

# POLİMERİK MALZEMELERİN BUGÜNÜ VE YARINI

Oğuz OKAY

İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü,  
80626 Maslak, İstanbul

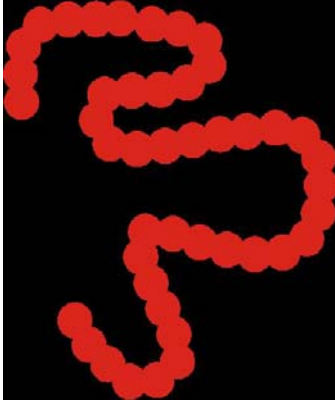
## ÖZET

Monomer adı verilen küçük moleküllerin ardarda dizilmeleri ile oluşan makromoleküllerin üstün özellikleri nedeniyle kullanım alanları giderek yaygınlaşmaktadır. Konuşmanın ilk bölümünde polimerlerin genel özellikleri hakkında kısaca bilgi verilecektir. İkinci bölümde ise yapı malzemesi olarak polimerlere doğru geçiş süreci anlatılacaktır. Çelik ve betonun klasik yapı malzemesi olduğu günümüzde, uzay mühendisliğinde ulaşılan bilgilerin inşaat mühendisliğine aktarılması ile, karbon elyaf ile takviye edilmiş polimerik malzemelerin (CFRP) geleceğin klasik yapı malzemesi olacağı belirtilecektir. Konuşmanın son bölümünde ise genel olarak metallerin ve diğer sert malzemelerin kullanıldığı günümüz teknolojisinin yerine gelecekte akıllı malzemelerin ve ağırlıklı olarak akıllı polimerlerin ve akıllı jellerin “yumuşak-ıslak” teknolojisinin” alacağı belirtilecektir. Malzeme bilimlerinde klasik anlayış olan kullanılan malzemelerin kullanım süresince mümkün olduğu kadar özelliklerini değiştirmemesi kavramı yavaş yavaş değişmekte, bunun yerine malzemelerin kullanım sırasında bir şeyler yapmaları ve faydalı değişimlere uğramaları istenmektedir. Çevreden gelen uyarılara özelliklerini veya şeklini değiştirerek cevap veren akıllı malzemeler “ortam şartları ile mücadele etmek” yerine “ortam şartlarına uyum göstermekte ve çevresel uyarılara cevap vermektedir”. Genel anlamda mühendislik yapılarının, problemleri algılayan ve uygun cevaplar verebilen akıllı malzemelerle donatılmış olması gerekiyor. Sahip oldukları üstün özellikleri nedeniyle polimerlerin akıllı malzeme olarak kullanılması üzerinde çok yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Nano ölçekte bir metal yay olarak göz önüne alınabilecek olan polimer zincirleri yaydan farklı olarak, sadece bir kuvvet etkisi ile değil çeşitli dış uyarılarla, örneğin sıcaklık, pH, solvent kalitesi, nem, elektriksel veya manyetik alan, toksinlerin varlığı, vb gibi etkilerle boyutları değişebilmektedir. Polimer zincirlerinin diğer bir özellikleri ise dış etkendeki çok az bir değişiklik ile, örneğin ortam sıcaklığının çok az bir değişmesi ile aniden çok büyük boyut değişikliği göstermeleridir. 0.1 °C lik bir sıcaklık değişimi ile boyutları 100 misli değişebilen sıcaklığa duyarlı polimer zincirleri örnek olarak verilebilir. Bu ani hacim değişikliği birinci dereceden bir faz geçişinin sonucudur. Akıllı polimerlerin mevcut ve olası kullanım alanları belirtilecektir.

## POLİMER NEDİR?

Yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerin, yani makromoleküllerin varlığı ilk olarak 20li yıllarda Hermann Staudinger tarafından öne sürülmüş ve geçen 80 sene içinde polimerler günlük yaşamımızın hemen her safhasında kullanılır hale gelmiştir. Sahip oldukları üstün özellikleri nedeniyle polimerik malzemelerin kullanım alanları giderek yaygınlaşmaktadır. Polimerlerin başlıca avantajları, hafif oluşları, korozyona karşı dayanıklı oluşları ve kolay işlenebilirlikleridir. Yapı malzemeleri olarak ta polimerlerin çok büyük bir önemi vardır. Bugün dünyada üretilen polimerlerin yaklaşık %30u her sene inşaat mühendisliği ve yapı endüstrisinde kullanılmaktadır.

