

## گزینش روش مناسب مدیریت پسماند صنایع روغن زیتون در استان گیلان با روش تحلیل سلسله مراتبی

مهتا رفیعی<sup>۱</sup>، اسداله اکرم<sup>۲\*</sup> و محمد شریفی<sup>۳</sup>

۱، ۲ و ۳- به ترتیب: دانشجوی دکتری؛ و دانشیاران گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران  
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۹

### چکیده

با هدف انتخاب راهکار مناسب برای مدیریت پسماند صنعت روغن زیتون در شهرستان رودبار استان گیلان، به منظور انتخاب پیشینه پژوهش بررسی و مشورت با کارشناسان انجام گرفت. چهار معیار اقتصادی، فنی، اجتماعی و زیست‌محیطی به عنوان معیارهای گزینش راهکار مناسب انتخاب و به ۱۲ زیرمعیار تقسیم شدند. پرسش‌نامه به صورت مقایسات زوجی، طراحی و به روش نمونه‌گیری هدفمند از طریق مصاحبه با ۲۰ نفر از کارشناسان ماهر این حوزه تکمیل شد. برای محاسبات و تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد. نتایج پژوهش نشان داد که معیار اقتصادی تأثیرگذارترین معیار با وزن ۰/۴۷۸ برای انتخاب روش مدیریت پسماند صنعت روغن زیتون است. پس از آن، طبق نظر خبرگان، به ترتیب معیارهای فنی با وزن ۰/۲۴۸، زیست‌محیطی با وزن ۰/۱۸۳ و اجتماعی با وزن ۰/۰۹۱ در رتبه‌های بعدی اهمیت قرار گرفتند. در رتبه‌بندی گزینه‌های مسئله، راهکار تولید کمپوست با وزن ۰/۲۴۵ بهترین روش برای مدیریت پسماند روغن زیتون در استان گیلان شناسایی شد. پس از آن به ترتیب روش‌های تولید انرژی تجدیدپذیر (۰/۲۴۳) در رتبه دوم، تولید خوراک دام (۰/۲۳۶) در رتبه سوم، استخراج مواد با ارزش (۰/۱۹۴) در رتبه چهارم اهمیت و دهن در لندفیل (۰/۰۸۲) در رتبه آخر قرار گرفتند.

### واژه‌های کلیدی

اقتصاد چرخه‌ای، بازیافت انرژی، تصمیم‌گیری چندمعیاره، ضایعات، کمپوست

### مقدمه

کشور است. در پرتو این چالش‌ها، سیاست‌گذاران، مدیران و کارخانه‌های مواد غذایی در جستجوی راهبردهای مناسب در راستای توسعه پایدار این صنایع هستند (Khounani et al., 2021). زیتون (*Olea europaea* L.) محصولی سازگار با اقلیم‌های مدیترانه‌ای و شبه مدیترانه‌ای است. این درخت معمولاً در مناطقی با زمستان‌هایی معتدل و تابستان‌هایی گرم و خشک و طولانی عملکرد مناسبی دارد (Niazmand et al., 2019; Del Pozo et al., 2019). بیشترین میزان تولید زیتون در ایران

افزایش رو به رشد جمعیت باعث افزایش تقاضای جهانی برای غذا و در نتیجه صنعتی شدن بخش کشاورزی-غذایی برای تولید بیشتر مواد خوراکی و تأمین امنیت غذایی شده است (Miraei Ashtiani et al., 2020; 2022). این صنایع پس از فرآوری محصول، مقادیر قابل توجهی ضایعات زیستی بر جای می‌گذارند که اثرهای نامطلوبی بر محیط‌زیست دارد. مدیریت پسماند کارخانه‌های صنایع غذایی یکی از چالش‌های بسیار مهم مدیریت پسماند در

پساب آنهاست. کارخانه‌های تولید روغن زیتون همواره با سازمان محیط‌زیست بر سر همین موضوع در چالش هستند. از این‌رو این شهرستان به ارائه راهکارهایی برای حل این مشکل نیاز مبرم دارد.

روش‌های مختلفی از جمله دفن در لندفیل، تبدیل پسماند به عنوان مواد خام برای تولید محصولات جدید مانند انرژی و مواد ارزشمند را می‌توان به منظور مدیریت پسماند صنایع غذایی به کار گرفت. در خصوص مدیریت انواع زیست‌توده باقیمانده این صنایع که قابلیت فرآوری و تبدیل به محصولات ارزشمند مختلفی را دارند پژوهش‌های متعددی شده است که به برخی از این مطالعات اشاره می‌شود.

در پژوهشی در استرالیا به منظور مدیریت پسماند جامد صنعت روغن زیتون، چندین سناریو با استفاده از روش ارزیابی چرخه زندگی بررسی شدند. گزینه‌ها شامل تولید زغال، پلت، پیرولیز و کمپوست بود. واحد عملکردی مورد استفاده در این مطالعه، یک میلی‌گرم پسماند جامد زیتون در نظر گرفته شد. این مطالعه نشان داد اگرچه کمپوست‌سازی بهترین روش صنعتی کنونی در استرالیا است و مزایای زیست‌محیطی قابل توجهی دارد، استفاده از پسماند تولید روغن زیتون برای تبدیل به محصولاتی که انرژی تولید می‌کنند، می‌تواند به نتایج بهتری منجر شود. در این میان تولید پلت بیشترین مزایای زیست‌محیطی را به همراه داشت (El Hanandeh, 2015). در مطالعه‌ای دیگر در ایتالیا اثرات زیست‌محیطی دو روش مدیریت پسماند تولید روغن زیتون شامل تفاله و پساب حاصل از تولید روغن زیتون فرابکر بررسی شد. به این منظور دو سناریوی تولید بیوگاز از پسماند و رهاسازی پسماند در خاک در نظر گرفته شد. واحد کارکردی میزان

به ترتیب مربوط به استان‌های زنجان، قزوین، گیلان و فارس است. بر اساس آمار جهاد کشاورزی، تولید زیتون ایران در سال ۱۴۰۰ تقریباً برابر ۱۲۸ هزار و ۵۸۸ تن بوده است. یکی از مهم‌ترین فرآورده‌های زیتون، روغن زیتون است که جزو ارزشمندترین روغن‌های خوراکی شناخته می‌شود. از این‌رو، فرآوری زیتون برای تولید این روغن در صنایع غذایی ایران اهمیت بالایی دارد. حدود ۴۰ تا ۴۵ درصد از محصول زیتون وارد فرآیند روغن‌کشی می‌شود که نزدیک به ۱۵ تا ۲۰ درصد وزن میوه قابلیت تبدیل شدن به روغن زیتون را دارد (Anon, 2022). بنابراین، می‌توان گفت در سال ۱۴۰۰ در حدود ۱۱ هزار تن روغن زیتون در کشور تولید شده است. استخراج روغن زیتون معمولاً با دستگاه‌های روغن‌کشی گریز از مرکز سه فاز صورت می‌گیرد که در این فرآیند سه محصول تولید می‌شود که وزن محصول اصلی یعنی روغن زیتون تقریباً ۲۰ درصد، و وزن دو محصول فرعی تفاله زیتون و پساب کارخانه روغن زیتون به ترتیب تقریباً ۳۰ و ۵۰ درصد است (Batuecas et al., 2019). بر این اساس، پسماند تولید روغن زیتون اعم از جامد و مایع حجم بسیار قابل توجهی دارد. در نتیجه مدیریت پسماند حاصل از استخراج روغن در کارخانه‌های فرآوری زیتون اهمیت بالایی دارد. پسماند تولید روغن زیتون محتوی مواد شیمیایی است که در صورت رهاسازی در مناطق آزاد باعث آلودگی آب، خاک و محصولات کشاورزی می‌شوند (Khdair et al., 2019).

در حال حاضر در شهرستان رودبار تفاله پس از فرآوری معمولاً برای خوراک دام استفاده می‌شود اما پساب بدون فرآوری رها می‌گردد. این پسماند مایع مشکلات زیست‌محیطی بسیار زیادی ایجاد می‌کند و از این‌رو بزرگ‌ترین معضل واحدهای روغن‌کشی،

بیواتانول از تفاله فرایند روغن‌کشی زیتون (Tayeh *et al.*, 2014)، استخراج پکتین از پسماند کارخانه روغن زیتون (Rubio-Senent *et al.*, 2015)، تولید بیودیزل از روغن تفاله زیتون (Rajaeifar *et al.*, 2016)، تبدیل مخلوط پسماند جامد و مایع این صنعت به بیوجار، نفت زیستی و گاز (Aissaoui *et al.*, 2021) و تولید متانول از تفاله زیتون (Puig-Gamero *et al.*, 2021).

