

**21. yüzyılın  
başında,  
polimer  
bilimi  
yarının  
teknolojilerinin  
zorluklarını  
karşılamaya  
hazırdır.**



# Hermann Staudinger

Merve Çaltır ve Dr. Adil Denizli

Hacettepe Üniversitesi, Kimya Bölümü, Beytepe, Ankara

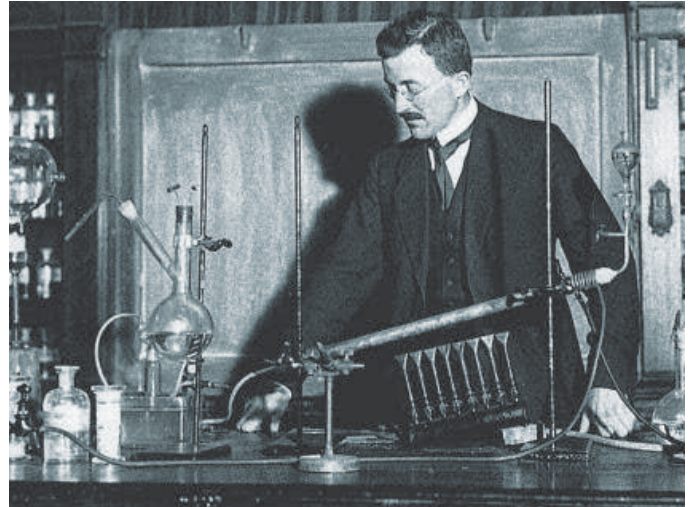
1920'de Zürih'teki ETH'de organik kimya profesörü olan Hermann Staudinger, doğal kauçuk gibi malzemelerin çok yüksek moleküler ağırlığa sahip olduğunu öne sürerek uluslararası kimya camiasında bir heyecan yarattı. Über Polimerizasyon başlıklı bir makalede Staudinger, çok sayıda küçük moleküllü birbirine bağlayarak yüksek moleküler ağırlıklı moleküller oluşturan birkaç reaksiyon sundu. "Polimerizasyon" adını verdiği bu reaksiyon sırasında, tekrar eden bireysel birimler kovalent bağlarla birbirine bağlanır. 1922'de Staudinger tarafından makromoleküller olarak adlandırılan bu yeni konsept, hem sentetik hem de doğal polimerleri kapsıyordu ve çok çeşitli modern polimerik malzemelerin ve yenilikçi uygulamaların anahtarıydı. Günümüzde sentetik polimerlerin ve biyopolimerlerin moleküler mimarileri, modern teknolojinin taleplerini karşılamak için yüksek hassasiyetle uyarlanmıştır. Polimer kimyasının ürünleri, gıda paketlenme, tekstil lifleri, otomobil parçaları ve oyuncaklardan, suyun tuzdan arındırılması için zarlara, kontrollü ilaç salımında kullanılan taşıyıcılara ve doku mühendisliği için biyopolimerlere kadar çok çeşitlidir. Ancak Staudinger'in konsepti, çağdaşları için güçlü bir meydan okumayı temsil ediyordu. Bilimsel topluluk, moleküler ağırlıkları 5000'i aşan son derece büyük bileşiklerin varlığını kabul etme konusunda çok isteksizdi. Bunun yerine, sabun moleküllerinde gözlemlendiği gibi misel tipi agregaların, bu tür malzemelerin olağandışı özelliklerinden sorumlu olduğu düşünülüyordu. Dahası, bazı bilim adamları, bir molekülün boyutunun, X-ışını kristalografisi ile ölçülen birim hücrenin boyutunu asla geçemeyeceğine ikna olmuşlardı. Klasik organik kimyanın bilimsel geleneğini izleyen Staudinger, yüksek moleküler ağırlıklı polimerlerin varlığını desteklemek için sağlam deneysel kanıtlar sundu. Model sistem olarak doğal kauçuğu seçti çünkü Carl Harries ve Rudolf Pummerer bağımsız olarak doğal kauçuğun çift bağlarla ilişkili 'kısmi değerlikler' yoluyla kümelenmiş küçük siklik poliizopren birimlerinden oluştuğunu öne sürdüler. Bu tür agregalar, çift bağlar hidrojenleme ile çıkarıldığında yok edilmiş olmalıdır. Staudinger'in hidrojenasyon deneyleri, hidrojene kauçuğun normal doymamış kauçuğa çok benzer olduğunu gösterdi. 1920'lerin sonlarında Staudinger, polimerlerin kimyasal modifikasyonu sırasında moleküler ağırlıkların değişmeden kaldığını doğrulamak için viskometriye dayalı ek kanıtlar sağladı. Etkileyici deneysel kanıtlara rağmen, Staudinger yaklaşık yirmi yıl boyunca önde gelen organik kimyagerlerden çok güçlü bir muhalefetle karşılaşmaya devam etti.

