



بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، ساختاری و حسی گوشت آنالوگ تولید شده در رطوبت بالا بر

پایه ایزوله پروتئین نخود در ترکیب با کنسانتره پروتئین تخم کتان

فاطمه ریاضی<sup>1</sup>، مصطفی مظاهری طهرانی<sup>2\*</sup>

1- دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

2- استادگروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ های مقاله :	<p>تقاضای رو به رشدی به منظور تولید گوشت‌های آنالوگ بر پایه پروتئین‌های گیاهی با کیفیت بالا وجود دارد. تولید گوشت‌های آنالوگ با تردی و حس آبداری مطلوب یکی از چالش‌های اخیر در این حوزه می‌باشد. در این مطالعه از کنسانتره پروتئین تخم کتان در سطوح (0، 1، 2، 4 و 5 درصد) به‌عنوان یک ماده‌ی اولیه نوظهور جهت توسعه گوشت‌های گیاهی در طی فرآیند اکستروژن با رطوبت بالا در ترکیب با ایزوله پروتئین نخود استفاده شد و خصوصیات فیزیکوشیمیایی، عملکردی، بافتی و حسی گوشت آنالوگ تولیدی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد اضافه کردن کنسانتره پروتئین تخم کتان اثر معنی‌داری بر روی میزان پروتئین، کربوهیدرات، چربی و pH نمونه‌های تولیدی داشت (<math>p &lt; 0.05</math>) و سبب بهبود خواص عملکردی مانند افزایش بازده درصد پخت و کاهش میزان رطوبت قابل‌بیان شد. پارامترهای بافتی و پارامتر قرمزی رنگ نمونه با افزودن کنسانتره پروتئین تخم کتان به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. استفاده از کنسانتره پروتئین تخم کتان امتیاز مربوط به طعم و پذیرش کلی را به ترتیب از 3 و 3,4 در نمونه کنترل به میزان 4,8 و 4,6 در نمونه T5 به‌طور معنی‌داری افزایش داد (<math>p &lt; 0.05</math>).</p>
تاریخ دریافت: 1401/06/07	
تاریخ پذیرش: 1401/07/09	
کلمات کلیدی:	<p>گوشت آنالوگ، ایزوله پروتئین نخود، کنسانتره پروتئین تخم کتان، بافت.</p>
DOI: 10.22034/FSCT.19.130.259	
DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.130.21.0	
* مسئول مکاتبات:	mmtehrani@um.ac.ir

## 1- مقدمه

پروتئین‌ها جزء مهمی از رژیم غذایی انسان هستند و اکثراً از محصولات حیوانی مشتق می‌شوند. با افزایش روبه رشد جمعیت جهان نیاز به پروتئین‌های حیوانی رو به افزایش می‌باشد [1]. از آنجایی که ضریب تبدیل ذاتی پروتئین گیاهی به حیوانی پایین می‌باشد این پدیده سبب بروز مشکلات زیست‌محیطی زیادی از قبیل کاهش آب شیرین در دسترس، افزایش گرمای جهانی، کاهش تنوع زیستی و کاهش مراتع لازم جهت تغذیه دام خواهد شد. علاوه بر این، امروزه با افزایش گیاه‌خواری در میان جوامع بشری، توجه به حقوق حیوانات، شیوع بیماری‌های حیوانی نظیر جنون گاوی و نیز افزایش تقاضا برای مصرف غذای سالم (بدون کلسترول و حاوی چربی غیراشباع‌تر) و حلال نگاه مثبتی بر استفاده از پروتئین‌های گیاهی به‌عنوان جایگزین پروتئین‌های حیوانی (گوشت) ایجاد نموده است [2]. در این بین تولید گوشت آنالوگ با استفاده از پروتئین‌های گیاهی با بافتی نظیر گوشت یک الگوی موفق در جایگزینی پروتئین حیوانی با پروتئین‌های گیاهی می‌تواند باشد [3]. لذا گوشت‌های آنالوگ بر پایه پروتئین گیاهی جهت جلب نظر مصرف‌کننده می‌بایستی برخی از خصوصیت‌های گوشت معمول نظیر بافت، طعم و ظاهر آنرا تقلید کند. به منظور تبدیل پروتئین‌های گیاهی به گوشت آنالوگ با ویژگی‌های مطلوب نیازمند استفاده از یک تکنولوژی مؤثر می‌باشد.

در میان تکنولوژی‌های موجود، پخت اکستروژن شناخته‌ترین و کارآمدترین تکنولوژی در این زمینه می‌باشد در سال‌های اخیر فرایند اکستروژن با رطوبت بالا (80-50 درصد) به‌عنوان تکنولوژی امیدوارکننده جهت ایجاد ساختارهای فیبری نظیر گوشت در بین فرآورده‌های آنالوگ مورد توجه بسیار قرار گرفته است [4, 5]. این فرآیند به‌عنوان یک فرآیند زمان کوتاه/دمای بالا (HTST)، با اعمال تیمار حرارتی - مکانیکی در داخل اکسترودر دو مارپیچی، منجر به ذوب سوسپانسیون پروتئینی و اختلاط فشرده آن شده که در ناحیه سرد کننده دستگاه، ساختار فیبری شبیه به سینه مرغ یا گوشت بوقلمون در مخلوط پروتئینی مذاب ایجاد می‌شود [6, 7]. فرآیند پخت اکستروژن رطوبت بالا فرآیندی پیچیده بوده که وابسته به خواص فیزیکی‌شیمیایی مواد تشکیل‌دهنده پروتئین، تعاملات آن‌ها با دیگر مواد افزودنی، و نیز شرایط اکستروژن (حرارت، رطوبت،

دور مارپیچ، گشتاور موتور، فشار جریان و انرژی مکانیکی ویژه) می‌باشد [8].

