

# بررسی اثر ژل‌ها (ژلاتین و صمغ ژلان) بر روند آزادسازی نمک از بافت غذایی

علیرضا رحمن<sup>۱\*</sup>، سید ابراهیم حسینی<sup>۲</sup>، مریم اوتادی<sup>۳</sup>

- ۱- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
- ۲- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
- ۳- گروه مهندسی شیمی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۵/۲/۱۷

## چکیده

هدف از این مطالعه بررسی و اندازه‌گیری نمک آزاد شده از ساختارهای غذایی با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی فرآیندهای انجام شده در حین جویدن مواد غذایی در داخل دهان می‌باشد. مدل پیشنهادی از چند قسمت متفاوت تشکیل شده است که جهت ساده‌سازی بررسی روند رهاسازی نمک، از ژل‌های غذایی استفاده شده که نمک درون ساختار این ژل‌ها محبوس شده است. نمودارهای رها شدن نمک از ژل‌های مختلف (ژلاتین و صمغ ژلان) که از ژل‌های کاربردی در صنایع غذایی می‌باشند در دمای ۲۵ و ۳۷ درجه سانتیگراد بررسی شده‌اند. نتایج آزمایشات انجام شده نشان داد که رها شدن از ژل‌ها به نوع ژل و درجه حرارت بستگی دارد. رها شدن نمک از ساختار بیوپلیمر ژلاتین که دمای ذوب آن کمتر از ۳۷ درجه سانتی‌گراد است در چند ثانیه اتفاق افتاد در حالیکه رها شدن نمک از بیوپلیمر صمغ ژلان گام که دمای ذوب آن بالاتر از ۳۷ درجه سانتی‌گراد است و روند رهاسازی توسط پدیده انتشار صورت می‌پذیرد بسیار طولانی و در حدود چند ساعت خواهد بود. در این تحقیق اثر فشردگی متناوب نیز بر روی فرایند آزادسازی نمک از ژل‌ها مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج بدست آمده از آزمایشات نشان می‌دهد که فشردگی چند مرحله‌ای نیز بر روی روند رهاسازی نمک از ژل‌ها موثر است. برای انجام این پژوهش، شش تیمار آماده سازی شدند که مشخصات تیمارها ژل ژلاتین در سه سطح ۶، ۸ و ۱۰ درصد، ژل صمغ ژلان در سه سطح ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد بودند. نتایج بدست آمده با استفاده از طرح آنالیز یک طرفه واریانس و توسط نرم افزار SPSS تجزیه و تحلیل شد.

**واژه‌های کلیدی:** صمغ ژلان، ژلاتین، آزادسازی نمک، فشردگی چند مرحله‌ای، انتشار

## ۱- مقدمه

است، بنابراین عواملی به غیر از غلظت نمک می‌تواند در احساس طعم شوری توسط مصرف کننده اثر داشته باشد.

بمنظور شبیه سازی یک مدل مناسب جهت بررسی فرآیند جویدن ماده غذایی در دهان باید کلیه شرایط و فرآیندهای انجام شده بر روی ماده غذایی در داخل دهان در طول مدت جویده شدن شناخته شوند. فرآیندهای صورت گرفته در دهان در طول جویده شدن مواد غذایی را میتوان به سه بخش مهم و اساسی به شرح ذیل تقسیم بندی نمود:

(۱) مرحله فرآیند دهانی که نسبتاً کوتاه بوده و تقریباً ۲ ثانیه بطول می‌انجامد شامل ورود ماده غذایی به داخل دهان و مخلوط شدن آن با بزاق می‌باشد (۳).

(۲) مرحله خروج دهانی که عقیده بر این است که این مرحله بیشترین اثر را بر روی تجزیه ساختارهای مواد غذایی دارد (۴) و شامل حرکت زبان بطرف سقف دهان، فشردن و ایجاد جریان غذا بطرف عقب دهان جهت مرحله بلع می‌باشد. در این مرحله بیشترین نیروی برشی همراه با مخلوط شدن، قبل از بلع کامل بر روی ماده غذایی اعمال می‌شود (۵).

(۳) مرحله بلع که در این مرحله مقدار کمی از مواد غذایی به سطوح دهان چسبیده و در احساس طعم نقش داشته زیرا به عنوان مثال نمک می‌تواند به روش انتشار از این قطعات مواد غذایی رها شده و توسط گیرنده‌های چشایی موجود در دهان احساس شوند (۶).

در طی مراحل ذکر شده در بالا تعداد زیادی از فرآیندها به وقوع می‌پیوندند که این فرآیندها عبارتند از: مخلوط شدن و برهمکنش ماده غذایی و بزاق دهان، تجزیه ساختارهای ماده غذایی و رها شدن نمک از توده مواد غذایی، حرکت نمک از بافت و توده مواد غذایی به لایه مخاطی دهان، اتصال نمک به لایه مخاطی و در نهایت انتقال نمک به گیرنده‌های چشایی (۷).

هدف این تحقیق تشکیل و توسعه یک مدل آزمایشگاهی جهت بررسی روند رها شدن نمک از بافت و ساختارهای مواد غذایی است که به فرآیندهای صورت گرفته در دهان مرتبط می‌باشد. آزمایشات اولیه، اطلاعات مربوط به رها شدن کلرید سدیم از دو نوع مختلف ژل به درون محیط آبی را فراهم نموده و در مرحله بعد فرآیندهای انجام شده بر روی رها شدن نمک را بررسی نموده که شامل اثر غلظت‌های مختلف بیوپلیمر (ژل)،

نمک ماده‌ای ضروری برای بدن انسان بوده ولی مصرف آن باید کنترل شده و کاهش یابد زیرا مصرف بی‌رویه و زیاد از حد آن می‌تواند اثرات نامطلوبی بر روی سلامتی مصرف کننده داشته باشد که از جمله این اثرات نامطلوب می‌توان به سکتته مغزی و بیماری‌های قلبی ناشی از مصرف بی‌رویه نمک اشاره داشت. غذاهای آماده می‌توانند تا سه چهارم مقدار نمک مورد نیاز بدن انسان را تامین کنند به همین دلیل بسیاری از مردم بدون اینکه آگاهی داشته باشند اغلب بیشتر از مقدار مجاز و توصیه شده، نمک مصرف می‌نمایند، بطوریکه سازمان بهداشت جهانی هدف خود را کاهش میانگین مصرف نمک تا حدود ۶ گرم نمک در روز قرار داده است.

اغلب غذاهای آماده حاوی نمک اضافی در فرمولاسیون خود می‌باشند که علت آن را می‌توان افزایش طعم و مزه، تشکیل ساختار و بافت مطلوب در محصول و همچنین افزایش ثبات میکروبیولوژیکی محصول از طریق کاهش فعالیت آبی دانست. بنابراین روشی جهت کاهش مقدار نمک در فرمولاسیون مواد غذایی مورد نیاز می‌باشد (۱).

احساس طعم در یک ماده غذایی ترکیبی از عواملی شامل تحریک چشایی ایجاد شده توسط ماده غذایی (مقدار شوری ایجاد شده توسط ماده غذایی) و همچنین میزان تحریک بویایی ایجاد شده می‌باشد. پیچیدگی این سیستم در یک موجود زنده و همراه با تجربیات مختلف افراد از یک طعم و مزه و محصول، چالشی برای بررسی این موضوع بوده که برای رفع این مشکل استفاده از افراد متخصص و تربیت شده ضروری است. که البته در این روش آموزش‌های خاص که نیاز به زمان و منابع زیادی دارد ضروری است. میزان و شرایط رها شدن مواد طعم دهنده مانند نمک در غذاهای آماده اثر مهمی بر روی دریافت و احساس طعم توسط مصرف کننده دارد (۲). در مطالعات نشان داده شده است که در شرایطی که غلظت نمک در فرآورده غذایی ثابت بوده ولی به عنوان مثال ویسکوزیته محصول افزایش یافته است با افزایش ویسکوزیته محصول، اختلاط نمک با بزاق دهان کمتر شده، بنابراین شوری کمتری توسط مصرف کننده احساس شده

هیدروکلوئیدها بطور وسیعی در فرمولاسیون مواد غذایی به عنوان تغلیظ کننده، مواد منعقدکننده و همچنین به عنوان جایگزین‌های چربی در امولسیون‌های غذایی مانند فرآورده‌های گوشتی بکار رفته و باعث کاهش مقدار چربی در فرمولاسیون فرآورده‌های گوشتی شده‌اند (۱۳). تحقیقات انجام شده در زمینه رها شدن طعم از هیدروکلوئیدها نشان می‌دهد که ساختار ژل‌ها می‌تواند رها شدن مواد فرار را تحت تاثیر قرار دهد (۱۴).

