

Yumuşak ve Akıllı Polimerler

“Hidrojel” olarak adlandırılan üç boyutlu polimerler suyla etkileşime girdiklerinde çözünmezler, ancak çok miktarda suyu emerek yumuşak bir hal alırlar. Bu özellikleriyle doğal sistemlere büyük bir benzerlik gösterirler ve vücudumuzun içerisine yerleştirilen çeşitli cihazların üretiminde kullanılırlar. Dış ortamdan gelen çeşitli uyarılara karşı şişerek veya büzülerek tepki verebilen “akıllı hidrojeller” ve çok kısa sürelerde (yaklaşık 30 saniye) orijinal ağırlıklarının 10 katından 1000 katına kadar suyu emerek şişen “süpergözenekli hidrojeller”, özellikle yeni tür biyomedikal cihazların geliştirilmesi amacıyla araştırmacılar tarafından değerlendirilmekte ve diğer teknolojik uygulamalar açısından da büyük bir gelecek vadetmektedirler.



Suyla etkileşimlerinde çözünmeyen ancak çok miktarda suyu yapısına alarak şişebilen, ağ-benzeri üç boyutlu yapıdaki polimerler **hidrojel** olarak adlandırılır. Hidrojeller, çapraz bağlayıcı varlığında, suyu seven (hidrofilik) yapıdaki monomerlerin polimerizasyonu ya da suyu seven yapıdaki polimer zincirlerinin çapraz bağlanmasıyla elde edilebilir. Çapraz bağlar, kovalent bağ, hidrojen bağı veya Van der Waals etkileşimleri şeklinde olabilir. Hidrojelin çözünmemesi, yapısındaki kimyasal ya da fiziksel çapraz bağların sonucu iken; yapısına çok miktarda su alması, suyu seven karakteri ve ağ şeklindeki gözenekli yapısından kaynaklanır. Hidrojellerin eşsiz özelliklerinden biri, şişme boyunca ve sonrasında orijinal şekillerini koruyabilme yetenekleridir.

Doğal, sentetik veya yarı-sentetik polimerler, hidrojellerin sentezlenmesinde kullanılabilir. Bu polimerlerin ortak özelliği suyu seven yapıda olmalarıdır. Sözü edilen polimerler radyasyonla veya kimyasal reaksiyonla çapraz bağlanarak hidrojel yapılar hazırlanır. Radyasyon reaksiyonları; elektron demeti, γ ışınları, X-ışınları veya UV ışınıyla gerçekleşir. Kimyasal çapraz bağlanma ise çift fonksiyonel gruba sahip, küçük molekül ağırlıklı bir çapraz bağlayıcı ajanın varlığında meydana gelir. Bu ajan, iki uzun polimer zincirini fonksiyonel grupları üzerinden bağlar.

Birçok hidrojel kurutulmuş haldeyken cam gibi sert bir yapıya sahiptir. Kuru bir hidrojel suyu bir ortamla etkileştiğinde, su, hidrojel yüzeyindeki makromolekül zincirleri arasındaki boş alanlara nüfuz etmeye başlar. Yapıya giren su molekülleri suyu seven gruplar ile etkileşir, bu sırada ağ yapı şişer, hidrojeldeki sudan korkan (hidrofobik) gruplar açığa çıkar ve bu gruplar da su molekülleri ile bağlanır. Suyun hidrojel tarafından emilmesi denge şişme seviyesine ulaşana kadar devam eder ve hidrojelin türüne bağlı olarak dakikalarca ya da günlerce sürebilir.

Hidrojellerin şişmesini etkileyen en önemli parametre çapraz bağlanma oranıdır. Yüksek derecede çapraz bağlanmış hidrojeller daha sıkı bir örgüye sahiptirler ve daha az şişerler. Çapraz bağlanma, polimer zincirinin hareket yeteneğini engeller, böylece jelin şişme miktarı düşer.