تاکنون بیشتر مطالعات انجام شده در خصوص تولید گوشت‌های آنالوگ، برپایه استفاده از پروتئین‌های سویا و گلوتمن گندم به‌عنوان ماده خام اولیه بوده است اما برخی از مشکلات استفاده از این پروتئین‌ها را محدود کرده است. لذا استفاده از پروتئین‌های حبوبات و به‌ویژه نخود به‌عنوان یک جایگزین مناسب، از مزایای خاصی نظیر ارزش بالای پروتئینی (20 تا 30 درصد)، عدم ایجاد آلرژی و نیز طیف گسترده واریته برخوردار می‌باشند [8, 9].

یکی از محدودیت‌های اصلی گوشت‌های آنالوگ بر پایه پروتئین‌های گیاهی نبود ویژگی‌های حسی مشابه گوشت به‌ویژه تردی و آبدار بودن به دلیل ساختار فشرده آن است. برای افزایش آبدار بودن و کاهش ساختار فشرده محصول راهکارهای مختلفی مانند اضافه کردن روغن، کربوهیدرات‌هایی مانند نشاسته، فیبر و صمغ وجود دارد [10].

در میان مواد اولیه، آرد برنج و تخم کتان موادی هستند که ساختاری شبیه گلوتمن را تشکیل می‌دهند. تخم کتان یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی است که ترکیبات سلامتی بخشی مانند روغن، پروتئین، فیبر رژیمی (محلول و نامحلول) و لیگنان‌ها (ترکیبات فنولیک) را فراهم می‌کند [11]. یکی از اجزای اصلی تشکیل‌دهنده تخم کتان پروتئین آن می‌باشد که حدود 18-22 درصد وزن دانه را (وابسته به نوع واریته و منطقه جغرافیایی آن) تشکیل می‌دهد. پروتئین تخم کتان در کنار خواص سلامتی بخش، دارای ویژگی‌های تکنولوژیکی جذابی از قبیل ظرفیت جذب آب و روغن بالاتر در مقایسه با ایزوله پروتئین سویا دارد [12]. این پروتئین همچنین به سبب ویژگی‌های عملکردی مانند فعالیت امولسیفایری بالا و ظرفیت کف‌کنندگی که دارد آنرا به یک ماده اولیه جذاب برای صنایع غذایی تبدیل کرده است [13]. ویژگی‌های هیدروفیلیک پروتئین‌های تخم کتان تحت تأثیر حضور صمغ‌های پلی ساکاریدی است که می‌تواند ویژگی‌های امولسیفایری پروتئین‌های تخم کتان را در سیستم‌های ساده و مخلوط مورد ارزیابی قرار دهد [14]. نتایج نشان داده است که پروتئین خام اولیه تخم کتان (شامل موسیلاژ تخم کتان) دارای جذب آب، جذب روغن، فعالیت امولسیفایری و پایداری امولسیون بالاتری در مقایسه با پروتئین سویا است [15]. لذا هدف از این

ایزوله پروتئین نخود (*Pisum Sativum*) با نام تجاری NUTRALYS® F85M از شرکت Roquette-فرانسه و کنسانتره پروتئین تخم کتان (*Linum usitatissimum*) با نام تجاری LeinPRO Organic FM FST 00402 از شرکت Food solution team-هلند تهیه گردید. جدول 1 ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی و عملکردی این دو ماده‌ی اولیه را نشان می‌دهد.

پژوهش استفاده از کنسانتره پروتئین تخم کتان در ترکیب با ایزوله پروتئین نخود به منظور بهبود ویژگی‌های عملکردی و حسی محصول گوشت گیاهی تولید شده در رطوبت بالا می‌باشد.

## 2- مواد و روش‌ها

### 2-1- منابع پروتئین گیاهی

Table 1: Physicochemical properties of pea protein isolate and flaxseed protein concentrate

Parameter								Raw Material
Oil binding capacity (g/g)	Water binding capacity (g/g)	Ash (%)	Carbohydrate (%)	Fat (%)	Fiber (%)	Moisture (%)	Protein (%)	
2-3	5	3	1.7	5	1	7.1	83.2	Pea protein isolate
3	10-12	2.2	35.8	13.8	33.8	7.9	40.3	Flaxseed protein concentrate

ترتیب 40، 60، 90، 130، 135، 135، 125، 110 و 100 درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. مخلوط‌های پودری پروتئین‌های گیاهی با سرعت ثابت 7,5 کیلوگرم/ساعت (بر اساس وزن خشک) و سرعت ماریپیچ 500 دور بر دقیقه به ناحیه اول اکسترودر تغذیه شد و سپس آب با سرعت 8,5 کیلوگرم/ساعت تا رسیدن رطوبت نهایی محصول به 55-56 درصد (وزنی/وزنی) در ناحیه دوم اکسترودر به مخلوط اضافه شد. نمونه‌ها به منظور خنک شدن و بافت دهی از داخل بدنه اکسترودر وارد قالب خنک‌کننده با دمای 40 درجه سانتی‌گراد شدند. نمونه‌های خروجی از داخل قالب خنک‌کننده توسط چاقو دستی به طول 20 سانتی‌متر برش داده و تا زمان انجام آزمایش داخل کیسه‌های پلاستیکی وکیوم در دمای 18- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

