



آبگیری ماست با استفاده از غشای تراوا و هیدروژل ابرجاذب آکریلی

علی احمدپور^{۱*}، عبدالمجید مسکوکی^۲، مسعود رضایی^۱

۱- مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی شیمی، صندوق پستی ۱۱۱۱

۲- مشهد، پارک علم و فناوری خراسان، صندوق پستی ۹۱۷۳۵/۱۳۹

دریافت: ۸۶/۲/۵، پذیرش: ۸۶/۷/۱۷

چکیده

روش‌های متداول آبگیری از مواد غذایی از جمله روش گرمایی، دارای آثار نامطلوبی مانند از بین رفتن ویتامین‌ها، ترکیبات آروماتیک و رنگ دانه‌ها هستند. افزون بر این، ملاحظات مربوط به پیچیدگی‌های خاص فناوری و مصرف انرژی نیز مطرح است. بدین ترتیب، فرایندهای تغلیظ مواد غذایی به سمت روش‌های غیرگرمایی یا شیوه‌هایی با کاهش آثار گرمایی هدایت می‌شوند. ابرجاذب‌ها، شبکه پلیمری به شدت آب‌دوست اند که صدها برابر وزن خود آب و مایعات آبی را جذب و در ساختار خود نگه می‌دارند. این مواد زیرگروهی از خانواده هیدروژل‌ها هستند که پس از جذب آب به حالت ژل در می‌آیند. در پژوهش حاضر که برای اولین بار در ایران انجام شده است، امکان استفاده از ابرجاذب‌ها برای کاهش زمان آبگیری از ماست به عنوان محصولی پرمصرف مورد بررسی قرار گرفته و نتایج قابل توجهی به دست آمده است. در آزمایش‌های انجام شده برای بررسی اثر ابرجاذب‌ها بر روش معمول تغلیظ ماست (استفاده از غشای تراوا)، نوع بستر (پهن و عمودی) و زمان عملیات نیز مورد مطالعه قرار گرفتند. مقدار مواد جامد محلول و درصد ماده خشک باقی‌مانده در نمونه‌های آبگیری شده در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری و تا ۱۸۰ min پی‌گیری شد. نتایج پس از تجزیه و تحلیل آماری نشان می‌دهد که استفاده از ابرجاذب پلیمری در بستر پهن نسبت به روش سنتی می‌تواند زمان آبگیری را به کمتر از یک سوم کاهش دهد. به عبارتی دیگر، در زمانی مشخص، حدود ۷۰ درصد افزایش در مقدار ماده خشک ماست نسبت به روش معمول آن مشاهده شد. نتایج پژوهش به عمل آمده نشانگر آنست که هیدروژل ابرجاذب آکریلی می‌تواند به عنوان ماده‌ای به شدت آب‌دوست در آبگیری به روش غیرگرمایی مواد غذایی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی

هیدروژل، ابرجاذب، ماست، آبگیری، غشای تراوا

*مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:

ahmadpour@um.ac.ir

Dewatering of Yoghurt Using Permeable Membrane and Acrylic Superabsorbent Hydrogel

A. Ahmadpour^{*1}, A. Maskooki² and M. Rezaei¹

1. Department of Chemical Engineering Ferdowsi University of Mashhad, P.O. Box: 1111, Mashad, Iran

2. Khorasan Science and Technology Park, P.O. Box: 91735/139, Mashad, Iran

Abstract

Conventional processes of food dewatering, such as thermal, have undesirable and destruction effects on vitamins, aromatic compounds and pigments. In addition, they are accompanied with some technological complications and energy consumption. Thus, food concentration processes are directed to non-thermal techniques or methods with reduced heat effects. Superabsorbents are highly hydrophilic polymer networks which can absorb water and aqueous solutions some hundred times of their weights and retain them. These materials are subgroups of hydrogel family that are transformed into gels after absorbing water. In the present research, the possibilities of yoghurt dewatering using superabsorbents have been investigated for the first time in Iran and some remarkable results are obtained for this vital product. In the experiments carried out to investigate the effect of these absorbents on normal method of yoghurt concentration (use of permeable membrane), type of bed (wide and vertical) and time are also studied. The percentage of total soluble solids and dry solids of dewatered samples were measured in different time intervals up to 180 min. The results showed that superabsorbent on a wide bed would reduce the concentration time to one third. In other words, in a certain time interval, more than 70% increase in yoghurt dry solids was observed compared to normal method. These results show that acrylic superabsorbent hydrogel can be applied as highly hydrophilic material in non-thermal food dewatering methods.

Key Words

hydrogel, superabsorbent, yoghurt, dewatering, permeable membrane

(*To whom correspondence should be addressed.

E-mail: ahmadpour@um.ac.ir

مقدمه

ابر جاذب به ماده‌ای اطلاق می‌شود که بتواند صدها برابر وزن خود آب یا مایعات آبی را جذب و در داخل ساختار خود، حتی زیر فشار، نگاه دارد. در واقع ابر جاذب، شبکه پلیمری به شدت آب دوستی است که در آب متورم می‌شود، اما به دلیل وجود تعداد اندکی پیوندهای عرضی در آن انحلال پذیر نیست. پلیمری که دارای اتصالات عرضی است ژل نام دارد و در صورتی که هم زمان دارای گروه‌های عاملی آب دوست (مانند OH، NH₂، COOH، SO₃H، COONa و ...) نیز باشد، هیدروژل نامیده می‌شود. مقدار جذب آب هیدروژل‌ها به مراتب کمتر از مقدار جذب ابر جاذب هاست (۴۰ تا ۱۰۰ درصد در مقابل ۱۰ هزار تا ۱۰۰ هزار درصد). برای مثال، ظرفیت تورم تعادلی هیدروژل پلی وینیل الکل ۹۵-۶۰ درصد و هیدروژل پلی (هیدروکسی اتیل متاکریلات)، ۳۲۴۲ درصد است [۱]. برای ابر جاذب‌های نشاسته - پلی آکریلونیتریل، تورم تعادلی (حداکثر جذب آب مقطر) تا ۵۰۰ هزار درصد (۵۰۰۰ g/g) نیز گزارش شده است [۲]. اگرچه هیدروژل‌ها و ابر جاذب‌ها ساختار کاملاً مشابهی دارند، اما اغلب هیدروژل‌ها به دلیل تعداد پیوندهای عرضی بیشتر، دارای جذب بسیار کمتر بوده و مدول کشسان (استحکام) ژل متورم در آنها به مراتب بیشتر از ابر جاذب هاست. با این وجود، ابر جاذب‌ها یکی از زیرگروه‌های مهم خانواده بزرگ و پراهمیت هیدروژل‌ها به شمار می‌آیند. بنابراین، می‌توان به درستی این رزین‌ها را هیدروژل‌های ابر جاذب نامید که نشان دهنده ظرفیت جذب بسیار زیاد این مواد است [۳].