با توجه به مطالب ذکر شده، راهکارهای گوناگونی در خصوص مدیریت پسماند صنایع غذایی وجود دارد. پس از شناسایی روش‌های مدیریت پسماند و عوامل مؤثر بر تصمیم‌گیری سیاست‌گذاران، انتخاب روش‌های مناسب ساده‌تر می‌شود. به منظور گزینش بهترین راهکار می‌توان از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی<sup>۱</sup> (AHP) استفاده کرد. این روش یکی از مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است که در سال ۱۹۸۰ توماس ساعتی آن را ارائه داد (Shahnazari *et al.*, 2020). روش AHP می‌تواند پاسخ به مسائل پیچیده و دارای انواع ابهامات را امکان‌پذیر کند. در این روش می‌توان معیارهای کیفی را نیز در کنار معیارهای کمی لحاظ کرد. روش AHP راهکار ایجاد ساختار سلسله مراتبی را به منظور رفع ابهام در درک مسئله پیشنهاد می‌کند و راهکار مقایسات زوجی را در پی رفع مشکل نسبی بودن مفاهیم ارائه می‌کند (Saaty, 2008).

بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد تا کنون در مورد شناسایی، رتبه‌بندی و انتخاب روش مناسب مدیریت پسماند صنعت روغن زیتون در ایران تحقیق نشده است. با توجه به ضرورت مدیریت حجم بالای پسماند باقی‌مانده در این صنعت، هدف

پسماند حاصل از تولید یک لیتر روغن زیتون تعیین شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که سناریوی رهاسازی پسماند زیتون به دلیل تغییر خواص شیمیایی خاک و آلودگی سفره‌های آب زیرزمینی، باعث تأثیر شدید در شاخص‌های زیست‌محیطی می‌شود. در حالی که در تولید بیوگاز، نسبت به سناریوی دیگر، اثرات زیست‌محیطی کاهش قابل توجهی پیدا می‌کنند (Batuecas *et al.*, 2019).

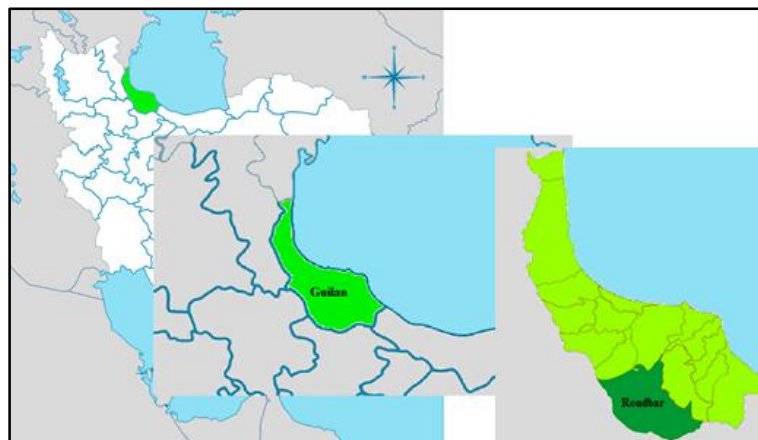
اثرات زیست‌محیطی هضم بی‌هوازی پسماند جامد کارخانه زیتون با استخراج روغن تفاله زیتون، با روش ارزیابی چرخه زندگی مقایسه شد. استخراج روغن تفاله خام از ضایعات جامد کارخانه زیتون معمولاً با استفاده از حلال‌های آلی (هگزان) صورت می‌گیرد. پیش از استخراج، معمولاً با استفاده از گاز طبیعی برای کاهش رطوبت و مواد فرار ضایعات از حدود ۶۵ درصد به کمتر از ۸ درصد یک مرحله خشک کردن طی می‌شود که انرژی زیادی مصرف می‌کند. از طرفی، تفاله باقی‌مانده پس از خشک شدن به عنوان یک سوخت زیستی جامد در نظر گرفته می‌شود. در سناریوی هضم بی‌هوازی، از پسماند جامد کارخانه زیتون بیوگاز تولید می‌شود. با احتراق بیوگاز به طور همزمان گرما و الکتریسیته تولید و مواد باقیمانده در هاضم نیز کمپوست می‌شود. نتایج بررسی‌ها نشان داد که هضم بی‌هوازی اثرات زیست‌محیطی را در حدود ۸۸ درصد نسبت به استخراج روغن تفاله زیتون کاهش می‌دهد. چالش دیگری که تولیدکنندگان روغن تفاله با آن مواجه هستند، ارزش تجاری پایین روغن تفاله است (Alonso-Fariñas *et al.*, 2020). در مطالعاتی دیگر به این موضوع‌ها پرداخته شده است: تبدیل پسماند صنایع روغن زیتون و ارزش افزوده از جمله تولید

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

در پژوهش حاضر منطقه مورد مطالعه، شهرستان رودبار واقع در استان گیلان در نظر گرفته شد (شکل ۱). شهرستان رودبار با آب و هوای مدیترانه‌ای ۱۵۲۱ کیلومترمربع وسعت دارد و بین عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۰۷ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۰۵ دقیقه واقع شده است (Mohammadpour *et al.*, 2019). در سال ۱۴۰۰ از سطح بیش از ۸۴۰۰ هکتار باغ‌های بارور زیتون این شهرستان، با عملکرد ۱۹۲۶ کیلوگرم در هکتار تقریباً ۱۶ هزار و ۶۳۰ تن زیتون برداشت شده است (Anon, 2022).

از پژوهش حاضر گزینش بهترین روش مدیریت پسماند صنعت روغن زیتون در استان گیلان با استفاده از روش AHP است. تا اهمیت هر یک از روش‌های مدیریت پسماند با توجه به اولویت‌ها و دیدگاه متخصصان این حوزه بررسی شود و راهکارهای مؤثر با بازدهی بیشتر برای برنامه‌ریزی راهبردی به منظور دستیابی به اهداف توسعه پایدار ارائه شود. لازم است برخی از راهکارهای پیشنهادی در این پژوهش برای مدیریت پسماند زیتون، علاوه بر مصرف تفاله زیتون، امکان استفاده از پساب واحدهای روغن‌کشی را هم فراهم می‌کند. به عبارت دیگر این راهکارها مدیریت ترکیبی تفاله و پساب فرایند روغن‌کشی زیتون را ممکن می‌سازند.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه استان گیلان - شهرستان رودبار

Fig. 1- Area of study Gilan province - Rudbar

زیرمعیارها (شاخص‌های سنجش راه‌حل‌ها)، گزینه‌ها (راه‌حل‌های پیشنهادی برای حل مسئله) است.  
۲. تعیین اولویت‌ها با استفاده از مقایسات زوجی معیارها با هم، زیرمعیارهای نسبت به معیار بالاتر با هم و راه‌حل‌ها نسبت به زیرمعیارهای بالاتر.  
۳. سنجش سازگاری منطقی قضاوت‌های مقایسات زوجی با کمک محاسبه میزان ناسازگاری (Saaty, 1988).

## فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به منظور رتبه‌بندی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌های حل مشکل استفاده شد. این روش با کمک سه گام زیر قادر است مسائل پیچیده و مبهم را با شکستن مسئله به اجزای کوچک‌تر قابل حل کند.

