

АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИЛМҲОИ ТОҶИКИСТОН

Институти кимиёи ба номи В.И. Никитин

ТДУ 547.458.88.05

Ба ҳуқуқи дастнавис



Холмуродзода Азизбек Холмурод

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

Диссертатсия

барои дарёфти дараҷаи илмӣи номзади илмҳои химия аз рӯйи
ихтисоси **1.4.7. Химияи пайвастаҳои фаромолекулӣ**

Роҳбари илмӣ: *доктори илмҳои химия, профессор*

Муҳиддин Зайниддин Қамар

Душанбе – 2026

МУНДАРИЧА

РЀЙХАТИ ИХТИСОРАҲО	6
МУҚАДДИМА	8
ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ	12
БОБИ 1. БАҲРАСИИ АДАБИЁТ	18
1.1. Тавсифи мухтасари полисахаридҳо	18
1.2. Полисахаридҳои пектинӣ	19
1.3. Гидролиз ва экстраксияи полисахаридҳои пектинӣ	21
1.3.1. Манбаҳои асосии ашёи хоми пектин	21
1.3.2. Гидролиз ва экстраксияи пектин. Тарзи анъанавӣ	23
1.3.3. Самтҳои инноватсионӣ ва экологии технологияи экстраксияи пектин	24
1.4. Тарзҳои тозакунии пектин	25
1.4.1. Таҳшинкунии пектин аз маҳлули гидролизат бо спирт	26
1.4.2. Тозакунии мембранавии маҳлули гидролизат	27
1.5. Сохтори полисахаридҳои пектинӣ	29
1.5.1. Таркиби моносахаридӣ ва сохтори пектин	29
1.5.2. Массай молекулавӣ ва тақсимои массай молекулавии пектин	31
1.5.3. Таҳлили конформатсионии макромолекулаи пектин	36
1.6. Алоқамандии таркиб ва хосиятҳои функционалии пектин	39
БОБИ 2. МАВОДҲО ВА ТАРЗҲОИ ТАДҚИҚОТӢ	44
2.1. Чамъоварӣ ва омодакунии ашёи хоми ибтидоӣ	44
2.2. Тавсифи моддаҳои аввала	45
2.3. Омода кардани маҳлулҳои ибтидоӣ	45
2.4. Тозакунӣ ва фраксиябандии полисахарид	46
2.4.1. Тозакунӣ бо этанол	46
2.4.2. Тозакунӣ бо истифода аз мембранаҳои софкунаанда	46
2.4.3. Ҷудокунӣ (фраксиябандӣ)-и полисахаридҳо бо тарзи хроматографияи мубодилаи анионӣ	47

2.5.	Тарзҳои миқдории таҳлили полисахаридҳои пектинӣ	48
2.5.1.	Муайян кардани миқдори умумии қанд дар полисахарид	48
2.5.2.	Тарзи модификатсионии титриметрӣ барои муайян кардани гурӯҳҳои карбоксилии озоди пектин	48
2.5.3.	Муайян кардани гурӯҳҳои карбоксилии эфиршудаи пектин	49
2.5.4.	Муайянкунии гурӯҳҳои метоксилии пектин бо тарзи фотометрӣ	49
2.5.5.	Муайян кардани кислотаҳои уронӣ бо тарзи мета-гидроксидифенилӣ	50
2.6.	Тарзҳои хроматографии таҳлили пектин	51
2.6.1.	Таҳлили таркиби моносахаридии пектин	51
2.6.2.	Таҳлили таркиби моносахаридии пектин бо тарзи хроматографияи мубодилаи анионӣ бо детектори импулсии амперометрӣ	52
2.6.3.	Таҳлили метилиронӣ барои муайян намудани бандҳои гликозидӣ дар полисахарид	52
2.6.4.	Муайян кардани массаи молекулавии пектин бо тарзи хроматографияи моеии эксклюзионӣ	54
2.7.	Тарзҳои таҳқиқи ҳосиятҳои гидродинамикӣ	55
2.7.1.	Муайян кардани ҳосияти часпакии ҳоси дохилӣ	55
2.7.2.	Муайян кардани ҳосиятҳои гидродинамикии пектин	55
2.8.	Тарзҳои таҳқиқи таркиби полисахарид	56
2.8.1.	Спектроскопияи инфрасурх (ИС)-и Фуре	56
2.8.2.	Спектроскопияи резонанси магнитии ядрой	56
2.8.3.	Спектроскопияи ултрабунафш (УБ)	57
2.9.	Тарзҳои хроматографӣ	58
2.9.1.	Муайян кардани массаи молекулавии сафедаҳо бо тарзи электрофоретикӣ	58
2.9.2.	Чудокунӣ пектин ба ҳиссаҳо дар ДЭАЭ-селлюлоза	59
2.10.	Таҳлили омӯрӣ	59

БОБИ 3. ТАЪСИРИ ТАРЗҲОИ ҶУДОКУНӢ ВА ТОЗАКУНИИ ГИДРОЛИЗАТИ ПЕКТИНӢ БА ПАРАМЕТРҲОИ МОЛЕКУЛАВИИ ПЕКТИН	60
3.1. Ҷудокунӣ, тозакунӣ ва тавсифи намунаҳои пектинӣ аз партовҳои мевагӣ	60
3.1.1. Гидролиз-экстраксияи пектин бо тарзи фаврӣ	60
3.1.2. Массай молекулавӣ ва хосиятҳои гидродинамикии пектини пайдоишашон гуногун	63
3.2. Таъсири тарзи тозакунӣ ба баромад ва сифати пектин	65
3.3. Таъсири тарзи тозакунии гидролизати пектин ба массай молекулавӣ ва тақсимои массай молекулавиини пектин	66
3.4. Таъсири намуди манбаи ашёи хом ба массай молекулавӣ ва тақсимои массай молекулавиини пектин	74
3.4.1. Тавсифи муқоисавии пектин аз бихӣ ва себ	74
3.4.2. Тағйирёбии массай молекулавӣ ва тақсимои массай молекулавиини пектин аз зардолу	78
3.5. Деградацияи макромолекулаҳои пектин дар маҳлул	82
3.5.1. Тағйирёбии массай молекулавӣ ва тақсимои массай молекулавиини пектин, ки бо ТА-и гидролиз-экстраксия ба даст оварда шудаанд	82
3.5.2. Тағйирёбии массай молекулавӣ ва тақсимои массай молекулавиини пектин, ки бо тарзи фаврӣ–гидролиз дар мисоли пектини себ ба даст оварда шудаанд	84
3.5.3. Тағйирёбии массай молекулавӣ ва ТММ-и пектин, ки бо тарзи фаврӣ–гидролиз дар мисоли пектин аз офтобпараст ба даст оварда шудаанд	86
3.6. Таҳлили кинетикии деградацияи пектин	89
3.7. Хосиятҳои гидродинамикӣ ва таҳлили конформатсионии пектин	92
3.7.1. Таъсири тарзи тозакунӣ ба хосиятҳои гидродинамикӣ ва	96

конформатсионии пектин аз себ	
3.7.2. Таъсири навъи манбаи ашёи хом ба хосиятҳои гидродинамикӣ ва конформатсионии пектин	97
3.7.3. Тағйирёбии хосиятҳои гидродинамикӣ ва конформатсионии пектин ҳангоми деградатсияи он дар маҳлул	102
БОБИ 4. ТАЪСИРИ МАССАИ МОЛЕКУЛӢ ВА ТАРКИБ БА ХОСИЯТҲОИ ГЕЛҲОСИЛКУНӢ ВА ЭМУЛСИЯҲОСИЛКУНИИ ПЕКТИН	106
4.1. Микросфераҳои гидрогелӣ дар асоси пектин	106
4.2. Таъсири массаи молекулавӣ ба хосиятҳои эмулсияҳосилкунии пектин	110
4.3. Таъсири массаи молекулавӣ ба кинетикаи хориҷшавии моддаи ғайри аз гидрогелҳо дар асоси пектини себ ва зеин	117
4.4. Таъсири массаи молекулавӣ (сохт)-и пектин ба параметрҳои кинетикии хориҷшавии моддаҳои доруворӣ аз микрокапсулаҳои эмулсионии лактоглобулин/пектин	119
ХУЛОСА	128
РӢҲАТИ АДАБИӢТИ ИСТИФОДАШУДА	131
ЗАМИМА	156

РЎЙХАТИ ИХТИСОРАҲО

АГП - арабиногалакта-протеинӣ
Бх - бихӣ
ВБХ - васеъшавии банди хроматограмма
М-Х - графикҳои Марк-Хаувинк
Да - Далтон
ДЭ - дараҷаи этерификатсия
ДНА - детектори нурафкананда
ДР - детектори рефрактометрӣ
ДЧД - детектори часпакии дугона
ДВД - детектори вискозиметрии дифференсиалӣ
ДХ - деворҳои ҳучайравӣ
ДУФ - диаультрафилтратсия
ДУФТ - диа- ва ультрафилтратсия бо ҷараёни тангенциалӣ
ДМСО - диметилсулфоксид
Кд - донаи каду
Зд - зардолу
З/П - зеин/пектин
КГ - кислотаи галактуронӣ
КПЗ - комплексҳои коасерватҳои пектин-зеинӣ
МП - матритсаи полисахаридӣ
ММ - массаи молекулавӣ
МҚА - микроскопияи қувваи атомӣ
МЭШ - микроскопияи электронии шаррадор
МГ - микрогел
МД - моддаи доруворӣ
ОСП - олигосахаридҳои пектинӣ
ОС - олигосахаридҳо
ПНРКХ - парокандашавии нури рентгенӣ дар кунҷи хурд
ПНЛБ - парокандашавии нури лазерии бисёркунҷагӣ
ПНЛС - парокандашавии нури лезерии статикӣ
ПНД - парокандашавии нури динамикӣ
ПМП - пектини дараҷаи метилиаши паст
ПМБ - пектини дараҷаи метилиаши баланд
ПОХ - пектини дар об ҳалшаванда
ПХХ - пектини дар хелат ҳалшаванда
ПИХ - пектини дар ишқор ҳалшаванда
ПСФ - пектини себи Файзобод

ПХ - пироксикам
Рв - поя ва барги ревоҷ
ПА - пӯсти афлесун
ПЛ - пӯсти лимӯ
РМЯ - резонанси магнити ядрой
РД - рефрактометри дифференсиалӣ
СО - сабадчаи офтобпараст
СИМД - системаҳои интиқоли моддаҳои доруворӣ
СУБ - спектрофотометри ултрабунафш
ТММ - тақсимои массаи молекулавӣ
ТГТЭ - тақсимои гауссии тағйирёфтаи экспоненсиалӣ
ТА - тарзи анъанавӣ
ТФ - тарзи фаврӣ
ТС - таҳшинсозии спиртӣ
УФД - ультрафилтратсияи диафрагмавӣ
УФ - ультрафилтратсия
ХМЭ - хроматографияи моеии эксклюзионӣ
ХГМ - хроматографияи газӣ-моеъ
ХМЭСБ - хроматографияи моеии эксклюзионии самранокиаш баланд
ХМЭ-ПНЛБ - хроматографияи моеии эксклюзионӣ бо парокандашавии нури лазерии бисёркунҷагӣ
ХГ-МС - хроматографияи газӣ - масс-спектрометрӣ
Шф - шафтолу
ЭОС - экстраксияи обии субкритикӣ
ЭУС - экстраксияи ултрасадоӣ
ЭММ - экстраксияи микромавҷӣ
Ara - L-арабиноза
APG - апиогалактуронан
HG - гомогалактуронан
D-Gal - D-галактоза
GalA - кислотаи галактуронӣ
LgC/P - лактоглобулин/пектин
RG-I - рамногалактуронани I
RG-II - рамногалактуронани II
Rha - L-рамноза
XG - ксилогалактуронан

МУҚАДДИМА

Мубрамияти мавзуи таҳқиқот. Полисахаридҳои пектинӣ (пектин) чузъи асосии сохти деворҳои ҳуҷайравии рустаниҳо буда, қариб дар ҳамаи рустаниҳо 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. Агар аз як тараф, шароитҳои экстраксия ва пайдоиши рустаниҳо ба баромад, таркиб ва сохти пектин таъсир расонанд, дар дигар сурат, ин омилҳо ба ҳосиятҳои технофункционалии онҳо таъсир мерасонанд.

Дар соли 2024 истеъмоли ҷаҳонии пектин тақрибан ба 80 000 тонна расида, даромади бозор аз ғуруши он 1,65 миллиард доллари ИМА-ро ташкил дод. Интизор меравад, ки суръати миёнаи солони афзоиши маҷмуии бозор дар давраи солҳои 2025 то 2030 ба 5,6% баробар шавад ва ғуруши он ба 2,0 миллиард доллари ИМА расад, ки ин аз ҳисоби талаботи афзоианда дар бахшҳои гуногуни иқтисодӣ муайян карда мешавад. Пектин, ҳамчун чузъи табиӣ меваю сабзавот, иловаи беҳатари ҳуҷроқворӣ маҳсуб ёфта, миқдори ниҳонии истеъмоли шабонарӯзии муқарраршуда надорад. Ҳосиятҳои табобатии пектин ба мақсадҳои тиббӣ ва системаҳои интиқоли моддаҳои доруворӣ (СИМД) низ нигаронида мешавад.

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

Дарачаи таҳқиқи мавзуи илмӣ. Дар мақолаҳои илмӣ солҳои охир таҳлилҳо оид ба сохти пектин, ҳосиятҳои физикӣ-химиявӣ, истихроҷи он аз манбаъҳои гуногун мавриди баррасӣ қарор гирифтаанд. Дикқати махсус ба ҳосиятҳои химиявӣ ва сохти пектин дода мешавад, ки он дар меваҳо дар

натиҷаи ҳалшавӣ ва таҷзияи ферментативӣ ба тағйирот дучор мешаванд. Зимни пажӯҳиш маълум гардид, ки оид ба таҳқиқи массаи молекулавӣ ва хосиятҳои гидродинамикии онҳо дар доираи васеъ иттилоот ва корҳои илмӣ дида намешаванд.

Массаи молекулавии пектин вобаста ба манбаи ботаникӣ, шароити экстраксия ва дараҷаи таҷзия (деградатсия)-и он ба таври васеъ тағйир меёбад. Барои муайян кардани массаи молярии дақиқ, одатан тарзҳои ба монанди хроматографияи моеии эксклюзионӣ (ХМЭ) дар якҷоягӣ бо парокандашавии нури лазерии бисёркунчагӣ (ПНЛБ) ё вискозиметрӣ истифода мешаванд.

Хосиятҳои гидродинамикии пектин, рафтори онро дар муҳитҳои обӣ тавсиф намуда, часпакии хоси дохилӣ $[\eta]$, радиуси гидродинамикӣ (R_h) ва коэффисиенти диффузияро (D) дар бар мегиранд. Ин хосиятҳо ба таври назаррас аз дараҷаи этерификатсия (ДЭ), зичии заряд ва қувваи ионии ҳалкунанда вобастагӣ доранд. Пектини дараҷаи метилиаши паст (ПМП) (ДЭ < 50%) дар натиҷаи теладиҳии электростатикӣ байни гурӯҳҳои карбоксилатӣ конформатсияҳои бештар шохадорро нишон медиҳанд, дар ҳоле ки пектини дараҷаи метилиаши баланд (ПМБ) (ДЭ > 50%) сохтҳои нисбатан зичи калобамонандро мегиранд.

Дар маҳлулҳои обӣ пектин ҳамчун полимери калобашакли тасодуфӣ рафтор мекунад ва конформатсияи он бо зиёд шудани қувваи ионӣ ё паст шудани pH аз калобаи чандир ба сохти зичтари муттаҳидшуда мегузарад. Дар адабиёт массаи молекулавии пектин асосан аз вобастагии часпакии хоси дохилӣ ва массаи молекулавӣ, бо истифода аз муодилаи Марк–Хаувинк–Сакурада муайян карда мешавад:

$$[\eta] = K \cdot M^{\alpha},$$

ки дар он коэффисиенти α аз 0,5 то 0,8 дар макромолекулаи пектин вобаста ба сифати ҳалкунанда ва чандирии полимер тағйир меёбад. Аммо, пектин вобаста ба манбаъ ва тарзи ҳосилшавӣ метавонад тағйир ёбад, ки истифодаи ин муодила на ҳамеша натиҷаи дақиқ медиҳад.

Дар мачмуъ, мафхуми массаи молекулавӣ ва хусусиятҳои гидродинамикии пектин барои мутобиқ кардани вазифаҳои гелҳосилкунанда, ғафскунанда ва устуворкунандаи он дар таркибҳои гуногун ҳатмӣ мебошад.

Олимони машҳури соҳаи химияи фаромолекулӣ дар таҳқиқоти пектин профессор Энн М. Стивен (Anne M. Stephen - Донишгоҳи Ноттингем, Британияи Кабир) – таҳқиқоти ибтидоии тақсимои массаи молекулавӣ ва рафтори пектин дар маҳлулҳо; Проф. Хенк А. Шолс ва проф. Гарри Групектинен (Henk A. Schols and Prof. Harry Gruppen - Донишгоҳи Вагенинген, Нидерландия) – корҳои илмиро оид ба тавсифи сохти пектин аз манбаҳои 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 бунёдиро оид ба сохти молекулавӣ, массаи молекулавӣ ва таъзияи 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 тамаркуз 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 техникийи Дания) – таҳқиқоти конформатсияи маҳлулҳо ва параметрҳои гидродинамикии пектин ва полисахаридҳои ба он алоқамандро анҷом додааст; доктор Маршал Фишман (Marshal L. Fishman – Маркази минтақавии таҳқиқотии Шарқии Департаменти давлатии кишоварзии ИМА) ва

шогирдони $\bar{y}$ – таҳқиқоти бузургро оид ба таҳлили массаи молекулавӣ ва тақсимои массаи молекулавии 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 мавзуи “Коркард ва татбиқи технологияи истеҳсоли пектин аз фишурдаҳои мевачот ва боқимондаи офтобпараст пас аз коркарди равшан” тааллуқ дорад. Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон-Пешвои миллат муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон зимни баргузори чаласаи Шурои 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: “Ба вазоратҳои саноат ва технологияҳои нав, тандурустӣ ва ҳифзи иҷтимоии аҳоли, мудофия ва дигар вазорату идораҳои дахлдор супориш дода шудааст, ки технологияҳои аз ҷониби олимони 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 ва кишвар ва ҳосилкунии маҳсулоти ғизоии функционалӣ ва доруворӣ равона карда шудааст.

Кори диссертатсионӣ мутобиқи нақшаи кори илмию таҳқиқотии Муассисаи давлатии илмӣ “Институти кимиё ба номи В.И. Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон” таҳти мавзуи “Соҳти панҷараҳои 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, тақсимои массаи молекулавӣ (ТММ), сохт, хосиятҳои гидродинамикии пектини гуногун, инчунин тағйирот ва робитаи мутақобилаи онҳо бо хосиятҳои функционалӣ дар маҳлул мебошад.

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

1. Муайян кардани массаи молекулавии 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, сохти пектин, муҳлати нигохдории 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 сохти пектин ба хосиятҳои функционалии онҳо;
7. Таъсири хосиятҳои гидродинамикӣ ва конформатсияи пектин 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.

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

Навгони илмӣ таҳқиқот:

— муайян кардани қиматҳои миёнаи массаҳои молекулавӣ (M_w , M_n , M_z) ва полидисперсии пектинҳои себ, бихӣ ва зардолу, ки бо тарзи анъанавӣ ва тарзи

нави гидролиз-экстраксияи пектин ба даст оварда шудаанд; қиматҳои ёфтшудаи массаи молекулавӣ барои онҳо мутаносибан: 157 кДа, 174 кДа ва 1588 кДа мебошанд, барои ин намунаҳо ТММ дода шудааст;

— баҳодиҳии сифати пектин вобаста ба тарзи тозакунии (диалтизатсия (ДУФ) ва таҳшинсозии спирти (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 тасодуфӣ (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 массаи молекулавӣ, хосиятҳои гидродинамикии пектин ва сохтори гидрогелҳои композитсионӣ, устувории микрокапсулаҳои эмулсионӣ дар асоси комплекси пектин-сафеда, ки имкон медиҳад то гелҳои устувор бо зарраҳои рағғани ба даст оварда шаванд. Ин ба таҳияи СИМД ва биопардаҳои таҷзияшаванда барои бастабандиҳои маҳсулоти хӯроқворӣ саҳми арзанда мегузорад.

Нуктаҳои ба ҷимоя 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. Омӯзиши таъзияи макромолекулаҳои пектинӣ дар маҳлул ҳангоми нигоҳдорӣ, дар мисоли пектини себ ва бихӣ, ки ба пастшавии массаи молекулавӣ ишора мекунад. Ҳисоб кардани константаҳои кинетикии суръати таъзияи пектини гуногун ва пектини бо тарзҳои мухталиф бадастомада. Тасдиқи ба суръати таъзияи пектин таъсир кардани ҳам ҳосилкунӣ ва ҳам намуди ашёи хом.
3. Таъсири параметрҳои молекулавӣ ба ташаккули гидрогелҳои композитсионӣ ва устуворкунондаи (стабилизатсияи) микрокапсулаҳои эмулсионӣ дар асоси комплекси пектин-сафеда.

Аҳамияти 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 хӯрокворӣ ва дорусозӣ заруранд. Дониши таркиби содаи пектин, ки аз занҷири асосӣ ва ҷузъҳои бо он алоқаманд иборат аст, дар муайян кардани функсияҳои онҳо нақши ҳалкунанда мебозад. Қимати массаи молекулавӣ ва параметрҳои гидродинамикии пектин барои мутобиқ кардани вазифаҳои гелҳосилкунанда, ғафскунонда ва устуворкунондаи 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 истеҳсоли пектин ва самтҳои нави татбиқи он барои иваз намудани маҳсулоти воридотӣ мувофиқи мақсад мебошад. Пектин, ҳамчун ҷузъи табиӣ мевая сабзавот, иловаи бехатари хӯрокворӣ маҳсуб ёфта, миқдори ниҳии истеъмоли шабонарӯзии муқарраршуда надорад. 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 таълимии химия ва физикаи пайвастаҳои фаромолекулавӣ ва фаъоли биологӣ дар ихтисосҳои хӯрокворӣ ва тиббӣ, инчунин дар соҳаи физикаи полимерҳо ва маводшиносӣ меомӯзанд, ҳамчун маълумотнома хизмат мекунанд.

Дарачаи эътимоднокии натиҷаҳои ҳосилшуда. Боэътимодии натиҷаҳои таҳқиқот тавассути такроршавандагӣ ва мувофиқати маълумотҳои ба даст омада ҳангоми истифодаи тарзҳои физикӣ-химиявии таҳлил, бо истифода аз таҷҳизоти муосир (хроматографи моеии Breez, Waters, ИМА), ки бо детекторҳои рефрактометрӣ (ДР) ва детектори дифференциалӣ часпакисанҷ (ДДЧ) мучахҳаз шудааст. Қиматҳои массаи молекулавии M_w , M_n ва M_z барои пектин бо истифода аз калибровкаи 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 (резонанси магнитии ядрӣ) 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 оморӣ мучахҳаз мебошанд.

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

Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ. Мавзуи диссертатсия ба бандҳои зерини 1, 3, 4 ва 9 шиносномаи ихтисоси 1.4.7 – Химияи пайвастаҳои фаромолекулӣ мувофиқат менамояд:

1. Физикаи молекулавии занҷирҳои полимерҳо, конфигуратсия ва конформатсияи онҳо, андоза ва шакли макромолекулаҳо, тақсимои массаи молекулавии полимерҳо;
3. Хусусиятҳои асосӣ ва хосиятҳои физикии полимерҳои хаттӣ, шохадор ва панҷарашакл, конфигуратсия ва конформатсияи онҳо;
4. Таҷзияи химиявӣю физикии полимерҳо ва композитҳо дар асоси онҳо, қунаравӣ ва устувории полимерҳо ва маводҳои композитсионӣ;
9. Ба мақсади мувофиқ тақмил ва коркарди маводҳои полимери дорои хосиятҳои нав ва сохти интеллектуалӣ, ки самтҳои истифодабарии онҳоро дар соҳаҳои афзалиятноки илм ва техника муайян мекунанд.

Саҳми шахсии довталаби дараҷаи илмӣ дар таҳқиқот. Муаллиф дар интиҳоби мавзӯи (предмети) рисола, ҷамъоварӣ ва таҳлили адабиёти илмӣ да соҳаи илм, бевосита дар гузаронидани корҳои таҷрибавӣ, коркард, таҳлил ва тафсири натиҷаҳои ҳосилшуда, омодагии натиҷаҳо дар шакли мақолаҳо саҳми асосӣ гузоштааст.

Тасвир ва татбиқи натиҷаҳои асосии таҳқиқот. Маводҳои асосии диссертатсия дар конференсияҳои байналмилалӣ маъруза карда шуда, муҳокима гардиданд ва баҳои мусбат гирифтаанд: конференсияи XXV-уми байналмилалӣ оид ба реакторҳои химиявӣ “Хим-Реактор-25”, Тюмен, 8-13 октябри соли 2023; конференсияи байналмилалии илмӣ-амалии “Давраҳои муносири рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф: масъалаҳои мубрами рӯз, назария ва амалия”, баҳшида ба “20-солаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф” ва 80-солагии Узви вобастаи АТТ, Корманди шоистаи Тоҷикистон, доктори илмҳои химия, профессор Бандаев Сирочиддин Гадоевич, Душанбе, 4 октябри соли 2025; конференсияи III-юми илмӣ байналмилалии “Рушди самтҳои нав дар илм: вазъи муосир ва дурнамо”, Душанбе, 25-26 октябри соли 2024); конференсияи байналмилалии илмӣ-амалии “Масоили муносири физика ва химияи полимерҳо” баҳшида ба “75-солагии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон” ва “Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ

дар соҳаи илму маориф (солҳои 2020-2040)”, Душанбе, 10 октябри соли 2023; конференсияи байналмилалии илмӣ-амалии “XIII–уми Хонишҳои Ломоносовӣ”, баҳшида ба 115-солагии академик Бобочон Ғафуров, Душанбе, 28-29 апрели соли 2023 ва конференсияи III–уми байналмилалии “Современные проблемы химии и их перспективы”..., Душанбе, 13 феввали соли 2026.

Интишорот аз рӯйи мавзӯи диссертатсия. Тибқи натиҷаҳои таҳқиқот 11 кори ҷопӣ бо ҳаҷми умумии 7,9 ҷараки ҷопӣ (саҳми муаллиф – 5,8 ҷараки ҷопӣ) нашр шудааст, аз ҷумла: 2 мақола дар маҷаллаҳои, ки ба пойгоҳи байналмилалии “Web of Science” дохил мешаванд, 2 мақола дар маҷаллаҳои, ки ба рӯйхати КОА (Комиссияи олии аттестатсионӣ) назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ва Федератсияи Русия дохил мешаванд, 7 тезиси маъруза дар конференсияҳои байналмилалӣ.

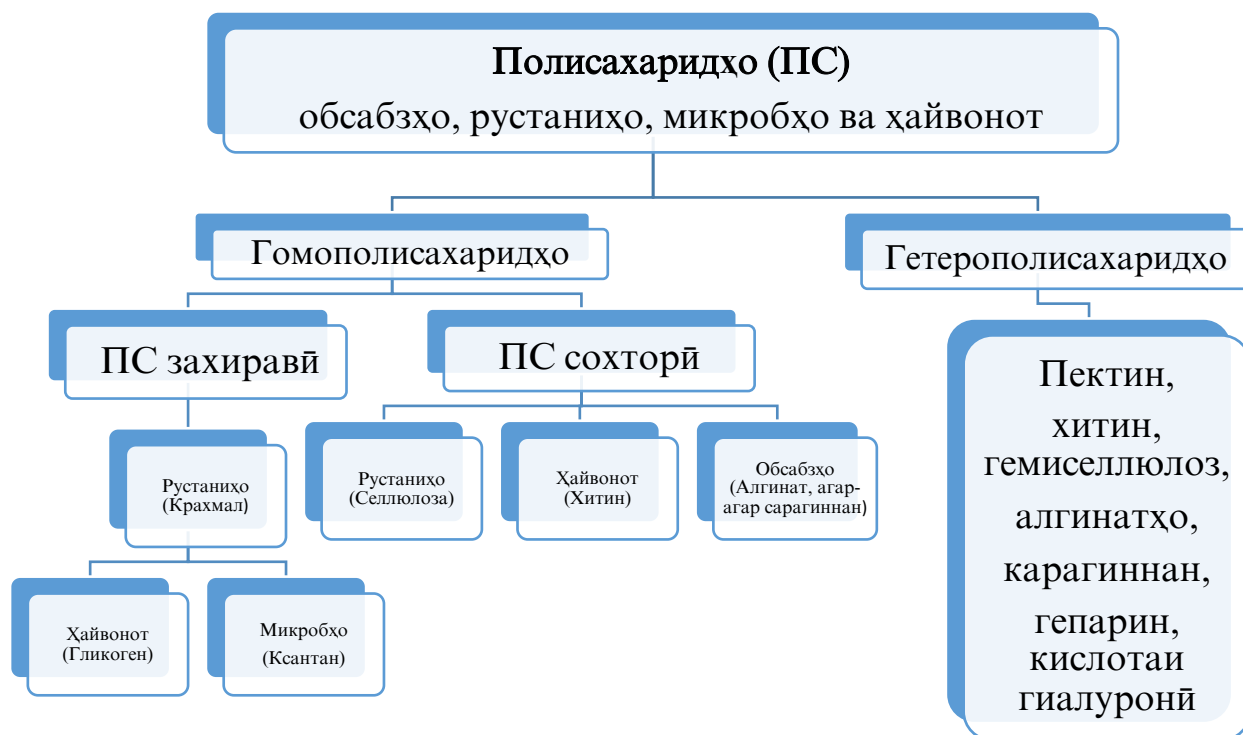
Соҳтор ва ҳаҷми диссертатсия. Кори диссертатсионӣ дар шакли дастнавис дар ҳаҷми 158 саҳифа навишта шудааст: муқаддима, ҷор боб, ки аз баррасии адабиёт, тавсифи тарзҳо, таҳлил ва тафсири маълумоти ҳосилшуда (дар се боб), инчунин хулоса ва тавсияҳо иборатанд (дар ҳаҷми умумии 127 саҳифа). Матн дар 23 расм, 3 акс, 1 нақша ва 20 ҷадвал тасвир шудааст. Рӯйхати адабиёти истифодашуда 169 манбаъро дар бар мегирад.

БОБИ 1. БАҲРАСИИ АДАБИЁТ

1.1. Тавсифи мухтасари полисахаридҳо

Полисахаридҳо карбогидратҳои мураккабе мебошанд, ки аз занҷирҳои дарози воҳидҳои моносахаридӣ, ки бо бандҳои гликозидӣ пайванд, иборатанд. Онҳо яке аз паҳншудатарин макромолекулаҳо дар табиат ба ҳисоб мераванд. Хосиятҳои гуногуни физикӣ ва химиявӣ онҳо имкон медиҳад, ки полисахаридҳо дар соҳаҳои гуногун, ба монанди саноати хӯрокворӣ ва дорусозӣ истифода баранд.

Ин карбогидратҳо дар асоси пайдоиши биологии онҳо метавон гурӯҳбандӣ кард (нақшаи 1.1). Полисахаридҳои обсабзҳо алгинат, агар-агар ва каррагинанро дар бар мегиранд, ки ҳар яке дорои сохти махсус ва хосиятҳои функционалӣ мебошанд. Полисахаридҳои аз рустаниҳо ҳосилшуда, ба монанди крахмал, селлюлоза ва пектин, дар таркиби рустаниҳо ва захираи энергия нақши марказиро иҷро мекунанд [3, 169].



Нақшаи 1.1. - Гурӯҳбандии полисахаридҳо дар асоси пайдоиши онҳо

Полисахаридҳои аз ҳайвонот ҳосилшуда, ба монанди хитин ва гликоген, ба таркиб ва мубодилаи энергетикӣ саҳми назаррас мегузоранд. Полисахаридҳои аз микробҳо ҳосилшуда, аз ҷумла камеди ксантановӣ ва камеди геллановӣ, бо хосиятҳои нодири реологии худ маълуманд.

Аз нуқтаи назари физикӣ-химиявӣ, полисахаридҳо таркиби химиявии гуногун ва сохти меъмориро нишон медиҳанд. “Ин гуногунӣ аз табиати мономерҳои таркибии онҳо, намуди бандҳои гликозидӣ ва пайдарпайии ҷойгиршавии онҳо вобаста аст” [3, 97, 139, 146, 169]. Масалан, гомополисахаридҳо, ба монанди “крахмал ва селлюлоза, танҳо аз мономерҳои глюкоза иборатанд, аммо аз рӯи намуди бандҳо фарқ меkunанд. Крахмал дорои бандҳои α -1,4-гликозидӣ аст, дар ҳоле ки селлюлоза бандҳои β -1,4-гликозидӣ дорад. Ин фарқиятҳо боиси хосиятҳои гуногун мешаванд. Бандҳои α молекулаҳои чандиртар ва ҳазмшавандаро ба вуҷуд меоранд. Баръакс, бандҳои β молекулаҳои таркибашон сахт ва аз ҷиҳати сохт мустаҳкамро ба вуҷуд меоранд. “Гетерополисахаридҳо, ба монанди алгинат, аз ду ё зиёда воҳидҳои гуногуни моносахаридӣ, аз ҷумла кислотаи гулурунӣ ва кислотаи маннуронӣ, иборатанд. Аз рӯи сохт, полисахаридҳо ба хаттӣ ва шохадор ҷудо меkunанд. Полисахаридҳои хаттӣ, ба монанди селлюлоза ва амилоза, аз занҷирҳои бешоха иборатанд” [139, 146]. Ин сохт боиси табиати кристаллӣ ва мустаҳкамии баланди кашишии онҳо мегардад. “Полисахаридҳои шохадор, аз ҷумла амилопектин ва пектин, дорои занҷирҳои паҳлӯӣ мебошанд, ки ба онҳо хосиятҳои махсус, аз қабili хубҳалшавандагӣ ва қобиляти гелҳосилкуниро фароҳам меоранд” [117, 139, 146].

1.2. Полисахаридҳои пектинӣ

Полисахаридҳои пектинӣ (пектин) ҷузъи асосии таркиби деворҳои ҳуҷайравӣ (ДХ)-и рустаниҳо буда, қариб дар ҳамаи рустаниҳо мавҷуд аст.

“Пектин яке аз макромолекулаҳои табиӣ шохадор ба ҳисоб меравад, ки тақрибан аз 17 намуди моносахаридҳои гуногун иборат буда, занҷири асосии он аз бандҳои α -1,4-КГ (кислотаи галактуронӣ) ташкил ёфтааст” [7, 113, 117, 146,

162]. Сохтори пектин аз панҷ домени асосии иборат аст: гомогалактуронан (HG), рамногалактуронани I (RG-I), ксилогалактуронан (XG), рамногалактуронани II (RG-II) ва апиогалактуронан (APG). Дар байни инҳо, RG-I, RG-II, XG ва APG бо сабаби мавҷудияти якчанд занҷирҳои паҳлӯии кандҳои нейтралӣ ба минтақаҳои “мӯйдор” дар ДХ номида мешаванд. “HG минтақаи ҳамвори пектинро ташкил медиҳад, ки бо занҷири хаттӣ, ки аз боқимондаҳои галактуронии α -1,4-пайваستшуда иборат аст, тавсиф мешавад. HG аз 60 то 65 фоизи ҳаҷми умумии пектинро ташкил медиҳад ва гурӯҳҳои карбоксилии он одатан бо гурӯҳҳои метил ($-\text{CH}_3$) ва асетил ($-\text{OCH}_3$) этерификатсия карда мешаванд. Аз рӯи дараҷаи ДЭ, ПМБ бо ДЭ $> 50\%$ ва ПМП бо ДЭ $< 50\%$ тақсим мешаванд” [7, 61, 84, 89, 113, 117, 146].

Пектин – яке аз муҳимтарин полисахаридҳо пас аз селлюлоза ва крахмал дар ДХ мебошад. Пектин ҳамчун гетерополисахариди анионӣ ва дар об ҳалшаванда аст, ки одатан аз партовҳои саноатӣ, ба монанди пӯсти меваҳои ситрусӣ ва афшураҳои себ экстраксия карда мешавад. Шароитҳои экстраксия ва пайдоиши рустаниҳо ба баромад, таркиб ва сохти пектин таъсир мерасонанд. Ин омилҳо ба хосиятҳои технофункционалии онҳо низ таъсир мерасонанд.

Дар даҳсолаи охир талабот ба пектин аз рӯи фаъолияти физиологӣ ва хосиятҳои ғилзаткунандагии маводи ғизоии он афзоиш ёфт. Нишондодҳои бозор муайян кардаанд, ки пектин метавонад дигар гидроколлоидҳоро иваз кунад, зеро он арзон ва қавитар аст. Чӣ хеле ки дар муқаддима гуфта гузаштем, “дар соли 2024 ҳаҷми истеъмоли пектин дар ҷаҳон ба 80 000 тонна ва гардиши молии он ба 1,65 миллиард доллари ИМА баробар шуд. Бино бар пешгӯиҳо, ба туфайли афзоиши талабот дар бахшҳои мухталифи иқтисодӣ, суръати афзоиши бозор дар солҳои 2025–2030 ба 5,6% расида, нишондиҳандаи фурӯш то 2,0 миллиард доллари ИМА-ро ташкил хоҳад дод” [20, 98].

Бозори асосии пектин ин саноати хӯроқворӣ ва дорусозӣ ба ҳисоб меравад. Пектин барои гелҳосилкунӣ, устуворкунанда (стабилизатсия), ғафскунӣ, эмулсиякунӣ ва ҳамчун манбаи нахи хӯроқворӣ истифода мешавад. Дар саноати хӯроқворӣ пектин дар маҳсулоте, ба монанди яхмос, конфетҳои

хоиданашавандаи веганӣ (“веганӣ”, яъне бе маҳсулоти ҳайвонотӣ) ва маҳсулоти молиданӣ, бахусус мураббо ва маҳсулоти мевагӣ, татбиқ мегардад. Ҳамчун чузъи табиӣ меваю сабзавот, пектин иловаи бехатарӣ ҳуҷҷатдорӣ мебошад ва миқдори ниҳиӣ истеъмоли шабонарӯзии муқарраршуда надорад. “Пектинро аз рӯйи ҳосиятҳои табиӣ доштани дар тиб ба мақсади тайёр намудани маҳсулоти доруворӣ истифода мебаранд” [5, 24, 109, 117].

1.3. Гидролиз ва экстраксияи полисахаридҳои пектинӣ

1.3.1. Манбаҳои асосии ашёи хоми пектин

Пектинро аз манбаҳои гуногуни табиӣ ба даст овардан мумкин аст. “Қисми зиёди ин захирахоро пӯсти меваю сабзавот ташкил медиҳад, ки онро метавон манбаи устувор барои экстраксияи ин биополимер ҳисоб кард, зеро он одатан ҳамчун маҳсулоти иловагӣ ҳангоми коркарди афшура партофта мешавад. Пектини тичоратӣ одатан аз пӯсти меваҳои ситрусӣ, ба монанди лимӯ, афлесун, лайм ва грейпфрут, ҳосил карда мешавад” [5, 24, 109, 110]. Меваҳои ситрусӣ асосан дар шакли афшура истеъмол мешаванд, ки ин боиси ба вуҷуд омадани миқдори зиёди маҳсулоти иловагӣ, аз қабili пӯст ва фишурдаҳо мегардад, ки онҳо як манбаи ғанитарини пектин мебошанд. Пӯст аз 15 то 50%-и вазни умумии ин меваҳои ситрусиро ташкил медиҳад ва тахминан дорои 20-30% пектин аст [5, 24, 26, 109, 110]. Илова бар ин, “тибқи басомади истифодабарӣ, афшурдаи себ дуюм манбаи маъмултарини пектин ба ҳисоб меравад, ки ҳосилокии он аз навъи себ ва тарзи экстраксия вобаста буда, метавонад аз 6,76% то 19,88% пектинро ташкил диҳад” [5, 39]. Дар ниҳоят, “афшурдаи лаблабуи қанд, ки дар саноати қанд ҳосил мешавад, ба туфайли сохти молекулавии пектин ҳамчун эмулсияҳосилкунии табиӣ истифода мешавад, ки вобаста ба шароити экстраксия то 24% пектин ҳосил карда метавонад” [54].

Аммо зарурати истифодаи дубораи маҳсулоти иловагии маҷмуи агросаноатӣ вобаста ба афзоиши талабот ба пектин барои татбиқи васеи он дар самтҳои гуногун боиси ҷустуҷӯи дигар манбаҳои эҳтимолии алтернативии ин

полисахариди фаъоли биологӣ гардид. “Меваҳои навъи аълосифат, тарбуз, харбуза, каду, манго, бихӣ ва анор” [25, 30, 100] мебошанд, ки пӯсти онҳо ду-се ҳиссаи вазни умумии меваро ташкил медиҳад ва аз 16 то 21% пектин дорад [100]. Дар мавриди “манго, ҳангоми коркард то 50% вазни хушки он дар шакли пӯст, мағз ва донак боқӣ мемонад, ки аз онҳо вобаста ба дараҷаи пухтагии мева аз 13 то 30% пектин истихроҷ кардан мумкин аст” [127]. Дар ин ҳолат мушоҳида шуд, ки ҳар қадар дараҷаи пухтагӣ паст бошад, ҳамон қадар ҳосилнокии пектин ва ДЭ баландтар аст. Харбуза (*Cucumis melo*) бошад, “барои истеҳсоли афшура ва мураббо истифода мешавад ва тақрибан сеяки вазни ҳудро дар шакли маҳсулоти иловагӣ, асосан дар шакли пӯст, медиҳад” [105]. Инчунин “пӯсти анор (*Punica granatum*) (11,70%)” [44] ва ҳамчунин “чекфрут (*Artocarpus heterophyllus*), ки тақрибан 15% пектин дорад” [65], аз пектин ғанӣ мебошанд.

Дигар “манбаи аз пектин ғанӣ сабадчаҳо ва пояҳои офтобпараст мебошанд” [29, 57, 88, 154]. Пектини сабадчаи офтобпараст (СО) бо ДЭ пасттар нисбат ба пектини себ ё ситрусӣ тавсиф карда мешавад. Пектин инчунин метавонад аз боқимондаҳои СО истихроҷ карда шавад, ки дар моддаи хушк аз 15% то 24% пектин дорад. Офтобпараст – зироати муҳими аз ҷиҳати иқтисодӣ назаррас дар Осиёи Марказӣ мебошад. Истифодаи технологияҳои нав ва намак ба ҷойи кислотаҳо дар истеҳсоли пектин, барои пурзӯр кардани экстраксияи он аз боқимондаҳои СО бояд ба паст шудани минбаъдаи арзиши истеҳсоли он мусоидат кунад.

Азбаски “пектин бо дигар ҷузъҳои девори ҳуҷайрагии сабадчаҳои офтобпараст тавассути пайваستшавии ионӣ таъсир мекунад, онро бо тарзи мубодилаи ионӣ аз СО ҷудо кардан мумкин аст” [57, 88, 154]. Тарзи динамикӣ нисбат ба тарзи статикӣ аз ҷиҳати ҳосилнокии пектин, вақти коркард ва харҷи энергия самараноктар мебошад [88]. Бинобар ин, барои ҷудо кардани калсий ба ҷойи агентҳои хелатӣ, маҳлулҳои намак бо концентратсияи баланди намак истифода бурда мешаванд.

Дигар “манбаъҳои эҳтимолии пектин инчунин метавонанд меваҳои хурмо” [59], “дӯлона” [64], “афшураҳои ангур” [123], “афшураҳои зайтун” [107], “афшураҳои киви” [148] ва “афшураҳои нок” [68] бошанд.

1.3.2. Гидролиз ва экстраксияи пектин. Тарзи анъанавӣ

Экстраксияи пектин ҷанбаи муҳимтарини таҳқиқоти пектин мебошад, зеро тарзҳои экстраксия ва манбаъҳои пектин ба хусусиятҳои шакл ва функционалии он таъсири назаррас мерасонанд.

“Экстраксия-гидролизи пектин равандҳои мураккаби технологӣ мебошанд, ки асосан аз сабаби таркиби мураккаб доштани пектин ва баҳамтаъсиркунии он бо дигар полисахаридҳо, фенолҳо ва сафедаҳо, ки дар девори ҳуҷайра мавҷуданд, ба амал меоянд” [5, 12, 17, 20, 24, 26, 34, 39, 54, 61, 84, 110, 113, 117]. Илова бар ин, он ба омилҳои pH , ҳарорат, вақт ва ҳалкунандаҳои истифодашуда вобаста аст. Умуман, истеҳсоли пектин якҷанд марҳиларо дар бар мегирад, ба монанди марҳилаи якум: интиҳоби ашёи хом, экстраксия, шаффофсозӣ, концентронидан (ғализкунии маҳлул), таҳшиншавӣ, шустан ва хушконида. Аммо, муҳим қайд карда мешавад, ки раванди экстраксия метавонад вобаста ба намуди мушаххаси пектини истеҳсолшаванда ва таҷрибаи истеҳсолкунанда тағйир ёбад. Баъзе истеҳсолкунандагон инчунин метавонанд марҳилаҳои иловагии коркардро, ба монанди коркарди ферментативӣ ё деэтерификатсия, барои тағйир додани хосиятҳои пектин барои татбиқи мушаххас истифода баранд.

Тамоми раванди истеҳсоли пектин одатан аз се марҳила иборат аст: коркарди пеш аз экстраксия, раванди экстраксияи пектин ва коркарди пас аз экстраксия [26, 68]. “Коркарди пеш аз экстраксия аксар вақт коркарди иловагии ашёи хом, аз қабилҳои тозакунии, хушконида ва майдакуниро дар бар мегирад, ки ба бартараф кардани ифлосшавии боқимонда дар ашёи хом, боздоштани бактерияҳо, занбӯруғҳо ва ферментҳои пектинвайронкунанда, инчунин зиёд кардани сатҳи экстраксия барои баланд бардоштани самаранокии экстраксия нигаронида шудааст” [26]. “Марҳилаи дууми коркарди тарзҳои гуногуни

гидролиз ва ҷудошавии максималии пектинро аз деворҳои ҳуҷайрагии ашёи хоми рустанӣ дар бар мегирад” [17].

Барои ин марҳила тарзҳои зиёде мавҷуданд, ки ҳар кадоми онҳо механизмҳои гуногун доранд, ки барориш ва экстраксияи пектинро осон мекунанд. Тарзҳои маъмулии анъанавӣ инҳоро дар бар мегиранд: экстраксия бо оби гарм, экстраксияи кислотагӣ, экстраксияи ишқорӣ ва экстраксия бо ёрии ферментҳо (ЕАЕ).

1.3.3. Самтҳои инноватсионӣ ва экологӣ технологияи экстраксияи пектин

Дар айни замон истеҳсоли пектин инчунин боиси ба вучуд омадани партовҳои кислотагии ба муҳити зист зараровар мегардад. Яке аз мушкилоти асосӣ эҳтимолияти захрнокии ин партовҳои саноатӣ мебошад. Одатан, онро тавассути чен кардани миқдори моддаҳои органикӣ, ки бо нишондиҳандаҳое, ба монанди истеъмоли химиявии оксиген, истеъмоли биохимиявии оксиген ва миқдори умумӣ ё ҳалшудаи карбони органикӣ муайян карда мешавад, баҳогузорӣ мекунанд. Reginatto ва дигарон [104] хабар доданд, ки “обҳои партови дар натиҷаи экстраксияи саноатии пектин ҳосилшуда дорои қобилияти таҷзияи пасти биологӣ буда, миқдори зиёди моддаҳои органикӣ ва пайваستҳои полиароматӣ доранд” [104].

Бо амиқтар шудани таҳқиқот оид ба ҷудо кардани пектин ва таҳияи тарзҳои экстраксия, дар истеҳсоли пектин бештар технологияҳои нав татбиқ мешаванд. Ба онҳо “экстраксияи обии субкритикӣ (ЭОС), экстраксияи ултрасадоӣ (ЭУС), экстраксияи микромавҷӣ (ЭММ) ва дигар тарзҳо дохил мешаванд. Ин технологияҳои нав аксар вақт баромади баландтари экстраксияи пектинро нишон медиҳанд ё барои ба даст овардани хосиятҳои махсуси шаклӣ ва функционалӣ мусоидат мекунанд” [3, 24, 61].

Тарзҳои алтернативӣ дар миқёси лабораторӣ натиҷаҳои умедбахшро нишон медиҳанд, ки баромади баландтар, вақти кӯтохтари экстраксия ва сифати баландтари пектинро [153] таъмин мекунанд, аммо онҳо бо як қатор мушкилот рӯ ба рӯ мешаванд. Экстраксияи ферментативӣ, ки дар он

ферментҳои замбӯруғӣ барои ҳосил кардани пектини баландсифат дар шароити нарма истифода мешаванд, метавонад барои саноат аз сабаби хароҷоти баланди истеҳсоли камтар ҷолиб бошад. Дар раванди экстраксияи ултрасадоӣ ва микромавҷӣ, васеъкунии микёс бо мушкилоти техникӣ алоқаманд аст. Аз ҷумла, зарурати таъмини воридшавии якхелаи мавҷҳои пуриктидори микромавҷӣ ба ҳаҷми калони маҳсулот, бе осеб расонидан ба хосиятҳои физикиву химиявии пектин, аз мушкилоти асосӣ ба шумор меравад. “Ин тарзҳои мушкилоти марҳилаи ибтидоии экстраксияро танҳо қисман ҳал мекунанд; марҳилаҳои минбаъда, аз қабили таҳшинкунӣ бо спирт, тозакунии ва табдилёбӣ, ба монанди тарзҳои анъанавии экстраксия бетағйир мемонанд” [3, 5, 7, 17, 24, 26, 29, 39, 44, 57, 58, 59, 61, 64, 65, 68, 88, 97, 105, 109, 110, 123, 127, 150-155].

ЭОС потенциалро нишон медиҳад, аммо миқдори маҳдуди таҳқиқот оид ба экстраксияи полисахаридҳо баҳодиҳии васеъкунии микёсро бармаҳал мегардонад. Ҷорӣ намудани тарзҳои “химияи сабз” барои рушди иқтисодиёти даврагӣ ва коҳиш додани партовҳои хӯрокворӣ аҳамияти ҳалкунанда дорад. Бо вучуди ин, устувории чунин тарзҳои физикӣ бояд ба принципҳои баҳодиҳии давраи ҳаёт мувофиқат кунад, то таъсири ҳадди ақал ба муҳити зист таъмин карда шавад. Ин баҳодиҳии оқибатҳои экологии ҳамаи марҳилаҳои давраи ҳаёти маҳсулотро дар назар дорад: аз экстраксия ва коркарди ашёи хом то истеҳсол, тақсимот, истифода, хидматрасонӣ ва партов ё коркарди такрорӣ [58].

1.4. Тарзҳои тозакунии пектин

Баъд аз экстраксияи пектин ба воситаи ҳалкунанда, равандҳои минбаъдаи тозакунии аҳамияти камтар надоранд, зеро интиҳоби тарзи таҳшиншавӣ ба ҳам ҳосилнокӣ ва ҳам сифати пектин таъсири ҷиддӣ мерасонад. Тарзи аз ҳама маъмул ин таҳшиншавии пектин тавассути спирт мебошад, ки дар он илова кардани спирт қутбнокии ҳалкунандаро паст мекунад, таъсири байни пектин ва обро вайрон карда, ба ин васила таҳшиншавии пектинро ба вучуд меорад. Ғайр аз “таҳшиншавӣ бо этанол, дар коркарди пас аз экстраксияи пектин инчунин тарзҳои дигари гуногун, ба монанди таҳшиншавӣ бо металлҳо, таҳшиншавии

мембранавӣ ва таҳшиншавӣ бо сафедаҳо истифода мешаванд” [26, 61, 84, 88, 97, 153, 154].

