DOI: http://dx.doi.org/ 10.22104/IFT.2022.5897.2125

Innovative Food Technologies, 10(2), 101-118, Winter 2023

Iranian Research Organization for Science and Technology (IROST)

CC BY

Research Article

Effects of different extraction methods on physicochemical properties of dietary fiber from defatted olive (*Olea europaea*) pomace flour

Elham Azadfar[1], Amir Hossein Elhami Rad[2], Akram Sharifi[3*], Mohammad Armin[2]

1. Ph.D. Student, Department of Food Science and Technology, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran
2. Associat Professor Department of Food Science and Technology, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran
3. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.

(Received 16 October 2022, Received in revised form 25 November 2022, Accepted 30 November 2022)

Introduction: In the food industry, various fruits and vegetables are processed to produce value-added products. Large proportions of waste resulting from these processes can cause a lot of environmental pollution. Moreover, these residues are a rich source of valuable bioactive compounds and dietary fiber and efficient use of them is important for both nutritional and environmental reasons. The olive oil process produces a solid residue called olive pomace. Olive pomace has a high antioxidant capacity and is rich in dietary fiber (DF), oil, and polyphenolic compounds. However, the soluble fiber level of the pomace is low and limits the use of this fiber. Therefore, converting insoluble fiber to soluble can improve its health benefits and functional properties. Fiber extraction conditions can lead to changes in the proportion and concentration of the soluble and insoluble fiber, as well as the physicochemical and nutritional characteristics of these compounds. Chemical extraction (by Acidic and alkaline solvents) is the most common method for fiber extraction. Damage to the fiber structure can occur as a result of the harsh conditions during chemical extraction (temperature, process time, and pH). In addition, these methods lead to environmental pollution. therefore, green extraction methods have received great attention. Thus, the current research aims to compare the effect of green (enzyme- and ultrasound-assisted extraction) and conventional (by acidic and alkaline solvents) extraction methods on the yield, chemical composition, purity, and hydration properties of the dietary fibers obtained from olive oil pomace flour. Furthermore, by replacing wheat flour with different amounts (0, 5, 10, and 15%) of the soluble fiber obtained from the most appropriate method, the rheological (i.e., farinograph and extensograph) properties of the resulting dough are also estimated.

Materials and Methods: The olive pomace was obtained from biomass residue of the olive oil process which was defatted using the Soxhlet method. This olive pomace was dried in an oven at 50 ºC until reaching a moisture content of around 10%. The dried sample was grounded and kept in a dark bottle at 4 ºC until the fiber extraction process. Fiber extraction was done based on the acid solvent- (citric acid: pomace = 40: 1; 2 hours; 40 ºC); alkaline solvent- (1% NaOH: flour = 40: 1; 2 hours; 40 ºC); Ultrasonic- (0.5% NaOH: flour = 40:1; 1 hour; 40 ºC; W 400) and enzyme- (α-amylase; protease; amyloglucosidase; cellulase; 4.5 hours; 40 ºC) assisted method. Then soluble and insoluble fiber was separated. Extraction yield, chemical composition (moisture, ash, protein, soluble and insoluble fiber), water holding capacity, swelling power, and solubility index of soluble and insoluble fiber were compared. The effect of supplementation of wheat flour with different amounts of soluble olive pome fiber (0, 5, 10, and 15%) on farinographic (water absorption rate (%), dough development time (min), stability time (min), softening degree (BU) and Flourgraph quality number) and extensograph (Resistance to Extension (BU); Extensibility (mm), Energy (cm^2) and rate number; at three resting time: 45, 90 and 135 minutes) properties of doughs were evaluated. Experiments were performed in three replicates and data were

*Corresponding author: asharifi81@gmail.com

reported as mean ± standard deviation. Collected data were subjected to a one-way analysis of variance using a random factorial experimental design. The Significant difference between the means was determined by Tukey's test at P < 0.05.
Results and Discussion: The yield of olive pomace fiber was 74.79 -90.2 % which 12.12 -21.68 % of them was soluble fiber. The lowest and highest TDF yield was recorded for ultrasound and enzyme-assisted methods, respectively (P < 0.05). The acidic and alkaline conditions can lead to the hydrolysis of fiber into oligosaccharides and monosaccharides, which reduces the fiber yield. The yield of the alkaline method was more than the acidic one (P < 0.05). While there was no significant difference between the yield of IDF of acid (64.99%) and the alkaline (64.67%) method, the SDF yield of the alkaline method (16.45%) was significantly higher than the acidic (60.60%) one. The moisture content of SDF was more than that evaluated for IDF. The ash and protein contents of IDF were higher than SDF. In the IDF, the lowest moisture content was reported for the ultrasound method (P < 0.05). In the SDF, there was no significant difference between the moisture content of fibers extracted by different methods (P > 0.05). The extraction method had no significant effect on the ash content (P < 0.05). The lowest protein content was observed in the fiber extracted by the enzymic method (P < 0.05). Moreover, the SDF was purer than the IDF and the extraction method had no significant effect on the fiber purity. The water holding capacity of the SDF (7.68 to 11.43 g g-1) was higher than the IDF (2.09 to 2.81 g g-1). Swelling power, solubility index and water holding capacity of olive pomace fiber showed a positive and significant correlation with each other. The higher swelling power and solubility index was obtained for the fiber extracted by the enzymic method due to the higher water absorption of this fiber. The lowest water holding capacity, solubility, and swelling power were obtained for samples extracted by the ultrasound-assisted method. The investigation of rheological properties of doughs enrichment with soluble fiber extracted by enzymatic method showed that the water absorption rate increased from 63.73 to 68.63 (P < 0.05) by increasing the fiber portion in the doughs. Moreover, by increasing the fiber level to 10%, the Dough Development time, stability time and FQN increased, but no significant effect was observed in higher fiber content. However, by increasing the fiber content, the doftening degree decreased significantly. Replacing flour with 15% fiber led to increasing resistance to the extension of doughs at a resting time of 45 minutes. While there was no significant difference between the samples at the resting times of 90 and 135 minutes. At the resting time of 45 minutes, the extensibility of the dough increased significantly with the addition of 5% fiber, while the addition of 10% fiber reduced this index to less than the control value. at the resting time of 135 minutes, the extensibility of the sample containing 15% fiber was significantly lower than others. At the resting time of 45 and 135 minutes, adding 15% fiber caused a significant increase in energy index (P < 0.05).
Conclusions: Although the performance of the enzymatic method was significantly higher than other ones, this method was very time-consuming which limits its application in the food industry. The use of a combination of two or more green methods to accelerate the speed of extraction can be a topic for future research. Furthermore, the replacement of 10 % of wheat flour with olive soluble fiber obtained by the enzymatic method also showed acceptable rheological properties. This dough can meet the expectation for high-quality bread with higher nutritional value. Further research is needed to optimize the formulation of dough bread for using more fiber, to investigate the effect of total dietry fiber of olive pomace extracted by different methods on the nutritional and functional properties of food, and to establish low-fat and free gluten formulation based on olive pomace fiber.

***Keywords*: Dietry fiber; Enzyme; Ultrasound; Olive pomace; Doughs rheological properties**

How to cite this article:

Azadfar, E., Elhami Rad, A.H., Sharifi, A., Armin, M., (2023). Effects of different extraction methods on physicochemical properties of dietary fiber from defatted olive (*Olea europaea*) pomace flour. *Innov. Food Technol., 10(2),* 101-118.

DOI: http://dx.doi.org/ 10.22104/IFT.2022.5897.2125

فصلنامه فناوری‌های جدید در صنعت غذا، دوره ۱۰، شماره ۲، صفحه ۱۱۸-۱۰۱، زمستان۱۴۰۱

مقاله پژوهشی

تأثیر روش‌های مختلف استخراج بر ویژگی‌های فیبر حاصل از پودر تفاله زیتون چربی‌زدایی شده

الهام آزادفر [۱]، امیر حسین الهامی راد [۲]، اکرم شریفی [۳*]، محمد آرمین [۲]

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران
۲. دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران
۳. استادیار، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

(تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۰۷/۲۴، تاریخ آخرین بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۰۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۹)

چکیده

هدف از پژوهش حاضر مقایسه تأثیر روش‌های استخراج سبز (آنزیمی و فراصوت) و متداول (شیمیایی به کمک حلال اسیدی و قلیایی) بر بازدهی (فیبر رژیمی کل(TDF)، فیبر محلول (SDF) و فیبر نامحلول(IDF))، ترکیب شیمیایی و خواص آبپوشی فیبر تفاله زیتون بود. خواص رئولوژیکی خمیرهای حاوی مقادیر مختلف SDF (۰، ۵، ۱۰ و ۱۵٪) نیز مورد بررسی قرار گرفت. بازده فیبر کل بین ۷۴/۷۹ (روش فراصوت) تا ۹۰/۲٪ (روش آنزیمی) بود که ۱۲/۱۲ – ۲۱/۶۸٪ آن SDF بود. میزان رطوبت SDF بیشتر از IDF بود. محتوای خاکستر و پروتئین IDF بیشتر از SDF بود. روش استخراج تأثیر معنی‌داری بر میزان رطوبت و خاکستر SDF نداشت. کمترین میزان پروتئین در DF استخراج شده به روش آنزیمی مشاهده شد. بیشترین و کمترین قدرت تورم و شاخص حلالیت به ترتیب برای فیبر استخراج شده به روش آنزیمی و فراصوت بود که ناشی از میزان جذب آب این فیبرها بود. غنی‌سازی آرد گندم با SDF استخراج‌شده به روش آنزیمی نشان داد که افزودن ۱۰٪ فیبر موجب افزایش زمان توسعه و پایداری و FQN خمیر می‌شود در حالی که درجه نرم شدن را کاهش می‌دهد (P < ۰/۰۵). جایگزینی ۱۵٪ آرد گندم با SDF منجر به افزایش مقاومت به کشش و انرژی خمیر شد. کشش‌پذیری خمیر با افزودن ۵٪ فیبر افزایش یافت، در حالی که افزودن ۱۰٪ فیبر این شاخص را به کمتر از مقدار شاهد رساند. در مجموع، اگرچه عملکرد روش آنزیمی به‌طور قابل توجهی بالاتر از سایر روش‌ها بود، اما این روش زمان‌بر است که کاربرد آن در صنایع غذا را محدود می‌کند. به‌کارگیری ترکیبی از روش‌های سبز برای تسریع استخراج آنزیمی می‌تواند موضوعی برای پژوهش‌های آینده باشد. بعلاوه، جایگزینی ۱۰٪ آرد گندم با SDF خواص رئولوژیکی قابل قبولی را ارائه می‌دهد که می‌تواند نویدبخش نانی با کیفیت و با ارزش غذایی بالا باشد.

واژه‌های کلیدی: فیبر رژیمی؛ آنزیم؛ فراصوت؛ تفاله زیتون؛ ویژگی رئولوژیکی خمیر

---

* نویسنده مسئول: asharifi81@gmail.com

۱. مقدمه

در صنعت غذا، میوه‌ها و سبزیجات مختلف برای تولید محصولات با ارزش افزوده مانند روغن، ترشی، رب، آب میوه‌ها، مربا، چیپس میوه و غیره فرآوری می‌شوند. این فرآیندها مقدار زیادی محصولات جانبی تولید می‌کنند که می‌توانند آلودگی زیست‌محیطی زیادی را ایجاد کنند. با این حال، این محصولات منبع غنی از ترکیبات زیست فعال ارزشمند و فیبر غذایی هستند [۱]. بنابراین، استفاده بهینه از چنین ترکیباتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. صنعت روغن زیتون پسماند جامدی به نام پوماس یا کنجاله زیتون تولید می‌کند. این پسماند دارای توانایی آنتی‌اکسیدانی بالایی است و سرشار از فیبر غذایی (DF)[1]، روغن و ترکیبات پلی‌فنولی است [۲]. بخش عمده کنجاله زیتون به‌عنوان سوخت مصرف می‌شود. اگرچه این روش دفع به‌طور مؤثر حجم زباله را کاهش می‌دهد، اما ترکیبات ارزشمند آن را از دسترس خارج می‌کند [۳]. بنابراین یافتن راه‌کاری که بتواند این مواد ارزشمند را به چرخه غذایی برگرداند و کاهش آلودگی زیست‌محیطی را به دنبال داشته باشد در راستای اهداف کشاورزی و تولید پایدار است.

