کاربردهای پساب کارخانه‌های فرآوری زیتون در صنایع غذایی

فروغ شواخی [۱]، زهرا یوسفی [۲]

چکیده

پساب کارخانه‌های فرآوری زیتون یکی از محصولات جانبی مهم این صنعت است. تولید جهانی پساب زیتون حدود شش میلیون متر مکعب در سال تخمین زده می‌شود و به دلیل آلایندگی زیاد برای کشورهای تولید کنندهٔ زیتون از جنبه‌های مختلف اقتصادی و زیست محیطی اهمیت زیادی دارد. این پساب غنی از ترکیبات فراسودمند مانند ترکیبات فنلی است که به دلیل محلول بودن در آب، بخش زیادی از آنها وارد پساب شده و مقدار کمی در روغن و کنسرو زیتون باقی می‌ماند. در ایران نیز دفع این پساب یکی از معضلات اصلی صنعت فرآوری روغن و کنسرو زیتون است. از نظر اقتصادی، مدیریت پساب زیتون هزینهٔ بالایی دارد و با توجه به اهمیت اقتصاد چرخشی، راهکارهای استفاده مجدد از این پساب و بازیافت ترکیبات ارزشمند آن مورد توجه تولیدکنندگان، مدیران و سیاست‌مداران قرارگرفته است. غنی‌سازی مواد غذایی، کاهش آلودگی‌های میکروبی مواد غذایی و بسته‌بندی مواد غذایی از موارد کاربردهای این پساب در صنایع غذایی هستند. در این مقاله راهکارهای استفادهٔپساب کارخانه‌های فرآوری زیتون در صنعت غذا ارائه‌شده است.

کلیدواژه‌ها: اقتصاد چرخشی، پساب فرآوری زیتون، فراسودمند، صنایع غذایی

[۱] دانشیار پژوهشی موسسه تحقیقات فنی مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
[۲] استادیار گروه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

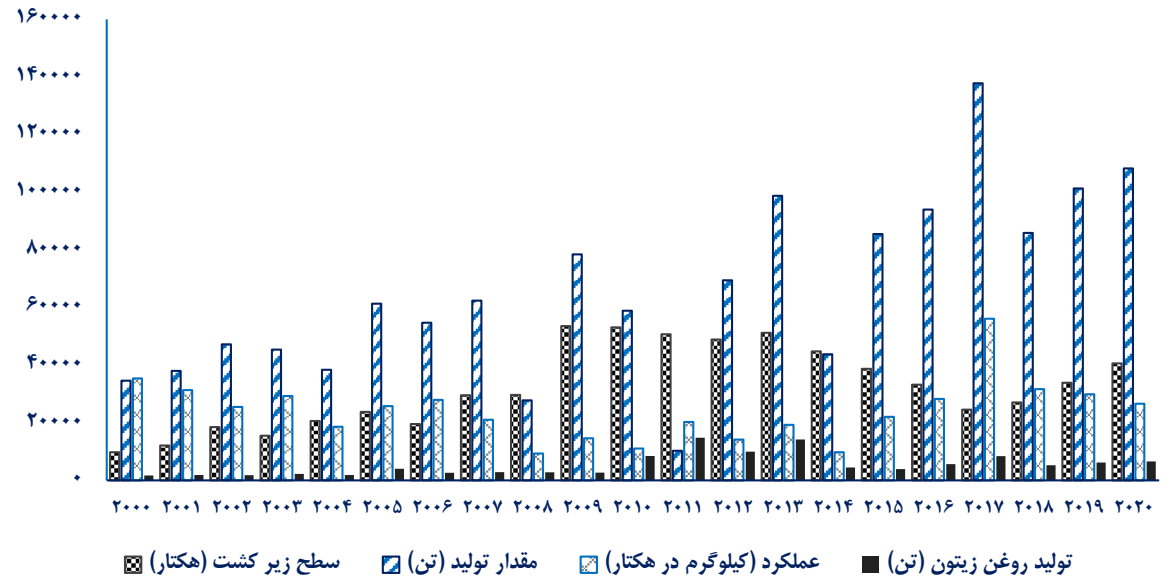
مقدمه

در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹ به ترتیب ۳۴۶۴۹، ۵۸۹۰۰، ۱۰۱۳۵۵ تن میوهٔ زیتون و ۱۷۱۹، ۸۴۸۲ و ۶۱۹۷ تن روغن زیتون در ایران تولید شده است (شکل ۱). بر اساس این آمار، در طی ده سال اخیر تولید روغن زیتون ایران حدود دو برابر و در طی بیست سال اخیر، سه برابر شده‌است (فائواستات، ۲۰۲۲). این افزایش موجب بالارفتن حجم پساب تولیدی کارخانه‌های فرآوری زیتون در کشور شده است و با توجه به آلایندگی بسیار زیاد این پساب و تولید آن در زمان کوتاه، چالش جدی برای محیط زیست ایجاد کرده است. با توجه به گستردگی این چالش در کشورهای تولیدکننده زیتون، محصولات جانبی و پساب حاصل از فرآوری زیتون از اولویت‌های تحقیقاتی مهم جهان هستند. از نظر اقتصادی، مدیریت پساب زیتون هزینهٔ بالایی دارد و هزینهٔ دفع آن و تبدیل آن به توده زیستی[1] یا کمپوست به ترتیب حدود ۳/۲۵ و ۶ تا ۱۰ یورو به ازای هر متر مکعب است. این پساب غنی از ترکیبات فراسودمند[2] است و می‌توان از آن برای ایجاد ارزش افزوده و غنی‌سازی فرآورده‌های غذایی استفاده‌کرد. ترکیبات فراسودمند موجب افزایش ارزش تغذیه‌ای، حفظ سلامتی و پیشگیری از بیماری‌ها می‌شوند.کاربرد این ترکیبات نه تنها وضعیت اقتصادی تولیدکنندگان روغن زیتون را بهبود می‌دهد، بلکه آلایندگی کمتری نیز به همراه دارد و استفادهٔ بعدی از آن را برای کشاورزی و سایر مصارف امکان‌پذیر می‌کند. در این مقاله راهکارهای استفاده مستقیم و غیر مستقیم پساب کارخانه‌های فرآوری زیتون در صنایع غذایی مانند استفاده از ترکیبات فراسودمند موجود در آن برای کاربردهای مختلف غذایی مانند غنی‌سازی مواد غذایی، کاهش آلودگی‌های میکروبی مواد غذایی و استفاده در بسته بندی مواد غذایی، تیمار پساب کارخانه های فرآوری کنسرو زیتون و کاربرد آن در صنایع مختلف و پیشنهاد فرصت‌های تحقیقاتی برای آینده ارائه-شده‌است.

