

АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИЛМҲОИ ТОҶИКИСТОН

Институти кимиёи ба номи В. И. Никитин

ТДУ 547.458.88.05

Бо ҳуқуқи дастнавис



ХОЛМУРОДЗОДА АЗИЗБЕК ХОЛМУРОД

**МАССАИ МОЛЕКУЛАВӢ ВА РАФТОРИ ГИДРОДИНАМИКИИ
ПЕКТИН АЗ МАНБАӢҲОИ ГУНОГУН**

АВТОРЕФЕРАТИ

**диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии номзади илмҳои
химия аз рӯи ихтисоси 1.4 – Химия (1.4.7 – Химияи пайвастаҳои
фаромолекулӣ)**

Душанбе – 2026

Диссертатсия дар озмоишгоҳи “Пайвастагиҳои фаромолекулӣ ва фаъоли биологӣ”-и Институти кимиё ба номи В. И. Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон иҷро карда шудааст.

Роҳбари илмӣ: **Мухиддин Зайниддин Қамар** – доктори илмҳои химия, профессор, мудири озмоишгоҳи “Пайвастагиҳои фаромолекулӣ ва фаъоли биологӣ”-и Институти кимиё ба номи В. И. Никитини АМИ Тоҷикистон

Муқарризони расмӣ: **Абдуллозода Хасан Мўминҷон** - доктори илмҳои физикаю математика, профессори кафедраи “Физикаи ҳисмҳои саҳт”-и Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Юнусов Хайдар Эргашович – доктори илмҳои техника, профессор, мудири озмоишгоҳи “Химия ва технологияи селлюлоза ва ҳосилаҳои он”-и Институти химия ва физикаи полимерҳои Академияи илмҳои Ҷумҳурии Узбекистон

Муассисаи пешбар: Донишгоҳи технологияи Тоҷикистон

Ҳимояи диссертатсия “**18**”-уми майи соли 2026, соати 9.00 дар ҷаласаи Шӯрои диссертатсионии 6D.KOA–080-и назди Институти кимиё ба номи В. И. Никитини АМИТ дар суроғаи: 734063, ш. Душанбе, кўчаи Айнӣ, 299/2, Институти кимиё ба номи В. И. Никитин, дар толори Шӯрои олимон баргузор мегардад.
E-mail: shd.6d.koa.080@gmail.com

Бо диссертатсияи илмӣ дар китобхона ва дар сомонаи Институти кимиё ба номи В. И. Никитини АМИТ (www.ikai.tj) шинос шудан мумкин аст.

Автореферат “ _____ ” _____ соли 2026 фиростода шуд.

Котиби илмии
Шӯрои диссертатсионии
6D. KOA-080, н.и.х.



С.Р. Усманова

МУҚАДДИМА

Мубрамияти мавзуи таҳқиқот. Полисахаридҳои пектинӣ (пектин) чузъи асосии сохти деворҳои ҳуҷайравии рустанӣҳо буда, қариб дар ҳамаи рустанӣҳо мавҷуд аст. Талабот ба маҳсулоти табиӣ ва солим дар бозори ҷаҳонӣ, инчунин васеъшавии доираи татбиқи пектин дар соҳаи дорусозӣ (фармасевтӣ) ва косметикӣ меафзояд. Пектин - гетерополисахариди анионӣ дар об ҳалшаванда буда, одатан аз партовҳои саноатӣ, ба монанди пӯсти меваҳои ситрусӣ ва фишурдаи себ, истихроҷ карда мешавад. Дар соли 2024 истеъмоли ҷаҳонии пектин тақрибан ба 80 000 тонна расида, даромади бозор аз фуруши он 1,65 миллиард доллари ИМА-ро ташкил дод. Пектин, ҳамчун чузъи табиӣ меваю сабзавот, иловаи бехатарии ҳӯрокворӣ маҳсуб ёфта, миқдори ниҳонии истеъмоли шабонарӯзии муқарраршуда надорад. Хосиятҳои табобатии пектин ба мақсадҳои тиббӣ ва системаҳои интиқоли моддаҳои доруворӣ (СИМД) низ ниғаронида мешавад.

Дар шароити ҷумҳурии мо, ки сарчашмаҳои асосии ашёи хоми ин полисахариди фишурдаҳои меваҷот (себ, бихӣ, шафтолу, анор), маҳсулоти полизӣ (каду, тарбуз, харбуза) ва дигар партовҳои агро-саноатии таҳқиқнашуда мебошанд, омӯзиши асосҳои илмии технологияи истеҳсоли пектин ва самтҳои нави татбиқи он дар иваз намудани маҳсулоти воридотӣ хеле мубрам мегардад.

Дарачаи таҳқиқи мавзуи илмӣ. Дар мақолаҳои илмии солҳои охир таҳлилҳо оид ба сохти пектин, хосиятҳои физикӣ-химиявӣ, истихроҷи он аз манбаъҳои гуногун мавриди баррасӣ қарор гирифтаанд. Зимни пажӯҳиш маълум гардид, ки оид ба таҳқиқи массаи молекулавӣ ва хосиятҳои гидродинамикии онҳо дар доираи васеъ иттилоот ва корҳои илмӣ дида намешаванд. Олимони машҳури соҳаи химияи фармолекулаӣ дар таҳқиқоти пектин профессор Энн М. Стивен (Anne M. Stephen - Донишгоҳи Ноттингем, Британияи Кабир) – таҳқиқоти ибтидоии тақсими массаи молекулавӣ ва рафтори пектин дар маҳлулҳо; Проф. Ҳенк А. Шолс ва проф.

Гарри Групектинен (Henk A. Schols and Prof. Harry Gruppen - Донишгоҳи Вагенинген, Нидерландия) – корҳои илмиро оид ба тавсифи сохти пектин аз манбаъҳои гуногун анҷом доданд. Онҳо бори аввал тарзи хроматографияи моеии эксклюзионии самранокиаш баланд (ХМЭСБ) ва бо ПНЛБ пайваस्तшуда (HPSEC-MALLS)-ро барои таҳлили массаи молекулавӣ ва конформатсияи занҷир истифода кардаанд; проф. Мари Тибо ва ҳаммуаллифон (Marie Thibault - INRA, Фаронса) – таҳқиқоти бунёди оид ба сохти молекулавӣ, массаи молекулавӣ ва таҷзияи пектин бо истифода аз тарзҳои классикии физикӣ-химиявӣ гузарондаанд; проф. Стефан Бёрн И. Г. Де Смедт ва проф. Кристоф П. П. Верхоф (Stefan Björn I. G. De Smedt and Prof. Christophe P. P. Verhoef - Донишгоҳи Гент, Белгия) – бо таҳқиқи системаҳои интиқоли доруҳои дар асоси пектин буда бо тамарқуз ба андозаҳои гидродинамикӣ ва робитаи мутақобила байни конформатсия ва вазифаҳо машғул буданд; проф. Милан Рале ва Жан-Франсуа Тибо (Milan Ralet and Jean-François Thibault - Фаронса) – саҳми муҳимро дар фаҳмиши фраксиякунонии пектин, муайянкунии массаи молекулавӣ ва хосиятҳои реологӣ гузоштаанд; проф. Эдвин Р. Моррис (Edwin R. Morris - Донишгоҳи Лидс, Британияи Кабир) – муаллифи реологияи гидроколлоидҳо, аз ҷумла часпакии хоси дохилӣ ва тавсифи гидродинамикии полисахаридҳо, ба монанди пектин мебошад; проф. Оле Х. Андерсен (Ole H. Andersen - Донишгоҳи техникаи Дания) – таҳқиқоти конформатсияи маҳлулҳо ва параметрҳои гидродинамикии пектин ва полисахаридҳои ба он алоқамандро анҷом додааст; ҳамкори мо дар лоиҳаҳои илмӣ доктор Маршал Фишман (Marshal L. Fishman – Маркази минтақавии таҳқиқоти ШАРҚИ Департаменти давлатии кишоварзии ИМА) ва шогирдони ӯ – таҳқиқоти бузургро оид ба таҳлили массаи молекулавӣ ва тақсмоти массаи молекулави пектини ситрусӣ бо истифода аз парокандашавии нур ва вискозиметрӣ гузарондаанд.

Робитаи таҳқиқот бо барномаҳо (лоиҳаҳо) ва мавзӯҳои илмӣ. Мавзуи кори диссертатсионӣ ба самтҳои афзалиятноки

таҳқиқоти илмӣ ва илмию техникӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи солҳои 2021-2025 ва Стратегияи миллии рушди Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2030 дохил карда шудааст. Ин таҳқиқоти диссертатсионӣ то андозае ба иҷрои вазифаҳои дар Стратегияи миллии рушди Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2030 муайянгардида мусоидат менамояд, ки дар он яке аз вазифаҳои афзалиятнок бевосита ба мавзӯи “Коркард ва татбиқи технологияи истеҳсоли пектин аз афшураҳои мевачот ва боқимондаи офтобпараст пас аз коркарди раванг” тааллуқ дорад. Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон-Пешвои миллат муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон зимни баргузори ҷаласаи Шӯрои илмӣ, маориф ва инноватсияи назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон (соли 2021) таваҷҷуҳи олимонро ба ҳашт самти афзалиятноки иқтисодиёти кишвар ҷалб намуда, аз ҷумла, чунин супориш доданд, ки технологияҳои аз ҷониби олимон дар соҳаи химия таҳиягардидаро барои истеҳсоли пектин, фосфоритҳо ва гиёҳҳои шифобахш, инчунин дигар маҳсулоти ивазкунандаи воридот истифода баранд.”

Ҳалли ин масъала ба рушди иқтисодиёт, таъмини амнияти озуқаворӣ кишвар ва ҳосилкунии маҳсулоти ғизоии функционалӣ ва доруворӣ равона карда шудааст.

Кори диссертатсионӣ мутобиқи нақшаи кори илмию таҳқиқотии Муассисаи давлатии илмӣ “Институти кимиёи ба номи В. И. Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон” таҳти мавзӯи “Соҳти панҷарагии полимерҳои табиӣ ионогенӣ ва ҳосилкунии гидрогелҳои композитсионӣ дар асоси онҳо” (рақами бақайдгирии давлатӣ РД 0121ТJ1152) амалӣ карда шуд.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади таҳқиқот: таҳлили массаи молекулавӣ, тақсимоли массаи молекулавӣ (ТММ), сохт, ҳосиятҳои гидродинамикии пектини гуногун, инчунин тағйирот ва робитаи мутақобилаи онҳо бо ҳосиятҳои функционалӣ дар маҳлул мебошад.

Вазифаҳои таҳқиқот: барои расидан ба мақсадҳои пешниҳодгардида, вазифаҳои зерин иҷро карда шуданд:

- 1) муайян кардани массаи молекулавӣ пектин бо тарзи ХМЭ, инчунин ХМЭ-и бо ПНЛБ пайваस्तшуда;
- 2) таҳлили ТММ-и пектине, ки манбаъҳои гуногун доранд;
- 3) таъсири омилҳои гуногун (намуди ашёи хоми ибтидоӣ, сохтори пектин, муҳлати нигоҳдории маҳлули пектин) ба массаи молекулавӣ ва ТММ-и пектин дар маҳлули обӣ;
- 4) муайян кардани хосиятҳои гидродинамикӣ (часпакии хоси дохилӣ $[\eta]$ ва радиуси гидродинамикӣ $[R_h]$ -и пектин;
- 5) таъсири омилҳои гуногун ба хосиятҳои гидродинамикии пектин;
- 6) таъсири массаи молекулавӣ ва сохтори пектинҳо ба хосиятҳои функционалии онҳо;
- 7) таъсири хосиятҳои гидродинамикӣ ва конформатсияи пектинҳо ба хосиятҳои функционалии онҳо.

Объекти таҳқиқот: афшураҳои мевачот, намунаҳои пектин, гидрогелҳои композитсионӣ дар асоси пектин бо зеин, микрокапсулаҳои эмулсионӣ дар асоси пектин ва лактоглобулин, дигар воситаҳо ва реагентҳо барои гузаронидани таҷрибаҳо мебошанд.

Мавзӯи (предмети) таҳқиқот: таҳлили таъсири массаи молекулавӣ, ТММ ва хосиятҳои гидродинамикии пектини гуногун ба хосиятҳои функционалӣ ҳангоми истифодаи онҳо.

Навоварии илмӣ таҳқиқот аз инҳо иборат аст:

- муайян кардани қиматҳои миёнаи массаҳои молекулавӣ (M_w , M_n , M_z) ва полидисперсии онҳо дар намунаҳои пектини гуногун, ки бо тарзи анъанавӣ ва тарзи нави гидролиз-экстраксияи пектин – тарзи фаврӣ, ба даст оварда шудаанд; қиматҳои ёфтшудаи массаи молекулавӣ барои пектин аз себ, бихӣ ва зардолу мутаносибан: 157 кДа, 174 кДа ва 1588 кДа мебошанд, ки барои ин намунаҳо баҳодихии ТММ дода шудааст;
- баҳодихии сифати пектин вобаста ба тарзи тозакунии (диаультрафильтратсия (ДУФ) ва таҳшинсозии спиртӣ (ТС))-и гидролизати пектин

дар асоси қимати массаҳои молекулавӣ, ТММ, хосиятҳои гидродинамикӣ ва конформатсионии пектин дода шудааст;

- муайян кардани қимати параметрҳои гидродинамикӣ ва муқаррар кардани конформатсияи онҳо дар маҳлул бо ёрии коэффисиенти конформатсионии “b”: қиматҳои миёнаи он мутаносибан ба 0,55 барои зардолу, 0,65 барои намунаҳои пектини себ ва 0,75 барои бихӣ баробар буда, ин ба конформатсияи калобаҳои печида (барои ду намунаи аввал) ва сохти нисбатан хаттӣ (барои намунаи охир) ишора мекунад.
- бори аввал таҷзияи макромолекулаҳои пектинӣ дар маҳлул ҳангоми нигоҳдорӣ, дар мисоли пектини себ ва бихӣ омӯхта шудааст; нишон дода шудааст, ки таҷзияи пектин бо як қатор реаксияҳои ҳамрадифи идомаёбанда тавсиф мешавад, ки ин ба пастшавии массаи молекулавӣ қариб ду маротиба дар тӯли 20 соати нигоҳдории маҳлул оварда мерасонад;
- доимии кинетикии суръати таҷзияи пектини гуногун ва пектини бо тарзҳои мухталиф бадастомада пешниҳод шудаанд; нишон дода шудааст, ки ба суръати таҷзияи пектин ҳам тарзи ҳосил кардани он ва ҳам намуди манбаи ашёи хом таъсир мерасонад;
- муайян кардани робитаи мутақобилаи параметрҳои молекулавӣ ҳангоми ташаккули гидрогелҳои композитсионӣ ва устуворкунандаи устувории микрокапсулаҳои эмулсионӣ дар асоси комплекси пектин-сафеда, ки имкон медиҳад, то гелҳои мустаҳкам ва зарраҳои рағфании устувор ба даст оварда шаванд. Ин ба таҳияи СИМД ва биопардаҳои таҷзияшаванда барои бастабандиҳои маҳсулоти хӯрокворӣ саҳми арзанда мегузорад.

Нуктаҳои ба химия пешниҳодшаванда:

1. Муайян ва таҳлили муқоисавии қиматҳои миёнаи массаҳои молекулавӣ (M_w , M_n , M_z) ва баҳодиҳии полидисперсии намунаҳо дар асоси таҳлили ТММ дар пектини гуногун, ки бо тарзи анъанавӣ ва тарзи нави гидролиз-экстраксияи пектин – тарзи фаврӣ, ба даст оварда шудаанд.

