

# آنالیز و تفسیر داده‌های حسی با استفاده از تحلیل مولفه‌های اصلی<sup>۱</sup> (PCA)

امیررضا شویک‌لو<sup>۱\*</sup>

۱- استادیار پژوهشی و رییس بخش فرآوری تولیدات دامی، موسسه تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج،

ایران

(تاریخ دریافت: ۹۶/۰۹/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۱۹)

## چکیده

تحلیل داده‌ها، پیچیده‌ترین و مبهم‌ترین مرحله در اجرای طرح‌ها و پروژه‌های ارزشیابی حسی مواد خوراکی و آشامیدنی است و در مقاله‌های علمی کم‌ترین بحث‌های اندیشمندانه و نظام‌مند در مورد آن صورت گرفته است. مقاله‌ی حاضر، حاصل بیش از یک دهه تحصیل، تدریس و فعالیت‌های پژوهشی نویسنده و با بهره‌گیری از تعدادی منابع معتبر دیگر است. این مقاله با هدف تشریح مراحل تحلیل داده‌های حسی و استفاده از مولفه‌های اصلی در تجسم هرچه بهتر داده‌های حسی و ارایه‌ی مثال‌های کاربردی نوشته شده است. در حالی که مرور متون علمی خارجی، حاکی از استفاده‌ی گسترده از این رویکرد برای تحلیل داده‌های حسی است؛ ولی تشریح مراحل تحلیل داده‌ها همراه با جزئیات از سوی نویسندگان مطالعات یادشده، کم‌تر روی داده است. حال آن‌که این اطلاعات تاکنون به زبان فارسی به صورت منسجم و کاربردی نیز منتشر نشده است. از آن‌جا که ارایه‌ی جزئیات بیش‌تر در مورد روش PCA امکان دسترسی پژوهشگران و دانشجویان به اطلاعات کافی و مورد نیاز را فراهم می‌سازد و راهنمای مناسبی برای آنان در پژوهش‌های بعدی خواهد بود؛ از این‌رو تشریح مراحل تحلیل داده‌های حسی بر پایه‌ی استفاده از PCA و معیارهای لازم برای تفسیر آن‌ها ضروری بوده و در این مقاله به آن‌ها پرداخته شده است.

کلید واژگان: داده‌های حسی، ارزشیابی حسی، تحلیل مولفه‌های اصلی، PCA

1. Principal Component Analysis

\* مسئول مکاتبات: shaviklo@gmail.com

## ۱- مقدمه

ارزشیابی حسی و بررسی مصرف‌کنندگان نقش مهمی در توسعه علوم و صنایع غذایی داشته و دارد. این مهم برای درک ارتباط بین ویژگی‌های مواد خوراکی از یک سو و پذیرش مصرف‌کنندگان و رفتار خریداران از سوی دیگر بسیار ضروری است. مطالعات مربوط به ارزشیابی حسی، داده‌های گسترده‌ی را ایجاد می‌کند. از این رو بدون استفاده از روش‌های آنالیز داده‌ها، درک کامل این بررسی‌ها و دستیابی به نتایج کاربردی امکان‌پذیر نیست. بنابراین آنالیز و تفسیر نتایج ارزشیابی حسی مواد خوراکی با کمک نرم‌افزارهای آماری به یکی از مهم‌ترین موضوع‌های سال‌های اخیر در صنعت غذا و پژوهش‌های صنایع غذایی تبدیل شده است. برای تحلیل و تفسیر داده‌های حسی انجام شده توسط کارشناسان خبره، ارزیابان حسی و یا مصرف‌کنندگان، نیاز به پشتیبانی‌های علمی و فنی است و این مهم به دلیل دستیابی به نتایج قابل اعتماد و تکرارشدنی است. در آزمایشگاه‌های ارزشیابی حسی در کنار آموزش ارزیابان حسی و نظارت و مراقبت از فعالیت‌های آنان (قضاوت‌های حسی) به آموزش استفاده از مهارت‌های رایانه‌ای نیز باید توجه شود [۱].

در دو دهه‌ی گذشته، کارشناسان و متخصصان آمار و ریاضیات نرم‌افزارهای متعددی را برای استفاده‌ی آسان‌تر کاربران طراحی کرده‌اند. به این منظور نرم‌افزارهای آماری مانند Unscrambler, SAS, PanelCheck, Sensomine R برای اطمینان از کنترل کیفیت محصول و آنالیز و تفسیر نتایج ارزشیابی حسی مورد بهره‌برداری واقع شده‌اند. مزیت عمده‌ی این نرم‌افزارها در این است که بروندهای محاسبه‌های مختلف آماری را می‌توان به صورت گرافیکی نمایش داد [۲]. روش تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) از مدل‌های مورد بررسی در نرم‌افزارهای آماری است که کاربرد آن در تجزیه و تحلیل نماگرهای چندگانه، اندازه‌گیری و شناخت ساختارهای پیچیده و کاهش داده‌ها است. این روش به خصوص در شرایطی که ابعاد داده‌ها و ترکیب ساختار آن‌ها به طور کامل مشخص نیست، مفید می‌باشد [۳]. هدف از این مقاله معرفی روش تحلیل مولفه‌های اصلی به عنوان مهم‌ترین روش آماری مورد استفاده در تحلیل داده‌های حسی و معیارهای اساسی برای تفسیر این داده‌ها است که بر اساس تخصص نویسنده و پژوهش‌های علمی منتشر شده از وی و با نگاهی ژرف به منابع

علمی معتبر برای استفاده‌ی دانشجویان و پژوهشگران گرامی نگاشته شده است. در این نوشتار ضمن آن‌که از آوردن فرمول‌ها و رابطه‌های ریاضی و آماری خودداری شده است به نحوی آماده‌سازی و آنالیز داده‌های حسی اشاره می‌شود. هم‌چنین انواع نمودارهای PCA معرفی شده و با آوردن مثال‌های کاربردی، به معیارهای تفسیر این نمودارها به تفصیل پرداخته شده است.

## ۲- تفسیر داده‌های حسی و روش تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)

تفسیر درست داده‌های حسی، مهم‌ترین چالش بخش صنعت و پژوهش‌های صنایع غذایی است [۱]. مجموعه داده‌های حسی در نوع خود دارای ده‌ها/صدها ستون و ردیف است که برای تفسیر آن‌ها نیاز به روش‌های معتبر آماری است. این روش‌ها باید بتوانند ضمن آن‌که مهم‌ترین اطلاعات را استخراج کنند نتایج را به گونه‌ی آریه دهند تا به راحتی توسط کاربر درک و فهمیده شود. تحلیل مولفه‌های اصلی مهم‌ترین این روش‌ها است [۲،۳].

تحلیل داده‌های چندگانه از نقشی اساسی در تحلیل اطلاعات برخوردار است. مجموعه داده‌های چندگانه، حالت‌ها یا متغیرهای زیادی را برای هر مشاهده در بر دارند. اگر در هر مجموعه داده  $n$  متغیر وجود داشته باشد، هر متغیر می‌تواند دارای چند بُعد باشد. با توجه به این که اغلب، درک و تجسم فضای چند بُعدی دشوار است، روش تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) ابعاد همه‌ی مشاهده‌ها را بر اساس شاخص‌ها و دسته‌بندی مشاهده‌های مشابه، کاهش می‌دهد. این روش یکی از ارزش‌ترین نتایج کاربرد جبر خطی است که در همه‌ی شکل‌های تحلیلی از علوم شبکه‌های عصبی تا نمودارهای رایانه‌ای<sup>۲</sup> استفاده می‌شود؛ چرا که یک روش آسان و ناپارامتریک برای استخراج اطلاعات مرتبط از یک مجموعه داده‌ی پیچیده می‌باشد [۴].

در تحلیل مولفه‌های اصلی، متغیرهای موجود در یک فضای چند حالته‌ی همبسته به یک مجموعه از مولفه‌های غیرهمبسته خلاصه می‌شوند که هر یک از آن‌ها ترکیب خطی از متغیرهای اصلی هستند. مولفه‌های غیرهمبسته‌ی به دست آمده، مولفه‌های اصلی (PC) نامیده می‌شوند که از بردارهای ویژه ماتریس

## ۲-۱- ویژگی‌های مولفه‌های اصلی

همان‌طور که گفته شد، در PCA مهم‌ترین اطلاعات از میان داده‌ها استخراج شده و نتایج به صورت گرافیکی بیان می‌شود؛ به‌گونه‌ای که نخستین مولفه‌ی اصلی استخراج شده، بیش‌ترین مقدار پراکندگی داده‌ها را در کل مجموعه‌ی داده‌ها در نظر می‌گیرد. این امر بدان معنا است که نخستین مولفه، حداقل با تعدادی از متغیرها همبسته است. دومین مولفه‌ی اصلی استخراج شده، دو ویژگی مهم دارد. این مولفه بیش‌ترین واریانس مجموعه‌ی داده‌ها که توسط مولفه‌ی اصلی اول محاسبه نشده است را در بر می‌گیرد. یعنی دومین مولفه با تعدادی از متغیرهای مشاهده شده که همبستگی بالایی با جز اول ندارند همبسته است. ویژگی دیگر این است که مولفه‌ی دوم با مولفه‌ی اول همبستگی ندارد. یعنی همبستگی بین دو مولفه صفر است. دیگر مولفه‌های استخراج شده در این روش نیز این دو ویژگی را دارا هستند [۶].

## ۲-۲- کاربرد PCA در ارزشیابی حسی مواد

### خوراکی

در ارزشیابی حسی مواد خوراکی، PCA راهی را برای تجسم ارتباط بین محصول/ نمونه و ویژگی‌ها/ صفات حسی آن فراهم می‌کند. در واقع PCA برای ایجاد منظری ساده‌شده‌ی از مجموعه داده‌های چند بُعدی به کار می‌رود. مجموعه داده‌ها با توجه به همبستگی متغیرهای اصلی به داده‌های کوچک‌تری تبدیل می‌شوند و در نتیجه‌ی آن مولفه‌های اصلی شکل می‌گیرند. هر مولفه‌ی اصلی ترکیب خطی متغیرهای اصلی است. بیشترین مقدار واریانس داده‌ها در مولفه‌ی اصلی ۱ (PC1) و سپس به ترتیب در PC2 و PC3، ..... جای می‌گیرند. مولفه‌های اصلی با هم همبستگی ندارند. برای درک بهتر موضوع به شکل (۲) توجه کنید [۵، ۶].

کوواریانس یا ماتریس همبستگی متغیرهای اصلی به دست می‌آیند [۵].

