دانشکدهٔ کشاورزی

گروه علوم و صنایع غذایی

پایان‌نامه

برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد در رشتهٔ مهندسی علوم و صنایع غذایی

عنوان

استفاده از پکتین کم استر در تولید دسر کم کالری غنی شده با پروتئین های آب پنیر شیر

استادان راهنما :

دکتر صدیف آزادمرد دمیرچی

دکتر سید هادی پیغمبردوست

استادان مشاور :

دکتر محسن اسمعیلی

مهندس علی ایاسه

پژوهشگر : پوران جاهد

تابستان 90

نام خانوادگی: جاهد نام: پوران

عنوان پایان نامه: **استفاده از پکتین کم استر در تولید دسر کم کالری غنی شده با پروتئین های آب پنیر شیر**

استادان راهنما: دکتر صدیف آزادمرد دمیرچی- دکتر سید هادی پیغمبردوست
استادان مشاور: مهندس علی ایاسه- دکتر محسن اسمعیلی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: مهندسی علوم و صنایع غذایی گرایش:تکنولوژی موادغذایی
دانشگاه : تبریز دانشکده: کشاورزی تاریخ فارغ التحصیلی: 90 /6/17 تعداد صفحه: 73
کلید واژه ها: ایزوله پروتئین آب پنیر- پکتین کم استر- دسرکم کالری- رئولوژی

چکیده:

امروزه با توجه به کاربرد روزافزون ژلهای خوراکی در رژیمهای غذایی و نیاز به کاهش کالری مصرفی، تولید ژلهای غذایی کم کالری مورد توجه قرار گرفته است. جهت دستیابی به این هدف، مطالعه تولید دسر کم کالری آب انگور با استفاده از پکتین کم استر طبق آفتابگردان و غنیسازی آن با پروتئینهای شیر مد نظر قرار گرفت تا بتوان با استفاده از این پکتین، به مناسبترین فرمولاسیون دسر لبنی با خواص بافتی و ماندگاری مطلوب، ارزش غذایی بالا و مقدار کالری کمتر در مقایسه با دسرهای معمول دسترسی پیدا کرد. بدین منظور نمونههای آزمایشی در فرمولاسیونهای جداگانه از شیرخشک و ایزوله پروتئین آب پنیر، با غلظتهای متفاوت ((w/w)40 و 60%) و در حضور مقادیر مختلف پکتین کم استر ((w/w) 0/5 و 1 %) تهیه شدند. با استفاده از آزمون روبش فرکانس در محدوده فرکانس (0/1 Hz تا 10)، با افزایش درصد پکتین و پروتئین، علاوه بر افزایش مدولهای ویسکوالاستیک، فاکتور افت کاهش یافت که نشانگر بهبود خواص بافتی، سفتی و ظرفیت نگهداری آب محصول است. خواص بافتی از جمله سختی، شکنندگی، صمغیت و پیوستگی نمونههای دسر لبنی، نیز از طریق آنالیز پروفیل بافتی با استفاده از دستگاه TA.XT Plus مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از آنالیز پروفیل بافتی و ارزیابیهای حسی صورت گرفته نشان داد از نظر میزان سختی نمونههای حاوی مقادیر 40 و 60 درصد ایزوله پروتئین آب پنیر و 1% پکتین به طور معنیداری (P<0/001) دارای بیشترین سختی و نمونههای متشکل از 40 و 60 % شیرخشک + 1% پکتین از کمترین میزان سختی برخوردار بودند. با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس، نمونههای تهیه شده با WPI و پکتین 1% نسبت به نمونههای حاوی مقادیر مختلف شیرخشک و پکتین کم استر 1% ، ظرفیت نگهداری آب بالاتری داشتند.در کل نتایج نشان داد میزان سختی و شکنندگی بافت ارتباط مستقیمی با درصد پروتئین و پکتین به کار رفته در فرمولاسیون آن دارد. بیشترین امتیاز را از نظر مقبولیت نهایی مصرف کننده، نمونه حاوی 60% شیرخشک به همراه 1 % پکتین، بدست آورد که اختلاف معنیداری (P<0/001) با نمونههای تهیه شده از 0/5 % پکتین و مقادیر مختلف پروتئین (40 گرم شیرخشک و نمونههای 40 و 60 گرم ایزوله پروتئین آب پنیر) داشت. همچنین کمترین میزان کالری متعلق به نمونههای حاوی 60% پروتئین و0/5 گرم پکتین بود. نتایج نشان داد افزودن پکتین به محلول میتواند مشکلات بافتی را که در اثر کاهش میزان شکر در بافت ایجاد شده، بهبود بخشد و زیرساختار بافت را قوی کند علاوه بر این، هیچ اثر معنیداری را بر روی درک و احساس آروما ایجاد نمیکند. با این حال افزایش غلظت بیش از حد بحرانی آنها موجب تأثیر نامطلوب روی بافت، قوام و شکل ظاهری محصول میگردد.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

مقدمه:.....1

فصل اول: کلیات

1-1-ژله‌های غذایی 3
1-1-1 ژله‌های معمولی.....3
1-1-2 ژله‌های کم کالری 3
2-1 عوامل تشکیل دهنده ژل 3
1-2-1 پلی‌ساکاریدها 3
1-2-1-1 پکتین و انواع آن.....5
1-2-1-1-1 عوامل موثر در تشکیل ژله‌های پکتینی کم استر 6
3-1 مکانیسم تشکیل ژل.....6
3-1 -1 مکانیسم تشکیل ژلهای پکتینی کم کالری 8
4-1 سیستم‌های مخلوط پلی‌ساکارید و پروتئینها 8
1-4-1 ژل‌های مرکب حاصله از مخلوط بیوپلیمرها 10
2-4-1 پروتئین‌های شیر.....12
1-2-4-1 پروتئین‌های آب پنیر و خواص آنها.....12
1-1-2-4-1- توانایی تشکیل ژل پروتئین‌های آب پنیر.....13
2-1-2-4-1- استفاده از پلی‌ساکاریدها در بهبود خواص ژل‌های حاصل از پروتئین‌های آب پنیر 14
3-4-1 مکانیسم حلالیت پروتئین‌ها.....17
5-1 ارزیابی رئولوژیکی.....14
1-5-1 رفتار ویسکو الاستیک ژل‌های غذایی 14
1-1-5-1- آزمون نوسانی (دینامیک یا هارمونیک).....15

