

İLETKEN PLASTİKLER

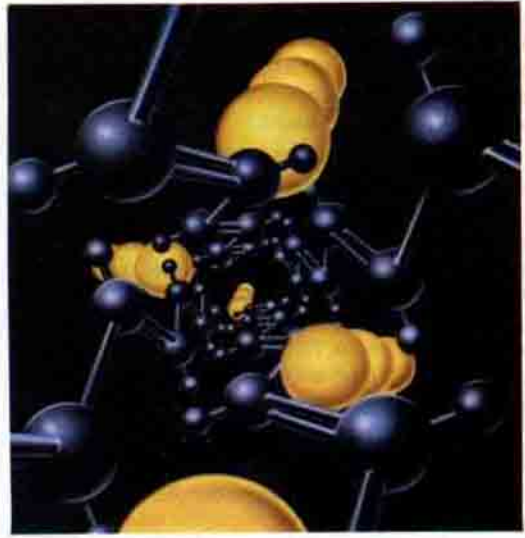
- Ucuzluk, dayanıklılık, hafiflik ve çok yönlü kullanım imkânı plastiklerin bilinen özelliklerindedir. Fakat, iletkenlik bugüne kadar bu özellikler arasında sayılmıyordu. Yeni kuşak plastikler bu geleneksel anlayışı değiştirme yolundadır.

Plastiklerin yalıtkan maddeler sınıfına sokulduğu yirmi yıl öncesinde yayınlansaydı, kuşkusuz çoğu insan okuduğu şeye inanmazdı. Plastiklerin bakır ve gümüş gibi elektrik iletebileceği yolunda geliştirilecek bir varsayım da bir o kadar gülünç karşılanacaktı. Ama birkaç yıl öncesine kadar sürdürülen araştırmalar sonucu normal plastiklerin yapılan basit yollardan değiştirilerek istenen amaca ulaşıldı. İletken polimerler olarak tanımlanan yeni maddeler plastiklerin getirdiği avantajlarla metallerin yararlarını birleştirerek teknolojiye yeni gelişmelerin kapısını aralamış oldu.

İletkenliği olan bir polimer üretebilmek için polimerin içine doping yöntemi ile belirli kimyasallar ilave edilir. Polimerlerin dopingi için izlenen yöntem, silikon gibi yarı iletken maddelerin hazırlanışından daha kolaydır. Silikona bakılırsa, bilim adamları plastiklerin iletken hale dönüştürülebileceğini kavramadan önce de iletken polimerlerin yapımı ve birleştirilmesini biliyorlardı. Polimerlerin iletkenlik potansiyeli anlaşılınca bu alanda araştırmalara başlandı. İlk iletken polimer 1977 yılında yapıldı. Bu buluşu, izleyerek bilim adamları 1981 yılında polimer elektrotlu ilk aküyü tamamlayarak kuramsal aşamadan uygulama aşamasına geçtiler. Geçtiğimiz yaz, araştırmalar öyle bir aşamaya geldi ki, plastiklerin iletkenlik derecesi bakırla yarışacak düzeye çıktı. Geçtiğimiz aylarda şarj edilebilir ilk polimer akü dünya pazarlarında satışa sunuldu.

Son araştırmalar, bakırdan ve hatta oda sıcaklığındaki bütün malzemelerden daha iyi iletkenliğe sahip polimerlerin yapılabileceğini göstermiştir. Bu nedenle, uçaklarda olduğu gibi, ağırlığın sınırlayıcı bir etken olduğu durumlarda bakır tellerin yerine plastikler geçebilirler. Optik, mekanik ve kimyasal özelliklere bir de iletkenlik eklenince bakırın kullanılmadığı alanlarda polimerler devreye girecektir.

İletken polimerlerin bulunması bir kaza sonucu olmuştur. Tokyo Teknoloji Üniversitesi'nde ihtisas yapan bir öğrenci, asetilen gazından poliasetilen oluşturmaya çalışıyordu. Siyah bir toz olan polimer 1955 yılında bulunmuş; fakat yakın zamana kadar



hakkında çok fazla şey öğrenilememişti. İhtisas öğrencisi, koyu renkli bir toz yerine alüminyum kâğıdı görünümünde parlak ve gümüş renkli esnek bir kabuk üretti. Kimyasal reçetesine bir daha göz atan öğrenci, öngörülenden 1000 defa daha fazla katalizör eklediğini farketmiştir. Ortaya çıkan yeni madde de poliasetilen idi; ancak daha önce yapılmış olanlardan değişikti.

