

بررسی و ساخت هیدروژل برمبنای ژلاتین و موسیلاژ بارهنگ شهری به روش کوآسرواسیون مرکب

تاریخ دریافت مقاله: مهر ۱۳۹۸

تاریخ چاپ مقاله: آبان ۱۳۹۸

سعید حمدی پور^۱، میرخلیل پیروزی فرد^۲، حامد همیشه کار^۳، هادی الماسی^۴

^۱ دانشجوی دکتری، تکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه ارومیه

^۲ دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه ارومیه

^۳ استاد مرکز تحقیقات کاربردی دارویی تبریز، دانشگاه علوم پزشکی تبریز

نام نویسنده مسئول:

میرخلیل پیروزی فرد

چکیده

هدف از این مطالعه بررسی امکان تشکیل کمپلکس توده ی مرکب بین ژلاتین و موسیلاژ بارهنگ شهری و بهینه سازی این کمپلکس در پی اچ و نسبت های مختلف پروتئین- پلی ساکارید است در این تحقیق نسبت پروتئین به پلی ساکارید از ۱۰ تا ۹۰ و ۹۰ تا ۱۰ و پی اچ از ۲ تا ۸ مورد ارزیابی قرار گرفت کمپلکس تشکیل و آنالیزهای پتانسیل زتا، طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز، تعیین کدورت محلول و راندمان برای تأیید تشکیل توده ی مرکب اندازه گیری شد در پی اچ کمتر از ۵ تشکیل واکنش های الکترواستاتیک بدلیل بار مثبت پروتئین و بار منفی موسیلاژ امکانپذیر است نتایج نشان می دهد با توجه به راندمان توده ی مرکب و کدورت محلول، شرایط بهینه تشکیل کمپلکس در نسبت ۴۰ به ۶۰ ژلاتین- موسیلاژ و پی اچ ۳.۵۵ می باشد همچنین بررسی طیف تبدیل فوریه مادون قرمز و جابه جایی نوار جذبی مربوط به گروه های OH- و حذف نوارهای جذبی طیف شاخص ژلاتین و موسیلاژ در کمپلکس توده ی مرکب نیز دلیل دیگری برای تشکیل توده ی مرکب ژلاتین- موسیلاژ بود. از هیدروژل حاصل می توان در ریزپوشینه کردن ترکیبات حساس مواد غذایی و دارویی و همچنین کنترل رهایش آنها استفاده کرد.

واژگان کلیدی: موسیلاژ، بارهنگ شهری، ژلاتین، هیدروژل، کوآسرواسیون مرکب.

مقدمه

کمپلکس های الکترواستاتیک پروتئین - پلی ساکارید می توانند در سیستم های حامل و حفاظت از ترکیبات حساس غذا به کار روند، بدین منظور برای داشتن الگوی رهایش مناسب از ترکیبات حساس و کنترل رسانش در دستگاه گوارش بایستی پارامترهای مرتبط با تشکیل جاذبه های الکترواستاتیک بین بیوپلیمرها مثل پی اچ و غلظت مناسب از هر دو بیوپلیمر و ... بررسی و تعیین شود [1]. اگر همزمان دو بیوپلیمر در محیط مایع با هم مخلوط شوند ممکن است واکنش های جذبی یا دفعی بین آن ها رخ دهد که بستگی به خصوصیات بیوپلیمرها، ویژگی های حلال و یا وضعیت همزدن دارد واکنش های جذبی اغلب بین دو بیوپلیمر با بار مخالف و از طریق نیروی جاذبه الکترواستاتیک رخ می دهد و موجب تشکیل کمپلکس محلول و یا نامحلول می شود که می تواند به صورت یک فاز یا دوفاز خود را نشان دهد [2]. تاکنون مطالعات بسیاری در مورد تشکیل کمپلکس توده ی مرکب با استفاده از بیوپلیمرهای مختلف انجام شده است. لیانگ و همکاران در سال ۲۰۱۷ تحقیقی در زمینه ژئین و کیتوزان و ریز پوشانی این ترکیبات انجام دادند، در سال ۲۰۱۵ کاوشیک و همکاران تشکیل کمپلکس توده ی مرکب بین پروتئین بزرگ و صمغ دانه بزرگ را بهینه سازی نمودند و با بررسی اعداد زتا پتانسیل و کدورت محلول در نسبت های مختلف، نسبت 3:1 سه قسمت پروتئین بزرگ و پی اچ ۳.۱ را شرایط بهینه برای تشکیل کمپلکس توده ی مرکب گزارش کردند. چانگ و همکاران در سال ۲۰۱۶ نیز تولید توده ی مرکب بین ایزوله پروتئین کلزا و کیتوزان را بهینه سازی نمودند و با بررسی راندمان توده ی مرکب و مقایسه کدورت محلول ها به این نتیجه رسیدند که بهترین نسبت پروتئین به کیتوزان نسبت 16 به یک برای تشکیل توده ی مرکب و پی اچ ۶ است .

