



İki Boyutlu Polimerler

Günümüzde hayatımızı kolaylaştıran birçok üründe yer edinen polimerler aslında yüzyıllardır doğada doğal olarak bulunmaktaydı. Doğal polimerlere ahşap veya pamuk gibi örnekler gösterilse de bu maddenin kimyasal olarak ilk örnekleri 1830’lu yıllarda pamuğun selüloz reaksiyonlarıyla ortaya çıktı. Bu çalışmalar nitrat selüloz ürünlerin ortaya çıkmasını sağladı. Ancak gerçek anlamda polimerlerin çok büyük bir makro-molekül olduğu fikri 1920’de Hermann Staudinger tarafından bilim dünyasına sunuldu¹.

İkinci Dünya Savaşı öncesinde doğal kauçuğun otomobil lastiklerinde kullanılması, naylon gibi polimerlerin keşfi ve işlenmelerindeki kolaylık, insanları savaş sonrası yeni bir malzeme sınıfı arayışına yönlendirdi ve bugün yaygın olarak kullanılan polimer maddeler ortaya çıktı. 1950’lerden sonra gelişimi hızlanan polimerler artık sivil kullanımdan savunma sanayiine hayatın her yerinde kullanım imkânı buluyor. Bu kadar yaygın kullanım alanı olan polimerler için her geçen gün yeni çalışmalar ortaya çıkmaya devam ediyor.

Polimer Nedir?

Polimer kelime anlamı olarak “Mer” adı verilen moleküllerin kimyasal bağ ile birbirine bağlanarak iki veya üç boyutlu dev moleküller oluşturmasından kaynaklanan malzemeleri tanımlıyor. Monomerlerin çoğalmış hâli olarak da tanımlanan polimerler elmas, kuarz ve feldispat gibi minerallerin temelini oluşturduğu kadar insan yapımı beton, cam, kâğıt, plastik ve kauçuk gibi maddelerin de oluşumunda rol oynuyor².

Polimer Çeşitleri Nelerdir?

Doğal polimerler organik ve inorganik olarak iki sınıfa ayrılıyor. Sentetik polimerler ise çok çeşitli reaksiyonlarla elde edilebiliyor. Polietilen 10.000’den fazla monomerin birleşiminden oluşabiliyor. Daha kristalize ve termoplastik özellikli polipropilen ise 50.000 ile 200.000 monomerden oluşarak özellikle tekstil sanayiinde kalıplaştırmada kullanılıyor. Polistiren gibi daha şeffaf dokulu polimerler ise renklendirilebilme veya gölgelendirilebilme özellikleriyle oyuncak sanayiinde tercih ediliyor².

İki boyutlu olarak oluşturulan polimerler, bir tabaka şeklinde birleşen monomerlerden meydana gelir. İki boyutlu polimerler bir diğer anlamda doğrusal polimerizasyonları, katmanlı kovalent olmayan polimer bağlantılarını ya da yüzeyleri kaplamaya ve ince film tabakaları yaratmaya yarayan düzensiz çapraz bağlı polimerleri tanımlamıyor. İki boyutlu polimerler bağlantı şekillerine göre kovalent bağlı polimerler, koordinasyon polimerleri ve supramoleküler polimerler olarak sınıflandırılıyor³.

1 <https://www.e-education.psu.edu/matse202/node/4>

2 <https://www.britannica.com/science/polymer>

3 https://en.wikipedia.org/wiki/Two-dimensional_polymer

İki Boyutlu Polimer Üretiminde Yenilikler

İki boyutlu polimerler geniş yüzey alanları, düşük yoğunlukları ve yüksek uyum özellikleriyle uygulanacak işleme kolayca adapte olma özelliği gösteriyor. İki boyutlu polimerler özellikle enerji dönüştürme teknolojilerinde, enerji depolama sistemlerinde, nanoteknolojide ve biyoteknolojide kullanılıyor. Ancak konvansiyonel yöntemlerle iki boyutlu polimer oluşturmak hâlen zor bir süreç olarak değerlendiriliyor. Bu nedenle özellikle her sektörde ihtiyaç duyulan iki boyutlu polimerlerin daha kolay üretilmesi için çeşitli araştırmalar yapılıyor⁴.