1-5-1-2 مدول G' (مدول الاستیک یا ذخیره) 15
1-5-1-3 مدول G'' (مدول ویسکوز یا اتلاف)..... 15
1-5-1-4 فاکتور افت 15
1-5-1-5 مدول مرکب (کمپلکس) 16
1-5-1-6 ویسکوزیته مرکب ..... **Error! Bookmark not defined.**
1-5-2 کاربرد روش‌های برش نوسانی با دامنه کوچک در در مواد غذایی..... 16
1-5-2-1 روبش کرنشی..... 16
1-5-2-2 روبش فرکانس..... 16

فصل دوم: بررسی منابع

2- 1- بررسی منابع..... 17
2-2- نتیجه‌گیری از بررسی منابع:..... 24

فصل سوم: مواد و روش‌ها

3-1-1- مواد خام مورد استفاده 25
3-1-1-1- پکتین کم استر 25
3-1-1-2- کنسانتره آب انگور 25
3-1-1-3- شیر خشک 25
3-1-1-4- شکر 25
3-1-1-5- ایزوله آب پنیر (WPI) 25
3-1-2- مواد شیمیایی مورد استفاده..... 26
3-1-3- تجهیزات و لوازم آزمایشگاهی..... 26
3 – 2 محل انجام پروژه..... 26
3 – 3 مراحل انجام پروژه 27
3-3-1 آماده‌سازی و تولید نمونه‌های آزمایشی 27
3-3-1-1- طرز تهیه دسرکم کالری محتوی آب انگور و پروتئین ایزوله آب پنیر..... 27
3-3-1-2- طرز تهیه دسرکم کالری محتوی آب انگور وشیر خشک بدون چربی 28
3-3-2- آزمایش‌ها 28

3-3-2-1- ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی 28
3-3-2-1-1- اندازه‌گیری pH 28
3-3-2-1-2- اندازه‌گیری اسیدیته 28
3-3-2-1-3- اندازه‌گیری ظرفیت نگه‌داری آب 29
3-3-2-1-4- اندازه‌گیری میزان بریکس 29
3-3-2-1-5- اندازه‌گیری میزان قند کل 29
3-3-2-1-6- محاسبه مقدار کالری 30
3-3-2-2- مطالعه خواص بافتی نمونه‌های آزمایشی 31
3-3-2-2-1- آنالیز پروفیل بافت 31
3-3-2-2-2-آزمون‌های رئولوژیکی دینامیک 31
3-3-2-3- ارزیابی خواص حسی 31
3-4- آنالیز آماری 32

فصل چهارم: نتایج و بحث

4-1- خواص رئولوژیکی (ویسکوالاستیک) دسرلبنی 34
4-1-1- اندازه‌گیری مدول های ویسکوالاستیک 34
4-1-2- اندازه‌گیری فاکتور افت 40
4-2- مطالعه خواص بافتی نمونه های آزمایشی 42
4-2-1- سختی 42
4-2-2- شکنندگی: 45
4-2-3- پیوستگی: 46
4-2-4- صمغیت: 47
4-3 – اندازه‌گیری خصوصیات حسی و فیزیکی نمونه‌های آزمایشی 48
4-3-1- ظرفیت نگه‌داری آب 48
4-3-2- میزان قند 50
4-3-3- اسیدیته 52
4-3-4- بریکس 53

4-3-5- میزان کالری نمونه‌های آزمایشی 55
4-4- ارزیابی پارامترهای حسی 56
4- 4- 1- ویژگی‌های ظاهری 56
4-4-2- سفتی بافت 58
4-4-3- میزان عدم آب اندازی 59
4-4-4- عدم چسبندگی 60
4-4-5- طعم شیرینی 61
4-4-6- طعم ترشی 62
4-4-7- طعم آب انگور 62
4-4-8- عدم طعم آبکی 70
4-4-9- مقبولیت کلی 71
نتیجه گیری و پیشنهادها 65

فصل پنجم: فهرست منابع

فهرست منابع 68

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول 3-1- ترکیب فرمولاسیونهای مورد استفاده در تهیه دسرهای لبنی کم کالری.....34
جدول 4-1: بررسی مقایسه میانگین و انحراف معیار تاثیر فرمولاسیونهای مختلف بر ویژگیهای شیمیایی.....57
جدول 4-2: بررسی مقایسه میانگین و انحراف معیار تاثیر فرمولاسیونهای مختلف بر ویژگیهای حسی.....65

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل 1-1: الف) ساختار زنجیره پکتین پر استر ب) ساختار زنجیره پکتین کم استر.....6

شکل 1-2: شبکه سه بعدی ژل پکتینی.....8

شکل 1-3: شبکه‌های ژلی ناشی از مخلوط دو پلیمر؛ (A): شبکه ژلی در هم نفوذ کرده (B) شبکه ژلی فاز مجزا (C) شبکه ژلی جفت شده.....10

شکل 1-4 : چهارچوب کلی تشکیل ژل‌های مخلوط پروتئین و پلی ساکارید..... .11

شکل 3-1: فرم ارزش‌یابی حسی ویژگی‌های نمونه‌های آزمایشی.....40

شکل 4-1: آزمون تعیین محدوده خطی ویسکوالاستیک دسر لبنی در فرکانس ثابت 1 هرتز.....42

شکل 4-2: اثر مقدار پکتین و مقادیر مختلف ایزوله پروتئین آب پنیر(WPI) بر روی مدولهای ویسکوالاستیک دسر لبنی تهیه شده با استفاده از پکتین کم استر و پروتئین‌های شیر در $^{\circ}C$ 25 (A- 0/5% پکتین، B- 1% پکتین).....44