یون‌های سدیم با اندازه ۰/۱ نانومتر در مقایسه با ترکیبات فراری مثل اتیل بورات با اندازه ۰/۶ نانومتر کوچکتر می‌باشند (۱۵). با توجه به تحقیقات انجام شده به نظر می‌رسد کاربرد اصلی ژل‌ها در فرآیند رها شدن کنترل شده مربوط به استفاده از آنها در فرآیندهای رهاسازی داروها بوده و به عنوان مثال مطالعات انجام شده توسط محققین نشان می‌دهد که ژل‌ها بر روی رها شدن کنترل شده موثر بوده و با تغییر ساختار و غلظت ژل‌ها می‌توان تغییرات رها شدن مواد از ساختار ژل‌ها را بوضوح مشاهده نمود. (۱۶)

### ۳-۱-۳ مدل‌های مرتبط

در تحقیقی که به منظور بررسی میزان رها شدن نمک و اتیل بورات از ژل‌های مایع به درون آب انجام گرفت. ژل‌های مایع در غلظت‌های مختلف ساخته شده سپس مقدار مشخصی از ماده موردنظر در مرکز ظرف حاوی ژل مایع تزریق شده و مقدار رها شدن ماده مورد نظر از ساختار ژل مایع با گذشت زمان اندازه گیری گردیده است که مقادیر ماده رها شده به خصوصیات ژل وابسته است (۱۷).

تحقیق انجام شده بر روی رها شدن سدیم، فقط بر روی فشردن تک مرحله‌ای تمرکز داشته است بنابراین تحقیقات بیشتر مثل فرایند فشردن متناوب و اثر آن بر رها سازی نمک از ساختار ژل ضروری به نظر می‌رسد. بسیاری از مطالعات انجام شده سعی کرده اند که ارتباطی بین فرمولاسیون و خصوصیات فرآورده های غذایی با دریافت حسی طعم مواد غذایی بدست آورند. مطالعات انجام شده ارتباط بین خصوصیات لغزنده کننده هیدروکلوئیدها و امولسیون‌ها و خصوصیات نرم‌کنندگی و چرب‌کنندگی آنها را بررسی نموده‌اند (۱۳).

همچنین تحقیقات دیگری نیز جهت یافتن ارتباط بین بافت مواد غذایی و خواص مکانیکی مواد غذایی صورت گرفته است (۵).

غلظت‌های مختلف نمک و همچنین فرآیند فشردگی متناوب می‌باشد.

### ۱-۱-۱ مدل آزمایشگاهی<sup>۱</sup>

در حال حاضر تولیدکنندگان مواد غذایی از طرف مصرف کنندگان تحت فشار هستند تا مقدار نمک موجود در غذاهای آماده را کاهش دهند. از آنجا که نمک نقش مهمی در ایجاد بافت مواد غذایی داشته و بر روی ساختار مواد غذایی اثر مهمی دارد لذا جهت کاهش مقدار نمک در فرمولاسیون مواد غذایی باید از اثرات منفی کاهش مقدار نمک بر کیفیت نهایی فرآورده‌های غذایی اجتناب گردد. همچنین ایجاد یک سیستم و مدل آزمایشگاهی جهت بررسی فرآیندهای انجام شده در دهان هنگام مصرف مواد غذایی یک ایده جدید و بدیع بوده و تحقیقات فراوانی توسط محققین انجام شده تا یک آرواره مکانیکی ساخته شده و چرخه جویدن و نحوه حرکت آرواره‌ها در طول فرآیند جویدن در دهان شبیه سازی شود (۸). سایر تحقیقات انجام شده بر روی استفاده از ابزارهای است تا بتواند شرایط ایجاد شده توسط زبان را شبیه‌سازی نموده تا تغییرات بوجود آمده بر روی مواد نیمه جامد پس از اختلاط با بزاق بررسی گردد (۹).

در تحقیقات انجام شده بر روی مواد غذایی مایع، تمرکز اصلی بر رها شدن طعم بصورت مواد فرار بوده که در مطالعات انجام شده توسط محققین، مواد فرار از ژل‌ها با استفاده از روش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است و این مطالعات نشان می‌دهند که رها شدن مواد فرار در یک محیط ساکن اطلاعات قابل قبولی در مقایسه با احساس واقعی طعم‌ها در دهان نداشته لذا یک سیستم پویای آزمایشگاهی یا روش ضروری می‌باشد (۱۰، ۱۱). در تحقیق دیگری بررسی روش اندازه گیری پویای مواد فرار از طریق یک ظرف کاملاً بسته صورت گرفته که در آن مواد غذایی تحت شرایط دهانی قرار گرفتند و مواد فرار پس از شبیه‌سازی فرآیندهای دهانی مورد بررسی قرار گرفتند (۱۲).

### ۱-۲-۱ استفاده از پلیمرها جهت بررسی رهاسازی کنترل شده<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>In vitro

<sup>۲</sup>Control release

می‌یابد. در مرحله بعد ژل تهیه شده به درون ظروف استوانه‌ای پلاستیکی به طول ۷۶ میلی‌متر و شعاع ۲۲ میلی‌متر منتقل شده و بالای ظروف توسط پارافیلیم پوشانده شده و ظروف حاوی ژل بمدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد درون یخچال نگهداری می‌شوند.

نمونه‌های صمغ ژلان همانند روش ذکر شده برای ژلاتین تهیه شدند با این تفاوت که نمک کلرید سدیم در انتهای زمان ۳۰ دقیقه یعنی پایان عمل اختلاط اضافه شده که این عمل باعث بالا رفتن کارایی اختلاط شده و عمل مخلوط شدن بهتر صورت می‌گیرد ضمناً دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد دمای مورد نیاز جهت انحلال صمغ ژلان می‌باشد. نمونه‌های تهیه شده مانند ژلاتین در ظروف پلاستیکی تخلیه شده و در یخچال نگهداری شدند.

### ۲-۳- روش‌ها

از دو روش متفاوت در آزمایشات رها سازی نمک به شرح ذیل استفاده شده است.

۱) آزمون رها سازی نمک از ساختار ژل با استفاده از یک مخزن مجهز به همزن که از آن جهت بررسی روند رها سازی نمک به روش انتشار استفاده گردید.

۲) آزمون رها سازی نمک از ساختار ژل با استفاده از یک مخزن که در زیر دستگاه تحلیل کننده بافت قرار گرفته تا اثر فشردن متناوب نمونه‌ها بر روی آزادسازی نمک مورد بررسی قرار گیرد.

### ۲-۴- آزمایش گرماسنجی پویشی افتراقی<sup>۲</sup>

بررسی انتشار پذیری موثر ژلاتین با استفاده از روش گرماسنج (Perkin – Elmer DSC7) مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمون وزن متوسط نمونه‌ها ۲۰ میلی‌گرم، محدوده دمایی ۵ تا ۴۵ درجه سانتیگراد و سرعت گرمادهی ۱۰ °C/min بود. نمونه‌های ژلاتین مورد استفاده در این آزمایش به همان روش ذکر شده در بالا تهیه شدند علت استفاده از این روش جهت نمونه‌های ژلاتین دمای ذوب پایین ژلاتین در مقایسه با ژلان بوده و اینکه دمای ذوب ژلاتین به دمای دهان (۳۷ درجه سانتیگراد) نزدیک است، ضمناً آزمایش‌ها سه مرتبه تکرار گردیدند.