Hidrojeller, hazırlanma yöntemine, iyonik yüklerine veya fiziksel yapılarına bağlı olarak çok çeşitli şekillerde sınıflandırılabilirler. Örneğin, **homopolimer hidrojeller**, sadece bir tane suyu seven monomerin çapraz bağlanmasıyla elde edilebilen yapılar. **Kopolimer hidrojeller** ise iki komonomerin çapraz bağlanmasıyla hazırlanırlar, ancak monomerlerden biri mutlaka suyu seven yapıda olmalıdır. **IPN** (iç içe geçmiş ağ yapıdaki) **hidrojeller** ise çapraz bağlı iki polimerik örgünün fiziksel olarak birleşmesiyle oluşmaktadır. Hidrojeller iyonik yükleri açısından, yüksüz, negatif yüklü, pozitif yüklü ve her iki yüke de



sahip olabilirler. Fiziksel yapılarına göre şekilsiz (amorft) hidrojeller, yarı-kristalin hidrojeller ve hidrojen-bağlı hidrojeller olarak adlandırılırlar

Modern anlamdaki hidrojel araştırmaları, 1960 yılında Wichterle ve Lim tarafından gerçekleştirilen PHEMA (polihidroksietil metakrilat) sentezi ile başlamıştır. O zamandan itibaren, hidrojellerin

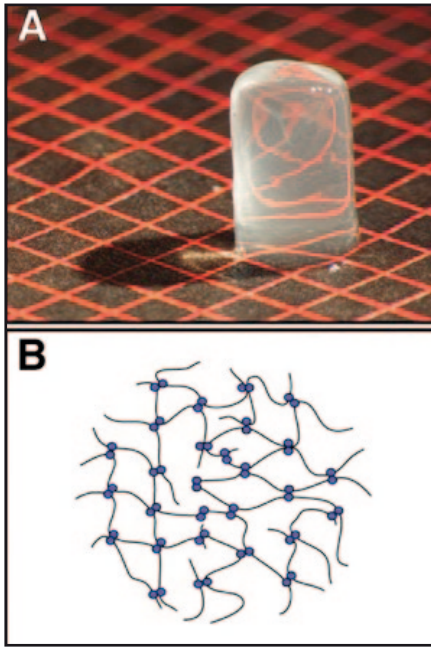
ler sentez ve uygulamalarında önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Doğal ve yapay olarak çok sayıda hidrojel bulunmaktadır. Göz boşluğumuzu dolduran sıvı, kan damarlarının duvarları ve iskeletteki eklemlere hareket imkânı sağlayan akışkan, doğal jel yapısındadır. Yumuşaklıkları, elastik oluşları, çok miktarda suyu emerek yapılarında tutabilmeleri, vücut sıvıları ve ilaç molekülleri için geçirgen oluşları ve vücutla uyumlu biyomalzemeler olarak sentezlenebilmelerinden dolayı hidrojeller günümüzde; biyoteknolojik ve tıbbi uygulamalarda özellikle de **kontrolü ilaç salım teknolojisinde** yaygın olarak kullanılan çok önemli malzemelerdir.

Biyomedikal uygulamalarda en çok kullanılan hidrojel, çapraz-bağlı PHEMA'dır. Sahip olduğu su içeriği nedeniyle doğal dokulara büyük bir benzerlik gösterir. Normal biyolojik reaksiyonlarda etkisizdir. Biyolojik ortamlarda bozunmaya karşı dirençlidir, vücut tarafından emilmez, otoklavda steril edilebilir, çok değişik şekil ve formlarda hazırlanabilir.

Biyomedikal öneme sahip bir diğer hidrojel, poliakrilamid'dir. Özellikle 1979 yılında Tanaka tarafından yayınlanan çalışmalarda, kısmi hidrolize uğramış poliakrilamid jellerin (N, N-isopropil akrilamid-PNIPAM) ortam koşullarındaki değişimlere keskin geçişlerle cevap verdikleri belirtilmiş ve bunlar **akıllı hidrojeller** olarak tanımlanmışlardır.

Hidrojellerin biyomedikal alandaki ilk uygulaması kontakt lens olarak kullanımındır.

Mekanik kararlılıklarının iyi oluşu, yüksek oksijen geçirgenliği ve uygun kırılma katsayısına sahip oluşları, kontakt lenslerde kullanılmalarının temel nedenidir. Hidrojellerin diğer uygulamaları; yapay tendon materyalleri, yara-iyileşmesinde biyoadeziv madde, yapay kas, yapay deri ve estetik cerrahide materyal olarak kullanımları şeklinde sıralanabilir.



A. Denei tüpünden çıkartılmış hidrojel
B. Hidrojelin 3 boyutlu ağ yapısı (polimer zincirleri ve bağlantı noktaları)

Günümüzde **yeni nesil hidrojeller** olarak adlandırılan **akıllı hidrojeller** ve **süpergözenekli hidrojeller** üzerinde, aralarında fizikçi, kimyacı, kimya mühendisi, biyolog ve tıp araştırmacılarının bulunduğu değişik disiplinlerden bilim insanları yoğun bir biçimde çalışmaktadırlar. Aşağıdaki bölümlerde bu hidrojeller ve özellikle insan sağlığı ile ilgili uygulamalarına yönelik açıklamalara yer verilmiştir.

