

Selecting the Proper Sprayer in Citrus Gardens of Mazandaran Province by Analytical Hierarchy Process

RASOUL LOGHMANPOUR ZARINI¹, DAVOOD KALANTARI^{2*}, ASADOLAH AKRAM³, SAMAN MOLLAPOOR²

1. Department of Agricultural Machinery, Sari College of Agricultural, Technical and Vocational University, Sari Iran

2. Department of Biosystems Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran

3. Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: March. 8, 2020- Revised: July. 7, 2020- Accepted: July. 20, 2020)

ABSTRACT

Nowadays, with progress in different sciences and entering logging software and Decision Support Systems, decision has been deviated from trial and error in agriculture mechanization and aimed to predict prospective and targeted accordingly. Therefore, in this research, the Analytic Hierarchy Process (AHP) with the help of EXPERT CHOICE11 software was employed to select the best kind of sprayer for usage in citrus gardens of Mazandaran. Four different sprayers including Motorized Backpack sprayer, Atomizer sprayer, Wheelbarrow sprayer and Air blast sprayer were evaluated in this study. The criteria of selection consisted of the tank capacity, costs, spray quality, field capacity and amount of consumable solution per hectare. The importance of spray quality, amount of consumable solution per hectare, costs, tank capacity and finally field capacity were equal to 0.481, 0.302, 0.102, 0.073 and 0.042, respectively. The atomizer sprayer is selected and introduced with 0.504 final value as the most appropriate choice option. Inconsistency ratio was calculated equal to 0.04 that is acceptable amount in satays' opinion.

Keywords: Analytical Hierarchy Process, Atomizer, Citrus, Software, Sprayer.

* Corresponding Author's Email: d.kalantari@sanru.ac.ir

انتخاب مناسب‌ترین نوع سم‌پاش در باغات مرکبات استان مازندران با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی

رسول لقمانپور زرینی^۱، داود کلانتری^{۲*}، اسداله اکرم^۲، سامان ملاپور^۲

۱- گروه ماشین‌های کشاورزی، آموزشکده کشاورزی ساری، دانشگاه فنی و حرفه‌ای استان مازندران، ایران

۲. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران

۳. گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی،

دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۴/۱۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۴/۳۰)

چکیده

امروزه با پیشرفت علوم مختلف و ورود نرم‌افزارها و سیستم‌های تصمیم‌یار، تصمیم‌گیری در کشاورزی از حالت سعی و خطا خارج شده و به سمت پیش‌بینی آینده‌نگر و هدفمند درآمده است. لذا در پژوهش حاضر، از روش تحلیل سلسله مراتبی به کمک نرم‌افزار EXPERT CHOICE 11 برای انتخاب مناسب‌ترین نوع سم‌پاش جهت کاربری در باغات مرکبات استان مازندران استفاده شده است. در این تحقیق چهار نوع سم‌پاش پرکاربرد و معمول منطقه شامل پشتی موتوری لانس، اتومایزر، فرغونی و بادبزی تراکتوری مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. معیارهای انتخاب شامل حجم مخزن، هزینه‌ها (خرید، سرویس و نگهداری و عملیات)، کیفیت سم‌پاشی، ظرفیت مزرعه‌ای و میزان محلول مصرفی در هکتار بود. این معیارها و نحوه اولویت‌بندی و وزن‌دهی آن‌ها با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و مذاکره با کارشناسان کشاورزی، صاحب‌نظران دانشگاه، فروشندگان و باغداران مجرب در قالب پرسش‌نامه صورت گرفت. نتایج نشان داد که وزن معیارهای کیفیت سم‌پاشی، میزان محلول مصرفی در هکتار، هزینه‌ها، حجم مخزن و ظرفیت مزرعه‌ای به ترتیب برابر با ۰/۳۰۲، ۰/۱۰۲، ۰/۰۷۳ و ۰/۰۴۲ می‌باشد. و سم‌پاش اتومایزر با ارزش نهایی ۰/۵۰۴ به عنوان مناسب‌ترین گزینه انتخاب و معرفی شد. نرخ ناسازگاری برابر ۰/۰۴ بود که مقدار قابل قبولی بوده و نیازی به تجدیدنظر در قضاوت‌ها نبود.

واژه‌های کلیدی: اتومایزر، تحلیل سلسله مراتبی، سم‌پاش، مرکبات، نرم‌افزار

مقدمه

بخش کشاورزی را وادار به تجدید نظر در الگوهای تولید و سیستم‌های مدیریتی کرده تا با توسعه سم‌پاش‌های جدید کیفیت سم‌پاشی را بالا برده و آسیب‌های وارده به محیط‌زیست را کاهش دهند (Jafari-Malekabadi *et al.*, 2016). استفاده از روش‌های سم‌پاشی با سم‌پاش‌های پشتی موتوری لانس، اتومایزر، چرخ‌دار موتوری (فرغونی) و بادبزی تراکتوری هر کدام مشکلات و محدودیت‌های کاربری مربوط به خود را داشته و هیچ یک عمومیت برای استفاده در تمام شرایط کاری را ندارند. به همین دلیل انتخاب هر یک از آن‌ها بر اساس شرایط محیطی و کاری مورد نیاز باغ‌دار صورت می‌پذیرد. از آنجایی که اتخاذ تصمیم صحیح و به موقع یکی از چالش‌های اساسی پیش روی مدیران صنعت و کشاورزی است و می‌تواند تأثیر به‌سزایی در بهینه‌سازی عملکرد دستگاه و کاهش هزینه‌ها داشته باشد، لذا ضرورت وجود یک تکنیک قوی که بتواند مدیران را در این زمینه یاری کند، کاملاً محسوس می‌باشد (Brunelli, 2014). در مواردی که تصمیم‌گیری در خصوص پروژه‌ها با اتکا بر معیارهای چندگانه و

امروزه تولید مرکبات در جهان از اهمیت بسزایی برخوردار است. سطح زیر کشت مرکبات در ایران ۲۸۳,۹۹۳ هکتار بوده و استان مازندران با دارا بودن بیش از ۳۸ درصد این باغات رتبه اول را در کشور به خود اختصاص داده است (Ahmadi *et al.*, 2015). هر ساله حدود ۲۵ تا ۳۵ درصد کل محصولات کشاورزی دنیا توسط حشرات، علف‌های هرز و عوامل بیماری‌زای گیاهی از بین می‌رود و این رقم در صورت عدم مبارزه تا ۸۰ درصد افزایش می‌یابد و کاهش کیفیت و کمیت محصول را به دنبال دارد (Mansouri, 2010). از این‌رو یکی از مهم‌ترین عملیات مدیریتی در کشاورزی، کنترل و حذف آفات گیاهی است، به خصوص این‌که هزینه مبارزه در هر هکتار در مقایسه با افزایش راندمان تولید ناچیز می‌باشد (در حدود یک بیستم تولید اضافی) (Mansouri, 2010). سم‌پاشی یکی از عملیات مهم برای حفظ کیفیت درختان و محصولات است. با توجه به این‌که استفاده از سموم شیمیایی باعث آسیب‌های زیست محیطی می‌گردد، سیاستگذاران

کشاورزی (Khosravi et al., 2011) و تجزیه و تحلیل سیستم‌های کشاورزی پایدار نیز توصیه شده است (Ebraheem, 2012). این روش به دلیل توانایی و قابلیت بالا، سادگی و قابل فهم بودن و همچنین قابلیت به کارگیری هم‌زمان معیارهای کمی و کیفی برای ارزیابی معیارهای مؤثر در فرآیند تصمیم‌گیری، روشی مناسب و کاربردی است (Nikmardan, 2012; Saaty, 2018). یکی از مزایای استفاده از معیارهای کیفی، اندازه‌گیری ویژگی‌هایی است که قابل اندازه‌گیری به صورت عددی نمی‌باشند (Potocnik, 2006). کلیات فرآیند تحلیل سلسله مراتبی را می‌توان در طی سه مرحله خلاصه کرد: ساختن سلسله مراتبی، محاسبه وزن و سازگاری سیستم (Ghodsipour, 2016). این روش گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را فراهم می‌آورد. علاوه بر این، بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده لذا قضاوت و محاسبه‌ها را سرعت بخشیده و میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک است (Srdjevic & Jandric, 2010).