### ۲-۵- آزمایش‌های رها شدن نمک

اختلاط مواد غذایی با بزاق نیز نقش بسیار مهمی در دریافت طعم داشته که بافت مواد غذایی در این فرآیند نقش بسیار مهمی داشته و نیاز به بررسی دقیق تر و کاملتری دارد.

تنها از یک روش و سیستم نمی‌توان در آزمایشات مربوط به فرآیندهای انجام شده در حین خوردن مواد غذایی در دهان استفاده نمود، علت این است که طیف وسیعی از مواد غذایی با ویژگی‌های بسیار متفاوت وجود داشته بنابراین فرآیندهای صورت گرفته در دهان بر روی تمام مواد غذایی یکسان نبوده لذا سعی شده است که ارتباطاتی بین اجزایی محدود مورد توجه قرار گیرد، به عنوان مثال بررسی ارتباط بین خصوصیات چربی‌ها و اثر آنها بر روی خصوصیات رئولوژیکی و امولسیون‌های بدست آمده از آنها مورد بررسی قرار گرفته است.

### ۲- مواد و روش‌ها

#### ۲-۱- مواد مورد استفاده

از دو نوع بیوپلیمر در انجام آزمایشات استفاده گردید که این دو نوع بیوپلیمر رفتار متفاوتی را هنگام اضافه شدن به آب از خود نشان دادند. این بیوپلیمرها شامل ژلاتین و صمغ ژلان می‌باشند که هر کدام طبق روش ارایه شده توسط تولید کننده و جدول زیر تهیه شدند. صمغ ژلان از شرکت CP Kelco و ژلاتین نیز از شرکت ژلاتین ایران تهیه شده است.

جدول ۱ غلظت نمک و بیوپلیمرهای سازنده ژل

نوع بیوپلیمر	غلظت بیوپلیمر (%)	غلظت نمک (%)
ژلاتین	۶	۳،۱،۰
	۸	۳،۱،۰
	۱۰	۳،۱،۰
صمغ ژلان	۰/۵	۳،۱،۰
	۱	۳،۱،۰
	۱/۵	۳،۱،۰

#### ۲-۲- آماده‌سازی ژل

نمونه‌های ژلاتین با اضافه نمودن پودر ژلاتین و نمک کلرید سدیم به داخل یک بشر و اضافه نمودن آب مقطر تا رسیدن به وزن ۱۰۰ گرم تهیه شدند. سپس بالای بشر پوشانده شده و توسط همزن عمل اختلاط انجام شده و عمل حرارت دهی تا دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۳۰ دقیقه تا حل شدن کامل ژل ادامه

<sup>۲</sup>Texture Analyser

<sup>۲</sup>Differential Scanning Calorimetry

آزمایش حداقل فشردن نمونه‌ها ۳۰ درصد طول اولیه نمونه و حداکثر فشردن ۷۵ درصد طول اولیه نمونه‌ها در نظر گرفته شده بود.

### ۲-۷- مدل ریاضی

ضریب انتشار موثر هر سیستم می‌تواند با استفاده از مدل انتشار COMSOL مورد بررسی قرار گیرد سپس با داده‌های آزمایشی اولیه مقایسه گردد. سیستم با استفاده از مدل انتشار گذرا بصورت سه بعدی رسم شده که مقدار انتشار نمک از داخل ساختار ژل به آب را نشان می‌دهد. معادله انتشار زیر مورد استفاده قرار گرفته و خواص فیزیکی مورد نیاز نیز اندازه‌گیری شدند.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot (-D \nabla C) = 0$$

C = غلظت نمک بر حسب mol/m<sup>3</sup>

t = زمان بر حسب Sec

D = ضریب انتشار بر حسب m<sup>2</sup>/s

تجزیه و تحلیل آماری

همه آزمون‌ها با سه بار تکرار انجام شدند. سپس داده‌های مورد بررسی توسط نرم افزار SPSS ۱۶,۰ در طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل (ANOVA) تجزیه و تحلیل گردید. برای تعیین اختلاف معنادار بین نمونه‌ها (p<0.05)، از آزمون LSD استفاده شد. نمودارهای مورد نظر نیز توسط نرم افزار اکسل ۲۰۰۷ رسم گردید.

### ۳- بحث و نتایج

#### ۳-۱- آزمایشات رها شدن نمک به روش انتشار

آزمایش رها شدن نمک از بیوپلیمرها به روش انتشار بر روی ژلاتین، صمغ ژلان و در دمای ۲۵ درجه و ۳۷ درجه سانتی‌گراد در غلظت‌های مختلف بیوپلیمر و نمک مورد بررسی قرار گرفت. آزمایشات اولیه نشان می‌دهد که در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد هر دو ژل جامد بوده و انتظار می‌رود که رها شدن نمک توسط روش انتشار صورت پذیرد با این حال در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد نمونه‌های ژلاتین ذوب شده و انتظار می‌رود که بر اثر ذوب شدن ژل‌ها رها شدن نمک با سرعت بیشتری صورت پذیرد. شکل منحنی‌های DSC را برای نمونه‌های ژلاتین نشان می‌دهد. بنظر می‌رسد حداکثر نقطه ذوب برای هر سه غلظت ژلاتین ۳۲ درجه سانتی‌گراد بوده همچنین مشاهده میشود که با افزایش

هر یک از نمونه‌های ژل تهیه شده جهت رها شدن نمک از درون ساختار ژل به درون محیط آبی، مورد بررسی قرار گرفتند. جهت انجام آزمایشات رها شدن نمک از ساختار ژل‌ها استوانه‌های ۳ گرمی از هر یک نمونه‌های ژل بریده شده و سپس سطح آنها پوشانده شده و درون یخچال نگهداری شدند.

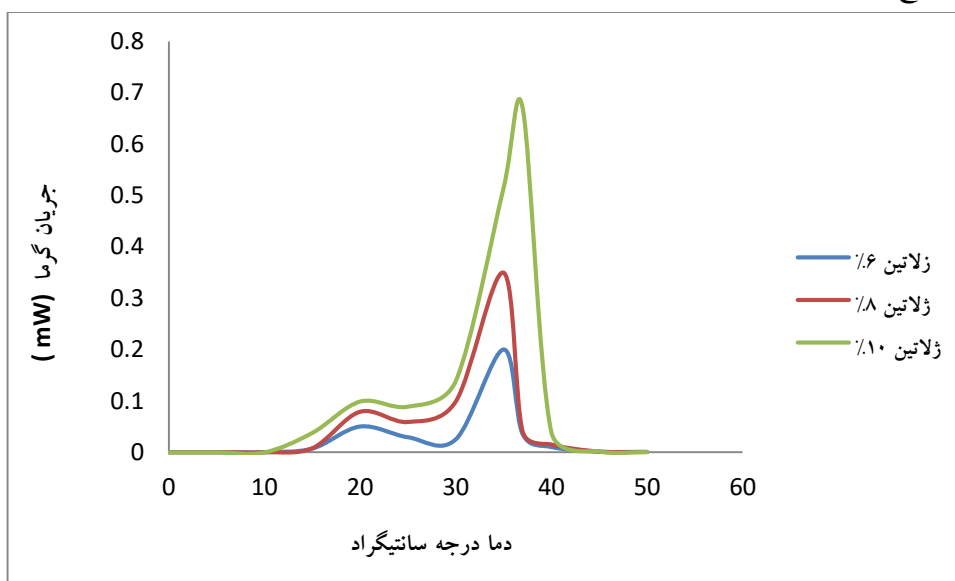
یک بشر حاوی ۲۰۰ میلی لیتر آب مقطر جهت بررسی رها شدن نمک از درون ژل‌ها استفاده گردید که قبل از آغاز آزمایش باید دمای آب مقطر درون بشر در ۲۵ درجه سانتی‌گراد تثبیت گردد همچنین از یک همزن با سرعت ۱۰۰ rpm جهت یکنواخت سازی غلظت نمک در درون بشر استفاده شد.