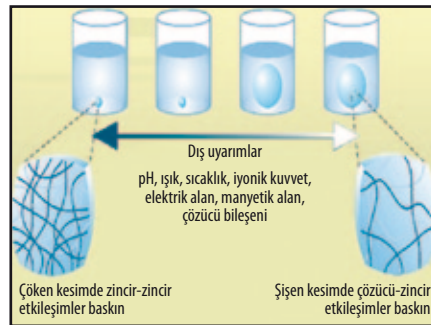
Akıllı Hidrojeller

Çevreden gelen küçük fiziksel ya da kimyasal uyarılara karşı büyük ve keskin fiziksel ya da kimyasal değişimler gösteren hidrojellere çevre-duyarlı hidrojeller veya diğer bir deyişle akıllı hidrojeller adı verilir. Herhangi bir malzemenin akıllı olması demek, dış ortamdan gelen uyarıları algılayıp yarar sağlayacak bir tepki üretebilmesi demektir. Hidrojeller farklı uyarılar (sıcaklık, pH, manyetik alan, elektriksel alan, ışık, vb.) karşısında şişme davranışlarında, örgü yapılarında, geçirgenlik özelliklerinde veya mekanik dayanımlarında değişiklikler gösterirler. Uyarı türüne bağlı olarak akıllı hidrojellerin farklı türleri mevcuttur.

Sıcaklığa duyarlı jeller: Üzerinde en çok çalışılan akıllı polimerlerden ikisi po-

li (N-izopropilakrilamid), kısaca PNIPAM ve poli (vinilmetileter), kısaca PVME'dir. Her iki polimer de sıcaklık artışıyla büzülürler. Aslında materyallerin pek çoğu ısıtıldıklarında enerjilerindeki artışın sonucu olarak genişlerler, çözünürlükleri de sıcaklıkla artar. Ancak, bu iki polimer tam ters bir davranış gösterirler ve sıcaklık **en düşük kritik çözelti sıcaklığı olarak adlandırılan** belli bir değerin üzerine çıktığında faz ayrımı meydana gelir ve polimer büzülür. PNIPAM ve PVME'in sıcaklık değişimine karşı gösterdikleri **şişme-büzüşme** davranışı geri dönüşlüdür. Bu nedenle yukarıda sözü edilen iki polimer **sıcaklığa duyarlı polimerler** olarak malzeme bilimi alanında ilgi odağı olmuşlardır.

PNIPAM'dan oluşan bir jel kritik sıcaklığın üzerine ısıtıldığında orijinal hacminin %30'una kadar büzüşebilmektedir. Benzeri bir diğer jel ise, PVME'in sulu çözeltisinin çapraz-bağlanmasıyla hazırlanmıştır ve 37°C'de hızlı ve tersinir bir şişme/büzüşme davranışı gösterir. Jel iplikçikleri 20°C'de 400 metre uzunlukta iken 40°C'de 200 metre'ye kadar büzülürler.



Akıllı hidrojellerin dış uyarılarla şişme-büzüşme davranışı.

PNIPAM-PAAM sisteminin bir diğer uygulaması ise **Jel el** olup, sıcaklık değişimiyle çeşitli nesnelere tutulması amacıyla kullanılan bir tür cımbızdır. Laboratuvar cımbızlarının yaklaşık milyonda biri boyutunda olan bu jel tutucular, sulu çözeltilerden göremeyeceğimiz kadar küçük nesnelere almada son derece uygun aletlerdir. Kullanım sırasında yapılacak şey, jeli nesneye yaklaştırmak ve sıcaklığı artırmaktır. Böylece PNIPAM tabakası büzülerek tutucu uçları birbirine yaklaşır ve hedeflenen nesne yakalanır. İki jel arasındaki ısı genleşme katsayısı farkı, iki metal