در سال ۲۰۱۶ کارایی سم‌پاش‌های فرغونی با لانس معمولی، فرغونی با لانس تلسکوپی، الکترواستاتیک^۳، کتابی، میکرونر^۳، لانس‌دار پشت تراکتوری و هوشمند باغی از نظر بادبردگی، ارتفاع پاشش، کیفیت سم‌پاشی درختان و محلول مصرفی مورد ارزیابی قرار گرفته و مشخص گردید که سم‌پاش‌های الکترواستاتیک و میکرونر توانایی پاشش در ارتفاع زیاد را ندارند اما کیفیت توزیع قطرات و پاشش بهتری دارند و از طرف دیگر سم‌پاش تلسکوپی توانایی پاشش در ارتفاع بیش‌تر و همچنین کاهش بادبردگی و محلول مصرفی را دارد. از این‌رو مجیز نمودن سم‌پاش با لانس تلسکوپی به سر الکترواستاتیک و یا میکرونر می‌تواند مصرف سم و بادبردگی را کاهش داده و کیفیت سم‌پاشی را ارتقا بخشد (Jafari-Malekabadi et al., 2016).

از تکنیک AHP برای شناخت بهترین روش تولید برنج از بین روش‌های سنتی، نیمه مکانیزه و مکانیزه در استان گیلان استفاده شده و معیارهای زراعی، مدیریت مصرف انرژی، اقتصادی، اجتماعی و ارگونومی^۴ (ایمن بودن در درازمدت) مد نظر قرار داده شدند. در نهایت با توجه به این‌که ارگونومی، بیش‌ترین اهمیت و انرژی مصرفی، کم‌ترین اهمیت را برای کارشناسان و کشاورزان در بخش زراعت برنج داشته، مشخص گردید که روش‌های مکانیزه، نیمه مکانیزه و سنتی به ترتیب با میانگین وزنی ۰/۳۴۷، ۰/۳۲۹ و ۰/۳۲۴ رتبه اول تا سوم را کسب کردند. با این وجود نتایج

متکی به اخذ تصمیم در شرایط نامطمئن باشد، فرآیند تصمیم‌گیری به علت عدم وجود استانداردهای لازم، از سرعت و دقت لازم برخوردار نبوده و همین امر باعث می‌شود که تصمیمات تا حد زیادی به خرد تصمیم‌گیر وابسته باشد. با توجه به این‌که شاخص‌های گوناگون و نامتجانس و یا اهداف مختلف در ارزیابی و انتخاب گزینه مناسب در پیش روی یک مدیر است، لذا تصمیم‌گیری درست و مناسب، به طور معمول پیچیده و مشکل می‌شود (Bohanec et al., 2000; Vargas, 2015). از طرف دیگر، محاسبات پیچیده مورد نیاز برای روش‌های اقتصادی به دلیل تفاوت در نوع و جنس شاخص‌های تصمیم‌گیری، استفاده از روش‌های موجود را برای این نوع تصمیم‌گیری‌های چند معیاره دشوار کرده است (Ghodsipour, 2016). برای حل این مشکل و یا به حداقل رساندن آثار جانبی آن، روش‌های تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه (چند شاخصه) طراحی شده‌اند که از قوانین و اصول خاصی پیروی می‌کنند و دارای مزایا و معایب خاص خود هستند که بعضی از این روش‌ها عبارتند از: روش فرایند تحلیلی سلسله مراتبی (AHP)، روش فرایند تحلیلی شبکه‌ای (ANP)، روش وزن‌دهی افزایشی ساده (SAW)، روش اولویت‌بندی بر اساس شباهت به راه‌حل ایده‌آل (TOPSIS)، روش بهینه‌سازی سازشی (VIKOR)، روش تسلط تقریبی (ELECTERE)، روش رتبه‌بندی ترتیبی جمعی (ORESTE)، روش ساختار یافته‌ی رتبه‌بندی ترجیحی برای غنی‌سازی ارزیابی‌ها (PROMETHEE) و روش تحلیل رابطه خاکستری (GRA). در تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه، انتخاب یک گزینه از بین گزینه‌های موجود مد نظر است (Hakimi Pour & Hozhabr-Kiani, 2008; Torabi et al., 2011). یکی از تکنیک‌های قوی که می‌تواند بنگاه‌های تولیدی را در این زمینه یاری کند، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی^۱ است (Saaty, 2008). روش تحلیل سلسله مراتبی در سال ۱۹۸۰ در آمریکا توسط توماس ال ساعتی پیشنهاد گردید (Li & Tian, 2012) و در سال ۱۹۹۴ توسط خودش توسعه یافت و از آن در مطالعات علوم مختلف استفاده گردیده است (Saadi et al., 2008). این روش یک ابزار قدرتمند، مهم و انعطاف‌پذیر برای تصمیم‌گیری گروهی در محیط‌های پیچیده می‌باشد که به تصمیم‌گیران اجازه می‌دهد تا یک مسئله را در یک ساختار سلسله مراتبی شامل ارتباط بین هدف، معیار، زیر معیار و گزینه‌ها نشان دهند (Mashayekhi et al., 2013). همچنین این تکنیک برای اقتصاددانان کشاورزی و سیاست‌گذاران این بخش نیز مفید است (Lopez & Requena, 2016) و در حل مسایل تعیین تصمیم در

نیز به این مهم پرداخته شده است.

صفری و گرامی (۲۰۲۰)، در تحقیقی با عنوان اولویت‌بندی روش و معیار سمپاشی مزارع گندم به کمک تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، کارآمدترین و مناسب‌ترین نوع سم‌پاش و مهم‌ترین معیار عملیات سم‌پاشی را انتخاب نمودند. در این تحقیق که برای عملیات سم‌پاشی مزارع گندم بوده، از سم‌پاش‌ها و روش‌های مختص این نوع محصول در مناطق مورد مطالعه (مناطق البرز، آذربایجان غربی، خوزستان و خراسان رضوی) جهت ارزیابی‌های پژوهش استفاده شد. از نتایج این تحقیق می‌توان به انتخاب سم‌پاش‌های میکرونر و لانس‌دار و مهم‌ترین معیار در سم‌پاشی این مزارع اثربخشی در کنترل علف‌های هرز و آفات اشاره نمود. نوع سم‌پاش‌ها، روش‌های سم‌پاشی و همچنین محصول و منطقه مورد مطالعه از مهم‌ترین تفاوت‌های این تحقیق با سایر تحقیقات می‌باشد.