از دستگاه هدایت سنج الکتریکی (Metler Toledo, 710 Platinume, 4 Cell) جهت اندازه‌گیری هدایت الکتریکی محلول درون بشر استفاده شده زیرا با رها شدن نمک از درون ساختار ژل هدایت الکتریکی محلول تغییر یافته و با استفاده از تغییرات هدایت الکتریکی محلول می‌توان به میزان نمک رها شده از ژل دست یافت، بنابراین الکتروود مربوط به دستگاه هدایت سنج الکتریکی نیز به درون بشر وارد شده تا تغییرات هدایت الکتریکی محلول را هر ۲ ثانیه ثبت نماید. آزمایش‌ها بمدت ۴ ساعت و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۳۷ درجه سانتی‌گراد انجام شده و هر آزمایش برای سه بار تکرار گردید. آزمایش‌های مربوط به ژلاتین در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد پس از گذشت زمان ۲۵ دقیقه یعنی قبل از رسیدن به زمان ۴ ساعت فرض شده برای آزمایش‌ها به حداکثر رهاسازی نمک منجر گردید.

#### ۲-۶- آزمایش فشردن نمونه‌ها

در مرحله دوم اثر فشردن متناوب ژل بر روی آزادسازی و رها شدن نمک جهت شبیه‌سازی فرآیند جویدن در داخل دهان مورد بررسی قرار گرفت. ابعاد مخزن جهت استفاده از دستگاه تحلیل کننده بافت تغییر یافت. نمونه‌های ژل در درون مخزن حاوی ۲۰۰ میلی لیتر آب مقطر قرار گرفته و بمدت ۲۰ دقیقه هر ۳ ثانیه یکبار توسط دستگاه تحلیل کننده بافت با پروب به قطر ۱۰ سانتیمتر و سرعت ۱ متر بر ثانیه فشرده گردیدند و هدایت الکتریکی محلول مانند آزمایش قبلی ثبت گردید. در این

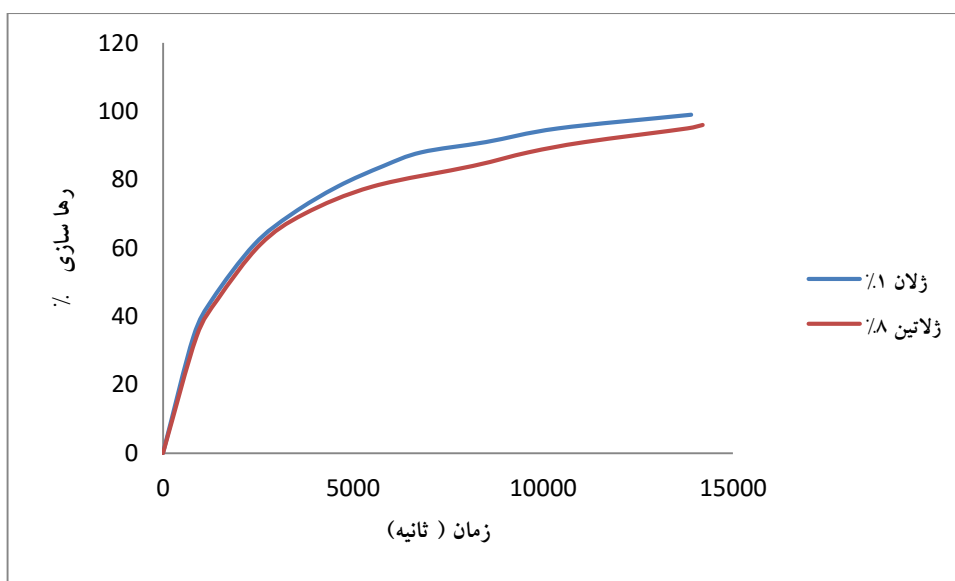
غلظت ژل، انرژی مورد نیاز جهت ذوب شدن ژل ها بطور نسبی افزایش می یابد که نتایج بدست آمده پیش‌بینی‌های رها شدن نمک از ژلاتین را پشتیبانی می‌کند.



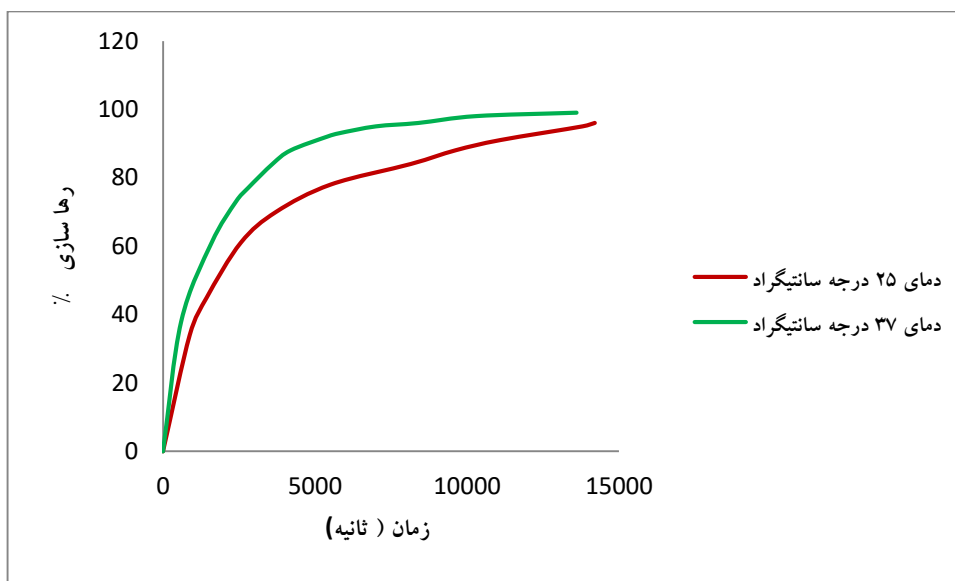
شکل ۱- نمودار DSC برای ژلاتین

، بنابراین انتشار با سرعت کمتری صورت می‌گیرد با این وجود غلظت‌های بکار رفته تفاوت‌های معناداری ایجاد نمی‌کنند ( $p > 0.05$ ). منحنی‌های رها شدن برای همه نمونه‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد مشابه بوده که شکل یک نمونه از منحنی بدست آمده را نشان می‌دهد. برای کلیه ژل‌ها و در تمام غلظت‌های ژل استفاده شده یک رها شدن اولیه سریع نمک مشاهده می‌شود که علت آن رها شدن سریع نمک از ساختار درونی ژل به درون آب و رسیدن به یک حالت تعادل می‌باشد.

