

Geleceğin Yeni İletken Malzemeleri

# İletken Polimerler



**K**uvvet uygulandığında şeklini de-  
ğiştirmeyen, sert ve dayanıklı  
masa, sandalye, merdiven, pen-  
cere gibi katı eşyaları nelerden yapabili-  
riz? Bu sorunun yanıtını biraz düşün-  
erek ve etrafımızdaki maddeleri inceleye-  
rek verebiliriz. Yanıtımız ya taş, tuğla, çı-  
mento gibi maddeleri kapsayan *seramik  
malzeme grubu* ya çelik, alüminyum, de-  
mir gibi maddeleri kapsayan *metaller gru-  
bu* ya da *polimerler* olacaktır (sert malze-  
meleri ağaçtan da yapmak olasıdır, ancak  
ağacın temel yapısı da bir polimer olan  
*selüloz*dur ve selüloz doğada en bol bulu-  
nan polimerdir).

Polimerlerin, seramik ve metal mal-  
zemelere göre yumuşaklık, belli sıcaklık  
aralıklarında kullanılabilme, yetersiz me-  
kanik özellikler gibi bazı zayıf yönleri var-  
dır. Ancak hafiflik, kolay şekillenme, kar-  
maşık geometrilerde şekillenebilme, de-

ğişik amaçlara uygunluk, estetik görü-  
nüm, kimyasal maddelere dayanım, ko-  
rozyona uğramama, esneklik gibi özellik-  
leri ile de seramikten ve metallerden tar-  
tışmasız üstündür. Örneğin, polimerler-  
den yapılmış tek kullanımlık şırıngalar,  
kan alma tüpleri gibi sağlık malzemeleri-  
nin sağladığı kalite, kullanım kolaylığı ve  
hijyen başka bir madde grubundan bek-  
lenemez.

## Polimerler Elektriği Yeterince İletir mi ?

Bu sorunun yanıtı 1977 yılına kadar  
"hayır" idi. Bukanı hemen hemen her-  
kes tarafından benimsenmişti. Polietilen,  
poli(vinil klorür), polistiren, polipropilen  
gibi geleneksel polimerler 1977 yılına ka-  
dar, elektriksel yalıtkanlığı iyi maddeler  
olarak bilinmiş, bu özelliklerinden dola-

yı elektriksel yalıtkanlığın arandığı alan-  
larda yaygın olarak kullanılmışlardır, hâlâ  
da kullanılırlar. Örneğin elektrik kablosu  
üretiminde bakır teller poli(vinil klorür)  
ile kaplanarak elektriksel izolasyon sağ-  
lanırlar.

Günümüzde en fazla tüketilen poli-  
merler arasında polietilen, poli(vinil klo-  
rür), polistiren, polipropilen, poliakri-  
lonitril, poli(etilen teraftalat), poliamit-  
ler, epoksiler, poliüretanlar, akrilatlar, fe-  
nolikler sayılabilir. Sözü edilen polimer-  
ler birer yalıtkan ve elektriksel iletken-  
lik düzeyleri de yalıtkanlar bölgesi için-  
dedir. Polietilen ve polistirenin elektrik-  
sel iletkenlik değerleri  $10^{-18}$  Siemens/met-  
re (S/m ) dolayındadır. Sulu tuz çözeltilerinin  
1 S/m iletkenlik gösterebildiği göz  
önüne alınır, geleneksel polimerlerdeki  
iletkenliğin düşüklüğü daha iyi yorumla-  
nabilir.

## Polimer nedir?

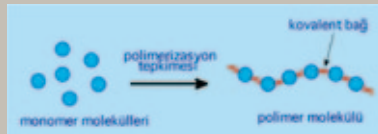
İletken polimer ifadesindeki iletken kelime-  
si elektriksel iletkenliği vurgular ve anlamı açıktır.  
Polimer kelimesini ise günlük konuşmalar-  
da hiç kullanmayız, televizyon programlarında  
fazlaca işitmeyiz ve gazetelerde de sık karşı-  
laşmayız. Polimer nedir? Polimerlere yönelik ön  
bilgi vermek, elektriği iletebilen polimerleri an-  
lamak açısından yararlı olacaktır.