فیبر رژیمی پلی‌ساکاریدی غیرقابل هضم با منشأ گیاهی است. براساس حلالیت فیبر در آب، این ترکیبات به دو دسته فیبرهای محلول (SDF)[2] و نامحلول (IDF)[3] تقسیم می‌شود. مصرف فیبرهای محلول تأثیر مثبتی بر شاخص‌های متابولیک مانند کلسترول کل، کلسترول لیپوپروتئینی با دانسیته کم و تری‌گلیسرید دارد. ضمن اینکه می‌تواند سطح گلوکز خون را نیز کاهش دهد. در مقابل فیبرهای IDF با جذب آب و تنظیمات روده‌ای در ارتباط هستند [۴]. این مزایا می‌تواند به دلیل وجود ترکیبات زیست‌فعال متصل به فیبر رژیمی به‌ویژه ترکیبات فنولی نیز بیش‌تر شود [۵]. سازمان غذا و داروی آمریکا[4] (FDA) و سازمان ایمنی غذای اروپا[5] (EFSA) مصرف ۲۵ g تا ۳۸ فیبر در روز را توصیه می‌کند [۶]. به‌جز نقش سلامت‌محور این ترکیبات، فیبرهای محلول می‌توانند تأثیر زیادی بر خواص عملکردی (حلالیت، ظرفیت نگهداری آب یا روغن، رفتار جریان، تشکیل ژل، خواص سطحی و بین سطحی) داشته باشند. به همین دلیل می‌تواند در صنایع غذایی به‌عنوان عامل پایدارکننده، تغلیظ کننده، ژل‌ساز یا پوشش مواد زیست‌فعال به کار گرفته شود [۴،۶]. این ترکیب می‌توانند یک جایگزین مناسب برای چربی باشند [۷]. ضمن این‌که می‌تواند طعم غذا را در محصولات غذایی ازجمله محصولات نانوایی افزایش دهد [۸]. بخش عمده فیبر رژیمی موجود در کنجاله زیتون بخش نامحلول آن (به‌ویژه لیگنین) است. لیگنین یک ترکیب پلی‌ساکاریدی نامحلول با وزن بالاست که در روده کوچک جذب نمی‌شود و مزیت سلامت‌بخشی ویژه‌ای برای آن گزارش نشده است. بخش دیگری از این فیبر، بخش محلول آن است که عمدتاً پکتین است. این فیبر می‌تواند در روده بزرگ هیدرولیز شود و رشد پروبیوتیک‌های روده‌ای را تقویت کند، از بیماری‌های قلبی عروقی و اثرات مضر رادیکال‌های آزاد جلوگیری کند، قند و چربی خون را کاهش دهد و از بیماری‌های چون دیابت، فشار خون، چاقی و سرطان روده‌ی بزرگ پیش‌گیری کند [۴،۹،۱۰،۱۱]؛ اما مقدار بخش محلول فیبر کنجاله زیتون مانند بسیاری از گیاهان دیگر پایین است و کاربری این فیبر را محدود می‌کند. بنابراین تبدیل فیبر نامحلول به محلول می‌تواند خواص سلامت‌بخشی و عملکردی آن را بهبود بخشد.

روش‌های متعددی برای استخراج فیبر مورد استفاده است. شرایط استخراج می‌تواند منجر به تغییر در نسبت و میزان فیبر محلول و نامحلول و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و تغذیه‌ای این ترکیبات شود. استخراج به کمک حلال‌های شیمیایی به‌ویژه حلال‌های قلیایی مرسوم‌ترین روش برای استخراج فیبر است. شرایط استخراج به روش شیمیایی (به‌ویژه دما و زمان فرایند) به بافت ماده‌ی غذایی آسیب می‌رسانند [۱۲]. یون‌های هیدروکسیل می‌توانند پیوندهای هیدروژنی و استری را بشکنند که این امر منجر به کاهش میزان فیبرهای محلول، همی‌سلولز و سلولز می‌شود [۱۳]. به‌علاوه، این روش موجب به جای‌گذاری باقی‌مانده‌های شیمیایی می‌شود که اثرات زیست‌محیطی نامطلوبی را به دنبال خواهد داشت. به همین دلیل روش‌های نوین استخراج

---

1. Dietry fiber
2. Soluble Dietry Fiber
3. Insoluble Dietry Fiber:
4. U.S. Food and Drug Administration
5. European Food Safety Authority

همچون استفاده از انرژی فراصوت [۶،۱۳،۱۴] مایکروویو [۱۳]، هموژن‌سازی برشی [۱۰]، فشار بالا [۱۵،۱۶]، آب مادون بحرانی [۸] و استخراج به کمک آنزیم‌ها [۶،۱۰] به‌عنوان روش‌های سبز استخراج فیبر مورد توجه ویژه قرار گرفته‌اند. انرژی فراصوت به کمک نیروی حاصل از انفجار حباب‌های بخار آب و نیروی برشی منجر به تخریب بافت گیاه و افزایش دسترسی حلال به ساختار درونی گیاه می‌شود که این امر رهایش ترکیبات مؤثر را تسریع می‌کند، زمان استخراج را کاهش می‌دهد و افزایش کارایی استخراج را به دنبال دارد [۶،۱۳]. در روش آنزیمی پیوند بین فیبر و پروتئین توسط آنزیم و بدون نیاز به مواد شیمیایی شکسته می‌شود که از نظر زیست‌محیطی حائز اهمیت ویژه است [۶]. تیمار آنزیمی به طور موفقیت‌آمیزی می‌تواند فیبرهای نامحلول (مانند لیگنین، سلولز و همی‌سلولز) را به بخش‌های محلول تبدیل کند. برای مثال استفاده از سلولاز موجب افزایش چهار برابری فیبر/ محلول در کنجاله نارگیل شده است [۱۷]. با این حال اطلاعات محدودی در مورد تأثیر تکنولوژی‌های سبز بر فیبر حاصل از پسماند صنایع مختلف وجود دارد. بنابراین هدف از پژوهش حاضر بررسی روش‌های مختلف استخراج (استخراج به کمک حلال شیمیایی (اسیدی و قلیایی)، آنزیم و انرژی فراصوت) به‌منظور بهبود استخراج فیبرهای محلول و مقایسه نسبت فیبر محلول به نامحلول، خلوص و ویژگی‌های آب‌پوشی فیبرهای حاصل از کنجاله روغن زیتون است. ضمن این‌که فیبر محلول حاصل از روش بهینه در مقادیر مختلف (صفر تا ۱۵٪) جایگزین آرد شده و ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر حاصل نیز برآورد می‌شود.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. مواد

کلیه مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش درجه‌ی آزمایشگاهی داشتند و از شرکت مرک (Merck, india ltd. and Germany)، دکتر مجللی (تهران، ایران) و سیگماآلدریچ (Sigma–Aldrich Inc., USA) تهیه شد. آنزیم‌های مورد استفاده برای استخراج فیبر نیز از شرکت نوآو (Nuoao Technology Co., Ltd. Tianjin, China) تهیه شد.

۲.۲. تهیه پودر کنجاله زیتون

کنجاله حاصل از ضایعات فرایند روغن‌کشی زیتون از کارخانه کشت و صنعت خندان واقع در قزوین تهیه شد. ابتدا کنجاله چندین بار شسته می‌شود تا جایی که آب خروجی کاملاً شفاف شود. نمونه‌ها به کمک روش سوکسله (soxhlet apparatus, FALC. Italy) چربی‌زدایی می‌شود [۱۸]. نمونه‌ها در آون ۵۰ °C (Binder GmBH ltd Co. Germany) خشک شدند. نمونه‌های خشک شده آسیاب (پارس خزر، تهران، ایران) و الک شدند (مش ۵۰ میکرون) تا پودر کنجاله زیتون به دست آید. نمونه‌ها تا زمان استخراج فیبر در شیشه‌ی تیره و در دمای یخچال نگهداری شدند.

۳.۲. استخراج فیبر رژیمی

۱.۳.۲. استخراج فیبر به کمک حلال اسیدی

در استخراج به کمک حلال اسیدی از محلول آبی ۱٪ (وزنی-حجمی) اسیدسیتریک استفاده شد. پودر کنجاله با اسیدسیتریک با نسبت ۱ به ۴۰ (وزنی-حجمی) مخلوط و برای ۲ h در حمام آب ۴۰ °C قرار گرفت. محلول اسیدی حاصل به مدت ۵ min با سرعت ۷۰۰۰ rpm سانتریفیوژ (Funckjerber Co. model 3-18, Germany) شد [۱۹].

۲.۳.۲. استخراج فیبر به کمک قلیا

استخراج فیبر محلول و نامحلول کنجاله زیتون با استفاده از محلول آبی ۱٪ NaOH: کنجاله برابر با ۴۰: ۱؛ طبق روش ارائه شده توسط Wang و همکاران (۲۰۲۱) استخراج شد. برای این کار ۴۰۰ ml از محلول NaOH به ۱۰ g پودر کنجاله زیتون اضافه و ترکیب حاصل برای ۲ h در حمام آب ۴۰ °C قرار گرفت. نمونه‌ها برای ۱۵ min در سانتریفیوژ ۷۰۰۰ rpm قرار گرفتند [۱۹].

۳.۳.۲. استخراج فیبر به کمک انرژی فراصوت

ابتدا پودر کنجاله زیتون با نسبت ۱ به ۴۰ با ۱٪ وزنی/حجمی با هیدروکسیدسدیم (NaOH) ۰/۵ مولار ترکیب شد و روی همزن مغناطیسی قرار گرفت. پروب

فراصوتی (Ultrasonic probe sonicator; Scientz-D, Scientz Biotechnology Co., Ltd., China) تا عمق ۲۰ ml در محلول فرو رفت. فرایند استخراج در ۴۰ °C به مدت ۶۰ min با قدرت انرژی فراصوت ۴۰۰W انجام شد [۱۴]. محلول نهایی برای ۱۵ min در سانتریفیوژ ۷۰۰۰ rpm قرار گرفتند.

۴.۳.۲. استخراج فیبر به کمک آنزیم

استخراج فیبر محلول و نامحلول به کمک آنزیم بر مبنای روش پیشنهاد شده توسط Wang و همکاران (۲۰۲۰) با کمی تغییر انجام شد. میزان ۰/۲ ml از محلول آبی $CaCl_2$ (۱ M) و ۴۰۰ ml نمک بافر فسفات (PBS، pH 6) به ۱۰ g پودر کنجاله زیتون اضافه شد. این محلول مدام هم‌زده شد تا توده‌ای ایجاد نشود. سپس ۵۰۰ µl آلفاآمیلاز (300 KNU/g, Termamyl) به مخلوط فوق اضافه شد و ۱/۵ h در حمام آب ۴۰ °C قرار گرفت. هضم به کمک پروتئاز (2.4AU/g, Alcalase 2.4 L؛ ۵۰۰ µl، pH = ۷/۵؛) به مدت ۱ h در حمام آب ۴۰ °C ادامه یافت و در نهایت آمیلوگلوکوزیداز (300 AGU/g, AMG 300 L؛ ۲۰۰ µl، pH 4.5) اضافه و نمونه مجدداً به مدت ۱ h در حمام آب ۴۰ °C گرمخانه‌گذاری شد. ۵۰ g از این مخلوط در ۵۰۰ ml بافر فسفات ۰/۱ M (pH = ۵) ریخته شد و با ۰/۳ g سلولاز ترکیب و این مخلوط برای مدت ۱ h در دمای ۴۰ °C گرمخانه‌گذاری شد. این مخلوط در دمای ۱۰۰ °C به مدت ۱۰ min گرمخانه‌گذاری شد تا آنزیم‌ها غیرفعال شوند. سپس تا دمای اتاق خنک و نمونه با سرعت ۷۰۰۰ rpm به مدت ۱۵ min سانتریفیوژ شد [۱۹،۲۰].

