

POLİELEKTROLİT



HAZIRLAYAN : BERNA GÜÇLÜ
202110105038

Danışman : Prof. Dr. Taner TANRISEVER

POLİELEKTROLİTLER

1. POLİELEKTROLİT NEDİR?

2. POLİELEKTROLİTLERİN
ELDE EDİLİŞLERİ

3. POLİELEKTROLİTLERİN
SINIFLANDIRILMASI

4. POLİELEKTROLİTLERİN
SUDA ÇÖZÜNÜRLÜĞÜ

İ
Ç
E
R
İ
K

5. DOĞAL BİR POLİELEKTROLİT
OLAN KİTOSAN NASIL ELDE
EDİLİR ?

6. POLİSİTİRENSÜLFONAT
POLİELEKTROLİT SENTEZİ

7. DOĞAL BİR POLİELEKTROLİT
OLAN HYİLÜRONİK ASİT VE
UYGULAMA ALANLARI

8. POLİELEKTROLİT
KAPLAMALAR

1. POLİELEKTROLİT NEDİR?

POLİMER

+

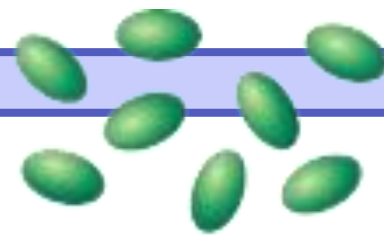
ELEKTROLİT

=

POLİELEKTROLİT

Polimer Nedir ?

Polimer, çok sayıda küçük monomerlerin kovalent bağlarla art arda bağlanmasıyla oluşmuş, yüksek molekül ağırlıklı bir yapıdır.



MONOMER

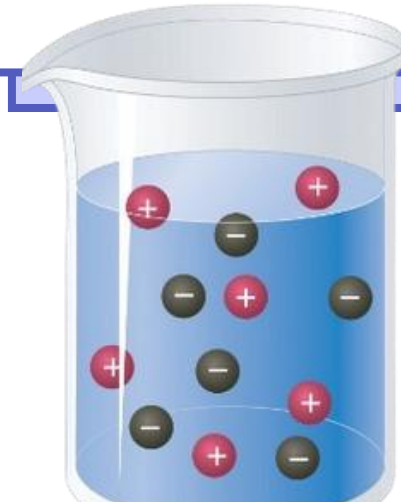
POLİMERİZASYON



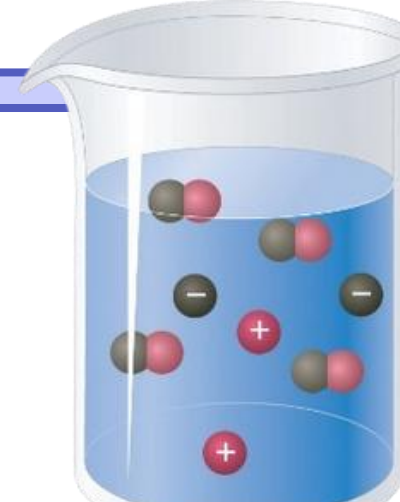
POLİMER

Elektrolit Nedir ?

Elektrolit, polar bir çözücü içinde iyonlarına ayrışarak elektrik akımını iletebilen bir ortamdır. Bu iletkenlik, metallerde olduğu gibi elektronların değil, çözeltide serbestçe hareket eden katyon ve anyonların yer değiştirmesiyle sağlanır.



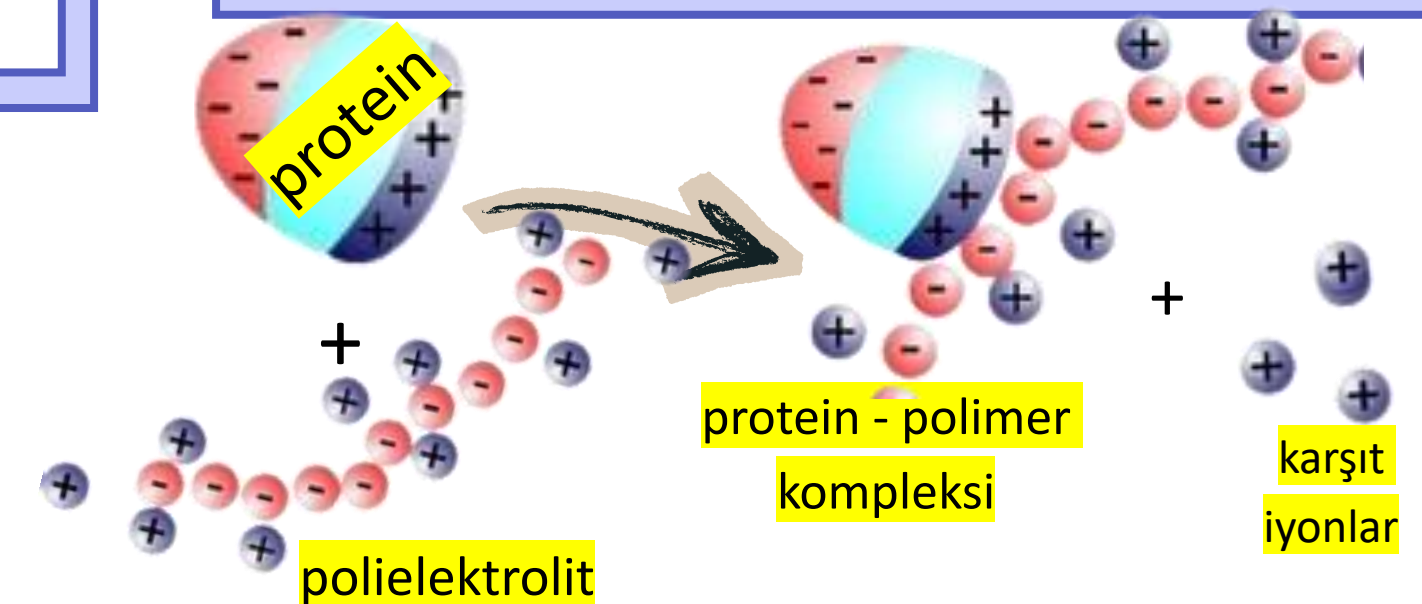
Güçlü elektrik iletkenliği



Zayıf elektrik iletkenliği

Polielektrolit Nedir ?

Polielektrolitler, yapısal olarak uzun bir zincirden (polimer) oluşan ve bu zincir üzerindeki birimlerde iyonlaşabilen (elektrik yükü kazanabilen) gruplar taşıyan makromoleküllerdir. Su gibi polar bir çözücüye girdiklerinde, zincir üzerindeki gruplar ayrışarak polimer zincirini elektrikle yükler, bu sırada çözeltiye de "karşı iyonlar" salınır.



2. POLİELEKTROLİTLER NASIL ELDE EDİLİR ?

Polielektrolitler, ana polimer zinciri üzerinde tekrarlayan iyonize olabilen (yükli) gruplar bulunduran makromoleküllerdir. Literatürde, polielektrolitlerin sentezi ve bir araya gelmesi için kullanılan üç temel akademik yaklaşım mevcuttur. Bunlar ;

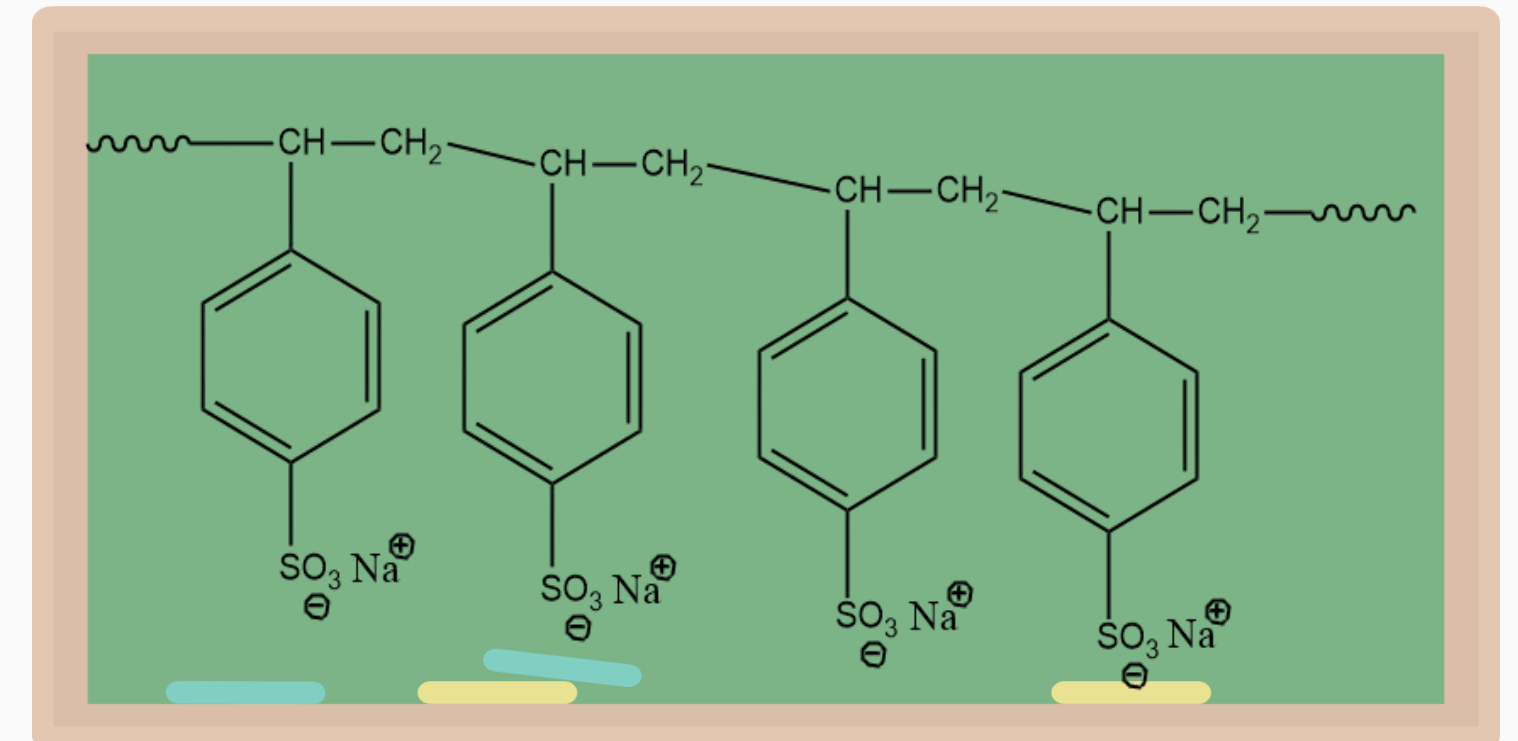
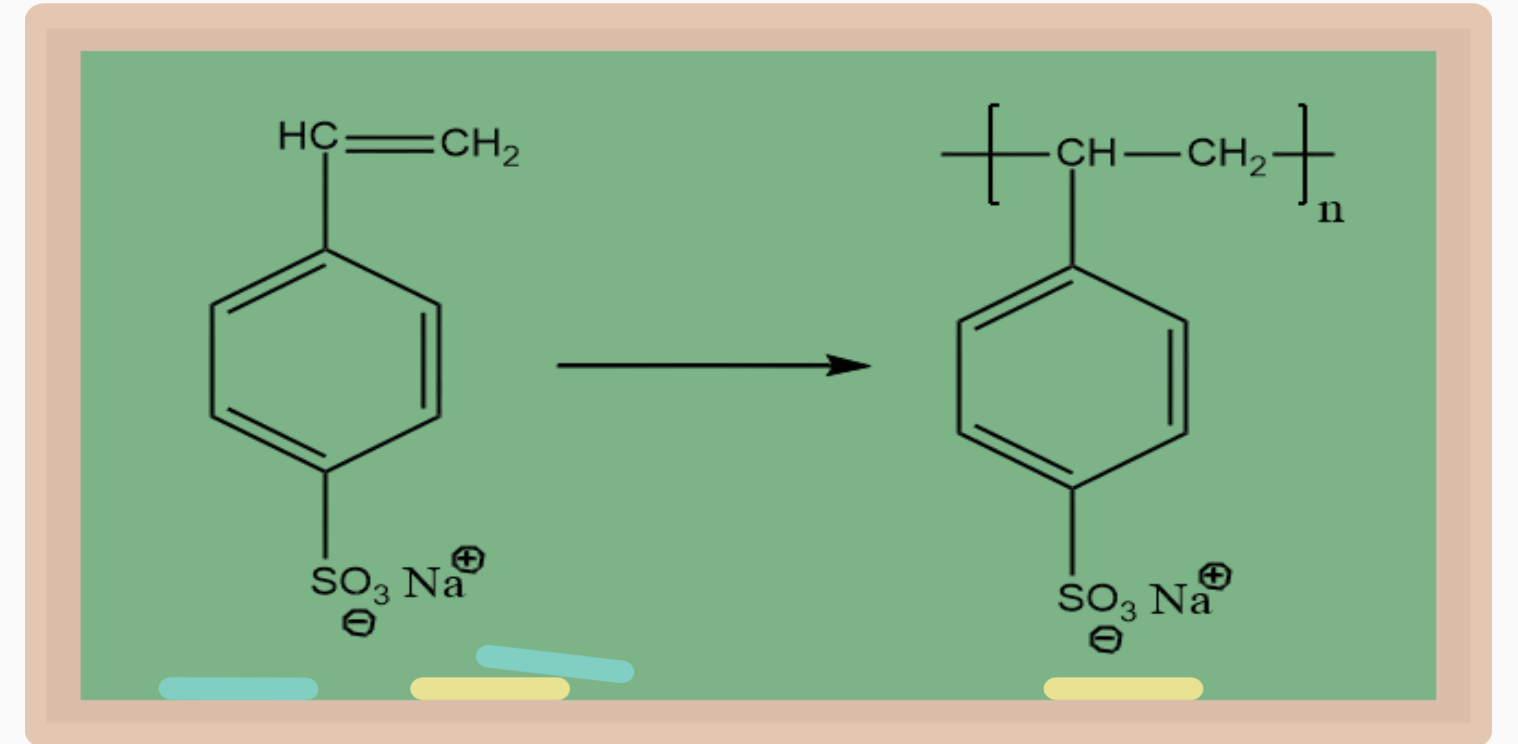
01