ضرورت و اهمیت

سطح زیر کشت زیتون در جهان بیش از ده میلیون و هشتصد هزار هکتار است که ۹۷ درصد آن در نواحی مدیترانه متمرکز شده است. در بین کشورهای اروپایی، اسپانیا حدود ۸۲۶ هزار تن روغن زیتون تولید می‌کند که معادل بیش از ۵۲ درصد تولید جهانی این روغن است. محصولات جانبی زیتون شامل پساب کارخانهٔ زیتون[3] ، برگ و تفالهٔ زیتون[4] هستند. با افزایش تولید روغن زیتون در جهان و رسیدن به ۳۲۶۲۰۰۰ تن در بازهٔ سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۱۸ (شورای بین‌المللی زیتون، ۲۰۲۱) حجم پساب تولیدی افزایش قابل توجهی داشته است.

[1] Biomass
[2] Functional
[3] Olive Mill Wastewater
[4] Olive Pomace



شکل ۱- آمار سطح زیرکشت و تولید زیتون و روغن زیتون ایران در ۲۰ سال اخیر (فائواستات، ۲۰۲۲)

استخراج روغن زیتون به دلیل تولید مقدار زیادی پساب در زمان بسیار کوتاه، چالش زیست محیطی جدی‌ای را برای کشورهای تولیدکننده ایجاد کرده است. تولید جهانی پساب زیتون حدود شش میلیون متر مکعب در سال تخمین زده می‌شود. نسبت تولید روغن زیتون به پساب آن، حدود یک به دو و نیم لیتراست یعنی به ازای تولید هر لیتر روغن، دو و نیم لیتر پساب تولید می‌شود (فوتی و همکاران، ۲۰۲۱). در بیشتر کارخانه‌های روغن کشی ایران، سیستم تصفیهٔ فاضلاب وجود ندارد و در بیشتر موارد، پساب تولیدی در محیط زیست رها شده و وارد آب‌های سطحی، رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی می‌شود (شکل۲). همچنین فرآوری زیتون برای تولید کنسرو زیتون مقدار زیادی پساب آلاینده ایجاد می‌کند. بر اساس میزان تولید زیتون در شهرستان طارم زنجان در سال ۱۳۹۸، به طور متوسط ۱۳۲ تن هیدروکسید سدیم، یک هزار و ۲۰۰ تن نمک و ۵۹ تن اسیدسیتریک برای فرآوری زیتون مصرف شده است و۹۶ میلیون لیتر پساب در فرآیند عمل آوری و فرآوری برای تلخی زدایی زیتون تولید شده است (ایرنا، ۱۳۹۸).

شکل ۲-رها سازی پساب آلوده فرآوری زیتون در محیط زیست طارم زنجان (ایرنا، ۱۳۹۸)

ارزیابی روندهای پژوهشی مرتبط با زیتون در جهان نشان داده که این روندها در شش حوزۀ مختلف شامل: کشت زیتون و فرآوری؛ محصولات جانبی و مسائل زیست محیطی؛ کیفیت حسی روغن زیتون بکر؛ تعیین خلوص، اصالت و قابلیت ردیابی؛ بهداشت و تغذیه و مصرف‌کنندگان قابل بررسی هستند (گارسیا گونزالز و آپاریکو[1]، ۲۰۱۰).

مطالعات متعددی که در دهه‌های گذشته در مورد فرآورده‌های جانبی زیتون انجام شده است، فعالیت های آنتی اکسیدانی[2]، ضد التهابی، تعدیل کننده ایمنی، ضد درد، ضد میکروبی، ضد فشار خون، ضد سرطان و ضد هیپرگلیسمی[3] را توصیف کرده اند. مطالعات بهینه‌سازی روش‌های استخراج فنل‌ها از محصولات جانبی روغن زیتون برای کاربردهای دارویی یا آرایشی متمرکز شده‌اند و تلاش‌هایی برای توصیف میکروارگانیسم‌ها و فعالیت متابولیکی در تیمار محصولات جانبی انجام شده است. با این حال، مطالعات کمی، محصولات جانبی روغن زیتون را به منظور تولید مواد با ارزش افزوده ویا نگهدارنده‌ها برای صنایع غذایی بررسی کرده‌اند (فوتی و همکاران، ۲۰۲۱).