۱. تشکیل درخت سلسله مراتبی: درخت تصمیم دارای بخش‌های هدف (پرسش مسئله)، معیارها و

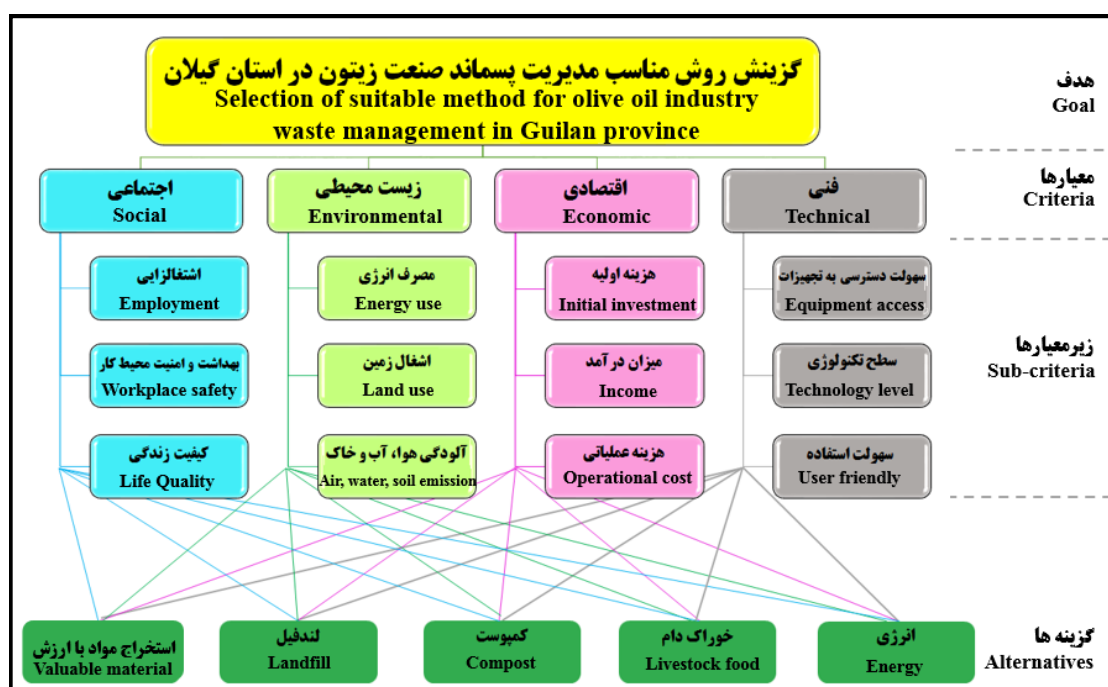
پایایی پرسشنامه مقایسات زوجی در روش AHP با میزان ناسازگاری ارزیابی می‌شود. برای هر ماتریس مقایسات زوجی میزان ناسازگاری کمتر از ۰/۱ قابل قبول است. میزان سازگاری، به معنای ارتباط منطقی بین پاسخ‌های خبرگان به ماتریس مقایسات زوجی است (Saaty, 1988). در این پژوهش برای شناسایی، انتخاب و دسته‌بندی عوامل مؤثر بر تصمیم‌گیری سیاست‌گذاران در حوزه مدیریت پسماند کارخانه‌های روغن زیتون و راهکارهای ممکن، بررسی منابع کتابخانه‌ای جامعی از جمله کتاب‌ها، گزارش‌ها، مقالات علمی و همچنین مشورت با کارشناسان مرتبط مد نظر قرار گرفت. بر این اساس چهار معیار اقتصادی، فنی، زیست‌محیطی و اجتماعی به عنوان معیارهای مؤثر در انتخاب روش مناسب مدیریت پسماند صنعت روغن زیتون شناسایی شدند. برای این ۴ معیار ۱۲ زیرمعیار تعیین شد که در جدول ۱ به تفکیک شرح داده می‌شوند.

جدول ۱- شرح زیرمعیارها  
Table 1- Description of sub-criteria

معیار	زیرمعیارها	توضیح زیرمعیارها
Criteria	Sub-criteria	Description of sub-criteria
اقتصادی Economic	سرمایه‌گذاری اولیه	گزینه‌هایی که نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه کمتری دارند مطلوب‌اند Options that require less initial investment are desirable
	درآمد	گزینه‌ای مطلوب است که درآمد بیشتری تولید می‌کند It is a desirable option that produces more income
	هزینه عملیاتی	شامل هزینه‌های نیروی کار (حقوق، بیمه و مالیات)، حمل‌ونقل، آب، برق و سوخت، تعمیر و نگهداری که هرچه کمتر باشد بهتر است This includes labor costs (salaries, insurance and taxes), transportation, water, electricity, fuel, repair and maintenance; the less the better
فنی Technical	سهولت دسترسی به تجهیزات	به معنای دسترسی آسان‌تر به قطعات و خدمات پس از فروش It means easier access to technical parts and after sales services
	سهولت استفاده از فناوری	به معنای گزینه‌ای است که کار با آن آسان‌تر است و نیاز به تخصص خاصی ندارد It means an option that is easier to work with and does not require special expertise
	سطح تکنولوژی	یعنی کدام سیستم به سطح فناوری بالایی نیاز ندارد That is, which option does not require a high level of technology
زیست‌محیطی Environmental	اشغال زمین	مقدار زمین مورد نیاز برای گزینه‌ها که هرچه کمتر باشد مطلوب‌تر است The less land required for the options, the better
	مصرف انرژی	گزینه‌ای که انرژی فسیلی کمتری مصرف می‌کند بهتر است The option that consumes less fossil energy is better
	آلودگی آب، هوا، خاک	گزینه‌ای که باعث ساطع شدن کمتر آلاینده‌های زیست‌محیطی می‌شود مناسب‌تر است The option that emits less environmental pollutants is more suitable
اجتماعی Social	اشتغال‌زایی	به این معناست که هر فناوری چه میزان به نیروی کار اعم از متخصص و کارگر نیاز دارد It means how many workers each technology needs, including specialists and laborers
	جنبه‌های ایمنی و بهداشتی کار	به سطح بهداشت و ایمنی در محیط کار مربوط می‌شود It is related to the level of health and safety in the workplace
	کیفیت زندگی	کیفیت زندگی افراد جامعه با توجه به نوع مدیریت پسماند The quality of life of the people in the society according to the type of waste management

پسماند تولید روغن زیتون که دارای ارزش تجاری، صنعتی یا دارویی هستند مانند روغن تفاله زیتون، آنتی‌اکسیدان‌ها، پکتین، پلیمرهای زیستی و غیره. همان‌طور که پیشتر اشاره شد، در مرحله نخست به منظور درک پیچیدگی و ساده‌سازی، بخش‌های مختلف مسئله به صورت یک درخت تصمیم به اجزای هدف، معیارها، زیرمعیار و گزینه‌ها دسته‌بندی شدند. سپس درخت سلسله مراتبی در شکل ۲ رسم شد.

پنج گزینه به عنوان راهکار برای مدیریت پسماند این صنعت پیشنهاد شد شامل: ۱- خوراک دام: تولید خوراک دام از پسماند کارخانه روغن زیتون، ۲- کمپوست: تولید کمپوست از پسماند برای استفاده به عنوان کود، ۳- لندفیل: دفع پسماند در مکان‌های دفن زباله شهری، ۴- انرژی: تولید انرژی تجدیدپذیر مانند بیوجاز، بیوچار، بیودیزل و غیره از پسماند و ۵- استخراج مواد ارزشمند: استخراج موادی از



شکل ۲- درخت سلسله مراتبی برای انتخاب راهکار مناسب مدیریت زباله صنعت روغن زیتون

Fig. 2- Hierarchical tree for choosing the best waste management alternative for the olive oil industry

دادن امتیازهای عددی به آنها برطرف می‌گردد (Gompf *et al.*, 2021). بر این اساس، پرسش‌نامه مقایسات زوجی با هدف انتخاب روش مناسب مدیریت پسماند صنایع تولید روغن زیتون با استفاده از عناصر موجود در سطوح درخت سلسله مراتبی شکل ۲ طراحی شد. به طور کلی درخت سلسله مراتبی با  $n$  عنصر، نیاز به پرسش‌نامه‌ای با تعداد سؤال‌های  $\frac{n(n-1)}{2}$  دارد (Saaty, 2008).

در مرحله دوم برای کمی کردن میزان اولویت معیارها نسبت به هم، عناصر هر سطح دو به دو، با توجه به معیار سطح بالاتر خود در درخت سلسله مراتبی با هم مقایسه می‌شوند. برای این کار از جدول مقایسه نسبی شاخص‌ها استفاده می‌شود که مشابه طیف لیکرت است و در جدول ۲ نمایش داده شده است (Sharifi *et al.*, 2014). در واقع، معضل نسبی بودن عناصر کیفی به وسیله مقایسات زوجی با مقایسه دو به دو آنها و اختصاص

جدول ۲- ارزش گذاری عددی مقایسات زوجی در روش تحلیل سلسله مراتبی  
Table 2- Numerical evaluation of pairwise comparisons for AHP method

ترجیحات Preferences	ارزش Value
Equal importance	اهمیت برابر یا ترجیح یکسان
Moderate importance	کمی مهم تر
Strong importance	مهم تر یا اهمیت بالا
Very strong importance	خیلی مهم تر یا اهمیت خیلی بالا
Absolute importance	کاملاً مهم یا اهمیت بی نهایت
Intermediate values between judgments	اهمیت بین فواصل 2, 4, 6, 8

یک سطح درخت سلسله مراتبی نسبت به سطح بالاتر را در برمی گیرند. به عبارت دیگر، هر بخش پرسش نامه یک ماتریس مقایسات زوجی است. در صورت مقایسه عنصر n با عنصر m کارشناس باید تصمیم بگیرد کدام یک از آنها، چه مقدار بر دیگری برتری دارد. با این کار به هر عنصر وزنی نسبی اختصاص داده می شود که با ادغام آنها وزن نهایی گزینه ها مشخص می شود. به علت وجود برخی تفاوت ها در امتیازدهی خبرگان به پرسش ها، لازم است میانگین مقادیر امتیازهای هر عنصر در پرسش نامه ها حساب شود و در نهایت یک ماتریس مقایسات زوجی برای هر بخش به دست آید (Saaty, 1988). این ماتریس ها به صورت رابطه ۱ تشکیل می شوند که در معیارها دو به دو باهم مقایسه می شوند و با تکمیل مثلث بالایی ماتریس قسمت باقیمانده هم محاسبه می شود و در نتیجه نیازی به تکمیل قسمت پایینی ماتریس توسط کارشناسان نیست. در این راستا، پرسش نامه های مقایسات زوجی توسط کارشناسان بین اعداد ۱ تا ۹ امتیازدهی شدند. سپس همه پرسش نامه ها وارد نرم افزار Expert Choice شدند و میانگین هندسی امتیازهای هر یک از سؤال های مربوط به معیارها، زیرمعیارها و گزینه ها طبق رابطه ۲ توسط نرم افزار محاسبه شد.

