

14-дәріс. ИНТЕРПОЛИМЕРЛІК КОМПЛЕКСТЕР НЕГІЗІНДЕГІ НАНОКОМПОЗИТТЕР

1. Дәрістің мақсаттары

1. Интерполимерлік комплекстердің (ІПК) түзілу механизмін және олардың нанокөмбіріттер жасау үшін негіз болуын түсіндіру.
 2. Нанокөмбіріттердің құрылымдық ерекшеліктері мен қасиеттерін талдау.
 3. Полимер-полимер және полимер-нанобөлшек өзара әрекеттесуінің рөлін көрсету.
 4. Интерполимерлік комплекстерді қолданудың заманауи бағыттарын (биомедицина, суды тазарту, электроника, қаптапалар) қарастыру.
 5. Экологиялық және функционалды тұрғыдан тиімді нанокөмбіріттерді жобалау дағдыларын дамыту.
-

2. Қол жеткізілетін нәтижелер

Дәріс соңында студенттер мыналарды біледі:

- Интерполимерлік комплекстер (ІПК) түзілу механизмдерін сипаттай алады;
 - ІПК негізіндегі нанокөмбіріттердің құрылымы мен қасиеттерін түсіндіреді;
 - Нанокөспалардың (оксидтер, көміртек нанотүтіктері, балшық, металл нанобөлшектер) әсерін талдай алады;
 - Нанокөмбіріттердің қолдану салаларын нақты мысалдармен сипаттай алады;
 - Интерполимерлік өзара әрекеттесу арқылы алынған материалдардың артықшылықтары мен шектеулерін түсіндіреді.
-

3. Конспект

3.1 Интерполимерлік комплекстер ұғымы

Анықтама:

Интерполимерлік комплекс (ІПК) – екі немесе одан да көп полимер тізбектерінің өзара әрекеттесуі нәтижесінде (сутектік байланыстар, иондық, донор-акцепторлық, гидрофобтық, ван-дер-Ваальс күштері арқылы) түзілетін көпкомпонентті жүйе.

Мысалы:

- Полиакрил қышқылы (РАА) мен полиэтиленмин (РЕІ) сутектік байланыстар арқылы ІПК түзе алады.
- Полиакрилаттар мен хитозан арасындағы электростатикалық әрекеттесу нәтижесінде берік қабаттар алынады.

Маңыздылығы:

ІПК түзілуі полимерлердің физика-химиялық қасиеттерін (ерімталдық, термотұрақтылық, беріктік, өткізгіштік) елеулі өзгертеді және жаңа функционалды материалдарға жол ашады.

3.2 ІПК негізіндегі нанокомпозиттердің түзілуі

ІПК-лер наноқосымшалармен біріктірілгенде **интерполимерлік нанокомпозиттер (IPNC)** түзіледі. Мұндай материалдарда үш негізгі компонент бар:

Компонент	Міндеті
Полимер матрицасы	Негізгі тасымалдаушы орта
Интерполимерлік байланыстар	Механикалық беріктік пен біртектілікті қамтамасыз етеді
Нанобөлшектер (оксидтер, глина, CNT, металлдар)	Арнайы функциялар (өткізгіштік, каталитикалық белсенділік, биосәйкестілік) енгізеді

Мысал:

- РАА/РЕІ интерполимерлік комплексіне TiO_2 нанобөлшектерін енгізу арқылы фотокаталитикалық нанокомпозиттер алынады.
- Хитозан/полиакрилат кешені + Ag нанобөлшектері → бактерицидті қабат (су тазартуға қолданылады).

3.3 ІПК түзілу механизмдері

1. Сутекстік байланыстар:

Донор ($-\text{COOH}$, $-\text{OH}$) және акцептор ($-\text{NH}_2$, $=\text{O}$) топтарының әрекеттесуі.

Мысалы: $\text{PAA} + \text{PVP} \rightarrow \text{ІПК}$.

2. Электростатикалық өзара әрекеттесу:

Теріс зарядталған және оң зарядталған полимерлер арасында (мысалы, ПАА мен хитозан).

3. Донор-акцептор типі:

π -электронды жүйесі бар полимерлер мен электронды бос жұптары бар полимерлер арасында.

Комплекстеуші әсер:

Металл иондарымен хелаттық байланыстар түзілуі.

