АҢДАТПА

Философия докторы (PhD) дәрежесін алу диссертациясы

6D074000 – Наноматериалдар және нанотехнологиялар

Сейтжанова Макпал Азизқызы

Теңіз суын тұщыландыру үшін мембраналы технологияны синтездеу және қолдану

Зерттеудің жалпы сипаттамасы

Графен негізіндегі мембраналар тұзсыздандыруға арналған нанотехнологияның кең әрі перспективалы саласы болып табылады. Нанотехнологияның бұл маңызды саласы үнемі даму үстінде және жыл өткен сайын практикалық маңызға ие болып келеді.

Диссертация күріш қауызынан графен мембраналарын синтездеу техникасын жасауға және оны теңіз суын тұзсыздандыруға қолдануға арналған.

Бірінші тарау теңіз суын тұщыландырудың негізгі және балама әдістерінің әдеби шолуына арналған. Тұзсыздандыру саласындағы заманауи жетістіктер, әлемдік тәжірибе және мембраналық технологиялардың даму тенденциялары қарастырылған. Тұзсыздандырудың құны, экологиялық қауіптер, денсаулыққа әсері және тұзсыздандыру процесінің дамуы туралы әдебиеттерге шолу ұсынылған.

Диссертацияның екінші тарауында қолданылған синтездеу әдістері мен аналитикалық әдістер көрсетілген. Жұмыста қолданылған әдістер: күріштің қабығын алдын-ала көміртектендіру, көміртектенген күріш қауызын NaOH-мен десиликациялау, көміртектенген күріш қауызын KOH-мен активтендіру, қабыршақтандыру. Қазіргі заманғы талдау әдістері қолданылды: энергия дисперсиялық рентгендік анализ (EDAX) детекторлы сканерлеуші және тарату электронды микроскопия, масс-спектроскопия, элементтік талдау, раман спектроскопия, термогравиметриялық талдау және инфрақызыл спектроскопия.

Үшінші тарауда күріш қауызынан графен қабаттарын синтездеу және алынған материалдардың физика-химиялық сипаттамаларын зерттеу нәтижелері келтірілген.

Төртінші тарауда вакуумды сүзу және тұндыру арқылы графен мембраналарын жасау нәтижелері келтірілген. Сондай-ақ, графен мембраналарының тұзсыздандыру тиімділігі көрсетілген.

Зерттеу нәтижелері Scopus ақпараттық базасына сәйкес импакт-факторы бар журналда бір мақала түрінде, Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған журналдарда үш мақала, халықаралық конференциялар мен симпозиумдарда 11 тезис, сонымен қатар 1 пайдалы пайдалы үлгіге ҚР патенті түрінде рәсімделген.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі

Мембраналар мен мембраналық технологиялар теңізден ауыз су алу үшін, өндірістік ағынды суларды тазарту мен құнды компоненттерді алу үшін, тамақ және фармацевтика өндірісіндегі макромолекулалық қоспаларды шоғырландыру, тазарту немесе фракциялау үшін, сондай-ақ газдар мен буларды бөлу үшін қолданылады. Олар энергияны түрлендіру жүйелеріндегі, сонымен қатар жасанды мүшелер мен дәрі-дәрмектерді жеткізу құрылғыларындағы негізгі компоненттер болып табылады. Әртүрлі салаларда қолданылатын мембраналардың құрылымы мен қызметінде, сондай-ақ жұмыс істеу әдісінде айтарлықтай ерекшеліктер болады, сондықтан мембраналар мен мембраналарға негізделген процестердің толық шолуын табу қиын.

Соңғы жылдары нанотехнология тұжырымдамасы мембраналық өндіріс саласына да ене бастады. Шынында да, кәдімгі мембраналық материалдарға нанофункционалды материалдарды қосу арқылы мембрана жұмысын өзгертуге және оңтайландыруға мүмкіндік туды. Атап айтсақ, соңғы жылдары графеннің қасиеттерін мембраналық технологияда қолдануға талпыныс жасалды.