با بهره گیری از روش نمونه گیری هدفمند، ۲۰ پرسش نامه از طریق مصاحبه حضوری با کارشناسان متخصص و خبرگان در این زمینه شامل کارکنان جهاد کشاورزی استان گیلان، جهاد کشاورزی شهرستان رودبار، اداره محیط زیست شهرستان رودبار، کارخانه های تولید روغن زیتون، تولیدی های کود و خوراک دام از تفاله زیتون تکمیل شد. مشخصات کارشناسان شرکت کننده در مصاحبه ها در جدول ۳ آورده شده است.

در روش های تصمیم گیری چند معیاره، از نمونه گیری غیرتصادفی هدفمند استفاده می شود. روش AHP روشی خبره محور است و به حجم نمونه زیاد نیاز ندارد. در واقع، مصاحبه با ۵ تا ۲۰ کارشناس برای تحقیقات مبتنی بر مقایسه زوجی کافی است. به پرسش نامه مقایسات زوجی، پرسش نامه خبره هم گفته می شود، زیرا کارشناسان ماهری به پرسش ها پاسخ می دهند که در حوزه مورد مطالعه صاحب نظر هستند. بنابراین، تعداد افراد واجد شرایط محدود است و در بسیاری از موارد حتی ۱۰ کارشناس خبره و مسلط به موضوع هم در دسترس محققان نیستند (Rafiee & Ghasemi Mobtaker, 2022).

ماتریس های مقایسات زوجی، ماتریس هایی مربعی هستند که مقایسه برتری دو به دو عنصرها در

که در آن،

$$a = \text{امتیاز خبرگان به شاخص‌ها در هر یک از مقایسات زوجی؛ } n = \text{تعداد پرسش‌نامه‌ها؛}$$

$$G = \sqrt[n]{a_1 a_2 \dots a_n} \quad (2)$$

جدول ۳- مشخصات خبرگان شرکت‌کننده در مصاحبه‌ها

Table 3- Profiles of experts participating in the interviews

تولیدی خوراک دام	تولیدی کود	کارخانه روغن زیتون	اداره محیط‌زیست	ایستگاه تحقیقات زیتون	جهاد کشاورزی	
Animal feed production	Fertilizer production	Olive oil factory	Environment Department	Olive Research Station	Agricultural Jihad	
2	3	7	2	1	2	تعداد
-	-	-	1	1	1	Number
1	-	1	1	1	-	30-40
1	3	4	2	1	2	سن
-	-	2	-	-	1	Age
-	-	1	-	-	-	Diploma degree
-	-	1	-	-	-	کاردانی Associate degree
1	2	4	-	-	-	سطح تحصیلات
1	1	1	1	-	1	کارشناسی ارشد Master's degree
-	-	-	2	2	2	دکتری Doctoral degree
1	2	2	1	1	1	1-10
1	1	3	2	1	2	11-20
-	-	1	-	-	-	21-30
-	-	1	-	-	-	>30
						Work Experience

زوجی یافتن وزن هر یک از شاخص‌هاست. در این ماتریس‌ها  $i, j = \{1, \dots, n\}$  و پارامتر  $n$  تعداد شاخص‌هاست. به منظور محاسبه وزن هر یک از معیارها، ابتدا لازم است تمام عناصر ماتریس با رابطه ۳ نرمال شوند (Shahnazari et al., 2020).

در مرحله سوم، سازگاری منطقی قضاوت‌ها با محاسبه میزان ناسازگاری مربوط به تمامی ماتریس‌های مقایسات زوجی به دست می‌آید که نباید بیشتر از میزان قابل قبول ۰/۱ باشد. سپس به کمک روش آنتروپی می‌توان وزن‌های نسبی عنصرها را محاسبه کرد. هدف از مقایسات



$R_k$  = وزن نهایی گزینه  $k$ ؛  $W_i$  = وزن معیار  $i$ ؛  $r_{ik}$  = وزن نسبی گزینه  $k$  نسبت به معیار  $i$  (Shahnazari et al., 2020).

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^n r_{ij}} \quad (3)$$

که در آن،

$r_{ij}$  = امتیازهای خبرگان به شاخص‌ها در مقایسات زوجی؛ و  $P_{ji}$  = نرم مجموع. سپس آنتروپی با رابطه ۴ حساب می‌شود. در این رابطه،  $K = \frac{1}{\ln(n)}$  و مجموعه  $P_{ij}$  ها به ازای هریک از معیارها محاسبه می‌شود.

$$E_j = -K \sum_{i=1}^n [P_{ij} \cdot \ln P_{ij}] \quad (4)$$

که در آن،

$P_{ji}$  = نرم مجموع؛ و  $E_j$  = آنتروپی.

در گام بعدی، درجه انحراف هر شاخص از رابطه ۵ به دست می‌آید.

$$d_j = 1 - E_j \quad (5)$$

که در آن،

$E_j$  = آنتروپی؛ و  $d_j$  = درجه انحراف هر معیار.

سپس وزن نسبی هریک از شاخص‌ها با رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (6)$$

که در آن،

$d_j$  = درجه انحراف هر معیار؛ و  $w_j$  = وزن معیارها.

در نهایت با ادغام وزن‌های نسبی معیارها، وزن نهایی گزینه‌ها از رابطه ۷ به دست می‌آید.

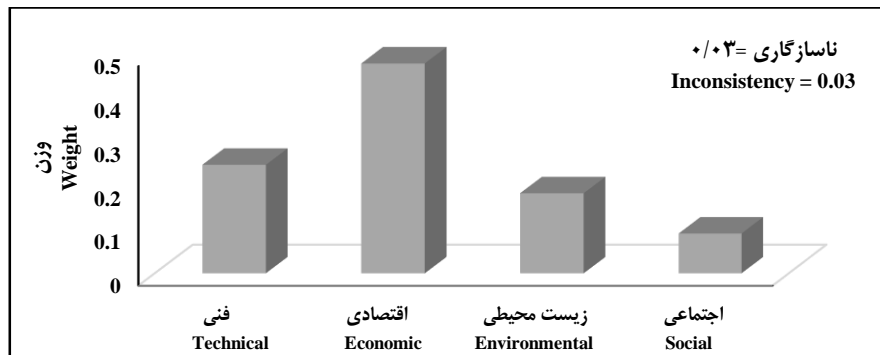
$$R_k = \sum w_i \times r_{ik} \quad (7)$$

که در آن،

نرم‌افزار Expert Choice 11 برنامه‌ای کاربردی برای حل مسائل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است که در پژوهش حاضر از این نرم‌افزار استفاده شد. ابتدا هدف مدل، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها وارد نرم‌افزار شدند و مدل درخت سلسله مراتبی ذخیره شد. پس از آن ماتریس‌های مقایسات زوجی به عنوان ورودی وارد نرم‌افزار شدند و میزان ناسازگاری هر یک از ماتریس‌ها نیز با نرم‌افزار برآورد شد. دیگر مراحل حل مسئله برابر روش گفته شده در بالا دنبال شد.

### نتایج و بحث

تحقیق حاضر با هدف انتخاب روش‌های مناسب مدیریت بقایای تولید روغن زیتون در استان گیلان به اجرا درآمد. پس از تکمیل پرسش‌نامه‌های مقایسات زوجی به وسیله خبرگان، نتایج خروجی نرم‌افزار برای معیارهای مورد مطالعه در شکل ۳ نمایش داده شد. وزن هر معیار اهمیت آن معیار را در انتخاب هدف مشخص می‌کند. با توجه به نتایج مؤلفه، جنبه‌های اقتصادی مهم‌ترین معیار در انتخاب روش مدیریت پسماند در صنعت روغن زیتون با وزن ۰/۴۷۸ گزارش شد. پس از معیار اقتصادی اهمیت سایر مولفه‌ها به ترتیب به صورت معیار فنی با وزن ۰/۲۴۸، معیار زیست‌محیطی با وزن ۰/۱۸۳ و معیار اجتماعی با وزن ۰/۰۹۱ از دیدگاه کارشناسان قرار گرفت. میزان ناسازگاری نیز در حد قابل قبول  $< 0/1$  گرفت. ۰/۰۳ گزارش شد.