ابر جاذب‌ها کاربردهای فراوانی در زمینه‌های مختلف از جمله مصارف بهداشتی [۲، ۴]، کشاورزی [۴-۶]، تغلیظ پروتئین [۷]، جذب رطوبت [۸]، حفظ تازگی میوه و سبزیجات بسته بندی شده [۴]، لاستیک‌های متورم شونده آبی [۹، ۱۰]، ساخت بتن [۱۱]، کاهش اتلاف جریان در سیالات حفاری [۱۲]، جداسازی آب از سوخت‌های هیدروکربنی و جذب رطوبت از زغال سنگ [۴] یافته‌اند. در ضمن، هیدروژل‌های ابر جاذب به دلیل سازگاری زیستی و شباهت با بافت‌های زیستی، به تازگی توجه زیادی را برای کاربردهای زیست پزشکی به خود جلب کرده‌اند [۱۳]. هیدروژل‌های هوشمند موادی هستند که مقادیر زیادی آب را در پاسخ به برخی علائم محیطی مانند تغییر دما، غلظت یا pH، جذب یا دفع می‌کنند [۱۴]. از این مواد جالب نیز برای کاربرد به عنوان حس گرهای مینیاتوری [۱۷-۱۵]، سامانه‌های رهایش دارو [۲۳-۱۸]، چسب‌های پوستی [۲۴] و در زمینه تغلیظ و جداسازی [۲۹-۲۵]، زیست مواد [۳۰] و اپتیک [۳۱] استفاده شده است.

فکر استفاده از این مواد در آبگیری مواد غذایی برای نخستین بار

توسط اودیان در سال ۱۹۸۱ و به منظور حذف خونابه گوشت بسته بندی شده مورد مطالعه و آزمون قرار گرفته است. وی ماده ابر جاذب را در ترکیب بسته بندی به کار برد و توانست تا حد زیادی خونابه ترشح شده از گوشت را که ظاهری ناخوشایند به محصول می‌داد، حذف کند [۷]. ماست یکی از فراورده‌های پرمصرف لبنی است که حاصل تخمیر شیر با استفاده از باکتری‌های تولید کننده لاکتیک اسید است. عمل تخمیر ضمن تولید اسید، کاهش pH و افزایش زمان نگهداری، سبب ایجاد عطر و طعم مطلوب نیز در محصول شده و ارزش تغذیه‌ای فراوانی برای این محصول لبنی ایجاد می‌کند [۳۲-۳۴]. با این وجود در صورت نگهداری آن در دمای محیط، به فاصله چند روز با افزایش قدرت اسیدی و نیز فعالیت میکرواورگانسیم‌های غیر لاکتیکی مقاوم به قدرت اسیدی زیاد، ماست در معرض فساد قرار می‌گیرد که یکی از علل عمده آن رطوبت نسبتاً زیاد این فراورده لبنی (در حدود ۴۵ درصد) است. بنابراین، افزایش زمان نگهداری ماست از طریق کاهش رطوبت آن و تولید غذایی متنوع از جمله دلایل تولید محصولی پرمصرف در خاورمیانه با نام ماست چکیده است. این محصول به عنوان Tan یا Than در ارمنستان، Zeer Leben در مصر، Torba، Kurut یا Tulum در ترکیه شناخته شده و در اکثر مناطق عرب نشین نیز به نام Labneh Zeer یا Labneh معروف است [۳۲]. در قدیم برای تولید ماست چکیده از پوست حیوانات استفاده می‌شد، اما امروزه به دلایل بهداشتی اغلب از کیسه‌های پارچه‌ای به جای پوست حیوانات استفاده می‌شود. در تولید صنعتی ماست چکیده، می‌توان از جداکننده‌های افشانه‌ای (nozzle separators) و سانتریفوژ نیز استفاده کرد [۳۵]. در روش‌های معمول از کیسه‌های پارچه‌ای بزرگ با ظرفیت حدود ۲۵ kg ماست استفاده می‌شود که با چیدن آنها روی یک دیگ یا به طریقه آویزان کردن، به دلیل فشار ایجاد شده یا استفاده از نیروی ثقل، آب اضافی موجود در ماست خارج می‌شود [۳۶، ۳۷].

تجربی

مواد

ماست: به دلیل اثر نامطلوب چربی موجود در ماست در گرفتگی غشا و کاهش بازده جداسازی، از ماست بدون چربی تولید کارخانه شیر پگاه خراسان استفاده شد. این ماست دارای وزن حجمی ۷۰۴۰ تا ۷۰۴۴ g/cm^۳ و ۸ تا ۹ درصد ماده خشک است.

ابر جاذب: به منظور انجام آزمایش‌ها، از ابر جاذبی که در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران و در مقیاس نیمه صنعتی تولید می‌شود، استفاده شده

پارچه‌ای که روی آن ابرجاذب ریخته می‌شد نیز در اطراف توری استفاده شد. بنابراین، در این حالت به ترتیب کیسه حاوی ماست، توری فلزی اول، ابرجاذب پخش شده در اطراف پارچه و سپس توری فلزی دوم قرار داده شده بود.

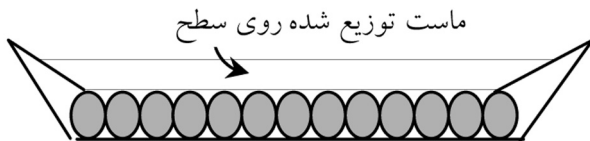
آزمایش بدون ابرجاذب و با بستر پهن

در این حالت از ظرفی مشبک برای نگه داشتن پارچه حاوی ماست استفاده شده است. مقدار 1730 g ماست (که در تمام آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفته) روی سطحی با مساحت 1010 cm^2 به خوبی پهن می‌شد.