Polimerler monomer adı verilen küçük moleküllerin ardarda dizilmesi ile oluşan uzun zincirli yapılardır. Tek bir polimer zincirinde binlerce ya da milyonlarca monomer bulunur. Polimer zincirini oluşturan monomerlerin özellikleri ve zincirlerin birbirleri ile olan etkileşimleri polimer malzeme özelliklerinde belirleyici olmaktadır. Genelde polimer denince ilk akla organik polimerler gelmesine rağmen inorganik polimerler de oldukça yaygındır.



Şekil 1: Linear bir polimer zincirinin şematik görünüşü

Polimer zincirleri doğrusal yani linear olabildiği gibi dallanmış yapıda da olabilir, bu durumda ana zincirden yan dallar ayrılmaktadır. Yan dallar başka ana zincirlere bağlanıyorsa oluşan polimerlere çapraz bağlı polimerler denir ki, günümüzde kullanılan polimerlerin yarıya yakını çapraz bağlı yapıdadır. Çapraz bağlı polimerler hiç bir solventte çözünmezler ancak sıvıları emerek şişerler ve bir jel oluştururlar.

Genelde polimerlerde kristal ve amorf bölgeler bir arada bulunmaktadır. Kristal bölgeler malzemeye sertlik ve kırılgenliklik, buna karşılık amorf bölgeler malzemeye tokluk verir. Dolayısıyla malzemenin kristalinite derecesi mekanik özelliklerinde çok önemlidir. Düzenli yapılar yada linear zincirler kristal oluşumunu kolaylaştırır. Moleküller arası çekim kuvvetleride kristaliniteyi arttırmaktadır. Polimerlerin termal özellikleri onların erime ve camsı geçiş sıcaklıkları ile tanımlanır. Polimer zincirleri camsı geçiş sıcaklığı  $T_g$  nin altında donmuş bir yapıda  $T_g$  nin üzerinde ise kauçuksu durumdadır. Bu sıcaklıkları yan gruplar ya da zincirin sertliği belirlemektedir. Polimerlerin mekanik özellikleri ise çekme-uzama testleri ile belirlenir. Mekanik özelliklerine göre polimerleri 1) elyaflar ve sert plastikler, 2) yumuşak plastikler ve 3) elastomerler olarak gruplandırıyoruz. Polimerleri oluşum mekanizmalarına göre 2 gruba ayırıyoruz: 1) Katılma (zincir) polimerleri: monomerlerin ard arda bağlanması ile oluşurlar. 2) Kondensasyon polimerleri: monomerlerin bağlanması sırasında küçük moleküller (örneğin su yada metanol) açığa çıkar. Konuşmada bazı polimerlere örnekler verilecek ve genel özelliklerinden bahsedilecektir.

## **YAPI MALZEMESİ OLARAK POLİMERLER**

İnşaat ve yapı mühendisliğinde şu anda yaygın olarak kullanılan malzemelerin genel özelliklerine bakınca diğer mühendislik dallarından oldukça farklı olduğu göze çarpıyor. Başlıca şu özellikler dikkat çekiyor:

- 1) Düşük fiyat: Örneğin betonun kg fiyatı 0.1 USD, buna karşılık kontakt lenslerin kg fiyatı 100bin USD dir.
- 2) Çok büyük hacimlerde tüketim: Dünyada altyapı işlerinde senede 6 milyar ton beton ile yarım milyar ton çelik kullanılmaktadır.
- 3) Dayanıklılık ve uzun ömür talebi: Örneğin köprüler çoğunlukla 75 senelik bir servis ömrü için tasarlanmaktadır, buna karşılık arabalar 10-20 sene için tasarlanıyor.
- 4) Kamu güvenliği: Altyapı hata kabul etmiyor, depremler bunlara bir örnek olarak verilebilir.
- 5) Relatif basit ve az hassas prosesler: Kullanılacak malzeme, inşaatın olduğu mekanda proses edilecekse, bu proses oldukça düşük hassasiyette ve kolay yapılabilir olması gerekiyor.

