# تغییر رنگ

## یک تغییر فیزیکی یا شیمیایی؟ مسئله این است...

ساقی به چند رنگ می اندر پیاله ریخت
این نقش‌ها نگر که چه خوش در کدو بست

حافظ

**اشکان کریمی**
دانشجوی دکترای شیمی آلی و بیوفیزیک دانشگاه مک گیل

**اشاره**

***در این مقاله به یکی از پایه‌ای ترین مفاهیم بشـــری می‌پردازیم: رنگ. از ماهیت رنگ سخن می‌گوییم و از تغییر آن و از علل تغییر آن. نقل است که ســـقراط در کوچه و بازار از راه مکالمه با افراد، پیامش را منتقل می‌کرد.از همین روی نگارنده بر آن است که با تقلیدی ناشیانه از این فیلسوف بزرگ شرح واقعه‌ای بدهد از دنیای رنگ‌ها تا پاســـخی شود بر این پرسش قدیمی و تکراری که «تغییر رنگ یک تغییر شیمیایی است یا فیزیکی؟»***

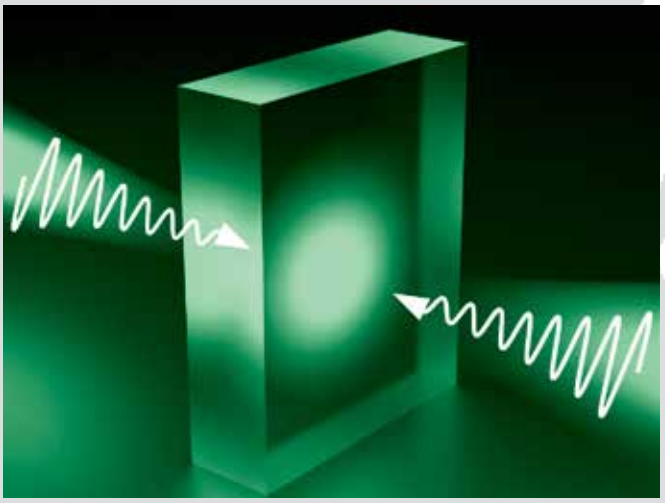
**مقدمه**

تاریخ علم را عموماً با نام فیلسوفان یونان باستان آغاز می‌کنند که گاه فیلسوفان طبیعی خوانده می‌شوند.آنان بیش از هرچیز در فکر نگاه به جهان و رویدادهای طبیعی بودند و سپس با تفکر و استنباط، جوابی برای پرسش‌های عمیق بشری می‌یافتند. هرچند امروزه این نگرش را به دلیل تفکر بدون آزمایش، علمی نمی‌دانیم اما نخستین قدم در روش علمی، یعنی مشاهده دقیق طبیعت، میراث فیلسوفان یونان باستان است. مشاهده یعنی هرآنچه چشم از محیط پیرامون می‌بیند شامل شکل، اندازه و رنگ.

**کلیدواژه‌ها:** تغییر فیزیکی، تغییر شیمیایی، رنگ، ترازهای انرژی

درســت در لحظه‌ای که باران در نوشــهر شــروع به باریدن کرد، همزمان با وقتــی که مردم برزیل ماه‌گرفتگی را از پنجره خانه‌شــان نگاه می‌کردند و زمانی که برف‌های رشته کوه آلپ ذوب می‌شــدند تا به رود راین بپیوندنــد، آقای برومندی دبیر شیمی نوشهر وارد کلاس شد.

**آقای برومندی** ـ ســلام بچه‌ها. امــروز می‌خواهیم در مورد تغییرات فیزیکی و شــیمیایی صحبت کنیم. همان‌طور که از سال‌های قبل به یاد دارید، تغییرات فیزیکی، تغییراتی هستند که در آن‌ها ماهیت شــیمیایی ترکیب، تغییر نمی‌کند ولی در یک تغییر شیمیایی، ماهیت مادّه به کلی عوض می‌شود. کسی



می‌تواند مثالی از هر دو بزند؟

محســن که دانش‌آموز کوشــایی بود گفت: «فرایندی مثل سوختن یا اکسایش، یک تغییر شیمیایی است و فرایندی مثل تغییر حالت فیزیکی یا تغییر رنگ، یک تغییر فیزیکی است.»