برای درک بهتر این موضوع به شکل (۱) توجه کنید. این نمودار نقاطی را روی دو محور مختصات X1 و X2 نشان می‌دهد. برای تعیین جهت عمومی نقاط، یک بیضی رسم می‌شود تا همبستگی بین متغیرها مشخص شود. برخی از نقاط خارج بیضی و البته تجمع تعداد زیادی از آن‌ها روی قطر اصلی بیضی دیده می‌شود. جهت اصلی پراکنش نقاط نه در امتداد X1 و نه در امتداد X2 است بلکه بین آن‌ها و بیش‌تر در امتداد قطر اصلی بیضی می‌باشد. این محور PC1 نامیده می‌شود که اولین مولفه‌ی اصلی تغییر پذیری X1 و X2 است. دومین مولفه (PC2) در امتداد قطر فرعی بیضی است که به طور دقیق بر PC1 عمود بوده و باقی تغییرات در X1 و X2 را شرح می‌دهد. PC1 و PC2 دو محور جدید برای تشریح X1 و X2 هستند. بنابراین می‌توان گفت X1 و X2 ترکیبی خطی از PC1 و PC2 هستند. مولفه‌های اصلی را می‌توان با استفاده از مجموعه‌ی داده‌های اصلی و یا ماتریس کوواریانس یا ماتریس همبستگی محاسبه کرد. به طور کلی کاربرد عمده‌ی روش تحلیل مولفه‌های اصلی عبارت است از کاهش تعداد متغیرها و یافتن ساختار ارتباطی بین متغیرها که در حقیقت همان دسته‌بندی متغیرها است [۴].

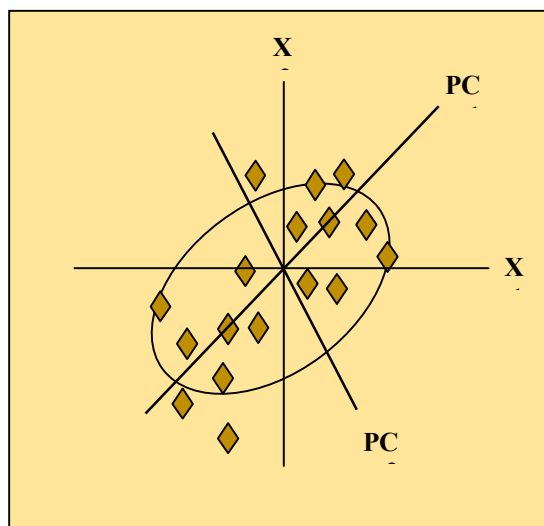


Fig 1 Diemention of data in Principal Components

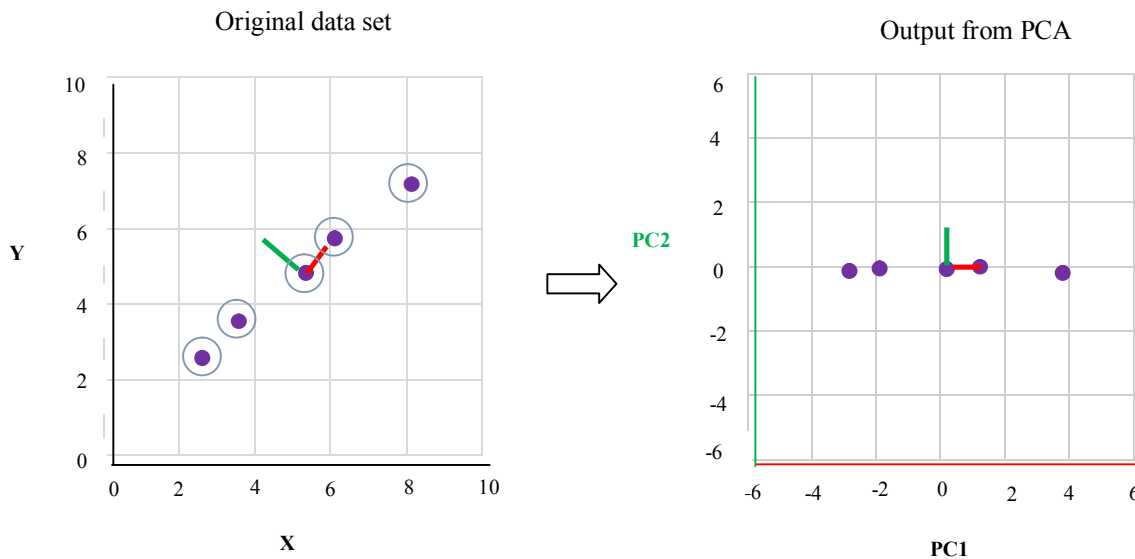


Fig 2 Changing data to PCA plot

نمونه / محصول، تکرار آزمون<sup>۶</sup> و ویژگی‌های حسی در ستون‌ها و امتیاز داده شده توسط ارزیاب در ردیف‌های صفحه‌ی اکسل مورد استفاده، قرار می‌گیرند [۲،۳،۲۳]. بعد از آماده‌سازی، داده‌ها وارد نرم‌افزار می‌شود. جدول (۱) نمونه‌یی از داده‌های حسی دسته‌بندی شده را نشان می‌دهد.

## ۲-۴- آنالیز داده‌های حسی

داده‌های حسی ساختاری ۳ بُعدی شامل ارزیاب، نمونه / محصول و ویژگی‌های حسی دارند (شکل ۳). از این رو برای شناخت اختلاف‌ها و شباهت‌های بین نمونه‌ها و توانایی ارزیابان در درک و شناسایی ویژگی‌های حسی و نیز همبستگی میان ویژگی‌های حسی این ساختار باید به درستی مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گیرد [۶]. برای آنالیز داده‌های حسی به طور معمول از مدل‌های ANOVA استفاده می‌شود. هدف اصلی از استفاده از این مدل حذف صفات / ویژگی‌های حسی غیرمهم است. از One-way ANOVA برای تعیین اختلاف معنی‌دار بین ویژگی‌های حسی، از 2-way ANOVA برای ارزیابی نمونه‌ها، ارزیاب‌ها و اثر متقابل آن‌ها برهم و از 3-way ANOVA برای ارزیابی نمونه‌ها، ارزیاب‌ها و تکرارها و اثر متقابل آن‌ها بر هم استفاده می‌شود.

اگر نمودار سمت چپ را که از داده‌های خاصی مانند محصول و مزه ترسیم شده است بخواهیم به PCA تبدیل کنیم؛ نمودار سمت راست رسم می‌شود که یک نگاره‌ی جدیدی است که بین هر نقطه‌ی آن همبستگی وجود دارد و هر نقطه دارای یک اندازه / مختصات جدید است. محورها در PCA هیچ معنی فیزیکی ندارند. آن‌ها تلفیقی از شاخص‌ها / متغیرهای مورد نظر (مانند محصول × مزه) هستند که همان‌طور که گفته شد، مولفه‌های اصلی نامیده می‌شوند.

برای آنالیز و رسم نمودارهای PCA از بسیاری از نرم‌افزارهای آماری می‌توان استفاده کرد. استفاده از نرم‌افزار SPSS [۷]، Unscrambler [۸،۹]، SAS [۱۰]، JMP [۱۱]، PanelCheck [۲۱-۱۲] و Ststistica [۲۲] برای این منظور گزارش شده است.

## ۲-۳- آماده‌سازی داده‌های حسی

پیش از وارد کردن داده‌های حسی به نرم‌افزار مورد نظر، اغلب باید ساختار آن را مطابق با شرایط نرم‌افزار در نظر گرفت. روش مرسوم استفاده از اکسل<sup>۳</sup> است. چیدن اطلاعات مربوط به ارزیاب‌ها، نمونه‌ها و ویژگی‌های حسی<sup>۴</sup> در اکسل باید بر اساس راهنمای نرم‌افزار باشد. به طور معمول نام ارزیاب‌ها،

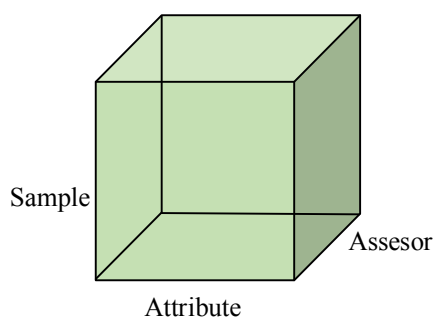
6. Replicate

3. Excel  
4. Assessor  
5. Sensory Attributes

**Table 1** An example of preparation sensory data for statistical analysis\*

Assessor	Sample	Replicate	Attribute	Attribute	Attribute	Attribute	Attribute
Ardavan	1	1	7.7	6.6	7.7	2.2	8.4
Ardavan	1	2	8.1	5.6	8.2	2.6	8.3
Ardavan	2	1	5.2	4.2	5.2	5.3	3.2
Ardavan	2	2	3.8	3.9	3.8	2.6	3.8
Ardavan	3	1	4.7	4.2	2.6	4.2	2.7
Ardavan	3	2	4.5	3.8	2.4	5.5	3.2
Aria	1	1	7.5	7.3	4.6	4.5	5.6
Aria	1	2	5.2	7.8	5.6	5.8	5.2
Aria	2	1	6.8	6.5	8.6	1.8	8.8
Aria	2	2	6.4	5.5	8.5	1.8	8.5
Aria	3	1	6.2	7.7	2.5	2.5	3.1
Aria	3	2	5.2	4.5	7.5	3.3	3.3
Sepanta	1	1	6.4	5.8	2.4	1.6	3.2
Sepanta	1	2	4.5	8.6	1.9	2.8	4.7
Sepanta	2	1	7.5	8.2	8.5	5.5	7.4
Sepanta	2	2	7.3	6.5	3.1	3.5	3.5
Sepanta	3	1	5.5	3.5	6.8	2.8	3.6
Sepanta	3	2	4.5	4.5	4.4	2.9	5.3
Yasna	1	1	6.9	6.3	3.8	5.7	4.2
Yasna	1	2	4.3	4.3	3.8	3.8	4.3
Yasna	2	1	4.7	3.6	4.2	5.9	4.9
Yasna	2	2	3.1	2.8	3.9	2.2	3.2
Yasna	3	1	5.5	5.5	5.7	5.9	4.5
Yasna	3	2	5.3	5.3	4.8	5.6	4.9
****							
n=8							

\*Including 8 assessors, 3 samples, 2 replicates and 5 sensory attributes.

**Fig 3** The structure of sensory data

فقط ویژگی‌های حسی که در سطح ۵ درصد معنی‌دار هستند برای آنالیزهای بعدی استفاده می‌شوند. در مرحله‌ی بعد از PCA برای تحلیل داده‌ها و رسم نگاره‌های مربوط استفاده می‌شود [۲۳].