Интерполимерлік комплекстер (ІПК) негізіндегі нанокомпозиттер — бұл екі немесе одан көп полимер тізбектерінің **молекулалық деңгейде өзара әрекеттесуі** нәтижесінде түзілген полимерлік матрица мен **наноөлшемді толтырғыштардың** (нанобөлшектер, нанотүтіктер, глина, металл оксидтері және т.б.) біріккен жүйелері.

Бұл материалдарда **макромолекулалар арасындағы байланыстар** мен **полимер-нанобөлшек интерфейсі** бір уақытта түзіліп, нәтижесінде ерекше механикалық, термиялық және функционалдық қасиеттері бар құрылым пайда болады.

2. ІПК түзілуінің негізгі сатылары

Интерполимерлік комплекс пен нанокомпозит түзілу процесін үш негізгі сатыға бөлуге болады:

1. Полимер тізбектерінің өзара әрекеттесуі (комплекстеу)

2. Нанобөлшектердің полимер матрицасына таралуы (диспергирлеу)

3. Интерфейстік аймақтың тұрақтануы мен құрылымның кристалдануы

3. Бірінші саты – Интерполимерлік комплекстеу

Бұл сатыда екі немесе бірнеше полимер макромолекулалары бейхимиялық немесе жартылай химиялық байланыстар арқылы бірігеді. Төменде негізгі өзара әрекеттесу түрлері келтірілген:

Түрі	Механизмі	Мысалы	Ерекшелігі
Сутектік байланыс	Донор (–ОН, –COOH) және акцептор (–C=O, –NH₂) топтары арасында сутектік көпірлер түзіледі	Полиакрил қышқылы (РАА) + полиэтиленоксид (РЕО)	Ерігіштігі жоғары, физикалық ІПК
	Катионды және анионды полимерлер арасында иондық тартылыс күштері	Хитозан (NH ₃ ⁺) + натрий альгинаты (COO [–])	Су ерітіндісінде тез түзіледі
Донор–акцептор байланыс	π-жүйелі полимер мен электронды донор топтарының әрекеттесуі	Поливинилпирролидон (PVP) + полианилин	Электропроводящий ІПК
Комплекстеуші (координациялық)	Металл иондары арқылы полимерлердің бірігуі	Полиакрилат + Cu ²⁺ немесе Zn ²⁺	Каталитикалық белсенділік артады

Нәтижесінде молекулалық деңгейде торлы құрылым пайда болады — бұл **ІПК матрицасы** кейін нанобөлшектерді тұрақты ұстап тұру үшін негіз болады.

4. Екінші саты – Нанобөлшектердің диспергирленуі

ІПК түзілгеннен кейін келесі қадам — **нанобөлшектерді** (мысалы, TiO_2 , SiO_2 , ZnO , Fe_3O_4 , CNT, наноглина және т.б.) полимер матрицасына біркелкі енгізу.

Бұл процесс кезінде екі өзара әрекеттесу жүреді:

1. **Физикалық адсорбция** – нанобөлшектер бетіне полимер тізбектері сутектік немесе ван-дер-Ваальс байланыстарымен жабысады.
2. **Химиялық якорьлену (anchor effect)** – кей жағдайда полимер тізбегі мен нанобөлшек беті арасында коваленттік немесе иондық байланыс түзіледі.

Мысал:

- РАА/РЕІ ІПК матрицасына TiO_2 нанобөлшектерін енгізгенде – COOH топтары Ti^{4+} иондарымен координациялық байланыс түзіп, бөлшектердің агрегациясын болдырмайды.
- Хитозан/ПАА ІПК жүйесіне Ag нанобөлшектері енгізілгенде $-\text{NH}_2$ топтары Ag^0 бетімен байланысып, тұрақты антимикробтық материал қалыптасады.

5. Үшінші саты – Интерфейстік аймақтың түзілуі

Бұл сатыда полимер тізбектері мен нанобөлшектердің шекарасында ерекше құрылымдық қабат пайда болады. Ол көбінесе 1–10 нм қалыңдықта болады және материалдың жалпы қасиеттерін анықтайды.