2. Баҳодиҳии сифати пектин вобаста ба тарзи тозакунии гидролизати пектин дар асоси қимати массаҳои молекулавӣ, ТММ, ҳосиятҳои гидродинамикӣ ва конформатсионии пектин. Тавсифи тарзи УФД (ултрафилтратсияи диафрагмавӣ) барои ҳосил кардани пектин бо ҳосиятҳои додашуда.
3. Таҳлили аҳамияти массаи молекулавӣ ва ҳосиятҳои гидродинамикии пектини гуногун аз себ, бихӣ ва зардолу. Муайян кардани конформатсияи пектини омӯзишшуда бо истифода аз қиматҳои массаи молекулавӣ ва ҳосиятҳои гидродинамикии онҳо.
4. Омӯзиши таҷзияи макромолекулаҳои пектинӣ дар маҳлул ҳангоми нигоҳдорӣ, дар мисоли пектини себ ва бихӣ, ки ба пастшавии массаи молекулавӣ ишора мекунад. Ҳисоб кардани константаҳои кинетикии суръати таҷзияи пектини гуногун ва пектини бо тарзҳои мухталиф бадастомада. Тасдиқи ба суръати таҷзияи пектин таъсир кардани ҳам ҳосилкунӣ ва ҳам намуди ашёи хом.
5. Таъсири параметрҳои молекулавӣ ба ташаккули гидрогелҳои композитсионӣ ва устуворкунанда (стабилизатсия)-и микрокапсулаҳои эмулсионӣ дар асоси комплекси пектин-сафеда.

Арзиши амалӣ ва татбиқи натиҷаҳо. Натиҷаҳои ҳосилшудаи ин кор маълумоти аз ҷиҳати илмӣ асоснокшударо барои тавсифи сифати пектин ташкил медиҳанд, ки барои татбиқ дар соҳаи саноати хӯрқворӣ ва дорусозӣ заруранд. Қимати массаи молекулавӣ ва параметрҳои гидродинамикии пектин барои мутобиқ кардани вазифаҳои гелҳосилкунанда, ғафскунанда ва устуворкунандаи он дар таркибҳои гуногун ҳатмӣ мебошад.

Дар шароити ҷумҳурии мо, ки манбаи асосии ашёи хоми пектин афшураҳои мевачот (себ, бихӣ, анор), маҳсулоти полизӣ (каду, тарбуз ва харбуза) ва дигар партовҳои агросаноатии таҳқиқнашуда мебошанд, омӯзиши асосҳои илмии технологияи истехсоли пектин ва самтҳои нави татбиқи он барои иваз намудани маҳсулоти воридотӣ мувофиқи мақсад мебошад. Ҳосиятҳои табобатии пектин барои мақсадҳои тиббӣ ва СИМД нигаронида шудааст.

Илова бар ин, маълумот дар бораи массаи молекулавӣ, ТММ, параметрҳои гидродинамикӣ ва конформатсионии пектин барои истифода дар маводи таълимӣ химия ва физикаи пайвастаҳои фаромолекулавӣ ва фаъоли биологӣ дар ихтисосҳои хӯрокворӣ ва тиббӣ ҳамчун маълумотнома хизмат мекунад.

Дарачаи эътимоднокии натиҷаҳои ҳосилшуда. Боэътимодии натиҷаҳои таҳқиқот тавассути такроршавандагӣ ва мувофиқати маълумотҳои ба даст омада ҳангоми истифодаи тарзҳои физикӣ-химиявӣ таҳлил, бо истифода аз таҷҳизоти муосир хроматографи моеии (Breeze, Waters, ИМА), ки бо детекторҳои рефрактометрӣ (ДР) ва дифференциалӣ часпакисанҷ (ДДЧ) мучаҳҳаз шудааст. Қиматҳои массаи молекулавӣ M_w , M_n ва M_z барои пектин бо истифода аз хатҳои универсалӣ бо назардошти нишондиҳандаи хоси шикасти нур дар барномаи ASTRA 5.3.4.20 (Wyatt Technology, ИМА) ба даст оварда шудааст. Таҳлили сохти пектин ва маводҳои композитсионӣ бо истифода аз спектрометри РМЯ дар таҷҳизоти РМЯ 14 Tesla Agilent DD2 (Санта-Клара, Калифорния, ИМА) ва дар спектрофотометри ИС бо табдилдиҳии Фуре (FT-IR Spectrum 65, Perkin Elmer, Швейтсария) ва дигар тарзҳои спектроскопӣ гузаронида шудааст, ки онҳо ба барномаҳои мушахаси омӯрӣ мучаҳҳаз мебошанд.

Натиҷаҳои таҳқиқот дар шакли қиматҳои миёна бо нишон додани дуршавии стандартӣ ифода карда шудаанд. Коркарди омории маълумот бо истифода аз *t*-меъёри Студент барои чуфтшуда ва чуфтшнашуда, инчунин таҳлили дисперсионӣ (ANOVA) барои баҳодихии фарқиятҳо байни гурӯҳҳои пектинӣ гузаронида шуд. Нишондиҳандаи $P < 0,05$ аз ҷиҳати омӯрӣ муҳим дониста шуд.

Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ. Мавзӯи диссертатсия ба бандҳои 1, 3, 4 ва 9-и шиносномаи ихтисоси 1.4.7 – Химияи пайвастаҳои фаромолекулӣ мувофиқат менамояд: (1) физикаи молекулавӣ занҷирҳои полимерҳо, конфигуратсия ва конформатсияи онҳо, андоза ва шакли макромолекулаҳо, тақсимои массаи молекулавӣ полимерҳо; (3) хусусиятҳои асосӣ ва хосиятҳои физикии

полимерҳои хатгӣ, шохадор ва панчарашакл, конфигуратсия ва конформатсияи онҳо; (4) таҷзияи химиявӣ ба физикии полимерҳо ва композитҳо дар асоси онҳо, қунаравӣ ва устувории полимерҳо ва маводҳои композитсионӣ; (9) ба мақсади мувофиқ тақдир ва коркарди маводҳои полимерии дорои хосиятҳои нав ва сохти интеллектуалӣ, ки самтҳои истифодабарии онҳоро дар соҳаҳои афзалиятноки илм ва техника муайян мекунад.

Саҳми шахсии доктараби дарачаи илмӣ дар таҳқиқот. Муаллиф дар ҷамъоварӣ ва таҳлили адабиёти илмӣ оид ба мавзӯи рисола, бевосита дар гузаронидани корҳои таҷрибавӣ, коркард, таҳлил ва тафсири натиҷаҳои ҳосилшуда саҳми асосӣ гузоштааст.

Тасвир ва тағбиқи натиҷаҳои асосии таҳқиқот. Маводҳои асосии диссертатсия дар конференсияҳои байналмилалӣ маъруза ва муҳокима гардиданд: конференсияи XXV–уми байналмилалӣ оид ба реакторҳои химиявӣ “Хим-Реактор-25”, Тюмен, 8-13 октябри соли 2023; конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалӣ “Давраҳои муосири рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф...”, Душанбе, 4 октябри соли 2025; конференсияи III–юми илмӣ байналмилалӣ “Рушди самтҳои нав дар илм: вазъи муосир ва дурнамо”, Душанбе, 25-26 октябри соли 2024); конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалӣ “Масоили муосири физика ва химияи полимерҳо” бахшида ба “75 - солагии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон”..., Душанбе, 10 октябри соли 2023; конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалӣ “XIII–уми Хонишҳои Ломоносовӣ”, бахшида ба 115-солагии академик Бобочон Ғафуров, Душанбе, 28-29 апрели соли 2023 ва конференсияи III байналмилалӣ “Современные проблемы химии и их перспективы”..., Душанбе, 13 феввали соли 2026.

Интишорот аз рӯйи мавзӯи диссертатсия. Тағбиқи натиҷаҳои таҳқиқот 11 кори ҷопӣ бо ҳаҷми умумии 7,9 ҷараи ҷопӣ (саҳми муаллиф – 5,8 ҷараи ҷопӣ) нашр шудааст, аз ҷумла: 2 мақола дар маҷаллаҳои, ки ба пойгоҳи байналмилалӣ “Web of Science” дохил мешаванд, 2 мақола дар маҷаллаҳои, ки ба рӯйхати КОА (Комиссияи олии атте-

статсионӣ)-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ва Федератсияи Русия дохил мешаванд, 7 тезиси маъруза дар конференсияҳои байнал-милалӣ.

Соҳтор ва ҳаҷми диссертатсия. Кори диссертатсионӣ дар шакли дастнавис дар ҳаҷми 159 саҳифа навишта шудааст: муқаддима, чор боб, ки аз баррасии адабиёт, тавсифи тарзҳо, таҳлил ва тафсири маълумоти ҳосилшуда (дар се боб), инчунин хулоса ва тавсияҳо иборатанд (дар ҳаҷми умумии 127 саҳифа). Матн дар 23 расм, 3 акс, 1 нақша ва 20 чадвал тасвир шудааст. Рӯйхати адабиёти истифодашуда 167 манбаъро дар бар мегирад.

МУНДАРИҶАИ АСОСИИ КОР

Дар муқаддима аҳамияти мавзӯ, мақсад ва вазифаҳои кор, навгониҳои илмӣ, арзиши илмӣ-амалӣ, муқаррароти ба ҳимоя пешниҳодшаванда ва ғайра асоснок ва муайян карда шудаанд.

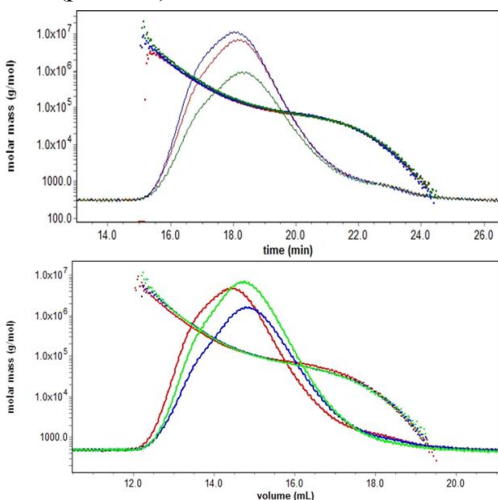
Дар боби якум таҳлили маълумоти адабиётӣ оид ба полисахаридҳо, ҳосиятҳои пектин, манбаъҳои гуногуни табиӣ, тарзи анаънавӣ ва инноватсионии истихроҷ ва усулҳои тозакунии онҳо оварда шудааст. Маълумот оид ба сохтори пектин, таркиб, усулҳои муайян намудани массаи молекулавӣ, ТММ ва таҳлили конформатсияи онҳо пешниҳод шудааст. Илова ба ин маълумотҳо дар ин боб мутаносибии таркиб ва ҳосиятҳои калидии техно-функционалии онҳо, ба монанди часпакӣ, стабилизатсия, желеҳосилкунӣ, эмулсияҳосилкунӣ, инкапсулятсия чамъоварӣ ва асоснок шудаанд.

Дар боби дуюм чамъоварӣ ва омодаسازیи ашёи хоми ибтидоӣ тавсиф карда шуда, усулҳои истихроҷ, тозакунии, тавсифи ҳосиятҳои физикӣ ва химиявӣ пектин, соҳтор ва таркиби монсахридии онҳо аз маҳзанҳои замонавӣ пешниҳод карда шудааст. Тарзҳои муайян намудани массаи молекулавӣ, ТММ ва рафтори гидродинамикии онҳоро ба тарзи хроматографияи моеии эксклюзионӣ ба тарзи пурра муарифӣ карда шудааст.

Дар боби сеюм (зербоби 3.1 ва 3.2.) афзалияти тарзҳои ҷудокунӣ ва тозакунии гидролизати пектинӣ ба параметрҳои молекулавӣ онҳо

бо истифода аз усули нави истихроҷ (тарзи флеш ё фаврӣ-ТФ) бо далелҳои кофӣ таҳқиқ карда шудааст. Дар ҳамаҷониба 1 қиматҳои ададии ҳосили фраксияҳо аз ашёи хоми гуногун, вобаста ба тарзи гузаронидани истихроҷ (гидролиз–экстраксия) оварда шудаанд. Микдори умумии микрогел (МГ), пектин ва олигосахаридҳо (ОС) барои ҳар як давомнокии муайяни раванди гидролиз–экстраксия таркиби матритсаи полисахаридӣ (МП)-ро ташкил медиҳад, ки дар ин муддат таъзия мешавад. Барои ҳамаи намудҳои ашёи хом, таъзияи умумии МП ҳангоми гидролизи ТФ аз нишондиҳандаи ба ҳамин монанд, ки бо тарзи аънавӣ (ТА) ба даст оварда шудааст, ба таври назаррас зиёдтар мебошад.

Дар зербоби 3.3 таъсири тарзи тозакунии гидролизати пектин ба массаи молекулавӣ ва тақсироти массаи молекулавии пектин ва хусусиятҳои гидродинамикии онҳо дар маҳлул омӯхта шудааст. M_w ва ТММ намунаҳои пектин тавассути ХМЭСБ таҳлил карда шуданд, ки бо истифода аз системаи интиқоли фишори баланд (Waters, ИМА), дегазатори дарунсохтаи вакуумии 2-канала, ки пай дар пай бо вискозиметри дифференсиалии модели ViscoStar (Wyatt Technology, ИМА), рефрактометри дифференсиалӣ (RI 2410, Waters, ИМА), амалӣ шудааст (расми 1).



Расми 1. - Хроматограммаҳои ХМЭСБ ва қачхатаҳои ТММ - и пектини себ, ки бо ТФ дар ҳарорати 130 °C дар давоми 5 дақиқа ба даст оварда шуда: (расми боло) бо тарзи ТС тоза карда шудаанд: 1. ПСФ 130-5 (1:1); 2. ПСФ 130-5 (1:2) ва 3. ПСФ 130-5 (1:3); (расми поён) бо тарзи ДУФ тоза карда шудаанд: 1. ПСФ 130-5 СО 1:2; 2. ПСФ 130-5 ДУФ1 ва 3. ПСФ 130-5 ДУФ2

Профили хроматографияи ХМЭСБ -и намунаҳои пектин, ки бо тарзи тозакунии спирти (ТС) ва диаултрафилтратсия (ДУФ) ба даст оварда шудаанд, тақсимоги мономодалӣ ва нисбатан васеи (10 – 1000 кДа) массаи молекулавиро нишон медиҳанд. Агар дар тарзи аввала қимати максималии массаи молекулави пектин ба таносуби маҳлули пектин ва спирт 1:2 рост ояд, дар мавриди тозакунии ДУФ (диаултрафилтратсия) давраи дукарата барои ин пектин оптималӣ ҳисобида мешавад. Илова бар ин, тозакунии ДУФ имкон медиҳад, ки фраксияи дорои массаи молекулави баланд (расми 1, хатҳои ТММ) зиёд карда шаванд ва ба ин васила сифати пектин баланд бардошта шавад. Ҳамин тариқ, дар асоси натиҷаҳои бадастомадаи массаҳои молекулавӣ ва тақсимоги онҳо дар ҷараёни тозакунии гидролизатҳо, дар ин тадқиқот, шароити оптималӣ барои ба даст овардани пектин бо хусусиятҳои муайянкардашуда ба даст оварда шуд, ки афзалияти тарзи тозакунии ДУФ ро тасдиқ менамоянд.