## ۲-۵- انواع نمودارهای PCA در ارزیابی

## داده‌های حسی

نمودارهای PCA اطلاعات منحصر بفردی را ارائه می‌کنند که نسبت به دیگر روش‌های گرافیکی می‌توانند به طور مستقل استفاده شوند. ولی اگر آن‌ها را به صورت مجموعه نمایش داد اثربخشی بیشتری دارد و نمودارها، همدیگر را تکمیل می‌کنند [۲،۳].

الف- نمودار امتیازدهی<sup>۷</sup> عددهای ترکیبی محاسبه شده برای هر مشاهده است که بر اساس بردارهای ویژه برای هر مولفه به دست آمده است. از این اعداد غیرهمبسته می‌توان برای تحلیل‌های بعدی، برای یافتن ارتباط میان نمونه‌ها/ محصول استفاده کرد. این مهم، به کاربر این امکان را می‌دهد که خیلی سریع تفاوت‌ها/ شباهت‌های بین نمونه‌ها را تشخیص دهد (شکل ۴a) [۲،۵].

ب - نمودار بارگذاری صفات<sup>۸</sup>، نمایانگر ضرایب همبستگی بین مولفه‌های اصلی و متغیرهای اولیه است. این ضرایب، اهمیت هر متغیر را در میزان پراکندگی در نظر گرفته شده در محاسبه‌ی هر PC نشان می‌دهد. همبستگی بالا بین یک متغیر و مولفه‌ی اصلی اول، نشان‌دهنده‌ی این است که این متغیر در جهت حداکثر پراکندگی مجموعه داده‌ها است. ممکن است بیش از یک متغیر، دارای همبستگی بالا با یک مولفه باشد. همبستگی بسیار بالای یک متغیر با مولفه‌ی اصلی دوم، نشان‌دهنده‌ی این است که متغیر یادشده در پراکندگی باقی مانده از مجموعه‌ی داده‌های اصلی که مولفه‌ی اول آنرا در نظر

نگرفته است، نقش اساس دارد و به همین صورت برای دیگر متغیرها و پراکندگی‌ها می‌توان تحلیل کرد. اگر یک متغیر با هیچ‌یک از مولفه‌ها همبستگی نداشته یا فقط با آخرین مولفه یا یکی قبل از آن همبستگی داشت، نشان‌دهنده‌ی این است که این متغیر هیچ سهمی در پراکندگی مجموعه داده‌ها ندارد. بنابراین در روش بررسی مولفه‌های اصلی در مورد این‌که کدام متغیر دارای اهمیت بیشتری است یا کدام متغیر دارای اثر کم‌تری بر داده‌ها است نیز می‌توان اظهار نظر کرده و با حذف برخی از این متغیرهای کم اهمیت، تحلیل را آسان‌تر کرد. به طور کلی این نمودار همبستگی میان ویژگی‌های حسی / صفات را بیان می‌کند (شکل ۴b) [۳،۶].

پ- نمودار دونگاره<sup>۹</sup>، تلفیقی از نمودارهای یادشده است و بر این اساس کاربر می‌تواند ارزیابی مناسبی از نمونه‌ها و ویژگی‌های حسی آنان داشته باشد (شکل ۴c) [۲،۳].

ت- نمودار بارگذاری صفات همبسته<sup>۱۰</sup>، یک نمودار ۲ بُعدی است که همبستگی بین مولفه‌ها و متغیرها را نشان می‌دهد. مزیت این نمودار آن است که کاربر می‌تواند به طور مستقیم به دست آورد که چه مقدار از هر متغیر توسط هر مولفه تشریح شده است. زمانی که متغیرها مختلف باشند این نمودار اطلاعات بیشتری را ارائه می‌دهد. در این نمودار ۲ حلقه کوچک و بزرگ وجود دارد که به ترتیب ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد واریانس تشریح شده میان مولفه‌ها است. هر چه مقدار درصد واریانس تشریح شده بیشتر باشد، اطلاعات به دست آمده از اعتبار بیشتری برخوردارند (شکل ۴d) [۵،۶].

9. PCA Bi-plot  
10. PCA Correlation loading plot

7. PCA scores plot  
8. PCA loading plot

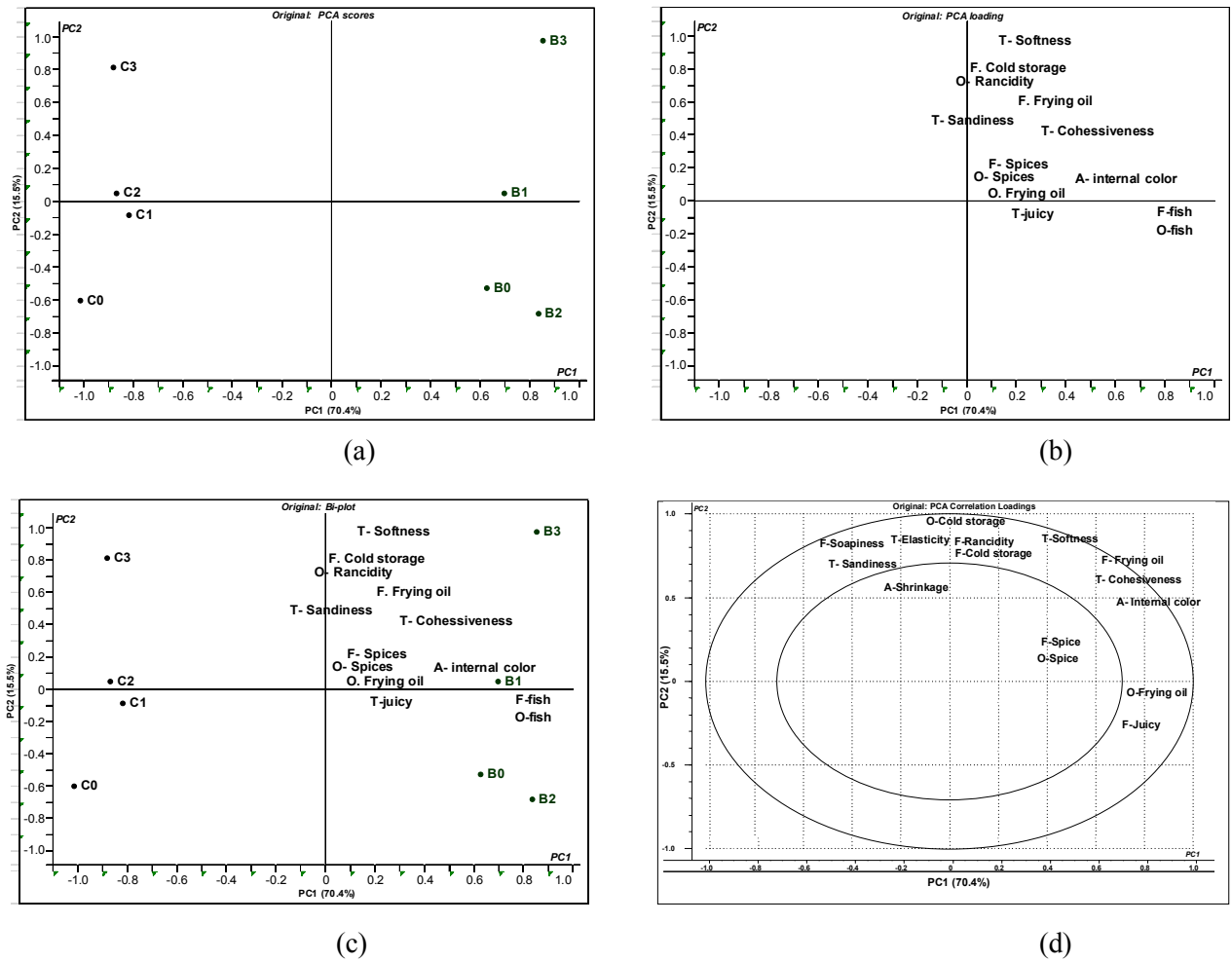


Fig 4 Different models of PCA plots

(a): PCA scores plot, (b): PCA loading plot, (c): PCA Bi-plot, (d): PCA Correlation loading plot.

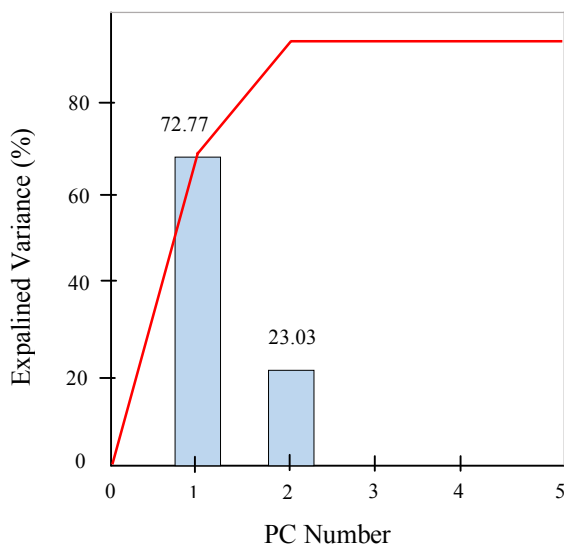


Fig 5 PCA Explained variance plot

ث- نمودار واریانس تشریح شده<sup>۱۱</sup>، نشان می‌دهد که چه مقدار اطلاعات (واریانس) توسط هر یک از مولفه‌ها بیان شده است. نمودار واریانس تشریح شده، برای نخستین مولفه بیش‌ترین است. بیش‌ترین واریانس بعدی برای مولفه دوم و همین‌طور مولفه‌های بعدی است. هنگام استفاده از این نمودار برای پایش کارایی گروه ارزیابی حسی این عدد باید نزدیک به ۱۰۰ درصد باشد (شکل ۵) [۴،۶].

11. PCA Explained variance plot

## ۲-۶- معیارهای تفسیر نمودارهای PCA

در نمودارهای PCA، نمونه‌ها و ویژگی‌های حسی در موقعیت‌های مکانی خاصی قرار می‌گیرند و بر این اساس تفسیر می‌شوند. بنابراین، معیارهای زیر را هنگام تفسیر نمودارها باید در نظر گرفت [۳۰،۵،۶،۲۳].

الف- نمونه‌هایی که در کنار هم قرار دارند بسیار به هم شبیه هستند و برعکس نمونه‌هایی که از هم فاصله دارند همبستگی منفی داشته و با هم اختلاف زیادی دارند.

ب- ویژگی‌های حسی که در کنار هم هستند همبستگی زیادی با هم دارند. این ویژگی‌ها هر چه به مولفه‌ی اصلی نزدیک‌تر باشند اهمیت بیشتری دارند و برعکس.