arasındakinden daha fazladır. Dolayısıyla, ikili jeller, ikili metal sistemlerden daha duyarlıdır. PNIPAM jeli, görünür ışığa hassas bir kromofor, örneğin klorofil, yerleştirilerek hazırlanan jel ise ışığın ısıtma etkisine bağlı olarak büzüşmektedir. Araştırmacılar 1 mikron çapındaki jelin tepki süresinin 5 milisaniye olduğunu ve bu jelin foto-duyarlı yapay kaslar ve hafıza cihazlarında kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Sıcaklığa-duyarlı jellerin doku mühendisliğinde hücre çoğaltmak amacıyla kullanımı konusunda da yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Genellikle doku hücreleri polimerik esaslı Petri kaplarında üretilir ve üreyen hücrelerin Petri kabının yüzeyinden geri alınması için proteolitik bir enzim (protein yapısını parçalayan bir enzim), örneğin tripsin kullanılır. Ancak, bu enzimler hücrelere zarar verir. Bu nedenle hücreleri bu tür bir enzim kullanmadan Petri kabından alabilmek için PNIPAM'ın sıcaklığa-duyarlı özelliğinden faydalanılması düşünülmüştür. PNIPAM'ın LCST değeri 32°C olduğundan 37°C'deki hücre kültür ortamında bu polimer **sudan korkan** özelliktedir ve hücreler **sudan korkan** polimer yüzeyine yapışarak ürerler. Üreme tamamlandıktan sonra sıcaklık 32°C'nin altına düşürülür ve suyu seven özellik kazanan PNIPAM yüzeyinden hücreler kopar. Bu yöntem basit ve ucuzdur, ayrıca hücre verimi yüksektir. **Hücre tabaka mühendisliği** olarak adlandırılan yeni bir yaklaşımla, sıcaklık-duyarlı doku kültür kaplarında hücreler tabaka halinde üretilmekte ve ardından bu tabakalar uygun düzende birleştirilerek doku oluşumu gerçekleştirilmektedir. Mesane, kalp dokusu, diş çevre dokusu ve oküler yüzeyler, hücre tabakalarının başarılı uygulamaları olarak kliniğe taşınmaktadır.



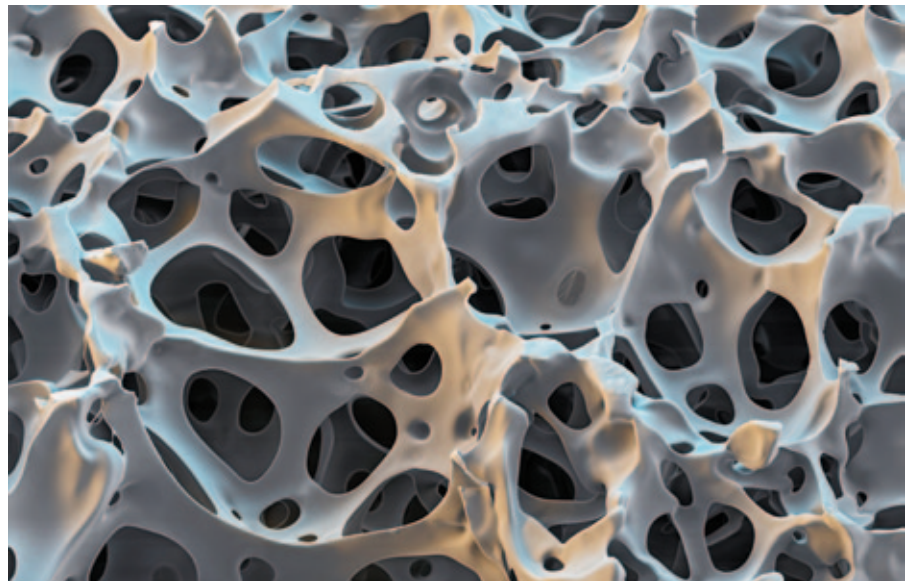
Sıcaklığa duyarlı hidrojellerin şişme-büzüşme davranışı (T sıcaklığı gösteriyor).

Tıp alanındaki önemli problemlerden biri, ilaçların uygun doku ve organlara istenilen dozlarda ve belli sürede verilmesi gerekliliğidir. Son yıllarda ilaç üreticileri, ilaçları sabit hızda salmak için polimerik yapıları kullanmaktadırlar. **Akıllı jeller**'e dayalı aygıtlar bu sistemlerin geliştirilmesinde önemli rol oynamaktadır. Jel, vücut içerisindeki şartlara duyarlı olduğundan salım hızını değiştirerek kandaki ilaç seviyesini uygun düzeyde tutabilecektir. Sıcaklığa-duyarlı polimerlerin kullanımıyla ilaç molekülleri jel örgüsünde hapsedilebilir ve sıcaklıktaki değişime cevap olarak dış ortama salınır. Örneğin PNIPAM kullanıldığında, suda çözünen ilaçlar oda sıcaklığında jel yapı içerisine dağılırlar. Bu sistem yani ilaç yüklü PNIPAM jel vücut sıcaklığına (37°C) maruz kaldığında ise ilaçla birlikte yapıdaki su jelden ayrılır ve jel büzülür. Suda çözünmeyen, yani **sudan korkan** yapıdaki ilaçlar ise tam tersi olarak LCST'nin üzerinde jel yapısına hapsedilirler ve LCST'nin altındaki sıcaklıklarda da dış ortama dağılırlar.

