# غنی‌سازی پنیر خامه‌ای کم چرب بر پایه نانوامولسیون‌های بتاسیکلودکسترین- اینولین با ویتامین‌های E و D

مریم طاهری[a]، تکتم مستقیم[*b]

[a] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
[b] استادیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۱۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۰۳
https://dorl.net/dor/20.1001.1.20080123.1400.18.3.6.4

## چکیده

**مقدمه:** غنی‌سازی مواد غذایی، شیوه‌ای برای جبران کمبود ریز مغذی‌ها در جامعه است که تمام کشورهای دنیا از آن استفاده می‌کنند تا کمبود مواد مغذی ضروری را به حداقل رسانده یا آن را تحت کنترل درآورند. در این میان پنیر خامه‌ای با توجه به دامنه گسترده استفاده از آن حامل مناسبی برای غنی‌سازی محسوب می گردد. هدف از این تحقیق غنی‌سازی پنیر خامه‌ای کم چرب بر پایه نانوامولسیون‌های بتاسیکلودکسترین/ اینولین با ویتامین‌های D و E می باشد.

**مواد و روش‌ها:** ابتدا نانوامولسیون‌ها با مقادیر ۴۰۰، ۴۵۰ و ۵۰۰ واحد ویتامین E و ۵ ، ۱۰ و ۱۵ میکروگرم برگرم ویتامین D تهیه شد. سپس آزمون‌های میزان مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد (فعالیت آنتی‌اکسیدانی)، میزان به دام‌اندازی، میزان آزاد سازی و اندازه نانوامولسیون‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمون‌های پنیر خامه‌ای شامل ارزیابی درصد اسیدیته، چربی، رطوبت، ویژگی‌های بافتی (سختی، چسبندگی و ارتجاعی) و اندیس پراکسید بودند. ویژگی‌های حسی (طعم ومزه، بافت، رنگ ظاهری، عطر و بو و پذیرش کلی) با روش هدونیک ۵ امتیازی مورد ارزیابی قرار گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که با افزایش میزان استفاده از این دو ویتامین ویژگی‌های ریخت‌شناسی نانوامولسیون‌ها تغییر و اندازه آن‌ها افزایش یافت. میزان به دام‌اندازی از ۶۵ تا ۹۸ درصد و میزان رهایش در محدوده ۶۱ تا ۸۴ درصد متغیر بود. نتایج نشان داد که در طی زمان نگهداری پنیر در بازه‌های زمانی روزهای تولید، پانزدهم، سی ام، چهل و پنجم و شصتم نگهداری میزان شاخص سختی، چسبندگی، میزان اسیدیته و عدد پراکسید به طور معنی داری افزایش ($p\leq$۰/۰۵) و درصد رطوبت، شاخص ارتجاعی و ویژگی های حسی به طور معنی داری کاهش یافت ($p\leq$۰/۰۵). درصد چربی تیمارهای پنیر اختلافات معنی‌داری با تیمار شاهد نشان نداد ($p>$۰/۰۵).

**نتیجه گیری:** با در نظر گرفتن کلیه ویژگی های فیزیکوشیمیایی و نتایج ارزیابی حسی، تیمار دارای ۴۵۰ واحد ویتامین E و ۵ میکروگرم بر گرم ویتامین D به عنوان تیمار بهینه انتخاب گردید.

***واژه‌های کلیدی:*** *اینولین، بتاسیکلودکسترین، پنیر خامه ای، غنی سازی، نانوامولسیون، ویتامین D، ویتامین E*

[*] نویسنده مسئول مکاتبات email: toktammostaghim@yahoo.com

## مقدمه

غنی‌سازی مواد غذایی یکی از ۴ استراتژی مهم در بحث کنترل و پیشگیری از کمبود ریز مغذی‌هاست (Rastmanesh, 2007). ویتامین D، یک ویتامین محلول در چربی بوده که در هفت شکل وجود دارد که از این میان دو شکل$D_3$ (کوله کلسیفرول) و $D_2$ (ارگو کلسیفرول) از اهمیت بیشتری برخوردار هستند .از این دو نوع، نیاز به ویتامین $D_3$بیشتر است، زیرا تاثیر آن در افزایش سطح ویتامین D خون دو برابر $D_2$ است. مهم‌ترین منبع ویتامین D سنتز پوستی نور خورشید است. همچنین ویتامین D می‌تواند از منابع غذایی مانند ماهی های چرب، روغن ماهی، غذاهای غنی شده و مکمل‌های ویتامینی به دست آید. شیوع کمبود ویتامین D در کودکان و نوجوانان سالم و بزرگسالان کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته به طور گسترده‌ای در چند سال اخیر گزارش شده است ( Ovesen *et al*., 2003). اگر چه دریافت مقادیر کافی این ویتامین برای کلیه گروه‌های سنی از طریق مصرف مکمل‌های دارویی میسراست (Bilek *et al*., 2009) ولی کمبود آن را می‌توان با تشویق به قرار گرفتن در معرض نور آفتاب، بهبود رژیم غذایی، به‌عنوان مثال بهبود توسط ماهی و روغن کبد کاد، غنی سازی مواد غذایی و مکمل ویتامین D جبران نمود. آلودگی هوا نیز مسئله مهم دیگری است که در اغلب شهرهای بزرگ بر میزان کمبود ویتامین D اثر دارد. کمبود ویتامین D در جنوب اروپا، خاورمیانه و در کشورهای آسیایی بیشتر از همه متداول است و به وسیله‌ی تابش میزان کم اشعه خورشید، رنگ پوست، آلودگی هوا، پوشش پوست و میزان کم مصرف ویتامین D پدید می‌آید. این اثرات به وسیله مصرف پایین کلسیم تشدید شده و گروه-های در معرض خطر شامل کودکان شیرخوار، زنان باردار و افراد مسن می‌باشند. عوارض کمبود ویتامین D از جمله عواملی است که ضرورت این تحقیق را ایجاد می نماید. نقش و اهمیت ویتامین D نیز در درمان بیماری‌ها نیز به اثبات رسیده است (Mottaghi *et al*., 2013). ویتامین E (آلفاتوکوفرول) مهم‌ترین ماده ضد اکسایشی زنجیره شکن محلول در چربی بدن است. هر چند این ویتامین تقریبا ضمیمه غشاء دو لایه سلول می‌باشد اما بخش عمده ویتامین E بافتی در غشاء داخلی میتوکندری قرار دارد یعنی جایی که زنجیره انتقال الکترونی آنجاست. اعتقاد بر این است که ویتامین E، موجب مهار تولید گونه‌های اکسیژنی فعال و رادیکال‌های پروکسیل لیپیدی می‌شود و میزان پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیر اشباع چندگانه فسفولیپیدهای غشاء، آسیب‌های اکسایش لیپوپروتئین‌های کم چگالی، پروتئین‌های سلولی DNA و تخریب غشاء را کاهش می‌دهد. تغذیه و دریافت مکمل‌های آنتی‌اکسیدانی، نقش مهمی در افزایش توان آنتی‌اکسیدانی بدن ایفاء می-کند. ریزپوشانی یک فناوری مهم صنعتی برای پوشش‌دهی مایعات، جامدات و گازها در پوشینه‌های بسیار کوچک می-باشد. این پوشینه‌ها می‌توانند محتویات خود را با سرعتی کنترل شده و یا در شرایط خاص تعریف شده، آزاد نمایند. متداول ترین ترکیبات پوششی مورد استفاده برای پوشش-دهی شامل پلیمرهای با درجه غذایی مانند آلژینات، کیتوزان، کربوکسی متیل سلولز، کاپاکاراگینان، ژلاتین، پکتین، ژلان، آگارز، زانتان و لوبیای لوکاست هستند. از جمله روش‌های ریز پوشانی می‌توان به خشک کردن پاششی، خشک کردن انجمادی، پوشش‌دهی به طریق بستر شناور، اکستروژن، کریستالیزاسیون مرکب، دخول ملکولی و کوآسرواسیون[1] اشاره کرد. یکی از این محصولات پنیر خامه‌ای کم چرب است. ویژگی‌های شیمیایی پنیر خامه‌ای که در استاندارد ملی ایران موجود می‌باشد، شامل حداقل ۲۴ درصد چربی کل، ۵ درصد پروتیین بر پایه وزن پنیر و ۶۷ درصد رطوبت است ( ISIRI No. 5881, 2003). رژیم غذایی پر چرب باعث افزایش شیوع چاقی، بیماری‌های قلبی – عروقی، فشار خون، مقاومت انسولینی و سرطان‌های خاص مانند سینه، پروستات و کولون می‌شود. طبق پیشنهاد RDA[2]، میزان چربی مواد غذایی باید کاهش یابد و یا توسط فرایندهای معتبر ارائه شده با ترکیبات خاص جایگزین گردد (Pinto *et al*., 2004). درزمینه غنی‌سازی محصولات لبنی با ویتامین‌های D و E پژوهش های صورت گرفته نشان داد که وقتی غنی‌سازی به طور مستقیم به شیر پنیرسازی انجام شد، بیش از ۸۰ ٪ ویتامین۳D در پنیر، بدون در نظرگرفتن شکل غنی سازی حفظ شد و ویتامین D۳ غنی شده با این روش به مدت ۹ ماه در پنیر چدار با ثبات بود ( Hosseinchi Qareh Aghaj *et al*.,

[1] Coaservation [2] Recommended Daily as safe

2014). دربرخی از پژوهش‌ها از نانولیپوزوم ها به عنوان حامل مناسب این ویتامین‌ها استفاده شد که توانسته است پایداری فیزیکی ویتامین را بهبود بخشد. در منحنی‌های DSC مربوط به نانولیپوزوم حاوی ویتامین D، پیک ویتامین حذف شده بود که نشان دهنده این است ویتامین تشکیل کمپلکس داده و به صورت کامل در ساختار نانولیپوزوم‌ها قرار گرفته است (Mohammadi *et al*., 2013; Hadian *et al*., 2014). مقایسه نانو امولسیون-های ویتامینE در مقایسه با حالت آزاد این ویتامین نشان داد تکنیک نانوامولسیفیکاسیون می‌تواند ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و کاری را اصلاح کند و موجب افزایش مقاومت ویتامین شود (Diane *et al*., 2014). غنی‌سازی شیر با ویتامین $D_3$ پوشش داده شده با نانو کپسول‌های چربی نیز منجر به تولید محصولی جدید با خواص تغذیه‌ای بالا گردید (Kiani *et al*., 2017). در تحقیقی مشابه از اینولین- بتاسیکلودکسترین در پوشش‌دهی نانو ذرات بلوبری استفاده شد که نتایج بدست آمده حاکی از تقویت ویژگی‌های حسی و بهبود خواص فیزیکوشیمیایی محصول بود و سطوح مختلف مواد دیواره ای تفاوت کامل معنی-داری با اندازه قطر ذرات، روغن سطحی و راندمان کپسولاسیون داشت. (Mazloom *et al*., 2014).

در این تحقیق جهت غنی‌سازی پنیر خامه ای کم چرب بر پایه نانوامولسیون‌های بتاسیکلودکسترین- اینولین از ویتامین‌های D و E استفاده شد.

## مواد و روش ها

### - تهیه و فرمولاسیون نانوامولسیون‌های بتا سیکلودکسترین- اینولین حاوی ویتامین D و E

روش تولید نانوامولسیون به این ترتیب بود که ابتدا ویتامین‌های D و E و توین ۸۰ و توین ۲۰ با هم مخلوط شد و برای تولید نانوامولسیون، فاز آلی حاوی سورفاکتانت هیدروفیل و ویتامین E به عنوان فاز روغن به فاز آبی اضافه شد. سرعت افزودن فاز آلی به آبی در تمامی فرمولاسیون ها ثابت بود. در ادامه سیستم به منظور رسیدن به حالت تعادل، همزده شد. سپس استوک اینولین و بتاسیکلودکسترین با درصد وزنی ۱: ۱ تهیه شد و به صورت قطره قطره با سرنگ به امولسیون در حال هم خوردن اضافه شد. بعد از یک ساعت به هم خوردن، امولسیون‌ها به اواپراتور تحت خلاء جهت جداسازی حلال منتقل گردید سپس نانوامولسیون‌های تشکیل شده جدا شد (Astray, 2009).

