

БЕКТЕМЕСОВ ЖОЛАМАН МАҚТАҒАЛИҰЛЫ

БИОМЕДИЦИНАДА ЖӘНЕ ЭКОНОМИКАДА КЕРІ ЕСЕПТЕРДІҢ САНДЫҚ МОДЕЛЬДЕУІ

6D070500 – «Математикалық және компьютерлік пішіндеу»
Мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін
диссертациясына

АҢДАТПА

Зерттеудің өзектілігі. «Кері есептер» және «қисынды емес есептер» терминдері ХХ- ғасырдың ортасынан бастап заманауи ғылымда ғылыми ізденіс бағыты ретінде тұрақты түрде өз орынын ала бастады. Мұндай есептерді зерттеу 50-жылдан астам уақыт арасында классикалық математиканың әр түрлі бағыттарындағы есептерді (есептеу алгебрасы, дифференциалдық және интегралдық теңдеулер, дербес дифференциалдық теңдеулер, функционалдық талдау) кері және/немесе қисынды емес есептер деп жіктеуге болады және одан туындаған мәселелерді шешу оңай емес өте ең қиын, өйткені олар орнықты да, сызықты да емес.

Сонымен бірге кері және қисынды емес есептер физика, геофизика, медицина, астрономия және басқа да математикалық әдістер қолданылатын салаларда зерттеліп, жүйелі түрде қолданыла бастады. Себебі кері есептердің шешімдері ортаның маңызды қасиеттерін, соның ішінде толқындардың таралу тығыздығы мен жылдамдығын, серпімді параметрлерін, өткізгіштігін, диэлектриктік және магниттік өткізгіштігін, сондай-ақ қол жетімсіз аймақтардағы біртектіліктің қасиеттері мен орналасуын және т.б. сипаттайды. Соңғы кездерде биомедицинаның өзекті мәселелерін шешуге арналған математикалық модельдеу әдістерін қолданысқа жедел енгізу жүруде. Біз білетіндей, ғылымның әртүрлі салаларының зерттеулерінде математикалық модельдеу үлкен рөл атқарады. Атап айтқанда, биомедицинадағы динамикалық процестерді зерттеу және модельдеумен бірге фармакокинетика, эпидемиология және иммунология процестерін модельдеу. Ғылыми зерттеу практикасында негізінен биомедицина процестерін зерттеу мен қолданудың жаңа перспективалық бағыттарын әзірледі, зерттелетін математикалық модельдер ауқымын кеңейтуді, осы жағдайда туындайтын кері есептерді шешудің компьютерлік технологияны қолдана отырып орнықты математикалық әдістерін құруды талап етеді .

Жаратылыстану ғылымдарының қазіргі дамуы биомедицина процестерін зерттеу кезінде туындайтын математикалық модельдерді дамытумен, талдаумен және практикалық қолданумен тығыз байланысты. Осы модельдердің немесе процестердің толық сипаттамасы зерттеу объектісі мен заттың құрамы жайында саны туралы ақпаратты нақтылауды талап етеді; көптеген жағдайларда мұндай деректер тікелей өлшеу үшін қол жетімді емес.

Биомедицинадағы кері есептердің ерекшелігі - тәжірибелік мәліметтер негізінде қарапайым дифференциалдық теңдеулермен сипатталған модельдерде белгісіз параметрлерді табу. Биомедициналық процестердің мәселелерін шешуге қолданылатын әдістерді экономикалық процестердің математикалық модельдерін шешуге де қолдануға болатындығын ескеру қажет.

Сондықтан, алынған зерттеу **тақырыбы өзекті** және ғылыми-практикалық қызығушылық тудырады деп сенімді түрде айта аламыз.

Жұмыстың мақсаты: биомедицинадағы кері есептерді моделдеу және оны сәйкестендіру негізінде шеше отырып экономикалық есептерді модельдеу мен шешуге осы әдісті қолдану.

Келесі зерттеу міндеттері қойылды.

– Сандық талдауын қолдану арқылы құрылымдық немесе практикалық сәйкестендіруді жақсарту үшін моделді қайта құрылымдау үшін параметрлерге сезімталдықты тексеру немесе параметрлерді ретке келтіру.

– Сандық талдауды қолдану арқылы қант диабетінің алдын алу үшін С-пептидті секрецияның жеңілдетілген және кеңейтілген екі камералы моделінің есептерінің сәйкестілігін зерттеу.