۴.۲. جداسازی فیبر محلول و نامحلول

باقی‌مانده حاصل از سانتریفیوژ دو بار با آب مقطر شسته و برای به دست آوردن فیبر نامحلول توسط خشک کن‌انجمادی خشک شد. مایع رویی حاصل از سانتریفیوژ نیز با اتانول ۹۵٪ (حجم چهار برابر) به مدت ۲ h در دمای محیط قرار گرفت. رسوب حاصل جمع‌آوری و با اتانول ۱۰۰٪ شسته شد و زیر هود خشک شد تا به این ترتیب فیبر محلول حاصل شود [۱۹].

۵.۲. بازدهی استخراج

بازدهی استخراج (٪) هر روش برای فیبر محلول و نامحلول به کمک معادله (۱) محاسبه می‌شود:

$$Y(\%) = \frac{DF}{OP} \times 100 \quad (۱)$$

DF: وزن فیبر به گرم (محلول یا نامحلول)؛ OP: وزن پودر کنجاله زیتون به گرم

۶.۲. ترکیب شیمیایی فیبرها

از روش‌های استاندارد AOAC برای اندازه‌گیری میزان رطوبت، خاکستر، پروتئین، فیبرکل، فیبر محلول و نامحلول استفاده شد [۲۱].

۷.۲. ظرفیت نگهداری آب

برای به دست آوردن ظرفیت نگهداری فیبرها، ۱ g از فیبر محلول یا نامحلول (w_1) به ۲۵ ml آب مقطر اضافه می‌شود. نمونه به مدت ۲ h برای رسیدن به تعادل در دمای ۳۷ °C نگهداری می‌شود و به فواصل هر ۱۵ min به مدت ۵ s ورتکس می‌شود. سپس به مدت ۱۰ min دقیقه در ۴۸۰۰ rpm سانتریفیوژ می‌شود. باقی‌مانده وزن می‌شود (w_2) و ظرفیت نگهداری آب به کمک معادله ۲ به دست می‌آید [۲۲]:

$$WHC\ (g\ g^{-1}) = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \quad (۲)$$

۸.۲. قدرت تورم

مقدار ۱ g فیبر با ۱۰ ml آب مقطر ترکیب می‌شود. این سوسپانسیون به منظور هیدراته شدن ۱۸ h در دمای محیط نگهداری می‌شود. حجم نمونه‌ی خشک (v_1: میلی‌لیتر) و نمونه‌تر (v_2: میلی‌لیتر) اندازه‌گیری و قدرت تورم به کمک معادله (۳) محاسبه می‌شود [۲۳]:

$$SP\ (mL\ 100\ g^{-1}) = \frac{v_2 - v_1}{m_0} \quad (۳)$$

m_0: وزن نمونه فیبر قبل از هیدراته شدن (g)

۹.۲. شاخص حلالیت

مقدار g ۱ فیبرکنجاله زیتون (w_0) با ml ۱۰ آب مقطر با استفاده همزن مغناطیسی برای مدت h ۱ هم‌زده می‌شود. سپس به مدت min ۱۰ با rpm ۷۵۰۰ سانتریفیوژ می‌شود. مایع رویی در یک ظرف با وزن مشخص جمع‌آوری می‌شود. این مایع، جهت تبخیرآب در آون با دمای °C ۱۰۵ تا زمان تثبیت وزن قرار می‌گیرد و وزن آن اندازه‌گیری می‌شود (w_1). حلالیت در آب مطابق معادله (۳) محاسبه می‌شود [۲۰].

$$SI\ (\%) = \frac{w_1}{w_0} \times 100 \qquad (۳)$$

۱۰.۲. ویژگی‌های فارینوگرافی خمیر

تأثیر غنی‌سازی آرد گندم با درجات مختلف فیبر محلول کنجاله زیتون (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵٪) بر ویژگی‌های فارینوگرافی خمیر شامل درصد جذب آب، زمان توسعه خمیر، زمان پایداری خمیر، زمان نرم شدن خمیر بعد از min ۱۲ و شماره کیفیت آرد مورد بررسی قرار گرفت. برای این کار آرد نانوایی و آرد غنی‌شده با فیبر با آب مقطر در ظرف ۵۰ گرمی فاریتوگراف مخلوط شد. ویژگی‌های فارینوگراف بر مبنای روش AACC 54-21 انجام شد. این کار به کمک فارینوگراف-E (Brabender, model 827504, Germany) در سه تکرار صورت گرفت [۲۴].

۱۱.۲. ویژگی‌های کشش‌پذیری خمیر

ویژگی‌های کشش‌پذیری خمیر (انرژی، مقاومت به کشش، کشش‌پذیری، حداکثر مقاومت و نسبت مقاومت در برابر کشش به کشش‌پذیری) بر روی g ۲۰ خمیر حاصل از آرد گندم و آرد غنی‌شده با مقادیر مختلف فیبر محلول کنجاله زیتون (۵، ۱۰ و ۱۵٪ وزنی/وزنی) به کمک میکرو-اکستنسوگراف (Brabender, model 827504, Germany) در سه زمان استراحت (min ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵) اندازه‌گیری شد. نمونه‌های خمیر توسط دستورالعمل روش استاندارد AACC 54-10.01 در ظرف ۵۰ گرمی فارینوگراف-E انجام شد [۲۴].

۱۲.۲. آنالیز آماری

آزمایش‌ها در سه تکرار انجام و داده‌ها به شکل میانگین ± انحراف گزارش شدند. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS نسخه‌ی ۲۶ (SPSS 26.0 for windows, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) و طرح آزمایشی تصادفی- فاکتوریل بر پایه‌ی آنالیز واریانس یک‌طرفه (بررسی اثر روش استخراج و آزمون فارینوگراف) و مدل خطی عمومی (بررسی اثر متقابل زمان استراحت و مقدار فیبر در آزمون بررسی کشش‌پذیری خمیر) انجام شد. وجود تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها بر پایه‌ی آزمون چند دامنه‌ای توکی ($P < ۰/۰۵$) مشخص شد.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. بازدهی استخراج فیبر

بازده فیبر محلول و نامحلول که با روش‌های مختلف استخراج شده است در جدول (۱) خلاصه شده است. همان‌طور که مشخص است بازدهی فیبر کنجاله زیتون بین ۷۴/۷۹ تا ۹۰/۲٪ بود که بازدهی بالایی است. بازدهی فیبر محلول نیز بین ۱۲/۳۲ تا۲۱/۶۸٪ بود. این مقدار با مقدار فیبر محلول استخراج شده از کنجاله گوجه‌فرنگی تحت شرایط بهینه قلیایی (۱۷/۲ ٪) [۲۵] و بامبو (۱۷/۸۹٪: استخراج شده به کمک نیروی برشی و ۱۲/۲۹٪: استخراج شده به کمک انرژی فراصوت) [۱۰] قابل مقایسه بود و نسبت به فیبر حاصل از موادی همچون جودوسر (۴/۵٪) [۲۶]، کنجاله چربی‌زدایی شده نارگیل (حدود ۴/۲ ٪) [۱۷]، مو شکلاتی (۶/۴٪: به روش امولسیون‌کنندگی برشی) [۲۷]، بامبو (استخراج شده به کمک قلیا: ۵/۳۶٪ و آنزیمی: ۷/۲۸٪) [۱۰] بیش‌تر بود. میزان فیبر محلول دانه کتان (۴۲/۳۳٪: استخراج شده به روش قلیایی- ۶۹/۸۰٪: آنزیمی- اولتراسونیک در دمای °C ۵۵) [۶] و پوست کیوی (۳۲/۷٪: استخراج شده به روش قلیایی)[۱۹] بیش‌تر از میزان فیبر محلول حاصل از کنجاله زیتون بود. کم‌ترین و بیش‌ترین میزان بازدهی فیبر کل به ترتیب مربوط به روش فراصوت و آنزیمی بود ($P < ۰/۰۵$). عملکرد خوب روش آنزیمی در استخراج فیبر (فیبر کل، فیبر محلول و نامحلول) نسبت به سایر روش‌ها را می‌توان به شکستن پیوند کربوهیدرات-پروتئین توسط آنزیم‌ها، تخریب بافت سلولی و آزادسازی فیبرها نسبت داد [۶]. علت برتری روش آنزیمی بر روش اسیدی و قلیایی را می‌توان در این نکته یافت که اسید و باز موجود در محیط می‌تواند منجر به هیدرولیز فیبر به

الیگوساکاریدها و منوساکاریدها با وزن مولکولی پایین می‌شود که بازدهی استخراج را کاهش می‌دهد [۲۸]. مقایسه بازدهی روش قلیایی و اسیدی نشان داد که بازدهی کلی روش قلیایی بیش‌تر از اسیدی بود (P < ۰/۰۵). این نتایج با آنچه در برخی پژوهش‌ها گزارش‌شده مطابقت دارد [۱۴،۱۹]. در حالی که روش اسیدی دیواره سلولی را به‌طور کامل از بین می‌برد، محلول قلیایی با شکستن پیوند استری بین همی‌سلولز و لیگنین موجب بهبود حلالیت فیبر می‌شوند و فیبر نامحلول را به محلول تبدیل می‌کند که منجر به افزایش بازده استخراج نمونه SDF می‌شود. [۱۹،۲۹]. به این ترتیب، در حالی‌که تفاوت معنی‌داری بین میزان فیبر نامحلول روش اسیدی (۶۴/۹۹٪) و قلیایی (۶۴/۶۷٪) مشاهده نشد؛ اما تفاوت بین فیبر محلول دو روش قلیایی و اسیدی معنی‌دار بود و میزان بازدهی فیبر محلول در روش قلیایی (۱۶/۴۵٪) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از روش اسیدی (۱۵/۶۰٪) بود. ضمن این‌که نسبت فیبر محلول به نامحلول و همچنین نسبت فیبر محلول به بازدهی کل به‌طور معنی‌داری در روش قلیایی بیش‌تر از اسیدی بود.