Bu araştırmalar kapsamında Münih Teknik Üniversitesi, Alman Müzesi ve Linköping Üniversitesinden katılan çokuluslu karma bir araştırma ekibi tek molekül katmanından oluşan iki boyutlu polimer üretebilen yeni bir teknik geliştirdi. Araştırma ekibi bu teknikle düzenli ve yüksek oranda tanımlanmış kristal yapılara sahip yeni ultra ince fonksiyonel malzemeler tasarlamayı mümkün kılıyor. Yeni teknikle üretilen malzemenin polimerizasyonu veya üretimi iki aşamada gerçekleşiyor. Araştırmacılar bu teknikte, “flüorlu antrasen triptisen”in kasılması olan “fantrip” adı verilen küçük bir molekül kullanıyorlar. Bu molekül triptisen ve antrasen adı verilen iki farklı hidrokarbonu birleştiriyor. Sonuç olarak yarım nanometre kalınlığında ve birbirine tıpatıp aynı şekilde bağlanan yüzbinlerce molekülden oluşan bir polimer katmanı üretiliyor⁵.

Yeni polimer üretim tekniklerinden biri de ABD’nin Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (Massachusetts Institute of Technology -MIT) araştırmacılarınca geliştiriliyor. MIT’nin kimya mühendisleri, özgün bir polimerizasyon işlemi kullanarak çelikten daha güçlü, plastik kadar hafif ve büyük miktarlarda kolaylıkla üretilen yeni bir malzeme oluşturdular. Yeni polimer diğer tüm polimerlerin aksine kendi kendine tabakalar hâlinde birleşerek iki boyutlu polimere dönüşen bir materyal olarak dikkat çekiyor. Bu yöntemle daha önce polimerlerin iki boyutlu tabakalar hâlinde üretimi için indüklemenin (kapalı bir devreyi, şiddeti her an değişen bir manyetik alanın içine koyarak onun üzerinde bir elektrik akımı elde etmek) imkânsız olduğuna inanan düşünce yapısını ortadan kaldırıyor⁶.

Bu yeni çalışmada araştırmacılar, poliamid adı verilen iki boyutlu bir tabaka oluşturmalarına izin veren yeni bir polimerizasyon süreci geliştirdi. Üretimde monomer yapı taşları için, karbon ve nitrojen atomlarından oluşan bir halka içeren melamin adı verilen bir bileşik kullanılıyor. Bu monomerler doğru koşullar altında iki boyutta büyüyerek diskler oluşturabiliyor. Bu diskler, yapıyı çok kararlı ve güçlü kılan katmanlar arasındaki hidrojen bağlarıyla bir arada tutularak üst üste yığılıyor. Üretilen ultra ince kaplama malzemesi su veya gazların geçmesine engel olacak yalıtım sağlarken metal yüzeylerin korunmasında kullanılabilir⁷.

Yeni polimer yapı çözelti içinde kendiliğinden bir araya geldiği için, başlangıç malzemelerinin miktarını basitçe artırarak büyük miktarlarda üretim imkânı sunuyor. Araştırmacılar, yüzeylerin 2DPA-1 olarak adlandırdıkları malzemenin filmleriyle kaplanabildiğini uygulamalı olarak da gösterdiler. Çok hafif, esnek ve sağlam olan yeni iki boyutlu polimer gelecek endüstriyel uygulamalar için umut vad ediyor⁸.

İki Boyutlu Polimer Kullanım Alanları

Polimerler çok çeşitli endüstrilerde üretime dahil olan ve modern yaşamın her alanına temas eden bir malzeme olarak yer alıyor. Alışveriş poşetlerinden su şişelerine, telefonlardan bilgisayarlara, oyunculardan savunma unsurlarına kadar her yerde polimerlere rastlamak mümkün. Araştırmacılar polimerlerle yaptıkları çalışmalarda hayatı kolaylaştırmak için yeni kullanım alanlarını araştırmaya devam ediyor. Bu alanlardan biri de karbon fiber yapıların güçlendirilmesi olarak biliniyor.