1.4.1. Таҳшинкунии пектин аз маҳлули гидролизат бо спирт

Тарзи аз ҳама паҳншуда ҷудокунии пектин тавассути таҳшиншавӣ бо спирт мебошад. Пектин – ин полисахариди гидрофилӣ буда, бо мавҷудияти гурӯҳҳои карбоксилӣ дар тӯли занҷирҳояш тавсиф мешавад, ки қутбнокӣи баланд ва ташаккули бандҳои сершумори гидрогенӣ бо молекулаҳои обро ба вучуд меорад. Илова кардани спирт, ки қутбнокӣи нисбат ба об хеле пасттар дорад, қутбнокӣи ҳалқунандаро коҳиш медиҳад. Ин, дар навбати худ, таъсири пектиро ба об вайрон мекунад, ки боиси таҳшиншавии пектин мегардад. Ба таҳшиншавии пектин бо спирт омилҳои сершумор, аз ҷумла андозаи молекулаҳои пектин, намуди спирт, консентратсияи спирт, pH -и таҳшиншавӣ ва мавҷудияти намакҳои ғайриорганикӣ таъсир мерасонанд [4]. Умуман, “ҳалшавандагии полисахаридҳо ба массаи молекулавии онҳо баръакс мутаносиб аст, ки ин пектиро бо массаи молекулавии баландтар ба таҳшиншавӣ бо спирт бештар мегардонад” [90, 150, 155]. Ғайр аз массаи молекулавӣ ва андозаи молекула, намуди спирт низ ба таҳшиншавии пектин таъсир мерасонад. Ин таъсир асосан аз сабаби гузаронандагии диэлектрикии ҳалқунандаҳои гуногуни органикӣ муайян карда мешавад, ки дар он тартиби самаранокӣи таҳшиншавӣ бо спирт чунин аст: метанол < этанол < изопропанол [53]. Одатан, барои таҳшиншавии пурраи пектин, се баробар ҳаҷми иловагии спирт нисбат ба ҳаҷми экстракт лозим аст, ки дар он консентратсияи ниҳоии спирт бояд аз 70% зиёд бошад. Дар ҷараёни таҳшиншавӣ, спиртро оҳиста ба экстракти пектин ҳангоми омехтакунии доимӣ илова мекунанд, ки консентратсияи спиртро тадриҷан аз сифр ба қимати максималӣ зиёд намуда, ба таҳшиншавии доимии пектин мусоидат мекунад. Аз сабаби дараҷаҳои гуногуни иононии гурӯҳҳои карбоксилӣи пектин дар маҳлулҳои дорои pH -и гуногун, баромади пектини таҳшиншуда аксар вақт аз pH -и маҳлул вобаста аст. Баромади баландтарини пектин аз лаблабуи қанд (9,2%) дар pH -и таҳшиншавии 3,7 ба даст оварда мешавад [53]. Ғайр аз таҳшиншавӣ бо спирт, ки аз ҳама

пахншуда мебошад, тарзҳои алтернативии таҳшиншавии пектин тарзҳои чудокунии мембранавӣ, таҳшиншавӣ бо металлҳо ва таҳшиншавӣ бо сафедахоро дар бар мегиранд [42, 97].

Хулоса, метавон гуфт, ки тарзҳои таҳшиншавии пектин, агарчи маҳдудиятҳои хоси худро дорад, торафт бештар таҳия мешаванд. Бо вучуди майли этанол ба таҳшин кардани моддаҳои ғайрипектинӣ ва мушкилоти бехатарӣ, ки бо оташгиранда будани он алоқаманд аст, он ба шарофати содагӣ, самаранокӣ ва устуворӣ тарзи аз ҳама паҳншуда дар шароити саноатӣ боқӣ мемонад.

1.4.2. Тозакунии мембранавии маҳлули гидролизат

Истеҳсоли тичоратии пектин ба бухоршавии вакуумӣ ва таҳшиншавӣ бо спирт асос ёфтааст, ки дар он ҳаҷмҳои калони спирти гаронарзиш ва зуддаргиранда истифода мешаванд. Ин раванд хароҷоти баланди истеҳсолӣ дорад, ки истифодаи тичоратии пектини тозашударо ба таври назаррас маҳдуд мекунад.

Қандҳои нейтралӣ ва ОСП, ки аз гидролизати мағзи мева ҳосил мешаванд, одатан дар раванди истеҳсоли пектин дар маҳлули спиртӣ боқӣ мемонанд ва экстраксияи онҳо душвор аст. Ин пайваستҳои арзишмандро метавон бо ёрии диультрафилтратсия чудо кард, ки афзоиши бифидобактерияҳо ва лактобациллаҳоро дар системаи ҳозима афзоиш дода, дар айни замон афзоиши патогенҳоро маҳдуд мекунад [52, 82].

Ин навовариҳо ва имкониятҳои нави татбиқ таҳияи тарзи тозакуниро талаб мекунад, ки қодир ба иваз кардани тарзҳои стандартӣ, аммо бесамар, саноатии экстраксия ва тозакунии пектин бошад. Намунаҳои равишҳои алтернативӣ УФ ва намудҳои он мебошанд. УФ дар чараёни тангенциалӣ барои маҳлулҳои сафедаҳо ва полисахаридҳои макромолекулавӣ шир ва афшура, инчунин маҳсулоти истеҳсоли қанд, як қисми назарраси саноати хӯрокворӣ мебошад [69]. УФ инчунин барои концентронидани (ғализати маҳлул)-и пектин бо истифода аз намудҳои гуногуни мембранаҳо ва андозаҳои (20 - 400 кДа) дар асоси нахҳои ковоки органикӣ ё сафолӣ, модулҳои мембранаи лавҳагӣ ё кубурӣ

дар харорати 45 – 75 °C бо чараёни гузарондагии миёна аз 20 то 35 л/м² соат¹ ва технологияҳои гуногун истифода шудааст [18, 23, 35, 49, 52, 82, 69, 92, 141].

Тавре ки дар боло қайд гардид, раванди стандартӣ бо мушкилоти назарраси бехатарии экологӣ, ки ба истифодаи спиртҳои тарканда ва дастгоҳҳои вакуумӣ алоқаманданд, рӯ ба рӯ мешавад. Харочоти бисёр ва мушкилоти бехатарӣ, ки бо бухоршавии вакуумӣ ва таҳшиншавӣ бо спирт алоқаманданд, татбиқи пектино маҳдуд мекунанд. Илова бар ин, камбудии тарзи стандартӣ аз даст додани олигосахаридҳои арзишманд ва инчунин пайваستҳои фенолӣ мебошад, дар ҳоле ки ҷудо кардани ин маводҳо ба маҳсулоти алоҳида ғоиданокии истеҳсоли пектино меафзояд.

Дар таҳқиқоти [82] технологияи нав, ки раванди ДУФ-ро дар як дастгоҳи лабораторӣ истифода мебарад, пешниҳод шудааст, ки тарзи арзон, аз ҷиҳати экологӣ тоза ва бехатарии истеҳсоли пектин мебошад. “Аз нуқтаи назари сохт ва сифати маҳсулот, муқоисаи ду тарз нишон медиҳад, ки ДУФ афзоиши назарраси ($p < 0,05$) чараён, тозагии баланди пектин ва ҷудошавии занҷирҳои асосии пектиноро бо массаи молекулавӣ баландтар (M_w) ва полидисперсияи хурдтар (M_w/M_n)-и намунаҳои пектин таъмин мекунад” [82]. Таҳлили спектрҳои резонанси магнитии ядрӣ (РМЯ)-и 1D ва 2D нишон медиҳад, ки раванди ДУФ қисми зиёди ифлосҳои озодро, ки ҳамроҳ бо макромолекулаҳои пектин экстраксия мешаванд, аз байн мебарад, ки ин тарзро афзалиятнок мегардонад. Таҳлили истеъмоли энергия ва харҷи маводҳои химиявӣ нишон медиҳад, ки раванди нав ба туфайли истеъмоли ками энергия ва сифати баланди маҳсулот аз тарзҳои мавҷуда афзалтар аст. Он инчунин дорои сохти техникаи ҷандир аст, ки имкон медиҳад маҳсулоти нимтайёро аз ашёи хоми гуногун истеҳсол кунанд.

1.5. Сохтори полисахаридҳои пектинӣ

Хусусиятҳои сохти пектин, ба монанди ДЭ, миқдори КГ (кислотаи галактуронӣ) дар полимер, массаи молекулавӣ (M_w) ва таркиби моносахаридӣ, дар таъмини функсияҳои гелҳосилкунӣ, ғафскунӣ ва устуворкунии эмулсияи рағғану об, ки барои татбиқи эҳтимолии он дар шарбат ва желе, афшураҳои

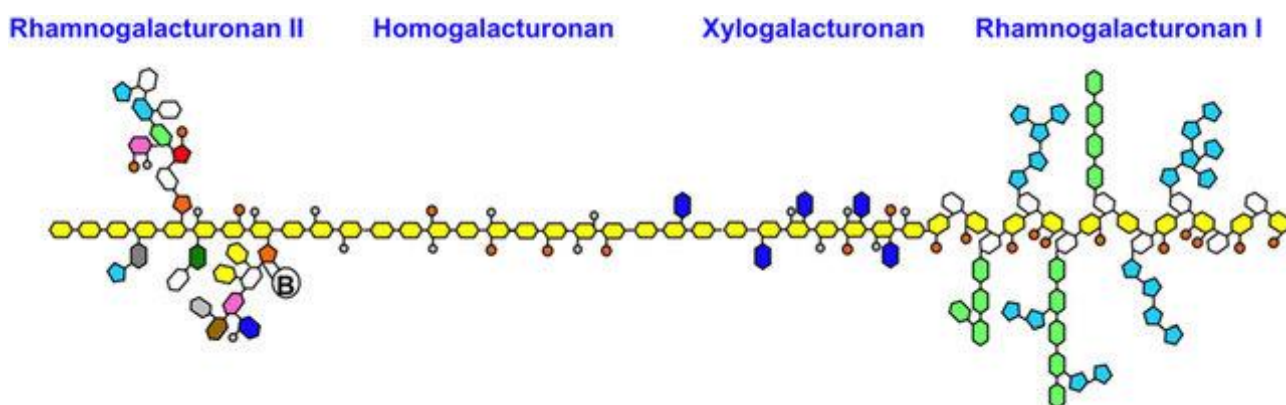
мевагӣ, маҳсулоти ширӣ, қаннодӣ ва маҳсулоти гӯштӣ заруранд, нақши муҳим мебозанд [58, 119]. Манбаи рустанӣ, шароитҳои экстраксия, тарзи ҷудокунӣ ва тозакунӣ, инчунин тарзҳои таҳлили тавсифӣ метавонанд “ба хусусиятҳои сохти пектин таъсир расонанд” [40]. Аммо, хусусиятҳои сохти таҳқиқшудаи пектине, ки аз боқимондаҳои гуногуни агросаноатӣ экстраксия шудааст, барои татбиқи тиҷоратии эҳтимолӣ, ниҳоят муҳим аст, омӯхта нашудаанд.

Илова бар ин, таркиби химиявӣ, сохт ва конформатсияи полисахаридҳо дар муайян кардани хосиятҳои функционалии онҳо нақши калидӣ мебозанд. Ба ин хосиятҳо ҳалшавандагӣ, қобиляти нигоҳ доштани об, варамкунӣ ва дигар хосиятҳои биологӣ пектин дохил мешаванд. “Ин хусусиятҳо ба хосиятҳои техникӣ-функционалии онҳо, аз ҷумла ғафскунӣ, гелҳосилкунӣ ва эмулсияҳосилкунӣ таъсир расонида, татбиқи онҳоро дар соҳаҳои гуногуни саноат муайян мекунанд” [168].

1.5.1. Таркиби моносахаридӣ ва сохтори пектин

Ба ғайр аз боқимондаҳои КГ, дар сохти пектин моносахаридҳои гуногуни нейтралӣ низ мавҷуданд, ки байни онҳо L-рамноза (L-Rha), L-арабиноза (L-Ara) ва D-галактоза (D-Gal) бештар мебошанд. Се қисми сохти пектин дар ҳолати функционалии он нақши аз ҳад муҳим доранд: (i) HG – шакли хаттии воҳидҳои КГ; (ii) RG-I – такроршавии навбатии қисмҳои D-КГ ва L-Rha бо занҷирҳои паҳлӯӣ қандҳои нейтралӣ; (iii) RG-II – шакли HG бо шохавии (фазоии) мураккаб, ки аз қандҳои гуногуни нейтралӣ таркиб ёфтааст (расми 1.1.).

RG-I шаклро ифода мекунад, ки тақрибан 100 ё зиёда такрори дигликозилии бо бандҳои α -1,2-пайваستшудаи L-Rha- α -1,4-D-КГ-ро дар бар мегирад. Тақрибан 50 – 78% аз ҳама боқимондаҳои Rha дар сохти RG-I ҷойгиранд ва асосан дар мавқеи C-4 бо қандҳои нейтралӣ пайваст мешаванд, аз ҷумла арабинанҳо бо бандҳои α (1 $\rightarrow$ 5)-, галактанҳо бо β (1 $\rightarrow$ 4)-пайвастшудаанд ва ё арабиногалактанҳо ҷойгир мебошанд [16, 40, 58, 96, 119, 144]. Боқимондаҳои Rha одатан метавонанд дар сохти RG-I таносуб ва тақсимои гуногун дошта бошанд (расми 1.1.).



Расми 1.1. - Сохтори пектин дар ДХ, ки аз пайдарпаии полисахаридҳои RG-II, занҷири асосии HG, ҷузъҳои XGA ва RG-I ташкил ёфтааст. Дар расми шашкунҷаҳои пай дар пайи зард ба КГ; сафед ба L-Rha; саз ба D-Gal; кабудии паст ба L-Ara; кабудии баланд ба D-Xyl мансубанд

Илова бар ин, шохаҳои қандҳои нейтралӣ метавонанд таркиб ва андозаи гуногун дошта бошанд, ки ин аз манбаи рустанӣ вобаста аст ва боиси гуногунӣ (гетерогенӣ)-и шадиди сохтори пектин аз ҳар як манбаъ мегардад [89, 120, 160].

“RG-II мураккабтарин домени пектин буда, дорои 11 - 12 боқимондаҳои гуногуни гликозилӣ мебошад, ки ҳамчун занҷирҳои паҳлӯӣ бо истифода аз ҳадди ақал 20 бандҳои гуногуни гликозидӣ ба шакли HG-и қисман этерификатсияшуда пайваст шудаанд” [142]. Аммо, боқимондаҳои Rha дар сохти RG-II дар миқдори камтар мавҷуданд, онҳо асосан дар занҷирҳои паҳлӯӣ мавқеъ доранд. Бо вуҷуди мураккаб будани худ ва миқдори ками он дар сохти пектин (тақрибан 10% пектин), RG-II ягона домени асосӣ дар сохти пектин мебошад, ки дар фаъолияти ДХ-и рустанӣ нақши муҳим дорад [79, 120, 142, 144]. Дар кори баррасишавандаи [58] якчанд таҳқиқот оид ба таркиби моносахаридии пектин аз манбаъҳои гуногун баррасӣ шудаанд, ки имкон медиҳанд хулоса бароварда шавад, ки қандҳои нейтралӣ аз манбаи пектин вобастаанд, дар ҳоле ки таъсири шароити экстраксия то ҳол таҳқиқ нашудааст.

1.5.2. Массай молекулавӣ ва тақсимои массай молекулавии пектин

Массай молекулавӣ параметри муҳим дар тавсифи пектин мебошад. Азбаски пектин сохти полидисперсӣ доранд, тақсимои массай молекулавии онҳоро ба назар гирифтани лозим аст. Массай молекулавӣ метавонад дар чараёни экстраксия, нигоҳдорӣ ва коркард тағйир ёбад [45, 82, 84, 86].

Дар айни замон барои ба даст овардани ин маълумоти бунёдии биофизикӣ оид ба рафтори маҳлулҳои полисахаридҳо якчанд тарзҳо мавҷуданд: ультрафурсофкунаккунонии таҳлилӣ, парокандашавии нури лезерии статикӣ (ПНЛС) ё парокандашавии нури лезерии бисёркунҷагӣ (ПНЛБ), ХМЭ-ПНЛБ пайваст шудааст, парокандашавии нури динамикӣ (ПНД) ва вискозиметрӣ (ченкунии часпакӣ). Ин тарзҳо барои омӯзиши полидисперсияи полисахаридҳо, таҳлили массаи молекулавӣ, сохт ва чандирӣ, инчунин таҳқиқи таъсири мутақобилаи ассотсиативӣ, аз ҷумла ҳосилшавии пайваستҳои комплексӣ, ченкунии заряд ва падидаҳои сипаршавии (экранкунии) заряд имкониятҳои нав фароҳам меоранд [6, 45, 75, 77, 102, 124].

Барои муайян кардани массаи молекулавӣ, одатан ХМЭ дар якҷоягӣ бо детектори рефрактометрӣ истифода мешавад. Барои муайян кардани қиматҳои мутлақ бошад, ХМЭ дар якҷоягӣ бо ПНЛБ татбиқ мегардад. Ин тарз инчунин имкон медиҳад, ки тақсимооти массаи молекулавӣ ва радиуси инерсия бидуни фарзияҳо оид ба конформатсияи пектин ҳисоб карда шаванд [6, 45, 75, 77, 82, 84, 86, 102, 124].

ХМЭ тарзи васеъ истифодашаванда барои баҳодиҳии ТММ-и полимер ва массаҳои молекулавии миёнаи он (масалан, массаҳои молекулавии миёнаададӣ ва миёнавазнӣ, M_n ва M_w , мувофиқан) мебошад [45, 102]. Дар ХМЭ бо як детектор, ТММ тавассути муттаҳидсозии ченакҳои детектори ба концентратсияи ҳассос бо ченкунии массаи молекулавии полимери таҳлилшаванда асос карда шудааст; аммо, мутаассифона, чунин ченкуниҳо танҳо барои якчанд полимерҳо муайян карда мешавад. Дар ХМЭ-и бисёрдетектора (мултидетекторӣ) ҳамзамон детекторҳои ба концентратсия ва массаи молекулавӣ ҳассос истифода мешаванд ва аз ин рӯ, ченкунии массаи молекулавӣ талаб карда намешавад. Одатан, барои баҳодиҳии концентратсия аз рефрактометри дифференциалӣ (РД) ва спектрофотометри ультрабунафш (СУБ) ва барои муайян кардани массаи молекулавӣ – аз детектори нурафкананда (ДНА) ва детектори вискозиметрии дифференциалӣ (ДВД) истифода мебаранд,

ки имкон медиҳанд массаҳои молекулавии полимерҳо ҳисоб карда шаванд [75, 102, 124].

Массаи миёнаи молекулавии пектин барои баҳодиҳии сифати он, ки ҳамчун агенти желеҳосилкунанда, ғафскунанда, текстурасоз (шаклдиҳанда), эмулсияҳосилкунанда ва устуворкунанда (стабилизатор) истифода мешавад, аҳамияти ҳалкунанда дорад [26]. Як қатор тадқиқотҳо аз таъсири массаи молекулавӣ ба қобилияти эмулсияҳосилкунӣ, рафтори желеҳосилкунӣ ва хосиятҳои байнифазаӣ шаҳодат медиҳанд [66, 115, 162]. Пектини дорои массаи молекулавии баланд қобилияти хуби обпайвасткунӣ дорад, ки ба ҳосилшавии желе оварда мерасонад, дар ҳоле ки пектини дорои массаи молекулавии паст буда, маҳлули часпак ҳосил мекунад. Аммо масъалаи бартарӣ доштани массаи молекулавӣ нисбат ба денатуратсия дар бахшидани хосиятҳои желеҳосилкунӣ ба пектин ҳанӯз ба омӯзиш ниёз дорад.

Ба қиматҳои массаи молекулавии пектин ашёи хоми ибтидоии пектиндор таъсир мерасонад, зеро биосинтези пектин дар чараёни рушди рустаниҳо ба амал меояд ва марҳилаи ҷамъоварии он низ нақш дорад [15]. Инчунин, оид ба таъсири шароитҳои экстраксия, аз қабili раванди гидролиз, вақт, ҳарорат ва pH ба массаи молекулавии пектин маълумот дода шудааст [82, 84, 86, 108, 137].

Қимати M_w -и пектин аз 10 ҳазор то якчанд миллион Да (Далтон) тағйир меёбад. Масалан, массаи молекулавии намунаҳои тичоратии пектини аз пӯсти меваҳои ситрусӣ, афшурдаи себ ва лаблабуи қанд гирифташуда дар ҳудуди аз 20 то 338 кДа қарор дошт, дар ҳоле ки массаи молекулавии пектини аз манбаъҳои ғайритичоратӣ ҷудокардашуда дар ҳудуди васеъ (10 – 450 кДа) тағйир меёфт. “Массаи молекулавии ба таври истисно баландтар дар пектини афлесун, бихӣ, шафтолу, каду” [25, 84], “пӯсти киви, чайот (рустаниест аз оилаи кадуӣҳо) ва партовҳои опунсия (як навъи кактус аст, ки меваҳои хӯрданӣ дорад) ба қайд гирифта шудааст” [58].

Баландшавии дараҷаи этерификатсия ва атсетикунонӣ ба агрегатсияи пектин ва кӯтоҳшавии занҷири полимерӣ оварда мерасонад, ки боиси паст шудани M_w -и пектин мегардад. Инчунин дар адабиёт маълумот дода шудааст,

ки этерификатсияи пектини ситрусӣ бо ёрии пектинметилэстераза, полигалактуроноза ва кислотаҳо (HCl , HNO_2) қиматҳои M_w -ро паст мекунад. Ин раванд ба баланд шудани часпакӣ ва конформатсияи хаттӣ оварда расонида, ба хосиятҳои эмулсияҳосилкунӣ таъсири мусбат мегузорад [66, 114]. Муаллифони мақолаи [114] дар натиҷаи таҳқиқи корҳои гуногун оид ба таъсири ДЭ ба массаи молекулавии пектин ба хулосае омаданд, ки “дар пектини тиҷоратӣ ДЭ-и баландтар ба M_w -и пасттар мувофиқат мекунад, дар ҳоле ки баъзе манбаъҳои ғайрианъанавӣ бо ДЭ-и пасттар (20 – 50%) M_w -и баландтарро нишон медиҳанд” [114]. Ин гувоҳи он аст, ки ба қимати массаи молекулавӣ на танҳо манбаи пектин ва тарзи ҷудо кардани он, балки ДЭ ва инчунин тарзҳои муайян кардани он таъсир мерасонанд [45, 84, 86].

Умуман, пектини дорои массаи миёнаи молекулавии паст хосиятҳои заифи желеҳосилкунӣ дорад, гарчанде ки он эмулсияҳосилкунӣ ва стабилизатори хуби эмулсия мебошад [115, 161, 162] ва дорои хосиятҳои бештари судманди солимгардонӣ мебошад [3, 28, 97, 139, 146, 166]. Пектини дорои массаи молекулавии паст қобилияти бештари пайваст кардани металлҳоро дорад, зеро он метавонад самти худро иваз карда, бо металлҳо, ба монанди Ca^{2+} , Fe^{2+} , Se ва ғайра, миқдори бештари пайвастҳоро ташкил диҳад. Баръакс, пектини дорои массаи миёнаи молекулавии баланд барои истифода ҳамчун моддаи желеҳосилкунанда тавсия дода мешавад [56, 58].

Гарчанде ки часпакии хоси дохилӣ параметри молекулавӣ мебошад, ки онро аз нуқтаи назари конформатсияи молекулавӣ шарҳ додан мумкин аст, он ба монанди тарзҳои дигар, аз қабили парокандашавии нур, дихроизми даврашакл, суръати седиментатсия, мувозинати седиментатсионӣ, ХМЭ-ПНЛБ (хроматографияи моеии эксклюзионӣ бо парокандашавии нури лазерии бисёркунчагӣ), РМЯ, рентген ва ғайра, чунин қимати баланди сохти молекулавиро таъмин намекунад. Бо вучуди ин, ҷенкунии часпакии хоси дохилӣ алтернативаи хеле камхарҷ буда, онро бо таҷрибаҳои оддӣ ба осонӣ муайян кардан мумкин аст.

Тарзи ХМЭ молекулахоро аз рӯйи ҳаҷми гидродинамикии онҳо (андозаашон) ҳангоми гузаштан аз найчае, ки бо зарраҳои куррашакли сӯрохдор пур шудааст, чудо мекунад. Молекулаҳои калонтар аввал элюатсия (берун) мешаванд, молекулаҳои хурдтар бошад, баъдан берун мешаванд. Фарқи асосӣ дар он аст, ки ХМЭ ҷудокунӣ нисбиро дар асоси андоза бо истифода аз стандартҳои ченкунӣ таъмин мекунад, дар ҳоле ки ХМЭ-ПНЛБ муайянкунии массаи мутлақи молекулавиро тавассути илова кардани детектори ПНЛБ ба системаи ХМЭ таъмин менамояд. Ин зарурати истифодаи стандартҳоро бартараф карда, тавсифи дақиқтар ва пурраи биофизикиро пешкаш мекунад. ХМЭ-ПНЛБ нури аз ҷониби молекула парокандашударо чен мекунад, ки он ба масса, концентратсия ва нишондиҳандаи шикасти он бевосита алоқаманд аст. Ин имкон медиҳад, ки массаи молекулавии молекула дар асоси принципҳои аввалия (аз рӯйи формулаҳои асосӣ) ҳисоб карда шавад [122]. Қимати M_w (массаи молекулавии миёна), ки тавассути ХМЭ-ПНЛБ ба даст оварда мешавад, ҳамеша аз қиматҳои M_w -е, ки тавассути ультрафурсофкунакунӣ ё ХМЭ ёфта шудаанд, бузургтар аст [31, 45, 84, 86, 102].

ХМЭ-и таҳлилӣ – ин тарзи миқдорӣ, нисбатан боэътимод ва оддӣ ҷудокунӣ макромолекулаҳо дар ҷараёни гузаштанашон аз найчаи пуркардашуда мебошад. Принципҳо ва татбиқи ХМЭ дар чандин ҳамоишҳои илмӣ муфассал баён шудаанд [11, 125, 129]. Фарқиятҳо дар нигоҳдорӣ аз ҳисоби вақти гуногуни диффузия ба дохил ва берун аз сӯроҳҳои фазаи собит пеш аз элюатсия аз охири найча ба вучуд меоянд. “Фарқиятҳо ба андозаи нисбӣ ва коэффисиентҳои диффузияи молекулаҳо вобастаанд” [129]. Хати ченкунанда бо истифода аз силсилаи полимери стандартӣ сохта мешавад, ки массаи молекулавии молекуларо бо ҳаҷми элюатсия пайваст мекунад. Барои пектин, полимерҳои стандартӣ, одатан, полисахаридҳои хуб ҷудошавандаи пуллуланҳо, полиэтиленгликолҳо, декстранҳо ва ғайра мебошанд, ки бо найча тавассути заряд ё боқимондаҳои гидрофобӣ дар сатҳ таъсир намекунанд. Ҳаҷми элюатсия бо ёрии детектори рефрактометрӣ (ДР) чен карда мешавад. Агар афзоиши нишондиҳандаи шикасти нур аз концентратсияи маҳлул (dn/dc) маълум бошад,

консентратсияи модда дар маҳлули полисахаридро низ бо ёрии ДР ба таври миқдорӣ баҳо додан мумкин аст [31, 82, 86, 102].

Қайд кардан зарур аст, ки массаи молекулавӣ, ки бо истифода аз ченкунии умумӣ муайян карда мешавад, бо натиҷаҳое, ки аз тарзи ХМЭ-ПНЛБ ба даст омадаанд, хеле хуб мувофиқат мекунад [31, 82, 86]. Муқоисаи маълумоти массаи молекулавӣ аз ин ду тарз дар мавриди пектини ситрусии *Sigma* нишон дод, ки истифодаи тарзи оддии инструменталӣ бо татбиқи ДЧД *ViscoStar* (детектори часпакии дугона) дар якҷоягӣ бо ДР ва нишондиҳандаи dn/dc , инчунин ченкунии умумӣ, барои ба даст овардани M_w ва ТММ кифоя аст.

Камбудии асосии тарзи ХМЭ ин васеъшавии банди хроматограмма (ВБХ) мебошад, ки асосан аз ҳисоби дисперсияи меҳварӣ дар найчаи фраксиякунанда, ҳаҷми ниҳии воридкунӣ ва ошкоркунӣ (аёният, детектсия), инчунин профилҳои чараёни ламинарӣ дар қатраҳои пайваستкунанда ба вучуд меояд. ВБХ боиси тақсимои пурраи массаҳои молекулавӣ дар ҳуҷайраи детектор мегардад ва дар маҷмӯъ, шакли хатҳои ТММ-ро дигаргун менамояд [6, 77]. Мушкилоти марбут ба ислоҳи ВБХ дар баҳодиҳии функсияи ВБХ аст, ки аз ҷониби Тун [86] пешниҳод шудааст. Ин функсия, дар навбати худ, аз суръати чараён ё ҳаҷми намунаҳои воридшуда (инъексия) вобастагӣ дорад [6]. Баҳодиҳии функсияи ВБХ аз ҷониби муаллифони гуногун таҳқиқ шудааст [6, 13, 77, 143]. Масалан, Буснел ва дигарон [13] бо ёрии ХМЭ/ДР чандин стандартҳои маҳдудро (бо $M_w/M_n < 1,005$) таҳлил карда, хроматограммаҳои асимметрии (якранг) ба даст оварданд, ки онҳо бо тақсимои гауссии тағйирёфтаи экспоненсиалӣ тақрибан наздик (апроксиматсия) карда шуданд.

Ниҳоят, тарзи пешниҳодшуда ба он фарзия асос ёфтааст, ки хроматограммаҳо бо ислоҳи консентратсия аз рӯи ВБХ метавонанд тавассути тақрибсозии (апроксиматсия) тақсимои гауссии тағйирёфтаи экспоненсиалӣ (ТГТЭ) муаррифӣ шаванд [21]. Таъкид намудан муҳим аст, ки ин фарзия татбиқи тарзи пешниҳодшударо маҳдуд намекунад. Дар асл, тақсимои ТГТЭ қодир аст, ки як қатор хроматограммаҳои маҳдуд ва шаклҳои унимодалии гуногунро ба таври адекватӣ тақрибан наздик созад. Ғайр аз ин,

хроматограммаҳои мултимодалии (ҳархела шакл дошта) ба ҳам напечίδαи куллаҳои маҳдуд метавонанд тавассути татбиқи тарзи ҷорӣ ба ҳар як кулла коркард шаванд. Дар як равиши умумитар, тарзро метавон тавассути моделсозии хроматограмаи концентратсия бо ёрии комбинатсияи хаттии ТГТЭ васеъ кард. Зиёда аз ин, мумкин аст, ки тарзҳои махсуси коркарди маълумот ва барномаҳои махсус, ки барои детекторҳо таҳия шудаанд, истифода шаванд, то фарзияи қабули ягон шакли таҳлилӣ барои хроматограмаи бо ислоҳи ВБХ бартараф карда шавад.

1.5.3. Таҳлили конформатсионии макромолекулаи пектин

Нақши асосии полимерҳои ДХ ба васеъшавии ҳучайраҳо ва мустаҳкамии механикӣ алоқаманд аст. Ғайр аз ин, сохти баъзе полисахаридҳои ибтидоии ДХ, ба монанди пектин, ҳангоми гузаштани ҳучайраҳо аз марҳилаҳои гуногуни рушд тағйир меёбад [9, 99, 121]. Занҷирҳои полисахаридӣ дар маҳлул ва ё дар матритса, чун қоида, сохти каму беш спиралиро қабул мекунанд. Конформатсияи чунин калобаи тасодуфӣ аз сабаби гузариши конформатсионии маҳаллӣ ва умумӣ тағйир меёбад. Полисахаридҳо ба тартиботи фазоии сершумор дар атрофи бандҳои гликозидӣ қодиранд, зеро ин молекулаҳо озодии конформатсионии назаррас доранд. “Моделҳои назариявии полисахаридҳо ба таҳқиқоти паҳншавии нисбии конформатсияҳои гуногун дар якҷоягӣ бо назарияи омории конфигуратсияҳои занҷирҳои полимерӣ асос ёфтаанд” [9]. Дар мавриди полисахаридҳо, дар бораи сатҳи сохти дуҷумдараҷа ва сеҷумдараҷаи ташкили онҳо нисбат ба дигар оилаҳои макромолекулаҳои биологӣ камтар маълум аст [99]. Ин ба он вобаста аст, ки полисахаридҳоро барои таҳлили сохти рентгенӣ дар шаклҳои кристаллӣ ба даст овардан ғайриимкон аст. Дар ҳолати табиӣ, полисахаридҳо ё пурра аморфӣ ё нимкристаллӣ мебошанд; баъзеи онҳо метавонанд сохти кристалли нахдорро ташкил диҳанд. Дар шароити муайяни таҷрибавӣ, баъзе полисахаридҳо метавонанд ба шакли гурӯҳ ҷамъ шаванд, ки дар онҳо чунин макромолекулаҳои занҷирӣ бо меҳварҳои дарози худ ба таври параллелӣ ё антипараллелӣ ҷойгир мебошанд. Баъзе полисахаридҳо конформатсияи хеле дарозшударо қабул

мекунанд, дар ҳоле ки дигарон занҷирҳои васеи холиро ташкил медиҳанд. Хусусан, полисахаридҳои интиҳой кодиранд занҷирҳои сершуморро ба вуҷуд оранд. Дар мавриди занҷирҳои сершумор, ба монанди занҷирҳои дугона, занҷирҳо метавонанд ҳам параллелӣ ва ҳам антипараллелӣ бошанд.

Конформатсияи пектин ё рафтори конформатсионии он дар маҳлул, бо омилҳои, чун pH , ҳарорат, консентратсияи ионҳо, ҳалкунанда ва мавҷудияти дигар моддаҳо муайян карда мешавад. Ғайр аз ин, шакли макромолекулаи пектин вобаста ба манбаъ, сохт ва шароити муҳити атроф хеле тағйир ёфта, хосиятҳои гуногуни физикӣ ва желеҳосилкуниро барои истифодаи он дар саноати хӯроқворӣ ва дорусозӣ муҳиманд, муайян мекунад. Он метавонад шаклҳои гуногунро қабул кунад, аз ҷумла дар намуди занҷири чандир ё сахт, спирали сегона ё сохти шохадор, ки дар ин ҳолат конформатсияи мушаххас ба хусусиятҳои функционалии он таъсир мерасонад [27, 74, 99, 136].

Фишман ва ҳамкорони ӯ [74] тавассути истифодаи тарзҳои, чун микроскопияи қувваи атомӣ (МҚА) ва ХМЭ-и баландсифат, таҳқиқоти ҳамаҷонибаи шакл ва андозаи макромолекулаи пектинро гузарониданд. Таҳқиқоти онҳо нишон дод, ки “пектин сохти мураккаб ва муташаккил, аз ҷумла сохти шабакавӣ дар маҳлулро ташкил медиҳанд, ки метавонанд дар консентратсияҳои паст ба зервоҳидҳо дар шакли чӯбчаҳо, чӯбчаҳои тақсимшуда ва чӯбчаҳои ҳамшуда ҷудо шаванд. Ин таҳқиқотҳо нишон доданд, ки ҳолати агрегатии хоси пектин аз навъи пектин (бо миқдори зиёд ё ками гурӯҳҳои метоксилӣ), консентратсияи маҳлул, қувваи ионӣ ва мавҷудияти дигар моддаҳо, ба монанди намакҳо ё глитсерин, вобаста аст” [74].

Ба наздикӣ, таҳқиқотчиён [27, 136] бо истифода аз тарзҳои, чун МҚА, парокандашавии нури рентгенӣ дар кунҷи хурд (ПНРКХ - SAXS), вискозиметрия ва хроматография, визуализатсия ва таҳлили конформатсияи пектини гуногунро аз себ ва меваҳои ситрусӣ (помело) пешниҳод карданд.

Қобили тавачҷуҳ аст, ки пектини дар об ҳалшаванда (ПОХ) нисбат ба пектини дар хелат ҳалшаванда (ПХХ) ва пектини дар ишқор ҳалшаванда (ПИХ), ки аз себ гирифта шудаанд, дар минтақаи қиматҳои пасти кунҷи

парокандашавии нур (q) шиддатнокии парокандашавии баландтарро нишон дод, ки ин аз мавҷудияти агрегатҳои молекулавӣ калонтар дарак медиҳад [118]. Барои арзёбии зичии молекулавӣ бо истифода аз графики Кратки [19], муаллифон [136] нишон доданд, ки ҳамаи фраксияи пектин дар қиматҳои пасти q қуллаи шакли зангӯламонандро нишон доданд, ки пас аз он афзоиши тадриҷӣ ба амал омад. Ин ба конформатсияи зич ва чиндор дар маҳлул ишора мекунад [140]. Ба таври шабеҳ, радиуси буриши салибӣ (R_c), ки барои қимати дараҷаи ҳамшавии пектин дар баробари самти дарозшавӣ истифода мешавад, низ дар намунаи ПИХ кам карда шуд. Ин коҳиш ба конформатсияи молекулавии зичтар ва чандиртар шаҳодат медиҳад. Фарқиятҳо дар қиматҳои R_c метавонанд бо ҳамшавии маҳаллии занҷир, ки дар натиҷаи конденсатсияи зидди ионҳо дар фраксияи гуногуни пектин бо қиматҳои шабеҳи R_g (радиуси гиратсия) ба вучуд омадаанд [19], тавзеҳ дода шаванд.

Муаллифон [27] пектинро, ки бо кислота ва ишқор экстрактсия шудааст (ПКХ ва ПИХ), ҳамчун намунаҳои моделӣ дар концентратсияҳои гуногун истифода бурданд. Онҳо инчунин ду тарз, яъне МҚА ва тарзи ПНРКХ-ро барои арзёбии параметрҳои конформатсионии пектини таҳқиқшаванда татбиқ намуданд. “Массаи молекулавӣ бо ёрии ХМЭ-ПНЛБ ва ДР дар шароити серобкунӣ дар доираи концентратсияҳои паст (0,5 – 2,0 мг/мл) муайян карда шуд” [27]. Ин тарз R_g -и калонтар аз ПНРКХ-ро нишон дод ва дар муқоиса бо конформатсияи визуализатсияшуда, ки тавассути МҚА ва микроскопияи электронии шаррадор (МЭШ) мушоҳида мешавад, қавравӣ аз шаклро нишон дод. Тарзи ПНРКХ имкон дод, ки пектин дар шароите, ки конформатсияро дар ҳолати ҳалшуда беҳтар нигоҳ медорад, таҳлил карда шавад ва дар доираи васеътари концентратсияҳо (5,0 – 20,0 мг/мл ҳам барои ПКХ ва ҳам барои ПИХ) татбиқ карда шуд. Он параметрҳои конформатсионии пурратар ва маълумот дар бораи шаклро пешниҳод кард, ки бо натиҷаҳои МҚА ва МЭШ дақиқтар мувофиқат мекунанд. Аз сабаби миёнагирии гурӯҳи шаклҳо, ПНРКХ барои ошкор кардани нобаробарии конформатсионӣ ҳалли кофӣ надошт. Афзалиятҳои мукамалкунандаи ин ду тарз имкон доданд, ки маҳдудиятҳои

марбут ба доираи консентратсия ва механизмҳои ошкорсозӣ бартараф карда шаванд ва ин боиси тавсифи ҳамаҷонибаи сохтори пектин гардид.

Ҳамин тариқ, чунин равияи ҳамаҷониба фаҳмиши моро дар бораи робитаи мутақобилаи байни конформатсияи пектин амиқтар карда, барои танзими хосиятҳои функционалии пектин дар саноати хӯрокворӣ ва дорусозӣ дастгирии бозътимоди техниро таъмин менамояд.

1.6. Алоқамандии таркиб ва хосиятҳои функционалии пектин

Хусусиятҳои сифатӣ, бахусус хусусиятҳои шаклгирӣ (текстура - шаклгирӣ дар маҳсулоти хӯрока) ва реологии бисёре аз маҳсулоти хӯроквории набототӣ, асосан аз миқдор ва таркиби пектин дар якҷоягӣ бо намуди равандҳои коркарди пас аз чамъоварӣ ва ё марҳилаҳои раванди коркард [153] вобастаанд. Дар тавсифи таркиби содаи пектин пешрафти калон ба даст оварда шудааст; аммо, таъсири ҷузъҳои таркибии он бо системаҳои, ки функцияи мушаххаси биологӣ ва саноатӣ доранд, то ҳол пурра омӯхта нашудааст.

Истифодаи пектин ба шарофати фаъолияти беназири физиологии онҳо ва хосиятҳои бисёрҷонибаи шаклгирӣ бо суръати баланд афзоиш меёбад. “Дар даҳсолаи охир (2010 – 2020) талабот ба пектин дар бозор ба таври назаррас афзудааст” [3, 20, 98, 119, 162]. Баъзе таҳлилгарони бозори гидроколлоидҳо ҳатто пешниҳод кардаанд, ки пектин метавонад як қатор гидроколлоидҳоеро, ки ба туфайли қимати ба таври назаррас пасттар васеъ истифода мешуданд, иваз намояд.

Илова бар ин, он ба саломатии инсон таъсири мусбат мерасонад ва дорои як қатор татбиқоти биотиббӣ мебошад. Ғайр аз ин, пектин, ҳамчун биополимер, бо иқтидори татбиқаш дар системаҳои бастабандии фаъол таваҷҷуҳро ба худ ҷалб мекунад. Пектинро метавон дар баробари доираи васеи биополимерҳо бо хусусиятҳо ва функцияҳои гуногун истифода бурд [3, 117].

Раванди коркарди пектин метавонад ба таркиби сода ва хосиятҳои калидии техно-функционалии онҳо, ба монанди часпакӣ, стабилизатсия, желеҳосилкунӣ, эмулсияҳосилкунӣ, инкапсулятсия (равандест, ки дар он моддаҳои фаъол бо як қабати муҳофизатӣ пӯшонида мешаванд), пардасозӣ ва

адсорбсия таъсир расонад. Таркиби содаи пектин, ки аз занчири асосӣ ва чузъҳои бо он алоқаманд иборат аст, дар муайян кардани функционалии онҳо нақши ҳалкунанда мебозад. Баъзе мушкилоте, ки дар ин соҳаҳо боқӣ мемонанд, инҳоянд: таҳияи тарзҳои барои корбар қулайи тавсифи пектин, интегратсияи тарзҳои экстракция аз ҷиҳати экологӣ тоза барои татбиқи саноатӣ, истифодаи манбаъҳои нави дастраси пектин бо миқдори кофӣ барои истеҳсолоти калонмиқёс.

Муносибии пектин барои ҳама гуна татбиқ аз хусусиятҳои таркиби он муайян карда мешавад, ба монанди массаи молекулавӣ, миқдори қанди нейтралӣ, таносуби минтақаҳои ҳамвор ва кӯтоҳмӯяк дар таркиби он, мавҷудияти пайваستҳои полифенолӣ (кислотаи ферулоӣ), миқдори гурӯҳҳои метоксилӣ ва атсетилӣ, шакли тақсимои онҳо дар полисахарид [3, 119]. Ҳар гуна раванде, ки қодир ба тағйир додани параметрҳои молекулавӣ бошад, метавонад ба тағйироти назарраси хосиятҳои функционалӣ оварда расонад. Илова бар ин, хусусиятҳои баланди пектин фазои ҷолиб ва гуногуни таъсиркуниро ба вуҷуд меоранд, ки дар онҳо бандҳои гидрогенӣ, таъсири гидрофобӣ, ҳолати полиэлектrolитӣ, таъсири мушаххаси ионӣ ва ҳатто бандҳои ковалентӣ метавонанд дар муайян кардани хосиятҳои функционалии матритсаи нигоҳдоранда нақши муҳим бозанд.

Пектини баландмолекулавӣ барои стабилизатсияи нӯшокиҳо, ба монанди эмулсияҳо ва маҳсулоти ширӣ, хеле мувофиқанд, зеро онҳо часпакии фазаи доимиро баланд мебардоранд. Пектин инчунин аз падидаҳои номатлуб, аз қабили коалесценсияи равғанҳо (якҷояшавии қатраҳои равған), яхбандӣ ва агрегатсияи сафедаҳо пешگیرӣ мекунанд. Барои таҳқиқоти минбаъда дарки таъсири минералҳо, сафедаҳо ва шароити таҷрибавӣ, ба монанди ҳарорат, консентратсия, pH ва қувваи ионӣ, ба устувории нӯшокиҳои хӯрокворӣ аҳамияти ҳалкунанда дорад. “Ғайр аз ин, массаи баланди молекулавӣ ва қобилияти худташkilшавии пектин онҳоро ҳамчун навъи намунаҳо барои сохтани плёнқаҳо ва рӯйпӯшҳои хӯроқӣ, ки ба ҳифзи маҳсулоти хӯрокворӣ мусоидат мекунанд, табдил медиҳанд” [168]. Аммо, барои бартараф кардани

махдудиятҳо, аз қабилӣ гузаронандагӣ паст ва ҳосиятҳои пастӣ механикӣ плёнкахӣ пектинӣ барои татбиқи гуногун, тақмилдиҳӣ зарур аст.

Мавҷудияти кислотаи ферулоӣ ва қисмҳои сафедавӣ дар пектин имкон медиҳад, ки онҳо дар сатҳи катраҳои равшан адсорбсия шаванд ва шиддати сатҳро паст кунанд, ки ин онҳоро барои стабилизатсияи эмулсияҳо мувофиқ месозад. Аммо, самаранокии онҳо ҳамчун эмулсияҳосилкунӣ табиӣ дар маҳсулоти ҳӯрокворӣ дар ҳоли ҳозир маҳдуд аст ва баланд бардоштани самаранокиро талаб мекунад.

Муътадилсозии (оптимизатсия) равандҳои экстраксияи пектин барои ноил шудан ба хусусиятҳои дилхоҳ, ба монанди массаи баланди молекулавӣ, миқдори назарраси сафеда ва дараҷаи атсетилронии аз 10% боло, метавонад самаранокии онҳоро ҳамчун эмулсияҳосилкунӣ баланд бардорад. Пектин бо дараҷаи гуногуни эфирҳосилкунӣ (ПМБ ва ПМП) дорои ҳосиятҳои гуногуни гелҳосилкунӣ мебошанд, ки ба онҳо имкон медиҳад дар шароити муайян гелҳоро ҳосил кунанд. Ин ҳосияти гелҳосилкунӣ махсусан барои инкапсулятсияи молекулаҳои ноустувор (лабилӣ) ва назорати барориши онҳо ба минтақаҳои мақсаднок муфид аст. Сарфи назар аз он ки механизми гелҳосилкунӣ ва таркиби гидрогелҳои пектинӣ бодикқат омӯхта шудаанд, зарурати дарки амиқтар ва назорати таъсири тағйирёбии таркиби пектин ба кинетикаи гелҳосилкунӣ, ҳарорат [3, 20, 58, 61, 119], қувва, сохт ва шаклгирӣ дар шароити тағйирёбандаи муҳити зист вучуд дорад. “Натиҷаҳои интиҳои муҳаққиқони чинӣ нишон медиҳанд, ки фарқиятҳо дар ашёи хоми ибтидоӣ, тарзҳои экстраксия ва таркиби чузъҳои экстраксияшаванда метавонанд ба M_w таъсир расонанд” [134, 135, 140].

Бу ва ҳаммуаллифони ӯ [140] экстраксияи обиро барои чудо кардани полисахаридҳо аз меваҳои кивии навъҳои гуногун истифода бурданд: *A. deliciosa*, *A. Chinensis*, *Hort16A*, *A. Chinensis Jinshi*, *A. Chinensis Hongshi*, *A. polygama*, *A. macrosperma* ва *A. arguta*. Массаҳои молекулавӣ бадастомадаи ин полисахаридҳо мутаносибан 140,5 кДа, 309,7 кДа, 547,6 кДа, 195,5 кДа, 351,6 кДа, 717,9 кДа ва 1620 кДа-ро ташкил доданд. Қобили таваҷҷуҳ аст, ки Ван

[134] тағйироти массаи молекулавии ПОХ, ПИХ ва ПМП дар чараёни пухта расидани меваҳои *A. deliciosa*-ро мушоҳида карданд. Онҳо дарёфтанд, ки массаи молекулавии ПОХ, ПИХ ва ПМП дар тӯли пухта расидани меваҳо кам мешавад. Таачҷубовар аст, ки дар таҷрибаҳои онҳо пектини ҳалнашаванда дар меваҳои *A. deliciosa* дар чараёни пухта расидани меваҳо ба пектини ҳалшаванда дар об табдил ёфтааст.

Гурӯҳҳои функционалии пектин ва қобилияти онҳо барои пайваست кардани катионҳои дувалента онро ба адсорбенти эҳтимолии металлҳои вазнин ва ифлоскунандаҳои органикӣ дар раванди тозакунии об табдил медиҳанд. Аммо, барои пурра омӯхтани имкониятҳои адсорбсионӣ-десорбсионӣ ва қобилияти коркарди дубораи онҳо ҳамчун адсорбентҳо тадқиқотҳои минбаъда заруранд.

Пайвасти пектин бо дигар биополимерҳо, ба монанди сафедаҳо ва полисахаридҳо, аксар вақт дар маҳсулоти ниҳой мушоҳида мешавад ва фаҳмидани ин таъсири мутақобила барои дарки таркиби комплексҳои ҳосилшуда аҳамияти ҳалкунанда дорад. Ин мавзӯ барои доираҳои илмӣ, олимони соҳаи саноат, истеҳсолкунандагон, таъминкунандагон ва таҳиягарони ресептураҳо таваҷҷуҳи калонро ба худ ҷалб менамояд.

Ҳар гуна раванде, ки қодир ба тағйир додани параметрҳои молекулавӣ мебошад, метавонад боиси дигаргуниҳои назаррас дар хосиятҳои функционалӣ гардад. Ғайр аз ин, “хусусиятҳои беназири пектин фазои ҷолиб ва гуногунранги таъсири мутақобиларо ба вучуд меоранд, ки дар онҳо пайваستҳои гидрогенӣ, таъсири мутақобилаи гидрофобӣ, ҳолати полиэлектrolитӣ, таъсири мутақобилаи мушаххаси ионӣ ва ҳатто пайвасти ковалентӣ метавонанд дар муайян кардани хосиятҳои функционалии матритсаи шаклгиранда нақши эҳтимолӣ бозанд [3, 20, 98, 117, 119, 161, 162].

Ба ғайр аз робитаҳои таркибӣ-функционалии муқарраршудаи пектин, раванди ҳамачониба барои миқёси эҳтимолии тичоратии пектини ғайрианъанавӣ гирифтани донишро дар бораи хосиятҳои функционалӣ ва таъсири тарзҳои навоваронаи устувори экстраксия ба таркиб ва хосиятҳои

функционалӣ барои таҳлили мукамал дар назар дорад. Ин роҳро барои интихоби тарзи навоваронаи экстраксия барои манбаи маъмулии пектин бо мақсади ноил шудан ба хосиятҳои даркорӣ дар маҳсулоти саноатӣ мекушояд [3, 58].