– С-пептидті секрецияның екі камералы моделі үшін кері есепті шығару, оны оңтайландыру есебіне келтіру.

– Модель параметрлерінің мәндерін қалпына келтіру үшін дифференциалды эволюция алгоритмін қолдану.

– Биомедицина процестерін де, экономикалық өсу процестерін де параметрлердің әр түрлі мәндерімен сипаттайтын әмбебап модель жасау.

– Солоудың неоклассикалық экономикалық моделін зерттеу және оның коэффициенттерін қалпына келтірудің кері есебін оңтайландыру.

– Сандық талдауды жүргізе отырып, өндірістік функцияны тұрақты және кеңістікке тәуелді технологиялық деңгейде қалпына келтірудің кері есебін шешу.

Зерттеу нысаны. Әр түрлі параметрлердің әсерінен болатын фармакокинетикалық процестері және экономикалық өсу процестері зерттеу нысаны болып табылады.

Зерттеу пәні ретінде өндіріс функциясымен бірге биомедицина модельдерінің параметрлері және Солоудың экономикалық моделі болып табылады.

Зерттеу әдістері. Сәйкестендіруді талдаудың келесі әдістері қолданылды: Монте-Карло әдісі, матрицалық корреляция әдісі және сенімділік интервал әдісі; дифференциалды эволюция алгоритмі; сенім аралықтарын, ықтималдық функцияларын және параметрлердің корреляциялық матрицасын құруға арналған potterswheel бағдарламалық жасақтамасы; Сәйкестендіру талдауы үшін AMIGO бағдарламалық жасақтамасы; есептерді шешуде, сандық модельдеуде және процестерді визуалдауда техникалық есептеулер үшін MATLAB қосымшасының пакеті,

параллель есептеулер үшін Сібір суперкомпьютер орталығындағы NKS-30T кластері қолданылды.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы қант диабетінің алдын алу үшін С-пептидті секрецияның екі камералы модельдерінің коэффициенттерін қалпына келтіруден тұрады; стохастикалық оңтайландыруды (дифференциалды эволюция алгоритмі) классикалық алгоритмдерді қолдану кезінде бұрын мүмкін болмаған өте үлкен матрица үшін глобалды минимумды табуға қолдану кезінде; биомедицина процестерін де, экономикалық өсу процестерін де сипаттайтын әмбебап модель алу кезінде; адам капиталын қосумен Солоудың жаңартылған неоклассикалық экономикалық моделінің коэффициенттерін қалпына келтіруде; математикалық модельдеудің және компьютерлік нәтижелерді визуалдаудың заманауи тәсілдерін қолдана отырып, Солоу кеңістіктік моделінің өндірістік функциясын қалпына келтіру кезінде.

Қорғауға ұсынылған ғылыми қағидалар:

- биомедициналық процестерді сипаттайтын математикалық модель параметрлерінің сәйкестілігін және сезімталдығын тексеру;
- қосымша статистикалық ақпараттар арқылы биомедицинаның математикалық моделі параметрлерінің мәндерін қалпына келтіру;
- өте үлкен матрица үшін глобалды минимумды табу кезінде стохастикалық оңтайландыруды қолдану (дифференциалды эволюция алгоритмі);
- биомедицина процестерін де, экономикалық өсу процестерін де сипаттайтын әмбебап модель алу;
- қосымша статистикалық мәліметтер арқылы неоклассикалық экономикалық өсудің математикалық моделі параметрлерінің мәндерін қалпына келтіру;
- дербес туындылы дифференциалдық теңдеулермен сипатталған Солоу кеңістіктік экономикалық моделі үшін өндірістік функцияны қайта құру.

Ғылыми ережелердің сенімділігі мен негізділігі, диссертациялық жұмыстың қорытындылары мен нәтижелері биомедицина мен экономикадағы процестерді сипаттау және математикалық модельдерді құру кезінде жаппай тепе-теңдік заңы негізінде құрылған және тұйық жүйеде жұмыс жасайтын сызықтық емес қарапайым дифференциалдық теңдеулер жүйесін қолданумен расталады; алынған модельдердің кері есептерінің шешімдер нәтижелерін сенімді аналогтарымен салыстыру және талдау.