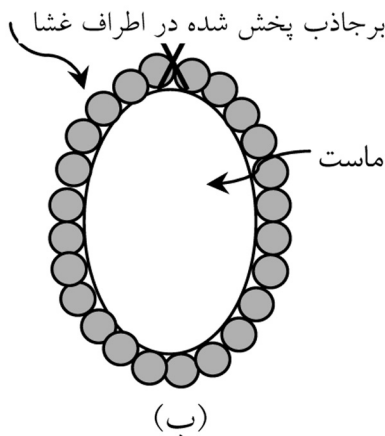
آزمایش با ابرجاذب و بستر پهن

در این حالت از سینی که روی آن 100 g ابرجاذب به خوبی در تمام سطح پخش شده و سپس پارچه‌ای که ماست روی آن توزیع می‌شد، استفاده شده است. سطح بستر در این حالت نیز 1010 cm^2 است.

شکل ۱ طرحی از دو نوع بستر مورد استفاده در آزمایش‌ها را نشان می‌دهد. شکل ۱ - الف روش سنتی را نشان می‌دهد و شامل غشای تراوای پارچه‌ای به شکل کیسه است که به طور عمودی قرار می‌گیرد تا انتقال جرم در اثر نیروی وزن تسهیل شود. در ادامه روش سنتی یا همان کیسه کردن با نام بستر عمودی ذکر می‌شود. شکل ۱ - ب نیز روش بستر



(الف)



(ب)

شکل ۱- طرح بسترهای آبگیری ماست: (الف) افقی یا پهن و (ب) عمودی.

است. این ماده با نام سوپرآب A 100 توسط شرکت رهاب رزین (تحت لیسانس پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران) تولید شده است. ابرجاذب یادشده به شکل دانه‌های سفید رنگ است که جدول ۱ مشخصات فیزیکی و خواص جذب این ماده را نشان می‌دهد. ابرجاذب سوپرآب A 100، از نظر کارایی تا بیش از ۵ سال پایدار بوده و علاوه بر این در مایعات آبی نیز نامحلول است [۳]. در تمام آزمایش‌هایی که با ابرجاذب انجام شده مقدار 100 g از این ماده استفاده شده است. غشای تراوا: غشای مورد استفاده در روش سنتی آبگیری از ماست، پارچه کتان با ضخامت متوسط $0/6\text{ mm}$ و قطر منافذ حدود $0/3\text{ mm}$ بوده است که در صنعت نیز از آن استفاده می‌شود.

روش‌ها

در آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش نیز با مبنای قرار دادن روش گفته شده، ماست به دو روش استفاده از ابرجاذب و بدون استفاده از آن در دو بستر یعنی مقایسه روش کاملاً سنتی و با استفاده از بسترهای عمودی و پهن مورد آزمایش قرار گرفت و ماده خشک باقی‌مانده و مواد جامد محلول در نمونه‌ها در زمان‌های ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ min اندازه‌گیری شدند.

آزمایش بدون ابرجاذب و با بستر عمودی

در این حالت از توری فلزی نیم دایره‌ای به منظور نگه داشتن کیسه حاوی ماست استفاده شده و آب ماست پس از خروج از کیسه در ظرف شیشه‌ای زیر آن ریخته می‌شد.

آزمایش با ابرجاذب و بستر عمودی

در آزمایش‌های انجام شده با ابرجاذب و به روش سنتی یا بستر عمودی علاوه بر موارد یاد شده در بخش قبل، از توری نیم دایره‌ای دیگر و

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و خواص جذب در ابرجاذب سوپرآب A 100.

مقدار	خاصیت
۷۴۸	چگالی (g/cm^3)
۶-۷	pH محلول آبی
۵-۷	مقدار رطوبت (%)
۲۰۲	ظرفیت کل جذب در آب مقطر (g/g)
۳۶	ظرفیت کل جذب در $0/9\text{ NaCl}$ درصد (g/g)
۷۶	زمان مورد نیاز برای رسیدن به ۶۳ درصد کل ظرفیت جذب (s)
۲-۳	جزء حل شده ($\text{wt}\%$)

پهن را نشان می دهد که در واقع سطحی گسترده تر برای تماس بیشتر است.

به منظور بررسی این داده ها پس از انجام آزمایش ها از طرح آماری بلوک تصادفی کامل به روش فاکتوریل استفاده شد و نتایج با آزمون دانکن مورد مقایسه قرار گرفتند که به تفصیل بحث می شود.

با توجه به این که حین آزمایش تنها مقدار معینی از ماست، از کل ماست در حال آبگیری، برای آزمون اندازه گیری وزن خشک ماست و نیز آزمون اندازه گیری مواد جامد محلول در آن باید برداشته شود. بنابراین، در این خصوص نمونه برداری صحیح بسیار حائز اهمیت است. روش نمونه برداری با توجه به استاندارد ۳۲۶ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران انجام شده است [۳۸]. روش انجام آزمایش ها نیز طبق استانداردهای ۶۹۵ و ۶۳۷ مؤسسه یاد شده انجام گرفته است که به ترتیب مربوط به ماست و تعیین ماده خشک شیر است [۳۹، ۴۰]. طبق روش استاندارد باید مقدار معینی از نمونه ماست را تا رسیدن به وزنی ثابت به وسیله گرمادهی در دمای ۱۰۰°C خشک کرد. وزنی که پس از خشک کردن به دست می آید، مقدار ماده خشک است.

$$(1) \quad \frac{\text{وزن نمونه پس از خشک کردن}}{\text{وزن نمونه قبل از خشک کردن}} \times 100 = \text{نسبت درصد ماده خشک}$$

برای اندازه گیری تغییرات مواد جامد محلول در ماست در طول زمان، از دستگاه شکست سنج که در واقع ضریب شکست مایعات را نشان می دهد، استفاده شده است. این دستگاه قبل از هر بار استفاده، با آب مقطر کالیبره می شد. با نمونه برداری از ماست در زمان های مختلف، مقداری از آن از کاغذ صافی عبور داده شده و اندازه گیری ضریب شکست روی مایع خروجی انجام شده است. این عدد در واقع معرف

مقدار یا درصد مواد جامد محلول (Brix) در ماست است.