طبق نتایج بدست آمده همانگونه که انتظار می‌رفت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، رها شدن ۹۰ درصد نمک پس از حدود ۲ ساعت به روش انتشار نمک از ساختار ژل به درون محیط آبی مشاهده گردید. بین نتایج هر غلظت پلیمر برخی تفاوت‌ها قابل مشاهده است که می‌توان انتظار داشت با افزایش غلظت پلیمر، رها شدن نمک از ساختار ژل‌ها مشکل‌تر شده که علت این است که با افزایش غلظت پلیمر موانع و مقاومت‌های موجود بر سر راه نمک جهت خروج از ساختار ژل به روش انتشار بیشتر شده است



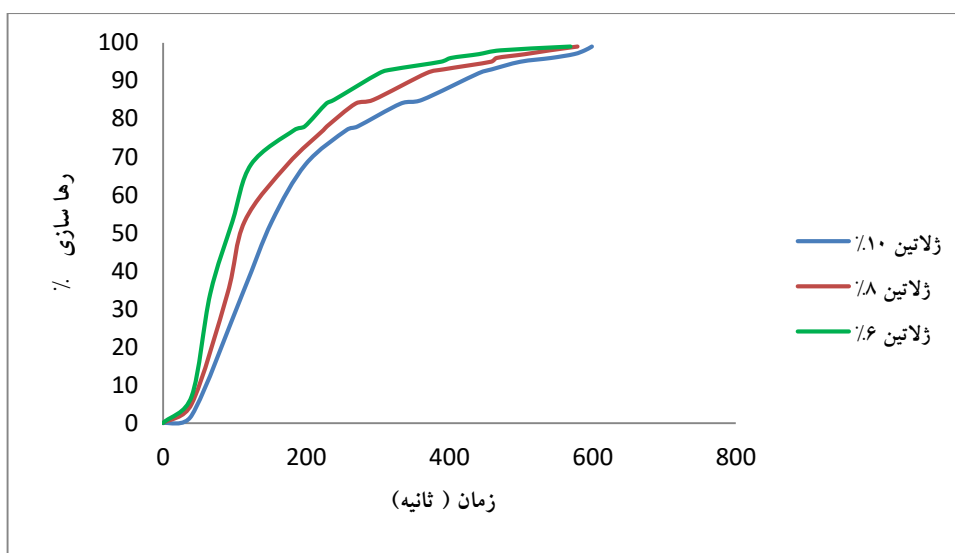
شکل ۲- رها سازی نمک از ژل های ژلاتین و صمغ ژلان حاوی ۳٪ نمک در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد



شکل ۳- رها سازی از ژل صمغ ژلان با غلظت ۱٪ حاوی ۳٪ نمک در دمای ۲۵ و ۳۷ درجه سانتیگراد

شروع به ذوب شدن نموده بنابراین خیلی سریع نمک را رها نمودند و میزان نمک آزاد شده در دمای ۳۷ درجه پس از ۱۰ دقیقه برابر مقدار نمک آزاد شده پس از ۳ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بود در صورتیکه دمای آب اختلاف زیادی با دمای ذوب ژل حاصل از صمغ ژلان داشت بنابراین رها شدن نمک از ساختار ژل صمغ ژلان خیلی کند تر صورت گرفت. براساس نتایج بدست آمده در شکل ۴ فرآیند رها شدن نمک را می‌توان به دو بخش تقسیم نمود. مرحله اول که پس از یک تاخیر اولیه یک مرحله رها شدن سریع است و بدنبال آن یک مرحله آهسته تر است که جهت رسیدن به تعادل نهایی غلظت صورت می‌گیرد.

با توجه به نتایج بدست آمده از رها شدن نمک از ژل صمغ ژلان همانگونه که در شکل ۳ مشاهده میشود روند رها شدن نمک در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد مشابه ۲۵ درجه سانتی‌گراد بود با این وجود همانطور که مشاهده میشود و پیش بینی شده بود سرعت رها سازی نمک در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد از ۲۵ درجه سانتی‌گراد بالاتر بوده که علت آن را میتوان نزدیک بودن دمای ژل به نقطه ذوب ژل دانست که در نهایت منجر به رها شدن سریع تر نمک از ساختار ژل میشود. نتایج بدست آمده از آزمون رها سازی نمک از ژلاتین همانند نمونه‌های ژل حاصل از صمغ ژلان نبود زیرا وقتی نمونه‌های ژلاتین به ظرف آب اضافه شدند بدلیل اینکه دمای آب نزدیک به دمای ذوب ژلاتین بود ژل‌ها

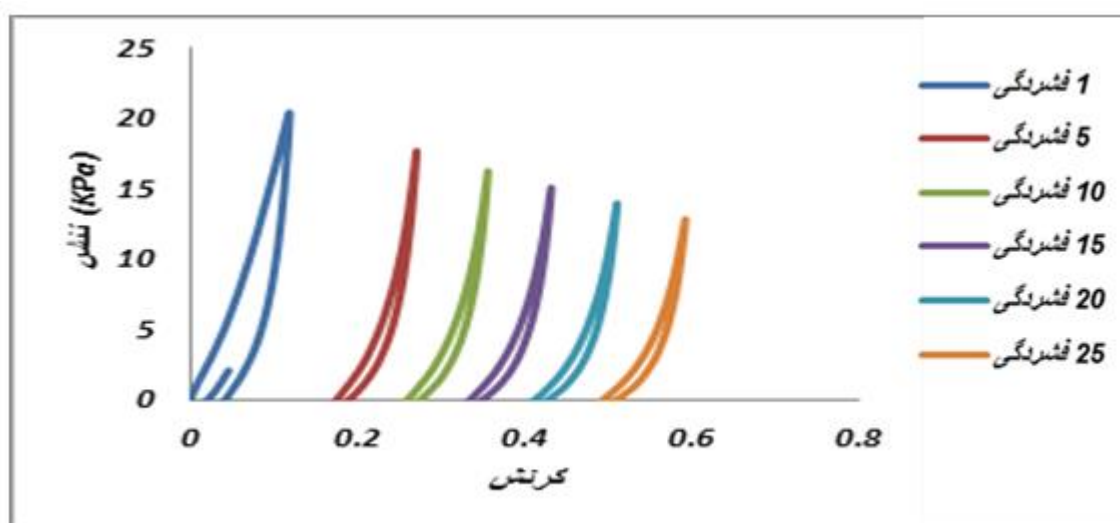


شکل ۴- نمودار رهاسازی نمک از ژلاتین حاوی ۳٪ نمک در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد

### ۲-۳- اثرات فشردن بر روی رها شدن نمک

تا این مرحله آزمایشات به گونه ای انجام شدند تا فرآیند جویده شدن ژل در دهان شبیه سازی شده در نتیجه تاثیر حداقل نیروی خارجی مشابه با نیروی اعمال شده در هنگام جویدن ژل در دهان بر ساختار ژل اعمال شده و مقاومت ژل در برابر نیروی اعمال شده بررسی گردید. هر دو ساختار ژل وقتی که تحت فشارهای پایین قرار می گیرند رفتار ویسکوالاستیک از خود نشان داده و همانطور که در شکل ۵ قابل مشاهده است در اثر فرآیند فشردگی چندمرحله ای مقدار تنش در برابر کرنش با افزایش تعداد دفعات فشردگی کاهش یافته که این امر باعث میشود نیروی لازم جهت شکستن ژل کاهش یافته از طرف دیگر با کاهش مقدار کرنش

شکندگی ژل افزایش یابد لذا میتوان نتیجه گیری نمود در اثر فرآیند فشرده سازی متناوب، با توجه به اینکه مقدار نیروی لازم جهت شکستن ژل کاهش یافته و از طرف دیگر با کاهش مقدار کرنش ژل شکننده تر و ترد تر میشود لذا ژل آسان تر شکسته شده که این امر در نهایت میتواند به رها شدن آسان تر نمک از ساختار ژل منتهی شود. در فشردگی متناوب منحنی های تنش - کرنش با هر فشردگی تغییر کرده بطوریکه در ابتدا یک نقطه ماکزیمم وجود داشته که در آن ژل شروع به متلاشی شدن کرده و در فشردگی های بعدی ژل به قطعات کوچکتر شکسته، متلاشی و خرد می شوند.