مشکلات عدیده ناشی از پس‌ماند سموم شیمیایی در محصولات کشاورزی و آمار قابل توجه مصرف سموم در بخش کشاورزی به خصوص محصولات باغی، اتخاذ روش‌های مدیریتی صحیح و نوین به منظور ارتقاء کیفیت پاشش و کاهش مصرف سم را امری ضروری می‌نماید تا در کم‌ترین مساحت و با ایجاد کم‌ترین خطر برای طبیعت و سلامت انسان، بیش‌ترین عملکرد به دست آید. با توجه به پژوهش‌های صورت گرفته، در خصوص معرفی سم‌پاش مناسب باغات مرکبات تحقیقی انجام نشده است. در اغلب منابع اشاره به مزایا و معایب روش‌های سمپاشی شده است و به صورت مطلق و در نظر گرفتن تمامی معیارهای متداخل و موثر، روش مناسبی را معرفی ننموده‌اند. روش تحلیل سلسله مراتبی با در نظر گرفتن کلیه معیارها، یکی از روش‌های مفید در معرفی روش سمپاشی است. از طرفی این تحقیقات بر روی موضوعات و محصولات دیگر بوده و بر روی مناسب‌ترین نوع سم‌پاش تحقیقی انجام نشده است. در این تحقیق با توجه به بررسی میدانی انجام شده از شرایط کاری سم‌پاش‌های رایج منطقه مورد مطالعه و نتایج بدست آمده از تحقیق، فرم‌های ارزیابی تهیه و با در نظر گرفتن معیارهای مهم ارزیابی شامل حجم مخزن، هزینه‌ها (خرید، سرویس و نگهداری و عملیات)، کیفیت سم‌پاشی (اثربخشی و یکنواختی پاشش)، ظرفیت زراعی و میزان محلول مصرفی در هکتار و گزینه‌های سم‌پاشی شامل سمپاش پشتی موتوری لانس، اتومایزر، چرخ‌دار موتوری (فرغونی) و بادبزی تراکتوری و با روش تحلیل سلسله مراتبی، مناسب‌ترین معیار و گزینه جهت عملیات سم‌پاشی باغات مرکبات استان مازندران تعیین گردید.

حاصل از این تحقیق نشان داد که تولید برنج به روش مکانیزه از لحاظ معیار اجتماعی نسبت به دیگر روش‌ها از مقبولیت کم‌تری بین کشاورزان برخوردار است. این موضوع بیان‌گر این واقعیت است که تولید برنج در گیلان نیاز به همت بیش‌تر مسئولین دارد تا در مدیریت بهتر این روش و در صورت امکان با فرهنگ‌سازی مناسب راهی برای افزایش استفاده از سیستم‌های مکانیزه در نظر گرفته شود (Monajem et al., 2013).

در سال ۲۰۱۳ سه کمباین نیوهلند تی سی ۵۶، جان‌دیر ۱۱۶۵ و جان‌دیر ۹۵۵ با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی با معیارهای قیمت دستگاه، میزان تلفات، ظرفیت مزرعه‌ای، میزان مصرف سوخت، قابلیت اطمینان، تجهیزات و امکانات، راحتی و ایمنی و خدمات پس از فروش مورد ارزیابی قرار داده شد و مشخص گردید که کمباین نیوهلند تی سی ۵۶ با وزن نهایی ۴۷٫۲٪ رتبه اول را در میان کمباین‌های دیگر دارد (Harbizadeh & Sheikhdavoodi, 2013). ممکن است رتبه‌بندی بعضی از معیارها در این تحقیق در مناطق مختلف با توجه به شرایط محیطی، اجتماعی، سیاسی و اقتصادی متغیر باشد.

در تحقیقی تعداد ۱۵ کمباین با روش AHP و معیارهای قیمت، مدل تراکتور، تعمیر و نگهداری، توان و ارگونومی در شهرهای اهواز و قائم‌شهر مورد ارزیابی قرار گرفت. نتیجه حاکی از آن بود که مهم‌ترین معیار انتخاب بهترین تراکتور در اهواز و قائم‌شهر به ترتیب مربوط به تعمیر و نگهداری و قیمت با وزن نسبی ۴۹/۴٪ و ۲۹/۶٪ است. تراکتورهای ITM-285 و Romania 650 با وزن مطلق ۸۳٪ در اهواز و تراکتور John Deere-6150 با وزن مطلق ۸۳٪ در قائم‌شهر مناسب‌ترین تراکتور انتخاب شدند (Amini & Asoodar, 2016).

در راستای پژوهشی که روش‌های وجین‌کاری علف‌های هرز با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و با معیارهای اصلی زراعی (زیر معیار: عملکرد، صفات رویشی و وزن خشک علف هرز)، انرژی (زیر معیار: کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی، افزوده خالص انرژی و شدت انرژی)، اقتصادی (زیر معیار: میزان هزینه، در آمد خالص و نسبت سود به هزینه)، اجتماعی (زیر معیار: مقبولیت عامه، تعداد نفر-ساعت کارگر مورد نیاز) و ارگونومی مورد ارزیابی قرار گرفت، مشخص گردید که روش شیمیایی، وجین‌کن مکانیکی بدون موتور، وجین‌کن مکانیکی موتوردار و وجین‌کن دستی به ترتیب با میانگین نسبت‌های وزنی ۰/۲۲۵، ۰/۳۴، ۰/۲۱۹ و ۰/۲۱۶ در رتبه اول تا چهارم قرار گرفتند (Eskandari-Cherati, 2012). یکی از نقاط قوت آن تحقیق که محقق به آن پرداخته، مسئله ارگونومی است که در دراز مدت ممکن است سلامت جسمانی اپراتور را به مخاطره بیندازد. در تحقیق حاضر

مواد و روش

روش جمع آوری داده‌ها

در این تحقیق برای داشتن معیارهایی مناسب جهت انتخاب مناسب‌ترین نوع سمپاش از بین چهار نوع سمپاش رایج و پرکاربرد پستی موتوری لانس، سمپاش اتومایزر، سمپاش فرغونی و سمپاش بادبزی تراکتوری (شکل ۱) جهت کاربری در باغات مرکبات استان مازندران از مطالعات کتابخانه‌ای و مذاکره با کارشناسان

کشاورزی، صاحب‌نظران دانشگاه، فروشندگان و باغداران مجرب در قالب پرسش‌نامه به ترتیب با تعداد ۱۰، ۷، ۹ و ۱۵ نفر استفاده شد. تعداد ۴۱ پرسش‌نامه برای جمع‌آوری اطلاعات مورد استفاده قرار گرفت که برای تکمیل پرسش‌نامه‌ها، از افراد در دسترس در گروه‌های ذکر شده به صورت تصادفی استفاده شد. معیارهای انتخاب شامل حجم مخزن، هزینه‌ها، کیفیت سمپاشی، ظرفیت مزرعه‌ای و میزان محلول مصرفی در هکتار بود.