# Kendisine Nobel Kimya Ödülü verildiğinde makromolekül kavramı ve büyük moleküller bilimini kürmek için gösterdiği uzun süreli çabanın ödülünü aldı.

Örneğin, kimyada 1927 Nobel ödüllü Heinrich Wieland, Staudinger'e şöyle yazmıştı: "Sevgili meslektaşım, büyük moleküller fikrini bırakın; Moleküler ağırlığı 5000'den fazla olan organik moleküller yoktur. Kauçuk gibi ürünlerinizi saflaştırın, sonra kristalleştirin ve düşük moleküler bileşikler olduklarını kanıtlayın!" Staudinger otobiyografisinde şu yorumu yaptı: Meslektaşlarım bu değişime çok şüpheyle yaklaştılar ve düşük moleküler kimya alanındaki yayınlarımı bilenler bana neden bu ilginç alanı ihmal ettiğimi ve bunun yerine çok tatsız ve yetersiz tanımlanmış bir alanda çalıştığımı sordular, kauçuk ve sentetik polimerler gibi bileşikler. O zamanlar, bu bileşiklerin kimyası, özelliklerine göre, genellikle Schmierer chemie (gres kimyası) olarak adlandırılıyordu. Staudinger, meslektaşlarının onun yöntemlerine ve sonuçlarına olan güvensizliğine rağmen, polimer bilimleri kavramlarını desteklemekten asla vazgeçmedi. Canlı tartışmalarda, yaratıcılığını, ısrarını ve belirgin coşkusu kullanarak tüm saldırılara karşı fikirlerini güzel bir şekilde savundu. 1920'lerin sonunda ve 1930'larda, Staudinger'in makromoleküler konsepti diğer kimyagerler tarafından artan bir kabul gördü. Muhafiflerinden bazıları hala itirazlarını sürdürse de, konsepti endüstriyel süreçlerde zaten uygulanıyordu. Sonunda, 10 Aralık 1953'te Staudinger, kendisine Nobel Kimya Ödülü verildiğinde makromolekül kavramı ve büyük moleküller bilimini kürmek için gösterdiği uzun süreli çabanın ödülünü aldı.

## Hayatı ve Kariyeri

Hermann Staudinger 23 Mart 1881'de Worms on the Rhine'de doğdu. Bitkileri ve çiçekleri çok sevdiği için liseden mezun olduktan sonra 1899'da Halle Üniversitesi'nde Georg Klebs'in yanında botanik okudu. Babası ona botaniği daha iyi anlaması için bazı kimya dersleri almasını önerdi. Bu baba tavsiyesinin ardından Hermann, Halle, Darmstadt ve Münih Üniversitelerinde kimya okudu. Kimya ana ilgi alanı oldu ve 1903'te 22 yaşında, Halle'de Daniel Vorländer altında doktora derecesini aldı. H. Organik kimya alanındaki araştırmalarına Strasbourg Üniversitesi'nde Johannes Thiele'nin laboratuvarında devam etti. Karboksilik asit bileşikleriyle ilgili araştırmaları sırasında oldukça reaktif ketenleri keşfetti. 1907'de, ketenler üzerine doktora sonrası çalışmasını tamamladıktan hemen sonra, 26 yaşındaki Staudinger, Roland Scholl'un yerine Karlsruhe Teknik Üniversitesi'ne profesör olarak atandı. Karlsruhe'de Carl Engler ve daha sonra yüksek basınçlı kimyanın kurucusu olan Fritz Haber gibi seçkin kimyagerlerle tanıştı. O zamanlar Staudinger'in araştırmaları keten kimyası,