کم‌ترین بازدهی (فیبر کل، محلول و نامحلول) در مورد روش فراصوت به دست آمد. احتمالاً انرژی فراصوت با شکستن مولکول‌های پلی‌ساکارید در ساختار فیبر موجب کاهش بازدهی آن شده است [۳۰]. با این حال Tang و همکاران (۲۰۲۲) نیز گزارش کردند که میزان فیبر رژیمی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر روش استخراج قرار می‌گیرد به‌طوری که بیش‌ترین میزان فیبر کل مربوط به استخراج به کمک نیروی برشی و فراصوت و کم‌ترین آن مربوط به روش آنزیمی بود. بیش‌ترین فیبر محلول مربوط به استخراج به کمک نیروی برش (۱۷/۸۹٪) و فراصوت (۱۲/۲۹٪) بود. آنها دلیل عملکرد مطلوب‌تر این دو روش را ناشی از تخریب بافت گیاه و نفوذ راحت‌تر حلال به ساختار درونی گیاه اعلام کردند [۱۰]. همچنین Jiang و همکاران (۲۰۲۰) تفاوت معنی‌داری را بین میزان فیبر کل و فیبر محلول استخراج شده از مو شکلاتی به کمک روش قلیایی، آنزیمی و فراصوت مشاهده نکردند؛ اما میزان فیبر کل و فیبر محلول در روش آنزیمی بیش‌تر از دو روش دیگر بود. کم‌ترین بازدهی کل و کم‌ترین بازدهی فیبر محلول نیز به ترتیب مربوط به روش فراصوت و روش قلیایی بود [۲۷]. تفاوت در شرایط استخراج و ساختار ماده‌ی فیبری می‌تواند دلیل نتایج متفاوت در پژوهش‌های مختلف باشد.

۲.۳. ترکیب شیمیایی

ترکیب شیمیایی و میزان خلوص فیبرهای محلول و نامحلول حاصل از کنجاله زیتون چربی‌زدایی شده در جدول (۱) گردآوری شده است.

محتوای رطوبت جزء محلول بیش‌تر از نامحلول بود. در بخش نامحلول کم‌ترین میزان رطوبت در نمونه‌ی استخراج‌شده به کمک امواج فراصوت ثبت شد که این تفاوت با گروه آنزیمی و گروه قلیایی در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. در مورد فیبر محلول هیچ تفاوت معنی‌داری بین میزان رطوبت فیبرهای استخراج‌شده توسط روش‌های مختلف دیده نشد (P> ۰/۰۵). Tang و همکاران (۲۰۲۰) نیز میزان رطوبت در فیبر استخراج‌شده به روش آنزیمی را بیش‌تر از فیبر استخراج‌شده به روش قلیایی دانستند. همچنین این محققین نشان دادند که استفاده از پیش‌تیمار نیروی برشی و فراصوت پیش از استخراج آنزیمی نیر منجر به کاهش رطوبت در فیبر می‌شود که می‌تواند ناشی از تغییر ساختار فیبر و کاهش خلل و فرج‌ها در اثر اعمال نیرو باشد [۱۰، ۱۴]. Wang و همکاران (۲۰۲۱) نیز رطوبت فیبر محلول حاصل از پوست کیوی را بیش‌تر از فیبر نامحلول بیان کردند. در مورد تأثیر روش‌های مختلف استخراج (اسیدی، قلیایی و آنزیمی) گزارش کردند که کم‌ترین و بیش‌ترین میزان رطوبت به ترتیب در فیبر محلول استخراج شده به روش قلیایی (۳/۴۸٪) و اسیدی (۴/۹۵٪) به دست آمد. احتمالاً در پژوهش این نویسندگان تخریب ساختار فیبر پس از استخراج قلیایی بیش از استخراج اسیدی بوده است. برخلاف نتایج پژوهش پیشین wang و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که بیش‌ترین رطوبت فیبر نامحلول در روش قلیایی و کم‌ترین آن در روش آنزیمی مشاهده شد [۱۹]. ساختار نهایی فیبر و میزان خلل و فرج آن نقش مهمی در جذب رطوبت دارد و همین امر می‌تواند دلیل نتایج متفاوت پژوهش‌های مختلف باشد [۳۱].

محتوای خاکستر فیبر نامحلول حدود ۱۰ برابر میزان خاکستر فیبر محلول بود. اما در مورد تأثیر روش استخراج بر

میزان خاکستر تفاوت معنی‌داری بین روش‌های مختلف دیده نشد (P < ۰/۰۵). در این راستا Tang و همکاران (۲۰۲۰) تأثیر روش استخراج (قلیایی، آنزیمی، فراصوت و نیروی برشی) را بر میزان خاکستر فیبر استخراج‌شده از بامبو بدون اثر معنی‌دار گزارش کردند [۱۰]. Wang و همکاران (۲۰۲۱) نیز خاکستر فیبر محلول پوست کیوی را بیش‌ترین خاکستر در بخش نامحلول گزارش کردند. برخلاف نتیجه پژوهش حاضر Wang و همکاران (۲۰۲۱) تأثیر روش‌های مختلف استخراج را بر میزان خاکستر فیبر معنی‌دار گزارش کردند. آنها کم‌ترین میزان خاکستر را در فیبر حاصل از روش قلیایی به دست آوردند که تفاوت آن با روش اسیدی و آنزیمی معنی‌دار بود، اما تفاوت دو روش اسیدی و آنزیمی معنی‌دار گزارش نشد. در بخش نامحلول نیز تفاوت میزان خاکستر فیبر حاصل از روش آنزیمی (۳/۹۲٪) با دو روش اسیدی (۳/۹۶٪) و قلیایی (۳/۵۸٪) معنی‌دار نبود [۱۹].

میزان پروتئین فیبر محلول کم‌تر از فیبر نامحلول است. در مورد تأثیر روش استخراج بر میزان پروتئین فیبر، نتایج نشان داد که کم‌ترین میزان پروتئین (در فیبر محلول و نامحلول) مربوط به روش آنزیمی است که تفاوت این روش با سایر روش‌ها معنی‌دار بود (جدول ۱). در مورد فیبر نامحلول بیش‌ترین میزان پروتئین مربوط به فیبر حاصل از روش فراصوت و روش اسیدی بود؛ اما در مورد فیبر محلول بیش‌ترین میزان پروتئین در فیبر حاصل از روش قلیایی و اسیدی ثبت شد. Milošević و همکاران (۲۰۲۲) نیز در مقایسه میزان پروتئین فیبر پکتینی استخراج شده به روش اسیدی و آنزیمی دریافتند که میزان پروتئین در فیبر استخراج‌شده به روش آنزیمی (۱/۱٪) کم‌تر از فیبر حاصل از روش اسیدی (۲/۱٪) است. همچنین زمانی که از پیش‌تیمار نیروی برشی پیش از استخراج به کمک آنزیم استفاده شد، میزان پروتئین کم‌تر از زمانی بود که از پیش‌تیمار فراصوت بهره گرفته شد. همچنین این متخصصین پیش تیمار فراصوت و نیروی برشی پیش از استخراج آنزیمی را در بهبود عملکرد استخراج و افزایش خلوص فیبر مؤثر دانستند [۳۲]؛ اما Tang و همکاران (۲۰۲۲) کم‌ترین میزان پروتئین را فیبر استخراج‌شده به روش قلیایی گزارش کردند. آنها زمان طولانی استخراج و تجزیه پروتئین در pH بالا را دلیل این امر عنوان کردند [۱۰]. پروتئین فیبر استخراج شده از دانه کتان به روش قلیایی نیز بیش‌تر از روش آنزیمی بود. ترکیب روش آنزیمی و فراصوت نیز موجب بهبود خلوص و کاهش محتوای پروتئین شد [۶]. در پژوهش Wang و همکاران (۲۰۲۱) نتایج نشان داد که بخش نامحلول پروتئین بیش‌تری را شامل شده و تفاوت بین پروتئین روش آنزیمی (۳/۲۳٪) با روش اسیدی (۳/۵۰٪) و قلیایی (۲/۹۹٪) معنی‌دار نبود. در بخش محلول نیز هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر کم‌ترین میزان پروتئین در فیبر حاصل از روش آنزیمی دیده شد در حالی که بیش‌ترین پروتئین در روش اسیدی (۳/۹۰) مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با میزان پروتئین فیبر حاصل از روش آنزیمی (۱/۸۳٪) و روش قلیایی (۲/۱۹٪) داشت [۳۳].

در مورد خلوص فیبرها، نتایج نشان داد که فیبر محلول خالص‌تر از نوع نامحلول است، با این حال روش استخراج تأثیری بر میزان خلوص ندارد. با این‌که میزان خاکستر و پروتئین فیبر تهیه‌شده از روش آنزیمی کم‌تر از روش‌های دیگر بود، اما به دلیل محتوای رطوبتی بیش‌تر این فیبر، عملاً تفاوت خلوص این فیبر با سایر فیبرها معنی‌دار نشد. اگر در این معادله رطوبت حذف شود می‌توان گفت که میزان خلوص فیبر حاصل از روش آنزیمی کمی بیش‌تر از سایر روش‌هاست. Wang و همکاران (۲۰۲۱) نیز خلوص فیبر نامحلول و محلول استخراج‌شده به روش اسیدی، آنزیمی و قلیایی را مقدار بالایی (بیش از ۸۶/۷۷٪) برآورد کردند. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار خلوص مربوط به فیبر محلول استخراج‌شده به روش قلیایی (۹۱/۹۹٪) و اسیدی (۸۶/۷۷٪) بود. در بخش فیبر محلول نیز بیش‌ترین خلوص مربوط به فیبر حاصل از روش آنزیمی (۸۹/۳۴٪) بود که تفاوت بین روش‌های مختلف در سطح ۵٪ معنی‌دار بود؛ اما در مورد خلوص فیبر نامحلول این ارقام بین ۸۷/۶۷٪ (روش قلیایی)-۸۸/۳۱٪ (فیبر آنزیمی) بود و تفاوت بین نمونه‌ها نیز همانند پژوهش حاضر معنی‌دار نبود [۱۹].

جدول (۱) اثر روش استخراج بر بازدهی و ترکیب شیمیایی فیبر رژیمی حاصل از پودر کنجاله روغن زیتون

Table 1. The effect of extraction methods on the yields and chemical compositions (g/100 g Dry base) of dietary fiber from defatted olive-oil pomace flour

parameter	Fiber type	Fiber extraction method			
		Acidic	enzymatic	Alkaline	Ultrasounic
Yield	IDF	64.99±0.23^B	70.44±0.47^A	64.67±0.22^B	62.48±0.31^C
	SDF	15.60±0.50^C	21.68±0.15^A	16.45±0.24^B	12.32±0.13^D
	TDF	80.60±0.56^B	92.12±0.51^A	81.12±0.22^B	74.79±0.39^C
	SDF/IDF	0.24±0.008^C	0.31±0.003^A	0.25±0.004^B	0.20±0.002^D
	SDF/TDF	0.19±0.005^C	0.24±0.002^A	0.20±0.003^B	0.16±0.001^D
Moisture	IDF	3.24±0.14^AB	3.34±0.12^A	3.35±0.09^A	3.01±0.06^B
Protein		3.47± 0.03^A	3.19±0.04^C	3.29±0.03^B	3.48±0.03^A
Ash		5.14±0.18^A	5.38±0.16^A	5.25±0.19^A	5.21±0.09^A
Purity		88.15±0.28 ^A	88.09±0.23 ^A	88.10±0.26 ^A	88.30±0.13 ^A
Moisture	SDF	5.17±0.06^A	5.55±0.06^A	5.26±0.04^A	5.37±0.49^A
Protein		2.30±0.06^A	2.13±0.05^B	2.39±0.04^A	2.16±0.03^B
Ash		0.64±0.06 ^A	0.46±0.06 ^A	0.63±0.03 ^A	0.55±0.08 ^A
Purity		91.89±0.05^A	91.86±0.17^A	91.71±0.10^A	91.92±0.53^A

All data are presented in the manner of means ± SD (n = 3). The diverse letters in the row indicate significant difference (*P* < 0.05). IDF: insoluble dietary fiber; SDF: soluble dietary fiber; TDF: total dietary fiber.