ژلاتین ماده ای جامد نیمه شفاف، بی رنگ، ترد و کمابیش بی مزه است که از کلاژن درون پوست و استخوان جانوران به دست می آید. این ماده معمولاً به عنوان عامل ژله ای کننده در صنایع غذایی، داروسازی، عکاسی و لوازم آرایشی و بهداشتی به کار می رود. مواد حاوی ژلاتین یا چیزهایی با عملکرد مشابه این ماده، ژلاتینی نامیده می شوند. ژلاتین بیوپلیمر مشتق شده از کلاژن است و از طریق تیمار قلیایی یا اسیدی کلاژن بدست می آید. واحد های سازنده و خواص بیولوژیکی آن کاملاً مشابه با کلاژن می باشد. در ساختمان ژلاتین تعداد اسیدهای آمینه آبگریز مانند پرولین و لوسین نسبت به اسیدهای آمینه آبدوست نظیر لیزین، سرین، آرژنین و هیدروکسی پرولین بسیار کمتر بوده و بنابراین یک پروتئین آب دوست محسوب شده و به راحتی در آب حل می شود. ژلاتین ژل برگشت پذیر با حرارت تولید می کند و دمای ذوب آن کمتر از ۳۵ درجه سلسیوس می باشد. از آن جایی که این دما کمتر از دمای بدن است، خواص ارگانولپتیک منحصر به فردی در آن ایجاد می کند، از آن جمله می توان به قابلیت آن در رهایش ترکیبات عطری مواد غذایی اشاره کرد ژلاتین یک گونه تغییرناپذیر هیدرولیز شده از کلاژن است و به عنوان یک ماده خوراکی طبقه بندی شده است. ژلاتین به دلیل دار بودن ویژگی های ایجاد ژل و قوام دهندگی، به طور گسترده ای در صنایع غذایی مورد استفاده قرار می گیرد. ژله ها، مارمالادها، آبنبات ها، پاستیل ها، بستنی ها و برخی شیرینی ها از جمله فرآورده هایی هستند که در ساخت آن ها از ژلاتین استفاده می شود بار الکتریکی خالص در pH کمتر از ۵ مثبت و در بیشتر از آن منفی است. در نتیجه، پروتئین ژلاتین قابل استفاده برای تولید توده های پیچیده (از طریق جاذبه الکترواستاتیک) در خارج از PI هستند. همچنین، پروتئین های ژلاتین فعال در سطح هستند و به عنوان امولسیفایر برای تولید امولسیون O/W استفاده می شوند. ذرات لیپیدی پایدار شده با ژلاتین به pH، قدرت یونی و درجه حرارت حساس هستند [3].

موسیلایز بارهنگ شهری پودر قهوه ای رنگی است به آهستگی آب جذب می کند و تشکیل محلول با ویسکوزیته متوسط می دهد. ترکیب مونوساکارید های صمغ دانه گالاکتوز ، L - ، رامنوز - L ، آرابینوز - L ، زایلوز -D بزرگ شامل گلوکز است. این صمغ از نظر خواص تکنولوژیکی بسیار -D شبیه به صمغ عربی است و دارای خواص تثبیت کنندگی و سوسپانسیون کنندگی بوده و می تواند به عنوان عامل امولسیون کننده در مواد غذایی به کار رود [4].