### 2-2- تولید گوشت آنالوگ با رطوبت بالا با استفاده از اکستروژن

ابتدا کلیه مواد خشک به نسبت‌های مشخص شده برای هر تیمار (جدول 2) در داخل همزن (Stephan, UMO 12-F, -آلمان) با یکدیگر مخلوط شد و به‌منظور همگن‌سازی در داخل کیسه‌های پلی‌اتیلن به مدت یک شبانه‌روزی نگهداری شد. سپس نمونه‌ها با استفاده از اکسترودر دو ماریپیچی (Coperion L/D:40 -آلمان) با نسبت L/D:40 تولید شدند. اکسترودر از بدنه‌ی حرارتی، دو ماریپیچ چرخنده (هم‌جهت) و قالب خنک‌کننده با ابعاد 100×15×50 (عرض×ارتفاع×طول) متصل به انتهای اکسترودر تشکیل شده بود. بدنه اکسترودر شامل یک منطقه تغذیه (ناحیه اول) و 9 منطقه حرارتی (ناحیه‌ی 2 تا 10) بود که به‌صورت مجزا حرارت دهی می‌شدند. دمای ناحیه‌های حرارتی از 2 تا 10 به

Table 2 Premix included pea protein isolate(%) and flaxseed protein concentrate(%)

Formulation			
Treatment	Pea protein isolate	Flaxseed protein concentrate	Salt
T1(Control)	96.84	0	3.16
T2	95.84	1	3.16
T3	94.84	2	3.16
T4	92.84	4	3.16
T5	91.84	5	3.16

**2-3- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی****گوشتهای آنالوگ تولید شده با رطوبت بالا**

میزان رطوبت، خاکستر و چربی به ترتیب مطابق با استاندارد AOAC به شماره 923,03، 925,10 و 945,38 محاسبه شد. پروتئین نمونه‌های همگن‌شده بر اساس روش کجدال و با ضریب تبدیل پروتئینی 6/25 و مطابق با شماره استاندارد 979,09 اندازه‌گیری شد [16]. میزان کربوهیدرات از طریق کسر مجموع مقادیر رطوبت، پروتئین، خاکستر و چربی کل از عدد 100 محاسبه گردید.

**2-3-1- اندازه‌گیری pH**

میزان pH با استفاده از دستگاه Mettler Toledo-LE438 pH-IP67 سویسمدل روش (Yuliarti, et al. 2021) با همزن با تنش بالا (DIAX600, Heidolph - آلمان) با rpm 24000 با آب مقطر با نسبت 5 درصد (وزنی/وزنی) مخلوط شدند سپس مقادیر pH پس از تثبیت ثبت گردید [17].

**2-3-2- بازده پخت**

نمونه‌های اکستروود شده به ابعاد  $1/5 \times 2 \times 2$  سانتی متر (ارتفاع  $\times$  طول  $\times$  عرض) به شکل مکعب برش داده و به مدت 20 دقیقه در آب 80 درجه سانتی‌گراد پخته شدند. وزن قبل و بعد از پخت نمونه‌ها اندازه‌گیری شد و بازه پخت با استفاده از معادله زیر محاسبه شد [18].

بازه پخت (درصد):  $100 \times (\text{وزن نمونه بعد از پخت} / \text{وزن نمونه قبل از پخت})$

**2-3-3- رطوبت قابل بیان<sup>1</sup>**

رطوبت قابل بیان با اندکی اصلاح مطابق روش Palanisamy و همکاران در سال 2019 انجام شد. ابتدا حدود 1 گرم از نمونه‌های اکستروودر شده در آب پخته شد. سپس بین دو کاغذ فیلتر قرار داده شدند و یک وزنه دستی 5 کیلوگرم به مدت 2 دقیقه بر روی آن‌ها گذاشته شد. وزن نمونه‌ها قبل و بعد از پرس اندازه‌گیری و با استفاده از معادله زیر درصد رطوبت بیان شده محاسبه گردید [18].

درصد رطوبت قابل بیان:  $100 \times (\text{وزن اولیه}) / (\text{وزن اولیه} - \text{وزن ثانویه})$

**2-4- ارزیابی بافت****2-4-1- نیروی برش**

نمونه‌های اکستروود شده به ابعاد  $1,5 \times 2 \times 2$  (طول  $\times$  عرض  $\times$  ارتفاع) سانتی‌متر مکعب بریده شدند و سپس با استفاده از یک بروب تیغه مانند با سرعت 10 میلی‌متر بر ثانیه توسط دستگاه بافت سنج Stable Micro Systems TA (XT 2 - ایرلند) برش داده و قدرت برش ثبت گردید. برش عمودی نمونه‌ها (عمود بر طول فیبریل‌ها) و برش موازی (موازی بر طول فیبریل‌ها) و مرکزی (در مرکز فیبریل‌ها) در جهت خروج نمونه‌های اکستروود شده از اکستروودر و قالب خنک کننده مورد بررسی قرار گرفت. میانگین نیروی برش در سه جهت با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد [18].

میانگین نیروی برش:  $3 / (\text{نیروی برش عمودی} + \text{نیروی برش موازی} + \text{نیروی برش مرکزی})$

به‌منظور بیان تشکیل ساختار فیبری از پارامتری به نام درجه فیبری که با استفاده از نسبت نیروی برش موازی بر نیروی برش عمودی محاسبه می‌شود استفاده شد [8].

**2-4-2- تست فشاری و الاستیسیته**

هر یک از نمونه‌ها توسط بروب سیلندری صفحه گرد با قطر 2 سانتیمتر، سرعت حرکت بروب 1 میلی‌متر بر ثانیه و نیروی 25 کیلوگرم تا 8 میلی‌متر ارتفاع اولیه نمونه (53 درصد ارتفاع اولیه) فشرده شدند و سختی (نیوتن: نیروی حداکثری مورد نیاز برای فشار) به‌عنوان پارامتر اصلی پروفایل بافت از منحنی نیرو- تغییر شکل محاسبه گردید و از نتایج به دست آمده از تست فشاری الاستیسیته نمونه‌ها مطابق معادله زیر محاسبه شد [18].

