



## مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: [www.fsct.modares.ac.ir](http://www.fsct.modares.ac.ir)

مقاله علمی-پژوهشی

### بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی پنیر کوبه در طی دوره رسیدن

پیمان اسماعیل زاده<sup>۱</sup>، محمدرضا احسانی<sup>۲\*</sup>، مریم میزانی<sup>۳</sup>، محمد هادی گیویان راد<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۴- استادیار، گروه شیمی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

#### چکیده

#### اطلاعات مقاله

##### تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۳

##### کلمات کلیدی:

پنیر سستی کوبه،

رسیدن،

ویژگی های فیزیکی،

DSC،

رئولوژی.

پنیر کوبه یکی از پنیرهای سستی ایرانی است که در این تحقیق اثر زمان رسیدن بر روی ویژگی های فیزیکی شیمیایی آن در مدت ۱۸۷ روز مورد بررسی قرار گرفت. در این مدت مقدار اندیس رسیدگی و pH بصورت معنی داری افزایش پیدا کرد در حالیکه "نمک در ماده خشک" کاهش پیدا کرد ( $P < 0.05$ ). حداکثر تانژانت دلتا ( $\tan \delta$ ) مابین ۰/۳۵ تا ۰/۴ متغیر بود. منحنی های گرماسنجی پویایی تفاضلی (DSC) در مرحله سرمایش برای چربی استخراج شده از پنیرهای رسیده در روزهای ۷، ۳۷، ۶۷ و ۹۷ دو پیک اگزوترم، برای پنیر روز ۱۲۷ سه پیک اگزوترم و برای پنیر روز ۱۸۷ دو پیک اگزوترم و یک پیک اندوترم را نشان دادند. نتایج "تحلیل مولفه اساسی" (PCA) نشان داد که دو مولفه PC1 و PC2 پنیرها را به چهار گروه متفاوت تقسیم کردند و PC3 تنها یک گروه که شامل پنیر روز ۱۲۷ بود را شناسایی کرد که دارای همبستگی بالایی با "رطوبت در ماده خشک بدون چربی"، "نمک در ماده خشک" و "چربی در ماده خشک" بودند. نتایج تحلیل آزمون همبستگی نشان داد که ویژگی های شیمیایی فوق الذکر همبستگی معنی داری با ( $\tan \delta$ ) داشتند ( $P < 0.05$ ). این ترکیبات بیشترین تاثیر را بر روی خصوصیات فیزیکی پنیر داشتند و می توان با بهینه کردن مقادیر آنها کیفیت مناسب را ایجاد کرد.

DOI: 10.52547/fsct.19.123.275

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.123.28.3

\* مسئول مکاتبات:

m-ehsani@srbiau.ac.ir

## ۱- مقدمه

پنیر کوبه یکی از معدود پنیرهای سنتی ایرانی است که در غرب و شمال غرب ایران تهیه می گردد و تحت عنوان پنیر کوزه، پنیر کوردی و یا پنیر بوکان نیز شناخته می شود. این نوع پنیر در استان کردستان و آذربایجان غربی بسیار محبوب و پرمصرف است که معمولاً از شیر گاو یا گوسفند و بدون استفاده از مایه میکروبی توسط خانوارهای روستایی که دارای تعداد معدودی دام هستند، تهیه می گردد. هر روز مقدار کمی شیر دوشیده شده به لخته تبدیل شده، سطح آن کاملاً با نمک پوشانده شده و در بشکه های پلاستیکی نگهداری می شود. این عملیات ممکن است ۳۰ روز و حتی بیشتر تا پر شدن بشکه ها از لخته، ادامه پیدا کند. بنابراین در این مدت نمک به بافت پنیر نفوذ کرده و آب از آن خارج می شود که در نهایت منجر به ایجاد پنیری تازه با بافت بسیار سخت و شور می شود که پس از شستشو نرم و الاستیک شده که "سه له ک" خوانده می شود. اما عملیات "رساندن" بر کیفیت آن تاثیر بسیار زیادی دارد. معمولاً فرایند "رسیدن" در اثر انجام واکنش های بسیار پیچیده بیوشیمیایی باعث ایجاد تغییرات بافتی و فیزیکی شیمیایی پنیر می شود [۱] که بستگی بسیار زیادی به شرایط و مدت زمان رسیدن دارد. در طی دوره رسیدن تغییرات pH، نمک، چربی، رطوبت، پروتئولیز، گلیکولیز و لیپولیز باعث تغییراتی در چربی ها و پروتئین ها می شود که می تواند باعث ایجاد بافتی متفاوت در محصول نهایی شود [۲]. تاکنون تحقیقات زیادی برای ارزیابی اثر ترکیبات شیمیایی و زمان رسیدن بر بافت انواع پنیر نظیر چدار [۳]، پنیر سنتی پوستی [۴] پنیر سفید کم چرب [۵] پنیر فتای ایرانی تهیه شده به روش UF [۶] و پنیر کوزه انجام شده است [۷]. در همین راستا باید گفت که مقدار چربی در پنیرها بسیار متفاوت است و علاوه بر آن ساختار چربی ها نیز در انواع پنیرها متفاوت است که می تواند بر روی خواص فیزیکی آنها موثر باشد. خواص حرارتی چربی ها را می توان با استفاده از گرماسنجی پوششی تفاضلی<sup>۱</sup> (DSC) مورد ارزیابی قرار داد. کریستالیزاسیون چربی ها در طول مدت رسیدن پنیرها اتفاق خواهد افتاد بنابراین بررسی خواص حرارتی چربی ها و تعیین مقدار چربی جامد در درک بهتر رفتار رئولوژیکی، حسی و تغذیه ای آنها بسیار مفید است [۸و۹]. رنگ نیز یکی از

فاکتورهایی است که تحت تاثیر رسیدن قرار می گیرد و بر روی بازار پسنندی پنیر موثر است. این فاکتور در پنیرهای مختلف تحت تاثیر عملیات های مختلف فراوری و رسیدن قرار گرفته و فاکتور بسیار مهمی در کیفیت و مشتری پسنندی است [۱۰ و ۱۱]. برای ارزیابی خصوصیات بافتی و چگونگی تاثیر روش های فراوری و شرایط رسیدن و اثر ویژگی های شیمیایی بر آن می توان از آنالیزهای رئولوژیکی استفاده کرد. حال با توجه به اینکه پنیر یک ماده جامد ویسکوالاستیک محسوب می شود آزمون های نوسانی دامنه کوتاه<sup>۲</sup> در محدوده ویسکوالاستیک خطی، امکان مطالعه ساختار ماده را تا سطح مولکولی فراهم می آورد [۱۱]. این آزمون در واقع هر دو خصوصیت ذاتی الاستیک و ویسکوز پنیرها را بطور همزمان بررسی می کند. در مورد پنیر کوبه نیز تنها چند پژوهش در مورد تعیین ویژگی های فیزیکی شیمیایی [۱۲] رئولوژیکی [۷] و بررسی تغییرات بیوشیمیایی و شناسایی عوامل موثر بر الگو و سرعت آنها، همچنین تشکیل ترکیبات فرار در طول مدت زمان رسیدن گزارش شده است [۱۳]. هدف از این تحقیق بررسی تغییرات رئولوژیکی، رنگ و پروفایل حرارتی در پنیر کوبه در طی ۱۸۷ روز رسیدن است. با این رویکرد که مهمترین فاکتورهای شیمیایی (ویژگی های شیمیایی) موثر در ایجاد تغییرات فیزیکی را در طی زمان رسیدن، شناسایی کرد تا در پژوهش های آینده از طریق کنترل و بهینه سازی آنها قدم مهمی را افزایش کیفیت پنیر کوبه برداشت.

## ۲- مواد و روش ها

### ۲-۱- مواد

شیر خام گوسفندی از یک خانواده روستایی (روستای لگری، بوکان) از اواخر فروردین تا اوایل اردیبهشت ۱۳۹۴ جمع آوری شد. مایه قارچی، Rennilase® (DSM Co. French) از شرکت تهران ترگل با قدرت ۵۵IMCU<sup>۳</sup>، نمک با درجه خلوص ۹۹٪ (Pak Namak Co, Iran, Kurdistan) و کوبه های گلی ۴ کیلوگرمی از بازار سنتی بوکان تهیه گردید.

### ۲-۲- روش تهیه پنیر

روش تولید بصورت کامل توسط Esmailzadeh et al,

2. Small Amplitude Oscillatory Testing

3. International Milk Clotting Unit.

1. Differential scanning calorimetry.

## ۲-۴- رئولوژیکی

آزمون نوسانی دامنه کوتاه توسط دستگاه رئومتر (Anton Paar, MCR300) دارای دو صفحه موازی با قطر ۲۵ میلیمتر و فاصله ۱ میلیمتر از همدیگر انجام گرفت. در مرحله اول، آزمون strain Amplitude sweep با فرکانس ثابت ۰/۱ Hz در محدوده کرنش بین ۰/۰۱-۱۰۰٪، جهت تعیین محدوده ویسکوالاستیک خطی و در مرحله دوم، آزمون Frequency sweep، انجام محدوده ویسکوالاستیک خطی و فرکانس ۰/۰۱-۱۰۰ Hz انجام گرفت. نمونه ها از عمق ۱۰ cm از هر کوپه بریده و به مدت ۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. در مرحله آزمون، قطعه کوچکی از هر نمونه به ضخامت ۲۰ mm مورد ارزیابی قرار گرفت و میزان تغییرات  $\tan \delta$  (TD) گزارش گردید [۶].

