

2021

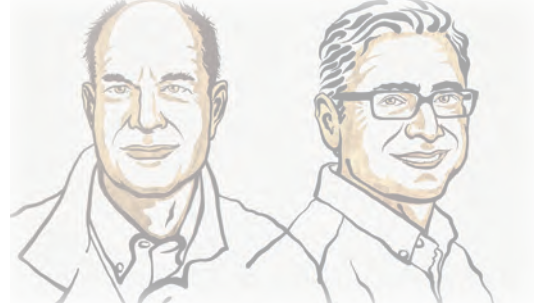
NOBEL BİLİM ÖDÜLLERİ



Dr. Mahir E. Ocak [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Her yıl olduğu gibi bu yıl da merakla beklenen Nobel Bilim Ödülleri geçtiğimiz ayın başlarında açıklandı. Fizyoloji veya Tıp, Kimya ve Fizik dallarındaki çığır açıcı başarılarıyla Nobel'e layık görülen bilim insanları 10 Aralık'ta Stockholm'de düzenlenecek törenle ödüllerini alacak. İşte 2021'in Nobel yıldızlarının ödül kazandıran bilimsel çalışmaları.

Nobel Fizyoloji veya Tıp Ödülü



David Julius (solda) ve Ardem Patapoutian (sağda)

2021 Nobel Fizyoloji veya Tıp Ödülü'nün sahipleri, San Francisco'daki Kaliforniya Üniversitesinden David Julius ve Scripps Araştırma Enstitüsünden Ardem Patapoutian oldu. Araştırmacıların sıcaklık ve dokunma reseptörlerini keşifleri dolayısıyla ödüle layık görüldükleri açıklandı.

Dış uyarınları algılamak, insanlar ve diğer canlılar için hayati önemdedir. Geçtiğimiz yıllarda bu konuda önemli çalışmalar yapan bilim insanları üç kez Nobel Ödülü ile onurlandırılmıştı. 1906 yılında Camillo Golgi ve Santiago Ramon y Cajal sinir sisteminin yapısı, 1932 yılında Charles Sherrington ve Edgar Adrian nöronların işlevleri, 1944 yılında da Joseph Erlanger ve Herbert Spencer Gasser tekil duyu sinirlerinin işlevleri üzerine yaptıkları çalışmalar nedeniyle Nobel Ödülü'nü kazanmışlardı.

1990'lardan önce yapılan çalışmalar sayesinde, dış uyarınlardan sebep olduğu sinirsel etkinlikler hakkında büyük bir bilgi birikimi oluşmuşsa da en temel soru hâlâ cevaplanmayı bekliyordu: Isı ve mekanik uyarınları algılayan moleküllerin yapısı neydi ve bu moleküller hangi yollarla sinirlerde elektrik sinyallerinin ortaya çıkmasını sağlıyordu? Julius ve Patapoutian, 1990'lardan sonra yaptıkları çalışmalarla bu temel soruya cevap verdiler.

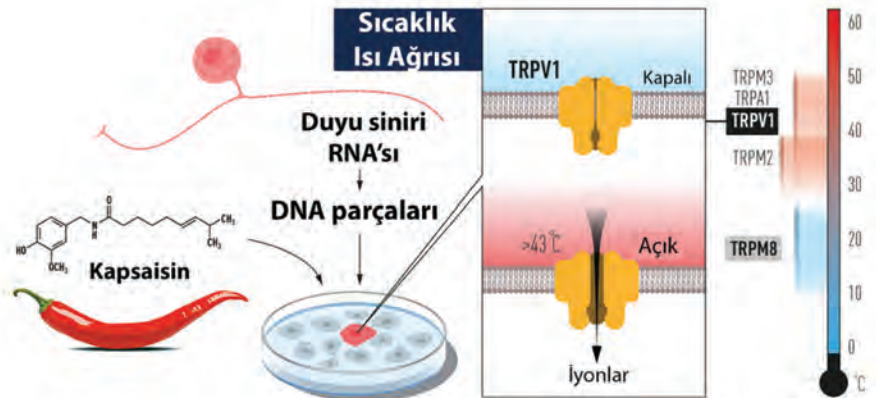
Isı Reseptörleri

David Julius, 1990'ların sonlarında San Francisco'daki Kaliforniya Üniversitesinde kapsaisin molekülünün neden olduğu