الاستیسیته: کل مسافت فشرده شده / (مسافت غیر قابل برگشت - کل مسافت فشرده شده)

**2-5- رنگ سنجی**

بدین منظور از رنگ‌سنج هانترب لیب دیجیتال برای اندازه‌گیری پارامترهای رنگی  $L^*$  (روشنایی)،  $a^*$  (سبزی-قرمزی) و  $b^*$  (آبی - زرد) برای اندازه‌گیری رنگ نمونه‌های اکستروود شده استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها در شش نقطه مختلف بر روی سطح محصول انجام می‌شود و کالیبراسیون اولیه دستگاه از طریق کاشی سفید استاندارد صورت می‌پذیرد [19].

1. Expressible Moisture

## 2-6- ارزیابی حسی

ارزیابی حسی نمونه‌ها توسط 10 ارزیاب و با استفاده از روش هدونیک پنج نقطه‌ای (1 خیلی ضعیف و 5 خیلی خوب) مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌های اکستروود شده به مدت 24 ساعت به روش غوطه‌وری در مخلوط ماریناد فلفل دلمه‌ای دودی شرکت Lafiness-آلمان قرار داده شد. سپس به شکل تیکه‌ای برش داده و در داخل ماهیتابه به مدت 2 دقیقه سرخ شدند. نمونه‌های گرم درون ظروف یک‌بار مصرف (بدون رنگ و بو) برای ارزیابی قرار داده شدند. ارزیابی در دمای اتاق و تحت تابش نور فلورسانت مهتابی انجام شد. همچنین جهت افزایش دقت چشایی قبل از شروع ارزیابی از ارزیاب‌ها خواسته شد که دهان خود را با آب معدنی شست‌وشو دهند و این عمل را پس از هر بار تست نمونه‌ها به منظور جلوگیری از تداخل طعم انجام دهند. صفات مورد آزمایش شامل مهم‌ترین ویژگی‌های حسی (ظاهر، رنگ، بو، طعم، بافت و پذیرش کلی) بود.

## 2-7- تجزیه و تحلیل آماری

برای بررسی تاثیر کنسانتره پروتئین تخم کتان در ترکیب با ایزوله پروتئین نخود جهت تولید گوشت آنالوگ از طرح کاملا تصادفی استفاده شد. تمامی اندازه‌گیری‌ها با سه تکرار و تحلیل داده‌ها با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) و توسط نرم‌افزار SPSS 21-امریکا انجام شد. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن و در سطح اطمینان 95% صورت پذیرفت.

## 3- نتایج و بحث

### 3-1- نتایج آنالیز فیزیکوشیمیایی و pH

در جدول 3 ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و تغییرات pH نمونه‌های اکستروود شده مشاهده می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌گردد اضافه کردن کنسانتره پروتئین تخم کتان سبب کاهش میزان پروتئین به‌طور معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) از 38,32 در نمونه‌ی T1 (کنترل) تا 37,37 در نمونه‌ی T5 شده است. نوسانات خاکستر در بین نمونه‌های حاوی کنسانتره پروتئین تخم کتان تقریباً ناچیز بود درحالی‌که این نوسان در نمونه T1 نسبت به سایر نمونه‌ها معنی‌دار بود ( $p < 0.05$ ). با افزودن کنسانتره پروتئین تخم کتان میزان pH نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ( $p < 0.05$ ) که به دلیل pH پایین‌تر کنسانتره پروتئین تخم کتان (6,40) نسبت به ایزوله پروتئین نخود می‌باشد (7,40). کنسانتره پروتئین تخم کتان دارای مقادیر قابل توجهی از چربی‌ها و کربوهیدرات‌ها (عمدتاً فیبرها و پلی‌ساکاریدها) می‌باشد که به سختی طی استخراج پروتئین جداسازی می‌شوند. بنابراین با افزایش میزان کنسانتره پروتئین تخم کتان مقادیر کربوهیدرات، فیبر و چربی به‌طور معنی‌داری در تمامی نمونه‌ها نسبت به کنترل افزایش یافت ( $p < 0.05$ ). تغییر میزان محتوای کربوهیدرات و چربی اثر معنی‌داری روی شرایط فراوری و تشکیل بافت حین فرایند اکستروژن دارد [20]. چربی و روغن‌ها در فرمولاسیون گوشت‌های آنالوگ باعث حس آبداری، تردی، احساس دهانی و خارج شدن طعم از محصول می‌شود [10] با این‌حال روغن‌ها و چربی‌ها در طی فرایند اکستروژن و آماده‌سازی به‌منظور جلوگیری از روانکاری و چسبندگی بیش از حد مورد توجه قرار دارد. از نظر عملکردی کربوهیدرات‌ها باعث بهبود واکنش بین ترکیبات پروتئین-چربی - آب در سیستم‌های غذایی فرایند شده می‌شود و یک ساختار پایدارتری را شکل می‌دهد [21].

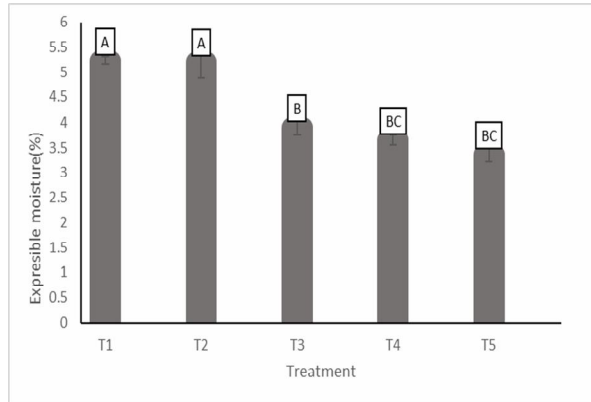
Table 3 Physicochemical analysis of meat analog samples