Механизмнің ерекшелігі:

- Полимер тізбегі нанобөлшек бетіне ориентацияланып адсорбцияланады.
- Ішкі байланыстар қайта құрылып, интерфейстік қабатта жоғары тығыздық пен энергия бар аймақ түзіледі.
- Бұл қабат механикалық беріктік пен адгезияны арттырады.

Қорытынды

нәтиже:

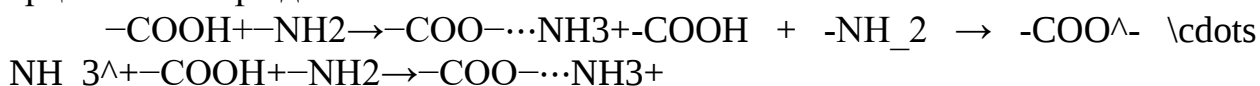
Пайда болған үшөлшемді ІПК-наноқұрылымда:

- полимер-полимер байланысы (ІПК),
 - полимер-нанобөлшек байланысы,
 - нанобөлшектердің өзара физикалық торлануы
- бірігіп, *гибридті нанокомпозит* түзеді.

6. Нанокомпозит түзілу механизмінің үлгісі

Мысал ретінде хитозан/полиакрил қышқылы/ TiO_2 жүйесін қарастырайық:

1. Хитозан мен ПАА сутектік және электростатикалық байланыстар арқылы ІПК түзеді:



2. TiO_2 беті $-\text{OH}$ топтары арқылы полярлы ортаны қалыптастырады.

3. ПАА тізбегіндегі –COOH топтары Ti^{4+} иондарымен координациялық байланыс түзіп, бөлшекті матрицаға бекітеді.

4. Нәтижесінде:

- Біркелкі диспергирленген нанобөлшектер;
- Берік полимерлік тор;
- Фотокаталитикалық белсенді материал.

7. Наноккомпозит түзілу механизміне әсер ететін факторлар

Фактор	Әсері
pH мәні	Электростатикалық байланыстар мен комплекс түзілуге тікелей әсер етеді (мысалы, қышқыл ортада амин топтары протондалады).
Температура	Молекулалық қозғалыс пен адсорбция энергиясын өзгертеді.
Еріткіштің табиғаты	Полимер мен нанобөлшек арасындағы өзара әрекеттесу күшін анықтайды.
Нанобөлшек концентрациясы	Артық мөлшер агрегацияға әкеледі, ал аз мөлшер жеткіліксіз әсер береді.
Полимер тізбегінің молекулалық массасы	Жоғары масса байланыстардың тығыздығын және беріктігін арттырады.

8. Механизмнің визуалды сызбасы (сипаттамасы)

1-кезең: Полимер 1 (донор) мен Полимер 2 (акцептор) өзара сутектік байланыс түзіп, ІПК құрады.

2-кезең: Нанобөлшектер (мысалы, TiO_2) ІПК торына енгізіледі.

3-кезең: Полимер тізбектері нанобөлшек бетіне адсорбцияланып, интерфейстік қабат түзіледі.

4-кезең: Кептіру/катаю нәтижесінде біртекті наноккомпозитті құрылым қалыптасады.

9. Қорытынды

- Интерполимерлік комплекстер негізіндегі наноккомпозиттер көпсатылы өзара әрекеттесу нәтижесінде түзіледі.
- Бұл процестің өзегі — сутектік, электростатикалық және донор–акцептор типті байланыстар.
- ІПК торы нанобөлшектерді біркелкі таратып, агрегат түзілуін болдырмайды.
- Соңғы материал жоғары беріктік, функционалдық және биосәйкестілік қасиеттерге ие.

3.4 ІПК негізіндегі наноккомпозиттердің қасиеттері

Қасиет түрі	Сипаттама
Механикалық беріктік	Интерполимерлік байланыстар мен наноқосымшалар арқасында жоғары беріктік пен серпімділік.
Термиялық тұрақтылық	Комплекстеу нәтижесінде шыдамдылық артады.
Газ және су өткізгіштік	Тізбектердің тығыз орналасуы өткізгіштікті азайтады.
Функционалдық белсенділік	Нанобөлшектер енгізу арқылы адсорбциялық, каталитикалық немесе антимикробтық қасиеттер беріледі.
Биосәйкестілік	Табиғи полимерлер (хитозан, альгинат) негізіндегі комплекстер биологиялық тұрғыдан бейтарап.