از طرفی همه‌گیری کووید ۱۹نیاز زیادی را برای تولید محصولات تغذیه‌ای و تقویت‌کنندۀ سیستم ایمنی ایجادکرده است. در این راستا، صنعت غذا می‌تواند مقدار کافی مواد غذایی فراسودمند را در اختیار مصرف‌کنندگان قرار دهد، زیرا تقاضای این محصولات به‌ویژه در این دوره همه‌گیری بسیار سریع در حال رشد بوده است (زاهی[4] و همکاران، ۲۰۲۰). وجود ترکیبات ارزشمند موجود در پساب زیتون این فرصت را برای استفاده از آنها در صنایع مختلف دارویی، آرایشی بهداشتی و غذایی فراهم کرده است.

[1]Garcia-Gonzalez &Aparicio
[2] Antioxidant
[3] Hyperglycemia
[4]Zahi

نتایج کاربردی

ترکیبات پساب کارخانه‌های روغن و کنسرو زیتون

پساب کارخانه‌های روغن و کنسرو زیتون به عنوان منبع غنی از مواد فعال زیستی[1] با ارزش افزوده بالا است. ترکیبات زیست فعال ترکیبات شیمیایی موجود در برخی از مواد غذایی هستند که خواص سلامتی بخش آنها محتمل یا محرز است، اما برای بدن ضروری نیستند. مقدار پساب تولیدشده در کارخانه‌های روغن‌کشی بستگی به سیستم استخراج روغن دارد و ترکیبات آن بسته به فرآیند مورد استفاده برای روغن‌کشی و ویژگی‌های محصول، پیچیده و با ماهیت متفاوت است.

پساب حاصل از روغن‌کشی زیتون حاوی بافت نرم میوه زیتون و آب مورد استفاده در مراحل مختلف فرآیند استخراج روغن است و به طورکلی، غلظت بالایی از ترکیبات آلی مانند کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، اسیدهای چرب، کاروتنوئیدها[2]، توکوفرول‌ها[3] و فنل‌ها دارد (جدول ۱)، بنابراین منبع غنی از ترکیبات زیست فعال با ارزش افزودهٔ بالا است. میزان ترکیبات فنلی پساب به دلیل حلالیت بالای این ترکیبات در آب، بالا است (گولون[4] و همکاران، ۲۰۲۰). این پساب مخلوطی از روغن، صمغ‌ها، قندها، تانن‌ها و اسیدهای آلی است که از مراحل فرآیند شستشو و استخراج به‌دست‌آمده و آلاینده‌ترین پسماند در کشورهای تولید کننده زیتون و به ویژه منطقهٔ مدیترانه است.

جدول۱- ویژگی‌ها و ترکیبات شیمیایی پساب روغن زیتون (فوتی و همکاران، ۲۰۲۱)

نوع ترکیب	محدوده گزارش شده
آب (درصد)	۹۶-۸۰
pH	۲/۲-۵/۹
هدایت الکتریکی(دسی زیمنس بر متر)	۵/۵-۱۰
ماده خشک (درصد)	۶/۳-۷/۲
خاکستر(درصد)	۱
مواد الی (درصد)	۵۷-۶۲
کربن کل (درصد)	۲-۳/۳
نیتروژن کل (گرم بر لیتر)	۲-۲/۴
قند کل (گرم بر لیتر)	۵-۱۲
چربی کل(درصد)	۱-۲۳
فنل کل (گرم بر لیتر)	۰/۵-۶/۱
پلی الکل (درصد)	۹-۱۵
مواد جامد معلق کل (گرم بر لیتر)	۲۵-۳۰
BOD(گرم بر لیتر)	۳۵-۱۳۲
COD(گرم بر لیتر)	۳۰-۳۲۰

[1] Bioactive
[2] Carotenoids
[3] Tocopherols

برخی کاربردهای پساب زیتون در صنایع غذایی

استفاده مستقیم و غیر مستقیم پساب کارخانه‌های فرآوری زیتون در صنایع غذایی شامل استفاده از ترکیبات فراسودمند موجود در آن برای کاربردهای مختلف غذایی مانند غنی سازی، کاهش آلودگی‌های میکروبی و استفاده در بسته بندی مواد غذایی امکان پذیر است که در این بخش شرح داده شده است.

کاربرد پساب کارخانه‌های فرآوری روغن زیتون در تولید مواد غذایی فراسودمند

در بین روش‌های مختلف برای افزایش ارزش تغذیه‌ای مواد غذایی، استفاده از ترکیبات زیست فعال حاصل از پسماند صنعت غذا به دلیل ایجاد ارزش افزوده، پایداری محیط زیست و مسائل اقتصادی اهمیت ویژه‌ای دارد. اخیراً پساب زیتون به عنوان منبعی از مواد تشکیل‌دهندهٔ فراسودمند در فرمولاسیون محصولات غذایی با تأثیر مثبت بر سلامت مصرف‌کنندگان و کیفیت و ماندگاری غذا مورد توجه پژوهشگران قرارگرفته است. در این خصوص ترکیبات فنلی پساب زیتون در مکمل‌های غذایی، غذاها، نوشیدنی‌ها، مواد آرایشی، محصولات دارویی و سلامتی و خوراک دام به‌کار رفته است. جدول شماره ۲ برخی از این کاربردها را در انواع مواد غذایی فراسودمند نشان می‌دهد.

همچنین افزودن عصارهٔ فنلی پساب برای افزایش خواص سلامتی‌بخش روغن زیتون بکر پیشنهادشده است. به همین منظور افزودن کنسانترهٔ فنلی خام در طول استخراج روغن زیتون بکر، به ویژه قبل از مرحلهٔ ورز دادن خمیر، با هدف بهبود میزان فنلی آن منجر به افزایش معنی‌دار ترکیبات فنلی کل نسبت به روغن زیتون شاهد شده و مقدار این تأثیر وابسته به رقم زیتون مورد استفاده بوده‌است.

