



## آنالیز حساسیت مدل‌های رگرسیون و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی پودر کشک حاوی عصاره

### بذر کتان

حسن رشیدی<sup>۱\*</sup>، مرتضی کاشانی نژاد<sup>۲</sup>، مسعود نجف نجفی<sup>۱</sup>، فوژان خراسانیان<sup>۳</sup>

۱- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

۲- دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده ی کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران.

۳- فارغ‌التصیل کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

#### چکیده

#### اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۱

کلمات کلیدی:

آنالیز حساسیت،

جریان برشی پایا،

عصاره بذر کتان،

کشک.

DOI: 10.52547/fsct.18.117.321

\* مسئول مکاتبات:

ha\_rashidi@yahoo.com

در این پژوهش اثر مقادیر مختلف عصاره بذر کتان (۰، ۲/۵، ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۲/۵ و ۱۵ درصد) بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی کشک مورد بررسی قرار گرفت و و سپس به منظور درک بهتر اثر عصاره بذر کتان بر خصوصیات مورد ارزیابی آنالیز حساسیت مدل‌های رگرسیونی منتخب انجام شد. نتایج آنالیز واریانس نمونه‌ها نشان داد که اثر غلظت عصاره بذر کتان بر روی رطوبت، چربی، پروتئین، pH و حلالیت نمونه‌های کشک معنی‌دار بود به طوری که مطابق نتایج، آنالیز حساسیت به ازای افزایش هر یک درصد عصاره بذر کتان حدود ۴/۳۸ درصد به رطوبت، ۱۱/۸۲ درصد به چربی و ۰/۷۸ درصد به pH نمونه‌ها اضافه گردید. همچنین به ازای افزایش هر یک درصد عصاره بذر کتان حدود ۷/۰۱ درصد از پروتئین و ۲/۷۲ درصد از حلالیت نمونه‌ها کاسته شد. لذا مطابق نتایج آنالیز حساسیت، چربی بالاترین حساسیت و pH کمترین حساسیت را نسبت به تغییرات عصاره کتان را در مقایسه با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مورد ارزیابی داشتند. نتایج بررسی رفتار جریان برشی پایا نمونه‌ها نیز نشان داد که شاخص جریان رفتار تمامی نمونه‌ها کمتر از ۱ بود که نشان دهنده رفتار شل شونده با برش (سودوپلاستیک) نمونه‌های پودر کشک بود. همچنین نتایج آنالیز واریانس نمونه‌ها نشان داد که اثر غلظت عصاره بذر کتان بر روی همه پارامترهای مدل هرشل بالکلی (شاخص رفتار جریان، ضریب قوام و تنش تسلیم) معنی‌دار بود به طوری که به ازای افزایش هر یک درصد عصاره بذر کتان حدود ۹ درصد به ضریب قوام نمونه‌ها و ۹/۰۳ درصد به تنش تسلیم نمونه‌ها اضافه گردید. همچنین به ازای افزایش هر یک درصد عصاره بذر کتان از ۰ تا ۱۲ درصد حدود ۸/۲ درصد از شاخص رفتار جریان نمونه‌ها کاسته شد (رفتار شل شونده با برش افزایش یافت). نتایج آنالیز حساسیت نیز حساسیت بیشتر تنش تسلیم نسبت به تغییرات عصاره کتان را در مقایسه با سایر پارامترهای مدل هرشل بالکلی نمونه‌ها نشان داد.

## ۱- مقدمه

کشک فرآورده ای است، که با استفاده از فرآیندهای مناسب صنعتی از تخمیر و تغلیظ و خشک کردن شیر (کامل، کم چرب و یا بدون چربی) و همچنین فرآورده های تهیه شده از شیر باز ساخته (مانند: ماست، دوغ) و یا به همراه پس آب کره، آب پنیر، پودر آب پنیر یا مخلوطی از آن‌ها با یا بدون اضافه کردن نمک، به دست می‌آید [۱]. کشک یکی از فرآورده های لبنی است که دارای ارزش تغذیه ای بالایی می‌باشد و به صورت مایع و جامد عرضه می‌شود و به دلیل دارا بودن باکتریهای مفیداسید لاکتیک و انجام فرایند تخمیر دارای ارزش تغذیه ای بالا، طعم و آرومای مناسب ماست و حاوی مقادیر قابل توجهی از کلسیم می‌باشد [۲] لذا کشک به عنوان محصول لبنی غنی از پروتئین و کلسیم از اهمیت ویژه ای برخوردار می‌باشد [۳]. از طرفی تحقیقات نشان می‌دهد که امروزه تولید غذاهای فراسودمند (خوراکی‌هایی که فاقد ترکیبات مضر بوده و ترکیبات سلامت بخش و مفیدی در آنها وجود دارد) بسیار مورد توجه قرار گرفته است و تقاضا برای مصرف این گونه غذاها در حال رشد است و بسیاری از مردم تمایل دارند که رژیم غذایی خود را به گونه ای تغییر دهند که غذاهای فراسودمند بیشتر در آن جای گیرند. غذاهای فراسودمند را می‌توان با افزودن ترکیبات مختلف که نقش سلامت زایی مهمی دارند به غذاهای متداول از جمله به شیر و فرآورده های آن به دست آورد. به همین دلیل امروزه غنی سازی شیر و فرآورده های آن بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۴]. ضمن اینکه امروزه استفاده از گیاهان مفیدی چون کتان در تولید انواع غذاهای فراسودمند مورد توجه محققان قرار دارد [۵]. کتان، دانه روغنی می‌باشد که منبع غنی از اسیدهای چرب ضروری است و دارای خواص مفیدی برای پیشگیری از بیماری های قلب و عروق، پوکی استخوان و آرتروز، مشکلات گوارشی و همچنین انواع سرطان است [۶]. از جمله ترکیبات مهم دیگر موجود در بذر کتان، فیبر تغذیه ای است که شامل صمغ، سلولز و لیگنان می‌باشد [۷]. این ترکیبات با جلوگیری از یبوست سبب نرمی و دفع آسانتر مدفوع و کاهش خطر سرطان می‌شوند [۵]. آلفا لینولنیک موجود در روغن دانه کتان نیز به دلیل فعالیت آنتی اکسیدانی بالای خود فرد را در برابر ایسکمی قلبی [۸]، تشکیل کلون های سرطانی [۹] و دیابت [۱۰] محافظت می‌کند و نقش مهمی در بهبود عملکرد عروقی دارد. همچنین باعث حفاظت ریه و منجر