## ۲-۵- ویژگی های حرارتی چربی پنیر

برای بررسی پروفایل حرارتی چربی پنیرها ۵ میکرو گرم از آن با استفاده از دستگاه آنالیز حرارتی (TA Instruments, DSC 2010, USA) که مجهز به خنک کننده محیط و دمای زیر صفر درجه سانتی گراد بود مورد ارزیابی قرار گرفت. دستگاه با استفاده از اندیوم کالیبره شد. نمونه ها در ظرف آلومینیومی هرمتیک وزن شدند و کاملاً غیر قابل نفوذ گردیدند. نمونه ها تا درجه حرارت ۵۰°C حرارت داده شد تا تمام هسته های کریستالی ذوب شوند، سپس هر نمونه به مدت ۵ دقیقه در ۵۰°C نگهداری و تا ۱۰°C - با سرعت ۱°C/min سرد شده و به مدت ۱۵ دقیقه در این دما نگهداری شد (سرمایش) و سپس با سرعت ۱°C/min تا ۵۰°C حرارت داده شد (گرمایش) [۱۹]. دما آغاز کریستالیزاسیون، دمای خاتمه ذوب به وسیله نرم افزار دستگاه محاسبه گردید.

## ۲-۶- ویژگی های رنگی

ویژگی های رنگ نمونه های پنیر با استفاده سیستم Hunter Lab (model DP 9000 Associates Laboratory Inc., Reston, VA) اندازه گیری شد. بعد از کالیبره کردن دستگاه، نمونه پنیر در ظرف مخصوص دستگاه گذاشته شد بطوری که کمی بالاتر از واشر لاستیکی داخل ظرف قرارگیرد و پس از قراردادن درب ظرف، سه شاخص  $a^*$ ،  $b^*$  و  $L^*$  تعیین گردید. همچنین اندیس سفیدی<sup>۴</sup> (WI) و اندیس زردی<sup>۱</sup> (YI)

۲۰۲۱ توضیح داده شده است [۱۳]. بطور خلاصه رنت میکروبی به مقدار ۰.۴ ml/۱۰۰ ml در دمای ۳۷±۲ به شیر افزوده و به مدت ۳۰ دقیقه برای تشکیل لخته به آن استراحت داده شد. آب لخته به وسیله یک پارچه توری تحت فشار جدا شد و سپس به توری های پلاستیکی دایره ای شکل به قطر ۳۰ سانتی متر انتقال داده و لخته های قرصی شکل تهیه گردیدند. در ادامه سطح آنها از نمک دانه درشت پوشانده و در بشکه قرار داده شدند. این عملیات به مدت تقریباً ۳۰ روز ادامه یافت بطوریکه بافت آنها سخت گردید، قرص ها با آب شستشو داده شد تا مزه شوری آنها از بین رفته و بافت آنها کاملاً نرم و لاستیکی گردید (پنیر سه له ک). سپس به وسیله خرد کننده های بزرگ خرد شده و در داخل کوپه ها بصورت بسیار متراکم پر شده و روی آن را با نمک پوشانده و دهانه کوپه ها را با کیسه پلاستیکی بسته و در نهایت بصورت وارونه در عمق ۱ متری زمین دفن گردیدند. در این تحقیق، هر روز ۱۵ کیلوگرم شیر جمع آوری شد و ۳/۸ کیلو گرم پنیر تهیه گردید. در مجموع ۳۷ عدد پنیر کوپه (۱۱۰ کیلو گرم) از ۴۵۶ کیلو گرم شیر خام تولید شد. در هرروز نمونه گیری ۳ عدد کوپه (هر کوپه یک نمونه تلقی شد) از خاک خارج گردیده و مورد آزمون قرار گرفت. نمونه های پنیر در روزهای ۷، ۳۷، ۶۷، ۹۷، ۱۲۷ و ۱۸۷ ارزیابی شدند

## ۲-۳- ویژگی های شیمیایی

مقادیر پروتئین، چربی، خاکستر، ماده خشک بدن چربی<sup>۱</sup> (SNF) و دانسیته شیر خام گوسفندی به وسیله دستگاه اکو میلک (Ekomilk horizon unlimited, Bulgaria) اندازه گیری شد. میزان اسیدیته بر اساس استاندارد ملی ایران [۱۴] اندازه گیری شد. در پنیر، برای سنجش نیتروژن در فراکسیون های مختلف و پروتئین از روش کلدال [۱۵] استفاده شد، مقدار ماده خشک<sup>۲</sup> (DM) [۱۶]، نمک [۱۷] مطابق با استانداردهای مربوطه تعیین شد و برای تعیین مقدار چربی از روش ژربر [۱۸] استفاده شد. برای اندازه گیری pH از pH متر (HI 2210, Hanna, Thailand) استفاده شد. همچنین برای اندازه گیری میزان رسیدگی از اندیس رسیدن<sup>۳</sup> (RI) استفاده شد که بیانگر نسبت بین نیتروژن محلول در آب به نیتروژن کل است.

1. Solid Non-Fat.

2. Dry Matter

3. Ripening Index.

4. Whiteness Index

نیز با استفاده فرمولهای زیر محاسبه گردید [۱۰].

$$YI=142.86[b^*/L^*]$$

$$WI=100-[(100-L^*)^2+(a^*)^2+(b^*)^2]^{1/2}$$

## ۷-۲- تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری به وسیله نرم افزار SPSS Ver 23 انجام گرفت. نتایج با استفاده آنالیز واریانس یکطرفه ANOVA در سطح معنی داری ۵٪ مورد ارزیابی آماری قرار گرفت ( $P<0.05$ ). از آزمون Principal Factor analysis، PCA Component Analysis، برای طبقه بندی، تعیین و شناسایی مهمترین ترکیبات شیمیایی موثر در تغییرات فیزیکی پنیر کوبه و از آزمون Heretical Clustering Analysis (HCA) برای طبقه بندی آنها استفاده گردید. آزمون همبستگی پیرسون برای نشان دادن تاثیر متقابل متغیرهای مورد مطالعه صورت گرفت. آزمون ها در سه تکرار انجام شدند.

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- ویژگی های فیزیکوشیمیایی شیر خام

جدول ۱ میانگین برخی از ویژگی های شیمیایی شیر خام گوسفندی را نشان می دهد. شیر گوسفند به واسطه بالا بودن پروتئین، چربی و در نهایت مقدار ماده خشک شیر بسیار مناسبی برای پنیر سازی است بطوریکه لخته ایجاد شده دارای انسجام بیشتر و عطر و طعم قویتری نسبت به شیر گاو است.

Table 1 Gross composition of raw sheep milk.

| Composition       | Mean±SD    |
|-------------------|------------|
| Solid Non-Fat (%) | 10.95±0.42 |
| Protein (%)       | 5.3±0.50   |
| Fat (%)           | 6.52±0.23  |
| Lactose (%)       | 4.73±0.36  |
| Ash (%)           | 0.92±0.10  |
| Acidity(°D)       | 14.6±0.2   |
| pH                | 6.61±0.1   |

### ۳-۲- ویژگی های شیمیایی پنیر

جدول ۲ روند تغییرات ترکیبات شیمیایی پنیر کوبه را نشان می دهد. نتایج آماری نشان داد که مقادیر ماده خشک و اندیس رسیدگی در تمام مدت زمان رسیدن بصورت معنی داری افزایش پیدا کرده است ( $P<0.05$ ). مقدار میانگین ماده خشک

( $56.43\pm1.22$ ) نمونه ها در این تحقیق بالاتر از سایر انواع دیگر پنیرهای کوبه بود [۲۰] که این تفاوت می تواند به دلیل مدت زمان طولانی تر رسیدن، کیفیت شیر خام، جنس گلی کوبه، دمای داخل خاک و میزان رطوبت آن باشد. درحالیکه مقدار اندیس رسیدن نمونه های پنیر کمتر از سایر پنیرهای گوسفندی مشابه آن بود [۲۱ و ۲۲] و دلیل این موضوع نیز می تواند به اختلاف در روش های تولید، شرایط رسیدن و سایر عوامل مانند مقدار نمک و pH مربوط باشد.

مقادیر چربی در ماده خشک (F/DM) و رطوبت در ماده خشک بدون چربی (MNFS) بصورت معنی داری تا روز ۹۷ کاهش پیدا کردند ( $P<0.05$ ) و سپس مقدار F/DM بصورت معنی داری افزایش پیدا کرد درحالیکه مقدار MNFS تا انتهای رسیدن تقریباً ثابت باقی ماند. pH بصورت معنی داری تا روز ۳۷ کاهش و سپس به تدریج تا انتهای رسیدن افزایش پیدا کرده است. درحالیکه مقدار نمک در ماده خشک (S/DM) در اوایل دوره رسیدن ثابت باقی مانده ( $P<0.05$ ).