کاربرد پساب کارخانه‌های فرآوری زیتون در کنترل میکروب‌های مواد غذایی

ترکیبات فنلی اصلی موجود در پساب زیتون که از هیدرولیز اولئوروپئین به دست می‌آیند شامل هیدروکسی تیروزول، تیروزول و النولیک اسید[1] و سایر فنل‌ها مانند اسیدهای کافئیک، پاراکوماریک، وانیلیک، سیرینجیک، گالیک و لوتئولین، کرستین، سیانیدین و ورباسکوزید[2]و ترکیبات پلیمری هستند.

هیدروکسی تیروزول، تیروزول، اولئوروپئین، و اولئوکانتال طیف وسیعی از اثرات بیولوژیکی بر فرآیندهای فیزیولوژیکی دارند که ترکیبات جلوگیری کننده از ضایعات سرخرگی، محافظ قلب، ضد سرطان، محافظت کننده عصبی، ضد دیابت و ضد چاقی هستند. همچنین ترکیبات زیست فعال زیتون، مانند آلدئیدهای آلیفاتیک[3]، رشد طیف وسیعی از باکتری‌ها و مخمرها را مهار یا به تعویق می‌اندازند و می‌توانند به عنوان جایگزینی برای پیشگیری یا درمان عفونت‌ها در نظر گرفته شوند. علاوه بر این، آنها برای فرمولاسیون دارویی برای کاهش گسترش باکتری‌های مقاوم به ترکیبات ضد میکروبی ارزیابی شده‌اند.

[1]Hydroxytyrosol, tyrosol and elenolic acid
[2]Caffeic acid, p-coumaric acid, vanillic acid, syringic acid, gallic acid, luteolin, quercetin, cyanidin, verbascoside
[3] Aliphatic Aldehyde

جدول۲- اهداف و اثرات کاربرد پساب روغن کشی زیتون در برخی گروه‌های مواد غذایی فراسودمند (زاهی و همکاران، ۲۰۲۰)

گروه ماده غذایی	ماده غذایی	غلظت	هدف	اثرات
روغن‌های گیاهی	روغن‌های گیاهی	۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر	افزایش ماندگاری با مهار اکسیداسیون چربی‌ها و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی	مقادیر پراکسید کمتر در مقایسه با آنیزول هیدروکسیل بوتیله[1](BHA)
	روغن زیتون تصفیه-شده	۴۰۰ میلی گرم فنل بر کیلوگرم روغن	جلوگیری از اکسیداسیون	کاهش بیشتر اکسیداسیون توکوفرول‌ها وایجاد آلدئیدهای با وزن مولکولی پایین در مقایسه باتولوئن هیدروکسیل بوتیله [2] (BHT)
	روغن زیتون فرابکر و تصفیه‌شده	۵۰۰ و ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر	جلوگیری از اکسیداسیون غنی سازی	کارایی بیشتر در مقایسه با مخلوط اسید آسکوربیک، توکوفرول‌ها به ویژه α-توکوفرول برای جلوگیری از اکسیداسیون روغن زیتون فرابکر و تصفیه‌شده
	روغن آفتابگردان و کلزا	۵۰ میلی‌گرم در لیتر	افزایش ماندگاری	کاهش اکسیداسیون
فرآورده-های لبنی	شیر	۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم	غنی سازی	بدون تاثیر بر بقای باکتری‌های اسید لاکتیک و ویژگی‌های حسی شیر
	شیر، قبل از استریلیزاسیون فرادما (UHT)	۰/۱-۰/۰۵ درصد وزنی حجمی	بهبود فرآیند استریل کردن و غنی سازی با ترکیبات فراسودمند	افزایش پایداری محصول و کاهش طعم بد، تعدیل واکنش میلارد و ممانعت از تشکیل عوامل کربونیل فعال[1] که موجب ایجاد ترکیبات قهوه‌ای رنگ می‌شود.
	کره	۸۰ میلیگرم بر کیلوگرم	آنتی اکسیدان طبیعی	افزایش مقاومت اکسایشی
فرآورده-های گوشتی	گوشت	۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم	تعویق انداختن اکسیداسیون چربی‌ها و فساد میکروبی	حفظ ثبات رنگ، تأخیر در افت کیفی چربی‌ها و رشد میکروبی و افزایش ماندگاری
	سوسیس	۷۵۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم	افزایش ماندگاری و بهبود ویژگی های حسی	کاهش pH، دی اسیل گلیسرول[2]، مقدار پراکسید، اسید تیوباربیتوریک[3] و محصولات اکسیداسیون کلسترول بدون اثر منفی در ویژگی‌های حسی
فرآوردهای غلات	نان و بیسکویت	۲۰۰ میلیگرم بر کیلوگرم آرد	آنتی اکسیدان طبیعی	کاهش افت کیفیت اکسایشی در حین پخت
	نان و پاستا	۹۰۰ گرم پساب برای نان و ۳۰ درصد وزنی وزنی برای پاستا	آنتی اکسیدان و غنی سازی	غنی سازی، تقویت ترکیب شیمیایی بدون اثر منفی بر ویژگی‌های حسی

[1] Active Carbonyl
[2] Diacylglycyrol
[3] Thiobarbituric Acid

در شرایط آزمایشگاهی و در غلظت کم، هیدروکسی تیروزول دارای خاصیت ضد میکروبی در برابر عوامل عفونی تنفسی و گوارشی مانند ویبریو پارا همولیتیکوس، ویبریو کلرا، سالمونلا تیفی، استافیلوکوکوس اورئوس[1] است (فوتی و همکاران، ۲۰۲۱).