4 <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsami.1c12392>

5 <https://www.azom.com/news.aspx?newsID=56284>

6 <https://phys.org/news/2022-02-two-dimensional-polymer-lightweight-material-stronger.html>

7 <https://www.weforum.org/agenda/2022/02/new-lightweight-material-stronger-than-steel/>

8 <https://news.mit.edu/2022/polymer-lightweight-material-2d-0202>

Karbon fiber takviyeli polimer kompozitler (Carbon Fiber Reinforced Polymer -CFRP) güçlü yapıları ve hafif olma özellikleri ile otomotiv sektöründe daha az yakıt tüketen araçların önünü açıyor. Karbon fiber laminatlar olarak da adlandırılan bu yeni nesil malzemeler geleceği şekillendirmeye yardımcı oluyor⁹.

CFRP'nin olası uygulamalarının sınırı bulunmuyor. Günümüzde CFRP için en yaygın uygulamalar havacılık, otomotiv ve rüzgâr enerjisi alanında görülüyor. Medikal teknolojilerde, robotikte, otomasyon teknolojisinde, ölçüm teknolojisinde ve optikte olduğu kadar makine mühendisliğinde, spor ve eğlence sektöründe de CFRP birçok farklı şekilde kullanılabilir¹⁰.

CFRP'ler yeni nesil hologramlara destek olurken silikon polimerler de yapay deri imalatında kullanılarak geleceğin yaşlanma önleyici tedavilerine ışık tutuyor. Bu tür silikon polimer araştırmalarının gelecekte egzama tedavisi veya güneş koruyucu kremlerde de uygulama alanı bulması bekleniyor⁹.

Polimerler katmanlı imalat teknolojilerinde de kullanım alanı buluyor. Çok çeşitli katmanlı imalat yöntemleri bulunmakla beraber özellikle üç boyutlu (3D) yazıcılarda plastik polimer malzemelerin eritilerek şekillendirildiği yöntemler acil durumlarda yedek parça imalatı veya deneysel tasarımların incelenmesinde avantaj sağlıyor. Askeri operasyonlar gibi saha uygulaması olan ortamlarda bu teknolojilerin sağlam polimer bileşenlerle bir araya gelmesi hayati önem taşıyabiliyor¹¹.

Savunma Sanayiinde İki Boyutlu Polimer Kullanımı

Çeşitli polimerler savunma sanayiinde de kullanılıyor. Nanoteknoloji ile gelişen polimer kompozitler özellikle havacılık sektöründe öne çıkıyor. Ancak polimer kompozitlerin yüksek maliyetlerinden ötürü sivil havacılıktan çok askeri havacılık sanayiinde kullanım alanı bulduğu biliniyor. Hafif ve sağlam polimerler uçakların dayanıklılığını artırırken daha kolay manevra yapabilmeleri için olanak sunuyor¹².

Hafiflik, güçlülük, uçuş menziline ve yük kapasitesinin artması, hizmet süresinin uzun olması korozyon direnci, bakım onarım imkânı ve uygulamaya konulacak teknik yenilikler bakımından kompozit malzemeler kanat, gövde, yatay/dikey dengeleyiciler, helikopter pervane ve millerinde yaygın olarak kullanılıyor¹³.

Nano kompozit polimerlerin koruyucu özellikleri askeri gıda paketlerinde de tercih edilebiliyor. Gıdaların uzun ömürlü olması ve her türlü savaş ortamında bozulmadan korunmasını sağlayan bu polimer kaplamalar askerlerin en temel besin ihtiyaçlarının temel koruma kalkanını oluşturabiliyor¹². Yenmeye Hazır Gıda (Meal Ready to Eat -MRE) adı verilen askeri gıdalar hassas dengelerle oluşturulan ve askerlerin sağlıklı tüketmeleri gereken önemli destek unsurlarıdır. ABD askeri güçlerinin yılda ortalama 46,6 milyon MRE tükettiği düşünüldüğünde, bu ürünlerin en iyi şekilde korunması hem ekonomik hem de askerlerin sağlığı açısından önem kazanıyor¹⁴.

