

## ساختارهای جدید - کربن

تا اواخر قرن بیست و یکم دو ساختار پایدار و بلورین از کربن، الماس و گرافیت، شناخته شده بود. الماس با ساختار fcc یک عایق است. هر اتم - کربن الماس دارای هیبرید  $sp^3$  و به چهار اتم دیگر متصل است. هر صفحه‌ی اصلی - بلورین آن شامل حلقه‌های شش‌وجهی منتظم است. در صورتی که تراکم پذیری‌اش از تمام مواد پایین‌تر است، اما بدلیل پیوند بسیار قوی اتم‌ها، درجه‌ی سختی، چگالی مولی، رسانش حرارتی، سرعت انتقال صوتی و مدول الاستیکی آن از تمام مواد - شناخته شده، بالاتر است.

اما گرافیت ماده‌ای نرم و سیاه، ساختار متفاوتی دارد. اتم کربن در صفحه‌های موازی به گونه‌ای مرتب شده‌اند که در هر صفحه، دارای پیوند کووالانسی و هیبرید  $sp^2$  هستند و کُنج‌های شبکه‌ی دو بُعدی از شش ضلعی‌های منتظمی را اشغال کرده‌اند. اما این صفحه‌های دو بُعدی با یک دیگر با نیروی ضعیف و اندروالس ناشی از اندرکنش ابرالکترون‌های غیر موضعی  $p$ ، به هم متصل هستند و در همین راستا نیز هدایت الکتریکی انجام می‌شود. در گرافیت، اتم‌ها در صفحه‌ها به یک دیگر نزدیک‌تر ولی چون صفحه‌ها از هم دورتر هستند، تراکم اتمی آن در مقایسه با الماس کم‌تر است.

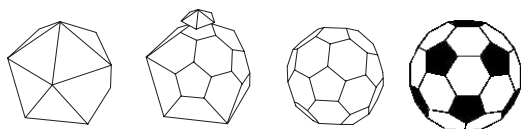
در سال ۱۹۷۰ وجود مولکول متشکل از  $60^\circ$  کربن بر روی یک ژودزی کره‌ای شکلی توخالی توسط آساوا پیش‌بینی شد. آساوا معتقد بود که کربن در چنین ساختار مصنوعی پایدار است [1]. در سال ۱۹۸۵ هنگامی که هارولد کروتو، جیمز هلت، سین ابرین، رابرت کرول و ریچارد اسمالی [2] در پژوهشی طیف - جذبی - غبار بین سیاره - ی را مطالعه می‌کردند، متوجه وجود نوعی زنجیره‌ای طویل از مولکول‌های کربن شدند. پژوهش آن‌ها منجر به مشاهده و کشف یک توپ - توخالی از  $60^\circ$  کربن شد. به خاطر ارزش این کشف، جایزه‌ی نوبل - شیمی در سال ۱۹۹۶ به کرول، کروتو و اسمالی [3] تعلق گرفت.

$C_{60}$  یک مولکول با  $60^\circ$  اتم کربن آرایشی از ۱۲ پنج‌ضلعی و ۲۰ شش‌ضلعی دارد. درست مثل یک توپ - فوتبال که تکه‌های سیاه چرمی پنج‌ضلعی و تکه‌های سفید شش‌ضلعی هستند و هر کربن در کُنج‌های تلاقی - ی سه تکه‌ی مختلف نشسته است. مقاسی از اندازه‌ی مولکول  $C_{60}$  را می‌توان این‌گونه تجسم کرد که اگر این توپ با  $60^\circ$  کربن به اندازه‌ی یک توپ - فوتبال باشد، در آن صورت توپ - فوتبال به اندازه‌ی کره‌ی زمین خواهد بود. از خصوصیات بارز مولکول  $C_{60}$ ، تقارن بسیار بالای آن است.  $12^\circ$  عمل تقارنی از قبیل - دوران حول یک محور و انعکاس نسبت به یک صفحه را می‌توان نام برد.