عصاره فنلی پساب برای کنترل میکروب‌های مواد غذایی مختلف استفاده شده است (زاهی[2] و همکاران، ۲۰۲۰). اثر این عصاره برای کنترل برخی از باکتری‌های با منشا غذایی، به ویژه در برابر گونه‌های گرم مثبت ثابت شده است. در این خصوص استافیلوکوکوس اورئوس[3] و لیستریا مونوسیتوژنز[4] کمترین سطح مقاومت به ترکیبات فنلی را نشان داده‌اند. در مقابل، سویه‌های گرم منفی در برخی موارد تحت تأثیر غلظت‌های آزمایش‌شده قرار نگرفتند، در حالی که رشد کشت‌های آغازگر (مانند استافیلوکوکوس زایلوزوس[5]) به‌طور چشمگیر کاهش یافته است. لازم به ذکر است که باکتری‌ها بر اساس ترکیبات دیواره سلولی در دو گروه باکتری های گرم مثبت و گرم منفی قرار می‌گیرند. این دسته‌بندی بر اساس برهم‌کنش متفاوت ترکیبات دیواره سلولی با ترکیبات شیمیایی رنگ، در رنگ آمیزی گرم[6] انجام می‌شود. جدول شماره ۳ کاربرد پساب زیتون را با هدف کنترل میکروب‌های مواد مختلف نشان می‌دهد (جدول ۳).

جدول۳- اثرات کاربرد پساب روغن کشی زیتون در کنترل میکروب‌های برخی مواد غذایی (زاهی و همکاران، ۲۰۲۰)

گروه ماده غذایی	ماده غذایی	غلظت	اثرات
فرآورده‌های لبنی	پنیر	۲۵۰ تا ۵۰۰ میکروگرم بر میلی لیتر	افزایش ماندگاری
فرآورده‌های گوشتی	برگر گوشت سفید	۰/۷۵ تا ۱/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم عصاره خالص	تعویق رشد باکتریهای مزوفیل هوازی و افزایش ماندگاری برگر نگهداری شده تا ۲۴ ساعت و تفاوت جزیی در رنگ و طعم نسبت به شاهد
	سینه مرغ تازه	۳۸/۶ گرم بر لیتر	تعویق رشد انتروباکتریاسه[7] و گونه‌های سودوموناس[8]، کاهش مقادیراسید تیوباربیتوریک و بهبود ماندگاری حداقل برای دو روز، تغییر جزئی در رنگ سطحی و بوی بهتر در مقایسه با نمونه‌های شاهد
	سوسیس تخمیری	۲/۵ درصد	جلوگیری از فعالیت برخی قارچ ها
	سالامی تخمیری	۰/۱۵ درصد	مهار قابل توجه رشد لیستریا پس از ۴۵ روز
فرآوردهای غلات	نان و بیسکویت	۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آرد	جلوگیری از رشد برخی میکروب‌ها

[1]Vibrio para haemolyticus, Vibrio cholerae, Salmonella Typhi, Staphylococcus aureus
[2]Zahi
[3]Staphylococcus aureus
[4]Listeria monocytogens
[5]Staphylococcus Xylosus
[6] Gram Staining
[7] Enterobacteriaceae
[8] Pseudomonas

کاربرد پساب کارخانه‌های فرآوری زیتون در بسته‌بندی مواد غذایی

مناسب بودن محصولات جانبی زیتون برای بسته‌بندی مواد غذایی، به ویژه در مقیاس آزمایشگاهی در بسیاری از مقالات علمی تحقیق شده است (سیستی[1] و همکاران، ۲۰۱۹؛ آپوسلا[2] و همکاران، ۲۰۲۱؛ خالدیا[3] و همکاران، ۲۰۲۲). استفاده از ترکیبات زیست فعال حاصل از فرآورده‌های جانبی زیتون در بسته‌بندی، پتانسیل بهبود ویژگی‌های عملکردی و زیستی پوشش‌ها، افزایش ماندگاری مواد غذایی، تقویت پایداری زنجیرهٔ روغن زیتون و ارتقاء اقتصاد چرخشی را دارند. با این حال، کاربرد صنعتی محصولات جانبی زیتون در بسته‌بندی مواد غذایی موانع متعددی دارند که باید در سال‌های آینده برطرف شوند.

برخی از این موانع شامل پیچیدگی شیمیایی و فصلی بودن محصولات جانبی و پسماند زیتون و نیاز به ارزیابی جامع در خصوص جمع‌آوری، حمل و نقل مقادیر موجود، فقدان فرآیندهای استخراج اقتصادی ترکیبات زیست فعال برای کاربرد در مقیاس صنعتی، ناکارآمدی هزینهٔ برخی از سیستم‌های بسته‌بندی زیست فعال و نیاز به کاهش هزینه‌های تولید آنها برای رقابت با بسته‌بندی‌های معمولی، فقدان مطالعات در مورد اثرات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی مواد بسته‌بندی حاوی محصولات جانبی زیتون یا بخش‌های فعال آن‌ها (مانند ارزیابی چرخهٔ عمر، تجزیه و تحلیل هزینه/منفعت، و تحلیل فنی و اقتصادی) ضرورت ارزیابی ریسک سلامت در کل زنجیرهٔ ارزش پالایشگاه زیستی[4]، لزوم وضع قوانین انطباق یافته و تفصیلی، ضرورت به‌روزرسانی سیاست‌های دولت و حمایت مالی دولت برای ارتقای پذیرش و ادغام مفاهیم پالایشگاه زیستی هستند. یک پالایشگاه زیستی پالایشگاهی است که زیست توده را به انرژی و دیگر محصولات جانبی مانند مواد شیمیایی تبدیل می‌کند. همچنین پذیرش بسته‌بندی فعال از محصولات جانبی زیتون در بازار بسته‌بندی مواد غذایی به همکاری مؤثر بین محققان، تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، نهادهای نظارتی، صنایع غذایی و سیاست‌گذاران متکی است. آموزش برای افزایش آگاهی مصرف‌کننده در مورد بسته‌بندی پایدار، راه حل‌های نوآورانه برای ارزش‌افزوده محصولات جانبی و مزایای مرتبط با بسته‌بندی زیست فعال لازم است (خالدیا و همکاران، ۲۰۲۲).

