تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی/جلد ۲۴/ شماره ۸۵/بهار ۱۴۰۲/ص ۳۸-۱۹
سایت مجله: https://www.amsr.areeo.ac.ir

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

**مهتا رفیعی[۱]، اسداله اکرم[۲]* و محمد شریفی[۳]**

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: ۱۴۰۱/۱۱/۲؛ 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 باارزش (۰/۱۹۴) در رتبه چهارم اهمیت و دفن در لندفیل (۰/۰۸۲) در رتبه آخر قرار گرفتند.**

## واژه‌های کلیدی

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

## مقدمه

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 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

*نگارنده مسئول: Email: aakram@ut.ac.ir
http://doi: 10.22092/AMSR.2023.361264.1438

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 کارخانهٔ 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 قابل‌توجهی 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، پساب آنهاست. کارخانه‌های تولید روغن زیتون همواره با سازمان محیط‌زیست بر سر همین موضوع در چالش هستند. از این‌رو این شهرستان به ارائهٔ 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 زیست‌تودهٔ باقیماندهٔ 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 چرخهٔ 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

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 حالی‌که در تولید بیوگاز، نسبت به سناریوی دیگر، اثرات زیست‌محیطی کاهش قابل توجهی پیدا می‌کنند (Batuecas *et al*., 2019).

اثرات زیست‌محیطی هضم بی‌هوازی پسماند جامد کارخانهٔ زیتون با استخراج روغن تفاله زیتون، با روش ارزیابی چرخه زندگی مقایسه شد. استخراج روغن تفاله خام از ضایعات جامد کارخانهٔ 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 کارخانهٔ 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 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 تفالهٔ زیتون (Rajaeifar *et al*., 2016)، تبدیل مخلوط پسماند جامد و مایع این صنعت به بیوچار، 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[1](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 پیشینهٔ 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

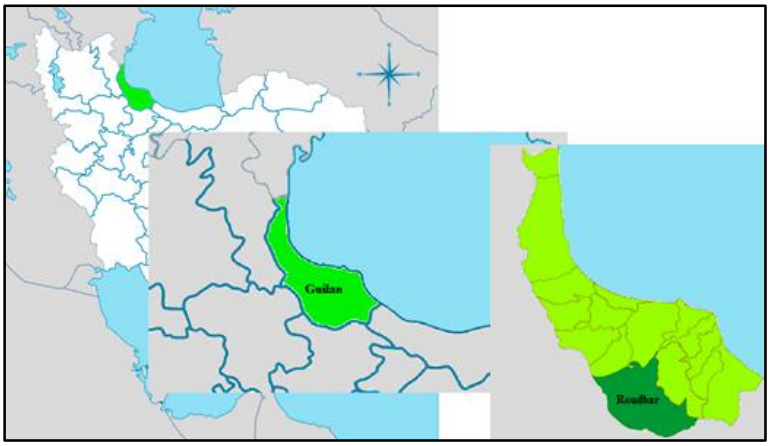
1- Analytical Hierarchy Process

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 تفالهٔ 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.

## مواد و روش‌ها

### منطقهٔ 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).




**شکل ۱- منطقه مورد مطالعه استان گیلان- شهرستان رودبار**

**Fig. 1- Area of study Guilan province - Rudbar**

### 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 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 محاسبهٔ میزان ناسازگاری (Saaty, 1988).

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).