ولی در ادامه تا روز ۱۲۷ کاهش پیدا کرده و دوباره افزایش نشان داده است ( $P<0.05$ ). همانطور که انتظار می رفت، با توجه به روش تولید، مقدار نمک در این پنیر بالا بود بطوریکه مقدار آن بیشتر از پنیر تولوم [۲۱ و ۲۲] و تقریباً برابر با پنیر سنتی کوزه بود که در ظرف پلاستیک دوره رسیدن را طی کرده بود [۲۰] ولی پایین تر از پنیر سنتی کردی [۲۳] و پوستی [۴] بود که به ترتیب به مدت ۱۲۰ و ۹۰ روز در پوست طبیعی زمان رسیدن را طی کرده بودند. مقدار خاکستر تا روز ۹۷ ثابت بود و سپس بصورت معنی داری کاهش پیدا کرد ( $P<0.05$ ) و تا انتها ثابت ماند. با توجه به اینکه املاح در آب محلول هستند و همچنین دیواره کوزه دارای بافتی پر خلل و خرج است، ممکن است که املاح همراه با آب وارد دیواره شده در آنجا به دام افتاده باشند. تأثیر ترکیب ظرف پنیر در طول دوره رسیدن بر ترکیبات پنیر مانند pH، خاکستر، مقدار چربی و پروتئین بررسی شده است. نشان داده شده است که پنیر محلی کوردی به دلیل مهاجرت ترکیبات معدنی از پوست به پنیر دارای مقادیر خاکستری بالاتری نسبت به ظرف های پلاستیکی بوده است [۲۴].

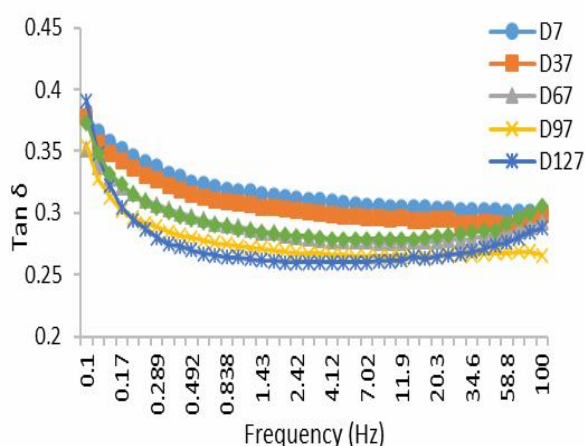
**Table 2** Gross composition of Kope cheese during ripening.

| Component* | Day                      |                         |                         |                         |                         |                         |
|------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|            | 7                        | 37                      | 67                      | 97                      | 127                     | 187                     |
| RI (%)     | 3.64±0.01** <sup>F</sup> | 4.74±0.04 <sup>E</sup>  | 6.45±0.00 <sup>D</sup>  | 6.87±0.08 <sup>c</sup>  | 7.86±0.02 <sup>B</sup>  | 8.93±0.09 <sup>A</sup>  |
| MNFS (%)   | 61.96±0.27 <sup>A</sup>  | 59.18±0.23 <sup>B</sup> | 54.37±0.21 <sup>C</sup> | 53.67±0.20 <sup>D</sup> | 53.51±0.04 <sup>D</sup> | 53.26±0.08 <sup>D</sup> |
| F/DM (%)   | 48.26±0.59 <sup>A</sup>  | 44.78±0.52 <sup>B</sup> | 35.77±0.54 <sup>E</sup> | 34.61±0.57 <sup>D</sup> | 35.88±0.14 <sup>E</sup> | 36.52±0.20 <sup>C</sup> |
| pH         | 5.82±0.01 <sup>C</sup>   | 5.3±0.01 <sup>E</sup>   | 5.62±0.00 <sup>D</sup>  | 5.80±0.00 <sup>C</sup>  | 5.90±0.01 <sup>B</sup>  | 6.11±0.05 <sup>A</sup>  |
| S/DM (%)   | 9.6±0.23 <sup>A</sup>    | 9.00±0.04 <sup>A</sup>  | 7.04±0.05 <sup>C</sup>  | 6.75±0.10 <sup>D</sup>  | 7.06±0.01 <sup>C</sup>  | 7.46±0.17 <sup>B</sup>  |
| Ash (%)    | 7.76±0.02 <sup>A</sup>   | 7.68±0.02 <sup>A</sup>  | 7.27±0.03 <sup>A</sup>  | 7.09±0.01 <sup>B</sup>  | 6.72±0.06 <sup>C</sup>  | 6.39±0.05 <sup>C</sup>  |
| DM (%)     | 54.26±0.01 <sup>E</sup>  | 55.54±0.01 <sup>D</sup> | 56.65±0.00 <sup>C</sup> | 56.9±0.01 <sup>C</sup>  | 57.54±0.01 <sup>B</sup> | 58.02±0.02 <sup>A</sup> |

\*\* : Means (Mean ± SD) within a row with different uppercase letters show significant differences, ( $P < 0.05$ ).

\* : Water-soluble nitrogen in total nitrogen (Ripening Index), F/DM=Fat in Dry Matter, MNFS=Moisture in Non-Fat Substance, S/DM=Salt in Dry Matter, DM= Dry Matter.

ویسکوالاستیک را از خود نشان داده اند. شکل ۲ روند تغییرات  $\tan \delta$  پنیرکوپه را در طول مدت زمان رسیدن، نشان می دهد.



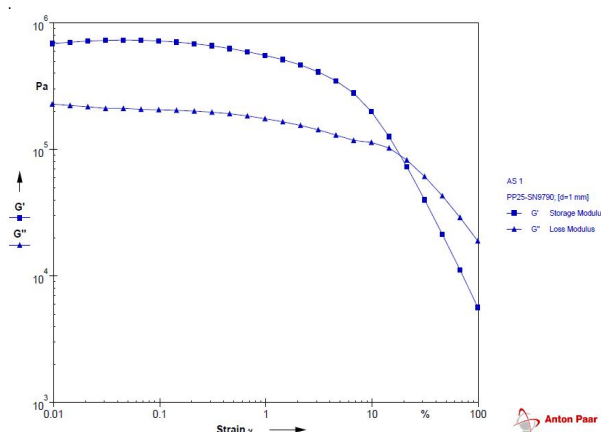
**Fig 2** The loss tangent of Kope cheese samples during the ripening period.

در تمام طول زمان رسیدن، مقدار این فاکتور کمتر از ۱ بوده که رفتار جامد ویسکوالاستیک را تایید میکند. حداکثر مقدار  $\tan \delta$  بین ۰/۳۵ تا ۰/۴ متغیر بوده است. با افزایش فرکانس،  $\tan \delta$  در همه نمونه ها کاهش پیدا کرد و مقدار آن در فرکانس های کمتر، بیشتر بوده که نشان دهنده وجود پیوندهای موثری است که در زمان های استرس طولانی تر بیشتر ویژگی های الاستیک را بروز می دهند [۷]. بطور کلی مقدار ماکزیموم TD در این تحقیق در دامنه کوچکتري نسبت به تحقیق انجام شده بر روی پنیر کوپه به وسیله Hassanzadeh et al, 2018 بود. میانگین TD از ۰/۳۱۸ در روز ۷ به حدود ۰/۲۷۷ در روز ۹۷ کاهش پیدا کرد و تا روز ۱۲۷ ثابت ماند ولی در انتهای دوره رسیدن به حدود ۰/۲۹۴ رسیده و افزایش پیدا کرد. با این حال نشان داده شده است که مقدار این فاکتور در پنیر کوپه در مدت ۴۵ روز افزایش پیدا کرده ولی سپس تا روز ۹۰ کاهش پیدا کرد [۷].

در هر صورت، میزان خاکستر در این پنیر نسبت به پنیر کوزه ای (۸٪) [۲۰] و پوستی (۱۱٪) [۲۵] پایین تر بود. باید توجه داشت که سه فاکتور pH، MNFS و S/DM در ماندگاری و کیفیت پنیر بسیار مهم هستند و در پیش بینی خصوصیات حسی و بافتی مورد استفاده قرار گیرد. پایین بودن pH و MNFS و بالا بودن S/M می تواند باعث افزایش ماندگاری و مهیا شدن شرایط مناسب، دوره رسیدگی گردد [۲].