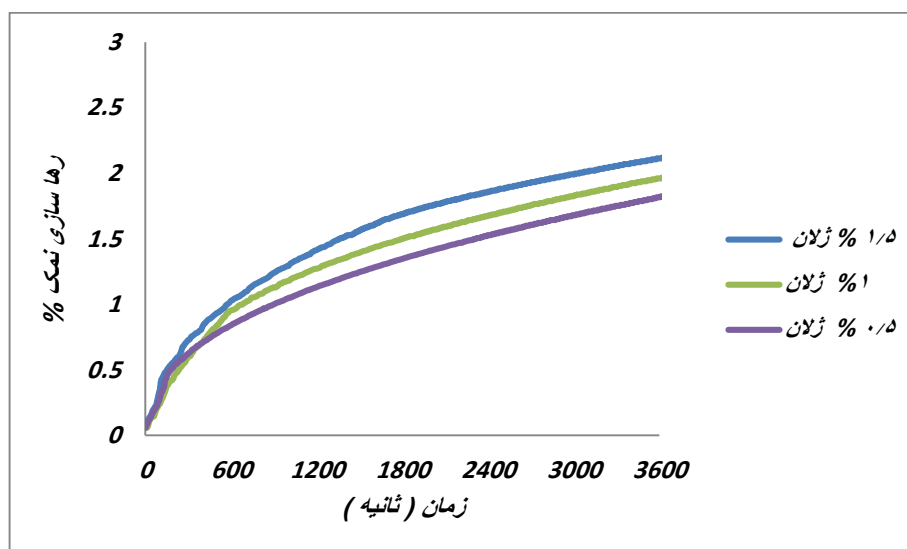
شکل ۵- اثر فشردن متناوب بر خواص مکانیکی ژل صمغ ژلان با غلظت ۱٪ ژلان و ۱٪ نمک به ترتیب پس از ۱، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ فشردگی چندمرحله ای



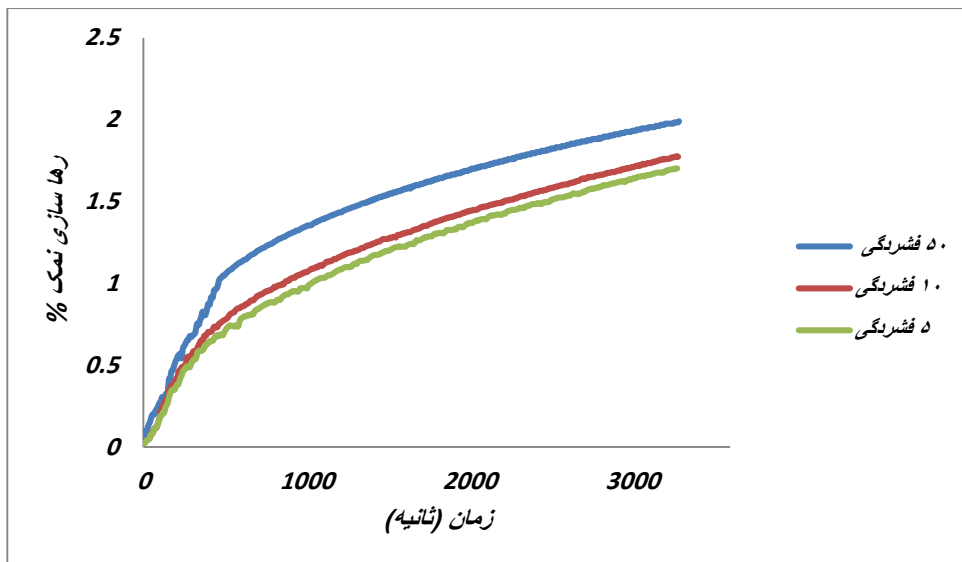
نشان می‌دهد که در فشردگی ژل بصورت متناوب تا کمتر از نقطه گسیختگی، تغییری در ساختار ژل ایجاد نکرده بنابراین افزایش رها شدن نمک از ژل انتظار نمی‌رود. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که در بعضی موارد فشردگی می‌تواند باعث رها شدن مایع از ساختار ژل شود ولی این پدیده عمدتاً در نمونه ژل‌های حاوی مخلوط دو یا چند ژل مختلف مشاهده می‌شود که در آن کیسه‌های حاوی مایع در منافذ موجود در بین ساختار ژل‌ها که در نتیجه عدم یکنواختی و تشابه ساختار ژل‌ها تشکیل شده است، همچنین رها شدن مایع مذکور بعد از گسیختگی ژل در اثر شکسته شدن ساختار ژل بدلیل اعمال یک نیروی خارجی میباشد ( ۲۴ ). انجام آزمایش در این وضعیت متفاوت بوده زیرا آزمایش‌ها در شرایط خشک اجرا می‌شود یعنی نمونه ژل مستقیماً در زیر صفحه دستگاه سنجش بافت و در محیط کاملاً خشک تحت تاثیر نیروی خارجی جهت آزمون فشردگی قرار گرفته و مایع آزاد شده از ساختار ژل مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مورد مایع بدست آمده عمدتاً آبی بوده که در هنگام تشکیل ژل به ژل تبدیل نشده است و از ساختار ژل جدا شده است.

فشردگی متناوب نمونه‌ها هیچ اثری بر روی منحنی‌های رها شدن نمک نداشته مگر وقتی که شکستن و گسیختگی نمونه‌ها ایجاد شود که این اثر احتمالاً در نتیجه افزایش سطح مقطع نمونه‌ها در زمان گسیختگی و شکستن ژل‌ها می‌باشد. همانگونه که در شکل ۶ مشاهده می‌شود با افزایش غلظت صمغ ژلان مقدار رها شدن نمک کاهش یافته از طرف دیگر طی فرآیند فشرده سازی متناوب همانگونه که قبلاً ذکر شد، مقدار نمک رها شده با افزایش تعداد مراحل فشرده سازی افزایش می‌یابد که این موضوع در شکل ۷ قابل مشاهده می‌باشد.

شکل ۶ نتایج رها شدن نمک از ژل صمغ ژلان را پس از ۱۰ مرحله فشرده سازی متناوب از غلظت‌های مختلف صمغ ژلان نشان می‌دهد. به دلیل فشردگی‌های کم ژل صمغ ژلان، در طول فشرده سازی متناوب از آنجاییکه فشرده سازی تا قبل از مرحله شکست و گسیختن ژل انجام میشود مقدار نمک رها شده در فشرده سازی متناوب از میزان نمک رها شده در مقایسه با فشردن تک مرحله ای که تا مرحله گسیختن و شکستن کامل ژل انجام میشود کمتر خواهد بود زیرا در فشرده سازی متناوب به علت خاصیت الاستیک ژل، نمونه‌ها بر اثر فشردن تغییر شکل یافته ولی گسیختگی و شکستن در آنها اتفاق نمی‌افتد. تحقیقات انجام شده



شکل ۶- روند رهاسازی نمک از ژل صمغ ژلان حاوی ۳٪ نمک پس از ۱۰ فشردگی چند مرحله ای از غلظت‌های مختلف ژلان



شکل ۷- روند رها سازی نمک از ژل صمغ ژلان حاوی ۳٪ نمک پس از فشرده سازی چند مرحله ای

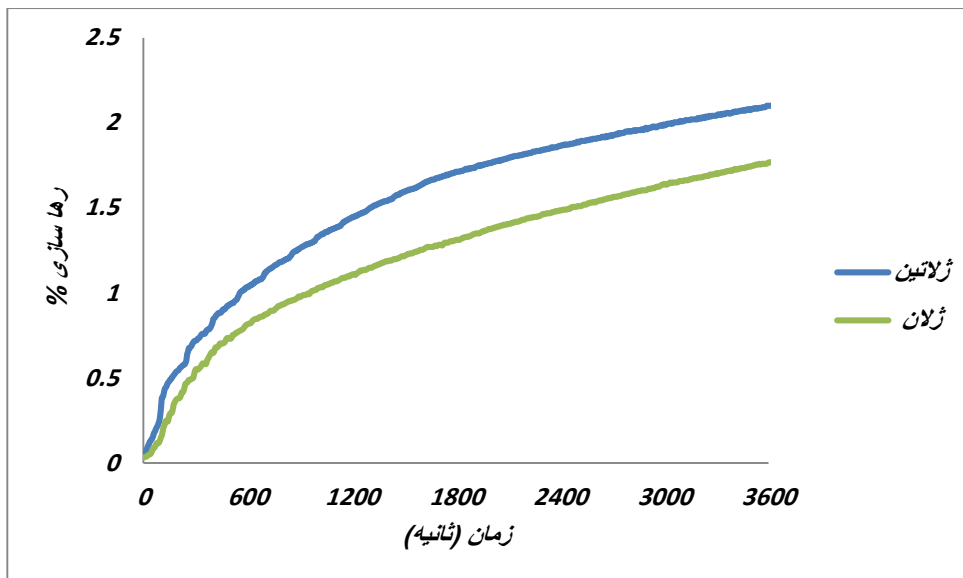
کوچک ژل پس از شکستن ژل شده بنابراین با شکستن ژل به قطعات کوچک سطح مقطع جهت انجام انتشار نمک به خارج از ژل افزایش می یابد در حالیکه در ژلان تمایل به دو نیم شدن وجود داشته بنابراین سطح مقطع کوچکتری برای خروج و انتشار نمک از داخل ژل وجود دارد.