1976 yılında hemen araştırmalara başlandı. Prof. Hideki Shirakawa, Pennsylvania Üniversitesi'ne gelerek Mc Diarmid ve meslektaşı Alan J. Heeger'le bir yıl sürecek bir çalışmanın içine girdi. Araştırmaların amacı polimerlerin potansiyel gücünü ortaya koymaktı. Üç araştırmacı yeni maddeyi iyotla karıştırınca çalışmalar meyvesini verdi. Esnek, gümüş renkli polimer tabakaları metalik sarı levhalara dönüşerek, poliasetilenin iletkenliğini korkunç derecede artırdı. Sürdürülen yoğun deneyler sonucu bir düzine polimer ve türevi doping anında rastlantısal olarak dönüşüm gösterdi.

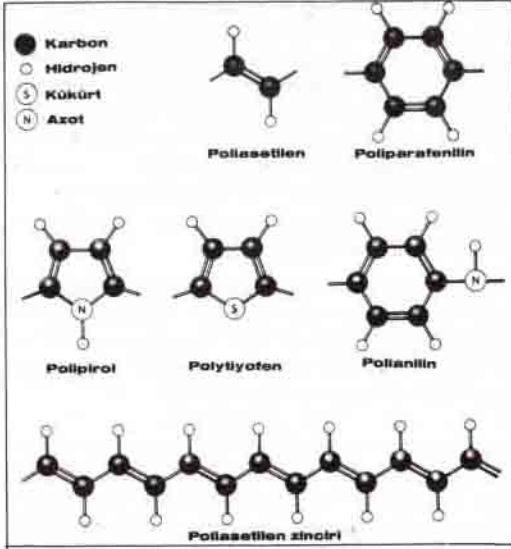
Bu maddelerin hepsi temel olarak birbirlerine bağlı "monometrik tetraer birimleri" düzenindeki karbon ve hidrojen atomlarından meydana gelmektedir. Bazı birimlerdeki karbon ve hidrojen atomları yanında azot ve kükürt atomları da bulunmaktadır. İletken polimerlerin en basiti olan poliasetilen bir hidrojen atomuna karşılık olarak bir karbon atomunun bulunduğu kesintisiz bir karbon zincirinden oluşmaktadır. Şekilde karbon atomları tekli ve çiftli bağlarla birbirine bağlı vaziyette durmaktadır. Bu gruplaşma iletken polimerlerin en belirgin özelliğidir.

Polimerlerin yapısal kökeninde bir takım benzerlikler bulunsa da her birinin farklı özellikleri vardır. İletkenlikleri, ortamın sıcaklığına duyarlılıkları ve erime dereceleri, polimerlerin türü ve üretim biçimine bağlı olarak değişmektedir. Belirli özelliklerinin birleşiminden dolayı, poliparafemilin, polithiophin, po-

lipirol ve polianilin büyük dikkat çekmiştir. Fakat bütün yukarıda saydıklarımız arasında en çok üzerinde durulan poliasetilen olmuştur. Poliasetilenleri diğer polimer türlerinden ayıran özellik, iletkenlik düzeyinin daha yüksek olmasıdır.

Doping sürecine eşlik eden fiziksel ve elektronik değişiklikler hâlâ tartışma konusudur. Fakat polimerlerin oluşumuyla ilgili temel ilkeler bilim adamları tarafından bilinmektedir. İletkenlik ölçüsü birimi mho, direnç ölçüsü birimi ise ohm'dur. Yalıtkan ve iletken maddelerin iletkenlik derecesi arasında çok büyük farklılıklar vardır. Teflon ve polistyrin gibi yalıtkanlarda iletkenlik 10^{-18} , gümüş ve bakır gibi metallerde ise 10^6 mho cm'dir. B.A.S.F. poliasetileninde ise bu rakam yaklaşık olarak 147.000 mho cm'dir.