### ۳-۳ ویژگی های رئولوژیکی

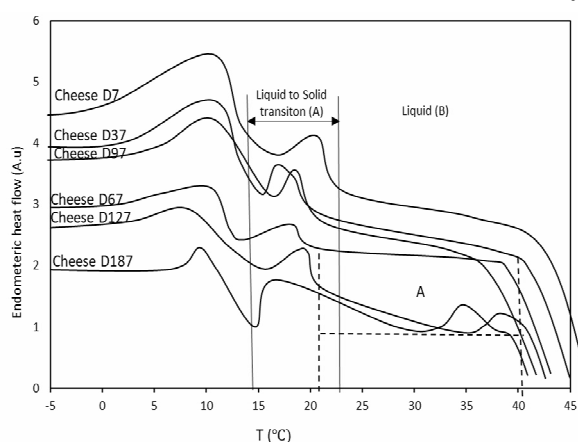
براساس نتایج حاصل از آزمون Strain amplitude sweep در فرکانس ۰/۱ Hz میزان کرنش ناحیه ویسکوالاستیک خطی نمونه های پنیر معادل ۰/۲٪ تعیین شد که بصورت نمونه در شکل ۱ نشان داده شده است.



**Fig 1** Typical elastic and loss moduli of Kope cheese (ripened at 127 d) as a function of shear strain at 0.01 Hz and 25°C.

در تمام نمونه ها مدول الاستیک ( $G'$ ) همواره غالب بر مدول ویسکوز ( $G''$ ) بود، بنابراین همه پنیرها رفتار جامد

دی گلیسریدها) باشد که می تواند باعث افزایش نقطه ذوب گردند [۱۹]. در شکل ۳ سه ناحیه مشخص دیده میشود. اولین ناحیه مربوط به تری گلیسریدهایی است که در حالت مایع قرار دارند (B). دومین ناحیه مربوط به ناحیه انتقالی فاز مایع به جامد است (A) و دقیقاً از دمای شروع پیک اگزوترم اول آغاز می شود. با توجه به تفاوت در نوع تری گلیسریدها، دو دامنه حرارتی متفاوت در این ناحیه ها شناسایی شد بطوریکه نمونه های پنیر روز ۱۲۷ و ۱۸۷ (خط چین) ناحیه مایع کوچکتر و ناحیه انتقالی وسیعتری نسبت به سایر نمونه ها دارند که با خطوط پرنرنگ نشان داده شده اند.



**Fig 3** Differential scanning calorimetry curves were recorded during cooling at 5°C/min, from 60 to -5°C, for the fat portion of Kope cheese samples.

نتایج جدول ۳ نشان می دهد که در پنیرهای روز ۱۲۷ و ۱۸۷، یک پیک اولیه در محدوده ۴۲ - ۳۹/۵ °C وجود دارد (آغاز کریستالیزاسیون) درحالیکه این پیک در سایر نمونه ها مشاهده نمیشود.

برخی از فاکتورهای شیمیایی مانند pH، رطوبت، چربی، مقدار پروتئولیز و نمک این ویژگی ها را بشدت تحت تاثیر قرار می دهد. افزایش مقدار چربی، رطوبت و پروتئولیز می تواند باعث افزایش جنبه ویسکوز و در نهایت افزایش مقدار  $\tan \delta$  شود ولی افزایش ماده خشک و پروتئین بدلیل انسجام بخشی به بافت پنیر باعث افزایش جنبه الاستیک و در نهایت کاهش  $\tan \delta$  می شود. pH یکی از فاکتورهای بسیار مهم در تعیین ویژگی های ویسکو الاستیک پنیر است، در برخی از پنیر ها پایین بودن pH در اوایل دوره رسیدن می تواند باعث غالب شدن خواص ویسکوز شود [۱].

### ۳-۴- پروفایل حرارتی چربی پنیر

شکل ۳ منحنی های حاصل از آزمون DSC نمونه های چربی استخراج شده پنیرها، در مرحله سرمایش، را نشان می دهد. همه نمونه ها بجز پنیرهای روز ۱۲۷ و ۱۸۷ دو پیک اگزوترم را نشان دادند که اولی ۳ پیک اگزوترم و دومی دو پیک اگزوترم و یک آندوترم را نشان دادند. پیکهای اگزوترمیک نشان دهنده کریستالیزاسیون چربی ها در فاز انتقال مایع به جامد مولکولهای تری گلیسریدی هستند. شکل منحنی ها در روزهای ۷، ۳۷، ۶۷ و ۹۷ تقریباً مشابه هم بودند ولی ویژگی های حرارتی دو نمونه دیگر کاملاً متفاوت بود. تحقیقات گذشته نشان داد که فرایند رسیدن هیچ تاثیری در کنفورماسیون تری گلیسریدها ندارد [۱۹]. بنابراین کاهش درجه حرارت کریستالیزاسیون در اواخر دوره رسیدن (جدول ۳) ممکن است به دلیل هیدرولیز تری گلیسریدهای حاوی اسیدهای چرب بلند زنجیر اشباع و یا حضور محمولات حاصل از لیپولیز (اسیدهای چرب آزاد، مونو و

**Table 3** Thermal characteristics of the differential scanning calorimetry curves recorded on cooling and subsequent heating of fat portion of Kope-cheese at 5°C/min.

| Day         | Cooling*                |                          |                        |               | Heating*                 |                       |                       |
|-------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|---------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
|             | T <sub>onset</sub> (°C) |                          |                        |               | T <sub>offset</sub> (°C) |                       |                       |
|             | First peak              | Second peak              | Third peak             | Events        | First peak               | Second peak           | Third peak            |
| Cheese D7   | -                       | 22.66±0.1 <sup>A**</sup> | 11.34±0.2 <sup>A</sup> | 2 exo         | -                        | 16.3±0.4 <sup>E</sup> | 40.6±1.4 <sup>B</sup> |
| Cheese D37  | -                       | 20.06±0.2 <sup>B</sup>   | 10.31±0.2 <sup>B</sup> | 2 exo         | -                        | 15.4±0.5 <sup>D</sup> | 39.3±1.0 <sup>B</sup> |
| Cheese D67  | -                       | 18.83±0.1 <sup>D</sup>   | 10.33±0.3 <sup>B</sup> | 2 exo         | -                        | 13.6±1.0 <sup>C</sup> | 37.4±1.3 <sup>C</sup> |
| Cheese D97  | -                       | 19.55±2.2 <sup>C</sup>   | 10.1±0.8 <sup>B</sup>  | 2 exo         | -                        | 13±1.1 <sup>C</sup>   | -                     |
| Cheese D127 | 42.2±1.3 <sup>A</sup>   | 18.9±2.1 <sup>D</sup>    | 10.3±0.5 <sup>B</sup>  | 3 exo         | 0.15±0.06 <sup>B</sup>   | 17±0.8 <sup>B</sup>   | 31.3±1.1 <sup>D</sup> |
| Cheese D187 | 39.5±0.1 <sup>B</sup>   | -                        | 9.7±0.1 <sup>C</sup>   | 2 exo+ 1 endo | 18.2±0.9 <sup>A</sup>    | 33±1.2 <sup>A</sup>   | 55.1±1.5 <sup>A</sup> |

\*: T<sub>onset</sub> = Initial temperature of crystallization, T<sub>offset</sub> = Final temperature of melting, Exo = Exothermic peak, Endo = Endothermic peak

\*\* : Means (Mean ± SD) within a column with different uppercase letters show significant differences, (P < 0.05).

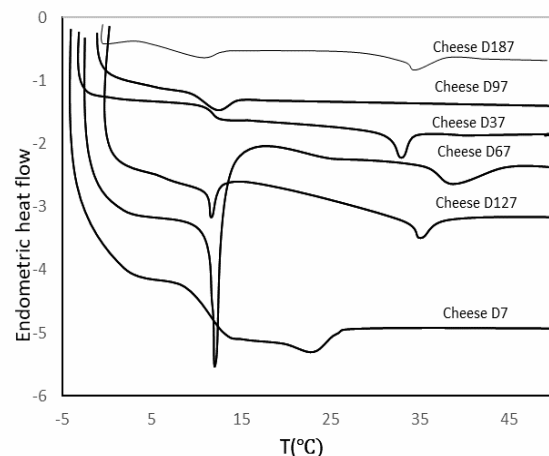
روز ۱۸۷ دارای بیشترین مقدار اسیدهای چرب تک غیر اشباعی و همچنین مقدار نسبتاً بالایی از اسیدهای چرب بلند زنجیر نسبت به سایر نمونه ها بود. به علاوه پنیر روز ۷ دارای بیشترین مقدار اسیدهای چرب متوسط زنجیر و چند غیر اشباعی بود و همزمان محتوی مقادیر نسبتاً بالایی از اسیدهای چرب بلند زنجیر بود [۱۳] که در آزمون DSC پیک هایی با دمای ذوب بالایی را نسبت به سایر نمونه ها نشان داده اند. همچنین اسیدهای چند غیر اشباعی تنها در نمونه های روز ۷، ۱۲۷ و ۱۸۷ شناسایی شدند [۱۳].