Sonuçta ileri yapı malzemeleri tasarlariken bu noktaların da göz önünde tutulması gerekiyor.

## **Yapı malzemelerinin gelişim süreci ve polimerlere doğru kayma nasıl gerçekleşti?**

Antik çağlarda taş ve odun başlıca yapı malzemeleriydi. Zamanla kili kullanarak briket, tuğla ve kiremit yapmayı öğrenince taş ve briket esas yapı malzemeleri olarak yerlerini aldılar. Kırılgan malzemeler olan taş ve briket MÖ 3000 yıllarında Mısırda piramitlerin yapılmasından İngiltere’de 1. Endüstri Devrimine yani 18. yy sonu-19. yy başına kadar uygar bölgelerde belirleyici yapı malzemeleriydi. Bunlar duvar ve kolonlar için uygun yapı malzemeleri olmasına karşın eğilmeye karşı düşük kopma kuvvetleri nedeniyle yatay elemanların yapımında problemlere yol açıyordu.

18. yy sonunda ortaya çıkan çelik ve çimento, çekmeye ve sıkıştırmaya karşı yüksek kuvvetleri ile yeni bir çığır açtılar. Çelik kullanımı çok hızlı bir gelişme gösterdi. Örneğin, İngiltere’de 1779 yılında yapılan 30.5 m span ile Ironbridge, İstanbul’da 1988 yılında yapılan 1090 m span ile 2. Boğaziçi Köprüsü, ve Japonya’da rekor span 1990 m ile 1998 yılında tamamlanan Akashi Kaikyo Köprüsü çelik köprülere örnek olarak verilebilir. Bu büyük ilerlemeye karşın çelik kablolarla yapılan köprülerin sınırlarına ulaştığı görülüyor. Mesina boğazı köprüsü için yapılan bir çalışma, 1.5 m çapında 2 çift 3000 m lik taşıma kablosunun hemen hemen sadece kendi ağırlığını taşıyacağını gösteriyor. Bu durum 21. yy mühendislerine bir meydan okuma anlamına geliyor:

## **Yüksek dayanıklı çelik kablolar hangi hafif malzeme ile değiştirilmeli ki çok daha hafif olsunlar ama çelik kablolar gibi kuvvetli olsunlar?**

Uzay mühendisliği konusunda ulaşılan bilgilerin inşaat mühendisliğine aktarılması bu konuda çözüm üretti. Karbon elyaf ile takviye edilmiş polimerik malzemelere (carbon fiber reinforced polymer, CFRP) geleceğin klasik malzemeleri olarak bakabiliriz. Uzay, havacılık, ve sporda şimdiye kadar kullanılan CFRP yapı mühendisliğinde kullanılmaya başlandı. CFRP poliester reçine içinde gömülmüş 5-10 mikrometre çapında çok ince karbon elyaflardan oluşuyor. CFRP ler çelikten 5.2 defa daha hafif. Şu an için inşaat mühendisliğinde yaygın kullanımını engelleyen ana neden yüksek fiyatı (25 İsviçre Frankı / kg). Ancak bugüne kadarki hızlı gelişmelere bakarsak CF uygulamaları per yakında daha ekonomik olacak.

**CFRP taşıma kabloları çelik kabloların yerine geçer mi?** sorusunun cevabı aşağıdaki tablodan verilebilir:

| <b>AYAK AÇIKLIĞI<br/>(metre)</b> | <b>MODÜL (GPa)</b> |             |
|----------------------------------|--------------------|-------------|
|                                  | <b>ÇELİK</b>       | <b>CFRP</b> |
| <b>0</b>                         | <b>210</b>         | <b>165</b>  |
| <b>1000</b>                      | <b>163</b>         | <b>163</b>  |
| <b>2000</b>                      | <b>98</b>          | <b>162</b>  |

Çelik kablonun uzunluğu arttıkça bağıl ekivalent elastik modülü azalıyor ve 2000 m den daha uzun köprü açıklıkları için CFRP kablolar çelik kablolardan çok daha uygun olduğu görülüyor.