*Polimerler* aslında yakından tanıdığımız, da-  
ha çok *plastik* adı ile bildiğimiz maddelerdir.  
Farkına vararak ya da varmadan sürekli kullandığımız,  
polimerlerden yapılmış ürünleri her  
yerde görmek olası. Bu ürünler alışveriş ve buz-  
dolabı poşetlerinden otomobil tamponlarına,  
lastiklerine ve ön panellerine; plastik sandalye-  
lerden ve masalardan tek kullanımlık şırıngalara  
ve eldivenlere; su, kola gibi içeceklerin, de-  
terjanların ve başka temizlik malzemelerinin  
konduğu kaplardan değişik amaçlarla kullani-  
lan boya ve yapıştırıcılara kadar geniş bir yel-  
pazeyi kapsar.

Polimer molekülleri *monomer* adı verilen  
çok sayıda küçük molekülün kovalent bağlarla  
birbirlerine bağlanması ile oluşur. Bir polimer  
molekülünde onlarca, yüzlerce, binlerce  
monomer birimi bulunabilir. İri polimer molekülü  
bir *zincire*, mono-



Polimerler farklı alanlarda kullanıma uygun malzemelerdir



Monomer molekülleri, polimerizasyon tepkimeleri ile birbirlerine bağlanarak iri polimer molekülleri oluşturur.



Oda koşullarında su gibi şeffaf ve sıvı halde bulunan stiren kimyasalından, sert polistiren polimeri elde edilir.

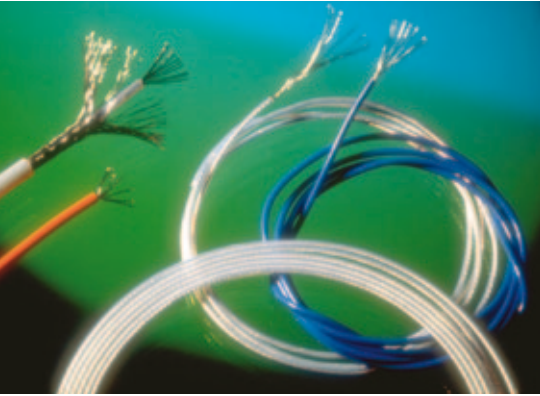
mer molekülleri ise zinciri oluşturan *halkalara*  
benzetilebilir. İri yapıları nedeni ile polimerlere  
ayrıca *makromoleküller* adı da verilir.

Binalarda ısı ve ses yalıtımı amacıyla kullani-  
lan, genelde beyaz ve pembe olan köpük lev-  
halar, stirenin polimerizasyonu ile elde edilen  
polistiren polimerinden üretilir. Yoğurt ve ay-  
ran kapları da polistiren polimerinden yapı-  
lır. Polistiren üretiminin temel girdisi olan sti-  
ren monomerleri, birbirlerine kovalent bağlar-  
la bağlanır ve iri polistiren zincirine dönüşür.  
Oda koşullarında su gibi şeffaf ve sıvı halde bu-  
lunan stiren kimyasalı, polimerizasyon sonucu  
sert polistirene dönüşür.

Staudinger adlı bilim adamı ilk kez 1920'de-  
ki bir sempozyumda, bazı maddelerin mole-  
küllerinin, geleneksel ve bilinen kimyasal mad-  
delerin moleküllerinden çok büyük olabile-  
ceği görüşünü ortaya attı. Bu görüş, ancak 10  
yıl sonra bilimsel verilerle desteklenerek kabul  
edildi ve 1930'lu yıllarda polimer kelimesi kul-  
lanılmaya başlandı. Polimer kimyasındaki geli-  
ş-

melere bağlı olarak zaman içinde farklı yapıda ve özelliklerde çok sa-  
yıda sentetik polimer sentezlendi ve dünya toplam plastik tüketimi  
1980'li yılların başında dünya toplam çelik tüketimini geçti.

Polimerlerin hafiflik, korozyona uğramama gibi üstün özellikleri ile metallerin yüksek elektriksel iletkenliği bir tek malzemede toplanabilir mi? Bu her zaman ilgi çeken ve üzerinde araştırmalar yapılan bir soru olmuştur. Polimer-metal ikilisinden birlikte yararlanmaya yönelik ilk denemelerden biri, polimerlere metal tozlarının ya da parçacıklarının katılmasıdır. Yeni malzemede iletkenliği polimer örgüsüne sokulan metal faz sağlar, polimer ise metal faz için taşıyıcı faz işlevi yapar. Örneğin, gözenekli yapıdaki gümüş metal tozları ile epoksi grubu polimerlerden hazırlanan kompozitlerde, elektriksel iletkenlik yanında termomekanik özellikler de iyileşir. Bu kompozit, elektronik eşyaların ambalajlanmasında kullanılabilir. Ticari üretimi yapılan iletken yapıştırıcıların hazırlanmasında epoksi-platin pullarının ve poli(vinil asetat)-gümüş tozlarının kullanılması bu yaklaşımın diğer örnekleridir. Ayrıca karbon tozu, karbon nanotüpler türü katkılarla da polimerlerin iletkenlikleri artırılmaya çalışılır.