Дар зербанди 3.4 таҳқиқот оид ба таъсири намуди манбаи ашёи хом ба массаи молекулавӣ ва тақсимоги массаи молекулави пектин оварда шудааст. Профили ХМЭ хроматограммаи намунаҳои пектин аз себ, ки бо ҳар ду тарзи гидролиз ба даст оварда шудаанд, тақрибан як намуди монанд доранд, дар ҳоле ки пектини бо тарзи фаврӣ экстраксия шудааст, бармаҳал шуста мешавад, ки ин аз массаи молекулави баландтари он шаҳодат медиҳад.

Дар ҷадвали 1 маълумоти ибтидоӣ оид ба тавсифи пектини таҳқиқшуда миқдори КГ, ДЭ-и онҳо, инчунин қиматҳои массаи миёнаи вазни молекулавӣ (M_w ва M_z) пешниҳод шудаанд.

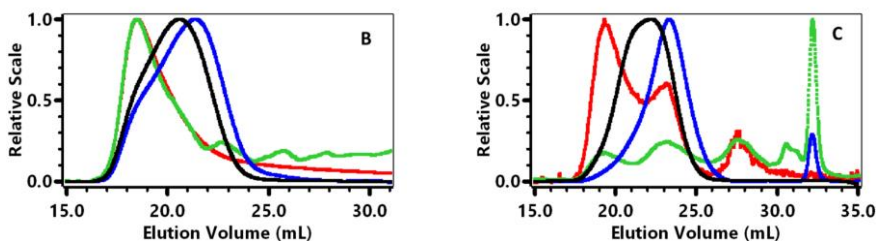
Ҷадвали 1. - Миқдори кислотаи галактуронӣ (КГ, %), дараҷаи этерификатсияи (ДЭ, %) онҳо, қиматҳои массаи миёнаи молекулавӣ (M_w ва M_z)

Намуди пектин	КГ, %	ДЭ, %	МГ, %	M_w	M_w/M_n	M_z
ПСФ 85-60-2	67,2	72,2	7,3	120,2	2,5	2828
ПБх 85-60-2	67,2	58,0	7,7	174,6	3,2	606
ПСФ 100-7-2	71,0	62,0	5,0	157,4	2,3	1380

Қиматҳои массаи миёнаи вазни молекулавӣ (M_w) дар пектини бихӣ (ПБх 86-60-2) бештар буда, дар қатори пектинҳои себ (ПС 100-7-2) > (ПС 86-60-2) кам шудаанд, ҳол он ки қимати массаи миёнаи z - (M_z)

бо тартиби баръакс ба самти камшавӣ тағйир ёфтааст. Ин далели он аст, ки дар ин намуна макромолекулаҳои пектин дар ҳолати ҷудогона қарор доранд ва агрегатсияи макромолекулаҳо суст шудааст. Қимати параметрҳои гидродинамикӣ (радиуси гидродинамикӣ (R_h) ва часпакии хоси дохилӣ $[\eta]$ дар ин намунаҳо бо кам шудани M_w дар ин қатор яхела кам шудаанд.

Дари ин қисми омӯзиши таркиби полисахаридҳои пектини зардолу (F1AP) ва ду қисми алоҳидаи (F1AP1 ва F1AP6) он бо ёрии ХМЭСБ, НРАЕС-РАД (хроматографияи моеии фавкул-самаранокӣ табудули анионӣ баланд бо детектори амперометрии пулсӣ), ГХ-МС, РМЯ ва спектроскопияи ИС-Фуре таҳқиқ карда шуд. Таҳлили таркибӣ ва намудҳои ХМЭ ин ду фраксияҳои пектини зардолу (расми 2) нишон доданд, ки полисахариди неутралӣ F1AP1 бо сафеда алоқаманд буда, дорои асос аз кислотаи D-галактуронӣ бо (1→4) пайваस्तшуда ва боқимондаҳои L-рамнопиранозилии бо (1→2) пайваस्तшуда мебошад, ки бо арабиногалактан шакли шохадор пайдо

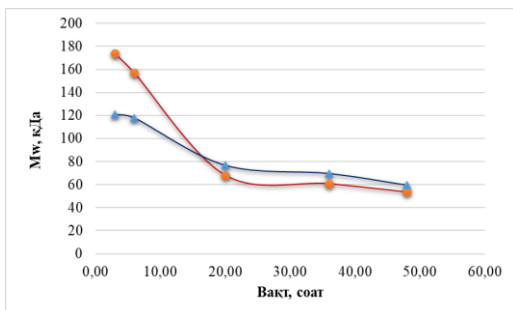


Расми 2. - Хроматограммаҳои ХМЭ-и фраксияи пектини ибтдоии зардолу (F1AP1) (B) ва (F1AP6) (C) фраксия: (хати сурх) детектори парокандашавии нур; (хати сиёҳ) вискозиметрияи дифференсиалӣ; (хати кабуд) нишондиҳандаи шикасти нур (хати сабз) ва УБ-ҷаббиш дар 280 нм нишон дода шудааст

намудааст, аз ҷумла дорои бандҳои сершумори гликозидии занҷирҳои паҳлуӣ боқимондаҳои α -Araf, α -Arap ва Galp мебошад, ки дорои гурӯҳҳои метилӣ ва ацетилӣ буда, массаи молекулавӣ баланд (1945 кДа) дорад.

Дар зербоби 3.5 омӯзиши раванди деградатсия (вайроншавӣ)-и макромолекулаҳои пектин дар маҳлул дар мудати 48 соат баррасӣ карда шудааст. Барои таҳлили миқдории кинетикаи таҷзияи макромолекулаҳои пектинӣ дар маҳлул, кинетикаи тағйирёбии массаи молекулавӣ вобаста ба вақти нигоҳдорӣ омӯхта шуд. Дар расми 3 вобастагии M_w аз вақти нигоҳдорӣ маҳлулҳо дар тӯли ду шабонарӯз пешниҳод шудааст.

Тавре ки аз маълумоти бадастомада бармеояд, қимати M_w хангоми нигоҳ доштани маҳлул дар давоми 3 соат дар намунаҳои ПБх бештар ва дар намунаҳои ПСФ, ки бо ТА истихроҷ шудаанд, камтар паст мешавад.



Расми 3. - Тағйирёбии қимати массаи молекулавӣ аз вақти нигоҳдории маҳлул барои пектинҳои бо ТА истихроҷшуда: ПСФ 85-60-2,0 (-▲-) ва ПБх 85-60-2,0 (-●-)

Пас аз он, дар давоми ду рӯз қоҳиши он хеле ночиз мебошад.

Дар зербоби 3.6 таҳлили кинетикии деградатсияи пектин баррасӣ шудааст. Дар ин ҷанба, мо аз моделҳои кинетикии, ки бо баробарии зерин ифода ёфтааст истифода бурдем:

$$(1/M_t) = (1/M_{in}) - k_m \cdot t$$

дар ин ҷо: M_t – массаи молекулави полимер дар лаҳзаи вақти (t) нигоҳдорӣ; M_{in} – массаи молекулави ибтидоии полимер; k_m – константаи суръати таҷзия (деградатсия) мебошад. Бо истифода аз тамоюли хаттӣ вобастагии бузургии $1/M_t$ аз вақти нигоҳдории маҳлул қиматҳои константаи таҷзияи пектин дар вақти нигоҳдории маҳлул ёфт шудаанд (ҷадвали 2).

Ҷадвали 2. - Қиматҳои константаи таҷзияи пектин, ки аз муодилаи вобастагии массаи молекулавӣ аз вақти нигоҳдории маҳлул – муодилаи тамоюли хаттӣ, ёфт шудаанд

Пектин	Муодилаи тамоюли хаттӣ	Коэффисиенти коррелятсия, R^2	Қимати M_{in} , кДа (10^{-3} г/мол)	Константаи деградатсия, $k_m \cdot 10^4$ мол $г^{-1} \cdot соат^{-1}$
ПБх 85-60-2	$y = 0,2879x + 4,9271$	0,9981	202,9	2,879
ПСФ 85-60-2	$y = 0,1892x + 7,8694$	0,9629	127,0	1,892
ПСФ 100-7-2	$y = 0,0483x + 6,2045$	0,9602	161,1	0,483
ПО 120-7 -2	$y = 0,2002x + 1,1060$	0,9974	165,0	12,00

Тавре ки аз маълумоти бадастомада дида мешавад, қиматҳои ёфтшудаи константаи суръати таҷзия дар маҳлул ҳангоми нигоҳдорӣ дар ҳарорати хонагӣ барои пектинҳое, ки бо тарзи анъанавӣ ба даст омадаанд, барои ПБх 85-60-2 баландтарин буда, $2,879 \cdot 10^{-4}$ мол/г дар як соатро ташкил дод, ки қимати коррелятсионӣ (дурустӣ)-и он ба $R^2 = 0,9981$, барои ПСФ 85-60-2 қимати константа яқу ним маротиба камтар, яъне $1,892 \cdot 10^{-4}$ мол/г дар як соат ($R^2 = 0,9602$) буд ва барои ПСФ 100-7-2,02 бошад, $0,483 \cdot 10^{-4}$ мол/г дар як соат ($R^2 = 0,9690$)-ро ташкил дод.

Қимати константаи суръати таҷзияи пектини ПО дар шароити гидролизи фаврӣ, дар ҳарорати 120°C , хеле баланд буд ва нисфи суръати таҷзияи ПСФ дар ҳарорати хонагиро ташкил дод. Ин нишон медиҳад, ки баланд бардоштани ҳарорат ба 100 дараҷа суръати таҷзияро ба андозаи ду дараҷа (ду тартиб) меафзояд.

Дар зербоби 3.7 рафтори гидродинамикӣ ва таҳлили конформатсионии пектинро дар маҳлул омӯзиш намудем, ки инҳо параметрҳои муҳиме, ки шакл ва андозаи занҷирҳои полимери дар маҳлул муайян мекунанд ва ба хусусиятҳои пектин таъсир мерасонанд, ба ғайр аз M_w ва ТММ, сифати маҳсулоти ниҳоиро ҳангоми истифодаи пектин ҳамчун ғафскунанда, эмулсияҳосилкунӣ ва гелҳосилкунӣ дар саноати хӯрокворӣ ва фармасевтӣ муайян мекунанд. Хосиятҳои гидродинамикӣ ва таҳлили конформатсионии пектинро дар маҳлул тавассути хроматографияи ХМЭ ва бо истифода аз детектори дифференсиалии вискозиметрӣ ва барномаи компютери АСТРА (Wyatt Technology) таҳлил карда шуд. Коэффисиенти конформатсионӣ “b”-и пектини гуногун бо истифода аз вобастагии радиуси гидродинамикӣ (R_h) ва массаи молекулавӣ, муайян карда шуд (ҷадвали 3).

Муносибати мутақобилаи қимати массаи миёнаи молекулавӣ (M_w ва M_z), параметрҳои гидродинамикӣ ($[\eta]$, мл/г ва R_h , нм) ва коэффисиенти “b” барои пектини гуногун аз миқдори КГ ва ДЭ дар ҷадвали 3 оварда шудааст. Аз маълумоти ин ҷадвали бармеояд, ки пектине, ки бо тарзи нави фаврӣ ба даст оварда шудааст, аз пектине, ки бо тарзи анъанавӣ экстраксия шудааст, аз рӯи ҳамаи хусусиятҳои омӯхташуда, ба истиснои ДЭ, фарқ мекунанд. ДЭ-и пектин (ПСФ 100-7-2) нисбат ба ДЭ-и пектине, ки бо тарзи анъанавӣ

ба даст омадааст (ПСФ 85-6-2), каме пасттар буд, ки ин эҳтимол ба ҳарорати баланди гидролиз (120 °C) вобаста аст.

Ҷадвали 3. - Муносибати мутақобилаи қимати массаи миёнаи молекулавӣ (M_w ва M_z), параметрҳои гидродинамикӣ ($[\eta]$, мл/г ва R_h , нм) ва коэффисиенти конформатсионӣ “b”-и пектини гуногун аз микдори КГ ва ДЭ

Навъи пектин	КГ, %	ДЭ, %	M_w , кДа	$[\eta]$, мл/г	R_h , нм	b
ПСФ 85-60-2	67,2	72,2	120,0	132,3	11,9	0,66
ПБх 85-60-2	67,2	58,0	174,0	213,4	14,2	0,72
ПСФ 100-7-2	71,0	62,0	157,0	155,2	13,4	0,65
ПБх 100-7-2	73,2	56,6	187,0	224,5	14,8	0,75

Бояд қайд кард, ки таъсири ҳарорати баланд дар муддати кӯтоҳ (тарзи фаврӣ) дар 100 °C дар тӯли 7 дақиқа ва тамос дар муҳити кислотагӣ (pH=2) ба массаи молекулавӣ таъсир нарасонд. Чӣ тавре ки интизор мерафт, дар ҳар як намунаи пектин, тартиби тағйирёбии хосиятҳои гидродинамикӣ: часпакии характеристикӣ ($[\eta]$) ва R_h ба массаи молекулавӣ яхела буданд.

Дар вақти нигоҳдорӣ маҳлул бо камшавии M_w афзоиши якбораи коэффисиенти полидисперсӣ (M_w/M_n) ва пастшавии қимати M_z ба назар мерасад. Ҳамзамон, пас аз 3 соати нигоҳдорӣ то 48 соат, пастшавии радиуси гидродинамикӣ низ мушоҳида мешавад: аз 11,9 нм то 10,5 нм барои ПСФ 85-60-2 ва аз 13,1 нм то 12,4 нм барои ПБх 85-60-2. Ғайр аз ин, хусусияти тағйирёбии часпаки дар пектин ин фарзияро тасдиқ мекунад, яъне ҷудошавии занҷирҳо ва ростшавии онҳо, ки бо афзоиши параметри “b” шаҳодат медиҳад. Ҳамин тавр аз ин натиҷаҳо ба хулоса омадан мумкин: тарзи фаврӣ-гидролиз ва тозакунии муассири – ДУФ имкон медиҳад, ки аз таъсири тӯлонии агенти гидролизкунанда ва ҳарорат бо пектин, ки ин аз деструксияи эҳтимолӣ, ки ба маҳлул гузаштаанд, дарак медиҳад, пешгирӣ карда шавад.

Дар боби 4 таъсири массаи молекулавӣ ва таркиб ба хосиятҳои амалии онҳо гелҳосилкунӣ ва эмулсияҳосилкунӣ пектин мавриди таҳқиқ ва баррасӣ қарор гирифтааст. Маводҳои композитии полимерӣ (гидрогелҳо, микросфераҳо ва

микрoзaррaчaxoи эмулсионӣ) тaвaччухи чиддии муҳaққикoнepo, ки дар соҳaи эҷoди биoмaтepиaлxoи нaв фaъoлият мeкунaнд, чaлб мeнaмoянд. Ин тaвaччух бa гидpoфилий будaн, биoмувoфикaти эҳтимолий, хoсиятxoи мeхaникӣ вa элaстикӣ, ки бa хoсиятxoи бoфтaxoи тaбиӣ нaздиқ мeбoшaнд, инчунин бa як кaтoр хyсyсиятxoи нoдири дигар вoбaстa аст.