1. Doğrudan Polimerizasyon:

İyonik bir monomerin (yükli grup taşıyan birim) doğrudan polimerleşmesi sürecidir.

Örnek: Sodyum stiren sülfonat monomerinin polimerleşerek Poli(sodyum stiren sülfonat) (PSS) oluşturması.

Mekanizma: Monomer zaten yükli; polimer zinciri büyüdükçe yük yoğunluğu doğal olarak oluşur.



2. POLİELEKTROLİTLER NASIL ELDE EDİLİR?

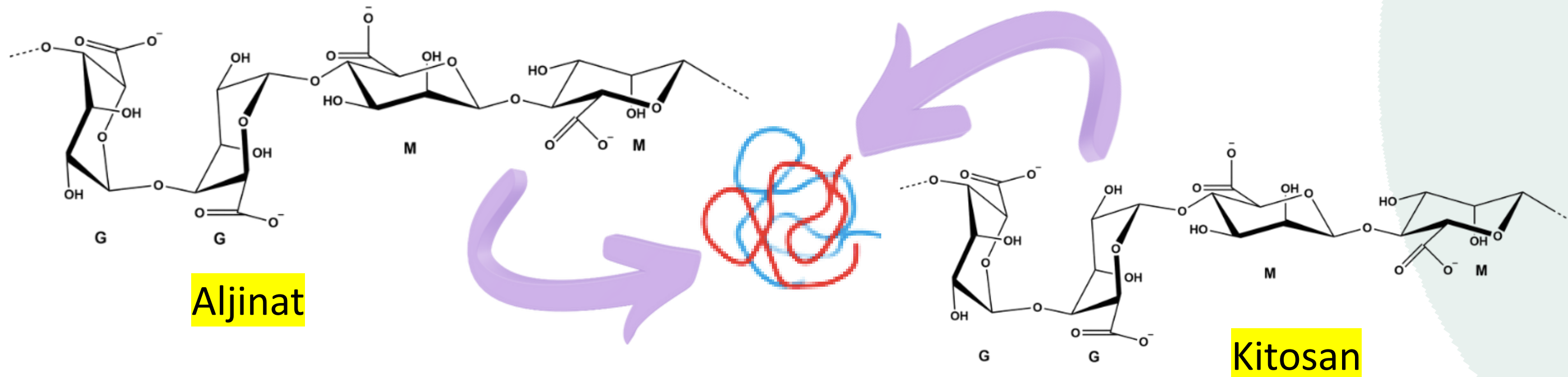
02

2. Polielektrolit Kompleksleşmesi (Polyelectrolyte Complexation - PEC) :

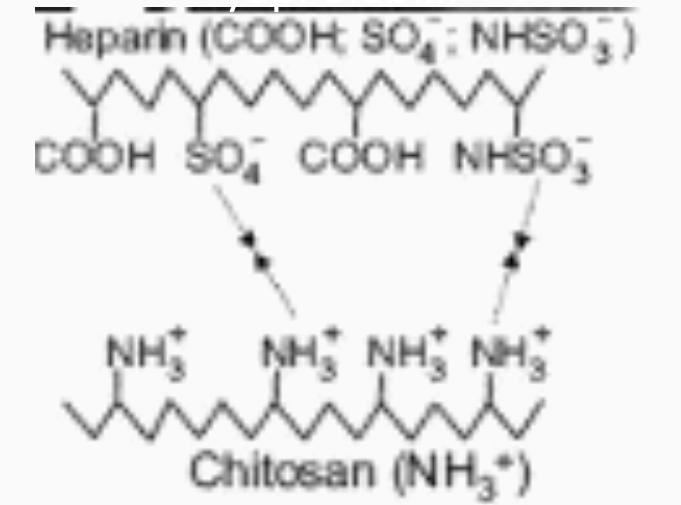
Bu yöntem yeni bir polimer zinciri "sentezlemez", ancak var olan zıt yüklü iki polielektrolitin elektrostatik etkileşimiyle yeni bir polielektrolit fazı/yapısı oluşturur.

Örnek: Negatif yüklü Aljinat ile pozitif yüklü Kitosan'ın karıştırılarak bir hidrojel veya mikroküre oluşturması.

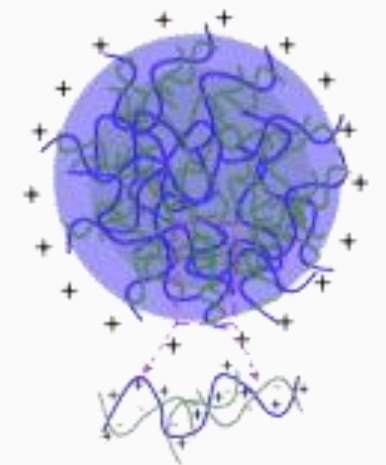
Mekanizma: Çözelti ortamında zıt yükler birbirini çeker, su molekülleri ve küçük karşı iyonlar (counter-ions) sistemden ayrılır (entropik kazanç) ve katımsı bir kompleks oluşur.



Heparin (-) + Kitosan (+)
Güçlü elektrostatik çekim oluşturur .
Polielektrolit kompleksi (PEC)
meydana gelir. Kompleks sonucunda
çökelti, nanopartikül /hidrojel yapısı
oluşturabilir. Yük dengesi oranına bağlı
olarak: Stabil, yarı çözünür, tam çöken



pH = 1.2



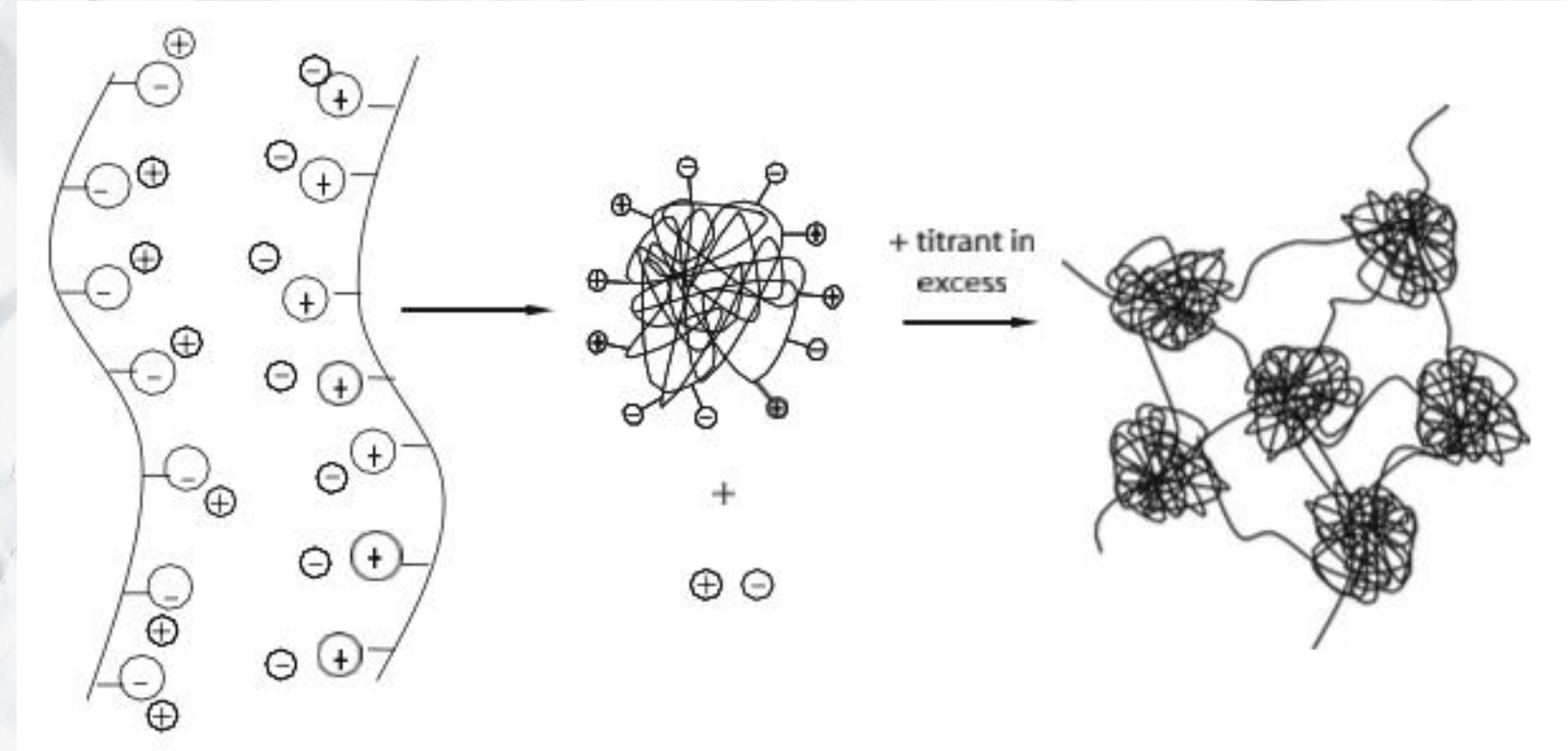
2. POLİELEKTROLİTLER NASIL ELDE EDİLİR?

POLİELEKTROLİT KOMPLEKSLEŞMESİ ve TOPLANMA MEKANİZMASI

Zıt yüklü polianyon ve polikasyonların etkileşimiyle polielektrolit kompleksleri oluşur ve bu süreç titrant miktarına bağlı olarak iki aşamada gerçekleşir.

Düşük titrant derişimlerinde, elektrostatik çekim sonucu küçük ve yüzey yüklü kompleksler meydana gelir; bu kompleksler birbirini itmeye devam ettiği için sistem genellikle homojen, berrak veya hafif opalescent görünüm sergiler.

Titrant miktarı arttıkça, yük nötrleşmesi ilerler ve yüzey yüklerinin azalmasıyla birlikte kompleksler arası itme zayıflar. Bu durumda kompleksler birleşerek daha büyük agregatlar oluşturur ve sistem bulanıklaşma veya çökeltme eğilimi gösterir.



Kompleks agregatlarının kararlılığı; polielektrolitlerin kimyasal yapısına, pH'a, iyonik güce ve polimer konsantrasyonuna bağlıdır. İyonik gücün artırılması, elektrostatik etkileşimleri zayıflatarak agregatların yeniden çözünmesini sağlayabilir ve sistem tekrar berrak hâle gelebilir.