yanma hissi üzerine çalışmalar yapıyordu. Pul biberde bulunan bu molekülün sinir hücrelerini uyarak ağrıya neden olduğu biliniyordu. Ancak bu sürecin detayları hakkında fazla bilgi yoktu. Julius ve arkadaşları ilk olarak duyu sinirlerinde ifade edilen milyonlarca geni içeren bir gen kütüphanesi hazırladılar. Araştırmacılar, daha sonra bu kütüphanedeki genleri normal koşullar altında kapsaisine tepki vermeyen kültür hücrelerinde etkinleştirerek, hücrelerin kapsaisine tepki vermesini sağlayan geni tespit ettiler. Çalışmalar bu genin daha sonraları TRPV1 olarak adlandırılan bir iyon kanalı proteinini kodladığını gösterdi.

Araştırmacılar kapsaisine tepki verilmesini sağlayan geni bulmak için, oluşturdukları gen kütüphanesindeki tüm genleri tek tek hücre kültürlerinde test ettiler.

Julius ve arkadaşları, TRPV1 iyon kanalı üzerine yaptıkları detaylı çalışmalarda bu iyon kanalının başka hiçbir uyarın olmadığı durumlarda ısıya tepki vererek açılıp kapandığını ve böylece sinir hücrelerinde elektrik sinyallerinin ortaya çıkmasını sağladığını gösterdi. İyon

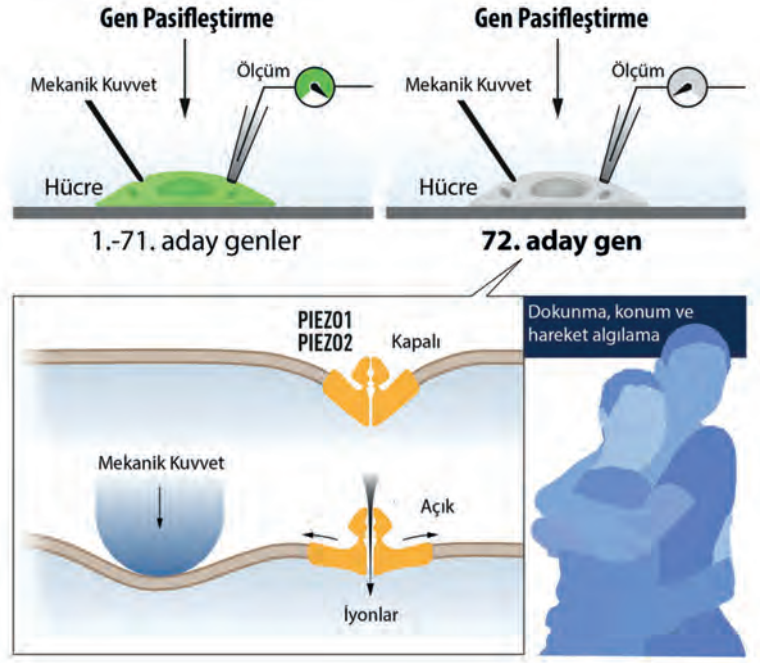


kanalı belirli bir eşik değerin üzerinde sıcaklığa maruz kaldığında ağrı hissedilmesine neden oluyordu.

Daha sonraları ısıya duyarlı başka reseptörler de keşfedildi. Örneğin Julius ve Patapoutian birbirlerinden bağımsız olarak TRMP8 adlı, soğuğa duyarlı bir reseptör keşfettiler. Bugün sıcaklığın algılanmasında rol aldığı bilinen iyon kanalları arasında TRPV1, TRPA1, TRPM3, TRPM2 ve TRPM8 var. TRP kanalları olarak adlandırılan iyon kanalları farklı sıcaklık aralıklarında aktifleşerek acı hissedilmesine neden oluyor ve böylece canlıyı tehlikeli olabilecek derecede yüksek ve düşük sıcaklıklara karşı uyarıyor. Bu sayede ortaya çıkan koruyucu refleksler, canlının yaşamını devam ettirmesine yardımcı oluyor. Bilimsel çalışmalar, TRP iyon kanallarının aynı zamanda iç organlarda hissedilen ağrının tetiklenmesinde de rol oynadığını gösteriyor.

