجا؟» نبايد بگويم «علم نشان داده است.»، بايد بگويم «تجربه اين را نشان داده است.» و شما به اندازه ي هر کس ديگر حق داريد که وقتي چيزي درباره ي تجربه اي مي شنويد، حوصله داشته باشيد و به تمام دلایل گوش فرا دهيد و قضاوت کنيد که آيا نتيجه گيري درست انجام شده است يا نه.

در زمينه هايي که آن قدر پيچيده اند که علم واقعي نمي تواند کار خاصي بکند، بايد به نوعي حکمت قديمي، نوعي درستکار بودن تکیه کنیم. مي خواهيم اين فکر را در معلم ها القا کنم که به اعتماد به نفس، عقل سليم و هوش طبيعي اميدوار باشند. پس ... ادامه بدهيد. متشکرم!