Archive of SID
DOI: 10.22059/IJBSE.2019.287967.665217 مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۵۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹ (ص ۱۴۸-۱۳۹)

Prioritization of Methods and Criteria of Spraying for Wheat Fields by Analytical Hierarchy Process (AHP)

MAHMOOD SAFARI*[1], KARIM GERAMI[2]

1. Department of Mechanical Engineering in Agro Machinery and Mechanization, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj- Iran
2. West Azarbayejan Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Urmia- Iran

(Received: Sep. 1, 2019- Revised: Nov. 22, 2019- Accepted: Dec. 23, 2019)

ABSTRACT

In the process of crop production, selecting the appropriate spraying method is very important. On the other hand, selecting the most appropriate criterion for evaluating and selecting pesticides is essential. In the first stage of this research, according to the important criteria of evaluation of spraying operations; the sprayers of Knapsack micronair, Tractor boom, Tractor lance, Knapsack atomizer and Turboliner were compared for sparying wheat fields in Alborz, West azarbaijan, Khoozestan and Razavi khorasan proviences with a completely randomized design. In the second step, the results of the first experiment were analyzed using AHP method. According to the results, the scoring methods were evaluated based on the criteria of spraying, spraying volume, drift, field capacity, spray uniformity, crop blunder, spraying nominal power, effectiveness and cost, after normalizing and analyzing the data, weight of Knapsack micronir, Tractor boom, Turboliner, Knapsack atomizer, and Tractor Lance sprayers were 0.337, 0.223, 0.175, 0.0 170 and 0.078, respectively. The Knapsack micronair and Tractor lance sprayers was the best and worst sprayer according to the weights obtained. The inconsistency coefficient of weights was 0.08. The highest and lowest criterion weight was 0.253 and 0.038 respectively and related to the effectiveness of controlling weeds and pests and crop blunder. In this situation, the inconsistency coefficient was 0.09.

Key words: Appropriate spraying, Evaluation, Selection, Sensitivity analysis,

* Corresponding Author's Email: email2safari@yahoo.com
www.SID.ir

Archive of SID

اولویت‌بندی روش و معیار سم‌پاشی مزارع گندم به کمک تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

محمود صفری[1]* و کریم گرامی[2]

۱. بخش تحقیقات ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون ، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی ، سازمان تحقیقات آموزش وترویج کشاورزی،کرج،ایران

۲. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات آموزش وترویج کشاورزی،ارومیه،ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۶/۱۰- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۹/۲۷- تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۰/۲)

چکیده

در فرآیند تولید محصولات کشاورزی، انتخاب روش مناسب سم‌پاشی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از طرفی انتخاب مناسب‌ترین معیار برای ارزیابی و گزینش سم‌پاش‌ها از ضروریات است. در مرحله اول این تحقیق، با توجه به معیارهای مهم ارزیابی عملیات سم‌پاشی، سم‌پاش‌های تراکتوری بوم‌دار، لانس‌دار، توربولاینر، میکرونر پشتی و اتومایزر در مناطق البرز، آذربایجان غربی، خوزستان و خراسان رضوی در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی به‌منظور سم‌پاشی مزارع گندم مورد مقایسه قرار گرفتند. در مرحله دوم، نتایج آزمایش اول به کمک روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، تجزیه‌وتحلیل گردید. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، امتیاز روش‌های سم‌پاشی بر اساس معیارهای مصرف محلول سم، باد بردگی، ظرفیت مزرعه‌ای، یکنواختی پاشش، درصد لهیدگی محصول، توان اسمی سم‌پاش‌ها، اثربخشی و هزینه در نظر گرفته شد که پس از نرمال سازی و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، وزن سم‌پاش‌های میکرونر، بوم‌دار، توربولاینر، اتومایزر و لانس‌داربه ترتیب ۰/۳۳۷، ۰/۲۳۹، ۰/۱۷۵، ۰/۱۷۰ و ۰/۰۷۸ به دست آمد. مناسب‌ترین و ناکارآمدترین سم‌پاش در مزارع گندم، با در نظر گرفتن وزن‌های به‌دست‌آمده، به‌ترتیب سم‌پاش‌های میکرونر و لانس‌داربودند. ضریب ناسازگاری وزن‌ها، ۰/۰۸ بود. بالاترین و پائین‌ترین وزن معیار به ترتیب ۰/۲۵۳ و ۰/۰۳۸ و مربوط به اثربخشی در کنترل علف‌های هرز و آفات و لهیدگی محصول بود. در این شرایط ضریب ناسازگاری ۰/۰۹ به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی، انتخاب، تحلیل حساسیت، سم پاش مناسب

مقدمه

انتخاب روش مناسب سم‌پاشی، یکی از عوامل مؤثر در کاهش هزینه‌های تولید، آلودگی‌های زیست‌محیطی و افزایش عملکرد محصول است؛ از طرفی، تعیین معیارهای مناسب ارزیابی سم پاش‌ها، از عوامل مهم در انتخاب آنهاست. روش تحلیل سلسله مراتبی، یک روش مفید و کارآمد به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین روش و معیار است.

در بسیاری از موارد به‌منظور مبارزه با آفات، بیماری‌های گیاهی و علف‌های هرز، عملیات سم‌پاشی اجتناب‌ناپذیر است. در این شرایط، عملیات سم‌پاشی می‌بایست به روش صحیح و با استفاده از وسایل مناسب انجام گیرد تا ضمن این‌که عملیات، با کمترین هزینه، مؤثر واقع شود، کمترین آسیب به محیط‌زیست و سلامت انسان وارد گردد (Anonynmous, 1998). در تحقیقی، چهار نوع سم‌پاش در مبارزه با علف‌های هرز گندم موردمقایسه قرار گرفتند. تیمارها به ترتیب سم‌پاش پشت تراکتوری بوم‌دار، میکرونر ابرپاش، اتومایزر و الکتروستاتیک بودند. نتایج نشان داد که صفات دبی خروجی، عرض کار، ظرفیت مؤثر، ظرفیت نظری، درصد لهیدگی، اجرت هر هکتار عملیات، سرعت پیشروی و محلول مصرفی در هکتار، در سطح ۱٪ دارای اختلاف معنی‌داری هستند. سم‌پاش پشت تراکتوری ازنظر صفات موردمطالعه نسبت به انواع اتومایزر، میکرونر و الکترواستاتیک در وضعیت مطلوب‌تری قرار داشت (Ghaemmaghami *et al*., 2008). لذا ضرورت دارد با توجه به روش‌های سم‌پاشی و هدف مبارزه با علف‌های هرز و آفات، اولویت‌ها و معیارها مشخص گردد. در شرایطی که معیارهای تصمیم‌سازی متضاد هستند، انتخاب گزینه‌ها مشکل است. جهت تصمیم‌گیری، از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده می‌گردد (Bertolini and Braglia, 2006). ساختار سلسله مراتبی شامل سه سطح می‌باشد که سطح اول را هدف، سطح دوم را معیارهای اصلی (فرعی) و سطح سوم را گزینه‌ها تشکیل داده‌اند که از روش AHP برای تعیین وزن معیارها و گزینه‌ها استفاده