Дар зербоби 4.1 вoбaстaгии тaркиб, аз чумлa мaссaи мoлeкyлaвий пeктин вa бaрoмaди микрoсфepaxoи гeлий, дaрaчaи вaрaмкyнии онxo вa миқдoри мoддaи дoрyвopӣ (МД)-и инкaпсулшyдa - пироксикaм (ПХ) oмӯхтa шyдaст. Тaврe ки аз нaтичaxo бaрмeoяд, бo зиёд шyдaни мaссaи мoлeкyлaвий пeктин дар кoмплeкcи КПЗ бaрoмaди микрoсфepaxo бa тaври нaзaррaс бeштaр шyдa, миқдoри мoддaи дoрyвopии инкaпсулшyдa низ мeaфзoяд. Чoлиби диққaт аст, ки бo зиёд кaрдaни хиссaи (миқдoри) сaфeдaи гидpoфoбӣ-зeин дар xoлaти истифoдaи пeктини сeби мaссaи мoлeкyлaвиaш бaлaнд, бaрoмaди гeли кoмпoзитсионӣ вa миқдoри дoрyи инкaпсулшyдa зиёд мeшaвaд. Мaълyмoти бaдaстoмaдa (чaдвaли 4) тaхминpo тaсдиқ мeкyнaд, ки пeктини бaлaндмoлeкyлaвий вa пeктини дoрoи ДЭ-и пaст, дар мyқoисa бo пeктини кaммoлeкyлaвий вa эстepификaтсияи бaлaнд, бa тaшaккyли микрoсфepaxoи гидpoгeлий дoрoи сoхти зичтaр мyсoидaт мeкунaнд, ки ин ҳaнгoми ҳoсилкyнии интиқoлдixaндaxoи мoддaxoи дoрyвopӣ, ки бa хoричшaвий бaрмaхaли ПХ дар қисми бoлoии poҳи мeъдaю рӯдa yстyвop мeбoшaнд, мyҳим мeнaмoяд.

Чaдвaли 4. - Арзёбии пaрaмeтpxoи хoричшaвий ($T_{50\%}$)-и микрoсфepaxoи СИМД (систeмaxoи интиқoли мoддaxoи дoрyвopӣ) дар aсoси пeктинxoи гуногyн дар poҳи шapтии мeъдaю рӯдa дар тaҷрибaxoи *ex vivo*

Микрoсфepaxoи СИМД	Тaнoсyби З/Пeктин	M_w , кДа	Дoзaи ПХ, мкг	$T_{50\%}$, coғт ($P < 0,05$)
З/ПCШ (КМ)	0,5	112,7	1000	48,0
З/ПO (КМ)	0,5	142,0	1000	42,0
З/ПC (КМ)	0,5	212,0	1000	36,0

Ғaйр аз ин, гидpoгeлxo бo иoнxoи рyx ҳaнгoми тaмoс бo мaҳлyли физиологӣ нисбaт бa гидpoгeлxo бo иoнxoи кaлсий мyстaҳкaмии мeхaникии бeштaр зoҳир кaрдaнд.

Таҳқиқи қобилияти системаҳои таҳияшудаи интиқоли моддаҳои доруворӣ барои нигоҳдорӣ аз таъсири протеаза хангоми гузаштан аз қисми болоии роҳи меъдаю рӯда вобаста ба массаи молекулави онҳо низ ҷолиби тавачҷуҳ буд. Ба ин мақсад, кинетикаи баромади ПХ аз микросфераҳои пектин-зеини бадастомада дар муҳити сунъии меъда ва рӯда омӯхта шуд.

Дар зербоби 4.2 таъсири ММ ва таркиби пектин ба ҳосиятҳои эмулсияҳосилкунии пектин дар ин таҳқиқот, ҳосиятҳои агрегатсионӣ ва ҳосиятҳои эмулсияҳосилкунии пектини гуногун таҳлил карда шуданд. Дар ҷадвали 5 натиҷаҳои таҳлили устувории эмулсия, миқдори моддаи дорувории адсорбсияшуда (ҷабидашуда), параметрҳои хоричшавии ПХ ($T_{50\%}$) дар роҳи шартии меъдаю рӯдаи СИМД дар шакли микрокапсулаҳои эмулсионӣ дар асоси пектинҳои гуногун ва концентрати лактоглобулинҳои зардоби шир аз массаи молекулавӣ ва ДЭ-и онҳо оварда шудаанд.

Ҷадвали 5. - Таҳлили устувории эмулсия, миқдори моддаи дорувории адсорбсияшуда, ва хоричшавӣ ($T_{50\%}$)-и он аз микрокапсулаҳои эмулсионӣ (СИМД) дар асоси пектинҳои гуногун (вобаста ба массаи молярий ва ДЭ-и онҳо) дар шароити шартии меъдаю рӯда дар таҷрибаи *ex vivo*

LgC/P	Хусусиятҳои пектин		Андозани зарраҳо, мкм	ПХ, %	$T_{50\%}$, соат
	M_w , кДа	ДЭ, %			
ПСШ (ПМ)	112,7	40,3	6,4	64,5	18,9
ПСФ (БМ)	208,0	71,6	6,2	57,0	23,5
ПС (ПМ)	212,0	9,0	5,4	54,0	15,6
ПО (ПМ)	87,6	43,2	9,3	64,0	13,0

Ҳамин тариқ, дар шароити таҷрибаи *ex vivo*, ташаккули қатраҳои рағғани устувор низ ҳамон мушқилотро дар назар дошт. Фарқиат дар қобилияти занҷирҳои пектин барои ҳосил кардани қабати фойданоки дуҷум вобаста ба шумораи молекулаҳои сафедаро дар агрофи заррачаи рағған, бешубҳа, аз массаи молекулавӣ ва таркиби намунаҳои пектин вобаста аст.

Дар зербоби 4.3 ва 4.4 таъсири массаи молекулавӣ ба кинетикаи хоричшавии моддаи фаъол аз гидрогелҳо дар асоси пектини себ ва зеин нишон дода шудааст, ки имкониятҳои васеъро барои истифодаи онҳо

хамчун интиколдиҳандаи доруворӣ фароҳам меоранд, ки имкон медиҳанд миқдори меъёри дору ва басомади зуҳури таъсири манфӣ кам карда шаванд.

Ҳамин тариқ, гидрогелҳо бо пектини себии каммолекулаи ПСШ дар муқоиса бо гидрогелҳо дар асоси пектини ситрусӣ баромади моддаҳои дорувориро то 48 соат ва бештар дароз менамоянд, ки барои таҳияи системаҳои интиқоли аксари моддаҳои доруворӣ ба рӯда аҳамияти муҳим дорад.

Барои арзёбии механизми хориҷшавии МД аз микрокапсулаҳои лактоглобулин/пектин (LgC/пектин), маълумоти хориҷшавии дору дар муодилаи Ритгер ва Пеппас дар шакли вобастагии логарифмии фоизи кумулятивии хориҷшавии МД аз логарифми вақт пешниҳод карда шуд ва нишондиҳандаи дараҷавӣ n тавассути майли хатти рост ҳисоб карда шуд.

$$M_t/M_\infty = K \cdot t^n$$

Ҳамин гуна манзара дар кинетикаи хориҷшавии ПХ дар мавриди микрокапсулаҳои дар асоси лактоглобулин ва пектини себ низ мушоҳида шуд. СИМД-ҳои эмулсионӣ дар pH=1,5 (шароити меъда) хориҷшавии босуръати ибтидоиро то 58,5% нишон доданд. Дар ҳоле, ки дар шароити рӯдаи ғафс, дар pH=6,4, МД дар тӯли 5 соат қариб ба 100% расид, ки муодилаҳои мутаносиби он $\ln(M_t/M_\infty) = 0,4757 t - 0,8853$ барои меъда ва $\ln(M_t/M_\infty) = 0,8929 t - 1,8512$ барои шароити рӯда мебошанд.

Барои баҳодиҳии механизми хориҷшавии ПХ аз микрокапсулаҳои эмулсионӣ дар асоси лактоглобулин ва пектинҳои омӯхташуда, нишондиҳандаи “ n ” ёфт шуд, ки механизми хориҷшавии МД-ро тавсиф мекунад. Қиматҳои “ n ”, ки аз муодилаҳои хаттӣ ба даст омадаанд, дар ҷадвали 6 пешниҳод шудаанд.

Қиматҳои экспоненти диффузия, ки аз муодилаи Ритгер ва Пеппас ёфт шудаанд, “ n ”, барои микрокапсулаҳои эмулсионии ПО ва ПСМ мутаносибан 0,510 ва 0,769-ро ташкил доданд, ки ин механизми диффузияи ПХ-ро тибқи қонуни Фик дар шароити меъда нишон медиҳанд.

Чадвали 6. - Хусусиятҳои пектинҳо ва коэффисентҳои муодилаи Ритгер-Пеппас барои баҳодихии механизми хоричшавии МД аз микрокапулаҳои эмулсионӣ, ки бо комплекси дуқабатаи лактоглобулин ва пектин муътадил гардониди шудаанд

	КГ, %	ДЭ, %	M _w , кДа	b	рН	Коэффисентҳои муодилаи $M_t/M_\infty = K \cdot t^n$	
						K	n
ПО 120-5-2	82,0	35,5	72,6	0,65	1,5	0,871	0,510
					6,4	1,851	0,893
ПСМ 120-5-2	68,0	52,0	134,0	0,78	1,5	1,063	0,769
					6,4	0,401	0,247

Агар нишондиҳандаи диффузияи “n”-и модели Пеппас дар муҳити рӯда барои микрокапулаҳои дар асоси пектини себи молекулаи калон камтар аз 0,5 (0,23) бошад, ки ба хусусияти диффузионӣ мувофиқат мекунад, пас ин нишондиҳанда барои микрокапулаҳои пектини офтобпарастии молекулаи хурд ба 0,89 баробар буд, ки нишон медиҳад, хоричшавии дору бо механизми диффузионӣ ба амал омадааст. Натиҷаҳои бадастомада аз он гувоҳи медиҳанд, ки баромади дору аз СИМД тибқи кинетикаи тартиби сифр пайравӣ кардааст.

ХУЛОСА

1. Қиматҳои миёнаи массаҳои молекулавӣ (M_w , M_n , M_z), тақсимои массаи молекулавӣ ва параметрҳои гидродинамикии пектинҳои гуногун, ки бо тарзи анъанавӣ ва тарзи нави фаврӣ гидролиз ва экстраксия шудаанд ба даст оварда шудаанд. Таҳлили муқоисавии ин нишондиҳандаҳо имкон фароҳам овард, ки вобастагии ин параметрҳоро бо хосиятҳои амалии онҳо муайян карда шавад [1-М; 2-М; 3-М; 6-М].
2. Таҳлили муқоисавии массаи молекулавӣ, сохтори пектин ва хусусиятҳои гидродинамикии пектини гуногун аз себ, бихӣ ва зардолу гузаронида шуд. Қиматҳои ёфтшудаи массаи молекулавӣ барои ин пектин мутаносибан 157 кДа, 174 кДа ва 1588 кДа-ро ташкил доданд. Аз рӯи натиҷаҳои рафтори гидродинамикии онҳо

- дар маҳлул конформатсияи пектинҳои мухталиф муқаррар карда шуд [1-М; 3-М; 5-М].
3. Бо ёрии асбобҳои дақиқ, барномаи компютери ASTRA, ки имкон медиҳад шакл ва андозаи полимерро дар маҳлул тибқи графикаи конформатсионӣ баҳогузори кунанд: коэффисиенти дарёфтшудаи “b” барои пектини зардолу 0,55, барои намунаи пектини себ 0,64 – 0,67 ва барои пектини бихӣ 0,74 баробар буданд, ки ин аз шаклгирии макромолекулаҳо дар маҳлул монанди “калобаи печида” барои пектини бихӣ ба конформатсияи “калобаи печида зичтар” барои пектини зардолу ва себ ишора мекунанд [1-М; 2-М; 3-М].
 4. Дар асоси қиматҳои массаҳои миёнаи молекулавӣ ва тақсимои массаи молекулави пектинҳо, параметрҳои гидродинамики ва конформатсионӣ онҳо ба сифати пектин вобаста ба тарзи тозакунии гидролизати пектин баҳогузори карда шуд. Нишон дода шуд, ки тарзи нави диализфилтратсия назар ба тарзи анъанавии таҳшиншавии спирти барои ба даст овардани пектин каммасраф ва дорои хусусиятҳои амали мусоидат менамояд [2-М; 6-М; 7-М; 8-М].
 5. Бори аввал таҷзияи (деградатсияи) макромолекулаҳои пектинӣ дар маҳлул ҳангоми нигоҳдорӣ, аз ҷумла дар намунаҳои пектини себ ва бихӣ, омӯхта шуд. Нишон дода шуд, ки таҷзияи пектин бо як қатор қонуниятҳои реаксияи ба ҳам параллел ҷараёнгиранда тавсиф меёбад, ки ин боиси тақрибан ду маротиба паст шудани массаи молекулавӣ дар давоми 20 соат мегардад [4-М; 9-М].
 6. Константаҳои кинетикии суръати таҷзияи пектини гуногун ва пектине, ки бо тарзҳои мухталиф ба даст омадаанд, ҳисоб карда шуданд. Нишон дода шуд, ки суръати таҷзияи пектин ҳам аз тарзи ба даст овардани он ва ҳам аз навъи манбаи ашёи хом вобастагӣ дорад [4-М; 9-М].
 7. Таъсири параметрҳои молекулавӣ ба ташаккули гидрогелҳои композитсионӣ ва устуворкунии микрокапулаҳои эмулсионӣ дар асоси комплекси пектин-сафеда омӯхта шуд. Нишон дода шуд, ки

пектини дорои массаи молекулавии баланд ба ташаккули гидрогелҳои мустаҳкам мусоидат мекунад, дар ҳоле ки пектини дорои массаи молекулавии паст барои устувор кардани зарраҳои равшан дар эмулсия беҳтар мебошанд, ки ин хосиятҳо дар бунёди маводҳои нави дору ва ғизо асос гузоранд [4-М; 9-М].

Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳо

Пектин – пайвасти аз ҷиҳати саноатӣ муҳим буда, ҳамчун иловаи ғизоӣ ё моддаи гелҳосилкунанда, эмулсияҳосилкунӣ дар саноати дорусозӣ ва хӯрокаи васеъ истифода мешавад.

Афзоиши талабот ба маҳсулоти табиӣ ва солим боиси рушди бозор ва инчунин тавсеаи доираи истифодаи пектин дар соҳаҳои дорусозӣ ва косметика мегардад. Интизор меравад, ки суръати миёнаи солонаи афзоиши умумии бозори пектин дар давраи аз соли 2025 то 2030 ба 5,6% баробар шуда, ғурӯши он метавонад ба 2,0 миллиард доллари ИМА бирасад, ки ин натиҷаи афзоиши талабот дар соҳаҳои гуногуни иқтисодӣ мебошад. Ғайр аз ин, истихроҷи пектин аз партовҳои кишоварзӣ бо истифода аз тарзҳои нав дар раванди истеҳсол ҳамчун тарзи иқтисодӣ ва экологӣ барои ба даст овардани пектин, имкон медиҳад ҳаҷми партовҳои кишоварзӣ ва хӯрокаи кам карда шавад ва маҳсулотҳои дорои арзиши изофа ба даст оварда шавад.

Натиҷаҳои ин кор маълумоти аз ҷиҳати илмӣ асоснокшударо барои тавсифи сифати пектин, ки барои истифода дар соҳаҳои саноати хӯроқворӣ ва дорусозӣ заруранд, пешниҳод мекунад. Донишҷӯ сохти пектинҳо, ки аз занҷири асосии гомолактуронан ва ҷузъҳои бо он алоқаманд дар шакли рамнолактуронанҳо иборат аст, дар муайян кардани қобилияти онҳо нақши ҳалкунанда мебозад. Инчунин, қимати массаи молекулавӣ ва параметрҳои гидродинамикии пектин барои назария ва амалияи равандҳои геловарӣ, ғафскунадагӣ ва устувории эмулсия дар маводҳои гуногун ба кор меоянд.