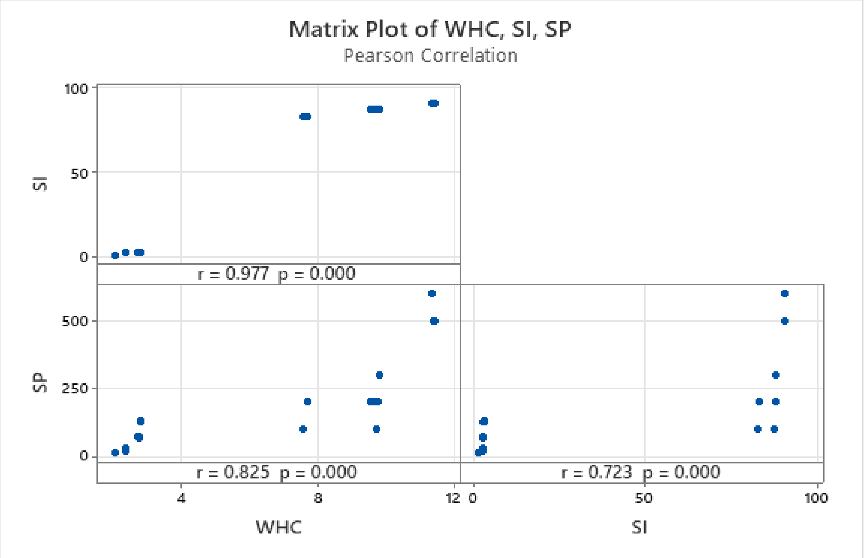
همه داده ها به شکل میانگین± انحراف از استاندارد (n = ۳) گزارش شده است. حروف متفاوت در هر ردیف نشان از تفاوت معنی‌دار بین تیمارها دارد (P < ۰/۰۵).

IDF: فیبر رژیمی نامحلول؛ SDF: فیبر رژیمی محلول، TDF: فیبر رژیمی کل.

۳.۳. ویژگی‌های آبپوشی

ظرفیت نگهداری آب (WHC): همان‌طور که از جدول (۲) مشخص است، ظرفیت نگهداری آب قسمت محلول ($g\ g^{-1}$ ۷/۶۸ تا ۱۱/۴۳) بیش‌تر از قسمت نامحلول ($g\ g^{-1}$ ۲/۰۹ تا ۲/۸۱) بود که این امر به دلیل توانایی جذب آب بالای پلی‌ساکاریدهای محلول همچون زایلان و پکتین است در حالی که غالب بخش نامحلول را لیگنین و سلولز تشکیل می‌دهد [۱۱]. مقدار فیبر به دست آمده با مقادیر گزارش‌شده برای فیبر حاصل از پوست انبه و انار (برای فیبر خام: $g\ g^{-1}$ ۴/۳۵- ۵/۳۸ و برای فیبر محلول: $g\ g^{-1}$ ۷/۲۵-۱۰/۸۵) [۳۴]، هویج (فیبر کل: $g\ g^{-1}$ ۷-۴) [۳۵] و فیبر بامبو ($g\ g^{-1}$ ۶-۹) [۳۵] قابل مقایسه است. دلیل تفاوت در میزان جذب تفاله‌های حاصل از منابع غذایی و کشاورزی مختلف می‌تواند ناشی از میزان فیبر کل، درصد فیبر محلول و نامحلول، میزان خلل و فرج و ساختار فیبر مرتبط باشد. نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که روش استخراج به‌طور معنی‌داری بر میزان جذب آب مؤثر است. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان جذب آب در فیبر (محلول و نامحلول) حاصل از استخراج آنزیمی و استخراج به کمک انرژی فراصوت به دست آمد (P < ۰/۰۵). روش آنزیمی عموماً آسیب کمی را به ساختار فیبر وارد می‌کند و احتمالاً خلل و فرج این فیبر بیش‌تر از سایر فیبرهاست و به همین دلیل توانایی جذب آب بیش‌تری را داشته است [۳۱]. همچنین شکستن پیوند سلولز و همی‌سلولز توسط سلولاز در بهبود ظرفیت نگهداری آب مؤثر است [۱۱]. تیمار اسیدی و بازی نیز تا حدودی موجب تخریب ساختار فیبرها می‌شود و باعث کاهش ظرفیت نگهداری آب این فیبرها نسبت به نمونه‌ی حاصل از استخراج آنزیمی می‌شود. در راستای نتایج پژوهش حاضر، Sun و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش کردند که استفاده از تیمار فراصوت می‌تواند ساختار سه بعدی فیبرهای رژیمی را تغییر دهد و مقدار زنجیره‌های کوچک و سطح فیبر را تغییر داده و موجب کاهش ظرفیت جذب آب می‌شود [۱۴]. آب در محل‌های آبدوست فیبر و در فضاهای خالی در ساختار مولکولی نگهداری می‌شود. با این حال، حفره‌های داخل ماتریس فیبر می‌تواند منقبض شده و محل‌های اتصال آب را مسدود کنند، بنابراین ظرفیت نگهداری آب به شدت کاهش می‌یابد [۳۶]. با این حال Ding و همکاران (۲۰۲۰) به این نتیجه رسیدند که ظرفیت نگهداری فیبر محلول حاصل از روش فراصوت بالاتر از روش قلیایی است. آنها انرژی فراصوت را مسبب ایجاد خلل و فرج در ساختار فیبر پسماند نوعی جلبک دریایی معرفی کردند. ظرفیت نگهداری بخش محلول

این فیبر تنها ۱۳۱٪ بود که کم‌تر از چیزی بود که در پژوهش حاضر گزارش شده است [۳۰].



WHC: Water holding capacity; SP: swelling power; SI: Soloublity index; r= Pearson correlation coefficient; p< 0.001 shows very significant correlation between two certain variables

WHC: توانایی نگهداری آب؛ SP: قدرت تورم؛ SI: شاخص حلالیت؛ r: ضریب همبستگی پیرسون؛ P < ۰/۰۱ نشان‌دهنده همبستگی معنی‌دار بین دو متغیر است.

شکل (۱) ضریب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های آب‌پوشانی فیبر رژیمی حاصل از پودر کنجاله روغن زیتون

Fig 1. Pearson correlation between hydration properties of dietary fiber from defatted olive-oil pomace flour

قدرت تورم و شاخص حلالیت: قدرت تورم عبارت است از میزان جذب آب فیبر و شاخص حلالیت نشان‌دهنده درجه انحلال فیبر در طول فرایند تورم است [۳۷]. بنابراین، وجود رابطه‌ی مستقیم بین این سه پارامتر مورد انتظار است. وجود این رابطه در شکل (۱) نمایش داده شده است. همان‌طور که مشخص است قدرت تورم و شاخص حلالیت و ظرفیت نگهداری آب فیبر حاصل از پسماند زیتون همبستگی مثبت و معنی‌داری با یکدیگر نشان می‌دهند (P < ۰/۰۵; ۰/۹۷۷ – r=۰/۷۲۳) با یکدیگر داشتند. به این ترتیب قدرت تورم و حلالیت مناسب فیبر حاصل از روش استخراج آنزیمی به علت جذب آب بیش‌تر این فیبر است که این امر خود ناشی از ساختار داخلی ویژه این فیبر بوده که جذب آب را تسهیل کرده است (Correia et al., 2021). ضمن اینکه میزان فیبر بیش‌تر (مجموع فیبر محلول و نامحلول) سطح بیش‌تری را برای آب اطراف فراهم می‌کند که منجر به افزایش حجم تورم می‌شود. همچنین تشکیل ساختار مویرگی در حفره‌های ماتریس فیبر می‌تواند به در دام افتادن آب کمک کند. کم ترین حلالیت و قدرت تورم برای فیبر حاصل از روش فراصوت به دست آمد. پاره شدن شبکه سلولی در اثر تیمار فراصوت می‌تواند یک دلیل برای این امر باشد [۵]. بنابراین ویژگی‌های ساختاری، نسبت فیبر محلول به نامحلول، میزان تخریب مولکول‌های بزرگ و تبدیل آن به مولکول‌های با وزن کم می‌تواند برجذب آب و در نهایت قدرت تورم و حلالیت فیبر مؤثر باشد [۳۸].

با توجه به این‌که بیش‌ترین بازدهی فیبر محلول در استخراج آنزیمی حاصل شد و خواص آب‌پوشی این فیبر نیز برتر از سایر فیبرهای استخراج شده از کنجاله زیتون بود. در مرحله دوم پژوهش فیبر محلول حاصل از روش آنزیمی در چهار سطح صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵٪ جایگزین آرد نانوایی شد و ویژگی-های رئولوژیکی خمیر (ویژگی‌های فارینوگرافی و کشش‌پذیری) مورد بررسی قرار گرفت.

جدول (۲) اثر روش استخراج بر ویژگی‌های آب‌پوشانی فیبر رژیمی حاصل از پودر کنجاله روغن زیتون

Table 2. The effect of extraction methods on the hydration properties of dietary fiber from defatted olive-oil pomace flour

parameter	Fiber type	Fiber extraction method			
		Acidic	enzymatic	Alkalic	Ultrasounic
WHC (g g^{-1})	IDF	2.39±0.01^{b}	2.81±0.02^{a}	2.75±0.03^{a}	2.09±0.01^{c}
SI (%)		2.79± 0.03^{b}	3.18±0.18^{a}	3.00±0.09^{ab}	1.57±0.15^{c}
SP (mL 100g^{-1})		25.00± 5.00 ^{c}	126.67±2.89^{a}	68.33±2.89^{b}	11.67±2.89 ^{d}
WHC (g g^{-1})	SDF	9.64±0.08^{b}	11.43±0.05^{a}	9.79±0.02^{b}	7.68±0.07^{c}
SI (%)		87.71±0.11^{b}	90.82±0.04^{a}	87.80±0.07^{b}	82.95±0.06^{c}
SP (mL 100 g^{-1})		166.70±47.71 ^{b}	533.33±54.18 ^{a}	266.77±53.55 ^{b}	166.75±57.73 ^{b}

All data are presented in the manner of means ± SD (n = 3). The diverse small letters in the row indicate significant difference ($P < 0.05$).
IDF: insoluble dietary fiber; SDF: soluble dietary fiber; TDF: total dietary fiber.

همه داده ها به شکل میانگین± انحراف از استاندارد (n = ۳) گزارش شده است. حروف کوچک متفاوت در هر ردیف نشان از تفاوت معنی‌دار بین تیمارها دارد (P ۰/۰۵ >). IDF: فیبر رژیمی نامحلول؛ SDF: فیبر رژیمی محلول، TDF: فیبر رژیمی کل.

۴.۳. ویژگی‌های فارینوگرافی

تجزیه‌وتحلیل منحنی‌های فارینوگراف می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را در مورد خواص مکانیکی خمیر و کیفیت نهایی محصول ارائه کند. جدول (۳) اثر افزودن فیبر تفاله زیتون بر جذب آب و ویژگی‌های اختلاط خمیر را ارائه می‌دهد. جذب آب عبارت است از میزان آبی که برای تهیه یک خمیر با قوام مطلوب مورد نیاز است [۳۹]. همانطور که مشخص است، میزان جذب آب با افزایش مقدار فیبر از ۶۳/۷۳٪ به ۶۸/۶۳٪ رسید (P < ۰/۰۵). پیش‌تر نیز در پژوهش‌های مختلف به اثر افزودن منابع فیبری مختلف در افزایش میزان جذب رطوبت آرد اشاره شده است [۴۰،۴۱،۴۲،۴۳]. افزایش فیبر غذایی در فرمولاسیون خمیر می‌تواند موجب افزایش جذب رطوبت شود. این امر به تعداد زیاد گروه‌های هیدروکسیل در ساختار فیبر غذایی نسبت داده می‌شود. گروه‌های هیدروکسیلی فیبر با مولکول‌های آب پیوند هیدروژنی برقرار کرده و ظرفیت جذب آب خمیر را افزایش می‌دهند. به طور کلی جذب آب بالای خمیر موجب عملکرد خوب پخت می‌شود [۴۴]. برخلاف نتایج پژوهش حاضر، Gunathilake و همکاران (۲۰۰۹)، گزارش کردند که زمانی که آرد نارگیل غنی از فیبر به آرد اضافه می‌شود موجب کاهش ظرفیت نگهداری آب خمیر می‌شود [۴۵]. آرد نارگیل به شکل خام و غنی از فیبر بود و عملاً جداسازی فیبر صورت نگرفته بود، بنابراین علاوه بر فیبر این آرد مواد دیگری را نیز شامل شده که می‌تواند روی جذب آب در خمیر تأثیر داشته باشد.