* نویسنده مسئول: email2safari@yahoo.com

1. Analytical Hierarchy Process

www.SID.ir

Archive of SID

می‌شود. درروش AHP، مقایسه زوجی بین هرکدام از سطوح معیارها انجام می‌گیرد و به کمک نرم‌افزار، پرسشنامه‌های مقایسه زوجی تحلیل و نرخ ناسازگاری آن‌ها تعیین می‌شود. نرخ ناسازگاری، وسیله‌ای است که نشان می‌دهد تا چه حد می‌توان به اولویت‌های حاصل از مقایسات اعتماد کرد. برای مثال اگر گزینه Aنسبت به B مهم‌تر (ارزش ترجیحی ۵) و B نسبتاً مهم‌تر (ارزش ترجیحی ۳) باشد، آنگاه باید انتظار داشت A نسبت به C خیلی مهم‌تر (ارزش ترجیحی ۷ یا بیشتر) ارزیابی گردد. چنانچه نرخ عدم ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد مقایسه‌های زوجی انجام‌گرفته شده قابل‌قبول می‌باشد (Srdjevic and Jandric, 2010). در تحقیقی از بین سه کمباین نیوهلند تی سی ۵۶، جاندیر ۱۱۶۵ و جاندیر ۹۵۵ مناسب‌ترین کمباین با روش تحلیل سلسله مراتبی تعیین گردید. معیارها شامل قیمت دستگاه، میزان تلفات (افت)، ظرفیت مزرعه‌ای، میزان مصرف سوخت، قابلیت اطمینان، تجهیزات و امکانات، راحتی و ایمنی و خدمات پس از فروش بودند. نتایج نشان داد که از میان سه گزینه، کمباین نیوهلند تی سی ۵۶ با وزن نهایی ۰/۴۷۲ دارای بیشترین امتیاز است. دو کمباین جاندیر ۱۱۶۵ و جاندیر ۹۵۵ نیز به ترتیب با وزن نهایی ۰/۳۲۶ و ۰/۲۰۲ جایگاه‌های بعدی را به خود اختصاص دادند (Sheikh davoodi and Harbizade, 2013). در تحقیقی با عنوان ارائه الگوی بهینه برای مکان‌یابی فضای سبز با روش AHP و اولویت‌بندی مکانی با استفاده از روش TOPSIS، وزن و اهمیت هریک از لایه‌ها، با استفاده از روش AHP محاسبه و درنهایت، اولویت‌بندی روش‌ها به روش TOPSIS انجام شد (Hedayatnia and Ebrahimi, 2014). این روش توسط ساعتی در سال ۱۹۸۰ ارائه گردیده است و سه اصل تجزیه، قضاوت تطبیقی و سنتز، مبنای تصمیم‌گیری است (Saaty, 1980). این عناصر، شامل هدف‌ها، معیارها یا مشخصه‌ها و گزینه‌های احتمالی هستند که در اولویت‌بندی بکار می‌روند (Bowen, 1993)؛ بنابراین، اولین قدم در این فرآیند، ایجاد یک ساختار سلسله‌مراتبی از موضوع موردبررسی است، به‌طوری‌که در آن اهداف، معیارها، گزینه‌ها و ارتباط بین آن‌ها نشان داده می‌شود (Zabardast, 2001). در تحقیقی به‌منظور تعیین روشی مناسب برای مسیریابی جاده‌های جنگلی از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده گردید. ازاین‌رو پرسشنامه‌ای جهت اولویت‌بندی عوامل مؤثر در طراحی جاده یعنی شیب، جهت، تیپ خاک، زمین‌شناسی، موجودی در هکتار درختان، وضعیت آبراهه، گونه‌های حفاظتی و چشم‌انداز تنظیم و سپس نقطه نظرات متخصصان طراحی مسیر جاده جنگلی در مورد تعیین اهمیت نسبی عوامل، جمع‌آوری و با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice11 ، به روش مقایسه دوبه‌دو، وزن دهی شدند. نتایج نشان داد که معیار شیب با وزن نسبی ۰/۲۵۴ دارای بیشترین امتیاز و چشم‌انداز با وزن نسبی ۰/۰۵۲ دارای کمترین امتیاز است (Hosseini *et al*., 2017).