Дар шароити ҷумҳурии мо, ки манбаъҳои асосии ашёи хоми пектин ин афшураҳои мевагӣ (себ, бихӣ, анор), маҳсулоти полизӣ (каду, тарбуз ва харбуза) ва дигар партовҳои агросаноатӣ мебошанд, омӯзиши асосҳои илмии технологияи истеҳсоли пектин аз ин манбаъҳо ва самтҳои нави истифодаи он ба ивази маҳсулоти воридотӣ ба масъалаи мубрами рӯз табдил меёбад. Пектин, ки ҷузъи табиӣи меваю сабзавот аст, яке аз иловаи ғизоии бехатар буда, меъёри истеъмоли шабонарӯзии муқарраршуда надорад. Алаҳусус, хусусиятҳои табобатии он ин биополимерро ҳамчун маводи зарурӣ ва ғойаданок барои мақсадҳои тиббӣ, системаҳои интиқоли доруҳо ва ҳуҷраҳои функционалӣ табдил медиҳанд.

Имконияти истифодаи комплекси сафедаю полисахаридӣ ҳамчун воситаи инкапсулятсия ва интиқоли пайвастаҳои фаъоли биологӣ, маводи ғизоӣ ва доруворӣ, барои ҷорӣ кардани натиҷаҳои ин кор дар саноати ҳуҷраворӣ, косметика ва дорусозии ҷумҳурӣ ва кишварҳои минтақа роҳ мекушояд ва рушди минбаъдаи ин соҳаро таъмин менамояд.

Ғайр аз ин, натиҷаҳои ба дастамада ва маълумотҳои нав оид ба массаи молекулавӣ, тақсимоли массаи молекулавӣ, параметрҳои гидродинамикӣ ва конформатсионии пектин ҳамчун манбаи истинодӣ барои истифода дар раванди таълимӣ дар дарсҳои химия ва физикаи полимерҳо, пайвастаҳои фаъоли биологӣ, химияи дорусозӣ ва дар соҳаҳои ҳуҷраворӣ, пойгоҳи илмӣ ва технологиро таъмин менамоянд.

Рӯйхати интишорот оид ба мавзӯи диссертатсия

I. Мақолаҳо дар маҷаллаҳо, ки дар пойгоҳи байналмиллалӣ (Web of Science, Scopus ва нашрияҳои хориҷӣ) индексатсия шудаанд:

- [1-М] **Зумратов А. Х.** The influence of the purification method on the molecular mass and hydrodynamic behaviors of apple pectin / A. Kh. Zumratov, A. S. Nasriddinov, S. E. Kholov, I. B. Ismoilov, A. I. Ashurov, Z. K. Muhidinov, D. Kh. Khalikov // Fine Chemical Engineering, -2025, -Volume 6 (1), -P. 88-100.
<https://doi.org/10.37256/fce.6120256176>.
- [2-М] **Зумратов А. Х.** Structural analyses of apricot pectin polysaccharides / Z. K. Muhidinov, A. S. Nasriddinov, G. D. Strahan, A. S. Jonmurodov, J. T. Bobokalonov, A. I. Ashurov, A. Kh. Zumratov, H. K. Chau, A. T. Hotchkiss & L. S. Liu // International Journal of Biological Macromolecules. –2024, - 279, 135544.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135544>.

II. Мақолаҳо дар нашрияҳои дигаре, ки аз ҷониби Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсия шудаанд:

- [3-М] **Зумратов А. Х.** Гидродинамические поведения пектина разного происхождения в растворе / А. Х. Зумратов, А. С. Насриддинов, Ш. Ё. Холов, И. Б. Исмоилов, З. К. Мухидинов // Вестник Филиала Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова в городе Душанбе, -2025, –Т.1, -№ 2, -С. 70-87.
- [4-М] **Зумратов А. Х.** Деградация пектиновых макромолекул в растворе / А. Х. Зумратов, А. С. Насриддинов, И. Б. Исмоилов, Ш. Ё. Холов, З. К. Мухидинов, Дж. Х. Халиков // Доклады НАНТ, -2025, -Т.68, -№ 9-10, -С. -929-939.

III. Рӯйхати корҳо дар маҷаллаҳои конфронси байналмилалӣ:

- [5-М] **Холмуродзода А. Х.** Влияние молекулярной массы и типа пектина на его гелеобразующие свойства / А.Х. Холмуродзода А. С. Насриддинов, З. К. Мухиддин. // Материалы III межд. научно-практической конф. «Современные проблемы химии и их перспективы»..., ТНУ, Душанбе, -2026, -С.560-564.
- [6-М] **Холмуродзода А. Х.** Кинетика высвобождения лекарственного средства из эмульсионных микрокапсул лактоглобулина и низкомолекулярного пектина / А. Х. Холмуродзода, Г. Д. Хасанов, З. К. Мухиддин // Материалы III межд. научно-практической конф. «Современные проблемы химии и их перспективы»..., ТНУ, Душанбе, -2026, -С.564-569.

- [7-М] **Зумратов А. Х.** Выделение и идентификация структуры пектина из абрикоса / А. Х. Зумратов, А. С. Джонмуродов, С. Р. Усманова, G. D. Strahan, З. К. Мухидинов // Материалы междунаучно-прак. конф. «Современные этапы развития естественных, точных и мат. наук в области науки и образования... 4 октября, -2025, Душанбе, ТГПУ. - С. 267-269.
- [8-М] **Зумратов А. Х.** Сравнительная характеристика пектиновых полисахаридов, полученных разными методами и из разных источников / А. Х. Зумратов, А. С. Насриддинов, Ш. Ё. Холов, Б. С. Ёрова, З. К. Мухидинов // Сборник статей международной научной конференции «Развитие новых направлений в науке: современное состояние и перспективы», посвященной 20-летию основания научно-исследовательского Института Таджикского национального университета, 25-26 октября, -2024, -С. 102-104.
- [9-М] **Зумратов А. Х.** Влияние способа очистки пектинового гидролизата на молекулярные параметры пектина из яблок / А. Х. Зумратов, А. С. Насриддинов, Ш. Ё. Холов, З. К. Мухидинов // Сборник тезисов XXV междунаучной конференции по химическим реакторам ХимРеактор-25, Тюмень, Россия, 8-13 октября, Новосибирск, -2023. -С.132-133.
- [10-М] **Зумратов А. Х.** Молекулярная масса и гидродинамическое поведение пектина, очищенного разными методами / А. Х. Зумратов, А. С. Насриддинов, Ш. Ё. Холов, З. К. Мухидинов // Материалы международной научно-практической конференции «XIII Ломоносовские чтения», посвященной 115-летию академика Бободжона Гафурова, 28-29 апреля. Часть III. Естественные науки. – Душанбе, -2023, -С. 177-182.
- [11-М] **Зумратов А. Х.** Конформационные изменения яблочного пектина под действием температуры гидролиза / А. Х. Зумратов, А. С. Насриддинов, Д. А. Юлдошева, З. К. Мухидинов, Дж. Х. Халиков // Междунаучно-прак. конф. на тему «Современные проблемы физики и химии полимеров», посвященной «75-летию образования Таджикского национального университета» и «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040 годы)», 10 октября, Душанбе, - 2023, -С. 25-29.

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА

Институт химии им В. И. Никитина

УДК 547.458.88.05

На правах рукописи



ХОЛМУРОДЗОДА АЗИЗБЕК ХОЛМУРОД

**МОЛЕКУЛЯРНАЯ МАССА И ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ
ПОВЕДЕНИЕ ПЕКТИНОВ РАЗНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени кандидата химических
наук по специальности 1.4 – Химия (1.4.7 – Химия
высокомолекулярных соединений)**

Душанбе – 2026

Работа выполнена в лаборатории «Высокомолекулярные и биологически активные соединения» Института химии имени В. И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана

Научный руководитель: **Мухиддин Зайниддин Камар** - доктор химических наук, профессор, зав. лабораторией «Высокомолекулярные и биологически активные соединения» Института химии им. В. И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана.

Официальные оппоненты: **Абдуллозода Хасан Муминджан** - доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики твердого тела Таджикского национального университета.

Юнусов Хайдар Эргашович – доктор технических наук, зав. лаб. «Химии и технологии целлюлозы и её производных» Института химии и физики полимеров Академии наук Республики Узбекистан.

Ведущая организация: Технологический университет Таджикистана.

Защита диссертации состоится «**18**» мая **2026** года в **9.00 часов** на заседании диссертационного совета 6D.KOA-080 при Институте химии им. В. И. Никитина НАН Таджикистана по адресу: 734063, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2, Институт химии им. В. И. Никитина (зал заседаний Института).

E-mail: shd.6d.koa.080@gmail.com

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте Института химии им. В. И. Никитина НАНТ (www.ikai.tj).

Автореферат разослан «_____» _____ 2026 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета
6D. KOA-080,
кандидат химических наук



С.Р. Усманова

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Пектиновые полисахариды (пектин) являются основным структурным компонентом клеточных стенок растений и присутствуют практически во всех растениях. Растущий спрос на натуральные и здоровые продукты стимулируют рост рынка, а также расширение области применения пектина в фармацевтике и косметике. Это анионный водорастворимый гетерополисахарид, обычно извлекаемый из промышленных отходов, таких как кожура цитрусовых и яблочный жмых. Условия экстракции и происхождения растений влияют на выход, состав и структуру пектинов. Эти факторы влияют на их технофункциональные свойства.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, определённых в Национальной стратегии развития Республики Таджикистан на период до 2030 года, где к одному из приоритетных задач относится «Разработка и внедрение технологии производства пектина из фруктовых выжимок и остатков подсолнечника после переработки масла».

В условиях нашей республики, где основные сырьевые источники этого полисахарида являются фруктовые выжимки (яблоко, айва, гранат) бахчевые (тыква, арбуз и дыня) и другие неизученные агропромышленные отходы, изучение научных основ технологии производства пектина и новых направлений в его применении в замены на импортный продукт становится весьма актуальным.

Степень изученности научной темы. В обзорах литературы, где рассматривается структура пектина, исследовались физико-химические свойства различных источников пектина. Особое внимание уделяется химическим и структурным свойствам пектина, которые подвержены изменениям в плодах из-за растворения и ферментативного расщепления. Обзоры охватывают широкий спектр информации, относящейся к свойствам пектинов, однако, работы по исследованию молекулярной массы и их

гидродинамические свойства практически отсутствуют. Значительный вклад в развитие данной области внесли такие исследователи, как профессор Энн М. Стивен (Великобритания), проф. Хенк А. Шольс и проф. Гарри Группен (Вагенингенский университет, Нидерланды), проф. Мари Тибо и соавторы (Франция) проф. Милан Рале и Жан-Франсуа Тибо (Франция) проф. Эдвин Р. Моррис (Великобритания) и наш коллаборатор из США доктор Маршал Фишман (США).

Связь исследования с программами и научной тематикой. Тема диссертации была разработана в рамках актуальных научных направлений, обозначенных в стратегии научного и технологического развития Республики Таджикистан на 2021–2025 годы, а также согласуется с целевыми ориентирами исследований, намеченных на период до 2030 года. Президент Республики Таджикистан, Лидер нации, уважаемый Эмомали Рахмон, в ходе заседания Совета по науке, образованию и инновациям при Президенте Республики Таджикистан (2021 г.) обратил внимание учёных на восемь приоритетных направлений развития экономики страны и, в частности, дал следующее поручение: «Министерствам промышленности и новых технологий, здравоохранения и социальной защиты населения, обороны, а также другим соответствующим министерствам и ведомствам поручено использовать технологии, разработанные учёными в области химии, для *производства пектина*, фосфоритов и лекарственных растений, а также других импортозамещающих продуктов».

Проведённая работа направлена на решение задач, имеющих стратегическое значение для страны: создание функциональных продуктов питания и разработка новых лекарственных средств, что оказывает положительное влияние на экономический рост.

Работа проводилась в соответствии с планом НИР ГНУ «Институт химии им. В. И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана» по теме: «Сетчатые структуры природных ионогенных полимеров и создание композиционных гидрогелей на их основе» (номер гос. регистрации ГР 0121TJ1152).

Общая характеристика работы

Целью данной работы является анализ молярной массы, молекулярно-массовое распределение (ММР), структуры, гидродинамические свойства различных пектинов, а также их изменение и взаимосвязь с функциональными свойствами в растворе.

Для достижения представленных целей были решены следующие **задачи**:

- 1) определение молекулярной массы пектинов методом эксклюзионной жидкостной хроматографии (ЭЖХ), а также ЭЖХ, сопряженной со статическим рассеянием света;
- 2) анализ ММР пектинов разного происхождения;
- 3) влияние различных факторов (вид исходного сырья, структура пектинов, время хранения растворов пектина) на молярную массу и ММР пектинов в разбавленном растворе;
- 4) определение гидродинамических свойств (характерная вязкость $[\eta]$ и гидродинамический радиус $[R_h]$) пектинов;
- 5) влияние различных факторов на гидродинамические свойства пектинов;
- 6) влияние молярной массы и структуры пектинов на их функциональные свойства;
- 7) влияние гидродинамических свойств и конформации пектинов на их функциональные свойства.

Объектами исследования являются фруктовые выжимки, образцы пектинов, композиционные гидрогели на основе пектинов с зеином, эмульсионные микрокапсулы на основе пектинов и лактоглобулина, другие средства и реагенты для проведения экспериментов.

Предмет исследования - анализ влияния молекулярной массы, ММР и гидродинамические свойства различных пектинов на функциональные свойства при их эксплуатации.

Научная новизна работы состоит в:

- определении среднего значения молярных масс (M_w , M_n , M_z) различных пектинов, полученных традиционным методом и

новым флэш-методом гидролиза-экстракции пектинов и полидисперсности образцов; найденные значения молярной массы для пектинов из яблок, айвы и абрикоса: 157 кДа, 174 кДа и 1588 кДа соответственно, даны оценки ММР для этих образцов;

- оценка качества пектина в зависимости от метода очистки (ДУФ и спиртовое осаждение – СО) пектинового гидролизата на основе значения молярных масс, ММР, гидродинамических и конформационных характеристик пектинов;
- определение значения гидродинамических параметров и установление их конформации в растворе с помощью конформационного коэффициента « κ »: ее средние значения равны 0.55 для абрикоса, 0.65 для образцов пектина яблок и 0.75 для айвы, что указывают на конформацию случайных клубков для первых и более компактных для последнего;
- впервые изучены деградации пектиновых макромолекул в растворе при хранении, на примере пектина яблок и айвы; показано, что деградация пектина характеризуется серией параллельно протекающих реакций, которые приводят к снижению молярной массы почти в два раза за 20 часов;
- представлены кинетические константы скорости деградации различных пектинов и пектинов, полученных разными методами; показано, что на скорость деградации пектинов влияет как способ его получения, так и вид источника сырья;
- установление взаимосвязи молекулярных параметров при формировании композиционных гидрогелей и стабилизации эмульсионных микрокапсул на основе комплекса пектин-белок, позволяющего получить прочные гели и стабильные масляные частицы, что внесет весомый вклад в разработку носителей лекарственных веществ и биоразлагаемых покрытий и упаковок для хранения пищевых продуктов.