Дар маҷмӯъ, хусусиятҳои техно-функционалии пектин, ки ҳам мустақилона ва ҳам дар якҷоягӣ бо дигар биополимерҳо истифода мешаванд, асоси татбиқи анъанавӣ ва эҳтимолии онҳоро дар нӯшокиҳо, маҳсулоти хӯрокворӣ ва маҳсулоти ғайрихӯрокворӣ ташкил медиҳанд. Аммо, то ҳол мушкилоте вучуд доранд, ки бояд бартараф карда шаванд ва ҳар як намуди пектин вобаста ба татбиқи матлуби истеъмолкунандагон, мушкилоти мушаххасро пеш меорад. Қонеъ кардани талабот ба хусусиятҳои функционалии ба осонӣ назоратшаванда ва матлуб, ба монанди ҳалшавандагии осон дар об ҳатто дар муҳитҳои дорои часпакии баланд, устувории хуб дар мурури замон (муҳлати нигоҳдории дароз) ва хароҷоти пасти амалиётӣ, ҳамчун як вазифаи мубрам боқӣ мемонад, ки тавассути таҳияи оқилонаи ресептураҳо равандҳои устувор ва навоваронаро талаб мекунад.

БОБИ 2. МАВОДҲО ВА ТАРЗҲОИ ТАДҚИҚОТӢ

2.1. Чамъоварӣ ва оморасозии ашёи хомӣ ибтидоӣ

Дар омӯзишҳо партовҳои мевагӣ пас аз ҷудо кардани шарбат ва СО пас аз чамъоварии ҳосили офтобпараст истифода шуданд. Партовҳо бо об шуста, хушконида шуд. СО ба пораҳои хурд бурида шуда, дар ҳавои кушод хушконида шуданд, сипас маводи рустанӣ бо ёрии майдакунак ё дар ҳован то андозаи зарраҳои наздик ба 100 мкм кӯфта шуд. Ашёи хомӣ кӯфташуда бо оби гарм (85 °C) дар давоми 2 дақиқа бо гидромодули ашёи хом : об (1:20) коркард карда шуд, ки баъдан се маротиба *декантатсия* (дар ин ҷо: раванди шустани боқимондаи рустанӣ аз маҳлули экстракт) карда шуд. Дар ҳолати зарурӣ, таркибҳои дар об ҳалшаванда барои муайян кардани миқдори пектин таҳлил карда шуданд. Пасмондаҳои хушконидашудаи маводи рустанӣ бо спирти этил ё изопропил шуста шуданд, ва таркибҳои дар спирт ҳалшаванда такроран экстраксия карда шуданд. Боқимондаҳои ашёи хом дар ҳарорати 95 - 100 °C дар тафдони бо ҳавои гарм гардишкунанда пайваст хушконида шуда, дар ҳалтаҳои полиэтиленӣ, барои тақрибҳои оянда, нигоҳ дошта шуданд.

Маводи (объектҳои) тадқиқотӣ инҳо буданд: афшураҳои мевагӣ (себ, бихӣ, шафтолу, ситрусӣ ва ғайра), сабадчаҳои офтобпараст, каду, ки аз минтақаҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон дастрас карда шудаанд.

Ашёи хом барои гирифтани экстракти пектин сабадчаҳои офтобпараст (СО), пӯсти афлесун (ПА), поя ва барги ревоҷ (Рв), бихӣ (Би), зардолу (Зд), шафтолу (Шф), пӯсти лимӯ (ПЛ), донаи каду (Кд), инчунин фишурдаҳои себ аз навъҳои минтақаҳои марказӣ (Варзоб (ФСВ), Файзобод (ФСФ) ва Шаҳринав (ФСШ)) ва минтақаи ҷанубии (Муъминобод (ФСМ)) Ҷумҳурии Тоҷикистон буданд.

Инчунин, дар таҷрибаҳо барои тавлиди комплексҳо дар асоси пектин ва сафеда (зеин ва лактоглобулин) аз пектинҳои тичоратӣ ва озмоишии зерин истифода карда шудааст: НМ-пектини тичоратии ситрусӣ GENU L/200-CP Kelco (CP Kelco, Дания) бо миқдори КГ 69,0%, ДЭ 9,0% ва M_w кДа; БМ-пектини себ БМ-ПСМ-120-5-2,0, ки дорои КГ 68,0% ва ДЭ 52%, M_w 134 кДа;

ПМ-пектини себ ПМ-ПСШ-85-60-1,8, ки дорои КГ 58,0%, ДЭ 43,0% ва M_w 119 кДа ва ПМ-пектини офтобпараст, ки бо тарзи динамикӣ ба даст оварда шудааст (ПМ-СО-Д-2М-2,0) ва дорои КГ 68,0%, ДЭ 42,0% ва M_w 142 кДа мебошад.

2.2. Тавсифи моддаҳои аввала

Маводҳои химиявӣ, ки дар тадқиқот истифода шудаанд, инҳоянд, аз қабилҳои кислотаҳои хлорид ва сулфат (ҳар дуи онҳо тамғаи “х.ч.” – ҳолиси химиявӣ), гидроксиди натрий ва калий (тамғаи “ч.д.а.” – ҳолис барои таҳлил), гидроксиди калсий ва аммоний (тамғаи “х.ч.”), трилон Б (фиксанал), метанол (тамғаи “х.ч.”), этанол (ректификат), изопропанол (тамғаи “х.ч.”), нитрити натрий (тамғаи “х.ч.”), азиди натрий (тамғаи “х.ч.”), буферҳои фосфатӣ.

Маҳлули кислотаи хлориди бо қимати муайяни pH бо роҳи сероб кардани кислотаи концентронида бо оби дистиллиронидашуда тайёр карда шуд. pH -и маҳлул бо pH -метр муайян карда шуд. Маҳлулҳои стандартҳои кислотаи хлорид, гидроксиди натрий ва трилон Б аз фиксаналҳои дахлдор омода карда шуданд.

Ҳамаи ҳалқунандаҳое, ки дар тадқиқот истифода гардиданд, мувофиқи тарзҳои маълум тоза карда шуданд. Намакҳо, кислотаҳо ва ишқорҳое, ки истифода шуданд, тамғаи “х.ч.” (ҳолиси химиявӣ) ё “ч.д.а.” (ҳолис барои таҳлил)-и истеҳсоли *Sigma Aldrich* ё *Рeахим* доштанд.

2.3. Омода кардани маҳлулҳои ибтидоӣ

Маҳлулҳои буферӣ мувофиқи ГОСТ 4919.2-77 [163] омода карда шуданд. Тартиби оmodасозӣ инҳоро дар бар мегирад: интиҳоби тарз, баркашии реагентҳо, ҳал кардани онҳо дар ҳалқунандаи мувофиқ (одатан, оби дистиллиронидашуда), санҷиш ва танзими pH бо ёрии pH -метр. Барои дақиқ омода кардани маҳлулҳо, аз маҳлулҳои стандартҳои дараҷабандӣ истифода шуданд, ки тартиби қор бо онҳо дар ҳуҷҷати ГОСТ 8.135-2004 тавсиф ёфтааст.

Маҳлулҳои пектин бо тартиби зерин омода карда шуданд: баркашии дақиқи пектинро дар тарозуи аналитикӣ (*Acculab ALC-210.4*, $d = 0.0001$ г) баркашида, дар бюкси сарпӯшаш маҳкам ҷойгир карда, ба он миқдори ками спирт барои обронӣ (дегидрататсия) ва оби дистиллиронидашуда илова намуда,

дар омехтакунаки магнитӣ дар давоми 2 соат бо каме гармкунӣ омехта кардем. Баъдан, ҳаҷми маҳлулро бо об то 10 мл расонида, то ҳалшавии пурраи пектин омехта кардем. Маҳлули ҳосилшударо дар 15000 гардиш/дақ дар давоми 30 дақиқа аз фурсофкунак (сентрофуга) гузаронидем. Барои дур кардани микрогелҳо, таҳшинро чудо карда, дар шкафи хушккунӣ дар ҳарорати 60 –70 °C хушк карда, баркашидем ва концентратсияи маҳлулро аз рӯи фарқи байни баркаши аввала ва массаи таҳшин ҳисоб кардем. Маҳлули пектинро фавран барои муайян кардани массаи молекулавӣ ё гузаронидани таҷрибаҳо оид ба таъсири омилҳои гуногун ба устуворӣ ва таҷзияи (деградатсияи) пектин истифода бурдем.

2.4. Тозакунӣ ва фраксиябандии полисахарид

2.4.1. Тозакунӣ бо этанол

Намунаҳои пектинро дар давоми 24 соат дар ҳарорати хонагӣ бо омехтаи маҳлули 70%-и C_2H_5OH (этанол), HCl (кислотаи хлорид)-и концентронида ва об бо таносуби 14:3,6:2,4 коркард кардем. Баъд аз ин, онҳоро бо маҳлули 70%-и спирт то ба даст овардани реаксияи манфӣ ба ионҳои Cl^- шуста, сипас бо маҳлули 96%-и этанол ва атсетон шуста, дар ҳарорати 40 - 60 °C хушк намудем [153]. Барои дур кардани микрогел, маҳлули 0,5%-и пектин дар 15000 g дар давоми 1,5 соат фурсофкунак ё дар 50000 g дар давоми 1 соат ультрафурсофкунак карда шуд [90].

2.4.2. Тозакунӣ бо истифода аз мембранаҳои софкунанда

Дар равандҳои тозакунӣ ба ғайр аз тарзи таҳшинкунӣ бо спирт барои ба даст овардани пектин, инчунин тарзи диа- ва ультрафилтратсия тавассути мембранаи софкунаки УПМ-100 дар дастгоҳи лабораторӣ таҳти фишори 0,16 МПа истифода шуда, баъд аз он маҳлулҳои тозашудаи пектин лиофилизатсия (хушккунии дар ҳарорати паст бо вакуум) карда шуданд [82]. Як қатор таҷрибаҳо бо 26 - 28 л маҳлули гидролизатҳои пектинӣ, ки аз шарбатҳои себи ноҳияи Файзобод (ПСФ) ва СО ба даст омада буданд, бо истифода аз раванди ДУФТ (диа- ва ультрафилтратсия бо ҷараёни тангенциалӣ) дар модули УФ бо ду модули мембранаи нахи ковок дошта, ки масоҳати софкунии (филтратсияи) 2

м² -ро дар бар мегирад, гузаронида шуд. Бузургии фишори байнимембранавӣ 1,3 - 1,5 бар (атмосфера)-ро ташкил дод, суръати моеъ дар худуди 1,0 - 6,0 м/с равона карда шуд, ки адади Рейнолдси чараёни интиқолдиханда ба $Re = 3000 - 6000$ баробар буд. Тафсилоти раванди ДУФТ дар патенти [154] тавсиф шудааст. Аз маҳлули гидролизати бадастомада пас аз миқдори (концентратсия) 1,2 литр намуна барои ҳисоб кардани баромади пектин ва муайян кардани параметрҳои он: миқдори КГ ва ДЭ гурӯҳҳои карбоксилӣ, массаи молекулавӣ ва сохти пектин бо тарзи спектроскопияи РМЯ гирифта шуд [82]. ДУФТ-и такрорӣ бо роҳи сероб кардани боқимондаи маҳлул то 20 - 30 литр бо оби софшуда (дистиллиронидашуда) ва бори дигар барои ҳосил кардани маҳлули концентронида (ғилзатшуда) кардан то ҳаҷми минималӣ гузаронида шуд. Дар охири раванд (4,0 - 4,5 соат) 2 л маҳлули концентронидашуда барои хушк кардани пектин дар хушккунаки пошанда (заррарез) ҷудо карда шуд. Барои ҷудо намудан (диализ) аз моддаҳои молекулашон паст ва омехтаи полифенолҳо, намунаи филтрат то ҳаҷми зарурии ғилзат карда шуда, ҷузъҳои дахлдор моддаҳои зарурӣ бо тарзҳои спектрофотометрӣ ва хроматографияи газӣ-моеъ (ХГМ) таҳлил карда шуданд [82, 90, 159].

2.4.3. Ҷудокунӣ (фраксиябандӣ)-и полисахарид бо тарзи хроматографияи мубодилаи анионӣ

Намунаи полисахаридҳои тозашуда бо массаи 200 мг аз нав дар 20 мл оби бенамакшуда (деионизатсияшуда) ҳал карда шуд ва бо тарзи хроматографияи мубодилаи анионӣ ҷудо карда шуд. Найчаи дорои DEAE-сефароза Fast flow (Sigma GE17-0709-01, ИМА) (Bio-Rad Econo-Column® Chromatography Columns, 2,5 × 50 см, №7372551) бо оби дистиллиронидашуда ба ҳолати мувозинат оварда, баъдан пай дар пай бо оби дистиллиронидашуда ва маҳлулҳои NaCl-и қувваи ионии афзоюнда (0,1; 0,3; 0,5; 0,7 ва 2 М) бо суръати чараёни 5 мл/дақ шустушӯӣ (элюатсия) карда шуд. Элюатҳоро дар пробиркаҳои ҳаҷмашон 10 мл ҷамъ оварда, якҷоя карда шуд ва ба ҳолати концентронида оварда шуд (бо ультрафилтратсия бо истифода аз мембранаи Millipore™ бо

массаи молекулавӣ 10 кДа) барои ба даст овардани фраксияи асосӣ. Микдори умумии қанд дар полисахарид муайян карда шуд [85].

2.5. Тарзҳои микдории таҳлили полисахаридҳои пектинӣ

2.5.1. Муайян кардани микдори умумии қанд дар полисахарид

Микдори умумии қанд дар ҳар як полисахарид бо тарзи модификатсионии фенол-кислотаи сулфат муайян карда шуд [85]. Маҳлули намунаи полисахарид (0,5 мл) ва маҳлули 5%-и фенол (0,5 мл/ҳаҷм дар пробиркаҳои сарпӯшдор ҷойгир карда шуданд, ки ба онҳо фавран 2,5 мл кислотаи сульфати концентронида илова карда шуд. Пробиркаҳо пӯшида шуда, омехта карда шуданд ва сипас дар давоми 15 дақиқа ҷӯшонидани шуданд. Пеш аз он ки фурӯбарии рӯшноӣ дар дарозии мавҷи 480 ё 490 нм чен карда шавад, пробиркаҳо то ҳарорати хонагӣ хунук карда шуданд. Ҳамчун намунаи назоратӣ оби соф истифода шуд, ки ба мисли намунаҳо коркард шуда буд. Микдори умумии қанд аз рӯйи стандарти қачхатаи глюкоза ҳисоб карда шуд, ки он бо истифодаи панҷ концентратсияи 20, 40, 60, 80 ва 100 мкг/мл омода шуда буд.

2.5.2. Тарзи модификатсионии титриметрӣ барои муайян кардани гурӯҳҳои карбоксилии озоди пектин

Баркаши (микдори дақиқ, тақрибан 0,1 г) намунаи хушкшударо бо маҳлули 96%-и этанол (5 мл) тар карда, 100 мл H_2O илова карда, дар омехтакунаки магнитӣ, то ҳалшавии пурра (1,5 - 2,0 соат), омехта намудем. Баъдан, алиқвотаи (10 - 20 мл) маҳлулро бо маҳлули 0,01 н гидроксидаи натрий ба таври потенциометрӣ то pH -и 7,5 титр кардем. Микдори гурӯҳҳои карбоксилии озоди пектин (K_c) бо ғоиз аз рӯйи формулаи зерин ҳисоб карда шуд:

$$K_c = \frac{N_{NaOH} \cdot V_{NaOH} \cdot 0,0045}{0,1q} \cdot 100 \quad (2.1)$$

“дар ин ҷо q – массаи пектини тозашуда мебошад, ки дар алиқвота мавҷуд аст (1 мл маҳлули 0,1 н NaOH ба 0,0045 г гурӯҳҳои карбоксилии пектин мувофиқат мекунад)” [164].

2.5.3. Муайян кардани гурӯҳҳои карбоксилии эфиршудаи пектин

Ба маҳлули титршуда 5 мл маҳлули 0,1 н гидроксида натрий илова карда шуд, сарпӯшро маҳкам баста, дар ҳарорати 20 - 40 °С барои пурра эфиршавӣ ба муддати ду соат гузоштем. Қисми зиёдагии ишқор бо маҳлули 0,1 н HCl ба таври потенциометрӣ то ҷаҳиши якбораи pH титр карда шуд [153]. Ҳамзамон таҷрибаи назоратӣ гузаронида шуд. Миқдори гурӯҳҳои карбоксилӣ этерификацияшудаи пектин (K_9) бо ғоиз аз рӯи формулаи зерин ҳисоб карда шуд:

$$K_9 = N_{HCl} \cdot \frac{(V'_{HCl} - V''_{HCl}) \cdot 0,0045}{0,1 \cdot q} \cdot 100 \quad (2.2)$$

дар ин ҷо V'_{HCl} – ҳаҷми маҳлули HCl бо нормалӣ N мебошад, ки барои титркунии таҷрибаи назоратӣ сарф шудааст;

V''_{HCl} – ҳаҷми маҳлули HCl, ки барои титркунии намуна сарф шудааст;

q – массаи моддаи пектинӣ, ки дар алиқвота мавҷуд аст, бо грамм [164].

2.5.4. Муайянкунии гурӯҳҳои метоксилии пектин бо тарзи фотометрӣ

10 мг пектин дар 8 мл маҳлули 0,1 н NaOH дар ҳарорати хонагӣ ҳал карда шуд. Пас аз 30 дақиқа, ба маҳлули ишқор 2 мл маҳлули 2 н H_2SO_4 илова карда шуд, ки $pH > 4,0$ буд. Ба 1 мл филтрат 1 мл маҳлули $3 \cdot 10^{-2}$ М $KMnO_4$ дар 4,4 М H_3PO_4 илова карда шуд, омехта барои 20 дақиқа гузошта шуд, сипас 0,5 мл маҳлули обии тоза омодашудаи 0,15 М Na_2SO_3 илова карда шуд. Ба 1 мл маҳлули рангпариди 0,5 мл маҳлули кислотаи хромотропӣ (30 мг/мл) ва 3,5 мл H_2SO_4 , (82 – 96%), ки то 0 °С хунук карда шуда буд, илова карда шуд. Омехта дар ҳаммоми обии ҷӯшон 10 дақиқа нигоҳ дошта, то ҳарорати хонагӣ хунук карда шуд ва зичии оптикӣ дар максимуми фурӯбарӣ (570 нм) нисбат ба маҳлули сифрӣ чен карда шуд.

Миқдори гурӯҳҳои метоксилии пектин (CH_3O) дар ғоизи массавӣ аз рӯи формулаи зерин ҳисоб карда шуд:

$$CH_3O = \frac{D \cdot 100}{1,03 \cdot K \cdot L \cdot C_1} \quad (2.3)$$

дар ин ҷо D – зичии оптикӣ маҳлул дар 570 нм мебошад;

L – ғафсии кабати фурӯбаранда;

K – коэффитсиенти шартии фурӯбарӣ, ки $6,1 \text{ мл} \cdot \text{мг}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ баробар аст;

C_1 – консентратсияи пектин дар маҳлули ибтидоӣ, мг/мл;

$1,03$ – таносуби массаҳои молекулавии $M_{\text{CH}_3\text{OH}} / M_{\text{CH}_3\text{O}}$ [164].

2.5.5. Муайян кардани кислотаҳои уронӣ бо тарзи мета-гидроксидифенилӣ

Барои муайян кардани кислотаҳои уронӣ (галактуронӣ) бе қандҳои нейтралӣ, маҳлули стандартии тайёри КГ ё намунаи пектин бо консентратсияи 100 мкг/мл истифода мешавад. Пеш аз ҳал кардан, стандарти тайёр ё намуна бояд барои як шабонарӯз дар вакуум гузошта шавад. Ҳамагӣ дар як озмоиш бо 10 пробирка кор кардан мумкин аст. Барои тартиб додани қатъхатаи дараҷабандӣ, як қатор маҳлулҳо: 25%, 50%, 75%, 100% омода карда мешаванд [153]. Ба ин тартиб, ба пробирка 0,4 мл маҳлул гузошта, 40 мкл маҳлули 4 моляраи кислотаи сулфаминӣ илова карда мешавад. Пробиркаҳоро пӯшида ва омехта карда, сипас дар зарфи обиву ях гузошта, ба онҳо 2,5 мл маҳлули тетраборати натрий ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) дар кислотаи сулфат эҳтиёткорона илова карда мешавад. Пробиркаҳоро дар омехтаи хунукшуда ҷунбонданд ва дар ҳаммоми обии ҷӯшон 15 дақиқа гарм [153] менамоянд. Баъд аз ин, пробиркаҳоро дар зарфи обиву ях дар давоми 1 - 1,5 соат хунук мекунанд. Сипас, ба пробиркаҳо 80 мкл маҳлули 0,5%-и метагидроксидифенил илова карда шуд, барои 3 дақиқа гузошта мешавад ва баъд то пайдо шудани ранг омехта карда мешавад. Зичии оптикӣ дар дарозии мавҷи 525 нм чен карда мешавад (ранг дар давоми 13 дақиқа устувор аст). Микдори КГ аз рӯйи формулаи зерин ҳисоб карда шуд:

$$X = \frac{a \cdot V_2 \cdot V \cdot 100}{H \cdot V_3 \cdot V_1 \cdot 1000000} \quad (2.4)$$

дар ин ҷо, a – микдори КГ дар намуна, ки аз рӯйи қатъхатаи дараҷабандӣ ёфт шудааст, мкг;

H – массаи намуна, г;

V – ҳаҷми экстракт, ки аз намуна гирифта шудааст, мл;

V_1 – ҳаҷме, ки барои серобкунӣ гирифта шудааст, мл;

V_2 – ҳаҷме, ки пас аз серобкунӣ ба даст омадааст, мл;

V_3 – ҳаҷми маҳлул, ки барои рерасмия гирифта шудааст, мл;

100 – коэффисиенти ба фоиз табдилдиҳанда.

Тартиб додани қачхатаи дараҷабандӣ аз рӯи КГ бо истифода аз 3-гидрокси дифенил амалӣ карда шуд.

Маҳлули стандартӣ КГ бо тартиби зерин омода карда шуд: 110 мг КГ дар 100 мл об ҳал карда шуд ва то концентратсияи 100 мкг/мл сероб карда шуд. Барои калибровка тавассути серобкунӣ як қатор маҳлулҳо омода карда шуданд: 10%, 20%, 40%, 60%, 80% ва 100% [153]. Баъдан, таҷриба мувофиқи тарзи аввала гузаронида шуд. Дар асоси маълумоти бадастомада қачхатаи дараҷабандии КГ сохта шуд.

2.6. Тарзҳои хроматографияи таҳлили пектин

2.6.1. Таҳлили таркиби моносахаридии пектин

Таркиби моносахаридии пектин бо тарзи хроматографияи газӣ - моеъ муайян карда шуд [82, 164].

“Таҳлили миқдорӣ бо тарзи стандарти дохилӣ гузаронида шуд» [159]. Концентратсияи ҳар як ҷузъ (C_i) бо фоизи массавӣ аз рӯи формулаи зерин муайян карда шуд:

$$C_i = \frac{S_i \cdot f_i \cdot M_{st}}{S_{st} \cdot M_m} \cdot 100 \quad (2.5)$$

дар ин ҷо S_i – масоҳати қуллаи ҷузъи i -уми омехтаи таҳлилшаванда;

f_i – коэффисиенти нисбии ислоҳ, ки нисбат ба стандарт муайян карда мешавад;

S_{st} – масоҳати қуллаи стандарт;

M_{st}, M_m – массаҳои стандарти дохилӣ ва омехтаи таҳлилшавандаи мувофиқ.

2.6.2. Таҳлили таркиби моносахаридии пектин бо тарзи хроматографияи мубодилаи анионӣ бо детектори импулсии амперометрӣ

“Таҳлили моносахаридҳо бо тарзи хроматографияи баландсифати мубодилаи анионӣ бо детектори импулсии амперометрӣ (HPLC-PAD) пас аз метанолиз мувофиқи тартиби дар кори” [147] тасвиршуда, бо каме тағйирот

гузаронида шуд. Барои ин таҳлил, системаи Dionex ICS-3000 (Dionex Corp, Саннивейл, Калифорния, ИМА) истифода шуд, ки аз найчаи CarboPac PA-20 ва найчаи муҳофизатиро дар бар мегирифт ва бо суръати 0,5 мл/дақ кор мекард. Моносахаридҳои нейтралӣ ва туршӣ (кислотагӣ) бо истифода аз фазаи интиқолии зерин ҷудо карда шуданд: аввал 1 mM NaOH изократикӣ дар тӯли 15 дақиқа, сипас градиенти CH_3COONa аз 0 то 130 mM дар 100 mM NaOH дар тӯли 30 дақиқа гузаронида шуд. Найча бо 1,0 M CH_3COONa дар тӯли 0,8 дақиқа элюатсия карда шуд, пас аз он фазаи интиқоли пеш аз инъексияи навбатӣ ба 1 mM NaOH дар тӯли 30 дақиқа баргардонида шуд.

2.6.3. Таҳлили метилиронӣ барои муайян намудани бандҳои гликозидӣ дар полисахарид

Таҳлили метилиронӣ мувофиқи тарзи дар адабиёти [47] овардашуда бо каме тағйирот гузаронида шуд. Намунаҳо бо роҳи баркашидани 0,5 – 1 мг аз ҳар як полисахарид омода карда шуданд. Намунаҳо бо 400 мкл маҳлули метанолии 0,5 M HCl дар давоми 20 дақиқа дар ҳарорати 80 °C коркард карда шуданд, баъдан бо изопропанол хушконида шуданд. Сипас, онҳо дар давоми 3 соат дар ҳарорати хонагӣ бо истифода аз боргидриди натрий (NaBD_4) дар 100 mM NH_4OH барқарор карда шуданд. Маҳлули барқароркунандаи NaBD_4 бо кислотаи атсетат нейтрал гардонида шуд ва тавассути хушконида бо метанол дар атмосфераи N_2 хориҷ карда шуд. Перметилиронӣ тавассути ду давраи коркард бо маҳлули асосии NaOH (30 дақиқа) ва йодметан (45 дақиқа) анҷом дода шуд. Маҳлули метилиронӣ аз 100 мкл 50% NaOH омода карда шуд, сипас 200 мкл метанол илова карда шуд ва то омехташавии пурраи ҷузъҳо тақсон дода шуд. Баъдан 2 мл диметилсулфоксид (ДМСО) илова карда шуд, сипас маҳлул тақсон дода шуд ва то 5 маротиба барои хориҷ кардани таҳшини сафед, ки дар натиҷаи реаксияи NaOH бо ҳаво ҷамъ мешавад, аз фурсофкунак гузаронида шуд. Шираи болоии маҳлули метилиронӣ, ки дорои ДМСО буд, аз таҳшини сафед ҷудо карда шуд. Пас аз шустани ниҳой, ба таҳшини NaOH 2 мл ДМСО илова карда шуд ва маҳлул тақсон дода шуд. Ба ҳар як намуна 400 мкл маҳлули метилиронӣ илова карда шуд ва дар тӯли 30 дақиқа бо ултрасадо

коркард карда шуд. Сипас 100 мкл йодметан илова гардид ва намуна дар харорати хонагӣ дар тӯли 45 дақиқа омехта карда шуд. Барои таъмини метилиронии пурра, коркарди дуум бо ин маҳлул ва сипас бо йодметан гузаронида шуд. Пас аз коркарди намуна, маводи перметилиронидашуда бо истифода аз маҳлули 2 М кислотаи трифторатсетат (2 соат дар ампулаи муҳршуда дар 121 °C) гидролиз карда шуд, бо ёрии NaBD_4 дар 100 mM NH_4OH барқарор карда шуд ва бо истифода аз 250 мкл ангидриди атсетат ва кислотаи трифторатсетати консентронидашуда атсетилиронида шуд. Намуна дар чараёни нитроген хушконида шуд ва пеш аз ворид кардан ба ХГ-МС (хроматографияи газӣ - масс-спектрометрӣ) дар дихлорметан ҳал карда шуд. Таҳлили атсетатҳои алдитоли қисман метилиронидашуда дар хроматографияи газии Agilent 7890A, ки бо масс-спектрометри 5975C пайваست шудааст, гузаронида шуд; ҷудокунӣ дар найчаи капиллярии кварси ғудохташудаи Supelco 2331 (30 м x 0,25 мм ID) анҷом дода шуд. Шароити муфассал ва таҳлили метилиронии қандҳо дар кори [89] оварда шудааст.

2.6.4. Муайян кардани массаи молекулавии пектин бо тарзи хроматографияи моеии эксклюзионӣ

“Массаҳои молекулавии миёнаи вазнӣ (M_w), миёнаи ададӣ (M_n), миёнаи z -и (M_z) ва нишондиҳандаи полидисперсӣ (M_w/M_n) бо тарзи хроматографияи моеии эксклюзионии самаранокӣш баланд (ХМЭСБ) муайян карда шуданд” [155-158]. Намунаҳои хушки пектин (~2 мг/мл) дар фазаи интиқоли ($0,05 \text{ M NaNO}_3$) ҳал карда шуда, дар тӯли 30 дақиқа бо суръати 20 000 гардиш/дақиқа аз фурсофкунак гузаронида ва сипас тавассути филтри мембранӣ (Millex HV 0,22 мкм, Millipore Corp., ИМА) филтр карда шуданд. Суръати чараён 0,8 мл/дақиқа ва ҳаҷми воридшавӣ 100 мкл буд, ки бо ёрии барномаи Breez (Waters, ИМА) муқаррар карда шуд. Системаи интиқоли ҳалқунанда аз дегазатори вакуумии дучараёна (дуканал), насоси фишори баланд (Waters 1515 Isocratic Pump) ва автоинжектор (717 Plus AutoInjector, Waters) иборат буд. Барои ҷудо кардани пектин аз ду найча, ки дорои PL-Aquagel OH40 и PL-Aquagel OH60 [153] буданд, истифода шуд. Намунаҳо се маротиба такрор гузаронида шуданд.

Аёнияти фраксияи пектин аз найча пай дар пай бо ёрии детекторҳои ViscoStar (Wyatt Technology, ИМА) ва RI 2410 (Waters, ИМА) ошкор карда шуд. Баромадҳои электроники ҳар ду детектор ба шабакаҳои пайдарпайии алоҳидаи як компютер пайваस्त карда шуданд, то маълумот тавассути барномаи ASTRA 5.3.4.20 (Wyatt Technology, ИМА) ва Breez (Waters, ИМА) ҳамзамон ҷамъоварӣ ва коркард карда шавад. “Найчаҳо бо истифода аз силсилаи намунаҳои стандартии Pullulan (Showa Denko К. К., Чопон) бо қиматҳои M_w 788; 667; 404; 112; 47,3 ва 22,8 кДа мутаносибан танзими дақиқ (муқоиса бо эталон-калибровка) карда шуданд” [150].

Ифодаҳои M_w , M_n ва M_z барои пектин бо истифода аз дараҷабандии универсалӣ (бо дарназардошти ПБХ) дар барномаи ASTRA 5.3.4.20 (Wyatt Technology, ИМА) ба даст оварда шуданд. Ифодаи миёнаи афзоиши нишондиҳандаи шикасти нур (рефраксия) аз концентратсия (dn/dc) барои пектин вобаста аз манбаъи истхроҷ, ки ба 0,13-0,15 мл/г баробар аст аз адабиёт [86] гирифта шудааст.

2.7. Тарзҳои таҳқиқи хосиятҳои гидродинамикӣ

2.7.1. Муайян кардани хосияти часпакии хоси дохилӣ

Ба намунаи пектин миқдори ҳисобшудаи маҳлули 1%-и КС1 илова карда шуд ва тавассути омехтакунии бошиддат бо истифода аз омехтакунаки магнитӣ, он ҳал карда шуд. Миқдори ками боқимондаҳои ҳалнашаванда бо роҳи ғурсофкунак дар суръати ротор баробар ба 7000 гардиш/дақ ҷудо карда шуда, хушконида шуданд ва ҳангоми ҳисобкунии концентратсияи маҳлул ба назар гирифта шуданд. Андозагирии вақти ҷоришавии маҳлулҳои концентратсияи гуногун (аз 0,20 то 0,06 г/дл) дар вискозиметри Уббеллоде (вақти ҷоришавии ҳалкунанда 75 сония) дар ҳарорати 25 °С бо дақиқии 0,1 сония [153] гузаронида шуд. Аз рӯйи маълумоти бадастомада, “часпакии хоси дохилии нисбӣ вобаста ба концентратсияи маҳлул ҳисоб карда шуд ва тавассути экстраполятсияи параметри аввал ба концентратсияи сифрӣ, қимати часпакии хоси дохилӣ $[\eta]$ муайян карда шуд” [86].

Пектин дар маҳлули оби 1%-и KCl ҳал карда шуд ва аз филтри Шотти №2 гузаронида, филтр карда шуд. Часпакии хоси дохилӣ ($[\eta]$, дЛ/г) тавассути андозагирии вақти ҷоришавии маҳлулҳои концентратсияи гуногун мутобиқи тарзе, ки дар кори [86] оварда шудааст, муайян карда шуд.

2.7.2. Муайян кардани хосиятҳои гидродинамикии пектин

Хроматографияи намунаҳои пектин тавре, ки дар қисмати 2.6.4 тасвир шудааст, гузаронида шуд [153]. Барои муайян кардани параметрҳои гидродинамикӣ: часпакии хоси дохилӣ $[\eta]$ ва радиуси гидродинамикӣ $[R_h]$, маҳлулҳои оби пектин се маротиба ба дастгоҳ тибқи барномаи ASTRA 5.3.4.13 (Wyatt Technology) ворид карда шуданд ва дар ҳисобҳо қимати миёнаи полидисперсӣ (M_w/M_n , M_z/M_n), массаи миёнаи молекулавии ададӣ (M_n) [168], массаи миёнаи молекулавии вазнӣ (M_w) ва массаи миёнаи молекулавии z-миёна (M_z) [86] истифода шуданд. Тағйирёбии коэффисиенти шикасти нур вобаста ба концентратсияи полимер (dn/dc) дар маҳлули 50 mM NaNO₃ баробар ба 0,132 аз кори [11] гирифта шудааст. Ҳамин тавр, параметрҳои гидродинамикии пектин бо ёрии барномаи ASTRA муайян карда шуданд.

2. 8. Тарзҳои таҳқиқи таркиби полисахарид

2.8.1. Спектроскопияи инфрасурх (ИС)-и Фуре

Спектроскопияи ИС барои таҳлили гурӯҳҳои функционалии дар таркиби пектин [153] ба таври васеъ истифода мешавад. Барои таҳлили гурӯҳҳои функционалӣ пектине, ки аз манбаъҳои гуногун ба даст оварда шудааст, спектроскопияи инфрасурх бо табдилдиҳии Фуре (FT-IR Spectrum 65, Perkin Elmer, Швейтсария) бо истифода аз замиаи асбоби инъикоси пурраи дохилии ҳалалдоршуда (attenuated total reflection – ATR, приставка нарушенного полного внутреннего отражения - НПВО,) истифода шуд. Намунаи пектин дар ҳарорати 110 °C дар давоми 30 дақиқа хушконида шуд ва бо ёрии спектроскопияи ИС-Фуре таҳлил карда шуд.

“Намунаи пектинҳо дар шакли хушк дар ҳудуди дарозии мавҷҳои 400 - 4000 см⁻¹ бо 128 нусхабардорӣ ва дақиқии спектралӣ 2 см⁻¹” [82] ба қайд

гирифта шуд. Дастгоҳи назорати фишор тамоси хубро байни намуна ва кристалл таъмин мекард. Спектри муқоисавӣ дар ҳаво ба қайд гирифта шуд.

2.8.2. Спектроскопияи резонанси магнитии ядрой

Намунаи пектин дар маҳлули дейтерий (D_2O) бо иловаи кислотаи d_4 -триметилсилилпропан ҳамчун стандарти эталонии дохилӣ ҳал карда шуданд. Спектри онҳо дар спектрометри резонанси магнитии ядрой (РМЯ) -14 Tesla Agilent VNMRS (Санта-Клара, Калифорния) бо истифода аз зонди 5-мм OneNMR бо градиентҳои майдони импулсӣ дар меҳвари z, дар ҳарорати 25 - 80 °C ба даст оварда шуд. Дар спектрҳои РМЯ, сигналҳое, ки дар ду ҳарорат андозагирӣ шуданд, фарқиятҳои хеле кам ба назар намоёнро нишон доданд. Спектрҳои РМЯ-и якченакаи 1D- 1H бо кунҷи импулси 45°, таъхири релаксатсионии 1 с ва паҳноии спектрии 8 ppm бо истифода аз 32 ҳазор нуқта ва ба ҳисоби миёнаи 64 - 256 даври пай дар пай (дар речаи пуршавӣ) ба даст оварда шуданд. Спектрҳои 1D- ^{13}C бо кунҷи импулси 45°, таъхири релаксатсионии 0,2 с ва паҳноии спектрии 220 - 250 м.д. бо истифода аз ҷудокунии протонҳо дар тамоми дарозӣ, 32 ҳазор нуқтаи додаҳо ва ба ҳисоби миёнаи зиёда аз 30000-100000 даври пайдарпай ба даст оварда шуданд [153]. “Ҳамаи спектрҳои РМЯ-и 1D бо истифода аз пойгоҳи додаҳои китобхонаи MestReNova оварда шуда” [85] таҳлил карда шуданд.

Дар таҷрибаи zTOCSY (Zero-quantum Total Correlation Spectroscopy – коррелятсияи кули нул-квантӣ), вақти омехтакунии 100 мс буд. Таҷрибаҳои коррелятсияи гетероядроии дученака HSQC (Heteronuclear Single Quantum Coherence - коррелятсияи когерентии танҳой-квантӣ), HSQC-TOCSY (спектрҳои якҷояи коррелятсионии квантӣ) ва HMBC (Heteronuclear Multiple Bond Correlation – коррелятсияи бандҳои ҳархелаи гуногуни ядрой) бо градиент тақвият дода шуданд ва импулсҳои адиабатиро истифода бурданд. “Ин спектрҳо дар андозагирии муайянкунии мустақим (1H) паҳноии спектралии 8 ppm ва дар андозагирии муайянкунии ғайримустақим (^{13}C) 201 ppm доштанд. Онҳо бо кунҷҳои импулси 90° ба даст оварда шуда, ба ҳисоби миёнаи 96 даври пайдарпай ва 2 ҳазор нуқта дар андозагирии муайянкунии мустақим истифода

шуданд. Дар таҷрибаҳои HSQC-TOCSY, вақти омехтакунии (t^2) 100 мс-ро ташкил дод ва се таҷрибаи HMBC бо константаҳои таъсири мутақобилаи 8, 10 ва 12 Хс (Хертс) гузаронида шуданд” [89]. “Ҳамаи спектрҳои 2D бо барномаи VNMRJ (Санта-Клара, Калифорния, ИМА) коркард карда шуданд ва бо Sparky” [36] визуализатсия (ба тасвир дароварда) шуданд [89].

2.8.3. Спектроскопияи ултрабунафш (УБ)

“Маҳлулҳои сафедаҳои стандартӣ дар се марҳилаҳои такрорӣ (концентратсияи 0,5 мг/мл) тайёр карда шуданд. Маводи пероксидаза дар буфери атсетатӣ (pH 5), албумини тухм ва лизотсим – дар буфери фосфатӣ (pH 7,9) ва сафедаҳои боқимонда – дар об ҳал карда шуданд” [140].

Зичии оптикӣ маҳлулҳо дар спектрофотометри UV 1 Thermo Spectronic (Англия) дар кюветаи 1 см бо истифода аз барномаи андозагирӣ, ки аз се блок аз рӯйи қиматҳои дарозии мавҷҳои ултрабунафш (235, 260 ва 280 нм) иборат буд, муайян карда шуд. Ҳисобкунии концентратсияи сафеда ва коркарди омории маълумот дар компютер бо барномаи таҳияшуда гузаронида шуд.

Концентратсияи сафеда (мг/мл) аз рӯйи қиматҳои зичии оптикӣ дар дарозии мавҷҳои 260 ва 280 нм бо формулаи [2.6] ва дар дарозии мавҷҳои 235 ва 280 нм – бо формулаи [2.7] ҳисоб карда шуданд [153].

$$C = 1,45D_{280} - 0,74D_{260} \quad (2.6)$$

$$C = (D_{235} - D_{280}) / 2,51 \quad (2.7)$$

2.9. Тарзҳои хроматографӣ

2.9.1. Муайян кардани массаи молекулавии сафедаҳо бо тарзи электрофоретикӣ

Яке аз тарзҳои ба қадри кофӣ иттилоотӣ барои таҳлили таркиби сафедаи зардоби шир ин электрофорези гели дар полиакриламид (ГПАА) мебошад. “Таркиби сифатӣ ва массаи молекулавии зеини ҷуворимакка ва инчунин сафедаҳои зардоби шир бо тарзи электрофорези амудӣ” [135] дар ГПАА-и градиентӣ (4 - 14%), ки дорои додетсилсулфати натрий (SDS-Na), pH=8,3 буд, омӯхта шуд. Системаи мини-электрофоретикии истифодашудаи ширкати

SIGMA (ИМА) натиҷаҳои ба таври назаррас беҳтарро ба роҳ монда, имкон медиҳад, ки миқдори зиёди фраксияи сафедаи зардоби шир, аз ҷумла ҷузъҳои хурд, муайян карда шаванд, тасвири умумии спектри сафедагӣ баҳо дода шавад ва массаҳои молекулавии сафедаҳо муайян карда шаванд.

Массаҳои молекулавии сафедаҳо аз рӯйи графикаи дараҷабандӣ муайян карда шуданд, ки он вобаста ба ҳаракатнокии сафедаҳои стандартӣ (эталонӣ)-и ширкати SIGMA сохта шудааст.

Барои ҷудокунии электрофоретикии зеини ҷуворимакка аз гели ҷудокунандаи 14% ва гели консентронидани 4% истифода шуд. Ҳамчун буфери электродӣ буфери 0,025 М трис-глитсинӣ ($pH=8,3$) истифода шуд. Намунаҳо дар буфере, ки дорои 0,44 М трис-ОН, 0,1% мМЕДТА, 10% SDS-На ва 20% β -меркаптоэтанол буд, ҳал карда шуданд. Электрофорез дар шиддати 120 V дар давоми 16 - 20 соат гузаронида шуд. Гел дар маҳлули 0,25% Кумасси G-250 ранг карда шуд, замина аз ранги изофагӣ бо об шуста шуд ва дар байни қабатҳои селлофан хушконида шуд.

2.9.2. Ҷудокунии пектин ба ҳиссаҳо дар ДЭАЭ-селлюлоза

Маҳлулҳои гидролизати пектинӣ аз боқимондаи фишурда бо роҳи филтрукунӣ ҷудо карда шуданд, сипас дар зарфҳо бо ях хунук карда шуда, то $pH=3,4$ нейтрал карда шуданд. Моеи болоии таҳшин (фраксияи F1) ва таҳшини боқимонда – микрогел (F2) – бо роҳи фурсофкунӣ (6000 g, 60 дақ) ҷудо карда шуданд. Маҳлули F1 ба ультрафилтратсия дар мембранаи PS 100 бо буриши массаи молекулавӣ 100 kDa бо тарзи диультрафилтратсия (ДУФ) бо истифода аз системаҳои ДУФ (KrosFlo, ИМА) барои ҷудокунӣ ва консентронидани полисахаридҳо коркарда шуд. Полисахарид дар маҳлул бо спирт таҳшин карда шуд, ки боиси ба даст овардани фраксияи пектинӣ (F1AP, масалан, барои пектини аз зардолу [89]), ки 5,12% аз массаи хушки зардолуро ташкил медиҳад, гардид. Фраксияи дар спирт ҳалшаванда дар бугрондихандаи роторӣ ғилзат карда шуд, ки боиси ба даст овардани маҳлули олигосахаридҳо ва полифенолҳо (F1AO) [89] гардид.

Намунаҳои полисахаридҳо (F1AP) дар оби дистиллятсияшуда ҳал карда шуданд ва аз ғурсофкунак гузаронида шуд. Сипас, супернатант (моеи болоии таҳшин) барои тозакунии тунук бо мақсадҳои таҳлилӣ, тавре ки дар қори [85] тасвир шудааст, лиофилизатсия карда шуд. Полисахаридҳои пектини минбаъд бо тарзи хроматографияи ивазкунандаи анионӣ ҳиссабандӣ карда шуданд, ки онҳо бо истифода аз найчаи ДЭАЭ-сефароза истифода карда шуд.

2.10. Таҳлили оморӣ

Натиҷаҳои тадқиқот дар шакли қиматҳои миёна бо нишон додани фосилаи стандартӣ ифода ёфтаанд. Коркарди омории маълумот бо истифода аз t-критерияи Стюденти ҷуфтшуда ва ғайриҷуфтшуда, инчунин таҳлили дисперсионӣ (ANOVA) барои қиматҳои фарқиятҳои байни гурӯҳҳо гузаронида шуд. Қимати $P < 0,05$ аз ҷиҳати оморӣ, дар ҳама озмоишҳо, муҳим ҳисобида шуд.

**БОБИ 3. ТАЪСИРИ ТАРЗҲОИ ҶУДОКУНӢ ВА ТОЗАКУНИИ
ГИДРОЛИЗАТИ ПЕКТИНӢ БА ПАРАМЕТРҲОИ МОЛЕКУЛАВИИ
ПЕКТИН**

**3.1. Ҷудокунӣ, тозакунӣ ва тавсифи намунаҳои пектинӣ аз партовҳои
мевагӣ**

То ҳол экстраксияи полисахаридҳо дар саноат ва таҳқиқот, асосан, “дар муҳити турш дар ҳароратҳои баланд ва вақти тӯлонии гидролиз гузаронида мешавад, дар ҳоле ки дар экстрактҳо (гидролизатҳо) ҳамеша миқдори муайяни моддаҳои фаъоли биологӣ низ мавҷуд аст. Тадқиқотҳои қаблӣ нишон доданд, ки параметрҳои маҳлули беруна ҳангоми гидролиз-экстраксияи пектин ба сохтор ва фаъолияти биологии онҳо таъсири назаррас расонидаанд” [5, 76, 97, 130]. Истифодаи пектин дар бисёр соҳаҳои дигари саноати хӯрокворӣ ва фармасевтӣ бештар шуда истодааст, масалан, ҳангоми омода сохтани интиқолдиҳандагони доруворӣ, рӯйпӯшҳо, компонентҳои хӯрокворӣ ва плёнкаҳо [3, 20, 78, 97, 98, 139, 145, 146, 161, 162, 164, 166], ивазкунандаҳои қоғаз, маводи кафкрӯянда ва ғайра [78, 130, 145, 149, 167]. Аз сабаби истифодабарии васеи пектин дар самтҳои “гуногун, зарурати шадид ба омӯзиши дигар манбаъҳои ғайрианъанавӣ ё модификатсияи манбаъҳои мавҷуда барои ба даст овардани пектин бо сифати дилхоҳ тавассути модификатсияи оқилонаи пектин бо ёрии коркарди химиявӣ ва ферментативӣ” [153] вучуд дорад.

3.1.1. Гидролиз-экстраксияи пектин бо тарзи фаврӣ

Экстраксияи пектин бо тарзи фаврӣ (ТФ) гидролиз-экстраксия дар автоклав зери фишор дар муддати кӯтоҳ, мутобиқи тарзи дар патенти [168] оварда, гузаронида шуд (акси 3.1). “Гидролиз-экстраксияи пектин дар ҳарорати мутобиқ (110 - 140 °C) ва фишори 1,2 - 1,5 атм. дар давоми 3 - 10 дақиқа дар муҳити пасти pH -и маҳлул гузаронида мешавад. Барои муқоисаи сифати пектин, гидролиз-экстраксия инчунин бо тарзи анъанавӣ (ТА), мутаносибан барои ҳар як намуди ашёи хом” [48, 84, 153] гузаронида шуд. Гидролизати пектинӣ бо истифода аз маводи филтркунанда соф карда мешавад. Экстракти

ҳосилшуда хунук карда, то $pH=3,5$ нейтрал карда мешавад ва аз он микрогел (МГ) бо фурсофкунак дар суръати 4000 - 5000 гардиш/дақ чудо карда мешавад.



Акси 3.1. - Тачҳизот барои гидролизи фаврии пектин

Ҳамчун ашёи хоми пектиндор фишурдаи себи навъҳои сурхи ноҳияҳои Муъминобод (СМ) ва Файзобод (СФ), Бх, Зд, Шф, ПЛ, Рв, Кд ва СО истифода шуданд [84, 155-162].

Дар ҷадвали 3.1 қиматҳои ададии ҳосили фраксияҳо аз ашёи хоми гуногун, вобаста ба тарзи гузаронидани гидролиз–экстраксия оварда шудаанд. Миқдори умумии МГ, пектин ва ОС (олигосахаридҳо) барои ҳар як давомнокии муайяни реаксияи гидролиз–экстраксия таркиби матритсаи полисахаридӣ (МП)-ро ташкил медиҳад, ки дар ин муддат таъзия [153] мешавад.

Барои ҳамаи намудҳои ашёи хом, “таъзияи умумии МП ҳангоми гидролизи фаврӣ (фаврӣ-гидролиз) аз нишондиҳандаи ҳамин монанд, ки бо ТА ба даст оварда шудааст, ба таври назаррас зиёдтар мебошад. Дар натиҷаи ин, миқдори ОС вобастагии баръакс дорад. Қиматҳои ададии ҳосили пектин ва ОС ҳангоми истифодаи экстраксияи фаврӣ ба таври назаррас меафзояд, ба истиснои ревоҷи кӯҳӣ (ҷадвали 3.1). Барои ин намуди ашёи хом, баромади баландтари ОС ҳангоми тарзи анъанавӣ хос аст” [153].

Дар айни замон, баромади пектин аз поя [153] ва барги ревоҷи кӯҳӣ дар раванди ТФ баландтар аст. Ҳамзамон, таъзияи умумии ПМ чи дар ТА ва чи дар ТФ қариб бетағйир боқӣ мемонад [84, 153].

Чадвали 3.1. - Баромади фраксияи пектинҳо, тавсифи онҳо, миқдори МГ ва ОС аз ашёи хоми гуногун вобаста ба тарзи ҳосилшавӣ

Баромади фраксияи пектин ва тавсифи онҳо								
Манбаи ашёи хом	Пектин ва миқдори КГ дар онҳо (%)						ОС	
	ТА	КГ, %	ДЭ, %	ТФ	КГ, %	ДЭ, %	ТА	ТФ
СМ	14,25	70,0	52,0	23,60	71,2	52,2	24,65	28,00
СФ	22,00	49,8	71,6	22,37	50,4	68,6	20,60	31,87
Бҳ	11,40	66,0	58,2	12,40	67,2	57,1	25,90	56,50
Зд	4,86	66,0	54,6	7,05	67,2	52,8	37,92	69,19
ПЛ	19,00	72,2	76,7	20,06	74,4	74,4	23,80	45,84
Рв	12,36	81,6	50,5	17,50	84,3	51,2	35,03	29,32
Шф	6,49	65,3	94,9	7,20	66,0	94,8	37,85	43,36
Кд	2,24	64,8	48,7	3,77	71,5	46,8	73,71	76,92
СО	10,20	74,0	26,6	24,68	76,0	32,0	13,40	7,50

Ин далел эҳтимолан, ба хусусияти сохти девори ҳуҷайраи ашёи хоми рустанӣ вобаста аст. Барои ҳамаи намудҳои ашёи хоми рустанӣ, ба истиснои фишурдаи себи сурхи Муъминобод, баромади МГ ҳангоми гузаронидани гидролиз–экстраксия дар автоклав ба таври назаррас баландтар аст [57, 150, 155]. Бо эҳтимоли зиёд ин навъи себ бо сохти султари девори ҳуҷайра фарқ мекунад, яъне робитаи ПМ бо гемиселлюлозаҳои девори ҳуҷайра нисбат ба дигар намудҳои ашёи хом заифтар мебошад. Таҳти таъсири ҳарорати баланд ва фишор, полимери шабакавӣ – МГ аз ашёи хом ба маҳлули гидролизат диффузия карда, таҷзия (деградатсия) шуда, ба пектин табдил меёбад [57, 158, 159]. Дурустии ин фарзияро афзоиши яқбораи ҳосили пектин аз СФ ҳангоми истифодаи тарзи инноватсионӣ тасдиқ мекунад.