2003 yılından bu yana araştırmaları devam eden ve günümüz uygulamaları ABD Ordu Araştırma Laboratuvarı (Army Research Laboratory -ARL) tarafından yürütülen sıvı zırh teknolojisi de polimerler sayesinde hayata geçme potansiyeli taşıyor. Polietilen glikolden oluşan sıvı kısım ve silika nano partiküllerden oluşan katı kısım çok güçlü bir katman oluşturuyor. Sıvı zırhın en dikkat çekici özelliği, makul miktarda koruma sağlarken esnek kalabilmesi olarak düşünülüyor¹⁵.

9 <https://www.livescience.com/60682-polymers.html>

10 <https://www.sgcarbon.com/en/carbon-fibers-and-cfrp/>

11 <https://thinktech.stm.com.tr/tr/katmanli-imalat-teknolojileri-ve-havacilik-uygulamaları>

12 <https://www.igi-global.com/chapter/the-use-of-polymer-nanocomposites-in-the-aerospace-and-the-militarydefence-industries/224401>

13 <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/405742>

14 <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA433139.pdf>

15 https://en.wikipedia.org/wiki/Liquid_Armor

İngiltere kökenli savunma ve havacılık şirketi olan BAE Systems'in geliştirdiği sıvı zırh ile 2021 yılında başarılı testler gerçekleştirdiği biliniyor. Araştırmacılarca "kurşun geçirmez krema" olarak da tanımlanan zırh, kurşunun çarpma gücünü önemli ölçüde emerek durdurabiliyor^{16,17}.

Üç boyutlu yazıcılarla kullanılabilen sağlam polimer malzemelerin askeri uçakların içine yerleştirilmesi ve ihtiyaç hâlinde havada dahi kullanılarak acil çözümlerde avantaj sağlaması savunma sanayiinin gelecek öngörülerinde yer alıyor. Hafif ve dayanıklı yedek parçanın hareket hâlindeki bir uçak içinde imalatı ve bu parçanın savaş alanında görev yapan birliklere ulaştırılması veya doğrudan uçak için kullanılması askeri güçler açısından fark yaratma potansiyeli gösteriyor¹¹.

Kompozit polimerler askeri taşıtlarda zırh malzemesi ve korozyona karşı koruyucu olarak kullanılabilir. Normal çelik zırha göre en az yüzde 10 daha hafif ve daha dayanıklı olma özelliği gösteren kompozit polimer zırhlar savaş alanında hareket kabiliyetini artırabiliyor. Termoplastik polimerler de askeri araçlarda kullanım alanı buluyor. Araç iç ekipmanları dahil birçok noktada uygulanan bu malzeme daha hafif ve yüksek dayanımlı ekipmanlarla askeri araçlara güç veriyor¹³.

Polimer beton kompozitler savunma alanında kullanım imkânı bulan bir diğer malzeme olarak öne çıkıyor. Özellikle kıyı şeridinde savunma üsleri ve kıyı şeridi emniyetinde çevre dostu özelliğiyle uygulama imkânı bulan polimer beton kompozitler giderek yaygınlaşıyor¹⁸.

Türkiye'de Polimerle İlgili Çalışmalar

Türkiye'de de polimer malzemelerle ilgili çalışmalar yürütülüyor. Yalova Üniversitesi Polimer Malzeme Mühendisliği Bölümü araştırmacıları radar sistemleri tarafından algılanamayan sprej köpük ve üç boyutlu yazıcıdan istenilen özelliklerde malzeme üretimini sağlayacak filament ürettiklerini açıkladı. Araştırma oldukça yeni olduğundan detayları şimdilik sır gibi saklansa da bu özelliklerde bir polimerin savunma sanayiinde ilgi görmesi muhtemel görünüyor¹⁹.