پ- هر چه ویژگی حسی به نمونه نزدیک‌تر باشد غالب‌تر است؛ به عبارت دیگر ویژگی حسی غالب در نزدیکی هر محصول قرار دارد.

ت- نمونه‌هایی که سمت چپ نمودار امتیازدهی هستند با ویژگی‌های حسی که سمت چپ نمودار بارگذاری صفات هستند توصیف می‌شوند و این ویژگی‌ها غالب هستند.

ث- نمونه‌هایی که سمت راست نمودار امتیازدهی هستند با ویژگی‌های حسی که سمت راست نمودار بارگذاری صفات هستند توصیف می‌شوند و این ویژگی‌ها غالب هستند.

ج- نمونه‌هایی که در بالای نمودار امتیازدهی هستند با ویژگی‌های حسی که در بالای نمودار بارگذاری صفات هستند توصیف می‌شوند و این ویژگی‌ها غالب هستند.

چ- هر چه مقدار درصد واریانس تشریح شده بیش‌تر باشد، اطلاعات به دست‌آمده از اعتبار بیش‌تری برخوردارند.

بنابراین مدل‌های مختلف نمودارهای شکل‌های ۴ و ۵ را می‌توان به شرح زیر تفسیر کرد:

- در شکل (۴a) دونمونه محصول با شناسه‌های B و C در طول ۳ ماه نگهداری (۳،۲،۱،۰) با هم مقایسه شده‌اند. همان‌طور که دیده می‌شود دو نمونه محصول با هم اختلاف دارند و در دو سوی مختلف نگاره واقع شده‌اند.

- در شکل (۴b) همبستگی ویژگی‌های حسی دونمونه محصول یادشده با شناسه‌های B و C در طول ۳ ماه نگهداری (۳،۲،۱،۰) بیان شده است. همان‌طور که دیده می‌شود ویژگی‌های حسی که در بخش میانی نگاره واقع شده‌اند با هم همبستگی مثبت داشته و از آن‌جا که نزدیک مولفه‌های اصلی هستند اهمیت زیادی دارند.

- در شکل (۴c) دونمودار (۴a) و (۴b) با هم تلفیق شده‌اند. همان‌طور که دیده می‌شود ویژگی حسی غالب محصول B، بو و طعم ماهی است در حالی که بوی ترشیدگی و بافت شنی، طعم و بوی ادویه و طعم نگهداری در سردخانه از ویژگی‌های غالب محصول C است. دیگر ویژگی‌های حسی مانند طعم ناشی از سرخ کردن، رنگ و بافت در هر دو محصول مشابه است.

- در شکل (۴d) بیش‌تر ویژگی‌های شناسایی شده در محدوده‌ی حلقه‌ی اول (۱۰۰ درصد واریانس تشریح شده) واقع شده است و نشان می‌دهد که ارزیابان حسی در تشخیص این ویژگی‌ها اتفاق نظر داشته و از این نظر کارایی خوبی دارند.

- شکل (۵) در تفسیر بهتر شکل (۴d)، نیز به وضوح نشان می‌دهد که بیش‌ترین واریانس (۷۲/۷۷ درصد) به تنهایی توسط اولین مولفه‌ی اصلی تشریح شده است. دومین مولفه‌ی اصلی ۲۳/۰۳ درصد از اطلاعات را بیان می‌کند. در حالی که مولفه‌های اصلی سوم تا پنجم هیچ‌گونه اطلاعاتی را در بر نمی‌گیرند. بنابراین مولفه‌های اول و دوم ۹۵/۸ درصد از اطلاعات را بیان می‌کنند.

## ۳- مثال‌های کاربردی از مطالعات انجام

### شده‌ی پیشین

در این بخش برای افزایش آگاهی خوانندگان گرامی از نحوه‌ی تفسیر نمودارهای PCA، مثال‌های کاربردی از مطالعات انجام شده و منتشر شده‌ی نویسنده آورده شده است. نخست، به طراحی تیمارهای ۹ محصول مختلف و منتخب به طور خلاصه اشاره شده و سپس نتایج داده‌های حسی مربوط، تفسیر می‌شود.

### ۳-۱- اثر افزودن ایزوله پروتئین ماهی بر

#### ویژگی‌های حسی توپک و برگرمایی [۸،۹]

##### ۳-۱-۱- طراحی تیمارها

##### الف- ایزوله‌ی پروتئین ماهی<sup>۱۲</sup> هداک [۸]

در این مطالعه ایزوله‌ی پروتئین ساخته شده از پسماند<sup>۱۳</sup> فرآوری ماهی هداک<sup>۱۴</sup> به فرمولاسیون توپک ماهی<sup>۱۵</sup> هداک

12. Fish protein isolate

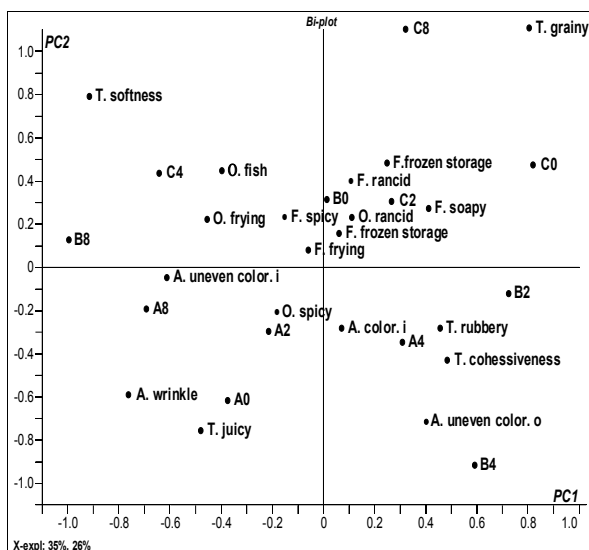
13. By-product

14. Haddock

15. Fish ball



رنگی غیرهمسان در لایه‌ی خارجی و ظاهری چروکیده داشتند. نمونه‌های گروه B (دارای ۲۵ درصد ایزوله‌ی پروتئین ماهی و ۷۵ درصد گوشت چرخ‌شده‌ی ماهی) شباهت‌هایی را با نمونه‌ی کنترل (حاوی ۱۰۰ درصد گوشت چرخ‌شده‌ی ماهی) از خود نشان دادند. بنابراین استفاده از این مقدار برای افزودن به فرآورده‌های شیلاتی فرموله شده توصیه شد [۸].



**Fig 6** Principal component analysis describing sensory quality scores of fish balls as evaluated by a trained sensory panel (A) Control sample with 100% fish mince. (B) Sample containing 75% fish mince and 25% isolate. (C) Sample containing 50% mince and 50% isolate. O: odor; A: appearance; F: flavor; T: texture; Numbers 0–8 indicate storage weeks.

الف- نمودار PCA (شکل ۶) نشان می‌دهد که در نمونه‌هایی که در سمت راست نمودار واقع شده‌اند بافت شنی و لاستیکی غالب است. ولی نمونه‌هایی که در سمت چپ واقع شده‌اند بافتی نرم و ظاهری چروکیده دارند. نمونه‌هایی که در بالای نمودار قرار دارند بافتی نرم و شنی دارند ولی در نمونه‌هایی که در پایین نمودار قرار دارند ویژگی‌های آبدار بودن و رنگ سطحی غیریکسان غالب هستند.

ب- نمودار PCA (شکل ۷) اثر نگهداری را بر روی ویژگی‌های حسی محصول منتخب برگر ایزوله‌ی تون (حاوی ۲۰ درصد ایزوله‌ی تون و ۵۰ درصد گوشت چرخ‌شده‌ی ماهی) و کنترل (فاقد ایزوله‌ی تون) نشان می‌دهد. نمونه‌ی کنترل (C0، C2) و برگر ایزوله تون (F0، F2) در سمت چپ نمودار گروه‌بندی شده‌اند. ویژگی‌های حسی که در بالای سمت چپ نمودار واقع شده‌اند نشان می‌دهد که هر دو گروه ویژگی‌های حسی مشابهی هنگام نگهداری داشته‌اند. تغییرات در ویژگی‌های حسی، نمایانگر فساد چربی‌ها شامل بو و طعم ترشیدگی در بخش بالای سمت راست نمودار دیده می‌شوند. در ماه‌های چهارم و ششم نگهداری، دو گروه از نمونه‌ها (C4، C6) و (F4، F6) به طور کامل از هم فاصله گرفته‌اند و در

افزوده شد. نمونه‌های بررسی شده شامل: نمونه‌ی کنترل یا (A) (حاوی ۱۰۰ درصد گوشت چرخ‌شده‌ی ماهی<sup>۱۶</sup>)، نمونه‌ی (B) (حاوی ۷۵ درصد گوشت چرخ‌شده‌ی ماهی و ۲۵ درصد ایزوله‌ی پروتئین ماهی) و نمونه‌ی (C) (حاوی ۵۰ درصد گوشت چرخ‌شده‌ی ماهی و ۵۰ درصد ایزوله‌ی پروتئین ماهی) بود. نمونه‌های سرخ شده و منجمد تا ۸ هفته در دمای ۱۸°C- نگهداری شدند. اثر ایزوله‌ی پروتئین ماهی بر ویژگی‌های حسی برگر ماهی با استفاده از آنالیز تشریحی کمی<sup>۱۷</sup> (QDA) و با استفاده از گروه ارزشیابی حسی آموزش دیده، بررسی شد.

### ب- ایزوله‌ی پروتئین ماهی تون<sup>۱۸</sup> [۹]

در این پروژه ایزوله‌ی پروتئین جدا شده از پسماند فرآوری تون ماهیان برای بهبود کیفیت حسی و ماندگاری برگر ماهی<sup>۱۹</sup> به فرمولاسیون محصول اضافه شد. مقدار بهینه‌ی ایزوله‌ی تون در فرمولاسیون با استفاده از نرم‌افزار دیزاین‌اکسپرت<sup>۲۰</sup>، ۲۰ درصد تعیین شد. افزودنی‌های دیگر شامل گوشت چرخ‌شده‌ی ماهی، سبزیجات، آرد گندم، پودر نان، روغن و غیره بود. تاثیر افزودن ایزوله‌ی ماهی تون بر تغییرات حسی محصول بهینه در مقایسه با کنترل، در طول ۶ ماه نگهداری محصول در دمای ۱۸°C- بررسی شد. برای این مهم از آنالیز تشریحی کمی (QDA) و گروه ارزشیابی حسی آموزش دیده، استفاده شد.