Birinci Endüstri devriminin diğer bir “buluşu” ve 20. yy’ın temel yapı malzemesi daha önce belirtildiği gibi Çimento. 1824 yılında patenti alınan Portland çimentosu yeni bir malzeme olan betonun yapımında olağanüstü bir hidrolik binder, ucuz ve üretimi kolay. Bu nedenle kısa sürede 20. yyın en popüler yapı malzemesi oldu. Doğal taş gibi bu “sentetik taş”ında en büyük dezavantajı çekmeye karşı düşük kopma kuvveti ve yüksek kırılma direncidir. 19. yy ın sonlarından itibaren yapılan çalışmalar ile betona elastik kuvvetlendirici çubukların, elyafların, ya da aktif kuvvetlerin katılması ile betonların özellikleri iyileştirilmeye çalışıldı. Aslında kırılma malzemeleri kuvvetlendirmek için elyaf kullanımı eski Mısır zamanlarına kadar dayanıyor. O zamanlarda kil-su çamuruna kuvvetlendirmek için at kılı katıyorlardı.

20. yy ın sonlarına kadar gerçekleşen ilerlemelere rağmen, gerek korozyona dayanıklılığın düşük oluşu ve gerekse yapıların giderek artan oranlarda çevre kirliliğine maruz kalmaları onların da sonunu getirdi. Örneğin çevre kirliliğinin artışı ile 1950’lerde beton köprülerin servis ömrü 100 sene iken 1970’lerde 75 sene, şimdi ise 50 seneye kadar inmiştir.

Dolayısıyla 20. yy sonlarında dayanıklılık beton yapılar için en büyük sınırlayıcı etken olarak ortaya çıkıyor. 1980lerde yeni nesil betonlar Yüksek- kuvvette betonlar (high-strength concrete HSC) ve yüksek performanslı betonlar (high-performance concrete HPC) bir çok ülkede ortaya çıktı. Diğer yandan elyaf takviyeli betonların gelişimi şu şekilde gerçekleşti: 1960larda çelik elyaf takviyesi başladı, 1970lerin sonunda polimerik elyaflar kullanılmaya başladı, 1980lerde cam elyaf katkısı yaygınlaştı ve 1990ların başında ise karbon elyaf katkılı betonlar dikkat çekmeye başladı. Elyaf katkısında kırılma matrikse kazandırılan esas özellik tokluğunun artmasıdır

Diğer bir grup yapı malzemeleri olan plastiklerdir. Plastik kimyasında ilerlemeler diğer yapı malzemelerine oranla çok daha hızlı olmakta ve bu nedenle önümüzdeki yıllarda bu yüksek molekül ağırlığında polimer esaslı yapı malzemelerinin geleneksel malzemelerin önüne geçeceği düşünülmektedir:

Plastiklerin avantajları:

- 1) Hafif oluşları (yoğunlukları 1- 1.4),
- 2) Kimyasal dayanıklılıkları,
- 3) Yüksek ışık geçirgenlikleri,
- 4) Boyanabilirlik ve kolayca şekil verilebilir oluşları,

Dezavantajları ise:

- 1) Düşük elastik modülleri,

- 2) Düşük termal dayanıklılıkları, ve
- 3) UV ışınlarına dayanıksız oluşlarıdır.

Ancak katkı maddeleri ile bu dezavantajlar giderilebilmektedir. Örneğin 10-80 MPa koparma kuvvetine sahip plastiğin cam elyaf ile kuvvetlendirilmesi ile koparma kuvveti 130-600 MPa çıkarılabilmektedir ya da elastik modülü 2 GPa olan bir plastiğe cam elyaf katılarak çeliğin elastik modülü 55 GPa ulaşabiliyor. Diğer yandan uygun katkıları ile plastiğin UV enerjisini absorplaması ve daha uzun, görünür bölgede, dalga boyları halinde yayması sağlanmaktadır. Yanmayı önleyici katkıları ile plastiklerin termal dayanıklılıkları arttırılabilmektedir.

## **GELECEĞİN POLİMER MALZEMELERİ: AKILLI POLİMERLER VE AKILLI JELLER**

Genel olarak metallerin ve diğer sert malzemelerin kullanıldığı günümüz teknolojisinin yerine gelecekte “akıllı malzemelerin ve ağırlıklı olarak “akıllı polimerlerin ve akıllı jellerin “yumuşak-ıslak” teknolojisinin” alacağını düşünüyorum. Gerek polimerik malzemelerin tarihsel gelişimi ve diğer bilim dalları ile etkileşimi ve gerekse son yıllarda polimer teknolojisinin gidişi bu durumu işaret ediyor.