ساعتی (۱۹۸۰) معتقد است به هنگام مقایسه زوجی معیارها، اگر شاخص ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد، ضرایب اهمیت تعیین‌شده، مناسب است. پس از تعیین ضریب اهمیت تمام معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها، مقایسه کلی گزینه‌ها نسبت به هدف، انجام و نتیجه مقایسه به‌صورت نمودار ظاهر می‌گردد (Khorshid doost and Adeli, 2009). برای انتخاب الگوی کشت بالقوه محصولات زراعی شهرستان تربت‌جام، از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. در این تحقیق، بهترین الگوی کشت شهرستان، به‌صورت گندم، خربزه، جو، چغندرقند، کلزا، گوجه‌فرنگی، زیره، هندوانه، یونجه و سیب‌زمینی با درصد مساحت مشخص تعیین شد (Mohammadian *et al*., 2009). در تحقیقی به کمک روش AHP، بهترین روش آبیاری از بین چهار روش آبیاری پشته‌ای، شیاری، آبپاشی و آبیاری قطره‌ای تعیین شد. معیارها در انتخاب بهترین سامانه شامل چگالی محصول، شرایط رشد محصول، کیفیت آب، توپوگرافی زمین، میزان حساسیت به بیماری، شیب زمین، نسبت نفوذ آب در خاک و مهارت کارگر و گزینه‌ها شامل روش‌های آبیاری بودند. پس از تشکیل ماتریس‌های زوجی و محاسبه وزن نهایی، به ترتیب سامانه آبیاری قطره‌ای، آبپاشی، شیاری و پشته‌ای، مناسب شناخته شدند (Srdjevic and Jandric, 2010). اولویت‌بندی کشت محصولات استراتژیک زراعی استان البرز با استفاده از روش دلفی فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی تعیین گردید. نتایج به‌دست‌آمده از به‌کارگیری فناوری فوق، اولویت کشت محصولات استراتژیک زراعی استان البرز را به ترتیب گندم، جو، ذرت علوفه‌ای، یونجه، پنبه و کلزا با وزن نهایی ۰/۴۹۶، ۰/۴۰۳، ۰/۳۵۴، ۰/۳۲۰، ۰/۱۸۳ و ۰/۰۹۰ معرفی نمود. در مقایسه معیارهای تصمیم با یکدیگر مشخص گردید که کشاورزان به ترتیب سطح زیر کشت، درآمد خالص، هزینه‌های تولید و نیازهای دامداری را با میزان اهمیت نسبی ۰/۴۸۷، ۰/۰،۳۴۶/۴۱۰ و ۰/۱۸۸ ترجیح می‌دهند. سطح زیر کشت، از بین معیارهای اولویت‌بندی از بالاترین اولویت برخوردار بود. مشکل کمبود آب، هزینه کارگری بالا، فقدان سرمایه کافی و خرید تضمینی گندم توسط دولت، موجب گردیده که بیشترین سطح زیر کشت در استان، مربوط به گندم (۱۴۳۵۰ هکتار) باشد (Sharifi *et al*., 2014).

با توجه به تحقیقات انجام‌شده، در خصوص معرفی سم‌پاش مناسب مزارع گندم تحقیقی صورت نگرفته است، اکثر منابع اشاره به مزایا و معایب روش‌های سم‌پاشی نموده است و به‌صورت مطلق

www.SID.ir

Archive of SID

و در نظر گرفتن تمامی معیارها، روش مناسبی را معرفی ننموده‌اند. روش تحلیل سلسله مراتبی با در نظر گرفتن کلیه معیارها، یکی از روش‌های مفید در معرفی روش مناسب سم‌پاشی است. از طرفی این تحقیقات بر روی موضوعات دیگر بوده است و بر روی روش‌های سم‌پاشی و معرفی روش مناسب تحقیقی انجام‌نشده است. در این تحقیق، با توجه به بررسی میدانی انجام‌شده از شرایط کاری سم‌پاش‌های رایج به‌منظور مبارزه با علف‌های هرز و آفات گندم و نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق، فرم‌های ارزیابی تهیه و با درنظرگرفتن معیارهای مهم ارزیابی شامل اثربخشی، ظرفیت، باد بردگی، انرژی مصرفی، هزینه‌های عملیات، یکنواختی پاشش، مصرف محلول سم و گزینه‌های سم‌پاشی شامل سم‌پاش‌های میکرونر، توربولاینر، لانس دار، بوم‌دار و اتومایزر، فرم‌های مربوطه تکمیل و با روش تحلیل سلسله مراتبی، مناسب‌ترین معیار و گزینه تعیین گردید.

مواد و روش‌ها

برای ارزیابی سم پاش ها، معیارهای مهم ارزیابی مصرف محلول سم، باد بردگی، ظرفیت مزرعه‌ای، یکنواختی پاشش، درصد لهیدگی محصول، مصرف انرژی، اثربخشی در مبارزه با علف‌های هرز و آفات و هزینه در هکتار است (Srivastava *et al*., 1993). برای تعیین محلول مصرفی در هکتار، میزان بده خروجی نازل ها بر حسب لیتر بر دقیقه تعیین شد، در هر یک از سم پاش های مورد بررسی با قرار دادن ظرفی در زیر هر نازل و ثبت میزان محلول خروجی در زمان معین، بده خروجی هریک از آنها تعیین شد. در سمپاش های بوم دار، متوسط بده خروجی هر نازل و مجموع بده خروجی سم پاش منظور شد. با داشتن بده خروجی بر حسب لیتر بر دقیقه و ظرفیت موثر مزرعه ای (هکتار بر ساعت) میزان محلول مصرفی در هکتار (لیتر بر هکتار) محاسبه گردید. برای تعیین میزان باد بردگی، قبل از عملیات سمپاشی در مناطق اطراف مزرعه، تعداد ۲۰ عدد کارت حساس به فواصل ۳۰ متر به موازات جهت حرکت سمپاش ها و به فاصله ۱۰ متر از مرز جدا کننده مزرعه با مزرعه هم جوار قرار داده شد. پس از عملیات این کارت ها جمع آوری و درصد کارت هائی که در معرض قطرات سم قرار گرفته بودند تعیین شد. زمان لازم برای سم پاشی یک هکتار تعیین و با داشتن این عامل، ظرفیت موثر مزرعه ای با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید:

$$T = \frac{1}{Ca} \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

Ca = ظرفیت موثر ($ha.h^{-1}$)

T = زمان لازم برای سم پاشی یک هکتار (h)

برای تعیین یکنواختی پاشش، اندازه قطرات با استفاده از کارت های حساس اندازه گیری شد. قبل از سمپاشی به فواصل یک متر (عرضی) کارت های حساس که ابعاد آنها ۳×۷ سانتی‌متراست در مسیر حرکت سمپاش ها قرار داده شد. این کارت ها که شبیه کاغذ تورنسل بوده وبا برخورد قطرات سم تغییر رنگ می دهند به منظور تعیین قطرتقریبی و تعداد قطرات در یک سانتیمتر مربع مورد استفاده قرار گرفتند. از روش بزرگنمائی برای تعیین تعداد و قطر قطرات استفاده شد سپس اندازه قطرات گروه بندی شدند و میانه آنها در نظر گرفته شد. با تشکیل جدول فراوانی وتعیین قطر قطراتی که در ۵۰ درصد فراوانی قرار داشتند و استفاده از معادله ۲، قطر متوسط حجمی و میانه قطرات محلول سم و ضریب کیفیت سم‌پاشی (نسبت قطر متوسط حجمی به عددی) و تشکیل جدول فراوانی محاسبه‌شده و درنهایت یکنواختی پاشش تعیین شد (Srivastava *et al*., 1993).