با توجه به اینکه موسیلایز بزرگ می تواند براحتی به عنوان یک محصول جانبی از دانه بارهنگ شهری حاصل گردد و ژلاتین یکی از پرکاربرد ترین پروتئین ها در صنعت غذا است، در این تحقیق تحقیق تولید توده ی مرکب بین ژلاتین و موسیلایز بزرگ و بهینه سازی تولید این توده ی مرکب از طریق اندازه گیری راندمان توده ی مرکب، بررسی اعداد زتا پتانسیل، اندازه گیری کدورت توده ی مرکب و همچنین بررسی طیف های تبدیل فوریه مادون قرمز بود.

مواد و روش ها

تهیه موسیلایز از دانه بارهنگ شهری

جهت تمیز کردن دانه های بارهنگ، این دانه ها به صورت کامل در آب مقطر غوطه ور گشته و به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد هم زده شدند. سپس دانه های تمیز شده، به نسبت ۱ به ۲۰ با آب مقطر مخلوط شدند. دما ۶۰ درجه سانتیگراد زمان ۴۸ ساعت استفاده شد. پس از مخلوط شدن کامل دانه ها و آب مقطر در دما و زمان مشخص، از یک اکستراکتور مجهز به صفحه چرخنده (پارس خزر، ایران) جهت جدا سازی موسیلایز از دانه ها استفاده و سپس عمل فیلتراسیون صورت گرفت و به مدت ۱۶ ساعت در آون (فن آزما گستر، ایران) با دمای ۴۵ درجه سانتیگراد قرار داده شد. صمغ خشک شده، آسیاب و پس از بسته بندی در جای خشک و خنک جهت آزمایشات بعدی نگهداری شد [4].

آماده سازی محلول ژلاتین و موسیلایز بارهنگ شهری

ژلاتین نوع b تحت شرایط استیر ملایم در ۸۰۰ rpm در محلول آب دیونیزه به مدت ۲۴ ساعت حل شد غلظت نهایی ژلاتین به یک درصد رسید غلظت نهایی برای محلول موسیلایز بارهنگ نیز به یک درصد رسانده شد. سپس اثر pH ۲ تا ۸ روی این محلول ها بررسی می شود و هدایت الکتریکی و پتانسیل زتا محلول ها اندازه گیری می شود و بیشترین تفاوت بین بارالکتریکی که در پی اچ خاصی نمایان خواهد شد به عنوان بهترین شرایط برای تشکیل بیو پلیمر مورد نظر محسوب می شود [5].

تهیه محلول بیوپلیمرها

محلول های تهیه شده در مرحله قبلی با نسبت های متفاوت با نسبت ۹۰ تا ۱۰ و ۹۰ تا ۱۰ مخلوط شدند. سپس تحت تاثیر پی اچ مورد نظر بدست آمده از مرحله قبل قرار گرفتند که بهترین شرایط برای کواکراسیون می باشد. در این شرایط کدورت و میزان توده ای شدن هم بررسی شد همچنین اندازه و بار الکتریکی ذرات توسط دستگاه زتاسایزر اندازه گیری شد تا بهترین شرایط برای انجام کواکراسیون مشخص شود [5].

جداسازی کواسیونیت ها

تفکیک بیوپلیمر ها بعد از ۲ ساعت پایدارسازی در دمای پایین توسط سانتریفیوژ انجام شد و در آون با دمای 105°C تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند [5].

اندازه گیری بار الکتریکی سطحی بیوپلیمرها (ز تا پتانسیل)

اندازه و توزیع اندازه ذرات و پتانسیل زتای نمونه ها در دستگاه آنالیز کننده اندازه ذرات ZS – Nano ساخت شرکت Malvern انگلستان در دمای 25°C درجه اندازه گیری شد. متوسط اندازه ذرات بر اساس میانگین قطر حجمی تعیین شد.

اندازه گیری کدورت محلول ها

اندازه گیری کدورت به منظور بررسی تشکیل کمپلکس در محلول بیوپلیمرها انجام شد. بدین منظور از دستگاه اسپکتروفوتومتر مرئی-ماورا بنفش (AA-7000, Shimadzu) در طول موج 700 نانومتر استفاده شد. قبل از آنکه محلول حاصل از کمپلکس ژلاتین و موسیلاژ در یخچال قرار گیرد، آن را همگن نموده و کدورت محلول قرائت شد [6].