به مهار آپوپتوز می‌شود [۱۱]. بنابراین به نظر می‌رسد عصاره بذر کتان با توجه به خصوصیات عملکردی و تغذیه ای بالا [۱۲]. مناسب گزینه مناسبی به عنوان استفاده در فرمولاسیون کشک می‌باشد که تا کنون پژوهشی نیز در دراین رابطه وجود ندارد. آقا کشی پور و همکاران (۱۳۹۳)، مقادیر ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد پودر دانه کتان را در تولید ماکارونی فراسودمند استفاده نمودند نشان دادند که با افزایش درصد بذر کتان در فرمولاسیون ماکارونی، می‌توان محصولی با مقدار اسیدهای چرب ضروری و ترکیبات آنتی اکسیدانی بیشتر به بازار مصرف ارائه کرد [۱۰]. ناصری و همکاران (۱۳۸۷) نیز اثر افزودن ایزوله پروتئین سویا و فیبر گندم، در تولید کشک مایع به روش سنتی را مورد ارزیابی قرار دادند [۱۱]. نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان داد که کشک حاوی ۴ درصد ایزوله پروتئین سویا و ۲ درصد فیبر گندم نسبت به سایر نمونه ها کیفیت بالاتری دارد و ایزوله پروتئین سویا و فیبر گندم می‌تواند به عنوان افزودنی با خواص عملگرا مورد استفاده قرار گیرد. مروی و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی تاثیر افزودن صمغ گوار (در محدوده ۰ - ۰/۴ درصد) و اینولین (در محدوده ۰ تا ۲ درصد) بر ویژگی های کشک مایع مانند سختی، چسبندگی، آب اندازی، اسیدیته، ماده خشک و ویژگی های حسی نشان دادند که افزودن این دو ماده غذایی باعث افزایش چسبندگی و اسیدیته و کاهش آب اندازی و ماده خشک و بهبود بافت، طعم و احساس دهانی مناسب می‌گردد [۱۲]. علی محمدی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی تأثیر پودر دانه تاج خروس به عنوان یک ماده عملگرا بر خصوصیات حسی و شیمیایی کشک صنعتی پرداختند و نشان دادند که افزودن تاج خروس تأثیر معناداری بر میزان فیبر، کلسیم، منیزیم، فسفر، پتاسیم و آهن داشت [۱].

بنابراین به طور کلی با بررسی دقیق منابع می‌توان دریافت که تا کنون پژوهشی در مورد اثر افزودن عصاره بذر کتان بر روی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی کشک نشده است. از این رو، در این تحقیق با توجه به اهمیت تولید کشک با ویژگی های فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی مناسب اثر عصاره بذر کتان بر رطوبت، چربی، پروتئین، pH، حلالیت و رفتار جریان برشی پایا کشک مورد ارزیابی قرار گرفت و سپس به منظور درک بهتر اثر عصاره بذر کتان بر خصوصیات مورد ارزیابی آنالیز حساسیت (Sensitivity analysis (SA)) مدل‌های رگرسیونی منتخب انجام شد.

## ۲- مواد و روش ها

### ۲-۱- انتخاب مواد اولیه

ماست بدون چربی از شرکت پگاه خراسان و بذر کتان از بازار مشهد خریداری شد.

### ۲-۲- تولید عصاره بذر کتان

بذر کتان پس از تهیه از عطاری، آسیاب شد و سپس به نسبت ۱ به ۳ با آب ۳۰ درجه سانتیگراد مخلوط و به مدت ۱۵ تا ۳۰ دقیقه در همان دما نگهداری گردید. سپس توسط صافی صاف شد و عصاره حاصله به روش خشک کن آفتابی خشک گردید و بعد از آسیاب شدن و عبور از الک و مش های ریز به خشک اضافه شد [۱۴].

### ۲-۳- تولید پودر خشک غنی شده با عصاره کتان

به منظور تولید خشک، ماست با درصد چربی ۰/۲ درصد مورد استفاده قرار گرفت. ماست به روش کیسه ای تا رسیدن به ماده جامد ۱۶/۵ درصد آبگیری شد. سپس با پودر عصاره بذر کتان در مقادیر ۰، ۲/۵، ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۲/۵ و ۱۵ درصد وزنی/وزنی مخلوط و توسط همزنایزر آزمایشگاهی اولتراتوراکس مدل Misonix sonicator (ساخت آمریکا) یکنواخت گردید. سپس ۲ درصد نمک افزوده و پاستوریزاسیون دردمای ۸۰ درجه سانتی گراد، به مدت ۱۰ دقیقه صورت گرفت. سپس عملیات خشک کردن توسط خشک کن پاششی انجام شد [۱۵].

### ۲-۴- آزمونهای شیمیایی

اندازه گیری رطوبت نمونه ها مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۸۷۸۱، چربی مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۱۵۳۱، پروتئین مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۶۳۹، pH مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۲۸۵۲، و توسط دستگاه METRON مدل HI8520-21 ساخت کشور

سوئیس انجام شد.

### ۲-۵- آزمونهای فیزیکی

اندازه گیری اندیس حلالیت نمونه ها مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۲۰۹۰ انجام شد. برای اندازه گیری های رئولوژیکی پودر خشک بازسازی شده مایع نیز از ویسکومتر بروکفیلد مدل DV III ULTRA ساخت کشور آمریکا توسط اسپیندل شماره ۴ درسرعتهای زاویه ای ۲۰ تا ۲۴۰ استفاده شد [۱۶].

### ۲-۶- طراحی آزمایش و آنالیز آماری

از طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار استفاده گردید. آنالیز واریانس (ANOVA) داده ها توسط نرم افزار SPSS R16 صورت گرفت و اختلاف بین میانگین ها به روش آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح معنی دار ۰/۰۵ مورد مقایسه قرار گرفت و نمودار ها با استفاده از نرم افزار excel ویرایش ۲۰۱۰ ترسیم شدند. سپس آنالیز حساسیت (Sensitivity analysis (SA)) مدل های به دست آمده نیز توسط نرم افزار اکسل انجام شد. لازم به ذکر است تحلیل حساسیت به مطالعه تاثیرپذیری متغیرهای خروجی از متغیرهای ورودی یک مدل آماری گفته می شود. به عبارت دیگر روشی برای تغییر دادن در ورودی های یک مدل آماری به صورت سازمان یافته (سیستماتیک) است که بتوان تأثیرات این تغییرها را در خروجی مدل پیش بینی کرد [۱۷].