Treatment					
T5	T4	T3	T2	T1	
56.34±0.7 <sup>A</sup>	56.43±0.7 <sup>A</sup>	56.35±0.06 <sup>A</sup>	56.53±0.05 <sup>A</sup>	56.64±0.14 <sup>A</sup>	Moisture
37.37±0.03 <sup>C</sup>	37.49±0.10 <sup>C</sup>	38.02±0.04 <sup>B</sup>	38.21±0.04 <sup>AB</sup>	38.32±0.12 <sup>A</sup>	Protein
2.56±0.05 <sup>A</sup>	2.47±0.02 <sup>A</sup>	2.38±0.01 <sup>AB</sup>	2.36±0.01 <sup>BC</sup>	2.34±0.06 <sup>C</sup>	Fat
1.70±0.10 <sup>A</sup>	1.50±0.05 <sup>A</sup>	1.21±0.12 <sup>B</sup>	0.92±0.03 <sup>B</sup>	0.81±0.4 <sup>B</sup>	Carbohydrate
1.33±0.07 <sup>A</sup>	1.05±0.08 <sup>B</sup>	0.81±0.03 <sup>C</sup>	0.59±0.04 <sup>D</sup>	0.50±0.05 <sup>D</sup>	Fiber
1.381±0.00 <sup>B</sup>	1.383±0.00 <sup>B</sup>	1.390±0.00 <sup>B</sup>	1.395±0.00 <sup>AB</sup>	1.410±0.01 <sup>A</sup>	Ash
7.40±0.02 <sup>C</sup>	7.43±0.01 <sup>BC</sup>	7.45±0.00 <sup>B</sup>	7.52±0.01 <sup>A</sup>	7.53±0.04 <sup>A</sup>	pH

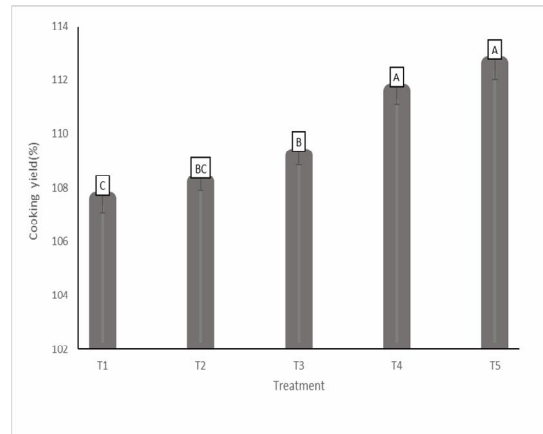
Different letters in each column show significant differences at  $p < 0.05$

### 3-2- نتایج تعیین بازده پخت

همان‌طور که در شکل 1 مشخص است با افزایش کنسانتره پروتئین تخم کتان بازده پخت به‌طور معنی‌داری نسبت به نمونه T1 (کنترل) افزایش یافت ( $p < 0.05$ ). کنسانتره پروتئین تخم کتان حاوی 35 درصد کربوهیدرات که شامل صمغ (فیبر محلول) و کربوهیدرات (فیبر نامحلول) می‌باشد [22]. صمغ موجود در کنسانتره پروتئینی تخم کتان نوعی پلی‌ساکارید آنیونی می‌باشد و دارای قدرت ژلی، جذب آب و ظرفیت امولسیفایری خوبی می‌باشد [23]. نمونه‌های اکستروود شده مدت 20 دقیقه در 80 درجه سانتی‌گراد پخته شدند که کربوهیدرات‌های موجود در نمونه‌ها آب را در طی پخت جذب کرده و سبب افزایش بازده پخت در نمونه‌های حاوی کنسانتره پروتئین تخم کتان به‌طور معنی‌داری شد ( $p < 0.05$ ).



**Fig 2** Expressible moisture of meat analog samples  
Means with different letters indicate a significant difference ( $p < 0.05$ ).



**Fig 1** Cooking yield (%) of meat analog samples  
Means with different letters indicate a significant difference ( $p < 0.05$ ).

### 3-3- رطوبت قابل بیان

رطوبت قابل بیان با ظرفیت نگهداری آب ( $WHC^2$ ) رابطه‌ی معکوسی دارد. هر چقدر میزان  $WHC$  بالاتر باشد یعنی میزان رطوبت قابل بیان پایین‌تر است. میزان رطوبت قابل بیان به‌طور معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) از 5,24 در نمونه T1 (کنترل) تا 3,37 در نمونه T5 کاهش یافت (شکل 2). همان‌طور که گفته شد کربوهیدرات موجود در نمونه‌های دارای کنسانتره پروتئینی تخم کتان سبب می‌شود ساختار پایدارتری از ترکیب پروتئین-آب در سیستم‌های غذایی فرآیند شده تشکیل شود لذا در نمونه‌های حاوی کنسانتره پروتئینی تخم کتان این امر سبب کاهش رهایش آب از ماتریس پروتئینی بعد از فشرده شدن

### 3-4- بافت سنجی

آنالیز بافتی نمونه‌های اکستروود شده با رطوبت بالا با استفاده از دستگاه آنالیز بافت در جدول شماره 4 بیان شده است. همان‌طور که مشخص است تمامی پارامترها به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار گرفته‌اند ( $p < 0.05$ ). نیروی برش عبارت است از مقاومت ماده در برابر ابزار برش و در این مورد جهت و دامنه برش در فرایندهای مختلف برش فرق می‌کند. پارامترهای نیروی برش مثل عمودی و افقی رابطه مستقیمی با سختی و سایر پارامترهای بافتی دارد [24]. در نمونه‌های دارای کنسانتره پروتئین تخم کتان به دلیل داشتن میزان چربی بالاتر و محتوای پروتئینی کمتر (جدول 4) نیروهای برش در تمام جهات نسبت به نمونه کنترل به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است ( $p < 0.05$ ) و میانگین نیروی برش در نمونه کنترل (T1) برابر 34,04 می‌باشد که در مقایسه با سایر نمونه‌ها بالاترین میزان می‌باشد. هرچقدر میزان چربی در نمونه‌ها افزایش یابد میزان قابلیت جویده شدن و سختی کاهش می‌یابد [10]. Akdogan, (1999) بیان کردند که محتوای چربی و رطوبت بالا سبب کاهش الاستیسیته و سیالیت مورد نیاز به دلیل کاهش ویسکوزیته مذاب می‌شود [25]. از سمت دیگر محتوای پروتئینی بالاتر در نمونه‌های اکستروود شده پتانسیل بیشتری برای تشکیل ساختار فیبری دارند لذا با افزایش کنسانتره