Основные положения, выносимые на защиту:

Диссертант выносит на защиту результаты экспериментальных исследований, их обработку и интерпретации полученных данных, которые изложены в следующем порядке:

1. Определение и сравнительный анализ средних значений молярных масс (M_w , M_n , M_z) различных пектинов, полученные традиционным методом и новым флэш-методом гидролиза-экстракции пектинов и оценки полидисперсности образцов на основе анализа ММР.
2. Оценка качества пектина в зависимости от метода очистки пектинового гидролизата на основе значения молярных масс и ММР пектинов, гидродинамических и конформационных характеристик. Характеристика метода ДУФ для получения пектина с заданными свойствами.
3. Анализ значения молярной массы и гидродинамических свойств различных пектинов из яблок, айвы и абрикоса. Установление конформации изученных пектинов посредством значения их молярной массы и гидродинамических свойств.
4. Изучение деградации пектиновых макромолекул в растворе при хранении на примере пектина яблок и айвы, показывающий снижение молярной массы. Расчёт-кинетические константы скорости деградации различных пектинов и пектинов, полученных разными методами. Утверждение о том, что на скорость деградации пектинов влияет как способ его получения, так и вид источника сырья.
5. Влияние молекулярных параметров на формирование композиционных гидрогелей и стабилизация эмульсионных микрокапсул на основе комплекса пектин-белок.

Теоритическая и практическая значимость исследования:

Полученные результаты данной работы являются научно обоснованными данными для характеристики пектинов, необходимой для применения в пищевой и фармацевтической области промышленности. Знание тонкой структуры пектинов, состоящая из основной цепи и связанных с ней компонентов, играет решающую роль в определении их функциональности, а значение молярной массы и гидродинамических параметров пектина необходимо для адаптации его гелеобразующих, загущающих и стабилизирующих функций в различных рецептурах.

В условиях нашей республики, где основные сырьевые источники пектина являются фруктовые выжимки (яблоко, айва, гранат) бахчевые (тыква, арбуз и дыня) и другие неизученные агропромышленные отходы, изучение научных основ технологии производства пектина и новых направлений в его применении в замене на импортный продукт становится востребованным. Будучи натуральным компонентом фруктов и овощей, пектин является безопасной пищевой добавкой и не имеет установленного суточного лимита потребления. Его биомедицинские свойства также делают его перспективным материалом для медицинских целей и систем доставки лекарств.

Более того данные о молекулярной массе, ММР, гидродинамических и конформационных параметрах пектинов являются справочными данными для применения в учебных материалах, изучающихся химией и физикой полимеров и биоактивных соединений в пищевых и медицинских специальностях, а также в области материаловедения.

Степень достоверности результатов. Достоверность полученных результатов подтверждена воспроизводимостью и согласованностью данных при использовании физико-химических методов анализа, с использованием современных приборов (жидкостной хроматограф Breez (Waters, США), газовый хроматограф Agilent 7890A, сопряженный с масс-спектрометром 5975C и методиками, рекомендациями по применению биополимерных носителей в производство функциональных пищевых продуктов и фармацевтических препаратов. Анализ структуры пектинов и композиционных материалов проводился с применением ЯМР на ЯМР-спектрометре 14 Tesla Agilent DD2 (Санта-Клара, Калифорния) и на ИК-спектрофотометре с Фурье преобразованием (FT-IR Spectrum 65 (Perkin Elmer) и при других спектроскопических методах. Значения M_w , M_n и M_z для пектина были получены с использованием универсальной калибровки с учетом УП на программе ASTRA 5.3.4.20 (Wyatt Technology, США).

Результаты исследования выражены в виде средних значений с указанием стандартного отклонения. Статистическая обработка данных проводилась с использованием парного и

непарного t-критерия Стьюдента, а также дисперсионного анализа (ANOVA) для оценки различий между группектинами. $P < 0,05$ считалось статистически значимым.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Тема диссертации соответствует пунктам 1, 3, 4 и 9 паспорта специальности 1.4.7 – Химия высокомолекулярных соединений (1. Молекулярная физика полимерных цепей, их конфигурации и конформации, размеры и формы макромолекул, молекулярно-массовое распределение полимеров; 3. Основные признаки и физические свойства линейных, разветвленных, в том числе сверхразветвленных, и сетчатых полимеров, их конфигурация и конформация. Учет влияния факторов, определяющих конформационные переходы; 4. Химическая и физическая деструкция полимеров и композитов на их основе, старение и стабилизация полимеров и композиционных материалов. 9. Целенаправленная разработка полимерных материалов с новыми функциями, интеллектуальные структуры с их применением, обладающим характеристиками, определяющими области их использования в заинтересованных отраслях науки и техники).

Личный вклад соискателя учёной степени заключается в анализе научной литературы, его участии при постановке задач по теме диссертационной работы, в непосредственном проведении экспериментальных работ, обработке, анализе и интерпретации полученных результатов.

Апробация и применение результатов диссертации. Основные материалы диссертации были доложены и обсуждены на международных конференциях: XXV международная конференция по химическим реакторам «ХимРеактор-25» (Тюмень, 8–13 октября 2023 г.); международная научно-практическая конференция «Современные циклы развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования...» (Душанбе, 4 октября 2025 г.); III международная научная конференция «Развитие новых направлений в науке: современное состояние и перспективы» (Душанбе, 25–26 октября 2024 г.); международная научно-практическая конференция «Современные проблемы физики и химии полимеров», посвященная «75-летию Таджикского

национального университета...» (Душанбе, 10 октября 2023 г.); международная научно-практическая конференция «XIII Ломоносовские чтения», посвященная 115-летию академика Бободжана Гафурова (Душанбе, 28–29 апреля 2023 г.); III международная конференция «Современные проблемы химии и их перспективы»..., (Душанбе, 13 февраля 2026 г.).

Публикации по теме диссертации. По результатам исследования опубликовано 11 печатных работ, общим объемом 7.9 п.л. (авторских – 5.8 п.л.), в том числе 2 статьи в журналах международной базы «Web of Sciences», 2 статьи в журналах из перечня ВАК при Президенте Республики Таджикистан и Российской Федерации и 7 тезисов докладов на международных конференциях.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа написана в виде рукописи объемом 159 страниц и включает: введение, пять глав, содержащие обзор литературы, описание методик и хода экспериментов, анализ и интерпретацию полученных данных, а также выводы и рекомендации (общим объемом 127 страницы). Текст иллюстрирован 23 рисунками, 3 фотографиями, 1 схемой и 20 таблицами. Библиографический список включает 167 источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность темы, сформулированы цели и задачи работы, научная новизна, научно-практическая ценность, положения, выносимые на защиту и др.

В первой главе представлена краткая характеристика полисахаридов, особенно пектиновых полисахаридов, методы их гидролиза-экстракции и очистки, структура и свойства. Рассмотрены современные подходы к анализу молярной массы и молекулярное массовое распределение пектинов, методы оценки гидродинамических свойств пектинов и их конформационных характеристик. Обсуждены структурно-функциональные взаимосвязи пектиновых полисахаридов. На основе анализа обзора литературы сформулированы цели и основные задачи диссертации.

Во второй главе приведены: характеристики исходных веществ; методы гидролиза-экстракции и количественные методы анализа пектина; способы очистки и фракционирование полисахаридов; хроматографического анализа пектинов; определение молярной массы пектина методом эксклюзионной жидкостной хроматографии; методы исследования гидродинамических свойств; методы анализа структуры пектинов-ЯМР и ИК Фурье спектроскопия и статистический анализ данных;

В третьей главе (разделы 3.1 и 3.2) представлены данные о влиянии способа выделения и очистки пектинового гидролизата на молекулярные параметры пектинов разного происхождения. На основе анализа молярной массы, гидродинамических свойств пектинов показано, что новый способ гидролиза и экстракции позволяет получать пектин с оптимальными параметрами по молекулярной массе, содержанию ГК и СЭ, а разработанная технология позволяет перерабатывать любые виды пектина, содержащих растительное сырьё, обладает ещё и рядом преимуществ перед существующим уровнем техники по простоте и экологичности производства, что делает возможным его применение в различных областях пищевой и фармацевтической промышленности.

В разделе 3.3 приводится влияние способа очистки пектинового гидролизата на молярную массу и ММР пектинов.

Показано, что функциональность полисахаридов во многом зависит от их молекулярной массы и их гидродинамического поведения в растворе. Характеристика пектина в этом плане имеет важное значение, поскольку она потенциально может быть использована в производстве промышленных продуктов.

Представлены профили эксклюзионных хроматограмм (ЭЖХ) и кривые молекулярно-массовые распределения (ММР) пектина яблок, полученные флэш-методом гидролиз-экстракции при 130 °С в течение 5 мин и очищенные спиртовым осаждением и диаультрафильтационными способами. Весь образец элюировался в пределах свободного/общего объема хроматографической колонки. Для всех образцов виден один широкий пик при объеме 12.5–18 мл. Профиль ЭЖХ хроматографии образцов пектина, полученные обоими методами очистки, представляют мономодальное и

относительно широкое (10 – 1000 кДа) распределение по молекулярной массе. Из кривых ММР (рисунок 1) очевидно, что разница в молекулярной массе и их распределения для каждого образца пектина очень незначительна.

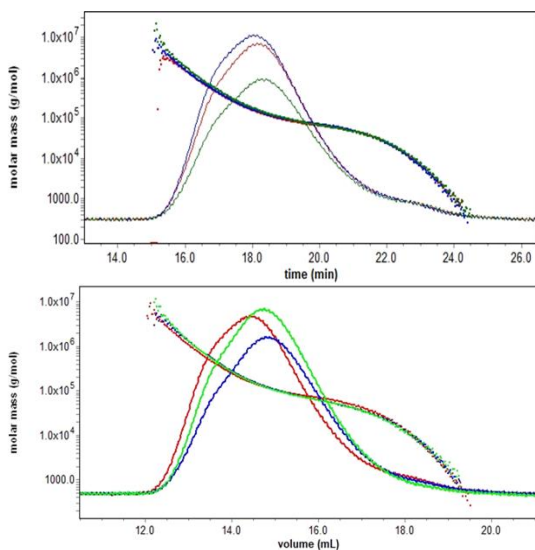


Рисунок 1. - ЭЖХ хроматограммы и кривые ММР пектина яблок, полученные флэш-методом при 130°C в течение 5 мин, очищены ТМ: 1. ПСФ 130-5 (1:1); 2. ПСФ 130-5 (1:2); 3. ПСФ 130-5 (1:3) - верхний и ДУФ методом: 1- ЯПФ 130-5 СО 1:2; 2-ЯПФ 130-5 ДУФ1 и 3-ЯПФ 130-5 ДУФ2 - нижний

Данные значения средневесовой M_w и коэффициента полидисперсности (M_w/M_n) и M_z найденные с помощью программы ASTRA 5.3.4.20 (Wyatt Technology) на основе профиля хроматограммы (рисунок 1) для пектиновых образцов, полученные разными методами очистки, представлены в таблице 1.

Из данных таблицы 1 видно, что выход пектина пропорционально увеличивается с увеличением соотношения раствора гидролизата к этанолу; вероятно, происходит самоосаждение низкомолекулярных фракций в пектиновом геле. Это приводит к снижению содержания основного компонента ПП – фракции ГГ в макромолекулах пектина. При этом с увеличением кратности процесса ДУФ величина выхода ПФ снижается за счет отщепления и фильтрации низкомолекулярных компонентов (сахаров, олигосахаридов, белков, полифенольных веществ и других

минеральных соединений), что приводит к заметному увеличению субдоменов НГ, влияющих на функциональные характеристики и качество пектина как гелеобразователя.

Если в первом методе максимальное значение молекулярной массы пектина приходится при соотношении раствора пектина и спирта 1:2, в случае ДУФ очистки двукратный цикл считается оптимальным для данного пектина. Более того, очистка ДУФ позволяет увеличить фракции с высоким молекулярным весом (рисунок 1 линии ММР) и тем самым повысить качество пектина. Таким образом, из полученных результатов молекулярных масс и их распределения в процессе очистки гидролизатов, в данном исследовании, удалось найти оптимальные условия для получения пектина с заданными свойствами.

В разделе 3.4 приведено влияние вида источника сырья на молекулярную массу и молекулярно-массовое распределение пектинов, на примере яблочного и айвового пектина. В таблице 1 представлены исходные данные по характеристикам исследованных пектинов - содержание галактуроновой кислоты (ГК, %), степени их этерификации (СЭ, %), а также значения средней весовой молекулярной массы (M_w и M_z).

Таблица 1. - Содержание галактуроновой кислоты (ГК, %), степени их этерификации (СЭ, %), значения средней молекулярной массы (M_w и M_z)

Вид пектина	ГК, %	СЭ, %	МГ, %	M_w	M_w/M_n	M_z
ЯПФ 85-60-2	67.2	72.2	7.3	120.2	2.5	2828
АП 85-60-2	67.2	58.0	7.7	174.6	3.2	606
ЯПФ 100-7-2	71.0	62.0	5.0	157.4	2.3	1380

Значения средневесовой молекулярной массы (M_w) пектинов были больше у айвового (АП 86-60-2) и уменьшались в ряду яблочных (ЯП 100-7-2) > (ЯП 86-60-2), в то время как значения z-средней массы (M_z) изменялся в сторону уменьшения в обратном

порядке. Тот факт, что у айвового пектина значение M_z было наименьшим, говорит о том, что в этом образце ПП макромолекулы находятся в изолированном виде, а агрегация макромолекул заторможена.

В данной части исследования структура абрикосового пектина: две отдельные фракции данного пектина были анализированы с применением HPSEC, HPAEC-PAD, ГХ-МС, ЯМР и ИК-Фурье спектроскопии. ЭЖХ хроматограмм абрикосового пектина F1AP представлена на рисунке 2.

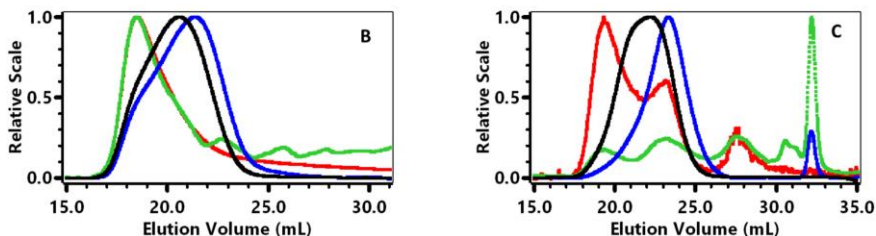


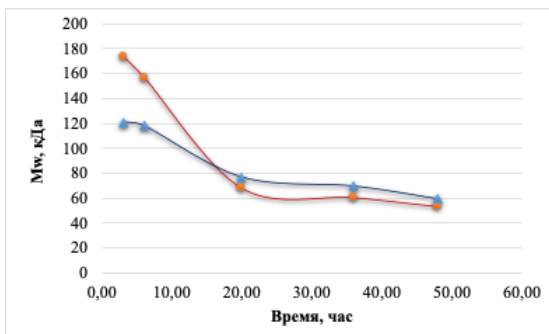
Рисунок 2. - ЭЖХ хроматограммы фракции исходного пектина абрикоса (F1AP1) (B) и (F1AP6) (C) фракции: (красная линия) детектор рассеяния света при угле 90°; (черная линия) дифференциальная вискозиметрия; (синяя линия) показатель преломления и (зеленая линия) УФ- поглощение при 280 нм

Дополнительные отдельные пики белка в профиле хроматограмм эти фракции показали, что белок может присутствовать в виде смеси, что и распределяется по фракциям. Структурный анализ показал, что нейтральный полисахарид F1AP1 был связан с белком и имел остов из (1→4)-связанной-D-галактуроновой кислоты и (1→2)-связанного-L-рамнопиранозильных остатков, разветвленных арабиногалактаном, включая множественные гликозидные связи боковых цепей α -Araf, α -Araf, и Galp остатки, имеющих метильные и ацетилированные группы, и высокую молекулярную массу (1945 кДа).