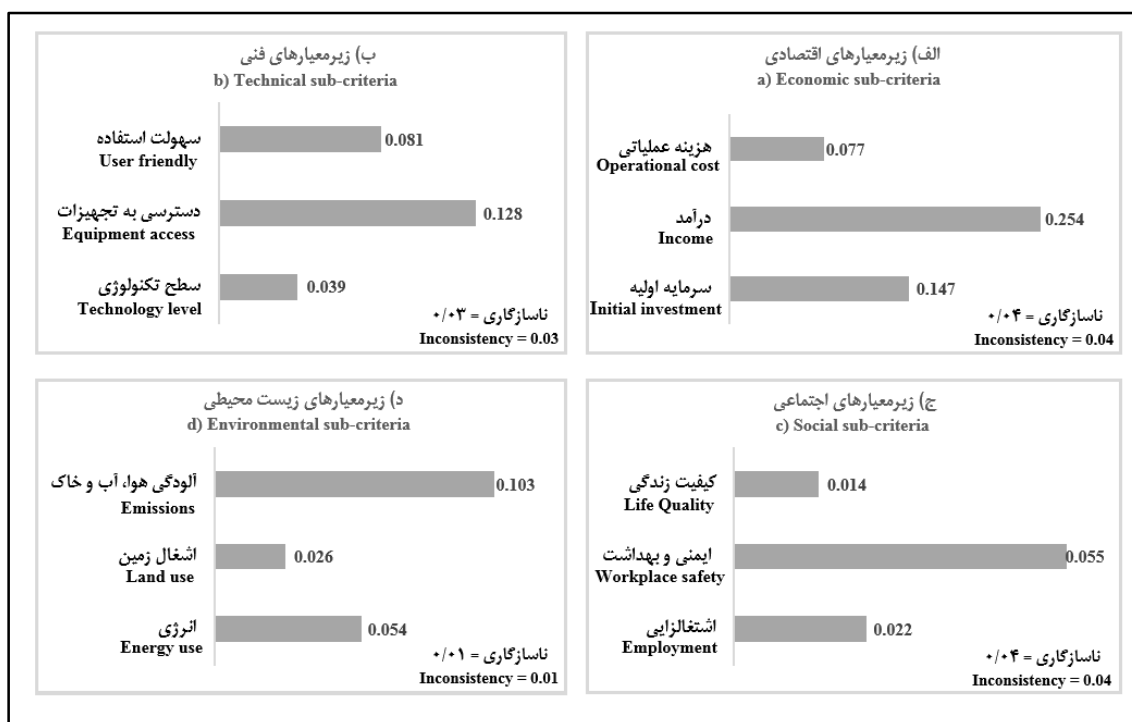


شکل ۳- نمودار رتبه‌بندی اهمیت معیارها

Fig. 3- Chart of criteria importance ranking

مقایسات زوجی در هر یک از زیرمعیارهای سطح بالاتر ارزیابی و وزن‌های هر گزینه مشخص شد. سپس با ادغام وزن‌های به دست آمده وزن هر گزینه در معیارهای اصلی نیز مشخص شد. خروجی نرم‌افزار مربوط به وزن‌های نسبی گزینه‌ها در معیارها و زیرمعیارها به طور جداگانه در جدول ۴ آورده شده است. با توجه به وزن گزینه‌ها در زیرمعیارهای اقتصادی و ادغام آنها گزینه تولید خوراک دام از پسماند به عنوان راهکار اقتصادی برای مدیریت پسماند کارخانه‌های تولید روغن زیتون با وزن ۰/۲۷۰ گزارش شد. بعد از آن گزینه‌های تولید مواد بالارزش، تولید انرژی و تولید کمپوست به ترتیب اهمیت قرار دارند. به همین صورت با توجه به معیار فنی و زیرمعیارهای آن گزینه تولید کمپوست از پسماند تولید روغن زیتون با وزن ۰/۳۴۶ بالاتر از سایر گزینه‌ها و پس از آن گزینه خوراک دام با وزن ۰/۲۸۰ قرار گرفت. در خصوص معیار زیست‌محیطی، گزینه بازیافت انرژی از پسماند صنعت روغن زیتون با اختلاف زیادی نسبت به سایر گزینه‌ها و با وزن ۰/۴۰۱ بهترین گزینه برآورد شد. در مورد معیار اجتماعی نیز گزینه بازیافت انرژی با وزن ۰/۴۲۴ برتر از سایر گزینه‌ها به دست آمد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در تمامی ماتریس‌های مقایسات زوجی مربوط به گزینه‌ها میزان ناسازگاری به اندازه قابل قبول کمتر از ۰/۱ بوده است.

در مرحله بعد، میزان تأثیرگذاری زیرمعیارهای هر یک از چهار معیار اصلی ارزیابی شد. وزن هر یک از زیرمعیارها در بخش مربوط به معیار سطح بالاتر خود به طور جداگانه در شکل ۴ مشخص شده است. در بخش اقتصادی، مؤلفه میزان درآمد با وزن ۰/۲۵۴ مهم‌ترین زیرمعیار شناخته شد و پس از آن مؤلفه میزان سرمایه‌گذاری اولیه با تأثیر ۰/۱۴۷ و هزینه عملیاتی با وزن ۰/۰۷۷ قرار گرفتند. در بین زیرمعیارهای بخش فنی مورد دسترسی به تجهیزات با وزن ۰/۱۲۸ و بعد از آن به ترتیب زیرمعیارهای سهولت دسترسی (۰/۰۸۱) و سطح تکنولوژی (۰/۰۳۹) قرار گرفتند. در بخش زیست‌محیطی زیر معیار آلودگی آب، هوا و خاک با وزن ۰/۱۰۳ و بعد از آن زیرمعیارهای مصرف انرژی (۰/۰۵۴) و اشغال زمین (۰/۰۲۶) به ترتیب اثرگذاری گزارش شدند. در بخش اجتماعی، زیرمعیار ایمنی و بهداشت محیط کار با وزن ۰/۰۵۵ مؤثرترین زیرمعیار شناخته شد و پس از آن زیرمعیارهای اشتغال‌زایی (۰/۰۲۲) و کیفیت زندگی (۰/۰۱۴) قرار گرفتند. لازم به ذکر است برای هر چهار ماتریس زیرمعیارها، میزان ناسازگاری کمتر از ۰/۱ برآورد شد، در نتیجه می‌توان گفت که قضاوت‌های مقایسات زوجی دارای سازگاری و پایایی قابل قبولی هستند. در گام بعدی، برتری گزینه‌های مسئله به صورت



شکل ۴- نمودارهای رتبه‌بندی اهمیت زیرمعیارها در معیار مربوط به خود  
 Fig. 4- Charts of ranking the importance of sub-criteria in their criteria

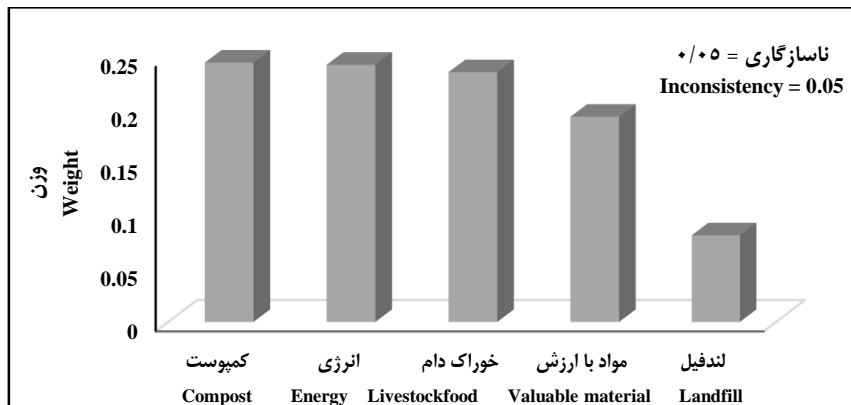
جدول ۴- امتیازهای گزینه‌ها در معیارها و زیرمعیارها