Азия Даму Банкінің бағалауы бойынша, қолданыстағы инфрақұрылымның үнемі нашарлауы салдарынан халыққа жеткізілетін ауыз судың орташа мөлшері жылына 3-5% төмендеуде. Судың жетіспеушілігімен күресудің ең перспективті тәсілдерінің бірі – тұщы судың табиғи экожүйелеріне зиян тигізбестен жоғары сапалы сумен қамтамасыз ететін тұзсыздандыру әдісі. Теңіз суы планетадағы барлық судың 97,5% құрайды. Бүгінгі күні теңіз суын тұзсыздандыру негізінен көп сатылы дистилляция және кері осмос көмегімен жүзеге асырылуда. Тұзсыздандыру қондырғыларының бұл түрлері жылу мен электр энергиясын көп мөлшерде тұтынады, нәтижесінде парниктік газдардың едәуір мөлшері пайда болады. Жалпы көлемнің 50%-дан астамын құрайтын теңіз суын тұщыландыру техникалық тиімділікке байланысты кері осмос жүйелерімен қамтамасыз етіледі. Алайда, бұл технология үлкен капиталды қажет етеді, сөйтіп оны кеңінен қолдануды қиындатады.

Осыған байланысты докторлық диссертацияның ғылыми-зерттеу тақырыбы күріш қауызынан жаңа графен мембраналарын алу әдісін жасау

және олардың физика-химиялық және тұзсыздандыру қасиеттерін зерттеу бойынша өзекті екені сөзсіз.

Зерттеу нысаны

Күріш қауызы, көміртектелген күріш қауызы, графен қабаттары, графен негізіндегі мембраналар.

Ғылыми зерттеу тақырыбы

Алдын ала көміртектендіру арқылы графен материалдарын алу, содан кейін теңіз суын тұщыландыру үшін күріш қауызын химиялық активациялау.

Диссертациялық жұмыс мақсаты

Бұл жұмыстың мақсаты – күріш қауызынан термохимиялық активтендіру арқылы графен материалдарын алу, содан кейін теңіз суын тұщыландыру үшін нанокеуекті мембраналар жасау.

Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылған:

1. Күріш қауызынан графен материалдарын алу. Көміртектендіру және активтендірудің оңтайлы жағдайларын жасау, күріш қауызынан нанокеуекті графендер алу үшін құрамды таңдау;

2. Алынған графен материалдарының физика-химиялық қасиеттерін зерттеу;

3. Графен материалдарынан тұзсыздандырушы мембраналарды өндіру;

4. Судан түрлі тұздарды сорбциялау кезінде графен мембраналарының тиімділігін анықтау.

Ғылыми жаңалығы

Алғаш рет келесі нәтижелер алынды:

- Күріш қауызынан көміртектендіру және химиялық активтендіру арқылы графен материалдарын өндірудің жаңа қарапайым және экологиялық таза әдісі ұсынылды. Графен материалдары алынды және зерттелінді.

- БЭТ әдісімен анықталған графен материалдарының максималды меншікті ауданы 2818 $м^2/г$ құрады. Түрлі жағдайда алынған материалдардың беткі және сорбциялық қасиеттерін заманауи әдістермен зерттеу арқылы KOH-пен (1/4 және 1/5) көміртектендіру мен химиялық активтенудің уақытына (2 сағ) және температурасына (850°C) қатысты графен материалдарын синтездеудың заңдылықтары анықталды.

- Күріш қауызы негізінде синтезделген графен мембраналарын физика-химиялық зерттеу нәтижелері теңіз суын тұщыландыруға арналған жаңа нанокеуекті мембраналарды алуға болатындығын көрсетті.

Зерттеудің ғылыми және практикалық өзектілігі

Осы жұмыста ұсынылған нәтижелер, графен – наноматериалдары негіздегі мембраналарға деген түсінікті дамытады. Күріш қауызынан алынған графен материалдарын сорбенттер және тазарту қондырғыларының сүзгілері

ретінде және суперконденсаторлардың электродтарын жасау үшін пайдалануға болады.