شکل 4-3: اثر مقدار پکتین و مقادیر مختلف شیر خشک بر روی مدول‌های ویسکوالاستیک دسر لبنی تهیه شده با استفاده از پکتین کم استر و پروتئین‌های شیر در $^{\circ}C$ 25 (A- 0/5% پکتین، B- 1% پکتین).....45

شکل 4-4: اثر مقادیر مختلف پکتین (0/5% و 1%) و پروتئین‌های شیر (WPI و Skim milk) بر روی مدول‌های ویسکوالاستیک دسر لبنی تهیه شده با استفاده از پکتین کم استر و پروتئین‌های شیر در $^{\circ}C$ 25.....48

شکل 4-5: اثر مقادیر مختلف پکتین (0/5% و 1%) و پروتئین‌های شیر (WPI و Skim milk) بر روی ویسکوزیته کمپلکس دسر لبنی تهیه شده با استفاده از پکتین کم استر و پروتئین‌های شیر در $^{\circ}C$ 25 (A- 0/5% پکتین).....48

شکل 4-5: اثر مقادیر مختلف پکتین (0/5% و 1%) و پروتئین‌های شیر (WPI و Skim milk) بر روی ویسکوزیته کمپلکس دسر لبنی تهیه شده با استفاده از پکتین کم استر و پروتئین‌های شیر در $^{\circ}C$ 25 (B- 1% پکتین).....49

4-6: میزان سختی نمونه‌های مختلف دسر لبنی تهیه شده با استفاده از پکتین کم استر و پروتئین‌های شیر (A- با مقادیر مختلف Skim milk).....50

شکل 4-6: میزان سختی نمونه‌های مختلف دسر لبنی تهیه شده با استفاده از پکتین کم استر و پروتئین‌های شیر (B- با مقادیر مختلف WPI).....51

شکل 4-7: میزان نیروی لازم برای شکنندگی نمونه‌های مختلف دسر لبنی تهیه شده با استفاده از پکتین کم استر و پروتئین‌های شیر (Skim milk و WPI).....52

شکل 4-8: میزان پیوستگی نمونه‌های مختلف دسر لبنی تهیه شده با استفاده از پکتین کم استر و پروتئین‌های شیر(A-Skim milk - B WPI).....53

شکل 4-9: میزان صمغیت نمونه‌های مختلف دسر لبنی تهیه شده با استفاده از پکتین کم استر و پروتئین‌های شیر(A-Skim Milk).....54

شکل 4-9: میزان صمغیت نمونه‌های مختلف دسر لبنی تهیه شده با استفاده از پکتین کم استر و پروتئین‌های شیر(WPI -B)....55
شکل 4-10: اثر مقدار پکتین و مقادیر مختلف پروتئین شیر بر روی ظرفیت نگه‌داری آب دسر لبنی تهیه شده با استفاده از پکتین کم استر و پروتئین‌های شیر (WPI -B ،Skim milk -A).....56
شکل 4-11: اثر مقدار پکتین و مقادیر مختلف پروتئین شیر بر روی محتوی قند دسر لبنی تهیه شده با استفاده از پکتین کم استر و پروتئین‌های شیر (WPI -B ،Skim milk -A).....58
شکل 4-12: اثر مقدار پکتین و مقادیر مختلف پروتئین شیر بر روی میزان اسیدیته دسر لبنی تهیه شده با استفاده از پکتین کم استر و پروتئین‌های شیر (WPI -B ،Skim milk -A).....60
شکل 4-13: اثر مقدار پکتین و مقادیر مختلف پروتئین شیر بر روی درجه بریکس دسر لبنی تهیه شده با استفاده از پکتین کم استر و پروتئین‌های شیر (WPI -B ،Skim milk -A).....61
شکل 4-14: اثر مقدار پکتین و مقادیر مختلف پروتئین شیر بر روی میزان کالری دسر لبنی تهیه شده با استفاده از پکتین کم استر و پروتئین‌های شیر (WPI -B ،Skim milk -A).....62
شکل 4-15: اثر مقادیر مختلف پکتین (0/5% و 1%) و پروتئین‌های شیر (WPI و Skim milk) بر روی یکنواختی بافت دسر لبنی تهیه شده با استفاده از پکتین کم استر و پروتئین‌های شیر.....64
شکل 4-16: اثر مقادیر مختلف پکتین (0/5% و 1%) و پروتئین‌های شیر (WPI و Skim milk) بر روی میزان درخشندگی سطح دسر لبنی تهیه شده با استفاده از پکتین کم استر و پروتئین‌های شیر.....64
شکل 4-17: اثر مقادیر مختلف پکتین (0/5% و 1%) و پروتئین‌های شیر (WPI و Skim milk) بر روی سفتی بافت دسر لبنی تهیه شده با استفاده از پکتین کم استر و پروتئین‌های شیر.....66
شکل 4-18: اثر مقادیر مختلف پکتین (0/5% و 1%) و پروتئین‌های شیر (WPI و Skim milk) بر روی عدم آب‌اندازی دسر لبنی تهیه شده با استفاده از پکتین کم استر و پروتئین‌های شیر.....67
شکل 4-19: اثر مقادیر مختلف پکتین (0/5% و 1%) و پروتئین‌های شیر (WPI و Skim milk) بر روی عدم چسبندگی دسر لبنی تهیه شده با استفاده از پکتین کم استر و پروتئین‌های شیر.....68
شکل 4-20: اثر مقادیر مختلف پکتین (0/5% و 1%) و پروتئین‌های شیر (WPI و Skim milk) بر روی طعم شیرینی دسر لبنی تهیه شده با استفاده از پکتین کم استر و پروتئین‌های شیر.....69
شکل 4-21: اثر مقادیر مختلف پکتین (0/5% و 1%) و پروتئین‌های شیر (WPI و Skim milk) بر روی طعم آب انگور دسر لبنی تهیه شده با استفاده از پکتین کم استر و پروتئین‌های شیر.....70
شکل 4-22: اثر مقادیر مختلف پکتین (0/5% و 1%) و پروتئین‌های شیر (WPI و Skim milk) بر روی عدم طعم آبکی دسر لبنی تهیه شده با استفاده از پکتین کم استر و پروتئین‌های شیر.....70
شکل 4-23: اثر مقادیر مختلف پکتین (0/5% و 1%) و پروتئین‌های شیر (WPI و Skim milk) بر روی مقبولیت کلی دسر لبنی تهیه شده با استفاده از پکتین کم استر و پروتئین‌های شیر.....71