Elektrik akımı elektronların hareketi sonucu meydana gelmektedir. Bir maddenin elektrik akımını iletmesi için elektronlarından bazılarının hareket edebilmesi zorunludur. Katılarda elektronlar kabuk diye tanımlanan farklı enerji seviyelerinde hareket ederler (Bir atomda en fazla K, L, M, N, O, P, Q kabukları diye tanımlanan yedi kabuk mevcuttur). Her enerji kabuğunun elektronlar için sınırsız kapasitesi vardır. Söz konusu kabuklar boş da olabilir. Elektronların bir kabuğa yerleşebilmesi için belirli düzeyde enerjiye ihtiyaç vardır. Elektronların yüksek enerji yardımıyla bir kabuktan öbür kabuğa geçebilmesi için enerjik bir patlamanın olması gerekmektedir. Elektron hareketleri kısmen dolu bir kabuk yardımıyla meydana gelir. Tamamıyla dolu ya da boş



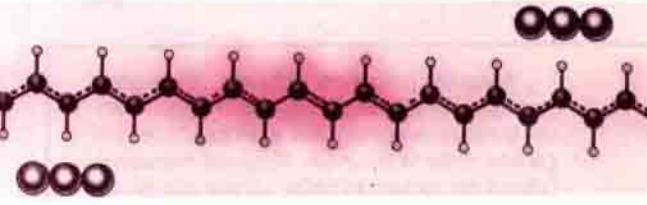
Bonomerik tekrar birimleri, polimer oluşturmak için reaksiyona katılır. Bu moleküllerin en belirgin özelliği, birbiri peşi sıra gelen tekli ve çiftli bağlardır. Üst tarafta beş tür polimerin tekrar birimlerini görüyorsunuz. Altta ise poliasetilenin doping işleminden geçirilmiş halini görüyorsunuz. Dopingden önce polimerlerin iletkenlikleri yoktur.



Doping işlemi sonucu iletkenlik kazanan poliasetilenin oluşumu sırasında renginde de değişimler olur. Poliasetilen cam bir reaksiyon tüpünün çeperlerinde birleşmeye başlayınca oluşan ince tabakaya verilen ışık nedeniyle kırmızı bir renk alır. Daha sonra tüp ısıtıldığı zaman rengi maviye döner. Kuru buz (altta) ve ısıtıcı elementler (üstte) değişik sıcaklık derecelerinde poliasetilendeki renk farklılaşmasını tonlarıyla ortaya koymaktadır. Beşinci şekilde de görüleceği gibi, daha kalın tabakalar ışığı iletmekten çok, bir metal gibi parlamaktadır.

kabuklar elektrik akımına izin vermez. İletkenlik tıpkı bir bayrak gibidir. Burada elektronlar bir yarışçının yarıç çizgisinde koştuğu gibi, enerji kabukları içinde elektrik taşırlar. Akımın devamı için yarıç çizgisinde diğer bir yarışçının hazır beklemesi gerekmektedir. Ayrıca elektronlar yedek yarışçının beklediği kabuğa girebilmelidir.

Metaller kısmen dolu kabuklara sahip olduğu için akımı iletirler. Ancak yalıtkanlar ya da yarı iletken maddelerde enerji kabukları ya da tamamıyla boş ya da dolu olduğu için iletkenlik özelliğinden yoksundur. Dolu enerji kabuğuna valans (değerlik) denir. Bu kabuğun hemen üstünde boş olan ikinci bir kabuk, onun da üzerinde iletken üçüncü bir kabuk yer alır. Bu geniş enerji aralığı yalıtkan maddelerde iki kabuğu birbirinden ayırır. Enerji aralığı, yarı iletken maddelerde daha dardır. Sıcaklık ya da ışık kaynakları nedeniyle meydana gelen enerji patlamalarıyla beslenen elektronlar bu aralıktan atlayarak karşı ta-



Pozitif doping işleminden geçen poliasetilen bağları sınırsız bir yükü sahiptir. Elektron yoğunluğu, polimer çizgileri boyunca artmaktadır. Tekli ve çiftli bağlar arasındaki farklılık, kırık çizgiyle gösterildiği gibi dopanta yakın yerlerde kaybolur.

rafa geçebilirler. Normal polimerler, yalıtkan ve yarı iletken maddelerin bu özelliklerini üzerlerinde taşırlar. Valans kabukları dolu, iletken kabukları ise boş. Büyük bir enerji aralığı, bu iki kabuğu birbirinden ayırır. Doping işlemi elektronları valans kabuğu olarak veya iletken kabuğa elektron vererek polimerlere iletkenlik kazandırıyor. Böylece, ilke olarak valans ya da iletken kabuk kısmen doldurulduğu için, polimerler elektrik akımını diğer iletkenler gibi geçirebilir.