<sup>1</sup> اتم کربن دارای ۶ الکترون با ۴ الکترون ظرفیت در گروه چهارم جدول مندلیف قرار دارد. برای الکترون‌های ظرفیت سه امکان آرایش وجود دارد. اگر دو الکترون در اربیتال  $2s$  و دو الکترون در اربیتال  $2p_x$  قرارگیرد به آن هیبرید  $sp$  و اگر دو الکترون در اربیتال  $2s$  و دو الکترون باقی‌مانده یکی در  $2p_x$  و دیگری در  $2p_y$  قرارگیرد هیبرید را  $sp^2$  و بالاخره اگر یک الکترون در اربیتال  $2s$  و سه الکترون دیگر هر یک یکی از  $2p_i$ ها را اشغال کند به آن هیبرید  $sp^3$  گویند.

$C_{60}$  به دلیل تعداد زیاد تقارن، متقارن‌ترین مولکول موجود است.

لئونارد و اویلر<sup>1</sup> نشان داده‌است که اگر بخواهیم یک کره را با تعدادی موازئیک پنج‌وجهی و شش‌وجهی منظم فرش کنیم، تعداد ۱۲ پنج‌وجهی و تعداد دل‌خواهی شش‌وجهی نیاز داریم. بر همین اساس می‌توان با توجه به تعداد شش‌وجهی‌ها مولکول‌های مختلفی از کربن ساخت. این مولکول‌ها را فلورین<sup>2</sup> می‌گویند. شاید جالب باشد بدانید این نام به پاس خدمات یک عالم و فیلسوف آلمانی، ریچارد بوک می‌نسترفلور<sup>3</sup> که به‌عنوان یک آرشیتک شهرت یافته بود، انتخاب شده‌است. او در دهه ۱۹۵۰ از پنج‌وجهی‌ها برای ساخت گنبد‌های ساختمان‌ها استفاده می‌کرد. به همین دلیل این ساختارها را توپ بوکی<sup>4</sup> نیز می‌گویند [4]. البته نمونه‌ای از این‌گونه ساختارها در سال ۱۹۲۲ برای ساخت اولین فلک‌نما توسط زیس<sup>5</sup> استفاده شده بود. این ساختارها برای ارشمیدوس نیز شناخته شده بود، اما هیچ نشانی از ترسیم این شکل‌ها از وی در دست نیست. قدیمی‌ترین شکل ترسیم شده‌ی توپ فوتبال گونه متعلق به ریاضی‌پیشه و نقاش ایتالیایی پیرو دلا فران جسکا<sup>6</sup> در کتابی از وی به سال ۱۹۴۰ که در کتابخانه واتیکان نگهداری می‌شود، است. یوهانس کیپلر این شکل‌ها را «بیست‌وجهی ناقص» نامید. شکل سمت چپ بالا یک بیست‌وجهی که هر وجه آن یک مثلث متساوی‌الاضلاع



است، را نشان می‌دهد. در این بیست‌وجهی به هر یک از ۱۲ کُنج پنج‌مثلث متصل است. با قطع این کُنج‌ها یک پنج‌وجهی پدید می‌آید (شکل دوم از چپ). هر یک از وجه‌های مثلثی در اثر این برش‌ها، تبدیل به شش‌وجهی می‌شوند. نتیجه‌ی بدست آمده (شکل سمت راست) شکل یک مولکول  $C_{60}$  است [5].

در ابتدا بدلیل آن‌که امکان تولید انبوه حتی در مقیاس آزمایش‌گاهی مولکول  $C_{60}$  وجود نداشت، مشخصه‌یابی آن نیز به سادگی امکان پذیر نبود. ناگهان این وضع در اثر کشف روش تولید انبوه و خالص مولکول  $C_{60}$  در سال ۱۹۹۰ توسط ولف گنگ کراتشمر، لوول لامب، کنس تانتینیوس فوسیتروپولوس و دونالد هافمن [6] تغییر کرد. با ابداع روش تولید انبوه، تخلیه‌ی الکتریکی بین دو الکترود کرافیتی در فشار کمتر از اتمسفر، امکان‌های جدیدی برای پژوهش‌های تجربی بوجود آمد. در همان سال کراتشمر و گروه‌اش با همان روش  $C_{70}$  را نیز تولید کردند.

