

13-дәріс. СУДЫ ТАЗАРТУҒА АРНАЛҒАН ПОЛИМЕРЛІ КОМПЛЕКСТЕР

1. Дәрістің мақсаттары

- Суды тазарту саласында полимерлі жүйелер мен полимер-комплекстердің қолданылуын түсіну.
- Полимерлі комплекстердің (полимер-полимер, полимер-энергент, полимер-табиғи материал) құрылымдық, физика-химиялық қасиеттерін қарастыру.
- Полимерлі комплекстердің судан органикалық, бейорганикалық, биологиялық ластаушыларды бөлу, адсорбция, мембрана, каталитикалық жолмен жою механизмдерін білу.
- Суда қолданылатын жасыл, қайта өңделетін, биосәйкестілігі жоғары полимерлі композиттерге шолу жасау.
- Полимерлі комплекстерді жобалау, қолдану және бағалау саласында аналитикалық ойлау дағдыларын қалыптастыру.

2. Қол жеткізілетін нәтижелер

Дәріс соңында білім алушылар:

- «Полимерлі комплекстер» түсінігін бере алады және суды тазарту саласына қалай қатысты екендігін сипаттай алады.
- Полимер-комплекстердің басты қолдану түрлерін: адсорбция, ион алмастыру, мембраналық бөлу, каталитикалық жою — ажырата алады.
- Полимерлі мембраналар, нанокмползиттер және функционалдандырылған полимерлер арқылы су тазарту технологияларының артықшылықтары мен шектеулерін талдай алады.
- Бір-екі үлгі (мысалы, полимер-глина мембранасы, стимулға жауапты полимерлер) бойынша қолдану мысалын келтіре алады.
- Полимерлі жүйелерді таңдаудағы критерийлерді (беткі ауданы, функционалды топтардың болуы, ион алмастыру қабілеті, қайта қолдану мүмкіндігі) түсінеді.

3. Конспект

3.1 Кіріспе: Су ластануы және полимерлі шешімдер

- Бүгінгі таңда әлемде таза судың тапшылығы өсіп келеді: индустриализация, ауыл-шаруашылық, тұрмыстық ластаулар арқасында. Мысалы, металдар, бояғыштар, микробтар, органикалық заттар суды ластайды.
- Кәдімгі технологиялар (коагуляция, фильтрация, биологиялық тазарту) белгілі қадамдарды шешкенімен, жаңа немесе күрделі ластаушыларды

(фармацевтикалық қалдықтар, тұрақты бояғыштар, PFAS-тар) алып тастау әрқашан оңай емес.

- Осы ортада **полимерлі комплекстер (polymeric complexes / composites / membranes)** маңызды рөл атқарады: функционалды полимерлер + толықтырғыштар (глина, оксидтер, талшықтар) + мембраналық дизайн арқылы. Мұндай жүйелер адсорбция, ион алмастыру, каталитикалық жою, мембраналық бөлу механизмдерін біріктіреді. Мысалы:
 - Humic polymer complexes for purification of mineralized water — полимер-гумин кешендері көмір шахтасының минералданған суын тазартуда қолданылған. (bulletin.chemistry.kz)
 - Water treatment using stimuli-responsive polymers — стимулға жауаптын полимерлер арқылы металдар мен бояғыштарды жою жолдары. (pubs.rsc.org)

3.2 Полимерлі комплекстердің түрлері және механизмдері

3.2.1 Полимер-полимер және полимер-табиғи материал комплекстері

- Полимер мен табиғи глина (мысалы, бентонит) немесе табиғи талшықтар арасындағы кешендер — мысалы, пленка немесе фильтр формасында бактерияларды сүзу үшін. ([PubMed](http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/))
- Полимерлерді функционалдандыру (кватерн-аммоний топтары, фосфат топтары) арқылы судағы иондарды кешендеу (chelation) қабілетін арттыру. Мысалы, фосфорланған хитозан (phosphorylated chitosan) метал-иондары үшін кешенант ретінде. ([MDPI](http://mdpi.com/))

3.2.2 Полимер-наноқоспалар (Nanocomposites) және мембраналар

- Полимерлі матрица + наноқоспалар (мысалы, металл оксидтері, наноталшықтар, көміртекті наноматериалдар) арқылы адсорбция көлемін, каталитикалық белсенділікті және механикалық тұрақтылықты жоғарылату. ([MDPI](http://mdpi.com/))
- Мембраналық технологияларда полимер-нанокомпозиттерді қолдану: су өткізгіштігі жоғары, ластаушыларға селективтілік бар компоненттер.