$$D^{p-q}{}_{pq} = \left(\frac{\sum N_i.D_i^{\,p}}{\sum N_i.D_i^{\,q}}\right)^{1/(p-q)} \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

p = می‌تواند مقادیر ۱،۲،۳ و ۴ باشد (p > q)، q= می‌تواند مقادیر ۱،۲،۰ و ۳ باشد، D_i= قطر قطره برای گروه i، N_i = تعداد قطره در گروه i، n= تعداد گروه، D_{30}= قطر متوسط حجمی (VMD)، D_{10}= قطر متوسط عددی (NMD)

در طول ۲۰ متر میزان مساحت رد چرخ‌های جلو و عقب تعیین شد (در سم‌پاش‌های بوم دار تراکتوری) سپس با داشتن مساحت سم‌پاشی شده میزان درصد لهیدگی محاسبه گردید. در سایر سم‌پاش‌ها که توسط کاربر جابجا می‌شدند در طول ۲۰ متر و با در نظر گرفتن عرض کار سم‌پاش و میزان مساحت رد پای کاربر درصد لهیدگی محصول تعیین شد (Safari *et al*., 2009). با توجه به توان اسمی و ظرفیت مزرعه‌ای سم پاش ها، میزان انرژی مصرفی در هکتار در مرحله دوم محاسبه شد. برای محاسبه اثربخشی از رابطه هندرسون تیلتون، استفاده شد، این روش تابعی از تعداد قطرات شاهد قبل از سم‌پاشی (C_b)، تعداد قطرات شاهد بعد از سم‌پاشی (C_a)، تعداد قطرات تیمار بعد از سم‌پاشی (T_a) و تعداد قطرات تیمار قبل از سم‌پاشی (T_b) است (معادله ۳)، (Heidari *et al*., 2016):

$$\text{اثر بخشی} = \frac{1-(C_b \times T_a)}{(C_a \times T_b)} \times 100 \qquad \text{(رابطه ۳)}$$

در مساحت یک مترمربع و در سه تکرار، تعداد علف‌های هرز و آفات (سن گندم) در قبل و بعد از عملیات، شمارش شد و درصد علف‌های هرز(آفت) از بین رفته تعیین گردید. هزینه‌ها به روش گردش نقدی یکنواخت سالانه و با در نظر گرفتن عمر ۱۰

www.SID.ir

Archive of SID

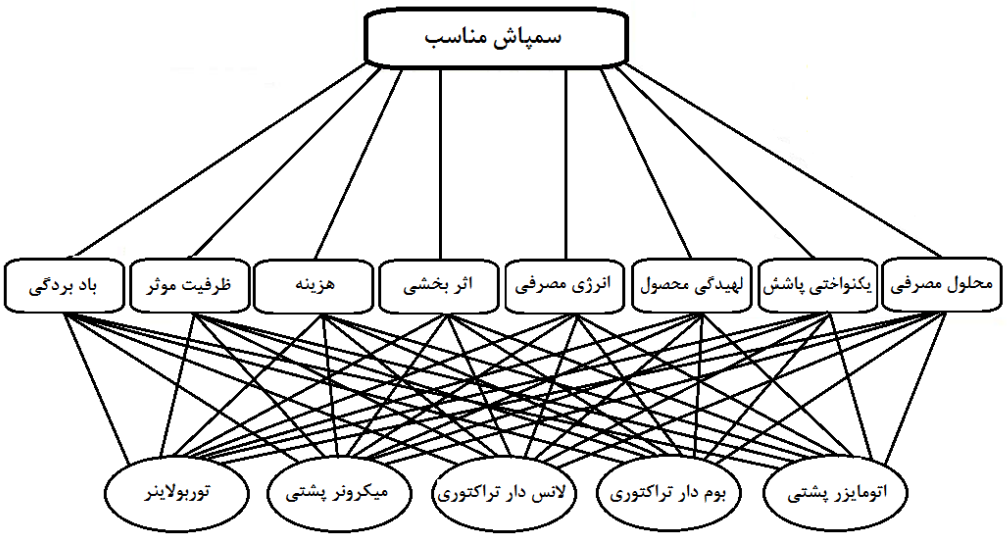
ساله (عمر ادوات و ماشین‌های کشاورزی به‌منظور ارزیابی اقتصادی ۱۰ ساله در نظر گرفته می‌شود)، سود بانکی ۱۵ درصد و داشتن مقادیر قیمت اولیه، قیمت اسقاطی (۱۰ درصد قیمت اولیه) و هزینه نگهداری (۵ درصد قیمت اولیه) محاسبه گردید (Soltani, 2008).

در این تحقیق، به‌منظور تعیین مناسب‌ترین سم‌پاش مورداستفاده توسط کشاورزان از میان سم‌پاش‌های تراکتوری بوم‌دار، لانس دار، توربولاینر، میکرونر پشتی و اتومایزر در مزارع گندم و تعیین مهم‌ترین معیار ارزیابی از بین معیارهای مهم سم پاشی، از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده گردید. تحقیق در دو مرحله انجام‌شد. در مرحله اول، عملکرد سم‌پاش‌ها با در نظر گرفتن معیارها بررسی شد (Srivastava *et al.*, 1993). قالب طرح آزمایشی، کاملاً تصادفی بود که با نمونه‌برداری میدانی در شرایط زارع، ۱۷۹ آزمایش مزرعه‌ای شامل ۴۵ نمونه در هر منطقه (یک منطقه تعداد نمونه‌ها ۴۴ نمونه بود) در مناطق آذربایجان غربی، البرز، خراسان رضوی و خوزستان، طی سه سال اجرا شد. روش آماری جهت مقایسه میانگین‌ها، آزمون چند دامنه‌ای دانکن بود که به کمک نرم‌افزار SPSS 18 انجام شد. پس از تعیین معیارها، به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین معیار و مناسب‌ترین روش سم‌پاشی، از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. نتایج تحقیق مرحله اول به‌اضافه جدول‌های دوطرفه (مشابه جدول ۴ برای معیار اثربخشی) برای ۱۵ کارشناس خبره ارسال‌شده و پس از تکمیل جدول‌های دوطرفه (جداولی که برای هر معیار، محورهای عمودی و افقی آن شامل روش‌های سم‌پاشی است و با توجه به معیار موردنظر بین یک تا نه امتیاز داده می‌شود)، تجزیه‌وتحلیل به کمک نرم‌افزار Expert choice11 انجام شد.