فرآیند تست فشاری نمونه هایی که شبکه ضعیف تر و حفره های بزرگ تری دارد نسبت به نمونه کنترل به راحتی تغییر شکل میابد [18]. همان طور که در جدول 4 مشاهده می شود با افزایش میزان کنسانتره پروتئین تخم کتان میزان نیروی فشاری و الاستیسیته نمونه ها به طور معنی داری ( $p < 0.05$ ) کاهش یافته است.

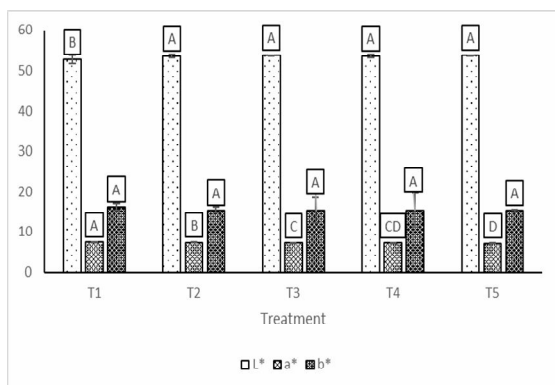
پروتئین تخم کتان ساختارهای فیبری کاهش میابد [26]. بنابراین با افزایش میزان کنسانتره پروتئین تخم کتان محتوای پروتئین و چربی در نمونه ها به ترتیب کاهش و افزایش یافته است که این تغییرات سبب میشود تا فشردگی ساختار در نمونه ها کاهش یابد لذا فضاهای باز (حباب) بین ساختارهای شبکه در نمونه ها بزرگ تر و تعداد آن ها کمتر می شوند بنابراین در طی

**Table 4** Texture analysis of meat analog samples

Parametr							Treatment
Elasticity (N)	Compression (N)	Average force (N)	Fiber degree (N)	Central (N)	Lengthwise (N)	Crosswise (N)	
0.74±0.00A	150.65±0.36 <sup>A</sup>	34.04±0.04 <sup>A</sup>	1.08±0.00 <sup>C</sup>	29.63±0.03 <sup>A</sup>	37.67±0.08 <sup>A</sup>	34.82±0.21 <sup>A</sup>	T1
0.73±0.00A	147.96±0.62 <sup>A</sup>	33.41±0.37 <sup>A</sup>	1.09±0.02 <sup>BC</sup>	28.41±0.35 <sup>A</sup>	37.50±0.04 <sup>A</sup>	34.34±0.73 <sup>A</sup>	T2
0.72±0.00AB	132.99±3.93 <sup>B</sup>	31.45±0.53 <sup>B</sup>	1.12±0.03 <sup>ABC</sup>	25.29±1.58 <sup>B</sup>	36.54±0.48 <sup>B</sup>	32.53±0.50 <sup>B</sup>	T3
0.71±0.00BC	128.51±0.72 <sup>BC</sup>	28.20±0.30 <sup>C</sup>	1.14±0.01 <sup>AB</sup>	20.34±1.51 <sup>C</sup>	34.37±0.04 <sup>C</sup>	29.90±0.55 <sup>C</sup>	T4
0.70±0.00C	127.73±0.96 <sup>C</sup>	27.41±0.21 <sup>C</sup>	1.15±0.03 <sup>A</sup>	19.59±0.32 <sup>C</sup>	33.60±0.10 <sup>D</sup>	29.05±0.86 <sup>C</sup>	T5

Different letters in each column show significant differences at  $p < 0.05$

زردی در نمونه ها افزایش یافت ولی این تغییر نسبت به نمونه کنترل معنی دار نبود ( $P > 0.05$ ).



**Fig 3** Color parameters of meat analog samples Means with different letters indicate a significant difference ( $p < 0.05$ )

### 3-6- ارزیابی حسی

همان طور که در شکل 4 مشخص است تفاوت معنی داری بین نمونه های دارای کنسانتره پروتئین تخم کتان از نظر ظاهر، بو و بافت با نمونه کنترل مشاهده نشد ( $P > 0.05$ ) اگر چه همان طور که قبلاً بررسی شد نمونه ها از نظر ارزیابی بافت توسط دستگاه بافت سنج به طور معنی داری در تمامی پارامترها با نمونه کنترل تفاوت معنی داری داشتند (جدول 4) ولی این تفاوت از نظر ارزیابی قابل تشخیص نبود. Hong Wang و همکاران در سال 2020 اعلام کردند که میزان چربی نقش