زمان توسعه خمیر و زمان پایداری خمیر شاخص‌های قدرت آرد هستند، هر چه این مقادیر بیش‌تر باشد خمیر قوی‌تر است [۳۳]. زمان توسعه خمیر زمان مورد نیاز برای توسعه شبکه گلوتن و منعکس‌کننده افزایش قوام خمیر است. تشکیل شبکه گلوتن می‌تواند تحت تأثیر اختلاط مکانیکی، در دسترس بودن آب و مقدار پروتئین قرار گیرد [۳۹]. همانطور که در جدول (۳) نشان داده شده است، با افزایش درصد جایگزینی فیبر تفاله زیتون با آرد در خمیر، شاهد یک روند نوسانی در زمان توسعه خمیر هستیم؛ اما به‌طور کلی افزایش مقدار فیبر تا ده درصد موجب افزایش زمان توسعه خمیر شد اما بعد از این مقدار تأثیر معنی‌داری مشاهده نشد و حتی زمان توسعه خمیر کاهش یافت. رقابت فیبر و گلوتن برای جذب آب، می‌تواند باعث ایجاد پدیده کم‌آبی ماتریس گلوتن در طول فرآیند اختلاط، مقاومت در برابر مخلوط شدن و درنتیجه، کشسانی کم‌تر شبکه گلوتن شود [۴۴]. به این ترتیب با افزودن فیبر زمان توسعه خمیر افزایش می‌یابد [۴۱]. کاهش زمان توسعه در مقادیر بالای فیبر را نیز می‌توان به رقیق شدن گلوتن نسبت [۴۰]. وجود چنین نوساناتی در زمان توسعه خمیر به دنبال افزودن مقادیر مختلف از منابع فیبری پیش‌تر نیز گزارش شده است [۴۱،۴۲،۴۶،۴۷]. با این حال برخی پژوهشگران نیز افزودن ترکیبات غنی از فیبر را بر شاخص زمان توسعه خمیر فاقد اثر معنی‌دار گزارش کردند [۳۳،۴۰،۴۸].

پایداری خمیر نشان‌دهنده مقاومت خمیر در برابر فرایند است. زمان پایداری کم به معنی کاهش مقاومت خمیر در برابر فرایند و کوتاه شدن زمان تخمیر است. مقاومت و

توسعه خمیر موازی با هم پیش می‌روند [۳۹]. افزودن فیبر کنجاله روغن زیتون تا غلظت ۱۰٪ موجب افزایش زمان پایداری min ۴/۳۷ به ۱۲/۴۳ شد. اما افزایش بیش‌تر فیبر، تأثیر معنی‌داری بر زمان پایداری خمیر نداشت. این نتایج در راستای یافته‌های برخی از پژوهش‌های پیشین است [۴۹،۵۰]. در غلظت‌های بالای فیبر، این ترکیب با گلوتن وارد رقابت می‌شود و از هیدراتاسیون کامل پروتئین جلوگیری می‌کند، درنتیجه تشکیل ماتریس مناسب گلوتن را مختل می‌کند. به عبارتی پایداری خمیر می‌تواند با میزان گلوتن رابطه مستقیم داشته باشد و رقت گلوتن در غلظت‌های بالای فیبر می‌تواند دلیلی بر کاهش زمان پایداری خمیر باشد [۵۱،۵۲]. برخلاف نتایج حاصل افزودن پودر پسماند گیاه بادرشبو (تا ۱۲٪) [۴۰] و پودر برگ‌چغندر [۴۱] به خمیر نان موجب کاهش زمان پایداری شد. اختلال در پیوند بین‌مولکولی پروتئین‌های گلوتن خمیر و تضعیف شبکه گلوتن درنتیجه افزودن این منابعی فیبر می‌تواند دلیل این روند کاهشی باشد [۴۱]. در این راستا Nawrocka و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش کردند که غنی‌سازی خمیر گندم با فیبر حاصل از جو دو سر موجب افزایش پایداری خمیر از min ۳ به ۸ می‌شود در حالی که منابع فیبری دیگر (سیب-کرنبری، کاکائو و خرنوب) موجب افزایش زمان پایداری خمیر شدند [۴۸]؛ بنابراین نوع فیبر، درصد فیبر، ساختار شیمیایی آن و ترکیبات همراه فیبر به‌ویژه نوع و مقدار پروتئین می‌تواند بر عملکرد آن مؤثر باشد. برای مثال برخی منابع فیبری غنی از ترکیبات فنولی هستند. ترکیبات فنولی نه تنها بر واکنش‌های اکسیداتیو پروتئین‌های غذا تأثیر می‌گذارند، بلکه گروه هیدروکسیل این ترکیبات می‌توانند مستقیماً با پروتئین‌های آرد پیوند غیرکووالانسی یا کووالانسی برقرار کرده و بر کیفیت و خواص عملکردی ماده‌ی غذایی تأثیر بگذارد [۴۲،۵۳]. بنابراین ترکیبات فنولی موجود در برخی منابع فیبری نیز می‌توانند دلیل پایداری بیش‌تر خمیر حاصل از جایگزینی این منابع فیبری با آرد باشند.

بالا بودن شاخص نرم شدگی به معنی کیفیت پایین گلوتن است. در مقابل میزان جذب آب بالا همراه با درجه نرم شدن کم مطلوب و نشان دهنده خمیر با تحمل خوب در برابر اختلاط است [۵۴]. در این مطالعه با افزایش فیبر میزان نرم شدن از BU ۶۰/۶۷ به ۲۲/۴۳ رسید. Anil (۲۰۰۷) نیز گزارش کرد که افزایش فیبر فندق موجب کاهش درجه نرم شدگی خمیر از BU ۷۸ به ۲۸ می‌شود. آنها این امر را ناشی از مقدار ترکیبات فنولی بیش‌تر دانستند. [۵۰]. افزودن فیبر جو دو سر نیز با کاهش درجه نرمی و افزایش زمان پایداری خمیر باعث بهبود شرایط مخلوط کردن خمیر شد [۴۸]. کاهش درجه نرم شدن خمیر ممکن است به دلیل رقیق شدن گلوتن ناشی از جایگزینی آرد گندم با مواد غیرگلوتن باشد [۴۰]. در مقابل Ekinci و Gökbulut (۲۰۲۰) نیز شاخص نرم شوندگی آرد قرمز (سبوس‌دار) را بیش‌تر از آرد سفید اعلام کردند [۳۹]. همچنین افزودن فیبر خرنوب نیز باعث افزایش درجه نرم شدن خمیر شد [۴۸].

FQN (شماره کیفیت فارینوگراف) معیاری برای سنجش توانایی خمیر برای حفظ ساختار خود در طول فرایند اختلاط است [۵۵]. در مطالعه حاضر با افزایش میزان فیبر میزان FQN نیز به طور معنی‌داری افزایش یافته است. در حالی که در مطالعه Zarzycki و همکاران (۲۰۲۲) این شاخص نوساناتی را نشان داد، به طوری که افزودن مقدار ۳ و ۶٪ کنجاله دانه بادرشبو غنی از فیبر موجب افزایش شاخص FQN بود و بعد از آن کاهش این عدد حتی به زیر مقدار نمونه شاهد گزارش شد [۴۰]. افزودن ۵٪ تفاله انگور باعث دو برابر شدن مقدار FQN شد. اما افزودن ۱۰٪ این پودر مقدار FQN را کاهش داد و در نهایت غلظت ۱۵ ٪ آرد این شاخص را به کم‌تر از نمونه شاهد رساند [۴۹]. بنابراین میزان افزودن فیبرها، ترکیبات همراه فیبر (مانند پلی‌فنول‌ها، پروتئین و مواد معدنی) می‌تواند موجب بهبود فعالیت آلفا آمیلاز شده و خواص رئولوژیکی را بهبود ببخشد [۴۲].

جدول (۳) ویژگی‌های فارینوگرافی خمیر غنی شده با مقادیر مختلف فیبر رژیمی حاصل از پودر کنجاله روغن زیتون

Table 3. The farinograph properties of the doughs supplemented with different amounts of dietary fiber from defatted olive-oil pomace flour

Farinograph factor	**Fiber level**			
	0	**5%**	**10%**	**15%**
Water absorption rate (%)	63.73± 0.32[c]	65.40 ± 0.57[b]	66.31 ± 0.43[b]	68.63 ± 0.64[a]
Dough Development Time (min)	3.63 ± 0.15[bc]	3.31 ± 0.10[c]	4.56 ± 0.42[a]	4.03 ± 0.15[ab]
Stability (min)	4.37 ± 0.16[b]	3.73 ± 0.31[c]	12.43 ± 0.21[a]	12.27 ± 0.15[a]
Softening Degree (BU)	60.67 ± 4.34[a]	55.83 ± 1.62[a]	31.47 ± 1.94[b]	22.43 ± 1.12[c]
Flourgraph quality number (FQN)	48.10 ± 1.95[b]	55.57 ± 2.40[b]	82.67 ± 4.73[a]	77.67 ± 2.52[a]

All data are presented in the manner of means ± SD (n = 3). The diverse small letters in the row indicate significant difference ($P < 0.05$).

همه داده ها به شکل میانگین± انحراف از استاندارد (n = ۳) گزارش شده است. حروف کوچک متفاوت در هر ردیف نشان از تفاوت معنی‌دار بین تیمارها دارد (P ۰/۰۵ >). IDF: فیبر رژیمی نامحلول؛ SDF: فیبر رژیمی محلول، TDF: فیبر رژیمی کل.

۵.۳. ویژگی‌های اکستنسوگرافی

نمودار اکستنسوگراف به‌منظور تعیین مقاومت به کشش خمیر مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۴). مقاومت به کشش و کشش‌پذیری، قابلیت فرایند آرد را نشان می‌دهد. توانایی خمیر برای حفظ گاز دی‌اکسید کربن طی تخمیر با توانایی رشد آن و مقاومت به کشش در ارتباط است. وقتی مقاومت به کشش زیاد باشد حجم نان افزایش می‌یابد [۳۹]. از نظر مقاومت به کشش در زمان ۴۵ min تنها جایگزینی آرد با ۱۵٪ فیبر موجب افزایش معنی‌دار این فاکتور شد در حالی که در ۹۰ min و ۱۳۵ min تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌ها وجود نداشت. از نظر روند تغییرات این شاخص نیز در تمام زمان‌های استراحت روند نوسانی بود. کم‌ترین میزان مقاومت به کشش زمانی بود که از مقدار فیبر ۵٪ و بیش‌ترین آن در سطح ۱۵٪ فیبر مشاهده شد. در این راستا Ekinci و Gökbulut (۲۰۲۰) نیز افزودن سبوس به آرد را موجب افزایش مقاومت به کشش عنوان کردند [۳۹]. افزودن برگ چغندر قند نیز مقاومت به کشش را از ۱۲۵ BU به ۳۲۰ رساند [۴۱]. با این حال Bolek و همکاران (۲۰۲۰) افزودن ۵ تا ۱۵٪ پودر هسته زیتون به خمیر بیسکویت را موجب کاهش معنی‌دار مقاومت به کشش این خمیر عنوان کردند [۴۳].