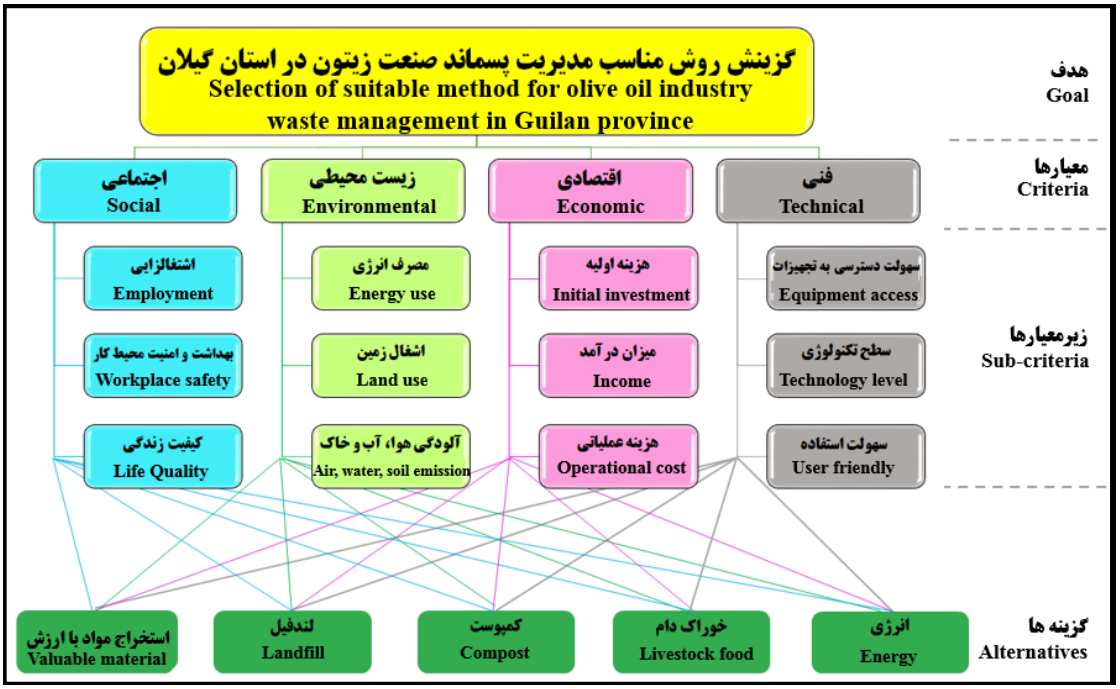
در این پژوهش برای شناسایی، انتخاب و دسته‌بندی عوامل مؤثر بر تصمیم‌گیری سیاست‌گذاران در حوزهٔ مدیریت پسماند کارخانه‌های روغن زیتون و راهکارهای ممکن، بررسی منابع کتابخانه‌ای جامعی از جمله کتاب‌ها، گزارش‌ها، مقالات علمی و همچنین مشورت با کارشناسان مرتبط مد نظر قرار گرفت. بر این اساس چهار معیار اقتصادی، 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<br>Criteria | زیرمعیارها<br>Sub-criteria | توضیح زیرمعیارها<br>Description of sub-criteria |
|---|---|---|
| اقتصادی<br>Economic | سرمایه‌گذاری اولیه<br>Initial investment | گزینه‌هایی که نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه کمتری دارند مطلوب‌اند<br>Options that require less initial investment are desirable |
| | درآمد<br>Income | گزینه‌ای مطلوب است که درآمد بیشتری تولید می‌کند<br>It is a desirable option that produces more income |
| | هزینهٔ عملیاتی<br>Operational cost | شامل هزینه‌های نیروی کار (حقوق، بیمه و مالیات)، حمل‌ونقل، آب، برق و سوخت، تعمیر و نگهداری که هرچه کمتر باشد بهتر است<br>This includes labor costs (salaries, insurance and taxes), transportation, water, electricity, fuel, repair and maintenance; the less the better |
| فنی<br>Technical | سهولت دسترسی به تجهیزات<br>Ease of equipment access | به معنای دسترسی آسان‌تر به قطعات و خدمات پس از فروش<br>It means easier access to technical parts and after sales services |
| | سهولت استفاده از فناوری<br>User friendly | به معنای گزینه‌ای است که کار با آن آسان‌تر است و نیاز به تخصص خاصی ندارد<br>It means an option that is easier to work with and does not require special expertise |
| | سطح تکنولوژی<br>Technology level | یعنی کدام سیستم به سطح فناوری بالایی نیاز ندارد<br>That is, which option does not require a high level of technology |
| زیست‌محیطی<br>Environmental | اشغال زمین<br>Land use | مقدار زمین مورد نیاز برای گزینه‌ها که هرچه کمتر باشد مطلوب‌تر است<br>The less land required for the options, the better |
| | مصرف انرژی<br>Energy use | گزینه‌ای که انرژی فسیلی کمتری مصرف می‌کند بهتر است<br>The option that consumes less fossil energy is better |
| | آلودگی آب، هوا، خاک<br>Air, water, soil emissions | گزینه‌ای که باعث ساطع شدن کمتر آلاینده‌های زیست‌محیطی می‌شود مناسب‌تر است<br>The option that emits less environmental pollutants is more suitable |
| اجتماعی<br>Social | اشتغال‌زایی<br>Employment | به این معناست که هر فناوری چه میزان به نیروی کار اعم از متخصص و کارگر نیاز دارد<br>It means how many workers each technology needs, including specialists and laborers |
| | جنبه‌های ایمنی و بهداشتی کار<br>Workplace safety | به سطح بهداشت و ایمنی در محیط کار مربوط می‌شود<br>It is related to the level of health and safety in the workplace |
| | کیفیت زندگی<br>Life Quality | کیفیت زندگی افراد جامعه با توجه به نوع مدیریت پسماند<br>The quality of life of the people in the society according to the type of waste management |