ژل صمغ ژلان تمایل زیادی به تغییر شکل، شکستن و شکافتن داشته ولی معمولاً بر اثر فشردن تا مرحله شکستن و شکافتن ژل بصورت یک تکه و یا نصف شدن و دو تکه شدن، شکسته و پس از شکستن به صورت دو تکه بزرگ با شکاف های عمیق دیده می شوند، که طبق تحقیقات انجام شده هنگامیکه در تهیه ژل صمغ ژلان، از یونهای متفاوت به عنوان اتصال دهنده در تشکیل ژل استفاده شود و ژل بدست آمده را تحت آزمون فشرده سازی قرار دهیم نوع رفتار عکس العمل و میزان مقاومت ژل در برابر نیروی برشی اعمال شده متفاوت بوده ولی در حالت کلی ژل حاصل از صمغ ژلان در اثر فشار بصورت عمودی از وسط دو نیمه شده و بصورت تکه های بزرگ باقی ماندند (۱۸).

تحقیقات انجام شده نشان می دهد که در اثر فشردگی، آب از ساختار ژل خارج شده با این وجود خروج آب به فرمولاسیون بستگی داشته زیرا رفتار ژل می تواند با تغییر غلظت ژل و غلظت نمک بکار رفته در فرمولاسیون تغییر نماید (۱۸).

اگر در هنگام فشردن ژل آب خارج شود انتظار داریم که رها شدن نمک بصورت سریع اتفاق بیافتد ولی در عمل چنین پدیده ای مشاهده نمی شود زیرا ممکن است به غلظت های بالای نمک جهت ایجاد اتصالات عرضی در ساختار ژل نیاز باشد که ویژگی های ژل را تحت تاثیر قرار می دهد. از آنجاییکه ساختار و خواص مکانیکی ژل ها در غلظت های پایین تر و بالاتر از غلظت بحرانی یونهای ایجاد کننده اتصالات عرضی در صمغ ژلان متفاوت میباشد که دلیل بر تایید نتایج حاصل میباشد (۱۹).

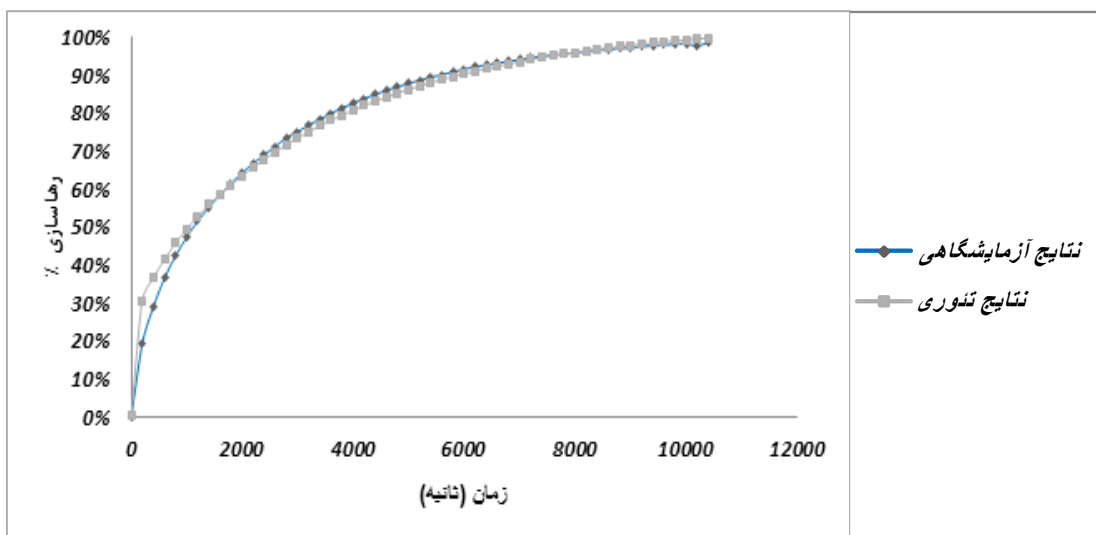
شکل ۸ نشان دهنده تشابهات اولیه در فرآیند رها شدن نمک از ژلاتین بوده که این روند مشابه و یکسان در مورد تمام نمونه ها مربوط به مرحله رها شدن نمک به روش انتشار می باشد با این وجود ژلاتین به یک حداکثر رها سازی نمک دست می یابد که این به دلیل روش گسیختگی و شکست ژلاتین است زیرا ژلاتین تمایل به متلاشی شدن در حد بالا داشته که باعث تشکیل قطعات



شکل ۸- مقایسه رها سازی نمک به روش انتشار از ژل صمغ ژلان و ژلاتین حاوی ۳٪ نمک در فشرده‌گی تا ۷۵٪ ارتفاع اولیه

برساند. نتایج بدست آمده از این روش با آزمایشات مربوط به رها شدن نمک به روش انتشار همخوانی و مطابقت دارد. یک روش مشابه در تحقیقات انجام شده جهت تعیین انتشار پذیری موثر یون سدیم از داخل پنیر به آب دهان صورت گرفته

۳-۳- مقایسه نتایج حاصل از مدل و نتایج آزمایشگاهی  
یک کد به عنوان دستورالعمل محاسباتی در نرم افزار MATLAB بکار برده شد تا انتشار پذیری موثر را محاسبه نموده و مقدار انحراف بین مقادیر واقعی و محاسبه شده را به حداقل



شکل ۹- مقایسه نتایج بدست آمده از مدل و نتایج آزمایشگاهی برای صمغ ژلان نیم درصد در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد

با توجه به تحقیقات انجام شده در مورد محاسبه مقدار انتشار پذیری موثر یون سدیم در آب  $10^{-9} \times 1/334 \text{ m}^2/\text{Sec}$  این مقدار خیلی به مقادیر بدست آمده از آزمایشات انجام شده نزدیک بوده که نشان می‌دهد یون سدیم بدون هیچ مانعی از درون ساختار ژل به محیط آبی منتقل شده است. (۲۱)

جدول شماره ۲ مقادیر انتشار پذیری موثر تخمین زده شده توسط مدل را نشان داده که با تغییر غلظت بیوپلیمر، مقادیر آن به مقدار جزئی تغییر کرده ولی این تغییرات بطور معناداری متفاوت نمی‌باشند ( $p > 0.05$ ).

اثرات فشرده‌گی ژل‌ها بر میزان رها شدن نمک تحت تاثیر ساختار ژل بوده و در ساختارهای ژل تک فازی هیچ نشانه‌ای از افزایش میزان رها شدن با افزایش میزان فشرده‌گی تا قبل از گسیختگی و شکستن ساختار ژل مشاهده نمی‌شود. هنگامیکه میزان فشرده‌گی به اندازه‌ای باشد که باعث ایجاد گسیختگی و شکستن ساختار ژل باشد بسته به خصوصیات ساختاری ژل‌ها میزان رها شدن افزایش می‌یابد.