مقدمه:

از جمله مشکلاتی که امروزه جوامع انسانی با آن مواجه هستند مصرف غذاهای حاوی مقادیر بالای قند است که اثرات سوء تغذیه‌ای برای افراد مبتلا به چاقی، دیابت و بیماریهای قلبی- عروقی به دنبال دارد و سالانه هزینه‌های زیادی را دولت‌ها صرف مبارزه با بیماریهای مرتبط با مصرف این نوع غذاها می‌نمایند. بنابراین امروزه بخش علوم و تحقیقات جامعه مسئولیت مهمی جهت جستجوی روشهای مناسب برای کاهش مقدار شکر در رژیمهای غذایی بر عهده دارد. در کشور ما همانند بسیاری از کشورهای درحال توسعه، مشکلات تغذیه‌ای در کنار عوامل ژنتیکی موجب بروز بسیاری از بیماریهای قلبی- عروقی و دیابت در افراد جامعه می‌شود که ضمن تحمیل هزینه‌های زیاد به جامعه، به عنوان یکی از عوامل مهم مرگ و میر به شمار می-آید. لذا افزایش سطح معلومات عمومی جوامع بشری در خصوص مخاطرات مواد غذایی پرکالری و افزایش تقاضا برای غذاهای کم کالری، ارائه فرمولاسیونهای غذایی جدید و تولید غذاهای کم کالری را به یکی از اولویت‌های بخش صنایع غذایی تبدیل کرده است. امروزه مصرف دسرهای لبنی نیمه جامد با انواع ترکیبات طعم دهنده رو به گسترش است که توسط گروههای سنی مختلف مانند کودکان و افراد بالغ به علت ارزش تغذیه‌ای و ویژگیهای حسی مصرف می‌شوند. این محصولات اساساً دارای شیر، غلیظ کننده ها (مثل هیدرو کلوئیدها)، شکر، ترکیبات طعم دهنده و مواد رنگی مجاز بوده و ساختار ژله ای دارند. هیدروکلوئیدها با توجه به افزایش پایداری و احساس دهانی و بهبود بافت مواد غذایی نقش مهمی در مقبولیت نهایی محصولات غذایی از جمله انواع ژل دارند. پلی‌ساکاریدهای زیادی شامل آلژینات، پکتین، گلان، کاراگینان، نشاسته و پروتئینهایی مثل ژلاتین، پروتئین آب پنیر (WP)[1] و سویا در تولید ژل‌های غذایی به‌کار می‌روند.

با توجه به کاربرد روزافزون ژله‌های خوراکی در رژیم‌های غذایی و نیاز به کاهش کالری مصرفی، تولید ژله‌های غذایی کم کالری از اهمیت ویژه ای برخوردار است. جهت دستیابی به این هدف، در این راستا، بررسی امکان تولید دسرهای کم کالری با استفاده از پکتین کم استر و غنی‌سازی آن با پروتئین های شیر و آب انگور

1- Whey Protein

مد نظر قرار گرفته است. انتظار می‌رود با استفاده از پکتین کم استر در تولید دسر لبنی به فرمولاسیون محصولی با خواص بافتی مطلوب دسترسی پیدا نمود که با دارا بودن ارزش غذایی بالای ناشی از افـزودن پـروتئین هـای شیر و آب انگور، از بافتی مسـتحکم در برابـر تنشـهای مکـانیکی در حـین حمـل و نقـل، سینرسـیس کمتـر و ماندگاری مطلوب برخوردار باشد. این نوع پکتین، دارای توانایی تولید ساختاری مستحکم در محصولاتی مانند ژله، مربا و مارمالاد، با مقادیر کم شکر و در محدوه وسیعی از pH است. محصول نهـایی بـه دلیـل حضـور آب انگور و محصولات لبنی در فرمولاسیون آن، از ارزش تغذیه‌ای بالایی برخوردار است. تأثیر کاهش مقدار شـکر فرمولاسیون و جایگزینی آن با پروتئین های شیر بر روی ویژگیهای تشـکیل ژل پکتـین بـا روشـهای فیزیکـو-شیمیایی، رئولوژیکی و چشایی مورد بررسی قرار گرفته و مناسب ترین فرمولاسیون معرفی خواهد شـد کـه در مقایسه با دسرهای معمولی، پیش بینی می‌شود می‌توان مقدار شکر مصرفی آن را حدوداً به نصف کاهش داد. در این صورت خواهیم توانست به فرمولی مناسب از دسر رژیمی دست یابیم که محصـول جدیـد تولیـد شـده در خدمت سلامت تغذیه‌ای جامعه بوده و محدوده انتخاب مصرف کننده‌ها را افزایش دهد.

1-1- ژله‌های غذایی

1-1-1 ژله‌های معمولی

ژله فراورده نیمه جامد و شفافی است که طی فرایند خاص با استفاده از شکر یا دیگر مواد قندی مجاز به عنوان ماده شیرین کننده و پکتین یا دیگر صمغ‌ها و ژلاتین به عنوان عامل تشکیل ژل تهیه می‌شود و ممکن است ماده طعم‌دهنده و رنگی نیز به آن اضافه شود. در ژله‌های معمولی برای تشکیل ژل حضور مواد ژله کننده مانند پکتین پراستر، مقادیر بالای شکر (60-65 درصد) و pH کمتر از 3/5 ضروری است (استاندارد ملی ایران، 1382).