pH'ya duyarlı jeller: Akıllı jellerin diğer bir çarpıcı grubunu da pH'ya-duyarlı jeller oluşturmaktadır. Bunlar, pH değişimiyle jelin özelliklerinin değiştiği ve pH'ya bağlı şişme davranışının gözlemlendiği iyonik ağ yapılarıdır. İyonik ağ şeklindeki bu yapılar, zincirlerine takılı hem asidik, hem de bazik gruplar içerirler. Uygun pH ve iyonik güce sahip sulu ortamda bu gruplar iyonlaşarak jelde sabit elektriksel yük (pozitif veya negatif) oluştururlar ve bu elektrostatik kuvvetlerin birbirini itmesi sonucunda ağ yapıya çözücü (örneğin su) girişi artarak yapı şişer.

Asit-duyarlı ilaçları mide ortamından korumak için pH duyarlı jeller geliştirilmektedir. Bu tür jeller düşük pH'lara (örneğin mide pH'ı 1-2 arasında değişmektedir) maruz kaldığında büzüşmekte, fakat bazik ortamda yani bağırsaklarda (pH>7) şişerek geçirgen hale gelmektedir ve böylece içerisindeki ilacın uygun koşullarda salımına izin vermektedir. pH'ya duyarlı jellerin bir diğer ilginç uygulaması da şeker hastalığının tedavisi amacıyla insülin salımıdır.

Ticari olarak geliştirilen "Smart Hydrogel" isimli jel ise ilaç salımı ve cilt bakımında kullanılmak için tasarlanmıştır. Bu jel, sıcaklığa duyarlı olmasının yanı sıra, biyolojik dokulara yapışma ve kayma kuvvetlerine karşı hassas olabilmeye özelliklerine sahiptir. Yaygın olarak kullanılan tedavi amaçlı göz damlaları, gözyaşı tarafından seyreltildiğinden kısa sürede akar. Yukarıda sözü edilen jel ürün ise, göze sıvı ürün olarak düşmesine rağmen, gözdeki sıcaklığa maruz kaldığında daha özlü bir hale gelir. Kaymaya olan hassaslığından dolayı da göz her kırılışında sıvı hale gelip, jelin bütün göze eşit miktarda yayılmasını sağlar. Böylelikle, içerisinde yüklenen ilacı uzun bir sürede yavaş yavaş göze salar. Bu jel, benzer şekilde burun spreyleri için de kullanılabilir.



Süpergözenekli bir hidrojel gözenek yapısını gösteren taramalı elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafı.

nılabilir. Özellikle insülin gibi ilaçların bu tür bir sistemden burun yoluyla salımı konusunda çalışmalar yapılmakta ve başarı sağlandığı taktirde bu uygulamanın enjeksiyon yönteminin yerini alabileceği düşünülmektedir.

"Smart Gel" adıyla 1996 yılında piyasaya sürülen ticari jel, oda sıcaklığında yumuşak ve esnek olup, vücut ısısına maruz bırakıldığında katılaştıran bir yapıdır. Bu jel, ayakbabilir (özellikle patenlerin) içine yerleştirilerek, ayağa gerekli desteği ve konforu sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

Manyetik alana duyarlı jeller: Araştırmacılar, bir ferromanyetik (yüksek mıknatıs gücü olan) malzemeyi jel içerisine gömmüşler ve jeli manyetik alana maruz bırakarak ısınmasını sağlamışlardır. Manyetik alan kaldırıldığında jel soğuyarak başlangıç haline dönmüştür. Bu tür jellerin, vücut içerisine yerleştirilebilen ilaç salım sistemlerinde, yapay kas gibi uygulamalarda, kimyasal reaksiyonlar için kimyasalları salan ve karıştıran sistemlerde kullanılabilmesi belirtilmektedir. İlaç salımı için, bir güç desteği ve manyetik alan sağlamak üzere kullanılan bobinden oluşan bir cihaz tasarlanmaktadır. Hasta, bu cihazı, vücuduna yerleştirilmiş jel üzerine getirip, düğmeye basarak manyetik alanı harekete geçirecek ve jelin ilacı salmasını sağlayacaktır.