Akıllı malzeme nedir? Malzeme bilimlerinde alışılmış olan, kullanılan malzemelerin kullanım süresince mümkün olduğu kadar özelliklerini değiştirmemesidir. Yani bu klasik malzemeler kullanım boyunca herhangi bir değişime uğramamaları için ve sadece buldukları yerde durmaları için “programlanıyor”. Ancak bu klasik anlayış yavaş yavaş değişmektedir. Artık malzemelerden kullanım sırasında bir şeyler yapmaları ve faydalı değişimlere uğramaları bekleniliyor. Örneğin eski çağlardan beri bina yapımında geçerli olan “ortam şartları ile mücadele etme” anlayışı yerini “ortam şartlarına uyum gösterebilen ve çevresel uyarılara cevap veren” anlayışa bırakıyor. Deprem bölgelerindeki binalarda yer sarsıntılarında direnen değil, ağaçların rüzgarda kırılmamak için sallanarak ayakta kalmaları gibi” yer sarsıntılarında cevap veren binaların yapımı arzuluyor. Bu değişimi tüm diğer mühendislik dallarında da gözlüyoruz.

Akıllı malzemeler çevreden gelen uyarılara özelliklerini veya şeklini değiştirerek cevap veren malzemeler olarak tanımlayabiliriz. Ancak bir anlamda tüm malzemelerin belli bir derece akıllılığı söz konusu. Örneğin ısıtıldıklarında genişlerler veya daha kolay işlenirler, bazılarının ısıtılması ile iletkenlikleri artar. Ancak malzemeyi gerçekten akıllı yapan bu tip değişimlerin malzemenin dizaynı ile ortaya çıkması. Çevreden gelen bir uyarıya hemen tüm malzemeler tepki vermezken sadece onlar tepki verirler, tepki boyutları çok fazladır, ve tepkileri çevreden gelen uyarının boyutlarına bağlı olarak değişiyor. Örneğin ısıtıldıklarında yüzlerce misli hacimlerini değiştirirler.

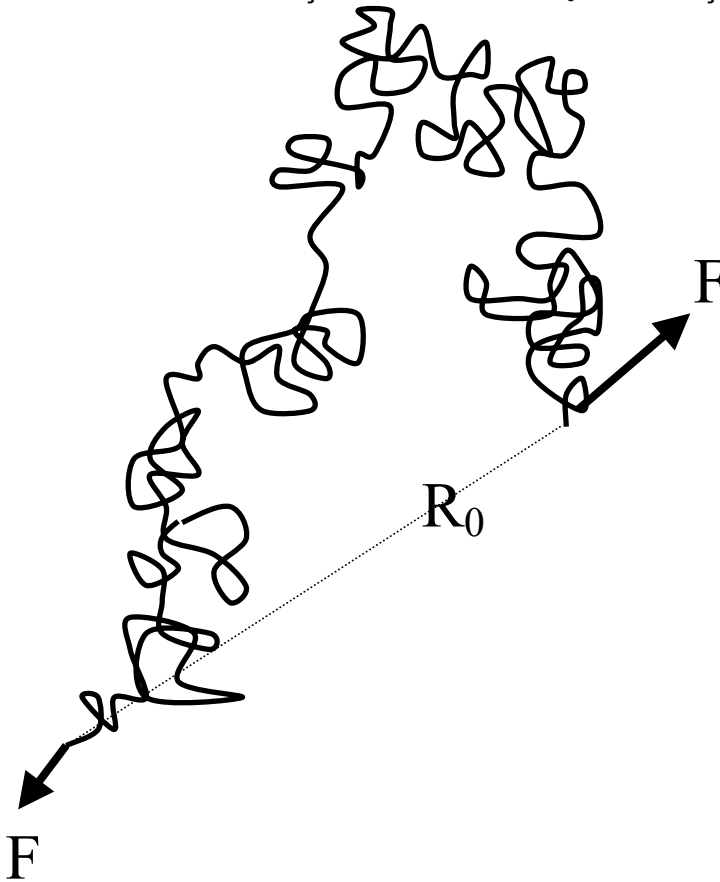
Genel anlamda mühendislik yapılarının, problemleri algılayan ve uygun cevaplar verebilen akıllı malzemelerle donatılmış olması gerekiyor. Yer sarsıntısını algılayan ve cevap veren akıllı malzemelere örnek olarak Osaka da Dowa Kasai Phoenix Tower (145 m) verilebilir. Bu binadaki DUOX titreşim kontrol sistemi gerek depremlerin ve gerekse kuvvetli rüzgarların neden olduğu sallantıları tamamen bastırıyor. Genelde akıllı malzemeler sistemleri iki farklı akıllı malzemenin oluşuyor: Biri titreşimleri hissediyor, buna bağlı olan diğer malzeme ise mekanik özelliklerini harekete bağlı olarak değiştiriyor. Diğer bir örnek, arabalarda ve uçaklardaki gürültüyü azaltma sistemleri: Ses dalgaları nedeniyle ortaya çıkan hava basıncındaki değişimlere duyarlı bir akıllı malzeme içeriyor, bu malzeme bu uyarıyı bir