Kablo üretiminde polivinilklorür kaplama ile elektriksel izolasyon sağlanır.

## İletken Polimer Nedir ?

Polimerlerin içine iletken metal tozları, karbon nanotüpler gibi maddeler karıştırılarak hazırlanan malzemelerde, polimerin kendisi yalıtıcıdır ve hazırlanan malzemelerin iletkenliği de yüksek değildir. *İletken polimer* kavramı, elektriği kendi örgüsü içerisindeki elektronlar üzerinden (*elektronik iletkenlik*) yeterli düzeyde iletebilen polimerler için kullanılır. Bir polimerin kendisi elektriği doğrudan elektronik yolla iletebilir mi?

Polimerlerin kendi elektronları üzerinden yeterli miktarda elektrik iletebileceğine yönelik ilk bilgi, *poliasetilen* üzerinde yapılan çalışmalardan elde edildi. Shirakawa, Hegeer ve MacDiarmid 1977 yılında yayımladıkları bilimsel bir makalede, uzun yıllardır iyi bilinen ve normalde siyah toz halinde olan poliasetilenin iyot, flor ve klor buharlarına tutularak yükseltildiğinde, iletkenliğinin  $10^9$  kat artarak  $10^5$  S/m düzeyine çıktığını belirttiler. Metaller düzeyinde elektriksel iletkenliğe sahip ilk polimerin sentezlendiği 1977 yılı, iletken polimerler için bir başlangıçtır, anahtar yıldır. Shirakawa, Hegeer ve MacDiarmid bu çalışmalarından dolayı 2000 yılı Nobel Kimya Ödülü'nü aldılar. Üniversitelerde ve diğer araştırma merkezlerinde yapılan çalışmalara paralel olarak, 1980'in başlarında iletken polimerler yeni bir endüstri dalı haline geldi. Son yıllarda, farklı uygulamalarda kullanılacak iletken polimer temelli ticari ürünler pazarda yerini almaya başladı.

## Polimerlerde Elektriksel İletkenliğin Koşulları Nelerdir?

Polimerlerin kendilerinin elektronik iletkenlik gösterebilmesi için polimer örgüsünde elektronların zincir boyunca taşınmasını sağlayan, uygun yerler bulunmalıdır. Bu koşulu, ana zincirinde *konjuge bağlar* (karbon atomlarının ardışık, tek ve çoklu bağlar ile birbirlerine bağlandığı yapılar) bulunan polimerler sağlayabilir. Bu nedenle, *konjuge bağ yapısı* polimerlerde elektriksel iletkenlik için aranan ilk koşuldur.

Örneğin konjuge çift bağ, karbon atomunun ardışık tek ve çift bağ ile birbirlerine bağlandığı bir yapıdır. Konjuge yapıdaki tek bağlar *sigma* bağlarıdır, sağlam olan bu bağlarda elektronlar lokalize olmuştur, zincir boyunca hareket yetenekleri yoktur ve yerleri bellidir. Çift bağlar ise bir *sigma* ve bir *pi* bağından oluşur. *Pi* bağında elektron lokalizasyonu *sigma* bağına göre daha zayıftır, ancak bu zayıflık polimeri yeterince iletken yapmaya yetmez. Konjuge yapıdaki polimerler belli düzeyde iletkenlik gösterebilirler de, iletkenlik değerleri metaldeki iletkenlik düzeyinden çok uzaktır.

Yüksek elektriksel iletkenlik için konjugasyonun yanı sıra polimer zinciri üzerinde serbest şekilde hareket edebilen *yük taşıyıcılar* oluşturulması da gerekir. Yük taşıyıcılar iki yöntemle oluşturulur. Yöntemlerden biri polimerden elektron alarak polimeri *yükseltmek*, diğeri ise polimere elektron vererek polimeri *indirmek*dir. Her iki yaklaşım da henüz Türkçe karşılığı yerleşmemiş *katkılama* (*doping*) adı ile bilinir.

