

آشنایی با بزرگان علم پلیمر هرمان اشتادینگر

مجید غیاث

تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، گروه علوم پلیمر، صندوق پستی ۱۱۲-۱۴۹۷۵

جایزه نوبل در رشته شیمی هر سال به دانشمندانی تعلق می‌گیرد که پژوهش‌های مهم و اثرگذاری را در زمینه‌های مختلف شیمی انجام دهند، به گونه‌ای که این پژوهش‌ها در پیشرفت زندگی بشر سهمی داشته باشند. هدف از این گزارش، آشنایی پژوهشگران رشته‌های مختلف پلیمر با دانشمندان برجسته و اثرگذار در علوم پلیمر، به ویژه برندگان جوایز نوبل و نقش آن‌ها در پیدایش و شکل‌گیری دانش پلیمر است. نخستین جایزه نوبل در شیمی در زمینه پلیمر از آن هرمان اشتادینگر، به خاطر ابداع مفهوم درشت‌مولکول‌ها و انجام پژوهش‌های بنیادی و تاثیر آن بر دانش و فناوری پلیمری بود. اشتادینگر با ارائه شجاعانه مفهوم درشت‌مولکول، ضمن به چالش کشیدن نظریات پیشین در باره مواد کلئیدی، مرزهای این دانش را گسترش داد. وی به بسیاری از پرسش‌های مطرح شده در زمینه شیمی مواد پلیمری پاسخ داد و مفاهیم کلیدی جدیدی را نیز در این زمینه ارائه کرد. جایزه نوبل شیمی در سال ۱۹۵۳ به پاس بیش از سه دهه فعالیت علمی در زمینه دانش پلیمر، به این دانشمند رسید.

زندگی‌نامه

هرمان اشتادینگر در سال ۱۸۸۱ در شهر ورم آلمان متولد شد و در همان شهر تحصیلات مقدماتی خود را گذراند. در سال ۱۸۸۹ تحصیلات دانشگاهی خود را در دانشگاه‌های هال، دارمشتات و مونیخ ادامه داد و در سال ۱۹۰۳ با درجه دکتری از دانشگاه هال فارغ‌التحصیل شد. سپس، به عنوان استادیار، زیر نظر پروفسور تیل در دانشگاه استراسبورگ استخدام و در انتهای همان سال به عنوان استاد شیمی آلی در دانشگاه صنعتی کارلسروهه مشغول به تدریس شد. او در این دانشگاه، کتن‌ها (ketenes) را کشف کرد که بعدها به عنوان ترکیبات مهم میانی برای تولید آنتی‌بیوتیک‌ها استفاده شدند. افزون بر این، وی موفق به سنتز و جداسازی چند ترکیب آلی از جمله عطر سنتزی قهوه شد. از سال ۱۹۱۲ برای ۱۴ سال مدرس دانشکده صنعتی زوریخ بود. از کشفیات مهم وی در این دوره، واکنش معروف اشتادینگر برای تولید فسفازیدها بود [۱].

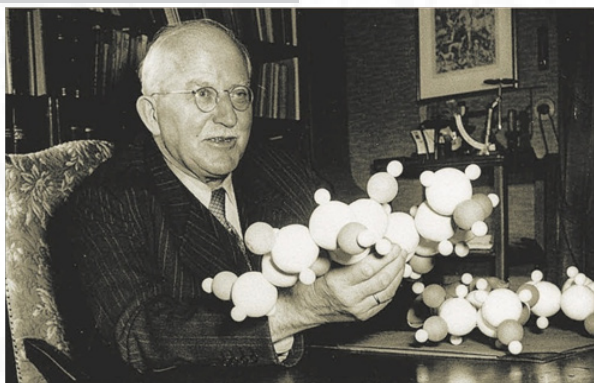
در سال ۱۹۲۶ به دعوت دانشگاه فرایبورگ به آنجا رفت و تا آخر عمر در این دانشگاه به پژوهش پیرامون پلیمر مشغول بود. همچنین، از سال ۱۹۴۰ ریاست موسسه پژوهشی شیمی درشت‌مولکول‌ها را



نیز بر عهده داشت. در ۱۹۲۷ با ماگدا ویتا ازدواج کرد که همکار و نویسنده همراه بسیاری از مقالات او بود. وی در سال ۱۹۶۵ و در سن ۸۴ سالگی از دنیا رفت.