نتایج و بحث

از کلیه نمونه ها در سطوح مختلف تحلیل واریانس به عمل آمده که نتایج آن در جدول ۲ آمده است. اطلاعات حاصل به وسیله نرم افزار آماری MSTATC و به کمک روش فاکتوریل کامل تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

نتایج آماری به دست آمده از جدول ۲ نشان می دهد که در کلیه سطوح با اطمینان ۹۹ درصد و احتمال خطای ۰/۰۱ درصد، اختلاف کاملاً معنی دار آماری وجود دارد.

اثر ابرجاذب

اعداد زیر از ثابت در نظر گرفتن عوامل تکرار، نوع بستر و زمان حاصل شده اند:

بدون استفاده از ابرجاذب $A_1 = 10/343$

با استفاده از ابرجاذب $A_2 = 15/695$

با بررسی پارامتر نوع روش که مربوط به استفاده یا عدم استفاده از ابرجاذب است، شکل ۲ را می توان ترسیم کرد. از مشاهده شکل ۲ به راحتی می توان بیان کرد که بدون در نظر گرفتن انتخاب نوع بستر یا زمان، در همه حالت ها مقدار درصد وزن خشک میانگین هنگام استفاده از ابرجاذب بسیار بیشتر از زمانی است که از ابرجاذب استفاده نشده است. در نتیجه ماست آبگیری شده با استفاده از ابرجاذب دارای کمیت غذایی بیشتری است.

جدول ۲- میانگین مربعات از سطوح نمونه در آثار مورد مشاهده.

منبع	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	احتمال
روش آبگیری (A)	۱	۹۴۸/۰۹*	۱۱۸۱۴	۰/۰۰۰
نوع بستر (B)	۱	۴۶/۲۵*	۵۷۶	۰/۰۰۰
اثر متقابل روش و نوع بستر (A×B)	۱	۶/۰۳*	۷۵	۰/۰۰۰
زمان آبگیری (C)	۹	۷۳۰/۴۰*	۱۱	۰/۰۰۰
اثر متقابل روش و زمان (A×C)	۹	۱۷۰/۳۶*	۲۳۶	۰/۰۰۰
اثر متقابل نوع بستر و زمان (B×C)	۹	۱۰/۶۹*	۱۵	۰/۰۰۰
اثر متقابل روش، نوع بستر و زمان (A×B×C)	۹	۴/۳۷*	۶	-
خطا	۸۰	۶/۴۲	-	-

* کاملاً معنی دار آماری در سطح $P \leq 0/01$

جدول ۳- بررسی هم زمان استفاده از ابرجاذب و نوع بستر در فاز اول.

نمونه	درصد وزن خشک ($P \leq 0.05$, $LSD=0.9279421$)
با ابرجاذب - بستر پهن	۱۶/۸۱a
با ابرجاذب - بستر عمودی	۱۵/۱۲b
بدون ابرجاذب - بستر پهن	۱۰/۷۴c
بدون ابرجاذب - بستر عمودی	۹/۹۵c

میانگین هایی که دارای حروف مشترکند در سطح $P \leq 0.05$ فاقد اختلاف معنی دار آماری هستند.

است، درحالی که بستر پهن افزایش ۱۰ درصدی را نسبت به روش عمودی داراست. هم زمان شدن این دو اثر مطلوب، سبب افزایش درصد ماده خشک ماست تا ۶۸ درصد می شود:

$$\frac{16/81 - 9/95}{9/95} \times 100 = 68\% \quad (2)$$

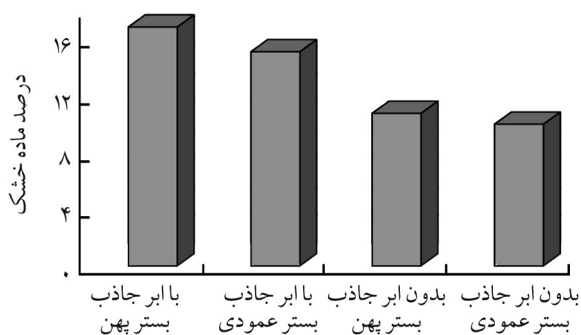
به منظور تفکیک روش های مختلف و مقایسه آنها نمودار سینتیکی تغییرات ماده خشک ماده غذایی در شکل ۵ آورده شده است. این نمودار و جدول ۴ درصد ماده خشک ماست را بر حسب زمان آبگیری نشان می دهد.

اثر متقابل استفاده از ابرجاذب و زمان آبگیری

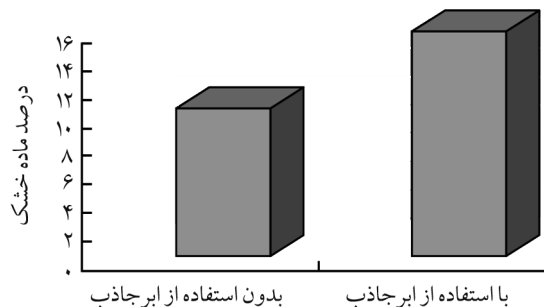
جدول ۵ اثر متقابل دو پارامتر روش آبگیری (استفاده یا عدم استفاده از ابرجاذب) را با زمان آبگیری نشان می دهد. محاسبات انجام گرفته برای به دست آوردن ارقام نشان داده شده در جدول، بر مبنای میانگین های اثر نوع بستر بوده است. نکات قابل ذکر در جدول ۵ بدین شرح است:

الف - بیشترین مقدار درصد وزن خشک پس از ۱۸۰ min با ابرجاذب دست آمده است و کمترین مقدار در نمونه شاهد است.

ب - حداکثر زمان مورد بررسی در حالت بدون ابرجاذب (۱۸۰ min)



شکل ۴- بررسی استفاده از ابرجاذب و روش آبگیری در درصد ماده خشک ماست.



شکل ۲- مقایسه اثر استفاده از ابرجاذب در درصد ماده خشک ماست.