1-1-2 ژله‌های کم کالری

جهت تهیه این نوع ژله‌ها می‌توان از پکتین کم استر که قادر است در حضور مقادیر کم شکر، یون کلسیم و در گستره وسیعی از pH تشکیل ژل دهد، استفاده کرد. با کاهش مقدار شکر میزان کالری‌زایی آن حدوداً به نصف ژله‌های معمولی کاهش می‌یابد. مشخص‌ترین نقص ساختاری ژل‌های پکتینی، آب اندازی (سینرسیس)[1] آنهاست و اغلب در ژل‌های حاصل از پکتین کم استری که دارای میزان کلسیم کمی هستند، رخ می‌دهد. به منظور جبران کاهش ویسکوزیته و افزایش قابلیت ماندگاری محصولات و ژله‌های کم کالری که در اثر فقدان شکر ایجاد می‌شود، هیدروکلوئیدها در فرمولاسیون آن‌ها استفاده می‌شود (هوآرس و گراهام، 1977).

1-2 عوامل تشکیل دهنده ژل

1-2-1 پلی‌ساکاریدها

ترکیبات کلوئیدی نقش بسزایی را در تشکیل ژل‌های غذایی ایفا می‌کنند و پلی‌ساکاریدها که بخش مهمی از کربوهیدرات‌ها را تشکیل می‌دهند، جزء این گروه از ترکیبات هستند (هویگمارد، 1999). پلی ساکاریدهای غذایی به طور کلی به دو دسته ترکیبات مشتق شده از نشاسته و پلی‌ساکاریدهای غیر نشاسته‌ای (NSPs)[2]

1 - Synersis
1- Non Starch Polysaccharides

تقسیم می‌شوند که اصطلاح "هیدروکلوئید[1]" شامل هر دو مجموعه است. در حالیکه نشاسته امروزه کاربرد زیادی دارد و در اغلب فروشگاه‌های دنیا به چشم می‌خورد، کاربرد سایر پلی ساکاریدها در حال توسعه بوده و روز به‌روز رو به افزایش است (استفان و کورمز، 2006).

1-1-2-1 پکتین و انواع آن

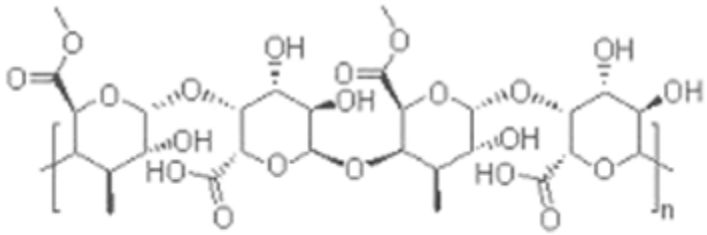
پکتین، دسته‌ای دیگر از هیدروکلوئیدهای آنیونی است که هتروپلی‌ساکارید بوده و در دیواره سلول گیاهی یافت می‌شود. شکل اولیه این ماده در بافت‌های گیاهی به صورت پروتوپکتین نامحلول در آب بوده و در ساختمان آن همی‌سلولز، آرابان، گالاکتان و.... وجود دارد. انواع پکتین، به عنوان گروهی از ترکیبات هیدروکلوئیدی، نقش مهمی در تشکیل ژل دارند. این ترکیبات با توجه به فراوانی در مواد اولیه گیاهی، کاربرد در تولید غذاهای خاص و تأثیر بر کاهش کلسترول، از اهمیت زیادی برخوردار هستند. پکتین‌ها از نظر طرز تشکیل، طول زنجیره و غیره بسیار متنوعند و همچنین در طرز قرار گرفتن مونوساکاریدهای تشکیل‌دهنده‌ی آن‌ها، تنوع زیادی به چشم می‌خورد. ساختار پکتین از واحدهای اسید گالاکتورونیک با اتصال α-D (1-4) تشکیل شده که به طور نسبی با متانول استریفیه شده است. علاوه بر وجود رامنوز در زنجیره اصلی، با توجه به منبع پکتین و روشهای استخراج آن، قندهای آرابینوز و گالاکتوز در انشعابات جانبی با مقادیر متفاوت وجود دارد. با در نظر گرفتن میزان استری شدن عوامل اسیدی در زنجیره پکتین با گروه متوکسیل، پکتین ها، به دو دسته تقسیم می‌شوند (مای، 1992؛ آلارکائو- سیلوا و همکاران، 1996) :

الف) پکتین با گروه متوکسیل زیاد (HMP)[2]، با درجه استریفیکاسیون بیش از 50 درصد که به شکر بیشتری (بالای 50 درصد) برای تشکیل ژل نیاز دارد.

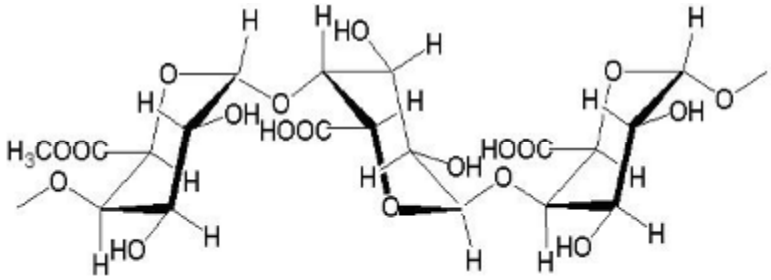
ب) پکتین دارای گروه متوکسیل کم (LMP)[3]، با درجه استریفیکاسیون کمتر از50 درصد، که با مقادیر مناسب یون کلسیم، در محدوده وسیعی از pH و در حضور میزان کم مواد جامد محلول (کمتر از50 درصد) قادر به

1 - Hydrocolloid
2 -High methoxyl pectin
3- Low methoxyl pectin

تشکیل ژل است. واحدهای ساختاری تشکیل دهنده نمونه ای از پکتین پر استر و پکتین کم استر در شکل (1-1) نشان داده شده است.