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- رطوبت، چربی و پروتئین

جدول ۱ رطوبت، چربی و پروتئین نمونه های پودر خشک حاوی مقادیر مختلف عصاره بذرکتان را نشان می دهد.

**Table 1** Moisture, fat and protein of kashk samples containing different amounts of flaxseed extract concentration

flaxseed extract concentration (%)	Moisture (%)	Fat (%)	Protein (%)
0	7.2 <sup>a</sup> ±0.00	1.97 <sup>a</sup> ±0.01	37.50 <sup>a</sup> ±0.1
2.5	8.17 <sup>b</sup> ±0.02	4.73 <sup>b</sup> ±0.06	25.12 <sup>a</sup> ±0.11
5	8.17 <sup>b</sup> ±0.02	6.92 <sup>c</sup> ±0.00	20.75 <sup>b</sup> ±0.04
7.5	9.50 <sup>c</sup> ±0.1	7.05 <sup>c</sup> ±0.05	20.75 <sup>b</sup> ±0.04
10	11.24 <sup>d</sup> ±0.03	9.49 <sup>d</sup> ±0.14	16.50 <sup>c</sup> ±0.04
12.5	11.69 <sup>d</sup> ±0.06	11.22 <sup>c</sup> ±0.16	14.37 <sup>d</sup> ±0.16
15	13.43 <sup>e</sup> ±0.16	13.27 <sup>e</sup> ±0.06	13.22 <sup>e</sup> ±0.2

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود به ازای افزایش هر یک درصد عصاره بذر کتان حدود ۴/۳۸ درصد رطوبت و ۱۱/۸۲ درصد چربی نمونه‌ها افزایش می‌یابد و حدود ۷/۰۱ درصد از پروتئین نمونه‌ها کاسته می‌گردد. همچنین نتایج بررسی‌ها با در نظر گرفتن درصد تغییرات نشان می‌دهد که چربی نمونه بیشترین حساسیت را نسبت به تغییرات عصاره کتان در مقایسه با سایر ترکیبات مورد ارزیابی نمونه‌ها را داشت.

احتمالاً علت افزایش رطوبت در نتیجه افزایش درصد عصاره بذر کتان را می‌توان به ترکیبات موجود در بذر کتان نسبت داد. طبق تحقیق Cui, Mazza [۱۸]، افزایش رطوبت نهایی محصول ممکن است به دلیل ترکیبات صمغی و حضور فیبر بالا در بذر کتان باشد. مقدار صمغ در دانه حدود ۸ درصد گزارش شده است و مانند صمغ عربی قابلیت جذب آب بالایی دارد [۱۵]. همچنین بر اساس تحقیق ماهرانی و همکاران (۱۳۸۳)، دانه کتان حاوی مخلوط پلی ساکارید ناهمگن است و اختلاف در ترکیب مونوساکاریدها به تنوع واریته‌های آن نسبت داده می‌شود؛ که این ترکیبات در میزان جذب آب و میزان رطوبت نهایی نقش بسزایی دارند و به آهستگی آب جذب می‌کنند و می‌توانند میزان رطوبت نهایی محصول را افزایش دهند [۱۶]. این نتایج با گزارشات ناصری و همکاران (۱۳۸۷)، که به ارزیابی تاثیر ایزوله پروتئین سویا و فیبر گندم بر ویژگیهای کشک پرداختند مطابقت داشت [۱۱]. آنها بیان داشتند که با افزایش مقدار مصرف ایزوله پروتئین سویا و فیبر گندم و با توجه به خاصیت جذب آب آنها، مقدار رطوبت محصول افزایش پیدا می‌کند. در مورد افزایش چربی در نتیجه افزایش درصد عصاره بذر کتان نیز می‌توان گفت احتمالاً با توجه به حضور اسیدهای چرب اشباع نشده با چند پیوند دوگانه در انواع امگا ۶ و امگا ۳ و اسید چرب غیراشباع با یک پیوند دوگانه، دانه کتان یکی از غنی‌ترین منابع اسیدهای چرب ضروری در رژیم غذایی است. بنابراین افزایش چربی محصول نوید بخش غنی شدن آن از جهت اسیدهای چرب ضروری است.

همچنین دلیل کاهش میزان پروتئین در نمونه‌های تولیدی به مواد افزودنی آن یعنی دانه کتان بستگی داشته زیرا پروتئین بذر کتان خیلی کمتر از پروتئین کشک بوده و این اختلاط باعث پایین آمدن پروتئین محصول شده است. به گونه مشابه ناصری و