اثر نوع بستر

نتایج بررسی اثر نوع بستر به شکل زیر خلاصه می شود:

استفاده از بستر عمودی $B_1 = 12/533$

استفاده از بستر پهن $B_2 = 13/775$

مطابق شکل ۳ می توان نتیجه گرفت که استفاده از نوع بستر پهن، درصد وزن خشک بیشتری را به نسبت بستر عمودی دارد.

اثر متقابل استفاده از ابرجاذب و نوع بستر

بررسی اثر متقابل دو پارامتر روش (با استفاده از ابرجاذب یا بدون آن) و نوع بستر (بستر عمودی و بستر پهن)، به طور خلاصه در جدول ۳ و شکل ۴ ارائه شده اند.

از نتایج گفته شده چنین استنباط می شود که اولاً حالت استفاده از ابرجاذب در بستر پهن بیشترین درصد وزن خشک ماست را داراست و ثانیاً موارد بدون استفاده از ابرجاذب در بستر پهن و حالت عمودی فاقد اختلاف معنی دار آماری است. نتیجه آن که درصد وزن خشک ماست در حالت عدم استفاده از ابرجاذب به شکل یا وضعیت غشا (پهن یا عمودی بودن آن) بستگی ندارد.

در نتایج حاصل از بررسی جداگانه دو اثر یاد شده ملاحظه می شود که استفاده از ابرجاذب تا ۵۴ درصد افزایش در وزن خشک را ناشی شده



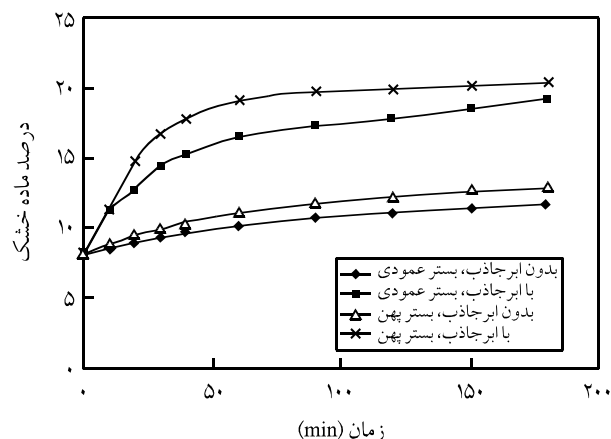
شکل ۳- مقایسه اثر نوع بستر آبگیری در درصد ماده خشک ماست.

جدول ۵- اثر متقابل روش و زمان آبگیری بر تغییرات وزن خشک ماست.

وزن خشک (%)	نمونه (LSD = ۰/۳۶۹۴۰۸۸ و P ≤ ۰/۰۵)
۱۹۷۳a	با ابرجاذب پس از ۱۸۰ min
۱۹۳۲b	با ابرجاذب پس از ۱۵۰ min
۱۸۹۲c	با ابرجاذب پس از ۱۲۰ min
۱۸۴۸d	با ابرجاذب پس از ۹۰ min
۱۷۸۳e	با ابرجاذب پس از ۶۰ min
۱۶۵۵f	با ابرجاذب پس از ۴۰ min
۱۵۶۰g	با ابرجاذب پس از ۳۰ min
۱۳۷۳h	با ابرجاذب پس از ۲۰ min
۱۲۱۲i	بدون ابرجاذب پس از ۱۵۰ min
۱۲۰۵i	بدون ابرجاذب پس از ۱۸۰ min
۱۱۷۷i	بدون ابرجاذب پس از ۱۲۰ min
۱۱۲۸j	با ابرجاذب پس از ۱۰ min
۱۰۵۷j	بدون ابرجاذب پس از ۹۰ min
۱۰۰۸k	بدون ابرجاذب پس از ۶۰ min
۹/۶۰l	بدون ابرجاذب پس از ۴۰ min
۹ m	بدون ابرجاذب پس از ۳۰ min
۹/۱۷n	بدون ابرجاذب پس از ۲۰ min
۸/۶۳o	بدون ابرجاذب پس از ۱۰ min
۸/۲۰p	نمونه شاهد اولیه

میانگین هایی که دارای حروف مشترکند در سطح $P \leq 0/05$ فاقد اختلاف معنی دار آماری هستند.

ابر جاذب تنظیم شده است. نتایج حاصل از جدول ۶ به شرح زیر است:
الف - استفاده از بستر پهن در زمان ۹۰ min نتایج مشابهی را با حالت بستر عمودی در حداکثر زمان اعمال شده (۱۸۰ min) نشان می دهد. یعنی استفاده از یک بستر پهن قادر است زمان آبگیری برای رسیدن به وزن خشک حداکثر را تا حدود نصف کاهش دهد.
ب - در حالت استفاده از بستر پهن، از زمان ۲ h به بعد اختلاف معنی داری در پاسخ آزمایش مشاهده نمی شود. بنابر این در صورت استفاده از بستر پهن پس از گذشت حداکثر ۲ h می توان عملیات آبگیری را متوقف کرد.
ج - تفاوت دو روش بستر پهن و بستر عمودی از زمان های ۱۰ min آغاز و تا زمان ۲ h ادامه می یابد و این اختلاف وجود دارد. زمان های ۳۰، ۶۰ و ۱۵۰ min در آبگیری سنتی (بستر عمودی) به ترتیب با زمان های ۲۰، ۳۰ و ۶۰ min در بستر پهن اختلاف معنی داری ندارند.



شکل ۵- نمودار سینتیکی تغییرات درصد ماده خشک در روش های مختلف.

از زمان ۲۰ min در حالت استفاده از ابرجاذب، بازدهی کمتری دارد.
ج - در حالت عدم استفاده از ابرجاذب، از زمان ۱۲۰ min به بعد اختلاف معنی داری در نتایج مشاهده نمی شود، در حالی که با استفاده از ابرجاذب می توان زمان آبگیری را تا زمان بیشتری ادامه داد.

اثر متقابل پارامترهای نوع بستر و زمان آبگیری

جدول ۶، بررسی هم زمان دو متغیر مربوط به روش آبگیری یعنی بستر عمودی و بستر پهن، همچنین زمان را پس از مرتب شدن (به ترتیب کاهشی) نشان می دهد. این نتایج با میانگین گیری از اثر استفاده از

جدول ۴- اثر زمان بر تغییرات وزن خشک ماست.