### ۳-۵-ویژگی های رنگ

نتایج آزمون رنگ سنجی در جدول ۴ نشان داده شده است. اندیس  $L^*$  که نشان دهنده میزان روشنایی نمونه ها است در یک ماه اول رسیدن بصورت معنی داری افزایش پیدا کرد و سپس ثابت ماند و در انتهای دوره رسیدن دوباره بصورت معنی داری کاهش پیدا کرد ( $P < 0.05$ ). در طول دوره رسیدن مقدار  $a^*$  و  $b^*$  در طول ماه اول بصورت معنی داری افزایش پیدا کردند ( $P < 0.05$ ) و سپس تا روز ۹۷ ثابت ماند ( $P > 0.05$ ) و در نهایت از روز ۱۲۷ دوباره بصورت معنی داری کاهش نشان داد و تا انتهای رسیدن ثابت باقی ماند. نتایج متفاوتی در این زمینه گزارش شده است بطوریکه در پنیر سنتی PDO که در شرایط سنتی رسیده بود، مقدار  $b^*$  ثابت مانده ولی  $L^*$  و  $a^*$  بصورت معنی داری افزایش پیدا کرد [۲۶]. همچنین در طول دوره رسیدن پنیر امتثال شاخص  $L^*$  کاهش  $a^*$ ،  $b^*$  افزایش پیدا کرده بود [۲۷] ولی در پنیر سفید ایرانی همراه با افزایش مقدار استاتر و زمان رسیدگی مقدار  $L^*$  بصورت معنی داری کاهش یافته بود [۲۸]. تحقیقات گذشته نشان داده که در ارزیابی رنگ استفاده از اندیس های WI و YI بسیار مناسب تر از  $a^*$ ،  $b^*$  است [۱۰]. اندیس زردی رنگ پنیر ارتباط بسیار زیادی با شاخص  $b^*$  دارد، این اندیس در پنیرهای رسیده افزایش پیدا کرده و معمولاً باعث ایجاد تفاوت در ارزیابی های حسی می شود [۱۰]. اسماعیل زاده و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که در ارزیابی حسی پنیر کوپه مقدار امتیاز رنگ زرد تا روز ۶۷ بصورت معنی داری افزایش داشت و سپس تا انتهای دوره رسیدن بصورت معنی داری کاهش پیدا کرده بود [۱۳] که تقریباً با روند تغییرات YI همخوانی دارد. در هر حال این اندیس در روز ۱۲۷ به حداقل مقدار خود رسید.

در واقع دمای شروع کریستالیزاسیون در روز ۷ تقریباً برابر با  $23^\circ\text{C}$  بود و تا روز ۹۷ به حدود  $19^\circ\text{C}$  کاهش یافته است ( $P < 0.05$ ). ناحیه سوم نیز مربوط به تشکیل پیک دوم اگزوترمیک است. در نمونه روز ۱۸۷ وجود یک پیک اندوترم در فاصله بین  $10^\circ\text{C}$  تا  $20^\circ\text{C}$  حاکی از بروز یک فرایند ذوب است. بطورکلی وجود چند پیک در منحنی های DSC نشان دهنده وجود چند گروه متفاوت از تری گلیسریدها هستند که شامل تری گلیسریدها با نقطه ذوب پایین، متوسط و بالا در چربی پنیر خواهند بود. در حقیقت پیچیده گی هایی که در منحنی های DSC دیده می شود به دلیل توزیع بسیار متفاوت تری گلیسریدها و پلی مورفسم آنها است، اشکال مختلف پلی مورفسم دارای خواص فیزیکی، کریستالیت و نقطه ذوب متفاوتی هستند [۱۹].

شکل ۴ نشان دهنده منحنی های بدست آمده در حین عملیات گرمایش نمونه های چربی است. نمونه روز ۹۷ تنها یک پیک و ۱۲۷ و ۱۸۷ سه پیک آندوترم را نشان داده اند. جدول ۳ نشان می دهد که دمای خاتمه ذوب در روزهای ۶۷، ۹۷ و ۱۲۷ بصورت معنی دار پایین تر از سایر نمونه ها است ( $P < 0.05$ ). درحالی که دماهای خاتمه ذوب در نمونه ۱۸۷ در هر سه پیک بصورت معنی داری بیشتر از سایر نمونه ها است ( $P < 0.05$ ).



**Fig 4** Differential scanning calorimetry curves recorded during heating at  $5^\circ\text{C}/\text{min}$ , from  $-5$  to  $60^\circ\text{C}$ , for the fat portion of Kope cheese samples.

این نتایج موید نتایج ذکر شده توسط Esmaeilzadeh et al (۲۰۲۱) بود. آنها نشان دادند که پنیر کوپه در روز ۱۲۷ دارای بیشترین مقدار اسیدهای چرب کوتاه زنجیر بود، همچنین پنیر

رنگ سنجی که در جدول ۴ نشان داده شده است می توان نتیجه گرفت که این پنیر دارای سطحی روشن، زرد کم رنگ و همچنین سفید که دارای ته رنگ سفیدی بسیار بالا و کروماتیک کم است. با توجه به این فاکتورها ظاهر پنیر به رنگ زرد کم رنگ ولی ته رنگ قوی سفید دیده می شود.

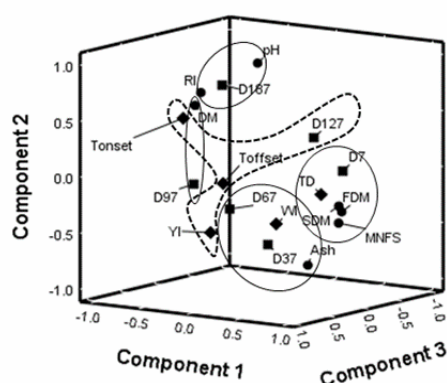
اندیس سفیدی بصورت معنی داری تا روز ۱۲۷ افزایش پیدا کرده ولی در روز ۱۸۷ بصورت معنی داری کاهش پیدا کرد. این تغییرات ممکن است به تغییر در میزان رطوبت پنیر مربوط باشد. نشان داده شده است که کاهش میزان رطوبت باعث افزایش شاخص زردی می شود [۲۸]. با توجه به نتایج بدست آمده از

**Table 4** Color values of Kope cheese during the ripening period.

| Day         | L*                       | a*                      | b*                      | WI <sup>1</sup>         | YI                      | C*                      | h*                      |
|-------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Cheese D7   | 76.56±0.35 <sup>D2</sup> | -3.46±0.03 <sup>B</sup> | 15.99±0.3 <sup>AB</sup> | 71.41±0.43 <sup>C</sup> | 29.85±0.6 <sup>A</sup>  | 16.36±0.29 <sup>B</sup> | 77.79±0.29 <sup>B</sup> |
| Cheese D37  | 78.72±1.15 <sup>B</sup>  | -3.86±0.06 <sup>C</sup> | 16.75±0.18 <sup>A</sup> | 72.64±0.85 <sup>B</sup> | 30.4±0.4 <sup>B</sup>   | 17.19±0.18 <sup>A</sup> | 76.87±0.42 <sup>C</sup> |
| Cheese D67  | 78.66±0.64 <sup>B</sup>  | -3.88±0.07 <sup>C</sup> | 16.55±0.08 <sup>A</sup> | 72.71±0.45 <sup>B</sup> | 30.07±0.12 <sup>B</sup> | 17.00±0.09 <sup>A</sup> | 76.81±0.19 <sup>C</sup> |
| Cheese D97  | 78.70±0.36 <sup>B</sup>  | -3.87±0.06 <sup>C</sup> | 16.54±0.25 <sup>A</sup> | 72.76±0.29 <sup>B</sup> | 30.02±0.46 <sup>B</sup> | 16.98±0.25 <sup>A</sup> | 76.82±0.30 <sup>C</sup> |
| Cheese D127 | 79.25±0.25 <sup>A</sup>  | -2.64±0.16 <sup>A</sup> | 15.61±0.13 <sup>B</sup> | 73.9±0.26 <sup>A</sup>  | 28.15±0.3 <sup>C</sup>  | 15.84±0.13 <sup>B</sup> | 80.41±0.60 <sup>A</sup> |
| Cheese D187 | 75.06±1.35 <sup>C</sup>  | -2.86±0.17 <sup>A</sup> | 15.63±0.38 <sup>B</sup> | 70.42±0.94 <sup>D</sup> | 29.74±0.31 <sup>A</sup> | 15.89±0.39 <sup>B</sup> | 79.64±0.53 <sup>A</sup> |

2: Means (Mean ± SD) within a column with different uppercase letters show significant differences, (P < 0.05).

1: WI=Whiteness Index, YI=Yellowness Index



**Fig 5** Principle component analysis biplot based on Gross composition (●), Physical items (◆), and cheese samples (■) during ripening.

RI=Ripening Index, FDM=Fat in dry Matter, MNFS=Moisture in non-fat substance, S/DM=Salt in Dry Matter, DM= Dry Matter. T<sub>onset</sub> = Initial temperature of crystallization, T<sub>offset</sub> = Final temperature of melting, WI=Whiteness Index, YI=Yellowness Index, TD=Tangent Delta.

براساس نتایج آماری، نمونه های پنیر در ۵ گروه طبقه بندی شدند. اولین گروه شامل پنیر روز ۷ است که قسمت مثبت PC1 آنرا از بقیه نمونه ها جدا کرده است. سه متغیر F/DM، S/DM و MNFS همراه با TD بالاترین ضرایب امتیاز را داشتند (جدول ۵). همچنین با توجه به شکل ۵ فاکتورهای فوق الذکر کمترین فاصله را از همدیگر داشتند که با دایره بر روی نمودار PCA مشخص شده است و بنابراین دارای بالاترین همبستگی با همدیگر هستند.