کاربرد پساب کارخانه‌های فرآوری کنسرو زیتون در صنایع مختلف

کنسرو زیتون با تولید حدود ۲/۷ میلیون تن در سال در بسیاری از کشورهای جهان تولید می‌شود. با بررسی مقالات مرتبط در سال‌های اخیر مشخص می‌شود که مدیریت پساب کنسرو زیتون یکی از عناوین جدید و مورد توجه در تحقیقات کنسرو زیتون در جهان است (باتیستا کالیگو و همکاران، ۲۰۱۹). تولید کنسرو زیتون نیز در سراسر جهان در حال گسترش است که با تولید مستمر مقادیر زیادی از پساب آلاینده و مشکل‌ساز

[1] Sisti
[2] Apocellla
[3] Khwaldia
[4] Biorefinery

همراه است. این مشکل توجه محققان، صنعت و نهادهای نظارتی را به خود جلب کرده است. از سوی دیگر، صنعت کنسرو زیتون مجبور به پیروی از مقررات زیست محیطی برای حذف آلاینده‌های آلی پساب است. تولید محصولات با ارزش افزوده بالا، از نظر اقتصادی و زیست محیطی مورد توجه و مطابق با مدل "اقتصاد چرخشی" است که توسط اتحادیهٔ اروپا ترویج شده‌است.

در طی مراحل مختلف فرآوری کنسرو زیتون، مقادیر زیادی آب و مواد شیمیایی مانند سود (NaOH) و نمک طعام مورد نیاز است که منجر به تولید پساب آلاینده می‌شود. مقدار این پساب و ترکیب شیمیایی آنها با توجه به تیمار اعمال‌شده در هر فرآیند تولید، متفاوت است. بخش آلی پساب کنسرو زیتون عمدتاً از قندها، اسیدها، ترکیبات فنلی و ترکیبات نیتروژنی تشکیل شده است. دو روش عمده فرآوری زیتون در جهان، تولید زیتون سبز با محلول قلیایی معروف به روش اسپانیایی و تولید زیتون سیاه و اکسیداسیون قلیایی معروف به روش کالیفرنیایی است (شواخی، ۱۴۰۰). میانگین مقادیر اکسیژن مورد نیاز شیمیایی[1] پساب تولید کنسرو زیتون به سبک اسپانیایی به طور متوسط بین ۱۶ تا ۱۹ گرم اکسیژن در لیتر، برآوردشده است. مواد شیمیایی موجود در فاضلاب در تماس با اکسیژن وارد واکنش شده و اصطلاحاً اکسید می‌شوند و در این فرایند اکسیژن موجود در پساب ها مصرف خواهد شد. به مقدار اکسیژنی که لازم است در پساب ها موجود باشد تا تمام مواد شیمیایی موجود در آنها اکسید شوند اکسیژن مورد نیاز شیمیایی گفته می‌شود. در فرآیند تولید کنسرو به روش کالیفرنیایی، میانگین مقادیر اکسیژن مورد نیاز شیمیایی و میزان فنل کل پساب‌های تولید شده (نمک به علاوه آب‌های شستشو) به ترتیب بین دو تا چهار گرم اکسیژن در لیتر و ۰/۳ تا ۰/۴ گرم در لیتر است. این مقادیر در مقایسه با مقادیر فرآوری به سبک اسپانیایی به طور قابل توجهی کمتر است (پاپاداکیس و مونتزاریدو[2]، ۲۰۱۶).تا به حال، تمرکز اصلی تیمار و تصفیه پساب بر توسعهٔ روش‌های مختلف فیزیکی (مانند فیلتراسیون غشایی)، فیزیکوشیمیایی (مانند لخته‌سازی) و حرارتی (مانند تبخیر) بوده‌است. علاوه بر این، روش‌های اکسیداسیون پیشرفته مانند استفاده ترکیبی از ازن و پراکسید هیدروژن یا اشعه ماوراء بنفش، فوتوکاتالیز[3] با استفاده از دی‌اکسید تیتانیوم و اشعه ماوراء بنفش، اکسیداسیون هوای مرطوب و اکسیداسیون الکتروشیمیایی استفاده شده است. با این حال، مشکل اصلی بسیاری از این فناوری‌ها تولید ترکیبات جانبی با آلایندگی بیشتر است که نیاز به تصفیهٔ بیشتر و یا صرف هزینه و انرژی دارند. همچنین در این زمینه، تیمارهای تصفیهٔ بیولوژیکی پساب فرآوری زیتون از سطح آزمایشگاهی تا مقیاس پایلوت مانند هضم بی‌هوازی، تخمیر اسید لاکتیک و تخمیر قارچی انجام شده است. فراوری زیستی با استفاده از میکروارگانیسم‌ها در ترکیب با عملیات شیمیایی پیشرفته مانند ازن زنی، اشعه ماوراء بنفش برای حذف آلاینده‌های شیمیایی از پساب کنسرو زیتون

[1] Chemical Oxygen Demand (COD)
[2] Papadaki&Mantzouridou
[3] Photocatalysis

به کار رفته است، به عنوان مثال ترکیب تیمار بیولوژیکی با *آسپرژیلوس نایجر*[1] و اکسیداسیون الکتروشیمیایی با انعقاد هیدروکسیدکلسیم $Ca(OH)_2$، پساب قابل قبولی را برای سیستم فاضلاب عمومی تولید کرده است.