آقای برومندی نگاهی به دانش‌آموزان کرد که برخی با صورتی شــگفت‌زده به محســن نگاه می‌کردند و با خنده گفت« چرا چهره‌هایتان ناگهان تغییر کرد؟ تغییر چهره فیزیکی اســت یا شیمیایی؟»

بچه‌ها خنده‌ای کردند و ســپس اکبر که مدتی بود از عاشقان دلباخته و پاکباختهٔ شیمی شده بوده گفت: «چرا تغییر رنگ را یک تغییر فیزیکی بدانیم؟ در فرایند اکسایش آهن که یک تغییر شیمیایی است هم، رنگ تغییر می‌کند. پس تغییر رنگ هم یک تغییر شیمیایی است.»

**محسن** ـ در اکســایش، چون ماهیــت آهن به آهن اکسید تبدیل می‌شود یک تغییر شــیمیایی داریم نه به این دلیل که رنگ آهن عوض شده است.

**اکبر** ـ ولی تغییر رنگ یک نمود ظاهری از تغییر شــیمیایی است!

**محسن** ـ با این حرف مخالفم. مگر قبول نداری که ذوب شدن برف یک تغییر فیزیکی است؟ آیا رنگ آب و برف یکسان است؟

اکبر کمی فکر کرد و گفت: «پس دلیل تغییر رنگ در واکنش سدیم هیدروکسید با فنول فتالیین چیست؟ اینجا که اصلا تغییر فیزیکی نداریم و فقط یک واکنش شیمیایی رخ داده است.»

کلاس بــه هرج و مــرج افتاد. همه با هم درگیر بحث شــده بودند که تغییر رنگ را یک تغییر شیمیایی بدانند یا یک تغییر فیزیکی. آقای برومندی با لبخندی بر لب گفت: «بچه‌ها کسی می‌تواند به من بگوید رنگ چیست؟»

خسرو که معمولاً نمره‌های خوبی در فیزیک می‌گرفت، جواب داد: «رنگ اثر نور بر جسم است.»

**آقای برومندی** ـ می‌شود کمی دقیق‌تر توضیح دهی؟ نور چه اثری می‌تواند بر یک جسم داشته باشد؟

**خسرو** ـ نور بــه جسم می‌خورد و سپس منعکس می‌شود. ما هم انعکاس نور را با چشم خود می‌بینیم.

**آقای برومندی** ـ ولی چرا مداد ســبز را به رنگ ســبز می‌بینیم و مداد قرمــز را قرمز رنگ؟ چه چیز باعث می‌شود که رنگ دو جسم با هم فرق کند؟

خسرو کمی نامطمئن جواب داد: «شاید بهتر باشد پاسخم را اصلاح کنم. نور به جسم می‌خورد و بخشی از آن جذب و بخش دیگر منعکس می‌شود. اگر مداد سبز را به رنگ ســبز می‌بینیم به این دلیل است که بخش سبز از نور مرئی جذب مداد نشده است.»

**آقای برومندی** ـ آفرین این شد یک جواب کامل! نور یک موج الکترومغناطیسی است که می‌تواند طول موج‌های متفاوتی داشته باشــد. مثلاً نور سبز، طول موجی بین ۴۹۵ تا ۵۷۰ نانومتر دارد. تفاوت نور سبز لیمویی با سبز زیتونی هم در این است که طول موج آن دقیقاً چه عددی در این گســتره باشد. همچنین نوری که طول موجش بین ۵۹۰ تا ۶۲۰ نانومتر باشــد به رنگ قرمز دیده می‌شــود. حالا به من بگویید چرا مداد سیاه را سیاه می‌بینیم؟

**محسن** ـ چــون پس از تابش نور به آن، نورهای سیاه جذب نشده و منعکس شده‌اند!

در همین لحظه نــادر که صندلیش کنار پنجره بود با صدای بلند گفت: «بیرون را نگاه کنید! باران قطع شده و رنگین‌کمان زده است!»