الف



ب

شکل 1- 1: الف) ساختار زنجیره پکتین پر استر ب) ساختار زنجیره پکتین کم استر

1-1-1-2-1 عوامل موثر در تشکیل ژله‌های پکتینی کم‌استر

در تشکیل ژل با LMP، فاکتورهایی شامل درجه متیلاسیون، وزن مولکولی، غلظت پکتین، مقدار کلسیم و مواد جامد محلول، pH و ترکیبات عامل جدا شدن فازها[1] موثرند، که به نوبه خود بر قدرت ژل و درجه حرارت بستن آن تأثیرگذار هستند. با کاهش وزن مولکولی، زنجیره‌های پلی‌گالاکتورونیکی کوتاهتر و بنابراین تعداد نقاط اتصال بین زنجیر پلی‌گالاکتورونیکی کم و این امر باعث تولید ژل ضعیف‌تر می‌گردد (لین و همکاران، 1976؛ قنبرزاده، 1388a). تمایل یونهای کلسیم به LMP، بستگی به درجه استریفیکاسیون پکتین دارد. در مقدار ثابت کلسیم، با کاهش میزان استری شدن، به علت تقویت قدرت اتصال آن با گروه کربوکسیل پکتین، قدرت ژل افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش مقدار این یون، درجه حرارت بستن ژل افزایش می‌یابد. اما افزایش بیش

1 - Sequestrant

از حد آن، باعث تشکیل نمک نامحلول در آب پکتینات کلسیم می‌شود. میزان دانسیته بالای بارهای منفی پکتین‌های دارای گروه متوکسیل خیلی کم، نیاز به کلسیم را افزایش می‌دهد. در ضمن کاهش pH و افزایش مواد جامد محلول، میزان کلسیم مورد نیاز را پایین می‌آورد. در حالیکه حضور ترکیبات قابل اتصال به کلسیم، نیاز به این ماده را افزایش می‌دهد (هیو، 2006).

زنجیره های گالاکتورونان پکتین کم استر، با دارا بودن انشعابات فرعی زیاد و حضور گروههای استیل، می‌توانند با مکانیسم اتصال عرضی، خارج از مدل شانه تخم مرغی کلاسیک، در حضور یون کلسیم، حتی در شرایط طبیعی، ژل تشکیل دهند. خصوصیات حرارتی ویژه، نقش برهم کنشهای بین مولکولی مانند پیوندهای هیدروژنی و هیدروفوبیک را در تشکیل ژل تأیید می‌کند (کاردوس و همکاران، 2003).

3-1 مکانیسم تشکیل ژل

ژل دارای برخی ویژگی‌های جامدات و برخی ویژگی‌های مایعات است. مولکول‌های پلیمری برای تشکیل نقاط اتصال و شبکه سه بعدی برهم‌کنش انجام می‌دهند که در نتیجه محلول سیال به یک ماده نیمه جامد تبدیل می‌گردد و می‌تواند شکل خود را حفظ کند. این ساختار در برابر تنش‌های مختلف مقاومت زیادی از خود نشان می‌دهد و یک ماده ویسکوالاستیک است. عامل اساسی در تشکیل ساختمان سه بعدی ژل، مربوط به نواحی اتصال است که از عوامل موثر در تشکیل آن پیوندهای هیدروژنی و برهم‌کنش‌های هیدروفوبیکی هستند. به علت ضعیف بودن پیوندهای هیدروژنی تنها وقتی تعداد زیادی از آنها وجود داشته باشند، می‌توانند به شبکه سه بعدی ژل استحکام بدهند. بنابراین افزودن ساکارز به محلول پکتین برای تشکیل ژل باعث رقابت بین مولکول‌های ساکارز و پکتین در اتصال به مولکول‌های آب می‌شود و در نتیجه تعداد زیادی از مولکول‌های آب با ساکارز درگیر شده و از پیوند آنها با گروه‌های هیدروکسیل پکتین جلوگیری می‌کند (اسچدال، 1999). در این حال زنجیره‌های پکتینی، گروه‌های هیدروکسیل آزاد بیشتری جهت اتصال با سایر زنجیره‌های پکتین خواهند داشت و در نتیجه منجر به تشکیل ژلی قوی خواهند شد.

در ژل‌های معمولی حاصل از پکتین پراستر، وقتی بارهای منفی روی گروه‌های کربوکسیل با اضافه کردن اسید خنثی شوند و یا وقتی توانایی هیدراته شدن مولکول با اضافه کردن شکر کاهش داده شود، مطابق شکل (2-1) نواحی اتصال بین زنجیره‌های پکتین تشکیل می‌شود (هویگمارد، 1999).

شکل 2-1: شبکه سه بعدی ژل پکتینی، قسمت‌های هاشورخورده مربوط به نواحی اتصال می‌باشد (اوکن‌فول و همکاران، 1997)

1-3 -1 مکانیسم تشکیل ژل‌های پکتینی کم‌کالری

با توجه به اینکه در ژل‌های کم‌کالری میزان ساکارز کاهش یافته است، بنابراین ساکارز در ایجاد نواحی اتصال بین زنجیره‌های پلیمری نقش کمی ایفا می‌کند. لذا برای تشکیل ژل‌های کم کالری توسط پکتین کم استر حضور یون دو ظرفیتی کلسیم جهت تشکیل پل‌های عرضی بین زنجیره‌های پلیمری پکتین ضروری است. نظریه‌های مختلفی در خصوص مکانیسم تشکیل ژل‌های کم کالری با استفاده از پکتین‌های کم استر ارائه شده است. از میان تمام نظریه های بیان شده، تئوری مدل شانه تخم مرغی ارائه شده توسط گرنت و همکاران (نقل از قنبرزاده، 1388a) برای مکانیسم تشکیل ژل پکتین کم استر در حضور یون کلسیم، بیشتر مورد پذیرش قرار گرفته شده است. این مدل حضور ساختمان منظم شبیه شانه تخم‌مرغ را در تشکیل ژل مطرح می‌نماید که از اتصال زنجیره‌های پلی گالاکتورونیکی و ایجاد دیمر با یکدیگر به وسیله پیوندهای یونی و الکترواستاتیک گروه‌های کربوکسیل حاصل می‌شود که از اجتماع دیمرها اسکلت ساختمانی فضایی ژل به وجود می‌آید. حضور گروه‌های استر متیل در زنجیره پلی گالاکتورونیکی، تشکیل ساختمان‌های منظم شانه تخم‌مرغی را