### 3-5- نتایج رنگ سنجی

نمودار 3 نشان دهنده اثر کنسانتره پروتئین تخم کتان بر روی پارامترهای رنگی نمونه های اکستروود شده می باشد. روشنایی ( $L^*$ ) و قرمزی ( $a^*$ ) عموماً بیشترین اطلاعات را از تغییر رنگ در اختیار قرار می دهند.  $a^*$  و  $b^*$  نمونه ها به طور معنی داری تحت تأثیر میزان کنسانتره پروتئین تخم کتان نسبت به نمونه (کنترل) قرار گرفته است ( $p < 0.05$ ) در حالی که بین نمونه های حاوی کنسانتره پروتئین تخم کتان نسبت به نمونه T1 (کنترل) در پارامتر زردی ( $a^*$ ) تفاوت معنی داری مشاهده نشد ( $P > 0.05$ ). برخلاف  $b^*$  میزان روشنایی در نمونه های حاوی کنسانتره تخم کتان افزایش یافت که ممکن است به دلیل محتوای چربی بالاتر در این نمونه ها باشد (نمودار 3). تغییرات در پارامترهای رنگ سنجی می تواند به دلیل تجزیه رنگدانه ها در کنسانتره پروتئین تخم کتان در طی اکستروژن با دمای بالا باشد [27] تغییرات در پارامترهای رنگی عموماً با تجزیه شیمیایی در نتیجه افزایش دما و کاهش ژلاسیون هیدرو کلئیدها ارتباط دارد [28]. اجزای رنگی اصلی تخم کتان بتاکاروتن، ویولاکسائین و لوتئین می باشد [29] لذا به نظر می رسد که شرایط اکستروژن مثل دمای بالا سبب تجزیه لوتئین شده و میزان قرمزی ( $b^*$ ) در نمونه ها نسبت به کنترل کاهش یافته است. با افزایش میزان پروتئین تخم کتان میزان



## 5-منابع

- [1] Aiking, H., Future protein supply. Trends in Food Science & Technology, 2011. 22(2-3): p. 112-120.
- [2] Asgar, M., et al., Nonmeat protein alternatives as meat extenders and meat analogs. Comprehensive reviews in food science and food safety, 2010. 9(5): p. 513-529.
- [3] Osen, R., et al., Effect of high moisture extrusion cooking on protein-protein interactions of pea (*Pisum sativum* L.) protein isolates. International Journal of Food Science & Technology, 2015. 50(6): p. 1390-1396.
- [4] Krintiras, G.A., et al., Production of structured soy-based meat analogues using simple shear and heat in a Couette Cell. Journal of Food Engineering, 2015. 160: p. 34-41.
- [5] Ahirwar, R., et al., Development of mushroom and wheat gluten based meat analogue by using response surface methodology. Int J Adv Res, 2015. 3(1): p. 923-930.
- [6] Liu, K. and F.-H. Hsieh, Protein-protein interactions during high-moisture extrusion for fibrous meat analogues and comparison of protein solubility methods using different solvent systems. Journal of agricultural and food chemistry, 2008. 56(8): p. 2681-2687.
- [7] Chen, F.L., Y.M. Wei, and B. Zhang, Chemical cross-linking and molecular aggregation of soybean protein during extrusion cooking at low and high moisture content. LWT-Food Science and Technology, 2011. 44(4): p. 957-962.
- [8] Osen, R., et al., High moisture extrusion cooking of pea protein isolates: Raw material characteristics, extruder responses, and texture properties. Journal of Food Engineering, 2014. 127: p. 67-74.
- [9] Nowak-Wegrzyn, A., et al., Food protein-induced enterocolitis syndrome caused by solid food proteins. Pediatrics, 2003. 111(4): p. 829-835.
- [10] Wang, H., et al., Structural characteristics of high-moisture extrudates with oil-in-water emulsions. Food Research International, 2022. 158: p. 111554.
- [11] Jenkins, D.J., et al., Health aspects of partially defatted flaxseed, including effects on serum lipids, oxidative measures, and ex

مهمی در احساس تردی، آبداری و آزاد شدن طعم در گوشت‌های آنالوگ دارد [10] و همان‌طور که در شکل 4 مشخص است امتیاز طعم و پذیرش کلی به‌طور معنی‌داری در نمونه‌های دارای کنسانتره پروتئین تخم کتان افزایش یافت ( $p < 0.05$ ). نمونه‌ها به مدت 24 ساعت ماریناد شدند سپس پخت و مورد ارزیابی حسی قرار گرفتند و ماریناد شدن نمونه‌ها سبب شده است تا رنگ و بوی نمونه‌ها از یکدیگر برای ارزیاب‌ها قابل تشخیص نباشد.

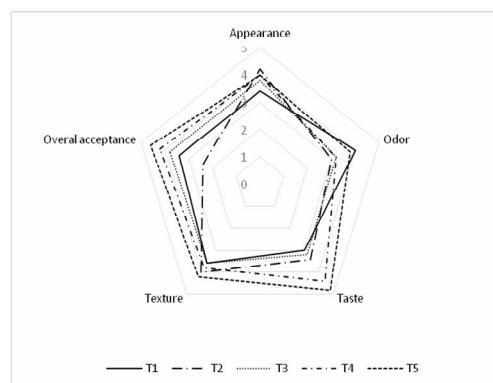


Fig 4 Sensory characteristics of meat analog samples

## 4- نتیجه‌گیری

نتایج این دقیق نشان داد که استفاده از کنسانتره پروتئین تخم کتان در ترکیب با ایزوله پروتئین نخود در تولید گوشت آنالوگ سبب بهبود ویژگی‌های حسی و بافتی مانند احساس دهانی، تردی و آبداری بیشتر محصول و همچنین ویژگی‌های عملکردی مانند افزایش بازده پخت و کاهش میزان رطوبت قابل‌بیان به دلیل داشتن کربوهیدرات و چربی موجود در کنسانتره پروتئین تخم کتان در گوشت‌های آنالوگ تولید شده به‌طور معنی‌داری می‌شود ( $p < 0.05$ ). بافت فیبری نمونه‌های تولیدی به دلیل کاهش محتوای پروتئین کاهش‌یافته و میزان روشنایی در نمونه‌های حاوی کنسانتره پروتئین تخم کتان نسبت به نمونه T1 (کنترل) از 52,82 به 53,79 در نمونه T5 افزایش یافت ( $p < 0.05$ ). میزان قرمزی از 7,4 در نمونه T1 (کنترل) به 7,12 در نمونه T5 کاهش یافت و میزان زردی تفاوت معنی‌داری نداشت ( $P > 0,05$ ). در ارزیابی حسی نمونه‌های دارای سطوح بالای کنسانتره پروتئین تخم کتان بیشترین امتیاز را از نظر قابلیت پذیرش کلی و طعم نسبت به سایر نمونه‌ها داشتند.