2. POLİELEKTROLİTLER NASIL ELDE EDİLİR?

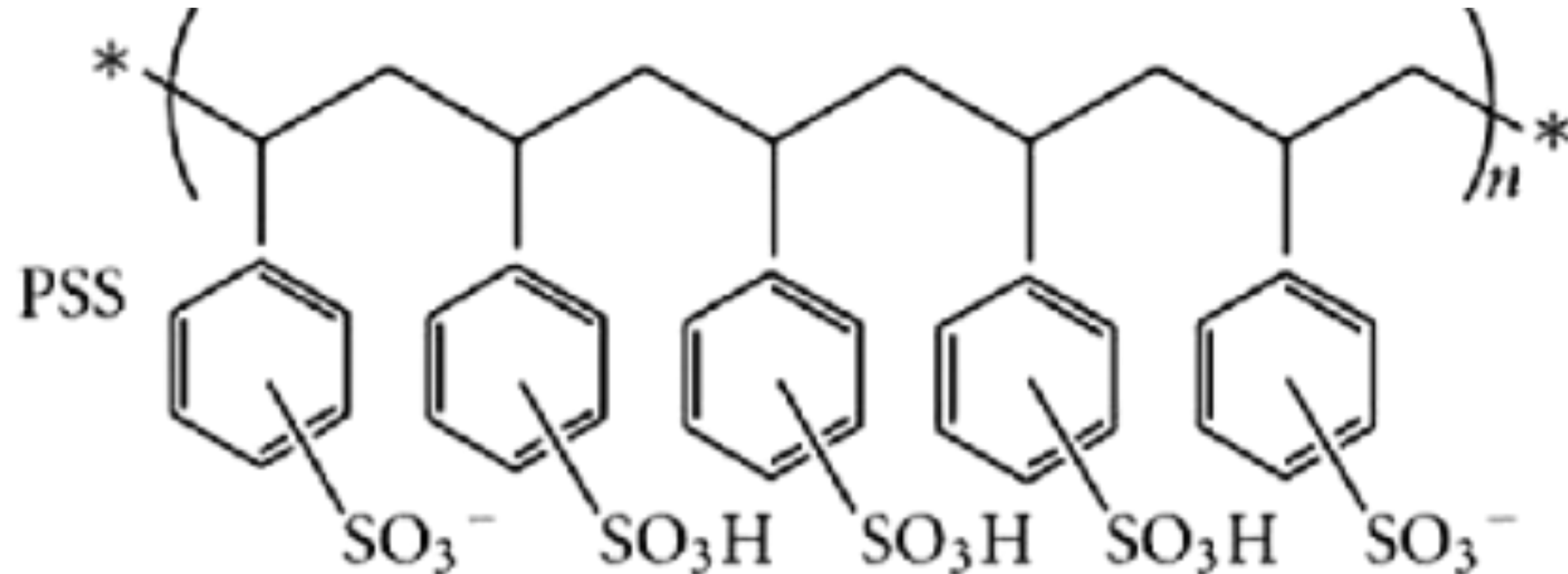
03

3. Polimer Sonrası Fonksiyonelleştirme (Modifikasyon):

Nötr bir polimerin, sentezlendikten sonra kimyasal bir reaksiyonla yüklü hale getirilmesidir.

Örnek: Nötr Polistiren zincirine sülfürik asit ile sülfonasyon işlemi yapılarak PSS elde edilmesi.

Mekanizma: Önce ana iskelet kurulur, ardından "tak-çıkar" mantığıyla fonksiyonel gruplar eklenir.



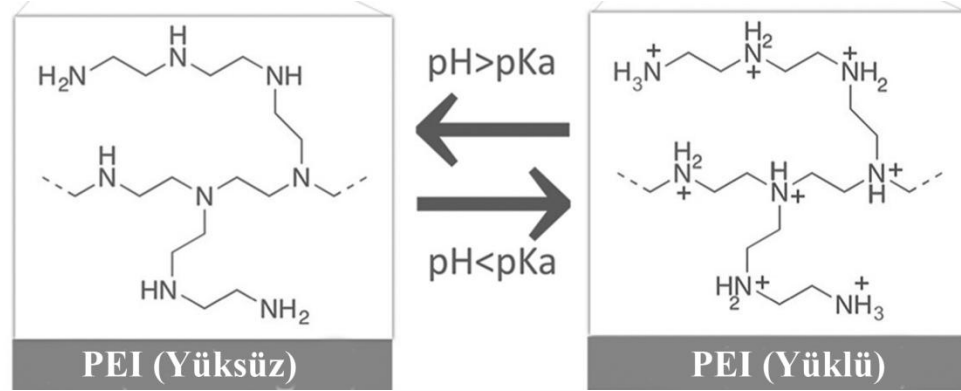
ÖZET KARŞILAŞTIRMA TABLOSU

MEKANİZMA	BAŞLANGIÇ MATERYALİ	TEMEL AVANTAJI
Doğrudan	Yüklü Monomer	Yük dağılımı homojendir ve kontrolü kolaydır.
Modifikasyon	Nötr Polimer	Mevcut ticari polimerler (naylon, PS vb.) yüklü hale getirilebilir.
Kompleksleşme	Zıt Yüklü Polimerler	Kimyasal bağlayıcı (cross-linker) gerektirmez, biyoyumludur.

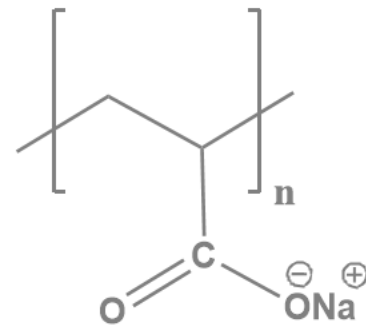
3. POLİELEKTROLİTLERİN SINIFLANDIRILMASI

Yük Tipine Göre

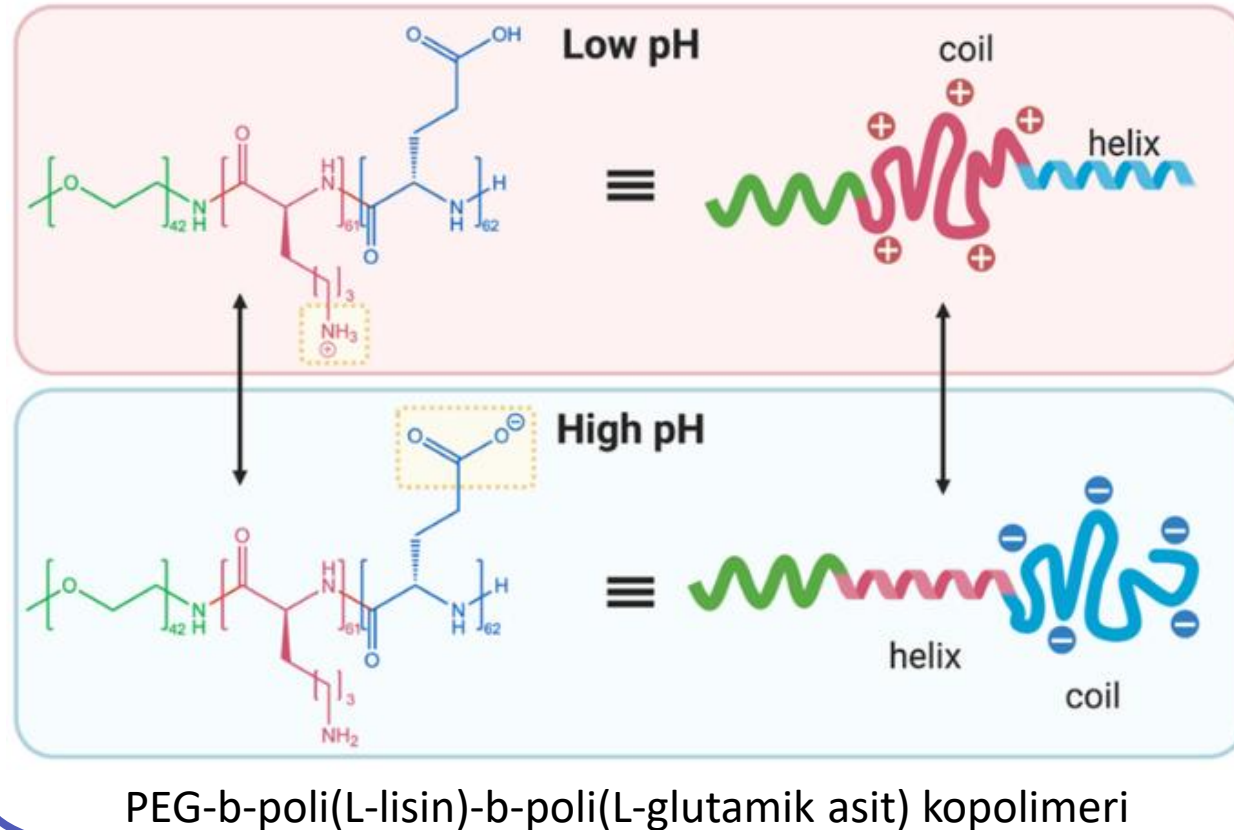
Polikasyonlar



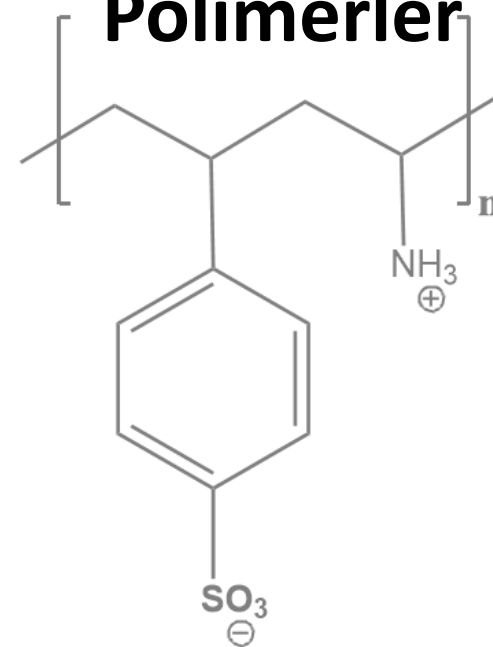
Polianyonlar



Poliamfolitler



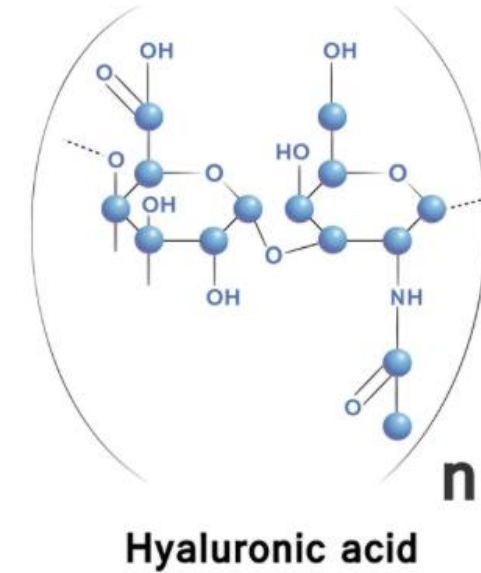
Zwitteriyonik
Polimerler



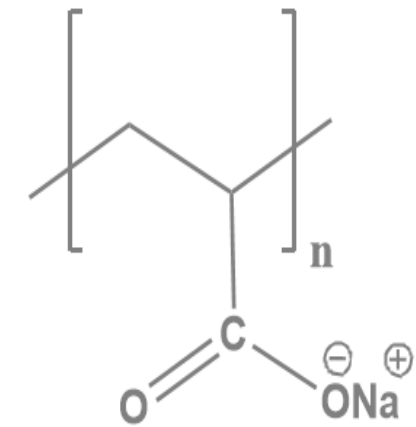
Poli(stiren sülfonat-ko-allilamonyum))
Poli(styrenesulfonate-ko-allilamin)