### ۳-۱-۲- نتیجه و بحث

الف- نمودار PCA (شکل ۶) نشان می‌دهد که در نمونه‌هایی که در سمت راست نمودار واقع شده‌اند بافت شنی و لاستیکی غالب است. ولی نمونه‌هایی که در سمت چپ واقع شده‌اند بافتی نرم و ظاهری چروکیده دارند. نمونه‌هایی که در بالای نمودار قرار دارند بافتی نرم و شنی دارند ولی در نمونه‌هایی که در پایین نمودار قرار دارند ویژگی‌های آبدار بودن و رنگ سطحی غیریکسان غالب هستند.

ب- نمودار PCA (شکل ۷) اثر نگهداری را بر روی ویژگی‌های حسی محصول منتخب برگر ایزوله‌ی تون (حاوی ۲۰ درصد ایزوله‌ی تون و ۵۰ درصد گوشت چرخ‌شده‌ی ماهی) و کنترل (فاقد ایزوله‌ی تون) نشان می‌دهد. نمونه‌ی کنترل (C0، C2) و برگر ایزوله تون (F0، F2) در سمت چپ نمودار گروه‌بندی شده‌اند. ویژگی‌های حسی که در بالای سمت چپ نمودار واقع شده‌اند نشان می‌دهد که هر دو گروه ویژگی‌های حسی مشابهی هنگام نگهداری داشته‌اند. تغییرات در ویژگی‌های حسی، نمایانگر فساد چربی‌ها شامل بو و طعم ترشیدگی در بخش بالای سمت راست نمودار دیده می‌شوند. در ماه‌های چهارم و ششم نگهداری، دو گروه از نمونه‌ها (C4، C6) و (F4، F6) به طور کامل از هم فاصله گرفته‌اند و در

16. Fish mince
17. Quantitative Descriptive Analysis
18. Tuna protein isolate
19. Fish burger
20. Design-Expert® Software - Stat-Ease

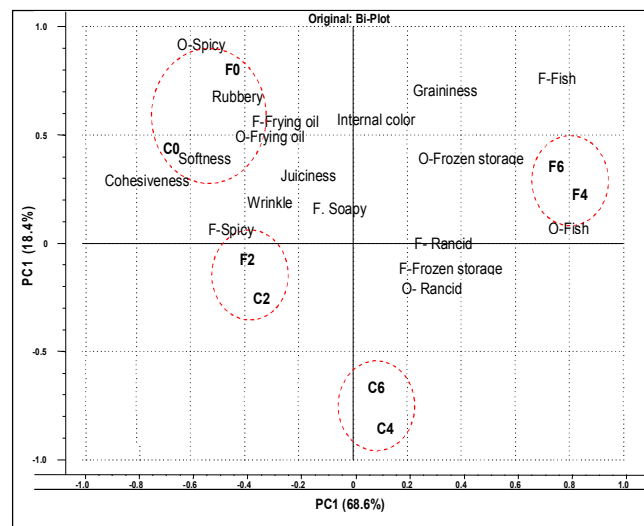
B- ایزوله‌ی پروتئین ماهی سیث بدون افزودنی  
 C- ایزوله‌ی پروتئین ماهی سیث حاوی ۵ درصد ساکارز  
 D- ایزوله‌ی پروتئین ماهی سیث حاوی ۵ درصد ساکارز و ۰/۲ درصد فسفات  
 E- ایزوله‌ی پروتئین ماهی سیث حاوی ۵ درصد ساکارز، ۰/۲ درصد فسفات و ۰/۱ درصد سدیم اریتوربیت<sup>۲۳</sup>  
 از روش GDA<sup>۲۴</sup> برای ارزیابی حسی نمونه‌ها با استفاده از گروه ارزشیابی حسی آموزش دیده، استفاده شد. از نمونه‌های پودر شده به طور جداگانه محلول ۰/۱ درصد در آب مقطر، تهیه و برای ارزشیابی حسی، استفاده شد.

### ۳-۲-۲- نتیجه و بحث

نمونه‌های خشک شده دارای ویژگی‌های بو و طعم ماهی خشک شده، بو و طعم روغن ماهی، بو و طعم ترشیدگی و طعم جلبک دریایی بودند. نمونه‌ی A (کنترل) کم‌ترین امتیاز مربوط به ویژگی‌های حسی یادشده را داشت. امتیاز اکسیدشدگی در نمونه E (ایزوله‌ی پروتئین ماهی سیث حاوی ۵ درصد ساکارز، ۰/۲ درصد فسفات و ۰/۱ درصد سدیم اریتوربیت) کم‌تر از نمونه‌ی C (ایزوله‌ی پروتئین ماهی سیث حاوی ۵ درصد ساکارز) بود و بالاترین شدت بو و طعم روغن ماهی و بو و طعم ترشیدگی نسبت به همه‌ی نمونه‌ها را داشت. در نمودار PCA (شکل ۸) گروه E (ایزوله‌ی پروتئین ماهی سیث حاوی ۵ درصد ساکارز، ۰/۲ درصد فسفات و ۰/۱ درصد سدیم اریتوربیت) در بالای نیمه‌ی راست نمونه واقع شده و ویژگی‌های غالب در آن بو و طعم روغن ماهی، رنسیدگی و تلخی بوده است. برای نمونه‌ی A (کنترل) هیچ ویژگی نمایش داده نشده است ولی بو و طعم ماهی خشک شده برای گروه B (ایزوله‌ی پروتئین ماهی سیث بدون افزودنی) بیان شده است. گروه‌های B، C، (ایزوله‌ی پروتئین ماهی سیث حاوی ۵ درصد ساکارز) و D (ایزوله‌ی پروتئین ماهی سیث حاوی ۵ درصد ساکارز و ۰/۲ درصد فسفات) از نظر ویژگی‌های حسی بو و طعم روغن ماهی و رنسیدشدگی و بو و طعم جلبک دریایی فرقی با هم نداشته‌اند. بو و طعم نامطلوب با دلیل اکسایش چربی‌ها و پروتئین‌ها هنگام فرآیند خشک‌کردن بوده‌است [۱۲].

قسمت‌های پایین و بالای نیمه راست نمودار واقع شده‌اند. این دسته‌بندی نمایانگر تفاوت بین نمونه‌ها است.

در نمونه‌های کنترل ویژگی‌های نرمی و همبستگی بافت غالب بوده در صورتی‌که برگر ایزوله‌ی تون، بافت لاستیکی و بو و طعم ادویه داشته‌اند. شدت بوی ماهی و بوی نگهداری در سردخانه در نمونه‌های ایزوله برگر (F4, F6) هنگام نگهداری و در پایان ۶ ماه افزایش یافته است. مدت نگهداری تاثیر منفی بر بافت نمونه‌ها داشته‌است. همه‌ی نمونه‌ها پس از ۶ ماه نگهداری بافتی نرم و با الاستیسیته‌ی کم‌تر داشته‌اند که علت آن می‌تواند اکسایش چربی‌ها و تغییر ماهیت پروتئین‌ها باشد [۹].



**Fig 7** Principal component analysis (PCA) describing sensory quality scores of of scmburger (C) and isolate mince burger containing 20% tuna protein isolate, and 50% fish mince (F) stored 6 months at -18°C as evaluated by a trained sensory panel. O: odor, f: flavor. Numbers 0 to 6 indicate the storage months.

### ۳-۲-۳- تاثیر فرآیند خشک کردن بر ویژگی‌های

#### حسی پودر پروتئین ماهی [۱۲]

#### ۳-۲-۳-۱- طراحی تیمارها

در این طرح برای تولید پودر پروتئین ماهی، ۵ نمونه‌ی زیر با استفاده از دستگاه خشک‌کن انجمادی<sup>۲۱</sup> تهیه شدند.  
 A- گوشت چرخ‌شده‌ی ماهی سیث<sup>۲۲</sup> بدون افزودنی به عنوان نمونه‌ی کنترل

23. Sodium erythorbate

24. Generic Descriptive Analysis

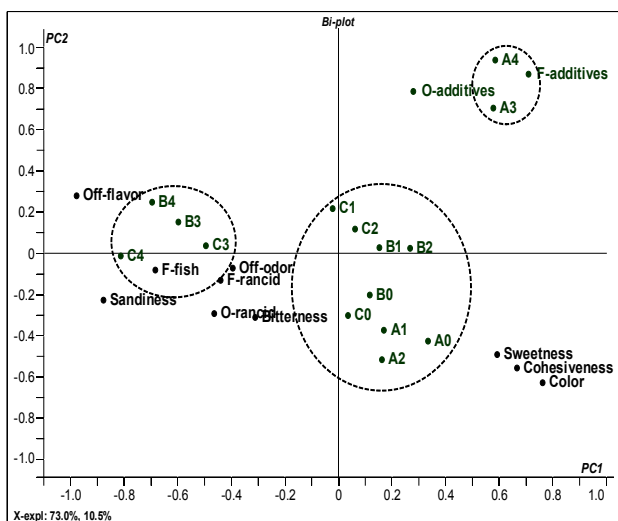
21. Freeze Dryer

22. Saithe

تشریحی کمی (QDA) و بکارگیری گروه ارزشیابی حسی آموزش دیده انجام شد.

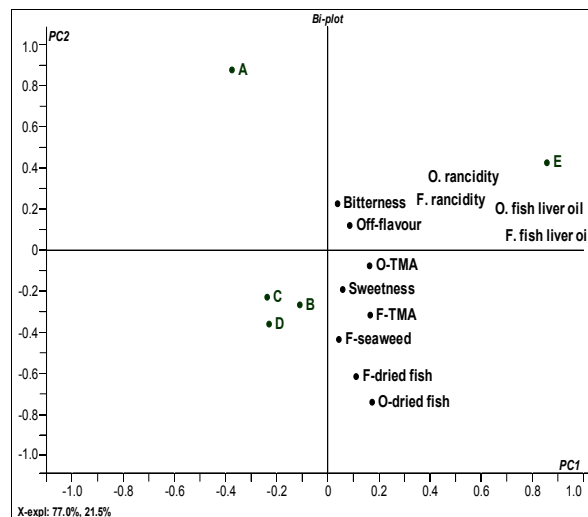
### ۳-۳-۲- نتیجه و بحث

الف- در نمودار PCA (شکل ۹)، ۳ منطقه‌ی مجزا از محصولات دیده می‌شود. همه‌ی محصولات تا ۲ ماه نگهداری در وسط نمودار واقع شده‌اند و ویژگی‌های حسی غالب و مشابه آن‌ها شیرینی، قوام و رنگ است. نمونه‌های غنی شده با پروتئین ماهی در ماه‌های سوم و چهارم نگهداری در میانه‌ی سمت چپ نمودار قرار دارند و ویژگی‌های غالب و مشابه در آن‌ها بو و طعم نامطلوب، بوی ترشیدگی، بافت شنی و تلخی بودند. نمونه‌های کنترل از ماه دوم تا چهارم نگهداری در بالای سمت راست قرار دارند و بو و طعم افزودنی‌ها در آن‌ها غالب است. طعم و بوی ترشیدگی می‌تواند به دلیل اکسایش چربی شیر و نیز پروتئین ماهی باشد. از نتایج حسی می‌توان استنباط کرد که نمونه‌های غنی شده تا ۲ ماه نگهداری ویژگی‌های حسی مناسبی داشته و تفاوتی بین نمونه‌های غنی شده با ۳ و ۵ درصد پروتئین ماهی، دیده نشد [۱۳].