محدود و در نتیجه نحوه پیوند ماکرومولکول‌ها را در جهت تشکیل ژل هدایت می‌نمایند. بین دمای مورد استفاده در پیش فرایند حرارتی و میزان یون کلسیم، در ظرفیت نگه‌دارندگی آب، شکست ساختار و ریزساختار ژل حاصله ارتباط مستقیم وجود دارد. به‌طوریکه در دماهای بالاتر از 80 درجه سانتیگراد، $Cacl_2$ می‌تواند بر روی ظرفیت حفظ آب و شکست ساختار آن تأثیرگذار باشد و به ژل قوی‌تری دست پیدا کرد (هونگس پرابهاس و باربوت، 1996).

4-1 سیستم‌های مخلوط پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌ها

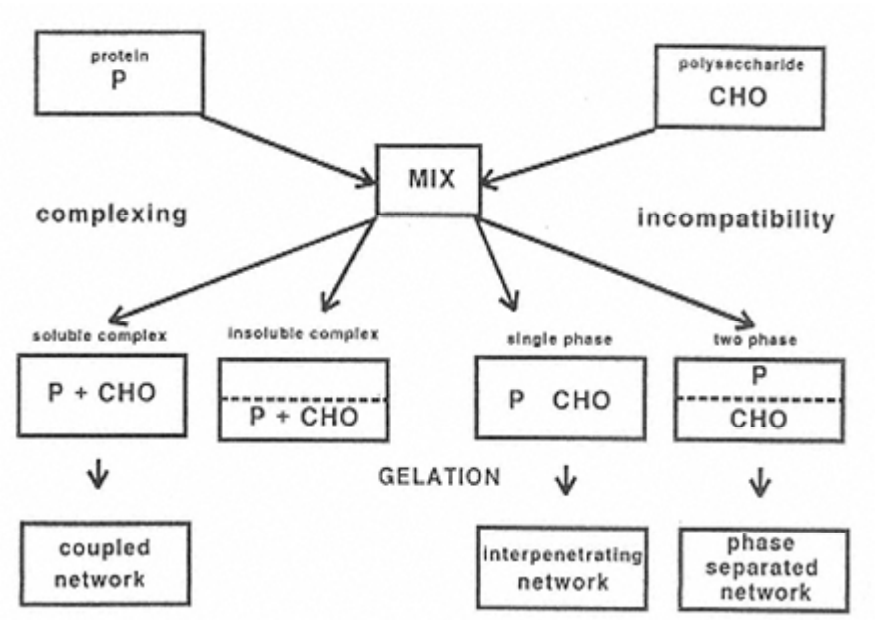
پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌ها در بسیاری از محصولات غذایی حضور دارند. مخصوصاً مخلوط پروتئینها و پلی‌ساکاریدها در اکثر سیستم‌های کلوئیدی وجود داشته و عامل تشکیل ساختار در ماده غذایی هستند. پروتئین‌ها به عنوان پایدارکننده و عوامل تشکیل دهنده امولسیون عمل می‌کنند در حالیکه نقش اصلی پلی‌ساکاریدها، افزایش قوام و جذب آب است که در افزایش پایداری سیستم‌های کلوئیدی موثرند. هر دو نوع بیوپلیمر در ویژگی‌های ساختاری و بافتی محصولات غذایی از طریق رفتار توده‌ای شدن و ژله‌ای شدن تأثیر گذار هستنند (نیرینگ و همکاران، 2004). در طی دهه‌های اخیر تحقیقات زیادی روی رفتار عملکردی سیستم‌های مخلوط پروتئین- پلی ساکارید به منظور شناخت نحوه برهم کنش بین این اجزا و تأثیر آنها روی تشکیل ساختار مواد غذایی انجام شده است. از بین ویژگیهای عملکردی متنوع پروتئین- پلی ساکارید، تشکیل ژل در مواد غذایی مورد توجه بیشتری قرار گرفته است (اوکن‌فول و همکاران، 1997).

1-4-1 ژل‌های مرکب حاصله از مخلوط بیوپلیمرها

ساختارهای ژل موجود در مواد غذایی حاوی مخلوط بیوپلیمرها که از بر هم کنش بین بیوپلیمرها ایجاد می شود بیشتر از نوع جذبی بوده و یا به دلیل عدم سازگاری بین آنها از نوع دافعه است. به صورتی که توزیع ماکرومولکول‌ها در محلول‌ها می‌توانند اثر آنتاگونیسمی[1] یا سینرژیستی[2] بر تشکیل ژل داشته باشند (تورگئان و

1 - Antagonismy
2 - Synergistic

برتراند، 2007). در شکل 1-4 چهارچوب کلی تئوریکی که برای تشکیل ژل‌های مخلوط پروتئین و پلی ساکارید به‌کار برده می‌شود، نشان داده شده است. هنگامی که دو نوع پلیمر کمپلکس تشکیل می‌دهند، می‌توان آنها را به عنوان یک شبکه ژلی جفت شده در نظر گرفت و هنگامی که با هم عدم تجانس[1] دارند، شبکه ژلی حاصله از آنها از مکانیسم‌های در هم نفوذی و فاز مجزا با نواحی مجزا تشکیل شده است. کمپلکس‌های پروتئین- پلی ساکارید را می‌توان به عنوان یک نوع جدید از عوامل تشکیل دهنده ژل در نظر گرفت که با کنترل کردن شرایط تشکیل کمپلکس و هم‌چنین کنترل خواص رئولوژیکی و فیزیکوشیمیایی در نهایت بتوان محصولی با خواص بافتی مطلوب حاصل کرد (سامانت و همکاران، 1993).