### - تهیه نمونه های پنیر خامه‌ای

هدف از این تحقیق، غنی‌سازی پنیر خامه ای کم چرب بر پایه نانوامولسیون‌های ذکر شده با ویتامین‌های D و E جهت افزایش سلامت مصرف کننده و جبران کمبود این دو ویتامین در جامعه بود. در خط تولید کارخانه شیر پاستوریزه پگاه تهران برای تهیه نمونه های پنیر خامه‌ای ابتدا شیر پس چرخ و خامه مخلوط و سپس پاستوریزه و هموژنیزه شد. دمای مخلوط حاصل در حدود ۲۳ درجه سانتی‌گراد تنظیم و درون تانک انعقاد، استارتر پنیر خامه ای از نوع مزوفیل با نام تجاری Di-prox M272 به میزان ۳ درصد اضافه گردید. پس از ۱۲ ساعت لخته تشکیل شد و مخلوط همزده شده از طریق منوپمپ به سوی مبدل حرارتی هدایت و دمای آن تا ۸۲ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. عملیات آبگیری با سپراتور انجام و به میزان کمتر از ۱ درصد نمک اضافه شد (CAC, 1973). نانوامولسیون‌های حاوی ویتامین در مرحله قبل از پرکردن به میزان ۱ سی سی در ۱۰۰ گرم به نمونه پنیر خامه ای اضافه و سپس سردخانه‌گذاری انجام شد. کلیه آزمون‌های پنیر خامه ای ۲۷ درصد چربی در بازه‌های زمانی روز صفرم (روز تولید)، پانزدهم، سی ام، چهل و پنجم و شصتم انجام شد. آنالیز ترکیبات شیمیایی پنیر خامه‌ای تولید شده در جدول ۱ مشاهده می‌گردد:

**جدول ۱- ترکیبات تشکیل دهنده پنیر خامه‌ای کم چرب**

| ردیف | ترکیبات شیمیایی پنیر خامه‌ای | مقدار (درصد) |
|---|---|---|
| ۱ | ماده جامد کل | ۳۷/۸۲ |
| ۲ | رطوبت | ۶۲/۱۸ |
| ۳ | چربی | ۲۷/۰۱ |
| ۴ | پروتئین | ۶/۲۳ |
| ۵ | pH | ۴/۸ |
| ۶ | اسیدیته | ۰/۶۱ |
| ۷ | نمک | ۰/۸۶ |

### - کد بندی تیمارهای تحقیق

کدبندی تیمارهای تحقیق براساس مقادیر ویتامین D و E بوده و تیمار شاهد نانو امولسیون فاقد ویتامین می‌باشد.

**جدول ۲- کدبندی تیمارهای تحقیق**

| کد تیمار | ویتامین D (µg/g) | ویتامین E (IU) |
|---|---|---|
| T1 | ۵ | ۴۰۰ |
| T2 | ۵ | ۴۵۰ |
| T3 | ۵ | ۵۰۰ |
| T4 | ۱۰ | ۴۰۰ |
| T5 | ۱۰ | ۴۵۰ |
| T6 | ۱۰ | ۵۰۰ |
| T7 | ۱۵ | ۴۰۰ |
| T8 | ۱۵ | ۴۵۰ |
| T9 | ۱۵ | ۵۰۰ |

**- ارزیابی ویژگی‌های ریخت‌شناسی نانوامولسیون‌های بتاسیکلودکسترین- اینولین حاوی ویتامین‌های D و E**

ویژگی‌های شکلی و ساختاری نانوامولسیون‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی SEM پس از خشک کردن نمونه و پوشش‌دهی نانوذرات با طلا در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران بررسی شد (Chen *et al.*, 2006).

**- ارزیابی ویژگی‌های به دام‌اندازی و رهایش ویتامین های D و E**

برای تعیین میزان به دام اندازی ویتامین‌های D و E، مقدار ۳۰ میلی‌گرم از نانوامولسیون‌های خشک شده توزین و در ۲۵ میلی لیتر از بافر سالین فسفات بافر (PBS[1]) با pH=7.4 حل شد. مخلوط حاصل در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ گردید. غلظت ویتامین‌های D و E در محلول فوقانی با استفاده از اسپکتروفتومتری طیف مرئی در طول موج ۴۴۵ نانومتر مطابق با منحنی استاندارد تعیین شد (Chen *et al.*, 2006).

**- بررسی اندازه و نحوه توزیع نانوامولسیون‌های حاوی ویتامین‌های D وE**

برای بررسی اندازه و نحوه توزیع نانوامولسیون‌ها، نانوامولسیون‌های تازه تهیه شده در آب مقطر حاوی ۸۰ Tween ۱٪ وزنی/وزنی فیلتر شده از طریق فیلترسکه‌ای با سایز ۰/۲ میکرومتر حل شد. سپس با دستگاه زتا سایزر مدل (Malvern Instruments, South-borough, MA, USA) مورد بررسی قرار گرفت (Chen *et al.*, 2006).

**- ارزیابی فعالیت آنتی اکسیدانی با استفاده از روش DPPH**

در این روش محلول DPPH به میزان (۰/۱ میلی مول) در متانول با حل کردن ۳/۹ میلی گرم DPPH در ۱۰۰ میلی‌لیتر متانول تهیه شد. محلول در محل تاریک نگه داری شده و قبل از استفاده به شدت تکان داده و در مکان تاریک انکوبه شد. پس از سه دقیقه، جذب محلول حاصل در ۵۱۷ نانومتر با استفاده از یک اسپکتروفتومتر نورمرئی با یک نمونه شاهد مقایسه شد. نمونه خالص با همان غلظت مورد استفاده در تهیه نانوامولسیون‌ها برای تهیه منحنی کالیبراسیون مورد استفاده قرار گرفت (Soo *et al.*, 2015).

**- ارزیابی بافت**

برای آزمون TPA(Texture Profile Analysis) از دستگاه(Texture Analyzer (CNS Farnel QTS 25 ساخت کشور انگلستان و پروب استوانه‌ای به قطر ۳۶ میلی‌متر استفاده شد. نمونه‌های پنیر بلافاصله قبل از آزمایش از یخچال خارج و پس از برش به ابعاد (۲۰×۲۰×۲۰) تا ۵۰ درصد ارتفاع اولیه (عمق ۱۰ میلی متری) توسط دستگاه فشرده شد. هر آزمون حداقل در سه تکرار انجام شد. برای جلوگیری از اصطکاک و چسبیدن پنیر به دستگاه، سطح پروب و صفحه‌ی ثابت دستگاه قبل از آزمایش به روغن مایع آغشته شد. شاخص‌های تحت آزمون شامل سختی، پیوستگی و حالت ارتجاعی بودند. لازم به ذکر است که آزمون TPA یک آزمون دو مرحله‌ای است و شاخص‌های مذکور با توجه به منحنی استاندارد TPA تعریف شدند (Beygomi *et al.*, 2013).

**- ارزیابی درصد رطوبت**

مقدار رطوبت نمونه‌ها برحسب درصد مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۵۸۸۱ تعیین شد. (ISIRI No. 5881, 2003).

[1] Phosphate Saline Buffer

**- ارزیابی عدد پراکسید**

برای اندازه‌گیری عدد پراکسید پنیر ۰/۰۲ گرم روغن استخراج شده از پنیر با ۱۵ میلی‌لیتر محلول کلروفرم/ متانول (۳:۷ حجمی/حجمی) مخلوط شد. سپس به آن ۰/۲ میلی‌لیتر محلول کلرید آهن تیوسیانات آمونیوم ۴ مولار اضافه شد و با محلول کلروفرم/ متانول به حجم ۲۵ میلی-لیتر رسید، محلول به مدت ۵ دقیقه در تاریکی نگهداری و سپس جذب نوری آن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در ۵۰۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. نتیجه بر اساس میلی اکی والان گرم اکسیژن در هر کیلوگرم چربی بیان شد( Rafiei *et al.*, 2015).

**- ارزیابی اسیدیته**

اسیدیته بر حسب درصد اسید لاکتیک بصورت زیر محاسبه شد:

N×۰/۰۰۹×۱۰۰/M1×حجم بالن مورد استفاده/V= درصد اسیدیته

N =مقدار میلی لیتر سود ۰/۱ نرمال

M1 = وزن نمونه پنیر برابر ۲۰ گرم

V = حجم آزمونه برابر ۲۵ میلی لیتر

**- ارزیابی درصد چربی**

اندازه‌گیری چربی کل به روش ون گولیک مطابق با استاندارد ملی شماره ۸۷۸۵ انجام شد ( ISIRI No. 8785, 1999).

**- روش انجام آزمون حسی**

ارزیابی حسی توسط ۱۵ ارزیاب آموزش دیده انجام شد. آزمون امتیازدهی به ویژگی‌های بافت، طعم و بو، رنگ ظاهری و پذیرش کلی پنیر در قالب مقیاس هدونیک ۵ امتیازی (از خیلی بد۱، تا خیلی خوب ۵) انجام شد. نمونه-های ۱۰۰ گرمی مدتی قبل از سردخانه خارج شده و پس از رسیدن به دمای محیط، در قطعات ۵۰ گرمی در اختیار داوران قرار گرفت. داوران نمونه‌ها را از نظر طعم، بافت، بو، رنگ و پذیرش کلی مورد ارزیابی قرار دادند ( Rashidi *et al.*, 2011).

**- تجزیه و تحلیل آماری**

برای تجزیه و تحلیل داده ها طرح کاملا تصادفی در سه تکرار مورد استفاده قرار گرفت. یافته ها با کمک آنالیز واریانس ANOVA و تعیین میانگین و انحراف معیار جهت مقایسه تیمارها در سطح $\alpha=0/05$ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای این منظور، نرم‌افزار آماری SAS[1] نسخه-ی ۸ به کاربرده شد. برای بررسی وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین ها، از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد استفاده شد.

## یافته‌ها

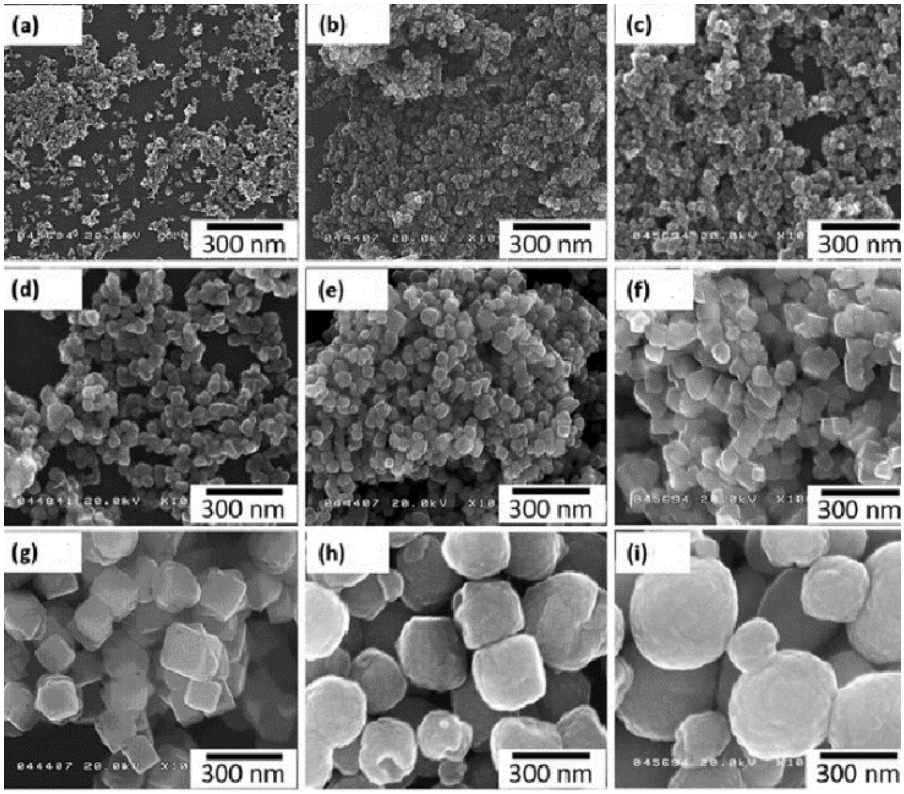
شکل ۱ تصاویر میکروسکوپ الکترونی SEM نانوامولسیون‌های بتاسیکلودکسترین- اینولین حاوی ویتامین‌های D و E را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، با افزایش میزان استفاده از ویتامین‌های D و E در فرمولاسیون نانوامولسیون‌ها، اندازه ذرات نانوامولسیون‌ها افزایش یافته است. به طوری که در تیمارهای T1 و T2 نانوذرات با اشکال کروی و اندازه ذرات بسیار کوچک و مجزا مشهود بوده و در نانوامولسیون های با مقادیر بالاتر، اندازه ذرات بزرگ‌تر و با تفکیک پذیری بیشتر مشاهده می‌شود. استفاده از اینولین و بتا سیکلودکسترین فرم و شکل نانوامولسیون‌ها را تغییر داده و موجب شده تا به صورت اشکال خوشه ای با تراکم بالا مشاهده شوند.