راندمان توده ی مرکب

بعد از تشکیل کواسیون و جداسازی سطح رویی مواد باقیمانده در بیوپلیمر را در درجه حرارت 103°C درجه سانتیگراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک شد و از معادله زیر برای تعیین بازدهی کواسیون استفاده شد.

$$\%CY = \frac{C2}{C1} \times 100$$

که در آن CY, C2, C1 به ترتیب بازدهی کواسیون، جرم هیدروژل خشک شده و جرم بیوپلیمرهای استفاده شده برای تشکیل هیدروژل می باشد [7].

طیف سنجی تبدیل مادون قرمز فوریه

دراین تحقیق طیف مادون قرمز توده ی مرکب ژلاتین – موسیلاژ، ژلاتین و موسیلاژ با دستگاه اسپکترومتر بروکر (مدل تنسور ۲۷ ساخت آلمان) در محدوده ی عدد موجی ۴۰۰ تا ۴۰۰۰ بر سانتی متر و توسط قرص های پتاسیم بروماید در دمای اتاق با قدرت تفکیک ۴ بر سانتی متر بدست آمد.

تحلیل آماری نتایج

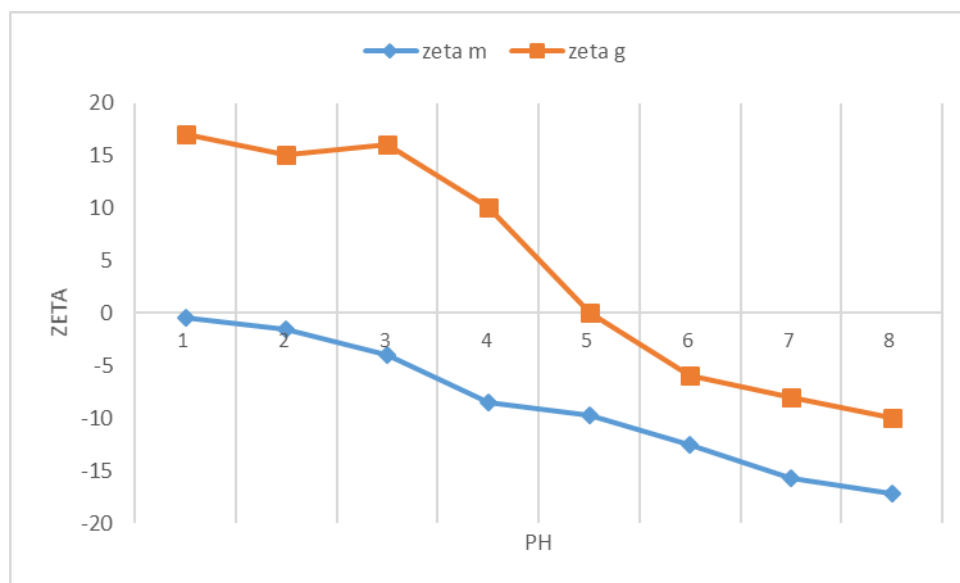
برای تحلیل آماری داده ها از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با کمک نرم افزار SPSS استفاده شد. آزمون مقایسه ی میانگین نیز به روش LSD حداقل تفاوت معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد [8].