- [21] Kyriakopoulou, K., B. Dekkers, and A.J. van der Goot, Plant-based meat analogues, in Sustainable meat production and processing. 2019, Elsevier. p. 103-126.
- [22] Cui, W. and G. Mazza, Physicochemical characteristics of flaxseed gum. *Food Research International*, 1996. 29(3-4): p. 397-402.
- [23] Liu, J., et al., Flaxseed gum a versatile natural hydrocolloid for food and non-food applications. *Trends in Food Science & Technology*, 2018. 75: p. 146-157.
- [24] Brown, T., S.J. James, and G.L. Purnell, Cutting forces in foods: experimental measurements. *Journal of food engineering*, 2005. 70(2): p. 165-170.
- [25] Akdogan, H., High moisture food extrusion. *International journal of food science & technology*, 1999. 34(3): p. 195-207.
- [26] Lin, S., H. Huff, and F. Hsieh, Texture and chemical characteristics of soy protein meat analog extruded at high moisture. *Journal of Food Science*, 2000. 65(2): p. 264-269.
- [27] Igual, M., P. García-Segovia, and J. Martínez-Monzó, Effect of Acheta domesticus (house cricket) addition on protein content, colour, texture, and extrusion parameters of extruded products. *Journal of Food Engineering*, 2020. 282: p. 110032.
- [28] Gregson, C.M. and T.-C. Lee, Quality modification of food by extrusion processing. *Quality of Freshand Processed Foods*, 2004: p. 187-200.
- [29] Aider, M., et al., Purification of whole brown flaxseed meal from coloring pigments by treatment in hydrogen peroxide solutions: impact on meal color. *Food and Bioprocess Technology*, 2012. 5(8): p. 3051-3065.
- [12] Chung, M., B. Lei, and E. Li-Chan, Isolation and structural characterization of the major protein fraction from NorMan flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). *Food chemistry*, 2005. 90(1-2): p. 271-279.
- [13] Dev, D. and E. Quensel, Preparation and functional properties of linseed protein products containing differing levels of mucilage. *Journal of food science*, 1988. 53(6): p. 1834-1837.
- [14] Kuhn, K.R., et al., Assessing the potential of flaxseed protein as an emulsifier combined with whey protein isolate. *Food Research International*, 2014. 58: p. 89-97.
- [15] Dev, D. and E. Quensel, Functional and microstructural characteristics of linseed (*Linum usitatissimum* L.) flour and a protein isolate. *Lebensmittel-Wissenschaft+Technologie*, 1986. 19(4): p. 331-337.
- [16] AOAC, *Official Methods of Analysis* (16th ed.). 1995.
- [17] Yuliarti, O., T.J.K. Kovic, and N.J. Yi, Structuring the meat analogue by using plant-based derived composites. *Journal of food engineering*, 2021. 288: p. 110138.
- [18] Palanisamy, M., et al., Influence of iota carrageenan addition on the properties of soya protein meat analogues. *Lwt*, 2018. 87: p. 546-552.
- [19] Samard, S. and G.H. Ryu, A comparison of physicochemical characteristics, texture, and structure of meat analogue and meats. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2019. 99(6): p. 2708-2715.
- [20] De Angelis, D., et al., Physicochemical and sensorial evaluation of meat analogues produced from dry-fractionated pea and oat proteins. *Foods*, 2:9 (12). 1754.



## Scientific Research

## Physicochemical, Structural, and Sensory Characteristic of High Moisture Meat Analog Based on Pea Protein Isolate in Conjunction with Flaxseed Protein Concentrate

Riazi, F. <sup>1</sup>, Mazaheri Tehrani, M. <sup>2\*</sup>

1. Ph. D student of food science and technology, agriculture faculty, Ferdowsi University of Mashhad.
2. Professor of food science and technology, agriculture faculty, Ferdowsi University of Mashhad.

## ABSTRACT

Abstract: There is a growing demand to produce high quality-meat analog based on plant-based protein.. producing meat analog which is rich in tenderness and juiciness is one of the recent challenges in this field. In this survey, flaxseed protein concentrate was used at levels (0, 1, 2, 4, and 5%) as a novel ingredient to develop plant-based meat during the high moisture extrusion in combination with pea protein isolate and the physicochemical properties, The functional, textural, and sensory characteristic of the produced meat analogs were investigated. The results showed that the addition of flaxseed protein concentrate had a significant effect on the amount of protein, carbohydrate, fat, and pH in the samples ( $p < 0.05$ ) and improved the functional properties such as increasing cooking yield(%) and reducing expressible moisture(%). textural parameters and brightness and redness parameters of the sample were significantly reduced by the addition of flaxseed protein concentrate ( $p < 0.05$ ). The use of flaxseed protein concentrate significantly increased ( $p < 0.05$ ).the taste and overall acceptance of the control sample(T1) respectively from 3 and 3, 4 to 4.8 and 4.6 in T5 sample

## ARTICLE INFO

## Article History:

Received 2022/ 08/ 29  
Accepted 2022/ 10/ 01

## Keywords:

Meat Analog,  
Pea Protein Isolate,  
Flaxseed Protein Concentrate,  
Texture.

DOI: 10.22034/FSCT.19.130.259

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.130.21.0

\*Corresponding Author E-Mail:  
mmtehrani@um.ac.ir