آقای برومندی که از این حســن تصادف خوشحال شده بود به سرعت گفت: «بچه‌ها حتماً از درس فیزیک به یاد دارید که قطره‌های باران در هوا می‌توانند مثل یک منشور، نور خورشید را به طیف‌های متفاوت تجزیه کنند. البته چشــم ما فقط قادر به دیدن بخش مرئی نور خورشــید اســت و امواج با طول موج کمتر از ناحیه مرئی (مثل امواج فرابنفش) یا طول موج بیشــتر از آن (مثــل امواج فروســرخ) را نمی‌تواند تشــخیص دهد. اما همان‌طور که در رنگین‌کمان می‌بینید بخش مرئی نور خورشید به رنگ‌های بنفش، آبی، ســبز، زرد، نارنجی و قرمز تجزیه شده

سیاهی یعنی عدم وجود نور؛ به همین خاطر است که می گویند بالاتر از سیاهی رنگی نیست!»

است. حالا محسن جان به من بگو پس رنگ سیاه چه شد؟»

محسن که کمی سرخ شده بود جواب داد: «نور خورشید دارای رنگ سیاه نیست چون اصلا نوری به نام نور سیاه وجود ندارد! درواقع سیاهی یعنی عدم وجود نور؛ به همین خاطر است که می‌گویند بالاتر از سیاهی رنگی نیست!»

آقای برومندی با لبخند گفت: «درست است! درواقع مداد سیاه، سیاه رنگ است چون تمام نورها را جذب می‌کند و نوری باقی نمی‌ماند که بتواند منعکس شود!»

**خسرو** ـ پس مداد سفید هم سفید رنگ است چون هیچ نوری را جذب نمی‌کند و ما انعکاس همه رنگ‌ها را با هم می‌بینیم.

**آقای برومندی** ـ دقیقاً! درواقع، وقتی همه نورهای مرئی با هم به ما برسند، چشم آن‌ها را با هم ترکیب می‌کند و نتیجه، چیزی جز رنگ سفید نیست! شاید برایتان جالب باشد ولی در طراحی نور سالن‌های تئاتر نیز از همین تکنیک استفاده می‌شود. این سالن‌ها عموماً دارای سه نورافکن به رنگ‌های سبز، آبی و قرمز هستند. گذشته از ایجاد نورهای مخصوص به خود، اگرنورافکن‌ها هر سه و همزمان، به یک بخش از صحنه بتابند تماشاچیان، آن بخش صحنه را زیر نور سفید می‌بینند!

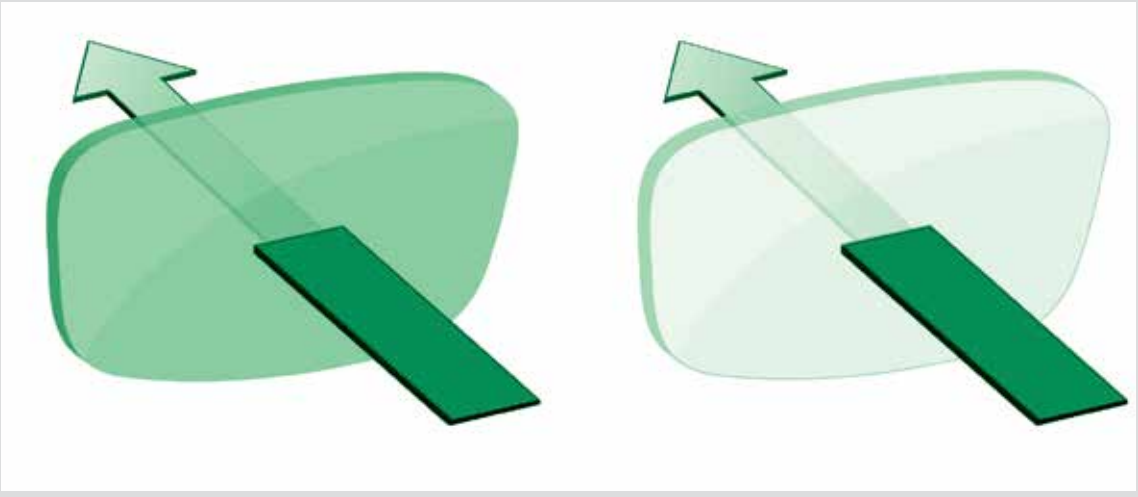
خسرو که هیجان زده شده بود گفت: «یک سؤال. پس چرا هوا سفیدرنگ نیست و بی‌رنگ است؟ مگر نور خورشید ترکیب همه طیف‌ها نیست؟»

**نادر** ـ بی‌رنگ همان سفید رقیق شده است دیگر! وقتی هم دوباره متراکم شود مانند ابر یا مه، سفید رنگ دیده می‌شود.

خسرو اخمی کرد و گفت: «پس چرا شیشه بی‌رنگ دیده می‌شود نه سفید؟ مگر شیشه متراکم نیست؟»

دوباره کلاس آشفته شد و دانش‌آموزان هر یک مشغول بحث شدند. آقای برومندی احساس می‌کرد کمی از بحث تغییرات فیزیکی و شیمیایی دور شده‌اند اما نمی‌خواست دانش‌آموزان را از لذت کشف نگرشی تازه به جهان اطراف بی‌بهره کند.