ب



الف



د



ج

شکل ۱- سمپاش‌های باغی مورد مطالعه در تحقیق

(الف) سمپاش پستی موتوری لانس (ب) سمپاش اتومایزر (ج) سمپاش فرغونی (د) سمپاش بادبزی تراکتوری

اقتصادی ماشین، سود بانکی ۱۵ درصد، مقادیر قیمت اولیه، ارزش اسقاطی (۱۰ درصد قیمت اولیه) و هزینه سرویس و نگهداری (۵ درصد قیمت اولیه) محاسبه گردید. برای تعیین ظرفیت موثر زراعی سمپاش‌ها از طریق عامل سرعت پیشروی و زمان لازم برای سمپاشی یک هکتار و با قرار دادن در رابطه (۱) استفاده شد.

$$T = \frac{1}{ca} \quad (\text{رابطه ۱})$$

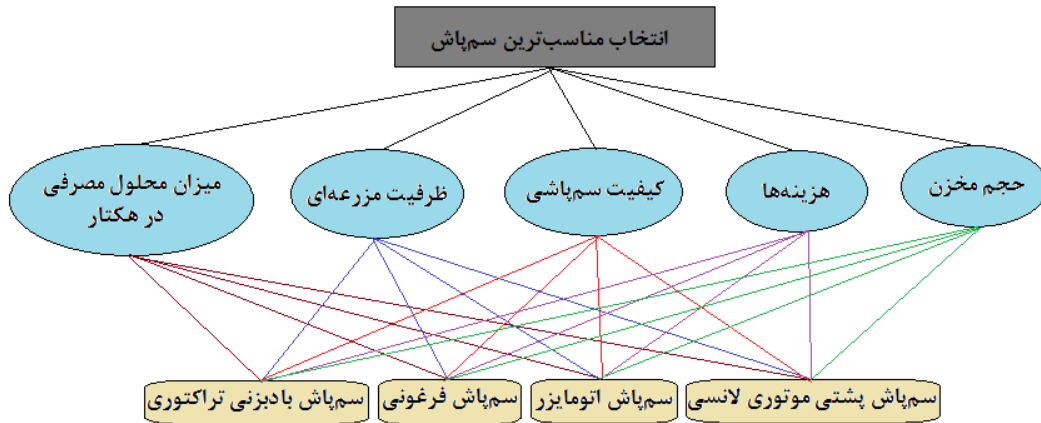
ساختار سلسله مراتبی

اولین قدم در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، ایجاد یک نمایش گرافیکی از مسئله می‌باشد که در آن هدف، معیارها و گزینه‌ها مشخص شده باشند. شکل ۲، سلسله مراتب انتخاب مناسب‌ترین

برای تعیین محلول مصرفی در هکتار، میزان بده خروجی نازل‌ها بر حسب لیتر بر دقیقه تعیین شد. در هر یک از سمپاش‌های مورد بررسی با قرار دادن ظرفی در زیر هر نازل و ثبت میزان محلول خروجی در زمان معین، بده خروجی هر یک از آنها تعیین شد. با داشتن بده خروجی بر حسب لیتر بر دقیقه و ظرفیت موثر مزرعه‌ای (هکتار بر ساعت) میزان محلول مصرفی در هکتار (لیتر بر هکتار) محاسبه گردید. برای تعیین کیفیت سمپاشی از طریق مشاهده یکنواختی پاشش سم بر سطح برگ‌ها و اندازه قطرات تعیین شد. همچنین برای تعیین هزینه‌ها به روش گردش نقدی یکنواخت سالانه و با در نظر گرفتن عمر ۱۰ ساله

و معمول‌ترین سم‌پاش‌ها در باغات مرکبات استان مازندران هستند و از محبوبیت و مقبولیت بیشتری برخوردارند. بطوریکه در باغات با مساحت بیشتر از یک هکتار از سم‌پاش‌های فرغونی و یا بادبزی تراکتوری، و در باغات کمتر از یک هکتار از سمپاش‌های پشتی و اتومایزر استفاده می‌شود.

نوع سم‌پاش جهت سم‌پاشی در باغات مرکبات استان مازندران را نشان می‌دهد. سطح یک در سلسله مراتب، هدف را نشان می‌دهد و در سطح دوم معیارها و در سطح آخر، گزینه‌های انتخاب که سم‌پاش پشتی موتوری لانس، سم‌پاش اتومایزر، سم‌پاش فرغونی و سم‌پاش بادبزی است، قرار دارند. این سم‌پاش‌ها بیشترین کاربرد



شکل ۲- ساختار سلسله مراتبی انتخاب مناسب‌ترین نوع سم‌پاش

محاسبه وزن

برای محاسبه وزن نسبی، روش‌های مختلفی مانند روش حداقل مربعات، روش حداقل مربعات لگاریتمی، روش بردار ویژه و روش‌های تقریبی (شامل روش مجموع سطری، مجموع ستونی، میانگین حسابی و میانگین هندسی) وجود دارند (Ghodsipour, 2016). در این تحقیق برای محاسبه وزن‌های نسبی به دلیل استفاده فراگیر در تحقیقات مختلف، دقت بالا در پژوهش‌های با نمونه‌های کوچک و سادگی در کاربرد، از روش حداقل مربعات استفاده شد. هر ماتریس مقایسه زوجی ممکن است سازگار و یا ناسازگار باشد. به عنوان مثال اگر A دو برابر B اهمیت داشته باشد و B سه برابر C مهم باشد، چنانچه A سه برابر C اهمیت داشته باشد، این قضاوت را سازگار می‌گوییم که در این صورت مقدار عددی a_{ij} برابر با w_i/w_j می‌شود. اما در عمل کم‌تر اتفاق می‌افتد که ماتریس تشکیل شده سازگار گردد. در روش حداقل مربعات، w_i و w_j به گونه‌ای محاسبه می‌شوند که مجموع مربعات اختلافات w_j/w_i و w_i/w_j حداقل گردد. به عبارت دیگر سعی بر این است که w_i و w_j به گونه‌ای تعیین شوند که اختلافات w_i/w_j با a_{ij} ها حداقل گردد و سیستم به حالت سازگاری نزدیک‌تر شود. برای این منظور از برنامه‌ریزی غیرخطی رابطه (۳) استفاده شد (Sharifi et al., 2014).

(رابطه ۳)

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (a_{ij}w_j - w_i)^2 \quad \text{st: } \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

برای حل رابطه (۳)، معادله لاگرانژ آن به صورت رابطه (۴)

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و سپس وزن نسبی آن‌ها محاسبه می‌گردد (Ghodsipour, 2016). با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه مشخص می‌گردد که وزن مطلق نامیده می‌شود. در مقایسه زوجی، تصمیم‌گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی استفاده می‌کنند به گونه‌ای که اگر عنصر i با عنصر j مقایسه شود، تصمیم‌گیرنده چنان تصمیم می‌گیرد که اهمیت عنصر i بر j یکی از ۹ امتیاز نشان داده شده در جدول ۱ است (Harker & Vargass, 1987; Saaty, 2018). در نهایت ماتریس مقایسه زوجی به صورت رابطه (۲) تشکیل می‌شود که در آن a_{ij} ترجیح عنصر i نسبت به عنصر j است. حال با مشخص بودن a_{ij} ها وزن عناصر، یعنی w_i ها به دست می‌آید.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$A = [a_{ij}] \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