با توجه به جدول ۳ اختلافات معنی‌داری بین میزان به دام‌اندازی و آزادسازی ویتامین‌های E و D و همچنین اندازه نانوامولسیون‌ها وجود داشت ($p\leq$۰/۰۵). با مقایسه تیمارهای T1 تا T9 در حالت کلی با افزایش میزان ویتامین D روند افزایشی معنی‌دار در میزان به دام اندازی و آزادسازی مشاهده شد. ولی در مقادیر ثابت ویتامین D در تیمارهای سه گانه (T1 تا T3 ، T4 تا T6 و T7 تا T9)، با افزایش میزان استفاده از ویتامین E میزان به دام اندازی و آزادسازی به طور معنی‌داری ابتدا افزایش و سپس کاهش نشان داد ($p\leq$۰/۰۵). بالاترین میزان آزادسازی و به دام-اندازی ویتامین E و D به تیمار T8 و کمترین میزان آزادسازی و به دام اندازی نانوذرات به تیمار T3 تعلق داشت

[1] Statistical Analysis Software

($p\leq$۰/۰۵). از نظر اندازه نانوذرات نیز با افزایش مقادیر ویتامین‌ها، روند افزایشی معنی‌دار در تیمارها مشاهده شد به طوری‌که تیمار T1 دارای کوچک ترین و تیمار T9 دارای بزرگ ترین اندازه ذرات بودند ($p\leq$۰/۰۵).

همان طور که در نمودار ۱ مشاهده می‌شود، در مقادیر ثابت ویتامین D، در تیمارهای سه گانه (T1 تا T3 ، T4 تا T6 و T7 تا T9) با افزایش مقادیر ویتامین E درصد مهار کنندگی رادیکال‌های آزاد، ابتدا افزایش و سپس کاهش معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) نشان می‌دهد. ولی روند کلی میانگین تغییرات آنتی‌اکسیدانی، در هر گروه از تیمارهای سه گانه نامبرده در مقادیر یکسان ویتامین E، با افزایش ویتامین D دارای کاهش معنی‌دار می‌باشد ($p\leq$۰/۰۵). در این نمودار، تیمار T2 دارای بالاترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی بوده و با افزایش میزان ویتامین D (به ترتیب در تیمارهای T5 و T8) از میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی تیمارها کاسته می‌گردد.




**شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ نانوامولسیون های بتاسیکلودکسترین- اینولین حاوی ویتامین های D و E**
**( a تا i به ترتیب تیمارهای T1 تا T9 )**

**جدول ۳ - مقایسه میانگین به دام اندازی و میزان آزاد سازی ویتامین D و E**

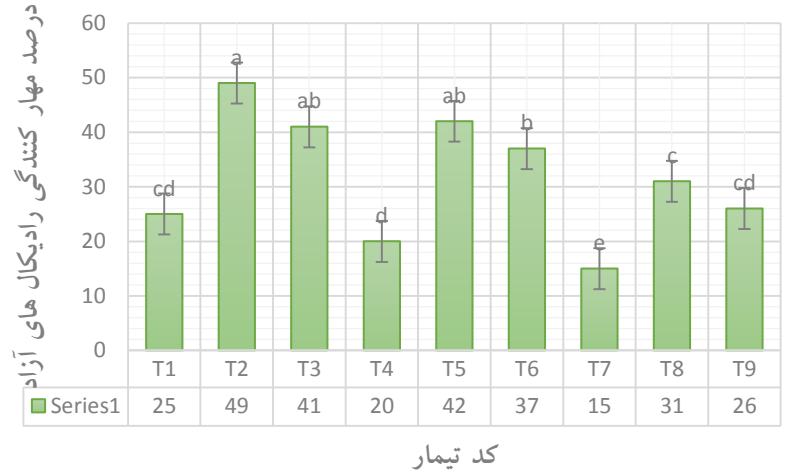
| کد تیمار | میزان به دام اندازی(٪) | میزان آزاد سازی(٪) | اندازه ذرات (nm) |
|---|---|---|---|
| T1 | ۸۲±۰/۰۱ $^{aA}$ | ۷۳±۰/۰۱ $^{aA}$ | ۱۲۳±۰/۰۱ $^{a}$ |
| T2 | ۸۷±۰/۰۱ $^{bA}$ | ۷۹±۰/۰۱ $^{bA}$ | ۱۲۶±۰/۰۱ $^{a}$ |
| T3 | ۶۵±۰/۰۲ $^{cA}$ | ۶۱±۰/۰۲ $^{cA}$ | ۱۵۶±۰/۰۱ $^{b}$ |
| T4 | ۸۹±۰/۰۰ $^{aB}$ | ۷۸±۰/۰۱ $^{aB}$ | ۱۶۷±۰/۰۱ $^{c}$ |
| T5 | ۹۱±۰/۰۱ $^{bB}$ | ۸۲±۰/۰۳ $^{bB}$ | ۱۷۲±۰/۰۱ $^{d}$ |
| T6 | ۸۲±۰/۰۲ $^{cB}$ | ۷۱±۰/۰۱ $^{cB}$ | ۱۸۴±۰/۰۱ $^{e}$ |
| T7 | ۹۵±۰/۰۲ $^{aC}$ | ۸۱±۰/۰۱ $^{aC}$ | ۱۹۲±۰/۰۱ $^{f}$ |
| T8 | ۹۸±۰/۰۰ $^{bC}$ | ۸۴±۰/۰۱ $^{bC}$ | ۲۷۸±۰/۰۱ $^{g}$ |
| T9 | ۸۷±۰/۰۱ $^{cC}$ | ۷۹±۰/۰۰ $^{cC}$ | ۳۴۴±۰/۰۱ $^{h}$ |

* داده میانگین± انحراف معیار هستند.

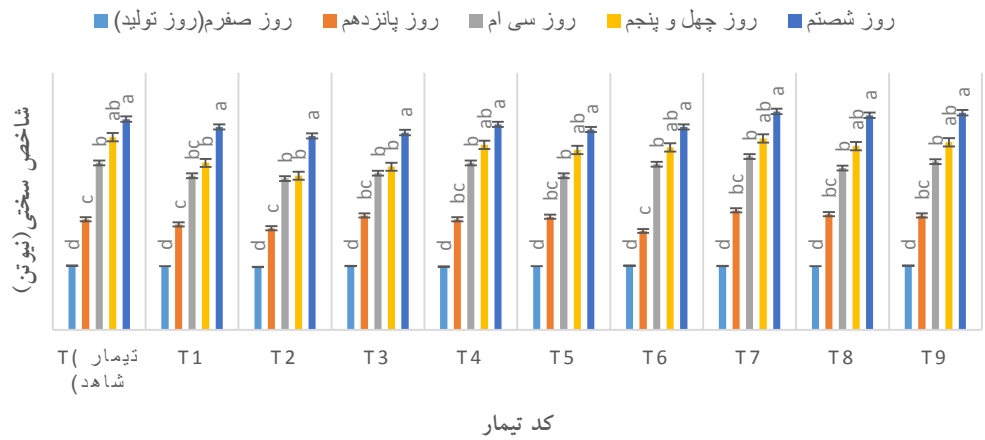
با توجه به نمودار ۲ مشاهده شد که در طی زمان نگهداری از روز تولید تا روز شصتم میزان شاخص سختی کلیه تیمارها به‌طور معنی‌داری با افزایش مواجه بود ($p\leq$۰/۰۵) ولی اختلاف معنی داری در تیمارهای مختلف با مقادیر متفاوت ویتامین‌های D و E مشاهده نشد.

با توجه به نمودار ۳ مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری بین میانگین شاخص چسبندگی تیمار شاهد با سایر تیمارها در روز صفرم (تولید) و همچنین بین میزان میانگین شاخص چسبندگی تیمارهای مختلف پنیر خامه‌ای در روز تولید وجود نداشت ($p\leq$۰/۰۵). در طی زمان نگهداری به مدت شصت روز میزان شاخص چسبندگی کلیه تیمارها تا روز سی ام به طور معنی‌داری با افزایش مواجه بود و سپس روند کاهشی نشان داد ($p\leq$۰/۰۵). همچنین نتایج نشان داد که افزایش میزان استفاده از ویتامین E در تیمارهای پنیر خامه ای میزان چسبندگی بافت پنیر خامه‌ای را افزایش می‌دهد در حالی که میزان ویتامین D تاثیر چندانی بر میزان این شاخص ندارد.

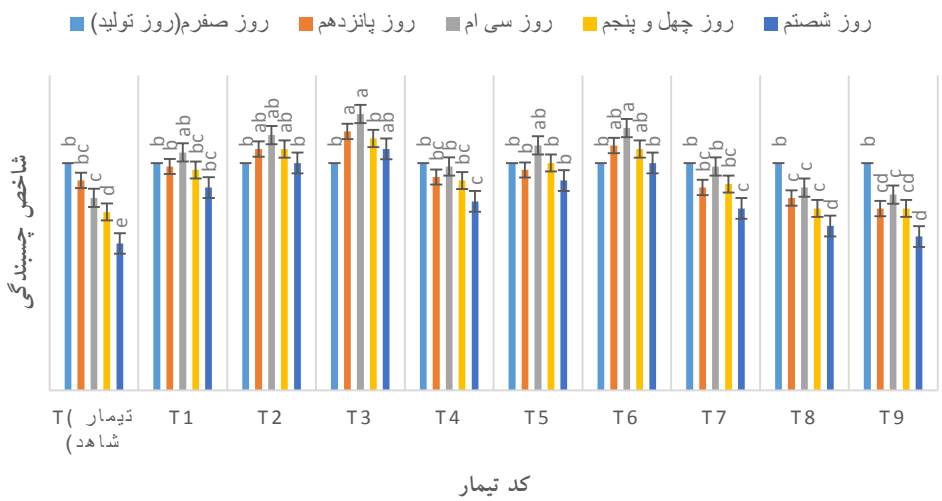
با توجه به نمودار۴ مشاهده شد که اختلافات معنی‌داری در میزان شاخص ارتجاعی تیمارهای پنیر خامه‌ای با یکدیگر و با نمونه شاهد در روز صفرم (تولید) نگهداری وجود نداشت ($p\leq$۰/۰۵). میزان خاصیت ارتجاعی در طی شصت روز نگهداری به طور معنی‌داری کاهش یافت ($p\leq$۰/۰۵). به طوری که در انتهای روز شصتم نگهداری کمترین میزان خاصیت ارتجاعی در کلیه تیمارهای پنیر خامه ای مشاهده شد($p\leq$۰/۰۵). در بین تیمارهای پنیر خامه ای نیز استفاده از ویتامین‌های E وD اثرات معنی داری بر روی میزان حالت ارتجاعی تیمارهای پنیر خامه ای نداشت($p\leq$۰/۰۵).