Aslında bu geçiş süreci biraz karmaşıktır. Doping işlemiyle polimerlerin yapısına verilen yük, atomların konumunda hafif fakat önemli bir değişiklik yapar. Polimerlerin yapısında meydana gelen bu değişiklik solitonlar, polaronlar ve bipolaronlar diye tanımlanan üç tür "yük adacağı"ndan birisinin oluşu-

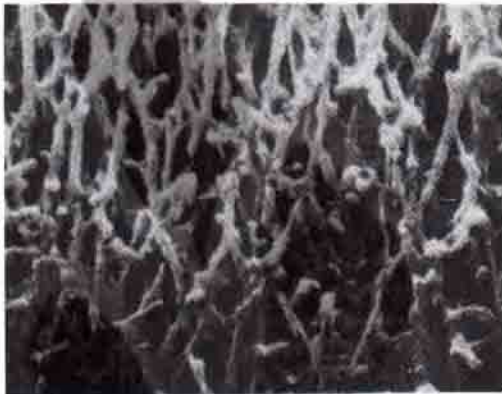
muna yol açmaktadır. Adacıklar, dopant iyonları meydana getirmektedir. Yüksek doping düzeyinde ise her bir dopant molekülüne 15 karbon atomu karşı geldiği için yük adacıkları birbirlerinin üzerine biner. Bitişik adacıklar yeni enerji kabukları oluştururlar. Valans ve iletken kabukların birbiri üzerine binmesiyle elektronlar hareket serbestliği kazanmaktadır. Böylece solitonlar, polaronlar ve bipolaronlar polimerlerin iletken bir maddeye dönüşmesinde anahtar rolü oynamaktadır.

İletken polimerlerdeki enerji kabukları yarı iletkenlerde yoktur. Bununla birlikte yüksek ısı süperiletkenlerin iletkenlik mekanizmasında bu enerji kabuklarına rastlanmaktadır. Poliasetilendeki soliton varlığı dikkat çekici bir bulgudur.

Dopant moleküllerin doping ile olan ilişkisi yarı iletken maddelerin ve polimerler için farklılık göstermektedir. Örneğin, silikonda doping sonucu silikon atomlarının bazılarıyla farklı düzeyde elektron özelliği taşıyan atomlar yer değiştirirler. İletken polimerlerin doplama sırasında dopant moleküllerin hiç birisi polimer atomlarıyla yer değiştirmez. Dopant moleküller yalnızca elektronların enerji kabuklarının geçişinde yardımcı olur.

Polimerlerin neden bu kadar büyük bir iletkenlik potansiyeli taşıdığı bugüne kadar kuramsal olarak açıklanamamıştır. Ancak, araştırmacıların elinde iletkenlik derecesini etkileyen faktörlerle ilgili bir takım deneysel bulgular vardır. Doping oranı, en belirgin faktördür. Bu oran istendiği anda kontrol altına alınabilir. Diğer bir faktör de polimer bağlarının yönüyle ilgilidir. Molekül bağlarının sıraya dizilmesiyle, dopingden geçirilen polimerin iletkenlik derecesi maksimuma çıkmaktadır. Aslında bu çizgi B.A.S.F. poliasetileninde kısmen gerçekleştirilmiştir. Polimer oluşturulduktan sonra ve dopingden geçirilmeden önce poliasetilen levhaları lifler yönünde uzar.

Safılık da bir maddenin iletkenliğini etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Maddenin yapısında yabancı unsurların bulunması elektronların polimer bağları arasında geçişini engelleyen yapısal bozukluklara yol açmaktadır. Bu yeni maddenin potansiyel gücünü kavrayan firmalar maksimum faydayı sağlayabilmek için yoğun bir çalışmanın içine girdiler. Sıcaklık derecesine göre renk değiştirebilen polithiopin ve polianilinin elektrokromik göstergelerde kullanılması için pek çok ülkede araştırma yapılıyor. Doping işleminden geçirilen ince polithiopin levhasının rengi kırmızı, bu işlemden geçmemiş polithi-



Uzayan polimer tabakaları, lifleri sıraya sokarak iletkenliği uzama yönünde artırmaktadır. Yukarıdaki resimlerde uzama durumundan önce ve sonra poliasetilen liflerinin durumunu görüyorsunuz. Her lif yaklaşık 1.500 polimer bağından oluşmaktadır.