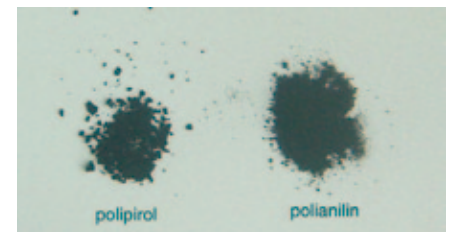
Örneğin bir polimer bir yükseltgen madde (örneğin A) yardımıyla yükseltgenirse, polimer zincirden 1 elektron kopar ve zincir üzerinde artı yük boşluğu oluşur. Komşu bir elektron bu yük boşluğuna kolayca atlar ve geldiği yerde yeni bir yük boşluğu bırakır. Bu işlemler ard arda zincir boyunca yinelenerek elektron taşınır ve elektrik iletir. Polimer zincirleri arasındaki iletim ise bir zincirdeki elektronun bir başka zincirdeki artı yük boşluğuna atlaması ile sağlanır.

Polimer zinciri boyunca yükün nasıl taşındığı, uzun bir koridoru doldurmuş insanlar örneği ile daha iyi anlaşılabilir. Koridor polimer zincirini, koridordaki kişiler de elektronları temsil etsin. Koridor tamamen dolu iken, koridoru dolduran kişiler herhangi bir yöne hareket edemez. Koridorda herhangi bir yerde bir kişilik boş yer var ise (katkılama ile gerçekleştirilen işlem) koridorun giriş kapısına yakın bir kişi, koridorda bulunanların birer adımlık hareketleri ile oluşacak boş yerleri kullanarak, çıkış kapısına doğru ilerleyebilir.

## Bazı İletken Polimerler

Poliasetilen sentezlenen ilk iletken polimerdir, iletkenlik düzeyi metaller kadar yüksek bir polimer olmakla birlikte hava ve neme karşı duyarlıdır. Atmosfer koşullarında bozunur ve iletkenliğini hızla

Kimyasal yöntemle genelde toz halinde iletken polimer elde edilir.



kaybeder. Zaman içerisinde yapılan araştırmalar sonucunda çok sayıda yeni, iletken polimer türü sentezlendi ve özellikleri araştırıldı. İletken polimerlerin iletkenlik değerleri, sentez koşulları ve polimer türü ile yakından ilgilidir. İletkenlikleri, yalıtkanlar (örneğin cam) ile metalik iletkenler (örneğin bakır) arasında geniş bir bölgeyi kapsar ve  $10^{-10}$ - $10^8$  S/m aralığında değişir.

İletken polimerlerden, atmosfer koşullarındaki kararlılıkları ve iletkenlik değerleri ile öne çıkanlar arasında polipirol, polianilin ve poli (3,4-etilen dioksitiofen) (PEDOT) sayılabilir. Bu üç polimer endüstride değişik alanlarda kullanılmaktadır. Diğer iletken polimerlere polifuran, poli(N-vinil karbazol), poli(p-fenilen), politiyofen ve türevleri örnek verilebilir. İletken polimerler *organik metal* veya *sentetik metal* olarak da adlandırılır.

## Sentez ve Fiziksel Görünüm

İletken polimerlerin sentezlenmesinde iki temel yöntemden yararlanılır. Bunlardan biri uygun kimyasalların kullanıldığı kimyasal yöntem, diğeri ise elektrik enerjisinden yararlanılan elektrokimyasal yöntemdir. Her iki yöntemin de birbirlerine göre bazı zayıf ve üstün noktaları vardır. Kimyasal yolla sentezlenen iletken polimerler genelde toz halindedir, elektrokimyasal yöntemde ise polimer genelde elektrot yüzeyini film halinde kaplar. Hangi yaklaşımla hazırlanırsa hazırlansın, iletken polimerlerin rengi, genelde yeşil, siyah ve kahverenginin tonlarında değişir. İletken polimerlerin erimez ve çözünmez oluşları, geleneksel polimer kalıplama (örneğin ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama) yöntemleri ile şekillendirilmelerini engeller. Bu nedenle de genelde organik çözücüler olarak ya da suda dağılımları hazırlanarak satışa sunulurlar.