پیشرفت‌هایی در تولید محصولات ارزشمند و با ارزش افزوده از پساب‌های فرآوری کنسرو زیتون با استفاده از میکروارگانیسم‌های مختلف مانند بیوگاز غنی از متان، به عنوان جایگزین سوخت‌های فسیلی، مواد شیمیایی مانند اسیدلاکتیک با کاربرد در مواد غذایی، دارویی و سایر صنایع شیمیایی، بازیابی هیدروکسی تیروزول[2] و خواص ضدمیکروبی، آنتی‌اکسیدانی، ضد سرطان، ضد التهاب، ضد دیابت، محافظت‌کننده سیستم عصبی شده است.

یکی از موارد دیگر، تولید محصولات با ارزش زیاد، پروتئین تک سلولی و اسید سیتریک با استفاده ازآسپرژیلوس نایجرو آنزیم‌های تجزیه‌کنندهٔ فنل است. میکرو فلور بومی پساب، به طور عمده باکتری‌های اسید لاکتیک و مخمرها هستند که به دلیل تحمل اسید و تجزیهٔ اولئوروپئین راهکار مناسب و مقرون به صرفه‌ای به عنوان کشت آغازگر برای کنترل تخمیر اسید لاکتیک و حذف تلخی زیتون هستند (شواخی، ۱۴۰۰، شواخی و معدنی، ۱۳۹۵).

در حال حاضر روش استاندارد و قابل قبولی در زمینه مدیریت پساب زیتون در جهان برای انواع محصولات زیتون وجود ندارد (باتیستا کالیگو و همکاران، ۲۰۱۹). اگر چه مدیریت این پساب از سایر دیدگاه‌های مختلف و امکان کاهش آلاینده‌ها در پساب و کاربرد ترکیبات موجود در پساب در صنایع غیر غذایی نیز با استفاده از روش‌های مختلف تصفیه امکان پذیر است.

دستورالعمل کاربردی

- رهاسازی پساب زیتون موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی، از دست رفتن حاصلخیزی خاک، تعییر بافت و شوری خاک و آلودگی آب‌ها می‌شود به همین دلیل ساماندهی و مدیریت پساب ناشی از فراوری زیتون ضروری است.
- اگرچه پساب کارخانه‌های روغن‌کشی زیتون برای طبیعت مضر است، اما منبع ارزشمندی از بسیاری از ترکیبات زیست فعال مانند پلی فنل‌ها و مشتقات آنها با طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های بیولوژیکی و ارزش غذایی است و برای تبدیل این محصول جانبی از یک آلایندهٔ مضر به یک منبع ارزشمند از اجزای زیست فعال طبیعی، باید تلاش بیشتری شود.

[1] Aspergillus niger
[2] Hydroxytyrosol

- برخی مطالعات نشان داده است که استفادهٔ کنترل‌شده از این پساب مانند ترکیب آن با بخشی از آب آبیاری در زمین‌های کشاورزی به علت وجود ترکیباتی مانند اسیدهای آلی، چربی‌ها، الکل‌ها و مواد نیتروژنه، قندها و پتاسیم، موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، و بیولوژیکی خاک می‌شود.
- بازیابی ترکیبات فنلی از پساب زیتون چالش مهمی در صنایع غذایی و دارویی است و مطالعات بیشتری برای دستیابی به روش‌های مناسب برای افزایش عملکرد و ماندگاری عصارهٔ فنلی پساب مانند کپسوله-کردن و اثبات قابلیت دسترسی زیستی و فعالیت زیستی ترکیبات فنلی کپسوله شده، در داخل بدن موردنیازاست.
- بازیافت ترکیبات فراسودمند و ایجاد ارزش افزوده از پساب مطابق برنامه اقتصاد چرخشی اتحادیه اروپا و اهداف توسعه‌ای برنامه جهانی غذا است، اگرچه تحقیقات بیشتری برای شناخت کامل و استفاده از این ترکیبات مورد نیاز است.
- ارائه روشهای اقتصادی و دوست‌دار محیط زیست برای تولید ترکیبات فراسودمند و ارزشمند از پساب زیتون لازم است.
- برای تصفیه پساب راه حل‌های بسیاری از جمله تیمارهای بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی یا ترکیبی از آنها توسط محققین متعدد ارائه شده است. با این حال، این رویکردها اشکالاتی مانند محدود بودن، مناسب نبودن، عدم قابلیت اجرا در مقیاس بزرگ، زمان‌بر و هزینه‌بر بودن را دارند و همه انواع پساب زیتون را نمی‌توان با استفاده از روش‌های فوق تیمار کرد. راهکارهای اقتصادی برای مدیریت این پساب شامل ترکیبی از فرآیندهای فیزیکی و فناوری زیستی مورد نیاز است.
- تحقیقات در مورد استفاده از فن‌آوری‌های مختلف برای تجزیهٔ بار آلی پساب زیتون نیز مورد نیاز است. بهینه‌سازی فرآیند از نظر امکان‌سنجی اقتصادی و فنی و ارائه یک روش استاندارد برای تصفیهٔ آن ضروری است.
- تیمار هیدروکسید سدیم که معمولاً برای تلخی‌گیری زیتون در روش‌های اسپانیایی و کالیفرنیایی استفاده می‌شود، مقدار زیادی پساب تولید می‌کند. با از بین رفتن ترکیبات محلول در آب، کاهش قندها، اسیدهای آلی و تجزیه اولوروپئین میوه زیتون ارزش غذایی محصول نهایی کاهش می‌یابد. بنابراین، قابل‌توصیه نبوده و در آینده باید از روش‌های نوین فرآوری استفاده شود. ارائه راهکارهایی برای جایگزینی روش‌های متداول فرآوری زیتون برای تولید کنسرو مانند استفاده از سود، نمک و اسیدسیتریک نیز مورد نیاز است.
- مشکلات عمدهٔ پساب روغن‌کشی زیتون، بسته به نوع فرآیند استخراج روغن زیتون (پرس، سه فاز، دو فاز و استفاده از هگزان) متفاوت است. برخی از محققین عقیده دارند که تغییر سیستم استخراج از سه فاز به دوفاز به تنهایی مشکل پساب را به طور کامل حل نمی‌کند، بلکه تنها کارخانه‌های زیتون را از بار محیطی رها می‌کند و مشکل را به صنعت استخراج روغن منتقل می‌کند. بنابراین، استفاده از فرآیندهای