Раздел 3.5 посвящен деградация пектиновых макромолекул в растворе при их хранении. В данном исследовании мы приводим сравнительный анализ изменения молекулярной массы и ММР пектинов, полученные традиционным методом и с помощью флэш метода в растворе при выдерживании растворов в течение двух суток перед измерением молекулярных характеристик.

Кинетические данные изменения, значения M_w и M_z молекулярной массы, коэффициента полидисперсности (M_w/M_n), для исследованных ПП при выдерживании их растворов в течение до 48 часов представлены на рисунке 3. Как видно из полученных данных значение M_w при выдерживании раствора в течение 3 часов, более выражено падает у АЙП и в меньшей степени у ЯПФ образцов, экстрагированные ТМ, а затем уменьшается незначительно в течение двух дней.

Рисунок 3. - Изменение значения молекулярной массы от времени выдерживания раствора для пектинов, экстрагированных ТМ: ЯПФ 85-60-2 (-▲-) и АЙП 85-60-2 (-●-)



В разделе 3.6 продемонстрировано сравнительное исследование процесса деградации пектина в растворе при его выдерживании, который является технической процедурой перед применением пектина в различных отраслях пищевой промышленности и фармацевтике. В этом аспекте, разработано множество теоретических и феноменологических моделей деградации полимеров для оценки кинетики процесса деградации на основе снижения средней молекулярной массы в ходе простоя раствора до ее использования.

Для расчета кинетических констант была применена модель, связывающая временную зависимость молекулярной массы (M_t) следующим образом:

$$(1/M_t) = (1/M_{in}) - k_m \cdot t,$$

где, M_t – молекулярная масса полимера в момент времени (t) выдержки, M_{in} – исходная молекулярная масса полимера, k_m – константа скорости деградации (таблица 2). Таким образом, найденные значения константы деградации k_m из линейного уравнения тренда для всех изученных пектинов, уравнения

представлены в таблице 2. Как видно из полученных данных, найденные значения константы скорости деградации в растворе при хранении, при комнатной температуре, для пектина, полученные традиционным методом, были наибольшие для АйП 85-60-2.0, составили $2,879 \times 10^{-4}$ моль. г⁻¹. час⁻¹ ($R^2 = 0,9981$), для яблочного пектина ЯПФ 85-60-2 значение константы, было на полтора раза меньше 1.892×10^{-4} моль. г⁻¹. час⁻¹ ($R^2 = 0,9602$), а и для ЯПФ 100-7-2.02 составил $0,483 \times 10^{-4}$ моль. г⁻¹. час⁻¹ ($R^2 = 0,9690$) соответственно.

Таблица 2. - Значения константы деградации ПП, найденные из уравнения зависимости молекулярной массы от времени выдерживания раствора - уравнения тренда

Пектин	Уравнение тренда	Коэффициент корреляции, R^2	Значение M_{in} , кДа (10^{-3} г/моль)	Константа деградации, $k_m \cdot 10^4$ моль. г ⁻¹ . час ⁻¹
АйП 85-60-2	$y = 0.2879x + 4.927$	0.9981	202.9	2.879
ЯПФ 85-60-2	$y = 0.1892x + 7.869$	0.9629	127.0	1.892
ЯПФ 100-7-2	$y = 0.0483x + 6.204$	0.9602	161.1	0.483
ПП 120-7 -2	$y = 0.2002x + 1.106$	0.9974	165.0	12.00

Значения константы скорости деградации для пектина ПП в условиях флэш-гидролиза, при температуре 120 °С было весьма высокая, составило половину скорости деградации ЯПФ при комнатной температуре. Это указывает на то, что увеличение температуры на 100 градусов увеличивает скорость деградации на два порядка.

Раздел 3.7 посвящён изучению гидродинамических свойств пектинов с другими важными параметрами, определяющими форму и размер полимерных цепей в растворе; влияющими на характеристики пектина, кроме M_w и ММР, которые определяют качество конечного продукта при использовании пектина как загустителя, эмульгатора и гелеобразователя в пищевой и фармацевтической промышленности. Данные M_w , $[\eta]$ и (R_{hw}), полученные с помощью программы ASTRA, позволяют оценить

форму молекул по коэффициенту «b» на основании конформационного графика (таблица 3).

Взаимосвязь значения средней молекулярной массы (M_w и M_z), гидродинамические параметры ($[\eta]$, мл/г и R_h , нм) и конформационный коэффициент «b» разных пектинов от содержания ГК и СЭ приведена в таблице 3.

Таблица 3. - Взаимосвязь среднемoleкулярной массы (M_w и M_z), гидродинамических параметров ($[\eta]$, мл/г и R_h , нм) и конформационного коэффициента «b» различных пектинов в зависимости от содержания ГК и СЭ

Вид пектина	ГК, %	СЭ, %	M_w , кДа	$[\eta]$, мл/г	R_h , нм	b
ЯПФ 85-60-2	67,2	72,2	120,0	132,3	11,9	0,66
АйП 85-60-2	67,2	58,0	174,0	213,4	14,2	0,72
ЯПФ 100-7-2	71,0	62,0	157,0	155,2	13,4	0,65
АйП 100-7-2	73,2	56,6	187,0	224,5	14,8	0,75

Из данных таблицы 3 следует, что пектины, полученные новым флэш-методом, отличаются от тех, экстрагированных традиционным методом по всем изученным характеристикам, кроме СЭ. СЭ пектина (ЯПФ 100-7-2) было несколько меньше, чем СЭ пектина, полученного традиционным методом (ЯПФ 85-6-2) скорее за счет высокой температуры гидролиза 120 °С.

Нужно отметить, что воздействие высокой температуры за короткое время (флэш-метод) при 100 °С в течение 7 мин и контакта в кислой среде (рН=2.0) не повлияло на молекулярную массу. Как и ожидалось, в каждом образце пектина порядок изменения гидродинамических свойств: характеристическая вязкость ($[\eta]$) и гидродинамический радиус макромолекул (R_h) были идентичны молярной массе.

При хранении раствора пектина происходит уменьшение M_w , резкое увеличение коэффициента полидисперсности (M_w/M_n) и падение значения M_z . Одновременно, после 3-х часового выдерживания до 48 часов, наблюдается (таблица 3) падение

гидродинамического радиуса от 11.9 нм до 10.5 нм для яблочного ЯПФ 85-60-2 пектина и от 13.1 нм до 12.4 нм для айвового АйП 85-60-2 пектина.

Из этих результатов можно сделать следующие выводы: метод - быстрый гидролиз и эффективная очистка — УФД позволяет избежать длительного воздействия гидролизующего агента и температуры на пектин, что предотвращает возможную деструкцию, происходящую в растворе.

В главе 4 обсуждается влияние молярной массы, гидродинамических свойств и конформации пектинов на прокариотические свойства продуктов на их основе. В разделе 4.1 представлены результаты разработки условий получения комплексов микросферы, на их основе пектина и зеина с инкапсулированным лекарством-ПХ, устойчивых к действию среды желудка, для возможного их применения в качестве новой формы с контролируемым высвобождением. Взаимосвязь структуры, в том числе молекулярной массы пектинов и выход гелиевых микросфер, степени их набухания и количества, инкапсулированного ЛВ – ПХ представлены в таблице 4.

Таблица 4. - Оценка параметров высвобождения ($T_{50\%}$) микросферы СДЛ на основе разных пектинов в условный желудочно-кишечный тракт на опытах *ex vivo*

СДЛ микросферы	Соот. З/Пектин	M_w , кДа	ПХ доза, мкг	$T_{50\%}$, Час ($P < 0.05$)
З/ЯПШ (НМ)	0.5	112.7	1000	48.0
З/ЛП (НМ)	0.5	142.0	1000	42.0
З/ЦП (НМ)	0.5	212.0	1000	36.0

Представляло также интерес исследовать способность разработанных систем доставки лекарственных веществ (СДЛ), сдерживать влияние протеаз во время прохождения через верхнюю часть ЖКТ в зависимости от их молекулярной массы. С этой целью были изучены кинетика выхода РХ из полученных пектин-зеиновых микросфер в искусственно созданной среде желудка и кишечника.

В данном эксперименте, заметно ($P < 0.05$) видно, что с ростом молярной массы пектина устойчивость СДЛ микросферы уменьшается. Высокая степень высвобождения происходит вследствие релаксации полимерной сетки в процессе набухания полимера в условиях среды.

Таким образом, в результате этих исследований определены оптимальные условия получения микросфер на основе природных биополимеров - пектина и зеина с инкапсулированным лекарственным веществом. Показано, что на процесс образования комплексов, степень насыщения микросфер лекарством влияют природа биополимеров, их соотношение, присутствие двухвалентных металлов и молекулярная масса пектина.

Раздел 4.2 представляет влияние ММ и структуры пектинов на эмульгирующие свойства пектина. В данном исследовании были проанализированы эмульгирующие свойства различных пектинов.

В таблице 5 приводятся результаты анализа стабильности эмульсии, количества адсорбированного лекарства, параметры высвобождения ПХ ($T_{50\%}$) в условный желудочно-кишечный тракт СДЛ в виде эмульсионных микрокапсул на основе разных пектинов и концентрата лактоглобулинов молочной сыворотки от их молярной массы и СЭ.

Таблица 5. - Стабильность эмульсии, количества адсорбированного лекарства, параметры высвобождения ($T_{50\%}$) эмульсионных микрокапсул от их молярной массы.

LgC/P	Характеристика пектина		V, мл эмульсии, %	Размер частиц, мкм	PX, %	$T_{50\%}$, час
	M_w , кДа	СЭ, %				
ЯПШ (НМ)	112.7	40.3	19.0	6.4	64.5	18.9
ЯПФ (ВМ)	208.0	71.6	20.0	6.2	57.0	23.5
СП (НМ)	212.0	9.0	13.0	5.4	54.0	15.6
ПП (НМ)	87.6	43.2	19.0	9.3	64.0	13.0

Таким образом, в условиях вышеописанных экспериментов образование устойчивых капель масла представляло собой ту же сложность. Различие в способности пектиновых цепей образовывать эффективный вторичный слой в зависимости от числа молекул

белка вокруг капли масла, очевидно, зависит от молярной массы и структуры образцов пектина.

В разделах 4.3 и 4.4 продемонстрированы кинетические параметры высвобождения ЛВ в зависимости от их молярной массы. По сравнению с ранее изученными комплексами, включающими высокомолекулярные пектины, кинетика выхода ЛВ из данной системы при рН=6.4 имела прямолинейный характер, что соответствует кинетике выхода по механизму нулевого порядка.

Таким образом, гидрогели с низкомолекулярным ЯПШ яблочным пектином, по сравнению с гидрогелями на основе цитрусового пектина, пролонгировали выход ЛВ до 48 и более часов, что является важным для разработки систем доставки большинство ЛВ в кишечник.

Для оценки механизма высвобождения лекарственного вещества из микрокапсул Lg/пектин данные высвобождения лекарственного вещества были представлены в уравнении Ритгера и Пеппаса в виде логарифмической зависимости кумулятивного процента высвобождения лекарственного вещества от логарифма времени, а показатель степени n рассчитывался через наклон прямой.

$$M_t/M_\infty = K \cdot t^n$$

Эмульсионные СДЛ показали начальное быстрое высвобождение до 56.8% при рН=1.5, в условиях желудка. В условиях толстого кишечника, при рН=6.4 выход ЛВ достиг 84.5% за 5 часов.

Для оценки механизма высвобождения ПХ из эмульсионных микрокапсул на основе лактоглобулина и изученных пектинов был найден показатель « n », характеризующий механизм высвобождения ЛВ. Значения « n », полученные из линейных уравнений, представлены в таблице 6. Значения экспонента диффузии, найденные из уравнения Ритгера и Пеппаса « n », составили 0,510 и 0.769 для эмульсионных микрокапсул ПП и ЯПМ, которые указывают на фииковский механизм диффузии ПХ в условиях желудка. Если показатель диффузии « n » модели Пеппаса была менее 0.5 (0.23) в среде кишечника для микрокапсул на основе высокомолекулярного яблочного пектина, что соответствует

диффузионному характеру, в то время как этот показатель для микрокапсул пектина из подсолнечника с низким молекулярным весом равнялся 0,89, что указывает на то, что высвобождение препарата было обусловлено не только диффузионным механизмом.

Таблица 6. - Характеристика пектинов и коэффициенты уравнения Ритгера – Пепаса для оценки механизма высвобождения ЛВ из эмульсионных микрокапсул, стабилизированных двухслойным комплексом лактоглобулина и пектина

	M _w , кДа	b	pH	Коэффициенты уравнения $M_t/M_\infty = K \cdot t^n$	
				K	n
ПП 120-5-2	72.6	0.65	1.5	0.871	0.510
			6.4	1.851	0.893
ПЯМ 120-5-2	134.0	0.78	1.5	1.063	0.769
			6.4	0.401	0.247

Результат показал, что СДЛ на основе низкомолекулярного пектина следовал кинетике высвобождения препарата нулевого порядка.

ВЫВОДЫ

1. Определены значения молярной массы (M_w, M_n, M_z), молекулярно-массового распределения (ММР) и гидродинамических параметров различных пектинов, полученных традиционным методом и новым - флэш методом гидролиз-экстракции пектинов. Проведен сравнительный анализ средних значений молярных масс и дана оценка полидисперсности образцов на основе анализа ММР [1-А; 2-А; 3-А; 6-А].
2. Проведён сравнительный анализ молярной массы и гидродинамических свойств различных пектинов из яблок, айвы и абрикоса. Найденные значения молярной массы для этих пектинов были 157 кДа, 174 кДа и 1588 кДа соответственно,

- дана оценка ММР, определено их гидродинамическое поведение в растворе и установлены конформации изученных пектинов [1-А; 3-А; 5-А].
3. Дана оценка форме молекулы с помощью конформационного графика программного обеспечения ASTRA, позволяющего оценить форму и размер полимера в растворе. Найденные усредненные наклоны этого графика с коэффициентом «b» равны 0.55 для абрикоса, 0.64-0.67 для образцов пектина яблок, полученные разными способами и 0.74 для айвы, что указывают на конформацию случайных клубков для первых и более компактных для последних [1-А; 2-А; 3-А].
 4. На основе значения молярных масс и ММР пектинов, гидродинамических и конформационных характеристик представлена оценка качества пектина в зависимости от метода очистки (ДУФ и спиртовое осаждение – СО) пектинового гидролизата. Показано, что метод ДУФ является превосходным для получения пектина с заданными свойствами [2-А; 6-А; 7-А; 8-А].
 5. Впервые изучены деградации пектиновых макромолекул в растворе при хранении, на примере пектина яблок и айвы. Показано, что деградация пектина характеризуется серией параллельно протекающих реакций, которые приводят к снижению молярной массы почти в два раза за 20 часов [4-А; 9-А].
 6. Рассчитаны кинетические константы скорости деградации различных пектинов и пектинов, полученных разными методами. Показано, что на скорость деградации пектинов влияет как способ его получения, так и вид источника сырья [1-А; 2-А; 3-А; 6-А].
 7. Изучено влияние молекулярных параметров на формирование композиционных гидрогелей и стабилизации эмульсионных микрокапсул на основе комплекса пектин-белок. Показано, что высокомолекулярные пектины способствуют формированию прочных гелей, тогда как низкомолекулярные пектины лучше для стабилизации масляных частиц.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Пектин – промышленно важное соединение, используемое в качестве пищевой добавки или гелеобразователя. Растущий спрос на натуральные и здоровые продукты стимулирует рост рынка, а также расширение области применения пектина в фармацевтике и косметике. Ожидается, что совокупный среднегодовой темп роста рынка пектина в период с 2025 по 2030 год составит 5,6%, а его продажа может достигнет 2.0 млрд долларов США, что обусловлено растущим спросом в различных секторах экономики. Более того, извлечение пектина из сельскохозяйственных отходов – экономичный и экологичный способ получения пектина, позволяющий одновременно снизить объемы отходов и получить продукты с добавленной стоимостью.