## Kullanım Alanları

Güneş pilleri (fotovoltaik piller) üzerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilen pillerdir. Günümüzde güneş pilleri yapımında ağırlıklı inorganik karakterli, kırılma silikon kul-



Polipirol kaplamalarla, radarda görünmeyen uçaklar ve gemiler üretilebilir.

lanılır; verimlikleri en fazla %25 düzeyindedir. Güneş pilleri iletken polimerlerin önemli potansiyel kullanım alanlarından biridir; polimerlerden kolaylıkla geniş, hafif ve esnek yüzeyler hazırlanabilir, ayrıca ekonomiktirler. İletken polimer esaslı, ekonomik ve verimli güneş pilleri, elektrik enerjisi ile çalışan her türlü alette kullanılacakları gibi konutların ve işyerlerinin elektriğini de üretebilirler. Yakın gelecekte kendi enerjisini kendisi sağlayan iletken polimerle kaplanmış otomobiller görülebilebilir ya da cep telefonlarımızı güneş ışığının olduğu her yerde prize gerek duymadan şarj edebiliriz. Politiyofen türevi polimerler, güneş ışığını iyi soğuran polimerlerdir ve geleceğin güneş pillerinin yapımı için ümit vermektedirler.

Elektromanyetik dalgalar her türlü ortamda yayılabilen gama, X, ultraviyole, infrared, mikrodalga, radyo dalgaları türü ışınları kapsar. Gelişen teknolojiye bağlı olarak bu tür ışınları yayabilen televizyon, cep telefonu, bilgisayar, elektrik motoru gibi cihazların kullanımı hızla artmaktadır. Bu cihazlardan yayılan elektromanyetik ışınlar yakınlarda bulunan diğer elektronik aletlere zarar verir. Örneğin bir bilgisayar, mikrodalga ve radyo ışınları yayar. Yukarıda sözü edilen aletlerin kasalarının yapımın-

da, elektromanyetik ışınların yayılmasına izin veren geleneksel polimerler kullanılır. Bu polimerlerden yapılan kasalar üzerine ayrıca elektromanyetik kalkan görevi yapacak, polipirol gibi bir iletken polimer kaplanarak dalga yayılımını engellenebilir.

Radar ışınlarının enerjisi, mikrodalgaların ve TV ışınlarının enerjileri arasındadır; polipirol, polianilin gibi iletken polimerlerin radar ışınlarını soğurduğu da yıllardır bilinir. Radar ışınlarının soğurulması, polipirol ile kaplanmış bir askeri uçağın ya da geminin radarda görülmeyeceği anlamına gelir. Amerika Birleşik Devletleri'nin kullandığı, radara yakalanmayan ve *stealth* adı ile bilinen uçaklar polipirolle kaplanarak mı görünmez hale getirilmiştir?

İletken polimerlerin günümüzde ticari uygulamasının yapıldığı ve ilerisi için de ümit veren başka bir kullanım alanı da antistatik kaplamalardır. Çoğumuzu otomobilin kapısını açmak için kapı kolunu tuttuğumuzda elektrik çarpmıştır, bazen parmaklarımızdan bir kıvılcım aktarımı bile söz konusu olabilir. Bu olayın nedeni statik elektrik yüklenmesidir. Evde ve işyerinde dokunduğumuz eşyalardan vücudumuza aktarılan yük, daha iletken bir yüzeye dokunduğumuzda elektrostatik yük boşalması ile aktarılır, hatta bu durum bazen acı

bile verebilir. Elektronik aletlerin bozulma nedenlerinden yaklaşık yarısı sözü edilen elektrostatik yük boşalmasıdır. Elektrostatik yük boşalması ayrıca elektromanyetik ortamları da bozabilir ve değiştirebilir. Elektronik aletlerin elektrostatik yük boşalmasına karşı hassas olan parçaları, iletken polimerlerle kaplanarak korunabilir. Antistatik kaplamalar elektrik yükünü dağıtarak malzeme üzerinde zarar verecek düzeyde elektrik yükü birikmesini önler.



Güneş pilleri iletken polimerlerden yapılabilir.

Antistatik ambalaj malzemeleri, iletken polimerlerin bir başka uygulama alanıdır. Ambalaj amacıyla kullanılan, yalıtkan polimerlerden (örneğin geleneksel polietilenden) yapılmış filmler, iletken polimerlerle kaplanarak elektrostatik yük boşalmasından zarar görebilecek cihazların ambalajında kullanılır. Fotoğraf filmlerinin kaplanmasında ve temiz oda (havasız özel filtrelerden geçirilerek zerrelerden temizlenen, elektronik deneylerde, gıda endüstrisinde ve benzeri yerlerde kullanılan odalar) hazırlanmasında iletken polimerlerden yararlanılabilir. İletken polimerlerden hazırlanan antistatik kaplamalar hafiftir ve pahalı değildir; korozyona uğramazlar, ikincil işlemler gerektirmezler, metal içermezler ve yüzeylere kolaylıkla fırça, sprey ve rulo yardımıyla uygulanabilirler. Ticari antistatik kaplama uygulamalarına yatkın polimerlerden biri PEDOT'tur. PEDOT atmosfer koşullarında kararlı, iletkenliği yüksek ve ışığı %80 oranında geçirebilen bir polimerdir. Genelde malzemelerin yüzeylerine önce PEDOT'un monomeri olan 3,4-etilen dioksitiyofen uygulanır, polimerizasyon daha sonra malzemenin yüzeyinde gerçekleştirilir. İletken polimer esaslı antistatik kaplama amacıyla kullanılan bazı ürünler, farklı ticari isimler altında firmaların ürün listelerinde yerlerini almıştır.