Elektriksel alana duyarlı jeller: Elektriksel kontrol altında şişen ve büzüşen jeller ise **kimyasal vanaların** temelini oluşturmaktadır. Bu tür uygulamalar için jel, gözenekli zar şeklinde hazırlanır ve kenarlarından bir desteğe tutturulur. Jel büzüştüğünde, zardaki gözenekler zorunlu olarak genişleyerek sıvıların ve çözülmüş moleküllerin zardan geçişine izin verirler. Jel şiştiği zaman ise, gözenekler büzülür ve akış durur. Araştırmacılar akımı orta değerlerde tutarak gözenek boyutunu kontrol edebilmekte ve böylelikle hangi akım değerlerinde, hangi moleküllerin zardan

geçebileceğinin tayini mümkün olmaktadır. Bu tür sistemler, değişik boyuttaki molekülleri içeren karışımların ayrılmasında kullanılmaktadır.

Araştırmacılar, ilaçları veya diğer biyomolekülleri elektriksel alandaki değişime bağlı olarak salacak jelleri de geliştirmektedirler. Örneğin zayıf çapraz-bağlı polielektrolit jelden oluşan sisteme elektrik akımı verildiğinde; jel, insülinin dışarı yayılmasına izin vermekte, fakat akım

kesildiğinde akışı derhal durdurmaktadır. Bu jel şeker hastalığı tedavisinde kullanılmak üzere hazırlanan, vücuda implante edilebilen ve hareketli kısmı olmayan insülin pompasının temelini oluşturmaktadır. Bu pompa, insülin üreten hücrelerin (β -islet hücreleri) aljinat jel içerisine hapsedilmesi sonucu geliştirilmiştir.

Jellerin şişme ve büzüşme davranışı özellikle tıp ve biyoteknoloji alanlarında önemli yararlar sağlamasına rağmen,

araştırmacılar son 40 yıldır jellerin güç üretiminde kullanılması fikri üzerinde ısrarla durmaktadırlar. Bu konudaki ilk çalışma İsrail Weizman Enstitüsü'nden Werner Kuhn tarafından 1950 yılında gerçekleştirilmiştir. Jelin bulunduğu asidik ortamın pH'ı değiştirilerek genişleme veya büzüşme sağlanmış ve böylelikle ilk "kemomekanik sistem" geliştirilmiştir. Günümüzde akademik ve endüstriyel laboratuvarlarda hem büyüklük hem de

Süpergözenekli Hidrojellerin Değişik Uygulamaları

Midede alıkonan cihazların

geliştirilmesi: Bu uygulamada amaç, ağızdan alınan ilaç yüklü hidrojelin hızlı bir biçimde şişerek yeterli büyüklüğe ulaşması ve midenin onikiparmak bağırsağına açılan kısmından geçemediği için ilaç salımının uzun sürede gerçekleşmesidir. Hızlı şişmenin başlangıçtaki amacı, 20 dakika içerisinde maksimum şişmeye ulaşmaktır. Çünkü suyun mide içerisinde 30 dakika boyunca kalabildiği bilinmektedir. Polivinilpirolidon (PVP) süpergözenekli hidrojeller kullanılarak yapılan hayvan deneylerinde, hidrojelin mide içerisinde 24 saatten fazla kalabildiği ve etkin ilaç salımının sağlandığı görülmüştür.

Oral peptid salım sistemlerinin

geliştirilmesi: Süpergözenekli hidrojeller, çeşitli peptid ve protein ilaçların ağız yoluyla alındığı salım sistemlerinin geliştirilmesinde de kullanılabilir. Yakın zamana kadar, peptid ilaçları en çok sindirim kanalı dışında, damar, kas, deri altı enjeksiyonu gibi herhangi bir yolla vücuda veriliyordu ve süpergözenekli hidrojel uygulamalarına dek, ağız yolu yaklaşımı



Süpergözenekli hidrojelin midede alıkonması.

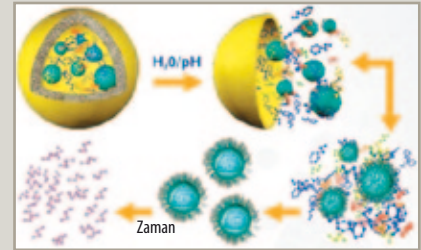
yoktu. Süpergözenekli hidrojellerin kullanımıyla salım sistemlerinin hacimleri 200 kat kadar arttırılabilmektedir. Böyle bir hacim artışı, jelin bağırsak duvarına yapışmasına izin verir ve ilacın doğrudan bağırsak çeperine salınmasını sağlar. Peptid ilaçları salınıp, bağırsak çepi tarafından emildikten sonra, süpergözenekli hidrojeller, fazladan su alarak bağırsağın peristaltik güçleri ile parçalanır ve vücuttan kolayca uzaklaştırılırlar.