oksallil klorür reaksiyonları, alifatik diazo bileşikleri ve bütadien ve izopren hazırlanmasına odaklanmıştı. 1912'de, organik kimyada bir dünya lideri olan Richard Willstätter, Berlin-Dahlem'de yeni kurulan Kaiser Wilhelm Kimya Enstitüsü'nün müdürü olarak atandı. ETH'in, kimya alanındaki boş sandalyesini ilk kitabı Die Ketene'i yeni yayınlamış olan Staudinger'a teklif etti. Staudinger, ETH'de organik sentez üzerine araştırmalarına devam etti. Ayrıca, Leopold Ruzicka (1939'da Nobel Kimya Ödülü alacak olan) ile fizyolojik olarak aktif doğal bileşikleri araştırmaya başladı, Staudinger doğal piretrinlerin yapısını belirledi ve bu önemli doğal insektisitlere sentetik yollar geliştirdi. Birinci Dünya Savaşı sırasında Staudinger, savaş sırasında yetersiz kalan doğal ürünlerin ikamesi olan Ersatz bileşikleri üzerine de araştırma yaptı. Sentetik biberin başarılı bir şekilde geliştirilmesine ek olarak, Staudinger ve Thadaeus Reichstein, doğal kahve aromasının zorlu analizini gerçekleştirdiler. Sonunda, güvenilir bir Ersatz aroması (eser miktarda metil merkaptan içeren furfuril merkaptan) buldular ve bu aroma endüstriyel bir işleme dönüştürüldü. Bu dönemde Staudinger, Adolf von Baeyer, Emil Fischer ve Richard Willstätter gibi kimyagerler tarafından yönetilen, halihazırda son derece sofistike ve saygın bir bilim olan ana akım organik

kimyanın tipik bir uygulayıcısıydı. 1914 yılına gelindiğinde, organik kimyagerler, boyalar ve farmasötikler de dâhil olmak üzere çeşitli uygulamalar için kullanılan 100.000'den fazla sentetik bileşik hazırlamışlardı. Henüz 40 yaşında olmamasına rağmen, Staudinger önde gelen bir organik kimyager olarak kabul ediliyordu. 1920'lerde Staudinger, polimer biliminin fırtınalı açık denizlerine atılmak için klasik organik kimyanın güvenli ve prestijli limanından ayrılmaya karar verdi. Staudinger'in öncü ruhu, onu geleneksel organik kimyagerlerin tipik düşüncesinden ayrılmaya ve yeni ve devrimci fikirler geliştirmeye itti. 1926'da Freiburg'daki Albert Ludwig Üniversitesi'nde bir kürsüye atandı ve burada tüm çabalarını polimer biliminin sınırlarını oluşturmaya ve genişletmeye adanmıştı. Araştırma konuları, Staudinger'in çok daha karmaşık biyopolimerler için model sistemler olarak gördüğü doğal kauçuk, selüloz ve poli oksimetilen, polistiren ve polietilen oksit gibi sentetik polimerleri içeriyordu. Staudinger, sentetik polimerler yapmanın yanı sıra, uç grup analizi kullanarak polimer çözeltilerinin viskozitesini ölçerek ve elektron mikroskobu analizi kullanarak polimerlerin moleküler ağırlıklarını belirlemeye çalıştı. Hermann Staudinger, araştırmaları için fon sağlamak ve plastik ve kauçukla ilgilenen firmalara teknik