Patlayıcı maddeleri, yanıcı gaz ve sıvıları ilgilendiren endüstrilerde de statik yüklenme tehlikelidir, yük boşalmaları patlamaya ve yangına yol açabilir. Bu endüstri alanlarında yük birikimine maruz kalan aletler iletken polimerlerle kaplanabilir ve böylece antistatik özellik kazandırılır.

Geleneksel poliester, akrilik, yün ve pamuk lifleri iletken polimerlerle kaplanarak antistatik lifler ve tekstil dokumaları hazırlanabilir. Bu tür giysiler elektrikle yüklenmeyeceği için, içlerinde taşınan elektronik malzemeleri yük boşalmasına karşı korur ve toz tutmazlar. Polianilin ve polipirol askeri alanda, elektronik aletlerin bulunduğu ortamlarda ve temiz odalarda çalışanlar için antistatik giysilerin hazırlanmasına yatkın polimerlerdir. Örneğin Eeon-Tex, sentetik liflerin nano boyutlarda iletken polimerle kaplanması ile hazırlanmış ticari bir tekstil ürünüdür. Polimer kaplama, liflerin fiziksel özelliklerini fazlaca değiştirmez, giysiler güneş ışınlarına, neme, yüksek sıcaklıklara dayanabilir.



İletken polimerlerden yararlanılarak iletken lifler hazırlanabilir.

İletken polimerler elektrik iletiminde kullanılan bakır kabloların yerini alabilir mi? Liflerin polimerle kaplanması, aslında bu sorunun yanıtına yönelik bir araştırmadır, ancak iletken polimer kaplı liflerin iletkenlik düzeyi yeterince yüksek değildir. İletken polimerlerden doğrudan lif elde etme yönünde araştırmalar da yapılmakta ve polianilin, polipirol, politiyofen gibi polimerlerin mikro ve nano boyuttaki iletken lifleri laboratuvar koşullarında hazırlanmaktadır. Önemli sorunlardan biri bu liflerin mekanik özelliklerinin zayıf olmasıdır.

İletken polimerlerden yapılacak esnek, iletken teller tıp alanındaki uygulamalar açısından da önemlidir. Biyouyumlu iletken polimerlerden hazırlanacak iletken teller, zarar görmüş sinirlerin yerini alabilir ve elektriksel sinyaller, polimerik sentetik sinirler üzerinden vücutta istenilen bölgeye iletilebilir. Elektriksel uyarıların

kemik büyümesini, yaraların iyileşmesini ve sinir hücrelerinin tamirini hızlandırdığı bilinir. Benzer yaklaşımla, elektriksel uyarılar vücutta gerekli bölgelere polimerler üzerinden taşınabilir. İletken polimerden yapay kas yapımı ve sudan virüslerin uzaklaştırılması, üzerinde araştırmalar yapılan diğer uygulamalara örnektir.



İletken polimerler, elektronik devre elemanlarında kullanım için ümit veren malzemelerdir.

Demirin korozyonu önemli ekonomik kayıplara neden olur ve demirden yapılan çoğu malzemenin belli zaman dilimlerinden sonra yenilenmesi gerekir. Deniz suyu gibi tuzlu ya da korozif kimyasalların bulunduğu ortamlarda kullanılan metaller için korozyon çok daha önemlidir. İletken polimerler, korozyonun önlenmesi açısından umut verici maddelerdir. Her tür metal malzeme iletken polimerlerle kaplanarak korozyona karşı korunabileceği gibi büyük yapılara, örneğin demir aksamı köprülere de bu tür kaplamalar uygulanabilir. Panipol PA ticari adı ile üretilen polianilin bazı boyalar, geleneksel antikorozif boyalara alternatiftir ve çelik yapıları atmosferik korozyona karşı koruma amacıyla kullanılır.