Table 4- Scores of alternatives in criteria and sub-criteria

معیار	زیرمعیار	کمیپوست	انرژی	خوراک دام	مواد با ارزش	لندفیل	نرخ ناسازگاری
Criteria	Sub-criteria	Compost	Energy	Livestock food	Valuable material	Landfill	Inconsistency ratio
		<b>0.346</b>	0.129	0.280	0.056	0.190	0.05
فنی Technical	سطح تکنولوژی Technology level	0.269	0.121	0.212	0.067	0.331	0.07
	دسترسی به تجهیزات Equipment access	0.392	0.131	0.264	0.053	0.160	0.05
	سهولت استفاده User friendly	0.321	0.129	0.334	0.053	0.162	0.05
اقتصادی Economic	سرمایه‌گذاری اولیه Initial investment	0.182	0.286	0.411	0.081	0.036	0.05
	میزان درآمد Income	0.250	0.114	0.186	0.417	0.032	0.05
	هزینه عملیاتی Operational cost	0.146	0.460	0.271	0.070	0.053	0.07
زیست‌محیطی Environmental	اشغال زمین Land use	0.073	0.297	0.138	0.460	0.032	0.07
	صرف انرژی Energy use	0.115	0.449	0.087	0.269	0.080	0.05
	آلودگی آب، هوا، خاک Air, water, soil emissions	0.265	0.402	0.126	0.172	0.036	0.04
اجتماعی Social	اشتغال‌زایی Employment	0.327	0.282	0.196	0.120	0.075	0.03
	ایمنی و بهداشت محیط کار Workplace safety	0.107	0.486	0.144	0.227	0.036	0.06
	کیفیت زندگی Life Quality	0.123	0.508	0.086	0.247	0.035	0.07

یکی از روش‌های مناسب مدیریت پسماند در جایگاه دوم قرار گرفت. گزینه تولید خوراک دام با وزن ۰/۲۳۶ و گزینه تولید مواد با ارزش با وزن ۰/۱۹۴ به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. گزینه دفن در لندفیل با اختلاف زیاد در رتبه آخر با وزن ۰/۰۸۲ قرار گرفت و می‌توان نتیجه گرفت که این گزینه راهکار نامناسبی برای مدیریت پسماند در این حوزه است. میزان ناسازگاری کلی در مسئله حاضر ۰/۰۵ یعنی کمتر از ۰/۱ محاسبه شد که قابل قبول است.

در مرحله آخر، پس از ادغام وزن‌های نسبی گزینه‌ها در سطح معیارها، وزن نهایی گزینه‌ها به دست آمد. خروجی نهایی نرم‌افزار به صورت نمودار در شکل ۵ گزارش شده است. همان‌طور که در نمودار مشخص است، طبق نظر کارشناسان خبره و با استفاده از روش AHP بهترین راهکار برای مدیریت پسماند صنایع روغن زیتون در استان گیلان گزینه تولید کمپوست از پسماند این محصول با وزن ۰/۲۴۵ انتخاب شد. پس از آن گزینه تولید انرژی از پسماند با اختلافی اندک و با وزن ۰/۲۴۳ به عنوان



شکل ۵- وزن نهایی گزینه‌های مدیریت پسماند تفاله زیتون با روش AHP

Fig. 5- Total weight of olive pomace waste management options by the AHP method

بازیافت تفاله زیتون، امکان استفاده از پساب کارخانه هم وجود داشت، از نظر کارشناسان امتیاز بالاتری کسب کردند. پسماند تولید روغن زیتون به دو روش هوازی (کمپوست‌سازی) و بی‌هوازی (تخمیری) تصفیه بیولوژیکی می‌شود (Muezzinoglu, 2023).

گزینه تولید کمپوست از پسماند کارخانه روغن زیتون در استان گیلان بالاترین امتیاز را به خود اختصاص داد. از آنجایی که پسماند کارخانه روغن زیتون حاوی مقدار زیادی مواد آلی و مغذی است، برای غنی‌سازی خاک مفید است. اما به دلیل وجود ترکیبات فنلی، چربی و غیره نمی‌توان از این پسماند مستقیماً به عنوان کود استفاده کرد و باید پیش از

با توجه به نتایج تحقیق حاضر، راهکارهایی که از دیدگاه کارشناسان امتیاز بیشتری کسب کردند در راستای هدف‌های اقتصاد چرخه‌ای قرار دارند؛ به عبارت دیگر، استفاده از پسماند صنایع روغن زیتون و به کارگیری این راهکارها می‌تواند به کاهش بهره‌برداری از منابع طبیعی و کاهش معضل‌های زیست‌محیطی کمک کند. بنابراین، لازم است به این روش‌های مدیریت پسماند انتخاب شده توجه ویژه‌ای داشت. لازم است یادآوری شود به دلیل اینکه فاضلاب کارخانه‌های روغن‌کشی زیتون در صورت رهاسازی در طبیعت از لحاظ زیست‌محیطی بسیار زیان‌آور هستند، راهکارهایی که در آنها علاوه بر

به دلیل ارزان بودن سوخت در ایران در رتبه دوم قرار گرفته است. در صورت گران تر شدن سوخت در کشور و تغییر در سیاست گذاری های بخش انرژی، این راهکار می تواند به جایگاه اول انتقال یابد. با توجه به بحران انرژی کنونی کشور برای تأمین گاز مصرفی، در بین انرژی های تجدیدپذیر ذکر شده، تولید بیوگاز می تواند گزینه ای مناسب برای کمک به کمتر شدن مشکلات دسترسی به انرژی در بخشی از صنايع غذایی کشور پیشنهاد شود.

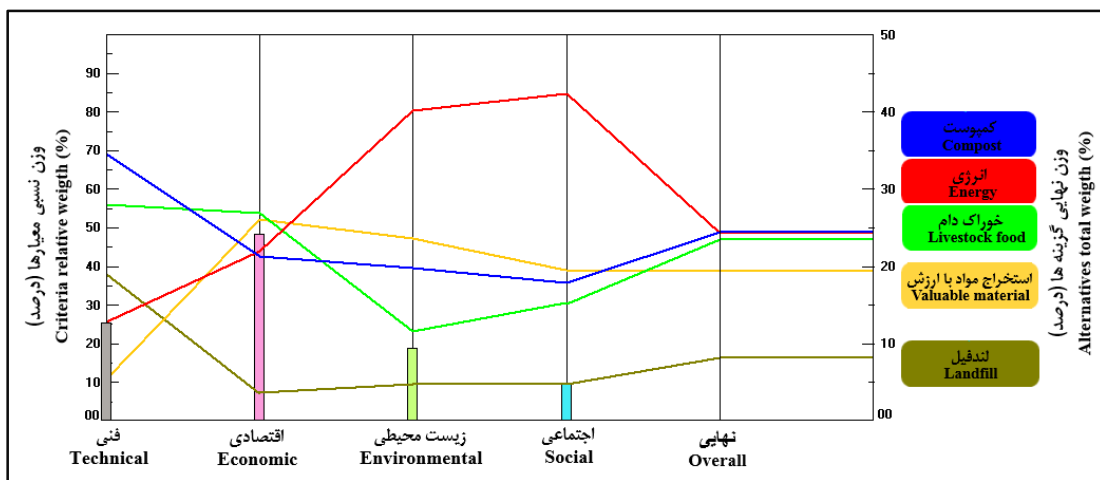
در دسترس بودن میزان بالای تفاله زیتون در کارخانه های روغن زیتون، این ماده را به گزینه ای جذاب برای خوراک دام بدل می کند و از نظر کارشناسان در رتبه سوم راهکارهای مدیریت پسماند صنعت روغن زیتون در گیلان قرار دارد. از آنجایی که آب و روغن موجود در تفاله باعث فاسد شدن و کپک زدن آن در معرض هوا می شود، برای استفاده از تفاله به عنوان خوراک دام باید آن را فرآوری کرد. به این منظور لازم است روغن موجود در تفاله با استفاده از حلال استخراج شود و تفاله در معرض حرارت قرار گیرد تا رطوبت آن نیز حذف و تفاله خشک به دست آید (Muezzinoglu, 2023). تفاله خشک سپس آسیاب می شود و به پودر یا کنجاله زیتون تبدیل خواهد شد. با وجود بالا بودن میزان فیبر در تفاله زیتون، به دلیل کم بودن میزان پروتئین و نیز به دلیل وجود برخی ترکیبات از جمله فنل ها که برای تغذیه دام مناسب نیستند. بنابراین استفاده از آن به عنوان منبع اصلی غذا برای دام امکان پذیر نیست؛ اما می تواند جایگزین درصدی از خوراک دام مانند جو و ذرت شود. این کار موجب کاهش هزینه بدون داشتن اثر سوء بر رشد دام می شود که از لحاظ اقتصادی به صرفه تر است (Foti et al., 2022).