جدول ۱- مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی (Saaty, 2008)

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)
۹	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر و یا کاملاً مطلوب‌تر
۷	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر (۳)
۱	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۰,۴, ۰,۲, ۰,۱	ترجیحات بین فواصل فوق

و یا قابل قبول و مردود بودن آن قضاوت کرد. در حالت کلی می توان گفت که میزان قابل قبول نرخ ناسازگاری^۱ یک ماتریس یا سیستم بستگی به تصمیم گیرنده دارد اما ساعتی (Saaty, 2008)، عدد ۰/۱ را به عنوان حد قابل قبول ارائه می نماید و معتقد است چنانچه میزان ناسازگاری بیشتر از ۰/۱ باشد بهتر است در قضاوتها تجدید نظر گردد. برای محاسبه نرخ ناسازگاری ابتدا از رابطه (۶) استفاده می کنیم (Ghodsipour, 2016):

$$A \cdot W = \lambda_{max} \cdot W \quad (\text{رابطه ۶})$$

که در آن:

A، ماتریس مقایسه زوجی n×n و W، بردار وزن و λmax بزرگترین مقدار ویژه ماتریس می باشد.

حال با تقسیم مقادیر به دست آمده برای λmax.W بر W مربوطه، تخمین هایی از λmax را محاسبه نموده و مقدار متوسط آنها را می یابیم و از رابطه (۷) برای به دست آوردن مقدار شاخص ناسازگاری^۲ استفاده می نماییم (Ghodsipour, 2016).

$$I.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (\text{رابطه ۷})$$

که در آن:

I.I. مقدار شاخص ناسازگاری و n، تعداد سطر یا ستون ماتریس مقایسه زوجی می باشد.

در نهایت، نرخ ناسازگاری ماتریس با استفاده از رابطه (۸) و جدول ۳ به دست می آید (Ghodsipour, 2016).

$$I.R. = \frac{I.I.}{I.I.R.} \quad (\text{رابطه ۸})$$

که در آن:

I.R.، نرخ ناسازگاری و I.I.R.، شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی می باشد.

برای محاسبه شاخص ناسازگاری ماتریس های تصادفی از جدول ۳ استفاده گردید.

برای محاسبه نرخ ناسازگاری کل سیستم یا همان سلسله مراتبی، شاخص ناسازگاری هر ماتریس را در وزن عنصر مربوطه اش (یعنی عنصری که ماتریس در مقایسه با آن ساخته شده است) ضرب نموده و حاصل جمع آنها را به دست آورده که I.I. نامیده می شود. هم چنین وزن عناصر را در I.I.R. ماتریس های مربوطه ضرب کرده، مجموع شان را I.I.R. نام گذاری کرده و نرخ ناسازگاری سلسله مراتبی از حاصل تقسیم I.I. بر I.I.R. به دست می آید (Ghodsipour, 2016).

برای انجام فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با توجه به عوامل مورد بررسی از نرم افزار EXPERT CHOICE11 که توانایی

در نظر گرفته شد که مشتق آن به صورت رابطه (۵) است. (رابطه ۴)

$$L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (a_{ij}w_j - w_i)^2 + 2\lambda \left(\sum_{i=1}^n w_i - 1 \right) \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$\sum_{i=1}^n (a_{il}w_l - w_i)a_{il} - \sum_{j=1}^n (a_{lj}w_j - w_l) + \lambda = 0$$

$$l = 1, 2, \dots, n$$

از روابط (۳) تا (۵) به تعداد n+1 معادله خطی ناهمگن و n+1 مجهول به دست می آید که با حل آنها به وزن های مورد انتظار دست خواهیم یافت. بعد از به دست آوردن وزن نسبی، وزن نهایی هر گزینه در یک فرآیند سلسله مراتبی از مجموع حاصل ضرب اهمیت معیارها در وزن گزینه ها به دست آمد. فرض کنید دو معیار قیمت و مدل با وزن نسبی به ترتیب ۰/۶۰۲ و ۰/۳۹۸ برای گزینه a موجود است و وزن نسبی گزینه a نسبت به قیمت و مدل به ترتیب برابر با ۰/۲۴۵ و ۰/۷۵۵ باشد. آن گاه وزن نهایی گزینه a از مجموع حاصل ضرب ۰/۳۹۸ در ۰/۷۵۵ و حاصل ضرب ۰/۶۰۲ در ۰/۲۴۵ به دست می آید.

در مقایسه معیار i با معیار j اگر اهمیت هر دو معیار یکسان بود، عدد یک علامت زده می شود. اگر معیار سمت راست مهم تر بود، به همان اندازه که با اهمیت تر است عدد سمت راست مطابق جدول ۲ انتخاب می گردد. مثلاً اگر معیار سمت راست ۳ درجه مهم تر بود، عدد ۳ سمت راست باید علامت زده شود اما اگر عدد سمت چپ مهم تر بود عدد سمت چپ باید علامت زده شود. برای مثال اگر سه گزینه A، B و C با یکدیگر مقایسه شوند و شرایط زیر فراهم باشد: ۱- A سه بار بهتر از B باشد، ۲- C پنج بار بهتر از A باشد و ۳- C هفت بار بهتر از B باشد؛ باید مطابق جدول ۲ به گزینه ها امتیازدهی شود.

جدول ۲- جدول مقادیر امتیازدهی مربوط به زوج معیارها در روش تحلیل

		سلسله مراتبی								
		اولویتها								
B	A	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
C	A	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
C	B	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱

A، B و C معیارهای مورد ارزیابی در روش تحلیل سلسله مراتبی هستند.

سازگاری سیستم

یکی از مزایای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، کنترل سازگاری تصمیم است. به عبارت دیگر همواره در این فرآیند می توان میزان ناسازگاری تصمیم را محاسبه نموده و نسبت به خوب یا بد بودن

سمت راست نمودار می‌تواند تغییر کند (Ghodsipour, 2016).

نتایج و بحث

در جدول‌های ۴ تا ۹، میانگین اعداد در ماتریس مقایسه زوجی معیارها با هم و گزینه‌ها با هم بر اساس یک معیار مشخص آورده شده است. این جدول‌ها خروجی نظرات خبرگان حاصل از پرسش‌نامه‌ها می‌باشند.

طراحی سلسله مراتبی تصمیم‌گیری، طراحی پرسش‌های تعیین ترجیحات و اولویت‌ها، محاسبه‌ی وزن نهایی، قابلیت تحلیل حساسیت تصمیم‌گیری نسبت به تغییرات در پارامترهای مسئله و ایجاد نمودار سر به سر^۱ بین گزینه‌ها را دارد، استفاده شد. نمودار سر به سر، نمودار تحلیل حساسیت تفاضل‌های وزنی است که تفاوت میان اولویت هر جفت گزینه را برای کلیه معیارها نمایش می‌دهد. گزینه سمت چپ این نمودار همیشه ثابت بوده و گزینه

جدول ۳- شاخص ناسازگاری ماتریس‌های تصادفی (Abdollahzadeh et al., 2016)

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
I.I.R.	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹

n، تعداد معیارها و I.I.R.، شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی می‌باشد.