MAGNETİK MONOPOL (Tek Kutuplu Mıknatıs)

Paul Dirac'ın çilgin fikirlerinden birisi de, magnetik monopolün yani tek kutuplu mıknatısın olabileceğidir. Dirac bu fikri 1920'lerin sonlarına doğru ortaya atmıştır. Daha sonra 1971 yılında Gerard't Hooft, yerçekim ve elektrik kuvvetleri birleşiren bir "ayar teorisi" geliştirdi ve bunu yaparken "ağır bir magnetik monopol" olması gerektiğini teorik olarak ortaya koydu.

Magnetik monopolü deneysel olarak gözlemek için pek çok araştırma yapılmış ve yapılmaktadır. Literatürde magnetik monopol bulduklarına dair deneysel makalelere rastlamak mümkün, ancak olay tekrar ettirilemediği için bu çalışmalar spekülasyon olmaktan öteye gidememiştir.

Magnetik monopolü deneysel olarak gözlemek için akla ilk gelen, "magnetik monopol treni"dir: Varsayalım ki, magnetik monopol denen parçacıklar doğada bulunsun, Magnetik monopolün bulunduğu varsayılan bölge yanına düz bir tren hattı döşensin. Tren hattı çok büyük bir bobinin içine döşenmiş olsun. Vagonları magnetik monopol içeren toprak dolu tren, hızla bobin içinden geçerken teorik olarak bobinin indüklenmesi gerekir ve uçları arasında bir indükleme elektromotor kuvvet doğması beklenir. Magnetik monopolü bulmak için daha pek çok deneysel yöntem vardır.

Magnetik monopolün deneysel olarak gözlenmesi veya bulunması halinde fizik kitaplarının yeniden yazılması gerekecektir. Zira ortaokul, lise kitaplarından bile "bir mıknatıs ne kadar küçük parçalara bölerseniz bölünür, daima iki kutuplu daha küçük bir mıknatıs elde edersiniz" şeklindeki cümlelerin çıkartılması gerekecektir. Hatta daha birçok düzeltmeler yapılacak; örneğin elektromagnetizmadaki dört adet Maxwell denkleminin en az birinin hatalı olduğu ispatlanmış olacaktır. Maxwell denklemlerinden dördüncüsünün fiziksel yorumu "magnetik monopolün olmadığı" şeklindedir.

Henüz spekülasyon aşamada olduğu anlaşılan magnetik monopol konusunun, fizik bilimindeki gelişmeler sonunda, ileride aydınlatılacağı kesindir.

ophin levhasının rengi ise koyu mavidir. Değişik sıcaklık derecelerinde değişik renkler kazanan bu madde hava alanlarının ve tren istasyonlarının se-

fer tarifesini gösteren panolarda, reklâmcılıkta, hesap makinelerinde, bilgisayarda, saatlerde ve kristal gösterge sistemlerinin kullanıldığı diğer araçlarda kullanılabilir.



Birleşmeden sonra reaksiyon tüpünün çeperlerinden ayrılan poliasetilen tabakasını görüyorsunuz. Serbest kalan tabaka iletken bir yapı kazanmaktadır.

iletken polimerlerin bu özelliğinden normal pencere camları için de yararlanılabilir. Renksiz ve katı elektrolit içine gömülmüş ve iki cam arasına sıkıştırılmış ince polimer tabakaları bir pencereye elektrik yükü verildiğinde camlar renk kazanabilir. Rengin koyuluğu ya da açıklığı, verilen elektrik yükünün miktarıyla doğru orantılıdır. Polimerler güneş ışınlarını emdiği için enerji üretiminde de kullanılabilir. Alçak frekanstaki elektromanyetik enerjiyi emen bu yeni maddeler sayesinde bilgisayar terminallerindeki radyasyon sızıntıları durdurulabilir.

Bütün bu tasarımların gerçekleşip gerçekleşmeyeceğini önümüzdeki yıllarda hep birlikte göreceğiz.

**Scientific American'dan çev.:
Mustafa KÜÇÜKBALLI**

**GEÇMİŞİ UNUTANLAR, ONU YENİDEN YAŞAMAĞA
MAHKÛM OLURLAR.**

Santayana