زمان (min)	درصد وزن خشک (LSD = ۰/۶۵۲۰۴۷, P ≤ ۰/۰۵)
۰	۸/۲a
۱۰	۹/۹۵۸b
۲۰	۱۱/۴۵۰c
۳۰	۱۲/۶۰۰d
۴۰	۱۳/۳۱۷e
۶۰	۱۴/۲۰۰f
۹۰	۱۴/۸۶۷g
۱۲۰	۱۵/۳۴۲h
۱۵۰	۱۵/۱۷۱i
۱۸۰	۱۵/۸۹۲j

میانگین هایی که دارای حروف مشترکند در سطح $P \leq 0/05$ فاقد اختلاف معنی دار آماری هستند.

جدول ۶- اثر متقابل نوع بستر با زمان تغلیظ بر تغییرات وزن خشک ماست.

وزن خشک (%)	حالت (LSD = ۰/۳۶۹۴۰۸۸ و $P \leq ۰/۰۵$)
۱۶/۴۷a	بستر پهن پس از ۱۵۰ min
۱۶/۳۸a	بستر پهن پس از ۱۸۰ min
۱۶/۲۲a	بستر پهن پس از ۱۲۰ min
۱۵/۷۰b	بستر پهن پس از ۹۰ min
۱۵/۴۰bc	بستر عمودی پس از ۱۸۰ min
۱۵/۱۳cd	بستر پهن پس از ۶۰ min
۱۴/۹۷d	بستر عمودی پس از ۱۵۰ min
۱۴/۴۷e	بستر عمودی پس از ۱۲۰ min
۱۴/۱۳ef	بستر پهن پس از ۴۰ min
۱۴/۰۳f	بستر عمودی پس از ۹۰ min
۱۳/۳۳g	بستر پهن پس از ۳۰ min
۱۳/۲۷g	بستر عمودی پس از ۶۰ min
۱۲/۵۰h	بستر عمودی پس از ۴۰ min
۱۲/۰۷i	بستر پهن پس از ۲۰ min
۱۱/۸۷i	بستر عمودی پس از ۳۰ min
۱۰/۸۳j	بستر عمودی پس از ۲۰ min
۱۰/۱۲k	بستر پهن پس از ۱۰ min
۹/۸۰k	بستر عمودی پس از ۱۰ min
۸/۲۰l	نمونه شاهد اولیه

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترکند در سطح $P \leq ۰/۰۵$ فاقد اختلاف معنی‌دار آماری هستند.

اثر استفاده از ابرجاذب، نوع بستر و زمان تغلیظ

به منظور تحلیل نتایج اثر هم‌زمان سه عامل یاد شده، باید به تعداد حالت‌هایی که سه سطح با هم ایجاد می‌کنند ($۴۰ = ۲ \times ۲ \times ۱۰$) محاسبه و بررسی شود. نتایج این بررسی که به وسیله نرم‌افزار آماری انجام شده است مطابق شکل ۵ به قرار زیر است:

الف - زمان‌های ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ min در بستر پهن و با استفاده از ابرجاذب بیشترین درصد وزن خشک را دارا هستند و با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند. بنابراین، می‌توان فرایند آبگیری را پس از ۱۲۰ min متوقف کرد.

ب - در حالت بستر پهن که از ابرجاذب نیز استفاده شده باشد، تقریباً از زمان ۱ h به بعد، ادامه آبگیری موجب افزایش معنی‌دار درصد وزن خشک ماست نمی‌شود.

ج - گذشت زمان ۳ h در حالت استفاده از ابرجاذب و بستر عمودی، وزن خشکی مشابه روش بستر پهن، پس از ۱ h به دست می‌آید. به عبارت دیگر اگر از ابرجاذب استفاده شده باشد، وجود بستر پهن می‌تواند زمان آبگیری را تا یک سوم کاهش دهد. در زمان‌های عملیاتی کمتر، نتیجه به دست آمده از زمان ۱۲۰ min با روش سنتی با مقدار آن در زمان ۴۰ min روش بستر پهن برابری می‌کند و به همین ترتیب زمان ۶۰ min با ۳۰ و ۳۰ min با ۲۰ min، حدوداً برابر است.

د - نتیجه کلی حاصل از سه مورد یاد شده این است که بهترین زمان و روش آبگیری مربوط به استفاده از ابرجاذب در بستر پهن با زمان ۱ h آبگیری است.

ه - چهار عدد مربوط به گذشت زمان‌های ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ min در بستر پهن و بدون استفاده از ابرجاذب با زمان ۲۰ min در بستر عمودی و با استفاده از ابرجاذب اختلاف معنی‌داری ندارند. این بدان مفهوم است که در حالت بستر پهن و بدون ابرجاذب از زمان ۲ h به بعد ادامه آبگیری موجب افزایش وزن خشک ماست نشده و در صورت استفاده از ابرجاذبی که حتی در اطراف کیسه قرار گرفته باشد، این زمان به ۲۰ min کاهش می‌یابد. این نتیجه مهمی است که می‌تواند در فرایندهای مربوط به آبگیری ماست در کاهش زمان فرایند اثرگذار باشد.

و - برابری معنی‌دار در اعداد مربوط به زمان ۱۵۰ و ۱۸۰ min در حالت بستر عمودی و بدون ابرجاذب با زمان ۱۰ min در حالت بستر پهن و با ابرجاذب گویای آنست که زمان ۱۵۰ min به بعد زمان مناسبی برای پایان آبگیری با روش بستر عمودی و بدون ابرجاذب است. همچنین این روش تا حدود ۱۵ برابر، زمان را به نسبت روش استفاده از ابرجاذب در بستر پهن زیاد کرده است.

ز - روش‌های استفاده از ابرجاذب با بستر عمودی در زمان ۱۰ min با روش بدون استفاده از آن در بستر پهن و زمان ۱ h و روش بدون استفاده از ابرجاذب و بستر عمودی در زمان ۲ h معادل بوده‌اند.