**Fig 9** Principal component analysis (PCA) describing sensory quality scores of ice cream stored for 4 months at  $-18^{\circ}\text{C}$ , as evaluated by trained sensory panellists. (A) Control, (B) Ice cream with 3% FP, (C) Ice cream with 5% fish protein powder. O: odour; F: flavour; T: texture. Numbers 0 to 4 indicate storage months.

ب- نمونه‌ها و ویژگی‌های حسی مربوط به بستنی غنی شده با روغن ماهی در نمودار PCA (شکل ۱۰) مشخص شده است. نمونه‌ی غنی شده و نمونه‌ی کنترل به صورت مجزا در طول نگهداری دسته‌بندی شده‌اند. نمونه‌ی کنترل (C0-C4) تا



**Fig 8** Principal Component Analysis Bi-Plot describing sensory quality scores of 1% freeze dried fish mince and fish protein solutions as evaluated by a trained sensory panel. O= odour, F= flavour

### ۳-۳-۳- ویژگی‌های حسی بستنی غنی شده با

#### پروتئین و روغن ماهی [۱۳، ۱۴]

#### ۱-۳-۳- طراحی تیمارها

#### الف- بستنی غنی شده با پروتئین ماهی [۱۳]

در این مطالعه برای غنی‌سازی بستنی سطوح ۳ و ۵ درصد پودر پروتئین ماهی سیث به فرمولاسیون بستنی سنتی ایرانی افزوده شد. برای شناسایی ویژگی‌های حسی نمونه‌ها و بررسی تغییرات حسی در طول ۳ ماه نگهداری از آنالیز تشریحی کمی (QDA) با استفاده از گروه ارزشیابی حسی آموزش دیده استفاده شد.

#### ب- بستنی غنی شده با روغن ماهی [۱۴]

در این پروژه برای ساخت بستنی غنی شده از روغن ماهی کاد<sup>۲۵</sup> استفاده شد. مقدار بهینه‌ی روغن ماهی در فرمولاسیون بستنی با استفاده از نرم‌افزار دیزاین‌اکسپرت، مشخص شد. نخست با استفاده از ارزشیابی حسی انجام شده توسط کارشناسان خبره و نیز آنالیز انجام شده توسط نرم‌افزار، مقدار بهینه‌ی روغن ماهی در بستنی ۲/۵ درصد تعیین شد. سپس تغییرات کیفی و حسی بستنی حاوی ۳ و ۵ درصد روغن ماهی و نمونه‌ی کنترل در طول ۴ ماه نگهداری با استفاده از آنالیز تشریحی کمی

از فرآیند اکستروده به بلغور ذرت اضافه شدند و فرآیند عمومی تولید اسنک حجیم شده در مورد آن‌ها اعمال شد [۱۷]. از آنالیز تشریحی کمی (QDA) و با استفاده از گروه ارزشیابی حسی آموزش دیده ویژگی‌های حسی و تغییرات آن در طول ۶ ماه نگهداری در دمای محیط بررسی شد.

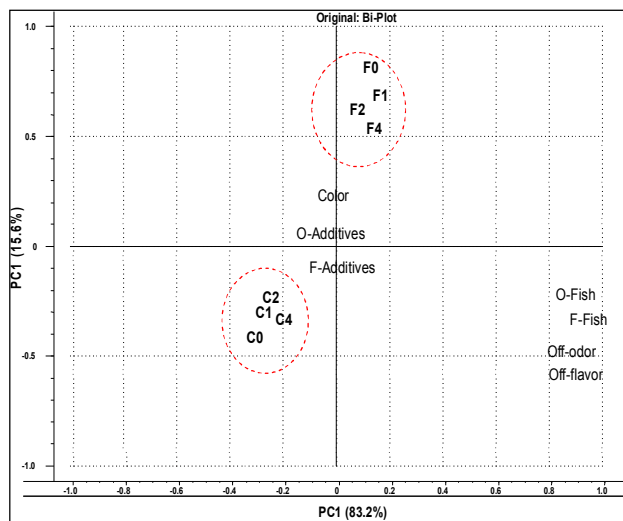
ب- اسنک اکسترودهی ذرت **طعم‌دار شده<sup>۲۷</sup>** با پروتئین و روغن ماهی [۱۶]

در این مطالعه از پودر پروتئین ماهی سیث و روغن ماهی کاد برای استفاده در لعاب **طعم‌دهی اسنک اکسترودهی حجیم‌شده** استفاده شد. با استفاده از نرم افزار دیزاین‌اکسپرت، نسبت به تعیین مقدار بهینه‌ی این افزودنی‌ها اقدام شد. مقدار بهینه‌ی پروتئین و روغن ماهی به ترتیب ۱۸ و ۱۷ درصد کل مخلوط لعاب (شامل پودر پنیر چدار، روغن نباتی، پودر آب پنیر و...) بود. فرآیند عمومی ساخت اسنک اکسترودهی حجیم‌شدهی ذرت، مورد استفاده قرار گرفت [۱۷]. سپس مخلوط لعاب/ طعم‌دهی حاوی روغن/ پروتئین ماهی به آن افزوده شد. تغییرات حسی اسنک‌های غنی شده و کنترل در طول ۱۶ هفته نگهداری در دمای محیط با استفاده از روش QDA و گروه ارزشیابی حسی آموزش دیده مطالعه شد.

### ۳-۴-۲- نتیجه و بحث

الف- پس از تولید محصولات، اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌های اسنک وجود نداشت. ولی به مرور پس از طی دوره‌ی نگهداری، تغییرات حسی دیده شد. با نگاهی به نمودار PCA (شکل ۱۱) مشاهده می‌شود که محصولات و ویژگی‌های حسی به ۳ دسته تقسیم شده‌اند. نمونه‌ی B حاوی گوشت ماهی فیتوفاگ از زمان تولید تا ماه پنجم نگهداری در سمت چپ نمودار قرار گرفته‌اند و ویژگی‌های بوی سرخ‌کردن ماهی و تلخی غالب هستند. نمونه‌ی کنترل (D)، نمونه‌ی حاوی گوشت قزل‌آلا (A) و نمونه‌ی حاوی پروتئین ماهی (C) از زمان تولید تا ماه پنجم در مرکز نمودار دسته‌بندی شده‌اند و ویژگی‌های حسی مشابهی داشته‌اند و طعم و بوی اسنک ذرت و رنگ در آن‌ها غالب بود. هر سه نمونه‌ی غنی شده (A, B, C) و نمونه‌ی کنترل (D) در ماه ششم نگهداری در بالای سمت راست نمودار واقع شده و ویژگی‌های بو و طعم و رنسیدشدگی در آن‌ها غالب بوده است. این نمودار خاطر نشان

پایان نگهداری در نیمه‌ی پایینی سمت راست نمودار واقع شده و نمونه‌ی غنی شده (F0-F4) در نیمه‌ی بالایی سمت راست نمودار قرار گرفته‌اند و رنگ و طعم و بوی افزودنی‌ها در آن‌ها مشابه و غالب است. هر چند ویژگی‌های منفی مانند بو و طعم نامطلوب و بو و طعم ماهی در پایین سمت راست نمودار واقع شده‌اند ولی اهمیت زیادی نداشته و بیانگر شروع تغییرات حسی در نمونه‌ها به خصوص پس از ماه چهارم نگهداری باشد و این مهم توسط آزمون‌های شیمیایی مربوط تایید گردید [۱۴].



**Fig 10** Principal Component Analysis (PCA) describing sensory characteristics of ice cream stored 4 months at  $-18^{\circ}\text{C}$  as evaluated by trained sensory panelists. (C) Control (F) Fortified ice cream with 2.5% omega-3 fish oil. O: odor; F: flavor. Numbers 0 to 4 indicate storage months.

۳-۴-۲- ویژگی‌های حسی اسنک اکسترودهی

ذرت غنی شده با گوشت/پروتئین و روغن

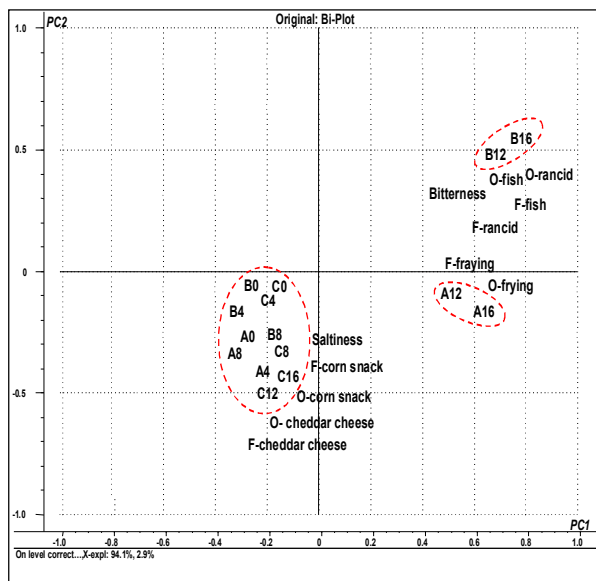
ماهی [۱۶، ۱۵]

۳-۴-۱- طراحی تیمارها

الف- اسنک اکسترودهی ذرت<sup>۲۶</sup> غنی شده با

گوشت/پروتئین ماهی [۱۵]

در این طرح برای ساخت اسنک غنی شده از گوشت چرخ‌شدهی ماهی فیتوفاگ (۱۵ درصد) و گوشت چرخ‌شدهی ماهی قزل‌آلا (۱۵درصد) و پودر پروتئین ماهی سیث (۳ درصد) استفاده شد. نمونه‌ی کنترل هم بدون اضافه کردن گوشت/ پروتئین ماهی تولید شد. افزودنی‌ها در مرحله‌ی پیش



**Fig 11** Principal component analysis describing sensory quality scores of corn snacks stored 16 weeks at  $27 \pm 2^\circ\text{C}$  as evaluated by a trained sensory panel. (A) Corn snacks seasoned with fish protein, (B) corn snacks with omega-3 fish oil, (C) regular corn snacks (control). O: odor; f: flavor. Numbers 0 to 16 indicate storage weeks.