کشش‌پذیری بالا نیز به معنی حفظ بهتر گاز و مقاومت به تخمیر است. خمیری با کشش‌پذیری بالا نان حجیم‌تری را ارائه می‌کند[۳۹]. بررسی اثر جایگزینی آرد با فیبر کنجاله زیتون بر میزان کشش (الاستیسیته) خمیر نیز نشان داد که در زمان استراحت ۴۵ min، میزان کششی خمیر با افزودن ۵٪ فیبر به طور معنی‌داری افزایش یافت در حالی که افزودن ۱۰٪ فیبر این شاخص را به کم‌تر از مقدار شاهد رساند و کشش‌پذیری نمونه‌ی حاوی ۱۵٪ فیبر محلول تفاله زیتون، اگرچه بیشتر از نمونه شاهد بود اما تفاوت معنی‌داری با آن نداشت. در زمان استراحت ۹۰ min افزودن غلظت ۱۵٪ موجب کاهش معنی‌دار این شاخص شد در حالی که در سایر غلظت‌ها تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد مشاهده نشد و یک روند نوسانی قابل مشاهده بود. در زمان استراحت ۱۳۵ min نیز هیچ تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌ها دیده نشد با این حال در نمونه حاوی ۱۵٪ فیبر کم‌ترین مقدار کشش خمیر مشاهده شد انعطاف‌پذیری خمیر بین ۹۰ min و ۱۳۵ استراحت بدون تغییر باقی ماند. افزودن فیبر فندق نیز موجب کاهش معنی‌دار قابلیت کشش خمیر نسبت به نمونه‌ی شاهد شد (در زمان استراحت ۱۳۵ min) [۵۰]. افزودن پودر برگ چغندر نیز میزان کشش خمیر نان را کاهش داد [۴۱]. رقیق شدن گلوتن و فعل‌وانفعالات بین پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌های آرد گندم می‌تواند دلیل این امر باشد [۴۳].

بررسی نتایج نسبت اکستنسوگراف (نسبت مقاومت در برابر کشش به میزان کشش[۱]) نیز نشان داد که در زمان‌های min ۴۵ و ۹۰ تنها غلظت‌های ۱۰٪ و بیش‌تر از فیبر محلول کنجاله زیتون موجب افزایش این شاخص شد. در زمان استراحت ۱۳۵ min تنها تفاوت نمونه‌ی حاوی ۱۵٪ فیبر نسبت به سایر نمونه‌ها معنی‌دار بود. افزودن پودر برگ چغندر نیز میزان این شاخص را افزایش داد [۴۱]. این امر

1. Rate number

ناشی از افزایش مقاومت خمیر و کاهش میزان کشش خمیر درنتیجه سفتی خمیر در مقادیر بالای خمیر دارد.

مقدار شاخص انرژی در جدول کشش‌پذیری (اکستنسوگراف)، مقاومت خمیر در برابر فرایند را نشان می‌دهد. مقدار بالای انرژی به معنی حفظ مقدار گاز بیش‌تر و مقاومت به تخمیر است. همان‌طور که از جدول ۴ مشخص است، در زمان استراحت ۴۵ min تنها افزودن ۱۵٪ فیبر موجب افزایش معنی‌دار این شاخص شد. در ۹۰ min تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌ها نبود با این حال جایگزینی ۵٪ آرد گندم با فیبر کنجاله زیتون موجب کاهش انرژی و حداکثر مقدار انرژی در نمونه حاوی۱۰٪ فیبر ثبت شد. در زمان استراحت ۱۳۵ min عملاً تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌ها دیده نشد. تنها تفاوت بین نمونه حاوی ۱۵٪ (۳۸/۰۰) و ۵٪ معنی‌دار (۲۹/۶۷) بود (P < ۰/۰۵). برخلاف نتایج حاضر Anil (۲۰۰۷) با بررسی اثر افزودن فیبر فندق بر مقدار انرژی (بعد از ۱۳۵ min استراحت) دریافتند که بیش‌ترین مقدار انرژی زمانی است که ۵٪ فیبر فندق استفاده شد. افزایش بیش‌تر فیبر موجب کاهش انرژی شد. کم‌ترین میزان انرژی نیز در نمونه کنترل بود [۵۰]. تفاوت در نتایج را می‌توان به تفاوت در نوع و ساختار فیبر نسبت داد.

جدول (۴) ویژگی‌های کشش‌پذیری خمیر غنی شده با مقادیر مختلف فیبر رژیمی حاصل از پودر کنجاله روغن زیتون

Table 4. The extensograph properties of the doughs supplemented with different amounts of dietary fiber from defatted olive-oil pomace flour

Farinograph factor		Fiber level			
		0	5%	10%	15%
Resistance to Extension (BU)	45	245.3±27.0 ^{bc}	238.0±35.0 ^{bc}	276.3±26.5^{bc}	358.3±38.5^{a}
	90	235.3±17.5 ^{bc}	219.3±19.5 ^{bc}	281.3±29.5^{b}	293.7±16.01^{ab}
	135	229.0±18.0 ^{bc}	203.0±12.53^{c}	242.3±37.6 ^{bc}	272.3±18.5 ^{bc}
Extensibility (mm)	45	98.67±3.51^{bc}	110.33±4.16^{a}	93.00±4.58^{cd}	104.67±5.51^{ab}
	90	96.67±5.51^{bcd}	96.33±1.53^{bcd}	92.00±2.00^{cd}	81.33±2.52^{e}
	135	92.67±2.08^{cd}	95.33±3.51^{bcd}	96.33±3.06^{bcd}	87.00±2.65^{de}
Rate number (P.N)	45	2.50±0.20^{cd}	2.23±0.15^{d}	3.10±0.27^{abc}	3.47±0.29^{a}
	90	2.37±0.12^{d}	2.23±0.21^{d}	3.10±0.36^{abc}	3.57±0.15^{a}
	135	2.57±0.31^{bcd}	2.10±0.30^{d}	2.53±0.06^{bcd}	3.20±0.17^{ab}
Energy (cm^2)	45	39.67±0.56^{bc}	41.00±1.73^{b}	41.00±2.00^{b}	57.67±1.16^{a}
	90	35.67±2.52^{bcd}	32.33±3.51^{cd}	40.33±4.51^{bc}	38.67±2.52^{bc}
	135	34.00±3.61^{bcd}	29.67±3.51^{d}	34.00±3.0^{bcd}	38.00±2.65^{bc}

All data are presented in the manner of means ± SD (n = 3). The diverse small letters for each parameter indicate significant difference ($P < 0.05$).

همه داده ها به شکل میانگین± انحراف از استاندارد (n = ۳) گزارش شده است. حروف کوچک متفاوت در هر ردیف نشان از تفاوت معنی‌دار بین تیمارها دارد (P ۰/۰۵ >). IDF: فیبر رژیمی نامحلول؛ SDF: فیبر رژیمی محلول، TDF: فیبر رژیمی کل.

۴. نتیجه‌گیری

مقایسه روش‌های مختلف استخراج فیبر از پودر کنجاله روغن زیتون نشان داد که بیش‌ترین میزان بازدهی فیبر کل، فیبر محلول و ویژگی‌های آب‌پوشی مربوط به روش استخراج آنزیمی بود. در حالی که ضعیف‌ترین عملکرد نیز مربوط به فیبر استخراج شده به کمک امواج فراصوت بود. با این حال روش استخراج به کمک امواج فراصوت توانست میزان مصرف حلال قلیایی و زمان استخراج را به نصف کاهش دهد که با توجه به این مزیت عملکرد آن نسبت به روش‌های شیمیایی قابل دفاع است؛ اما میزان فیبر محلول استخراج شده توسط روش فراصوت تقریباً نصف فیبر محلول استخراج شده توسط روش آنزیمی است. ولی روش آنزیمی بیش از دو برابر روش شیمیایی زمان‌بر بوده است. همین امر می‌تواند کاربرد این روش در صنعت را با چالش مواجه سازد. استفاده از سایر روش‌های سبز در کنار استخراج آنزیمی به‌منظور افزایش سرعت استخراج می‌تواند مسیر استفاده از این روش در صنعت را هموار سازد که می‌تواند موضوعی برای پژوهش‌های آینده باشد. بررسی میزان جایگزینی آرد گندم با فیبر محلول حاصل از روش آنزیمی نیز نشان داد که ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر حاوی ۱۰٪ فیبر محلول کنجاله زیتون قابل

قبول است و این خمیر می‌تواند انتظار یک نان با کیفیت و با ارزش غذایی بالاتر را برآورده سازد. مطالعات بیش‌تری به‌منظور بهینه‌سازی فرمولاسیون نان برای امکان استفاده بیش‌تر از فیبر همچنان مورد نیاز است. ضمن اینکه بررسی اثر فیبر کامل کنجاله زیتون استخراج شده به روش‌های مختلف بر ویژگی‌های تغذیه‌ای و عملکردی مواد غذایی، استفاده از همزمان از فیبر در کنار ترکیبات جایگزین چربی برای بهبود خواص محصولات نانوایی و استفاده از فیبر کنجاله زیتون برای تولید محصولات بدون گلوتن از موضوعات قابل پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از کارکنان مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس که ما را در انجام و ارتقای کیفی این پژوهش یاری دادند، اعلام کنند.

منابع

[1] Speroni, C. S., Bender, A.B.B., Stiebe, J., Ballus, C. A., Ávila, P. F., Goldbeck, R., Morisso, F. D. P., da Silva, L. P., & Emanuelli, T. (2020). Granulometric fractionation and micronization: A process for increasing soluble dietary fiber content and improving technological and functional properties of olive pomace. *LWT., 130*, 109526.

[2] Dermeche, S., Nadour, M., Larroche, C., Moulti-Mati, F., & Michaud, P. (2013). Olive mill wastes: Biochemical characterizations and valorization strategies. *Process Biochem., 48*(10), 1532-1552.

[3] Nunes, L., Matias, J., & Catalão, J. (2016). Biomass combustion systems, A review on the physical and chemical properties of the ashes. *Renew. Sustain. Energy Rev., 53*, 235-242.

[4] Ötles, S., & Ozgoz, S. (2014). Health effects of dietary fiber. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment., 13*(2), 191-202.

[5] Sezer, D. B., Ahmed, J., Sumnu, G., & Sahin, S. (2021). Green processing of sour cherry (*Prunus cerasus* L.) pomace, process optimization for the modification of dietary fibers and property measurements. *J. Food Meas. Charact., 15*(4), 3015-3025.

[6] Moczkowska, M., Karp, S., Niu, Y., & Kurek, M. A. (2019). Enzymatic, enzymatic-ultrasonic and alkaline extraction of soluble dietary fibre from flaxseed–A physicochemical approach. *Food Hydrocoll., 90*, 105-112.

[7] Chawla, R., & Patil, G. (2010). Soluble dietary fiber. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf., 9*(2), 178-196.

[8] Du, X., Wang, L., Huang, X., Jing, H., Ye, X., Gao, W., Bai, X., & Wang, H. (2021). Effects of different extraction methods on structure and properties of soluble dietary fiber from defatted coconut flour. *LWT., 143*, 111031.

[9] Surampudi, P., Enkhmaa, B., Anuurad, E., & Berglund, L. (2016). Lipid lowering with soluble dietary fiber. *Curr. Atheroscler. Rep., 18*(12), 1-13.

[10] Tang, C., Wu, L., Zhang, F., Kan, J., & Zheng, J. (2022). Comparison of different extraction methods on the physicochemical, structural properties, and in vitro hypoglycemic activity of bamboo shoot dietary fibers. *Food Chem., 386*, 132642.