danışman olarak hareket etmek için her zaman endüstri ile yakın bir ilişki sürdürdü. Uzun yıllar boyunca, Makromoleküler Kimya Enstitüsü'nün Förderverein'i (destekçiler derneği) bağlantılı Freiburg'da polimer araştırmalarına sponsor olan çeşitli şirketlerin araştırma yöneticileri. Staudinger'in 1950'de başlayan dâhili grup semineri hem akademik hem de endüstriyel kimyagerlerin ilgisini çekti ve kısa sürede 1990'larda 700'den fazla katılımcıyla Almanya'nın en büyük yıllık polimer toplantısı oldu. Staudinger'in araştırmaları, 10.000'den fazla basılı sayfaya ulaşan 800'den fazla yayında yayınlandı. Araştırmalarını 1970 yılında yayınlanan otobiyografisi Arbeitserinnerungen'de (Organik Kimyadan Makromoleküllere) özetledi. Das Wissenschaftliche Werk von Hermann Staudinger (Hermann Staudinger'in Bilimsel Katkıları) başlıklı toplu çalışmaları Magda Staudinger tarafından düzenlendi ve 1969 ile 1976 yılları arasında yayınlandı. Staudinger'in 1932'de Berlin'de Springer tarafından yayınlanan Die hochmolekularen organischen Verbindungen Kautschuk und Cellulose (Yüksek Moleküler Ağırlıklı Organik Bileşikler Kauçuk ve Selüloz) adlı ders kitabı, uzun yıllar boyunca birçok akademik ve endüstriyel bilim insanının kutsal kitabı oldu. 1947'de Staudinger, Basel'deki yayıncılar Wepf & Co. ile yeni Makromolekulare Chemie dergisinin açılışını yaptı. 50 yılı aşkın bir süredir, bu dergi bilimsel alışveriş için mükemmel bir forum sağladı ve polimer biliminin genişlemesini destekledi.





## Politik Endişe

Staudinger, akademik kimyanın kapsamı dışındaki ahlaki ve politik konularla da ilgileniyordu. Birinci Dünya Savaşı sırasında, kimyasal savaşı alenen eleştirdi ve Alman savaş çabalarını desteklemek için zehirli gaz geliştiren eski arkadaşı Fritz Haber'e karşı çıktı. 1917'de Staudinger, savaşan güçler arasındaki endüstriyel dengenin hesaplanmasına dayanan bir makale yayınladı ve burada savaşın Almanya'ya kaybettiğini ve daha fazla kan dökülmesinin anlamsız olduğu için derhal durdurulması gerektiğini belirtti. Cesur açıklamaları, o dönemin milliyetçi ruhuna doğrudan karşıydı. Staudinger'in barış arayışı, vatanseverliğinin birçok kez sorgulanması anlamına geliyordu. Nitekim 1934 yılında, Nazi döneminde, Freiburg Üniversitesi dekanı, ünlü Alman filozof Martin Heidegger, Staudinger hakkında görevden alma işlemlerini başlattı. Staudinger, Gestapo tarafından sorgulanmasına ve istifa etmek zorunda kalmasına rağmen, görevden alınması ertelendi ve sonunda, Nazi otoritesini alenen sorgulamayı bırakmayı kabul ettiğinde geri çekildi. Buna rağmen, konferanslara katılmak için yurt dışına