3.1.2. Массай молекулавӣ ва хосиятҳои гидродинамикии пектини пайдоишашон гуногун

“Миқдори ГК, ДЭ он ва массай молекулавӣ – омилҳои муҳимтарин, ки сифати пектиро муайян мекунанд [25, 82, 84, 86], аз ин рӯ, ба танзими онҳо

бояд таваҷҷуҳи махсус дода шавад. Чунон ки маълум аст [86, 153], таъсири ҳарорат ва фишори баланд аксар вақт ба коҳиши массаи молекулавӣ оварда мерасонад, аммо истифодаи ТФ дар муддати кӯтоҳ, баръакс, ин параметрро нисбат ба пектинҳои” [153], ки бо ТА ба даст оварда шудаанд, то андозае зиёд мекунад, дар ҳоле ки ба қимати ДЭ (ҷадвали 3.1) амалан таъсир намерасонад [150, 155].

Ҷадвали 3.2. - Таъсифи муқоисавии молекулаҳои пектини аз манбаъҳои гуногун ҳосилшуда, ки бо тарзҳои гидролизи анъанавӣ ва фаврӣ ба даст оварда шудаанд

Ашёи хом	$M_w \cdot e^{-3}$, КД		M_w/M_n		$M_z \cdot e^{-3}$, КД		МГ, %	
	ТА	ТФ	ТА	ТФ	ТА	ТФ	ТА	ТФ
СМ	134,00	309,40	3,80	9,50	1133	4473	23,50	20,00
СФ	120,00	92,50	5,60	4,50	4743	1558	36,50	18,50
Бҳ	176,00	112,40	4,35	2,80	7309	613	25,00	8,50
Зд	114,50	718,00	4,70	10,90	755	12500	18,50	8,50
ПЛ	107,80	82,29	2,89	9,31	267	387	18,50	16,00
Рв	268,00	114,00	4,80	2,30	1479	338	26,50	49,00
Шф	243,80	65,50	6,30	3,07	2103	145	14,50	23,00
Кд	673,90	999,70	1,93	2,74	2069	4112	17,70	40,00
СО	142,40	181,00	3,22	5,00	1793	1374	40,00	33,50

Маълумотҳое, ки дар ҷадвалҳои 3.1 ва 3.2 оварда шудаанд, хусусиятҳои раванди гидролизи ПМ-и ашёи хоми гуногуни рустаниро ба таври возеҳ нишон медиҳанд. Аз ҷумла, намунаҳои пектинӣ, ки аз СМ, Зд ва Кд бо ТФ гирифта шудаанд, ба ҳарорати баланд тобовар буда, дар муқоиса бо намунаҳои шабеҳе, ки бо тарзи анъанавӣ гирифта шудаанд, бо қимати калони массаи молекулавӣ фарқ мекунанд [150].

Массаи молекулавии пектинҳо, нишондиҳандаи полидисперсӣ (M_w/M_n) ва миқдори фраксияи агрегатсияшуда дар пектинҳо дар ҷадвали 3.2 нишон дода шудаанд.

Дар пектинҳои омӯхташуда аномалияҳои мушоҳида мешаванд, ки бо ҳолати агрегатии макромолекулаҳо (миқдори МГ) алоқаманданд. Чи хеле ки дида мешавад, “ҳар қадар қимати M_z -и пектин зиёд бошад, ҳамон қадар

молекулаҳои он ба агрегатсия бештар майл доранд, ба истиснои пектини ПЛ. Эҳтимол дорад, ки ин далел бо хусусиятҳои сохти молекулаи пектин шарҳ дода шавад” [150].

Ин тадқиқот афзалияти татбиқи тарзи ғавриро барои гидролиз-экстраксия нишон дод. “Ҳосилкунии пектин бо истифода аз ин тарз ба афзоиши назарраси ҳосили маҳсулоти мақсаднок оварда мерасонад, ки ба сифати пектинҳо, ММ ва ТММ таъсири мусбат мерасонад. Истифодаи тарзи инноватсионӣ имкон медиҳад, ки гидролиз-экстраксияи ҳама гуна ашёи хом гузаронида шавад, дар ҳоле ки аз таъсири дарозмуддати ҳарорати баланд ва муҳити агрессивӣ бе тағйир додани нишондиҳандаҳои технологии гидролиз-экстраксия канорагирӣ карда мешавад. Ин имкон медиҳад, ки равандҳои энергетикӣ ва гаронарзиш дар истеҳсоли пектин коҳиш дода шаванд. Пектине, ки мутобиқи параметрҳои тарзи пешниҳодшуда – гидролиз-экстраксияи фазаи сахт дар речаи автоклавӣ – ба даст оварда шудаанд, дорои қиматҳои баланди ММ, миқдори КГ ва ДЭ-и оптималӣ мебошанд. Илова бар ин, пектини ҳосилшуда дорои тақсимоли маҳдуд аз рӯйи массаи молекулавӣ (коэффисиентҳои пасти полидисперсӣ) ва камтар агрегатсияшуда (микрогели камтар доранд)” [153] мебошанд.

Ҳамин тариқ, “тарзи пешниҳодшуда имкон медиҳад, ки пектин бо параметрҳои оптималӣ аз рӯйи ММ, миқдори КГ ва ДЭ ба даст оварда шавад. Технологиҳои таҳияшуда имкон медиҳад, ки ҳама намуди ашёи хоми рустаниҳои дорои пектин коркард карда шавад” [154-162, 168] “ва инчунин дорои як қатор афзалиятҳо дар муқоиса бо сатҳи мавҷудаи техникӣ аз ҷиҳати содагӣ ва экологӣ тоза будани истеҳсолот мебошад, ки имконияти истифодаи онро дар соҳаҳои гуногуни саноати хӯрокворӣ ва фармасевтӣ” [153] фароҳам меорад. Дар баробари ин, донишҳои параметрҳои асосии пектин – миқдори КГ ва ДЭ, ММ ва ТММ – параметрҳои муҳим мебошанд, ки сифати пектинро муайян мекунанд.

3.2. Таъсири тарзи тозакунии ба баромад ва сифати пектин

Намунаҳои пектин, дар мисоли пектини себи Файзобод (ПСФ), бо роҳи ТС бо таносуби маҳлули пектин ва спирт: 1:1, 1:2 ва 1:3, инчунин бо тарзи ДУФ як, ду ва секарата тоза карда шуданд ва барои микдори КГ ва ДЭ таҳлил карда шуданд [82].



Акси 3.2. - Системаи дастгоҳи УФ (Krossflo, Spectrum Labs.com, USA)

Дастгоҳ барои раванди ДУФ (акси 3.2) аз насоси сиркулятсионӣ, мембранаи УФ, зарфҳо барои маҳлул ва филтрат ва системаи идоракунии ДУФ иборат аст.

Дар ҷадвали 3.3 инчунин маълумот дар бораи микдори КГ ва ДЭ-и пектин оварда шудааст. Аз маълумоти ҷадвали 3.3 дида мешавад, ки баромади пектин ба таври мутаносиб бо афзоиши таносуби маҳлули гидролизат ба таҳшинкунанда (спирти этил) меафзояд ва худтаҳшиншавии фраксияи пастмолекулавӣ дар таркиби гели пектинӣ ба амал меояд [150].

Ин боиси камшавии микдори ҷузъи асосии пектин – фраксияи НГ мегардад. Бараъакс, бо афзоиши такрории ДУФ қимати баромади пектин коҳиш меёбад, зеро ҷудошавӣ ва филтратсияи ҷузъҳои пастмолекулавӣ (қандҳо,

Чадвали 3.3. - Баромади пектин ва фраксияи агрегатсияшуда (микрогел – МГ), миқдори кислотаи галактуронӣ (КГ) ва дараҷаи этерификацияи онҳо (ДЭ)

Тарзи тозакунии	Баромади пектин	КГ, %	ДЭ, %	МГ, %
ПСФ-130-5 ТС (1:1)	13,5	69,2	80,4	15,4
ПСФ -130-5 ТС (1:2)	15,7	67,5	81,3	17,4
ПСФ -130-5 ТС (1:3)	20,4	63,8	80,8	22,1
ПСФ -130-5 ДУФ1 (1:1)	12,0	67,2	82,4	12,6
ПСФ -130-5 ДУФ1 (1:2)	13,6	70,2	81,3	17,6
ПСФ -130-5 ДУФ1 (1:3)	17,4	65,8	80,4	34,5
ПСФ -130-5 ДУФ2 (1:1)	10,3	68,6	81,4	22,1
ПСФ -130-5 ДУФ2 (1:2)	12,8	71,5	82,3	19,0
ПСФ -130-5 ДУФ2 (1:3)	15,5	70,2	81,0	21,4

олигосахаридҳо, сафедаҳо, моддаҳои полифенолӣ ва дигар пайвастиҳои минералӣ) ба амал меояд.

Ин боиси афзоиши назарраси субдомени НГ мегардад, ки ба хосиятҳои функционалӣ ва сифати пектин – гелхосилкунанда таъсир мерасонанд [150, 155].

3.3. Таъсири тарзи тозакунии гидролизати пектин ба массаи молекулавӣ ва тақсими массаи молекулавии пектин

“Бисёрфункционалии полисахаридҳои пектинӣ бо гуногуншаклии таркиби ин полимерҳои ДХ алоқаманд аст” [153]. Аз лиҳози таркибӣ, полимерҳои пектин гетерополисахаридҳо мебошанд, ки асосан аз се зербахши гуногун иборатанд: НГ, RG I ва RG II. Зербахши хаттии НГ аз боқимондаҳои кислотаҳои КГ, ки бо банди α -1,4-пайваст шудаанд, иборат аст ва гурӯҳҳои карбоксилҳои пектин метавонанд дар ҳалқаи пиранозии C6 метилэтерификация шаванд. RG I аз воҳидҳои такрории дисахаридии [$\rightarrow\alpha$ -D-GalpA-1,2- α -L-Rhap-1,4 $\rightarrow$] иборат аст, ки дар боқимондаҳои рамноза бо занҷирҳои паҳлӯии гетерогенӣ, ки аз боқимондаҳои галактоза, арабиноза ва ксилоза иборатанд, иваз шудаанд. “Қисмати RG II шохабандии мураккабтар дорад, ки аз 12 намуди гуногуни боқимондаҳои гликозӣ иборат аст ва дар таркиби он аз ҳафт то нӯх боқимондаи КГ пайваст шудаанд” [12, 86, 113, 133, 139, 146,].

Манбаъҳои асосии пектини тичоратӣ меваҳои ситрусӣ, себ ва маҳсулоти иловагӣ мебошанд, ки пас аз коркарди онҳо ба вучуд меоянд, аз ҷумла пӯсти меваҳои ситрусӣ ва меваҳои фишурдаи себ. “Манбаъҳои алтернативии ҳосилкунии пектин инҳоянд: пӯсти какао, сабадҳои офтобпараст, лаблабуи қанд, каду, тарбуз, нок ва лундаҳои картошка” [48, 91, 153]. “Меваҳои фишурдаи себ тақрибан 10 - 15% ва пӯсти меваҳои ситрусӣ тақрибан 20 - 30% пектин доранд (ҳарду ба моддаи хушк ҳисоб карда мешаванд), дар ҳоле ки дар боқимондаҳои сабадҳои офтобпараст ва лаблабуи қанд тақрибан 10 - 20% пектин (ба вазни хушк ҳисоб карда мешавад) мавҷуд аст” [3, 84, 97, 139, 146].

Хусусиятҳои физикӣ-химиявӣ, ба монанди pH , ҳарорат, консентратсияи ионҳо ва мавҷудияти намакҳо, ҳам ба баромади пектин ҳангоми гидролиз-экстраксия ва ҳам ба сохт ва қобилияти гелофарии он таъсири бевосита мерасонанд. “Хусусиятҳои химиявӣ ва сохти ин полисахарид, махсусан M_w ва ТММ, ба он имкон медиҳанд, ки бо доираи васеи молекулаҳо таъсир кунад, ки имкон медиҳад матритсаҳои композитсионии навро барои интиқоли мақсаднок (назоратшавандаи) молекулаҳои табобатӣ, генҳо ё ҳуҷайраҳо ташаккул додан муяссар мегардад” [3, 20, 24, 61, 97, 98, 109, 139]. “Хусусиятҳои пребиотикии пектин ҳамчун нахҳои хӯрокворӣ ба бисёре аз талаботи меъёрие мувофиқат мекунанд, ки дар тиб ва саноати фармасевтӣ истифода мешаванд” [76, 78, 89, 130, 145, 161, 162].

Функционалии полисахаридҳо аз ММ ва ҳолати гидродинамикии онҳо дар маҳлул вобастагии калон дорад. Тавсифи пектин дар ин замина аҳамияти муҳим дорад, зеро он эҳтимолан метавонад дар истеҳсоли маҳсулоти саноатӣ истифода шавад.

“Мақсади ин қисми кор – таҳқиқи таъсири тарзи тозакунии маҳлули гидролизати пектинӣ пас аз экстраксияи фишурдаи меваҳои себ ба ММ ва хусусиятҳои гидродинамикии пектин дар маҳлул” [153] мебошад.

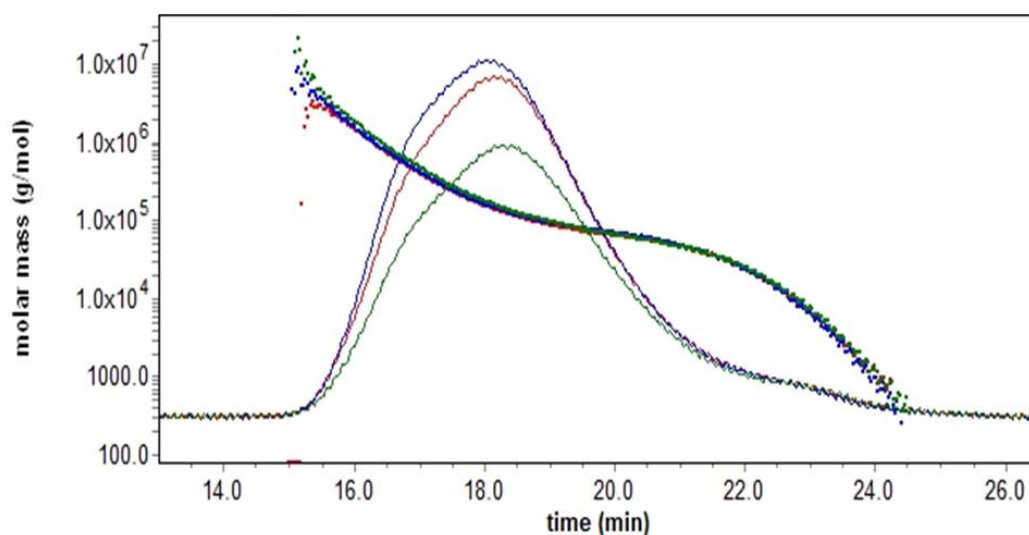
M_w ва ТММ намунаҳои пектин тавассути ХМЭСБ таҳлил карда шуданд, ки бо истифода аз системаи интиқоли фишори баланд (Waters, ИМА), дегазатори дарунсохтаи вакуумии 2-канала, ки пай дар пай бо вискозиметри

дифференсиалии модели ViscoStar (Wyatt Technology, ИМА), рефрактометри дифференсиалӣ (RI 2410, Waters, ИМА), ду найчаи эксклюзионии PL-Aquagel OH-60 ва OH-40 ва системаи худкори воридкунии намуна (717 Plus Auto Injector, Waters) пайваст карда шуда буд, тавре ки дар акси 3.3 тасвир шудааст [155-159].



Акси 3.3. - Системаи хроматографияи моеии эксклюзионии баландсифат (ХМЭСБ)

Дар расми 3.1. хроматограммаҳои ХМЭСБ ва қачхатаҳои ТММ-и пектини себ пешниҳод шудаанд, ки бо ТФ-и гидролиз-экстраксия дар ҳарорати 130 °C дар давоми 5 дақиқа ба даст оварда шуда, бо тарзи ТС дар таносубҳои гуногуни маҳлули гидролизати пектинӣ ва спирт тоза карда шудаанд.

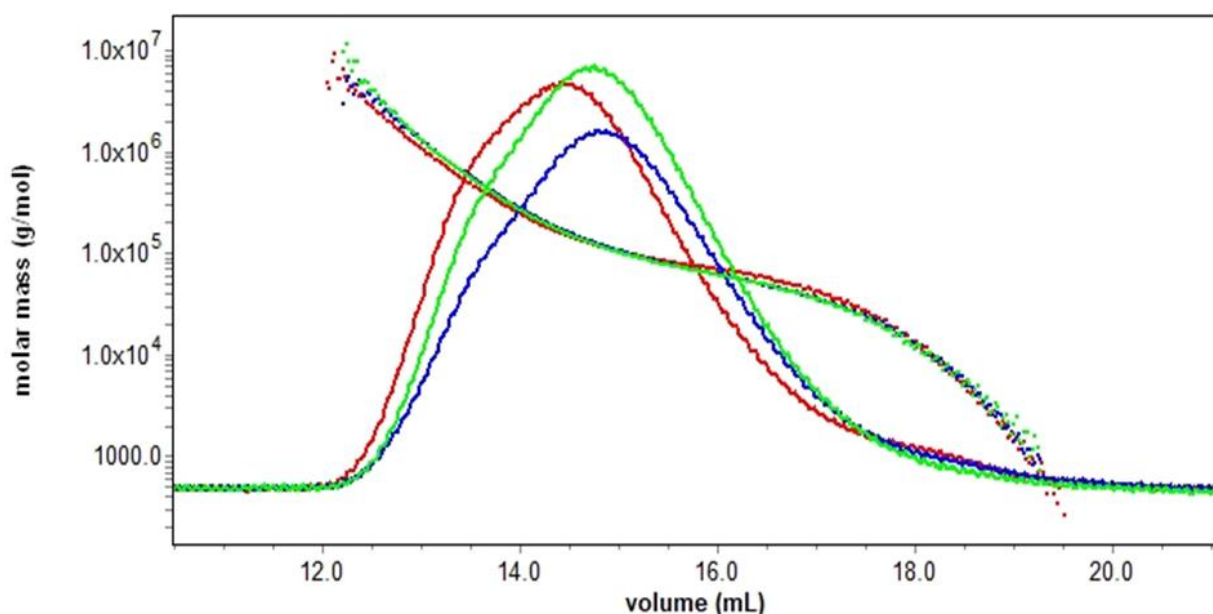


Расм 3.1. - Хроматограммаҳои ХМЭСБ ва қачхатаҳои ТММ -и пектини себ, ки бо тарзи фаврӣ дар ҳарорати 130 °C дар давоми 5 дақиқа ба даст оварда шуда, бо тарзи ТС тоза карда шудаанд: 1. ПСФ 130-5 (1:1); 2. ПСФ 130-5 (1:2) ва 3. ПСФ 130-5 (1:3)

Ҳама намунаҳо дар ҳудуди ҳаҷми озод/умумии найчаи хроматографӣ элюатсия шуданд. Барои ҳамаи намунаҳо дар ҳаҷми 12,5 - 18 мл як қуллаи

васеъ ба назар мерасад. Аз қачхатаҳои ТММ аён аст, ки фарқияти массаи молекулавӣ ва тақсимои онҳо барои ҳар як намунаи пектин хеле ночиз аст (расми 3.1).

Ҳолати монанд аз хроматограммаи намунаҳои пектин мушоҳида мешавад, ки бо тарзи фаврӣ дар ҳарорати 130 °C дар давоми панҷ дақиқа бо як, ду ва се давраи тозакунии ДУФ ба даст оварда шудаанд (расми 3.2).



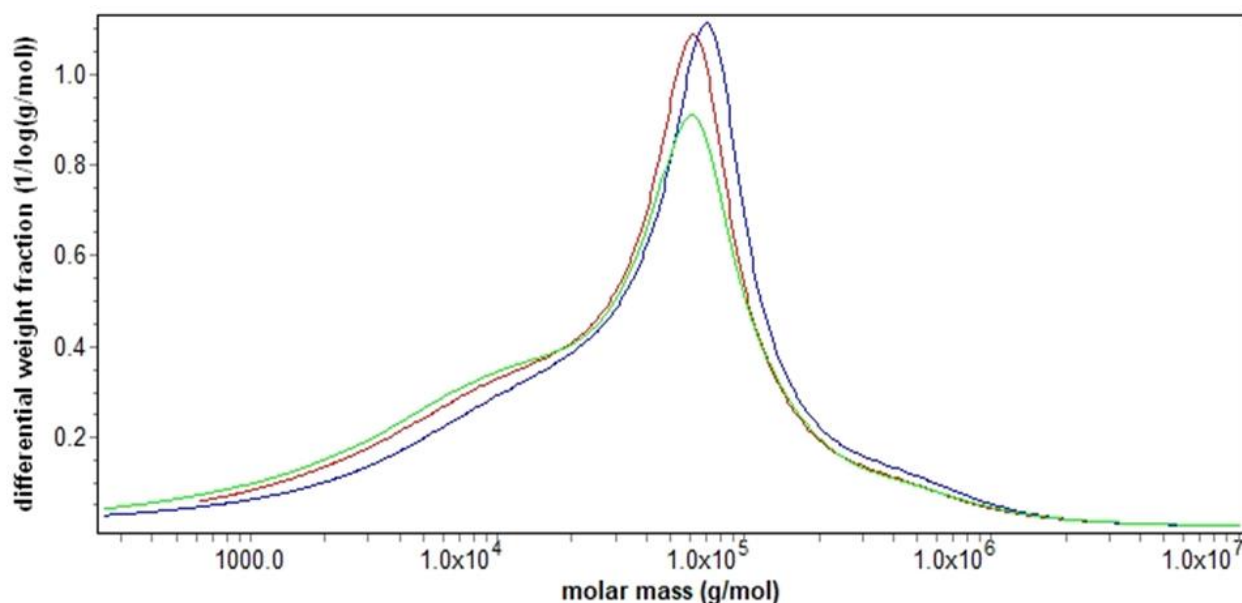
Расми 3.2. - Хроматограммаҳои ХМЭСБ ва қачхатаҳои ТММ-и пектини себ, ки бо тарзи фаврӣ дар ҳарорати 130 °C дар давоми 5 дақиқа ба даст оварда шуда, бо тарзи ДУФ тоза карда шудаанд: 1. ПСФ 130-5 СО 1:2; 2. ПСФ 130-5 ДУФ1 ва 3. ПСФ 130-5 ДУФ2

Профили хроматографияи ХМЭСБ -и намунаҳои пектин, ки бо ҳарду тарзи тозакунии ба даст оварда шудаанд, тақсимои мономодалӣ ва нисбатан васеи (10 – 1000 кДа) массаи молекулавиро нишон медиҳанд [150, 155].

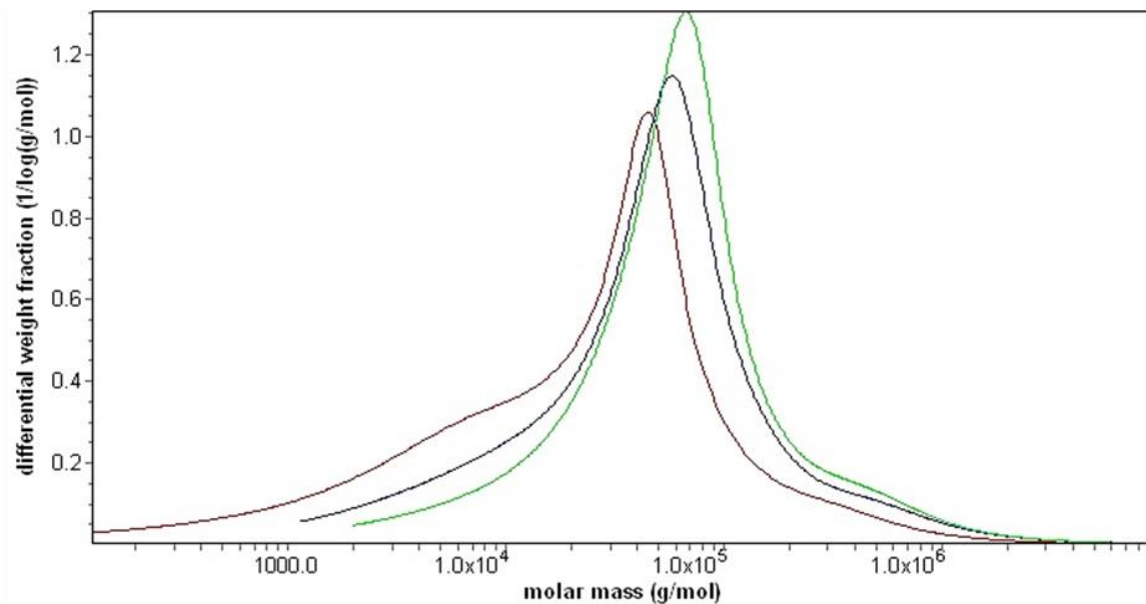
Дар расмҳои 3.3 ва 3.4 қачхатаҳои дифференсиалии ТММ пешниҳод шудаанд, ки аз онҳо максимумҳои массаи молекулавии намунаҳои пектин, ки бо тарзҳои ТС ва ДУФ тоза карда шудаанд, равшан намоёнанд [168].

Агар дар тарзи аввала қимати максималии массаи молекулавии пектин ба таносуби маҳлули пектин ва спирт 1:2 рост ояд, дар мавриди тозакунии ДУФ (диа-ультрафилтратсия) давраи дукарата барои ин пектин оптималӣ ҳисобида мешавад.

Илова бар ин, тозакунии ДУФ имкон медиҳад, ки фраксияи дорои массаи молекулавии баланд (расми 3.4, хатҳои 2 ва 3) зиёд карда шаванд ва ба ин васила сифати пектин баланд бардошта шавад (ҷадвали 3.4).



Расми 3.3. - Қачхатаҳои дифференсиалии ТММ-и пектини себ, ки бо тарзи фаврӣ дар ҳарорати 130 °С дар давоми 5 дақиқа ба даст оварда шуда, 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 3.4. - Қачхатаҳои дифференсиалии муқоисавии ТММ-и пектини себ, ки бо тарзи фаврӣ дар ҳарорати 130 °С дар давоми 5 дақиқа ба даст оварда шуда, бо тарзҳои ТС ва ДУФ тоза карда шудаанд: 1. ПС130-5 ТС 1:2 2. ПС130-5 ДУФ1 3. ПС130-5 ДУФ2

Қиматҳои M_w ва коэффисиенти полидисперсӣ (M_w/M_n) ва M_z , ки бо истифода аз барномаи ASTRA 5.3.4.20 (Wyatt Technology) дар асоси профили

хроматографӣ (расмҳои 3.1 ва 3.2) барои намунаҳои пектин, ки бо тарзҳои гуногуни тозакунии ба даст оварда шудаанд, дар ҷадвали 3.4 пешниҳод шудаанд [155-160].

Ҷадвали 3.4. - Баромади пектин (%), миқдори КГ (%), ДЭ (%), миқдори микрогел (МГ), массаи молекулавӣ (M_w) ва M_z , индекси полидисперсӣ (M_w/M_n)-и намунаҳои пектин

Тарзи тоза кардани пектин	Баромад %	КГ, %	ДЭ, %	МГ, %	M_w	M_w/M_n	M_z
ПСФ-130-5 ТС (1:1)	13,5	69,2	80,4	15,4	97,4	10,12	757,3
ПСФ -130-5 ТС (1:2)	15,7	67,5	81,3	17,4	108,6	15,7	784,9
ПСФ -130-5 ТС (1:3)	20,4	63,8	80,8	22,1	99,7	16,3	1038,0
ПСФ -130-5 ДУФ1 (1:1)	12,0	67,2	82,4	12,6	119,3	7,9	1126,0
ПСФ -130-5 ДУФ1 (1:2)	13,6	70,2	81,3	17,6	99,5	9,05	737,0
ПСФ -130-5 ДУФ1 (1:3)	17,4	65,8	80,4	34,5	67,4	6,6	433,2
ПСФ -130-5 ДУФ2 (1:1)	10,3	68,6	81,4	22,1	128,1	4,6	800,8
ПСФ -130-5 ДУФ2 (1:2)	12,8	71,5	82,3	19,0	119,4	7,3	955,9
ПСФ -130-5 ДУФ2 (1:3)	15,5	70,2	81,0	21,4	76,5	6,4	855,4

Аз маълумоти ҷадвали 3.4 дида мешавад, ки баромади пектин ба таври мутаносиб бо афзоиши таносуби маҳлули гидролизат ба этанол зиёд мешавад; эҳтимол, дар гели пектинӣ худтаҳшиншавии фраксияи пастмолекулавӣ ба амал меояд [150].

Ин боиси коҳиш ёфтани миқдори ҷузъи асосии пектин – фраксияи НГ дар макромолекулаҳои пектин мегардад. Ҳамзамон, бо афзоиши такрори давраҳои ДУФ миқдори баромади ПСФ аз ҳисоби ҷудошавӣ ва филтратсияи ҷузъҳои пастмолекулавӣ (қандҳо, олигосахаридҳо, сафедаҳо, моддаҳои полифенолӣ ва дигар пайваستҳои маъданӣ) коҳиш меёбад, ки ин боиси ба таври назаррас афзоиш ёфтани зербаҳшҳои НГ мегардад, ки ба хусусиятҳои функционалӣ ва сифати пектин ҳамчун гелҳосилкунанда таъсир мерасонанд.

Таҳлили қиматҳои M_w ва M_w/M_n дар тарзи тозакунии ТС нишон медиҳад, ки бо афзоиши концентратсияи таҳшинкунанда (яъне таносуби маҳлули гидролизати пектинӣ ва таҳшинкунанда аз 1:1 ба 1:2) қимати M_w аз 97,4 кДа то 108,6 кДа зиёд мешавад, аммо дар таносуби 1:3 то қимати 99,7 кДа коҳиш

меёбад. Дар айни замон, коэффиссиенти полидисперсии макромолекулаҳои пектин баланд буда, дар таносуби маҳлул: таҳшинкунандаи 1:3 ба қимати 16,3 мерасад. Ин ба ҳамтаҳшиншавии маҳсулоти гидролизи пастмолекулавӣ ишора мекунад. “Миқдори зарраҳои агрегатсияшуда – МГ дар ин намунаҳои пектин зиёда аз 15,4%-ро ташкил медиҳад ва бо афзоиши таносуби маҳлул: таҳшинкунанда то 22,1% андаке зиёд мешавад. Ин ба қобиляти занҷирҳои пектинӣ барои дубора муттаҳид шудан тавассути бандҳои гидрогенӣ, пас аз гидролиз ва тозакунии тавассути занҷирҳои паҳлӯӣ ва дигар қандҳои нейтралӣ алоқаманд ишора мекунад. Қимати массаи молекулавӣ миёнаи z -гардиш (M_z) низ ба таври мувозӣ бо афзоиши миқдори МГ зиёд мешавад», ки ин фарзияи пешниҳодшуда” [25] -ро дар бораи алоқамандии қимати M_z ва дараҷаи агрегатсияи макромолекулаҳои пектин тасдиқ мекунад [150].

Ҳангоми татбиқи тарзи ДУФ дар чараёни тозакунии маҳлули гидролизат, маълумоти бадастомада оид ба параметрҳои молекулавӣ пектин натиҷаҳо каме бартарӣ доранд: M_w -и намунаҳои пектин аз марҳилаи аввали раванди диализ ва ультрафилтратсия (ДУФ1) ба марҳилаи дуюм (ДУФ2) меафзояд: мутаносибан 99,5 кДа ва 119,4 кДа барои пектине, ки аз маҳлул бо спирт дар таносуби оптималӣ маҳлул ва таҳшинсозандаи 1:2 ҷудо карда шудааст. Ва дар ин ҳолат, афзоиши минбаъдаи концентратсияи таҳшинкунанда ҳангоми ҷудо кардани пектин аз маҳлули концентрат (1:3) боиси паст шудани қимати M_w мегардад. Агар дар намунаҳои пектине, ки бо раванди аввалияи ДУФ ҳангоми яккарата ва секарата таҳшинкунии спиртӣ ба даст оварда шудаанд, қимати M_w аз 119,3 кДа то 67,4 кДа коҳиш ёбад, дар айни замон дар раванди дуюми ДУФ M_w мутаносибан аз 128,1 кДа то 76,5 кДа кам мегардад. Ин мушоҳидаҳо ба он ишора мекунанд, “ки макромолекулаҳои пектин дар чараёни ДУФ аз фраксияи пастмолекулавӣ поли- ва олигосахаридҳо ва дигар маҳсулоти иловагии гидролиз тоза карда мешаванд” [168]. Зиёда аз ин, қимати M_w/M_n қариб 2 маротиба паст мешавад, ки ин фарзияи дар боло зикршударо тасдиқ мекунад. Ғайр аз ин, ҳаққонияти ин изҳорот бо маълумоти спектроскопияи РМЯ 1D ва 2D тасдиқ карда шуда буд, ки барои пектини себи навъи дигар дар дастгоҳи

озмоишӣ ба даст оварда шудаанд [82]. Аз маълумоти ҷадвали 3.4 инчунин дида мешавад, ки қимати M_z дар раванди дуҷоми ДУФ аз 1126 кДа то 800 кДа коҳиш меёбад, ки ин аз афзалияти ин тарзи тозакунии дар муқоиса бо тарзи ТС шаҳодат медиҳад [82]. Аз ин рӯ, истифодаи таносуби маҳлули пектин ва таҳшинкунанда-спирти этил 1:3 ғайри қобили қабул аст, зеро он боиси паст шудани сифати пектин мегардад [150, 155].

Бо дарназардошти “мураккабии таркиби пектин дар ДХ-и рустаниҳо, раванди гидролиз-экстраксияи ин полисахарид реаксияи гетерогенӣ мебошад, ки дар он ҷараёнҳои мувозӣ ба амал меоянд” [57]. Бо дарназардошти якрағ набудани макромолекулаҳои пектин аз рӯйи таркиби моносахаридӣ (занҷирҳои хаттии HG ва шохабандишудаи RG I ва RG II), бояд гуфт, ки реаксияи гидролиз дар қисмҳои шохабандишудаи занҷирҳо, ки аз боқимондаҳои қандҳои неутралӣ ғанӣ мебошанд, бошиддаттар ҷараён мегирад. “Дар ҳоле ки боқимондаҳои пектине, ки дорои миқдори зиёди кислотаи галактуронӣ (қисмҳои HG) мебошанд ва илова бар ин бо бандҳои байнимacroмолекулавӣ тавассути ионҳои калсий устувор шудаанд, ба маҳлул дар ҳолати табиӣ мегузаранд ва то анҷоми раванди гидролиз амалан бетағйир мемонанд. Ин имкон медиҳад, ки на танҳо раванди гидролиз” [84, 154, 168], балки тарзи тозакунии (экстраксия) низ танзим карда шавад, ки имкон медиҳад пектинро бо хусусиятҳои муайянкардашудаи физикӣ-химиявӣ ба даст овардан мумкин аст.

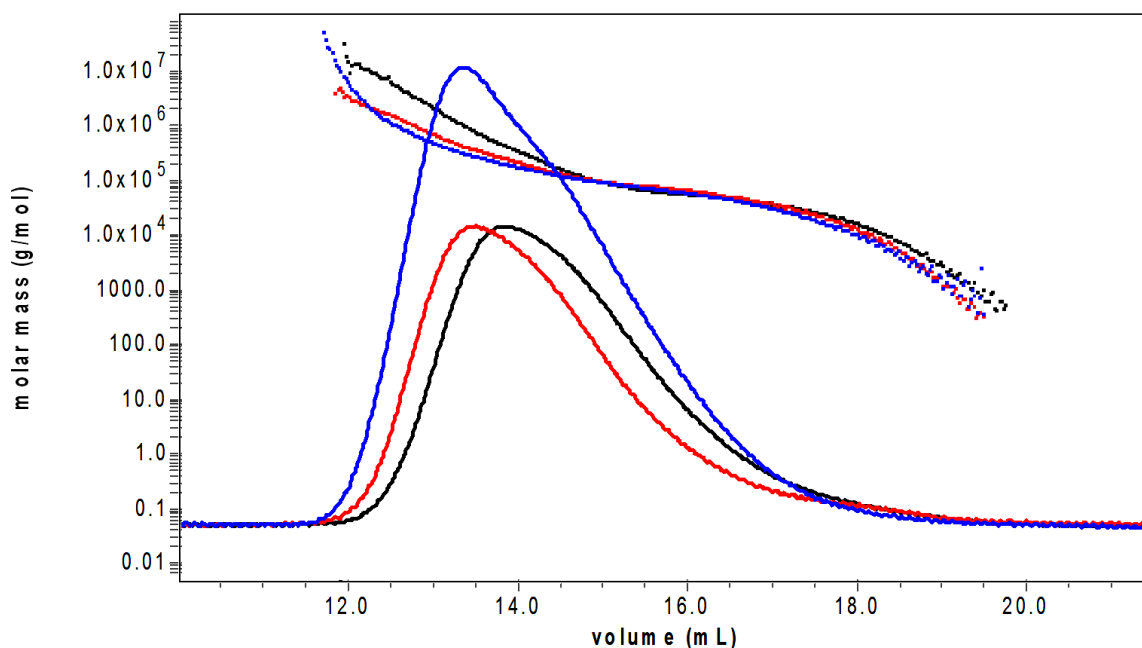
Ҳамин тариқ, дар асоси натиҷаҳои бадастомадаи массаҳои молекулавӣ ва тақсимои онҳо дар ҷараёни тозакунии гидролизатҳо, дар ин тадқиқот, шароити оптималӣ барои ба даст овардани пектин бо хусусиятҳои муайянкардашуда ба даст оварда шуд [168].

3.4. Таъсири намуди манбаи ашёи хом ба массаи молекулавӣ ва тақсимои массаи молекулавии пектин

3.4.1. Таъсири муқоисавии пектин аз биҳӣ ва себ

Дар расми 3.5 қачхатҳои ХМЭ ва ТММ -и макромолекулаи пектин, ки аз себ ва биҳӣ бо тарзҳои гуногун гидролиз-экстраксия (ТА, ТФ) ва бо истифода

аз системаи ХМЭСБ бо детекторҳои гуногун (ДР, ДДЧ) ба даст омадаанд, дар намуди вобастагии массаи молекулавӣ аз ҳаҷми шуста баровардан, ки аз ҷониби барномаи ASTRA таҳия шудаанд, пешниҳод гардидааст.



Расми 3.5. - Профили шусташавии ХМЭСБ-и намунаҳои пектин: пектини бихӣ: ПБх 85-60-2 (1 - хати кабуд); пектини себ: ПСФ 85-60-2 (2 - хати сиёҳ) ва ПСФ 100-7-2 (3 - хати сурх) ва қачхатаҳои тақсимои массаи молекулавии онҳо (ТММ)

Чуноне ки аз профили хроматографии ХМЭСБ дида мешавад, пектин аз бихӣ – ПБх 85-60-2 (хати кабуд) дар доираи ҳаҷми 12 - 17 мл дар намуди як қуллаи дорой ТММ-и васеъ шуста мешавад, гарчанде ки қуллаи хроматографии ХМЭ ғайрисимметрӣ буда, дар минтақаи ҳисаҳои (фраксияҳои) молекулашон паст он дорой китфи хурд мегардад.

Ҳамин гуна манзара барои пектинҳои себ низ мушоҳида мешавад, аммо дар онҳо қачхатаҳои ТММ нисбат ба пектини бихӣ тақсимои маҳдудтар доранд. 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 пектине, ки бо тарзи фаврӣ экстраксия шудааст (хати сурх), бармаҳал шуста мешавад, ки ин аз массаи молекулавии баландтари он шаҳодат медиҳад [150].

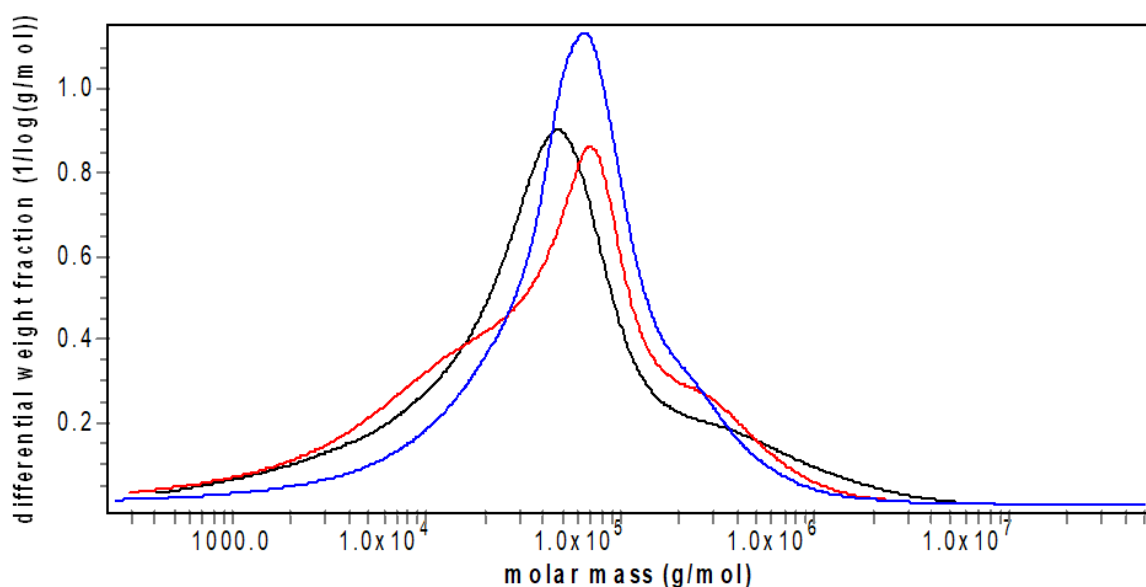
Аз расми 3.5 дида мешавад, ки байни қачхатаҳои ТММ (хатҳои болоӣ)-и пектинҳо, ки аз қимати часпакии хоси дохилӣ бармеоянд, фарқиятҳои байни

онҳоро чудо кардан душвор аст. Чунон ки дар расми 3.5 нишон дода шудааст, вобастагии массаи молекулавӣ аз ҳаҷми шуста баровардан ғайрихаттӣ буд. Ғайрихаттӣ будани ин вобастагӣ гувоҳӣ медиҳад, ки илова бар ифодаи массаи миёнаи молекулавӣ, конформатсияи макромолекулаҳо дар охири фаромолекулавии тақсимот (қисми молекулаҳои калон) эҳтимол аз конформатсияи онҳо дар охири молекулавии паст (қисми молекулаҳои хурд) фарқ мекунад.

Манзараи дақиқтари тақсимоти макромолекулаҳои пектинро ҳангоми таҳлили вобастагии ҳиссаи вазнии дифференсиалии макромолекулаи пектин аз массаи молекулавии онҳо, ки дар расми 3.6 пешниҳод шудаанд, дидан мумкин аст.

Бо ёрии ин қачхатаҳо, дар амал, метавон деградатсияи (вайроншавии) полимерро, ки метавонад дар чараёни ҳидролиз-экстраксия рух диҳад, ошкор кард. Агар қачхатаҳои дифференсиалии ПБх 85-60-2 ва ПСФ 85-60-2, ки бо тарзи анъанавӣ экстраксия шудаанд, шакли симметрии тақсимоти макромолекулаҳоро дошта бошанд, пас дар ПСФ 100-7-2, ки бо тарзи фаврӣ экстраксия шудааст, ду китф дар фраксияи аввалия ва ниҳой мушоҳида мешавад.

Ин фарқият дар шакли ТММ аз кинетикаи гуногуни таҷзияи макромолекулаи пектин дар ду шароити гидролиз шаҳодат медиҳад: гидролиз дар ҳарорати нисбатан паст, вале муҳлати тӯлонӣ (85 °C ва 60 дақиқа), ки аз диффузияи агенти гидролизкунанда (дар ин ҳолат кислота) ва баромади макромолекулаи пектин ба маҳлули берунӣ вобаста аст, дар ин ҳолат таҷзияи макромолекула марҳила ба марҳила вобаста ба дастрасии кислота ва дараҷаи устувории бандҳои байни занҷирҳои паҳлӯии пектин сурат мегирад; дар ҳолати дуум, ҳангоми фаврӣ-гидролиз (100 °C ва 7 дақиқа), дар муҳлати кӯтоҳ дар ҳарорати баланд ва фишори зиёдотӣ, кандашавии деворҳои ҳучайра ва дастрасии фаврии кислота ба амал омада, ки ин ба баромади макромолекулаҳои гуногун таъсир мерасонад ва онҳо дар қачхатаҳои дифференсиалии ТММ ба таври равшан дида мешаванд [150, 155].



Расми 3.6. - Качхатаҳои дифференсиалии намунаҳои пектин: пектини бихӣ: АП 85-60-2 (хати кабуд); пектини себ: ПСФ 85-60-2 (хати сурх) ва ПСФ 100-7-2 (хати сиёҳ) ва качхатаҳои тақсимои массаи молекулавӣ онҳо (ТММ)

Дар ҷадвали 3.5 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.

Чуноне ки аз маълумоти ҷадвали 3.5 дида мешавад, “ҳамаи пектинҳои омӯхташуда аз 5,0 то 7,7% микрогелро дар бар мегиранд, ки онҳо пеш аз таҳқиқот тариқи фурсофкунак хориҷ карда шудаанд. 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, дар ҳоле ки қимати массаи миёнаи z - (M_z) бо тартиби баръакс ба самти камшавӣ тағйир ёфтааст” [150].

Ҷадвали 3.5. - Миқдори кислотаи галактуронӣ (КГ, %), дараҷаи этерификасияи (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

Ин далели он аст, ки дар ин намуна макромолекулаҳои пектин дар ҳолати ҷудогона қарор доранд ва агрегатсияи макромолекулаҳо суст шудааст [133].

Қимати параметрҳои гидродинамикӣ (радиуси гидродинамикӣ (R_h) ва часпакии хоси дохилӣ $[\eta]$ дар ин намунаҳо бо кам шудани M_w дар ин қатор якхела кам шудаанд.

Пектини омӯхташуда аз рӯйи миқдори КГ ба кадри кофӣ монанд буданд ва ба пектинҳои баландэфирдошта тааллуқ доранд. Бо муқоисаи қиматҳои бадастомадаи массаи молекулавӣ ва параметрҳои гидродинамикӣ, мушоҳида кардан мумкин аст, ки қимати M_w барои пектин аз бихӣ ва баъдан барои пектини себ, ки бо тарзи фаврӣ экстраксия шудааст, аз ҳама баландтар аст.

Аммо қимати M_z , ки мавҷудияти макромолекулаҳои агрегатсияшуда [153]-ро тавсиф мекунад, дар намунаи ПС 85-60-2 (2828 кДа), ки бо ТА ба даст омадааст, баландтарин буд ва дар ПС 100-7-2 (1380 кДа), ки бо ТФ ба даст омадааст, пасттар буд. Зимнан, дар ПБх 85-60-2 қимати M_z пасттарин (607 кДа) буд, ки ин қимат нишон медиҳад, ки дар ин намунаи пектин макромолекулаҳо дар ҳолати ҷудогона қарор доранд ва агрегатсияи макромолекулаҳо суст шудааст, ки ин аз фарқияти сохти он аз пектини себ ғувоҳӣ медиҳад [155].

Аз маълумоти ҷадвали 3.5 бармеояд, ки пектинҳои бо ТФ бадастомада аз пектинҳое, ки бо ТА экстраксия шудаанд, аз рӯйи ҳамаи тавсифоти омӯхташуда, ба истиснои ДЭ, фарқ мекунанд. ДЭ-и пектин (ПСФ 100-7-2) назар ба ДЭ-и пектине, ки бо ТА ба даст омадааст (ПСФ 85-60-2) каме паст буд, ки ин эҳтимолан аз ҳисоби ҳарорати баланди гидролиз (120 °C) мебошад. Қобили зикр аст, ки таъсири ҳарорати баланд дар муҳлати кӯтоҳ (тарзи фаврӣ) ва таъсири он дар муҳити кислотагӣ ($pH=2,0$) ба массаи молекулавӣ таъсир нарасонд.

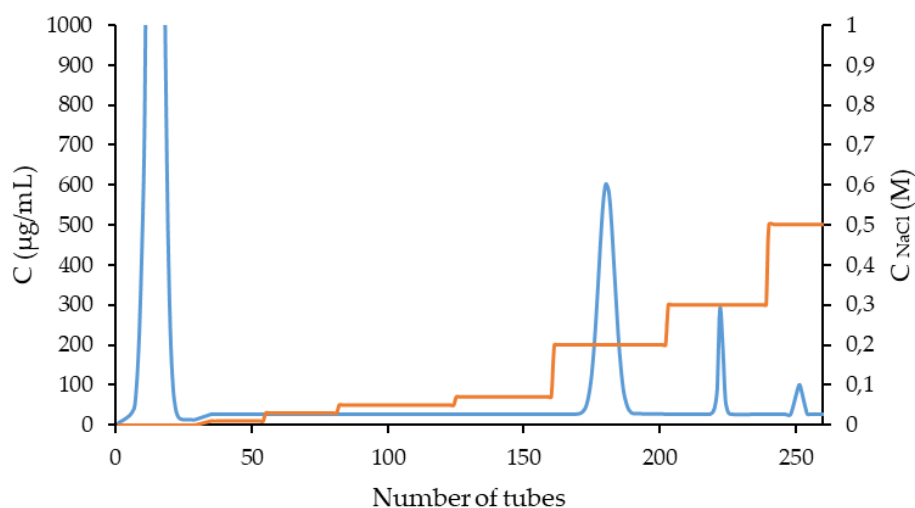
3.4.2. Тағйирёбии массаи молекулавӣ ва тақсими массаи молекулави пектин аз зардолу

Меваҳои зардолуи навъи “Маҳтобӣ” аз хоҷагиҳои маҳаллии водии Зарафшон дастрас карда шуданд. Гидролиз бо тарзи фаврӣ-экстраксия бо истифода аз буғ [89, 149] дар ҳарорати 120 °C дар муддати 5 дақиқа гузаронида шуд. Пектин аз ин ашёи хом бо тарзи ДУФ [82] экстраксия карда шуд.

Таркиби полисахаридҳои пектини зардолу бо ёрии ХМЭСБ, НРАЕС-РАД (хроматографияи моеии фавкул-самаранокии табодули анионии баланд бо детектори амперометрии пулсӣ), ГХ-МС, РМЯ ва спектроскопияи ИС-Фуре таҳқиқ карда шуд. Фраксияи тозашудаи пектин (F1AP) аз кислотаи D-галактуронӣ, L-рамноза, D-арабиноза ва D-галактоза бо массаи молекулавии ~1588 кДа иборат буд. F1AP аз фраксия дар ДЭАЭ-сефароза бо об ва 0,2 M NaCl шуста (элюатсия) шуд, ки дар натиҷа ду фраксияи алоҳида F1AP1 ва F1AP6 бо таркиби муайян, массаҳои молярӣ ва конформатсияҳои гуногун ба даст омад ва ин имкон дод, ки гуногунии сохти онҳо дақиқ муайян карда шавад [89, 160].