Зерттеудің теориялық және практикалық маңызы. Жұмыстың теориялық маңыздылығы математикалық модельдің параметрлер жиынтығын анықтаудың жаңа бағытын дамытуда; стохастикалық оңтайландыруды қолдану кезінде классикалық алгоритмдерді қолдану кезінде бұрын мүмкін болмаған глобалды минимумды табу; С-пептидтің фармакокинетикасын және экономикалық өсу процесін сипаттайтын жаңа әмбебап математикалық модель жасауда; оларды шешу және талдау әдістерін жасауда, олардың зерттеу нәтижелерін жалпылауда.

Диссертациялық зерттеудің практикалық маңыздылығы мынада: компьютерлік технологиялар мен математикалық модельдеу әдістерін дамыта және қолдана отырып, алынған нәтижелерді нақты процестерге жақындатуға мүмкіндік берді, биомедицинада адам денесінде дәрілік заттардың фармакокинетикасын жоғары дәлдікпен болжауға және экономика саласында адами капиталдағы өзгерістерді ескере отырып экономикалық өсуді болжауға мүмкіндік береді.

Бұл жұмыстың басқа зерттеу жұмыстарымен байланысы.

Диссертациялық зерттеу Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің гранттық қаржыландыру бағдарламасы бойынша жүргізілді:

- «Жаратылыстанудағы кері және қисынды емес есептерді шешудің теориялық және сандық әдістері» (2015-2017 ж., №1746/ГФ4);
- «Жаратылыстанудағы кері және қисынды емес есептерде сәйкестендірудің сандық әдістері» (2018-2020 ж., АР05134121).

Жұмыстың апробациясы. Жұмыстың негізгі нәтижелері келесі ғылыми іс-шараларда ұсынылды және баяндалды:

- IV-VII Халықаралық Фараби оқулары (Алматы, Қазақстан, 10-13 сәуір, 2017, 2018, 2019, 2020).
- Түркітілдес елдердің математикалық қоғамының VI конгресі (Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан, 2-5 қазан 2017 ж.).
- 3rd International Symposium «Mathematical Modeling and High-Performance Computing in Bioinformatics, Biomedicine and Biotechnology. (Новосибирск, Ресей, 21-24 тамыз 2018ж.).
- «Білім беру және ғылымдағы математикалық модельдеу және ақпараттық технологиялар» VIII Халықаралық ғылыми-әдістемелік конференция (ММИТОН, Алматы, Қазақстан, 3-4 қазан 2018 ж.).
- Inverse Problems, Design, and Optimization Symposium – IPDO2019 (Tianjin, China, September 24-26, 2019)
- XIII Халықаралық жастар ғылыми мектеп - конференциясы «Кері және қисынды емес есептерді шешудің теориясы мен сандық әдістері» (Академгородок, Новосибирск, Ресей, тамыз 2019).
- Халықаралық қаржы конференциясы «Қаржы, экономика және өмір ғылымдарындағы кері есептері» (Алматы, Қазақстан, 31 тамыз - 4 қыркүйек 2019 жыл).
- School of Science, Zhejaing Sci-Tech University-де баяндама (Жечианг, Қытай, 25.10.2019ж.).
- «Кері және қисынды емес есептерді шешудің теориясы мен сандық әдістері», XII Халықаралық жасөспірімдердің ғылыми мектебі - Конференция (Академгородок, Новосибирск, Ресей, 4-12 қазан, 2020).
- әл-Фараби атындағы ҚазҰУ механика-математика факультетінің ғылыми семинарлары (2017-2020 ж., Алматы);

- әл-Фараби атындағы ҚазҰУ-дың математикалық және компьютерлік модельдеу кафедрасының ғылыми семинарлары (2016-2020ж., Алматы).
- әл-Фараби атындағы ҚазҰУ-дың зерттеу тобының құрамында Қазақстанда COVID-19 коронавирустық инфекциясының таралуын болжау туралы бірнеше рет Қазақстан Республикасының Қауіпсіздік Кеңесіне есеп бердім (2020 ж. шілде-тамыз).
- Мидлсекс университетімен (Лондон, Ұлыбритания), Есептеу математикасы және математикалық геофизика институтымен (Новосибирск, Ресей) және ҚазҰУ әл-Фараби халықаралық ғылыми семинары (2021 ж. қаңтар).