جدول ۴- ماتریس مقایسه زوجی معیارها

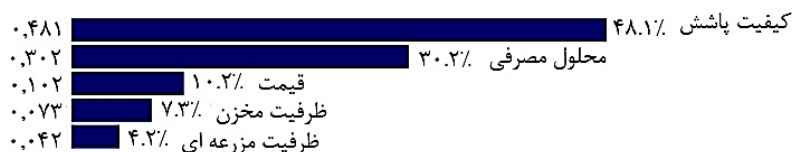
حجم مخزن	هزینه‌ها	کیفیت سم‌پاشی	ظرفیت مزرعه‌ای	میزان محلول مصرفی در هکتار
حجم مخزن	۱	۱/۲	۳	۱/۵
هزینه‌ها	۲	۱	۳	۱/۴
کیفیت سم‌پاشی	۷	۶	۷	۲
ظرفیت مزرعه‌ای	۱/۳	۱/۳	۱	۱/۶
میزان محلول مصرفی در هکتار	۵	۴	۱/۲	۱

جدول ۹- ماتریس مقایسه زوجی سم‌پاشی‌ها بر اساس میزان محلول مصرفی در هکتار

محلوم صرفی	پشتی موتوری	بادبزی	فرغونی	اتومایزر
پشتی موتوری	۱	۱/۴	۱	۲
بادبزی	۴	۱	۵	۹
فرغونی	۱	۱/۵	۱	۵
اتومایزر	۱/۲	۱/۹	۱/۵	۱

وزن ۰/۰۴۱ کم‌ترین اولویت را دارند که حکایت از اهمیت عامل کیفیت سم‌پاشی و عدم توجه به ظرفیت مزرعه‌ای در سم‌پاشی را برای کارشناسان و باغ‌داران دارد. در پژوهشی دیگر که در سال ۲۰۱۶ به انجام رسیده، کیفیت سم‌پاشی درختان و محلول مصرفی دو عامل بسیار مهم در ارزیابی کارایی سم‌پاش‌های باغات مرکبات بود (Jafari-Malekabadi et al., 2016). همچنین در تحقیقی برای عملیات سم‌پاشی مزارع گندم، سمپاش‌های میکرونر و لانس‌دار به ترتیب با وزن ۰/۳۳۷ و ۰/۲۳۹ بعنوان مناسب‌ترین سم‌پاش و اثربخشی در کنترل علفهای هرز و آفات بعنوان مهم‌ترین معیار انتخاب شد (Safari and Gerami, 2020).

شکل ۳ مقایسه وزن معیارهای تصمیم‌گیری را با توجه به نظرات جمع‌آوری شده نشان می‌دهد. با توجه به نمودار، میزان اهمیت معیارهای کیفیت سم‌پاشی، میزان محلول مصرفی در هکتار، هزینه‌ها، حجم مخزن و ظرفیت مزرعه‌ای به ترتیب برابر با ۰/۴۸۱، ۰/۳۰۲، ۰/۱۰۲، ۰/۰۷۳ و ۰/۰۴۲ به دست آمد. در پژوهشی که برای شناخت بهترین روش وجین کاری برنج از بین روش‌های وجین دستی، شیمیایی، وجین‌کن بدون موتور و موتوردار در استان‌های شمالی انجام شد، مشخص گردید که معیار اقتصادی با وزن ۰/۳۲۲ جزء مهم‌ترین عوامل در بین معیارهای دیگر بوده است (Eskandari-Cherati, 2012). معیار کیفیت سم‌پاشی با وزن ۰/۴۸۱ بیش‌ترین اولویت و ظرفیت مزرعه‌ای با

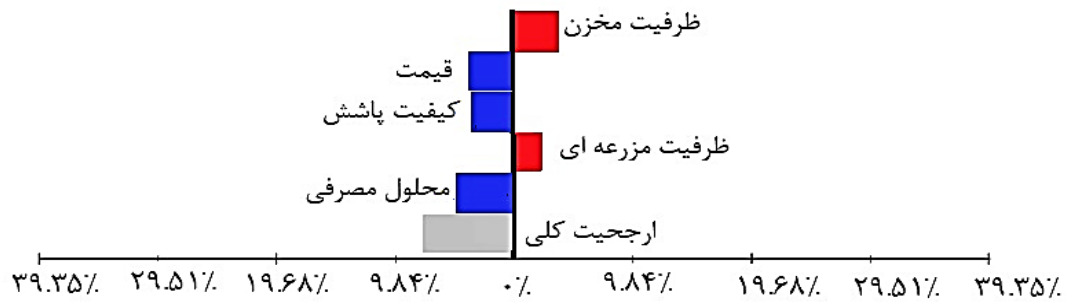


شکل ۳- مقایسه وزن معیارهای تصمیم‌گیری و میزان اهمیت معیارهای کیفی و کمی اندازه‌گیری شده

دلیل کیفیت سمپاشی بالاتر بر سمپاش پستی موتوری لانسسی ارجحیت دارد.
همچنین با توجه به شکل ۶ که نمودار سر به سر بین سم- پاش پستی موتوری لانسسی و سمپاش اتومایزر را نشان می‌دهد، سمپاش اتومایزر نه تنها به دلیل کیفیت سمپاشی بالاتر بلکه به خاطر میزان محلول مصرفی کمتر بر نوع پستی موتوری لانسسی ارجحیت دارد.

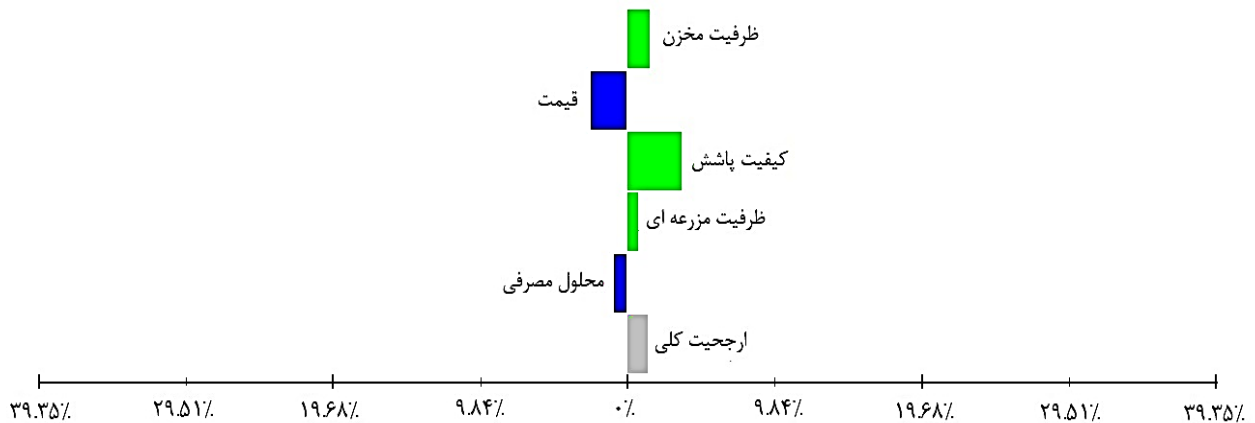
با توجه به شکل ۴ که نمودار سر به سر بین سمپاش پستی موتوری لانسسی و سمپاش بادبزی تراکتوری را نشان می‌دهد، سم- پاش پستی موتوری نه تنها به دلیل کیفیت سمپاشی بالاتر بلکه به خاطر هزینه و محلول مصرفی کمتر رتبه بالاتری را نسبت به نوع بادبزی کسب کرده است.
در شکل ۵ که نمودار سر به سر بین سمپاش پستی موتوری لانسسی و سمپاش فرغونی را نشان می‌دهد، سمپاش فرغونی به