نتایج و بحث

رفتار بیوپلیمرها در محیط بازی و اسیدی

یکی از فاکتورهای کلیدی موثر بر مقدار پتانسیل زتا pH محلول است میزان پتانسیل زتا محلول ژلاتین و موسیلاژ نشان داده شده است. همانگونه که در شکل مشاهده می شود ژلاتین B مورد استفاده در این تحقیق دارای پی اچ ایزوالکتریک ۵-۴ می باشد یعنی در پی اچ های کمتر از ۵ دارای بار مثبت است بدین مفهوم که گروه های آمونیاکی مثبت در ژلاتین بیشتر از گروه های کربوکسیل منفی بوده و برآیند بار ژلاتین مثبت است در حلیکه در پی اچ های بالاتر این مسئله برعکس می شود. موسیلاژ بارهنگ شهری در تمامی پی اچ ها دارای بار منفی بوده و یک پلی ساکارید آنیونی به حساب می آید با توجه به بار سطحی ذرات می توان گفت پی اچ های کمتر از ۵ امکان تشکیل کمپلکس مرکب را فراهم می آورد که این مورد با بسیاری از مطالعات انجام گرفته در ارتباط با ژلاتین و سایر پلی ساکاریدها مطابقت دارد [9][11], [10]., همانطور که در شکل ۱ مشاهده شد بیشترین اختلاف بین بار در دو بیوپلیمر در پی اچ ۳-۳.۵ دیده شد و این پی اچ به عنوان نقطه احتمالی تشکیل کواسرواسیون تخمین زده شد که در آن بار الکتریکی موسیلاژ دانه بارهنگ شهری ۵- و محلول ژلاتین ۱۶+ اندازه گیری شد.

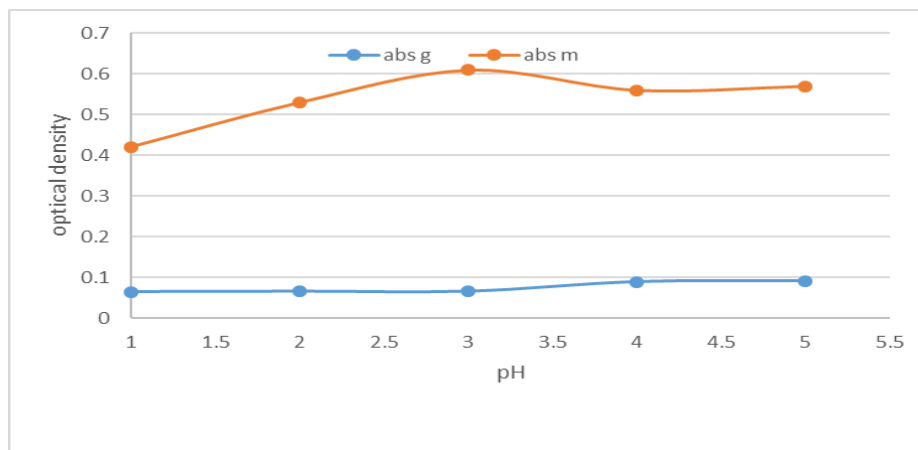
دوهورانیماننا و همکاران (۲۰۱۷) نیز برای تشکیل توده ی مرکب بین ژلاتین و کربوکسی متیل سلولز به بررسی پتانسیل ۲ تا ۷ پرداختند و به نتیجه مشابهی رسیدند [12].



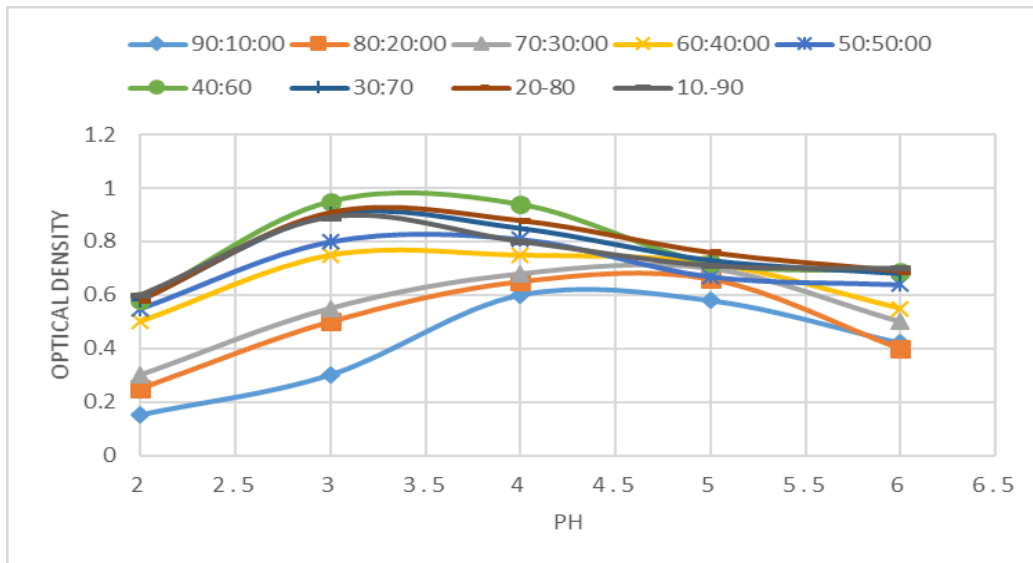
شکل ۱- تاثیر پی اچ بر بار سطحی بیوپلیمرها