Жарияланымдар. Диссертация тақырыбы бойынша 11 мақала жарияланды, оның ішінде 4 басылым Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі Білім және ғылым саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған тізімге енгізілген ғылыми журналдардағы жарияланымдар үшін ғылыми қызметтің негізгі нәтижелері; Scopus және Thomson Reuters индекстелген, импакт-факторы 0,926, citescore 1,7, SJR 0,501 және процентиль 48, рейтингтік ғылыми басылымда - 1; Халықаралық конференциялардың материалдарындағы 6 жарияланым, оның ішінде шетелдік конференциялардың материалдарындағы 2 жарияланым.

Диссертация тақырыбы бойынша жарияланған жұмыстар библиографияда келтірілген.

Жұмыс құрылымы мен көлемі. Диссертациялық жұмыс тақырып парағынан, мазмұны, белгіленімдері мен қысқартуларынан, кіріспеден, төрт бөлімнен, қорытындыдан, пайдаланылған 106 дереккөздер тізімінен тұрады. Дипломдық жұмыстың жалпы көлемі 74 бет, оның ішінде 20 иллюстрация, 15 кесте және үш қосымшасы бар.

Диссертацияның негізгі мазмұны. Бұл жұмыс биомедициналық процестерде туындайтын кері есептерді сандық модельдеуге арналған. Кері есептерді шешуге кіріспес бұрын 1-тарауда сипатталған сәйкестендіруді талдау қажет, оның негізгі тұжырымдамалары (сәйкестендіру анықтамасы; глобалды, локальды, құрылымдық және практикалық сәйкестендіру) және сәйкестендіруді талдау әдістері: Монте-Карло әдісі, матрицалық корреляция әдісі және сенімділік аралығы әдісі. Сондай-ақ, маңызды элемент - бұл құрылымды және / немесе практикалық сәйкестендіруді жақсарту үшін онша маңызды емес параметрлерді анықтау үшін модельді қайта құруға немесе параметрлерді қайта реттеуге көмектесетін параметрлерге сезімталдықты сынау. Осылайша, Монте-Карло әдістерін, сенімділік аралықтарын және матрицалық корреляция әдісін қолдана отырып, кері есептердің сандық шешімі үшін регуляризация алгоритмін құру үшін практикалық сәйкестендіруге талдау жасалды.

Екінші тарауда қант диабетін болдырмау үшін қарапайым дифференциалдық теңдеулер түрінде ұсынылған С-пептидті секрецияның жеңілдетілген және кеңейтілген екі камералы моделінің есептері бойынша сәйкестендіруді талдау нәтижелері келтірілген. Тура есепті тұжырымдау

сипатталған. Potterswheel және AMIGO бағдарламалық жасақтамалары сенімділік аралықтарын, ықтималдық функцияларын және кері есептерді әрі қарай шешуге арналған параметрлер корреляциясы матрицасын құру үшін пайдаланылды.

3-тарауда оңтайландыру есебіне келтірілген С-пептидті секрецияның екі камералық моделі үшін кері есеп құрастырылды.

Модель параметрлерінің мәндерін қалпына келтіру үшін дифференциалды эволюция алгоритмі қолданылады, осы алгоритм Лондон (Англия), Мидлсекс университетінде шетелдік ғылыми тағылымдамадан өту кезінде зерттелген және сыналған, сондай-ақ ол параметрлердің мәндерін қалпына келтіру үшін глобалды стохастикалық оңтайландырудың тиімді әдісі болып табылады. Сандық нәтижелерді визуалдау статистикалық мәліметтер мен модельдеу деректері арасында жақсы келісімді дәлдікте жақындық көрсетілді.

Зерттеу жұмысы барысында 4-тарауда сипатталған биомедицина процестерін де, экономикалық өсу процестерін де сипаттайтын әр түрлі параметрлер мәндерін алмастыра отырып, әмбебап модель алынды. Солоудың Менкью-Ромера-Уэйладің неоклассикалық экономикалық моделі (адам капиталын қосқан модернизацияланған Солоу моделі), мұнда параметрлерді қарапайым коэффициент түрінде де және корсеткіш дәрежесі ретінде ұсынылғанда да қалпына келтіру қажет болды. Неоклассикалық экономикалық өсу моделі Солоудың кеңістіктік моделі түрінде жасалды, мұнда кері есепті шешу тек коэффициенттерді ғана емес, сонымен қатар өндірістік функцияны тұрақты және кеңістікке тәуелді технологиялық деңгейде қалпына келтіруден тұрды.