Basınç Reseptörleri

Ardem Patapoutian'dan önce bakterilerdeki mekanik uyarılara tepki veren sensörler üzerine çeşitli çalışmalar yapılmışsa da omurgalılarda basınçın algılanmasını tetikleyen moleküller hakkında bilgi yoktu. Patapoutian ve arkadaşları ilk olarak mikropipet ile dürtüldüğünde ölçülebilir büyüklükte elektrik sinyalleri üreten bir hücre dizisi keşfettiler. Araştırmacılar, elektrik sinyalinin mekanik kuvvete duyarlı iyon kanalları tarafından tetiklendiğini varsaydı ve ilk olarak muhtemel reseptörleri kodladığını düşündükleri genleri tespit ettiler. Daha sonra bu genleri tek tek etkisizleştirerek hücrelerin mekanik etkenlere karşı duyarlı olmasını sağlayan geni buldular. Çalışmalar, bu genin daha sonraları Piezo1 olarak adlandırılacak bir iyon kanalı proteinini kodladığını gösterdi. Kısa bir süre sonra Piezo1'e çok benzer bir yapıda başka bir iyon kanalı daha bulundu. Piezo1 gibi basınca duyarlı olan bu iyon kanalına da Piezo2 adı verildi. İlerleyen yıllarda



hem Patapoutian ve arkadaşları hem de başka araştırma grupları tarafından yapılan çalışmalar, Piezo1 ve Piezo2 iyon kanallarının dokunma hissinin yanı sıra vücudun kendi konumunu ve hareketlerini algılamasında, kan basıncının ve solunumun düzenlenmesinde ve idrar kesesinin kontrol edilmesinde de rol aldığını gösterdi.

Patapoutian ve arkadaşları, tespit ettikleri 72 aday genin her seferinde sadece bir tanesini pasifleştirerek mekanik uyarıların algılanmasını sağlayan iyon kanalı proteinini kodlayan geni tespit ettiler. Basınca tepki vererek açılıp kapanan iyon kanalları, dokunma hissinin yanı sıra vücudun kendi konumunu ve hareketlerini algılamasını da sağlıyor.

Özetle TRP ve Piezo iyon kanallarının keşfedilmesiyle sıcak, soğuk ve basınç sinir sinyallerini nasıl tetiklediği daha iyi anlaşıldı. Günümüzde bu kanalların işleyişi ile ilgili bilgilerden kronik ağrılar da dâhil olmak üzere pek çok hastalığın tedavisinde yararlanılıyor.

Nobel Fizik Ödülü



Soldan sağa Syukuro Manabe, Klaus Hasselmann ve Giorgio Parisi

2021 Nobel Fizik Ödülü'nün bu yılki sahipleri Syukuro Manabe, Klaus Hasselmann ve Giorgio Parisi oldu. İsveç Kraliyet Bilimler Akademisinden yapılan açıklamada Manabe ve Hasselmann'ın geliştirdikleri iklim modelleri ve insanların Dünya'nın iklimine etkileri ile ilgili çalışmaları nedeniyle, Parisi'ninse düzensiz karmaşık malzemelerle ilgili kuramlara katkısı nedeniyle ödüle layık görüldükleri açıklandı.

Karmaşık sistemler birbiriyle etkileşim hâlinde olan çok sayıda alt sistemden oluşur. Bu sistemleri matematik diliyle ifade etmek zordur. Ayrıca karmaşık sistemler kaotik olabilir; başlangıç koşullarındaki ufak farklar, sistemin zaman içindeki gelişiminde çok büyük değişikliklerin ortaya çıkmasına neden olur. Bu yüzden karmaşık sistemlerle ilgili hassas tahminler yapmak zordur. Bu yıl Nobel Fizik Ödülü'nü kazanan araştırmacıların üçü de karmaşık sistemler ve bu sistemlerin zamanla gelişimi hakkındaki bilgi birikimine önemli katkılar yaptılar.

İklim Modelleri

Karmaşık sistemlerin örneklerinden biri atmosferdir. Sistem o kadar kaotiktir ki bir kelebeğin kanat çırpmasının bir fırtınayı tetikleyebileceği söylenir.

Atmosferin, Dünya'nın iklimi üzerindeki önemli rolünü ilk kavrayan kişi Joseph Fourier'di. Fransız fizikçi, iki yüz yıl önce yerküreden yayılan ısının atmosfer tarafından soğurulduğunu fark etmişti.

Atmosfer tıpkı kışın bitkileri büyütme için kullanılan seralar gibi davranıyor, yerküreden yayılan ısının hızla uzaya yayılmasını engelleyerek Dünya'nın ısınmasına katkıda bulunuyordu. Atmosferin neden olduğu sera etkisi, Dünya'nın yaşanabilir bir gezegen olması için hayati önemdedir. Sera etkisi olmasaydı Dünya'nın ortalama yüzey sıcaklığı -18°C civarında olurdu. Bugün yerkürenin ortalama yüzey sıcaklığının 15°C civarında olmasını sağlayan etken, yerküreden yayılan ısıyı önce soğurup sonra yeniden yayan sera gazlarıdır.