ح - در زمان‌های کمتر از ۱ h در روش استفاده از ابرجاذب و بستر عمودی، اختلاف معنی‌دار بسیار کمتری نسبت به سایر روش‌ها ملاحظه می‌شود، در این زمان‌ها نیز بین روش‌ها اختلاف وجود دارد. مثلاً تفاوت استفاده از بستر پهن و عمودی، در حالت بدون ابرجاذب، اختلاف زمانی ۴۰ min به ۲۰ min را ایجاد می‌کند.

بررسی تغییر مواد جامد محلول حین آبگیری

نتایج حاصل پس از اندازه‌گیری نمونه‌ها در شرایط مختلف نشان می‌دهد که ضریب شکست محلول ماست در شرایط آبگیری با روش‌های

همین حالت، زمان آبگیری به کمتر از نصف کاهش می‌یابد. در ضمن، استفاده از ابرجاذب هیچ تغییری را در درصد مواد جامد محلول در ماست به وجود نمی‌آورد. بدین ترتیب، نتایج حاصل از این تحقیق و بررسی نشان می‌دهد که می‌توان از ابرجاذب پلیمری پایه آکریلی به عنوان ماده‌ای به شدت آب دوست در فرایندهای غیرگرمایی آبگیری از مواد غذایی یا به عنوان کاهش دهنده بار گرمایی استفاده کرد. آنچه برای استفاده کاربردی این ماده مهم است، تأمین شرایط مناسب فرایند است. به عبارت دیگر، در آبگیری از مواد غذایی که زیاد شدن مواد جامد محلول در آنها نیز در طول فرایند مهم است، تدارک شرایط انجام آزمایش به ترتیبی که برای ماست فراهم شد کارساز نیست. یکی از روش‌های پیشنهادی، ساخت غشاهای ویژه به کمک ابرجاذب هاست که هم اکنون در مورد کاربردهای زیستی نیز مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته‌اند.

قدردانی

از آقایان محمدحسین واحدی و ابراهیم میرمحرابی در آزمایشگاه عملیات واحد گروه مهندسی شیمی به دلیل همکاری و تأمین امکانات آزمایشگاهی قدردانی می‌شود.

مراجع

- Buchholz F.L., *Absorbent Polymer Technology*, Peppas L.B. and Harland R.S. (Eds.), Elsevier, Amsterdam, 30, 1990.
- Buchholz F.L. and Graham T., *Modern Superabsorbent Polymer Technology*, Wiley-VCH, New York, 1-152, 1998.
- Zohoorianmehr M.J., *Polymeric-based Superabsorbent Hydrogels, Proceeding of the 2nd Specialty Seminar on the Application of Superabsorbent Hydrogels*, Iran Polymer and Petrochemical Institute, Tehran, 2002.
- Kabiri K., *Acrylic Superabsorbent Hydrogels, Proceeding of the 2nd Specialized Training Course on the Application of Superabsorbent Hydrogels in Agriculture and Industry*, Iran Polymer and Petrochemical Institute, Tehran, 2002.
- Khoshnevis M.R., *Use of Superabsorbent for Improved Irrigation of City Perimeter Forestry and Environment, Proceeding of the 2nd Specialized Training Course on the Application of Superabsorbent Hydrogels in Agriculture and Industry*, Iran Polymer and Petrochemical Institute, Tehran, 2002.
- Rowshan B., *Effect of Superabsorbent on the Quality and Quantity Enhancement of Agricultural Products, Proceeding of the 2nd Specialized Training Course on the Application of Superabsorbent Hydrogels in Agriculture and Industry*, Iran Polymer and Petrochemical Institute, Tehran, 2002.
- Prazeres D.M.F., *Concentration of BSA Using a Superabsorbent Polymer: Process Evaluation, J. Biotech.*, **39**, 157-164, 1995.
- Superabsorbent Polymers Science and Technology*, Buchholz F.L. and Peppas N.A. (Eds.), ACS Symposium Series, 573, 121-124, 1994.
- Park J.H. and Kim D., *Preparation and Characterization of Water Swellable Natural Rubbers, J. Appl. Polym. Sci.*, **80**, 115-121, 2001.
- Sun X., Zhang G., Shi Q., Tang B. and Wu Z., *Study on Forming Water-swallowable EPDM Rubber, J. Appl. Polym. Sci.*, **86**, 3712-3717, 2003.
- Jensen O.M. and Hansen P.F., *Water-entrained Cement-based Materials: Experimental Observations, J. Cement Concrete Res.*, **32**, 973-978, 2002.
- Waker C.O., *Encapsulated Water Absorbent Polymers as Lost Circulation Additives for Aqueous Drilling Fluids, US Pat.* 4,664,816, 1987.
- Hoffman A.S., *Hydrogels for Biomedical Applications, Adv. Drug Deliv. Rev.*, **43**, 3-12, 2002.

نتیجه‌گیری

مختلف تغییری نمی‌کند. این بدان مفهوم است که درصد مواد جامد محلول در ماست تغییری نمی‌کند. همچنین، در جداسازی آب از ماست با روش کنونی، مواد جامد محلول نیز جابه‌جا می‌شوند به نحوی که درصد این مواد در دو طرف غشای تراوا برابر است.

در پژوهش حاضر کاربرد جدیدی برای هیدروژل‌های ابرجاذب آکریلی در صنایع غذایی به منظور آبگیری از ماست معرفی و آزمایش‌های مختلفی برای اثر عوامل مؤثر در این عملیات انجام شده است. نتایج تجربی پس از جمع‌آوری و تحلیل آماری نشان دادند که استفاده از ماده ابرجاذب در مجاورت غشای مورد استفاده در آبگیری ماست در مقایسه با روش سنتی و معمول آن، سبب افزایش سرعت خروج آب شده و حدود ۵۴ درصد افزایش در مقدار وزن خشک ماست را موجب می‌شود. با هم‌زمان شدن آثار استفاده از ابرجاذب و همچنین بستر پهن به جای بستر عمودی، به طور میانگین ۷۰ درصد افزایش در مقدار ماده خشک باقی‌مانده در ماست، نسبت به روش سنتی آبگیری به وجود می‌آید. در