### ۶-۳- تجزیه و تحلیل PCA بر اساس ویژگی

#### های فیزیکی شیمیایی

در نمودار PCA نمونه ها و متغیرهای مورد بررسی در نقاط مختلفی قرار گرفته و بر این مبنا تفسیر می گردند. در تفسیر نتایج باید توجه داشت که نمونه های مشابه در کنار همدیگر قرار می گیرند و وجود فاصله بین آنها نشان دهنده وجود اختلاف مابین آنها است، کنار هم قرار گرفتن متغیرها در کنار همدیگر نشان دهنده همبستگی بالا بین آنها است و همچنین هرچه ضرایب امتیازی آنها نسبت به مولفه بیشتر باشد مبین اهمیت بیشتر آنها خواهد بود. همچنین در این نمودار مهمترین متغیرها که تعیین کننده ویژگی های نمونه ها هستند در کنار نمونه ها قرار می گیرند [۲۹]. بطور کلی می توان گفت که در این تحقیق این آزمون، ابتدا پنیرها را بر اساس متغیرهای شیمیایی و فیزیکی به وسیله سه مولفه اصلی طبقه بندی می کند و سپس مهم ترین فاکتورهای شیمیایی را که در تعیین ویژگی های فیزیکی هر پنیر نقش دارند، شناسایی کرده و در نهایت مهمترین ویژگی فیزیکی را در هر نمونه تعیین می کند.

نتایج آزمون PCA نشان داد که PC1، PC2، PC3، به ترتیب ۳۶/۸، ۶۰/۴ و ۸۳/۱٪ از کل واریانس ها را توضیح می دهد. شکل ۵ نقشه PCA را بر اساس متغیرها ارائه می کند و جدول ۵ ضرایب امتیازی هر متغیر بر روی مولفه ها را نشان میدهد.

**Table 5** Component score coefficient matrix\*

| Variable**          | PC    |       |       |
|---------------------|-------|-------|-------|
|                     | PC1   | PC2   | PC3   |
| Cheese D7           | .186  | .120  | -.054 |
| Cheese D37          | -.036 | -.158 | .053  |
| Cheese D67          | -.099 | -.132 | .049  |
| Cheese D97          | -.139 | -.097 | .116  |
| Cheese D127         | .060  | .056  | -.257 |
| Cheese D187         | .027  | .211  | .093  |
| RI                  | -.077 | .103  | -.004 |
| MNFS                | .139  | -.007 | -.013 |
| F/DM                | .156  | .025  | -.021 |
| pH                  | .080  | .261  | -.050 |
| S/DM                | .158  | .039  | -.012 |
| Ash                 | .034  | -.156 | .026  |
| DM                  | -.103 | .060  | .000  |
| T <sub>onset</sub>  | -.075 | .089  | .168  |
| T <sub>offset</sub> | -.010 | .020  | .238  |
| WI                  | -.080 | -.190 | -.150 |
| YI                  | -.088 | -.129 | .250  |
| TD                  | .147  | .066  | .042  |

\*Extraction Method: Principal Component Analysis. Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

\*\* RI=Ripening Index, F/DM=Fat in Dry Matter, MNFS=Moisture in Non-Fat Substance, S/DM=Salt in Dry Matter, DM= Dry Matter. T<sub>onset</sub> = Initial temperature of crystallization, T<sub>offset</sub>=Final temperature of melting, WI=Whiteness Index, YI=Yellowness Index, TD=Tangent Delta

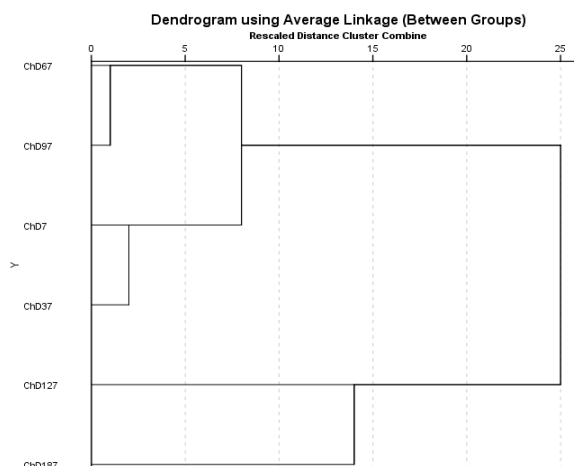
نشان داده شده است. سه متغیر شروع دمای کریستالیزاسیون دمای ذوب و YI بیشترین ضرایب امتیازی را با این مولفه داشتند و همبستگی نسبتاً بالایی را با همدیگر نشان داده اند. در واقع دو ویژگی رنگ و دمای ذوب (ساختار چربی) باعث تمایز این پنیر از سایر پنیرها شده است. نتایج نشان داده است که خصوصیات دمایی آن با دیگر نمونه ها کاملاً متفاوت بود و چربی های آن دارای کمترین دمای ذوب، در پیک اول و سوم بودند (جدول ۳). همچنین این پنیر دارای بالاترین مقدار اندیس زردی بود (جدول ۴).

### ۳-۷- تحلیل خوشه ای مرتبه ای<sup>۱</sup>

در این روش، طبقه بندی پنیرها بر اساس همگن بودن و میزان مشابهت متغیرها انجام می گیرد و متغیرهای مشابه در کنار همدیگر قرار گرفته و طبقه بندی می شوند. شکل دندوگرام شماره ۶ طبقه بندی پنیرهای کوپه را بر پایه ویژگی های مورد مطالعه، نشان می دهد.

با توجه به جدول ۲ و شکل ۱ می توان گفت که در پنیر روز ۷ مقادیر این فاکتورها همراه با مقدار TD در حداکثر میزان خود قرار دارند که بیانگر نرم بودن بافت این پنیر است. دومین گروه شامل پنیرهای رسیده در روزهای ۳۷ و ۶۷ بود که توسط قسمت منفی PC2 از سایر پنیرها جدا شده اند. دو فاکتور WI و خاکستر بالاترین قدر مطلق ضرایب امتیازی را بروی این مولفه داشته اند (جدول ۵) و بالاترین همبستگی را با همدیگر داشته اند. سومین گروه تنها شامل پنیر رسیده در روز ۹۷ است که همراه با DM قدرمطلق ضرایب بالایی را با قسمت منفی PC1 نشان داده اند. چهارمین گروه شامل پنیر روز ۱۸۷ بود که ارتباط بسیار قوی را با قسمت مثبت PC2 نشان داد و همزمان به ترتیب دو فاکتور pH و RI بالاترین ضرایب امتیازی را با آن نشان داده اند. بنابراین می توان گفت که مهمترین عوامل در تعیین ویژگی های این پنیر هستند. در نهایت مولفه PC3 یک رگه جدید از پنیرها را شناسایی کرد (گروه پنجم) که مربوط به پنیر رسیده در روز ۱۲۷ بود و در شکل ۵ بصورت نقطه چین

( $r=0.919$ ,  $P<0.01$ )، نشان داد. بطور کلی براساس تحقیقات گذشته فاکتورهای مانند مقدار رطوبت، چربی، پروتئین، نمک و پروتئولیز بر رفتار ویسکوالاستیک پنیرها موثر هستند [۳۱ و ۳۰]. وجود چربی باعث کاهش معنی دار مدول های الاستیک و ویسکوز شده و TD افزایش پیدا میکند [۳۰ و ۵] افزایش مقدار رطوبت نیز در پنیر سبب کاهش مدول ذخیره و افزایش مقدار TD می شود [۳۱ و ۷]. معمولاً ترکیبات چربی به عنوان نرم کننده یا روان کننده عمل کرده و باعث بروز رفتار شبه مایع در انواع پنیرها می شوند. با این حال حسن زاده و همکاران (2018) نشان دادند که با افزایش مقدار چربی مقدار مدول ذخیره نیز در پنیر کویه (۹۰ روز رسیده) افزایش پیدا کرد، آنها بیان داشتند که به دلیل تغییر ساختار پروتئینی با وجود افزایش مقدار چربی و کاهش رطوبت مقدار TD بصورت معنی داری افزایش میابد. در هر صورت به نظر می رسد که در این تحقیق با کاهش مقدار MNFS، F/DM، تا روز ۹۷ خواص نرم کنندگی آنها کاهش پیدا کرده و مقدار میانگین TD نیز کاهش پیدا کرد. علاوه بر این اسماعیل زاده و همکاران (2021) نشان داده اند که مقدار پروتئین در ماده خشک تا روز ۶۷ افزایش پیدا کرد و سپس ثابت باقی مانده است. در این خصوص می توان گفت که با افزایش میزان پروتئین و همچنین تغییر کنفورماسیون زنجیره ها تجمع آنها در ساختار پنیر، اتصالات عرضی درون و برون زنجیری را افزایش می دهد. بنابراین پنیر خواص الاستیک بالاتری را نشان می دهد. همچنین با کاهش مقدار S/DM تا روز ۹۷ تعادل بارهای یونی ساختار کازئین تضعیف شده و هیدراسیون آن کاهش پیدا می کند که باعث جلوگیری از نرم شدن بافت می شود. نقش S/M در سختی و یا نرمی بافت پنیر متفاوت بوده است بطوریکه در پنیر چدار همبستگی آن با سختی مثبت و در پنیر تیپ سویسی منفی گزارش شده است [۳۲]. به نظر ما در این تحقیق، با ثابت ماندن مقدار MNFS در اواخر دوره رسیدن، افزایش مقادیر F/DM و S/M نقش مهمتری ایفا کرده و باعث افزایش TD شده اند. بطور کلی پنیرهای دارای مقادیر بالاتر S/M (پنیرهای روز ۷ و ۳۷ و ۱۸۷) دارای میانگین TD بالاتری بودند. این موضوع ممکن است بدلیل پدیده Salting in باشد که باعث تسهیل آگیری کازئین و افزایش حلالیت آن می شود [۳] و در نهایت کازئین یکپارچگی خود و سختی بافت خود را از



**Fig 6** Dendrogram of Hierarchical clustering analysis based on physicochemical properties of Kope-cheese during ripening.