تأثیر pH و نسبت های مختلف ژلاتین - موسیلاژ بر کدورت محلول

کدورت یک ویژگی فیزیکی اصلی محلول ها و بیانگر توانایی آنها در عبور دادن نور و یا معیاری برای میزان جذب نور و یا پراکندگی نور توسط مواد معلق در آنهاست [13]. شکل ۲ نشان دهنده کدورت محلول ها با غلظت یک درصد است ملاحظه می شود که کدورت محلول موسیلاژ نسبت به ژلاتین در پی اچ های مختلف بالاتر است و در پی اچ ۲ تا ۳ به بالاترین حالت خود می رسد در حالیکه در مورد ژلاتین تقریباً یک حالت ثابت است ولی در پی اچ نزدیک ۵ کمی بالاتر می رود که مربوط به نقطه ایزو الکتریک ژلاتین است و شکل ۳ نشان دهنده کدورت در نسبت های مختلف دو پلیمر از ۹۰ تا ۱۰ و ۱۰ تا ۹۰ است همانطوریکه ملاحظه می شود بالاترین میزان جذب که نسبت مستقیم با کدورت دارد در نسبت ۶۰ به ۴۰ (ژلاتین به موسیلاژ) مشاهده شد و در نسبت ۷۰ به ۳۰ محلول ژلاتین به موسیلاژ بارهنگ شهری روند نزولی پیش گرفت. افزایش اولیه با افزایش نسبت محلول بارهنگ شهری به ژلاتین به این دلیل است که میزان کوآسرواسیون افزایش پیدا می کند اما با افزایش بیش از حد این نسبت دوباره شاهد کاهش میزان کدورت و جذب هستیم که این مساله مربوط به واکنش گروه های عاملی دو محلول است که در این شرایط توان جذب و واکنش با یکدیگر را باتوجه به نوع بار الکتریکی ندارند [14][9].



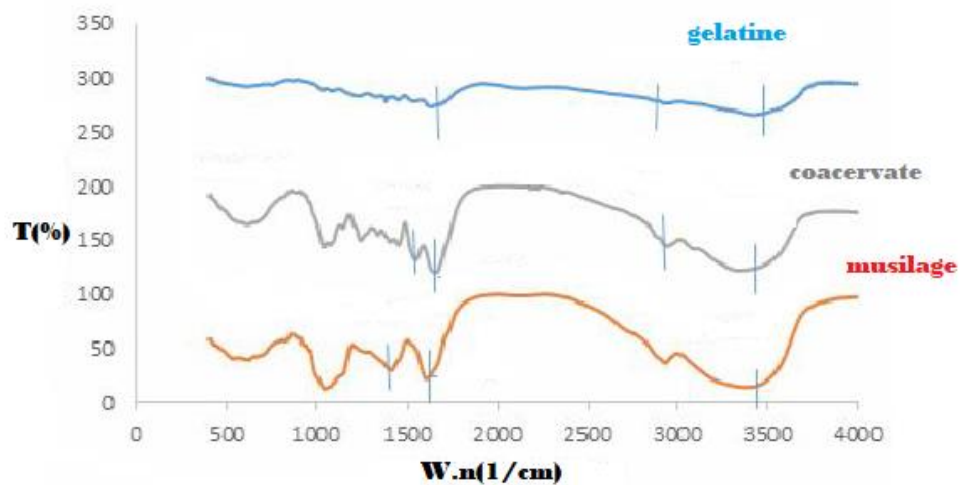
شکل ۲- میزان جذب در ۷۰۰ نانومتر برای بیوپلیمرها در غلظت یک درصد