سمپاش بادبزی تراکتوری < > سمپاش پستی موتوری لانسسی



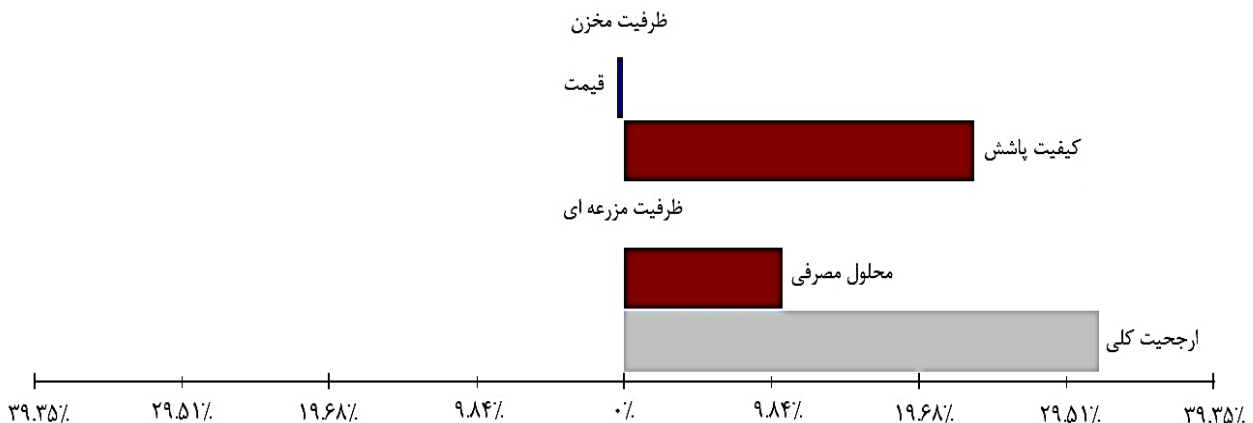
شکل ۴- نمودار سر به سر معیارهای اندازه گیری شده بین سمپاش پستی موتوری لانسسی و سمپاش بادبزی تراکتوری

سمپاش فرغونی < > سمپاش پستی موتوری لانسسی



شکل ۵- نمودار سر به سر معیارهای اندازه گیری شده برای سمپاش پستی موتوری لانسسی و سمپاش فرغونی

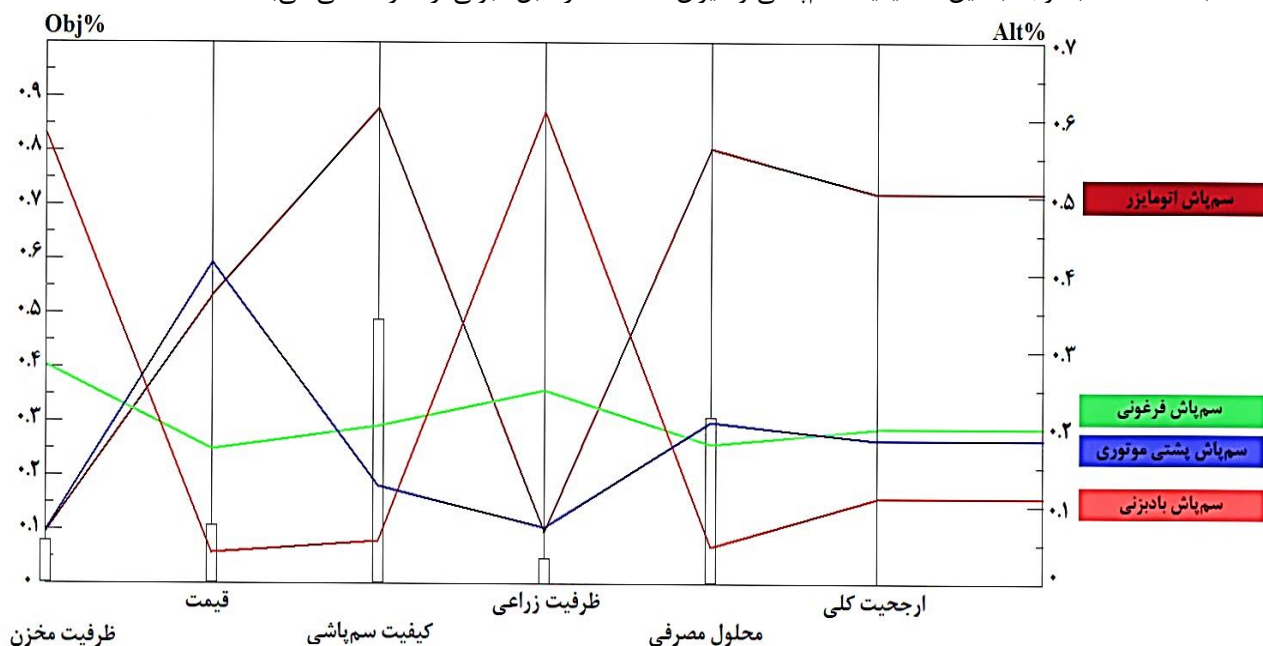
سمپاش اتومایزر < > سمپاش پستی موتوری لانسسی



شکل ۶- نمودار سر به سر معیارهای اندازه گیری شده برای سمپاش پستی موتوری لانسسی و سمپاش اتومایزر

محلول مصرفی در هکتار بر اساس پرسش‌نامه‌های جمع‌آوری شده، مهم‌ترین عوامل از بین معیارهای ذکر شده بود (شکل ۳)، لذا سم‌پاش اتومایزر (به علت کیفیت بالاتر در سم‌پاشی و مقدار محلول مصرفی کمتر) بر سه نوع دیگر سم‌پاش‌ها ترجیح داده شده است (شکل ۷). نرخ ناسازگاری نیز برابر ۰/۰۴ محاسبه شد که مقدار قابل قبولی از نظر ساعتی می‌باشد.

شکل ۷ ارزش‌نهایی هر یک از گزینه‌ها همراه با نمایش گرافیکی آن را نشان می‌دهد که با توجه به شکل، ارزش مطلق و نهایی شاخص تصمیم با توجه به پنج معیار در نظر گرفته شده، برای سم‌پاش اتومایزر، سم‌پاش فرغونی، سم‌پاش پشتی موتوری لانس و سم‌پاش بادبزی تراکتوری به ترتیب ۰/۵۰۴، ۰/۱۲، ۰/۱۸۶ و ۰/۱۱ به دست آمد. با توجه به این که کیفیت سم‌پاشی و میزان



شکل ۷- ارزش‌نهایی هر یک از سم‌پاش‌ها بر اساس پنج معیار مورد آزمون (جهت مقایسه نهایی سم‌پاش اتومایزر، سم‌پاش فرغونی، سم‌پاش پشتی موتوری لانس و سم‌پاش بادبزی تراکتوری)