[11] Difonzo, G., Troilo, M., Squeo, G., Pasqualone, A., & Caponio, F. (2021). Functional compounds from olive pomace to obtain high- added value foods–a review. *J. Sci Food Agric., 101*(1), 15-26.

[12] Tejada-Ortigoza, V., Garcia-Amezquita, L. E., Serna-Saldívar, S. O., & Welti-Chanes, J. (2016). Advances in the functional characterization and extraction processes of dietary fiber. *Food Eng. Rev., 8*(3), 251-271.

[13] Jiang, Y., Bai, X., Lang, S., Zhao, Y., Liu, C., & Yu, L. (2019). Optimization of ultrasonic-microwave assisted alkali extraction of arabinoxylan from the corn bran using response surface methodology. *Int. J. Biol. Macromol., 128*, 452-458.

[14] Sun, J., Zhang, Z., Xiao, F., Wei, Q., & Jing, Z. (2018). *Ultrasound-assisted alkali extraction of insoluble dietary fiber from soybean residues.* China: Paper presented at the IOP Conference Series, Materials Science and Engineering.

[15] Willemsen, K. L., Panozzo, A., Moelants, K., Debon, S. J., Desmet, C., Cardinaels, R., Moldenaers, P., Wallecan, J., & Hendrickx, M. E. (2017). Physico-chemical and viscoelastic properties of high pressure homogenized lemon peel fiber fraction suspensions obtained after sequential pectin extraction. *Food Hydrocoll., 72*, 358-371.

[16] Wei, C., Ge, Y., Liu, D., Zhao, S., Wei, M., Jiliu, J., Hu, X., Quan, Z., Wu, Y., & Su, Y. (2022). Effects of high-temperature, high-Pressure, and ultrasonic treatment on the physicochemical properties and

structure of soluble dietary fibers of millet bran. *Front. Nutr. 18 (8),* 820715.

[17] Zheng, Y., Li, Y., Xu, J., Gao, G., & Niu, F. (2018). Adsorption activity of coconut (Cocos nucifera L.) cake dietary fibers, effect of acidic treatment, cellulase hydrolysis, particle size and pH. *RSC Adv. 8*(6), 2844-2850.

[18] Hawthorne, S. B., Grabanski, C. B., Martin, E., & Miller, D. J. (2000). Comparisons of Soxhlet extraction, pressurized liquid extraction, supercritical fluid extraction and subcritical water extraction for environmental solids, recovery, selectivity and effects on sample matrix. *J. Chromatogr. A., 892*(1-2), 421-433.

[19] Wang, K., Li, M., Wang, Y., Liu, Z., & Ni, Y. (2021). Effects of extraction methods on the structural characteristics and functional properties of dietary fiber extracted from kiwifruit (Actinidia deliciosa). *Food Hydrocoll., 110,* 106162.

[20] Cheng, L., Zhang, X., Hong, Y., Li, Z., Li, C., & Gu, Z. (2017). Characterisation of physicochemical and functional properties of soluble dietary fibre from potato pulp obtained by enzyme-assisted extraction. *Int. J. Biol. Macromol., 101*, 1004-1011.

[21] Horwitz, W. (2010). *Official methods of analysis of AOAC International. Volume I, agricultural chemicals, contaminants, drugs/edited by William Horwitz*: Gaithersburg (Maryland): AOAC International, 1997.

[22] Wang, L., Xu, H., Yuan, F., Fan, R., & Gao, Y. (2015). Preparation and physicochemical properties of soluble dietary fiber from orange peel assisted by steam explosion and dilute acid soaking. *Food Chem., 185*, 90-98.

[23] Femenia, A., Lefebvre, A. C., Thebaudin, J. Y., Robertson, J. A., & Bourgeois, C. M. (1997). Physical and sensory properties of model foods supplemented with cauliflower fiber. *J. Food Sci., 62(4)*, 635-639.

[24] AACC. (2000). *Approved methods of the American association of cereal chemists* (Vol. 1). USA, American Association of Cereal Chemists.

[25] Kothawale, S. S., & Dhamole, P. B. (2022). Enhanced extraction of soluble dietary fibre and seed oil from tomato pomace. *Indian Chem. Eng., 64*(3), 326-335.

[26] Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., & Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chem., 124*(2), 411-421.

[27] Jiang, Y., Yin, H., Zheng, Y., Wang, D., Liu, Z., Deng, Y., & Zhao, Y. (2020). Structure, physicochemical and bioactive properties of dietary fibers from Akebia trifoliata (Thunb.) Koidz. seeds using ultrasonication/shear emulsifying/microwave-assisted enzymatic extraction. *Food Res. Int., 136,* 109348.

[28] Karra, S., Sebii, H., Yaich, H., Bouaziz, M. A., Blecker, C., Danthine, S., Attia, H., & Besbes, S. (2020). Effect of extraction methods on the physicochemical, structural, functional, and antioxidant properties of the dietary fiber concentrates from male date palm flowers. *J. Food Biochem., 44(6),* e13202.

[29] Chaturvedi, V., & Verma, P. (2013). An overview of key pretreatment processes employed for bioconversion of lignocellulosic biomass into biofuels and value added products. *3 Biotech., 3(5),* 415-431.

[30] Ding, Q., Li, Z., Wu, W., Su, Y., Sun, N., Luo, L., Ma, H., & He, R. (2020). Physicochemical and functional properties of dietary fiber from Nannochloropsis oceanica: A comparison of alkaline and ultrasonic-assisted alkaline extractions. *LWT., 133,* 110080.

[31] Irinislimane, H., & Belhaneche-Bensemra, N. (2017). Extraction and characterization of starch from oak acorn, sorghum, and potato and adsorption application for removal of maxilon red GRL from wastewater. *Chem. Eng. Commun., 204(8),* 897-906.

[32] Milošević, M.M., & Antov, M.G. (2022). Pectin from butternut squash (Cucurbita moschata)–The effect of enzyme-assisted extractions on fiber characteristics and properties. *Food Hydrocoll., 123,* 107201.

[33] Wang, J., Rosell, C.M., & de Barber, C.B. (2002). Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chem., 79(2),* 221-226.

[34] Bhatt, S., & Gupta, M. (2022). Exploration of soluble dietary fiber extraction technique for enhancing physicochemical and structural properties of mango and pomegranate peel. *Biomass Convers. Biorefin.,* 1-16.

[35] Yu, G., Bei, J., Zhao, J., Li, Q., & Cheng, C. (2018). Modification of carrot (Daucus carota Linn. var. Sativa Hoffm.) pomace insoluble dietary fiber with complex enzyme method, ultrafine comminution, and high hydrostatic pressure. *Food Chem. 257,* 333-340.

[36] Robertson, J.A., de Monredon, F.D., Dysseler, P., Guillon, F., Amado, R., & Thibault, J.F. (2000). Hydration properties of dietary fibre and resistant starch: a European collaborative study. *LWT., 33(2),* 72-79.

[37] Tulyathan, V., Boondee, K., & Mahawanich, T. (2005). Characteristics of starch from water chestnut (Trapa bispinosa Roxb.). *J. Food Biochem., 29(4),* 337-348.

[38] Bernardo, C. O., Ascheri, J. L. R., Chávez, D. W. H., & Carvalho, C. W. P. (2018). Ultrasound assisted extraction of yam (Dioscorea bulbífera) starch: effect on morphology and functional properties. *Starch-Stärke., 70(5-6),* 1700185.
[39] Ekinci, P. D., & Gökbulut, I. (2020). Determination of the Rheological Properties of Red and White Bread Wheat Flours with Different Methods. *Preprints*, 2020010172.
[40] Zarzycki, P., Wirkijowska, A., Nawrocka, A., Kozłowicz, K., Krajewska, M., Kłosok, K., & Krawęcka, A. (2022). Effect of Moldavian dragonhead seed residue on the baking properties of wheat flour and bread quality. *LWT., 155,* 112967.
[41] Alsuhaibani, A. M., & Alshawi, A. H. (2022). Effect of the Addition of Different Levels of Chard on the Dough Properties and Physicochemical and Sensory Characteristics of Pan Breads. *J. Food Qual., 2022.*
[42] Elkatry, H. O., Ahmed, A. R., El-Beltagi, H. S., Mohamed, H. I., & Eshak, N. S. (2022). Biological Activities of Grape Seed By-Products and Their Potential Use as Natural Sources of Food Additives in the Production of Balady Bread. *Foods, 11(13),* 1948.
[43] Bolek, S. (2020). Olive stone powder: A potential source of fiber and antioxidant and its effect on the rheological characteristics of biscuit dough and quality. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol., 64,* 102423.
[44] Veselinka, Z., Jelena, B., Desimir, K., Danica, M., & Slobodan, M. (2013). Influence of cultivar and growing season on quality properties of winter wheat (Triticum aestivum L.). *Afr. J. Agric. Res. 8(21),* 2545-2550.
[45] Gunathilake, K., Yalegama, C., & Kumara, A. (2009). Use of coconut flour as a source of protein and dietary fibre in wheat bread. *Asian J. Food Agro-Ind., 2(3),* 382-391.
[46] Wirkijowska, A., Zarzycki, P., Sobota, A., Nawrocka, A., Blicharz-Kania, A., & Andrejko, D. (2020). The possibility of using by-products from the flaxseed industry for functional bread production. *LWT., 118,* 108860.
[47] Dziki, D., Cacak-Pietrzak, G., Gawlik-Dziki, U., Sułek, A., Kocira, S., & Biernacka, B. (2019). Effect of Moldavian dragonhead (Dracocephalum moldavica L.) leaves on the baking properties of wheat flour and quality of bread. *CyTA-J. Food. 17(1),* 536-543.
[48] Nawrocka, A., Miś, A., & Szymańska-Chargot, M. (2016). Characteristics of relationships between structure of gluten proteins and dough rheology–influence of dietary fibres studied by FT-Raman spectroscopy. *Food Biophys., 11(1),* 81-90.
[49] Aghamirzaei, M., Peighambardoust, S., Azadmard-Damirchi, S., & Majzoob, M. (2018). Effects of Grape Seed Powder as a Functional Ingred ient on Flour Physicochemical Characteristics and Dough Rheological Properties. *J. Agr. Sci. Tech., 17,* 365-373.
[50] Anil, M. (2007). Using of hazelnut testa as a source of dietary fiber in breadmaking. *J. Food Eng., 80(1),* 61-67.
[51] Seleiman, M. F., Abdel-Aal, S., Ibrahim, M., & Zahran, G. (2011). Productivity, grain and dough quality of bread wheat grown with different water regimes. *J. Agro Crop Sci., 2(1),* 11-17.
[52] Liu, J., Shim, Y. Y., Timothy, J. T., Wang, Y., & Reaney, M. J. (2018). Flaxseed gum a versatile natural hydrocolloid for food and non-food applications. *Trends Food Sci. Technol., 75,* 146-157.
[53] Arı Akın, P., Tayfun, K. E., Tamer, U., & Boyacı, İ. H. (2021). Use of tea fibers as a source of dietary fiber in wheat flour and bread. *Cereal Chem., 98(5),* 1049-1058.
[54] GÖÇMEN, S. A. M. Ş. A., & TANER, A. S. H. S. (2015). Relationships between farinograph parameters and bread volume, physicochemical traits in bread wheat flours. *J. Bahri Dagdas Crop Res., 3(1),* 14-18.
[55] Dowell, F., Maghirang, E., Pierce, R., Lookhart, G., Bean, S., Xie, F., Caley, M., Wilson, J., Seabourn, B., & Ram, M. (2008). Relationship of bread quality to kernel, flour, and dough properties. *Cereal Chem. 85(1),* 82-91.