معیارهای مطرح‌شده می‌تواند کمی و کیفی باشند. اساس این روش تصمیم‌گیری بر مقایسات زوجی استوار است. تصمیم‌گیرنده با فراهم ساختن درخت سلسله‌مراتب تصمیم‌گیری، کار تحلیل را شروع می‌کند. در سطح صفر، هدف تصمیم‌گیری قرار می‌گیرد و در سطح اول، شاخص‌ها (معیارها) و در سطح دوم، گزینه‌ها قرار دارند که ممکن است با توجه به نوع مسئله، تعداد سطوح معیارهای اصلی و فرعی بیشتر باشد.

یکی از فعالیت‌های مهم به‌منظور اولویت‌بندی روش‌ها، تحلیل حساسیت می‌باشد که برای آن، روش‌های متعددی توسط نرم‌افزار پیشنهاد می‌شود. این تحلیل، حساسیت نتایج تجزیه‌وتحلیل را نسبت به تغییر در مقادیر اولویت معیارها و زیر معیارها نشان می‌دهد. در نرم‌افزار، پنج نوع تجزیه‌وتحلیل حساسیت شامل دینامیک، کارایی، گرادیان، سربه‌سر و دوبعدی پیشنهاد می‌شود که در این تحقیق، از نوع کارایی استفاده گردید. این روش نشان می‌دهد که در بین پارامترها، کدام گزینه‌ها از اهمیت بیشتری برخوردارند. مجموع اولویت‌ها با لحاظ نمودن وزن هر پارامتر به نتیجه‌گیری نهائی منتهی می‌شود.

در این تحقیق روش‌های سم‌پاشی و معیارها، به‌صورت جدول‌های زوجی باهم مقایسه و وزن‌های مربوطه تعیین گردید. سطح اول (هدف)، سم‌پاش مناسب، در سطح دوم، معیارهای اصلی (شاخص‌ها)، شامل باد بردگی، یکنواختی پاشش، اثربخشی، ظرفیت مؤثر، توان اسمی، درصد لهیدگی، هزینه‌های خرید سم‌پاش‌ها و مصرف محلول سم در هکتار قرار داشتند و گزینه‌ها (روش‌های سم‌پاشی)، در سطح سوم قرار گرفتند (شکل ۱).



شکل ۱- ساختار سلسله مراتبی تعیین مناسب‌ترین سم‌پاش رایج مزارع گندم

www.SID.ir

Archive of SID

مطابق جدول ۱، امتیازها بین یک تا نه بودند که بر اساس اصول تحلیل سلسله مراتبی و با نظر کارشناسان خبره تعیین گردیدند (Sharifi *et al.*, 2014). پس از تجزیه‌وتحلیل داده‌ها به کمک نرم‌افزار، وزن هریک از روش‌های سم‌پاشی و معیارها تعیین شد. درنهایت، درصد ناسازگاری وزن‌های به‌دست‌آمده و همچنین تجزیه‌وتحلیل حساسیت به روش عملکرد، انجام شد.

جدول ۱ – مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی

مقدار	ترجیحات
۹	کاملاً مرجح یا مطلوب‌تر
۷	ترجیح با مطلوبیت خیلی قوی یا سودمند
۵	ترجیح یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مرجح
۱	ترجیح با مطلوبیت یکسان
۲،۴،۶،۸	ترجیحات بین فواصل

نتایج و بحث

در آزمایش اول این تحقیق، به‌منظور بررسی مزرعه‌ای و تعیین وضعیت کاری و عملکردی سم‌پاش‌های رایج مورداستفاده توسط کشاورزان از سم‌پاش‌های تراکتوری بوم دار، لانس دار، توربولاینر و میکرونر پشتی در مزارع گندم در قالب طرح کاملاً تصادفی و به‌صورت خوشه‌ای در مناطق آذربایجان غربی، کرج، خراسان و خوزستان طی سه سال نمونه‌برداری (۱۷۹ نمونه) به عمل آمد و توسط آزمون چند دامنه دانکن، میانگین‌ها مقایسه شد (جدول ۲). مطابق نتایج آزمایش اول، روش‌های سم‌پاشی ازنظر باد بردگی، دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ بودند. ازنظر بالا بودن درصد باد بردگی، سم‌پاش توربولاینر، بیشترین و نوع بوم‌دار، دارای کمترین مقدار باد بردگی بود (جدول ۲). سم‌پاش توربولاینر علیرغم ظرفیت مزرعه‌ای بالا، دارای حداکثر باد بردگی بود و بالغبر نیمی از قطرات محلول سم به هدف نمی‌رسید. یکی از دلایل اصلی این مشکل، سم‌پاشی در ارتفاع است. در سم‌پاش میکرونر به دلیل کوچک بودن قطر قطرات، میزان باد بردگی در رده بعدی قرار گرفت و در سم‌پاش بوم‌دار به دلیل درشتی قطرات سم و فاصله کم پاشش، میزان باد بردگی کمتر از سایر روش‌ها بود. تحقیقات نشان داده است چنانچه سم‌پاش میکرونر به سامانه هوا کمک مجهز گردد، به نحو مؤثری از باد بردگی محلول سم جلوگیری می‌شود (Safari, & Kafashan., 2005). از کل نمونه‌ها، بالغبر ۵۲٪ آن مربوط به مبارزه با علف‌های هرز و مابقی جهت مبارزه با آفت سن بوده است. در بین روش‌ها، بیشترین اثربخشی مربوط به سم‌پاش‌های میکرونر و بوم‌دار تراکتوری بود. بیشترین میزان مصرف محلول سم مربوط به سم‌پاش لانس‌دارو کمترین مربوط به سم‌پاش میکرونر بود. بیشترین ظرفیت مزرعه‌ای مربوط به سم‌پاش توربولاینر و کمترین مربوط به میکرونر بود.