Su buharı, karbondioksit ve metan; atmosferde bulunan sera gazlarından bazılarıdır. Atmosferin neredeyse %99'unu oluşturan oksijen ve azot gazları ise sera etkisine katkıda bulunmaz.

Atmosferde bulunan en güçlü sera gazı, su buharıdır. Ancak atmosferdeki su buharı miktarının insanlar tarafından kontrol edilmesi kolay değildir. Bugün atmosferin yaklaşık



%0,04'ünü oluşturan karbondioksidin miktarındaysa, insan etkinlikleri sonucunda, görece kısa zaman dilimlerinde büyük değişiklikler görülebilir. Örneğin enerji elde etmek için fosil yakıtların kullanılması, atmosfere karbondioksit salınmasıyla sonuçlanır.

İsveçli kimyacı Svante Arrhenius, 19. yüzyılın sonunda Dünya'nın neden zaman zaman buzul çağlarına girdiğini anlamaya çalışırken karbondioksidin iklim açısından önemini fark etmişti. Nobel ödüllü araştırmacı, atmosferdeki karbondioksit miktarı yarıya düşerse yeni bir buzul çağının başlayacağını, atmosferdeki karbondioksit miktarının iki katına çıkması hâlinde ise Dünya'nın ortalama yüzey sıcaklığının 5-6 °C artacağını tahmin etti. Arrhenius'un tahmini, güncel tahminlere şaşırtıcı derecede yakındır.

Arrhenius'tan yaklaşık 70 yıl sonra Syukuro Manabe, karbondioksit ile iklim arasındaki ilişkiyi incelemeye başladı. Japon fizikçi, 1960'larda yaptığı çalışmalarda havadaki konveksiyon hareketlerine ve su buharındaki gizli ısıya odaklandı.

Manabe, hesapları kolaylaştırmak için bir boyutlu bir model oluşturmuştu. Atmosferin 40 kilometre yüksekliğinde bir sütun olarak alındığı bu model her ne kadar hayli basit olsa da o zamanların

teknolojisiyle hesaplar yapmak saatler sürüyordu. Manabe, oksijen ve azotun Dünya'nın ortalama yüzey sıcaklığı üzerinde önemli bir etkisi olmadığını, havadaki karbondioksit miktarının iki katına çıkması hâlindeyse küresel sıcaklıkların 2 °C artacağını hesaplamıştı. Manabe'nin hesaplarının önemli bir sonucu, atmosferdeki karbondioksit artışının ortalama yüzey sıcaklığını artırırken atmosferin üst katmanlarını soğutacağını göstermesiydi.

Manabe, ilerleyen yıllarda da iklim modelleri üzerine çalışmaya devam etti. Zamanla daha karmaşık ve daha gerçekçi iklim modelleri geliştirdi. İlk üç boyutlu iklim modelini 1975'te yayımladı.

Klaus Hasselmann'ın iklim modelleri konusuna en önemli katkısı ise hava durumu ile iklimi ilişkilendirmeyi ve böylece iklim tahminleri için önemli bir sorun olan kaotik hava olaylarını iklim modellerine dâhil etmeyi başarması oldu.

İklim değişikliklerine kıyasla hava durumu değişiklikleri çok kısa sürede gerçekleşir. Örneğin bir okyanusun ortalama sıcaklığının sadece 1 °C değişmesi binlerce yıl sürer, hava sıcaklığınunsa bir saatten kısa bir sürede 1 °C değişmesi mümkündür. Peki öyleyse atmosfer gibi kaotik bir sistemle ilgili onlarca hatta yüzlerce yıla yayılan tahminler nasıl yapılabilir?



Hasselmann, kaotik hava olaylarının iklim modellerine “parazit” olarak eklenebileceğini öne sürdü. Stokastik yani olasılığa dayalı, hızlı hava olaylarına rağmen yavaş iklim değişikliklerinin tahmin edilmesine imkân veren bir model geliştirdi.