ژلاتین که تمایل به شکستن و خرد شدن به قطعات کوچک و متعدد را در اثر فشردن دارد مقدار رها شدن نمک در آن بالا بوده در حالیکه در صمغ ژلان که بر اثر فشردن به صورت دو تکه شکسته می‌شود و یا بصورت یک تکه منفرد باقی می‌ماند مقدار رها شدن بمراتب کمتر است. بنابراین میتوان نتیجه گیری نمود که نحوه فشردن ژل، نحوه شکستن و گسستن ژل و همچنین سختی ژل که خود به غلظت ژل، نوع و مقدار یونهای بکار رفته در تشکیل ژل به عنوان اتصال دهنده عرضی بستگی دارد بر روی مقدار و نحوه خروج نمک از ساختار ژل اثر خواهد داشت.

#### ۵- منابع

- 1) Sleator, R. D. and C. Hill (2007). "Food reformulations for improved health: A potential risk for microbial food safety." *Medical Hypotheses* 69(6): 1323-1324.
- 2) Ferry, A. L., J. Hort, et al. (2006). "Viscosity and flavour perception: Why is starch different from hydrocolloids." *Food Hydrocolloids* 20(6): 855-862.
- 3) Ertekin, C. and I. Aydogdu (2003). "Neurophysiology of swallowing." *Clinical Neurophysiology* 114(12): 2226-2244.
- 4) Malone, M. E., I. A. M. Appelqvist, et al. (2003). "Oral behaviour of food hydrocolloids and emulsions. Part 1. Lubrication and deposition considerations." *Food Hydrocolloids* 17(6): 763-773.
- 5) van Vliet, T. (2002). "On the relation between texture perception and fundamental mechanical parameters for liquids and time dependent solids." *Food Quality and Preference* 13(4): 227-236.

در مورد صمغ ژلان که ساختار بوجود آمده در هنگام تشکیل ژل به اندازه کافی متراکم نبوده و قادر به جلوگیری از انتشار یونهای کوچک نمی‌باشد. براساس تحقیق انجام شده بیشتر آب موجود در ساختار صمغ ژلان بصورت خوشه‌هایی از آب آزاد باقی مانده بنابراین یونهای سدیم می‌توانند به راحتی با سرعت معمول از داخل ساختار صمغ ژلان به محیط خارج انتشار نمایند. (۲۲)

در مورد ژلاتین آزمایشات مشابهی با استفاده از یونهای نقره که سایز مشابه یونهای سدیم دارند انجام شده که طبیعت ساختار شبکه‌ای باز ژلاتین بدین معناست که انتشار یونهای سدیم در یک دامنه‌ای از غلظت‌های استفاده شده تحت تاثیر قرار نگرفته است. (۲۵).

جدول ۲ - مقادیر انتشارپذیری موثر در دمای ۲۵ درجه

سانتی‌گراد

نوع بیوپلیمر	غلظت پلیمر (%)	انتشارپذیری موثر ( $10^{-9} \times m^2 / sec$ )
ژلاتین	۶	۰/۹۹
ژلاتین	۸	۰/۹۳
ژلاتین	۱۰	۰/۹۳
صمغ ژلان	۰/۵	۱/۱۵
صمغ ژلان	۱	۱/۱۲
صمغ ژلان	۱/۵	۱/۰۱

#### ۴- نتیجه گیری

آزمایشات انجام شده در محیط مصنوعی جهت بررسی رها شدن نمک از هیدروکلوئیدها قابل اعتماد، قابل قبول و قابل تکرار بنظر می‌رسند و می‌توانند با ساختارهای متفاوت از ژل‌ها و مواد مختلف دیگر در آینده مورد مقایسه قرار گیرند.

نمودارهای بدست آمده از آزمایش‌های رها شدن نمک از ساختار هیدروکلوئیدهای مختلف نشان می‌دهد که به علت اینکه بیشتر ساختار این ژل‌ها را آب تشکیل می‌دهد بنابراین احتمال بسیار کمی وجود دارد که جهت رها شدن نمک از ساختار ژل‌ها به روش انتشار مانعی وجود داشته باشد. بنابراین رها شدن نمک از ساختار ژل به روش انتشار بدون هیچ مشکلی صورت می‌گیرد.

- 16)Mangione, M. R., D. Giacomazza, et al. (2007). "Relation between structural and release properties in a polysaccharide gel system." *Biophysical Chemistry* 129(1): 18-22.
- 17)Koliandris, A., A. Lee, et al. (2008). "Relationship between structure of hydrocolloid gels and solutions and flavour release." *Food Hydrocolloids In Press, Corrected Proof*(4): 623-630.
- 18)J. J. Harris, A. M. S., S. Campbell-Lynch, R. M. Shelton (2008). "Dramatic Changes in Bulk Deformation Behaviour of Gellan Gum on Cross-Linking with Mixed Cations." *Gums and Stabilisers for the Food Industry* 14: 79.
- 19)Tang, J., M. A. Tung, et al. (1996). "Compression strength and deformation of gellan gels formed with mono- and divalent cations." *Carbohydrate Polymers* 29(1): 11-16.
- 20)Floury, J., O. Rouaud, et al. "Reducing salt level in food: Part 2: Modelling salt diffusion in model cheese systems with regards to their composition." *LWT - Food Science and Technology In Press, Corrected Proof*.
- 21)Lide, D. R. (2004). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press.
- 22)Miyoshi, E. (2009). "Our Recent Findings on The Functional Properties of Gellan Gum." *Graduate School of Human Sciences, Osaka University* 35: 23.
- 24)Van den Berg, L., T. van Vliet, et al. (2007). "Breakdown properties and sensory perception of whey proteins/polysaccharide mixed gels as a function of microstructure." *Food Hydrocolloids* 21(5-6): 961-976.
- 25)Yabuki, K. (1927). "On the Diffusion of the Silver Ion in a Gel: (Studies in the physico-chemical properties of gel. I)." *J Biochem* 8(1): 137-156.
- 6)Prinz, J. F., A. M. Janssen, et al. (2007). "In vitro simulation of the oral processing of semi-solid foods." *Food Hydrocolloids* 21(3): 397-401.
- 7)Okada, A., M. Honma, et al. (2007). "Oral behavior from food intake until terminal swallow." *Physiology & Behavior* 90(1): 172-179.
- 8)Xu, W. L., J. Bronlund, et al. (2005). "Choosing new ways to chew: a robotic model of the human masticatory system for reproducing chewing behaviors." *Robotics & Automation Magazine, IEEE* 12(2): 90-100.
- 9)Prinz, J. F., L. Huntjens, et al. (2006). "Instrumental and sensory quantification of oral coatings retained after swallowing semi-solid foods." *Archives of Oral Biology* 51(12): 1071-1079.
- 10)Juteau, A., N. Cayot, et al. (2004). "Flavour release from polysaccharide gels: different approaches for the determination of kinetic parameters." *Trends in Food Science & Technology* 15(7-8): 394-402.
- 11)Boland, A. B., C. M. Delahunty, et al. (2006). "Influence of the texture of gelatin gels and pectin gels on strawberry flavour release and perception." *Food Chemistry* 96(3): 452-460.
- 12)Elmore, J. S. and K. R. Langley (1996). *Novel Vessel for the Measurement of Dynamic Flavor Release in Real Time from Liquid Foods*. 44: 3560-3563.
- 13)Malone, M. E., I. A. M. Appelqvist, et al. (2003). "Oral behaviour of food hydrocolloids and emulsions. Part 2. Taste and aroma release." *Food Hydrocolloids* 17(6): 775-784.
- 14) Boland, A. B., K. Buhr, et al. (2004). "Influence of gelatin, starch, pectin and artificial saliva on the release of 11 flavour compounds from model gel systems." *Food Chemistry* 86(3): 401-411.
- 15)Technology, P. B. C. o. A. S. a. and D. D. Duong (2000). *Adsorption science and technology : proceedings of the Second Pacific Basin Conference on Adsorption Science and Technology : Brisbane, Australia, 14-18 May 2000 / editor, Duong D. Do. Singapore ; River Edge, N.J. :*