جدول ۲- مقایسه میانگین عملکرد سم‌پاش‌ها *

معیار	روش سم‌پاشی				
	بوم‌دار تراکتوری	میکرونرپشتی	لانس‌دارتراکتوری	توربولاینر	اتومایزر پشتی
مصرف سم ($L .ha^{-1}$)	۳۷۱/۱۶^{b}	۳۵/۴^{d}	۸۵۴/۲^{a}	۲۴۰/۵۱^{c}	۱۹۲/۰۱^{c}
اثربخشی (٪)	۹۵^{a}	۸۷^{a}	۴۸^{d}	۶۵^{b}	۷۳^{b}
ظرفیت مؤثر($ha.h^{-1}$)	۳/۵۸^{b}	۱/۰۹^{c}	۰/۷۱۹^{c}	۷/۱۱^{a}	۰/۷۵۱^{c}
انرژی مصرفی ($kWh.ha^{-1}$)	۱/۱۱^{c}	۰/۰۶^{d}	۶/۴۶^{a}	۵/۱۳^{b}	۱/۱۶^{c}
باد بردگی (٪)	۱/۷۳^{d}	۳۶/۴^{b}	۱۴/۰۹^{c}	۴۶/۳۳^{a}	۱۸/۶۶^{c}
هزینه (میلیون ریال در سال)	۸/۷۹^{a}	۱/۴۷^{d}	۶/۸۵^{b}	۷/۴۳^{b}	۲/۴۴^{c}
ضریب یکنواختی پاشش	۴/۳^{c}	۲/۱^{a}	۵/۱^{d}	۳/۵۷^{b}	۳/۹^{b}
لهیدگی (٪)	۱۰/۳^{a}	۳/۱^{c}	۱/۶^{b}	.^{d}	۳^{c}

* در هر ستون تفاوت ارقام دارای حروف مشابه معنی‌دار نیستند (P<٪۱).

سم‌پاش‌های لانس دار، علیرغم مشکلات عدیده‌ای که دارند بین زارعین رواج پیداکرده‌اند. شاید یکی از دلایل اصلی آن، راحتی کار و پائین بودن درصد لهیدگی در مقایسه با سم‌پاش‌های بوم‌دار است. در سال‌های اخیر که سم‌پاش‌های توربولاینر وارد عرصه تولیدشده‌اند. با توجه به ظرفیت بالا و عدم نیاز به تنظیم‌های پی‌درپی از سوی کاربران، در بین زارعین پذیرش قابل‌قبولی پیداکرده‌اند. این در حالی است که این سم‌پاش‌ها دارای باد بردگی بالا و عدم یکنواختی پاشش می‌باشند.

جدول ۳، ماتریس دوبه‌دوی معیارهای ارزیابی را نشان می‌دهد. این جدول، خروجی نظرات کارشناسان خبره است که

www.SID.ir

Archive of SID

مدنظر قرارگرفته است. جدول ۴ ماتریس دوبه‌دوی روش‌های سم‌پاشی را با در نظر گرفتن معیار اثربخشی (به‌عنوان نمونه) نشان می‌دهد. برای سایر معیارهای هزینه، باد بردگی، ظرفیت، انرژی مصرفی، یکنواختی پاشش، درصد لهیدگی و مصرف سم از همین روش و تشکیل جدول‌های مربوطه استفاده‌شده است. این مقادیر، میانگین نظرات ۱۵ کارشناس است. مطابق جدول ۱، برای ترجیحات مختلف، امتیازات بین ۹-۱ است. برای کارشناسان خبره به موضوع، جداول ۱ و ۲ ارسال گردید تا به هریک از روش‌ها، امتیاز دهند.

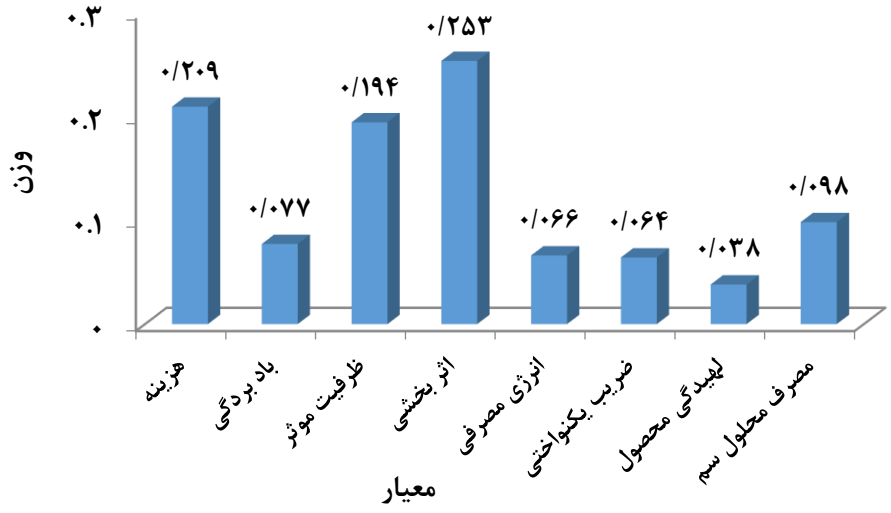
با توجه به شکل ۲، معیار اثربخشی با وزن ۰/۲۵۳ دارای بیشترین وزن و لهیدگی محصول با وزن ۰/۰۳۸، دارای کمترین وزن است. این نمودار نشان می‌دهد که ترتیب اهمیت معیارها برای عملیات سم‌پاشی به ترتیب اثربخشی، هزینه، ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای، مصرف محلول سم، باد بردگی، انرژی مصرفی، یکنواختی پاشش و صدمه رسیدن به محصول است. از طرفی درجه ناسازگاری ۰/۰۹ کمتر از ۰/۱ است و نشان می‌دهد که بین نتایج، سازگاری مناسبی برقرار است.

جدول ۳- ماتریس دوبه‌دو مقایسه معیارهای سم‌پاشی

معیار	هزینه (میلیون ریال در سال)	باد بردگی (٪)	ظرفیت مؤثر ($ha.h^{-1}$)	اثربخشی (٪)	انرژی مصرفی ($kWh.ha^{-1}$)	ضریب یکنواختی پاشش	لهیدگی محصول (٪)	مصرف سم ($L.ha^{-1}$)
هزینه (میلیون ریال در سال)	۱	۵	۱	۱	۳	۵	۵	۱
باد بردگی (٪)	۰/۲	۱	۵	۰/۲	۳	۱	۳	۱
ظرفیت مؤثر ($ha.h^{-1}$)	۱	۰/۲	۱	۱	۳	۱	۳	۳
اثربخشی (٪)	۱	۵	۱	۱	۳	۵	۵	۵
انرژی مصرفی ($kWh.ha^{-1}$)	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۴	۱	۱	۳	۱
ضریب یکنواختی پاشش	۰/۲	۱	۱	۰/۲	۱	۱	۱	۰/۳۴
لهیدگی محصول (٪)	۰/۲	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۲	۰/۳۴	۱	۱	۰/۳۴
مصرف سم ($L.ha^{-1}$)	۱	۱	۳	۰/۲	۱	۳	۵	۱