elektrik sinyaline çeviriyor ve bu sinyal bir mikrofon yardımı ile gürültüyü yok edecek ses dalgaları yayıyor. Bu tip sistemler mekanik ve elektrik enerjisi birbirine çevirebilen piezoelektrik malzemelerden oluşuyor.

Akıllı malzeme kullanım konsepti yeni olmasına rağmen akıllı malzemeler uzun zamandır biliniyor. Biraz önce bahsettiğim piezoelektrik malzemeler, yani sıkıştırıldıklarında elektrik sinyali üreten malzemeler ilk olarak 1880 yılında Curie kardeşler tarafından keşfedildi. Kuarz gibi bazı doğal mineraller piezoelektriktir. Bugün kullanılan en önemli piezoelektrik kurşun-zirkonat-titanattır (PZT). Bu tip piezoelektrik malzemeler stress ve strain sensörü olarak kullanılabilir. Poliviniliden florür gibi bazı polimerlerde piezoelektriktir; sert ve kırılğan seramik malzemelere karşın tok ve yumuşak polimerlerin bu amaçla kullanımı bir çok avantaj sağlıyor. Böyle bir malzemeden yapılmış ve ince bir zar şeklinde bir tabaka örneğin dokunmaya duyarlı klavye olarak kullanılıyor.

### AKILLI POLİMERLER VE AKILLI JELLER:

Sahip oldukları üstün özellikleri nedeniyle polimerlerin akıllı malzeme olarak kullanılması üzerinde çok yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Polimerlerin akıllarının nereden geldiğini açıklamak için ilk önce bir polimer zincirinin polimer malzeme içinde nasıl bulunduğunu, yani gerilmiş bir ip gibi mi, yoksa kompakt bir yapıda mı olduğunu bilmek gerekiyor. Zincirin uzayda yönelmesine konformasyon diyoruz. Konformasyonu zinciri oluşturan monomerler ve aradaki bağ açıları ile dönme açıları belirliyor. N tane monomerden oluşan zincir için N-2 tane rastgele dönme açısı olacağından tüm dönme açılarının sıfır olma olasılığı, yani planar zig-zag konformasyon olasılığı hemen hemen sıfırdır. En büyük olasılık rasgele yumak şeklinde bir zincir ve zincir uçları arası mesafe  $R_0$  in N den çok küçük olmasıdır.



Şekil 2: Bir polimer zincirinin konformasyonu

Bir polimer zincirinin iki ucuna bir F kuvvetinin etki ettiğini düşünelim. Deformasyon öncesi uçlar arası mesafe  $R_0$  iken bu kuvvet etkisi ile mesafe R ye kadar artar. Deformasyon oranı  $x = R / R_0$  olarak tanımlarsak deformasyonda zincirin iç enerjisi değişmez, sadece entropisi değişir. Polimer zincirine yapılan iş  $x^2$  ile kuvvet ise x ile orantılıdır. Yani, bir polimer zincirinin Hooke yasasına uyduğunu ve polimer molekülünün bir yaya benzediğini görüyoruz. Sonuç olarak polimer zincirini nano ölçekte bir yay olarak göz önüne alabiliriz. Yay sabiti k polimerlerin elastik modülüne karşılık gelmektedir.