Дар расми 3.7 профили шуста баровардан (шусташавӣ)-и намунаи F1AP (пробиркаҳои 1-34) бо оби бенамак нишон дода шудааст, ки фраксияи асосии полисахариди зардолу, ки заряди манфии паст дорад, бо об шуста мешавад, ки ин 67,14%-и полисахаридҳои пектини ибтидоии F1AP-ро ташкил дод ва ҳиссаи F1AP1 (қуллаи якум) номида шуд.

Дар расми 3.7 инчунин профили шуста шудани дигар фраксияҳо, ки аз



Расми 3.7. - Профили шусташавии полисахаридҳои пектини зардолу аз найчаи табодули анионии бо ДЭАЭ-сефароза (хати кабуд) нишон дода шудааст. Градиенти қувваи иони NaCl (0; 0,01; 0,03; 0,05; 0,07; 0,2; 0,3 ва 0,5 M) бо суръати чараёни 5 мл/дақ (хати норинҷӣ) истифода шудааст

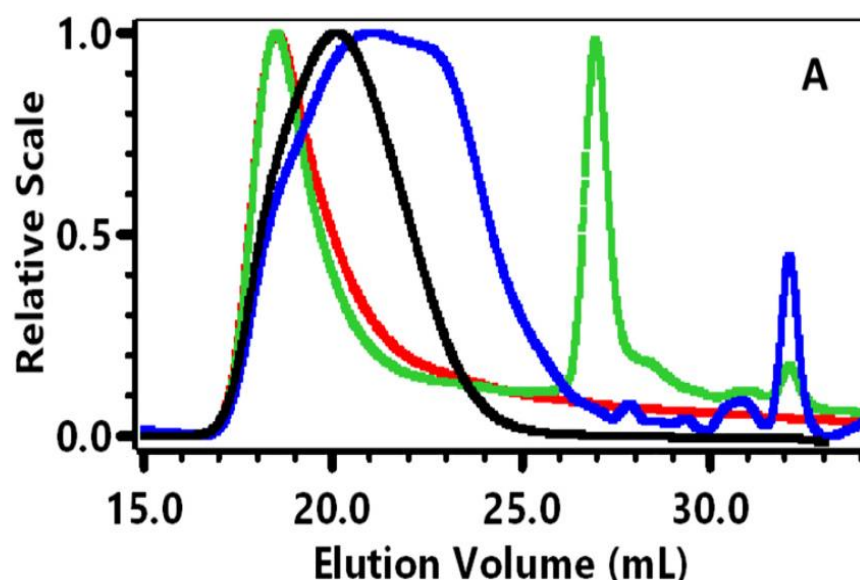
найчаи табодули анионии бо ДЭАЭ-сефароза бо маҳлулҳои NaCl-и қувваи ионии афзоянда (0,2; 0,3 ва 0,5 М) дар суръати чараёни 5 мл/дақ шуста шудаанд, нишон дода шудааст.

Қуллаи асосии дигар ба компоненти турши полисахаридҳои зардолу тааллуқ дорад, ки бо маҳлули 0,2 М NaCl шуста шуда, 22,85%-ро ташкил дод ва F1AP6 номгузори шуд. Ин гувоҳӣ медиҳад, ки фраксияи F1AP6 дорои заряди манфии баланд буда, дар найчаи табодули анионӣ нигоҳ дошта шудааст [160].

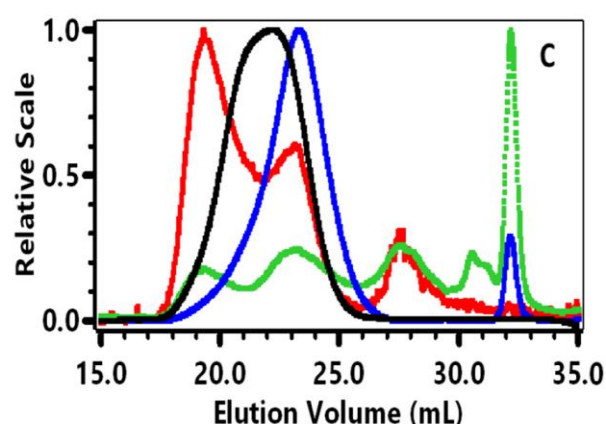
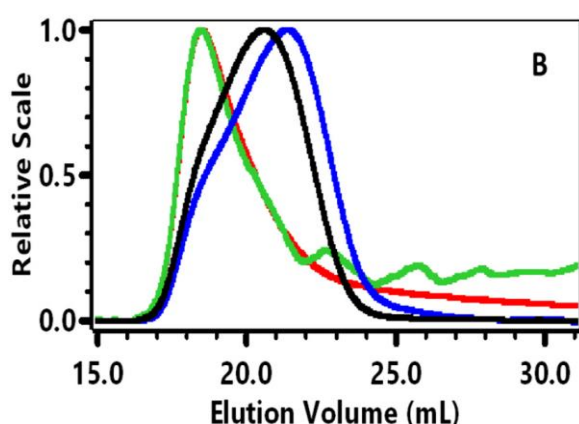
Таҳлили таркибӣ нишон дод, ки полисахариди нейтралӣ F1AP1 бо сафеда алоқаманд буда, дорои асос аз кислотаи D-галактуронии бо (1→4) пайваستшуда ва боқимондаҳои L-рамнопиранозилии бо (1→2) пайвастшуда мебошад, ки бо арабиногалактан шакли шохадор пайдо намудааст, аз ҷумла дорои бандҳои сершумори гликозидии занҷирҳои паҳлӯии боқимондаҳои α -Araf, α -Arap ва Galp мебошад, ки дорои гурӯҳҳои метилӣ ва атсетилӣ буда, массаи молекулавии баланд (1945 кДа) дорад [89, 160].

Дар ин кор мо танҳо массаи молекулавӣ ва ТММ-и ин пектинро дида мебароем. Полидисперсии пектини зардолу (M_w/M_n), қиматҳои M_n , M_w , η_w , радиуси инерсия (R_{gz}), радиуси гидродинамикӣ (R_{hz}) ва константаи Марк-Хаувинк (α) бо тарзи ХМЭСБ бо истифода аз системаҳои бисёрдетекторӣ, чуноне ки дар боби 2 тавсиф шудааст [149], чен карда шуданд.

Хроматограммаи ХМЭ-и пектини зардолуи F1AP дар расми 3.8.A бо қуллаи шуста баровардан дар ҳаҷми тақрибан 17,0 – 25,0 мл нишон дода шудааст, ки $M_w/M_n = 1,92$, $M_w = 1588$ кДа, $\eta_w = 3,55$ дл/г ва $R_{gz} = 49,2$ нм дошт. Дар муқоиса бо пектини ибтидоии F1AP, фраксияи F1AP1 (расми 3.9.B) қиматҳои M_w , η_w ва R_{gz} -и баландшударо (мутаносибан ба 18%, 17% ва 9%) нишон дод, аммо коэффисиенти полидисперсиро тағйир надод. Аммо фраксияи F1AP6 (расми 3.9.C) афзоиши полидисперсии M_w/M_n -ро ба 18% бо тақсимооти васеътар нишон дод, вале коҳиши якбораи M_w , η_w ва R_{gz} -ро мутаносибан ба 94%, 63% ва 34% нишон дод. Бояд қайд кард, ки байни қуллаи RI-и F1AP дар расми 3.8.A дар муқоиса бо F1AP1 (расми 3.9.B) ва F1AP6 (расми 3.9.C) пас аз хроматографияи табодули анионӣ фарқияти намоёни васеъ вучуд дорад.



Расми 3.8. - Хроматограммаи ХМЭ-и фраксия пектини ибтидоии зардолу (F1AP) фраксия: (хати сурх) детектори парокандашавии нур дар кунчи 90°; (хати сиёҳ) вискозиметрияи дифференсиалӣ; (хати кабуд) нишондиҳандаи шикасти нур (хати сабз) ва УБ-чаббӣш дар 280 нм нишон дода шудааст

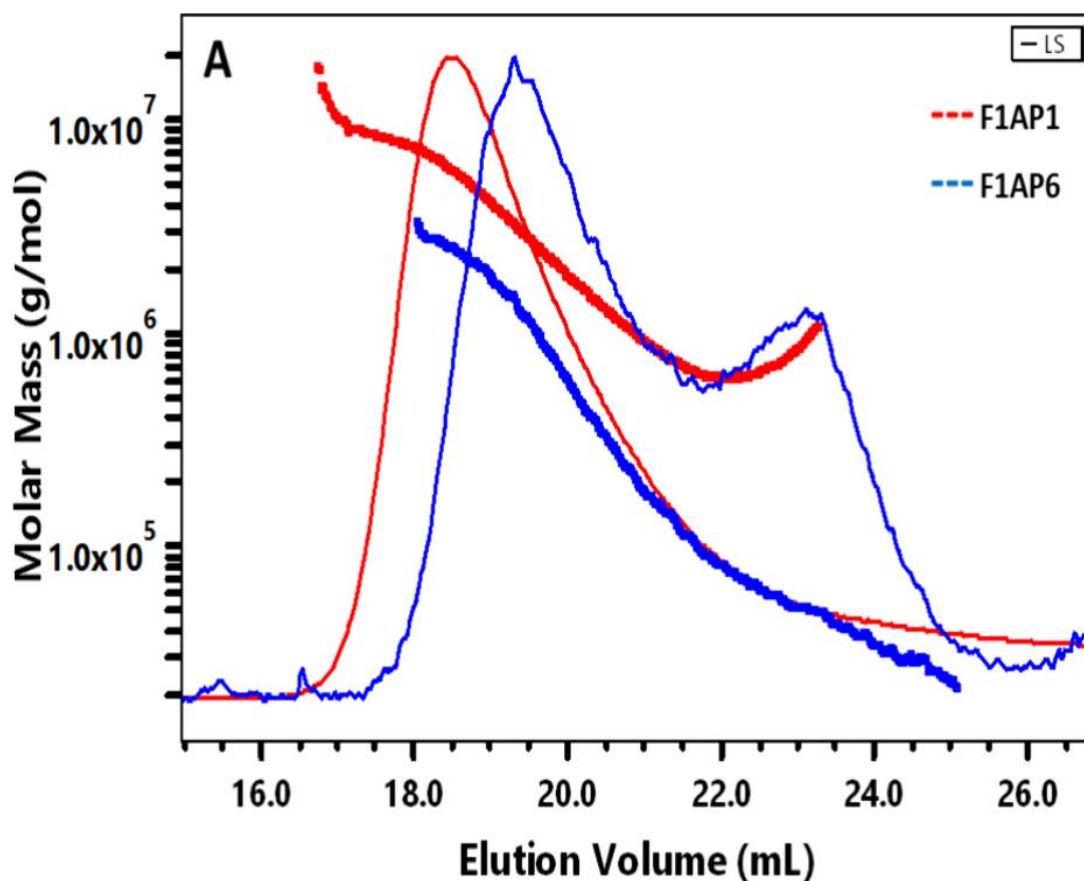


Расми 3.9. - Хроматограммаҳои ХМЭ-и фраксия пектини ибтидоии зардолу (F1AP1) (B) ва (F1AP6) (C) фраксия: (хати сурх) детектори парокандашавии нур дар кунчи 90°; (хати сиёҳ) вискозиметрияи дифференсиалӣ; (хати кабуд) нишондиҳандаи шикасти нур (хати сабз) ва УБ-чаббӣш дар 280 нм нишон дода шудааст

Хроматограммаи детектори УБ (280 нм) мавҷудияти дохилшавии гуногуни сафедаро дар намунаҳои пектин нишон медиҳад. Қуллаи равшани сафеда (17,0–24,0 мл) дар намунаи F1AP-и ибтидоӣ ва F1AP1 пайдо мешавад, ки ин бо маълумоти спектроскопияи ИС-Фуре [89, 160] мувофиқат мекунад. Қуллаҳои иловагии ҷудогонаи сафеда дар профили хроматограммаҳои F1AP

(26,0–29,0 мл) ва F1AP6 (32,0–33,0 мл) нишон доданд, ки сафеда метавонад дар шакли омехта мавҷуд бошад, ки он аз рӯйи фраксияҳо тақсим мешавад (расми 3.9.C). Хотчкисс ва ҳаммуаллифони ӯ [147] низ тамоюлҳои шабеҳро ошкор карданд, ки дар он ҷо қисми асосии сафеда бо пектини дорои массаи молекулавии баланд пайваст буд. Тадқиқоти дигар [89] нишон дод, ки ҳадди ақал як қисми пектин бо қисми арабиногалакта-протеинӣ (АГП)-и полимерҳои ДХ устувор пайваст аст. Нишон дода шуд, ки сегментҳои RG-I аз пектини бо АГП пайвастшуда бо бандҳои 1,4- α -D-галактопиранозилуронан ҷудо карда шудаанд.

Дар расми 3.10 қачхатаҳои ТММ, ки аз детектори LS (парокандашавии нур) барои ҳар ду фраксия пектини зардолу ба даст омадаанд, ба ҳам пӯшида шуда пешниҳод шудаанд.



Расми 3.10. - Қачхатаҳои ТММ-и фраксияи зардолу, ки аз найчаи ДЭАЭ-сефароза бо об (F1AP1) ва 0,2 М NaCl (F1AP6) шуста шуда

Қаҷхатаҳои ТММ барои фраксия F1AP1 қуллай мономодалӣ (якқуллагӣ) ва барои фраксия F1AP6 хусусияти бимодалӣ (дуқуллагӣ)-ро нишон доданд [89, 160].

3.5. Деградацияи макромолекулаҳои пектин дар маҳлул

3.5.1. Тағйирёбии массаи молекулавӣ ва тақсимои массаи молекулави пектин, ки бо ТА-и гидролиз-экстракция ба даст оварда шудаанд

Дар таҳқиқоти мазкур мо таҳлили муқоисавии тағйирёбии массаи молекулавӣ ва ТММ пектинҳоро пешниҳод менамоем, ки бо ТА ва бо ёрии ТФ дар маҳлул ҳангоми нигоҳ доштани маҳлулҳаи пектинҳо дар тӯли ду шабонарӯз пеш аз андозагирии хусусиятҳои молекулавӣ ба даст омадаанд.

Маълумоти кинетикии тағйирёбии қиматҳои массаи молекулави M_w ва M_z , M_w/M_n барои пектини таҳқиқшуда ҳангоми нигоҳ доштани маҳлулҳои онҳо то 48 соат, дар ҷадвали 3.6 оварда шудааст.

Ҷадвали 3.6. - Қимати массаи молекулавӣ ва параметрҳои гидродинамикии пектини себ ва бихӣ, ки бо тарзи анъанавӣ ба даст оварда шудаанд

Намуди пектин	Вақт, соат	M_w , кДа	M_w/M_n	M_z , кДа
ПСФ 85-60-2,0	3,0	120,0	2,5	2828
ПСФ 85-60-2,0	6,0	119,0	5,6	508
ПСФ 85-60-2,0	20,0	76,9	14,5	533
ПСФ 85-60-2,0	36,0	69,7	16,6	572
ПСФ 85-60-2,0	48,0	59,7	17,0	582
ПБх 85-60-2,0	3,0	174,6	3,2	1380
ПБх 85-60-2,0	6,0	154,6	6,8	600
ПБх 85-60-2,0	20,0	88,6	6,7	295
ПБх 85-60-2,0	36,0	65,8	6,8	240
ПБх 85-60-2,0	48,0	53,6	6,8	241

Мушоҳида мешавад, ки бо кам шудани M_w , афзоиши якбораи M_w/M_n ва коҳиши қимати M_z ба назар мерасад. Ҳамзамон, пас аз 3 соати нигоҳдорӣ то 48

соат, қимати M_z низ якбора коҳиш ёфта, барои пектини себ аз 2828 кДа то 508 кДа ва барои пектини бихӣ аз 1380 кДа то 600 кДа дар давоми 6 соат мерасад, сипас дар тӯли то 48 соат муътадил (стабилизатсия) мегардад [89].

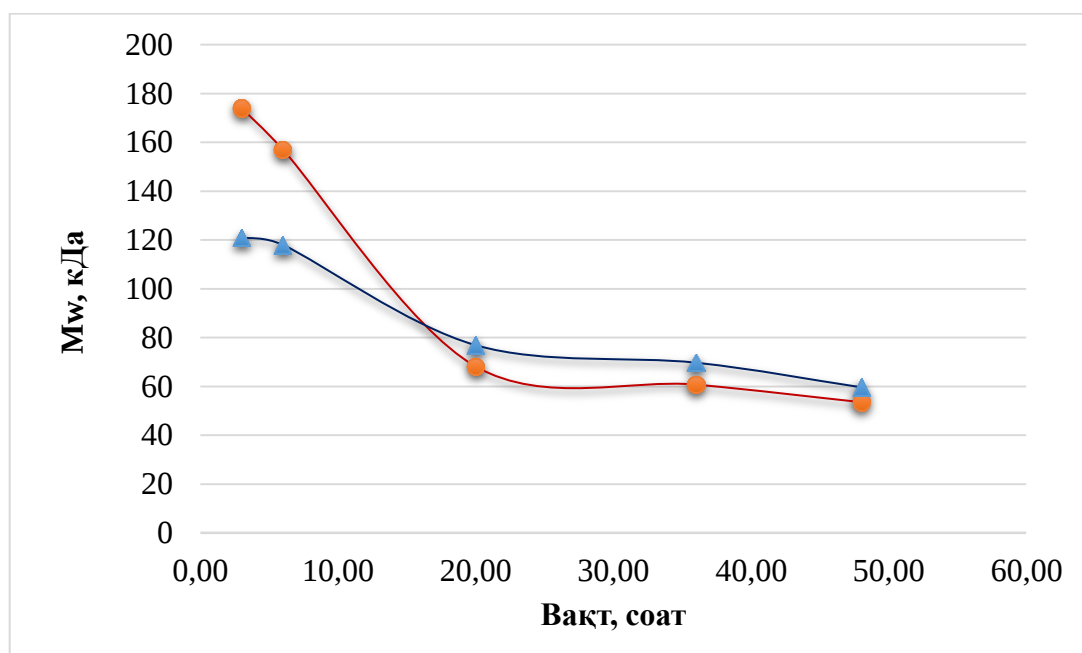
Чунин ҳолати макромолекулаҳои пектин, эҳтимолан, аз ҳисоби диссоциатсияи агрегатҳои пектинӣ ба амал меояд, ки боиси ташаккули макромолекулаҳои бештар хаттӣ мегардад ва ин часпакии маҳлулро баланд мебардорад. Дар баробари ин, омили полидисперсӣ (қимати таносуби M_w/M_n) макромолекулаҳои пектин меафзояд: дар ПСФ аз 5,6 то 17,0 ва дар ПБҳ аз 3,2 то 6,8. Ин нишондиҳанда аз зиёд шудани миқдори занҷирҳои ҷудогона ва фарқиятҳои таркибии (нобаробарии) ин полисахаридҳо шаҳодат медиҳад [32].

Гарчанде ки миқдори КГ дар ҳар ду пектин қариб якхела аст (ҷадвали 3.5) ва онҳо ба намуди пектини RG-1 тааллуқ доранд, эҳтимоли таҷзияи босуръати ПБҳ бештар бо миқдори ками гурӯҳҳои этерификатсияшуда алоқаманд аст. Тавре ки муаллифон [32] нишон додаанд, “пектин бо дараҷаи пасти этерификатсия нисбат ба пектини дорои дараҷаи баланди этерификатсия ба таҷзия осонтар дучор мешаванд”. Инчунин, ҳамин муаллифон нишон додаанд, ки “тақсимои бандҳои эфирӣ дар тӯли занҷири макромолекула низ ба дараҷаи таҷзияи пектин таъсир мерасонад” [32].

Барои таҳлили миқдории кинетикаи таҷзияи макромолекулаҳои пектинӣ дар маҳлул, кинетикаи тағйирёбии массаи молекулавӣ вобаста ба вақти нигоҳдорӣ омӯхта шуд. Дар расми 3.11 вобастагии M_w аз вақти нигоҳдории маҳлулҳо дар тӯли ду шабонарӯз пешниҳод шудааст.

Тавре ки аз маълумоти бадастомада дида мешавад, қимати M_w ҳангоми нигоҳ доштани маҳлул дар тӯли 20 соат дар намунаҳои ПБҳ, ки бо ТА экстраксия шудаанд, бештар коҳиш меёбад ва дар намунаҳои ПСФ камтар ва сипас дар давоми ду рӯз ба таври ночиз кам мешавад (расми 3.11).

Маълумоти бадастомадаи тағйирёбии массаи молекулави M_w ва M_z , инчунин коэффисиенти M_w/M_n барои пектине, ки бо ТФ аз себ ба даст омадаанд, низ дар ҷадвали 3.7 пешниҳод шудааст [150, 155-159].

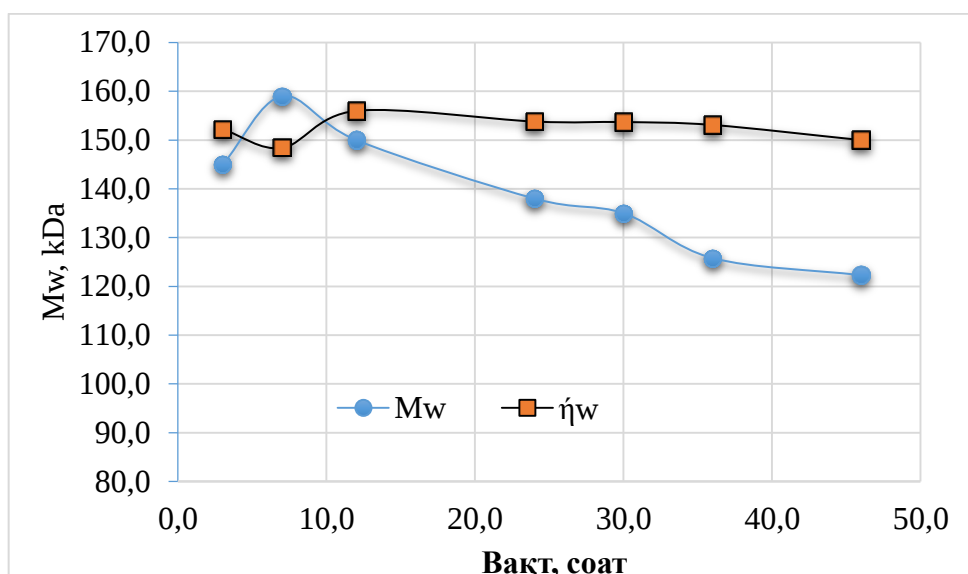


Расми 3.11. - Тағйирёбии қимати массаи молекулавӣ аз вақти нигоҳдории маҳлул барои пектинҳои бо ТА экстраксияшуда: ПСФ 85-60-2,0 (-▲-) ва ПБх 85-60-2,0 (-●-)

3.5.2. Тағйирёбии массаи молекулавӣ ва тақсимои массаи молекулави пектин, ки бо тарзи фаврӣ-гидролиз дар мисоли пектини себ ба даст оварда шудаанд

Ҷадвали 3.7. - Қиматҳои массаи молекулавӣ: M_w , M_z ва M_w/M_n барои пектини тозашудаи ДУФ-и себ, ки бо тарзи фаврӣ ба даст оварда шудаанд

Намуди ПЕКТИН	Вакт, соат	M_w , кДа	M_w/M_n	M_z , кДа	η_w , г/мл	$R_h(w)$, нм	b
ПСФ -100-7-2d1	3	157,4	6,9	606	155,2	13,4	0,65
ПСФ -100-7-2d1	6	159,0	7,0	489	153,4	13,6	0,64
ПСФ -100-7-2d1	10	150,0	6,9	525	148,2	13,5	0,63
ПСФ -100-7-2d1	15	138,0	8,6	395	156,0	13,1	0,65
ПСФ -100-7-2d1	25	135,1	7,05	386	154,2	13,2	0,68
ПСФ -100-7-2d1	30	132,0	7,02	454	152,7	12,8	0,66
ПСФ -100-7-2d1	35	126,2	10,07	443	152,5	12,4	0,67
ПСФ -100-7-2d1	45	129,0	12,6	477	149,6	12,7	0,66



Расми 3.12. - Тағйирёбии қимати массаи молекулавии M_w (-●-) ва часпакии хоси дохилӣ $[\eta]$ (-■-) вобаста ба вақти нигоҳдории маҳлули ПСФ -100-7-2d1

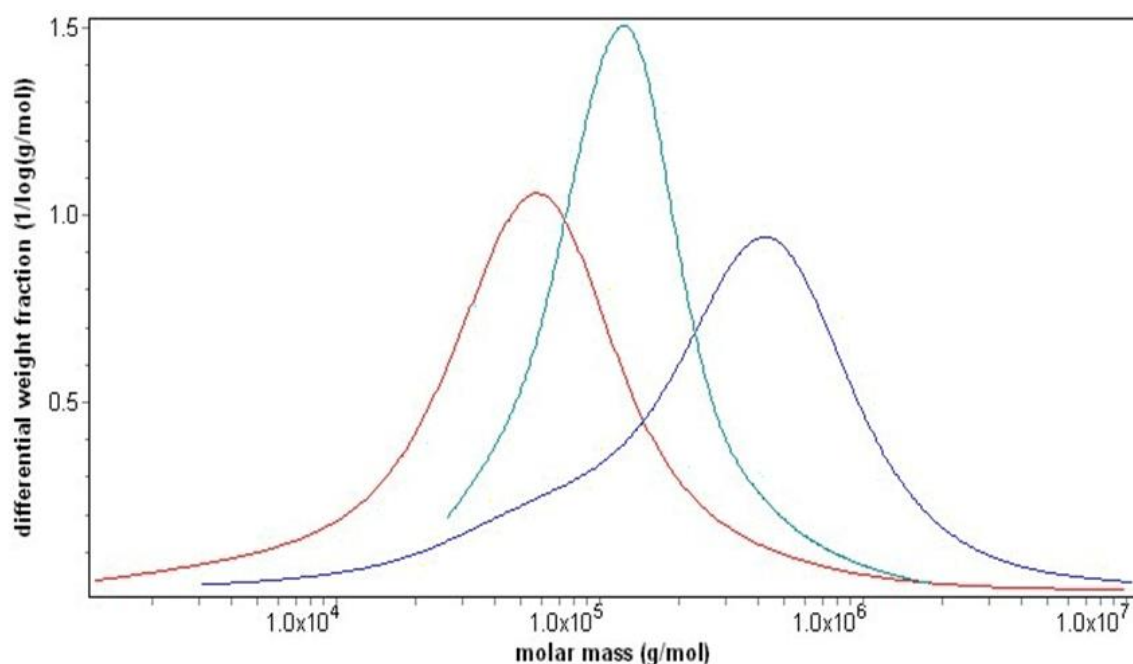
Барои ба таври возеҳ нишон додани тағйирёбии M_w вобаста ба вақти нигоҳдорӣ дар намунаи мазкур, мо вобастагии графикаи параметрҳои бадастомадаро аз вақти нигоҳдории маҳлул дар расми 3.12 овардем.

Дар расми 3.12 вобастагии M_w ва қимати $[\eta]$ барои ПСФ-100-7-2d1, ки бо тарзи фаврӣ ба даст омадааст, пешниҳод шудааст [150, 155-159]. Дар ин ҳолат хусусияти тағйирёбии массаи M_w -и пектин аз он чизе, ки бо ТА ба даст омадааст, фарқ мекунад. Тағйирёбии якбораи массаи молекулавӣ мушоҳида намешавад ва ҳангоми нигоҳ доштани маҳлулҳо, қимати M_w ба таври монотонӣ аз 157,5 кДа то 129,0 кДа паст мешавад [150, 156-159].

Таҷзияи пектин дар таҳқиқоти мо бо як қатор қонуниятҳое, ки ба таври параллелӣ чараён доранд, тавсиф мешавад [57] ва намунаҳои ибтидоии пектин одатан тақсимои васеи молекулавӣ-массавӣ доранд. Аз ин рӯ, константаҳои дақиқи суръати таҷзияи полимерҳоро бевосита аз таҳқиқоти кинетикӣ ба даст овардан ғайриимкон аст, зеро онҳо аз массаи молекулавӣ ва мавҷудияти тақсимот вобастагӣ доранд. Константаҳои дақиқи суръат метавонанд танҳо дар сурате ба даст оварда шаванд, ки агар моддаи ибтидоӣ монодисперсӣ бошад ё агар дар бораи механизми таҷзия фарзияҳои муайян қабул карда шаванд [37].

3.5.3. Тағйирёбии массаи молекулавӣ ва ТММ-и пектин, ки бо тарзи фаврӣ-гидролиз дар мисоли пектин аз офтобпараст ба даст оварда шудаанд

Тавре ки дар таҳқиқоти [84] нишон дода шудааст, воқеан, тарзи фаврӣ-экстраксия баромади пектин ва миқдори КГ-ро зиёд мекунад, ба ДЭ таъсир намерасонад, аммо миқдори моддаҳои балластиро дар мукоиса бо тарзи анъанавӣ аз 0,6% то 24% якбора меафзояд. Ҳангоми гидролизи фаврӣ дар натиҷаи вайроншавии қушҳои ДХ ва экстраксияи қисми асосии полисахаридҳо ба маҳлули гидролизат миқдори зиёди моддаҳои балластӣ ба вуҷуд меояд. Аммо, ин раванд ба миқдори пектин таъсир намерасонад ва истифодаи технологияи мембранавӣ имкон медиҳад, ки моддаҳои балластӣ аз фраксия пектинӣ ба осонӣ хориҷ карда шаванд. Ҳамин тариқ, истифодаи тарзи фаврӣ-экстраксия дар якҷоягӣ бо тарзи диа-ультрафилтратсия имкон медиҳад, ки пектини дорои сифати хуб ба даст оварда шавад ва идоракунии раванди гидролиз ва экстраксияи пектин, ҳатто дар ҳолати ПО (расми 3.13), осон гардад.



Расми 3.13. - Қачхатаҳои дифференсиалии тақсимои массаи молекулавии намунаҳои пектини офтобпараст: ПО 120-5-2,0 (чап – **хатти сурх**); ПО 120-7-2,0 (рост – **хатти кабуд**) ва ПО 120-10-2,0 (**хатти сабз**)

Таҳлили массаи молекулавӣ ва ТММ барои ПО-и таҳқиқшуда бо тарзи ХМЭСБ тақсимои молекулавиро, ки дар вақти ибтидоии гидролизи 3 дақиқа

наздик ба мономодалӣ ва васеъ аст, нишон медиҳад. Зиёд кардани вақти гидролиз то 5 - 7 дақиқа боиси он мегардад, ки ТММ-и пектин мономодалии бештар бо тақсимои маҳдуд ба даст оварда мешавад. Дар ин таҷрибаҳо вақти оптималии гидролиз 5 - 7 дақиқа муқаррар карда шуд (расми 3.13). Натиҷаҳои параметрҳои молекулавии пектини коркардшуда ва пешакӣ бо 2 М NaCl коркардшуда, ки бо тарзи фаврӣ-экстраксия дар 120 °C дар муддатҳои гуногуни гидролиз ба даст омадаанд, дар ҷадвали 3.8 оварда шудаанд.

Ҷадвали 3.8. - Қиматҳои массаи молекулавии M_w , M_z ва коэффисиенти полидисперсии ПО-и коркардшуда ва пешакӣ бо маҳлули 2 М NaCl коркардшуда, ки бо тарзи фаврӣ-экстраксия дар 120 °C ба даст омадаанд

t, °C -дақиқа	M_w , кДа		M_z , кДа		M_w / M_n		R^* , %	
	H ₂ O	2 М NaCl	H ₂ O	2 М NaCl	H ₂ O	2 М NaCl	H ₂ O	2 М NaCl
ПО-120-3 ДУФ	5195,0	582,0	8666,0	2879,0	70,0	8,49	64,3	95,9
ПО-120-7 ДУФ	480,5	510,0	1870,0	1345,2	12,0	5,02	65,0	98,3
ПО-120-7 ДУФ	175,5	397,5	1120,0	986,2	5,0	2,02	63,0	100,0
ПО-120-10 ДУФ	280,0	165,0	386,7	357,4	1,5	1,72	62,5	100,0
ПО-85-60 ТС	142,0	-	1692,0	-	-	3,22	-	95,0

*Баромеди пектин аз найчаи хроматографӣ

Тавре ки аз ин ҷадвал дида мешавад, M_w -и пектин, ки бо тарзи фаврӣ-экстраксия ба даст омадааст, бо зиёд шудани вақти гидролиз аз 583 кДа то 165 кДа кам мешавад, дар ҳоле ки полидисперсии намуна аз 8,50 то 1,72 коҳиш меёбад. Дар муқоиса бо пектине, ки бо ТА ба даст омадааст, тарзи фаврӣ-экстраксия ҳатто ҳангоми 10 дақиқа коркард пектин бо массаи молекулавии баландтар ҳосил мешавад [150, 155-159].

Далели дигари ин миқдори фоизи R-и намунаҳо аз найчаи хроматографӣ мебошад. Намунаҳои пектин, ки бо намаки натрий коркард шудаанд, аз найчаҳо 100% хориҷ карда шуданд, дар ҳоле ки намунаҳои коркардшуда – аз 65% камтар баромадаанд. Қаблан Фишман ва дигарон [84] нишон дода буданд, ки “ҳатто пектин бо миқдори баланди гурӯҳҳои метоксили, яъне бо дараҷаи баланди ДЭ, (пектини афлесунӣ) дар маҳлули ҳалшуда дар тӯли ду рӯз

метавонад агрегатҳоро ташкил диҳад. Агар агрегатҳо тавассути таҳшиншавии макромолекулаҳо зери таъсири қувваҳои гравитатсионӣ ба вуҷуд оянд, пас дар таҳқиқоти мазкур маълумот нишон медиҳад, ки ионҳои калсий ё бандҳои гидрогенӣ, бешубҳа, сабаби агрегатсия мебошанд” [84].

Ҳамин тариқ, тибқи натиҷаҳои таҳқиқоти мазкур, мо ба хулосаҳои зерин меоем: вақти оптималии гидролизи ашёи хом аз боқимондаҳои СО дар бухоркунанда 7 - 10 дақиқаро ташкил медиҳад; коркарди СО бо NaCl метавонад ба даст овардани пектини дорои сифати баланд, ки аз ҳама гуна зарраҳои агрегатсияшуда озод аст, оварда расонад; шароитҳои омӯхташудаи гидролиз, ки бо истифода аз равишҳои дар боло зикршуда амалӣ шудаанд, ба мо имкон медиҳанд, ки параметрҳои раванди истеҳсоли пектини пурарзишро назорат кунем. Ин таҳқиқот нишон медиҳад, ки тарзи фаврӣ-экстракция дар муқоиса бо тарзи анъанавӣ метавонад вақти гидролиз ва pH -ро кам карда, ҳамзамон баромад ва сифати баланди пектинро, ҳатто аз сабадҳо ва пояҳои офтобпараст, ки метавонанд манбаи эҳтимолии пектини ПМП дар истеҳсолот бошанд, таъмин намояд.

3.6. Таҳлили кинетикии деградатсияи пектин

Дар қори мазкур мо таҳқиқоти муқоисавии раванди таҷзияи (деградатсияи) пектинро дар маҳлул ҳангоми нигоҳдории он гузаронидем, ки ин як тартиби техникӣ пеш аз истифодаи пектин дар соҳаҳои гуногуни саноати хӯрокворӣ ва дорусозӣ мебошад.

Ҳадафи асосии муқаррар кардани механизми таҷзияи (деградатсияи) пектин дар маҳлул таҳияи модели кинетикӣ барои пешгӯии ТММ пектин пас аз муддати муайяни нигоҳдорӣ мебошад. Одатан, барои муқаррар кардани модели таҷзия зарур аст, ки омилҳои гуногуне, ки ба кинетикаи реаксия таъсир мерасонанд, доништа шаванд, аз қабili тағйирёбии константаҳои суръат вобаста ба массаи молекулавӣ, тартиби реаксия, таҳаввулотии (эволютсияи) муваққатии ТММ, нуқтаи кандашавӣ ва массаи молекулавии ниҳой.

“Дар ин ҷанба, моделҳои сершумори назариявӣ ва феноменологии таҷзияи полимерҳо таҳия карда шудаанд, то кинетикаи раванди таҷзияро дар

асоси коҳиши массаи миёнаи молекулавӣ дар чараёни ултрасадо арзёбӣ кунанд” [37, 168]. Ҳамаи ин моделҳо робитаи байни массаи молекулавӣ (M_t) ва вақти коркарди ултрасадоро (t) нишон медиҳанд. Малхотра [73] муодилаеро пешниҳод кард, ки вобастагии массаи молекулавиро аз вақт ба таври зерин ифода мекунад:

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

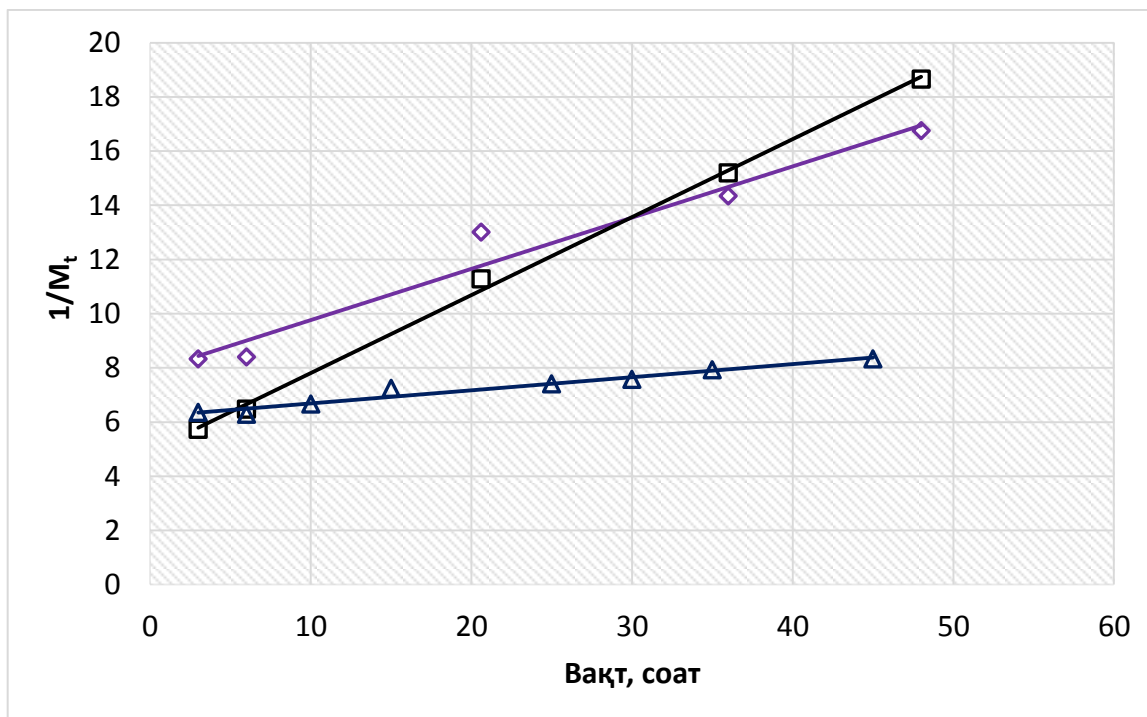
дар ин ҷо:

M_t – массаи молекулавии полимер дар лаҳзаи вақти (t) нигоҳдорӣ;

M_{in} – массаи молекулавии ибтидоии полимер;

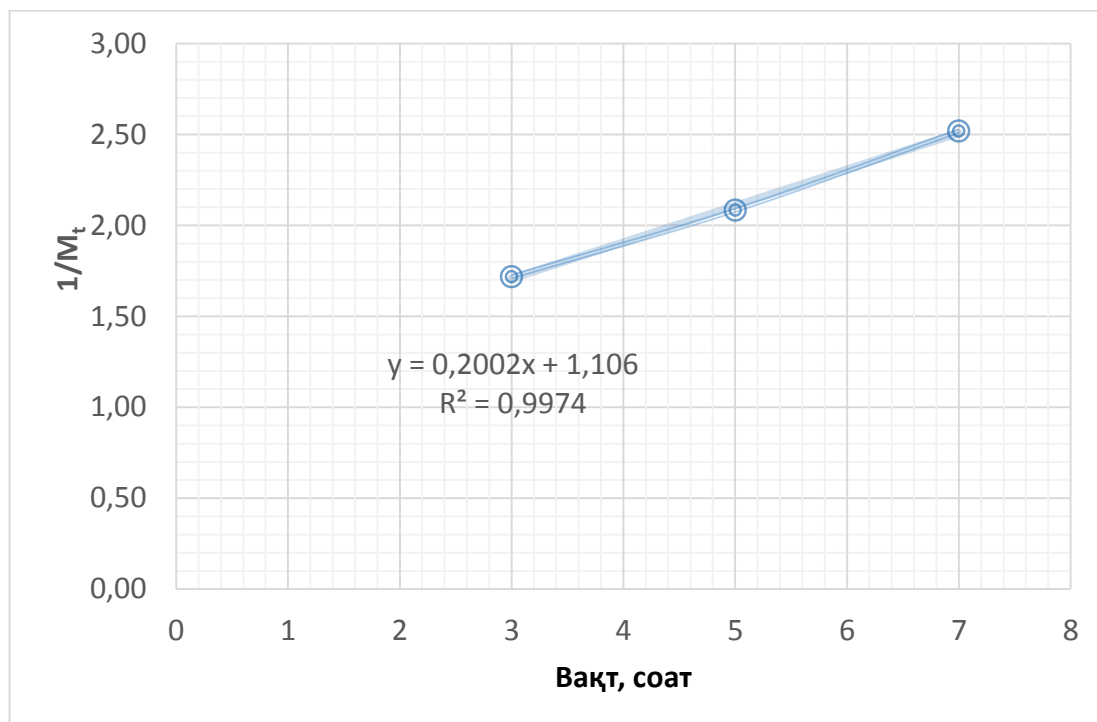
k_m – константаи суръати таҷзия (деградатсия) мебошад.

Дар расми 3.14 вобастагии хаттӣ байни тағйирёбии массаи молекулавӣ ва вақти нигоҳдории маҳлули намунаҳои пектини бихӣ ва себ, ки бо ТА-и гидролиз ва ТФ дар автоклав ба даст омадаанд, нишон дода шудааст. Дар расми 3.14 инчунин вобастагии байни тағйирёбии ММ ва вақти гидролизи пектин аз офтобпараст, ки бо ТФ дар автоклав ба даст омадааст, нишон дода шудааст. Ҳамин тариқ, қиматҳои ёфтшудаи константаи таҷзия k_m аз муодилаи тамоюли хаттӣ барои ҳамаи пектини омӯхташуда дар ҷадвали 3.9 пешниҳод шудаанд.



Расми 3.14. - Вобастагии бузургии $1/M_t$ пектин аз вақти нигоҳдории маҳлул:

◇ - ПСФ □ – ПБх Δ - ПБх



Расми 3.15. - Вобастагии бузургии баръакси массаи молекулавии пектин аз вақти нигохдории маҳлул

Тавре ки аз коэффисиентҳои коррелятсия дида мешавад, муодилаи хатти тамоюл вобастагии додашудаи равандҳои таҷзияи пектин (полисахаридҳои пектинӣ)-ро дар маҳлул ба таври комил тавсиф мекунад ($R^2 = 0,96-0,99$). Дар ҳама ҳолатҳо, ҳамаи нуқтаҳои мушоҳида ҳақиқӣ дар хатти тамоюл ҷойгиранд [159].

Ҷадвали 3.9. - Қиматҳои константаи таҷзияи пектин, ки аз муодилаи вобастагии массаи молекулавӣ аз вақти нигохдории 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 ·соат ⁻¹
ПБх 85-60-2,0	$y = 0,2879x + 4,9271$	0,9981	202,9	2,879
ПСФ 85-60-2,0	$y = 0,1892x + 7,8694$	0,9629	127,0	1,892
ПСФ 100-7-2,0	$y = 0,0483x + 6,2045$	0,9602	161,1	0,483
ПО 120-7 -2,0	$y = 0,2002x + 1,1060$	0,9974	165,0	12,00

Тавре ки аз маълумоти бадастомада дида мешавад, қиматҳои ёфтшудаи константаи суръати таъзия (деградатсия) дар маҳлул ҳангоми нигоҳдорӣ дар ҳарорати ҳонагӣ барои пектинҳое, ки бо тарзи анъанавӣ ба даст омадаанд, барои ПБХ 85-60-2,0 баландтарин буда, $2,879 \cdot 10^{-4} \text{ мол} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{соат}^{-1}$ ($R^2 = 0,9981$)-ро ташкил дод, барои ПСФ 85-60-2,0 қимати константа яқиним маротиба камтар, яъне $1,892 \cdot 10^{-4} \text{ мол} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{соат}^{-1}$ ($R^2 = 0,9602$) буд ва барои ПСФ 100-7-2,02 бошад, $0,483 \cdot 10^{-4} \text{ мол} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{соат}^{-1}$ ($R^2 = 0,9690$)-ро ташкил дод [159].

Қимати константаи суръати таъзияи пектини ПО дар шароити гидролизи фаврӣ, дар ҳарорати 120 °С, хеле баланд буд ва нисфи суръати таъзияи ПСФ дар ҳарорати ҳонагиро ташкил дод. Ин нишон медиҳад, ки баланд бардоштани ҳарорат ба 100 дараҷа суръати таъзияро ба андозаи ду дараҷа (ду тартиб) меафзояд [150, 155-159].

Мушоҳида мешавад, ки суръати таъзияи пектин, ки бо тарзи фаврӣ аз себ дар автоклав дар 100 °С дар тӯли 7 дақиқа ба даст омадааст, назар ба суръати таъзияи пектине, ки бо тарзи анъанавӣ дар 85 °С дар тӯли 60 дақиқа ба даст омадааст, 3,9 маротиба камтар аст. Ин натиҷаҳо нишон медиҳанд, ки пектине, ки бо тарзи анъанавӣ экстраксия шудааст, нисбат ба пектине, ки бо тарзи нави фаврӣ ба даст омадааст, ба таъзия дар маҳлул хеле ҳассос аст, ки ин аз фарқи кинетикии бандҳо ҳангоми ҳидролиз-экстраксияи ПО бо ин тарзҳо шаҳодат медиҳад.

Қиматҳои ёфташудаи массаи молекулавии ибтидоӣ (M_{in}) барои пектини омӯхташуда аз ин модел наздик буда, ба қиматҳои массаи молекулавии ибтидоии намунаҳои ПО, ки пас аз ҳал кардани намунаҳо дар тӯли 2 соат мувофиқи тартиби муайянкунии массаи молекулавӣ ёфт шудаанд (ҷадвали 3.5), мувофиқат мекунад.

3.7. Хосиятҳои гидродинамикӣ ва таҳлили конформатсионии пектин

Дигар параметрҳои муҳиме, ки шакл ва андозаи занҷирҳои полимериро дар маҳлул муайян мекунад ва ба хусусиятҳои пектин таъсир мерасонанд, ба ғайр аз M_w ва ТММ, хосиятҳои гидродинамикӣ мебошанд, ки онҳо сифати маҳсулоти ниҳоиро ҳангоми истифодаи пектин ҳамчун ғафскунанда,

эмулсияҳосилкунӣ ва гелҳосилкунӣ дар саноати хӯроқворӣ ва фармасевтӣ муайян мекунад.

Хусусияти муҳимтарини молекулаҳои полимерӣ ин қобилияти онҳо барои печидан, яъне тағйир додани конформатсияи худ аз шакли чӯбчагӣ то шакли калобагӣ бо зиёд шудани дарозии занҷири полимерӣ мебошад, ки ин қобилият бо сахтии мувозинатии онҳо муайян карда мешавад. Барои муайян кардани хусусиятҳои конформатсионии занҷирҳои полимерӣ, як қатор тарзҳои физикӣ таҳия шудаанд, ки ба андозагирии соиши гузариш ва гардишии макромолекулаҳо асос ёфтаанд. Ба ин тарзҳо вискозиметрия (ченкунии часпакии хоси дохидӣ), седиментатсия (таҳшиншавӣ) ва изотермияи диффузияи гузариш, парокандашавии динамикии нурафакании дуалии электрикию динамикӣ ва як қатор тарзҳои дигар дохил мешаванд.

“Конформатсия метавонад ҳамчун сохти фазоии молекула дар маҳлули серобшуда” муайян карда шавад [110]. Дар маҳлул, вобаста ба сифати термодинамикии ҳалкунанда ва хосиятҳои занҷири полимерӣ, сохт ё шаклҳои гуногун мушоҳида мешаванд. Баҳодиҳии конформатсияи шакли фазоии макромолекуларо дар маҳлули серобшудаи полимерӣ тавассути таҳлили нисбати радиуси инерсия ва радиуси гидродинамикӣ (R_{rms}/R_{hyd}), графикаи конформатсионӣ ва константаи Марк-Хаувинк-Сакурада (ҷадвали 3.10) муайян мекунад, ки ин тарзҳо роҳи муносиб ба ҳисоб меравад [43, 80, 95, 102, 132].

Ҷадвали 3.10. - Параметрҳои конформатсия барои шаклҳои гуногуни молекулавӣ тавассути роҳҳои гуногуни таҳлил [43, 80, 95, 155]

	Нисбати радиус	Графикаи конформатсионӣ $r_{rms} = kM^v$	Муодилаи Марк-Хаувинк- Сакурада $[\eta] = K \cdot M^a$
Шакл	$(r_{rms}/r_{hyd})^a$	$(v)^b$	$(a)^b$
Кура	0,775	0,33	0
Калобаи печида дар ҳалкунандаи <i>тета</i> (Θ)	1,5	0,5	0,5
Калобаи печида дар ҳалкунандаи хуб	1,78	0,5–0,6 ^{b,c}	0,65–0,75

Давоми ҷадвали 3.10.			
Шоҳадор	1.23 ^d , 1.73 ^e	Ҳамаи қиматҳо бо афзоиши дараҷаи шоҳабандӣ кам мешаванд	
Чӯбчамонанд	>2	>1	1–2

2.2.1.1.1. Nilsson L., 2013, см. [95]; (b) Podzimek, 2011, ниг. [102]; (c) Haidar I.A., et al., 2011, см. [43]; (d) Гипер-шоҳадор. (e) Шоҳадори тасодуфӣ [80]

Дар тадқиқоти мо радиуси часпакии массаи миёна ($R_{h,w}$) истифода мешавад ва аз ин рӯ, таҳлили графикаи конформатсионӣ, ки бо тарзи ХМЭСБ бо истифода аз барномаи ASTRA ба даст оварда шудааст, осон ва мувофиқ аст [5, 86, 102, 132, 155-160].

Тарзи маълумтарин ва содатарини муайян кардани хосиятҳои гидродинамикии полимерҳо ин часпакии характеристикӣ $[\eta]$ ва коэффисиенти диффузия дар маҳлули серобшуда мебошад. $[\eta]$ часпакии маҳлули моддаи молекулавии баланд дорои андозаи ҳаҷми мушаххас аст ва ҳамчун ченкунандаи талафоти иловагии энергия хизмат мекунад, ки бо гардиши макромолекулаҳо дар чараён алоқаманд аст. Ба шарофати хроматографияи ХМЭ ва бо истифода аз детектори дифференсиалии вискозиметрӣ ва барномаи компютерии ASTRA (Wyatt Technology), муайян кардани на танҳо характеристикаи часпакӣ дар раванди озмоиш (on line) ҳангоми ҷудокунии макромолекулаҳо дар найчаи хроматографӣ, балки инчунин муайян кардани R_h имконпазир аст, ки маълумот дар бораи шакл ва андозаи макромолекула дар маҳлул медиҳад [150], (ҷадвали 3.11).