seyahat etme istekleri 1937'den sonra reddedildi. Polimer Biliminin Endüstriyel Önemi 19. yüzyılın sonlarında, ipek ve fildişi yerine yapay ikameler olarak selüloz türevleri geliştirildi. Bununla birlikte, endüstriyel üretimdeki asıl atılım, 1908'de Leo Hendrik Baekeland'ın Bakalit olarak bilinen ilk gerçek sentetik polimer olarak fenolik reçineleri geliştirmesiyle gerçekleşti. O zamandan beri, teknik ilerleme ile polimer bilimindeki ilerlemeler arasında çok verimli bir karşılıklı etkileşim oldu. 1965'te 15 milyon ton olan polimer üretimi, 1996'da 150 milyon tonun üzerine çıktı; bunun 100 milyon tonu termoplastik, 18 milyon tonu sentetik elyaf, 22 milyon tonu termoset ve 10 milyon tonu elastomerdi. Her yıl polietilen, polipropilen ve polivinil klorür (PVC) gibi 1 milyon tondan fazla termoplastik üretilmektedir. Başka hiçbir malzeme polimerik malzemelerin çok yönlülüğüyle boy ölçüşemez. Moleküler yapıları nedeniyle çeşitli şekillerde sert, yumuşak veya elastik, geçirgen veya geçirimsiz ve şeffaf veya opak olabilirler. Ayrıca, polimerler nispeten ucuzdur ve enjeksiyonlu kalıplama, üfleme kalıplama, ekstrüzyon, eğirme, döküm veya sıkıştırma kalıplama yoluyla kolayca işlenebilir. Çok yönlülükleri nedeniyle, sentetik polimerler sayısız uygulamaya sahiptir. Bazıları çok

tanıdık: ev aletleri, paketleme, telefonlar, otomobil parçaları ve kumaşlar. Devre kartları, uzay gemileri için kompozitler ve emilebilir dikişler ve implant malzemeleri gibi tıbbi kullanımlar dâhil olmak üzere diğerleri daha az görünür. Birçok polimerik malzeme, geri dönüştürülmüş polimer topraklarının yeniden kalıplanmasıyla veya besleme stokunun geri kazanılması için polimerin ısıtılmasıyla kolayca geri dönüştürülebilir. Örneğin ticari poliolefinler, örneğin polipropilen, rafinerilerde ve enerji üretiminde doğal petrol ve gazın yerini alabilecek sentetik yağ ve gaz oluşturmak üzere 400 OC'nin üzerindeki sıcaklıklarda parçalanır. Ayrıca, hafif polimerik malzemeler otomotiv yapımında ağırlık tasarrufu sağlayabilir, böylece yakıt tüketimini ve egzoz emisyonunu azaltabilir. Termal yalıtkanlar olarak, polimer köpükler enerjinin korunmasına yardımcı olur. Tüm tüketimin %4'ünü oluşturan polimer yapımında kullanılan petrol, bu polimerlerin mümkün kıldığı otomotiv yapımında geliştirilmiş yalıtım ve ağırlık azaltma nedeniyle, kullanılan tüm petrolün %10'undan fazlasını kurtarır. Polimerik malzemeler, gelecek nesiller için fosil kaynaklarının korunmasına yardımcı olan çevre dostu malzemelerin başlıca örnekleridir.





## Makromoleküller: Malzeme Bilimleri ve Yaşam Bilimleri Arasında Bir Köprü

Polimer bilimlerinin gelişimi, yüksek teknolojide çok çeşitli uygulamalara sahip yeni malzemelerin üretimini teşvik etti. 1926 gibi erken bir tarihte Staudinger, makromoleküllerin biyokimya ve biyoloji için önemini vurguladı. Eşi Magda tarafından desteklenen niyeti, yeni bir makromoleküler biyobilim araştırma disiplini ya da bugün adlandırdığımız şekliyle makromoleküler yaşam bilimi yaratmaktı. Nobel Ödülü kabul konuşmasını vizyonunu açıklayarak bitirdi: Makromoleküler kimyadaki yeni kavrayışların ışığında, yaşam mucizesi, canlı maddenin özelliği olan mimarilerin istisnai birçokluğunu ve mükemmelliğini gösteriyor. Doğa; hücre yapıları, taşıma, kataliz ve replikasyonda özel işlevlere sahip çok çeşitli biyopolimerler üretmek için amino asitler ve sakkaritler gibi çok az sayıda monomer kullanır. Bugün, yaşam bilimlerindeki, özellikle biyoteknolojideki yenilikler, moleküler mimariler ve biyolojik aktivitelerin benzeri görülmemiş kontrolü ile yeni sentetik biyopolimerlerin yaratılmasını teşvik etmeye devam edecek. 21. yüzyılın başında, polimer bilimi yarının teknolojilerinin zorluklarını karşılamaya hazırdır.