Kaynağına
Göre

Doğal



Sentetik

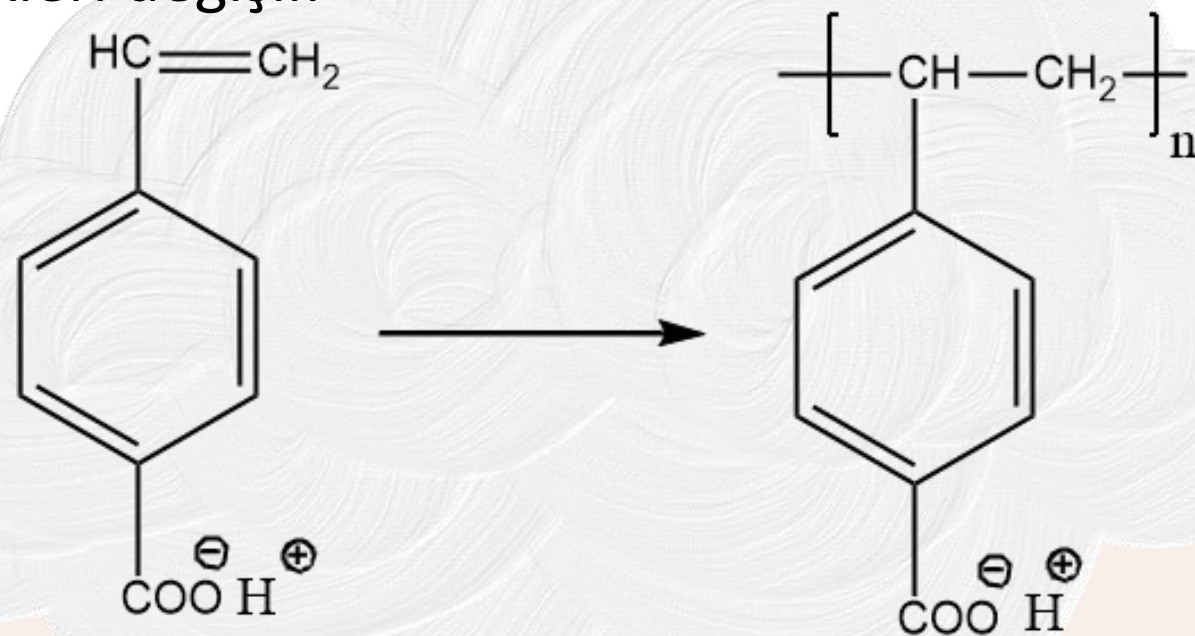


A) YÜK TİPİNE GÖRE POLİELEKTROLİTLER

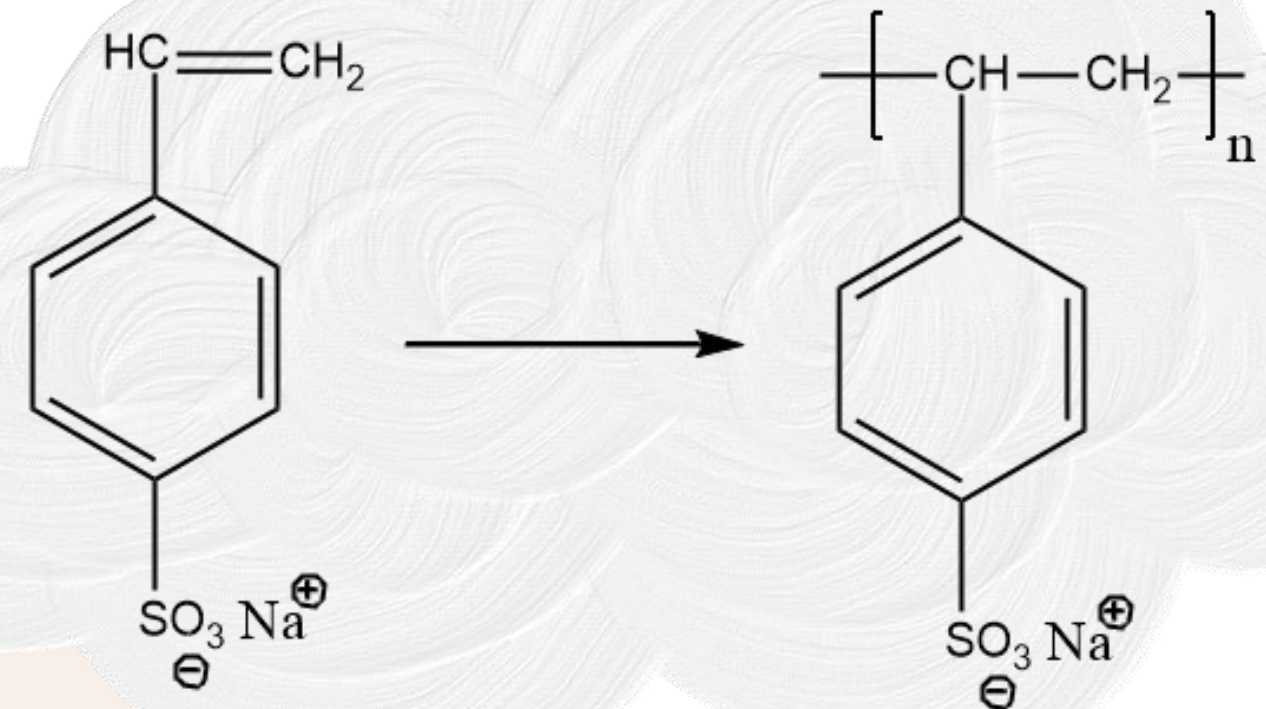
Anyonik Polielektrolit

Anyonik polielektrolit, sulu ortamda çözündüğünde zinciri boyunca negatif yüklü iyonlaşabilir gruplar taşıyan polimerlerdir. Bu negatif yükler genellikle karboksilat ($-\text{COO}^-$), sülfat ($-\text{SO}_3^-$) veya fosfat ($-\text{PO}_4^{2-}$) gibi fonksiyonel grupların iyonlaşmasıyla oluşur ve pH'a bağlı olarak yük yoğunluğu değişebilir. Anyonik polielektrolitler, katyonik türlerle güçlü elektrostatik etkileşimlere girerek polielektrolit kompleksleri oluşturabilir.

Zayıf Anyonik Polielektrolit: Bu tür polimerler, zincirlerinde karboksilat ($-\text{COOH}$) veya benzeri zayıf asidik gruplar taşır. Bu gruplar sadece yeterince yüksek pH da deprotonlanarak negatif yüke dönüşür. Yani çözeltinin pH'ına bağlı olarak yükleri değişir.



Kuvvetli Anyonik Polielektrolit: Bu tür polimerlerin zincirlerinde gruplar, sülfat ($-\text{SO}_3\text{H}$) veya fosfat ($-\text{PO}_4\text{H}_2$) gibi güçlü asidik gruplardır. Bu gruplar neredeyse her pH'da tamamen iyonize olur ve polimer her zaman negatif yüklüdür.



Katyonik Polielektrolit

Zayıf Katyonik Polielektrolit: Zincirlerinde primer veya sekonder amin ($-\text{NH}_2$, $-\text{NHR}$) gibi zayıf bazik gruplar bulunur. Bu gruplar yalnızca asitli ortamlarda protonlanarak pozitif yüklü ($-\text{NH}_3^+$) hale gelir. pH'a bağlı olarak yük yoğunluğu değişir; düşük pH'da yüksek yük, yüksek pH'da düşük yük görülür.

CN(C)[C+]1CCCC1.[Cl-]

PDADMAC

B) KAYNAĞINA GÖRE POLİELEKTROLİTLER

DOĞAL POLİELEKTROLİT

Doğal polielektrolitler; biyomedikal alanda yara örtüleri ve doku onarımında, ilaç salınım sistemlerinde kontrollü taşıyıcı olarak ve gıda endüstrisinde jel oluşturunucu ile stabilizatör olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Örnekler:

- **Aljinat (polianyon)** : Biyomedikal uygulamalarda yara örtüleri ve doku mühendisliği hidrojelleri olarak, ilaç salım sistemlerinde kontrollü ve hedefli taşıyıcı matrisi olarak, gıda endüstrisinde jel oluşturunucu ve kıvam artırıcı katkı maddesi olarak, biyoteknolojide hücre ve enzim immobilizasyonu amacıyla ve çevre uygulamalarında ağır metal iyonlarının uzaklaştırılması ile atık su arıtımında yaygın şekilde kullanılmaktadır.
- **Jelatin (amfoter polielektrolit)** : Jelatin, kolajenden türetilmiş olması nedeniyle hücre tutunmasını destekler ve doku mühendisliğinde kullanılır. Yara örtülerinde kanı absorbe eder ve pıhtılaşmayı destekleyerek kanamayı durdurur. Sert ve yumuşak kapsüllü oral ilaç formülasyonlarında ilacı dış ortamdan korur ve mide içinde çözünerek salınımlarını sağlar. Jel oluşturunucu ve yapı verici olarak kullanılır.
- **Pektin (polianyon)** : Kolon hedefli ilaç taşıma sistemlerinde kullanılır. Yara örtüleri ve hidrojel sistemlerinde nemli ortam sağlayarak yara iyileşmesini destekler. Pektin, bağırsak florası tarafından parçalandığı için ilacı kalın bağırsakta serbest bırakır. Reçel ve marmelatlar da jel oluşturunucu olarak ürünün kıvamını sağlar. Meyveli içecekler ve sotalarda stabilizatör ve kıvam artırıcı olarak kullanılır.
- **Kazein (amfoter polielektrolit)** : Sütte bulunan doğal bir protein olup emülsiyon stabilizatörü olarak peynir ve süt ürünlerinde kullanılır. Nem tutma kapasitesi sayesinde yara örtülerinde yardımcı bileşen olarak kullanılır. Kazein misellerinin iç kısmı hidrofobiktir. Bu sayede suda az çözünen ilaçların taşınmasını sağlar.

ALJINAT



JELATİN



PEKTİN



KAZEİN



B) KAYNAĞINA GÖRE POLİELEKTROLİTLER

SENTETİK POLİELEKTROLİT

Sentetik polielektrolitler, petrokimyasal veya kontrollü kimyasal sentez yoluyla üretilen; yük tipi (anyonik/katyonik), yük yoğunluğu ve zincir yapısı ayarlanabilen polimerlerdir.

Bu kontrol edilebilir yapı sayesinde, belirli uygulamalara özel fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler kazandırılabilir. Bu nedenle sentetik polielektrolitler, endüstriyel ve biyomedikal alanlarda yaygın olarak tercih edilir.

Örnek sentetik polielektrolitler:

- Poliakrilik asit (PAA) → anyonik
- Polistiren sülfonat (PSS) → anyonik
- Polidiallyldimetilamonyum klorür (PDADMAC) → katyonik
- Polietilenimin (PEI) → katyonik



Polistiren Sülfonat (PSS) – Anyonik

- Polistiren zinciri üzerine bağlı sülfonat ($-\text{SO}_3^-$) grupları sayesinde sulu ortamda güçlü anyonik karakter gösterir ve katyonlarla elektrostatik etkileşime girebilir.

Başlıca kullanım alanları:

- İyon değiştirici reçineler
- İletken polimer sistemleri
- Protein ve kolloid stabilizasyonu
- Polielektrolit kompleksleri (PEC) oluşumu
- Biyosensörler ve yüzey modifikasyonu

Polietilenimin (PEI) – Katyonik

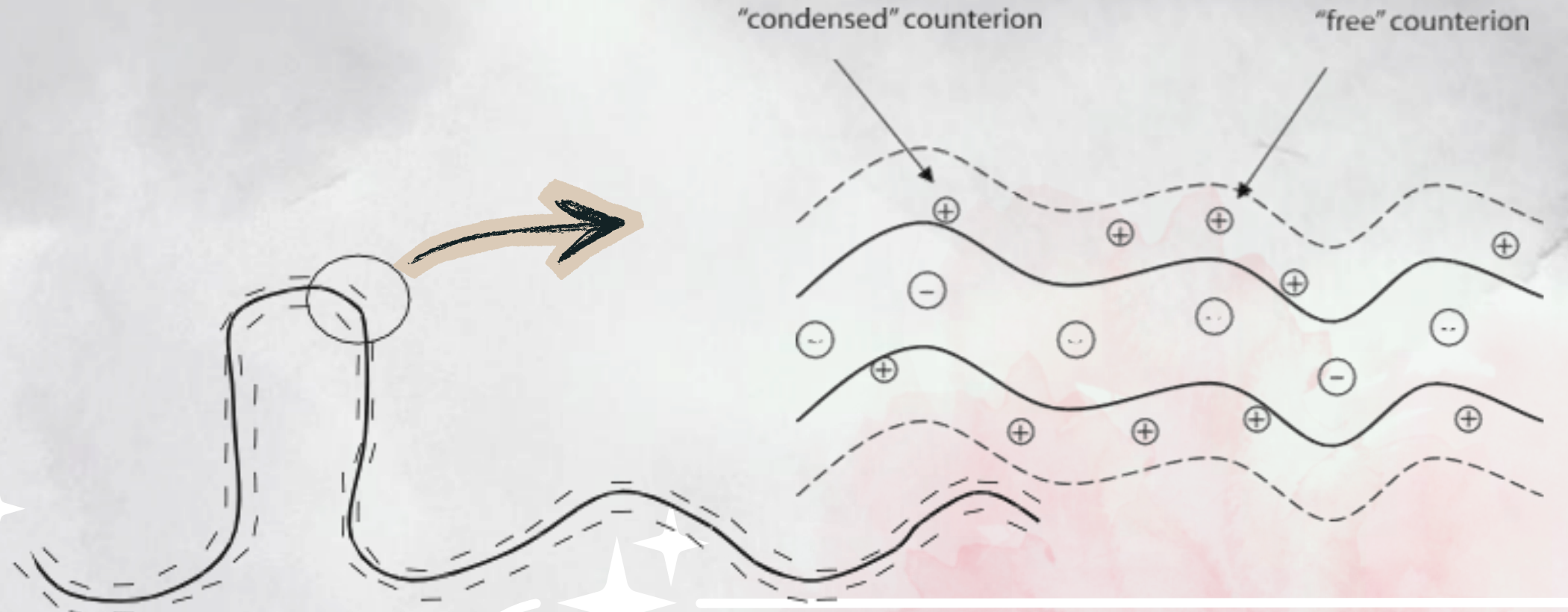
- Yoğun amin ($-\text{NH}^+$) grupları içeren yapısı sayesinde güçlü katyonik polielektrolit davranışı sergiler ve negatif yüklü türlerle kolayca kompleksleşir.