Аз рӯйи маълумотҳои ҷадвали 3.11 дида мешавад, ки қимати $[\eta]$ бо афзоиши консентратсияи таҳшинкунанда, аз ҳадди аксар мегузарад ва дар ҳудуди 87,8; 91,6; 72,9 мл/г қарор дорад ва тағйирёбии қиматҳои M_w (108,6; 99,5; 119,4) ва андозаи молекула ($R_{h(w)}$), ки мувофиқан ба 8,9; 9,4 ва 8,2 нм баробаранд, пайравӣ мекунад. Пас аз татбиқи тарзи тозакунии ДУФ, дар қиматҳои M_w , $[\eta]$ ва $R_{h(w)}$ тағйироти зерин ба амал меоянд: дар даври аввали

Ҷадвали 3.11. - Қимати параметрҳои гидродинамикии пектин ($[\eta]$, мл/г ва $R_{h(w)}$, нм)

	Баромад, %	M_w , кДа	$[\eta]$, мл/г	$R_{h(w)}$, нм
ПСФ-130-5 ТС (1:1)	13,5	97,4	87,8	8,9
ПСФ -130-5 ТС (1:2)	15,7	108,6	91,6	9,4
ПСФ -130-5 ТС (1:3)	20,4	99,7	72,9	8,2
ПСФ -130-5 ДУФ1 (1:1)	12,0	119,3	92,4	9,7
ПСФ -130-5 ДУФ1 (1:2)	13,6	99,5	85,3	9,0
ПСФ -130-5 ДУФ1 (1:3)	17,4	67,4	63,5	7,3
ПСФ -130-5 ДУФ2 (1:1)	10,3	128,1	107,7	11,0
ПСФ -130-5 ДУФ2 (1:2)	12,8	119,4	99,6	10,1
ПСФ -130-5 ДУФ2 (1:3)	15,5	76,5	66,6	7,7

ДУФ қимати ин параметрҳо меафзояд, сипас ҳангоми таҳшини минбаъдаи пектин бо афзоиши таносуби маҳлули гидролизат ба спирт якранг (монотонӣ) коҳиш меёбад; бо афзоиши миқдори такрории ДУФ, қиматҳои $[\eta]$ ва $R_{h(w)}$ мувофиқан аз 92,7 то 107,7 мл/г ва аз 9,7 то 11,0 нм ба таври назаррас меафзоянд [157]. Гарчанде ки ҳамаи қиматҳои параметрҳои гидродинамикӣ ва ММ дар ҳолати яккарата ДУФ ва таносуби ҳадди ақали пектин:спирт (1:1) калонтар бошанд ҳам, аммо бинобар кам шудани баромади пектин, марҳилаи ДУФ2 ва таносуби пектин:спирт баробари 1:2 бартарӣ дода мешавад. “Ҳангоми тозакунии гидролизат бо ДУФ, моддаҳои молекулавияшон паст, ки ба пектин пайваست нестанд, хориҷ карда мешаванд, ки ин ба хосиятҳои пектин таъсири мусбат мерасонад” [150, 156-159].

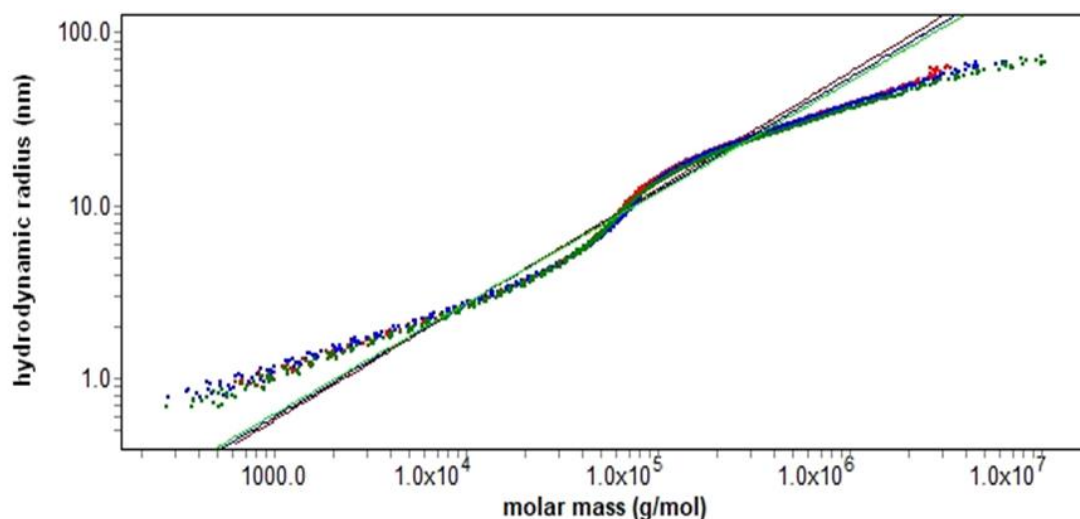
Аз ин рӯ, аз таҳлили маҷмуи маълумот дар бораи массаи молекулавӣ ва хосиятҳои гидродинамикӣ бармеояд, ки таносуби беҳтарини маҳлули пектин:спирти этил ба 1:2 баробар аст ва миқдори такрории ДУФ дар ду давра барои самаранок ҷудо кардани пектин бо хосиятҳои дилхоҳ кофӣ мебошад.

Маълумотҳои андозаи гидродинамикии пектини омӯхташуда, ки бо истифода аз тартиби ASTRA ба даст оварда шудаанд, “ба андозаҳои гидродинамикии пектин, ки бо тарзҳои дигар ёфта шудаанд” [1, 2, 25, 81, 82, 86, 132], қомилан мувофиқат мекунанд. “Андозаи миёнаи пектини шохадор (бандҳои паҳлӯӣдошта), ки бо истифода аз тарзи тақсимои андозаҳо дар

якчоягӣ бо технологияҳои ҷудокунии андоза ва детекторҳое, ки ба адад, масса ва массаи молекулавӣ ҳассосанд, аз маълумоти адабиёт [132] ҳисоб карда шудааст, 7,2 нм-ро ташкил дод ва аксарияти намунаҳои пектин қуллай асосиро дар атрофи ин минтақа нишон доданд” [132]. “Дар бораи тақсими пектини каду дар ду фраксия алоҳидаи андоза маълумот дода шуда аст, ки яке бо қулла дар $R_h \sim 10$ нм ва M_w тақрибан 70 кДа ва фраксия дигар бо массаи молекулавӣ ва андозаҳои баландтар” [25, 82] аст. Ин фарқият метавонад аз равандҳои ташаккули ин полисахаридҳо дар ДХ дар ҳама ё ҳамаи намунаҳои навиҷҳои гуногун, дараҷаи пухтагӣ ва тарзи экстраксияи пектин [2, 133, 134] ба вуҷуд омада бошад.

3.7.1. Таъсири тарзи тозакунии ба хосиятҳои гидродинамикӣ ва конформатсионии пектин аз себ

Маълумотҳои M_w , $[\eta]$, ва (R_{hw}) , ки бо ёрии барномаи ASTRA ба даст оварда шудаанд, имкон медиҳанд, ки шакли молекула дар асоси графики конформатсионӣ арзёбӣ карда шавад. Нишебии ин график (расмҳои 3.16 ва 3.17) имкон медиҳад, ки шакли полимери якхела [102] арзёбӣ гардад ва ченаки зичии (компактнокии) он мебошад.



Расми 3.16. - Вобастагии радиуси гидродинамикӣ аз массаи молекулавии ПСФ-130-5 ТС: яқум ПСФ-130-5 ТС 1:1 ($b=0,67$), дуҷум ПСФ-130-5 СО 1:2 ($b=0,65$) ва сеҷум ПСФ-130-5 ТС 1:3 ($b=0,64$)

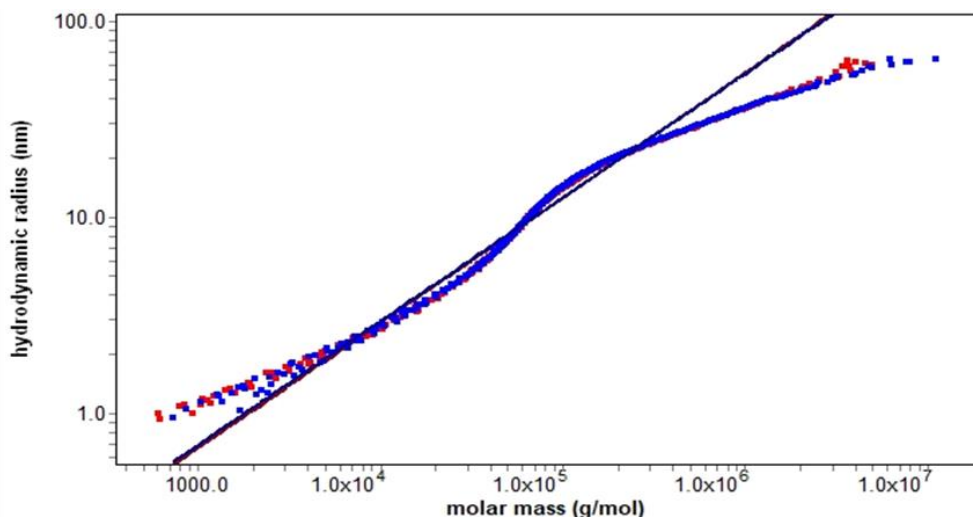
Илова бар ин, нишондиҳандаҳои нишебӣ дар ин график қиматҳои миёнаи ҳамаи шаклҳои мавҷударо ифода мекунанд ва чен кардани конформатсияҳои

молекулавии молекулаҳои алоҳидаи мавҷуда ҳатмӣ нест. Дар мавриди полимери гетерогенӣ, ба монанди пектин, робитаи байни нишебӣ ва шакли молекула каме мураккабтар аст, ки он дар расмҳои 3.16 ва 3.17 нишон дода шудааст [155, 158].

Дар расми 3.16 графיקи вобастагии радиуси гидродинамикӣ аз массаи молекулавии пектин (графики конформатсионӣ) нишон дода шудааст, ки бо ТФ ба даст оварда шуда ва бо спирт тоза карда шудаанд (ПСФ-130-5 ТС).

Дар график ба таври возеҳ дида мешавад, “ки макромолекулаҳои пектин дар ин ашёи хом, вобаста ба андозаи гидродинамикии худ, ба се қисмат дар шакли фраксияи молекулавиашон паст, молекулавиашон миёна ва молекулавиашон баланд тақсим шудаанд” [168]. Нишебихои миёнаи ёфтшуда бо коэффисиенти “ b ” хеле наздиканд ва мувофиқан ба 0,67; 0,65 ва 0,64 барои намунаҳои пектин, ки бо таҳшини спирти дар таносуби маҳлули гидролизат:спирт 1:1; 1:2 ва 1:3 экстраксия шудаанд, баробар мебошанд. Ин шаҳодат медиҳад, ки дар маҳлул макромолекулаҳои пектин асосан дар шакли чӯбчаҳои сегментшуда ё калобаи варамида қарор доранд.

Дар расми 3.17 графики конформатсионӣ барои намунаҳои пектин, ки бо



Расми 3.17. - Вобастагии радиуси гидродинамикӣ аз массаи молекулавии ПСФ-130-5

ДУФ, ки бо тарзи фаврӣ ба даст оварда шудаанд:

якум ПСФ-130-5 ДУФ 1 ($b=0,64$), дуюм ПСФ-130-5 ДУФ 2 ($b=0,63$)

тарзи тозакунии ДУФ ба даст оварда шудаанд, оварда шудааст. Хусусияти қачхатта тақрибан ҳамон аст ва қиматҳои ёфтшудаи коэффисиенти “ b ”

мувофиқан ба 0,64 барои пектине, ки бо як даври ДУФ тоза карда шудааст ва 0,63 барои пектине, ки бо тарзи иловагии ДУФ чудо карда шудааст, баробар мебошанд. Чӣ тавре ки аз қиматҳои ададии коэффисиенти “*b*” аз графикаи конформатсионӣ бармеояд, андозаҳои макромолекулаи пектини себ аз ҳамдигар кам фарқ мекунад.

3.7.2. Таъсири навъи манбаи ашёи хом ба хосиятҳои гидродинамикӣ ва конформатсионии пектин

Дар тадқиқотҳои илмӣ, ки хосиятҳо, сохт ва ё функционалии пектини экстраксияшударо меомӯзанд, аксар вақт манбаҳои гуногуни рустаниро истифода мебаранд [5, 25, 26, 30, 44, 65, 84, 100, 105, 109, 127]. “Таркиби молекулаҳои биополимерҳо (масалан, пектин, сафеда) метавонанд вобаста ба манбаи рустанӣ ва тарзҳои коркарди (пешакии) татбиқшаванда тағйир ёбанд, ки ин метавонад ба хосиятҳои эмулсияҳосилкунӣ ва ё устуворкунондаи эмулсияи онҳо таъсир расонад” [41, 93, 112].

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 миқдори КГ ва ДЭ дар ҷадвали 3.12 оварда шудааст [155].

Ҷадвали 3.12. - 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 миқдори КГ ва ДЭ

Навъи пектин	КГ, %	ДЭ, %	M_w , кДа	$[\eta]$, мл/г	R_h , нм	<i>b</i>
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

Аз маълумоти ҷадвали 3.12 бармеояд, ки пектине, ки бо тарзи нави ғаври ба даст оварда шудааст, аз пектине, ки бо тарзи анъанавӣ экстраксия шудааст, аз рӯйи ҳамаи хусусиятҳои омӯхташуда, ба истиснои ДЭ, фарқ мекунад. ДЭ-и

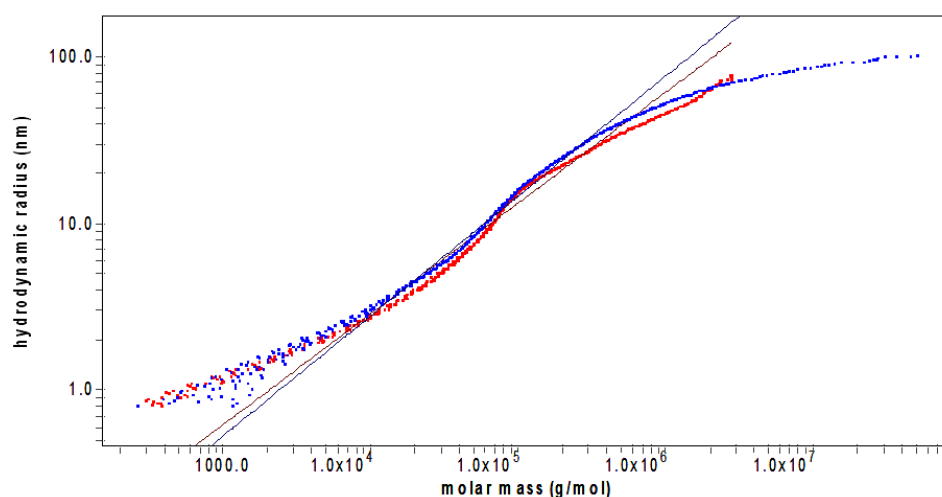
пектин (ПСФ 100-7-2) нисбат ба ДЭ-и пектине, ки бо тарзи анъанавӣ ба даст омадааст (ПСФ 85-6-2), каме пасттар буд, ки ин эҳтимол ба ҳарорати баланди гидролиз (120 °C) вобаста аст.

Бояд қайд кард, ки таъсири ҳарорати баланд дар муддати кӯтоҳ (тарзи фаврӣ) дар 100 °C дар тӯли 7 дақиқа ва тамос дар муҳити кислотагӣ ($pH = 2,0$) ба массаи молекулавӣ таъсир нарасонд. Чӣ тавре ки интизор мерафт, дар ҳар як намунаи пектин, тартиби тағйирёбии хосиятҳои гидродинамикӣ: часпакии характеристикӣ ($[\eta]$) ва радиуси гидродинамикии макромолекулаҳо (R_h) ба массаи молекулавӣ якхела буданд.

Қиматҳои параметрҳои гидродинамикӣ – радиуси гидродинамикӣ (R_h) ва часпакии характеристикӣ ($[\eta]$) – дар намунаҳои омӯхташуда пайдарпай дар қатори зерин кам шуданд: ПБх 86-60-2 > ПС 100-7-2 > ПС 86-60-2, ки ба коҳиш ёфтани массаи молекулави миёна (M_w) мувофиқат мекунад. Ин параметрҳои гидродинамикӣ конформатсия ва рафтори макромолекуларо дар маҳлул муайян мекунанд. Ҳайратовар аст, ки часпакии характеристикии пектини бихӣ (ПБх) ба 213,4 мл/г баробар буда, нисбат ба фарзия ва чашмдошти мо баландтар аст, бо назардошти он ки қимати M_w -и он 176,0 кДа ва қимати R_h -и он 14,2 нм буда, ба қиматҳои ин параметрҳо барои пектини себ ПСФ 100-7-2 наздиканд. Эҳтимол, ин ба сохтори камтар агрегатшудаи пектини бихӣ нисбат ба дигар пектинҳои омӯхташуда алоқаманд аст, ки массаи молекулави миёнаи M_z -и он ба 607 кДа баробар буданаш метавонад аз ин шаҳодат диҳад [150, 155-159].

Аз нишебии қачхатаҳои графикаи конформатсионӣ ва бо ёрии барномаи додашуда, қимати коэффисиенти конформатсионӣ (b) барои пектинҳои омӯхташуда ёфт шуд (ҷадвали 3.12).

Инро маълумоти таҳлили графикаи конформатсионӣ, ки бо ёрии барномаи ASTRA ба даст оварда шудааст, тасдиқ мекунад (расми 3.18).



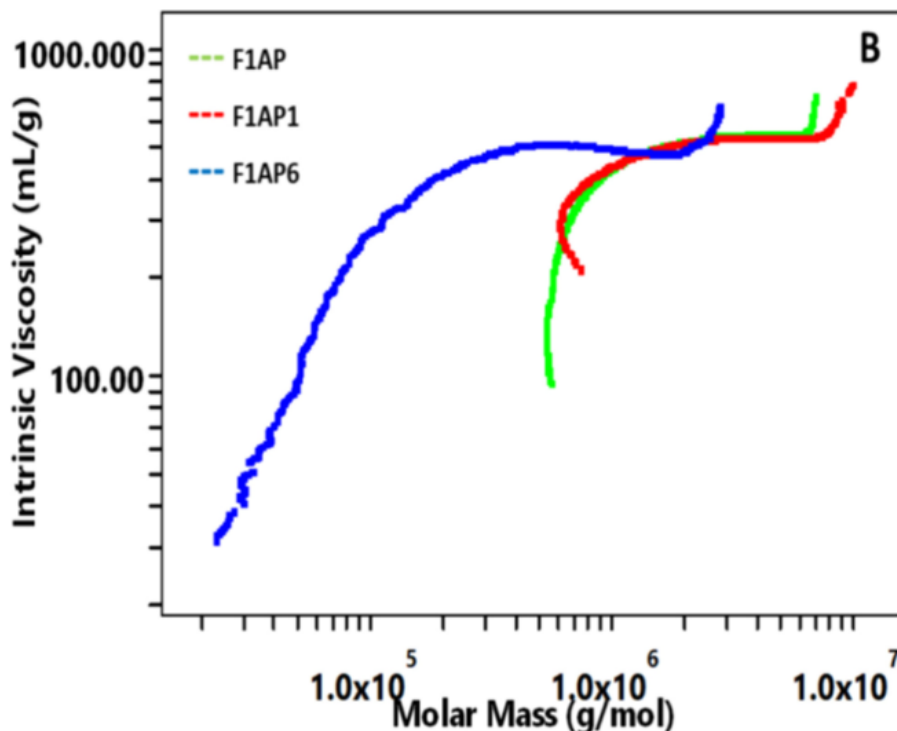
Расми 3.18. - Вобастагии радиуси гидродинамикӣ аз массаи молекулавии пектини омӯхташуда (графики конформатсионӣ) барои ПСФ 85-60-2 (хати сурх) ва ПБх 85-60-2 (хати кабуд)

Ин маълумот воқеан нишон медиҳад, ки пектини бихӣ, сарфи назар аз қимати пасти ДЭ-и худ, конформатсияи калобагӣ нисбатан зичтарро қабул мекунад ($b = 0,85$), ки аз пектинҳои себ ($b = 0,67$) фарқ мекунад. Илова бар ин, пектини бихӣ дорои фраксияи молекулавиаш баланди думраванда бо конформатсияи камтар дарозшуда мебошад, ки эҳтимол дар шакли микрогелҳои агрегатшуда аст. Ин қисми макромолекулаи агрегатшуда инчунин дар қачхатаҳои ТММ-и қисми молекулавиаш баланд дар расми 3.16 намоён аст.

Аз графики конформатсионии пектини бихӣ (хати 2 кабуд) ду минтақаи гуногун намоёнанд, ки қиматҳои коэффисиенти b -и онҳо фарқ мекунанд ва мавҷудияти ҳадди ақал ду популятсияи аз ҷиҳати физикӣ гуногунро дар дохили як гурӯҳи полисахаридҳо тасдиқ менамоянд. Қимати b_1 (дар M_w $1-5 \cdot 10^5$ г/мол) дар ПБх 85-60-2,0 аз 0,83 то 0,92 тағйир ёфт ва тахмин мезанад, ки шаклҳои макромолекулаи онҳо ба калобаҳои печида дар ҳалқунандаи хуб монанданд (ҷадвали 3.12). Ҳамзамон, қимати “ b ” (дар $M_w > 10^6$ г/мол) аз 0,5 камтар аст, ки бо қиматҳо ба конформатсияи калобашакл муқоисашаванда аст. Бо вучуди ин, ҳар дуи популятсия ҳангоми якҷоя баррасӣ шудан, нисбат ба ПС-85-60-2,0 зичтар ба назар мерасанд.

Барои фраксияи F1AP ва F1AP1-и пектини зардолу аз вобастагии часпакии хоси дохилӣ ва массаи молекулавӣ истифода бурда, тибқи графикҳои

Марк-Хаувинк (М-Х), шакли макромолекулаҳои пектинро муайян намудем. Хатҳои ин вобастагӣ дар расми 3.19 оварда шудаанд. Онҳо нишон доданд, ки пектини зардолу дорои сохти калобашакли зич бо қиматҳои α (0,416; 0,276) ва ρ (0,817; 0,858) мувофиқан мебошанд.



Расми 3.19. - Качхатаҳои ТММ-и фраксияи зардолу, ки аз найчаи ДЭАЭ-сефароза бо об (F1AP1) ва 0,2 М NaCl (F1AP6) шуста шудаанд; (В) графикҳои Марк-Хаувинки ба ҳам гузошташуда барои фраксия аслии пектин (F1AP), F1AP1, F1AP6

Гуногунии ин макромолекулаҳо дар шаклҳои нишебии хатҳои F1AP1 ва F1AP6 ба гуногунии таркиби онҳо ишора мекунад, ки аз гуногунии таркиби моносахаридии онҳо бармеояд [89, 160]. Дар айнаи замон, қисми F1AP6 дорои таркиби якхела аст, ки ин бо миқдори баланди боқимондаҳои КГ дар ин фраксия (83,9%) мувофиқат мекунад. Сахтии занҷири пектини аслии зардолу ва фраксия он F1AP1, ба истиснои фраксияи F1AP6, конформатсияе (тартиби фазой)-ро дорад, ки ба конформатсияи қаблан дар полисахаридҳои пектини омӯхташуда шабоҳат дорад, ки дар онҳо бо минтақаҳои RG бартарӣ доранд [82, 88]. Конформатсияи фраксияи F1AP6 ба конформатсияи ПО наздик аст, ки дорои минтақаҳои HG бо миқдори баланди боқимондаҳои КГ мебошад [86]. “Таҳлили муфассали маълумоти адабиётӣ конформатсияи полимерҳоро аз рӯи нишебии экспоненти Марк-Хаувинк-Сакурада (α) [46] ва таносуби омилҳои

шакл, ки ҳамчун ($\rho=R_{gz}/R_{hz}$) [10] муайян карда мешавад, шарҳ медиҳад. Маълумоти шабеҳ (α ва ρ) барои полисахаридҳо дар лаблабуи қанд, лаблабуи сурх, меваҳои ситрусӣ ва кабудӣ (черника) ба қайд гирифта шудааст” [50, 51, 84].

Маълум аст, ки сохти молекулавии полиэлектrolитҳои пектинӣ ба таври назаррас мураккабтар аст, ки ба он на танҳо тарзи экстраксия, тарзҳои ҷудокунӣ ва тозакунии он, балки инчунин ДЭ-и гурӯҳҳои карбоксилии пектин ва қобилияти макромолекулаҳо барои агрегатсияи байнизанҷирӣ низ метавонанд таъсир расонанд, ки назорати он дар ҷараёни истеҳсолот муҳим аст [5, 20, 24, 25, 26, 32, 39, 54, 61, 74, 84, 98, 100, 109, 110].

Таъсири намуди пектин ва концентратсияи куркумин ба хосиятҳои физикӣ-химиявии комплексҳо, инчунин таъсири муҳофизатии комплексҳо ба устувории (стабилнокии) куркумин таҳқиқ карда шуд. Масалан, “комплекси сафеда ва пектини ПМБ бо куркумин дар таносуби 40:1 самаранокии бехтарин инкапсулятсияро нишон дод, зеро ПМБ гурӯҳҳои гидрофобӣ зиёд дорад” [74]. Муаллифон [74] бори аввал бо истифода аз МҚА нишон доданд, ки пектини афлесун омехтаи молекулаҳои куравӣ ва хаттӣ дар шакли чӯбча, чӯбчаи хамшуда, сегментдор ва чӯбчаҳои шоханок мебошад [146]. Ғайр аз ин, ин молекулаҳои хаттӣ метавонанд ба шакли тур ҷамъ шаванд, ба шакле, ки аз рӯйи зичӣ ба калоба наздик мешавад.

Дар кори ба тозагӣ нашршуда [32] таъсири ДЭ, pH , ҳарорат ва концентратсия ба ҳолати макромолекулавии пектин дар маҳлул таҳқиқ карда шуд. Бо тарзи ПНРКХ, ки бо МҚА ва динамикаи молекулавӣ пайваست шудааст, барои омӯختани сохт, шакл ва андозаи пектин дар маҳлул омӯхта шуданд. Дар ин озмоиш ду шакли таркиб мушоҳида карда шуданд, ки бо кластери пайдарпай пайваستшуда (агрегатҳо) бо андозаи аз 100 то 200 нм тавсиф меёбанд. Сатҳи дуҷуми таркиб аз занҷирҳои ягонаи биополимерӣ бо радиуси гардиш (R_g) аз ~ 6 то 42 нм ба вучуд меояд. “Рушди як қатор моделҳои фазоии макромолекулавӣ (*in vitro* ва *in silico*) барои пектин нишон медиҳад, ки ҷандирии занҷир бо афзоиши ДЭ ва дар минтақаи туршии pH зиёд мешавад, дар ҳоле ки бандҳои

гидрогенӣ қувваи ҳаракатдиҳандаи термодинамикӣ барои ташаккули кластерҳо мебошанд. Пектин бо ДЭ-и баланд таркиби дорои андозаи баҳаммонандии (фракталии) ғайр бо бастабандии суст эҷод мекунад” [32]. Қиматҳои адабии параметри конформатсионии “ b ”, ки дар ин кор ба даст оварда шудаанд, бо ин фарзия барои пектини себ бо ДЭ-и баланд ба таври хуб мувофиқат мекунад.

3.7.3. Тағйирёбии хосиятҳои гидродинамикӣ ва конформатсионии пектин ҳангоми деградатсияи он дар маҳлул

Дар ин қисми таҳқиқот мо таҳлили муқоисавии тағйирёбии хосиятҳои гидродинамикии пектино меорем, ки ҳангоми нигоҳ доштани маҳлулҳо дар давоми ду шабонарӯз пеш аз чен кардани хусусиятҳои молекулавӣ бо ТА ва бо ТФ ба даст оварда шудаанд.

Маълумоти кинетикӣ оид ба тағйирёбӣ, қиматҳои M_w ва M_z , M_w/M_n , $[\eta]$, радиуси гидродинамикӣ $R_{h(w)}$ ва коэффисиенти конформатсионӣ (b), ки аз рӯйи қачхатаи вобастагии радиуси гидродинамикӣ аз ММ барои полисахаридҳои пектини таҳқиқшаванда ҳангоми нигоҳ доштани маҳлулҳои онҳо то 48 соат ёфта шудаанд, дар ҷадвали 3.13. оварда шудаанд [158].

Ҷадвали 3.13. - Кинетикаи тағйирёбии массаҳои молекулавӣ, коэффисиенти полидисперсӣ ва хосиятҳои гидродинамикии пектини себ ва бихӣ вобаста ба вақти нигоҳдории маҳлулҳо

Навъи пектин	Вақт, соат	M_w , кДа	M_w/M_n	M_z , кДа	$[\eta]_w$, г/мл	$R_{h(w)}$, нм	b
ПСФ 85-60-2,0	3,0	120,0	2,5	2828	132,3	11,9	0,63
ПСФ 85-60-2,0	6,0	119,0	5,6	508	146,2	11,7	0,64
ПСФ 85-60-2,0	20,0	76,9	14,5	533	194,5	11,6	0,65
ПСФ 85-60-2,0	36,0	69,7	16,6	572	194,1	10,5	0,66
ПСФ 85-60-2,0	48,0	59,7	17,0	582	194,0	10,5	0,67
ПБх 85-60-2,0	3,0	174,6	3,2	1380	213,3	14,2	0,72
ПБх 85-60-2,0	6,0	154,6	6,8	600	240,5	13,1	0,72
ПБх 85-60-2,0	20,0	88,6	6,7	295	289,6	12,7	0,74
ПБх 85-60-2,0	36,0	65,8	6,8	240	284,1	12,5	0,75
ПБх 85-60-2,0	48,0	53,6	6,8	241	285,0	12,4	0,76

Дида мешавад, ки 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 (ҷадвали 3.13): аз 11,9 нм то 10,5 нм барои ПСФ 85-60-2,0 ва аз 13,1 нм то 12,4 нм барои ПБх 85-60-2,0.

Ғайр аз ин, хусусияти тағйирёбии часпакӣ дар пектин ин фарзияро тасдиқ мекунад, яъне чудошавии занҷирҳо ва ростшавии онҳо, ки бо афзоиши параметри b шаҳодат медиҳад.

Муаллифон [81] иддао доранд, ки “пектин бо ММ-и пасттар аз рӯи сохти НГ бойтаранд, дар ҳоле ки пектини бо ММ-и баландтар дар сохти худ минтақаҳои RG-I-ро низ дар бар мегиранд” [81]. Онҳо ба хулосае омаданд, ки таҷзияи пектин, ки асосан аз минтақаҳои НГ иборатанд, ба часпакии хоси дохилӣ таъсири муҳим, вале ба ММ таъсири камтар мерасонад. Баръакс, ҳангоми таҷзияи пектин бо ҳиссаи баланди RG-I вазъият акс аст. Ғайр аз ин, пектине, ки дар онҳо минтақаҳои RG-I бартарӣ доранд, ба таври возеҳ конформатсияи калобаҳои тасодуфиро қабул мекунанд ($b < 0,8$) [150, 156-159].

Хулоса аз боби 3

Экстраксияи пектин як раванди физикӣ-химиявӣ аст, ки гидролиз, ҳалшавии полимерҳои пектинӣ ва диффузияи макромолекулаҳоро аз бофтаҳои рустанӣ таҳти таъсири якчанд параметрҳои раванди коркард дар бар мегирад [3, 5, 7, 17, 24, 26, 34, 39, 44, 54, 57, 58, 61, 65, 68, 84, 88, 97, 100, 104, 105, 107, 109, 110, 123, 127, 148, 154]. Илова бар ин, марҳилаи ҷудокунии пектин ва тоза кардани он аз маҳсулоти гидролизи пастмолекулавӣ аз маҳлул дар ин раванд нақши муҳим дорад [4, 18, 26, 42, 53, 82, 90, 135, 141, 149, 150, 155-160]. Донишмандони хосиятҳои физикӣ (массаи молекулавӣ ва хосиятҳои гидродинамикии макромолекула дар маҳлул) ҳангоми арзёбии сифати пектин ва таҳияи равандҳои технологӣ муҳим аст [7, 20, 61, 81, 98, 105, 130, 162].

Натиҷаҳое, ки мо ба даст овардем [89, 150, 155, 156-160], нишон медиҳанд, ки часпакии дохилии хоси маҳлулҳо, массаи молекулавӣ ва андозаи

гидродинамикии макромолекулаи пектин ба шароити экстраксия ва ҷудокунии пектин аз маҳлули гидролизат ҳассос мебошанд.

Раванди коркарди пектин метавонад ба таркиби онҳо ва хусусиятҳои калидии техно-функционалии онҳо, аз қабилӣ часпакӣ, устуворкунӣ, гелҳосилкунӣ, эмулсияҳосилкунӣ, инкапсулятсия, плёнкаҳосилкунӣ ва адсорбсия таъсир расонад. Мувофиқати пектин барои ҳама гуна истифодабарӣ аз хусусиятҳои таркибии он муайян карда мешавад, аз ҷумла: массаи молекулавӣ; конформатсияи он дар маҳлул; миқдори қанди нейтралӣ; таносуби минтақаҳои ҳамвор (HG) ва ворӣ (RG) дар сохти он; мавҷудияти пайваستҳои полифенолӣ (кислотаи ферулоӣ); миқдори гурӯҳҳои метоксилӣ ва атсетилӣ дар пектин ва шакли тақсимои онҳо дар полисахарид [3, 70, 81, 86, 93, 119, 130, 134, 135, 140, 160].

Пектин бо массаи молекулавии баланд барои устувории нӯшокиҳо, аз қабилӣ эмулсияҳо ва маҳсулоти ширӣ, мувофиқанд, зеро онҳо часпакии фазаи муттасилро баланд мебардоранд. “Ғайр аз ин, массаи молекулавии баланд ва қобилияти пектин барои ҳудагрегатсия онҳоро ба маводҳо барои нақши пардаҳои ғизоӣ ва моддаҳои рӯйпӯшкунанда табдил медиҳанд, ки ба ҳифзи маҳсулоти хӯрокворӣ мусоидат мекунанд” [168]. Аммо, беҳбудӣҳо барои бартараф кардани маҳдудиятҳо, аз қабилӣ гузарониши паст ва хосиятҳои механикии пасти пардаҳои пектинӣ барои истифодабарии онҳо дар соҳаҳои гуногун, заруранд.

Конформатсияи динамикии полисахаридҳо маънои тартиби фазоии сеченакаи чандир ва мутобиқшавандаи занҷирҳои макромолекулавии онҳоро дар маҳлул дорад, ки вобаста ба таъсири чунин омилҳо, аз қабилӣ консентратсия, pH ва қувваи ионӣ мебошад [1, 9, 27, 43, 45, 80, 86]. “Ин рафтори конформатсионӣ дар муайян кардани хусусиятҳои функционалии он нақши ҳалкунанда мебозад, ки боиси таваҷҷуҳи зиёд ба муайян кардани сохти фазоии молекула ва ҳолати он гардидааст” [27, 19, 70, 71, 82, 86, 168].

Ҳамин тариқ, таҳлили таъсири ин параметрҳо бо шароити равандҳои экстраксия ва тозакунӣ метавонад барои ба даст овардани пектин бо хосиятҳои

махсус барои истифодабарии мушаххас мусоидат кунад. Тарзи фаврӣ-гидролиз ва тарзи тозакунии муассири – ДУФ имкон медиҳад, ки аз таъсири тӯлоии агенти гидролизкунанда ва ҳарорат ба пектини ҷудошуда, ки ин аз деструксияи эҳтимолии молекулаҳои онҳо, ки ба маҳлул гузаштаанд, дарак медиҳад, пешгирӣ карда шавад.

Хосиятҳои функционалии пектин ҳанӯз пурра кушода нашудаанд ва барои кушодани робитаи байни сохт ва функцияи пектин, бахусус нақши он дар рустаниҳо, кӯшишҳои зиёди таҳқиқотӣ заруранд. Хусусиятҳои сифатӣ, махсусан хосиятҳои сохт ва реологии бисёр маҳсулоти ғизоии пайдоиши рустани, ба таври назаррас аз миқдор ва таркиби пектин дар якҷоягӣ бо намуди равандҳои коркарди ашёи хом вобастаанд. Бо вучуди ин, ин кор рафтори конформатсионии пектини себро ҳангоми ҷудокунии он аз маҳлули гидролизат бо ду тарзи амалӣ ошкор намуд, ки аксари соҳаҳои истифодаи саноатӣ ва биологии муҳими онро дар бар мегирад, ки ин имкон медиҳад биомаводҳои пешрафта дар асоси ин биополимери қиматбаҳо ба таври оқилона таҳия карда шаванд.

БОБИ 4. ТАЪСИРИ МАССАИ МОЛЕКУЛАВӢ ВА ТАРКИБ БА ХОСИЯТҲОИ ГЕЛҲОСИЛКУНӢ ВА ЭМУЛСИЯҲОСИЛКУНИИ ПЕКТИН

Дар даҳсолаҳои охир маводҳои функционалии дорои таъиноти тиббӣ-биологӣ таваҷҷуҳи зиёдро ба худ ҷалб мекунанд, яъне маводҳое, ки барои ҳосилкунии маҳсулот, дастгоҳҳо ва доруҳое пешбинӣ шудаанд, ки дар тиб, биотехнология, кишоварзӣ ва ғайра истифода мешаванд. Онҳо барои таъмин ва беҳтар кардани ҳаёти инсон, ҳайвонот, рустаниҳо ва микроорганизмҳо истифода мегарданд. Маводҳои композитии полимерӣ (гидрогелҳо, микросфераҳо ва микрозаррачаҳои эмулсионӣ) таваҷҷуҳи ҷиддии муҳаққиқонро, ки дар соҳаи эҷоди биоматериалҳои нав фаъолият мекунанд, ҷалб менамоянд. “Ин таваҷҷуҳ ба гидрофилӣ будан, биомувофиқати эҳтимолӣ, хосиятҳои механикӣ ва эластикӣ, ки ба хосиятҳои бофтаҳои табиӣ наздик мебошанд, инчунин ба як қатор хусусиятҳои нодирӣ дигар вобаста аст” [55, 83, 103, 152, 168]. Пектин ҳамчун биополимери муҳофизатӣ дар деворҳои хучайравии рустаниҳо дар таҳқиқот оид ба эҷоди ғизои функционалӣ ва интиқолдиҳандагони моддаҳои доруворӣ таваҷҷуҳи зиёд пайдо мекунад.

4.1. Микросфераҳои гидрогелӣ дар асоси пектин

“Гидрогелҳо дар асоси пектин дар таркиби ҳабҳо (таблеткаҳо) ҳамчун агенти пайваस्तкунанда” [55, 83, 152], инчунин дар таркибҳои матритсавии ҳабҳо бо интиқоли назоратшаванда истифода шудаанд [55, 83, 111, 152]. “Пектин дорои таъиноти дорусозии умедбахш буда, дар ҳоли ҳозир ҳамчун маводи интиқолдиҳанда дар системаҳои интиқоли доруҳо, ки махсусан барои рӯдаи ғафс пешбинӣ шудаанд, баррасӣ мегардад” [83]. Пектин ҳамчун маводи интиқолдиҳандаи доруҳои сершумор барои истифодабарӣ бо барориши назоратшаванда истифода мешавад. “Пектин дар истехсоли бисёре аз маҳсулоти тиббӣ, аз қабилӣ лосонҳо, кремҳои рӯй ва дигар намудҳои ороишӣ (макияж) истифода мегардад” [103, 152]. Ҳамчун полимери табиӣ аз ҷиҳати биологӣ таҷзияшаванда, пектин метавонад аз сабаби ҳалшавандагии баланд дар

муҳити обӣ [152] ва массаи молекулавии он маҳдудиятҳо дар суръати диффузия ва барориш дошта бошад.

Мақсади ин қисми таҳқиқот аз таҳлили таъсири параметрҳои молекулавии пектин дар таҳияи шароити бадастоварии комплексҳои микросфераҳо дар асоси пектин ва зеин бо воситаи инкапсулятсияшуда иборат аст, “ки ба таъсири муҳити меъда устувор мебошанд, то ки онҳо барои истифодаи эҳтимолӣ ҳамчун шакли нави дору бо барориши назоратшаванда дар минтақаи ғафси рӯда истифода шаванд, ки ин дар табобати бемориҳои рӯда зарур аст” [161, 162, 168].

Комплексҳо ё коасерватҳои пектин-зеинӣ (КПЗ) дар шакли микросфераҳо мувофиқи методологияи [165] ба даст оварда шуданд. “Мухтасар, КПЗ-ро бо роҳи тадричан илова кардани маҳлули пектин, ки дорои доруи зидди илтиҳобӣ – пироксикам (ПХ) аст, ба маҳлули 75% этанол, ки дорои зеин, CaCl_2 ё ZnSO_4 мебошад, дар ҳарорати хонагӣ ба даст меоранд.

Дар ин таҳқиқот пектини меваҳои ситрусии тичоратии пастмолекулавии ПМ-пектин GENU L/200-CP Kelco (CP Kelco, Дания) истифода” [153] шуд, ки дорои КГ (КГ) 69,0%, ДЭ (9,0%) ва M_w 212 кДа мебошад; пектини себи баландмолекулавии БМ-пектин (Муъминобод) – БМ-ПСМ-120-5-2,0, дорои КГ 68,0% ва ДЭ 52%, M_w 134 кДа; пектини себи пастмолекулавии ПМ-пектин (Шаҳринав) – ПМ-ПСШ-85-60-1,8, дорои КГ 58,0%, ДЭ 43,0% ва M_w 119 кДа ва пектини офтобпарастии пастмолекулавии ПМ-пектин, ки бо тарзи динамикӣ ба даст оварда шудааст (ПМ-СО-Д-2М-2,0), мувофиқи методологияи [88], дорои КГ 68,0%, ДЭ 42,0% ва M_w 142 кДа (ҷадвали 4.1) мебошад.

Дар ҷадвали 4.1 вобастагии таркиб, аз ҷумла массаи молекулавии пектин ва баромади микросфераҳои гелӣ, дараҷаи варамкунии онҳо ва миқдори моддаи доруворӣ (МД)-и инкапсулшудаи пироксикам (ПХ) оварда шудааст.

Тавре ки дида мешавад, бо зиёд шудани массаи молекулавии пектин дар комплекси КПЗ баромади микросфераҳо ба таври назаррас бештар шуда, миқдори моддаи дорувории инкапсулшуда низ меафзояд. Ҷолиби диққат аст, ки бо зиёд кардани ҳиссаи (миқдори) сафедаи гидрофобӣ-зеин дар ҳолати

истифодаи пектини себи массаи молекулавиш баланд, баромади гели композитсионӣ ва миқдори доруи инкапсулшуда зиёд мешавад [161].

Ҷадвали 4.1. - Хусусияти намунаҳои пектин, ки аз манбаъҳои гуногуни ашёи хом ҷудо карда шудаанд

Манбаи ашёи хом	КГ, %	ДЭ, %	Mw, кДа	З/П	Баромади гел, %	S, г/г	ПХ, %
ПС (L/200-CP Kelco)	69,0	9,0	212	0,5	58,8	29,4	72,6
ПСМ-120-5-2,0	68,0	52,0	134	0,5	22,6	25,0	58,7
				1,0	36,3	27,4	34,5
				6,0	43,9	30,16	39,0
ПСШ-85-60-1,8	58,0	43,0	119	0,5	42,3	8,3	66,4
				1,0	33,9	18,94	61,0
				6,0	25,0	22,7	61,5
ПО-Д-2М-2,0	68,0	42,0	142	0,6	65,4	14,7	87,2

Дар ҳоле ки дар пектини пастмолекулавӣ гарчанде ки миқдори ҷабидашудаи дору аз пектини якум бештар аст, вале зиёдшавии ҳиссаи сафеда боиси афзоиши сорбсия намегардад, баръакс, баромади гел ба таври назаррас кам мешавад [161].

Инчунин, ба назар мерасад, ки дар микросфераҳо (композитҳо)-е, ки дар асоси пектини дорои ДЭ-и паст сохта шудаанд, миқдори ПХ-и гирифташуда бештар аст. Ин фарқиятҳо, тавре ки қаблан зикр гардид, бо хусусиятҳои сохт ва массаи молекулавии полисахарид, ки бо зеин коасерватҳо ташкил медиҳад ва қобилияти дарбар гирифтани миқдори бештари ПХ-ро дорад, алоқаманданд.

Аз маълумоти ҷадвали 4.1 бармеояд, ки комплексҳо бо пектини баландмолекулавӣ бо массаи калон ва дараҷаи варамкунӣ фарқ мекунанд. Аммо дараҷаи сершавии ПХ дар комплексҳо бо пектини себи каммолекулавӣ баландтар буд. «Ҳангоми иваз кардани ионҳои Ca^{2+} бо ионҳои Zn^{2+} дараҷаи сершавӣ ба таври назаррас афзоиш ёфт» [87].

Маълумоти бадастомада тахминро тасдиқ мекунад, ки пектини баландмолекулавӣ ва пектини дорои ДЭ-и паст, дар муқоиса бо пектини каммолекулавӣ ва эстерификатсияи баланд, ба ташаккули микросфераҳои

гидрогелии дорои сохти зичтар мусоидат мекунад, ки ин ҳангоми ҳосилкунии интиқолдиҳандаҳои моддаҳои доруворӣ, ки ба хориҷшавии бармаҳали ПХ дар қисми болоии роҳи меъдаю рӯда устувор мебошанд, муҳим менамояд. Ғайр аз ин, гидрогелҳо бо ионҳои руҳ ҳангоми тамос бо маҳлули физиологӣ нисбат ба гидрогелҳо бо ионҳои калсий мустаҳкамии механикии бештар зоҳир карданд [87]. “Ин эҳтимол дар натиҷаи ивазшавии қисман ионҳои калсий бо ионҳои натрий дар қисматҳои занҷирҳои гомогалактуронӣ бо гурӯҳҳои карбоксилии номунтазам, назар ба модели “қуттии тухм”, ки одатан бо ин ионҳо дар шакли пайдарпай ҷойгиршудаанд ба вучуд меоянд, ба амал оварда мешавад” [101, 161].

Таҳқиқи қобилияти системаҳои таҳияшудаи интиқоли моддаҳои доруворӣ барои нигоҳдорӣ аз таъсири протеаза ҳангоми гузаштан аз қисми болоии роҳи меъдаю рӯда вобаста ба массаи молекулавии онҳо низ ҷолиби таваҷҷуҳ буд. “Ба ин мақсад, кинетикаи баромади ПХ аз микросфераҳои пектин-зеини бадастомада дар муҳити сунъии меъда ва рӯда омӯхта шуд” [161].

Ҷадвали 4.2. - Арзёбии параметрҳои хориҷшавӣ ($T_{50\%}$)-и микросфераҳои СИМД (системаҳои интиқоли моддаҳои доруворӣ) дар асоси пектинҳои гуногун дар роҳи шартии меъдаю рӯда дар таҷрибаҳои *ex vivo*

Микросфераҳои СИМД	Таносуби З/Пектин	M_w , кДа	Дозаи ПХ, мкг	$T_{50\%}$, соат ($P < 0,05$)
З/ПСШ (КМ)	0,5	112,7	1000	48,0
З/ПО (КМ)	0,5	142,0	1000	42,0
З/ПС (КМ)	0,5	212,0	1000	36,0

Дар ин таҷриба, ба таври назаррас ($P < 0,05$) дида мешавад, ки бо афзоиши массаи молекулавии пектин, устувории микросфераҳои СИМД кам мешавад. Дарачаи баланди хориҷшавӣ дар натиҷаи релаксатсияи шабакаи полимерӣ ҳангоми таъсири шиддат дар ҷараёни варамкунии полимер дар шароити муҳит ба амал меояд. Чӣ қадаре, ки массаи молекулавӣ калон бошад, ҳамон қадар варамкунии полимер бештар шуда, хориҷшавии максималии моддаҳои доруворӣ ба амал меояд. Дар айни замон, ин системаҳоро метавон

тавассути баланд бардоштани гурӯҳҳои гидрофобӣ бо роҳи афзоиши ҳиссаи зеин назорат кард. Бо зиёд шудани миқдори зеин, равандҳои релаксационии шабакаи полимерӣ паст мешаванд, ки суръати диффузияро кам мекунад. Илова бар ин, таъсири мутақобилаи гидрофобии протеин бо ПХ хориҷшавии МД-ро аз шабака боз ҳам сулғтар месозад [151, 161].

Ҳамин тариқ, дар натиҷаи ин таҳқиқот шароити беҳтарини ба даст овардани микросфераҳо дар асоси биополимерҳои табиӣ – пектин ва зеин бо моддаи дорувории инкапсулшуда муайян карда шуд. “Нишон дода шуд, ки ба раванди ташаккули комплексҳо ва дараҷаи сершавии микросфераҳо бо дору, табиати биополимерҳо, мутаносибии онҳо, мавҷудияти металлҳои дувалента ва массаи молекулавӣ пектин таъсир мерасонанд. Ҳангоми ташаккули микросфераҳо бо истифода аз пектини каммолекулавӣ комплексҳо асосан тавассути робитаҳои салибӣ бо ионҳои металлҳои дувалента ба вуҷуд меоянд, дар ҳоле ки дар ҳолати пектини баландмолекулавӣ, тавассути таъсири мутақобилаи гидрофобии биополимерҳо ба вуҷуд меоянд. Дар натиҷа, як қатор микросфераҳо дар асоси полимерҳои биологӣ таҷзияшаванда ва биомувофиқ – пектин ва зеин ба даст оварда шуданд, ки метавонанд ҳангоми ҳосил кардани интиқолдиҳандаҳои МД бо хориҷшавии назоратшаванда истифода шаванд” [161, 168].

4.2. Таъсири массаи молекулавӣ ба хосиятҳои эмулсияҳосилкунии пектин

Дар айни замон пектин тадриҷан ҳамчун эмулсияҳосилкунии самарабахш дар бисёре аз маҳсулоти хӯрокворӣ эътироф мешавад. Аз ин рӯ, хосиятҳои эмулсияҳосилкунӣ ва устуворкунандаи эмулсияи ин гидроколлоид бештар мавриди арзёбӣ қарор мегиранд. Ин хосиятҳои функционалии пектин ҳам тавассути хосиятҳои фрагментҳои карбогидратӣ ва ҳам гурӯҳҳои сафедаи зуд пайваستшаванда назорат карда мешаванд. Одатан, фрагменти сафеда, гурӯҳҳои ферулоилӣ ва атсетилӣ дар фаъолияти эмулсияҳосилкунии пектин нақши муҳим мебозанд, дар ҳоле ки хосиятҳои устуворкунандаи эмулсияи полимер тавассути домени НГ ва занҷирҳои паҳлӯӣ қанди нейтралӣ элементҳои

таркиби RG-I назорат карда мешаванд. Аммо, занҷирҳои паҳлӯӣи кандӣ нейтралӣ метавонанд ба дастрасии зарраҳои гидрофобии пектин ба сарҳади байни равшан/об монеъ шаванд ва ба ин васила эмулсияҳосилкуниро душвор гардонанд. Илова бар ин, саҳми HG дар устуворсозии эмулсия метавонад аз таносуби HG:RG-I дар полимер вобаста бошад. Ҳамин тариқ, таъсири хусусиятҳои таркиби пектин ба потенциали эмулсияҳосилкунии полимерҳо, тавре ки дар натиҷаи таҳқиқот ошкор шуд, пурра омӯхта нашудааст. Зидда аз ин, хосиятҳои эмулсияҳосилкунӣ ва устуворкунандаи эмулсияи пектин аз таркиби эмулсияҳо вобастаанд [94].