3.2.3 Стимулға жауапты (smart) полимерлер

- Температураға, рН-қа, жарыққа, магниттік өріске жауап беретін полимерлер арқылы ластаушыларды ұстап, кейін қайта қалпына келтіріп немесе босатып алу мүмкіндігі. (pubs.rsc.org)

3.3 Суды тазартуда қолданылатын механизмдер

- **Адсорбция:** функционалды полимер немесе оның кешені арқылы ластаушы молекулалар мен иондар бетке немесе ішкі құрылымға адсорбцияланады.
- **Ион алмастыру / кешендеу:** полимерде немесе құрамында бар топтар (мысалы, фосфат, амин) метал-йондарды ұстап, жоғары селективті жинау жасау.
- **Мембраналық бөлу:** полимерлі мембрана арқылы мөлдірлік, қозғалғыштық, ластаушылық, микроорганизмдер сүзіледі. Нано-, микро-, ультра-фильтрация.
- **Каталитикалық/фотокаталитикалық жою:** полимерлі жүйенің ішіне ендірілген фотокатализатор (мысалы TiO_2) немесе Fenton-типті ферменттер арқылы органикалық заттарды сутегі радикалдары арқылы ыдырату. ([MDPI](#))
- **Антимикробтық әсер:** полимер-композиттерде ағзаға қарсы агенттермен біріктірілуі мүмкін (мысалы Ag нанобөлшектер) судағы бактерияларды жоюда. ([MDPI](#))

3.4 Сапа-талаптар және жобалау критерийлері

- Батырылатын полимерлі жүйелер үшін негізгі көрсеткіштер:
 1. **Беттің ауданы / пороздылық** — адсорбция көлемін арттырады.
 2. **Функционалды топтардың тығыздығы** — ион алмастыру немесе кешендеу үшін.
 3. **Механикалық және химиялық тұрақтылық** — қайта қолдану, жуып алу, регенерация мүмкіндігі.
 4. **Судың жылдам өту қабілеті / өткізгіштігі** — мембраналар үшін маңызды.
 5. **Экологиялық тұрғыдан қауіпсіздік** — нанобөлшектердің леберілуі, полимер қалдықтары, биосәйкестілік. Мысалы, зерттеу көрсеткендей: «nanocomposites ... potential environmental risks» ([MDPI](#))
- Жобалау кезінде шикізат көздері (биополимерлер — хитозан, альгинат, целлюлоза) және толтырғыштар (глина, металл оксидтері) үйлесімділігі қарастырылады.

3.5 Қолдану мысалдары

- Көмір шахтасының минералданған суын гумин-полимер кешендері арқылы тазарту. (bulletin.chemistry.kz)
- Қозғалмалы сүзгі жүйелерінде глина-полимер кешендері бактерияларды 100 % жойған. ([PubMed](#))
- Стимулға жауапты полимерлер арқылы судағы ауыр металларды ұстап қалу. (pubs.rsc.org)

- Полимер композиттер арқылы органикалық, бейорганикалық және биологиялық ластаушыларды бір жүйеде жою – шолу мақаласы. ([MDPI](#))