Orta Doğu Teknik Üniversitesi bünyesinde faaliyet gösteren Polimer Analiz Laboratuvarı (PAL) da malzemelerin elemental bileşimi, polimerlerin molekül ağırlığı dağılımı, hidrodinamik büyüklükleri gibi özelliklerin ölçümü çalışmalarına ev sahipliği yapıyor. Gerek üniversite gerekse sanayi laboratuvarlarında yapılan ölçümler, çalışmaların ilerleyişi açısından önem taşıyor²⁰.

İlk çalışmaları Çin'de Şiamen (Xiamen) Üniversitesinde başlayan bir polimer olan borofen ise süper bilgisayarlardan pillere, transistörlerden dokunmatik ekranlara kadar birçok alanda kullanılan grafenin yerini alma potansiyeli gösteriyor. Çelikten 200 kat daha güçlü olan grafenden bile daha yüksek güce ve esnekliğe sahip borofen ısı ve elektrik iletiminde ise rakip tanımıyor²¹.

Türkiye'de Sabancı Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (SUNUM) polimer ve seramik matrisli kompozitlerde takviye malzemesi olarak kullanılabilen borofenin üretilmesi için önemli adımlar atıyor. Dünya'da çok az sayıda ülkenin üretebildiği borofen, geleceğin uzun ömürlü bataryalarının temelini oluşturma potansiyeli taşıyor. Bu sayede savunma sanayiinde de ihtiyaç duyulan yüksek dayanımlı enerji depolama ve elektronik sistemleri desteklenebiliyor²².

16 <https://en.topwar.ru/13531-zhidkaya-bronya-dlya-zaschity-lyudey.html>

17 <https://www.hurriyet.com.tr/dunya/kursun-gecirmez-sivi-zirh-gelistirildi-15286748>

18 <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=1226>

19 <https://www.haberler.com/teknoloji/radarlarda-gorunumu-azaltan-sprej-kopuk-ve-3d-14612971-haberi/>

20 <https://merlab.metu.edu.tr/polimer-analiz-laboratuvari-pal>

21 <https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-48035040>

22 <https://gazetesi.sabanciuniv.edu/toplum-ve-bilim/dunyada-cok-az-sayida-ulkenin-urettigi-borofen-artik-sunumda-da-uretiliyor>

Teknolojide Geleceğin Malzemesi: Polimer

Üç boyutlu yazıcılar artık evlere kadar girerek polimer filamentler ile her türlü ekipmanın üretilmesini sağlıyor. Bu cihazlar savunma sanayiinde ve savaş alanında gerekli malzemelerin hızlı üretimini destekleyerek ikmal alanına yeni bir boyut kazandırıyor.

Sıvı zırhlar, kompozit bileşenli kaplama ve zırhlar ve diğer kompozit bileşenler yüksek dayanıklılıklarıyla en zorlu ortamlarda bile işlevini eksiksiz sürdürebiliyor. Özel polimer kaplamalar gıdalardan metal aksamalara kadar her türlü nesnenin dış etmenlerden kusursuz bir şekilde korunmasını sağlıyor. Elektronik cihazların enerji ihtiyacı ve dayanıklılığı polimerlerle bambaşka boyutlara taşınabiliyor.

Sivil hayattan savunma sanayiine kadar polimerlerin kullanım alanı her geçen gün genişliyor. Bu malzemeler çevre dostu özelliklerde üretildikçe endüstrilerin daha sağlıklı, güvenli ve çevreye duyarlı üretim yapma imkânı da artıyor. Uzay araştırmalarında da dikkat çeken polimerler geleceğin hava ve uzay taşıtlarının temel malzemesi olmaya aday. Üstelik gelecek yıllarda farklı polimer çalışmalarının da artmasıyla gelişecek teknolojilerin sınırları zorlayacağı bir gerçek. 