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 زبالهٔ شهری، ۴- انرژی: تولید انرژی تجدیدپذیر مانند بیوگاز، بیوچار، بیودیزل و غیره از پسماند و ۵- استخراج مواد ارزشمند: استخراج موادی از 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 مرحلهٔ 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.




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

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

در مرحلهٔ 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 مقایسهٔ 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 دوی آنها و اختصاص 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).

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

| ارزش Value | ترجیحات Preferences | |
|---|---|---|
| 1 | اهمیت برابر یا ترجیح یکسان | Equal importance |
| 3 | کمی مهم‌تر | Moderate importance |
| 5 | مهم‌تر یا اهمیت بالا | Strong importance |
| 7 | خیلی مهم‌تر یا اهمیت خیلی بالا | Very strong importance |
| 9 | کاملاً مهم یا اهمیت بی‌نهایت | Absolute importance |
| 2, 4, 6, 8 | اهمیت بین فواصل | Intermediate values between judgments |

با بهره‌گیری از روش نمونه‌گیری هدفمند، ۲۰ پرسش‌نامه از طریق مصاحبه حضوری با کارشناسان متخصص و خبرگان در این زمینه شامل کارکنان جهاد کشاورزی استان گیلان، جهاد کشاورزی شهرستان رودبار، ایستگاه تحقیقات زیتون شهرستان رودبار، اداره محیط زیست شهرستان رودبار، کارخانه‌های تولید روغن زیتون، تولیدی‌های کود و خوراک دام از تفالهٔ زیتون تکمیل شد. مشخصات کارشناسان شرکت‌کننده در مصاحبه‌ها در جدول ۳ آورده شده است.

در روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، از نمونه‌گیری غیرتصادفی هدفمند استفاده می‌شود. روش AHP روشی خبره‌محور است و به حجم نمونهٔ زیاد نیاز ندارد. در واقع، مصاحبه با ۵ تا ۲۰ کارشناس برای تحقیقات مبتنی بر مقایسهٔ زوجی کافی است. به پرسشنامهٔ مقایسات زوجی، پرسش‌نامه خبره هم گفته می‌شود، زیرا کارشناسان ماهری به پرسش‌ها پاسخ می‌دهند که در حوزهٔ مورد مطالعه صاحب‌نظر 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).

ماتریس‌های مقایسات زوجی، ماتریس‌هایی مربعی هستند که مقایسهٔ برتری دو به دو عنصرها در یک سطح درخت سلسله مراتبی نسبت به سطح بالاتر را در برمی‌گیرند. به عبارت دیگر، هر بخش پرسش‌نامه یک ماتریس مقایسات زوجی است. در صورت مقایسهٔ 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 می‌شود که با ادغام آنها وزن نهایی گزینه‌ها مشخص می‌شود. به علت وجود برخی تفاوت‌ها در امتیازدهی خبرگان به پرسش‌ها، لازم است میانگین مقادیر امتیازهای هر عنصر در پرسش‌نامه‌ها حساب شود و در نهایت یک ماتریس مقایسات زوجی برای هر بخش به دست آید (Saaty, 1988). این ماتریس‌ها به صورت رابطه ۱ تشکیل می‌شوند که در معیارها دو به دو باهم مقایسه می‌شوند و با تکمیل مثلث بالایی ماتریس قسمت باقیمانده هم محاسبه می‌شود و در نتیجه نیازی به تکمیل قسمت پایینی ماتریس توسط کارشناسان نیست. در این راستا، پرسش‌نامه‌های مقایسات زوجی توسط کارشناسان بین اعداد ۱ تا ۹ امتیازدهی شدند. سپس همه پرسش‌نامه‌ها وارد نرم‌افزار Expert Choice شدند و میانگین هندسی امتیازهای هر یک از سؤال‌های مربوط به معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها طبق رابطهٔ ۲ توسط نرم‌افزار محاسبه شد.