3.6 Шектеулер және келешек бағыттар

- Полимерлі кешендер мен наноккомпозиттер зертханалық масштабта жақсы көрсеткіштер көрсетті, бірақ **өндірістік-масштабқа көшуі, шкалалау, төмендеген көрсеткіштер** мәселелері бар. ([MDPI](#))
 - Регенерация және қайта қолдану саны: көптеген жүйелер бірнеше рет қолданудан кейін тиімділігін жоғалтады. ([MDPI](#))
 - Қауіпсіздік: нанобөлшектердің, металдардың леберілуі, полимердің ыдырауы нәтижесінде пайда болатын бөлшектер.
 - Жаңа бағыттар: жасыл полимерлер, 3D/4D баспа арқылы сүзгі/адсорбент материалдарын шығару, жасанды интеллект көмегімен материал дизайн. ([MDPI](#))
-

4. Қорытынды

- Полимерлі комплекстер – су тазарту саласында (адсорбция, мембраналық бөлу, каталитикалық жою, антимикробтық әсер) маңызды құрал болып отыр.
 - Материалдардың құрылымы және функциясы (полимер матрицасы + толтырғыштар + функционалды топтар) олардың тазарту көрсеткіштеріне тікелей әсер етеді.
 - Біраз шектеулерге қарамастан (шығын, регенерация, қауіпсіздік), бұндай жүйелер келешекте экологиялық және тиімді технологияларға айналуы мүмкін.
 - Әсіресе, қайта өңделетін биополимерлер мен функционалды наноккомпозиттер «жасыл» су тазарту шешімдері ретінде перспективалы.
-

5. Қайталау сұрақтары

1. Полимерлі кешендер (polymeric complexes) дегеніміз не және су тазартуда қандай механизмдер арқылы әрекет етеді?
2. Полимер-наноккомпозиттердің су тазарту саласындағы артықшылықтары мен негізгі шектеулері қандай?
3. Мембраналық және адсорбциялық полимерлі жүйелерді жобалау кезінде қандай критерийлер ескерілуі керек?
4. Стимулға жауапты полимерлер су тазартуда қалай қолданылуы мүмкін? Мысал келтіріңіз.

5. Глина-полимер кешендері бактерияларды сүзуде қандай артықшылықтар көрсетті?
 6. Су тазартуда қолданылатын полимерлі жүйелердің экологиялық қауіптерін атаңыз.
 7. Биополимерлердің қолданылуының маңызы неде су тазарту технологиясында?
-

6. Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. Z. Akkulova, A. Amirkhanova, A. Zhakina, A. Akhmetova. *Humic polymer complexes for purification of mineralized water*. Chemical Bulletin of Kazakh National University, 65(1), 207-210 (2012). (bulletin.chemistry.kz)
2. Adedapo Oluwasanu Adeola & Philiswa Nosizo Nomngongo. *Advanced Polymeric Nanocomposites for Water Treatment Applications: A Holistic Perspective*. Polymers, 14(12), 2462 (2022). ([MDPI](https://doi.org/10.3390/polym14122462))
3. Carlos Rafael Silva de Oliveira, Jéssica Mulinari, Éllen Francine Rodrigues, Carolina E. Demaman Oro et al. *Polymer Composite Materials for Water Purification: Removal of Organic, Inorganic, and Biological Contaminants*. Eng 6(11), 284 (2025). ([MDPI](https://doi.org/10.3390/eng6110284))
4. Zahra Abousalman-Rezvani, H. Roghani-Mamaqani, H. Riazi, O. Abousalman-Rezvani. *Water treatment using stimuli-responsive polymers*. Polymer Chemistry, 13, 5940-5964 (2022). (pubs.rsc.org)
5. Muhammad Zahid, Anum Rashid, Saba Akram, Zulfiqar Ahmad Rehan & Wasif Razzaq. *A Comprehensive Review on Polymeric Nano-Composite Membranes for Water Treatment*. J Membr Sci Technol 8:1 (2018).
6. Y. Huang, J. Li, X. Chen, X. Wang. *Applications of conjugated polymer based composites in wastewater purification*. RSC Advances, 4, 62160-62178 (2014). (pubs.rsc.org)
7. M. J. Silva, J. Gomes, P. Ferreira, R. C. Martins. *An Overview of Polymer-Supported Catalysts for Wastewater Treatment through Light-Driven Processes*. Water, 14(5), 825 (2022). (ouci.dntb.gov.ua)