بصورت کلی دو گروه از پنیرها قابل شناسایی هستند، گروه اول شامل پنیرهای اوایل و اواسط دوره رسیدن و گروه دوم شامل پنیرهای اواخر دوره رسیدن بود. گروه اول خود به دو زیر گروه پنیرهای روز ۷ و ۳۷ و پنیرهای روز ۶۷ و ۹۷ تقسیم می شود. گروه دوم شامل پنیرهای بسیار رسیده (روزهای ۱۲۷ و ۱۸۷) است. تفاوتی که در طبقه بندی پنیرها در دو روش PCA و HCA وجود دارد ناشی از تفاوت روش آزمون است. در روش اول ملاک طبقه بندی همبستگی تمام متغیرها و نمونه های پنیر است در حالیکه در روش دوم همبستگی آنها آزمون نمی شود و صرفاً مشابهت آنها با همدیگر مورد ارزیابی قرار می گیرد. نتایج این تحلیل نشان می دهد که بطور کلی و علی رغم تفاوت های فیزیکی پنیرها در روزهای مختلف برخی از ترکیبات شیمیایی از روز ۹۷ به بعد تغییر معنی داری پیدا کرده اند (جدول ۲) که می تواند باعث قرار گرفتن پنیرهای رسیده در یک گروه مجزا از سایر پنیرها شود.

### ۸-۳- همبستگی

جدول ۶ همبستگی بین ویژگی های شیمیایی و فیزیکی را نشان می دهد. همبستگی مابین ویژگی های بافتی و ترکیبات شیمیایی پنیرها در برخی مقالات اشاره شده است [۳۰ و ۳۰]. براساس نمودار PCA، TD با سه فاکتور S/M, MNFS, F/DM ارتباط قوی را نشان داد که نتایج آنالیز همبستگی نیز آنرا تایید کرد و TD همبستگی مثبت بالایی را با MNFS ( $r=0.886$ ,  $P<0.05$ )، S/M ( $r=0.904$ ,  $P<0.05$ )، F/DM ( $r=0.904$ ,  $P<0.05$ )،

دست داده و ویژگی ویسکوز بر بافت پنیر غالب میشود [۳ و ۱].  
لازم به ذکر است که اگرچه در این تحقیق نتایج آزمون همبستگی، همبستگی معنی داری را مابین TD و pH و پروتئولیز (RI) نشان نداد ولی تغییرات بافت انواع پنیر به شدت تحت تاثیر تغییرات pH، کاهش رطوبت، نحوه توزیع نمک و کلسیم و هیدرولیز کازئین قرار می گیرد [۳ و ۷].

**Table 6** Pearson's correlation coefficients (r) between physicochemical properties.

|                     | MNFS    | F/DM   | pH     | S/DM   | Ash     | DM      | T <sub>onset</sub> | T <sub>offset</sub> | WI     | YI     | TD     |
|---------------------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|--------------------|---------------------|--------|--------|--------|
| RI                  | -.932** | -.861* | 0.632  | -.814* | -.981** | .989**  | 0.699              | -0.295              | -0.025 | -0.459 | -0.737 |
| MNFS                |         | .985** | -0.451 | .965** | .856*   | -.961** | -0.453             | 0.371               | -0.215 | 0.379  | .886*  |
| F/DM                |         |        | -0.397 | .995** | 0.77    | -.899*  | -0.325             | 0.379               | -0.286 | 0.332  | .904*  |
| pH                  |         |        |        | -0.369 | -0.75   | 0.516   | 0.696              | -0.109              | -0.408 | -0.508 | -0.235 |
| S/DM                |         |        |        |        | 0.719   | -.857*  | -0.277             | 0.421               | -0.352 | 0.345  | .919** |
| Ash                 |         |        |        |        |         | -.943** | -0.797             | 0.285               | 0.123  | 0.528  | 0.646  |
| DM                  |         |        |        |        |         |         | 0.635              | -0.338              | 0.086  | -0.434 | -0.802 |
| T <sub>onset</sub>  |         |        |        |        |         |         |                    | -0.478              | -0.068 | -0.797 | -0.335 |
| T <sub>offset</sub> |         |        |        |        |         |         |                    |                     | -.820* | .878*  | 0.637  |
| WI                  |         |        |        |        |         |         |                    |                     |        | -0.446 | -0.583 |
| YI                  |         |        |        |        |         |         |                    |                     |        |        | 0.488  |

\*and \*\* indicate statistically significant correlation of 2-tailed t-test at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ , respectively.

RI=Ripening Index, F/DM=Fat in Dry Matter, MNFS=Moisture in Non-Fat Substance, S/DM=Salt in Dry Matter, DM= Dry Matter.

T<sub>onset</sub>= Initial temperature of crystallization, T<sub>offset</sub> = final temperature of melting, WI=Whiteness Index, YI=Yellowness Index, TD=Tangent Delta.

خواص فیزیکی شیمیایی طبقه بندی گردید. زمان رسیدن تاثیر معنی داری بر روی ترکیبات شیمیایی، TD و پروفایل حرارتی پنیر داشت درحالیکه تاثیر چندانی بر رنگ نداشت. مانگین TD تا حدود ۰/۳۲ در روز ۷ به حدود ۰/۲۹ کاهش پیدا کرد. پروفایل حرارتی چربی پنیرها به گونه ای تغییر کرد که فراکشن های مختلف ترگلیسریدها به گونه ای تغییر پیدا کرد که نقطه ذوب پیک های شناسایی شده به وسیله DSC بصورت معنی داری افزایش پیدا کرد. پنیر روز ۱۲۷ به واسطه خواص حرارتی و رنگی از سایر نمونه ها متمایز بود و چربی آن حاوی بخشی از تری گلیسریدها بود که دارای کمترین نقطه ذوب بودند و همچنین کمترین مقدار اندیس زردی و بیشترین اندیس سفیدی بود. نتایج PCA و همبستگی نشان داد که سه فاکتور F/DM، MNFS، S/DM، ترکیبات شیمیایی موثر در ایجاد ویژگی های فیزیکی پنیر کوبه در طول دوره رسیدن بودند.

## ۵- منابع

- [1] Tunick M. Rheology of dairy foods that gel, stretch, and fracture. Journal of Dairy Science. 200; 83:1892-1898.
- [2] McSweeney PL. Biochemistry of cheese ripening. International journal of dairy

باتوجه به اینکه در آزمون PCA همبستگی بسیار بالایی مابین این دو متغیر (pH, RI) و پنیر روز ۱۸۷ نشان داده شد، می توان نتیجه گرفت که علاوه بر فاکتورهای فوق الذکر این دو فاکتور نیز در تعیین ویژگی های پنیر رسیده (روز ۱۸۷) نقش داشته اند. بطوریکه با افزایش pH مقدار میانگین TD کاهش پیدا کرده است (حداقل تا روز ۱۲۷). محققین نشان داده اند که افزایش pH باعث جلوگیری از حلالیت کربنات کلسیم کلئیدی می شود و این پدیده بسیار مهمتر از خود فرایند پروتئولیز در نرمی بافت پنیر است [۱]. پایین بودن pH باعث تبدیل بافت سخت پنیرها به بافتی نرم و یکنواخت گردد که خود بدلیل افزایش پروتئولیز فسفات آلی و غیر آلی و همزمان خارج شدن فسفات کلسیم کلئیدی از کازئین و در نهایت حلالیت تمام فسفات موجود ( $pH < 5.2$ ) می شود [۳۲]. اما در انتهای دوره رسیدن، مقدار RI به حداکثر میزان خود رسید که بیانگر شکست هرچه بیشتر زنجیره های پپتیدی بوده و باعث افزایش مقدار میانگین TD و نرم شدن بافت پنیر شده است.