Başlıca kullanım alanları:

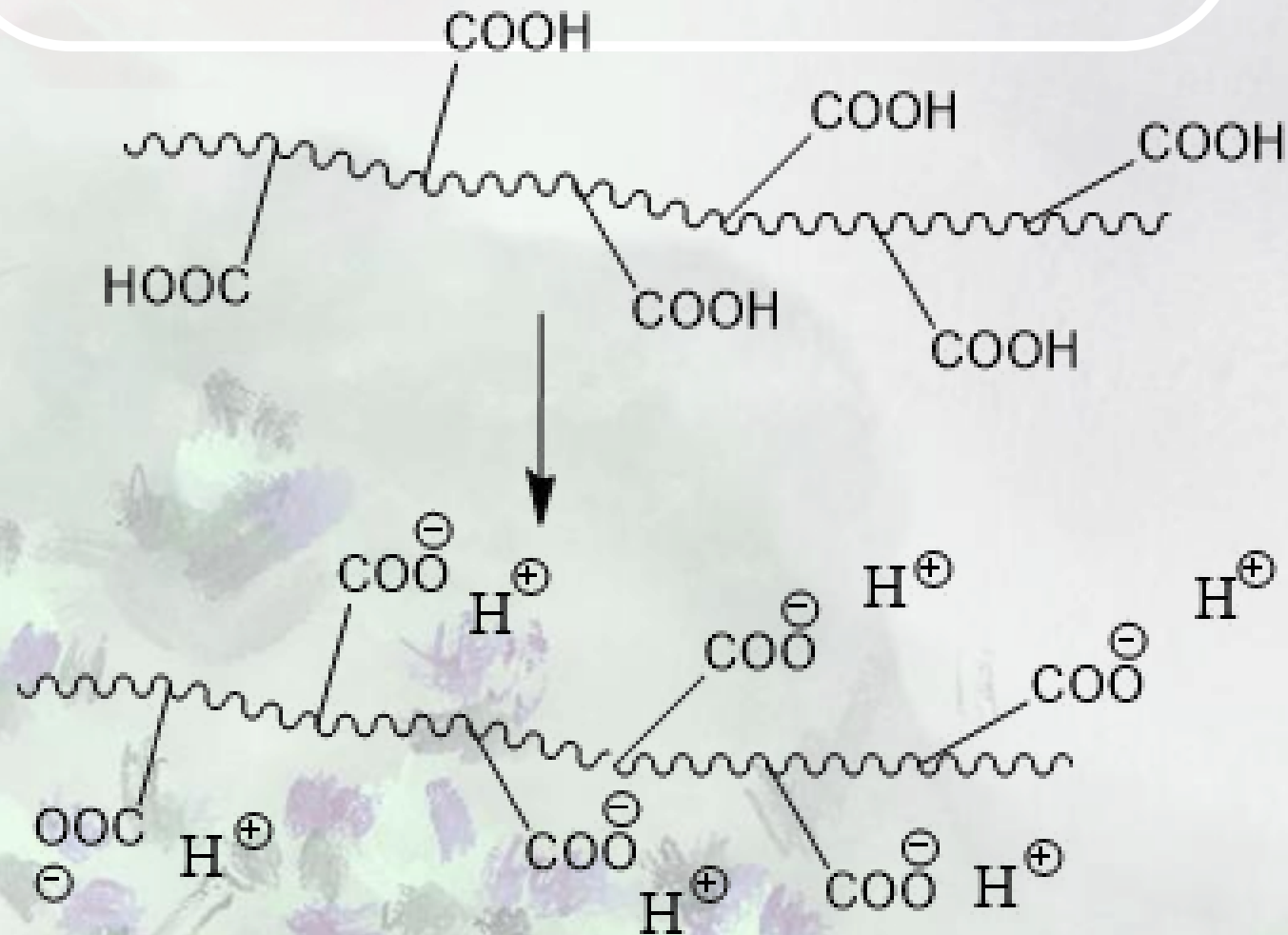
- Gen ve DNA taşıması
- Ağır metal iyonlarının tutulması
- CO_2 yakalama sistemleri
- Yapıştırıcı ve bağlayıcı katkıları
- Yüzey fonksiyonlandırma

4. POLİELEKTROLİTLERİN SUDA ÇÖZÜNÜRLÜĞÜ

Polielektrolitler sulu çözeltilerde, zincirlerindeki yükler ve bu yüklerle karşılık gelen zıt yüklü iyonların dağılımına göre davranır. Yük yoğunluğu yüksek polimerlerde, karşı iyonlar zincire yakın bölgelerde toplanır; buna **KARŞI İYON YOĞUNLAŞMASI** denir. Bu durum, zincirin efektif yükünü azaltır ve elektrostatik itmeleri zayıflatır.



Polielektrolit zinciri düşük iyonik kuvvette geniş bir yapı kazanır ve açılır. Zincirin açılması ile polimerin suyla temas alanı artar. Bu yüzden polimer daha fazla su tutar ve çözeltide şişkin bir yapı sergiler. Polielektrolit zinciri, zıt yüklü iyonların zincire yakın bölgede toplanması ve çözeltideki iyonik kuvvetin artması nedeniyle büzülür. Bu durum, zincirin üzerindeki yüklerin kısmen nötralize olmasına ve elektrostatik itmelerin azalmasına yol açar; böylece zincir daha kompakt, sıkışık bir yapı alır.



sulu ortamda

5. DOĞAL BİR POLİELEKTROLİT OLAN KİTOSAN NASIL ELDE EDİLİR ?

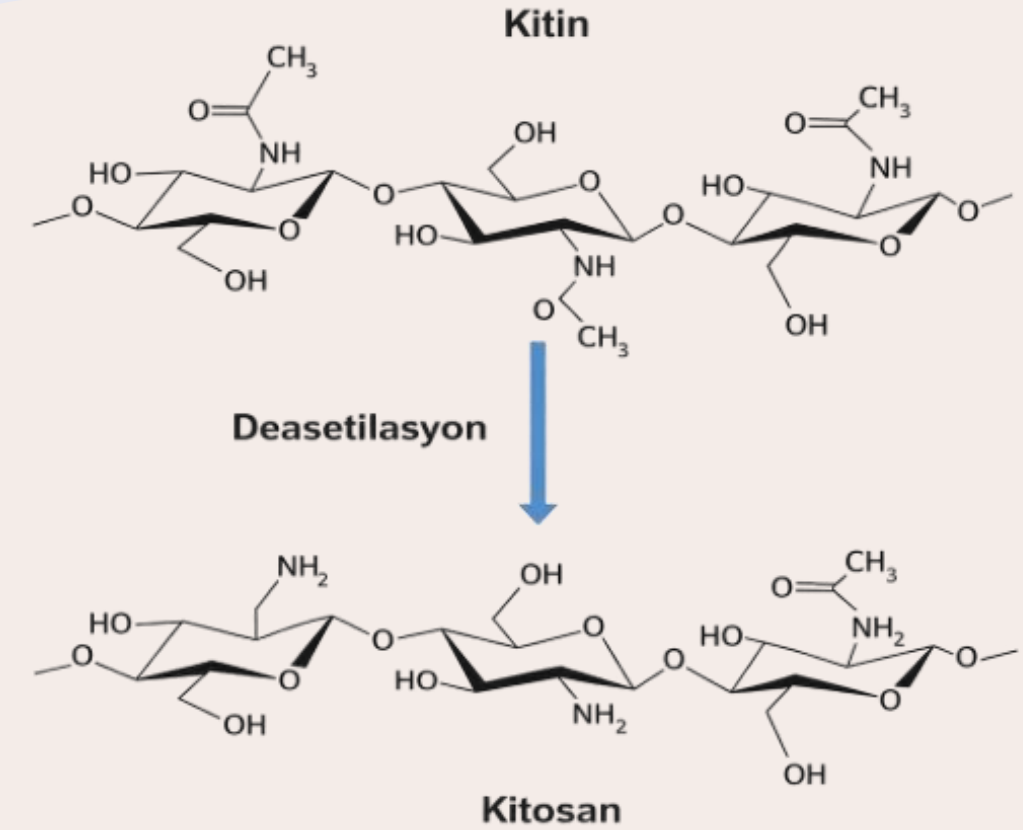


KİTİN

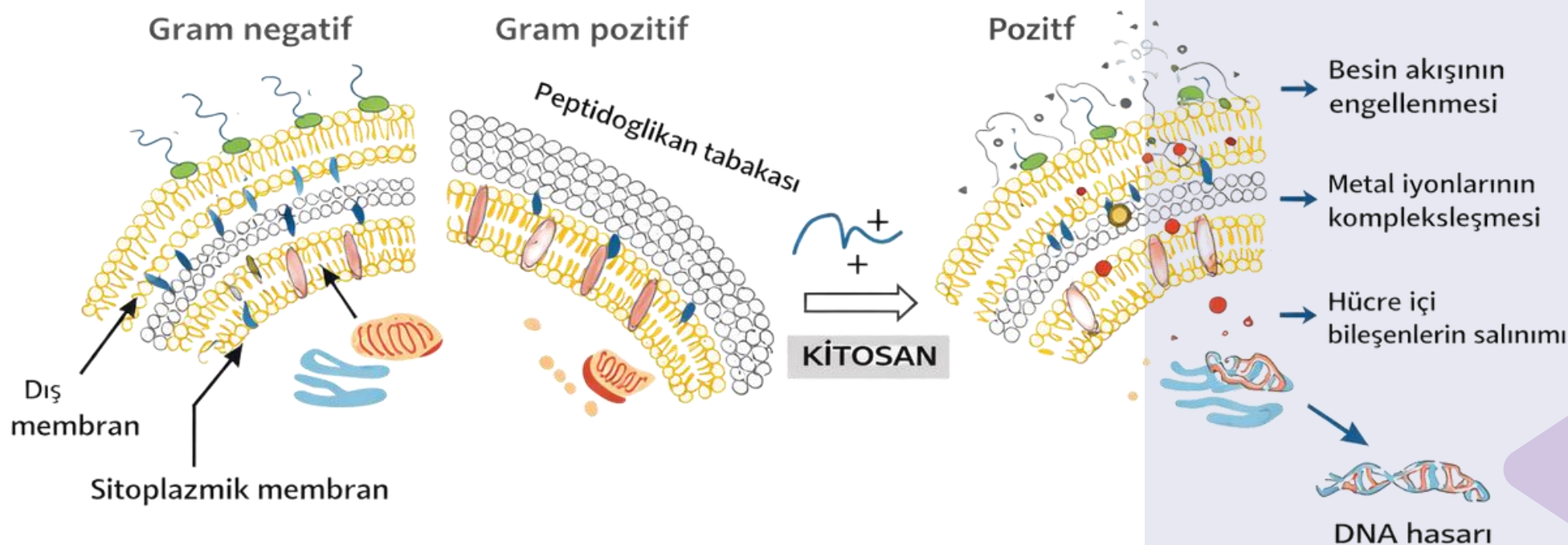


KİTOSAN

Kitosan, doğada bol miktarda bulunan kitinin kontrollü alkali deasetilasyonu ile elde edilen, biyobozunur ve biyouyumlu bir polisakkarittir. Sentez sürecinde, kitin zinciri üzerindeki asetil grupları uzaklaştırılarak serbest amin ($-NH_2$) grupları açığa çıkarılır. Bu kimyasal dönüşüm, kitosanın polikasyonik karakterinin temelini oluşturur ve molekülün polielektrolit olarak davranmasını sağlar.