شکل ۳- کدورت در نسبت های مختلف بیوپلیمر ها در محلول (ژلاتین به موسیلاژ)

طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز

تغییراتی که در ساختار ژلاتین رخ داده در سه بخش قابل بررسی است ناحیه ۲۳۰۰-۳۶۰۰ که مربوط به گروه عاملی OH, NH است ناحیه ۳۰۰۰-۳۱۰۰ که مربوط به C-H, NH_3^+ است و ناحیه ۱۶۰۰-۱۷۰۰ که مربوط به کششی C=O و NH خمشی است همانطوریکه در شکل ۴ دیده می شود نوارهای جذبی مربوط به NH_3^+ در ژلاتین و COO^- در موسیلاژ در طیف مرتبط با هیدروژل ناپدید شده است و در عین حال نوار جذبی مرتبط با هیدروکسیل هم جایجا شده است که همه موارد دلیلی برای ایجاد پیوند الکترواستاتیکی مابین پروتئین و موسیلاژ است این نتایج با نتایج بدست آمده در تحقیقات قبلی کاملاً مطابقت دارد [9] و [15].



شکل ۴- رفتار جذبی هیدروژل و بیوپلیمرهای سازنده آن

بازده کوآسرواسیون در نسبت های مختلف بیوپلیمرها

جدول ۱ میزان کوآسرواسیون را در نسبت های مختلف ژلاتین به موسیلاژ دانه بارهنگ شهری را نشان می دهد و همچنین تفاوت بین درصد های مختلف در یک غلظت ثابت قابل بررسی می باشد. همانطور که در این جدول ملاحظه می شود بهترین میزان کوآسرواسیون در نسبت ۶۰ به ۴۰ محلول بارهنگ شهری به ژلاتین بدست آمد پایینتر از این نسبت و بالاتر از آن نیز واکنش بین پلی ساکارید و پروتئین و گروه های عاملی آنها رخ میدهد ولی میزان آنها متفاوت و کمتر از شرایط بهینه می باشد. این نتایج با نتایج تحقیقات قبلی در ارتباط با کیتوزان و صمغ عربی، ژلاتین و صمغ عربی، موسیلاژ بزرک و پروتئین آن و سایر تحقیقات مرتبط مطابقت داشت [9][15] و [11].

جدول ۱- راندمان توده مرکب در نسبت های مختلف بیوپلیمر

نسبت پلیمر ژلاتین به موسیلاژ	بازده کوآسرواسیون (درصد)
۹۰/۱۰	^a ۷/۵
۸۰/۲۰	^a ۱۱
۷۰/۳۰	^a ۲۰/۱۵
۶۰/۴۰	^g ۳۲/۲۰
۵۰/۵۰	^b ۵۳
۴۰/۶۰	^c ۶۲/۵۵
۳۰/۷۰	^d ۳۹/۶۷
۲۰/۸۰	^e ۲۴/۷۵
۱۰/۹۰	^f ۱۸/۷۰

نتیجه گیری

این مطالعه نشان داد که با توجه به میزان پتانسیل زتا، ایجاد اتصالات الکترواستاتیکی بین ژلاتین و موسیلاژ بارهنگ شهری در کمتر از pH ۵ امکان پذیر است با توجه به آزمایشهای صورت گرفته و نتایجی که در این تحقیق کسب کردیم می توان ادعان کرد که بهترین پی اچ برای تشکیل هیدروژل مابین محلول ژلاتین یک درصد و محلول موسیلاژ دانه بارهنگ شهری یک درصد حدود ۳/۵ بود بهترین نسبت بین دو محلول در غلظت ثابت نسبت ۶۰ به ۴۰ موسیلاژ به محلول ژلاتین می باشد که کدورت و بازده کوآسرواسیون این مساله را تایید کرد. همچنین بهترین بازده کوآسرواسیون حدود ۶۲ درصد بدست آمد نتایج بررسی طیف تبدیل فوریه مادون قرمز تشکیل توده ی مرکب را با جابه جا شدن نوارهای جذبی مربوط به گروه های هیدروکسیل و همچنین ناپدید شدن نوارهای جذبی مربوط به ژلاتین و موسیلاژ تایید کرد. کمپلکس تولیدی می تواند در ریزپوشینه کردن ترکیبات حساس به اکسیداسیون و یا در سیستم های رسانش به منظور رهایش کنترل شده ترکیبات زیست فعال در صنایع غذایی و دارویی استفاده شود.