Diyet amaçlı kullanım: Kilo kontrolü sağlamada, süpergözenekli hidrojeller kullanılarak, karın boşluğunda anlamlı bir alan kaplanarak yiyecekler için yer azaltılmış olur. Bu şekilde iştah bastırılmış olur.

Anevrizma tedavisindeki uygulama:

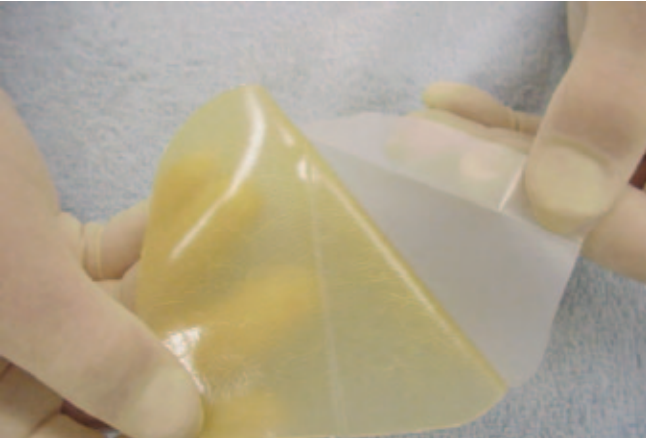
Damarın belli bir bölgesinin genişlemesinden oluşan şişlik olarak tanımlanan **Anevrizma** (damar çatlaması) tedavisinde, yeni biyomedikal cihazlar geliştirilirken süpergözenekli hidrojeller kullanılmıştır. Özel bir görüntüleme metodu ile anevrizmanın şekli ve büyüklüğü saptandıktan sonra, daha ufak boyutlarda, fakat aynı şekilde süpergözenekli hidrojeller yapılabilir. Anevrizmanın olduğu bölgeye süpergözenekli hidrojel yerleştirildiği zaman, hızlı bir şişme meydana gelerek o bölgeyi doldurur ve kanın pıhtılaşmasını sağlar. Seyrek de olsa, süpergözenekli

hidrojel parçacıkları, kanın tümörlere doğru akışını engellemek için dolaşımı bloke edici ajan olarak da kullanılabilir.



pH'ya duyarlı polimerik ilaç kapsüllerinden ilaç moleküllerinin salımı.

Diğer uygulamalar: Süpergözenekli hidrojeller ilaç ve biyomedikal ürünler dışında farklı uygulama alanlarında da kullanılmışlardır. Süpergözenekli hidrojellerin değişik şekillerde hazırlanabilmesi ve hızlı şişme özelliğinden dolayı çocuklar için ilgi çekici bir oyuncak olabileceği düşünülmüştür. Bir süpergözenekli hidrojel, kuru ağırlığının birkaç katı kadar suyu emme özelliğine sahiptir. Bu özelliği kullanarak, çevrede istenmeyen sıvıların herhangi bir yere rastlantısal olarak dökülmesine engel olunabilmektedir. Süpergözenekli hidrojeller neme hassasiyeti olan malzemelerin içerisine su girişine engel olmak için de kullanılmaktadır. Bu tür malzemeler süpergözenekli hidrojellerle kaplanır ve malzeme neme maruz kaldığında, su, hidrojel tabakası tarafından tutularak malzemenin zarar görmesi engellenir.



Elastik özellik kazandırılmış süpergözenekli hidrojel.

şeklini değiştirebilen jellerin hazırlanmasıyla kimyasal enerjinin doğrudan mekanik işe çevrimi (kemomekanik sistem) mümkün olmaktadır. Bu tür sistemler, güç elde etmek için kullanılan konvansiyonel cihazların kullanımının sınırlı veya zor olduğu yerlerde örneğin denizaltında, uzayda veya insan vücudunda kullanılabilirlerdir.

Süpergözenekli Hidrojeller

Bir hidrojinin yapısındaki su içeriği, hidrojinin toplam ağırlığının en az %10'unu oluşturmakta ve %95'i aştığı durumda, hidrojel **süperabsorbent** olarak adlandırılmaktadır. Yaklaşık olarak 30 yıl önce, süperabsorbent polimerler, gıda ve çocuk bezi endüstrilerine girmiş ve bu polimerlerin uygulamaları su tutma özelliğinin önemli olduğu diğer alanlara da genişlemiştir.