آقای برومندی ـ ببینید بچه‌ها، یک جسم می‌تواند شفاف باشد یا مات. هر دو جسم بخشی از طیف نور را جذب کنند اما تفاوت آن‌ها در این است که جسم شفاف، بقیه نور را از خود عبور می‌دهد در حالی‌که جسم مات آن را باز می‌گرداند. اینکه یک جسم مات است یا شفاف، صرفاً به نحوه قرارگیری مولکول‌های آن کنار یکدیگر بستگی دارد. یک دیوار نارنجی نور نارنجی را جذب نمی کند؛ آن را منعکس می‌کند در حالی‌که یک شیشه نارنجی رنگ، نور نارنجی را از خود عبور می‌دهد بنابراین ما می‌توانیم هر آنچه که پشت شیشه قرار گرفته است را ببینیم



البته به رنگ نارنجی! بی‌رنگی درواقع عبارتی است برای توصیف یک شیء شفاف که نور مرئی را جذب نمی‌کند. مثلا دیوار سفید و هوا، هیچ یک نور مرئی را جذب نمی‌کنند. هوا بی‌رنگ است چون شفاف است و نور را عبور می‌دهد ولی دیوار مات است چون آن را منعکس می کند.

**خسرو** ـ پس دلیل اینکه برخی ابرها سیاه هستند و برخی سفید، چیست؟ مگر هر دو ابر نیستند؟

**آقای برومندی** ـ سؤال بسیارخوبی کردی. ابعاد ذرات آب بزرگ‌تر از طول موج نورمرئی است در نتیجه آن را پراکنده می‌کنند. در هوا همواره بخار آب وجود دارد اما غلظت آن آن‌قدر کم است که اثری بر نور نمی‌گذارد. وقتی غلظت آن بیشتر می‌شود و ابر تشکیل می‌دهد، بخش زیادی از نور خورشید را پراکنده می‌کند اما همچنان اجازه عبور نور را می‌دهد. با این حال ابر به دلیل پراکنده کردن نور، شفاف دیده نمی‌شود و سفیدرنگ است. زمانی که ذرات آب در ابر، بسیار زیاد می‌شوند و اصطلاحاً ابرهای بارانی را تشکیل می‌دهد، میزان پراکندگی نور آن‌قدر زیاد می‌شود که تقریباً نوری از

تغییر رنگ در سطح یک مولکول صرفاً به‌دلیل تغییر در انرژی اوربیتال‌های مولکولی بوده که معلول تغییرات شیمیایی است

ابر عبور نمی‌کند و ابر به رنگ سیاه دیده می‌شود. چنین ابری درست مثل یک جسم مات عمل می‌کند؛ مانند ماه‌گرفتگی و خورشیدگرفتگی!

**محسن** ـ پس هوا بی‌رنگ دیده می‌شود چون نه‌تنها نور مرئی را جذب نمی‌کند و جسم مات نیست بلکه حتی نور را پراکنده هم نمی‌کند!

**آقای برومندی** ـ نه کاملاً! درواقع مولکول‌های هوا قادرند امواج آبی‌رنگ از نور خورشید را که دارای طول موج کوتاه‌اند، پراکنده کنند و به همین دلیل است که آسمان آبی‌رنگ دیده می‌شود! اما ابر به دلیل اندازه بزرگ ذرات آب، تمام امواج مرئی نور را به یک میزان پراکنده می‌کند و سفیدرنگ دیده می‌شود.

**محسن** ـ پس نتیجه می‌گیریم تغییر رنگ یک تغییر فیزیکی است! چرا که تراکم مولکولی، موجب پراکندگی می‌شود و عبور یا عدم عبور نور هم به آرایش فضایی مولکولی مربوط است.