$$\begin{vmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ & 1 & \dots & r_{2n} \\ & & 1 & \dots \\ & & & 1 \end{vmatrix} \quad (۱)$$

که در آن،

$a$= امتیاز خبرگان به شاخص‌ها در هر یک از مقایسات زوجی؛ $n$= تعداد پرسش‌نامه‌ها؛ و $G$= میانگین هندسی امتیازهای مقایسه زوجی.

$$G = \sqrt[n]{a_1 a_2 \dots a_n} \quad (۲)$$

**جدول ۳- مشخصات خبرگان شرکت‌کننده در مصاحبه‌ها**

**Table 3- Profiles of experts participating in the interviews**

| | | جهاد کشاورزی Agricultural Jahad | ایستگاه تحقیقات زیتون Olive Research Station | اداره محیط‌زیست Environment Department | کارخانه روغن زیتون Olive oil factory | تولیدی کود Fertilizer production | تولیدی خوراک دام Animal feed production | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تعداد Number | مرد Male | | 2 | 1 | 2 | 7 | 3 | 2 |
| | زن Female | | 1 | 1 | 1 | - | - | - |
| سن Age | 30-40 | | - | 1 | 1 | 1 | - | 1 |
| | 41-50 | | 2 | 1 | 2 | 4 | 3 | 1 |
| | >50 | | 1 | - | - | 2 | - | - |
| سطح تحصیلات Education Level | دیپلم Diploma degree | | - | - | - | 1 | - | - |
| | کاردانی Associate degree | | - | - | - | 1 | - | - |
| | کارشناسی Bachelor's degree | | - | - | - | 4 | 2 | 1 |
| | کارشناسی ارشد Master's degree | | 1 | - | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | دکتری Doctoral degree | | 2 | 2 | 2 | - | - | - |
| سابقه کار Work Experience | 1-10 | | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| | 11-20 | | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 |
| | 21-30 | | - | - | - | 1 | - | - |
| | >30 | | - | - | - | 1 | - | - |

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

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} r_{ij}} \quad \forall j, i \qquad (۳)$$

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، $K = \frac{1}{\mathrm{Ln}(n)}$ و مجموعه $P_{ij}$ها به ازای هریک از معیارها محاسبه می‌شود.

$$E_j = -K \sum_{i=1}^{n} [P_{ij}.\mathrm{Ln} P_{ij}] \quad \forall j, i \qquad (۴)$$

که در آن،

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

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

$$d_j = 1 - E_j \quad \forall j \qquad (۵)$$

که در آن،

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

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

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^{n} d_j}, \forall j \qquad (۶)$$

که در آن،

$d_j$= درجهٔ انحراف هر معیار؛ و $W_j$= وزن معیارها.

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

$$R_k = \sum w_i \times r_{ik} \qquad (۷)$$

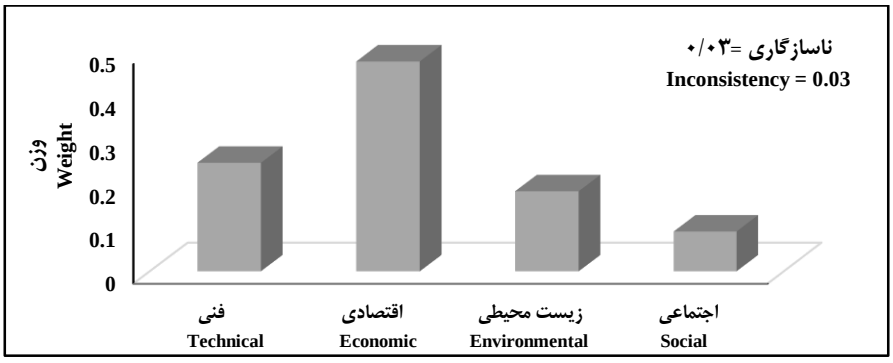
که در آن،

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

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 وسیلهٔ 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 قابل‌قبول ۰/۱> ۰/۰۳ گزارش شد.




**شکل ۳- نمودار رتبه‌بندی اهمیت معیارها**

**Fig. 3- Chart of criteria importance ranking**

در مرحلهٔ 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 مؤلفهٔ میزان سرمایه‌گذاری اولیه با تأثیر ۰/۱۴۷ و هزینهٔ 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 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 گزینهٔ 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 باارزش، 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 گزینهٔ خوراک دام با وزن ۰/۲۸۰ قرار گرفت. در خصوص معیار زیست‌محیطی، گزینهٔ 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 گزینهٔ 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 اندازهٔ قابل قبول کمتر از ۰/۱ بوده است.