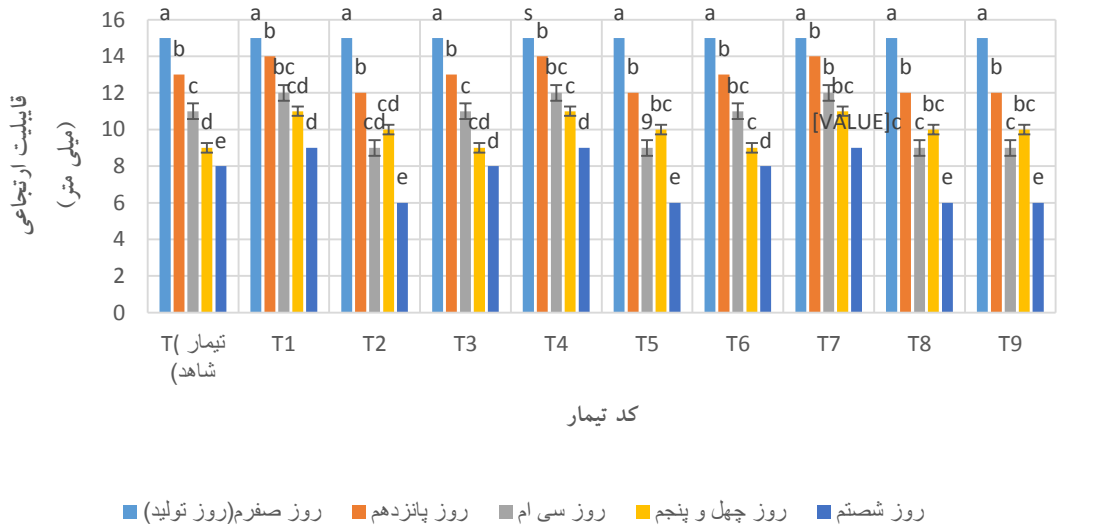

**نمودار ۱- مقایسه میانگین فعالیت آنتی اکسیدانی تیمارهای نانوامولسیون**




**نمودار ۲- مقایسه میانگین شاخص سختی تیمارهای نانوامولسیون**




**نمودار ۳- مقایسه میانگین شاخص چسبندگی تیمارهای نانوامولسیون**



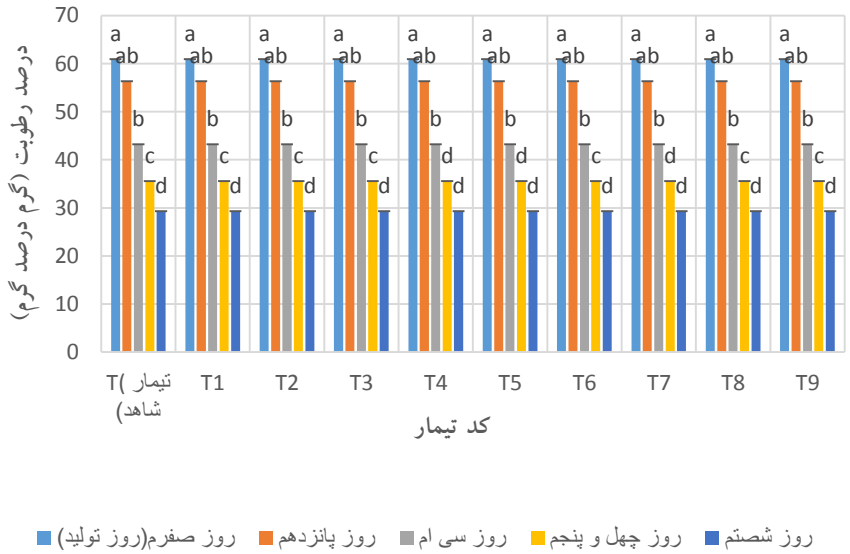

**نمودار ٤- مقایسه میانگین شاخص حالت ارتجاعی تیمارهای نانوامولسیون**

با توجه نمودار ۵ مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری در میزان میانگین شاخص درصد رطوبت تیمارهای پنیر خامه‌ای در طی زمان نگهداری وجود داشت ($p\leq$۰/۰۵). بالاترین میزان درصد رطوبت در روز تولید و کمترین آن نیز در روز شصتم نگهداری مشاهده شد ($p\leq$۰/۰۵). نتایج بدست آمده هیچ اختلاف معنی‌داری را بین تیمارها و همچنین نمونه شاهد با تیمارهای مورد بررسی نشان نمی‌دهد.

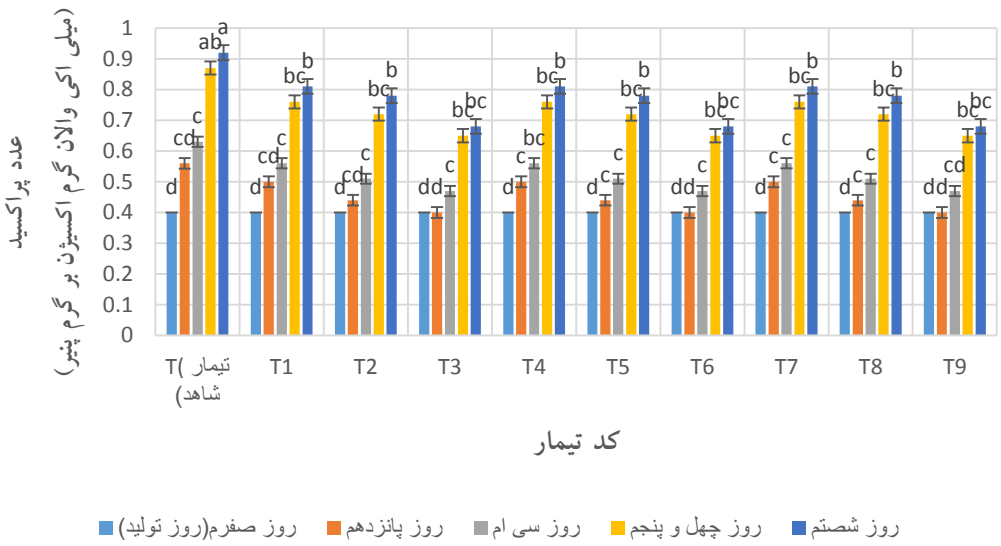
بررسی نتایج نمودار ۶ نشان داد که اختلافات معنی‌داری بین میزان شاخص عدد پراکسید تیمارهای پنیر خامه‌ای در طی شصت روز زمان نگهداری وجود داشت و در نمونه شاهد و کلیه تیمارهای موجود با افزایش مدت زمان نگهداری، روند افزایشی منظمی در شاخص عدد پراکسید مشاهده گردید ($p\leq$۰/۰۵). با افزایش میزان استفاده از ویتامین E در تیمارهای سه گانه (T1 تا T3، T4 تا T6 و T7 تا T9) میزان شاخص عدد پراکسید تیمارها به طور جزیی کاهش یافت ولی سطوح مختلف ویتامین D تاثیرات معنی داری بر روی میزان شاخص عدد پراکسید تیمارهای پنیر خامه ای نشان نداد ($p\leq$۰/۰۵). در طی زمان نگهداری شاخص عدد پراکسید کلیه تیمارها به طور معنی‌داری افزایش یافت به طوری که در انتهای روز شصتم نگهداری بالاترین میزان عدد پراکسید مشاهده شد ($p\leq$۰/۰۵).

با توجه نمودار۷ مشاهده شد که اختلافات معنی‌داری در میزان میانگین درصد اسیدیته تیمارهای پنیر خامه‌ای در طی زمان نگهداری وجود داشت ($p\leq$۰/۰۵). به طوری که کمترین میزان درصد اسیدیته در روز تولید و بالاترین آن در روز شصتم نگهداری مشاهده شد ($p\leq$۰/۰۵). هیچ گونه اختلاف معنی‌داری در میزان اسیدیته تیمارهای مختلف با یکدیگر و با نمونه شاهد مشاهده نشد($p\leq$۰/۰۵). این نتیجه نشان می‌دهد استفاده از ویتامین‌های D و E در فرمولاسیون نانومولسیون‌ها، تاثیری بر میزان شاخص اسیدیته نداشته است.

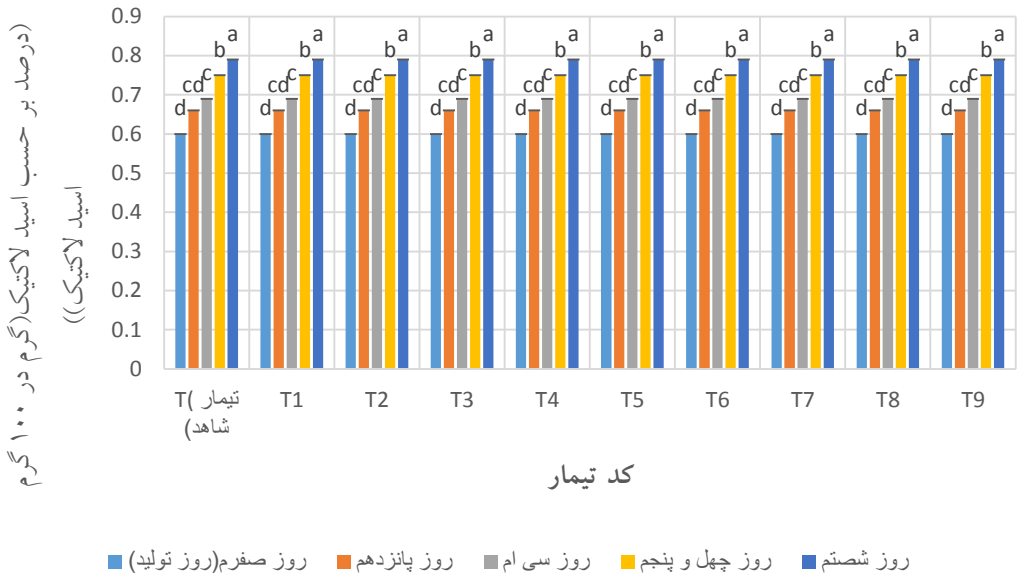
نمودار ۸ تاثیر تیمارهای مختلف و هم چنین زمان نگهداری بر شاخص درصد چربی نمونه‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، هیچ گونه تفاوت معنی‌داری در تیمارهای مورد آزمایش با یکدیگر و با نمونه شاهد وجود ندارد و زمان نگهداری هم تاثیری بر میزان درصد چربی نمونه‌ها نداشته است ($p\leq$۰/۰۵).



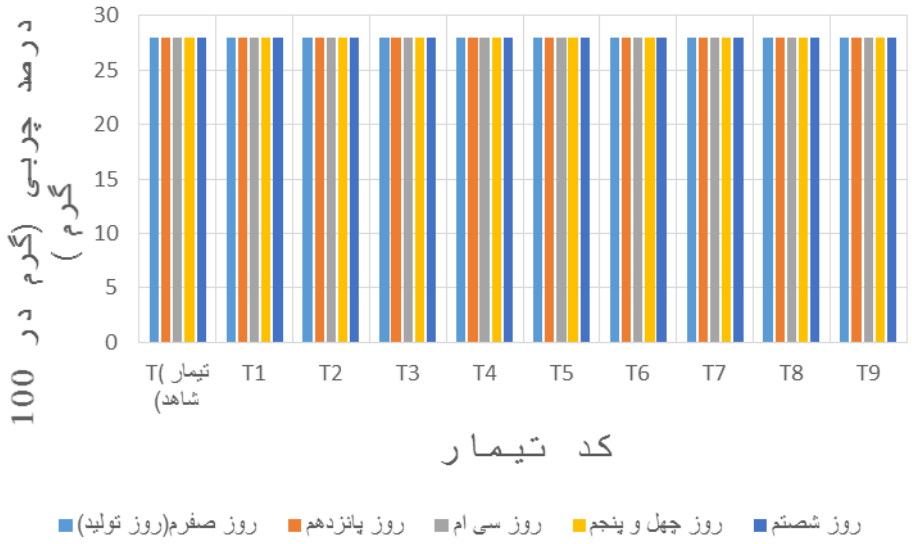

**نمودار ۵- مقایسه میانگین درصد رطوبت تیمارهای نانومولسیون**




**نمودار ٦- مقایسه میانگین عدد پراکسید تیمارهای نانومولسیون**




**نمودار ۷- مقایسه میانگین شاخص اسیدیته تیمارهای پنیر خامه ای**




**نمودار۸- مقایسه میانگین درصد چربی تیمارهای پنیر خامه ای**

در هر یک از نمودارهای ۹ تا ۱۳ ترسیم نمودار عنکبوتی (بصورت کیفی) و مقایسه میانگین ویژگی‌های حسی (بصورت کمی) ملاحظه می گردد.

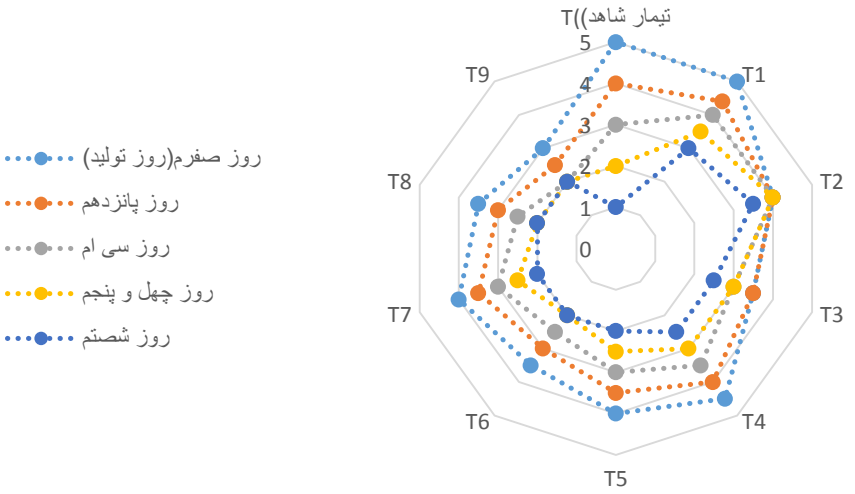
نمودار ۹ نشان می‌دهد اختلافات معنی‌داری بین میانگین شاخص امتیازات طعم و مزه در تیمارهای مختلف پنیر خامه-ای وجود ندارد ($p\leq$۰/۰۵) ولی کلیه تیمارهای پنیر خامه‌ای به طور معنی‌داری با روند کاهشی امتیازات حسی طعم و مزه در طی دوره نگهداری مواجه بودند ($p\leq$۰/۰۵). بالاترین میزان تغییرات و بیشترین کاهش امتیاز حسی طعم و مزه به تیمار پنیر خامه‌ای شاهد تعلق داشت ($p\leq$۰/۰۵).