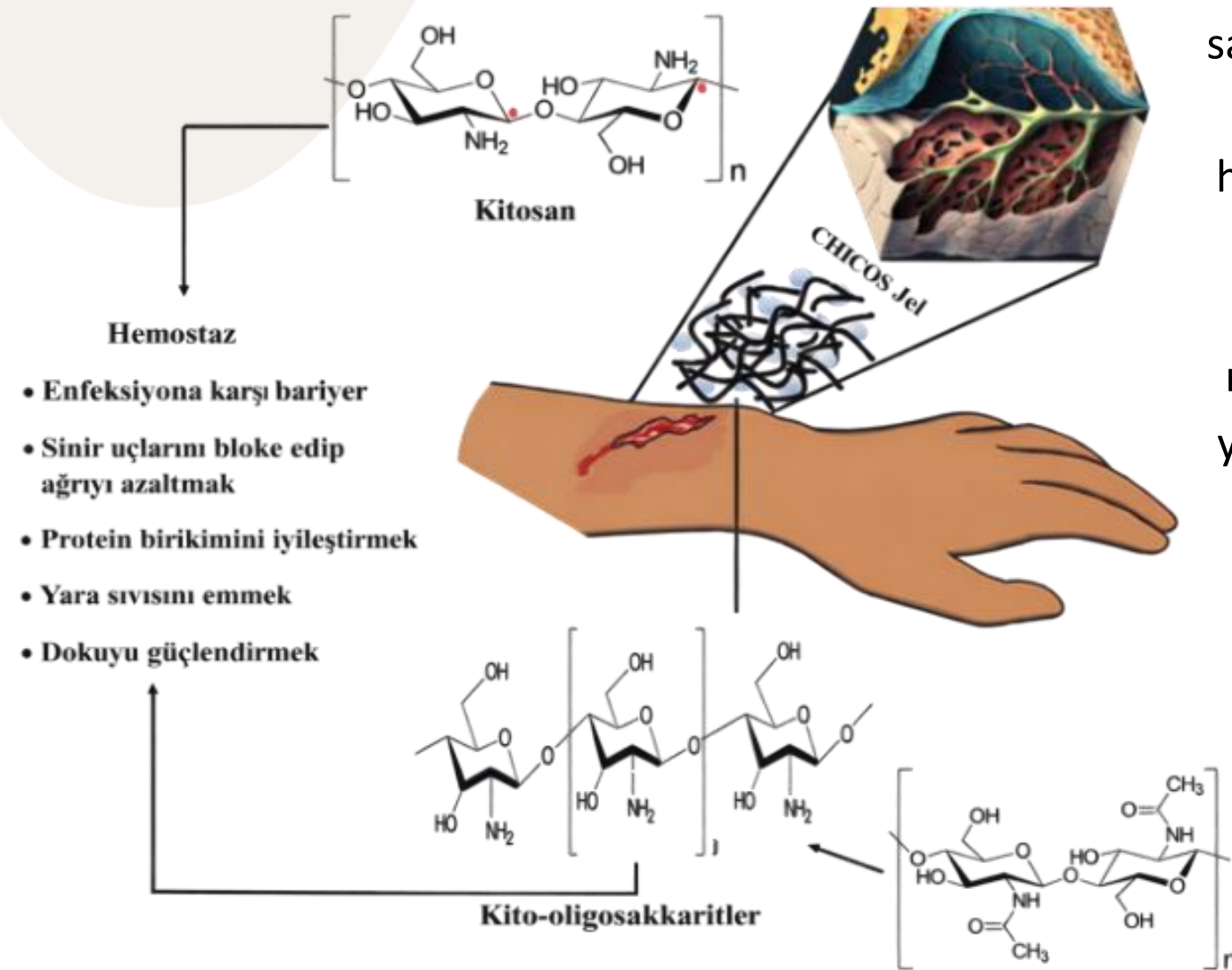


Asidik ortamda kitosanın serbest amin grupları protonlanarak pozitif yüklü ($-NH_3^+$) hale gelir. Bu durum kitosanı, sulu ortamda çözünür ve elektrostatik etkileşimlere açık bir doğal polikasyonik polielektrolit haline getirir. Bu yüklenme davranışının, kitosanın negatif yüklü biyolojik yüzeylerle etkileşimini belirler. Kitosanın hücre zarları ile elektrostatik etkileşimini gösteren yandaki görsel, polielektrolit davranışın doğrudan sonucunu göstermektedir.

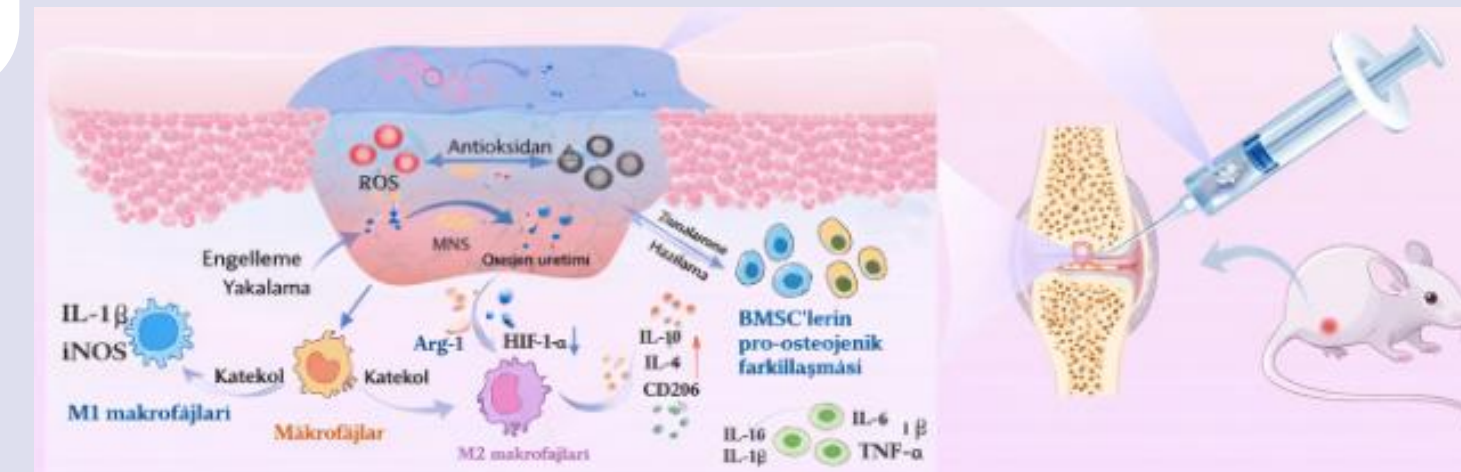
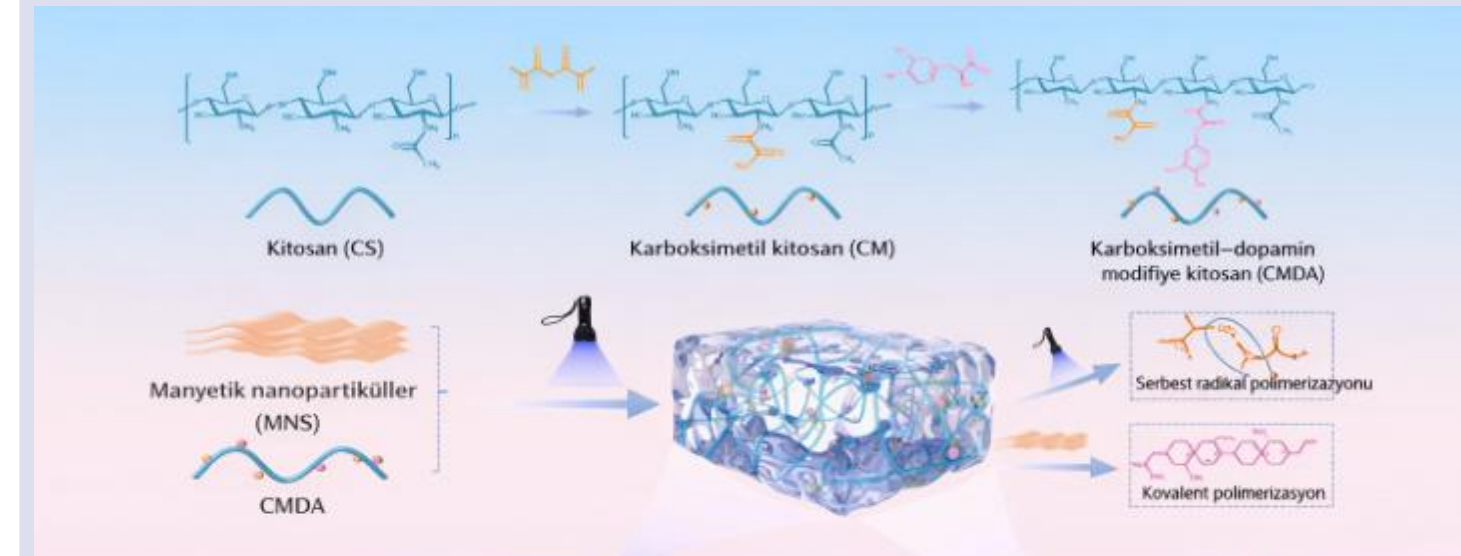


5. DOĞAL BİR POLİELEKTROLİT OLAN KİTOSAN NASIL ELDE EDİLİR ?

Bu polielektrolit özellik, kitosanın uygulama alanlarını doğrudan şekillendirmektedir. Özellikle antimikrobiyal aktivite, yara iyileşmesi ve biyomedikal hidrojel uygulamaları ön plana çıkarılmaktadır. Pozitif yüklü kitosan zincirleri, bakteriyel hücre zarındaki negatif yüklü bileşenlerle etkileşerek hücre zarının bütünlüğünü bozar ve mikrobiyal büyümeyi engeller. Bu etki, kitosanın yara örtüleri ve biyomedikal kaplamalarda kullanılmasının temel nedenlerinden biridir.

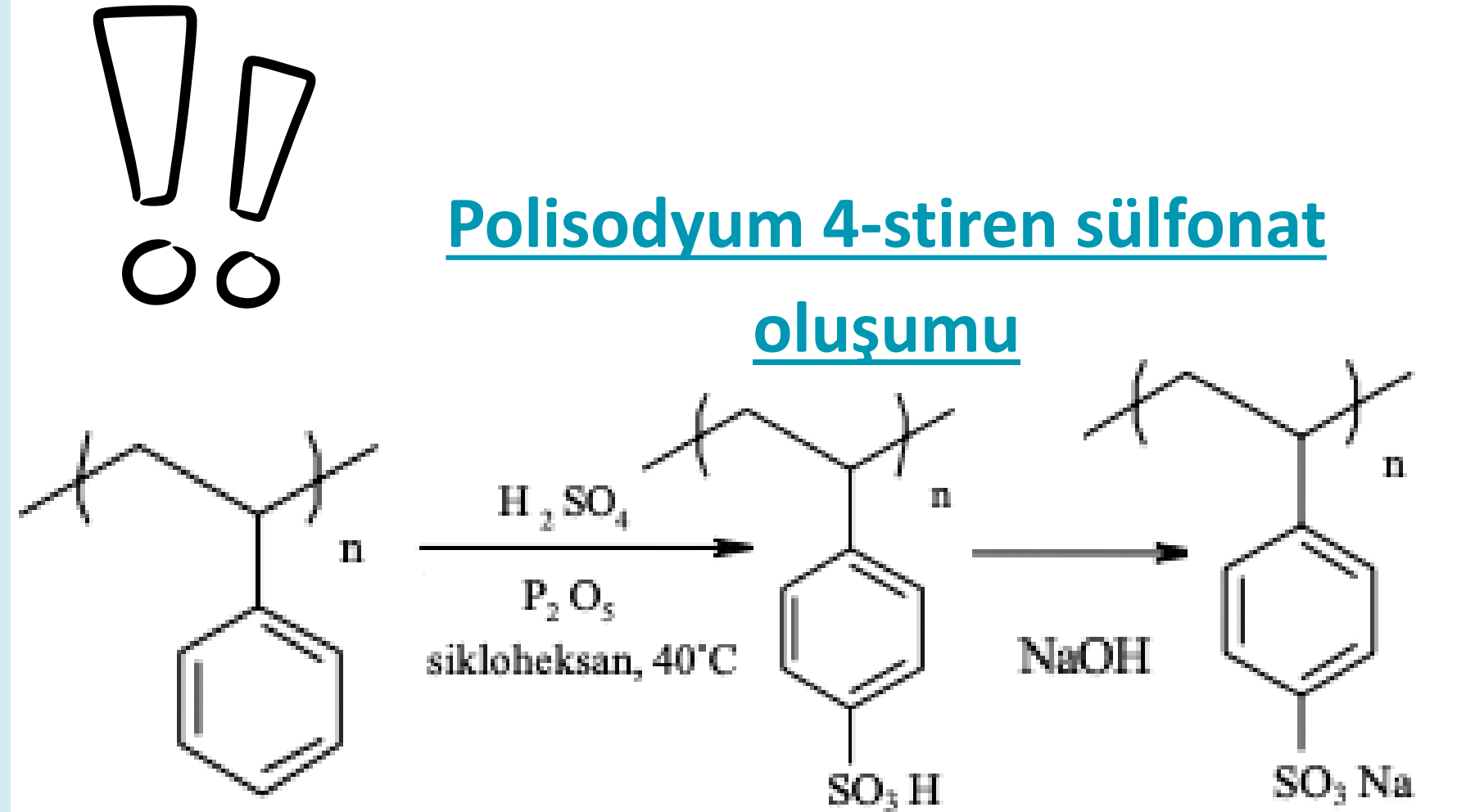


Aynı zamanda kitosan, hidrojel ve film oluşturma yeteneği sayesinde kontrollü ilaç salımı ve doku mühendisliği uygulamalarında da kullanılmaktadır. Kitosan bazlı hidrojellerin, çapraz bağlanmış polielektrolit ağ yapıları oluşturarak su tutma kapasitesi yüksek, mekanik olarak kararlı sistemler meydana getirdiği gösterilmiştir. Bu yapılar, yara iyileşmesini destekleyen nemli ortamın korunmasına ve biyolojik etkileşimlerin düzenlenmesine olanak tanır.