### ۳-۵-۵- ویژگی‌های حسی اسنک اکسترودهی

#### ذرت غنی شده با پروتئین میگو [۱۸]

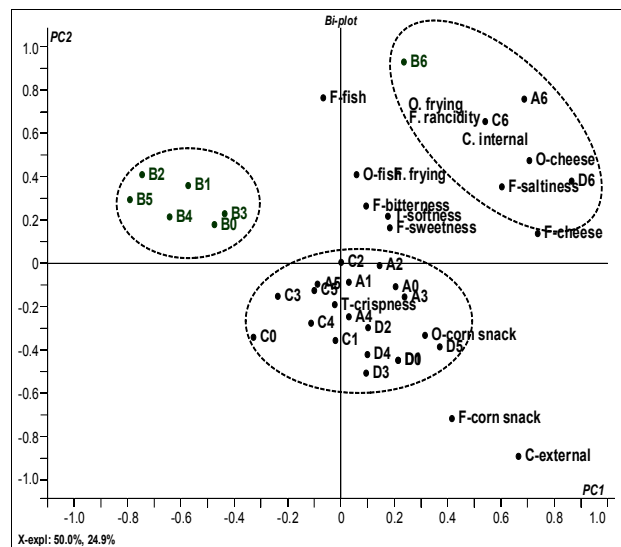
#### ۳-۵-۱- طراحی تیمارها

در این مطالعه برای بهینه‌سازی فرمولاسیون ساخت اسنک غنی شده با پودر پروتئین میگو از نرم افزار دیزاین اکسپرت استفاده شد. به این منظور از فرآیند مرسوم تولید اسنک اکسترودهی ذرت استفاده گردید [۱۷]. نخست پودر پروتئین میگو با بلغور ذرت مخلوط و سپس وارد دستگاه اکسترودر گردید. با ارزیابی حسی کارشناسان خبره و آنالیز انجام شده توسط نرم‌افزار، مقدار بهینه‌ی پودر پروتئین میگو در فرمولاسیون، به میزان ۳ درصد تعیین شد. تغییرات حسی نمونه‌ی غنی شده و کنترل در طول ۶ ماه نگهداری در دمای محیط و با استفاده از روش QDA و ارزیابان حسی آموزش دیده، بررسی شد.

#### ۳-۵-۲- نتیجه و بحث

اسنک ذرت- میگو و اسنک معمولی (کنترل) پس از تولید اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند و ویژگی‌های حسی مانند تردی، رنگ، بو و طعم در آن‌ها یکسان بود. هر ۲ گروه در دو سمت نمودار (شکل ۱۳) دسته‌بندی شده‌اند و ویژگی‌های

می‌کند که گوشت چرخ‌شده‌ی ماهی فیتوفاگ در سطح ۱۵ درصد برای غنی‌سازی مناسب نیست [۱۵].



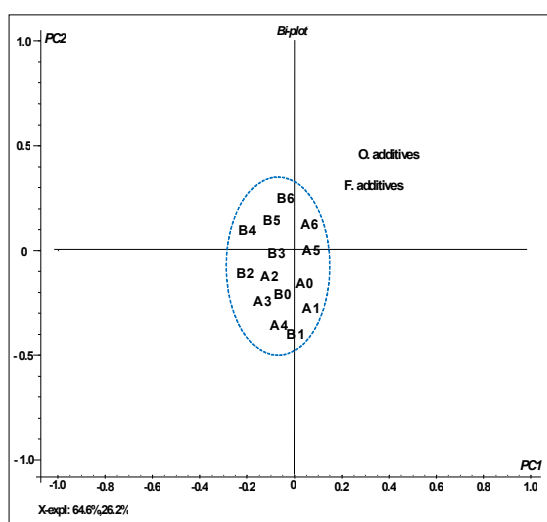
**Fig 10** PCA describing sensory quality scores of puffed corn snacks stored for 6 months at  $27 \pm 2^\circ\text{C}$  as evaluated by a trained sensory panel. (A) Corn snacks containing rainbow trout mince. (B) Corn snacks containing silver carp mince. (C) Corn snacks containing saithe protein. (D) Regular corn snacks (control). O: odor; C: color; F: flavor; T: texture. Numbers 0–6 indicate storage months

ب- نمودار PCA (شکل ۱۲) تغییرات حسی نمونه‌ها را آشکار می‌کند. نمونه‌ی کنترل تا هفته‌ی ۱۶ نگهداری و نمونه‌ی A حاوی پودر پروتئین ماهی و نمونه‌ی B حاوی روغن ماهی از زمان تولید تا هفته‌ی ۸ نگهداری در یک دسته گروه‌بندی شده و در میانه‌ی نمودار قرار داده شده‌اند. بو و طعم اسنک و پنیر چدار و مزه‌ی نمکی در همه‌ی نمونه‌ها مشابه بوده است. در هفته‌ی ۱۲ و ۱۶ نگهداری نمونه‌ی A حاوی پودر پروتئین ماهی و نمونه‌ی B حاوی روغن ماهی در دو دسته‌ی مجزا به ترتیب در نیمه‌ی پایینی و نیمه‌ی بالایی سمت راست نمودار قرار گرفته‌اند. بو و طعم سرخ‌کردنی و طعم رنسیدگی در نمونه‌ی A غالب بودند و در نمونه‌ی B بو و طعم ماهی و رنسیدگی و تلخی غالب بودند. از این نمودار می‌توان استنباط کرد که زمان ماندگاری محصولات غنی شده با روغن ماهی و پودر پروتئین ماهی ۲ ماه است. برای افزایش این مدت یا باید سطح غنی‌سازی را کاهش داد و یا باید از نگهدارنده‌های طبیعی بهره برد [۱۶].

ماهی در مواد پُرکننده) در طول ۶ ماه نگهداری در دمای  $-18^{\circ}\text{C}$  با استفاده از روش QDA و گروه ارزیابی حسی آموزش دیده بررسی شد.

### ۳-۶-۲- نتیجه و بحث

نمودار PCA (شکل ۱۴) نشان می‌دهد که همه‌ی نمونه‌های اشترودل ماهی و کنترل از زمان تولید تا پایان زمان نگهداری از نظر ویژگی‌های حسی با هم یکسان بودند و در مرکز نمودار قرار گرفته‌اند. بو و طعم افزودنی‌ها ویژگی‌های حسی غالب در این نمونه‌ها بوده‌اند. پایداری حسی نمونه‌ها را می‌توان به افزودنی‌ها و طعم‌دهنده‌های مصرفی نسبت داد [۱۹].



**Fig 14** Principal component analysis describing sensory quality scores of fish strudel stored six months at  $-18^{\circ}\text{C}$  as evaluated by a trained sensory panel. (A) Control sample. (B) Fish strudel. O: odor; F: flavor. Numbers 0 to 6 indicate storage months.

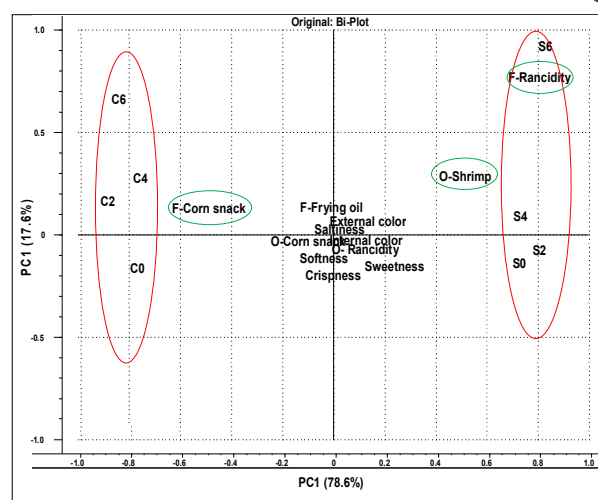
### ۳-۷-۷- اثر پکتین بر ویژگی‌های بافت برگر ماهی

[۲۰]

### ۳-۷-۱- طراحی تیمارها

در بازطراحی فرمولاسیون نوعی برگر ماهی موجود در بازار کشور، از پکتین برای بهبود بافت محصول استفاده شد. ابتدا حدود بهینه‌ی پکتین در فرمولاسیون با استفاده از نرم‌افزار دیزاین‌اکسپرت مشخص شد. سپس نمونه‌های حاوی  $0/3$  و  $0/6$  درصد پکتین و نمونه‌ی کنترل تولید شده و تغییرات کیفی و حسی (بافت) آن طی ۶ ماه نگهداری در دمای  $-18^{\circ}\text{C}$  با

غالب در نمونه‌ی کنترل طعم اسنک ذرت و ویژگی حسی غالب در اسنک ذرت-میگو بوی میگو بود. هرچند طعم رنسیدشدگی در پایان ماه ششم نگهداری اسنک ذرت-میگو محسوس بود؛ ولی شدت تغییرات حسی در آن‌ها معنی‌دار نبوده است. با توجه به این مهم و نتایج آزمون‌های فیزیکوشیمیایی، ماندگاری اسنک ذرت-میگو حداکثر ۶ ماه برآورد شد [۱۸].



**Fig 13** Principal component analysis describing sensory quality scores of of extruded puffed corn-shrimp snacks stored six months at  $27\pm 2^{\circ}\text{C}$  as evaluated by a trained sensory panel. (C) Control sample, (S) corn-shrimp snack. O: odor; F: flavor. Numbers 0 to 6 indicate the storage months.

### ۳-۶-۳- ویژگی‌های حسی اشترودل ۲۸ ماهی [۱۹]

### ۳-۶-۱- طراحی تیمارها

در این پروژه از گوشت چرخ‌شده‌ی ۷ گونه از ماهیان جنوب کشور برای ساخت اشترودل ماهی استفاده شد. اشترودل ماهی، یک قطعه نان برشته‌شده‌ای است که در میان آن گوشت ماهی و دیگر افزودنی‌ها قرار داده شده است. نخست، بهترین گونه از نظر داشتن ویژگی‌های حسی مطلوب، انتخاب شد. سپس مقدار بهینه‌ی آن در فرمولاسیون مواد پُرکننده‌ی اشترودل با استفاده از نرم‌افزار دیزاین‌اکسپرت تعیین گردید. مقدار گوشت گونه‌ی منتخب (ماهی سارم) در مواد پُرکننده‌ی اشترودل  $70$  درصد و مابقی پیاز، پودرکاری و دیگر افزودنی‌ها بود. تغییرات حسی نمونه‌ی منتخب و کنترل (اشترودل فاقد گوشت

PCA برای تحلیل داده‌های حسی، استفاده شده است. نمودارهای PCA اطلاعات منحصر بفردی را ارائه می‌کنند که نسبت به دیگر روش‌های گرافیکی می‌توانند به طور مستقل استفاده شوند. ولی اگر آن‌ها را به صورت مجموعه نمایش داد اثربخشی بیشتری داشته و نمودارها همدیگر را تکمیل می‌کنند. با استفاده از نمودارهای PCA می‌توان ویژگی‌های حسی نمونه‌های محصول را ارزیابی و شباهت‌ها و اختلاف‌های آن‌ها را با هم مقایسه کرد. با این روش هم‌چنین می‌توان تغییرات کیفی و حسی محصول در مدت نگهداری بررسی کرده و زمان ماندگاری محصول را نیز تعیین کرد.