تلاش‌های اشتادینگر در تشریح ماهیت ترکیبات با وزن مولکولی زیاد، که وی آن‌ها را

برای نخستین بار درشت‌مولکول (macromolecule) نامید، زمینه را برای پیدایش دانش شیمی پلیمر فراهم ساخت. در سال ۱۹۵۳ جایزه نوبل شیمی را از آن خود ساخت. وی در سال ۱۹۳۶ در بیانی بسیار هوشمندانه پیدایش دانش پلیمر را بدین گونه پیش‌بینی کرد: غیرممکن نخواهد بود که دیر یا زود، راه‌هایی برای تهیه الیاف مصنوعی از ترکیبات با وزن مولکولی زیاد کشف شود. زیرا استحکام و کشسانی الیاف به طور انحصاری به ساختار درشت‌مولکولی آن‌ها مرتبط خواهد بود [۲].



تصور می‌شد و مطالعات بلورنگاری نشان داده بود که ترکیب پلیمری می‌بایست درون یک واحد ساختاری بلوری قرار گیرد که مبین محدودیت طول مولکول یا وزن مولکولی بود. بنابراین، فرض وزن مولکولی بسیار زیاد، دور از ذهن و حتی غیرمعقول به نظر می‌رسید [۴،۵].

اشتادینگر طی پژوهش‌های خود در کارلسروهه و زوریخ نخستین تجربیات خود را در ارتباط با پلیمر شدن ایزوپرن، سنتز پلی‌اکسی متیلن و شیمی لاستیک کسب کرد. وی در سال ۱۹۲۰ نتایج تجربیات خود را در قالب یک مفهوم و ایده انقلابی در نشریه گزارش شرکت‌های شیمیایی آلمان (Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft) ارائه کرد. این ایده بیان می‌داشت، محصولات با وزن مولکولی زیاد که در فرایند پلیمر شدن به دست می‌آیند، مانند پلی‌اکسی متیلن، پلی‌وینیل کلرید، پلی‌استیرن، پلی‌گلیکولید، لاستیک مصنوعی و ترکیبات مشابه، به شکل زنجیرهای بلندی بوده که شامل تعداد بسیار زیادی واحدهای پایه مولکولی یکسان (که امروزه مونومر نامیده می‌شوند) هستند که با پیوند کووالانسی به یکدیگر متصل شده‌اند. در آن زمان اشتادینگر

وی نویسنده توانایی بود و کتاب‌های متعددی در زمینه شیمی ترکیبات مولکولی ساده و پلیمری منتشر کرده است (جدول ۱). اشتادینگر طی جنگ جهانی اول از مخالفان جنگ بود و حتی با ارائه نظریه پشتیبانی فناورانه بشری پیش‌بینی کرد، آلمان در حالت دخالت ایالات متحده در جنگ جهانی اول شکست خواهد خورد و به دولت‌مردان پیشنهاد ترک مخاصمه داد. مواضع ضدجنگ وی باعث شد تا وفاداری وی به حزب نازی بارها توسط پلیس آلمان مورد سوال قرار گیرد. طی جنگ جهانی دوم بارها مورد سرکوب، تحقیر و آزار قرار گرفت و کلیه فعالیت‌های وی تحت کنترل بود. موسسه پژوهشی فرایبورگ که اشتادینگر از ۱۹۲۶ در آن در باره مواد پلیمری پژوهش کرده بود، پس از خاتمه جنگ به تلی از خاکستر مبدل شد. ولی با کمک و پشتیبانی دولت و بخش خصوصی، به ویژه فعالیت‌های همسرش در جمع‌آوری هزینه‌های پژوهشی، این موسسه دوباره فعال و اشتادینگر در آن به پژوهش مشغول شد [۳].

مفهوم درشت‌مولکول

در ابتدای قرن بیستم، طراحی و معماری مولکولی پلیمرهای طبیعی و حتی سنتزی مشخص نبود و بهینه‌سازی برای برآورد نیاز، تنها بر مبنای آزمایش و تجربه بود. پخت لاستیک طبیعی و تولید نیتروسولولوز از این جمله‌اند. در این دوران، ترکیبات پلیمری، مواد کلوئیدی نامیده می‌شدند. مفاهیم پلیمر و پلیمر شدن، مدت‌ها پیش از کارهای اشتادینگر معرفی شده بود، اما با مفهوم امروزی آن‌ها تفاوت اساسی داشت. در این دوران، کلمه پلیمر هیچ ارتباطی با مفهوم وزن مولکولی نداشت و تنها بیانگر حالت‌های ترکیبات با وزن مولکولی متفاوت و ترکیب شیمیایی مشابه بود. در آن زمان

جدول ۱- تعدادی از کتاب‌های نگارش شده توسط اشتادینگر.