سیاسگزاری

از مدیریت و معاونت مرکز تحقیقات کاربردی داروی تبریز که در روند انجام آزمایش ها فرصت استفاده از امکانات آن مرکز را فراهم نمودند تشکر و قدردانی بعمل می آید.

منابع و مراجع

- [1] Y. Zhu, B. Yang, S. Chen, and J. Du, "Polymer vesicles: Mechanism, preparation, application, and responsive behavior," *Prog. Polym. Sci.*, vol. 64, pp. 1–22, 2017.
- [2] J. Liang et al., "Encapsulation of epigallocatechin gallate in zein/chitosan nanoparticles for controlled applications in food systems," *Food Chem.*, vol. 231, pp. 19–24, 2017.
- [3] L. Lv, Q. Huang, W. Ding, X. Xiao, ... H. Z.-J. of F., and undefined 2019, "Fish gelatin: The novel potential applications," Elsevier.
- [4] B. Alizadeh Behbahani, F. Shahidi, F. T. Yazdi, M. A. Hesarinejad, M. Mohebbi, and S. A. Mortazavi, "Plantago major seed mucilage: Optimization of extraction and some physicochemical and rheological aspects," *Carbohydr. Polym.*, 2017.
- [5] R. Ghadermazi, A. K. Asl, and F. Tamjidi, "Optimization of whey protein isolate-quince seed mucilage complex coacervation," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 131, pp. 368–377, 2019.
- [6] G. M. Fujiwara et al., "Production and characterization of alginate-starch-chitosan microparticles containing stigmasterol through the external ionic gelation technique," *Brazilian J. Pharm. Sci.*, vol. 49, no. 3, pp. 537–547, 2013.
- [7] L. Xu et al., "Nonionic polymer cross-linked chitosan hydrogel: preparation and bioevaluation," *J. Biomater. Sci. Polym. Ed.*, vol. 24, no. 13, pp. 1564–1574, 2013.
- [8] Z. Zhang, E. A. Decker, and D. J. McClements, "Encapsulation, protection, and release of polyunsaturated lipids using biopolymer-based hydrogel particles," *Food Res. Int.*, vol. 64, pp. 520–526, 2014.
- [9] P. Kaushik, K. Dowling, C. Barrow, B. A.-F. R. International, and undefined 2015, "Complex coacervation between flaxseed protein isolate and flaxseed gum," Elsevier.
- [10] H. Espinosa-Andrews, ... J. B.-G.-, and undefined 2007, "Gum arabic– chitosan complex coacervation," *ACS Publ.*
- [11] C. Butstraen, F. S.-C. polymers, and undefined 2014, "Preparation of microcapsules by complex coacervation of gum Arabic and chitosan," Elsevier.
- [12] E. Duhoranimana et al., "Effect of sodium carboxymethyl cellulose on complex coacervates formation with gelatin: Coacervates characterization, stabilization and formation mechanism," *Food Hydrocoll.*, vol. 69, pp. 111–120, 2017.
- [13] W. F. Henley, M. A. Patterson, R. J. Neves, and A. D. Lemly, "Effects of Sedimentation and Turbidity on Lotic Food Webs: A Concise Review for Natural Resource Managers," *Rev. Fish. Sci.*, vol. 8, no. 2, pp. 125–139, Apr. 2000.
- [14] J. C. Soper, X. Yang, and D. B. Josephson, "Method of encapsulating flavors and fragrances by controlled water transport into microcapsules." Google Patents, 2000.
- [15] M. Anvari, D. C.-F. Hydrocolloids, and undefined 2016, "Dynamic rheological and structural characterization of fish gelatin–gum Arabic coacervate gels cross-linked by tannic acid," Elsevier.