Мембраналарға арналған графен өндірісі тұзсыздандыру мәселелерін шешуде өте тиімді. Вакуумдық сүзгілеу арқылы жасалған графен мембраналары теңіз суын 99%-ға дейін тұзсыздандырады және де судағы ауыр иондарды адсорбциялай алуы мүммкін.

Қорғауға ұсынылатын негізгі жағдайлар:

1. Күріш қауызы мен белсендіргішті 1:5 (г/г) қатынаста карбонизациялау нәтижесінде 4-5 қабатты графен құрылымы алынды. Мұндай активтендіру 1:5 қатынасы оңтайлы екендігі және күріш қауызы мен активтендіргіш агентінің басқа қатынастарына қарағанда графен жоғары мөлшерде түзілетіндігі анықталды.

2. Күріш қауызынан синтезделген графен материалдарының кеуектілігі орташа шамамен <100 нм, құрамында 80-90% көміртегі бар және меншікті беттік ауданы 2500-3000 $м^2$/г құрайды.

3. Фурье-трансформалы инфрақызыл спектроскопия нәтижелері көрсеткендей, 24 сағаттай графенді күкірт қышқылмен функционизациялау мембранаға сульфид топтарының енуіне әкеледі.

4. Күріш қауызынан алынған графен мембраналары вакуумды сүзу арқылы теңіз суын 99% дейін тұзсыздандырады.

Зерттеу әдістері

Диссертациялық тақырып бойынша зерттеу жұмысын жүргізу барысында келесідей зерттеу және синтездеу әдістері қолданылған: алдын-ала көміртектену және активтендіру әдістері, десиликация, қабыршақтандыру, рентгендік дифракция әдісі, сканерлеуші электронды микроскопия, таратушы электронды микроскопия, раман спектроскопиясы, ИК спектроскопиясы, термогравиметриялық талдау, атомды сіңіру жалынның сәулелену спектрофотометриясы.

Зерттеу деректанулық база және материалдары нанотехнология және графен оксидтері негізінде мембрана синтезі, нанокеуекті көміртекті материалдарды синтездеу әдістері, активтендіру және көміртектендірудің мүмкін механизмдері бойынша 112 әдебиет көздерін қамтиды.

Диссертациялық зерттеудің негізгі нәтижелері 16 ғылыми жұмыста жарияланды, оның ішінде:

- Скопус (Scopus) және Thomson Reuters компаниялары ақпараттық базасы мәліметтеріне сәйкес нөлдік емес импакт – факторға ие халықаралық ғылыми журналда жарияланған бір мақалада;

- Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі Білім және ғылым саласындағы бақылау комиететі ұсынған журналдарда жарияланған үш мақалада;

- шетелдік және республикалық халықаралық конференцияларда баяндалған он бір тезистерде;

- ҚР бір инновациялық патенті пайдалы үлгіге бір патентте.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі

Диссертациялық жұмыс кіріспеден, төрт тараудан, қорытындыдан, 112 басылымды қамтитын отандық және шетелдік әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыс 85 бетте жазылып, 14 кесте, 49 сурет және 5 формуланы қамтиды.

Диссертациялық зерттеу нәтижелері бойынша төмендегідей қорытынды жасауға болады:

1. Күріш қауызынан графен материалдары алынды. Күріш қауызын көміртектендіру/активациялау графен қабаттары мен аморфты көміртегі қоспасының түзілуіне әкелетіні анықталды. Күріш қауызы мен активтендіретін реагенттің оңтайлы қатынасы (1:5) кезінде графен компонентінің салыстырмалы мөлшері артады. Раман спектроскопиясының нәтижелері Gr(1/5) және Gr(1/4) үлгілерінде I_G/I_{2D} қатынасы 1,56 ± 0,10-ға жақын екенін көрсетеді, бұл графеннің 4-5 қабаттан тұратынын көрсетеді.

2. Алынған графен материалы орташа мөлшері <100 нм тең кеуекті, құрамында 80-90% көміртегі бар және бетінің меншікті ауданы 2500-3000 $м^2/г$ құрайды.