کشف مولکول  $C_{60}$  سرآغاز شاخه‌های پژوهشی جدیدی شد. مطالعه‌ی خانواده‌ی جدیدی از مولکول‌های با ساختار فلورین‌ها ( $C_{24}$ ,  $C_{28}$ ,  $C_{32}$ ,  $C_{70}$ , ...) در شیمی شاخه‌ی شیمی فلورین را به روی پژوهش‌گران باز کرد. تاکنون بیش از ۹۰۰۰ ترکیب جدید فلورین شناسایی شده است. مولکول‌های  $C_{60}$  امکان چگال‌شدن به مولکول‌های با اتصال ضعیف را دارا هستند. در نتیجه‌ی این

چگالش حالت بلورینی که شکل جدیدی از کربن جامد، متفاوت از الماس و گرافیت است، بدست می آید که به آن فلوریت گویند. پژوهشگران فیزیک به این ماده‌ی جدید بدلیل خواص جالب‌اش علاقه‌ی بسیاری دارند که منشأ شاخه‌ی فیزیک کربن است [7].

اگر یک اتم قلیایی  $A$ ، مانند پتاسیم،  $K$  و یا روبیدیوم،  $Rb$  را به مولکول  $C_{60}$  اضافه کنیم، ترکیب جدیدی،  $A_3C_{60}$ ، که به آن فلورید با «ناخالصی قلیایی» گویند، بدست می آید که در دمای  $20 - 40K$  از خود خاصیت ابررسانایی نشان می‌دهد [8].

در سال ۱۹۹۱ سومینولینجی<sup>7</sup> در حین مطالعه‌ی مولکول‌های  $C_{60}$  مصنوعی یک جلوه‌ی دیگری از کربن، لوله‌های نامتری<sup>8</sup>، را کشف نمود. این ساختار جدید از کربن چیزی جز صفحه‌ی گرافیتی که وجه جانبی استوانه‌ای به قطر  $1nm$  را پوشانده، نیست. این لوله‌ها در امتداد محورشان هادی یک بُعدی هستند. این ساختار جدید را به دو دسته تقسیم می‌کنند، لوله‌های نامتری تک دیواره (SWCNT)<sup>9</sup> و چنددیواره (MWCNT)<sup>10</sup>.

این مواد جدید با خواص مکانیکی، الکتریکی، حرارتی و شیمیایی جالب‌شان موادی منحصر به فرد هستند و جای‌گاه ویژه‌ای در تکنولوژی آینده خواهند داشت. صد مرتبه سخت‌تر از فولاد، انتقال ولتاژ کم با جریان بالا،  $10^9 A/cm^2$ ، هدایت حرارتی قابل مقایسه با الماس، بیش از  $3000 Watts/m/K$  و کاربردهای فراوان هم‌چون مدارهای تشعشع میدانی (نمایشگرهای صفحه‌تخت)، مواد مرکب، پلیمرهای رسانا، حسگرهای الکتروشیمیایی، پمپ‌های حرارتی و ... را می‌توان نام برد. جدیداً نیز در *IBM* موفق به ساخت حلقه‌های نانومتری از لوله‌های نانومتری به شعاع  $0.7\mu m$  شده‌اند.

عزیزاله شفیع‌خانی

<sup>1)</sup> Leonhard Euler, <sup>2)</sup> Fulleren, <sup>3)</sup> Richard Buckminster Fuller, <sup>4)</sup> Buckyball, <sup>5)</sup> Zeiss, <sup>6)</sup> Piero della Francesca, <sup>7)</sup> Sumio Iijima, <sup>8)</sup> NanoTube, <sup>9)</sup> Single-Wall Carbon NanoTube, <sup>10)</sup> Multi-Wall Carbon NanoTube

[1] E. Osawa, Kagaku, **25**, (1970), 854.

[2] H. Kroto, J. Heath, S. O'Brien, R. Curl and R. Smalley, Nature, **318**, (1985), 162.

[3] R. E. Smalley, Re. Mod. Phys. **69**, 723.

[4] [www.insite.com.br/rodrigo/people/bucky/](http://www.insite.com.br/rodrigo/people/bucky/)

[5] [www.mpi-stuttgart.mpg.de/docs/ANDERSEN/fullerene/](http://www.mpi-stuttgart.mpg.de/docs/ANDERSEN/fullerene/)

[6] W. Kratschmer, L. Lamb, K. Fostiropoulos and D. Huffman, Nature, **347**, (1990), 354.

[7] F. Fisher and C. Brinson, *Carbon Nanotubes Literature Review*, Northwestern University, 2001.

[8] M. Kociak, *et al*, Phys. Rev. Lett. (2001)