جدول ۴- ماتریس دوبه‌دو روش‌های سم‌پاشی بر اساس معیار اثربخشی

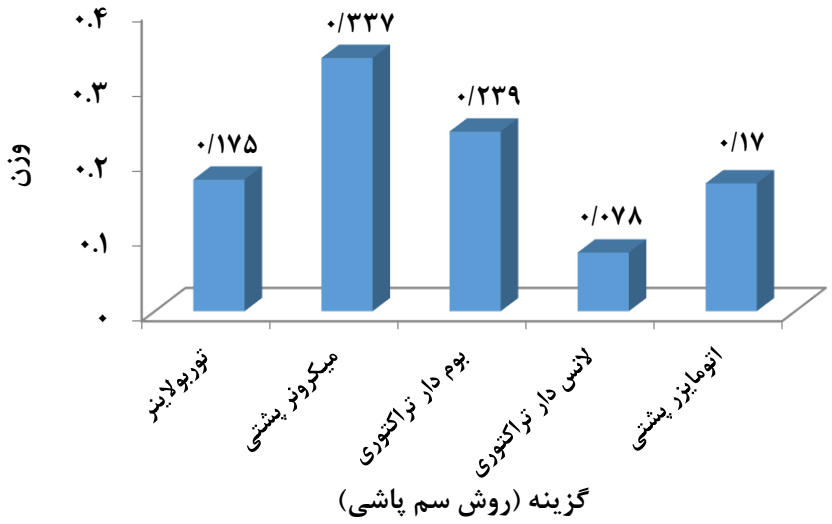
اثربخشی	توربولاینر	میکرونرپشتی	بوم‌دار تراکتوری	لانس دار تراکتوری	اتومایزرپشتی
توربولاینر	۱	۰/۲	۰/۱۴	۳	۰/۳۴
میکرونرپشتی	۵	۱	۱	۵	۵
بوم‌دار تراکتوری	۷	۱	۱	۹	۷
لانس‌دارتراکتوری	۱/۳	۰/۲	۰/۱۲	۱	۰/۲
اتومایزر پشتی	۳	۰/۲	۰/۱۴	۵	۱



شکل ۲- تجزیه‌وتحلیل معیارها و وزن آن‌ها (ضریب ناسازگاری ۰/۰۹)

www.SID.ir

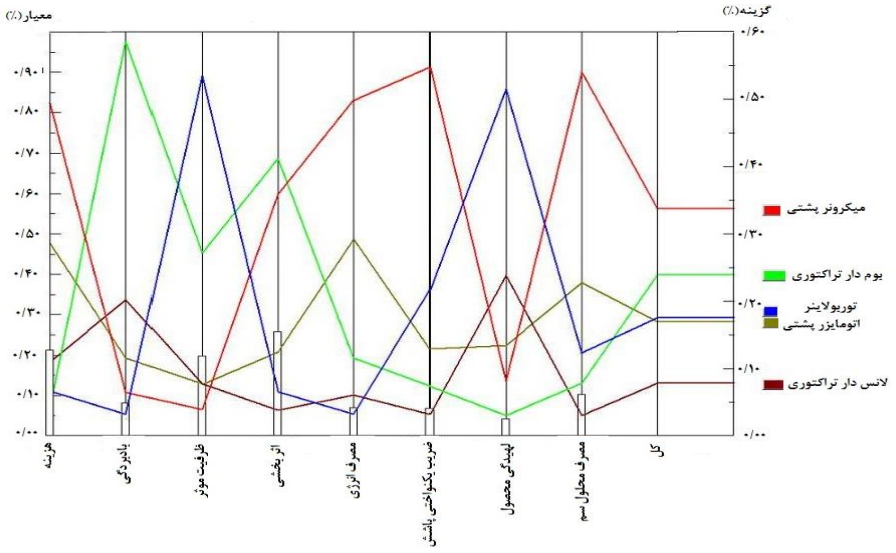
Archive of SID



شکل ۳- نتایج نهائی مقایسات و ناسازگاری کلی (ضریب ۰/۰۸)

شکل ۳، وزن کلی روش‌های مختلف سم‌پاشی را با در نظر گرفتن گزینه‌ها نشان می‌دهد. با توجه به نمودار، گزینه روش سم‌پاشی با سم‌پاش میکرونر، دارای بیشترین وزن (۰/۳۳۷) است. میزان ناسازگاری داده‌ها ۰/۰۸ است که از مقدار ۰/۱ کمتر است. با توجه به وزن گزینه‌ها (روش‌های سم‌پاشی)، اولویت روش‌ها به ترتیب میکرونر پشتی، سم‌پاش بوم‌دار تراکتوری، توربولاینر، اتومایزر پشتی و لانس‌دارتراکتوری است. این ارزیابی نشان می‌دهد که سم‌پاش میکرونر، علیرغم لهیدگی محصول، ظرفیت پائین و باد بردگی بالا، نسبت به سایر روش‌ها، دارای ارجحیت هست. چنانچه این سم‌پاش از نوع پشت تراکتوری مجهز به سامانه هوا کمک باشد، این نقص‌ها نیز برطرف می‌گردد و اختلاف وزنی این روش با سایر روش‌ها بیشتر خواهد شد (Safari & Kafashan., 2005).

مطابق شکل ۴، محور عمودی سمت راست، وزن گزینه‌ها (روش‌های سم‌پاشی) و محور عمودی سمت چپ، وزن معیارها را نشان می‌دهد. وزن کلی سم‌پاش میکرونر نسبت به سایر روش‌ها بیشتر است. معیارهای این سم‌پاش، دارای نوساناتی است که در تعدادی از معیارها، وزن آن پائین و در تعدادی، بالاتر از سایر روش‌هاست و وزن کلی این روش، نسبت به سایر روش‌ها بالاتر است و استفاده از آن قابل توصیه است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که روش‌های سم‌پاشی نسبت به معیار اثربخشی حساس‌تر از سایر معیارهاست و در رتبه‌های بعد به ترتیب هزینه و ظرفیت مزرعه‌ای قرار دارد؛ بنابراین در انتخاب روش سم‌پاشی می‌بایست معیار اثربخش بودن در اولویت قرار گیرد.