Süperabsorbent hidrojinlerin şişme hızı, hazırlanmaları sırasında kullanılan materyallere ve üretim yöntemine bağlı olarak değişmektedir. Hızlı şişme olabilmesi için hidrojinin boyutu olabildiğince küçültülmelidir. Bir süperabsorbent türü olan "**süpergözenekli hidrojel**" ise ilk olarak 1998 yılında, kontrollü ilaç salımında kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Süpergözenekli hidrojel, boyutları ne olursa olsun, bir dakikadan daha kısa sürede, şekillerini koruyarak şişmekte ve bu davranışlarıyla süperabsorbent hidrojelardan farklılık sergilemektedirler.

Camsı haldeki kuru bir hidrojinin içerisine suyun emilimini hızlandırmak için en iyi yol; hidrojel yapısı boyunca birbirine bağlanmış, yayılmayı sağlayacak olan gözenekler meydana getirmektir. Birbirine bağlanmış gözenekler, kapiler güç ile suyun hızlı emilimine izin verecektir. Gözenekli hidrojel yapmanın en basit yolu, vinil monomerlerinin

çapraz bağlanma reaksiyonu sırasında gaz baloncukları oluşturmaktır. Karbondioksit baloncukları meydana getirmek için, monomer karışımına sodyum bikarbonat eklenir. Gaz baloncuklarının meydana gelmesi ile köpükler yükselmeye başlar ve vinil monomerleri hızla polimerleşir. Köpükler hidrojel içinde biçimlenerek kararlı hale geçtiğinde, polimerizasyon tamamlanmış demektir. Böylelikle içerisinde büyük ve birbirine bağlantılı gözenekler içeren hidrojel sentezlenmiş olacaktır.

Süpergözenekli hidrojinlerin kullanımını sırasında karşılaşılan en büyük problem, şişme sonrasında yapının mekanik dayanımını büyük ölçüde kaybetmesidir. Yakın zamanda, elastik özelliklere sahip süpergözenekli hidrojel hazırlanmıştır. Şişen hidrojel, kopmadan neredeyse iki katına kadar uzayabilir. Elastik süpergözenekli hidrojel yapmanın yolu, hidrojinleri iç içe geçmiş ağ yapı formunda sentezlemektir (IPN yapılar).

Hızlı ve yüksek şişme özellikleri süpergözenekli hidrojelere çok önemli bir yetenek kazandırmaktadır. Suyu emerek şiştiklerinde, şişme boyunca dış tarafa doğru anlamlı bir kuvvet uygulamaktadırlar. Süpergözenekli bir hidrojel (0,5 gram ağırlığında) şiştiği zaman 100 gram ağırlığındaki bir maddeyi bir dakika gibi kısa bir sürede yukarı kaldırmaktadır. Bu özellik süpergözenekli hidrojel için oldukça etkileyicidir ve birçok uygulamada kullanılmaktadır. Hidrojinin uyguladığı bu kuvvet, bir alarm sisteminin tetikleyicisi olarak su baskınlarının tespitinde de kullanılıyor.

Yeni yaklaşımlarla süpergözenekli hidrojelde de **akıllı** olabilmek özelliği kazandırılmaktadır, ya da başka bir ifadeyle akıllı hidrojel süpergözenekli formda hazırlanabilmektedir. Tüm bu gelişmelerin ışığında, akıllı polimerlerin yumuşak formlarının teknolojik ilerlemeleri de beraberlerinde getirecekleri ve geleceğin malzemeleri olarak uygulamalarda önemli bir yer alacakları açıktır.



Hacettepe Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nden 1982 yılında mezun olan Menemşe Gümüşderelioğlu, yüksek lisans ve doktora eğitimlerini de aynı bölümde tamamladı. Fulbright bursiyeri olarak 1994-1995 yıllarında Tufts Üniversitesi ve Harvard Medical School, Blood Research Center'da araştırmalar yapan Gümüşderelioğlu, 1997 yılında TÜBİTAK Bilim-Teşvik Ödülü'nü aldı. 1998'den bu yana Hacettepe Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü'nde Profesör olarak görev yapıyor. Polimerik biyomalzemeler, hayvansal hücre biyoteknolojisi ve doku mühendisliği konularında çalışmalar yapıyor. SCI kapsamındaki dergilerde yayınlanmış 80 civarında makalesi ve bir kitabı var.