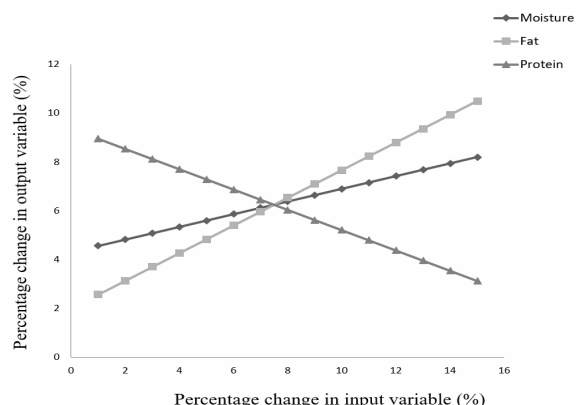
همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود رطوبت، چربی و پروتئین نمونه‌های مورد آزمون به ترتیب بین ۷/۲ تا ۱۳/۴۳، ۱/۹۷ تا ۱۳/۲۷ و ۱۳/۲۲ تا ۳۷/۵۰ درصد متغیر بودند به طوری که بیشترین رطوبت و چربی و کمترین پروتئین مربوط به نمونه حاوی ۱۵ درصد عصاره بذرکتان و کمترین میزان رطوبت و چربی و بیشترین پروتئین مربوط به نمونه ۰ درصد عصاره بذرکتان (نمونه شاهد) می‌باشد. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌های دانکن نیز نشان داد که بین میانگین رطوبت نمونه‌های حاوی غلظت‌های ۰ تا ۲/۵، ۵ تا ۷/۵ و ۷/۵ تا ۱۰ و ۱۲/۵ تا ۱۵ درصد عصاره بذرکتان، بین میانگین چربی نمونه‌های حاوی غلظت‌های ۰ تا ۲/۵، ۲/۵ تا ۵ و ۷/۵ تا ۱۰ و ۱۲/۵ تا ۱۵ درصد عصاره بذرکتان و بین میانگین پروتئین نمونه‌های حاوی غلظت‌های ۲/۵ تا ۵ و ۷/۵ تا ۱۰ و ۱۰ تا ۱۲/۵ و ۱۲/۵ تا ۱۵ درصد عصاره بذرکتان اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد وجود داشت. مدل‌های رگرسیون چند جمله‌ای (۲، ۳ و ۴) نیز به دلیل ضریب تبیین بالای (۰/۹۰)، بهترین برازش را بر داده‌های پاسخ رطوبت، چربی و پروتئین (جدول ۱) داشتند که در این مدل‌ها X درصد عصاره کتان می‌باشد.

$$y = 0.4114x + 6.8286 \quad (1)$$

$$y = 0.7064x + 2.5089 \quad (2)$$

$$y = -1.4084x + 31.736 \quad (3)$$

شکل ۱ نیز نمودار تحلیل حساسیت درصد عصاره کتان بر اساس درصد تغییر در متغیر خروجی را برای پارامتر رطوبت، چربی و پروتئین پودر کشک نشان می‌دهد.



**Fig 1** Sensitivity analysis diagram of flax extract percentage based on the percentage change in the output variable

دوغ و کشک مناطق مختلف ایران بیان داشتند که کشک یک محصول اسیدی حاصل از فعالیت استارترهای ماست بوده و بدین ترتیب pH آن بین ۳/۷-۴/۵ می باشد [۱۸].

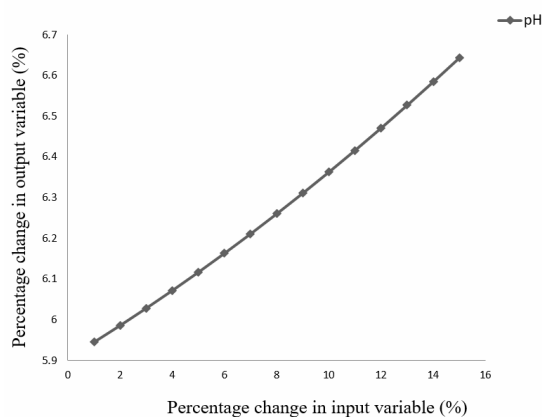
**Table 2** pH of kashk samples containing different amounts of flaxseed extract concentration

pH	flaxseed extract concentration (%)
4.27a±0.02	0
4.33a±0.02	2.5
4.40b±0.01	5
4.52c±0.12	7.5
4.58c±0.04	10
4.72d±0.06	12.5
4.79d±0.11	15

مقایسه میانگین ها به روش آزمون چند دامنه های دانکن نیز نشان داد که بین میانگین pH نمونه های حاوی غلظت های ۲/۵ تا ۵، ۵ تا ۷/۵ و ۱۰ تا ۱۲/۵ درصد عصاره بذر کتان اختلاف آماری معنی دار در سطح ۹۵ درصد وجود داشت. مدل رگرسیون چند جمله ای (۴) نیز به دلیل ضریب تبیین بالا (۰/۹۹)، بهترین برازش را بر داده های پاسخ pH (جدول ۲) داشت که در این مدل X درصد عصاره کتان می باشد.

$$y1=0.0005x2+0.028x+4.2624 \quad (4)$$

شکل ۲ نیز نمودار تحلیل حساسیت درصد عصاره کتان بر اساس درصد تغییر در متغیر خروجی را برای پارامتر pH پودر کشک نشان می دهد.



**Fig 2** Sensitivity analysis diagram of flax extract percentage based on the percentage change in the output variable

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود به ازای افزایش هر یک درصد عصاره بذر کتان حدود ۰/۷۸ درصد به pH نمونه ها

همکاران (۱۳۸۷)، در بررسی تاثیر ایزوله پروتئین سویا و فیبر گندم بر ویژگیهای کشک بیان داشتند که افزودن فیبر گندم باعث کاهش مقدار پروتئین کشک شد [۱۱]. البته مقداری از پروتئین در طول فرایند در اثر فرایند خشک کردن در دمای بالا کاهش یافته (به دلیل فرایند دناتوراسیون) و همین امر در میزان نهایی پروتئین نقش بسزایی داشته است و منجر به کاهش میزان پروتئین گردید. همچنین مقداری از این پروتئین در طی فرایند استخراج عصاره دناتوره و از دسترس خارج گردیده است، و از سوی دیگر با کاهش میزان رطوبت در میسل کازئین، نسبت پروتئین به چربی و بالعکس کاهش یافته و سبب آن شده که پروتئین و چربی موجود در عصاره بذر کتان نتوانند بخوبی جایگزین رطوبت از دست رفته در حفرات میسل کازئینی شوند و حفرات خالی شده را به طور کامل به علت نوع آرایش الکترونی پروتئین های موجود در ماست که با عصاره بذر کتان پیوند برقرار کرده اند پر کنند چرا که با توجه به اینکه میزان پروتئین کاهش چشم گیری نسبت به نمونه شاهد پیدا کرده بتوان بیان داشت که احتمالاً پروتئین های موجود در ماست اولیه فقط یک پیوند جزئی الکتروستاتیکی و یا یونی با گروه های آزاد کربوکسیلی یا هیدروکسیلی موجود در عصاره بذر کتان برقرار کرده باشند و از این رو مقدار پروتئین کاهش یافته است و علاوه بر چربی و پروتئین موجود در ماست مصرفی، احتمالاً حضور پروتئین و چربی بالای موجود در بذر کتان نیز نتوانسته به دلیل نوع خاص آرایش الکترونی، این حفرات خالی شده از رطوبت را پر کند و منجر به افزایش پروتئین در محصول نهایی شود [۵] بنابراین بین دو فاکتور چربی و پروتئین رابطه سینرژیستی و با میزان رطوبت رابطه آنتاگونیستی برقرار است [۱۹] بدین ترتیب میزان پروتئین کشک تولیدی با افزایش غلظت عصاره بذر کتان کاهش یافته است.