مصرفی، از بین معیارهای اولویت‌بندی از بالاترین اولویت‌ها برخوردار بوده و سم‌پاش اتومایزر با ارزش‌نهایی ۰/۵۰۴ از بین چهار نوع سم‌پاش معمول مورد استفاده در باغات مرکبات استان مازندران، به عنوان مناسب‌ترین گزینه انتخاب و معرفی شود. از طرفی به دلیل مصرف زیاد محلول بر هکتار سایر سم‌پاش‌ها و بخصوص سم‌پاش بادبزی، نه تنها باعث افزایش هزینه سم‌پاشی می‌گردند، بلکه موجب آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌شوند. هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

نتیجه‌گیری

در مقایسه معیارهای تصمیم‌گیری در روش تحلیل سلسله‌مراتبی به کمک نرم‌افزار EXPERT CHOICE11 مشخص گردید که باغداران به ترتیب کیفیت سم‌پاشی، میزان محلول مصرفی در هکتار، هزینه‌ها، حجم مخزن و ظرفیت مزرعه‌ای را با میزان اهمیت نسبی ۰/۴۸۱، ۰/۳۰۲، ۰/۱۰۲، ۰/۰۷۳ و ۰/۰۴۲ ترجیح می‌دهند. لزوم افزایش راندمان تولید از نظر کیفی و کمی و کاهش آسیب‌های وارده به محیط زیست و سلامت انسان از طریق بهبود راندمان سم‌پاشی و هدف‌دار موجب گردیده است که کیفیت سم‌پاشی و مقدار محلول

REFERENCES

- Ahmadi, K., Gholizadeh, H. A., Ebadzadeh, H. R., Hatami, M., Hoseinpour, R., Kazem-Fard, R., & Abdshah, H. (2015). Agricultural Statistics. Volume 3: Horticultural products. Ministry of Agriculture, Deputy Economic and Planning Department, Technology and Information Center, 253 p. (in Farsi).
- Amini, S., & Asoodar, M. A. (2016). Selecting the most appropriate tractor using Analytic Hierarchy Process- an Iranian case study. *Information Processing in Agriculture*, 3, 223-234.
- Bohanec, M., Zupan, B., & Rajkovic, V. (2000). Applications of Qualitative Multi attribute Decision Models in Health Care. *International Journal of Medical Informatics*, 58, 191-205.
- Brunelli, M. (2014). Introduction to the analytic hierarchy process. *Springer*, 83 p.
- Ebraheem, M. (2012). The Analytic Hierarchy Process (AHP) in Software Development. *Prentice Hall*, 77 p.
- Eskandari-Cherati, F. A. (2012). Using Analytical Hierarchy Process (AHP) in the Evaluation and Selection of the Best Work Weeding the Weeds in Rice. *The 7th National Congress on Agricultural*

- Machinery Engineering & Mechanization*, 14-16 June. Shiraz. (in Farsi)
- Ghodsipour, S. H. (2016). Analytical Hierarchy Process (AHP). *The Eleventh Edition. Amirkabir University Publication (Tehran Polytechnic)*, 224 p. (in Farsi)
- Hakimi Pour, N., & Hozhabr-Kiani, K. (2008). Efficiency Comparative Analysis of Big Industries Sector in Iran Provinces: by using Stochastic Frontier Function. *Journal of Knowledge and Development*, 16(24): 115-140.
- Harbizadeh, M., & Sheikhdavoodi, M. J. (2013). Choosing Proper Combine Using Analytic Hierarchy Process. *The 8th National Congress on Agricultural Machinery Engineering (Biosystem) & Mechanization*. 9-11 November. Mashhad, 3866-3876. (in Farsi)
- Harker, P., & vargass, L. (1987). The Theory of Ratio Scale Estimation: Saaty's Analytical Hierarchy Process. *Management Science*, 33(11): 1383-1403.
- Jafari-Malekabadi, A., Sadeghi, M., Zaki-Dizaji, H., & Khojastepour, M. (2016). Evaluation the efficiency of conventional sprayers in iran Gardens. *The 10th National Congress on Agricultural Machinery Engineering (Biosystem) & Mechanization*, 9-10 June. Mashhad. Ferdowsi University of Mashhad. (in Farsi)
- Khosravi, J., Asoodar, M. A., Alizadeh, M. R., & Peyman, M. H. (2011). Application of Multiple Criteria Decision Making System Compensatory (TOPSIS) in Selecting of Rice Milling System. *World Applied Sciences Journal*, 13(11): 2306-2311.
- Li, D., & Tian, M. (2012). The Empirical Study of Performance Evaluation on the Specialized Cooperative Organizations of Farmers in Sichuan by AHP. *Journal of Management and Sustainability*, 2(1): 200-209.
- Lopez, C. P. and Requena, J. C. (2016). A Multifunctional Comparison of Conventional Versus Alternative Olive Systems in Spain by AHP. *International Association of Agricultural Economists Conference*, Gold Coast. Australia.
- Mansouri-Rad, D. (2010). Farm machinery and tractors. Volume 1: The Second Edition. *Bu-Ali Sina University Publication*, 855 p. (in Farsi)
- Mashayekhi, A., Rezapour, M., & Alirezaei, A. A. (2013). Selecting the most appropriate type of hydraulic pump using software. *The 8th National Congress on Agricultural Machinery Engineering (Biosystem) & Mechanization*, 9-11 November. Mashhad. 3551-3557. (in Farsi)
- Monajem, S., Ranji, A., Khani, M., & Dorosti, H. (2013). Evaluation of rice production systems in Guilan province by using of Analytical Hierarchy Process (AHP). *Cereal Research*, 3(3): 255-266. (in Farsi)
- Nikmardan, A. (2012). Introduction the Expert Choice Software (With Abstract of AHP Subject). *Jahad Daneshgahi Publication. Amirkabir University*, 172 p. (in Farsi)
- Potoc̃nik, M. (2006). Multi-attribute Model for the Assessment of Farm Tourism's Supply Quality. Unpublished master's thesis. University of Maribor. Maribor. Slovenia.
- Saaty, T. L. (2008). The analytic hierarchy process. McGraw-Hill. New York.
- Saaty, T. L. (1986). Axiomatic Foundation of Analytical Hierarchy Process. *Management Science*, 32. No. 7. July 1986.
- Saaty T. (2018). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal Services Sciences*, 1(1): 83-98.
- Saadi, H., Kalantari, Kh., & Irvani, H. (2008). Determination of Preferable Extension System for Preventing Desertification: an Application of Analytical and Hierarchical Process (AHP). *Iran Agricultural Extension and Education Journal*, 4(1): 54-67. (in Farsi)
- Safari, M., & Gerami, K. (2020). Prioritization of Methods and Criteria of Spraying for Wheat Fields by Analytical Hierarchy Process (AHP). *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 51(1): 139-148. (in Farsi)
- Sharifi, M., Akram, A., Rafiee, Sh., & 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. (in Farsi)
- Srdjevic, B., & Jandric, Z. (2010). Analytical Hierarchy Process in selecting the best irrigation method. *Agricultural System*, 103(6): 350-358.
- Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S., & Zeinali, E. (2011). Analyzing Wheat Yield Constraints in Gorgan. *Electronic Journal of Crop Production*, 4(4): 1-17. (in Farsi)
- Vargas, R. V. (2015). Analytical hierarchy process. Earned value and other project management themes: a compendium of technical articles. *Create Space Independent Publishing Platform*, 236 p.