3. Целлюлоза ацетаты мембранасына вакуумды сүзу және тұндыру арқылы графен мембраналары алынды. Вакуумды сүзгілеу нәтижесінде алынған мембраналар батыру әдісімен алынған мембраналармен салыстырғанда жоғарғы қабаты тығыз және су өткізгіштігі 4,5 және 30 мл/мин болатын анағұрлым микро- және нанокеуекті құрылымға ие екендігі анықталды.

4. Графен мембраналарының тұзсыздандыру қасиеттері NaCl, KCl, $MgCl_2$, $CaSO_4$ және $MgSO_4$ тұздарына тексерілді. Графен мембраналары арқылы тұз ерітінділерін сүзгілегеннен кейін олардың концентрациясы 99,5% (NaCl), 99,8% (KCl), 99,5% ($MgCl_2$), 77,6% ($CaSO_4$) және 99,3% ($MgSO_4$) дейін төмендейтіні анықталды.

Міндеттерді шешудің толықтығын бағалау

Жұмыста қойылған міндеттер толығымен орындалды. Графен материалдары күріш қауызынан алынды және теңіз суын тұзсыздандыру үшін мембраналар ретінде қолданылды. Нәтижелер сенімді және негізделген, өйткені барлық өлшемдер стандартты әдістерді қолданып калибрленген аспаптарда жүргізілді.

Зерттеудің бір бөлігі Неапольдағы (Италия) Федерико-II университетінде проф. Марко Трифуогги тобымен және проф. Роберто Ди Капуа жетекшілігімен өткізілді: сканерлеуші электронды микроскопия (SEM), дисперсиялық рентгендік анализ (EDAX) детекторымен, масс-спектроскопиясы, элементтік талдау, раман спектроскопиясы. Зерттеудің екінші бөлігі Жану зерттеулер институтының зертханаларында доктор Микела Альфе мен доктор Валентин Гаргиулоның тұрақты жетекшілігімен жүргізілді: сынамаларды тазарту және функционализациялау (сульфо топтарын қосу), суды тұзсыздандыруға арналған прототиптік мембраналарды зерттеу EDAX-SEM, ICP-MS, элементтік талдау, термогравиметриялық талдау (TGA) және инфрақызыл спектроскопия (FTIR) сияқты аспаптық аналитикалық әдістердің көмегімен жүргізілді.

Диссертациялық жұмыс ұсынған шешімнің техникалық – экономикалық тиімділігін бағалау

Осы диссертацияның нәтижелерін күріш қауызы негізінде синтезделген графен мембраналарын шығаруға ұсынуға болады. Ұсынылып отырған графен синтезі әдісінің артықшылығы – бастапқы реагенттің, күріш қауызының салыстырмалы түрде қолжетімді болуы. Күріш қауызына негізделген графен материалдарын сорбенттер және тазарту қондырғыларының сүзгілері ретінде, суперконденсаторлардың электродтарын өндіру үшін де пайдалануға болады.

Осы саладағы ең жақсы жетістіктермен салыстырғанда орындалған жұмыстың ғылыми деңгейін бағалау

Қазіргі уақытта зерттеушілердің көпшілігі теңіз суын тұзсыздандыру үшін коммерциялық графенді пайдаланады, бұл коммерциялық тұрғыдан алғанда ең қымбат материалдардың бірі (1 г графен оксидінің құны 160 доллар). Бұл жұмыс ағынды суларды тазарту үшін қол жетімді, арзан және тиімді сорбенттер ретінде күріш қауызынан графен негізінде отандық материалдарды өндірудің болашағын ашады. Алынған нәтижелер суды тазарту және тұзсыздандыру үшін жаңа жетілдірілген наноматериалдарды алу үшін практикалық қызығушылық тудырады.

Сонымен қатар, ұсынылған диссертацияның ғылыми деңгейі таңдалған бағытта жүргізілетін зерттеулердің халықаралық стандарттарына сәйкес келеді. Бұған жоғары деңгейдегі жарияланымдар, халықаралық симпозиумдар мен конференциялардағы жұмыс нәтижелерін ұсыну және талқылау дәлел.