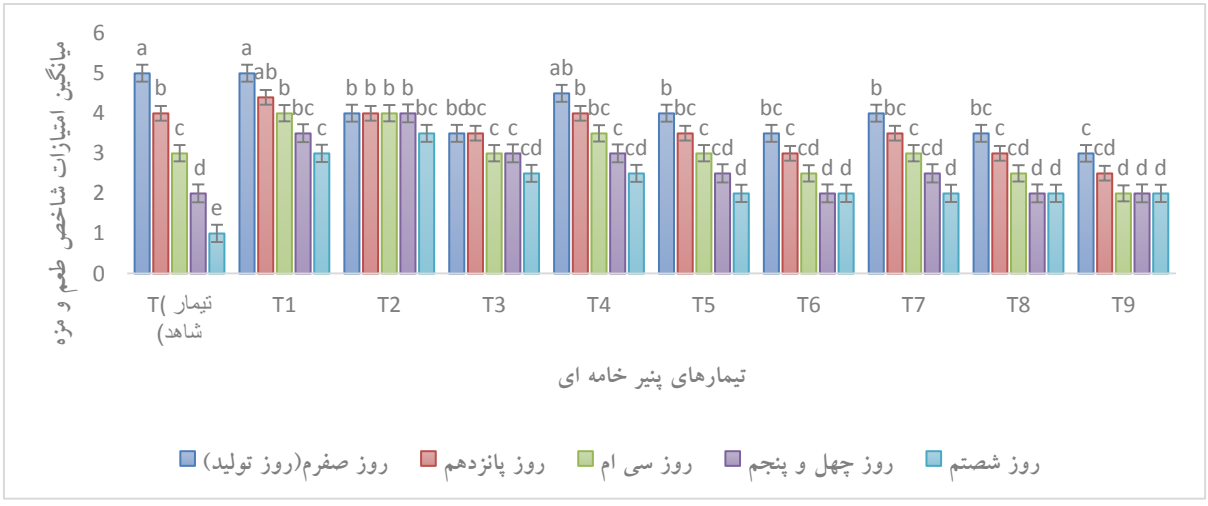
بر طبق نمودار ۱۰ مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری بین میزان شاخص امتیازات عطر و بوی تیمار شاهد با سایرتیمارهای پنیر خامه‌ای وجود داشت ($p\leq$۰/۰۵). مقایسه میانگین امتیاز کلیه تیمارهای پنیر خامه‌ای نسبت به یکدیگر، در روزهای یکسان نگهداری، به جز روز شصتم، اختلاف معنی‌داری نداشت ($p\leq$۰/۰۵). در بین سطوح مختلف تیمارهای پنیر خامه‌ای بر اساس سطوح مختلف استفاده از ویتامین D اختلاف معنی‌داری دیده نشد ($p\leq$۰/۰۵). در بین تیمارهای پنیر خامه‌ای، تیمارهای دارای ۵۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین E دارای بالاترین میزان مطلوبیت عطر و بو بود

($p\leq$۰/۰۵).

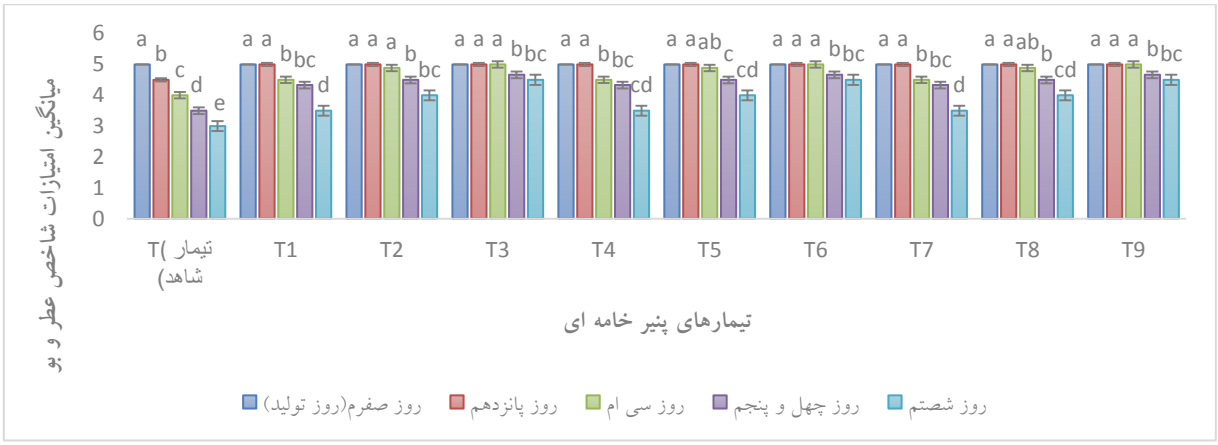
همان طور که در نمودار ۱۱ آمده است، کلیه تیمارهای پنیر خامه‌ای به طور معنی داری با کاهش امتیازات حسی بافت در طی دوره نگهداری مواجه بودند ($p\leq$۰/۰۵). بالاترین میزان تغییرات و بیشترین کاهش امتیازات حسی بافت به تیمار پنیر خامه‌ای شاهد تعلق داشت ($p\leq$۰/۰۵). در روز تولید امتیازات حسی بافت کلیه تیمارها، اختلاف معنی-داری با یکدیگر نداشت. در بین سطوح مختلف تیمارهای پنیر خامه‌ای بر اساس سطوح مختلف استفاده از ویتامین D، اختلاف معنی‌داری در امتیازات بافت تیمارها مشاهده نشد ($p\leq$۰/۰۵). در بین تیمارهای پنیر خامه‌ای نیز تیمارهای دارای ۵۰۰ واحد بین المللی ویتامین E دارای کمترین میزان مطلوبیت بافت بودند ($p\leq$۰/۰۵).

با توجه به نمودار ۱۲ مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری بین میزان امتیازات رنگ ظاهری تیمارهای نانوامولسیون وجود نداشت ($p\leq$۰/۰۵). اما در تیمار شاهد در طی زمان نگهداری شصت روزه، روند کاهشی معنی‌داری مشاهده شد ($p\leq$۰/۰۵). در تیمارهای پنیر خامه‌ای دارای ویتامین E بالاتر (T3,T6,T9 )، میزان امتیازات رنگ ظاهری نسبت به تیمارهای با میزان ویتامین E کمتر، افزایش معنی‌دار نشان داد ($p\leq$۰/۰۵). اما استفاده از سطوح مختلف ویتامین D تاثیری در شاخص رنگ ظاهری تیمارهای پنیر خامه‌ای نداشت ($p\leq$۰/۰۵). کمترین میزان امتیازات رنگ ظاهری در کلیه تیمارها نیز در روز شصتم نگهداری مشاهده شد ($p\leq$۰/۰۵).




**نمودار ۹- مقایسه میانگین امتیازات طعم و مزه تیمارهای پنیر خامه ای**

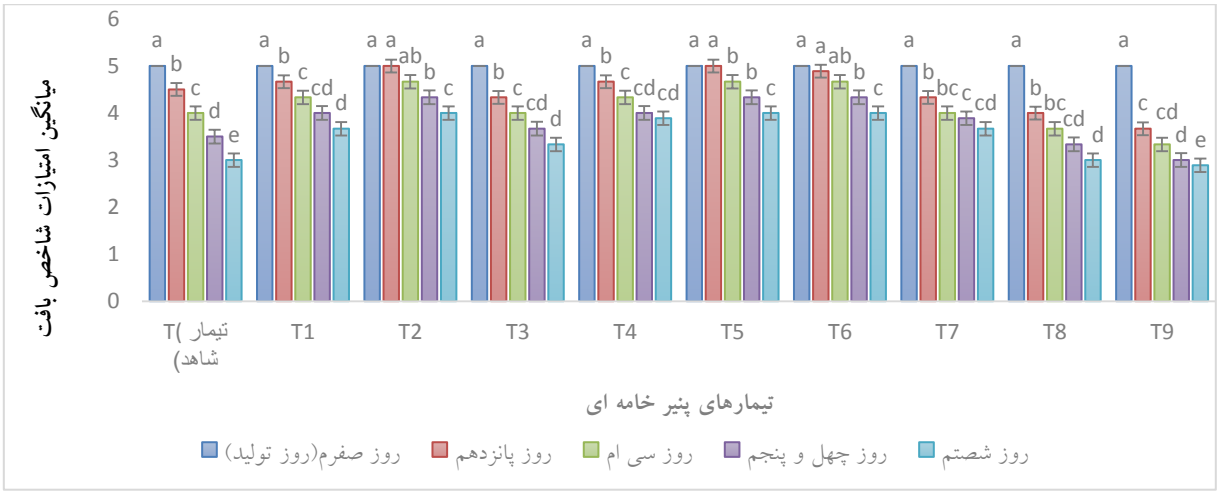



**نمودار ۱۰- مقایسه میانگین امتیازات عطر وبو تیمارهای پنیرخامه ای**

در نمودار ۱۳ شاخص پذیرش کلی تیمارها، در دو حالت کیفی و کمی بیان شده است. مقایسه تیمار شاهد با سایر تیمارها نشان می‌دهد با استفاده از ویتامین های D و E میزان پذیرش کلی به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد ($p\leq$۰/۰۵) ولی این افزایش در بین تیمارهای مختلف معنی‌دار نمی‌باشد. همچنین در طی زمان نگهداری، کاهش معنی‌داری در امتیازات پذیرش کلی کلیه تیمارهای پنیر خامه‌ای وجود داشت به طوری که کمترین امتیازات پذیرش کلی در روز شصتم نگهداری مشاهده شد ($p\leq$۰/۰۵). روند کاهشی میانگین امتیازات پذیرش کلی، در تیمار شاهد نسبت به سایر تیمارها در زمان‌های ثابت نگهداری، شدیدتر بود.

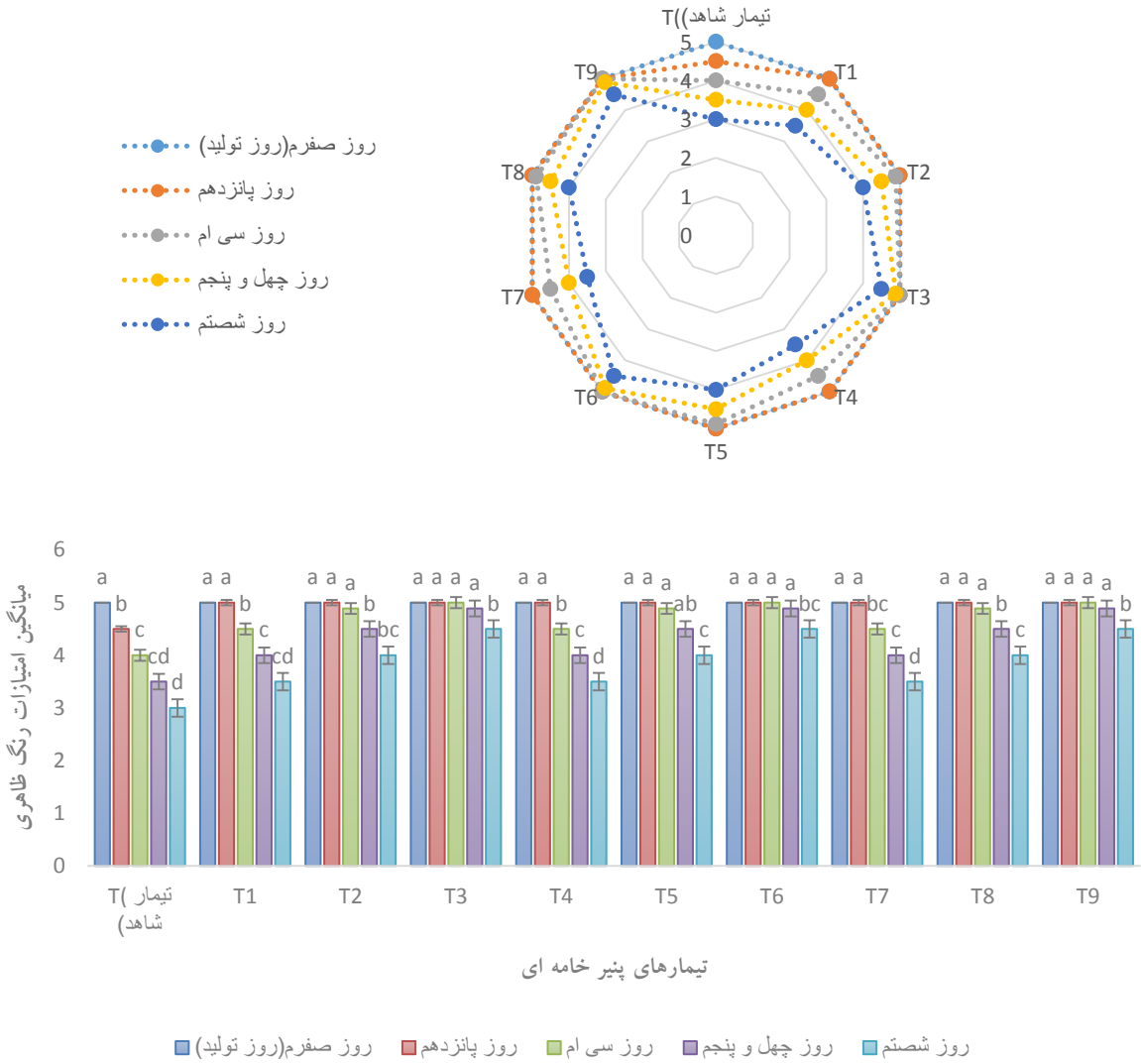
## بحث

بررسی نتایج ارزیابی میکروسکوپ الکترونی نشان داد که با افزایش میزان استفاده از ویتامین‌های D و E ویژگی‌های ریخت شناسی نانوامولسیون ها تغییر می یابد. دلیل این موضوع به اندازه بالاتر و افزایش وزن مولکولی ناشی از انباشت بالای آن بر می‌گردد که باعث ایجاد آگلومریزاسیون و به هم چسبیدگی ذرات نانوامولسیون و بزرگ‌تر شدن اندازه ذرات می‌شود. اینولین و بتا سیکلودکسترین نیز با تغییر در انسجام، فرم و شکل نانوامولسیون‌ها را تغییر داده و ایجاد اشکال خوشه‌ای با تراکم بالا نموده است. البته برای اهداف کاربردی در صنایع غذایی– دارویی هر چه اندازه ذرات کمپلکس تشکیل شده کوچک‌تر باشد و حتی در محدوده مقیاس نانو قرار گیرد، بهتر است چون با کاهش اندازه ذرات نانوامولسیون، نسبت سطح به حجم، دسترسی