Hasselmann, iklim değişiklikleriyle ilgili modelini tamamladıktan sonra insanların Dünya’nın iklimine etkileri üzerine çalışmaya başladı. İklim modelleri, gözlemler ve kuramsal teknikler kullanılarak Güneş’ten gelen ışıma miktarı, volkanik patlamalar sırasında atmosfere karışan parçacıklar ve atmosferdeki sera gazları miktarı gibi çeşitli etkenlerin iklim üzerindeki etkilerinin ayrı ayrı değerlendirilebileceğini gösterdi. Bu yöntem, insanların iklim üzerindeki etkilerinin incelenmesinde de kullanılabilir.

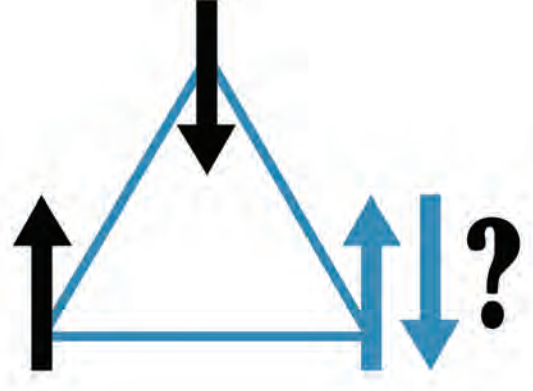
Düzensiz Sistemler

Bir sıvıyı soğutarak katılaştırdığımızı düşünelim. Ortaya çıkan katı genellikle kristalli yapıda olur yani içerisindeki atomlar düzenli bir yapı oluşturur. Ancak soğutma işlemi yeteri kadar hızlı yapılırsa atomlar düzenli bir yapı oluşturacak zamanı bulamaz, sonuçta ortaya düzensiz bir yapı çıkar.

Düzensiz yapıdaki malzemelerin örneklerinden biri, günlük hayatımızın her alanında karşımıza çıkan camlardır. Cam üretimi sırasında ham maddeler önce sıvılaştırılır, sonra hızla soğutulur. Böylece düzensiz yapıda bir katının ortaya çıkması sağlanır.

Giorgio Parisi’nin üzerine çalışmalar yaptığı spin camları da sıradan camlar gibi düzensiz yapıdaki malzemelerdir. Bu malzemelere örnek olarak içine demir karıştırılmış bakır gösterebiliriz. Demir atomları sayıca az olsa da malzemenin manyetik özelliklerinde önemli değişikliklere sebep olur. Her bir demir atomu küçük bir mıknatıs gibi davranır ve çevresindeki diğer demir atomlarıyla etkileşim hâlidir. Sıradan bir mıknatısta tüm atomların

spinleri aynı yönde hizalanma eğilimindedir. Spin camlarındaki atomların spinleri düzenli bir yapı oluşturmakta zorlanır. Ancak üçüncü atomun spini (aşağıdaki şekilde mavi ile gösterilen) aynı anda her iki komşusunun spiniyle aynı yönde hizalanamaz.



Spin camları, karmaşık sistemler üzerine yapılan çalışmalar için basit bir model sistem sağlar. 1970’lerden sonra aralarında Nobel ödüllü bilim insanlarının da bulunduğu pek çok fizikçi bu sistemler üzerine çalışmalar yaptı. Ancak başarılı sonuçlar elde edemediler.

Parisi, 1979’da istatistiksel mekanikte sıklıkla kullanılan bir yöntemin spin camları ile ilgili çalışmalara uyarlanabileceğini gösterdi. Parisi’nin bulunduğu çözümün matematiksel olarak ispatı ise ancak yıllar sonra yapıldı. Parisi’nin yöntemi bugün karmaşık sistemlerle ilgili bilimsel çalışmalar açısından bir kilometre taşı olarak görülüyor.

Parisi, karmaşık sistemlerle ilgili başka problemler üzerine de önemli çalışmalar yaptı. “Neden periyodik olarak tekrar eden buzul çağları var?”, “Kaos ve türbülansın daha genel bir matematiksel ifadesi mümkün mü?”, “Sığırcık kuşlarının mırıldanmasında örüntüler nasıl ortaya çıkar?” gibi ilk bakışta birbiriyle pek ilgili gibi görünmeyen ancak tamamı karmaşık sistemler çatısı altında değerlendirilebilecek çeşitli konularda başarılı sonuçlar elde etti.

Nobel Kimya Ödülü



Benjamin List (solda) ve David MacMillan (sağda)

2021 Nobel Kimya Ödülü'nü Benjamin List ve David MacMillan kazandı. İsveç Kraliyet Bilimler Akademisi, List ve MacMillan'ın organokataliz olarak adlandırılan yeni ve dâhiyane bir sentez yöntemi geliştirmeleri nedeniyle ödüle layık görüldüklerini açıkladı.