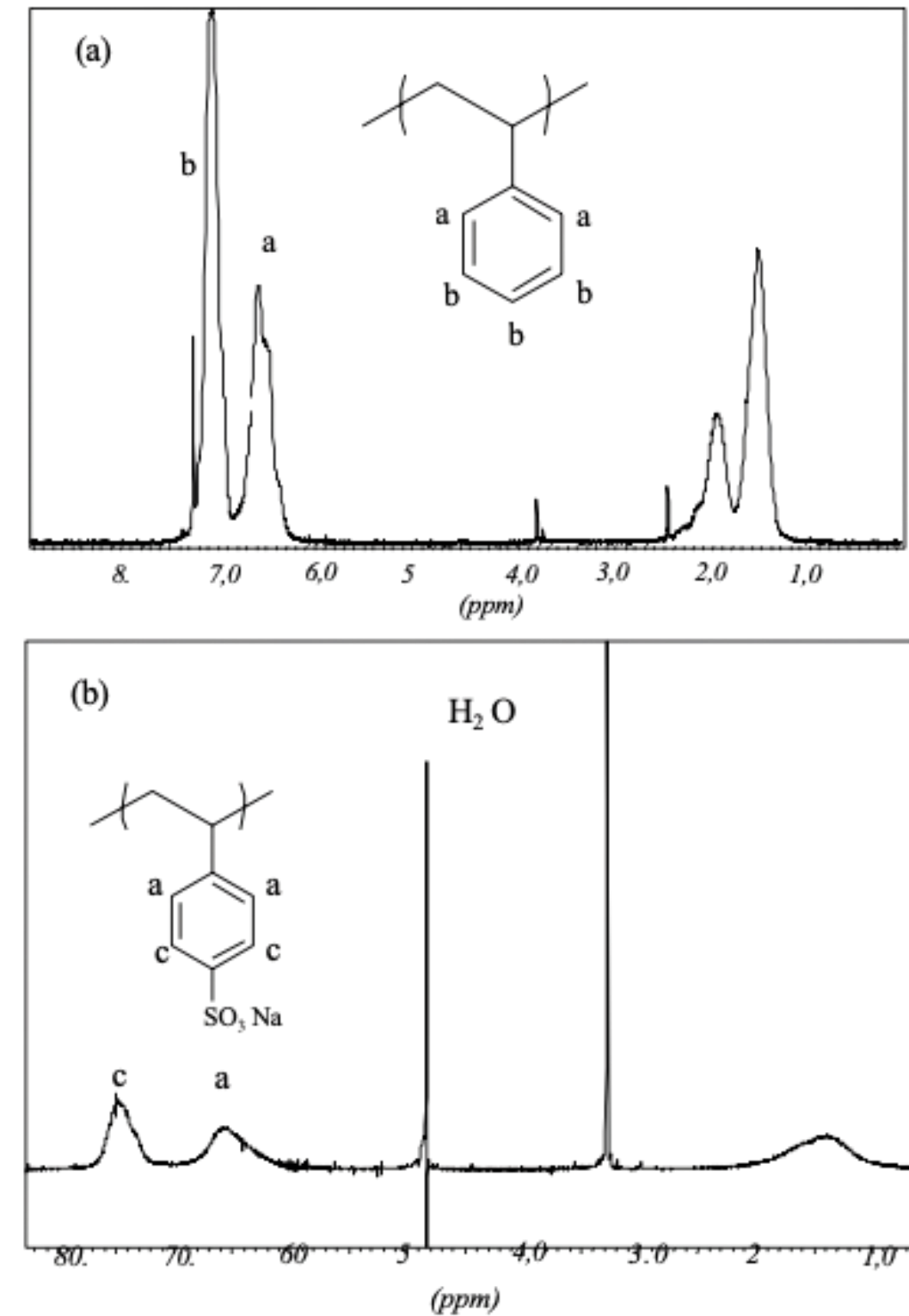
6. POLİSİTİREN SÜLFONAT POLİELEKTROLİT SENTEZİ

Polistiren, sülfonasyon reaksiyonu ile güçlü anyonik karaktere sahip bir polielektrolit olan polisodyum 4-stiren sülfonata (PSS-Na) dönüştürülmüştür. Polistiren zincirindeki aromatik halkalara sülfürik asit aracılığıyla sülfonik asit ($-\text{SO}_3\text{H}$) grupları bağlanmış, ardından nötralizasyon basamağı ile bu gruplar sodyum tuzu ($-\text{SO}_3^-\text{Na}^+$) formuna çevrilmiştir. Bu kimyasal modifikasyon sonucunda polimer zinciri boyunca düzenli şekilde dağılmış anyonik yükler elde edilmiştir. Bu sülfonat grupları, PSS-Na'nın sulu ortamda yüksek çözünürlük göstermesini ve anyonik bir polielektrolit olarak davranmasını sağlamaktadır.



6. POLİSİTİREN SÜLFONAT POLİELEKTROLİT SENTEZİ

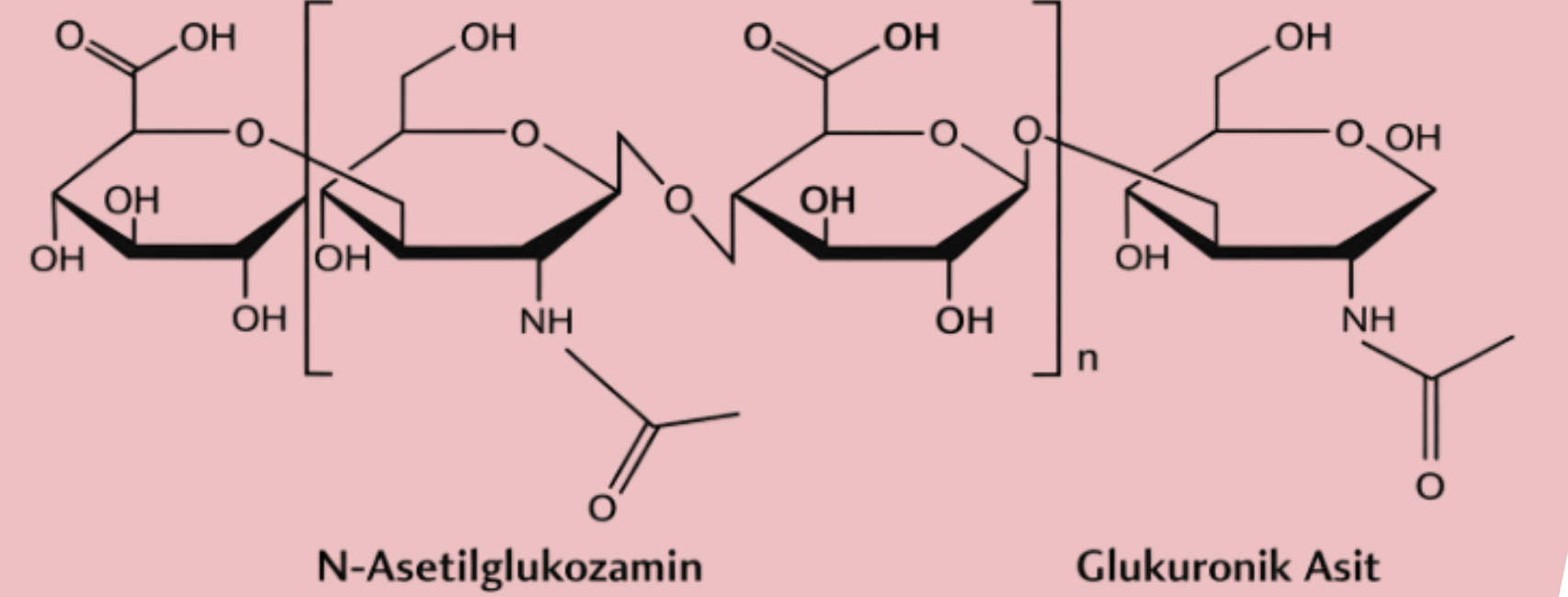
Bu çalışmada polistiren, sülfonasyon reaksiyonu ile anyonik bir polielektrolit olan polistiren sülfonata (PSS-Na) dönüştürülmüştür. Sülfonasyon öncesi ve sonrası alınan ^1H NMR spektrumları karşılaştırıldığında, aromatik proton sinyallerinde belirgin değişimler gözlenmektedir. Bu değişimler, polimer zinciri boyunca sülfonat ($-\text{SO}_3^-$) gruplarının başarıyla bağlandığını göstermektedir. Sülfonat gruplarının kazandırdığı kalıcı negatif yükler sayesinde PSS-Na, sulu ortamda anyonik bir polielektrolit karakteri kazanmaktadır. Elde edilen NMR sonuçları, PSS-Na sentezinin ve yapısal karakterizasyonunun başarılı olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 4. (a) 1 Sülfonasyondan önce (CDCl_3) ve (b) sülfonasyondan sonra (D_2O) polistiren tarakının H NMR'si.

7. DOĞAL BİR POLİELEKTROLİT ÖRNEĞİ : HYİLÜRONİK ASİT ve UYGULAMA ALANLARI

Hiyalüronik asit, vücuttaki hücrelerin arasında bulunan ve dokuların düzenli çalışmasına yardımcı olan doğal bir polisakkarittir. Yapısı, D-glukuronik asit ve N-asetil-D-glukozamin adı verilen iki şeker biriminin art arda tekrar etmesiyle oluşan uzun ve esnek zincirlerden meydana gelir. Glukuronik asit birimlerinde bulunan karboksil ($-\text{COO}^-$) grupları, vücut koşullarında negatif yük taşır. Bu nedenle hiyalüronik asit, suda çözüldüğünde polianyonik bir polielektrolit gibi davranır. Negatif yükler birbirini ittiği için zincir açılır ve çok miktarda su bağlanır. Bu durum hiyalüronik aside jel benzeri, kaygan ve esnek bir yapı kazandırır. Bu özellikler, dokuların nemli kalmasını ve mekanik zorlanmalara karşı korunmasını sağlar.