**شکل ٤- نمودارهای رتبه‌بندی اهمیت زیرمعیارها در معیار مربوط به خود**

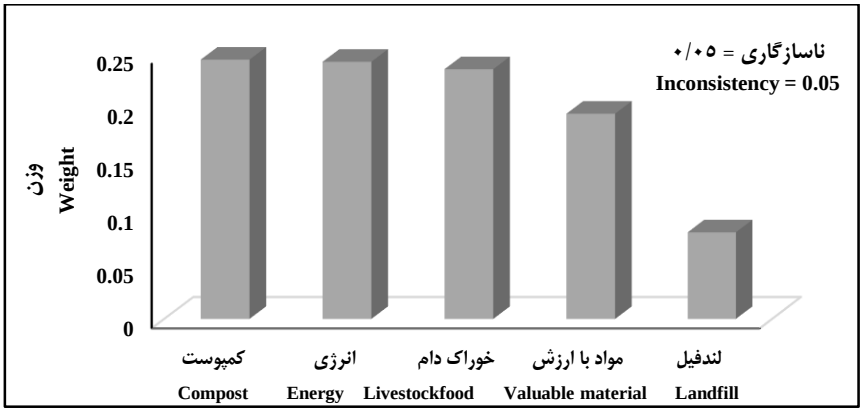
**Fig. 4- Charts of ranking the importance of sub-criteria in their criteria**

**جدول ٤- امتیازهای گزینه‌ها در معیارها و زیرمعیارها**

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

| نرخ ناسازگاری Inconsistency ratio | لندفیل Landfill | مواد با ارزش Valuable material | خوراک دام Livestock food | انرژی Energy | کمپوست Compost | زیرمعیار Sub-criteria | معیار Criteria |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.05 | 0.190 | 0.056 | 0.280 | 0.129 | **0.346** | | |
| 0.07 | 0.331 | 0.067 | 0.212 | 0.121 | 0.269 | سطح تکنولوژی Technology level | فنی Technical |
| 0.05 | 0.160 | 0.053 | 0.264 | 0.131 | 0.392 | دسترسی به تجهیزات Equipment access | |
| 0.05 | 0.162 | 0.053 | 0.334 | 0.129 | 0.321 | سهولت استفاده User friendly | |
| 0.05 | 0.036 | 0.261 | **0.270** | 0.220 | 0.213 | | |
| 0.07 | 0.036 | 0.081 | 0.411 | 0.286 | 0.182 | سرمایه‌گذاری اولیه Initial investment | اقتصادی Economic |
| 0.05 | 0.032 | 0.417 | 0.186 | 0.114 | 0.250 | میزان درآمد Income | |
| 0.07 | 0.053 | 0.070 | 0.271 | 0.460 | 0.146 | هزینه عملیاتی Operational cost | |
| 0.04 | 0.048 | 0.236 | 0.117 | **0.401** | 0.198 | | |
| 0.07 | 0.032 | 0.460 | 0.138 | 0.297 | 0.073 | اشغال زمین Land use | |
| 0.05 | 0.080 | 0.269 | 0.087 | 0.449 | 0.115 | مصرف انرژی Energy use | زیست‌محیطی Environmental |
| 0.04 | 0.036 | 0.172 | 0.126 | 0.402 | 0.265 | آلودگی آب، هوا، خاک Air, water, soil emissions | |
| 0.05 | 0.049 | 0.195 | 0.153 | **0.424** | 0.180 | | |
| 0.03 | 0.075 | 0.120 | 0.196 | 0.282 | 0.327 | اشتغال‌زایی Employment | اجتماعی Social |
| 0.06 | 0.036 | 0.227 | 0.144 | 0.486 | 0.107 | ایمنی و بهداشت محیط کار Workplace safety | |
| 0.07 | 0.035 | 0.247 | 0.086 | 0.508 | 0.123 | کیفیت زندگی Life Quality | |

در مرحلۀ 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 گزینۀ تولید انرژی از پسماند با اختلافی اندک و با وزن ۰/۲۴۳ به عنوان یکی از روش‌های مناسب مدیریت پسماند در جایگاه دوم قرار گرفت. گزینۀ تولید خوراک دام با وزن ۰/۲۳۶ و گزینۀ تولید مواد با ارزش با وزن ۰/۱۹۴ به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. گزینۀ دفن در لندفیل با اختلاف زیاد در رتبۀ آخر با وزن ۰/۰۸۲ قرار گرفت و می‌توان نتیجه گرفت که این گزینه راهکار نامناسبی برای مدیریت پسماند در این حوزۀ است. میزان ناسازگاری کلی در مسئلۀ حاضر ۰/۰۵ یعنی کمتر از ۰/۱ محاسبه شد که قابل قبول است.