3.5 Қолданылу салалары

1. Суды тазарту

- Хитозан/ПАА + TiO_2 нанобөлшектері → ауыр металдарды және органикалық бояғыштарды жою.
- ПАА/PVP + ZnO → фотокаталитикалық мембраналар. (*Kaykhaii et al., Polymers 2022*)

2. Биомедицина

- Хитозан/ПЭО ІПК + Ag нанобөлшектері → антимикробтық таңғыштар.
- ПАА/ПЭГ комплекстері дәрі тасымалдау жүйесінде қолданылып жүр. (*Shamim et al., Carbohydrate Polymers 2021*)

3. Электроника және сенсорлар

- Полианилин/ПВП негізіндегі ІПК + CNT → өткізгіш нанокомпозиттер, сенсорларда қолданылады. (*Zhang et al., Synthetic Metals 2019*)

4. Қаптама материалдары

- PLA/крахмал + глина ІПК → биодеградацияланатын және ылғалға төзімді пленкалар. (*Müller et al., Food Packaging and Shelf Life 2020*)

3.6 Заманауи бағыттар

- **Жасыл нанокомпозиттер:** табиғи полимерлер мен био-наноқоспалар негізінде (мысалы, хитозан-наноглина).
- **Смарт-материалдар:** температураға және рН-қа жауапты ІПК-лер.
- **3D/4D принтингке арналған ІПК-наноқұрылымдар:** күрделі формаларда қолдануға мүмкіндік береді.
- **Экологиялық тұрақты синтез әдістері:** еріткішсіз, су негізіндегі немесе биокатализдік процестер арқылы алу.

4. Қорытынды

1. Интерполимерлік комплекстер нанокомпозиттер алу үшін тиімді және икемді негіз болып табылады.
 2. Мұндай материалдар бір уақытта **жоғары беріктік, функционалдық белсенділік және экологиялық қауіпсіздік** қасиеттерін біріктіреді.
 3. ІПК-негізіндегі нанокомпозиттер су тазарту, биомедицина, электроника және қаптама өндірісінде кең қолданылады.
 4. Келешекте «ақылды» ІПК-наноқұрылымдар экологиялық таза технологияларда маңызды рөл атқарады.
-

5. Қайталау үшін сұрақтар

1. Интерполимерлік комплекс дегеніміз не?
 2. ІПК-лердің түзілу механизмдерін атаңыз.
 3. Нанокомпозит пен қарапайым полимер композиттің айырмашылығы неде?
 4. ІПК негізіндегі нанокомпозиттердің негізгі қасиеттерін сипаттаңыз.
 5. Бұл материалдардың суды тазартудағы артықшылықтары қандай?
 6. Қай табиғи полимерлер ІПК түзуге бейім?
 7. Смарт-ІПК материалдары дегеніміз не және олардың қолдану саласы қандай?
-

6. Қолданылған әдебиеттер

1. Kaykhani, M., et al. *Polymer–Nanocomposite Systems for Water Purification: Recent Developments*. **Polymers**, 14(11), 2022.
2. Shamim, N., et al. *Chitosan-based interpolymer complexes reinforced with Ag nanoparticles for biomedical applications*. **Carbohydrate Polymers**, 2021.
3. Zhang, Y., Li, X., et al. *Conductive Interpolymer Complex Nanocomposites with CNTs for Sensors and Electronics*. **Synthetic Metals**, 259 (2019).
4. Müller, P., et al. *PLA/Starch/Clay Interpolymer Complex Films for Sustainable Packaging*. **Food Packaging and Shelf Life**, 26 (2020).
5. Kudryavtsev, Y. V., et al. *Interpolymer Complexes: Structure, Properties and Applications*. **Polymer Science Series A**, 2018.
6. Sarika, P. R., et al. *Recent Advances in Interpolymer Complex-Based Nanocomposites: Design and Functionality*. **Progress in Polymer Science**, 2023.
7. Huang, Y., Wang, X., et al. *Applications of Interpolymer Complexes in Nanocomposite Membranes*. **RSC Advances**, 2021.
8. Adedapo A. O., Nomngongo P. N. *Advanced Polymeric Nanocomposites for Water Treatment Applications: A Holistic Perspective*. **Polymers**, 14(12), 2022.