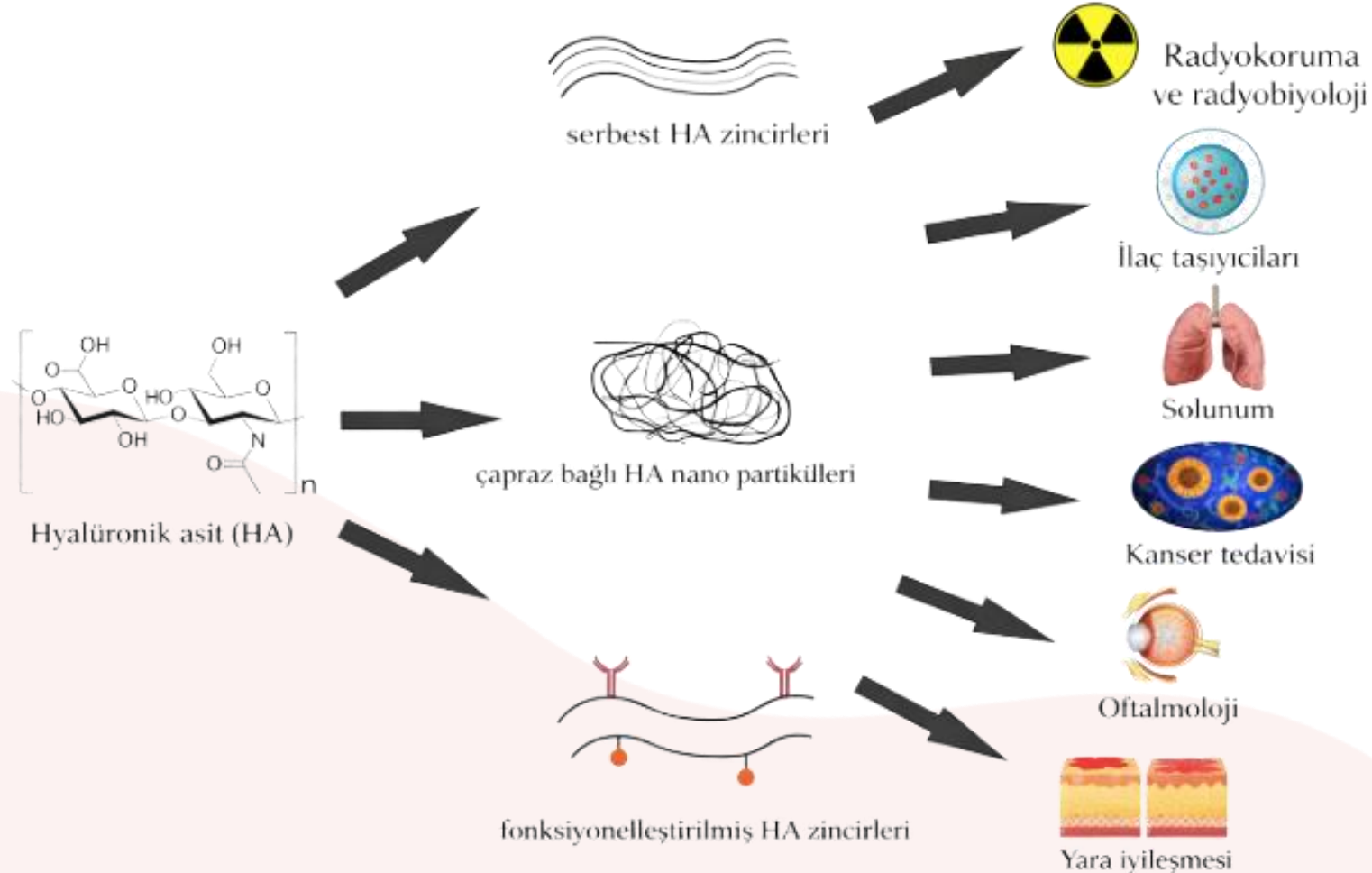
Hiyalüronik asidin tekrarlayan disakkarit birimlerinden
oluşan kimyasal yapısı

7. DOĞAL BİR POLİELEKTROLİT ÖRNEĞİ : HYİLÜRONİK ASİT VE UYGULAMA ALANLARI

Hiyalüronik asit, hücreler arasındaki boşlukta bulunarak dokuların esnekliğini, kayganlığını ve su dengesini düzenler. Hücrelerin hareket etmesini kolaylaştırır ve doku onarım süreçlerinde destekleyici rol oynar. Bu özellikleri sayesinde insan vücudunda cilt, eklem sıvısı, göz ve bağ dokularında yüksek miktarda bulunur. Tıbbi uygulamalarda ise göz damlaları, cilt dolguları ve eklem içine yapılan enjeksiyonlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca hiyalüronik asit, negatif yüklü yapısı sayesinde pozitif yüklü polimerlerle bir araya gelerek polielektrolit kompleksler oluşturabilir. Bu kompleks yapılar, ilaç ve gen taşıma sistemlerinde kontrollü salım ve hedefli tedavi açısından önemli avantajlar sağlar. Hiyalüronik asidin molekül büyüklüğü ve kimyasal modifikasyonları, kullanım alanına göre ayarlanarak performansı optimize edilebilmektedir.

FORMLAR

UYGULAMALAR



Hiyalüronik asit, vücutta doğal olarak enzimatik yollarla parçalanabilen biyobozunur bir polimerdir. Özellikle hiyalüronidaz enzimleri ve oksidatif koşullar, hiyalüronik asit zincirinin daha küçük fragmanlara ayrılmasına neden olur. Bu bozunma süreci, molekül ağırlığına bağlı olarak biyolojik etkilerin değişmesine yol açar; yüksek molekül ağırlıklı HA daha çok mekanik ve koruyucu etki gösterirken, düşük molekül ağırlıklı parçalar hücresel sinyalleşme ve doku yenilenmesi süreçlerinde rol oynar.

Diz içine uygulanan
hyilüronik asit
enjeksiyonu

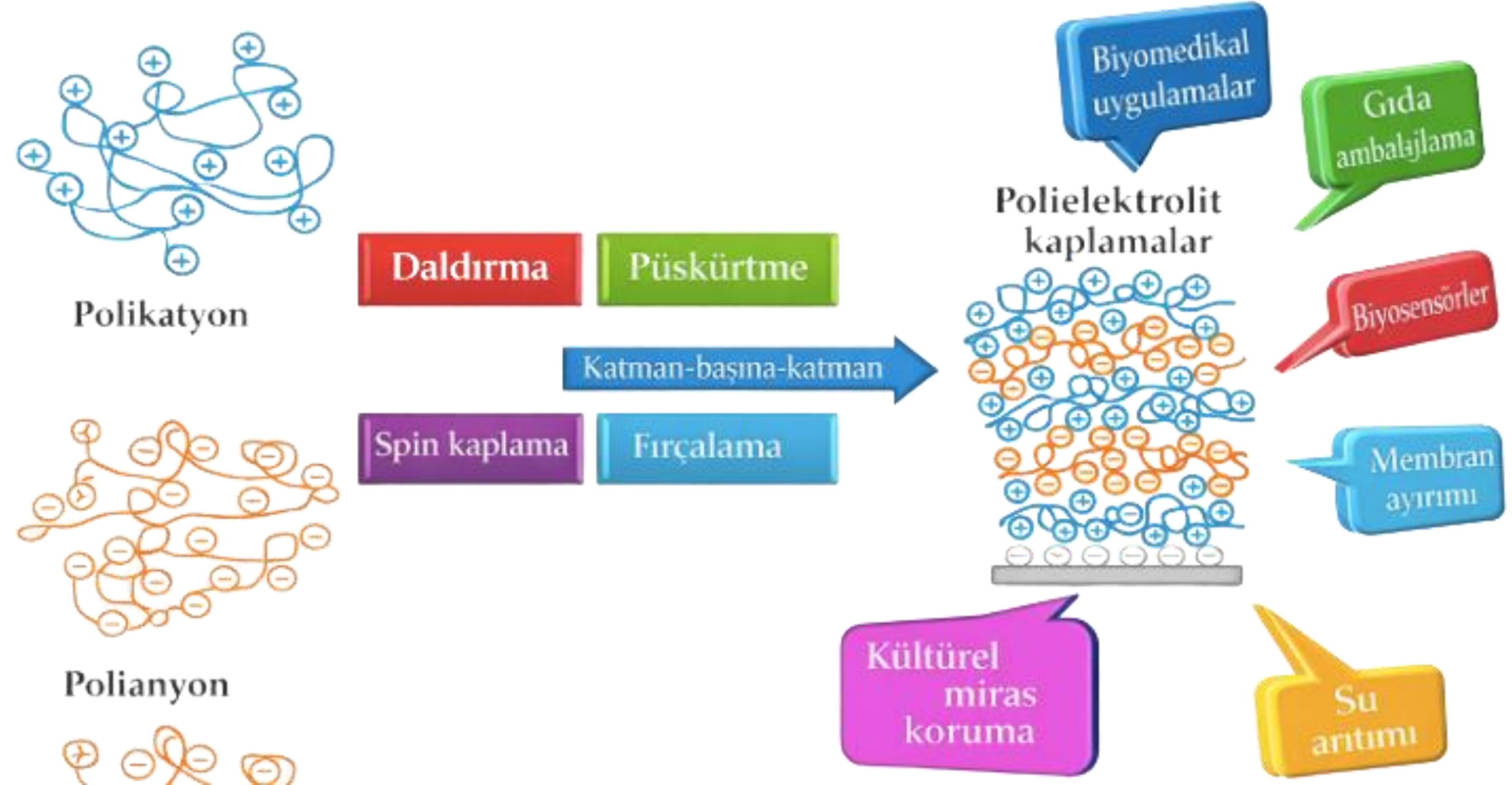


8. POLİELEKTROLİT KAPLAMALAR : KÜLTÜREL MİRASIN KORUNMASINDA MODERN BİR YAKLAŞIM

BU YAKLAŞIM, AVRUPA BİRLİĞİ
DESTEKLİDİR VE ÖDÜL ALMIŞ KÜLTÜREL
MİRAS KORUMA PROJELERİNDE
UYGULANMIŞTIR.

Zıt yüklü polielektrolitlerin elektrostatik etkileşimleri kullanılarak oluşturulan katman-katman kaplama (LbL) sistemleri, gözenekli yüzeylerin korunmasında etkili ve kontrollü bir yaklaşım sunmaktadır. Taş ve yapı malzemeleri çevresel nem, hava kirliliği ve tuz kristallenmesi nedeniyle zamanla mekanik bütünlüğünü kaybetmektedir. Polielektrolit bazlı kaplamalar, yüzeye kimyasal olarak uyumlu olmaları ve nanometre ölçeğinde kontrol edilebilen yapıları sayesinde yüzeyin doğal dokusunu bozmadan güçlendirme sağlar.

Şematik gösterimlerde, polikasyon ve polianyonların yüzeye ardışık olarak bağlanmasıyla düzenli çok katmanlı bir yapı oluştuğu görülmektedir. Bu yapı, mikrogözenekleri tamamen kapatmadan stabilize eder ve iyonların yüzey içine ilerlemesini sınırlandırır. Böylece yüzey dayanımı artarken, malzemenin nefes alabilirliği korunur.



8. POLİELEKTROLİT KAPLAMALAR : KÜLTÜREL MİRASIN KORUNMASINDA MODERN BİR YAKLAŞIM

Mikroskobik yüzey görüntüleri, kaplama sonrasında mikro çatlakların azaldığını ve yüzey sürekliliğinin belirgin şekilde iyileştiğini ortaya koymaktadır. Aynı zamanda kirleticilerin ve biyolojik oluşumların yüzeye tutunması zorlaşmakta, bozunma süreçleri önemli ölçüde yavaşlamaktadır. Kaplamaların geri alınabilir olması, hassas ve tarihi yüzeyler için bu yaklaşımı özellikle değerli kılmaktadır.

Bu uygulama alanı, polielektrolitlerin yalnızca biyomedikal veya endüstriyel sistemlerle sınırlı kalmadığını; mimari, kültürel miras ve yüzey mühendisliği gibi beklenmedik ve güncel alanlarda da yüksek potansiyel taşıdığını göstermektedir. Kontrollü yapıları, çevre dostu karakterleri ve yüzeye uyumlu davranışları sayesinde polielektrolitler, modern malzeme biliminin en dikkat çekici fonksiyonel polimerleri arasında yer almaktadır.



KAYNAKÇA

<https://sci-hub.se>

<https://www.sciencedirect.com>

<https://pubs.rsc.org>

<https://www.researchgate.net>

<https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2021.110455>

chitosanbased-polyelectrolyte-complexes-as-pharmaceutical-excipi-2015.pdf

<https://www.deepl.com/tr/translator>

Comprehensive Biomaterials II

Polyelectrolytes and Nanoparticles (J. Koetz - S. Kosmella)

Google resim

ChemDraw

<https://www.pharmaexcipients.com/news/nanochitin-nanochitosan-applications/>

https://www.researchgate.net/figure/The-conversion-of-chitin-to-chitosan-by-deacetylation_fig1_355217683

Kitosan ve biyomedikal uygulamaları doi : <https://doi.org/10.1016/j.nxmte.2025.101270>

Kitosan doi : 10.1016/B978-0-12-803581-8.10246-2

Hiyalüronik asit doi : Pharmaceutics, DOI: 10.3390/pharmaceutics14040838

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002%2Fsmll.202204283>

Polielektrolitler ve kültürel miras koruma : <https://doi.org/10.3390/ma16072873>

Polistirensülfonat sentezi: doi : 10.1016/j.polymer.2006.03.055