Bir metal yayın şeklini ancak onu çekerek değiştirebiliriz. Bir polimer zincirin şeklini sadece onu çekerek değil, çevreden gelen çeşitli uyarılarla da değiştirebiliriz. Sıcaklık, pH, solvent kalitesi, nem, elektriksel veya manyetik alan, toksinlerin varlığı, vb gibi etkilerle zincir boyutları değişebilmektedir. Polimer zincirlerinin diğer özellikleri dış etkendeki çok az bir değişiklik ile, örneğin ortam sıcaklığının çok az değişmesi ile aniden çok büyük boyut değişikliği göstermeleridir, 0.1 °C lik bir sıcaklık değişimi ile çözelti içerisinde boyutları 100 misli değişebilen sıcaklığa duyarlı polimer zincirleri örnek olarak verilebilir. Bu ani hacim değişikliği birinci dereceden bir faz geçişinin sonucudur.

Yukarıda bahsedilen zincir boyutlarındaki değişimleri çıplak gözle izleyemeyiz. Bu değişimler makroskopik olarak nasıl gözlenebilir? Çapraz bağlı polimer zincirleri ile mikroskopik ölçekteki zincir boyutlarındaki değişimler makroskopik olarak gözlenebilmektedir. Polimer zincirlerinin çapraz bağlanması ile oluşan yapıları hiç bir çözücüde çözemeyiz ancak şişirebiliriz. Sıvı ortamda şişebilen çapraz bağlı polimerlere polimer jeli denmektedir. Bir jel içindeki zincirlerin boyutlarındaki değişimleri makroskopik jel örneğinin boyutlarındaki değişimden izleyebiliriz. Örneğin jeli deforma ettiğimizdeki jel örneğinin boyutlarındaki deformasyon oranı tek tek zincirlerin deformasyon oranına karşılık gelmektedir. Sıcaklık, pH, nem, çözelti konsantrasyonu, manyetik veya elektrik alan, ışık, UV radyasyonu gibi çevresel uyarılara karşı şişerek veya büzülerek jeller cevap verebilmektedir. Akıllı jeller yada uyarı-cevap (stimuli-responsive) jeller denilen bu malzemeler konusunda fizikçiler, kimyacılar, biyologlar, tıp araştırmacıları ve mühendisler son yıllarda yoğun araştırmalar yapmaktadır.

Doğada pek çok jel vardır. En iyi bilineni gıda maddesi olarak kullanılan jöle olup katı kısmı hayvansan bir protein olan jelatinden oluşmakta olup geri kalan % 97'lik kısmı ise sudur. Göz boşluğunu dolduran sıvı, kan damarlarının duvarları, mide, bağırsak ve akciğer yüzeyleri jellerle kaplı, ayrıca iskeletteki eklemlere hareket olanağı sağlayan akışkan da jel yapısındadır. Jellere örnek olarak deniz anası verilebilir. İçerisinde basit organların bulunduğu suda şişmiş bir jelden oluşmaktadır. Bu durumda beslenir, çoğalır ve dış etkenlere karşı kendisini savunur. Örneğin herhangi bir dış etken kendisine dokunursa, elastik yüzeyini sertleştirir, bu saldırı durumu devam ederse vücut duvarını viskoz bir sıvı kütlesi haline getirerek kendini korur. Yani deniz anasına akıllı bir jel olarak bakılabilir.

Fiziksel jellerden farklı olarak kimyasal jellerde polimer zincirleri çapraz bağlarla birbirlerine bağlanır, ya da zincir oluşumu ve çapraz bağlanma aynı zamanda yapılır. Kimyasal jellerin sentezleri konusunda yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Jel sentezinde kullanılan monomer yapılarına bağlı olarak belirli çevresel uyarılara cevap verebilen akıllı jel sentezleri yapılmaktadır.