شکل 1-4 : چهارچوب کلی تشکیل ژل‌های مخلوط پروتئین و پلی ساکارید (اوکن‌فول و همکاران، 1997)

1-4-2 پروتئین‌های شیر

شیر و محصولات آن با توجه به ارزش تغذیه‌ای خیلی بالایی که دارند، بخش مهمی از رژیم غذایی بشر را تشکیل می‌دهند. در واقع می‌توان شیر را امولسیونی از گلبول‌های چربی که در فاز آبی معلق هستند، دانست. فاز

1 - Incompatibility

آبی آن شامل ترکیبات محلول و سوسپانسیون شده‌ای از جمله میسل‌های کازئینی، پروتئین‌های سرمی یا آب پنیر، لاکتوز، مواد معدنی و انواع ویتامین‌هاست. پروتئین‌های شیر به دو دسته مهم کازئین‌ها و پروتئین‌های آب پنیر تقسیم می‌شوند.کازئین‌ها به صورت تجمعات کروی شکل به‌نام میسل هستند و به چهارگروه مهم αs_1، αs_2، β و k کازئین تقسیم می‌شوند. پروتئین‌های سرمی، پروتئین‌های گلبولی محلول در آب و حساس به حرارت به همراه با آنزیم‌ها هستند که مهم‌ترین آنها آلفالاکتوآلبومین، بتالاکتوگلوبولین، ایمونوگلوبولین، و لاکتوفرین و غیره است (ریکوس، 2010).

1-2-4-1 پروتئین‌های آب پنیر و خواص آنها

پروتئین‌های آب پنیر علاوه بر دارا بودن اسید آمینه‌های ضروری مورد نیاز بدن دارای خصوصیات عملکردی متنوعی در تولید محصولات جدید و کاربردی هستند. از آن جمله می‌توان به خواص امولسیفایری، تشکیل ژل، کف‌کنندگی، ایجاد حامل‌های مواد معدنی و داروها و تولید نانوکپسول خوراکی اشاره کرد. سمو و همکاران (2007)، توانستند به توانایی بالای پروتئین‌های شیر، برای ان‌کپسوله کردن مواد مغذی پی ببرند و آن‌ها را به عنوان حامل مناسب مواد مغذی معرفی کنند. اسوایسگوود (2003) نیز نشان داد که بتالاکتوگلوبولین قادر است ریزمغذی‌های مختلفی را به خود متصل کند در نتیجه این پروتئین را به عنوان یک حامل مناسب برای انتقال ترکیبات آبگریز معرفی کرد. بدین ترتیب پروتئین‌ها همراه با پلی ساکاریدها می‌توانند محدوده وسیعی از ویژگیهای بافتی و رئولوژیکی را در مواد غذایی ایجاد کنند و این دو بیوپلیمر، از عوامل مهم تشکیل ژل در صنعت غذا محسوب می‌شوند (تورگئان و بیلیو، 2001).

در طی دهه‌های گذشته محصولات جانبی متنوعی از این گروه پروتئین‌ها تهیه شده است که هر کدام زمینه کاربردی مخصوص خود را دارا هستند. از جمله این محصولات، ایزوله پروتئین آب پنیر (WPI)[1] است که می‌توان با استفاده از سیستم تبادل یون و اولترافیلتراسیون و یا استفاده از تکنیک‌های میکروفیلتراسیون و

1 - Whey protein isolate

اولترافیلتراسیون آن را به دست آورد، بر اساس استاندارد موجود بایستی این محصول حاوی 95% پروتئین باشد (اوکن‌فول و همکاران، 1997).

1-4-2-1-1- توانایی تشکیل ژل پروتئین‌های آب پنیر

با توجه به اینکه شیر و محصولات حاصله از آن حاوی کلسیم هستند، به راحتی می‌توانند در حضور پکتین کم استر تشکیل ژل دهند. مکانیسم تشکیل ژل پروتئین‌های آب پنیر مشابه با مکانیسم سایر پروتئین‌های کروی است، به این صورت که شامل یک مرحله دناتوراسیون اولیه و سپس تشکیل پیوند ما بین مولکول‌ها و در نهایت تشکیل یک شبکه ژلی است. شرایط محیطی از قبیل pH، قدرت یونی و حضور کاتیون‌های ویژه، همگی بر روی ساختار پروتئین و هم‌چنین دناتوراسیون آن، تشکیل ژل و ساختار نهایی تأثیرگذار هستند. به طوری‌که در pH های بالاتر و پایین‌تر از pH ایزوالکترولیت پروتئین، دافعه‌های الکترواستاتیکی از اهمیت خاصی برخوردار بوده و ژل‌های نیمه شفاف با ریزساختاری کوچک حاصل می‌شود. با اضافه نمودن کاتیون‌ها با نزدیک شدن pH به نقطه ایزوالکترولیت، دافعه الکترواستاتیک ما بین مولکول‌ها کاهش یافته و قبل از تشکیل ژل، تجمع و ادغام[1] پروتئین‌ها مشاهده می گردد. در نتیجه ژل‌هایی مات و تیره با ساختاری درشت و خشن به وجود می‌آید (تورگئان و بیلیو، 2001).

1-4- 2-1-2- استفاده از پلی‌ساکاریدها در بهبود خواص ژل‌های حاصل از پروتئین‌های آب پنیر

ژل‌های حاصله از مخلوط پروتئین‌های آب‌پنیر/ پلی‌ساکارید به طور معمول به صورت محصولات غذایی نیمه جامد در نظر گرفته می‌شوند. برای تهیه ژلهای پروتئینی از چندین روش شیمیایی و فیزیکی مانند تیمار حرارتی و فشار، اسیدی کردن، فرآیندهای شیمیایی یا آنزیمی، افزودن نمکها و فرایند ژله‌ایی شدن سرد می‌توان استفاده کرد. اگر چه روش تشکیل ژل با استفاده از حرارت بیشترین کاربرد را دارد ولی ژله ای شدن سرد دارای

1- Aggregation