### ۳-۲- pH

جدول ۲ نمونه های پودر کشک حاوی مقادیر مختلف عصاره بذرکتان را نشان می دهد. همانطور که در جدول ۲ مشاهده می شود pH نمونه های مورد آزمون بین ۴/۲۷ تا ۴/۷۹ متغیر است به طوری که بیشترین pH مربوط به نمونه حاوی ۱۵ درصد عصاره بذرکتان و کمترین میزان pH مربوط به نمونه ۰ درصد عصاره بذرکتان (نمونه شاهد) می باشد. نوری و کشاورزی (۲۰۱۳) در بررسی مقایسه دو محصول سنتی

(نمونه شاهد) و کمترین میزان حلالیت مربوط به نمونه ۱۵ درصد عصاره بذرتکان می باشد.

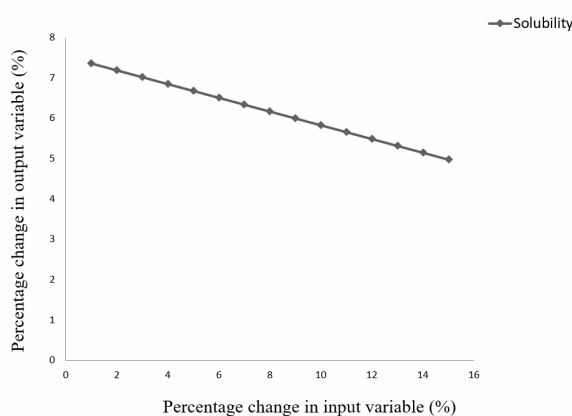
**Table 3** Solubility of kashk samples containing different amounts of flaxseed extract concentration

Solubility (ml)	flaxseed extract concentration%
4.15a±0.07	0
3.75b±0.17	2.5
3.62b±0.41	5
3.62c±0.41	7.5
3.50bc±0.21	10
3.00d±0.04	12.5
2.50e±0.07	15

مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌های دانکن نیز نشان داد که بین میانگین حلالیت نمونه‌های حاوی غلظت‌های ۰ تا ۲/۵ و ۲/۵ تا ۵، ۵ تا ۷/۵ و ۱۰ تا ۱۰ و ۱۲/۵ تا ۱۲/۵ و ۱۵ درصد عصاره بذرتکان اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد وجود داشت. مدل رگرسیون چند جمله‌ای درجه دو (۵) نیز به دلیل ضریب تبیین بالا (۰/۹۹)، بهترین برازش را بر داده‌های پاسخ حلالیت (جدول ۳) داشت که در این مدل X درصد عصاره کتان می باشد.

$$y_1 = 0.0005x^2 + 0.028x + 4.2626 \quad (5)$$

شکل ۳ نیز نمودار تحلیل حساسیت درصد عصاره کتان بر اساس درصد تغییر در متغیر خروجی را برای پارامتر حلالیت پودر کشک نشان می دهد.



**Fig 3** Sensitivity analysis diagram of flax extract percentage based on the percentage change in the output variable

اضافه می گردد. احتمالاً علت افزایش pH در نتیجه افزایش درصد عصاره بذرتکان، به تغییرات میزان رطوبت و ماده خشک بدون چربی بستگی داشته است؛ چرا که در این تحقیق، میزان رطوبت با افزایش درصد عصاره افزایش یافت که طبق تحقیق تمیم و مویر (۲۰۰۰) سبب کاهش میزان ماده خشک فاقد چربی و افزایش pH در نمونه‌ها می شود [۱۹]. همچنین تمیم و مویر (۲۰۰۰) دریافتند که میزان چربی شیر بر خصوصیات کلی ماست نظیر اسیدیته و pH موثر است و نمونه‌های با درصد چربی بالاتر دارای pH بالاتر و اسیدیته پایین تری نسبت به نمونه‌های با درصد چربی پایین تر می باشند [۱۹]. لیم و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی اثرات سطوح روغن بذرتکان بر خواص کیفی بستنی کم چرب در طول دوره نگهداری بیان داشتند که با افزایش سطح بذرتکان، pH افزایش چشم گیری نسبت به نمونه شاهد پیدا کرد [۲۰]. همچنین این نتایج با گزارش ناصری و همکاران (۱۳۸۷) در بررسی اثر ایزوله پروتئین سویا و فیبر گندم بر ویژگیهای کشک بیان داشتند که pH و اسیدیته در هر همه نمونه‌های کشک آنها (۲٪ ایزوله پروتئینی سویا و ۲٪ فیبر گندم، ۴٪ ایزوله پروتئینی سویا و ۲٪ فیبر گندم، ۴٪ ایزوله پروتئینی سویا و ۳٪ فیبر گندم، نمونه شاهد)، با یکدیگر اختلاف معنی دار داشتند. بیشترین و کمترین مقدار آن به ترتیب مربوط به کشک حاوی ۴٪ ایزوله پروتئین سویا و ۳٪ فیبر گندم و نمونه کشک شاهد بود [۱۱].

### ۳-۳- حلالیت

شاخص حلالیت یکی از مهم ترین متغیرهای اندازه گیری شده می باشد که از اهمیت ویژه ای برای پودرهای غذایی بر خوردار است. بر اساس تحقیق رایت و زوچاک (۲۰۰۹) در پودرهای با حلالیت پایین ممکن است برخی مواد جامد بصورت مواد نامحلول از چرخه ی مصرف خارج شوند که این مسئله منجر به بروز مشکلاتی در فراوری و زیان های اقتصادی می شود [۲۱]. جدول ۳ حلالیت نمونه های پودر کشک حاوی مقادیر مختلف عصاره بذرتکان را نشان می دهد.