عنوان کتاب	سال انتشار	ناشر
Ketenes	۱۹۱۲	Enke, Stuttgart
Introduction to Organic Qualitative Analysis	۱۹۲۳	Springer, Berlin
Tables for the Lectures on General and Inorganic Chemistry	۱۹۲۷	Braun
The high-molecular organic compounds, rubber and cellulose	۱۹۳۲	Springer, Berlin
Organic colloid chemistry	۱۹۴۰	Braunschweig
Progress of the chemistry, physics and technique of the macromolecular substances	۱۹۳۹	Lehmann, Munich
Macromolecular chemistry and biology	۱۹۴۷	Wepf & Co., Basle

شواهد قانع کننده زیادی برای ایده خود ارائه نداد. از این رو، بسیاری از دانشمندان ایده وی را قبول نکردند، حتی متخصصان بلورشناسی به شدت با آن مخالفت کردند.

این دانشمند در خاطرات خود از این دوران می نویسد که یکی از صمیمی ترین دوستان و همکارانش به او گفت: این ایده را کنار بگذار، ماده ای با وزن مولکولی بیش از ۵۰۰۰ نمی تواند وجود داشته باشد. در سال ۱۹۲۲ در مقاله ای در باره هیدروژن دار کردن لاستیک خام، برای توصیف زنجیر پلیمر با اتصالات کووالانسی بین آن ها از کلمه درشت مولکول به معنای مولکول های بزرگ استفاده کرد. در سال ۱۹۲۴ تعریف دقیق تری از این واژه ارائه داد، مبنی بر اینکه برای تشریح بهتر، درشت مولکول به ذرات کلئیدی اطلاق می شود که در آن ها مولکول ها مشابه ذرات اولیه بوده و اتم ها در این مولکول کلئیدی با پیوندهای کووالانسی به یکدیگر متصل شده اند. لازم به ذکر است تا آن موقع از پلیمرها به عنوان ذرات کلئیدی نام برده می شد [۶].

تا پایان دهه ۳۰ میلادی، شواهد تجربی بسیاری برای مفهوم درشت مولکول توسط اشتادینگر و دیگران به دست آمد. مطالعات اندازه گیری گرانی و تدوین شاخص اشتادینگر، فعالیت های مارک و هونیک در تدوین رابطه بین وزن مولکولی و گرانی، پیش رفت در روش های تعیین وزن مولکولی، مانند روش های مرکزگریزی، غشای اسمزی و پراکنش نوری، شواهد محکمی از این ایده به دست دادند. وی با استفاده از نتایج آزمایش های بلورنگاری ایکس روی پلی اکسی متیلن متبلور نشان داد. این ماده به شکل زنجیر طولانی است و تنها چهار گروه اکسی متیلن می تواند در هر واحد بلوری قرار گیرد. نتیجه ای که باعث حذف دیدگاه مخالفان اصلی ایده زنجیرهای طولانی شد که بیشتر آن ها متخصصان بلورشناسی بودند. وی در مطالعه خواص فیزیکی پلی استیرن مفاهیم و تاثیر درجه پلیمر شدن و آرایش فضایی را نیز ارائه و مورد بحث قرار داد. در سال های آتی پژوهش های متعددی روی سنتز پلیمرها، تحلیل ساختار مولکولی آن ها، سازوکارهای پلیمر شدن، شیمی تجزیه پلیمرها و کنترل خواص آن ها انجام داد [۴].

در پایان دهه ۳۰، مفهوم درشت مولکول ارائه شده توسط اشتادینگر در دانش و فناوری پذیرفته شد. طراحی مولکولی مواد پلیمری توسعه منطقی موادی را که پیش از این کاملاً مبتنی بر روش های تجربی بود، به همراه داشت. در زمان کوتاهی مواد پلیمری متعددی در مقیاس صنعتی، مانند پلی استیرن، پلی وینیل کلرید، پلی استرها و پلی آمیدها تولید شدند.

در سال ۱۹۴۰ وی نخستین موسسه پژوهشی اروپایی، ویژه

پژوهش های پلیمری را در فرایبورگ بنا نهاد. برای گسترش ارتباطات در زمینه پژوهش های علمی، وی نخستین مجله علوم پلیمری را با عنوان *Journal für Makromolekulare Chemie* ایجاد کرد که پس از جنگ جهانی دوم به *Die Makromolekulare Chemie* تغییر نام یافت. امروزه این نشریه با عنوان *Macromolecular Chemistry and Physics* توسط انتشارات Wiley-VCH منتشر می شود [۴].