استفاده از آن، با فرآیند کمپوست کردن سم زدایی شوند (Alburquerque et al., 2006). با کمپوست سازی ترکیبی پسماند جامد و مایع، تصفیه تفاله و پساب تولید روغن زیتون امکان پذیر است (Filippi et al., 2002; Salomone & Ioppolo, 2012; Lobna et al., 2020; Muezzinoglu, 2023). به دلیل اینکه این روش قادر به حل مشکل فاضلاب کارخانه های روغن کشی نیز هست، از نظر کارشناسان امتیاز بالایی کسب کرد. کمپوست تولید شده کود آلی مناسبی است که برای حاصلخیزی خاک بسیار مفید بوده و استفاده از آن نیاز به کودهای معدنی را کاهش داده و سبب کاهش مخاطرات زیست محیطی نیز می شود (Seyedi Marghaki et al., 2017).

تولید انرژی از پسماند کارخانه روغن زیتون، با اختلاف اندک نسبت به تولید کمپوست، به عنوان راهکار دوم مسئله انتخاب شد. امکان تولید انرژی های تجدیدپذیر متنوعی از جمله بیوگاز، بیوجار، بیواتانول، بیوهیدروژن و غیره از راه های مختلف مانند هضم بی هوازی، گازی سازی، سوزاندن تفاله زیتون در زباله سوز، پیرولیز و غیره از این پسماند وجود دارد (Ruiz et al., 2017; Muezzinoglu, 2023). با تعبیه سیستم های لازم، انرژی تولیدی می تواند به عنوان منبع انرژی اولیه در صنايع تولید روغن زیتون استفاده شود. برخی از روش های تولید انرژی امکان استفاده از پساب این کارخانه ها را دارند. از جمله روش هضم بی هوازی که منجر به تولید بیوگاز می شود (Ulusoy & Ulukardesler, 2017; Batuecas et al., 2019). پیرولیز (Aissaoui et al., 2021) و غیره از این رو این گزینه باز یافت انرژی هم از دیدگاه کارشناسان امتیاز بالایی دریافت کرد. این راهکار در حال حاضر

واقع، با تغییر وزن‌های هر یک از معیارها، وزن گزینه‌ها و حتی ترتیب آنها ممکن است تغییر پیدا کند. برای مثال، با توجه به حساسیت بالای گزینه تولید انرژی تجدیدپذیر به معیار زیست‌محیطی، اگر در آینده سیاست‌های دولت به طوری تغییر کند که وزن این معیار بیشتر شود، بهترین گزینه این مسئله به تولید انرژی تغییر خواهد یافت.

نمودار تحلیل حساسیت برای مدل AHP در مسئله حاضر از نرم‌افزار اکسپرت چویس استخراج شد که در شکل ۶ نمایش داده شده است. همان‌طور که مشخص است محور عمودی چپ تصویر وزن نسبی معیارها و محور سمت راست وزن نهایی گزینه‌ها را بیان می‌کند. این نمودار حساسیت گزینه‌ها را نسبت به وزن معیارها نشان می‌دهد. در



شکل ۶- نمودار تجزیه و تحلیل حساسیت برای مدل AHP  
Fig. 6- Sensitivity analysis graph for the AHP model

راهکارهای مسئله، گزینه تولید کمپوست بیشترین وزن نهایی را دریافت کرد و به عنوان مناسب‌ترین روش برای مدیریت پسماند صنایع روغن زیتون در این استان انتخاب شد. راهکار بازیافت انرژی با فاصله امتیاز نزدیکی رتبه دوم، پس از آن تولید خوراک دام و تولید مواد با ارزش به ترتیب رتبه‌های بعدی اهمیت را به دست آوردند. گزینه دفع پسماند در لندفیل در رتبه آخر به عنوان گزینه نامناسب شناسایی شد. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت راهکارهایی که امتیاز بیشتری دریافت کردند در راستای هدف‌های اقتصاد چرخه‌ای و توسعه پایدار قرار دارند. در واقع، استفاده از تغاله زیتون حاصل از فرایند روغن‌کشی در کارخانه‌ها به عنوان ماده اولیه

## نتیجه‌گیری

به منظور گزینش روش مناسب برای مدیریت پسماند صنعت روغن زیتون در استان گیلان، با بررسی پیشینه پژوهش پنج راهکار و چهار معیار مؤثر در نظر گرفته شد. مسئله با استفاده از یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به نام فرآیند سلسله‌مراتبی بررسی شد. ابتدا پرسش‌نامه‌های مقایسات زوجی، به روش نمونه‌گیری هدفمند از طریق مصاحبه حضوری تکمیل شدند. سپس با اعمال روش AHP نتایج اهمیت معیارهای اصلی در انتخاب راهکار مناسب از دیدگاه کارشناسان خبره به ترتیب به صورت معیار اقتصادی، فنی، زیست‌محیطی و اجتماعی رتبه‌بندی شدند. در پی رتبه‌بندی

گزینه‌ها تغییر یابد. برای پژوهش‌های آینده، رتبه‌بندی و انتخاب راهکارهای مدیریت پسماند باغ‌ها، مزارع، صنایع، مصارف خانگی و زباله شهری با استفاده از سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره پیشنهاد می‌شود. برخی از راهکارهای موجود در این پژوهش قابل تقسیم به چند مورد هستند، برای مثال استخراج انواع مواد با ارزش، انواع انرژی تجدیدپذیر و غیره که شناسایی و اولویت بندی هر یک از آنها پیشنهاد می‌شود. همچنین تحقیق در خصوص میزان تخصیص هر یک از گزینه‌های مسئله برای مثال استخراج مواد با ارزش در کنار تولید انرژی و گزینه‌های محتمل دیگر بر اساس نیاز کشور بسیار مفید خواهد بود.

برای تولید هر یک از راهکارهای پیشنهاد شده می‌تواند به کاهش بهره‌برداری از منابع طبیعی و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی بینجامد. برخی از این راهکارها که از پساب حاصل از تولید روغن زیتون هم به نحو صحیحی استفاده می‌شود تأثیر بسیار مثبتی در حل مشکلات زیست‌محیطی کارخانه‌ها خواهند داشت و می‌توانند چالش آنها را با سازمان محیط زیست برطرف کنند. از آنجایی که امکان دارد اولویت‌های مدیران و سیاست‌گذاران در مورد اهمیت معیارها و زیرمعیارها تغییر کند، تحلیل حساسیت نیز صورت گرفت و حساسیت گزینه‌ها به هر یک از معیارها مشخص شد. با تغییر وزن هر یک از معیارها ممکن است تصمیم اتخاذ شده و ترتیب

## مراجع

- Aissaoui, M. H., Trabelsi, A. B. H., Abidi, S., Haddad, Kh., Jamaoui, F., Zaafouri, K., Leahy, J. J., & Kwapinski, W. (2021). Sustainable biofuels and biochar production from olive mill wastes via co-pyrolysis process. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13, 8877-8890. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01735-z>.
- Albuquerque, J. A., González, J., García, D., & Cegarra, J. (2006). Measuring detoxification and maturity in compost made from "alperujo", the solid by-product of extracting olive oil by the two-phase centrifugation system. *Chemosphere*, 64(3), 470-477. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.10.055>.
- Alonso-Fariñas, B., Oliva, A., Rodríguez-Galán, M., Esposito, G., García-Martín, J. F., Rodríguez-Gutiérrez, G., Serrano, A., & Feroso, F. G. (2020). Environmental assessment of olive mill solid waste valorization via anaerobic digestion versus olive pomace oil extraction. *Processes*, 8(5), 626. <https://doi.org/10.3390/pr8050626>.
- Anon. (2022). Horticultural and greenhouse products report. Jahad Ministry's Agricultural Statistics. Ministry of Agricultural-Jahad. (in Persian)
- Batuecas, E., Tommasi, T., Battista, F., Negro, V., Sonetti, G., Viotti, P., Fino, D., & Mancini, G. (2019). Life Cycle Assessment of waste disposal from olive oil production: Anaerobic digestion and conventional disposal on soil. *Journal of Environmental Management*, 237, 94-102. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.021>.
- Del Pozo, A., Brunel-Saldias, N., Engler, A., Ortega-Farias, S., Acevedo-Opazo, C., Lobos, G. A., Jara-Rojas, R., & Molina-Montenegro, M. A. (2019). Climate change impacts and adaptation strategies of agriculture in Mediterranean-climate regions (MCRs). *Sustainability*, 11(10), 2769. <https://doi.org/10.3390/su11102769>.