**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**

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 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) تصفیۀ بیولوژیکی می‌شود (Muezzinoglu, 2023).

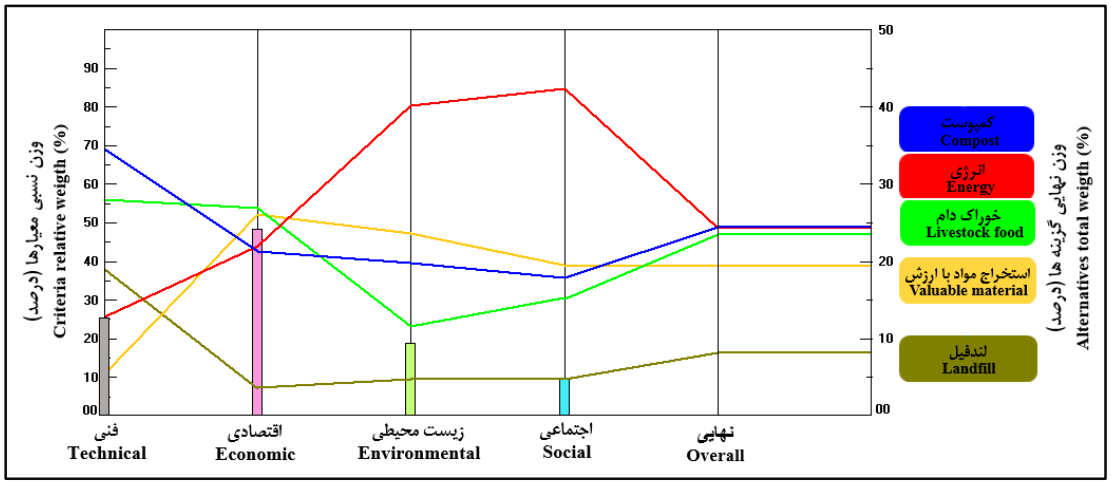
گزینۀ تولید کمپوست از پسماند کارخانۀ روغن زیتون در استان گیلان بالاترین امتیاز را به خود اختصاص داد. از آنجایی‌که پسماند کارخانۀ روغن زیتون حاوی مقدار زیادی مواد آلی و مغذی است، برای غنی‌سازی خاک مفید است. اما به دلیل وجود ترکیبات فنلی، چربی و غیره نمی‌توان از این پسماند مستقیماً به عنوان کود استفاده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

استفاده از آن، با فرآیند کمپوست کردن سم‌زدایی شوند (Alburquerque *et al.*, 2006). با کمپوست‌سازی ترکیبی پسماند جامد و مایع، تصفیهٔ تفاله و پساب تولید روغن زیتون امکان‌پذیر است (Filippi *et al.*, 2002; Salomone & Ioppolo, 2012; Lobna *et al.*, 2020; Muezzinoglu, 2023). به دلیل اینکه این روش قادر به حل مشکل فاضلاب کارخانه‌های روغن‌کشی 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 زیست‌محیطی نیز می‌شود (Seyedi Marghaki *et al.*, 2017).