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می شود حلالیت نمونه‌های مورد آزمون بین ۴/۱۵ تا ۲/۵۰ میلی لیتر متغیر است به طوری که بیشترین حلالیت مربوط به نمونه حاوی ۰ درصد عصاره بذرتکان

## ۳-۴- رفتار جریان برشی پایا

در این تحقیق از مدل هرشل بالکلی برای توصیف شاخص رفتار جریان رئولوژیکی مستقل از زمان نمونه ها استفاده شد. نتایج به دست آمده از مدل سازی نشان داد مدل هرشل بالکلی به دلیل ضریب تبیین بالا، مدل مناسبی برای برازش داده های تنش برشی- درجه برش نمونه های پودر کشک بود. پارامترهای حاصل از برازش مدل هرشل بالکلی برای نمونه های پودر کشک در جدول ۴ نشان داده شده است.

همانطور که در شکل ۳ مشاهده می شود به ازای افزایش هر یک درصد عصاره بذر کتان حدود ۲/۷۲ درصد از حلالیت نمونه ها کاسته می گردد. احتمالاً علت کاهش حلالیت در نتیجه افزایش درصد عصاره بذر کتان، در نتیجه تغییرات چربی و پروتئین می باشد چرا که با افزایش عصاره بذر کتان مقدار پروتئین کاهش و مقدار چربی افزایش یافته است که به معنای افزایش اجزای نامحلول در آب بوده و باعث کاهش حلالیت پودر شده است [۲۰].

**Table 4** Herschel-Bulkley model parameters of kashk samples containing different amounts of flaxseed extract concentration

R2	$\tau_0$ (Pa)	$K$ (Pa s <sup>n</sup> )	n	flaxseed extract concentration (%)
0.998	4.672d±1.01	4.10c±0.1	0.718d±0.01	0
0.998	0.344a±1.07	0.66a±0.06	0.561a±0.016	2.5
0.998	1.102b±0.01	2.78b±0.2	0.657b±0.01	5
0.997	1.248b±0.18	4.23c±0.3	0.671c±0.06	7.5
0.998	1.997b±0.1	2.5b±0.1	0.602a±0.01	10
0.997	3.589c±0.31	6.74d±0.6	0.527a±0.01	12.5
0.998	4.672d±0.22	4.13c±0.3	0.657b±0.01	15

های حاوی غلظت های ۰ تا ۲/۵، ۲/۵ تا ۵ و ۵ تا ۷/۵ و ۷/۵ تا ۱۰ و ۱۲/۵ تا ۱۵ درصد عصاره بذر کتان، بین میانگین ضریب قوام نمونه های حاوی غلظت های ۰ تا ۲/۵، ۲/۵ تا ۵ و ۵ تا ۷/۵ و ۷/۵ تا ۱۰ و ۱۰ تا ۱۲/۵ و ۱۲/۵ تا ۱۵ درصد عصاره بذر کتان و بین میانگین تنش تسلیم نمونه های حاوی غلظت های ۰ تا ۲/۵، ۲/۵ تا ۵ و ۵ تا ۱۰ و ۱۲/۵ و ۱۲/۵ تا ۱۵ درصد عصاره بذر کتان اختلاف اماری معنی دار در سطح ۹۵ درصد وجود داشت. مدل های رگرسیون چند جمله ای (۷، ۶ و ۸) نیز به دلیل ضریب تبیین بالای (۰/۹۰)، بهترین برازش را بر داده های پاسخ شاخص رفتار جریان، ضریب قوام و تنش تسلیم (جدول ۴) داشتند که در این مدل ها X درصد عصاره کتان می باشد.

$$y1=0.001x^3-0.0264x^2+0.2051x+0.1907 \quad (6)$$

$$y2=0.5935x-0.4777 \quad (7)$$

$$y3=0.3411x-0.8263 \quad (8)$$

شکل ۴ نیز نمودار تحلیل حساسیت درصد عصاره کتان بر اساس درصد تغییر در متغیر خروجی را برای پارامترهای مدل هرشل بالکلی (شاخص رفتار جریان، ضریب قوام و تنش تسلیم) پودر کشک نشان می دهد.

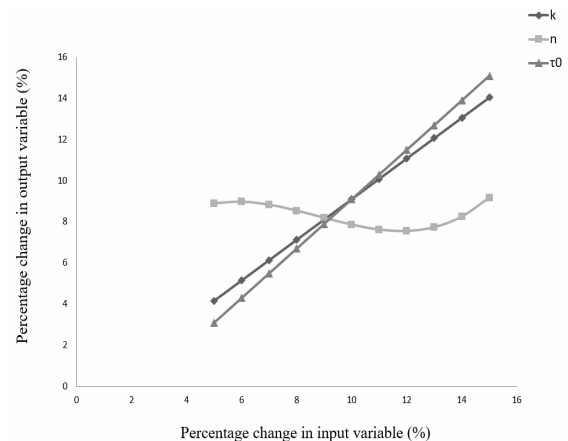
بر طبق جدول ۴ شاخص رفتار جریان، ضریب قوام و تنش تسلیم نمونه های مورد آزمون به ترتیب بین ۰/۵۲۷ تا ۰/۷۱۸، ۰/۳۰۹ تا ۶/۷۴ Pa s<sup>n</sup> و ۱/۱۰۲ تا ۴/۶۷۲ Pa متغیر بودند. شاخص تمامی نمونه ها کمتر از ۱ بوده است که نشان دهنده رفتار شل شونده با برش (سودوپلاستیک) نمونه های پودر کشک می باشد. علت بروز رفتار سودوپلاستیک کلیه نمونه ها این است که مولکولها در درجه برش های پایین به صورت نامنظم آرایش پیدا می کنند و تنها به صورت جزئی هم راستا می باشند و این امر منجر به ایجاد ویسکوزیته بالا در مخلوط می شود. اما با افزایش درجه برش مولکول ها هم راستا شده و در نتیجه اصطکاک داخلی افزایش و ویسکوزیته مخلوط کاهش می یابد [۲۱]. لذا در اثر اعمال درجه برش های مختلف ساختار شبکه پیوندی بین ترکیبات کشک شکسته شده، در نتیجه مقاومت درونی در برابر برش کاهش می یابد که می تواند بیانگر این رفتار کشک باشد. همچنین نتایج آنالیز واریانس نمونه ها نشان داد که اثر غلظت عصاره بذر کتان بر روی همه پارامترهای مدل هرشل بالکلی (شاخص رفتار جریان، ضریب قوام و تنش تسلیم) معنی دار بود. مقایسه میانگین ها به روش آزمون چند دامنه های دانکن نیز نشان داد که بین میانگین شاخص رفتار جریان نمونه-