Şarj edilebilir piller iletken polimerler için bir başka potansiyel uygulama alanıdır. Polipirol, poliindol, politiyofen gibi polimerler şarj edilebilen pillerde elektrot malzemesi olarak denenmiştir.

Baskılı devreler cep telefonları, televizyon, bilgisayar, kontrol panelleri, çamaşır makineleri gibi aletlerin vazgeçilmez elemanlarıdır; transistörler, kapasitörler, diyotlar gibi elektronik devre elemanlarını bir arada tutarlar. Polianilin, polipirol, politiyofen ve türevleri baskılı elektronik devrelerde kullanım için ümit veren polimerlerdir. Örneğin cep telefonlarından televizyon kumandalarına, dev ekranlardan kol saatlerine kadar pek çok alanda kullanılan ve elektrik enerjisini ışığa çeviren ışık saçan diyotlarda, anot ile ışık saçıcı arasına PEDOT tabakalar uygulanarak anod yüzeyi düzleşti-



İletken polimerlerden dokunmatik ekranlar ve ışık saçan diyotlar yapılabilir.

rilir ve aletin verimi artırılır. Kapasitör, düşük düzeyde elektrik enerjisi depolayabilen ve daha sonra bu enerjiyi verebilen bir devre elemanıdır. Kapasitörlerde karşıt elektrot genelde mangan dioksitten yapılır; mangan dioksit uygulaması çok adımlı işlemler gerektirir. Günümüzde iletken polimerler, özellikle alüminyum ve tantal tipi kapasitörlerde karşıt elektrot olarak kullanılır.

İletken polimerlerin yalıtkan karakterli geleneksel yapıştırıcılara katılmasıyla belli düzeyde iletkenlik gösteren yapıştırıcılar hazırlanabilir. Bir başka yaklaşımda da, yapıştırılacak yüzeyler arasında polimerleşme gerçekleştirilir ve yüzeyler birbirine bağlanır.

İletken polimer esaslı katkı maddeleri, iletken polimerlerin ticari uygulama bulduğu başka bir alandır. İletken katkı maddeleri, yalıtkan malzemelere iletkenlik ve antistatik özellik kazandırmak için kullanılır. Bazı firmalar ürün listelerine bu tür iletken polimer katkı maddelerini eklemiştir.

Bilgisayar monitörü, araba radyosu ve cep telefonu gibi aletlerde kullanılan dokunmatik ekranlarda, elektrik enerjisi şeffaf iletkenler üzerinden istenilen yere taşınır. Bu malzemelerde şeffaf iletken olarak indiyum kalay oksit (ITO), alüminyum katkılı çinko oksit, flor katkılı kalay oksit gibi metal oksitleri kullanılır. Özellikle ITO en yaygın kullanılan metal oksittir ve nadir elementlerden indiyum içerdiği için pahalıdır. Ayrıca metal oksitlerin kırılma ve çatlamaya eğilimli davranışları ITO için de geçerlidir. Günümüzde iletken polimerleri kullanarak, dayanıklılığı ITO dokunmatik panellere göre on kat fazla olan paneller üretilmektedir. Dokunmatik paneller, poliesterler gibi yalıtkan polimerler üzerine nano boyutlarda iletken polimerler kaplanarak hazırlanır. Bu paneller aynı zamanda şeffaf, esnek ve ekonomiktir.

Sensör uygulamaları iletken polimerlerden yararlanılabilecek bir diğer önemli alandır. İletken polimerler

amonyak, metan gibi gazlara karşı sensör davranışı gösterir. Polianilin, polipirol, politiyofen gibi polimerlerden yapılan sensörler ile kanda şeker, üre, kolesterol tayini; yiyeceklerde glukoz, askorbik asit, sitrik asit tayini yapılabilir. Ayrıca iletken polimerler ile balık etinde bulunan hipoksantin, inosin ve inosin monofosfat maddelerinin tayini yapılarak balığın tazeliği kontrol edilebilir.

## Sorunlar

İletken polimerlerin kullanım alanlarını sınırlayan en önemli sorunlarından biri işlemlerindeki zorluktur. Günümüz iletken polimerleri çözücülerde yeterince çözünmez ve erimez. Bu iki özellik, iletken polimerlerin geleneksel plastik kalıplama yöntemlerinden yararlanılarak belli geometrilerde biçimlendirilmesini engeller ve istenilen ürünlerin hazırlanmasına izin vermez. Bazı iletken polimerlerin hazırlanmasında kullanılacak kimyasalların pahalılığı da bir başka sorundur. Bazı iletken polimerler ise atmosfer koşullarında kararlı değildir, zaman içinde iletkenlikleri azalır ya da yapısında kimyasal bozunmalar gözlenir.