Kimya denilince ilk akla gelen genellikle kimyasal sentez olur. Teknolojik cihazlardan, giyeceklere ve ilaçlara kadar insanların hayatını kolaylaştıran pek çok ürün kimyasal tepkimelerle üretilir.

Bugün, bilinen pek çok sentez yöntemi olsa da insanlar tarafından geliştirilen yöntemlerin doğadakilere kıyasla çok daha basit ve verimsiz kaldığı söylenebilir. Canlıların vücudunda meydana gelen kimyasal süreçler ise insan eliyle yapılanlara kıyasla daha karmaşık ve verimlidir. Benjamin List ve David MacMillan'ın kimyasal sentez alanına yaptıkları katkı, tepkimeleri daha verimli hâle getirmek için basit organik moleküllerden yararlanmak oldu. Bu sayede çok daha verimli ve çevre dostu sentezlerin yolu açıldı.

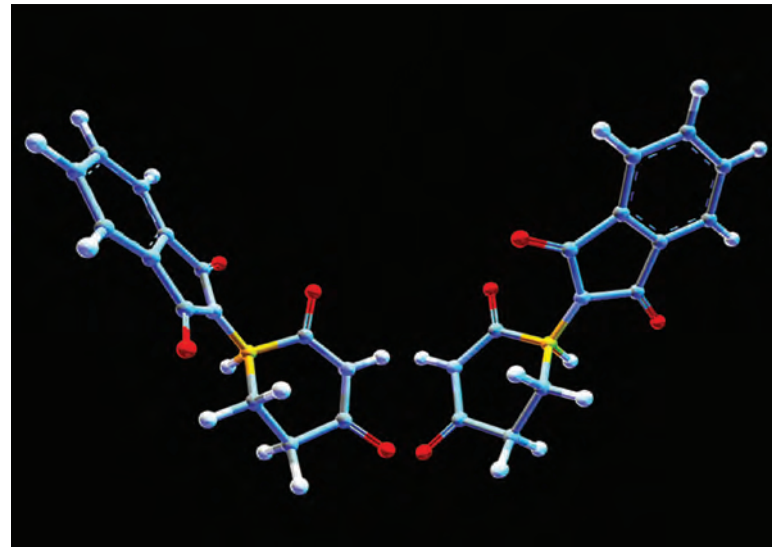
Asimetrik Moleküller

Aynada kendi görüntünüze baktığınızı düşünün. Sağ elinizin aynadaki görüntüsü sol elinize, sol elinizin aynadaki görüntüsü ise sağ elinize benzer. Ancak sağ ve sol elleriniz özdeş değildir.

Benzer biçimde pek çok kimyasal molekül de kendi ayna görüntüsünden farklıdır (bkz. aşağıdaki şekil). Birbirinin ayna görüntüsü olan iki molekül aynı kimyasal formüle sahip olsa da içerdikleri atomlar birbirlerine göre farklı konumlarda bulunur.

Birbirinin ayna görüntüsü olan moleküller farklı fiziksel özelliklere sahip olabilir. Örneğin bir asimetrik molekül polarize ışığı sağa çeviriyorsa, o molekülün ayna görüntüsü polarize ışığı sola çevirir.

Kimyacılar bazen, özellikle de ilaç üretirken, bir molekülün birininin ayna görüntüsü olan iki formundan sadece birini sentezlemek isterler. Ancak bu hedefe ulaşmaya imkân veren verimli yöntemler bulmak zordur.



Katalizörler

Kendisi harcanmadan bir tepkimenin hızını artıran maddeler katalizör olarak adlandırılır. 2000 yılına gelene kadar tüm katalizörleri iki grup altında sınıflandırmak mümkündür: metaller ve enzimler.

Metaller kolayca elektron alışverişi yapabilir. Bu özellikleri, buldukları ortamdaki kimyasal tepkimeleri hızlandırmalarını sağlar. Metallerden elektron alan moleküllerdeki kimyasal bağlar zayıflar, böylece kırılması çok zor kimyasal bağların kırılması kolaylaşır.

Metal katalizörlerle ilgili sorunlardan biri, metallerin su ve oksijenle kolayca tepkimeye girmesidir. Metallerden katalizör olarak yararlanabilmek için oksijen ve nemin ortamdan uzaklaştırılması gerekir. Ancak büyük ölçekteki sanayi üretimleri sırasında bunu gerçekleştirmek çok zordur. Ayrıca metal katalizörlerin pek çoğu çevreye zararlıdır.