Дар мавриди потенциали эмулсияҳосилкунии пектин, аксари таҳқиқот ба пектини ситрусӣ ва пектини лаблабуи қанд нигаронида шудаанд. Сарфи назар аз он, ки сохти пектини аз дигар маводи рустанӣ ҷудошуда хуб тавсиф шудаанд, потенциали эмулсияҳосилкунӣ ва хосиятҳои устуворкунандаи эмулсияи онҳо кам омӯхта шудаанд.

Барои омӯختани таъсири MM ва таркиби пектин ба хосиятҳои эмулсияҳосилкунии пектин дар ин таҳқиқот, хосиятҳои агрегатсионӣ ва хосиятҳои эмулсияҳосилкунии пектини гуногун таҳлил карда шуданд.

Дар ҷадвали 4.3 натиҷаҳои таҳлили устувории эмулсия, миқдори моддаи дорувории адсорбсияшуда (ҷабидашуда), параметрҳои хоричшавии ПХ ($T_{50\%}$)

Ҷадвали 4.3. - Таҳлили устувории эмулсия, миқдори моддаи дорувории адсорбсияшуда, параметри хоричшавӣ ($T_{50\%}$)-и он аз СИМД дар асоси пектинҳои гуногун дар роҳи шартии меъдаю рӯда ва тавассути LgC ва пектин дар таҷрибаҳои *ex vivo*

LgC/P	Хусусиятҳои пектин		V, мл эмулсия, %	Андозаи зарраҳо, мкм	ПХ, %	$T_{50\%}$, соат
	M_w , kDa	ДЭ, %				
ПСШ (ПМ)	112,7	40,3	19,0	6,4	64,5	18,9
ПСФ (БМ)	208,0	71,6	20,0	6,2	57,0	23,5
ПС (ПМ)	212,0	9,0	13,0	5,4	54,0	15,6
ПО (ПМ)	87,6	43,2	19,0	9,3	64,0	13,0

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.

Қувваи асосии пешбарандаи адсорбсияи полимер дар қатраҳои ибтидоии эмулсия, ҳалби электростатикӣ байни гурӯҳҳои зарядноки полимер ва гурӯҳҳои муқобили зарядноки заррачаи коллоидӣ мебошад. “Дарачаи адсорбсияи полимер дар сатҳи заряднок аз хосиятҳои полимер (дарозии занҷир, чандирӣ, зичии ҳаттии заряд, концентратсия)” [116], хосиятҳои заррачаҳо (радиус, зичии сатҳии заряд, концентратсия) ва шароити маҳлул (харорат, pH , навъи ион, концентратсияи ионҳо) [116] вобаста аст.

Ҳамин тариқ, дар шароити таҷрибаҳои дар боло тавсифшуда, ташаккули қатраҳои рағғани устувор низ ҳамон мушкilotро дар назар дошт. Фарқият дар қобилияти занҷирҳои пектин барои ҳосил кардани қабати фойданоки дуҷум вобаста ба шумораи молекулаҳои сафеда дар атрофи заррачаи рағған, бешубҳа, аз массаи молекулавӣ ва таркиби намунаҳои пектин вобаста аст [162].

Занҷирҳои пектинӣ бо дарозии нисбатан калони алоқаи доимӣ [116] қобилияти пайваст кардани миқдори муайяни молекулаҳои сафедаро, ки дар сатҳи рағған адсорбсия шудаанд, доранд. “Пектини баландмолекулавӣ қодир аст, ки қатраи рағғанро бо миқдори камтари сафедаи дар моноқабат адсорбсияшуда ҳам пӯшонад ва қабати дуҷуми устуворро ташкил диҳад. Дар ҳоле ки дар мавриди пектинҳои себ ва офтобпарастии дорои массаи молекулави баланд, бартарафсозии зарраҳо ҳангоми флокулятсия мушоҳида шудааст, ки ба чудошавии қабатҳои эмулсия оварда мерасонад. Ин метавонад сабаби ташаккули коасерват (аз калимаи латинии *coacervus* – ғуншудан, ба якдигар ҷазбидан)-и мураккаб байни пектин ва сафеда дар шиддати пасти ионӣ ва pH -и паст бошад. Маълумот дар бораи таҳшини пайдарпайи пектин ва сафедаҳо гувоҳӣ медиҳад, ки дар шароити истифодашуда байни сафедаҳо ва пектин ҳалби умумӣ вучуд дорад” [116]. Ин метавонад ба ҳалби боқимондаҳои муқобили заряднок дар пектин ва сафеда алоқаманд бошад, аммо метавонад дигар таъсири мутақобиларо низ дар бар гирад. Масалан, боқимондаҳои

кислотаи уронии метилэтерификацияшудаи пектин метавонанд бо сафедаҳо тавассути таъсири гидрофобӣ мутақобила кунанд. Эмулсияи ноустувор асосан дар қабати дуюм, вақте ки молекулаи пектини гидрофобӣ дар система мавҷуд аст, ба вучуд меояд. Бинобар ин, зарур аст, ки шароити ташаккули эмулсияро барои рафъи ин мушкилот тавассути ташаккул додани занҷири пектин ба шакли сахт (кашидашуда) бо роҳи баланд бардоштани pH ва шиддати ионии эмулсияи дуюмдараҷа танзим карда шавад.

Муаллифон [116] хусусиятҳои эмулсиякунандагӣ ва устуворкунандаи эмулсияи ҷаҳор намунаи пектинро, ки аз себ, сабзӣ, пиёз ва помидор ҷудо карда шудаанд, таҳқиқ намуданд ва дар адабиёти тадқиқоти пектин фарқиятҳо дар як қатор хусусиятҳои сохт байни намунаҳои пектин, ки аз ин манбаъҳои гуногун ба даст омадаанд, нишон дода шудаанд, ки аз ҷумла, Сато ва дигарон (2011) пектини себро бо қиматҳои баланди устуворкунандаи эмулсия, ки аз 70% зиёд аст, тавсиф намудаанд, дар ҳоле ки пектини помидор қаблан ҳамчун макромолекулаи хаттии бештар бо қиматҳои баланди массаи молекулавӣ тавсиф шуда буд, ки ин бо пектини сабзӣ, ки сохти шоханоки васеътар ва массаи молекулавии пасттар дошт, муқоиса карда мешавад, ҳамзамон дараҷаи шоханокии намунаҳои пектини себ нисбат ба пектини сабзӣ ба андозае пасттар буд ва фраксияи полисахаридӣ, ки аз пиёз бо кислота экстракция шудааст [38], бо миқдори баланди сафеда ва галактоза тавсиф мешуд.

Ҳамон муаллифон [116] ҳамчунин “механизмҳои эмулсияҳосилкунӣ ва устуворкунандаи хусусиятҳои зердоменҳои таркиби як қатор экстрактҳои пектинӣ (аз себ, сабзӣ, помидор ва пиёз)-ро вобаста ба сохт ва массаи молекулавии онҳо омӯхтанд; арзёбии потенциали эмулсияҳосилкунӣ ва устуворкунандаи намунаҳои пектин дар эмулсияи равған дар об (р/о) қобилияти онҳоро барои паст кардани шиддати байнифазаӣ, инчунин таҳқиқи муътадилӣ ҳангоми нигоҳдории эмулсияҳои бо пектин муътадилшударо дар бар мегирифт; ҳолати тақсимшавӣ ба қабатҳо ва тағйирёбии андозаи қатраҳои равған ҳангоми нигоҳдорӣ бо истифода аз якчанд тарзҳои таҳлиلى бодикқат омӯхта шуданд ва дар маҷмӯъ, қатраҳои равғани андозаашон хурдтар дар $pH=2,5$ нисбат ба

$pH=6,0$ ба даст оварда шуданд, ки ин қобилияти бехтари эмулсияҳосилкунии пектиро дар қимати пасттари pH нишон медиҳад” [116]; муътадили пасттарин дар эмулсияҳое мушоҳида шуд, ки бо пектини помидор тайёр карда шудаанд, ки дар онҳо флокулятсияи суст ва ба вучуд омадани нисбатан босуръати қаймоқ (сатҳи болоии эмулсия) ба муътадили эмулсия таъсир расониданд; пектини пиёз потенциали эмулсияҳосилкунӣ ва устуворкунандаи аз ҳама хубро нишон дод ва тахмин меравад, ки мавҷудияти ду фраксияи полимерӣ дар ин намуна нақши муҳим дар муътадили эмулсияи р/о мебозад; ин кор нишон дод, ки намунаҳои пектин, ки аз рустаниҳои гуногун истихроҷ шудаанд, хусусиятҳои сохти гуногунро нишон медиҳанд, ки боиси потенциали гуногуни эмулсияҳосилкунӣ ва устуворкунанда мегардад ва онҳо нишон доданд, ки массаи молекулавии полимер эҳтимолан дар таносуби сохт-функсияи он нақши муҳим мебозад; фарқиятҳои асосии сохти байни ин намунаҳои пектин устуворкунандаи эмулсияи фраксияи пектинӣ, радиуси гидродинамикӣ (R_h) ва қимати M_w буданд ва илова бар ин, қимати R_h дар $pH=6,0$ барои фраксияи пектини чудошуда ба таври назаррас (ду баробар) коҳиш ёфт.

Нихоят, дар бисёр таҳқиқот ба таъсири ММ-и пектин ишора шудааст, аммо натиҷаҳо то ҳол хеле зиддиятнок мебошанд ва ММ-и пектин метавонад ба кинетикаи адсорбсия [114, 161], дастрасии гурӯҳҳои рӯйизаминӣ-фаъол [114]. ва тағйирёбии часпакии фазаи обии муттасил (Alba & Kontogiorgos, 2017) таъсир расонад, илова бар ин, Ma et al. (2027) [72] нишон доданд, ки полимерҳои пектин бо массаи молекулавии пасттар, ки пас аз гидролиз ба даст омадаанд, метавонанд фаъолияти байнифазавии аълоро дар муқоиса бо намунаи аслии гидролизнашуда нишон диҳанд, аммо дар айни замон онҳо эмулсияҳои 5% (равғ./равғ.)-ро ба андозаи камтар муътадил мекунанд.

Масалан, муаллифон [95] “барои муқаррар кардани робитаи байни сохти молекулавии пектин (D_E ва M_w) бо ҳолати агрегатсия, сохти агрегатҳо, сохти байнифазавӣ ва хосиятҳои эмулсияҳосилкунандагии пектин аз тарзҳои гуногуни физикӣ-химиявӣ истифода бурданд”[95]; потенциали танзими сохти

молекулавии пектин ба хосиятҳои эмулсияҳосилкунандагӣ аз нуқтаи назари агрегатҳо муайян карда шуд, ки заминаи назариявиро барои оптимизатсияи функционалии эмулсияҳосилкунӣҳои пектинӣ фароҳам овард; натиҷаҳо нишон доданд, ки: 1) ҳангоми афзоиши дараҷаи этерификатсия аз 35% то 73%, андозаи агрегатҳои пектин мунтазам аз 1950 то 1443 нм, қутбнокии микродоменҳои гидрофобӣ дар агрегатҳо коҳиш ёфта, суръати паҳншавӣ (диффузия) ба сатҳи байнифазавии равшан-об ба таври назаррас афзоиш ёфт, миқдори пектини дар сатҳи байнифазавӣ адсорбсияшуда аз 54,4 то 95,9 нг/см² афзоиш ёфт, ғафсии кабади адсорбсия дар сатҳи байнифазавӣ аз 76,9 то 43,6 нм коҳиш ёфт, шиддати сатҳи мувозинатӣ аз 24 то 18 мН/м коҳиш ёфт ва хосиятҳои эмулсияҳосилкунандагӣ ба таври назаррас беҳтар шуданд; 2) бо афзоиши массаи молекулавӣ (M_w) аз $0,55 \times 10^5$ то $1,30 \times 10^5$ Да, андозаи агрегатҳои пектин аз 1195 то 1443 нм афзоиш ёфт, суръати паҳншавӣ ба сатҳи байнифазавии равшан-об коҳиш ёфт, миқдори адсорбсия дар сатҳи байнифазавӣ аз 127,3 то 95,9 нг/см² коҳиш ёфт ва ҳам хосиятҳои байнифазавӣ ва ҳам хосиятҳои эмулсияҳосилкунандагӣ бадтар шуданд; аммо, азбаски гидрофобияи дохилии агрегатҳо афзоиш ёфт, десорбсияи пектин аз сатҳи байнифазавӣ суст шуд, ки ин боиси баланд шудани муътадили эмулсия ҳангоми нигоҳдорӣ гардид ва натиҷаҳои ин таҳқиқот заминаи назариявӣ барои таҳия ва истифодаи эмулсияҳосилкунӣҳои пектиниро фароҳам меоранд.

Дар кори [93] ҳамчунин механизмҳои эмулсиякунандагӣ ва устуворкунандаи хусусиятҳои зердоменҳои таркиби як қатор экстрактҳои пектинӣ (пектини себ, сабзӣ ва пектин аз помидор ва пиёз) вобаста ба сохтор ва массаи молекулавии онҳо омӯхта шуданд; “арзёбии потенциали эмулсияҳосилкунандагӣ ва устуворкунандаи намунаҳои пектин дар эмулсияи равшан дар об (p/o) қобилияти онҳоро барои паст кардани шиддати байнифазавӣ, инчунин таҳқиқи муътадилӣ ҳангоми нигоҳдории эмулсияҳои бо пектин муътадилшударо дар бар мегирифт; ин кор нишон дод, ки намунаҳои пектин, ки аз рустаниҳои гуногун истихроҷ шудаанд, хусусиятҳои сохти гуногунро нишон медиҳанд, ки боиси потенциали гуногуни

эмулсияҳосилкунандагӣ ва устуворкунанда мегардад ва онҳо нишон доданд, ки массаи молекулавии полимер эҳтимолан дар таносуби сохт-функсияи он нақши муҳим мебозад; фарқиятҳои асосии сохт байни ин намунаҳои пектин ДЭ-и фраксияи пектинӣ, R_h ва қимати M_w буданд ва илова бар ин, қимати R_h дар $pH=6,0$ барои фраксияи пектини чудошуда ба таври назаррас (ду баробар) коҳиш ёфт [93].

Ғайр аз ин, намуди пектин ва сафеда ҳангоми ташаккули комплекс дар сарҳади фаза ба хосиятҳои часпакӣ-чандирии қабати дуҷумдараҷа таъсири гуногун мерасонанд, ки ин дар устуворкунандаи худ эмулсия ва хориҷшавии чузъи ғайри ҳалшаванда нақши муҳим мебозад.

Муаллифон [72] як модели навро истифода бурданд, ки модули байнифазаӣ (G'_1 ва E_d')¹-ро бо модули чандирии ҳаҷмӣ $HIPE^2$ (G') дар асоси мувозинати импульс дар сарҳади байни рағған ва об пайваст мекард, барои тасдиқи ин модел, “онҳо намунаҳои гуногуни комплексҳои *сафеда-пектин* (комплексҳои албумин-пектини лупин, комплексҳои албумин-пектини каноп, комплексҳои глобулин-пектини лупин ва комплексҳои глобулин-пектини каноп)-ро интихоб намуданд, ки интизор меравад, ки дорои доираи васеи сахтии байнифазаӣ дар сарҳадҳои рағған-об ва аз ин рӯ, доираи васеи чандирии ҳаҷмӣ $HIPE$ бошанд, ҳамин тариқ, маълумоти реологӣ бо тарзи таҷзияи умумии шиддат (GSD) иловатан таҳлил карда шуд, баъдан, онҳо андозаи қатраҳо, ҳолати ҷараён ва хусусиятҳои динамикии реологӣ ($SAOS$ ва $LAOS$)-и $HIPE$ -ҳоеро, ки бо ин сафедаҳо ва комплексҳо муътадил карда шудаанд, омӯхтанд” [72], ниҳоят, онҳо параметрҳои модели навро бо истифода аз ҳар ду маҷмуи маълумот, ҳам дар речаҳои хаттии часпакӣ-чандирӣ (LVE) ва ҳам ғайрихаттии часпакӣ-чандирӣ ($NLVE$) муайян карданд, ин кор фаҳмиши беҳтареро дар бораи нақши хосиятҳои реологии сарҳади байнифазаӣ дар

¹ Модули барангезандаи буридан (G'_1) – ин ченаки сахтии чандирии мавод ҳангоми деформатсияи буридан мебошад. Модули фишори ҳамаҷониба (E_d'), ки ҳамчун модули чандирии ҳаҷмӣ низ маълум аст, муқовимати маводро ба тағйирёбии ҳаҷм таҳти таъсири фишори ҳамаҷониба тавсиф мекунад.

² Эмулсияҳои дорои фазаи дохилии баланд ($HIPEs$) ба туфайли қобилияти баланди боркунии моддаҳои ғайри ҳалшаванда дар соҳаҳои гуногун, аз ҷумла саноати хӯрокворӣ, фармасевтӣ ва косметикӣ, васеъ истифода мешаванд.

таъсиррасонӣ ба хосиятҳои часпакӣ-чандирии НІРЕ-ҳое, ки бо сафедаҳо муътадил карда шудаанд, фароҳам меорад ва метавонад ба таҳияи самараноки чунин системаҳо мусоидат кунад.

Ин таҳқиқот бо қиматҳои мушаххаси $pH=4,0$ ва як таносуби омехтаи сафеда ба пектин (1:1) маҳдуд буд. Дар таҳқиқотҳои оянда бояд имконияти гузаронидани таҷрибаҳо дар қиматҳои гуногуни pH (масалан, $pH=3-7$) ё истифодаи системаҳои дигар (масалан, комплексҳои сафедаҳо ва полисахаридҳо бо пайдоиш ва массаи молекулавии гуногун) барои тасдиқи минбаъдаи ин модели физикӣ, ки дар татбиқи амалӣ параметри муҳимми системаҳои эмулсия ба ҳисоб меравад, баррасӣ карда шавад.

4.3. Таъсири массаи молекулавӣ ба кинетикаи хориҷшавии моддаи фаъол аз гидрогелҳо дар асоси пектини зеин

“Тибқи таҳқиқоти қаблии фармакокинетикаи” [168] ин системаҳо, гидрогелҳои таҳияшуда имкониятҳои васеъро барои истифодаи онҳо ҳамчун интиқолдиҳандаи доруворӣ фароҳам меоранд, ки имкон медиҳанд миқдори меъёрии дору ва басомади зуҳури таъсироти манфӣ кам карда шаванд.

Яке аз вазифаҳои асосии ин кор аз таҳқиқи раванди диффузия ва кинетикаи хориҷшавии доруи намунавӣ аз гидрогелҳои таҳиянамудаи мо дар шакли микросфераҳо дар асоси комплексҳои пектин-зеин, ки бо ионҳои металлҳои дувалента салибпайвандӣ шудаанд, дар муҳитҳои туршӣ ва ишқорӣ иборат буд.

Ба даст овардани чунин комплексҳо ба ғояи эҷоди системаи мақсадноки интиқоли МД асос ёфта буд, ки беайбии онро дар муҳитҳои туршӣ (муҳити физиологии меъда) ва ишқорӣ (муҳити рӯдаи борик) таъмин намояд. Механизми кори чунин система ба он асос ёфтааст, ки пектин, ки бо пайвандҳои салибӣ тавассути ионҳои металлӣ муътадил шудааст, қодир аст, ки сафедаро аз таъсири протеазаҳо дар қисми болоии роҳи меъдаю рӯда муҳофизат кунад. Зеин бошад, дар рӯйи сатҳ ва дохили шабакаи полимерӣ ҷойгир шуда, ба варамкунии гели пектинӣ ва хориҷшавии босуръати дору

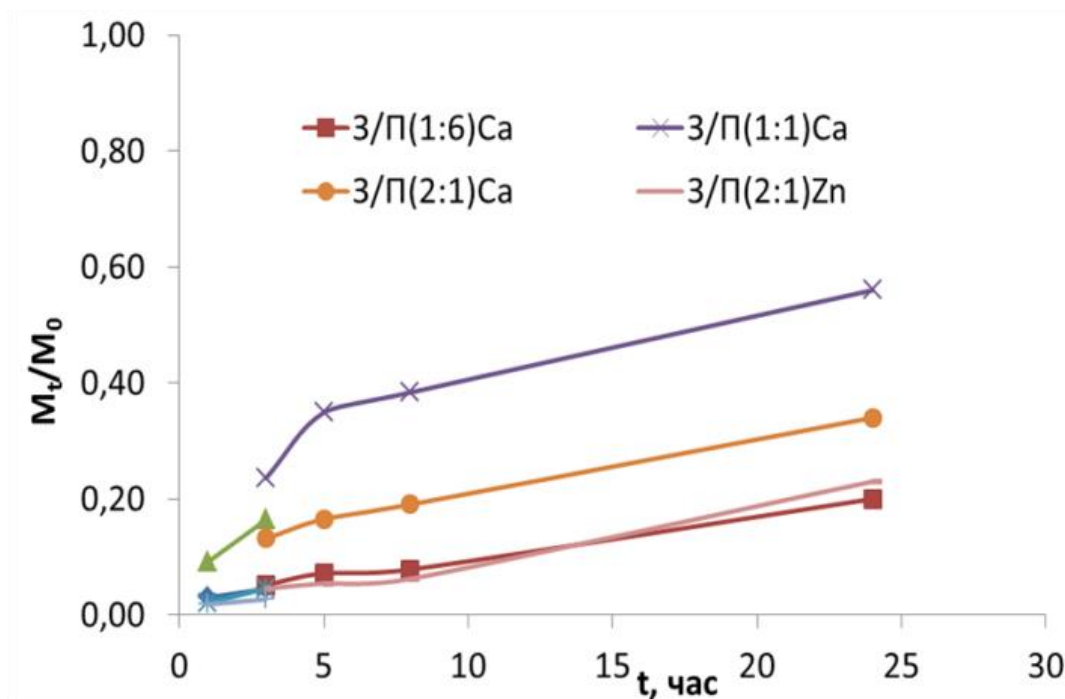
монеъ мешавад [83, 87]. Аммо, бояд ба назар гирифт, ки суръати диффузияи дору инчунин аз навъи пектин ва мутақобилаи пектин-сафеда, иони салибпайвандкунанда, зичии бастабандии занҷири полимерӣ ва сохти худи биополимерҳо вобаста хоҳад буд [83, 87, 101, 151].

Барои таҳқиқи кинетикаи раванд буферҳо бо $pH=1,2$ (HCl/KCl 0,2 M) ва $pH=6,4$ (маҳлули 0,2 M буфери фосфатӣ) омода карда шуданд. Комплексҳои хушкшуда дар миқдори 50 мг ба халтаҳои диализӣ ҷойгир карда шуда, бо 50 мл буферҳои $pH=1,2$ ва $pH=6,4$ пур карда шуданд ва дар дастгоҳ барои муайян кардани ҳалшавандагии МД дар $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ гузошта шуданд. Пас аз фосилаҳои муайяни вақт, экстинксияи маҳлулҳо дар 355 нм бо спектрофотометр чен карда шуд ва миқдори доруи хориҷшуда (M_t) мувофиқи графики дараҷабандӣ (хатти стандартӣ), ки аз рӯйи намунаи ПХ-и стандартӣ сохта шудааст, муайян карда шуд. Миқдори умумии доруи ҷалбшуда дар комплексҳои гидрогелӣ (M_0) тавре, ки дар қори [151] тасвир шудааст, муайян карда шуд.

Таҳқиқи қобилияти ин системаҳо дар пешгирии таъсири протеазаҳо ҳангоми гузаштан аз қисми болоии роҳи меъдаю рӯда манфиатдор буд. Бо ин мақсад, кинетикаи хориҷшавии намунаи стандартӣ ПХ аз микросфераҳои З/П (зеин/пектин)-и бадастомада дар муҳити сунъии меъда ва рӯда омӯхта шуд.

Кинетикаи хориҷшавии намунаи стандартӣ ПХ аз комплексҳои З/П бо пектини себи (ПМ-40), ки бо ионҳои Ca^{2+} ва Zn^{2+} пайваست шудаанд, дар расми 4.1 пешниҳод шудааст [162].

Бо муқоиса бо комплексҳое, ки қаблан омӯхта шуда буданд ва пектинҳои молекулаи баландро дар бар мегирифтанд, кинетикаи хориҷшавии МД аз ин система дар $pH=6,4$ хусусияти хатти рост дошт, ки ба кинетикаи хориҷшавӣ мувофиқи механизми тартиби сифрӣ рост меояд. Миқдори умумии ПХ (намунаи стандартӣ)-и аз комплексҳои гидрогелӣ хориҷшуда пас аз 8 соати инкубатсия дар шароите, ки муҳити роҳи меъдаю рӯдаро тақлид мекунад, камтар аз 20% аз рӯйи вазнро ташкил дод (расми 4.1).



Расми 4.1. - Кинетикаи хориҷшавии намунаи стандартӣ (ПХ) аз микросфераҳои пектин-зеинӣ дар асоси пектини себи (ПМ-40) дар pH=1,2 (то 3 соат, pH=1,2) ва pH=6,4 (аз 3 то 36 соат)

Ҳамин тариқ, гидрогелҳо бо пектини себи (ПМ-40), дар муқоиса бо гидрогелҳо дар асоси пектини ситрусӣ, хориҷшавии МД-ро то 48 соат ва зиёда аз он дароз намуданд, ки ин барои таҳияи системаҳои интиқоли аксарияти МД ба рӯдаи бориқ муҳим мебошад [162].

4.4. Таъсири массаи молекулавӣ (сохт)-и пектин ба параметрҳои кинетикии хориҷшавии моддаи доруворӣ аз микрокапсулаҳои эмулсионии лактоглобулин/пектин

“Кинетикаи равандҳои хориҷшавии МД аз микрокапсулаҳои эмулсионӣ, ки дар маҳлулҳои тақлидкунандаи шароити роҳи меъдаю рӯда ба амал меоянд, яке аз бахшҳои мураккабтарини химияи физикии системаҳои полимерӣ мебошад. Назарияҳои муқарраршуда дар соҳаи омӯзиши кинетикаи варамкунии композитсияҳои полимерӣ ё гидрогелҳо дар сатҳи равшанҳо, чандон зиёд нестанд” [8, 14, 33, 60, 62, 67, 72, 106, 126, 131, 138, 162].

СИМД-и эмулсионӣ, имкониятҳои зиёдро барои баланд бардоштани дастрасии биологии даҳонӣ (пероралӣ) нишон медиҳанд, аммо онҳо асосан аз сабаби набудани тавсияҳои умумӣ оид ба таҳияи таркиб ва миқдор (дозировка) ба таври васеъ истифода нашудаанд. Барои фаҳмидани он, ки чӣ тавр тарҳрезии

таркиб ба хусусиятҳои физикӣ-химиявӣ эмулсия ва функцияи марбут ба он дар муҳити меъдаю рӯда таъсир мерасонад, як қатор системаҳо таҳқиқ карда шуданд [8, 14, 60, 67, 72, 162].

Мураккабии тавсифи миқдории кинетикаи хориҷшавии МД ба зарурати ба назар гирифтани хусусиятҳои ҳолати композитсияи полимерӣ, яъне сохт ва морфологияи он, вобаста мебошад. Гузашта аз ин, дар миёни нашрияҳои илмӣ ва патентӣ дар ин соҳа, танҳо теъдоди нисоят маҳдуди корҳо интиқолро дар матритсаҳои табобатӣ, ки аз композитсияҳои омехта ба даст омадаанд, тасвир мекунанд [8, 14, 60, 67, 83, 87, 162].

Хориҷшавии МД аз эмулсия, пеш аз ҳама, тавассути диффузия назорат карда мешавад, ки дар он дору аз қатраҳои дохили равшан тавассути фазаи пайваستا ҳаракат мекунад ё тавассути вайроншавии эмулсия, ки қанда шудани қатраҳоро дар бар мегирад. Механизми мушаххас ва суръати хориҷшавӣ аз омилҳое ба монанди: хусусиятҳои моддаи доруворӣ (кутбӣ, массаи молекулавӣ), таркиби эмулсия (намуди равшан, намуди моддаи рӯизаминӣ-фаъол, андозаи қатраҳо, таносуби фазаҳо) ва омилҳои беруна, ба монанди фишори осмосӣ вобастаанд. Дар мавриди МД-и ба зарраҳои равшани бо биополимерҳо пӯшонидашуда инкапсулшуда, суръати хориҷшавии МД инчунин аз суръати варамкунии биополимерҳо дар муҳити мувофиқ вобаста аст, ки ба диффузияи МД ба муҳити беруна мусоидат мекунад.

Дар ин қисми кор, барои муътадил гардонидани (стабилизатсияи) микрокапсулаҳои эмулсионӣ бо моддаи дорувории инкапсулшуда, аз пӯшиши дуқабата дар асоси комплекси пектин ва лактоглобулинҳои зардоби шир истифода шуд. Ба сифати пектинҳо истифода шуданд: пектини себи баландмолекула (Муъминобод) – ПСМ-120-5-2,0, ки КГ 68,0% ва ДЭ 52% ва M_w 134 кДа-ро дар бар мегирад ва пектини офтобпарастии пастмолекула, ки бо тарзи фаврӣ (ПО-120-5-2,0) ба даст омадааст, ки КГ 82,0%, ДЭ 35,5%, ва M_w 72,6 кДа-ро дар бар мегирад (ҷадвали 4.4).

Хориҷшавии МД *in vitro*, дар шароити тақлидкунандаи муҳити меъда дар буфер бо $pH=1,5$ ва муҳити рӯдаи бориқ дар буфери фосфатӣ бо $pH=6,5$, дар 37

°C гузаронида шуд. Ин раванд тавассути ҷойгир кардани микрозарраҳо дар халтаҳои диализӣ ба қарри зарфҳои шишагии дастгоҳи USP анҷом дода шуд, ки хатари агрегатсияи зарраҳо дар муҳити хориҷшавӣ ҳангоми таҷрибаро ба ҳадди ақал мерасонд. Барои назорати миқдори МД-и хориҷшуда, маҳлул бо насоси перисталтикӣ (бо суръати 40 см/дақ) аз зарфҳо ба анализатори ултрабунафш кашида шуд, то хориҷшавии МД – пироксикам назорат карда шавад. Пас аз фосилаҳои муайяни вақт, намунаҳо низ гирифта шуда, ба таври спектрофотометрӣ (спектрофотометри UV-Vis, UV-1 Thermo Spectronic, Англия) таҳлил карда шуданд. Дарозии мавҷи максималии азхудкунии пироксикам барои буфер бо $pH=1,5$ дар 335 нм ва барои $pH=6,4$ дар 355 нм муқаррар карда шуд [160]. Ҳар як таҷриба се маротиба такрор гузаронида шуд.

Барои арзёбии механизми хориҷшавии МД аз микрокапсулаҳои лактоглобулин/пектин (LgC/пектин), маълумоти хориҷшавии дору дар муодилаи Ритгер ва Пеппас [106] дар шакли вобастагии логарифмии ғоизи кумулятивии хориҷшавии МД аз логарифми вақт пешниҳод карда шуд ва нишондиҳандаи дараҷавӣ n тавассути майли хатти рост ҳисоб карда шуд.

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

«Барои муайян кардани параметрҳои кинетикӣ, ин муодила ба таври логарифмӣ оварда мешавад:

$$\ln(M_t/M_\infty) = \ln(K) + n \cdot \ln(t)$$

дар ин ҷо: M_t/M_∞ – хориҷшавии ғаррасионии моддаи ҳалшаванда;

t – вақти хориҷшавӣ;

K – константаи кинетикӣ, ки хоси системаи моддаи доруворӣ/полимер мебошад;

n – нишондиҳандаи дараҷавии диффузия мебошад, ки механизми хориҷшавии МД-ро тавсиф мекунад» [106].

Барои ҳабиҳои матритсавии цилиндрӣ, агар нишондиҳандаи дараҷавӣ $n=0,45$ бошад, механизми хориҷшавии МД диффузияи фикковӣ мебошад. Агар $0,45 < n < 0,89$ бошад, ин диффузияи ғайрификковӣ ё аномалӣ мебошад. Қимати

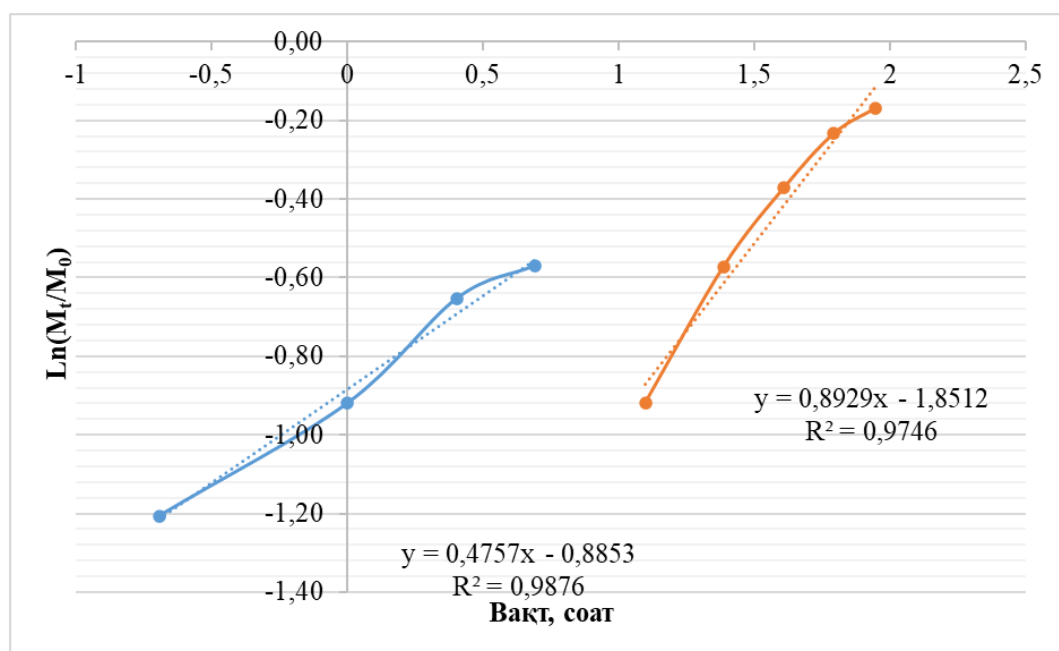
нишондиҳандаи дараҷавии беш аз 0,89 ҳолати II ё хориҷшавии хоси мувофиқи механизми тартиби сифриро нишон медиҳад [126].

“Натиҷаҳои хориҷшавии ПХ аз микрокапсулаҳои эмулсионӣ, ки бо комплекси дуқабатаи лактоглобулин ва пектини офтобпараст устувор гардонида шудаанд, дар таҷрибаҳои *in vitro* (берун аз организм) мутаносибан дар ҷадвали 4.4 ва расми 4.2 пешниҳод шудаанд” [162].

Ҷадвали 4.4. - Маълумоти кинетикии хориҷшавии ПХ аз микрокапсулаҳои эмулсионӣ, ки бо комплекси дуқабатаи лактоглобулин ва пектини офтобпараст устувор гардонида шудаанд, мувофиқи муодилаи Корсмейер ва дигарон [106]

t, соат	D ₃₃₅	C, мкг/мл	M _t , мг	M _t /M ₀	Lg (M _t /M ₀)
pH = 1,5					
0,5	0,26	2,495	0,75	0,299	-1,21
1,0	0,37	3,970	1,19	0,476	-0,74
1,5	0,40	4,340	1,30	0,521	-0,65
2,0	0,45	4,991	1,50	0,568	-0,51
pH = 6,4					
1,0	0,2306	3,326	1,00	0,399	-0,92
2,0	0,2977	4,704	1,41	0,565	-0,57
3,0	0,3488	5,754	1,73	0,690	-0,37
4,0	0,3899	6,598	1,98	0,792	-0,23
5,0	0,4114	7,039	2,11	0,845	-0,17
16,0	0,5415	9,710	2,91	1,165	0,15

СИМД-и эмулсионӣ хориҷшавии босуръати ибтидоиро то 56,8% дар $pH=1,5$ (шароити меъда) нишон доданд. Дар шароити рӯдаи ғафс, дар $pH = 6,4$, хориҷшавии МД дар тӯли 5 соат ба 84,5% расид. Тавре ки дида мешавад, хатҳои қачи хориҷшавии ПХ дар ҳарду муҳит мутаносибан дар шакли хаттии муодилаи $\ln(M_t/M_\infty) = 0,4757 t - 0,8853$ дар шароити меъда ва $\ln(M_t/M_\infty) = 0,8929 t - 1,8512$ дар шароити рӯда зоҳир мешаванд.



Расми 4.2. - Моделҳои кинетикии хориҷшавии ПХ аз микрокапсулаҳои эмулсионӣ (in vitro) дар асоси пектини ПО-120-5-2,0 дар pH=1,5 ва pH=6,4 ва муодилаҳои тренди хаттӣ

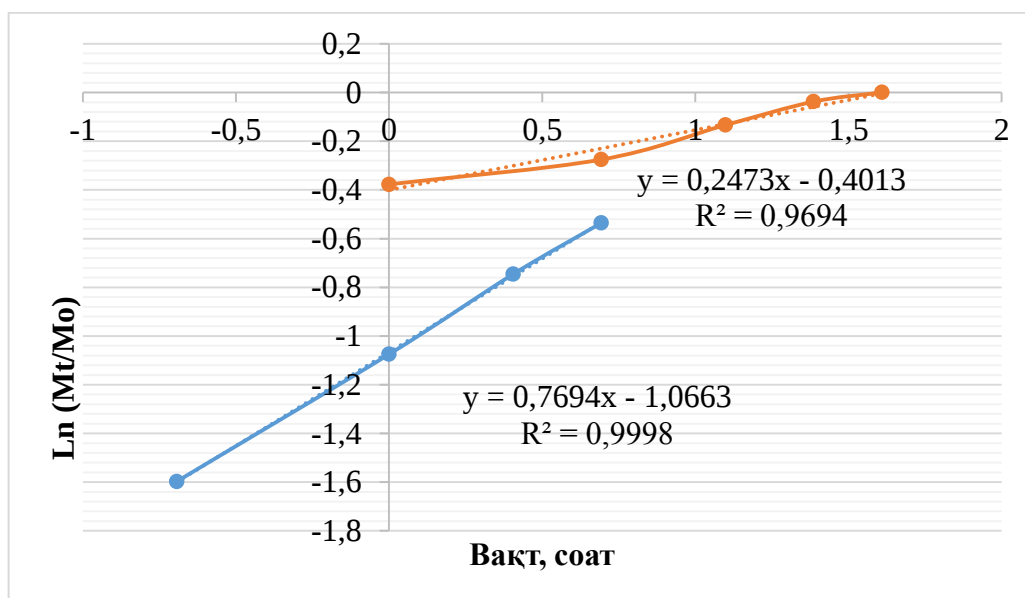
Коэффисиенти регрессия барои кинетикаи хориҷшавии ПХ аз микрокапсулаҳои эмулсионӣ дар асоси пектини ПО-120-5-2,0 дар pH=1,5 ва pH=6,4 мутаносибан дар графикҳо 0,988 ва 0,975-ро ташкил дод. Ин нишон медиҳад, ки зиёда аз нисфи ПХ аз СИМД-ҳои эмулсионӣ дар меъда бо механизми хаттии тартиби сифр хориҷ мешавад. Дар шароити рӯдаи ғафс, дар pH=6,4 баромади ПХ дар тӯли 5 соат аз рӯйи чунин механизм сурат мегирад, ки кинетикаи хориҷшавии таҳти назорати диффузияро тахмин мекунад (ҷадвали 4.5 ва расми 4.3).

Ҷадвали 4.5. - Маълумоти кинетикӣ оид ба баромади МД аз микрокапсулаҳои эмулсионӣ, ки бо комплекси дуқабатаи лактоглобулин ва пектини себ муътадил гардонид шудаанд

t, h	D ₃₃₅	C, мкг/мл	Mt, мг	M _t /M ₀	Lg (M _t /M ₀)
pH = 1,5					
0,5	0,16	1,215	0,36	0,202	-1,590
1,0	0,22	2,048	0,61	0,341	-1,075
1,5	0,29	2,846	0,85	0,474	-0,745
2,0	0,34	3,512	1,05	0,585	-0,535
pH = 6,4					
1,0	0,269	4,115	1,23	0,686	-0,377

Давоми ҷадвали 4.5					
2,0	0,2905	4,556	1,37	0,759	-0,275
3,0	0,3243	5,251	1,58	0,875	-0,133
4,0	0,35	5,778	1,73	0,963	-0,037
5,0	0,361	6,004	1,80	1,001	0,001
16,0	0,49	8,665	2,60	1,444	0,367

Натиҷаҳои хориҷшавии ПХ-и микрокапсулаҳои эмулсионӣ, ки бо комплекси дуқабатаи лактоглобулин ва пектини себ муътадил гардонида шудаанд, дар таҷрибаҳои *in vitro* (берун аз организм) мутаносибан дар ҷадвали 4.5 ва расми 4.3 пешниҳод шудаанд [162]. 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 [162].



Расми 4.3. - Моделҳои кинетикии хориҷшавии ПХ аз микрокапсулаҳои эмулсионӣ дар асоси пектини ПСМ-120-5-2,0 дар шароити *in vitro* дар $pH=1,5$ ва $pH=6,4$ ва муодилаҳои хаттии онҳо

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 4.6 пешниҳод шудаанд. Хориҷшавии моддаи ҳалшаванда аз системаи куравӣ (сферавӣ) аз адабиёти интиқоли масса маълум аст ва ба хориҷшавии МД истифода шудааст [8, 14, 60, 67, 72, 160]. Дар ин ҷор, мо тавсифи пурраи хориҷшавӣ аз қатраҳои эмулсияро истифода намебарем, зеро маълумоти мо, аз сабаби тахминҳои дар боло тасвиршуда, аслан танҳо ниммиқдорӣ мебошанд.

Ҷадвали 4.6. - Хусусиятҳои пектинҳо ва коэффисиентҳои муодилаи Ритгер-Пепектинас барои баҳодиҳии механизми хориҷшавии МД аз микрокапсулаҳои эмулсионӣ, ки бо комплекси дуқабатаи лактоглобулин ва пектин муътадил гардонида шудаанд

	КГ, %	ДЭ, %	M_w , кДа	b	рН	Коэффисиентҳои муодилаи $M_t/M_\infty = K \cdot t^n$	
						К	п
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

Аммо, муқоисаи суръати хориҷшавӣ бо истифода аз модели содакардашудаи хориҷшавии якэкспоненсиалӣ бо суръати пешбинишуда дар асоси мулоҳизаҳои диффузиони оддӣ ғилофҳои полимерӣ дар сатҳи зарраҳои рағанӣ муфид аст. 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. Агар нишондиҳандаи диффузияи “ n ”-и модели Пеппас дар муҳити рӯда барои микрокапсулаҳои дар асоси пектини себи молекулаи калон камтар аз 0,5 (0,23) бошад, ки ба хусусияти диффузионӣ мувофиқат мекунад, пас ин нишондиҳанда барои микрокапсулаҳои пектини офтобпарастӣ молекулаи хурд ба 0,89 баробар буд, ки нишон медиҳад, хориҷшавии дору на танҳо бо механизми диффузионӣ

ба амал омадааст. Қиматҳои баландтари коэффисиенти регрессия барои тамоми системаи интиқолдиҳандаҳои МД нишон медиҳанд, ки ҳар ду СИМД-и пектинӣ ҳамчун намудҳои матритсавии хориҷшавии дору амал кардаанд, дар ҳоле ки СИМД дар асоси пектини молекулаи хурд қимати максималии нишондиҳандаи n -ро дошт. Натиҷа нишон дод, ки СИМД дар асоси пектини молекулаи хурд аз кинетикаи хориҷшавии доруи тартиби сифр пайравӣ кардааст [162].

Системаҳои анъанавии интиқоли доруҳо, ба монанди ҳабҳо, гидрогелҳо ва эмулсияҳо, одатан МД бо кинетикаи тартиби як интиқол медиҳанд. Ин воситаҳои интиқол МД-и капсулашударо мувофиқи принципи “зуд ва оҳиста” хориҷ мекунанд, ки ин боиси баланд шудани сатҳи дору дар плазма дар марҳилаи ибтидоӣ (аввал) ва пас аз он концентратсияи пасти дору дар плазма мегардад, ки метавонад барои расидан ба таъсири табобатӣ (терапевтикӣ) хеле паст бошад. Платформаҳои зикршуда бо зарурати “зуд-зуд” ворид намудан ва вояҳои баланд барои нигоҳ доштани таъсири табобатӣ тавсиф мешаванд. Ин, дар навбати худ, ба риояи низоми табобат аз ҷониби беморон таъсири манфӣ мерасонад [33, 62, 126, 131, 138]. Баланд бардоштани дастрасӣ ба беморон метавонад тавассути таҳияи шаклҳои доругие, ки хориҷшавии самараноктари доруро доранд, ба даст оварда шавад, ки ин имкон медиҳад басомади воридкунӣ ва вояи дору кам карда шавад, инчунин таҳаммулпазирии табобат тавассути шаклҳои инноватсионӣ – таблеткаҳои матрисавӣ, гидрогелҳо ё дигар платформаҳои хориҷшавӣ беҳтар гардад [83, 87, 115, 126, 162].

Дар тӯли ду даҳсолаи охир, системаҳои интиқоли назоратшавандаи доруҳо тағйироти назаррасро аз миқёсҳои макро- ва нано то интиқоли нишонраси интеллектуалӣ аз сар гузарониданд. Баръакси мисолҳои дар боло овардашуда, платформаҳои интиқоли доруҳо мавҷуданд, ки таркиби худро бо кинетикаи тартиби сифр хориҷ мекунанд, яъне бо суръати доимӣ, ки аз миқдори хориҷшуда вобаста нест. Чунин платформаҳо метавонанд дар тӯли тамоми давраи табобат концентратсияи доимии дилхоҳи доруро дар плазма таъмин намоянд [62, 126, 138].

Хулоса, дар асоси тахминҳои дар боло зикршуда, шароити мувозинат дар системаи гели полиэлектролит – маҳлули биологӣ метавонад ба тариқи зайл муайян карда шавад: ҳолати релаксионии варамкунии система (ки бо ҳиссаи ҳаҷмии полимер тавсиф мешавад) аз рӯйи хусусиятҳои дохилии шабакаи полимерӣ, аз ҷумла массаи молекулавӣ ва шакли макромолекула, инчунин таъсири мутақобилаи байнимолекулавӣ байни сегментҳои полимерӣ ва молекулаҳои ҳалкунанда муайян карда мешавад. “Маълум аст, ки ин равиш ба шабакаҳои полимерӣ татбиқ мешавад, ки бо бандҳои мустаҳками паҳлӯӣ тавсиф мешаванд, ки бо бандҳои ковалентӣ ё таъсири мутақобилаи қавии физикӣ муаррифӣ шудаанд, чунон ки, масалан, дар мавриди комплексҳои сафеда/полисахарид дида мешавад. Дар шароити муайяни физиологӣ, раванди варамкунӣ ё гидролизи ферментативии қабати берунии микрокапсулаҳои эмулсионии пӯшидашуда дар асоси LgC/пектин метавонад ба диффузияи назоратшавандаи МД оварда расонад” [162].

Хориҷшавии МД аз эмулсияҳое, ки бо биополимерҳо муътадил гардонида шудаанд, аз ҷониби хусусиятҳои биополимер назорат карда мешавад, ки онҳоро барои расидан ба суръати дилхоҳи хориҷшавӣ тағйир додан мумкин аст. Ғайр аз ММ-и биополимерҳо, омилҳое ба монанди pH , намуд ва консентратсияи биополимер, инчунин андозаи қатраҳои эмулсия низ дар муайян кардани кинетикаи хориҷшавӣ нақши муҳим мебозанд [83, 87, 106, 115].

ХУЛОСАҲО

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 ғаврий 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, сохтҳои 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 баҳогузорӣ 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 печидаи 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 гидродинамикӣ ва конформатсионӣ онҳо ба сифати пектин вобаста ба тарзи тозакунии гидролизати пектин баҳогузорӣ карда шуд. Нишон дода шуд, ки тарзи нави диаультрафилтратсия назар ба тарзи анъанавии таҳшиншавии спиртӣ барои ба даст овардани пектин каммасраф ва дорои хусусиятҳои амалӣ 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 чараёнгиранда 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 микрокапсулаҳои эмулсионӣ дар асоси комплекси пектин-сафеда омӯхта шуд. Нишон дода шуд, ки пектини дорои массаи молекулавии баланд ба ташаккули гидрогелҳои мустаҳкам мусоидат мекунанд, 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 солони афзоиши умумии бозори пектин дар давраи аз соли 2025 то 2030 ба 5,6% баробар шуда, фурӯши он метавонад ба 2,0 миллиард доллари ИМА бирасад, ки ин натиҷаи афзоиши талабот дар соҳаҳои гуногуни иқтисодиёт 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 хӯрокворӣ ва дорусозӣ заруранд, пешниҳод меkunанд. Донишмандони соҳаи пектинҳо, ки аз занҷири асосии гомогалактуронан ва ҷузъҳои бо он алоқаманд дар шакли рамногалактуронанҳо иборат аст, дар муайян кардани қобилияти онҳо нақши ҳалкунанда мебошад. Инчунин, қимати массаи молекулавӣ ва параметрҳои гидродинамикии пектин барои назария ва амалияи равандҳои гелотарӣ, ғайраравандӣ ва устувории эмулсия дар маводҳои гуногун ба кор меоянд.

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

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

Ғайр аз ин, натиҷаҳои ба дастмада ва маълумотҳои нав оид ба массаи молекулавӣ, тақсими массаи молекулавӣ, параметрҳои гидродинамикӣ ва конформатсионии пектин ҳамчун манбаъи истинодӣ барои истифода дар раванди таълимӣ дар дарсҳои химия ва физикаи полимерҳо, пайваستҳои фаъоли биологӣ, химияи дорусозӣ ва дар соҳаҳои хӯрокворӣ, пойгоҳи илмӣ ва технологиро таъмин менамоянд.

РҰЙХАТИ АДАБИЁТИ ИСТИФОДАШУДА

1. Alba K., Bingham R.J., Gunning P.A., Wilde P.J., and Kontogiorgos V. Pectin Conformation in Solution. // The Journal of Physical Chemistry B. 2018 V.122. N 29. -P. 7286-7294. <https://doi.org/10.1021/acs.jpccb.8b04790>
2. Anderson C.T. Pectic Polysaccharides in Plants: Structure, Biosynthesis, Functions, and Applications. Eds. Cohen, E., Merzendorfer, H. / Extracellular Sugar-Based Biopolymers Matrices. Biologically-Inspired Systems. Springer, Cham. 2019. V. 12. -P. 487–514.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-12919-4_12.
3. Assifaoui A. Exploring pectin: From extraction challenges to pharmaceutical applications/ Assifaoui A.// Natural Built Social Environment Health. - 2025. - 1(4). <https://doi.org/10.63095/NBSEH.25.010299>.
4. Baghdadi F., Nayebzadeh K., Aminifar M., & Mortazavian A.M. Pectin purification from plant materials. Macromolecular Research, - 2023. –V. 31, n 8. – P. 753–770. <https://doi.org/10.1007/s13233-023-00167-0>.
5. Barrera-Chamorro, L., Fernandez-Prior Á., Rivero-Pino F., & Montserrat-de la Paz S. A comprehensive review on the functionality and biological relevance of pectin and the use in the food industry. Carbohydrate Polymers, 2025. – 348. - 122794. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122794>.
6. Baumgarten J.L., Busnel J.P., Meira G.R. Band broadening in size exclusion chromatography of polymers. State of the art and some novel solutions, J. Liq. Chromatogr. Rel. Tech. 25 2002. - 1967–2001.
7. Belkheiri A., Forouhar A., Ursu A.V., Dubessay P., Pierre G., Delattre C., Djelveh G., Abdelkafi S., Hamdami N., & Michaud P. Extraction, Characterization, and Applications of Pectins from Plant By-Products. Applied Sciences, 2020. – V. 11, n.14. - 6596. <https://doi.org/10.3390/app11146596>.
8. Bjerregaard S., Söderberg I., Vermehren C., Frokjaer S. Formulation and evaluation of release and swelling mechanism of a water-in-oil emulsion using factorial design, International Journal of Pharmaceutics, -1999. -193 (1). - P. 1-11. [https://doi.org/10.1016/S0378-5173\(99\)00310-5](https://doi.org/10.1016/S0378-5173(99)00310-5).