- El Hanandeh, A. (2015). Energy recovery alternatives for the sustainable management of olive oil industry waste in Australia: life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 91, 78-88. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.005>.
- Filippi, C., Bedini, S., Levi-Minzi, R., Cardelli, R., & Saviozzi, A. (2002). Cocomposting of olive oil mill by-products: chemical and microbiological evaluations. *Compost Science & Utilization*, 10(1), 63-71. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2002.10702064>.
- Foti, P., Pino, A., Romeo, F. V., Vaccalluzzo, A., Caggia, C., & Randazzo, C. L. (2022). Olive pomace and pâté olive cake as suitable ingredients for food and feed. *Microorganisms*, 10(2), 237. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10020237>.
- Gompf, K., Traverso, M., & Hetterich, J. (2021). Using Analytical Hierarchy Process (AHP) to introduce weights to social life cycle assessment of mobility services. *Sustainability*, 13(3), 1258. <https://doi.org/10.3390/su13031258>.
- Khdair, A. I., Abu-Rumman, G., & Khdair, S. I. (2019). Pollution estimation from olive mills wastewater in Jordan. *Heliyon*, 5(8), e02386. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02386>.
- Khounani, Z., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Moustakas, K., Talebi, A. F., Goli, S. A. H., Rajaeifar, M. A., Khoshnevisan, B., Salehi Jouzani, Gh., Peng, W., Kim, K., Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., & Lam, S. S. (2021). Environmental life cycle assessment of different biorefinery platforms valorizing olive wastes to biofuel, phosphate salts, natural antioxidant, and an oxygenated fuel additive (triacetin). *Journal of Cleaner Production*, 278, 123916. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123916>.
- Lobna, L., Guergueb, Z., Chaieb, M., & Mekki, A. (2020). Co-composting of olive industry wastes with poultry manure and evaluation of the obtained compost maturity. *Waste and Biomass Valorization*, 11, 6235-6247. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00901-9>.
- Miraei Ashtiani, S. H. M., Rafiee, M., Morad, M. M., Khojastehpour, M., Khani, M. R., Rohani, A., Shokri, B., & Martynenko, A. (2020). Impact of gliding arc plasma pretreatment on drying efficiency and physicochemical properties of grape. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 63, 102381.
- Miraei Ashtiani, S. H., Rafiee, M., Mohebi Morad, M., & Martynenko, A. (2022). Cold plasma pretreatment improves the quality and nutritional value of ultrasound-assisted convective drying: The case of goldenberry. *Drying Technology*, 40(8), 1639-1657. <https://doi.org/10.1080/07373937.2022.2050255>.
- Mohammadpour, P., Dadashi, M., Ghanadamouz, M., Ebadat Talab, M., & Dadashpour, A. A. (2019). The attitudes of gardeners of Rudbar city, Gilan, regarding olive fruit fly pest management. *Olive Production and Processing*, 1(2), 47-60. (in Persian)
- Muezzinoglu, A. (2023). *Future trends in olive industry waste management: A literature review*. In: S. Souabi., & A. Anouzla (Eds.) *Wastewater from olive oil production, Environmental impacts, treatment and valorisation*, Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-23449-1\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-031-23449-1_10).
- Niazmand, R., Jahani, M., & Kalantarian, S. (2019). Treatment of olive processing wastewater by electrocoagulation: An effectiveness and economic assessment. *Journal of Environmental Management*, 248, 109262. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109262>.
- Puig-Gamero, M., Parascanu, M. M., Sánchez, P., & Sanchez-Silva, L. (2021). Olive pomace versus natural gas for methanol production: a life cycle assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(23), 30335-30350. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12710-6>.
- Rafiee, M., & Ghasemi Mobtaker, H. (2022). Identification and prioritization of factors affecting citrus losses in northern provinces of Iran by the AHP method. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*, 11(3), 45-58. <https://doi.org/10.22034/jrmam.2022.10176.566>. (in Persian)



- Rajaeifar, M. A., Akram, A., Ghobadian, B., Rafiee, S., Heijungs, R., & Tabatabaei, M. (2016). Environmental impact assessment of olive pomace oil biodiesel production and consumption: A comparative lifecycle assessment. *Energy*, *106*, 87-102. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.03.010>.
- Rubio-Senent, F., Rodríguez-Gutiérrez, G., Lama-Muñoz, A., & Fernández-Bolaños, J. (2015). Pectin extracted from thermally treated olive oil by-products: Characterization, physico-chemical properties, in vitro bile acid and glucose binding. *Food Hydrocolloids*, *43*, 311-321. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.06.001>.
- Ruiz, E., Romero-García, J. M., Romero, I., Manzanares, P., Negro, M. J., & Castro, E. (2017). Olive-derived biomass as a source of energy and chemicals. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, *11*(6), 1077-1094. <https://doi.org/10.1002/bbb.1812>
- Saaty, T. L. (1988). *What is the analytic hierarchy process?* In: M. Gautam., H. J. Greenberg., F. A. Lootsma., M. J. Rijkaert., & H. J. Zimmermann (Eds.) *Mathematical models for decision support*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, *1*(1), 83-98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>.
- Salomone, R., & Ioppolo, G. (2012). Environmental impacts of olive oil production: a Life Cycle Assessment case study in the province of Messina (Sicily). *Journal of Cleaner Production*, *28*, 88-100. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.10.004>.
- Seyedi Marghaki, A., Hamidoghli, Y., & Ghasemnezhad, M. (2017). Effect of olive mill pomace compost on yield, oil percentage and the leaf elements content in two olive cvs 'Zard' and 'Roughany'. *Journal of Plant Production Research*, *24*(2), 125-137. <https://doi.org/10.22069/jopp.2017.11350.2054>. (in Persian)
- Shahnazari, A., Rafiee, M., Rohani, A., Nagar, B. B., Ebrahiminik, M. A., & Aghkhani, M. H. (2020). Identification of effective factors to select energy recovery technologies from municipal solid waste using multi-criteria decision making (MCDM): A review of thermochemical technologies. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *40*, 100737. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100737>.
- Sharifi, M., Akram, A., Rafiee, S., & Sabzehparvar, M. (2014). Prioritization of strategic agricultural crops in Alborz province using the Fuzzy Delphi method and the Analytical Hierarchy Process (AHP). *Journal of Agricultural Machinery*, *4*(1), 116-124. <https://doi.org/10.22067/jam.v4i1.33174>. (in Persian)
- Tayeh, H. A., Najami, N., Dosoretz, C., Tafesh, A., & Azaizeh, H. (2014). Potential of bioethanol production from olive mill solid wastes. *Bioresource Technology*, *152*, 24-30. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.10.102>.
- Ulusoy, Y., & Ulukardesler, A. H. (2017). *Biogas production potential of olive-mill wastes in Turkey. Proceedings of the 2017 IEEE 6<sup>th</sup> International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*. Nov. 5-8. San Diego, California, USA. <https://doi.org/10.1109/ICRERA.2017.8191143>.



Research Paper

## **Selection of the Suitable Method for Olive Oil Industry Waste Management in Guilan Province using the AHP Method**

**M. Rafiee, A. Akram\* and M. Sharifi**

\*Corresponding Author: Associated Professor of Agricultural Mechanization Engineering, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: [aakram@ut.ac.ir](mailto:aakram@ut.ac.ir)

Received: 9 August 2022, Accepted: 10 December 2022

[http://doi: 10.22092/AMSR.2023.361264.1438](http://doi:10.22092/AMSR.2023.361264.1438)

### **Abstract**

In order to choose the optimal solution for the management of residual by products from the olive oil industry in Roudbar city of Guilan province, a systematic literature review and expert consultation were conducted to select the criteria. Four criteria, including economic, technical, social and environmental aspects were identified for choosing the solution which they divided into 12 sub-criteria. A paired comparison questionnaire was designed and completed through face-to-face interviews with 20 skilled experts in this field, using a purposeful sampling method. The Analytical Hierarchy Process (AHP) method was employed to analyze the data and perform calculations. The findings revealed that the economic criterion was the most important criterion with a weight of 0.478 in selecting the waste management approach for the olive oil industry. Afterward, respectively, technical criteria with a weight of 0.248, environmental with a weight of 0.183, and social with a weight of 0.091 were placed in the next ranks of importance by the experts. In the ranking of the alternatives, compost production was identified as the best option for managing olive oil waste in Guilan province. The results of the alternatives ranking indicated that compost production with a weight of 0.245 was considered the best option for olive oil waste in Guilan province. Followed by, renewable energy production (0.243) ranked second, animal feed production (0.236) ranked third, extraction of valuable materials (0.194) ranked fourth and finally dump in landfills (0.082) ranked last.

**Keywords:** Circular Economy, Compost, Energy Recovery, Multi-Criteria Decision-Making, Wastes



© 2023 Agricultural Mechanization and Systems Research, Karaj, Iran. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)