## ۴- نتیجه گیری

برای اولین بار خواص فیزیکی پنیر کوبه در یک دوره ۱۸۷ روز مورد ارزیابی قرار گرفت و با استفاده از روش PCA بر مبنای

- [12] Aghazadeh Meshgi M. Evolution of some microbial and chemical properties of West Azerbaijan's jug cheese. *Journal of Food Science and nutrition*. 2007; 3:80-87.
- [13] Esmaeilzadeh P, Ehsani M R, Mizani M, & Givianrad M H. Characterization of a traditional ripened cheese, Kurdish Kope: Lipolysis, lactate metabolism, the release profile of volatile compounds, and correlations with sensory characteristics. *Journal of Food Science*, 2021; 86(8), 3303-3321.
- [14] INSO. Determination of acidity and pH in milk and dairy products. NO: 2852. Iran National Standards Organization. Tehran. 1967.
- [15] IDF. Determination of nitrogen content, protein-nitrogen content, and non-protein-nitrogen content (Kjeldahl method). In: *International Dairy Federation*. 1993; 83-102.
- [16] IDF. Determination of the total solids' contents. Reference Method 4A. In: *Cheese, Processed International Dairy Federation*. Brussels. 1982.
- [17] INSO. Determination of chloride content in cheese. NO: 1809. In: *Iran National Standards Organization*. Tehran. 1977.
- [18] BSI. British Standard 696-2. Gerber method for the determination of fat in milk and milk products. In: *London: British Standard Institute*. 1969
- [19] Lopez C, Briard-Bion V, Camier B, & Gassi J Y. Milk fat thermal properties and solid fat content in Emmental cheese: a differential scanning calorimetry study. *Journal of Dairy Science*. 2006; 89(8), 2894-2910.
- [20] Sarbazi M, Hesar J, Azadmard D S, Rafat A. The effect of packaging type and storage temperatures on some physicochemical and sensory properties of jar cheese. *Journal of Food Science and Technology* .2014; 43: 30-37.
- [21] Tekin A, & Güler Z. Glycolysis, lipolysis and proteolysis in raw sheep milk Tulum cheese during production and ripening: Effect of ripening materials. *Food chemistry*. 2019; 286: 160-169.
- [22] Tarakçı Z, & Durmuş Y. Effects of packaging materials on some ripening characteristics of Tulum cheese. *Mljekarstvo: časopis za unaprjeđenje proizvodnje i prerade* technology. 2004; 57:127-144.
- [3] Møller KK, Rattray FP, Bredie WLP, Høier E, Ardö Y. Physicochemical and sensory characterization of Cheddar cheese with variable NaCl levels and equal moisture content. *Journal of Dairy Science*. 2013; 96:1953-1971.
- [4] Hemmatian M, Aminifar M, Attar F. Characterization of Poosti Cheese, a Traditional Raw Sheep Cheese during Ripening: Physicochemical, Microbial and Microstructural Aspects. *Nutrition and Food Sciences Research*. 2015; 2(2): 39-48
- [5] Madadlou A, Mousavi ME, Emam-Djome Z, Zargar M. Effect of cream homogenization on textural characteristics of low-fat Iranian White cheese. *International Dairy Journal*. 2007; 17:547-554.
- [6] Farbod F, Kalbasi A, Moini S, Emam-Djomeh Z, Razavi H, Mortazavi A. Effects of storage time on compositional, microstructural, rheological, and sensory properties of low-fat Iranian UF-Feta cheese fortified with fish oil or fish oil powder. *Journal of food science and technology*. 2015; 52:1372-1382.
- [7] Hasanzadeh A, Raftani Amiri Z, Aminifar M. Changes in the physicochemical, microstructural and rheological properties of traditional Kope cheese during ripening. *International Journal of Dairy Technology*. 2018; 71:347-355.
- [8] Tomaszewska-Gras J, Cais-Sokolińska D, Bierzuńska P, Kaczyński Ł. K, Walkowiak K, & Baranowska H. M. Behaviour of water in different types of goats' cheese. *International Dairy Journal*. 2019; 95, 18-24.
- [9] Baghdadi F, Aminifar M, Farhoodi M, & Shojae S. Changes in the Structure of Brined Cheese Modified with Basil Seed Gum Based on Protein-Polysaccharide Interactions. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2018; 20(4), 695-708.
- [10] Ramirez-Navas J S, & Rodriguez de Stouvenel A. Characterization of Colombian queso cheese by spectrophotometry. *Vitae*. 2012; 19(2), 178-185.
- [11] Messens W, Van de Walle D, Arevalo J, Dewettinck K, Huyghebaert A. Rheological properties of high-pressure-treated Gouda cheese. *International Dairy Journal*. 2000; 10:359-367.

- [28] Khosrow Shahi A, Madadlou A, Zadeh Mousavi M E & Emam-Djomeh Z. Monitoring the chemical and textural changes during ripening of Iranian White cheese made with different concentrations of starter. *Journal of dairy science* 2006; 89(9): 3318-3325.
- [29] Amir Reza Shoik Lou. Analysis and interpretation of sensory data using principal component analysis (PCA). *Journal of Food Science and Technology*. 2018; 15 (80): 361-377
- [30] Suzzi G, Sacchetti G, Patrignani F, Corsetti A, Tofalo R, Schirone M, Fasoli G, Gardini F, Perpetuini G & Lanciotti R. Influence of pig rennet on fatty acid composition, volatile molecule profile, texture and sensory properties of Pecorino di Farindola cheese. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2015; 95: 2252-2263.
- [31] Dimitreli G and Thomareis AS. Effect of chemical composition on the linear viscoelastic properties of spreadable-type processed cheese. *Journal of Food Engineering*. 2008; 84: 368-374.
- [32] Chevanan N, Muthukumarappan K. Viscoelastic properties of Cheddar cheese: Effect of calcium and phosphorus, residual lactose, salt-to-moisture ratio and ripening time. *International Journal of Food Properties*. 2008; 11: 624-637.
- mlijeka. 2016; 66(4): 293-303.
- [23] Mortazavi S A, Milani A, & Moeinfar M. Evaluation of microbial population profile of traditional Kurdish cheese and its relationship with physicochemical and sensory properties of the product during the ripening period. *Iranian Journal of Food Science and Technology*. 2014; 11 (3): 140-151.
- [24] Hashemi M, Seyed M, Tabatabai Y F, Yavarmanesh M, Milani E & Athena P. The effect of rent type, storage container and arrival time on microbial and physicochemical properties of local Kurdish cheese. *Iranian Food Science and Technology*. 2013; 9(37):135-147.
- [25] Najafi A, Ziabakhsh D M, Karimian H & Abedinia A R. Investigation of microbial changes of skin cheese during the ripening period. *Journal of Food Technology and Nutrition*. 2011; 8(2): 85-91.
- [26] Bettera L, Alinovi M, Mondinelli R & Mucchetti G. Ripening of nostrano valtrompia PDO cheese in different storage conditions: Influence on chemical, physical and sensory properties. *Foods*. 2020; 9(8): 1101.
- [27] Rohm H, & Jaros D. Color of hard cheese. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*. 1996; 203(3): 241-244.



## Investigating the effect of ripening time on physicochemical properties of Kope cheese

Esmailzadeh, P.<sup>1</sup>, Ehsani, M. R.<sup>2\*</sup>, Mizani, M.<sup>3</sup>, Givianrad, M. H.<sup>4</sup>

1. Ph.D. Student, Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Professor, Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3. Professor, Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Chemistry, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

| ARTICLE INFO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ABSTRACT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Article History:</b></p> <p>Received 2022/01/07<br/>Accepted 2022/02/12</p> <p><b>Keywords:</b></p> <p>Traditional Kope cheese,<br/>Ripening,<br/>physical properties,<br/>DSC,<br/>Rheology</p> <p><b>DOI:</b> 10.52547/fsct.19.123.275<br/><b>DOR:</b> 20.1001.1.20088787.1401.19.123.28.3</p> <p>*Corresponding Author E-Mail:<br/>m-ehsani@srbiau.ac.ir</p> | <p>Kope cheese is one of the traditional Iranian cheeses. In this study, the effect of ripening time on its physicochemical properties was investigated during 187 days of ripening. The results showed that ripening index and pH increased significantly, while "salt in dry matter" decreased (<math>p &lt; 0.05</math>). The maximum delta tangent (<math>\tan \delta</math>) ranged from 0.35 to 0.4. The Differential Scanning Calorimetric (DSC) curves showed two exothermic peaks for cheese-extracted fat ripened on days 7, 37, 67, and 97; three exothermic peaks for the sample ripened on 127 days, while two exothermic and endothermic peaks were observed for the sample ripened on 187 days, in the cooling phase. The results of principal component analysis (PCA) showed that PC1 and PC2 divided cheeses into four different groups, and PC3 identified only one group, including cheese day 127, with a high correlation with "moisture in the non-fat dry matter", "salt in dry matter," and "fat in dry matter". Also, they showed a significant correlation with <math>\tan \delta</math> (<math>p &lt; 0.05</math>). These chemicals had the most important impact on the physical properties of Kope cheese.</p> |