Akıllı jeller nerelerde kullanılıyor veya kullanılabilir:

**Kontakt lensler, yapay organlar vb gibi malzemelerin yapımı,**

**Hacımlarının bin misline kadar su emebilen jeller yani süperabsorbanlar:** ziraatta su tutucu olarak (suyu yavaş yavaş vererek toprağın daha uzun süre ıslak kalması sağlanıyor), çocuk bezi olarak günümüzde kullanılmaktadır.

**Kontrollü salınım sistemlerinde:**

Mide pH sı olan 1-2 civarında aniden şişen jeller içlerindeki ilacı midede boşaltmaktadır. Yada pH 7 nin üzerinde yani bağırsaklarda ilacını veren jeller veya vücut sıcaklığı 37oC nin üzerine çıktığında büzülerek ilacını atan jeller. Vücuttaki glükoz seviyesi kritik bir değerin üzerine çıktığında cevap olarak insulin salan sentetik pankreasta bunlara bir örnek. Balon tedavisinde kalp damarları içine takılan stend lerin yüzeyine son yıllarda ilaç içeren jeller kaplanmakta ve jelin ilacı uzun bir süreçte (6 ay) kalp damarına vermesi sağlanmaktadır.

Jeller **kemomekanik sistemler** oluşturmaktadır. Yani kimyasal enerjinin doğrudan mekanik işe çevrilmesi mümkün olmakta ve özellikle, güç elde etmek için kullanılan sıradan cihazların kullanımının sınırlı veya zor olduğu yerlerde, örneğin denizaltında, uzayda ve insan vücudunda kullanılmaktadır.

**Kimyasal sensör olarak:** fiber optik üzerine jel kaplanarak nem ölçer olarak kullanılıyor. Ortamdaki suyun jele girişi esasına dayanmaktadır. Köprü yapılarında su girişini ölçmek amacı ile PEO esaslı hidrojellerden optik elyaf sensörü geliştirilmiştir.

1996 yılında “**smart gel**” adıyla piyasaya çıkan ticari jel oda sıcaklığında yumuşak ve esnek olup, vücut ısısına maruz kaldığında katılaştıran bir yapıdır. Bu jel ayakkabıların ve patenlerin içine yerleştirilerek ayağa gerekli desteği ve konforu sağlamak amacıyla kullanılmakta.

**Çevresel uyarılara hızlı cevap veren jeller:** robotlar ve diğer mekanik aygıtlarda veya insan protezlerinde kas olarak kullanılması için çalışılmaktadır. “Jel el” diye geliştirilen bir sistem sıcaklık değişimi ile nesnelere tutmak amacıyla kullanılan bir tür mikro-cimbizdir.

**Görünmeyen makinalar** (hareketli parçaları gözle görülemeyecek kadar küçük makinalar): Klasik anlayışla böyle makinaların yapımı, yapıldıktan sonra tamiri çok zordur. Jeller ile mikroskopik subaplar yapılabilmektedir.

Çeşitli tipte **şekil hafızalı jeller** geliştirilmiş olup bu jeller dış etkenlere bağlı olarak şeklini değiştirebilmekte yada yazılar yazabilmektedir.

**Elektroreolojik sıvılar:** Mikroskopik polimer partiküllerin suspensiyonu olan elektroreolojik sıvılar elektrik alan altında katı ile sıvı arasında değişirler. Şok absorplayici, titreşim giderici olarak çok önemli kullanım alanları vardır. Bu sistemlerin manyetik eşdeğeri ise **magnetoreolojik sıvılar** (ferrosıvılar çok küçük manyetik partiküllerin süspensiyonu olup manyetik alan uygulandığında partiküller birbirlerine yapışarak ortamı katılaştırmaktadır.



“**shake gels**”: Kil ve polimer karışımlarının sulu çözeltileri çalkalandıklarında jel oluştururlar ve bir süre geçince tekrar sıvı haline dönüşürler.

Yakın zamanda geliştirilen **renk değiştiren jeller için:**

- Deęiřtirilme süreleri geldięinde ya da enfeksiyon olduęunda renk deęiřtiren yara bantları,
- Son kullanma tarihi geldiğinde renk değiştiren gıda ambalajları, gibi kullanım alanları görölüyor.

Diğer yandan **elektriksel uyarı ile renk değiştiren jeller de** yoğun ilgi çekmekte ve e-dergi yada e-kitap yapımında kullanımı araştırılmaktadır