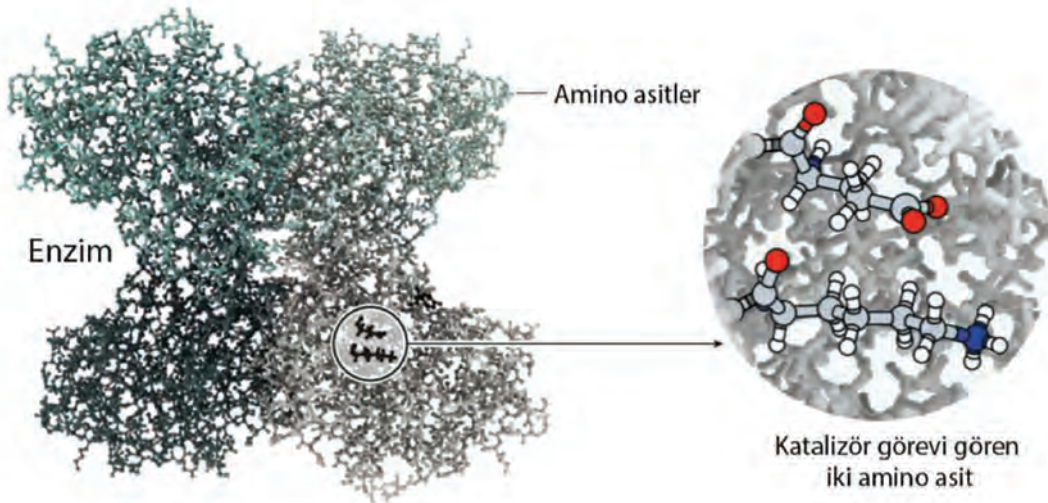
Canlıların vücudundaki katalizörler olan enzimlerse protein yapısındadır. Bu katalizörlerin özelliklerinden biri, asimetrik katalizde çok başarılı olmalarıdır; her zaman iki ayna görüntüsünden birini sentezlemeyi başarabilirler. Enzimlerin bir diğer önemli özelliği de bir arada çalışabilmeleridir. Bir enzim işini bitirdiği zaman diğeri çalışmaya başlar. Böylece çok basamaklı karmaşık

sentez süreçleri verimli bir biçimde ilerler. Klorofil ve kolesterol gibi karmaşık yapıdaki devasa moleküllerin sentezlenmesi, bir arada uyumlu ve verimli olarak çalışabilen enzimler sayesinde mümkün olur.

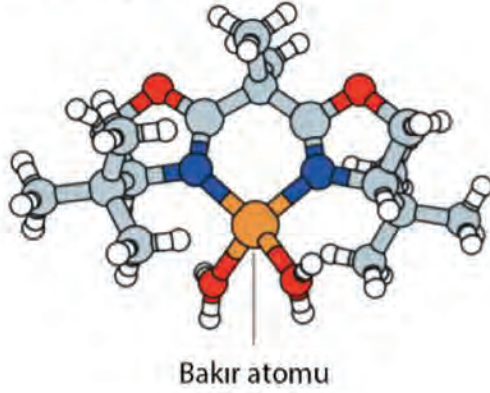
Organokataliz

Yeni katalizörler geliştiren pek çok araştırma grubu, 1990'larda enzim benzeri malzemeler üretmeye çalışıyordu. Bu araştırma gruplarından biri de Kaliforniya'daki Scripps Araştırma Enstitüsünde görev yapan Carlos F. Barbas'ın grubuydu. Benjamin List de o sralar bu ekipte doktora sonrası araştırmacı olarak yer alıyordu.

List, çalışmaları sırasında enzimlerin tam olarak nasıl çalıştığı hakkında kafa yormaya başlamıştı. Pek çok enzim kimyasal tepkimelerde bir bütün olarak yer almıyor, sadece enzimlerin içerisindeki birkaç amino asit aktif olarak kimyasal tepkimelerde rol alıyordu. Peki öyleyse amino asitlerin kimyasal tepkimeleri hızlandırmak için enzimlerin parçası olmaları gerekli miydi yoksa kendi başlarına da katalizör görevi görebilirler miydi? Daha önceleri bu konu üzerine bazı çalışmalar yapılmışsa da başarılı sonuçlar alınamamıştı. List, prolin adlı bir amino asidin bir aldol tepkimesini hızlandırıp hızlandıramayacağını görmek için deneyler yapmaya karar verdi. Sonuçlar şaşırtıcı derecede başarılıydı. List'in