اکبر که تمام این مدت ساکت مانده بود بار دیگر وارد بحث شد: «ولی تمام این‌ها صرفاً شفاف یا مات بودن یک جسم را توضیح می‌دهد. زمانی که طول موج یک نور تغییر می‌کند، مثلاً از آبی به قرمز تبدیل می‌شود، صرفاً می تواند به‌دلیل یک تغییر شیمیایی باشد.»

خسرو که گویا کشف مهمی کرده باشد با هیجان گفت: «پس چطور سرخی آسمان هنگام غروب یا طلوع را توجیه می‌کنی؟ اینکه به دلیل تغییر شیمیایی نیست.»

**آقای برومندی** ـ خیر این یک تغییر شیمیایی نیست. از آنجا که هنگام طلوع و غروب، خورشید در فاصله دورتری از زمین قرار دارد نور باید مسافت بیشتری را در هواکره بپیماید و در اثر برهمکنش با تعداد بیشتری از مولکول‌های هوا، تمام امواج آبی‌رنگ، پراکنده می‌شوند و صرفا امواج نارنجی و قرمز به زمین می‌رسند.

اکبر کمی سرخورده پرسید: «پس دلیل تغییر رنگ در واکنش سدیم هیدروکسید با فنول فتالیین چیست؟ اینجا نور مسافت یکسانی طی می‌کند، تغییر حالت فیزیکی وجود ندارد و ذرات کلوییدی هم تشکیل نمی‌شوند که سبب اثر تیندال و پراکندگی نور شوند. محلول آبی هم همان شفافیت قبلی را حفظ می‌کند پس آرایش فضایی مولکولی نباید تغییر کرده باشد ولی آب، به رنگ ارغوانی در می‌آید.»

**آقای برومندی** ـ یک دقیقه صبر کن! تمام این مدت در مورد این صحبت شد که چه بر سر نور جذب نشده می‌آید :منعکس می‌شود، پراکنده می‌شود یا به مسیر مستقیمش ادامه می‌دهد. حالا من از شما سؤال می‌کنم؛ چه بر سر نور جذب شده می‌آید؟

**نادر** ـ فکر می‌کنم سبب جابه‌جایی الکترون‌ها بین لایه‌های کوانتومی می‌شود.

**آقای برومندی** ـ آفرین! حالا یک بار دیگر به این سؤال جواب بده: چرا مداد سبز، سبزرنگ است و مداد قرمز، قرمزرنگ؟

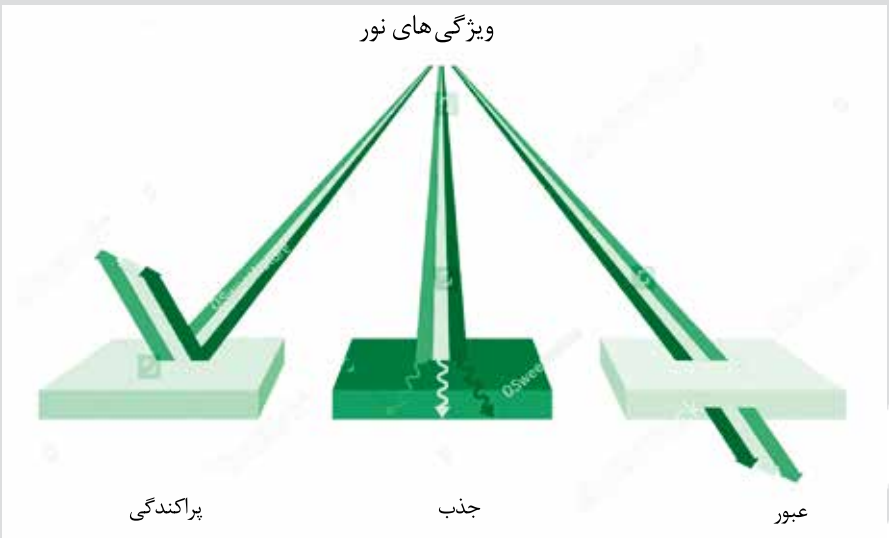
**نادر** ـ در مداد سبز ترکیبی وجود دارد که تفاوت انرژی بین الکترون لایه ظرفیت با نخستین لایه برانگیخته‌اش درست به اندازه انرژی فوتون نور سبز است و یک فوتون با طول موج در محدوده سبز می‌تواند آن الکترون‌ها را برانگیخته کند. اما در مداد قرمز ترکیب دیگری وجود دارد که تفاوت انرژی لایه ظرفیت و برانگیخته آن، با انرژی فوتون مربوط به طول موج قرمز برابری می کند.