بذر کتان دارای کمترین شاخص رفتار جریان و ضریب قوام بالایی است، در نتیجه از این نظر نمونه مطلوبی می باشد. همچنین به نظر می رسد که علت افزایش ضریب قوام نمونه ها با افزایش درصد عصاره کتان، ایجاد تغییرات در اتصالات پروتئین - پروتئین و همچنین به علت افزایش ظرفیت اتصال به آب عصاره بذر کتان (خاصیت جذب آب آن) که سبب کاهش جریان پذیری و افزایش مقاومت نمونه در برابر جاری شدن می شوند، می باشد. علاوه بر این نمونه ها دارای ساختار شبکه ای منسجمی شدند که احتیاج به یک مقدار نیروی مشخص بیشتری برای شروع جریان داشتند (تنش تسلیم نمونه افزایش یافته بود).

Alimohammadi, Jihadi [۲] علی محمدی و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی تاثیر افزودن پودر دانه تاج خروس بر ویژگیهای رئولوژیکی کشک مایع نشان دادند که افزودن غلظت های مختلف تاج خروس منجر به کاهش شاخص رفتار جریان و ضریب قوام نمونه های آنها گردید [۱].

#### ۴- نتیجه گیری

تولید فرآورده های لبنی فراسودمند از جمله کشک آن به شرط حفظ خصوصیات مورد پسند مصرف کننده، بازار خوبی را برای تولید کنندگان فراهم خواهد کرد. لذا با توجه به اهمیت محصولات فراسودمند و نبود اطلاعات درمورد کشک و اثرات فرمولاسیون بر خصوصیات آن در این تحقیق تاثیر غلظت های مختلف عصاره بذر کتان بر روی ویژگی های فیزیکی شیمیایی و رئولوژیکی کشک مورد بررسی قرار گرفت و سپس به منظور درک بهتر اثر عصاره بذر کتان بر خصوصیات مورد ارزیابی آنالیز حساسیت مدل‌های رگرسیونی منتخب انجام شد. مطابق نتایج آنالیز حساسیت، چربی بالاترین حساسیت و pH کمترین حساسیت را نسبت به تغییرات عصاره کتان را در مقایسه با ویژگی های فیزیکی شیمیایی مورد ارزیابی داشتند. لذا با توجه به حضور اسید های چرب اشباع نشده با چند پیوند دوگانه در انواع امگا ۶ و امگا ۳ و اسید چرب غیراشباع با یک پیوند دوگانه، دانه کتان که یکی از غنی ترین منابع اسید های چرب ضروری در رژیم غذایی است لذا افزایش چربی محصول نوید بخش غنی شدن آن از جهت اسیدهای چرب ضروری است. همچنین نتایج آنالیز



**Fig 4** Sensitivity analysis diagram of flax extract percentage based on the percentage change in the output variable

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می شود به ازای افزایش هر یک درصد عصاره بذر کتان حدود ۹ درصد به ضریب قوام نمونه ها و حدود ۹/۰۳ درصد به تنش تسلیم نمونه ها اضافه می گردد و در حالی که به ازای افزایش هر یک درصد عصاره بذر کتان از ۰ تا ۱۲ درصد حدود ۸/۲ درصد از شاخص رفتار جریان نمونه ها کاسته می شود (رفتار شل شونده با برش افزایش می یابد) و افزایش بیشتر درصد عصاره بذر کتان از ۱۲ تا ۱۵ درصد موجب افزایش شاخص رفتار جریان نمونه ها می گردد (رفتار شل شونده با برش کاهش می یابد). همچنین مطابق شکل ۳ شیب بیشتر تغییرات تنش تسلیم نمونه نشان دهنده حساسیت بیشتر آن به تغییرات عصاره کتان در مقایسه با سایر پارامتر های مدل هرشل بالکلی نمونه ها است.

با توجه به اثر افزایش درجه برش بر بیشتر کردن هم راستایی مولکولها و افزایش اصطکاک داخلی و در نتیجه کاهش ویسکوزیته نمونه ها، می توان چنین برداشت کرد که افزایش درصد عصاره کتان تا ۱۲ درصد موجب تقویت این اثرات می گردد. مارکوت و همکاران (۲۰۰۱) مقدار شاخص رفتار جریان و تغییر آن با غلظت را تابعی از اندازه مولکولی می دانند [۲۲]. ضریب قوام نیز ملاکی برای اندازه گیری طبیعت ویسکوز مواد غذایی و فاکتوری مشابه با ویسکوزیته ظاهری است [۲۲]. برای ایجاد ویسکوزیته بالا و احساس دهانی مناسب و دلخواه می بایست ضریب قوام نمونه ها بالا و شاخص رفتار جریان پایین باشد [۲۳]. لذا به نظر می رسد نمونه حاوی ۱۲ درصد عصاره



- 48(8-9), 2223-2226.
- [10] Mani, U. V., Mani, I., Biswas, M., and Kumar, S. N. 2011. An open-label study on the effect of flax seed powder (*Linum usitatissimum*) supplementation in the management of diabetes mellitus. *Journal of dietary supplements*, 8(3), 257-265.
- [11] Razi, S. S., Latif, M. J., Li, X., Afthinos, J. N., Ippagunta, N., Schwartz, G., . . . Jour, G. 2011. Dietary flaxseed protects against lung ischemia reperfusion injury via inhibition of apoptosis and inflammation in a murine model. *Journal of Surgical Research*, 171(1), e113-e121.
- [12] Bekhit, A.E. D.A. 2018. Flaxseed: Composition, detoxification, utilization, and opportunities. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 13: p. 129-152.
- [13] Naseri, A. R., Husseinzadeh, A., and Yazdani, M. 2008. Investigation of the effect of soy protein and wheat fiber isolates on curd properties. *National Conference on Practical Foods*.
- [14] Ivanov, S., T. Rashevskaya, and M. Makhonina. 2011. Flaxseed additive application in dairy products production. *Procedia Food Science*, 2011. 1: p. 275-280.
- [15] Marvi, S. 2014. Optimization and formulation of kashk production. *Master Thesis of Islamic Azad University, Sabzevar Branch*.
- [16] Akın, M., Akın, M., and Kırmacı, Z. 2007. Effects of inulin and sugar levels on the viability of yogurt and probiotic bacteria and the physical and sensory characteristics in probiotic ice-cream. *Food chemistry*, 104(1), 93-99.
- [17] Saltelli, A. 2002. Sensitivity analysis for importance assessment. *Risk analysis*, 22(3), 579-590.
- [18] Cui, W., Mazza, G., and Biliaderis, C. 1994. Chemical structure, molecular size distributions, and rheological properties of flaxseed gum. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(9), 1891-1895.
- [19] Zisu, B., and Shah, N. 2005. Textural and functional changes in low-fat Mozzarella cheeses in relation to proteolysis and microstructure as influenced by the use of fat replacers, pre-acidification and EPS starter. *International Dairy Journal*, 15(6-9), 957-972.