تصفیهٔ جدید پساب و تغییر در کارایی و میزان مصرف آب دستگاه‌های استخراج روغن برای حل این مشکل لازم است.

- تجمیع واحدهای فرآوری سنتی مناطق در قالب شهرک‌ها و واحدهای صنعتی و سایت‌های کارگاهی می‌تواند بار اقتصادی تصفیه پساب را برای واحدهای فرآوری کاهش دهد.
- مطالعات زیست محیطی و اقتصادی و ارزیابی چرخهٔ حیات[1] برای ارزیابی جامع تولید، تصفیهٔ صنعتی، نگهداری، توزیع، بسته‌بندی، مصرف و مدیریت پساب نیز لازم است و رفع موانع موجود برای کاربرد صنعتی محصولات جانبی زیتون در بسته‌بندی مواد غذایی ضروری به نظر می‌رسد.

منابع

ایرنا. ۱۳۹۸. تلخی پساب فرآوری زیتون بر کام محیط زیست طارم. قابل دستیابی در https://www.irna.ir/news/.

شواخی، ف. روش‌های نوین فرآوری کنسرو زیتون. ۱۴۰۰. نشریه فنی. شماره ثبت ۵۹۵۳۸. سازمان تحقیقاتُ آموزش و ترویج کشاورزی.۳۳ صفحه.

شواخی، ف. و معدنی، ص. ۱۳۹۵. تولیدکنسرو زیتون رژیمی با استفاده از نمک‌های کلرید سدیم، پتاسیم و کلسیم، مؤسسهٔ تحقیقات فنی مهندسی کشاورزی. گزارش نهایی. شمارهٔ ثبت: ۵۱۷۵۴.

Apicella, A., Adiletta, G., Albanese, D., Di Matteo, M. and Incarnato, L., 2021. Biodegradable films based on poly (lactic acid) coatings and natural olive-wastewater extracts for active food packaging. *Chemical Engineering Transactions*, 87, pp.85-90.

Bautista-Gallego, J., Arroyo-López, F. N., Bordons, A., & Jiménez-Díaz, R. 2019. New trends in table olive fermentation. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1880.

FAOSTAT. 2022. World area harevested olives, yield, oil, olive, virgin. Available at: https://www.fao.org/faostat/en/#compare.

Foti, P., Romeo, F.V., Russo, N., Pino, A., Vaccalluzzo, A., Caggia, C. and Randazzo, C.L., 2021. Olive mill wastewater as renewable raw materials to generate high added-value ingredients for agro-food industries. *Applied Sciences*, *11*(16), p.7511.

Garcia-Gonzalez, D. L., &Aparicio, R. 2010. Research in olive oil: challenges for the near future. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(24), 12569-12577.

Gullon, P., Gullon, B., Astray, G., Carpena, M., Fraga-Corral, M., Prieto, M. A., &Simal-Gandara, J. 2020. Valorization of by-products from olive oil industry and added-value applications for innovative functional foods. Food Research International, 137, 109683.

[1] Life Cycle Assessment

IOC, 2021. World's olive oil production has tripled. Available in https://www.internationaloliveoil.org/worlds-olive-oil-production-has-tripled/.4 Jan. 2021.

Khwaldia, K., Attour, N., Matthes, J., Beck, L., &Schmid, M. 2022. Olive byproducts and their bioactive compounds as a valuable source for food packaging applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(2), 1218-1253.

Papadaki, E., &Mantzouridou, F. T. 2016. Current status and future challenges of table olive processing wastewater valorization. *Biochemical Engineering Journal*, 112, 103-113.

Sisti, L., Totaro, G., Bozzi Cionci, N., Di Gioia, D., Celli, A., Verney, V. and Leroux, F., 2019. Olive mill wastewater valorization in multifunctional biopolymer composites for antibacterial packaging application. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(10), p.2376.

Zahi, M. R., Zam, W., & El Hattab, M. 2022. State of knowledge on chemical, biological and nutritional properties of olive mill wastewater. *Food Chemistry*, 132238.