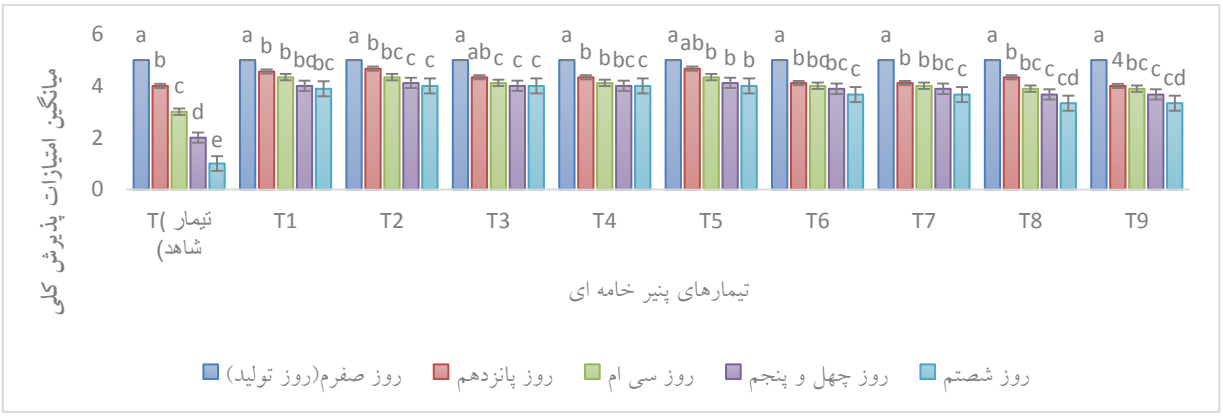

**نمودار ۱۱- مقایسه میانگین امتیازات بافت تیمارهای پنیرخامه ای**

زیستی، پایداری کلوئیدی و شفافیت محلول‌های حاوی ذرات افزایش می‌یابد. در این راستا تحقیقات مشابهی انجام شده است. در مطالعه Khosh Manzar و همکاران (۲۰۱۳) بر روی کاراگینان و کازئینات سدیم، دریافتند که افزایش غلظت کازئینات در تمامی pH ها و غلظت ۰/۰۲ درصد کاراگینان، موجب افزایش اندازه ذرات گردید. افزایش غلظت کازئینات احتمالا موجب می‌شود که مقادیر کافی کاراگینان در سطح کازئینات وجود نداشته باشد و نیروی دافعه منفی کاهش یابد. از طرفی میزان افزایش اندازه ذرات در اثر افزایش اندازه ذرات در اثر افزایش غلظت کازئینات به شدت به pH وابسته است و در pH های بالاتر این میزان بیشتر است. چون در pH های بالاتر، کاراگینان متصل کمتری در سطح پروتئین وجود خواهد داشت. افزایش اندازه ذرات با افزایش میزان پروتئین در اکثر پژوهش‌های دیگر مشاهده می‌شود (Jones *et al.*, 2010) . هم چنین تأثیر ریزپوشانی با آلژینات کلسیم و نشاسته مقاوم ذرت بر زنده‌مانی *لاکتوباسیلوس کازئی* و خصوصیات حسی در کرم مغزی کیک بررسی شد و مشخص شد که افزایش پوشش با آلژینات کلسیم و نشاسته مقاوم ذرت میزان اندازه ذرات را به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد که هم راستا با نتایج پژوهش حاضر می‌باشد (Khosravi Zanjani *et al.*, 2013). به دام اندازی ترکیبات با ارزش و بیوفعال در یک حامل مناسب روشی برای پایداری و ذخیره سازی نانوذرات می‌باشد. ترکیب به دام افتاده در داخل پوشینه می‌تواند با روش‌هایی مانند حل شدن، محبوس شدن، جذب شدن یا اتصال به درون ماتریس انتقال داده شود. بررسی نتایج ارزیابی به دام اندازی و میزان رهایش ویتامین‌های D , E نشان داد که با افزایش میزان




**نمودار ۱۲ – مقایسه میانگین امتیازات رنگ ظاهری تیمارهای پنیر خامه ای**

درصد استفاده از ویتامین D روند افزایشی در میزان به دام اندازی و آزادسازی مشاهده شد ولی با استفاده از ویتامین E به ویژه در میزان بالاتر از ۴۵۰ واحد بین‌المللی، میزان به دام اندازی و میزان رهایش ابتدا افزایش و سپس با کاهش معنی‌داری مواجه می گردد. دلیل این تغییرات را می توان در افزایش سایز نانوامولسیون‌ها جستجو کرد که با افزایش اندازه ذرات به دلیل کاهش سطح تماس نانوذرات امکان رهایش با کندی مواجه می شود و همچنین به دلیل عدم تعادل الکتروستاتیکی بارهای مثبت و منفی و همچنین تداخل در لایه‌های آبدوست وآبگریز میزان به دام اندازی این ویتامین ها ابتدا با افزایش و سپس با بالا رفتن تراکم بیش از حد لایه آبگریز، با کاهش معنی‌داری مواجه می‌گردد. همچنین به دلیل افزایش اندازه نانوامولسیون ها و ایجاد کلاسترها و ساختارهای خوشه‌ای و افزایش چسبندگی بین نانوامولسیون‌های حاصل نیز از طرفی دیگر سطح تماس کاهش معنی‌داری را نشان می‌دهد و در نتیجه رهایش با سرعت کمتری انجام می‌شود. علاوه بر این، عوامل بسیاردیگری بر میزان رهایش نانوذرات موثر می باشد. بیشتر پلیمرهای زیست تخریب پذیر مورد استفاده در سیستم‌های نانوذرات، بوسیله ی هیدرولیز، تخریب می‌شوند. هیدرولیز واکنشی میان مولکول های آب و پیوندهای موجود در زنجیره‌ی اصلی پلیمری است. به طور مثال پیوندهای استری نمونه ای از این پیوندهاست که با شکسته شدن متوالی آنها، زنجیره ی پلیمری به مونومرهای




**نمودار۱۳ – مقایسه میانگین امتیازات پذیرش کلی تیمارهای پنیرخامه ای**

آن تبدیل می‌شود. همین طور که مولکول‌های آب پیوندهای شیمیایی را در طول زنجیره‌ی مولکولی می‌شکنند، پیوستگی فیزیکی پلیمر از بین می‌رود و اجازه داده می‌شود تا ترکیب به دام افتاده رهاسازی شود. با توجه به اینکه یکی از عوامل موثر بر میزان رهایش نانوامولسیون‌ها اندازه آن می‌باشد، با افزایش اندازه نانوامولسیون ها سطح تماس نانوذرات به طور موثری کاهش می‌یابد که می‌تواند باعث کاهش میزان آزاد سازی ترکیبات به دام افتاده در درون نانوامولسیون‌ها شود. بنابراین با توجه به نتایج سایز میزان شاخص به دام اندازی به طور موثری تحت تاثیر قرار می‌گیرد. از طرفی دیگر میزان ویتامین D و E به دام افتاده در داخل ترکیبات نانوذرات، تعیین کننده میزان درصد رهایش نانوامولسیون ها می‌باشد. هر چه میزان کارایی امولسیفیکاسیون بالاتر باشد میزان ویتامین D و E بیشتری در درون نانوذرات برای رهایش وجود دارد. در این راستا نیز برآیند این دو ترکیب و همچنین تداخل آن با بار سطحی نانوذرات بر روی رهایش نانوامولسیون‌ها تاثیر می‌گذارد. در این راستا تحقیقات مشابهی صورت گرفته است. Sudheesh و همکاران (۲۰۱۳) فاکتورهای موثر بر تشکیل و پایداری نانوذرات کیتوزان را بررسی نموده و دریافتند که با افزایش جرم مولی ترکیبات مورد استفاده در فرمولاسیون نانوذرات، اندازه نانوذرات تولیدی افزایش می‌یابد که نتایج تحقیق حاضر را تایید می‌کند (Sudheesh *et al.*, 2013). اندازه‌گیری میزان مهار رادیکال‌های آزاد DPPH یکی از روش‌های معتبر، دقیق، آسان و مقرون به صرفه با قابلیت تکرار پذیری بالا می‌باشد که در بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی ترکیبات مختلف در شرایط آزمایشگاهی مورد استفاده قرار