حساسیت نیز حساسیت بیشتر تنش تسلیم نسبت به تغییرات عصاره کتان را در مقایسه با سایر پارامترهای مدل رئولوژیکی هرشل بالکللی نمونه ها نشان داد و از انجائیکه برای ایجاد ویسکوزیته بالا و احساس دهانی مناسب و دلخواه می بایست ضریب قوام نمونه ها بالا و شاخص رفتار جریان پایین باشد لذا بر اساس نتایج تحقیق نمونه حاوی ۱۲ درصد عصاره بذر کتان دارای کمترین شاخص رفتار جریان و ضریب قوام بالایی بود، در نتیجه از این نظر نمونه مطلوبی بود.

## ۵- منابع

- [1] Hosseini, F., & Ansari, S. 2019. Effect of modified tapioca starch on the physicochemical and sensory properties of liquid kashk. *Journal of food science and technology*, 56(12), 5374-5385.
- [2] Alimohammadi, L., Jihadi, M., and Abbasi, H. 2014. Enrichment of liquid curd with corundum rye flour and study of its sensory and chemical properties. *the first international conference on new findings in agricultural sciences, natural resources and environment*.
- [3] Aghjani, m. 2014. Nutritional value of beneficial milk and dairy products. *18th National Conference on Food Science and Industry*.
- [4] Mazaheritehrani, M. 2010. *Function and application of various health additives in the dairy industry*. Ferdowsi University Press.
- [5] Alpaslan, M., and Hayta, M. 2006. The effects of flaxseed, soy and corn flours on the textural and sensory properties of a bakery product. *Journal of Food Quality*, 29(6), 617-627.
- [6] Hall III, C., Tulbek, M. C., and Xu, Y. 2006. Flaxseed. *Advances in food and nutrition research*, 51, 1-97.
- [7] Hu, Y., Shim, Y. Y., & Reaney, M. J. 2020. Flaxseed Gum Solution Functional Properties. *Foods*, 9(5), 681.
- [8] Prasad, K. 2009. Flaxseed and cardiovascular health. *Journal of cardiovascular pharmacology*, 54(5), 369-377.
- [9] Mason, J. K., Chen, J., and Thompson, L. U. 2010. Flaxseed oil-trastuzumab interaction in breast cancer. *Food and chemical toxicology*,

- liquid food made from maize, millet and sorghum. *Journal of cereal science*, 15(2), 193-202.
- [23] Izidoro, D., Sierakowski, M.-R., Waszczynskyj, N., Haminiuk, C. W., and de Paula Scheer, A. 2007. Sensory evaluation and rheological behavior of commercial mayonnaise. *International Journal of Food Engineering*, 3(1).
- [20] Caparino, O., Tang, J., Nindo, C., Sablani, S., Powers, J., and Fellman, J. 2012. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder. *Journal of food engineering*, 111(1), 135-148.
- [21] Mahdian, E., Mazaheri, m., and Shahidi, F. 2011. Evaluation of the effect of Soy Flour on Rheological properties of ice cream.
- [22] Sopade, P., and Kassum, A. 1992. Rheological characterization of akamu, a semi-



## Sensitivity analysis of regression models of physicochemical and rheological properties of kashk containing flaxseed extract

Rashidi, H. <sup>1\*</sup>, Kashaninejad, M. <sup>2</sup>, Najaf Najafi, M. <sup>1</sup>, Khorasaniyan, F. <sup>3</sup>

1. Associate Professor, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran.
2. PhD student of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran.
3. M.Sc graduate of Food Science and Technology, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran.

### ABSTRACT

In this study, the effect of different amounts of flaxseed extract (0, 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 and 15 %) on the physicochemical and rheological properties of kashk was investigated. Then, in order to better understand the effect of flaxseed extract on the evaluated properties, Sensitivity Analysis (SA) of selected regression models was performed. The results of analysis of variance showed that the effect of flaxseed extract concentration on moisture, fat, protein, pH and solubility of kashk samples was significant so that according to the results of sensitivity analysis for each one percent increase in flaxseed extract about 4.38% moisture, 11.82% fat and 0.78% pH of the samples increased. Also, for each increase of one percent of flaxseed extract, about 7.01% of protein and 2.72% of solubility of samples were reduced. The results of the steady shear test showed that the flow behavior index (n) of all samples was less than one which indicates a shear thinning behavior (pseudoplastic) of all samples. Therefore, according to the results of sensitivity analysis, fat had the highest sensitivity and pH the lowest sensitivity compared to physicochemical properties to changes in flaxseed extract. Also, the results of analysis of variance of the samples showed that the effect of flaxseed extract concentration on all parameters of Herschel model (flow behavior index, consistency coefficient and yield stress) was significant. So for each one percent increase in flaxseed extract about 9% consistency coefficient and 11.82% fat and 9.03% the yield stress of the samples increased. The results of sensitivity analysis also showed greater sensitivity of yield stress to changes in flaxseed compared to other parameters of Herschel model.

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received 2020/12/12  
Accepted 2021/05/22

#### Keywords:

Flaxseed extract,  
Kashk,  
Sensitivity analysis, Steady shear test.

**DOI: 10.52547/fsct.18.117.321**

\*Corresponding Author E-Mail:  
[ha\\_rashidi@yahoo.com](mailto:ha_rashidi@yahoo.com)