## Sonuç

Polimer kimyasının yaklaşık seksen, iletken polimerlerin ise otuz yıllık bir gelişimi vardır. Diğer bilim dallarında zaman içinde gerçekleşen gelişmeler göz önüne alındığında, sözü edilen bu süreler kısa zaman dilimleri sayılır. İletken polimerlere yönelik ileride yapılacak çalışmalar, şimdiki sorunları çözenin yanı sıra iletken polimerlerin özelliklerini geliştirecek ve yeni tür iletken polimerlerin hazırlanmasını da sağlayacaktır.

İletken polimerler hafiflik ve elektriksel iletkenlik özelliklerini bir arada taşıyan tek madde grubudur. Bu üstün özellikleri ile ileride elektronik, havacılık, iletişim, tıp, otomobil, uzay teknolojisi gibi alanlarda kullanılan pek çok malzemenin yerini alma potansiyelleri vardır. Organik metaller adı da verilen iletken polimerler, geleceğin yeni iletken malzemeleridir.

### Kaynaklar

- Shirakawa, H., Louis, E. J., MacDiarmid, A. G., Chiang, C. K. ve Heeger, A. J., "Synthesis of Electrically Conducting Organic Polymers: Halogen Derivatives of Polyacetylene, (CH)<sub>x</sub>", *Journal of the Chemical Society-Chemical Communications*, Sayı 16, s. 578-580, 1977.
- Gunther, B. H., "Metal Nanopowders for Electrical Conductive Materials", *International Journal of Powder Metallurgy*, Cilt 35, Sayı 7, s. 53-58, 1999.
- Ishida, T. ve Tamaru, S., "Mechanical Alloying of Polymer/Metal Systems", *Journal of Materials Science Letters*, Cilt 12, Sayı 23, s. 1851-1853, 1993.
- Bocchi, V., Gardini, G. P., Golinelli, M., Belleli, E. ve Sans Sebastiano, G., "A New Application of Conducting Polymers: A Useful Tool in Concentration of Viruses from Water", *Journal of Materials Science*, Cilt 26, Sayı 12, s. 3354-3355, 2005.
- Onoda, M., Kato, Y., Shonaka, H. ve Tada, K., "Artificial Muscle Using Conducting Polymers", *Electrical Engineering in Japan*, Cilt 149, Sayı 4, s. 7-13, 2004.
- Allcock, H. R. ve Lampe, F. W., *Contemporary Polymer Chemistry*, 2. basım. Prentice-Hall, Inc., 1990.
- Truong, V. T., Turner, B. D., Muscat, R.F. ve Sarina Russo, M., "Conducting Polymer Based Radar Absorbing Materials", *Proceedings of the Society of*

*Photo-Optical Instrumentation Engineers*, Cilt 3241, s. 98-105, 1997.

Gerarda, M., Chaubey, A. ve Malhotra, B. D., "Review: Application of Conducting Polymers to Biosensors", *Biosensors and Bioelectronics*, Cilt 17, Sayı 5, s. 345-359, 2002

Huang, J., "Synthesis and Applications of Conducting Polymer Poly(aniline Nanofibers)", *Pure and Applied Chemistry*, Cilt 78, Sayı 1, s. 15-27, 2006.

Sekar, A. S. S., Saraswathy, V. ve Parthiban, G. T., "Cathodic Protection of Steel in Concrete Using Conductive Polymer Overlays", *International Journal of Electrochemical Science*, Cilt 2, Sayı 11, s. 872-882, 2007.

[http://www.nanoprinttech.com/conductive\\_polymer.html](http://www.nanoprinttech.com/conductive_polymer.html)  
<http://www.panipol.com/index29ff.html?option=content&task=view&id=10&Itemid=34>  
<http://www.rtpcompany.com/products/conductive/index.htm>  
<http://www.zipperling.de/>  
[http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/2000/](http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2000/)  
[http://www.hcstarck.com/index.php?page\\_id=602](http://www.hcstarck.com/index.php?page_id=602)



Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü mezunu olan Prof. Dr. Mehmet Saçak halen Ankara Üniversitesi Kimya Bölümü'nde görev yapmaktadır. British Council ve daha sonra TÜBİTAK bursu ile gittiği Leeds Üniversitesi Fizik Bölümü'nde iletken polimerlerin Raman spektroskopisine yönelik doktora sonrası araştırmalar yapmıştır.