می‌گیرد. افزایش غلظت ترکیبات فنلی به طور مستقیم میزان توانایی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مختلف را در مهار رادیکال‌های آزاد افزایش می‌دهد. در غلظت‌های بالاتر ترکیبات ویتامین E، به دلیل افزایش تعداد گروه‌های هیدروکسیل موجود در محیط واکنش، احتمال دادن هیدروژن به رادیکال‌های آزاد و به دنبال آن قدرت مهارکنندگی نانو امولسیون افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه در مقادیر ثابت ویتامین D، در تیمارهای (T1 تا T3، T4 تا T6 و T7 تا T9) با افزایش مقادیر ویتامین E درصد مهار کنندگی رادیکال‌های آزاد، ابتدا افزایش و سپس کاهش معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) مشاهده شد ولی روند کلی میانگین تغییرات آنتی اکسیدانی، در هر گروه از تیمارهای سه گانه نامبرده در مقادیر یکسان ویتامین E، با افزایش ویتامین D دارای کاهش معنی دار بود ($p\leq$۰/۰۵) می توان علت این امر را به جهت وجود اختلافات ساختاری در این دو ویتامین به ویژه ویتامین E نسبت داد. ویتامین E شامل مشتقات آلفا، بتا، گاما و سیگما توکوفرول و آلفا، بتا، گاما و سیگما توکوترینول است. توکوترینول‌ها از ترکوفرول‌ها، با داشتن یک زنجیره‌ی جانبی غیراشباع متمایز هستند. فرمی که به‌طور طبیعی بیشتر وجود دارد و دارای فعالیت بیولوژیکی بیشتری نیز هست، "آلفا توکوفرول" می‌باشد. این ویتامین به عنوان مهم‌ترین آنتی اکسیدان محلول در چربی عمل کرده و از تکثیر و انتشار رادیکال‌های آزاد مخرب در غشاهای زیستی جلوگیری می‌کند. ویتامین E از بین برنده‌ی قدرتمند رادیکال پراکسید بوده و به ویژه از اسیدهای چرب چند غیراشباع (PUFA) داخل فسفولیپید غشاهای زیستی و در لیپوپروتئین‌های پلاسما محافظت می‌کند. Diane و همکاران (۲۰۱۴) نیز در بررسی‌های خود با عنوان تولید و بهینه‌سازی نانوامولسیون‌های حاوی ویتامینE به این نتیجه رسیدند که افزایش میزان استفاده از ویتامین E می تواند باعث افزایش میزان مهار کنندگی رادیکال‌های آزاد شود که یافته‌های تحقیق حاضر را تایید می‌کند (Diane *et al.*,2014). میزان شاخص سختی بافت، اوج نیرو پس از اولین فشردگی نمونه توسط پیستونک می‌باشد که به عنوان شاخصی از کیفیت بافت محسوب می‌شود. نتایج پژوهش حاضر نشان داد استفاده از نانوامولسیون‌های ویتامین های E و D تاثیر معنی‌داری بر شاخص سختی بافت نداشته ولی علت افزایش جزیی در میزان سختی مشاهده شده برای مقادیر بالای ۵ میکروگرم در گرم ویتامین D، افزایش ایجاد پیوند بین ویتامین و میسل‌های کازئینی‌های و ایجاد شبکه‌ای سخت با یکدیگر می‌باشد. در طی دوره نگهداری نیز در تمام تیمارها به دلیل از دست دادن رطوبت و در نتیجه بالا رفتن مقدار مواد جامد، میزان شاخص سختی به طور معنی داری افزایش می‌یابد. یافته‌های سایر محققین، نتایج حاضر را تایید می‌کند (Hosseinchi Qareh Aghaj *et al.*, 2014). چسبندگی عبارت است از نیروی لازم برای جدا کردن غذا از سقف دهان در حین خوردن. به عبارت دیگر کار لازم برای غلبه بر نیروهای بین سطح غذا و سطح سایر موادی که غذا با آن‌ها در تماس است. از آنجا که عامل اصلی تأثیرگذار بر میزان چسبندگی پنیر خامه‌ای مقدار و نوع اسید چرب است، حضور ویتامینE در تمام تیمارها موجب افزایش چسبندگی شد. این امر به قرابت ساختاری توکوفرول‌ها و اسیدهای چرب موجود در پنیر خامه‌ای نسبت داده می‌شود که در نهایت موجب تشدید و تقویت ساختاری چسبنده در نمونه ها می گردد. از آنجا که حضور ویتامین D تاثیری بر روی میزان اسید چرب تیمارهای پنیر خامه ای و یا خواص عملکردی آنها ندارد، بنابراین عدم تغییرات در شاخص چسبندگی با افزودن مقادیر مختلف این ویتامین دور از انتظار نیست. Ritota و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی اثر کروسین در پنیر نیز به نتایج مشابهی دست یافتند که استفاده از ماده موثره آلفاتوکوفرول، میزان چسبندگی تیمارهای پنیر را افزایش داد که با نتایج تحقیق حاضر در توافق است (Ritota *et al.*, 2018). استفاده از ویتامین E می تواند به دلیل ساختار اسیدهای چرب، باعث ایجاد چسبندگی بیشتر و به دنبال آن کاهش خاصیت ارتجاعی و انعطاف‌پذیری بین ساختار پروتئین‌های کازئینی پنیر و گروه‌های هیدروکسیلی موجود درساختار ویتامین E گردد. عدم مشاهده چنین وضعیتی (وجود گروه‌های هیدروکسیلی) در ساختار ویتامین D باعث شد افزودن این ویتامین تاثیری بر خاصیت ارتجاعی محصول نداشته باشد. استفاده از نانو امولسیون‌های ویتامین D و E تاثیر معنی-داری بر درصد رطوبت تیمارها ندارد. علت آن به لحاظ فیزیکوشیمیایی، عدم تشکیل ساختاری توسط این دو ویتامین است که قادر به حفظ، احتباس و نگهداری مولکول‌های آب در پنیر باشد. اما در طی زمان نگهداری به

دلیل افزایش تبادل رطوبت با محیط نگهداری و تمایل به از دست دادن آن، در انتهای روز شصتم، درصد رطوبت کلیه تیمارها در کمترین میزان خود مشاهده می گردد. در این راستا تحقیقات مشابهی وجود دارد، محققین در بهینه سازی ویژگیهای فیزیکوشیمیایی، حسی و رنگ پنیر سفید ایرانی فراپالوده کم چرب حاوی جایگزین‌های چربی در طی نگهداری دریافتند میزان رطوبت طی زمان به طور معنی-داری کاهش یافت که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشت (Rostamabadi *et al*., 2017). در سال ۲۰۱۶ تأثیر پوشش خوراکی بر پایه پروتئین آب پنیر و ناتامایسین بر کیفیت و ماندگاری پنیر سفید ایرانی بررسی شد و دریافتند که در طی زمان نگهداری میزان درصد رطوبت تیمارهای پنیر سفید به طور معنی‌داری کاهش یافت که با یافته های تحقیق حاضر در توافق بود (Ramezani *et al*., 2016). اندیس پراکسید بصورت میلی اکی والان پراکسید در ۱۰۰۰ گرم نمونه که یدید پتاسیم را تحت شرایط آزمون اکسید می‌کند بیان می‌شود و شاخصی برای اندازه گیری میزان اکسیداسیون چربی است که مقدار کل پراکسیدهای موجود در روغن را به عنوان فراورده‌های اولیه حاصل از اکسایش نشان می‌دهد (Carocho *et al*., 2015). کاهش عدد پراکسید پس از رسیدن به حد بیشینه آن طی مراحل ابتدایی اکسایش بیانگر ناپایدار بودن پراکسیدها و شکست آن‌ها به فراورده‌های ثانویه طی مراحل بعدی است. افزایش درصد استفاده از ویتامینE در فرمولاسیون تیمارهای پنیر خامه‌ای در طی دوره نگهداری به مهار رادیکال‌های آزاد ناشی از اکسیداسیون و همچنین افزایش گسترش فرآیندهای ثانویه اتواکسیداسیون و تولید ترکیبات ثانویه کمک می‌کند. در روز شصتم نگهداری، میزان ترکیبات پراکسید به دلیل تبدیل به مالون آلدئید و افزایش شاخص تیوباربیتوریک اسید، کاهش می‌یابد. دلیل افزایش عدد پراکسید در تمام تیمارها به دلیل تجزیه ترکیبات اولیه ناپایدار اکسیداسیون به ترکیبات ثانویه شامل آلدهیدها، کتون‌ها، الکل‌ها و اسیدهای چرب است. افزایش عدد پراکسید در طول زمان نگهداری ناشی از شدت یافتن اکسیداسیون با افزایش مدت زمان است. با افزایش عدد پراکسید سرعت تبدیل هیدروپراکسیدها به محصولات ثانویه (آلدئیدها، کتون‌ها و...) افزایش یافته و و به دنبال آن، با افزایش تجزیه این محصولات، پایداری اکسیداسیون تیمارهای پنیر خامه‌ای نیز کاهش می یابد. در بررسی اثر کروسین در پنیر نیز نتایج مشابهی بدست آمد که نشان داد استفاده از ماده موثره آلفاتوکوفرول با افزایش میزان مهار رادیکال‌های آزاد می‌تواند بر میزان تولید ترکیبات ثانویه پنیر اثرات معنی‌داری داشته باشد و با نتایج تحقیق حاضر در توافق بود (Ritota *et al*., 2018). نتایج ارزیابی اسیدیته نشان داد که استفاده از نانومولسیون‌های حاوی ویتامین‌های D و E، تاثیر معنی‌داری بر اسیدیته تیمارهای پنیر خامه‌ای نداشته و در طی زمان نگهداری به دلیل تغییرات اسیدیته ناشی از گلیکولیز و پروتئولیز میکروبی و تولید ترکیبات اسیدی ناشی از این تغییرات میزان اسیدیته محیطی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. حضور مالتودکسترین و اینولین نیز به عنوان منبع کربوهیدراتی جهت تخمیر توسط باکتری‌ها و فلورمیکروبی می‌تواند به افزایش میزان اسیدیته در طی شصت روز نگهداری کمک نماید. اگر چه حضور ویتامین E تا حدی از اکسیداسیون اسیدهای چرب و در نتیجه افزایش عدد اسیدی جلوگیری می‌کند، اما میزان این افزایش به اندازه ای نیست که بتواند از تغییرات ناشی از فساد میکروبی ممانعت کند. میزان بررسی نتایج ارزیابی اسیدیته تیمارهای پنیر خامه‌ای نشان داد که در طی دوره نگهداری شاخص اسیدیته به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد ($p\leq$۰/۰۵) که به جهت افزایش احتمال اتواکسیداسیون و لیپولیز چربی موجود در پنیر می‌باشد. از طرفی به دلیل فساد میکروبی موجود در پنیر در نتیجه افزایش جمعیت میکروبی و تولید ترکیبات اسیدی ناشی از تخمیر در محیط پنیر، میزان اسیدیته تیمارهای پنیر خامه‌ای افزایش می‌یابد. البته حضور ویتامین E در طی دوره نگهداری، می‌تواند از دو عامل تخمیر میکروبی و فساد اکسیداتیو تا حدود زیادی ممانعت نموده و میزان اسیدیته تیمارهای پنیر خامه‌ای را به میزان کمتری افزایش دهد (Ghaemi *et al*., 2010). در این راستا تحقیقات مشابهی‌وجود داشت. محققین در بررسی اثرات استفاده از کاتچین های چای و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی آن بر روی پنیر کم چرب به نتایج مشابهی دست یافتند. آن ها دریافتند که ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در طی دوره نگهداری از افزایش اسیدیته در پنیر کم چرب ممانعت می‌کند که با نتایج تحقیق حاضر درتوافق بود (Rashidinajad, 2013). بررسی نتایج ارزیابی درصد چربی نیز حاکی از عدم تغییرات

در میزان این شاخص در تیمارهای مختلف و هم چنین در طی زمان نگهداری می‌باشد. دلیل این عدم تغییرات، به ساختار نانوامولسیون‌های به کار رفته بر می‌گردد. به جهت این که بتاسیکلودکسترین و اینولین خود ساختار پلی-ساکاریدی داشته و نقش محافظت کنندگی از ساختار چربی‌ها و دو ویتامین محلول در چربی موجود در فرمولاسیون را دارند، عملا تغییراتی در درصد چربی تیمارهای مختلف پنیر خامه ای ایجاد نمی‌شود. همچنین زمان نیز قادر به ایجاد تغییرات ساختاری در فرمولاسیون پنیر خامه‌ای نمی‌باشد اگرچه تغییرات ناشی از اکسیداسیون و هیدرولیز منجر به تغییر در شاخص های اکسیداسیونی و اسیدی می شود، ولی تاثیری بر محتوای کلی چربی ندارد. در این راستا تحقیقات مشابهی وجود داشت. در بررسی تولید پنیر سفید فراپالایشی سین بیوتیک با استفاده از سویه پروبیوتیک *Lactobacillus acidophilus* و اینولین دریافت شد که استفاده از اینولین تغییرات ساختاری معنی-داری در درصد چربی تیمارهای پنیر ایجاد نمی کند که با یافته‌های تحقیق حاضر نیز در توافق بود( Ghaemi *et al*., 2010). حسن زاده و همکاران (۲۰۱۷) بررسی تاثیر اینولین، کازئینات سدیم و زمان رسیدن بر خصوصیات کیفی پنیر کوزه تهیه شده از شیر گاو را بررسی نمودند و دریافتند که استفاده از اینولین اثرات معنی‌داری بر روی میزان درصد چربی تیمارهای پنیر کوزه ایجاد نمی‌کند که با یافته‌های تحقیق حاضر در توافق بود (Hassanzadeh *et al*., 2017). نتایج ارزیابی حسی نشان داد که شاخص‌های طعم و مزه تیمارهای پنیر تحت تاثیر نانوامولسیون ها قرار نمی‌گیرد، اما میزان مطلوبیت طعم و مزه به طور معنی‌داری در شرایط نگهداری تغییر می‌کند. به عبارت دیگر اگر چه در طی شصت روز نگهداری، امتیاز طعم و مزه به دلیل اکسیداسیون و تغییرات اسیدیته و همچنین تولید ترکیبات پراکسید، تیوباربیتوریک اسید و افزایش درصد اسیدهای چرب آزاد به طور معنی‌داری کاهش یافت، اما حضور ویتامین E و تا حدی ویتامین D، باعث شد شاخص‌های اکسیداتیو به میزان کمتری تحت تاثیر قرار گیرد و در نتیجه کاهش امتیازات طعم و مزه تیمارهای پنیر خامه‌ای (بر خلاف نمونه شاهد که فاقد ویتامین‌ها بود)، با شدت کمتری مشاهده شود. حضور نانوذرات حاوی ویتامین، در مقادیر بالای مورد استفاده، باعث افت امتیازات رنگ ظاهری می‌شود که این تغییرات ناشی از تغییرات فیزیکی بافت و همچنین کاهش فضاهای بین اجزای ساختاری پنیر خامه-ای می‌باشد که تغییراتی را در ضریب شکست نور بازتابیده شده از نمونه ها ایجاد می کند و در نتیجه آن، امتیاز رنگ ظاهری در تیمارهای مختلف در طی زمان نگهداری کاهش می یابد. نانوامولسیون‌ها دارای عطر و بوی مشخصی نمی‌باشند، اما از آنجایی که در طی زمان نگهداری از فساد میکروبی و اکسیداتیو ممانعت می‌کنند، می‌توانند باعث حفظ مطلوبیت عطر و بوی تیمارها شوند. در طی زمان نگهداری به دلیل کاهش درصد رطوبت، افزایش سختی و همچنین کاهش قابلیت جویدن و پیوستگی، میزان امتیازات بافت به طور معنی‌داری کاهش یافت. اما در تیمارهای دارای مقادیر بالای ویتامین E ، به دلیل تاخیر فرایند اتوکسیداسیون و لیپولیز و همچنین فساد میکروبی تا حدودی از کاهش مطلوبیت بافت ممانعت شد. برخی محققین در بررسی اثرات نانوذرات کیتوزان/ آلژینات حاوی نیسین بر روی میزان ماندگاری پنیر فتا نیز به نتایج مشابهی در این رابطه دست یافتند (Zohri *et al*., 2010, 2011).