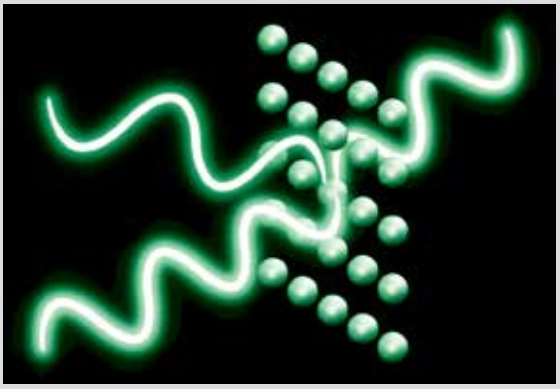
**آقای برومندی** ـ بیشتر دقت کن نادر! اگر مداد نور سبز را جذب کند که دیگر نور سبزی باقی نمی‌ماند که به چشم ما برسد. درواقع مداد سبز، نور مکمل سبز را جذب می‌کند و سپس الکترون برانگیخته با نشر نور سبز به حالت پایه برمی‌گردد. حالا فرض کنید که مداد سبز ناگهان به رنگ قرمز تبدیل شود. چه اتفاقی برایش افتاده است؟

**محسن** ـ احتمالاً ترازهای الکترونی‌اش به هم ریخته و تفاوت انرژی بین آخرین تراز پر و اولین تراز خالی‌اش کمتر شده است؛ چون فوتون قرمز انرژی کمتر و طول موج بیشتر از فوتون سبز دارد.

**آقای برومندی** ـ حالا به نظر تو این تغییر در ترازهای الکترونی یک

ویژگی های نور





تغییر شیمیایی است یا فیزیکی؟

محســن کمی فکر کرد و ســپس پاســخ داد: «فکر می‌کنم شــیمیایی. چون هر ترکیبی طیف نشری مخصوصِ به خود را دارد و اگر مداد سبز به مداد قرمز تبدیل شود حتماً یک تغییر شیمیایی برایش رخ داده است.»

اکبر با خوشحالی گفت: «پس در واکنش سدیم هیدروکسید با فنول فتالیین، ماده اولیه دارای ترازهای الکترونی به گونه‌ای است که نور مرئی را جذب نمی‌کند و بی‌رنگ دیده می‌شود ولی بعد از انجام واکنش، این ترازها به گونه‌ای مرتب می‌شوند که با جذب نور مکمل ارغوانی، نور ارغوانی را نشر می‌کند.»

**آقای برومندی** ـ کاملاً درست است. خوب حالا یک بار دیگر می‌پرسم تغییر رنگ یک تغییر شیمیایی است یا فیزیکی؟

محســن و اکبر به یکدیگر نگاه کردند. هر دو کمی گیج شده بودند که بالاخره تغییر رنگ را باید شیمیایی دانست یا فیزیکی. خســرو جواب داد: «هم می‌تواند شیمیایی باشد هم فیزیکی! بستگی دارد که منشأ تغییر رنگ چه باشد. تغییر رنگ در ابعاد میکروسکوپی به دلیل تغییر شــیمیایی و جابه‌جایی ترازهای الکترونی اســت. اما تغییر رنگ در ابعادِ ماکروســکوپی گاهی به‌دلیل تغییر شــیمیایی و گاهی صرفاً بــه دلیل تغییر آرایش فضایی یا تغییر حالت فیزیکی است.»

**نادر** ـ درواقع، اگر فقط از دریچه چشــم خــود نگاه کنیم، تغییر رنگ می‌تواند دلایل بسیار، از جمله انعکاس نور با زوایای متفاوت، یا عبور نور همراه با پراکندگی یا تغییرات شــیمیایی داشته باشــد اما اگر در آزمایشگاه و با استفاده از ابزار دقیق به یک مولکولِ تنها نگاه کنیم و نه توده‌های مولکولی، آن‌گاه تغییر رنگ فقط و فقط به دلیل تغییر شیمیایی است.