14. Emileh A., Vasheghani-Farahani E. and Imani M., Swelling Behavior, Mechanical Properties and Network Parameters of pH- and Temperature-sensitive Hydrogels of Poly((2-dimethyl amino) ethyl methacrylate-co-butyl methacrylate), *Eur. Polym. J.*, **43**, 1986-1995, 2007.
15. Gao D., Heimann R.B., Lerchner J., Seidel J. and Wolf G., Development of a Novel Moisture Sensor Based on Superabsorbent Poly(acrylamide)-Montmorillonite Composite Hydrogels, *J. Mater. Sci.*, **36**, 4567-4571, 2001.
16. Han I.S., Han M.H., Kim J., Lew S., Lee Y.J., Horkay F. and Magda J.J., Constant-Volume Hydrogel Osmometer: A New Device Concept for Miniature Biosensors, *Biomacromolecules*, **3**, 1271-1275, 2002.
17. Kim S.J., Kim H.I., Park S.J. and Kim S.I., Shape Change Characteristics of Polymer Hydrogel Based on Polyacrylic Acid/Poly(vinyl sulfonic acid) in Electric Fields, *Sensors and Actuators A: Physical*, **115**, 146-150, 2004.
18. Dorkoosh F.A., Verhoef J.C., Borochard G., Tehrani M.R. and Junginger E., Development and Characterization of a Novel Peptide Drug Delivery System, *J. Control. Rel.*, **71**, 307-318, 2001.
19. Khorram M. and Vasheghani-Farahani E., Fast Responsive Thermosensitive Hydrogels as Drug Delivery Systems, *Iran. Polym. J.*, **12**, 316-322, 2003.
20. Ziaie B., Baldi A., Lei M., Gu Y. and Siegel R.A., Hard and Soft Micromachining for BioMEMS: Review of Techniques and Examples of Applications in Microfluidics and Drug Delivery, *Adv. Drug Deliv. Rev.*, **56**, 145-172, 2004.
21. Khorram M., Vasheghani-Farahani E. and Dinarvand R., Preparation of Poly(-isopropylacrylamide) Hollow Beads as Reservoir Drug Delivery Systems, *J. Control. Rel.*, **116**, 31-33, 2006.
22. Pourjavadi A., Barzegar S. and Zeidabadi F., Synthesis and Properties of Biodegradable Hydrogels of Kappa-Carrageenan Grafted Acrylic Acid-co-2-Acrylamido-2-Methylpropanesulfonic Acid as Candidates for Drug Delivery Systems, *React. Funct. Polym.*, **67**, 644-654, 2007.
23. Abd El-Rehim H.A., Hegazy E.A., Khalil F.H. and Hamed N.A., Radiation Preparation of Drug Carriers Based Polyacrylic Acid (PAAc) Using Poly(vinyl pyrrolidone) (PVP) as a Template Polymer, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, **254**, 105-112, 2007.
24. Onuki Y., Nishikawa M., Morishita M. and Takayama K., Development of Photocrosslinked Polyacrylic Acid Hydrogel as an Adhesive for Dermatological Patches: Involvement of Formulation Factors in Physical Properties and Pharmacological Effects, *Int. J. Pharm.*, **349**, 47-52, 2008.
25. Gehrke S.H., Andrews G.P. and Cussler E.L., Chemical Aspects of Gel Extraction, *Chem. Eng. Sci.*, **41**, 2153-2160, 1986.
26. Freitas R.F.S. and Cussler E.L., Temperature Sensitive Gels as Extraction Solvents, *Chem. Eng. Sci.*, **42**, 97-103, 1987.
27. Vasheghani-Farahani E., Vera J.H., Cooper D.G. and Weber M.E., Enzyme Concentration with Polymer Gels, *Proceeding of the 37th Canadian Chemical Engineering Conference*, Montreal, Quebec, 344-346, 1987.
28. Vasheghani-Farahani E., Cooper D.G., Vera J.H. and Weber M.E., Concentration of Large Biomolecules with Hydrogels, *Chem. Eng. Sci.*, **47**, 31-40, 1992.
29. Li W., Zhao H., Teasdale P.R., John R. and Zhang S., Synthesis and Characterisation of a Polyacrylamide-Polyacrylic Acid Copolymer Hydrogel for Environmental Analysis of Cu and Cd, *React. Funct. Polym.*, **52**, 31-41, 2002.
30. Kim H.I., Park S.J., Kim S.I., Kim N.G. and Kim S.J., Electroactive Polymer Hydrogels Composed of Polyacrylic Acid and Poly(vinyl sulfonic acid) Copolymer for Application of Biomaterial, *Synth. Met.*, **155**, 674-676, 2005.
31. Paxton R.A., Al-Jumaily A.M. and Eastal A.J., An Experimental Investigation on the Development of Hydrogels for Optical Applications, *Polym. Test.*, **22**, 371-374, 2003.
32. Tamime, A.Y. and Robinson, R.K. *Yoghurt Science and Technology*, 2nd ed., Wood Head, UK, Chap. 9, 515-534, 1999.
33. De Man J.M., *Principles of Food Chemistry*, 3rd ed., Gaithersburg, USA, Chap. 3, 111-162, 1999.
34. Fennema O.R., *Food Chemistry*, 3rd ed., Marcel Dekker, New York, Chap. 14, 841-878, 1996.
35. McCabe W.L., Smith J.C. and Harriott P., *Unit Operations of Chemical Engineering*, 6th ed., McGraw-Hill, Chap. 29, 1001-1084, 2001.
36. Fellows P.J., *Food Processing Technology: Principles and Practice*, 2nd ed., Wood Head, CRC, UK, Part II, 2000.
37. Grandison A.S. and Lewis M.J., *Separation Process in the Food and Biotechnology Industries: Principles and Applications*, Wood Head, UK, Chap. 4, 97-140, 1996.
38. Standard No. 326 (Revised), *Milk and Dairy Product Sampling Methods*, Standard and Industrial Research Institute of Iran, 2003.
39. Standard No. 695 (Revised), *Yoghurt*, Standard and Industrial Research Institute of Iran, 2003.
40. Standard No. 637, *Determination of Dry Matter Content in Milk Products*, Standard and Industrial Research Institute of Iran, 1999.