جمع بندی

پژوهش های اشتادینگر در بیش از چهار دهه از ۱۹۲۰ روی کوچک مولکول ها و درشت مولکول ها، در زمینه سنتز پلیمرها، تحلیل ساختار شیمیایی، سازوکار پلیمر شدن، شیمی تجزیه پلیمرها و کنترل خواص آن ها در ۸۶۰ مقاله علمی و بیش از ۵۰ ثبت اختراع منعکس شده است. از میان آن ها تعداد ۱۲۰ مقاله در زمینه سلولوز، ۵۰ مقاله در زمینه کتن ها، ۵۰ مقاله در زمینه ایزوپرن و لاستیک و ۶۴۰ مقاله در زمینه های مختلف پلیمری بوده است. بعضی از اختراعات وی روی مولکول های ترکیبات ساده به تولید صنعتی منجر شد. وی در حال حاضر، از کاربرد تجاری اختراعات پلیمری وی اثری وجود ندارد. با این وجود، پژوهش های بنیادی این دانشمند اثر بسیار شگرفی بر توسعه صنعتی-اقتصادی مواد پلیمری داشته است. در سراسر دنیای علمی و صنعتی، دانشمندان بسیاری از ایده جسورانه وی در طراحی ساختار درشت مولکول ها تاثیر پذیرفته اند. در آلمان بسیاری از شاگردان وی از توسعه دهندگان پژوهش و فناوری پلیمرها و کاربردهای صنعتی آن ها بوده و مدیران شرکت های بزرگ صنعتی مانند BASF، هوخست، سیبا-گایگی و ... بوده اند.

مبارزه طولانی اشتادینگر برای ارائه و اثبات فرضیه خویش مبنی بر وجود درشت مولکول ها و تشریح بسیاری از مشخصات ترکیبات پلیمری از مرحله طراحی و ساخت و فراورش، نام وی را بر قله دانش و فناوری پلیمری تثبیت کرد. به پاس خدمات شایان او برای معرفی و تثبیت زمینه دانش پلیمرها و درشت مولکول ها، جایزه نوبل ۱۹۵۳ در شیمی به وی تعلق گرفت. در نطق اعطای جایزه به وی گفته شد: پروفیسور اشتادینگر، سی سال پیش شما ایده قابلیت رسیدن یک مولکول به هر اندازه را ارائه دادید. بر کسی پوشیده نیست، همکاران و سایر پژوهشگران برای مدتی طولانی ایده جسورانه شما را نپذیرفتند و حتی آن را ابلهانه شمردند. شاید این امر قابل فهم بود. در دنیای پلیمر که هر چیزی جدید و نآزموده بود، نیاز به تجدید نظر در ایده ها و مفاهیم استوار قدیمی

زندگی و فعالیت‌های پژوهشی هرمان اشتادینگر نمونه‌ای از صدها انسان تلاشگر، پیگیر و خستگی‌ناپذیر بوده که در مواجهه با مشکلات و سوالات علمی جسورانه به نوع دیگری فکر کرده و فراتر از الگوهای متداول زمان خویش اندیشیده‌اند و با ایمان بر دانسته‌ها و باورهای علمی خود در صدد یافتن شواهد و دلایل سال‌ها وقت گذرانده‌اند.

یا خلق ایده‌های نوین بود. شما (اشتادینگر) با ارائه شجاعانه مفهوم درشت‌مولکول، ضمن به چالش کشیدن نظریات پیشین در باره مواد کلونیدی، مرزهای این دانش را گسترش داده و برای بسیاری از پرسش‌ها پاسخ ارائه دادید. اهمیت این جایزه افزون بر قدردانی از تلاش‌های اشتادینگر، رسمیت بخشیدن و پذیرش دانش و فناوری پلیمر به عنوان یک زمینه مستقل آکادمیک و صنعتی و تعریف این حوزه تخصصی بود [۳].

مراجع

1. Staudinger H. and Meyer J., *Helvetica Chim. Acta*, **2**, 619-635, and 635-646, 1919; *Ibid*, **4**, 861-886, 1921.
2. Staudinger H., Heuer W., Husemann E., and Rabinovitch I.J., The Insoluble Polystyrene, *Trans. Faraday Soc.*, **32**, 323-335, 1936.
3. The Nobel Prize in Chemistry 1953, Nobelprize. org. Nobel Media AB 2014. Web. 3 May 2016. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1953/.
4. Mulhaupt R., Hermann Staudinger and the Origin of Macromolecular Chemistry, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **43**, 1054-1063, 2004.
5. Morawetz H., Difficulties in the Emergence of the Polymer Concept, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **26**, 93-97, 1987.
6. Staudinger H., *Ber. Dtsch. Chem. Ges.*, **57**, 1203-1208, 1924.