**آقای برومندی** ـ درست است بچه‌ها. به همین دلیل است که نشستن زیر درخت سیب و نگاه کردن به طبیعت، به خودی‌خود ما را به درک درست جهان نمی‌رساند. به همین خاطر است که شیمی به‌عنوان یک فلسفه، از پانصد سال پیش از میلاد مسیح گذر کرد و به شیمی به‌عنوان یک علم در قرن هفدهم میلادی رسید؛ زمانی که تفکر با آزمایش همراه شد. امروز در قرن بیست و یکم دانشمندان کاوشگرهای مولکولی ساخته‌اند که نور نشر شده از آن‌ها زیر میکروسکوپ به ما اجازه می‌دهد یک مولکول تنهــا را در بدن دنبال کنیم. آن‌ها از روش‌های فلوئوراســانس تک‌مولکول، اســتفاده می‌کنند برای بررسی دقیق فرایندهای تقسیم سلولی، رونوشت دی ان ای، سوخت و ساز دارو در بدن و دینامیک آنزیم‌ها و پروتئین‌ها. در دو دهه اخیر تلفیق شیمی، زیست‌شناســی مولکولی و فوتوفیزیک، آنچنان دستاوردهای مهمی در شــناخت بشــر از فرایندهای زیستی داشته است که پیش‌بینی می‌شود در قرن آینده با بی‌نیاز کردن درمان از دارو، انقلاب جدیدی در پزشکی ایجاد کند.

***

زمانی که آسمان اســترالیا سرخی غروب به خود گرفته بود، برگ‌های درختان افرا آرام آرام از سبزی به زردی می‌گراییدند و رودخانه‌ها برف‌ها را در خود ناپدید می‌کردند، آقای برومندی به سمت دفتر مدرســه می‌رفت که ناگهان آقای شادپی، دبیر فیزیک از پشــت به شانه‌اش زد و گفت: «برومندی جان! امروز کلاس بغلی بــودم و هر از گاهی، صدایت را می‌شــنیدم گویا اپتیک درس می‌دادی! پیش خودم گفتم لابد از شیمی خسته شده و سراغ فیزیک آمده است.»

آقای برومندی خنده‌ای کرد و جواب داد: «اتفاقاً امروز بیش از هر روز از شیمی به هیجان آمده بودم و یک بار دیگر درک کردم چرا سال‌ها پیش عنوان کتاب درسی شیمی ۱ را گذاشته بودند: شیمی برای زندگی!»

## نتیجه‌گیری

زمانی که نور به مولکولی برخورد می‌کند بخشی از آن جذب و ســبب برانگیخته شدن الکترون‌ها از بالاترین اوربیتال اشغال شده به اوربیتال‌های خالی می‌شود. سپس این مولکول، مکمل نور جذب شده را با فلوئوراسانس نشر می‌دهد. البته احتمالات دیگری غیر از فلوئوراسانس هم وجود دارد مانند فسفراسانس، تبدیل درونی، تابش گرمایی، انتقال انرژی به مولکول‌های مجاور و ... چنانچــه مولکــول، نور مرئی را جذب و نشــر کند، رنگی دیده می‌شــود. شــفاف یا مات بودن یک ماده ربطی به تراکم مولکولی آن ندارد بلکه به آرایش فضایی مولکول‌ها مربوط است. در عوض، پدیده پراکندگی نور بــه اندازه ذرات و میزان اثر آن به تراکم آن ذرات بستگی دارد. بنابراین تغییرات فیزیکی مانند تغییر در آرایش فضایی، تراکم و اندازه ذرات کلوییدی می‌تواند به تغییر رنگ منجر شــود اما تغییر رنگ در سطح یک مولکول صرفاً به دلیل تغییر در انــرژی اوربیتال‌های مولکولی بوده که معلول تغییرات شیمیایی است.

بالاخره پاسخ درست چیســت؟ تغییر رنگ، شیمیایی است یا فیزیکی؟ مســئله این نیست؛ مســئله اینِ است که زبان ما محدودیــت دارد و در بیان پدیده‌هــای کاملاً متفاوت طبیعی از واژه یکسان «رنگ» اســتفاده می‌کند. این محدودیت زبانی نیز به دلیل محدودیت حواس ماست چرا که چشم فقط تغییر رنگ را در ابعاد جهان ماکروســکوپی می‌بیند. شاید هم همین زیبایی علم است که به ما یادآوری می‌کند زبان انسان در بیان پدیده‌های نامتناهی، متناهی‌ست.