9. Brant D.A., Christ M.D., Realistic conformational modeling of carbohydrates, in: French A.D., Brady J.W. (Eds.), *Computer Modeling of Carbohydrate Molecules*, ACS Symposium Series 430, American Chemical Society, Washington DC, 1990, pp. 42-68.
10. Burchard W. Combined static and dynamic light scattering, *Light Scattering*, 2015, 439–476, <https://doi.org/10.1093/OSO/9780198517832.003.0013>.
11. Burgess, R.R. A brief practical review of size exclusion chromatography: Rules of thumb, limitations, and troubleshooting. *Protein Expression and Purification*. 150, 81-85 (2018).
12. Burton R.A. Heterogeneity in the Chemistry, Structure and Function of Plant Cell Walls / R.A. Burton, M.J. Gidley, G.B. Fincher // *Chem Biol*. -2010. - Vol.6, -P. 724–732. doi: <https://10.1038/NCHEMBIO.439>
13. Busnel J.P., Foucault F., Denis L., Lee W., Chang T. Investigation and interpretation of band broadening in size exclusion chromatography, *J.Chromatogr.*, - 2001, -A 930, -P. 61–71.
14. Buyukozturk F., Benneyan J.C., Carrier R.L. Impact of emulsion-based drug delivery systems on intestinal permeability and drug release kinetics. *Journal of Controlled Release*, - 2010, -142 (1), -P. 22-30, <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2009.10.005>.
15. Celus M., Salvia-Trujillo L., Kyomugasho C., Maes I., Van Loey A.M., Grauwet T., Hendrickx M.E. Structurally Modified Pectin for Targeted Lipid Antioxidant Capacity in Linseed/Sunflower Oil-in-Water Emulsions. *Food Chem*. 2018, 241, 86–96. DOI: [10.1016/j.foodchem.2017.08.056](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.056).
16. Chan S.Y., Choo W.S., Young D.J., Loh X.J. Pectin as a Rheology Modifier: Origin, Structure, Commercial Production and Rheology. *Carbohydr. Polym*. 2017, 161, 118–139. DOI: [10.1016/j.carbpol.2016.12.033](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.12.033).
17. Chandel V., Biswas D., Roy S., et al. Current advancements in pectin: extraction, properties and multifunctional applications, *Foods* -2022, -11, 2683. <https://doi.org/10.3390/foods11172683>.

18. Chang-Won C., Lee D.-Y., Kim C.-W. Concentration and purification of soluble pectin from mandarin peels using cross-flow microfiltration system, *Carbohydr. Polym.*, - 2003, -54, -P. 21–26.
[https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(03\)00133-4](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(03)00133-4).
19. Chen R., Song Y., Wang Z., Ji, H., Du Z., Ma Q., Yang Y., Liu X., Li N., & Sun Y. (2023). Developments in small-angle X-ray scattering (SAXS) for characterizing the structure of surfactant-macromolecule interactions and their complex. *International Journal of Biological Macromolecules*, 251, Article 126288.
20. Ciriminna R. Pectin: New science and forthcoming applications of the most valued hydrocolloid / R. Ciriminna, A. Fidalgo, A. Scurria, L.M. Ilharco, M. Pagliaro // *Food Hydrocolloids*. -2022. -Vol.127. -P.107483.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107483>
21. Clementi L.A., Yossen M.M., & Vega J.R. Molar mass distributions of linear homopolymers by size exclusion chromatography with light scattering detection: A method for automatic band broadening correction. *Journal of Chromatography A*, -2019, -1595, -P. 136-143.
<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2019.02.054>.
22. De Marco I. Zein Microparticles and Nanoparticles as Drug Delivery Systems. *Polymers* 2022, 14, 2172. <https://doi.org/10.3390/polym14112172>.
23. Deynichenko G., Guzenko V., Dmytrevskyi D., Chervonyi V., Omelchenko O., Horielkov D., Melnik O., Korolenko O. Developing a technique for the removing of a gel layer in the process of membrane treatment of pectin extract, *Eastern-European J. Enterp. Technol.*, - 2020, - 4, -P. 63–69.
<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208984>.
24. Dixit S.S., Muruganandam L., & Ganesh Moorthy, I. (2025). Pectin from fruit peel: A comprehensive review on various extraction approaches and their potential applications in pharmaceutical and food industries. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 9, 100708.
<https://doi.org/10.1016/j.carpta.2025.100708>.

25. Djonmurodov A.S., Muhidinov Z.K., Strahan G.D., Kholov S.E., Teshaev Kh.I., Fishman M.L., Liu L.S. Pectic polysaccharides from pumpkin fruit / In Gums and Stabilisers for Food Industry 16. Ed. by Peter A. Williams and Glyn O. Philips. -RSC Publishing 2016. -P. 23-36.
<https://doi.org/10.1039/9781782623830-00023>.
26. Dranca, Florina, and Mircea Oroian. Extraction, purification and characterization of pectin from alternative sources with potential technological applications. Food Research International, -2018, -113, -P. 327–350.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.065>.
27. Du Y., Zheng X., Zhao C., Cui J., Ma M., Yuan Y., Pang X., & Zheng J. Conformational analysis of pectins utilizing HPSEC-MALS-RI and SAXS: A comparative study. Food Hydrocolloids, -2026, -172, 111891.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2025.111891>.
28. Endress H.U., Mattes F.P. In Fiber Ingredients; CRC Press, 2009; -P. 149–186.
29. Ezzati Sh., Ayaseh A., Ghanbarzadeh B., Heshmati M.K. Pectin from sunflower by-product: Optimization of ultrasound-assisted extraction, characterization, and functional analysis, International Journal of Biological Macromolecules, -2020, -165, Part A, -P. 776-786,
30. Fihry N.E., Mabrouk K.E., Eeckhout M., Schols H.A., Hajjaj H. Physicochemical, structural, and functional characterization of pectin extracted from quince and pomegranate peel: A comparative study. International Journal of Biological Macromolecules, -2024, - 256, Part 2.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127957>.
31. Fishman M.L., Chau H.K., Coffin D.R., & Hotchkiss A.T. A comparison of lime and orange pectin which were rapidly extracted from albedo. In F. Voragen, H. Schols, & R. Visser, Advances in pectin and pectinase research. Dordrecht (Hingham, MA): Kluwer Academic Publishers. 2003.
32. Fraeye I., De Roeck A., Duvetter T., Verlent I., Hendrickx M., & Van Loey A. Influence of pectin properties and processing conditions on thermal pectin degradation. Food Chemistry, 2006, 105(2), 555-563.

- <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.009>.
33. Fu Y., Kao W.J. Drug release kinetics and transport mechanisms of non-degradable and degradable polymeric delivery systems, *Expert Opin. Drug Deliv.* 7 (4) (2010) 429–444.
 34. Gentilini R., Bozzini S., Munarin F., Petrini P., Visai L., & Tanzi M.C. Pectins from Aloe vera: Extraction and production of gels for regenerative medicine. *Journal of Applied Polymer Science*, -2014, -131(2).
<https://doi.org/10.1002/app.39760>.
 35. Gimenes M.L., Silva V.R., Hamerski F., Scheer A.P. Pretreatment of Aqueous Pectin Solution by Cross-Flow Microfiltration: Study on Fouling Mechanism, *Int. J. Chem. Eng. Appl.*, -2014, -5, -P. 281–286.
<https://doi.org/10.7763/IJCEA.2014.V5.394>.
 36. Goddard T.D., Kneller D.G. SPARKY 3. University of California. San Francisco.USA.2008. Retrieved from <https://www.cgl.ucsf.edu/home/sparky/>
 37. Gogate P.R., Prajapat A.L. Depolymerization using sonochemical reactors: A critical review. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2015, 27, -P.480–494.
 38. Golovchenko V.V., Khramova D.S., Ovodova R.G., Shashkov A.S., Ovodov Y.S. Structure of pectic polysaccharides isolated from onion *Allium cepa* L. using a simulated gastric medium and their effect on intestinal absorption, *Food Chemistry*, - 2012, - 134 (4), -P.1813-1822.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.087>.
 39. Gouveia T.I.A., Biernacki K., Castro M.C.R., Gonçalves M.P., & Souza H.K.S. (2019). A new approach to develop biodegradable films based on thermoplastic pectin. *Food Hydrocolloids*, 97, Article 105175.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105175>.
 40. Grassino A.N., Barba F.J., Brnčić M., Lorenzo J. M., Lucini L., Brnčić S.R. Analytical Tools Used for the Identification and Quantification of Pectin Extracted from Plant Food Matrices, Wastes and by-Products: A Review. *Food Chem.* 2018, 266, 47–55. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.05.105.

41. Guo Q., Su J., Shu X., Yuan F., Mao L., Liu J., Gao Y. Production and characterization of pea protein isolate-pectin complexes for delivery of curcumin: Effect of esterified degree of pectin. *Food Hydrocolloids*, 2020, 105 105777. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105777>.
42. Guo X., Zhang T., Meng H., & Yu S. Ethanol precipitation of sugar beet pectins as affected by electrostatic interactions between counter ions and pectin chains. *Food Hydrocolloids*, -2017, -65, -P. 187–197. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.11.010>.
43. Haidar I.A. How does sequence length heterogeneity affect the dilute solution conformation of copolymers? / I.A. Haidar, D.A. Striegel, A.M. Striegel // *Polymer*. -2011. -Vol.52, -P. 1268-1277.
44. Haque SK Manirul. Application of combined Box–Behnken design with response surface methodology and desirability function in optimizing pectin extraction from fruit peels. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, -2023, -104(1), -P. 149-173. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12925>.
45. Harding S.E. Analysis of Polysaccharides by Ultracentrifugation. Size, Conformation and Interactions in Solution. *Adv Polym Sci* (2005) 186: 211–254. DOI 10.1007/b136821.
46. Harding S.E. The intrinsic viscosity of biological macromolecules. Progress in measurement, interpretation and application to structure in dilute solution, *Prog. Biophys. Mol. Biol.* 68 (1997) 207–262. [https://doi.org/10.1016/S0079-6107\(97\)00027-8](https://doi.org/10.1016/S0079-6107(97)00027-8).
47. Heiss C., Stacey Klutts J., Wang Z., Doering T.L., Azadi P. The structure of *Cryptococcus neoformans* K1cetoxylomannan contains β -d-glucuronic acid, *Carbohydr Res* 344 (2009) 915–920. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2009.03.003>.
48. Herrera-Rodríguez S. E., Pacheco N., Ayora-Talavera T., Pech-Cohuo S. and Cuevas-Bernardino J.C. Advances in the green extraction methods and pharmaceutical applications of bioactive pectins from unconventional sources:

- a review. // Studies in Natural Products Chemistry. Chapter 7- 2022. V.73. -P. 221-264. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91097-2.00015-7>.
49. Hoagland P.D., Konja G., Fishman M.L. Component Analysis of Disaggregation of Pectin During Plate Module Ultrafiltration, J. Food Sci. 58 (1993) 680–687. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb04355.x>.
 50. Hotchkiss A.T., Chau H.K., Strahan G.D., Nuñez A., Simon S., White A.K., Dieng S., Heuberger E.R., Yadav M.P., Hirsch J. Structural characterization of red beet fiber and pectin, Food Hydrocoll. 2022, 129, P.107549, <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2022.107549>.
 51. Hotchkiss A.T., Chau H.K., Strahan G.D., Nuñez A., Simon S., White A.K., Dieng S., Heuberger E.R., Yadav M.P., Hirsch J. Structure and composition of blueberry fiber pectin and xyloglucan that bind anthocyanins during fruit puree processing, Food Hydrocoll. – 2021, -116 -P. 106572. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2020.106572>.
 52. Hotchkiss A.T., L.S. Liu, J.E. Call, P.H. Cooke, J.B. Luchansky, R.A. Rastall, New Delivery Systems for Controlled Drug Release from Naturally Occurring Materials, American Chemical Society, Washington, DC, 2008. <https://doi.org/10.1021/bk-2008-0992>.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.205>.
 53. Hu X., & Goff H.D. Fractionation of polysaccharides by gradient non-solvent precipitation: A review. Trends in Food Science & Technology, -2018, -81, -P. 108–115. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.09.011>.
 54. Huang X., Li D., & Wang L.j. Characterization of pectin extracted from sugar beet pulp under different drying conditions. Journal of Food Engineering, - 2017, - 211, -P. 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.022>.
 55. Kapoor D.U., Garg R., Gaur M., Pareek A., Prajapati B.G., Castro G.R., Suttiruengwong S., & Sriamornsak P. Pectin hydrogels for controlled drug release: Recent developments and future prospects. Saudi Pharmaceutical Journal, 2024, 32(4), 102002. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2024.102002>

56. Kartel M.T., Kupchik L.A., & Veisov B.K. Evaluation of pectin binding of heavy metal ions in aqueous solutions. *Chemosphere*, 1999, 38(11), 2591–2596. [10.1016/S0045-6535\(98\)00466-4](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(98)00466-4).
57. Khalikov D.Kh., Muhidinov Z.K. Physicochemical principles of plant cell wall protopectin decomposition by acid catalysts. *Chemistry of Natural Compounds*. 2004. Vol. 40 (2), -P. 101-114.
<https://doi.org/10.1023/b:conc.0000033923.40665.7a/>
58. Khubber S., Kazemi M., Samani S.A., Lorenzo J.M., Simal-Gandara J. & Barba F.J. Structural-functional Variability in Pectin and Effect of Innovative Extraction Methods: An Integrated Analysis for Tailored Applications, *Food Reviews International*, -2021. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1952422>.
59. Kim H., Hong H., Suh H., & Shin K. Structural and immunological feature of rhamnoKΓcturonan I-rich polysaccharide from Korean persimmon vinegar, *International Journal of Biological Macromolecules*, - 2016, -89, -P. 319-327.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.04.060>.
60. Koizumi T, Higuchi W.I. Analysis of Data on Drug Release from Emulsions III: Boundary Effect on Pyridine Release from Water-In-Oil Emulsions as a Function of pH, *Journal of Pharmaceutical Sciences*, - 1968, -57 (1), -P. 93-97,
<https://doi.org/10.1002/jps.2600570118>.
61. Kumar S. Current progress in valorization of food processing waste and by-products for pectin extraction / S. Kumar, J. Konwar, M.D. Purkayastha, S. Kalita, A. Mukherjee, J. Dutta // *International Journal of Biological Macromolecules*. -2023. -Vol.239. -P. 124-332.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124332>.
62. Laracuenta M.L., Yu M.H., McHugh K.J. Zero-order drug delivery: state of the art and future prospects, *J. Control. Release*. - 2020, -327, P.834–856.
63. Launay B. In: Mitchell J.R., Ledward D.A., editors. *Functional Properties of Food Macromolecules* / B. Launay, J.L. Doublier, G. Cuvelier - London: Elsevier Applied Science. – 1986. -P. 1-78.

64. Li T., Ji W., Dong H., Wu Y., Guo L., Chen L., Wang X. A Comprehensive Review on the Isolation, Bioactivities, and Structure–Activity Relationship of Hawthorn Pectin and Its Derived Oligosaccharides. *Foods* 2024, 13, 2750. <https://doi.org/10.3390/foods13172750>.
65. Li W.-J., Fan Z.-G., Ying-Ying W., Jiang Z.-G., & Shi R.-C. Eco-friendly extraction and physicochemical properties of pectin from jackfruit peel waste with subcritical water. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, -2019, -99, -P. 5283–5292. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9729>.
66. Liu Z., Guo X., Meng H. Added Ferulic Acid Enhances the Emulsifying Properties of Pectins from Different Sources. *Food Hydrocoll.* 2020, 100, 105439. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2019.105439.
67. Llinàs M., Calderó G., García-Celma M.J., Patti A., Solans C. New insights on the mechanisms of drug release from highly concentrated emulsions, *Journal of Colloid and Interface Science*, 2013, Volume 394, -P. 337-345. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2012.11.025>.
68. Luisa Franchi, M. Evaluation of enzymatic pectin extraction by a recombinant polyK Γ cturonase (PGI) from apples and pears pomace of Argentinean production and characterization of the extracted pectin. *Journal of Food Processing & Technology*, -2014, - 05(08), -P. 8–11. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000352>.
69. Lutz H. Conclusion, in: *Ultrafiltr. Bioprocess.*, Elsevier, 2015: -P. 203–205. <https://doi.org/10.1016/B978-1-907568-46-6.00012-4>.
70. Ma M., Cui J., Li C., Blecker C., & Zheng J. Challenges in the characterization of pectin conformation: Integrated analysis using atomic force microscopy and small-angle X-ray scattering methods. *Food Hydrocolloids*, 2025, 162, 110973.
71. Ma M., Cui J., Zhang Y., Blecker C., & Zheng J. Changes in molecular structure of citrus pectin in acidic environments at ambient temperature. *Carbohydrate Polymers*, 2025, 356, Article 123411.
72. Ma X., Habibi M., & Sagis L.M. High internal phase emulsions stabilized by pulse proteins and their complexes with pectin: Relating 2D interfacial

- rheology to 3D bulk rheology. *Food Hydrocolloids*, 2026, 172, 112072.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2025.112072>.
73. Malhotra S.L. Ultrasonic degradation of hydroxypropyl cellulose solutions in water, ethanol, and tetrahydrofuran, *J. Macromol. Sci. Part A Chem Pure Appl. Chem.* 17 (1982) 601–636.
 74. Marshall L. Fishman, Peter H. Cooke, Hoa K. Chau, David R. Coffin, and Arland T. Hotchkiss. Global Structures of High Methoxyl Pectin from Solution and in Gels. *Biomacromolecules*, -2007 -8 (2), -P. 573-578/ DOI: 10.1021/bm0607729
 75. Masuelli M.A. Viscometric study of pectin. Effect of temperature on the hydrodynamic properties / *International Journal of Biological Macromolecules*, 2011. – 48. -P. 286–291. doi:10.1016/j.ijbiomac.2010.11.014.
 76. McClements J.D. Advances in nanoparticle and microparticle delivery systems for increasing the dispersibility, stability, and bioactivity of phytochemicals. // *Biotechnology Advances*. 2020. V. 38. -P. 107287.
<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.08.004/>
 77. Meira G.R., Netopilik M., Potschka M., Schnoll-Bitai I., Vega J.R. Band broadening function in size exclusion chromatography of polymers: review of some recent developments, *Macromol. Symp.* 285 (2007) 186–197.
 78. Minzanova S.T., Mironov V.F., Arkhipova D.M., Khabibullina A.V., Mironova L.G., Zakirova Y.M., Milyukov V.A. Biological Activity and Pharmacological Application of Pectic Polysaccharides: A Review. // *Polymers*. 2018. V. 10. N.12. P.1407. <https://doi.org/10.3390/polym10121407/>
 79. Mohnen, D. Pectin Structure and Biosynthesis. *Curr. Opin. Plant Biol.* 2008, 11(3), 266–277.
 80. Moreno Ravelo R.C. Characterization of molar mass and conformation of relevant (non-)starch polysaccharides in cereal-based beverages / R.C. Moreno Ravelo, M. Gastl, T. Becker, // *International Journal of Biological Macromolecules*, -2024, -Vol.261, -P.129942.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129942>.

81. Morris G.A., Ralet M.C., Bonnin E., Thibault J.F. and Harding S.E. Physical characterisation of the rhamnoKΓcturonan and homoKΓcturonan fractions of sugar beet (*Beta vulgaris*) pectin. *Carbohydrate Polymers*, 2010, 82 (4). -P. 1161-1167. ISSN 0144-8617.
82. Muhidinov Z.K, Ikromi K.I., Jonmurodov A.S., Nasriddinova A.S., Usmanova S.R., Bobokalonov J.T., Strahan G.D., Liu L.S., Structural characterization of pectin obtained by different purification methods *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021, 183, -P. 2227-2337.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.094>.
83. Muhidinov Z.K, J. Bobokalonov, S. Jonmurodov. A.S. Nasriddinova, F. Khojaeva, G. Komilova, L.S. Liu. Evaluation of Extended-Release of Piroxicam Loaded Pectin-Zein Hydrogel Microspheres: In Vitro, Ex Vivo, and In Vivo Studies *Current Drug Delivery* - 2022, - 19 (10), - P. 1093-1101.
<https://doi.org/10.2174/1567201819666220304092012>.
84. Muhidinov Z.K. Chemical Characterization of Pectic Polysaccharides from Various Sources Obtained by Steam Assisted Flash Extraction (SAFE) // Z.K. Muhidinov; Kh. Teshaev, A. Jonmurodov, D. Khalikov, M. Fishman / *Macromol Symp* -2012. -P. 317–318, 142–148.
<https://doi.org/10.1002/masy.201100108>.
85. Muhidinov Z.K., Bobokalonov J.T., Ismoilov I.B., Strahan G.D., Chau H.K., Hotchkiss A.T., Liu L.S. Characterization of two types of polysaccharides from *Eremurus hissaricus* roots growing in Tajikistan, *Food Hydrocoll* 105 (2020) 105768. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2020.105768>.
86. Muhidinov Z.K., Effect of temperature on different pectins' intrinsic viscosity and conformation / Z.K. Muhidinov, M.L. Fishman, Kh.Kh. Avloev, M.T. Norova, A.S. Nasriddinov, D.Kh Khalikov // *Polymer Sciences Journal, Series A*, -2010, -Vol.52, №12, -P. 1257-1263.
<https://doi.org/10.1134/s0965545x10120035>.
87. Muhidinov Z.K., Teshaev Kh.I, Kasimova G.F., Nasriddinov A.S., Liu L.S. Pectin-Zein Hydrogels for delivery of Drugs and Nutrients. In *Gum and*

- Stabilisers for the Food Industry 16, RSC publishing, Cambridge UK. ed. P.A. Williams and G.O. Fillips, 2012, -P. 401-406.
88. Muhidinov Z.K., Khalikov D.K., Fishman M.L., Liu Lin Shu. Gravity Flow Dynamic Method for Pectin from Sunflower Head using Sodium Chloride. *Biopolymers Res.*, -2017, -1 (101), -P. 1-8.
 89. Muhidinov Z.K., Nasriddinov A.S., Strahan G.D., Jonmurodov A.S., Bobokalonov J.T., Ashurov A.I., Zumratov A.Kh., Chau H.K., Hotchkiss A.T., & Liu L.S. Structural analyses of apricot pectin polysaccharides. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024, 279, 135544.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135544>.
 90. Mukhiddinov Z.K., Khalikov D.Kh., Avloev Ch.Ch., Abdusamiev F.T. Isolation and structural characterization of a pectin homo and rhamnoKΓcturonan *TALANTA*, -The International Journal of Pure and Applied Analytical Chemistry. -2000, -vol.53, -P. 171-176.
[https://doi.org/10.1016/s0039-9140\(00\)00456-2](https://doi.org/10.1016/s0039-9140(00)00456-2).
 91. Muller-Maatsch J., Bencivenni M., Caligiani A., Tedeschi T., Bruggeman G., Bosch M., Petrusan J., Droogenbroeck B.V., Elst K., Sforza S. Pectin content and composition from different food waste streams. // *Food Chem.* 2016. 201. - P. 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.012>.
 92. Muñoz-Almagro N., Prodanov M., Wilde P.J., Villamiel M., Montilla A. Obtainment and characterisation of pectin from sunflower heads purified by membrane separation techniques, *Food Chem.*, -2020, -318, -P. 126476.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126476>.
 93. Neckebroek B., Verkempinck S., Van Audenhove J., Bernaerts T., de Wilde d'Estmael H., Hendrickx M., & Van Loey A. Structural and emulsion stabilizing properties of pectin rich extracts obtained from different botanical sources. // *Food Research International*. 2021. V. 141. -P. 110087.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110087>.
 94. Ngouémazong E.D., Christiaens S., Shpigelman A., Van Loey A., Hendrickx M. The Emulsifying and Emulsion-Stabilizing Properties of Pectin: A Review.

- Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2015, 14 (6), -P. 705-718. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12160>.
95. Nilsson L. Separation and characterization of food macromolecules using field-flow fractionation: a review/ Nilsson L. // Food Hydrocoll. -2013. -Vol.30 (1) - P. 1–11.
 96. Oosterveld A., Beldman G., Searle-van Leeuwen M.J.F., Voragen A.G.J. Effect of Enzymatic Deacetylation on Gelation of Sugar Beet Pectin in the Presence of Calcium. Carbohydr. Polym. -2000, 43(3), -P. 249–256. DOI: 10.1016/S0144-8617(00)00174-0.
 97. Pang Y. An in-depth review: Unraveling the extraction, structure, bio-functionalities, target molecules, and applications of pectic polysaccharides / Pang, Y., Peng, Z., & Ding, K. // Carbohydrate Polymers. -2024, -343, - 122457. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122457>.
 98. Pectin: Technological and Physiological Properties. / Edit by Vassilis Kontogiorgos. Springer Nature Switzerland AG. -2020. -P. 125-188. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-53421-9>.
 99. Pérez S., Mazeau K., du Penhoat C. H. The three-dimensional structures of the pectic polysaccharides Plant Physiol. Biochem., 2000, 38 (1/2), 37–55.
 100. Petkowicz C.L.O., L.C. Vriesmann, and P.A. Williams. 2017. Pectins from food waste: Extraction, characterization and properties of watermelon rind pectin. Food Hydrocolloids. -2017, - 65, - P. 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.10.040>.
 101. Pillay V., Danckwerts M.P., Muhyidinov Z.K. and Fassihi R. Novel Modulation of Drug Delivery Using Binary Zinc-Alginate-Pectinate Polyspheres for Zero-Order Kinetics Over Several Days: Experimental Design Strategy to Elucidate the Crosslinking Mechanism. Drug Development and Industrial Pharmacy, 2005, 31:191–207.
 102. Podzimek S. Light Scattering, Size Exclusion Chromatography and Asymmetric Flow Field Flow Fractionation: Powerful Tools for the

- Characterization of Polymers, Proteins and Nanoparticles, John Wiley & Sons, Inc. 2011. |DOI:10.1002/9780470877975.
103. Polysaccharide Carriers for Drug Delivery / Eds. S. Maiti and S. Jana. Woodhead Publishing is an imprint of Elsevier. 2019. –P. 781.
 104. Reginatto V., Amante E.R., Gerhardy K., Kunst S., & Duran N., Biodegradation and ecotoxicological assessment of pectin production wastewater, Journal of Environmental Sciences, -2009, -21(11), -P.1613–1619. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)62463-8](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62463-8).
 105. Rico X., Gullo´n B., & Ya´ñez R. Environmentally friendly hydrothermal processing of melon by-products for the recovery of bioactive pectic-oligosaccharides, Foods, - 2020, 9(11), -P. 9111702 <https://doi.org/10.3390/foods9111702>.
 106. Ritger P.L., Peppas N.A. A simple equation for description of solute release I. Fickian and non-Fickian release from non-swellable devices in form of slabs, sphere, cylinders or discs. J Controlled Release, 1987, 5, -P. 23-36. [https://doi.org/10.1016/0168-3659\(87\)90034-4](https://doi.org/10.1016/0168-3659(87)90034-4)
 107. Rivero-Pino F., Millan-Linares M. C., Villanueva-Lazo A., Fernandez-Prior A´., & la Paz, S. M.-D. In vivo evidences of the health-promoting properties of bioactive compounds obtained from olive by-products and their use as food ingredient. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, -2023, - 64(24), -P. 8728–8740. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2203229>.
 108. Rodsamran P., Sothornvit R. Microwave Heating Extraction of Pectin from Lime Peel: Characterization and Properties Compared with the Conventional Heating Method. Food Chem. 2019, 278, 364-372. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.11.067.
 109. Roman-Benn A. Pectin: An Overview of Sources, Extraction and Applications in Food Products, Biomedical, Pharmaceutical and Environmental Issues / A. Roman-Benn C.A., Contador M.W., Li H.M., Lam K. Ah-Hen, P.E. Ulloa, M.C. Ravanal // Food Chemistry Advances. -2023. -Vol.2, -P. 100192, doi: <https://doi.org/10.1016/J.FOCHA.2023.100192>.

110. Roy S., Priyadarshi R., Łopusiewicz L., Biswas D., Chandel V., & Rhim J.W. Recent progress in pectin extraction, characterization, and pectin-based films for active food packaging applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, - 2023, - 239, Article 124248.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124248>.
111. Ryu J., McClements D.J. Food hydrogels: Experimental and theoretical aspects relating to their formulation and application, *Trends in Food Science & Technology*, 2025, Volume 164, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.105242>.
112. Santiago J.S. J., Salvia-Trujillo L., Palomo A., Niroula A., Xu F., Van Loey A.M., & Hendrickx M.E. Process-induced water-soluble biopolymers from broccoli and tomato purées: Their molecular structure in relation to their emulsion stabilizing capacity. *Food Hydrocolloids*, 2018, 81, 312-327.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.03.005>.
113. Scheller H.V. Biosynthesis of Pectin / H.V. Scheller, J.K. Jensen, S.O. Sørensen, J. Harholt, N. Geshi // *Physiol Plant*. -2007. -Vol.129, -P.283–295
doi: <https://10.1111/J.1399-3054.2006.00834.X>.
114. Schmidt U.S., Koch L., Rentschler C., Kurz T., Endress H.U., Schuchmann H.P. Effect of Molecular Weight Reduction, Acetylation and Esterification on the Emulsification Properties of Citrus Pectin. *Food Biophys*. 2015, 10(2), 217-227. DOI: 10.1007/s11483-014-9380-1.
115. Shamsara O. Development of double layered emulsion droplets with pectin/ β -lactoglobulin complex for bioactive delivery purposes / O. Shamsara, S. M. Jafari, Z.K. Muhidinov // *Journal of Molecular Liquid*. – 2017. – V. 243. – P. 144-150. <http://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.08.036>.
116. Shaojie Z., Liping M., Yuan K., et al. Regulator mechanism of degree of esterification and molecular mass on the emulsifying performance of pectin [J]. *Food Science*, 2025, 46(18): 36-43. (in Chinese with English abstract)
<https://doi.org/10.7506/spkx1002-6630-20250317-131>.

117. Sharma S., Wani K.M., Mujahid S.M., Jayan L.S., Rajan S.S. Review on pectin: sources, properties, health benefits and its applications in food industry / Journal of Future Foods, - 2026, - 6-2, -P. 205–219.
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.
118. Shitrit Y., & Bianco-Peled H. Insights into the formation mechanisms and properties of pectin hydrogel physically cross-linked with chitosan nanogels. Carbohydrate Polymers, 2021, 269, Article 118274.
119. Sila D.N., Van Buggenhout S., Duvetter T., Fraeye I., De Roeck A., Van Loey A., and Hendrickx M. Pectins in Processed Fruits and Vegetables: Part II. Structure–Function Relationships. Comprehensive reviews in food science and food safety, -2009, -Vol. 8, -P. 86-104.
120. Singthong J., Ningsanond S., Cui S.W., Goff H.D. Extraction and Physicochemical Characterization of Krueo Ma Noy Pectin. Food Hydrocoll. - 2005, -19(5), -P. 793–801. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2004.09.007.
121. Smallwood M., Martin H., Knox J.P. An epitope of rice threonine- and hydroxyproline-rich glycoprotein is common to cell wall and hydrophobic plasmamembrane glycoproteins, Planta 196 (1995) 510-522.
122. Some D., Amartely H., Tsadok A., Lebendiker M. Characterization of Proteins by Size-Exclusion Chromatography Coupled to Multi-Angle Light Scattering (SEC-MALS). J. Vis. Exp., -2019 (148), e59615, doi:10.3791/59615.
123. Spinei M., & Oroian M. Structural, functional and physicochemical properties of pectin from grape pomace as affected by different extraction techniques. International Journal of Biological Macromolecules, - 2023, - 224, -P. 739–753. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.10.162>.
124. Striegel A., Yau W., Kirkland J., Bly D. Modern Size-Exclusion Liquid Chromatography, J. Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2009.
125. Striegel A.M., Yau W.W., Kirkland J.J., Bly D.D. Modern Size-Exclusion Liquid Chromatography. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ, USA. (2009).

126. Tebcharani L., Wanzke C., Lutz T.M., Rodon-Fores J., Lieleg O., Boekhoven J. Emulsions of hydrolyzable oils for the zero-order release of hydrophobic drugs. *Journal of Controlled Release*, Volume 339, 2021, -P. 498-505.
<https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2021.10.014>.
127. Torres-Gallo R., Bayuelo-Bonilla S., Carpio-Ortiz L., Barreto-Rodríguez G., & Tirado D.F. High-intensity ultrasound-assisted extraction of pectin from mango wastes at different maturity. *International Journal of Food Science*, - 2022, -1, - P. 4606024. <https://doi.org/10.1155/2022/4606024>.
128. Tung L.H. Method of calculating molecular weight distribution function from gel permeation chromatograms. III. Application of the method, *J. Appl. Polym.Sci.*, -1966, -10 (9), -P. 1271–1283.
129. Uliyanchenko E. Size-exclusion chromatography-from high-performance to ultra-performance. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 406(25), 6087-6094 (2014).
130. Van Buggenhout, S., Sila D.N., Duvetter T., Van Loey A. and Hendrickx M. Pectin in Processed Fruits and Vegetables. Part III—Texture Engineering. // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2009. V.8. -P. 105-117. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00071.x>
131. Van de Manacker F., Braeckmans K., Morabit N.E., De Smedt S.C., van Nostrum C.F., Hennink W.E. Protein-release behavior of self-assembled PEG β -Cyclodextrin/PEG-cholesterol hydrogels, *Adv. Funct. Mater.* -2009, -19 (18), - P. 2992–3001.
132. Vilaplana F., & Gilbert R.G. Characterization of branched polysaccharides using multiple-detection size separation techniques. // *Journal of Separation Science*. 2010. V.33. N 22. -P. 3537–3554.
<https://doi.org/10.1002/jssc.201000525>.
133. Voragen A.G.J. Pectin, a Versatile Polysaccharide Present in Plant Cell Walls/ A.G.J., Voragen, G.J. Coenen, R.P. Verhoef, H.A. Schols // *Struct Chem.* – 2009. -Vol.20, -P.263–275, doi: <https://10.1007/s11224-009-9442-z>.

134. Wang, H. (2021). Effects of postharvest ripening on physicochemical properties, microstructure, cell wall polysaccharides contents (pectin, hemicellulose, cellulose) and nanostructure of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). *Food Hydrocolloids*. 118, 106808.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106808>.
135. Wang M., Yu A., Hu W., Zhang Z., Wang Z., Meng Y., Yang B., & Kuang H. (2024). Extraction, purification, structural characteristic, health benefit, and product application of the polysaccharides from bamboo shoot: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 271, 132581.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132581>.
136. Wang W., Hu J., Xu Y., Li X., & Bi J. Insights into the structural alterations of different pectin fractions and their impact on enzymatic browning during apple pulp processing. *Food Chemistry*, 2025, 492, 145660.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.145660>.
137. Wang W., Ma X., Jiang P., Hu L., Zhi Z., Chen J., Ding T., Ye X., Liu D. Characterization of Pectin from Grapefruit Peel: A Comparison of Ultrasound-Assisted and Conventional Heating Extractions. *Food Hydrocoll.* 2016, 61, 730-739. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2016.06.019.
138. Weidner J., Drug delivery, *Drug Discov. Today*. – 2002, -7 (11), -P. 632.
139. Williams P.A., Phillips G.O. Introduction to Food Hydrocolloids. In *Handbook of Hydrocolloids*, 3rd ed.; Williams P.A., Phillips G.O., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2021; -P. 3–26.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820104-6.00017-6>.
140. Wu D.-T., Liu W., Han Q.-H., Du G., Li H.-Y., Yuan Q., Fu Y., Zhao L., Zhang Q., Li S.-Q., & Qin W. (2019). Physicochemical characteristics and antioxidant activities of non-starch polysaccharides from different kiwifruits. *International Journal of Biological Macromolecules*, 136, 891–900.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.142>.

141. Yapo B.M., Wathelet B., Paquot M. Comparison of alcohol precipitation and membrane filtration effects on sugar beet pulp pectin chemical features and surface properties, *Food Hydrocoll.* – 2007, -21, -P. 245–255.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.03.016>.
142. Yapo B.M. Pectic Substances: From Simple Pectic Polysaccharides to Complex Pectins—A New Hypothetical Model. *Carbohydr. Polym.* 2011, 86(2), 373–385. DOI: 10.1016/j.carbpol.2011.05.065.
143. Yossen M.M., Vega J.R., Chang T., Meira G.R. Determination of the band broadening function in size exclusion chromatography with light-scattering detection, *J. Liq. Chromatogr. Rel. Tech.*, - 2012. -35, -P. 79–94.
144. Zaidel D.N.A., Meyer A.S. Biocatalytic Cross-Linking of Pectic Polysaccharides for Designed Food Functionality: Structures, Mechanisms, and Reactions. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* -2012, -1(3), -P. 207–219. DOI: 10.1016/j.bcab.2012.03.007.
145. Zaitseva O., Khudyakov A., Sergushkina M., Solomina O., Polezhaeva T. Pectins as a universal medicine. // *Fitoterapia*. 2020. V.146. -P. 104676.
<https://doi.org/10.1016/j.fitote.2020.104676>.
146. Zdunek A., Pieczywek P.M., & Cybulska J. The primary, secondary, and structures of higher levels of pectin polysaccharides. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2021, - 20(1), -P. 1101–1117.
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12689>.
147. Zhao Z.Y., Liang L., Fan X., Yu Z., Hotchkiss A.T., Wilk B.J., & Eliaz I. The role of modified citrus pectin as an effective chelator of lead in children hospitalized with toxic lead levels. *Alternative Therapies in Health and Medicine*, 2008, 14(4), 34–38. Retrieved from.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18616067>.
148. Zhou M., Bi J., Li C., & Chen J. Enhancive effect of instant controlled pressure drop (DIC) pre-treatment on pectin extractability from peach pomace. *Food Hydrocolloids*, - 2022, - 130, Article 107696.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107696>.

149. Zhua Y., Hea Z., Baoa X., Wanga M., Yinc S., Songd L., Peng Q. Purification, in-depth structure analysis and antioxidant stress activity of a novel pectin-type polysaccharide from Ziziphus Jujuba cv. Muzaoresidue. // Journal of Functional Foods. 2021. V.80. -P. 104439.
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104439>.
150. Zumratov A.Kh., Nasriddinov A.S., Kholov Sh. E., Ismoilov I.B., Ashurov A.I., Mukhidinov Z.K., Khalikov D.Kh. The Influence of the Purification Method on the Molecular Mass and Hydrodynamic Behaviors of Apple Pectin. Fine Chemical Engineering, 2025, Volume 6 Issue 1, 88-100.
<https://doi.org/10.37256/fce.6120256176>.
151. Бобокалонов Д.Т., Касымова Г.Ф., Мухидинов З.К., А.С. Джонмуродов, Д. Х. Халиков, Лиу Л.Ш. Кинетика высвобождения пироксикама из гидрогелей на основе низкометилизованного цитрусового пектина и зеина. Химико – фармацевтический журнал, т. 46, №1, 2012, -С. 34-37.
152. Бобокалонов Д.Т., Мухидинов З.К., Исупов С.Д., Комилова Г.И. Применение пектинов в медицине и фармации // Вестник Академии медицинских наук Таджикистана. – 2013. – № 4 (08). –С. 39-52.
153. Джонмуродов А.С. Физико-химические и структурные особенности пектиновых полисахаридов из нетрадиционных сырьевых источников. диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук, Душанбе 2016г. -С. 54-56.
154. ЕА Патент 016871. Способ получения пектина из подсолнечника, опубл. 30 августа бюл. №8, 2012г. Мухидинов З.К., М.Л. Фишман, ЛШ Лиу.
155. Зумратов А.Х., Насриддинов А.С., Холов Ш.Ё., Мухидинов З.К. Влияние способа очистки пектинового гидролизата на молекулярные параметры пектина из яблок // Сборник тезисов XXV международная конференция по химическим реакторам ХимРеактор-25 (8-13 октября 2023 года, Тюмень, Россия), Новосибирск, –2023, –С. 132-133.

156. Зумратов А.Х., Насриддинов А.С., Холов Ш.Ё., Исмоилов И.Б., Мухидинов З.К. Гидродинамическое поведение пектинов разного происхождения в растворе // Вестник ФМГУ, 2025 № 2, -С. 70-84
157. Зумратов А.Х. Холов Ш.Ё., Мухидинов З.К., Насриддинов А.С. Молекулярная масса и гидродинамическое поведение пектина, очищенного разными методами // Материалы международной научно-практической конференции «XIII Ломоносовские чтения»....Часть III. Естественные науки. Душанбе, –2023, –С. 177-182.
158. Зумратов А.Х., Насриддинов А.С., Юлдошева Д.А., Мухидинов З.К., Халиков Дж.Х. Конформационные изменения яблочного пектина под действием температуры гидролиза / А.Х. Зумратов, // Материалы международной научно-практической конференции на тему «Современные проблемы физики и химии полимеров»..., 2023, –С. 25-29.
159. Зумратов А.Х., Насриддинов А.С., Холов Ш.Ё., Исмоилов И.Б., Мухидинов З.К. Халиков Д.Х. Деградация пектиновых макромолекул в растворе Доклады НАНТ. - 2025, - том.68, - № 9-10, -С. 921-931.
160. Зумратов А.Х., Джонмуродов А.С., Усманова С.Р., Strahan G.D., Мухидинов З.К. Выделение и идентификация структуры пектина из абрикоса // Материалы международная научно-практическая конференция на тему «Современные этапы развития естественных, точных и математических наук в области науки и образования: актуальные проблемы, теория и практика», Душанбе, ТПГУ, –2025. –С, 267-269.
161. Холмуродзода А.Х., Насриддинов А.С., Мухиддин З.К.. Влияние молекулярной массы и типа пектина на его гелеобразующие свойства, // Материалы III международной научно-практической конференции «Современные проблемы химии и их перспективы»..., ТНУ, Душанбе, – 2026, –С. 560-564.
162. Холмуродзода А.Х., Хасанов Г.Д., Мухиддин З.К.. Кинетика высвобождения лекарственного средства из эмульсионных микрокапсул

- лактоглобулина и низкомолекулярного пектина. // Материалы III международной научно-практической конференции «Современные проблемы химии и их перспективы»..., ТНУ, Душанбе, –2026, –С. 564-569.
163. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 4919.2-77. Реактивы и особо чистые вещества. Методы приготовления буферных растворов. – Издание июль 2006.
164. Мухиддинов З.К. Структура гомогалактуронана и физико-химические аспекты получения высокоочищенного пектина: диссертация. ...кандидата химических наук: – Душанбе, 1992. –С 155.
165. Мухиддинов З.К., Касимова Г.Ф., Бобокалонов Д.Т., Тешаев Х.И, Халиков Д.Х., Луи Л.Ш. Пектин-зеиновые микросферы как носители лекарственных средств // Химико-фармацевтический журнал. – 2010. –Т. 44. – №10. – С. 20-24.
166. Мухиддинов, З.К. Пектин – основа для создания функциональной пищи / З.К. Мухиддинов, Д.Т. Бобокалонов, С.Р. Усманова. - Душанбе, ООО «Сифат-Офсет», 2019. –С. 192.
167. Олимов М.А, Шарофова М.У, Ходжаева Ф.М, Холбеков А.Д, Бобокалонов Д.Т. In vivo исследование ранозаживляющей активности полисахаридного геля с инкапсулированным облепиховым маслом (*Hippophae rhamnoides*). // Вестник Авиценны. 2023. Т. 25. №.1. -С. 84-93. <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2023-25-1-84-93>.
168. Патент TJ 563. Флэш способ экстракции пектина из растительного сырья. Мухиддинов З.К, Тешаев Х.И, Джонмуродов А.С. и др. НПИ Центр Республика Таджикистан, бюл. № 86, 2013.
169. Усманова С.Р. Полисахариды экстракция и характеристика. Учебное пособие. Усманова С.Р., Бобокалонов Ч.Т., Мухиддинов З.К. - “Дониш”. Душанбе, 2023, -С. 112.

Рӯйхати мақолаҳои нашршуда дар мавзӯи диссертатсия:

I. Мақолаҳо дар маҷаллаҳои, ки дар пойгоҳи додаҳои байналмилалӣ (*Web of Science* ва *Scopus* ва нашрияҳои хориҷӣ) индексатсия шудаанд:

[1-M] **Zumratov A.Kh.** 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-M] **Zumratov A.Kh.** 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, ки дар дигар нашрияҳои тавсиянамудаи КОА дар назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон нашр шудаанд:

[3-M] **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. Серия естественных и геологических наук*, –2025, –Том 1, –№ 2(47), –С. 70-87.

[4-M] **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, –Том 68, –№ 9-10, –С. 929-939.

III. Рӯйхати мағрузаҳо дар маводи конфронсҳои байналмилалӣ:

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

«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 международной научно-практической конференции «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 международной научно-практической конференции на тему «Современные этапы развития естественных, точных и математических наук в области науки и образования: актуальные проблемы, теория и практика», ... (4 октября 2025 года), Душанбе, ТПГУ, –2025. –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 НИИ ТНУ, 25-26 октября, Душанбе, -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 международная конференция по химическим реакторам ХимРеактор-25 (8-13 октября 2023 года, Тюмень, Россия), 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 2023 года). 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 // Материалы международной научно-практической конференции на тему «Современные проблемы физики и химии полимеров», посвященной «75-летию Таджикского национального университета» и «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040 годы)» (10 октября 2023 года), –С. 25-29.

Чадвали муқоисавии истилоҳоти калидии диссертатсия

(Глосарий)

Истилоҳ ба забони тоҷикӣ	Истилоҳ ба забони русӣ	Истилоҳ ба забони англисӣ
Афшурдаи себ	Яблочные выжимки	Apple pomace
Банди гликозидӣ	Гликозидная связь	Glycosidic bond
Биомувофиқ	Биосовместимый	Biocompatible
Гурӯҳҳои карбоксилӣ	Карбоксильные группы	Carboxyl groups
Гурӯҳҳои метоксилӣ	Метоксильные группы	Methoxyl groups
Гурӯҳҳои паҳлӯӣ	Боковые группектины	Side chains / branches
Дараҷаи этерификатсия	Степень этерификации	Degree of esterification(DE)
Дарозии сегменти Кун	Длина сегмента Куна	Kuhn segment length (b)
Деградатсия (вайроншавӣ)	Деградация / Деструкция	Degradation
Занҷири полимерии сохтораш сахт	Жесткоцепной полимер	Rigid-chain polymer
Занҷири полимерии чандир	Гибкоцепной полимер	Flexible-chain polymer
Зичии занҷири полимерӣ	Плотность полимерной цепи	Polymer chain density
Зичии сегментарӣ	Сегментарная плотность	Segmental density
Инъикоси пурраи дохилии ҳалалдоршуда	Приставка нарушенного полного внутреннего отражения - НПВО	Attenuated total reflection – ATR
Калобаи печида	Случайный клубок	Random coil
Кислотаи галактуронӣ	Галактуроносовая кислота	Galacturonic acid (GalA)
Конформатсияи (Шакли) макромолекула	Конформация макромолекулы	Macromolecular conformation
Коэффисиенти варамкунӣ	Коэффициент набухания	Swelling coefficient

Коэффисиенти васеъшавии вириалӣ	Вириальный коэффициент	Virial coefficient (A_2)
Коэффисиенти диффузия	Коэффициент диффузии	Diffusion coefficient (D)
Қонуни концентратсияи рақик	Закон бесконечного разбавления	Infinite dilution law
Массаи молекулави миёнавазнӣ	Средневесовая молекулярная масса	Weight-average molecular weight (M_w)
Массаи молекулавӣ миёна аз рӯи миқдор	Среднечисленная молек. масса	Number-average molecular weight (M_n)
Маҳлули ниҳоят сероб (рақик)	Бесконечно разбавленный раствор	Infinitely dilute solution
Мувозинати седиментационӣ	Седиментационное равновесие	Sedimentation equilibrium
Муодилаи Марк-Кун- Хаувинк	Уравнение Марка- Куна-Хаувинка	Mark-Houwink equation
Нишондиҳандаи адсорбсия	Показатель адсорбции	Adsorption index
Нишондиҳандаи полидисперсият (гуногунпахншавӣ)	Индекс полидисперсности	Dispersity ($\bar{D}$)
Нишондиҳандаи шикасти рӯшноӣ	Показатель преломления	Refractive index (RI)
Нуқтаи θ (Тета)	Тэта-точка (Тета- состояние)	Theta (θ) point / condition
Пайвастаҳои фаромолекулӣ	Высокомолекулярные соединения	High-molecular compounds
Параметри баҳамтаъсири Флори-Хаггинс	Параметр взаимодействия Флори-Хаггинса	Flory-Huggins interaction parameter (χ)
Парокандашавии нури лазерӣ	Лазерное светорассеяние	Laser light scattering (LLS)
Парокандашавии нури лазерии бисёркунчагӣ (ПНЛБ)	Многоугловое лазерное светорассеяние (МУЛС)	Multi-Angle Laser Light Scattering (MALS)
Полидисперсӣ (гуногунпахншавӣ)	Полидисперсность	Polydispersity / Dispersity ($\bar{D}$)

Полимеризатсияи занҷирӣ	Цепная полимеризация	Chain polymerization
Полисахаридҳои пектинӣ	Пектиновые полисахариды	Pectic polysaccharides
Радиуси гиратсия (гардиш)	Радиус инерции (гирации)	Radius of gyration (R_g)
Соиши гузариш ва гардишии макромолекулаҳо	Поступательная и вращательная трения макромолекул	Translational and rotational friction in macromolecules
Сохтори пектин	Структура пектина	Pectin structure
Тақсимои массаи молекулавӣ (ТММ)	Молекулярно-массовое распределение (ММР)	Molecular Weight Distribution (MWD)
Тарзи анъанавӣ	Традиционный метод	Traditional method
Тарзи фаврӣ	Флэш-метод	Flash-method
Фраксиякунонии полимерҳо	Фракционирование полимеров	Polymer fractionation
Хосияти биотиббӣ	Биомедицинские свойства	Biomedical properties
Хроматографияи моеии эксклюзионӣ	Эксклюзионная хроматография	Size-exclusion chromatography (SEC)
Ҳалкунандаи “хуб” / “бад”	“Хороший” / “плохой” растворитель	Good / Poor solvent
Ҳаҷми хориҷшавӣ (элюатсия)	Объем элюирования	Elution volume (V_e)
Ҳаҷми хориҷшуда (истисношуда)	Исключенный объем	Excluded volume
Ҳаҷми ҳоси қисмӣ	Парциальный удельный объем	Partial specific volume ($\bar{v}$)
Қараёни ламинарӣ	Ламинарное течение	Laminar flow
Ҷаспакии ҳоси дохилӣ	Характеристическая вязкость	Intrinsic viscosity ($[\eta]$)