Результаты данной работы являются научно-обоснованными данными для характеристики пектинов, необходимой для применения в пищевой и фармацевтической областях промышленности. Знание тонкой структуры пектинов, состоящая из основной цепи гомогалактуронана и связанных с ней компонентов в виде рамногалактуронанов, играет решающую роль в определении их функциональности, а значение молярной массы и гидродинамических параметров пектина необходимо для адаптации его гелеобразующих, загущающих и стабилизирующих функций в различных рецептурах.

В условиях нашей республики, где основные сырьевые источники пектина являются фруктовые выжимки (яблоко, айва, гранат) бахчевые (тыква, арбуз и дыня) и другие агропромышленные отходы, изучение научных основ технологии производства пектина из них и новых направлений в применении пектина в замены на импортный продукт, становится востребованным. Будучи натуральным компонентом фруктов и овощей, пектин является безопасной пищевой добавкой и не имеет установленного суточного лимита потребления. Его биомедицинские свойства также делают его перспективным материалом для медицинских целей и систем доставки лекарств. Потенциал применения белково-полисахаридного комплекса как средства инкапсуляции и доставки биологически активных соединений, питательных веществ и

лекарственных препаратов, открывает возможность внедрения результатов данной работы в пищевую, косметическую и фармацевтическую промышленность Республики и стран региона.

Более того данные о молекулярной массе, ММР, гидродинамические и конформационные параметры пектинов являются справочными данными для применения в учебных материалах, изучающих химию и физику полимеров и биоактивных соединений в пищевой, медицинской специальности и материаловедении.

Список публикаций по теме диссертации

I. Статьи в журналах, индексируемые в международной базе данных (*Web of Science, Scopus* и иностранные издания):

- [1-A] **Зумратов А. Х.** The influence of the purification method on the molecular mass and hydrodynamic behaviors of apple pectin / A. Kh. Zumratov, A. S. Nasriddinov, S. E. Kholov, I. B. Ismoilov, A. I. Ashurov, Z. K. Muhidinov, D. Kh. Khalikov // *Fine Chemical Engineering*, - 2025, - Volume 6 (1), - P. 88-100. <https://doi.org/10.37256/fce.6120256176>.
- [2-A] **Зумратов А. Х.** Structural analyses of apricot pectin polysaccharides / Z. K. Muhidinov, A. S. Nasriddinov, G. D. Strahan, A. S. Jonmurodov, J. T. Bobokalonov, A. I. Ashurov, A. Kh. Zumratov, H. K. Chau, A. T. Hotchkiss, & L. S. Liu // *International Journal of Biological Macromolecules*. -2024, - 279, 135544. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135544>.

II. Статьи, опубликованные в других изданиях, рекомендуемых ВАК при Президенте Республики Таджикистан:

- [3-A] **Зумратов А. Х.** Гидродинамические поведения пектина разного происхождения в растворе / А. Х. Зумратов, А. С. Насриддинов, Ш. Ё. Холов, И. Б. Исмоилов, З. К. Мухидинов // *Вестник Филиала Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова в городе Душанбе*, -2025, -Т.1, - № 2, -С. 70-87.
- [4-A] **Зумратов А.Х.** Деградация пектиновых макромолекул в растворе / А. Х. Зумратов, А. С. Насриддинов, Исмоилов И. Б., Ш. Ё. Холов, З. К. Мухидинов, Дж. Х. Халиков // *Доклады НАНТ*, -2025, -Т.68, -№ 9-10, - С. -929-939.

III. Список работ в материалах международных конференций

- [5-A] **Холмуродзода А. Х.** Влияние молекулярной массы и типа пектина на его гелеобразующие свойства / А. Х. Холмуродзода А. С. Насриддинов, З. К. Мухиддин // *Материалы III межд. научно-*

- практической конф. «Современные проблемы химии и их перспективы»..., ТНУ, Душанбе, -2026, - С. 560-564.
- [6-А] **Холмуродзода А. Х.** Кинетика высвобождения лекарственного средства из эмульсионных микрокапсул лактоглобулина и низкомолекулярного пектина / А. Х. Холмуродзода, Г. Д. Хасанов, З. К. Мухиддин // Материалы III межд. научно-практической конф. «Современные проблемы химии и их перспективы»..., ТНУ, Душанбе, -2026, - С. 564-569.
- [7-А] **Зумратов А. Х.** Выделение и идентификация структуры пектина из абрикоса / А. Х. Зумратов, А. С. Джонмуродов, С. Р. Усманова, G. D. Strahan, З. К. Мухидинов // Материалы межд. научно-прак. конф. «Современные этапы развития естественных, точных и мат. наук в области науки и образования...», 4 октября, -2025 г., Душанбе, ТГПУ. - С. 267-269.
- [8-А] **Зумратов А. Х.** Сравнительная характеристика пектиновых полисахаридов, полученных разными методами и из разных источников / А. Х. Зумратов, А. С. Насриддинов, Ш. Ё. Холов, Б. С. Ёрова, З. К. Мухидинов // Сборник статей международной научной конференции «Развитие новых направлений в науке: современное состояние и перспективы», посвященной 20-летию основания научно-исследовательского Института Таджикского национального университета (25-26 октября 2024 г.), ст. 102-104.
- [9-А] **Зумратов А. Х.** Влияние способа очистки пектинового гидролизата на молекулярные параметры пектина из яблок / А. Х. Зумратов, А. С. Насриддинов, Ш. Ё. Холов, З. К. Мухидинов // Сборник тезисов XXV межд. конференции по химическим реакторам ХимРеактор-25, Тюмень. Россия, 8 – 13 октября, Новосибирск, -2023. - С.132-133.
- [10-А] **Зумратов А. Х.** Молекулярная масса и гидродинамическое поведение пектина, очищенного разными методами / А. Х. Зумратов, А. С. Насриддинов, Ш. Ё. Холов, З. К. Мухидинов // Материалы международной научно-практической конференции «XIII Ломоносовские чтения», посвященной 115-летию академика Бободжона Гафурова, 28-29 апреля. Часть III. Естественные науки. Душанбе, -2023, - С. 177-182.
- [11-А] **Зумратов А. Х.** Конформационные изменения яблочного пектина под действием температуры гидролиза / А. Х. Зумратов, А. С. Насриддинов, Д. А. Юлдошева, З. К. Мухидинов, Дж. Х. Халиков // Межд. научно-прак. конф. на тему «Современные проблемы физики и химии полимеров», посвященной «75-летию образования Таджикского национального университета» и «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в

сфере науки и образования (2020-2040 годы)», 10 октября, Душанбе, - 2023, - С. 25-29.

АННОТАЦИЯ

на автореферат диссертации Холмуродзода Азизбек Холмурод на тему «Молекулярная масса и гидродинамическое поведение пектинов разного происхождения» на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4 – Химия (1.4.7 – Химия высокомолекулярные соединения)

Ключевые слова: пектин, молярная масса, молекулярно-массовое распределение, гидродинамические свойства, конформация, гидрогель, эмульсионные микрокапсулы.

Цель работы: является анализ молярной массы, молекулярно-массовое распределение (ММР), структуры, гидродинамические свойства различных пектинов, а также их изменение и взаимосвязь с функциональными свойствами в растворе.

Методы исследования: эксклюзионная жидкостная хроматография (ЭЖХ), газовая хроматография, сопряженная с масс-спектрометром, ЯМР спектроскопия и ультрафильтрация.

Научная новизна работы: определение среднего значения молярных масс (M_w , M_n , M_z), гидродинамических и конформационных характеристик различных пектинов и полидисперсности образцов; найденные значения молярной массы для пектинов из яблок, айвы и абрикоса: 157 кДа, 174 кДа и 1588 кДа соответственно, даны оценки ММР для этих образцов; установлены их конформации в растворе с помощью конформационного коэффициента « ν »: ее среднее значение равно 0.55 для абрикоса, 0.65 для образцов пектина яблок и 0.75 для айвы, соответствующие конформации случайных клубков; впервые изучена деградация пектиновых макромолекул в растворе при хранении; представлены кинетические константы скорости деградации различных пектинов и пектинов, полученных разными методами.

Практическая ценность и реализация результатов: установлены взаимосвязь молекулярных параметров при формировании композиционных гидрогелей и стабилизации эмульсионных микрокапсул на основе комплекса пектин-белок, позволяющего получить прочные гели и стабильные масляные частицы, что внесет весомый вклад в разработку носителей лекарственных веществ и биоразлагаемых покрытый и упаковок для хранения пищевых продуктов. Полученные данные о молекулярной массе, ММР, гидродинамические и конформационные параметры пектинов являются справочными данными для применения в учебных материалах в области химии и физики полимеров и материаловедения.

Публикации: По результатам исследования опубликовано 11 печатных работ, в том числе 2 статьи в журналах из международной базы «Web of Science», 2 статьи в журналах из перечня ВАК при Президенте Республики Таджикистан и Российской Федерации и 7 тезисов международных конференций.

Область применения: фармацевтическая и пищевая промышленности.

ШАРҲИ МУХТАСАР

ба автореферати диссертатсияи Холмуродзода Азизбек Холмурод дар мавзуи “Массаи молекулавӣ ва рафтори гидродинамикии пектин аз манбаъҳои гуногун” барои гирифтани дараҷаи илми номзади илмҳои химия аз рӯи ихтисоси 1.4 – Химия (1.4.7 – Химияи пайвастаҳои фаромолекулӣ)

Калидвожаҳо: пектин, массаи молекулавӣ, тақсими массаи молекулавӣ, хосиятҳои гидродинамикӣ, конформатсия, гидрогел, микрокапулаҳои эмулсия.

Мақсади тадқиқ: Таҳлили массаи молекулавӣ, тақсими массаи молекулавӣ (ТММ), сохтор ва хосиятҳои гидродинамикии пектинҳои гуногун, инчунин тағйирот ва робитаҳои онҳо бо хосиятҳои функционалӣ дар маҳлул.

Усулҳои тадқиқот: хроматографияи моеии истисноии андоза (SEC), хроматографияи газӣ, ки ба спектрометри массавӣ пайваस्त карда шудааст, спектроскопияи РМЯ ва ультрафилтратсия.

Натиҷаҳои бадастомада ва навоари онҳо: муайян кардани қиматҳои миёнаи массаҳои молекулавӣ (M_w , M_n , M_z), хусусиятҳои гидродинамикӣ ва конформатсионии пектинҳои гуногун ва полидисперсии онҳо; қиматҳои массаи молекулавии ёфтшуда барои пектин аз себ, бихӣ ва зардолу: мутаносибан 157 кДа, 174 кДа ва 1588 кДа дода шудаанд; ТММ барои ин намунаҳо баҳодихӣ шудааст; конформатсияҳои онҳо дар маҳлул бо истифода аз коэффисиенти конформатсионии “b” муқаррар карда шудаанд: қиматҳои миёнаи он барои зардолу 0,55, барои намунаҳои пектини себ 0,65 ва барои бихӣ 0,75 мебошанд, ки ба конформатсияи калобаҳои печида дар маҳлул мувофиқат мекунанд; таҷзияи макромолекулаҳои пектин дар маҳлул ҳангоми нигоҳдорӣ бори аввал омӯхта шудааст; константаҳои кинетикии суръати таҷзияи пектинҳои гуногун ва пектинҳое, ки бо усулҳои гуногун ба даст оварда шудаанд, пешниҳод карда шудаанд; нишон дода шудааст, ки ба суръати таҷзияи пектин ҳам усули истеҳсоли он ва ҳам намуди манбаи ашёи хом таъсир мерасонад.

Арзиши амалӣ ва татбиқи натиҷаҳо: Робитаи байни параметрҳои молекулавӣ дар ташаккули гидрогелҳои композитӣ ва устувории микрокапулаҳои эмулсия дар асоси комплекси пектин-сафеда муқаррар карда шуд. Ин комплекс имкон медиҳад, ки гелҳои қавӣ ва зарраҳои устувори равшан истеҳсол карда шаванд. Ин ба рушди интиқолдиҳандагони доруворӣ ва системаҳои нигоҳдорӣ хӯроқвории биологӣ вайроншаванда ва бастабандишуда мусоидати назаррас хоҳад кард. Маълумоти бадастовардашуда дар бораи массаи молекулавӣ, ТММ, рафтори гидродинамикии пектинҳо ва параметрҳои конформатсионии онҳо ҳамчун маълумоти истинодӣ барои истифода дар маводҳои таълимӣ дар соҳаҳои химия ва физикаи полимерҳо ва маводшиноӣ хизмат мекунанд.

Наشريҳо: Дар асоси натиҷаҳои тадқиқот 11 адад маводҳои илмӣ нашр шудаанд, аз ҷумла 2 мақола дар маҷаллаҳои дохилшуда ба пойгоҳи додаҳои байналмилалӣ *Web of Sciences*, 2 мақола дар маҷаллаҳои дохилшуда ба рӯйхати Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ва Федератсияи Русия ва 7 тезиси конференсияҳои байналмилалӣ.

Соҳаи татбиқ: саноати дорусозӣ ва хӯроқворӣ.

ANNOTATION

to the dissertation of Kholmurodzoda Azizbek Kholmurod titled «Molecular Mass and Hydrodynamic Behavior of Pectins of Different Origins», submitted for the degree of Candidate of Chemical Sciences in the specialty 1.4 – Chemistry (1.4.7 – Chemistry of Macromolecular Compounds)

Keywords: pectin, molar mass, molecular mass distribution, hydrodynamic properties, conformation, hydrogel, emulsion microcapsules.

Objectives: To analyze the molar mass, molecular mass distribution (MWD), structure, and hydrodynamic properties of various pectins, as well as their changes and relationships with functional properties in solution.

Research methods: size-exclusion liquid chromatography (SEC), gas chromatography coupled to a mass spectrometer, NMR spectroscopy, and ultrafiltration.

The scientific novelty of the work: determination of the average values of molar masses (M_w , M_n , M_z), hydrodynamic and conformational characteristics of various pectins and polydispersity of samples; the found molar mass values for pectins from apples, quince and apricot: 157 kDa, 174 kDa and 1588 kDa, respectively, are given; the MWD is estimated for these samples; their conformations in solution are established using the conformational coefficient $\langle b \rangle$: its average values are 0.55 for apricot, 0.65 for apple pectin samples and 0.75 for quince, corresponding to the conformation of random coils; the degradation of pectin macromolecules in solution during storage is studied for the first time; kinetic constants of the degradation rate of various pectins and pectins obtained by different methods are presented; it is shown that the rate of pectin degradation is affected by both the method of its production and the type of raw material source.

Practical value and implementation of the results: The relationship between molecular parameters in the formation of composite hydrogels and the stabilization of emulsion microcapsules based on a pectin-protein complex was established. This complex allows for the production of strong gels and stable oil particles. This will significantly contribute to the development of drug carriers and biodegradable coated and packaged food storage systems. The obtained data on the molecular weight, MWD, hydrodynamic, and conformational parameters of pectins serve as reference data for use in educational materials in the fields of polymer chemistry and physics and materials science.

Publications: 11 publications have been published based on the results of the study, including 2 articles in journals included in the Web of Sciences international database, 2 articles in journals included in the List of the Higher Attestation Commission under the President of the Republic of Tajikistan and the Russian Federation, and 7 abstracts of international conferences.

Field of application: pharmaceutical and food industries.