Metalli Katalizör



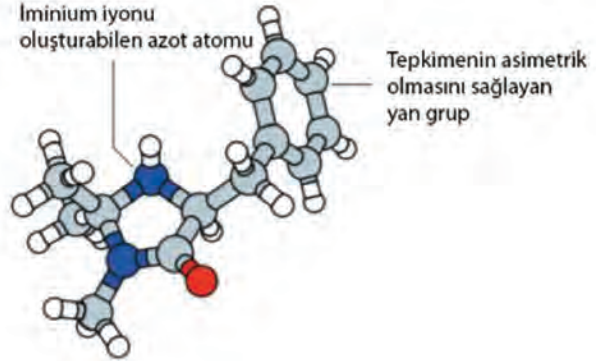
yaptığı deneyler, basit yapıda ve ucuz bir amino asit olan prolinin verimli bir katalizör olmasının yanı sıra asimetrik katalizde de başarılı olduğunu gösteriyordu.

List, prolin ile deneyler yaparken David MacMillian da Berkley'deki Kaliforniya Üniversitesinde basit organik moleküllerden kimyasal tepkimelerde katalizör olarak yararlanmak için çalışmalar yapıyordu. Kimya bilgisi, kendisine, odaklandığı kimyasal tepkimede yararlı olabilecek bir katalizörün iminium iyonları (azot atomları içeren bir tür organik iyon) oluşturması gerektiğini söylüyordu. Doğru özelliklere sahip birkaç organik molekül seçti ve bu molekülleri bir Diels-Alder tepkimesinde test etti. Sonuçlar beklediği gibi gayet iyiydi. Ayrıca bazı organik molekülün asimetrik katalizde de başarılı olduğunu görmüştü.

List ve MacMillian'ın birbirinden bağımsız olarak organokataliz üzerine yaptıkları ilk çalışmalar 2000 yılında yayımlandı. İlerleyen yıllarda dünya genelinde pek çok araştırma grubu daha bu konu üzerine çalışmalar yapmaya başladı. List ve MacMillian, alandaki öncü rollerini devam ettirdiler. Çeşitli kimyasal tepkimeler için ucuz, verimli ve çevre dostu organokatalizörler geliştirildi.

Organokatalizörlerin sıradan metallere göre avantajlarından biri de tıpkı enzimler gibi bir arada çalışabilmeleridir. Daha önceleri çok basamaklı

MacMillian'ın Organokatalizörü



sentezlerde, her bir basamaktaki tepkimeler ayrı ayrı gerçekleştirilir, bir sonraki basamağa başlamadan önce ara ürünlerin ayrıştırılması ve saflaştırılması gerekirdi. Aksi takdirde ortaya çıkan yan ürünlerin miktarı aşırı derecede büyük olur ve sentezin verimi düşerdi. Bir arada çalışabilen organokatalizörler ise ara ürünlerin ayrıştırılıp saflaştırmasına gerek olmadan, birkaç basamağın art arda gerçekleştirilmesine imkân veriyor. Bu sayede ortaya çıkan atıkların miktarı da azalıyor.

Organokatalizörlerin verimliliğini gösteren en çarpıcı örneklerden biri striknin sentezidir. Striknin ilk kez 1952'de 29 basamaklı bir süreçle sentezlenmişti. Üstelik verim sadece %0,0009'du. Başka bir deyişle her bir milyon kilogram ham madde için sadece 9 kilogram striknin elde edilebiliyordu. 2011 yılında organokatalizörler kullanılarak yapılan bir sentez ise sadece 12 basamak içeriyordu ve verimi 7.000 kat daha yüksekti.

Asimetrik moleküllerin önemli olduğu alanların başında ilaç üretimi geliyor. Asimetrik kataliz yöntemleri geliştirilmeden önce üretilen ilaçlarda asimetrik moleküllerin her iki formu da yer alıyor, bazen bu iki ayna görüntüsünden biri sağlığa yararlı iken diğeri sağlığa zararlı oluyordu. Organokataliz yöntemleri sayesinde asimetrik moleküller günümüzde basit, ucuz ve verimli bir biçimde üretilebiliyor. ■

Kaynak

<https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2021/advanced-information/>
<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2021/popular-information/>
<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2021/popular-information/>