تولید انرژی از پسماند کارخانهٔ روغن زیتون، با اختلاف اندک نسبت به تولید کمپوست، به عنوان راهکار دوم مسئله انتخاب شد. امکان تولید انرژی‌های تجدیدپذیر متنوعی از جمله بیوگاز، بیوچار، بیواتانول، بیوهیدروژن و غیره از راه‌های مختلف مانند هضم بی‌هوازی، گازی‌سازی، سوزاندن تفالهٔ زیتون در زباله‌سوز، پیرولیز و غیره از این پسماند وجود دارد (Ruiz *et al.*, 2017; Muezzinoglu, 2023). با تعبیهٔ سیستم‌های لازم، انرژی تولیدی می‌تواند به عنوان منبع انرژی اولیه در صنایع تولید روغن زیتون استفاده شود. برخی از روش‌های تولید انرژی امکان استفاده از پساب این کارخانه‌ها را دارند. از جمله روش هضم بی‌هوازی که منجر به تولید بیوگاز می‌شود (Ulusoy & Ulukardesler, 2017; Batuecas *et al.*, 2019)، پیرولیز (Aissaoui *et al.*, 2021) و غیره از این‌رو این گزینهٔ بازیافت انرژی هم از دیدگاه کارشناسان امتیاز بالایی دریافت کرد. این راهکار در حال حاضر به دلیل ارزان بودن سوخت در ایران در رتبهٔ دوم قرار گرفته است. در صورت گران‌تر شدن سوخت در کشور و تغییر در سیاست‌گذاری‌های بخش انرژی، این راهکار می‌تواند به جایگاه اول انتقال یابد. با توجه به بحران انرژی کنونی کشور برای تأمین گاز مصرفی، در بین انرژی‌های تجدیدپذیر ذکر شده، تولید بیوگاز می‌تواند گزینه‌ای مناسب برای کمک به کمتر شدن مشکلات دسترسی به انرژی در بخشی از صنایع غذایی کشور پیشنهاد شود.

در دسترس بودن میزان بالای تفالهٔ زیتون در کارخانه‌های روغن زیتون، این ماده را به گزینه‌ای جذاب برای خوراک دام بدل می‌کند و از نظر کارشناسان در رتبهٔ سوم راهکارهای مدیریت پسماند صنعت روغن زیتون در گیلان قرار دارد. از آنجایی‌که آب و روغن موجود در تفاله باعث فاسد شدن و کپک زدن آن در معرض هوا می‌شود، 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 می‌شود و به پودر یا کنجالهٔ زیتون تبدیل خواهد شد. با وجود بالا بودن میزان فیبر در تفالهٔ زیتون، به دلیل کم بودن میزان پروتئین و نیز به دلیل وجود برخی ترکیبات از جمله فنل‌ها که برای تغذیه دام مناسب نیستند. بنابراین استفاده از آن به عنوان منبع اصلی غذا برای دام امکان‌پذیر نیست؛ اما می‌تواند جایگزین درصدی از خوراک دام مانند جو و ذرت شود. این کار موجب کاهش هزینه بدون داشتن اثر سوء بر رشد دام می‌شود که از لحاظ اقتصادی به صرفه‌تر است (Foti *et al.*, 2022).

نمودار تحلیل حساسیت برای مدل AHP در مسئلهٔ 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 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 گزینهٔ 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.




**شکل ٦- نمودار تجزیه و تحلیل حساسیت برای مدل AHP**

**Fig. 6- Sensitivity analysis graph for the AHP model**

## نتیجه‌گیری

به منظور گزینش روش مناسب برای مدیریت پسماند صنعت روغن زیتون در استان گیلان، با بررسی پیشینهٔ پژوهش پنج راهکار و چهار معیار مؤثر در نظر گرفته شد. مسئله با استفاده از یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به نام فرآیند سلسله مراتبی 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 راهکارهای مسئله، گزینهٔ 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 فاصلهٔ امتیاز نزدیکی رتبهٔ دوم، پس از آن تولید خوراک دام و تولید مواد با ارزش به ترتیب رتبه‌های بعدی اهمیت را به دست آوردند. گزینهٔ دفع پسماند در لندفیل در رتبهٔ آخر به عنوان گزینهٔ 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 تفالهٔ زیتون حاصل از فرایند روغن‌کشی در کارخانه‌ها به عنوان ماده اولیه

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 آنجایی‌که 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 گزینه‌ها تغییر یابد. برای پژوهش‌های آینده، رتبه‌بندی و انتخاب راهکارهای مدیریت پسماند باغ-ها، 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 گزینه-های محتمل دیگر بر اساس نیاز کشور بسیار مفید خواهد بود.

## مراجع


Aissaoui, M. H., Trabelsi, A. B. H., Abidi, S., Haddad, Kh., Jamaaoui, 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.

Alburquerque, J. A., Gonzálvez, 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., & Fermoso, 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)

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.

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.

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.

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 6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA*). Nov. 5-8. San Diego, California, USA. https://doi.org/10.1109/ICRERA.2017.8191143.

*Agricultural Mechanization and Systems Research/Vol.24/No.85/Spring 2023/P:19-38*
*Journal Home Page: https://amsr.areeo.ac.ir*

**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
Received: 9 Auguest 2022, Accepted: 10 December 2022
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 Mehanization 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)