## نتیجه‌گیری

غنی‌سازی مواد غذایی یکی از راهکارهای اصلی در کنترل و پیشگیری از کمبود ریز مغذی‌هاست. در این میان، ویتامین‌های محلول در چربی مانند D و E به دلیل نقش مهمی که در بدن ایفا می کنند، بسیار حایز اهمیت هستند. در این پژوهش پنیر خامه‌ای کم چرب بر پایه نانوامولسیون‌های اینولین – بتاسیکلو دکسترین با افزودن ویتامین‌های D و E غنی سازی شد. نتایج نشان داد که با افزایش میزان استفاده از این دو ویتامین، ویژگی‌های ریخت شناسی نانوامولسیون‌ها در جهت افزایش اندازه تغییر پیدا کرده و میزان شاخص‌های سختی، چسبندگی، اسیدیته و عدد پراکسید نسبت به نمونه شاهد در طول دوره نگهداری افزایش و درصد رطوبت و شاخص ارتجاعی به طور معنی‌دار کاهش یافت. درصد چربی تیمارهای پنیر کم چرب در طول زمان نگهداری اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نشان نداد. میزان مهار کنندگی رادیکال های آزاد در محصول غنی شده در مقادیر ثابت ویتامین D، ابتدا افزایش و سپس کاهش نشان داده ولی روند کلی میانگین تغییرات آنتی اکسیدانی، در مقادیر یکسان ویتامین E، با افزایش

ویتامین D کاهشی بود. در ارزیابی حسی تیمارهای مختلف، مشخص شد افزودن نانو امولسیون های حاوی دو ویتامین توانسته کلیه شاخص‌های حسی طعم و مزه، عطر و بو، بافت، رنگ ظاهری و پذیرش کلی را نسبت به نمونه شاهد بهبود بخشد، اگر چه در طول زمان نگهداری شصت روزه روند کاهشی در هر یک از تیمارها مشاهده شده است. در نهایت با در نظر گرفتن کلیه خصوصیات فیزیکوشیمیایی، بالاترین میزان مهار کنندگی رادیکال آزاد و نتایج ارزیابی حسی، تیمار دارای ۴۵۰ واحد ویتامین E و ۵ میکروگرم ویتامین D به عنوان نمونه غنی شده بهینه انتخاب و معرفی گردید.

## منابع


Anon. (1999). Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Measurement of total fat (Van Golic method, National Standard of Iran No.8785, Third edition.

Anon. (2003). Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Cream cheese - features and test methods, National Standard of Iran No.5881, First Edition.

Astray, G. (2009). A review on the use of cyclodextrin in foods. Journal of Food Hydrocolloids, 23(7), 1631-1640.

Beygomi, M., Qods Rouhani, M., Mohammadifar, M.A., Hashemi, M., Valizadeh, M. & Qanati, K. (2013). Evaluation of textural and sensory properties of refined white cheese produced with protease (*Vitania Coagulans*) in comparison with fungal yeast. Nutrition Sciences and Food Industry of Iran, 1(8), 262-271 [In Persian].

Bilek, S., Popescu, V., Dobrinas, S., Soceanu, A. & Oprea, C. (2009). Kinetic study of vitamin degradation from pharmaceutical products. Rom Journal of Physics, 53, (1–2), 343–351.

Carocho, L. & Subirade, M. (2015). Alginate–whey protein granular microspheres as oral delivery vehicles for bioactive compounds. Biomaterials, 27(1), 4646–4654.

Chen, R. (2006). Bioavailability of iron, zinc and other trace minerals from vegetarian diets. American Journal of Clinical Nutrition, 78(4), 633S–639S.

Codex Alimentarius commission C-31. (1973). Standard for cream cheese.

Diane, J. M. & Burgess, J. (2014). Vitamin E nanoemulsions characterization and analysis, International Journal of Pharmaceutics, 465(1–2), 455-463.

Ghaemi, A., Hesari, J. & Pour Ahmad, R. (2010). Production of synbiotic ultra white cheese using probiotic strains of *Lactobacillus Acidophilus* and inulin. Electronic Journal of Food Preservation, 1(1), 81-92 [In Persian].

Hadian, Z., Moghimi, H. R., Sahari, M. A. & Barzegar, M. (2014). Preparation of nanoliposomes containing vitamin E as DHA and EPA carriers and evaluation of their physical stability, Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Industry, 9(4), 63-76 [In Persian].

Hassanzadeh, A., Amiri Raftani, Z. & Aminifar, M. (2017). The effect of inulin, sodium caseinate and ripening time on the quality characteristics of jar cheese made from cow's milk. Food Science and Technology, 14(72), 187-201 [In Persian].

Hosseinchi Qareh Aghaj, H., Jalil Nejad, J. & Sheikh Louee, H. (2014). Enrichment of dairy products with vitamin $D_3$. 22th. National Congress of Science and food Industry, Shiraz University [In Persian].

Jones, S., Oztop. M. H., McCarthy, K. L. & McCarthy, M. J. (2010). Whey protein/alginate beads as carriers of a bioactive component. Food Hydrocolloids, 33(1), 66-73.

Khosh Manzar, M., Ghanbarzadeh, B., Hamishe Kar, H., Soti Khiabani, M. & Rezaei Mokaram, R. (2012). Investigation of factors affecting particle size, zeta potential and stable rheological properties in a colloidal system containing capacaraginan-sodium caseinate nanoparticles, Research and innovation in food science and industry, 1(4), 255-272 [In Persian].

Khosravi Zanjani, M. A., Mohammadi, N., Behrooz Nasab, K. & Solati, A. A. (2013). The effect of microencapsulation on the survival of *Lactobacillus casei* and *Bifidobacterium bifidum* in simulated gastric and intestinal conditions. Veterinary Clinical Research, 1(4), 29-39 [In Persian].

Kiani, S., Fathi, M. & Ghasemi, S. M. (2017). Production of novel vitamin D3 loaded lipid nanocapsules for milk fortification, by Inulin and Beta-Cyclodextrin, Journal of Food Industry Research, 42(3), 325-334 [In Persian].

Hamishe Kar, H., Rezaei Mokaram, R. & Mohammadifar, M. A. (2013). Evaluation of Physical Properties of Nanoliposomes Carrying Vitamin D3 Produced by Thin Layer Hydration-Sonication Method, Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Industry, 8(4),

175-188 [In Persian].

Mottaghi, H., Mazaheri Tehrani, M., Razavi, M. A. & Qods Rouhani, M. (2013). Determination of coagulation and chemical properties of refined feta cheese obtained from retentate powder at different levels of fat and calcium chloride. Food Science and Technology, 9(35), 34-25 [In Persian].

Ovesen, H., Kirk, R. S. & Sawyer, R. (2003). Oils and fats. In H. Egan (Ed.), Pearson's chemical analysis of foods. Edinburgh, UK: Churchill Livingstone.

Pinto, L. & Subirade, M. (2004). Effect of preparation conditions on the nutrient release properties of alginate–whey protein granular microspheres. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, 65(2), 354–362.

Rafiei, S., Azizkhani, M. & Ariaei, P. (2015). The effect of antioxidant activity of cumin and tarragon essential oils on the quality of high-fat white cheese. Food Science and Nutrition, 4(14), 79-90 [In Persian].

Ramezani, A., Hesari, J. & Jalilzadeh, A. (2016). The effect of edible coating based on whey protein and natamycin on the quality and shelf life of Iranian white cheese. Food Hygiene, 6(3), 1-12 [In Persian].

Rashidinajad, A. (2013). Effects of catechin on the phenolic content and antioxidant properties of low-fat cheese, International Journal of Food Science & Technology, 48(12), 2448-2455.

Rastmanesh, S.R. (2008). Food Enrichment with Micronutrients, Agricultural Science publication, 172 pages [In Persian].

Ritota, Y., Elias V., Loban A., Scrimgeour A. G. & Ho, E. (2018). Marginal zinc deficiency increases oxidative DNA damage in the prostate after chronic exercise. Free Radic Biological Medicine, 48(1), 82–88.

Rostamabadi, H., Jouyandeh, H. & Hojjati, M. (2017). Sensory evaluation and color of Iranian low-fat white cheese containing fat substitutes using response surface method, Food Science and Industry, 14(63), 91-106 [In Persian].

o, J., Barrow Coleen, N., Bruce, A. & Holub, J. (2015). Bioequivalence of encapsulated and microencapsulated fish-oil supplementation. Journal of Functional Foods, 1, 38-43.

Sudheesh, L. (2013). Alginate–whey protein granular microspheres as oral delivery vehicles for bioactive compounds. Biomaterials, 27, 4646–4654.

Zohri, M., Shafiee Alavidjeh M., Haririan. I., Shafiee Ardestani, M., Sadat Ebrahimi, S. E., Tarighati Sani, H. & Sadjadi, S.K. (2010). A comparative study between the antibacterial effect of nisin and nisin-loaded chitosan/alginate nanoparticles on the growth of Staphylococcus aureus in raw and pasteurized milk samples. Probiotics Antimicrobial Proteins, 2, 258–266

Zohri, M., Nomani, A.R., Gazori, T., Haririan, I. Mirdamadi, S. S., Sadjadi, S. S. & Ehsani, M. R. (2011). Characterization of chitosan/alginate self-assembled nanoparticles as protein carrier. Journal of Dispersion Science and Technology, 32, 576–582.

.

Food Technology & Nutrition / Summer 2021 / Vol. 18 / No.3

# Low Fat Cream Cheese Fortification Based on β-Cyclodextrin / Inulin Nano Emulsions with Vitamins E and D

**M. Tahery [a], T. Mostaghim [b*]**

[a] M. Sc. Student of the Department of Food Science and Technology, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

[b] Assistant Professor of the Department of Food Science and Technology, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Received: 3 November 2019 Accepted: 24 August 2020



## Abstract

**Introduction:** Food fortification is a way to compensate for the lack of micronutrients in society, which is used by all countries in the world to minimize or control the lack of essential nutrients. Meanwhile, the cream cheese is a suitable carrier for fortification due to its wide range of uses. The aim of this study was to fortify the low-fat cream cheese based on β-cyclodextrin / inulin nano emulsions with vitamins D and E.

**Materials and Methods:** Nano emulsions were prepared with 400, 450 and 500 units of vitamin E and 5, 10 and 15 micrograms per gram of vitamin D. Free radical scavenging tests (antioxidant activity), trapping rate, release rate and nano emulsions size were evaluated. The cream cheese tests consisted of the assessments regarding percent acidity, fat, moisture contents, textural properties (hardness, adhesion and elasticity) and peroxide index. Sensory characteristics (taste, texture, appearance, aroma and overall acceptance) were assessed by a 5-point Hedonic method.

**Results:** The results showed that by increasing the use of these two vitamins, the morphological properties of nano emulsions changed and their size increased. Trapping rates ranged from 65 to 98% and release rates ranged from 61 to 84%. The results showed that during the storage period of the cheese in the time intervals of production days, fifteenth, thirtieth, forty-fifth and sixtieth day storage, the index of hardness, adhesion, acidity and peroxide number increased significantly ($p \geq 0.05$). Moisture content, elasticity index and sensory characteristics decreased significantly ($p \geq 0.05$). The fat content of treated cheese did not show significant differences with the control sample ($p < 0.05$).

**Conclusion:** Considering all physicochemical properties as well as the results of sensory evaluation, the treatment with 450 units of vitamin E and 5 micrograms per gram of vitamin D was selected as the optimal treatment.

***Keywords:*** β-cyclodextrin, Cream Cheese, Fortification, Inulin, Nano Emulsion, Vitamin D, Vitamin E.

* Corresponding Author: toktammostaghim@yahoo.com

علوم غذایی و تغذیه / تابستان ۱۴۰۰ / سال هجدهم / شماره ۳