## ۵- سپاسگزاری

بدین‌وسیله کمال سپاس و قدردانی خود را از استادان علم ارزشیابی حسی مواد خوراکی، دکتر Kolbrun Oliver Sviensdottir استاد دانشگاه ایسلند، دکتر Asgeir Tomic استاد دانشگاه علوم زیستی نورژ و دکتر Nilsen استاد دانشگاه اوربرو سوئد که در طول تحصیل، این‌جانب را از دانش خود بهره‌مند کردند، اعلام کنم.

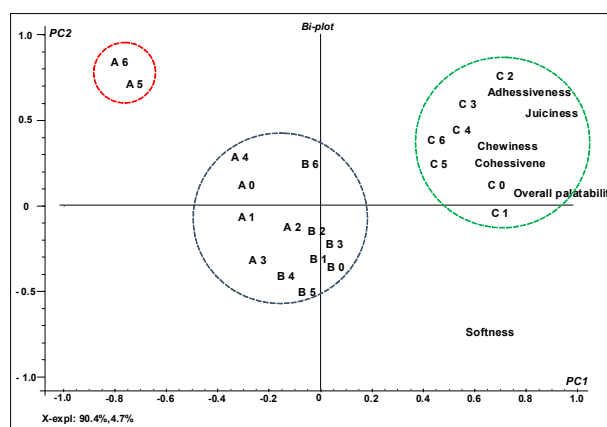
## ۶- منابع

- [1] Shaviklo gr. 2010. Properties and applications of fish proteins in value added convenience foods, PhD Dissertation, University of Iceland, School of Health Sciences, Faculty of Food Science & Nutrition, Reykjavik.
- [2] Losó V, Gere A, Györey1 A, Kókai Z, Sipos L. 2010. Comparison of the performance of a trained and an untrained sensory panel on sweetcorn varieties with the panelcheck software. Applied Studies inAgribusiness and Commerce, 1, 77-83.
- [3] Tomic O, Luciano G, Nilsen A, Hyldig G, Lorensen K, Nas T. 2009. Analysing sensory panel performance in a proficiency test using the PanelCheck software. European Food Research Technology, 3, 497-511.
- [4] Mohaddes F. 2010. Principal component and factor analysis case study: assets price evaluation and inflation impacts, Economic Research and Policy Department, Central Bank of the Islamic Republic of Iran.
- [5] Jr MG, Singh J, Bi J, Altan S. 2009. Statistical Methods in Food and Consumer

استفاده از روش QDA و گروه ارزشیابی حسی آموزش دیده، انجام شد.

## ۳-۷-۲- نتیجه و بحث

نمودار PCA (شکل ۱۵) نشان می‌دهد که نمونه‌ی برگر حاوی ۰/۳ درصد پکتین (B) و نمونه‌ی کنترل در وسط نمودار، دسته‌بندی شده و دارای شباهت‌های حسی هستند. نمونه‌ی (C) حاوی ۰/۶ درصد پکتین دارای ویژگی‌های غالب آبدار بودن، سفتی و پذیرش کلی بوده و در بالای سمت راست نمودار واقع شده و از ۲ نمونه‌ی دیگر متفاوت است. این مهم با داده‌های حاصل از آنالیز دستگاهی بافت هم‌خوانی داشت. اگر چه نمونه‌ی کنترل در ماه‌های ۵ و ۶ نگهداری به صورت دسته‌بندی شده در خارج از گروه‌بندی نمونه‌های غنی شده B0-B6 و کنترل از زمان تولید تا ماه چهارم نگهداری هستند ولی ویژگی‌های غالبی در آن‌ها شناسایی نشد. به‌طورکلی ویژگی‌های بافت نمونه‌ی C حاوی ۰/۶ درصد پکتین ضمن تفاوت معنی‌دار با کنترل و نمونه‌ی B حاوی ۰/۳ درصد پکتین مورد پذیرش بیشتری از سوی ارزیابان حسی واقع شد [۲۰].



**Fig 15** Principal component analysis (PCA) describing sensory quality scores of fish fingers stored 6 months at  $-18^{\circ}\text{C}$  as evaluated by a trained sensory panel. (A) Existing product (control), (B) Reformulated fish finger containing mixture with 0.3% pectin, (C) Reformulated fish finger containing mixture with 0.6% pectin. Numbers 0 to 6 indicate storage months.

## ۴- نتیجه‌گیری

مقاله‌ی حاضر، حاصل مروری اجمالی بر منابع علمی و تجربیات علمی و پژوهشی نویسنده است که در آن‌ها از روش

- programme. Iranian Journal of Fisheries Sciences, under review.
- [15] Shaviklo GR, Thorkelsson G, Sigurgisladottir S, Rafipour F. 2011. Quality and storage stability of extruded puffed corn-fish snacks during 6-month storage at ambient temperature. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 5: 886-893.
- [16] Shaviklo AR, Kargari A, Zanganeh P. 2014. Interactions and effects of the seasoning mixture containing fish protein powder/ omega-3 fish oil on children's liking and stability of extruded corn snacks using a mixture design approach. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38: 1097-1105.
- [17] Shaviklo GR, Olafsdottir H, Sveinsdottir K, Thorkelsson G, Rafipour F. 2011. Quality characteristics and consumer acceptance of a high fish protein puffed corn-fish snack. *Journal of Food Science and Technology*, 6: 668-676.
- [18] Shaviklo AR, Azaribeh M, Moradi Y, Zanganeh P. 2015. Formula optimization and storage stability of extruded puffed corn-shrimp snacks. *LWT Journal of Food Science & Technology*, 1: 307-314.
- [19] Shaviklo AR, Rafipour F. 2014. Consumer-based development and optimization of fish strudel using D-optimal mixture design. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38: 845-855.
- [20] Shaviklo AR, Fahim A. 2014. Quality improvement of silver carp fingers by optimizing the level of major elements influencing texture. *International Food Research Journal*, 1: 283-290.
- [21] Shaviklo GR, Thorkelsson G, Arason S, Kristinsson HG, Sveinsdottir K. 2010. The influence of additives and drying methods on quality attributes of fish protein powder made from saithe (*Pollachius virens*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 12:2133-43.
- [22] Šimat V, Bogdanović T, Krželj M. 2012. Application of Principal Component Analysis to Characterize the Effect of Catching Ground on Post-mortem Quality Changes in Ice Stored Sea Bream (*Sparus aurata*, L.) and Bogue (*Boops boops*, L.). *Croatian Journal of Food Technology, Biotechnology and Nutrition*, 14-17.
- [23] Meilgaard, M.C., Civille, G.V. and Caar, B.T. 2007. *Sensory Evaluation Techniques*, (4th ed.) Chapter 4, CRC Press/ Taylor and Francis Group, Boca Raton.
- Research (2nd Edn). Elsevier, California, 674-678.
- [6] Næs T, Brockhoff PB, Tomic O. 2010. *Statistics for Sensory and Consumer Science*. John Wiley & Sons Ltd. UK.
- [7] Fan, D, Yan, B, Lian H, Zhao, J and Zhang H. 2016. Instrumental and Sensory Analysis of the Properties of Traditional Chinese Fried Fritters, 1-7.
- [8] Shaviklo GR, Arason S, Thorkelsson G, Sveinsdottir K, Martinsdottir M. 2010. Sensory attributes of haddock balls affected by added fish protein isolate and frozen storage. *Journal of Sensory Studies*, 3: 316-331.
- [9] Shaviklo AR, Moradinezhad N, Abolghasemi SJ, Motamedzadegan A, Kamali-Damavandi N, Rafipour F. 2016. Product optimization of fish burger containing tuna protein isolates for better sensory quality and frozen storage stability. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 16: 923-933.
- [10] Puri R, Khamrui K, Khetra Y, Malhotra R, and Devraja. H. C. 2016. Quantitative descriptive analysis and principal component analysis for sensory characterization of Indian milk product cham-cham. *Journal of Food Science and Technology*, 2: 1238-1246.
- [11] Shaviklo AR, Kargari A, Zanganeh P. 2015. Ingredient's optimization and children's liking of popcorns seasoned with fish protein powder/ omega-3 fish oil. *Journal of International Food & Agribusiness Marketing*, 27: 79-90.
- [12] Shaviklo GR, Thorkelsson G, Arason S, Sveinsdottir K. 2012. Characteristics of freeze-dried fish protein isolated from saithe (*Pollachius virens*). *Journal of Food Science and Technology*, 3: 309-318.
- [13] Shaviklo GR, Thorkelsson G, Arason S, Sveinsdottir K, Rafipour F. 2011. Chemical properties and sensory quality of ice cream fortified with fish protein. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 7: 1199-1204.
- [14] Shaviklo AR, Seyed-Nejad SR. 2017. Determination of optimum level of omega-3 fish oil plus vitamin E and their effects on oxidative and sensory shelf stability in a traditional Persian ice cream formulation using a computer-aided statistical



## Analyses of sensory evaluation data using Principal Component Analysis (PCA)

Shaviklo, A. R. <sup>1\*</sup>

1. Assistant professor, Department of animal products processing, Animal science research institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

(Received: 2017/12/04 Accepted: 2018/01/09)

Data analysis is the most complicated and ambiguous step in food and drink sensory evaluation projects. Accordingly, the least systematic and contemplativeness discussions have been made in scientific articles. The present article is the result of studying, teaching and research activities of the author in the past 10 years, in which a number of other valid sources have been used. This paper is intended to describe the stages of sensory data analysis and the use of the principal components in the visualization of sensory data and to present practical examples. The review of scientific literature indicates that many studies have used this approach for analyzing sensory data. But the analysis and interpretation of such data have not been described in details. Such information has not yet been published in Persian in scientific form. So, presenting further details on the PCA method provides scholars and students with access to the necessary information and makes a practical guide available for them in future researches. Therefore, describing the process of sensory data analysis based on the use of PCA and the related criteria for their interpretation is essential and discussed in this paper.

**Keyword:** Sensory data, sensory evaluation, Principal Component Analysis, PCA

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: shaviklo@gmail.com