شکل ۴- تجزیه‌وتحلیل حساسیت (کارآئی)

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

۱- معیار اثربخشی عملیات با وزن ۰/۲۵۳، از بین سایر معیارها، مهم‌ترین معیار برای انتخاب سم‌پاش است. در رتبه بعد هزینه‌های عملیاتی با وزن ۰/۲۰۹ قرار دارد؛ بنابراین در انتخاب روش مناسب سم‌پاشی، عوامل اثربخشی و هزینه از عوامل تعیین‌کننده هستند که کشاورزان برای خرید یا تهیه سم‌پاش می‌بایست مدنظر قرار دهند.

۲-استفاده از سم‌پاش میکرونر در مقایسه با چهار روش سم‌پاشی توربولاینر، بوم‌دار، اتومایزر و لانس‌داربا در نظر گرفتن هشت معیار اصلی ارزیابی سم‌پاش‌ها (هزینه، باد بردگی، ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای، اثربخشی، انرژی مصرفی، یکنواختی پاشش، لهیدگی محصول و میزان مصرف محلول سم) در مزارع گندم کشور قابل توصیه است. هرچند این سم‌پاش‌ها ازنظر باد بردگی به علت ریز بودن قطرات، دارای مشکل می‌باشند و ظرفیت کاری آن‌ها پائین است، به‌منظور هدایت مؤثر قطرات سم به سمت هدف، این سم‌پاش‌ها می‌بایست به واحدهای دمنده مجهز شوند از طرفی از پشتی آن می‌توان در مرحله‌ای از کشت که امکان تردد تراکتور وجود ندارد استفاده نمود و در مواقعی که امکان تردد تراکتور وجود دارد از نوع پشت تراکتوری به‌منظور بالا بردن ظرفیت مزرعه‌ای بهره جست. در رتبه بعد، سم‌پاش بوم‌دار تراکتوری قرار دارد. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از سم‌پاش لانس‌دار به دلیل بالا بودن محلول مصرفی در هکتار، پائین بودن اثربخشی و آلودگی‌های زیست‌محیطی، بـرای مزارع به‌هیچ‌عنوان قابل توصیه نیست.

۳- معیار لهیدگی محصول، از معیارهای بااهمیت پائین در انتخاب سم‌پاش‌هاست ولی در این خصوص می‌بایست مرحله رشد و هدف سم‌پاشی را مدنظر قرارداد. از طرفی گزینه سم‌پاش لانس‌دار که به‌طور وسیع توسط کشاورزان مورداستفاده قرارگرفته، یکی از ناکارآمدترین روش‌های سم‌پاشی مزارع است.

REFERENCES

Anonymous. (1998). How can we reduce spraying damages, *Zaytoon Paper*, Ministry of Agricultural of Iran, (6), 10-15.

Bertolini, M. and Braglia, M. (2006). Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract, 17, January, *International Journal of Project Management*, (24).

Bowen, W.M. (1993). AHP, Multiple criteria evaluation in spreadsheet models for urban and regional analysis of New Brunswick. *Center for Urban Policy Research*.

Gerami, K. (2005). A study on the three types of sprayers against of wheat weeds in Ardebil Area. *Brench of Science and Research of Azade Eslami University*.Tehran.Iran. (In Farsi).

Ghaemmaghami, A. Khademol-hosaini, N and Lovaimi, N. (2008). Evaluation of four mechanisms in wheat spraying, *The 5th National Conference on Agriculture Machinery Engineering Mechanization*, 27-28 August 2008.Mashhad Iran. (In Farsi).

Hedayatnia, F and Ebrahimi, A. (2014). Provide an optimal pattern for locating green space with method of AHP and Spatial Validation Using Method TOPSIS Study area: District 2 of Tehran city. *National Conference on Civil Engineering and Architecture with Focus on Sustainable Development.* (In Farsi).

Heidari, A. & Asari, M.J. (2016). Evaluation of air pollution efficiency in control of date spread. *Twenty-second of Iranian Plant Protection Congress*, September 9 (In Farsi).

Hosseini, S., Hosseini, A., Lotfalian, M and Parsakhoo, A. (2017). Hierarchical analysis process (AHP) of land capacity for appropriate routing of the jungle with environmental considerations case study:Delacquille series). *Environmental Science and Technology*, Quarterly, 19(4), 115-131. (In Farsi).

Khorshid doost, A and Adeli, Z. (2009). Using of AHP to determine the best place for landfill. *Environmentology*, 35th year, NO: 5 and 6. (In Farsi).

Mohammadian, F., Shahnoushi, N., Ghorbani, M and Aghel, H. (2009). Choosing a potential crop pattern by using AHP analysis model (Case Study: Torbat-e-Jam Plain).*Sustainable Agricultural Science* 19 (1), 171-187. (In Farsi).

RNAM. (1983). Test code and procedure for sprayers. (12), 169-191.

Saaty, T. (1980).The analytical hierarchy process, planning priority, *Resource Allocation Tws Publication*,USA, 287.

Safari, M & Kafashan, J. (2005). Evaluation of the mounted spinning disk sprayer in comparison with the conventional tractor sprayers in order to control sugar beet weeds *Journal of Agricultural Engineering*, 6(24). (In Farsi).

Safari, M., Amirshaghaghi, F., Lovaimi, N and Chaji, H. (2009). Evaluation of common sprayers used in wheat fields. *Journal of Agricultural Engineering*,10(4),1-12.

Sharifi, M., Akram, A., Rafiee, SH and Sabzeh parvar, M. (2014). Prioritization of crop strategic cropping in Alborz province using fuzzy delphi and hierarchical analysis process (AHP). *Journal of Agricultural Machinery*, 4(1), 116-124. (In Farsi).

Sheikh davoodi, J and Harbizadeh, M. (2013). Selecting the suitable combine using the hierarchical analysis process method, *Eighth National*

www.SID.ir

Archive of SID

Congress of Agricultural Machinery (Biosystems) and Mechanization of Iran. (In Farsi).

Soltani, G. R. (2008).Economical engineering. *Publications of Shiraz University*, Second Edition, 77-75. (In Farsi).

Srdjevic, B and Jandric, Z. (2010). Analytic hierarchy process in selecting the best irrigation method. *Agricultural Systems*, 103(6), 350-358.

Srivastava, A.K., Goering, C. E and Rohrbach, R. P. (1993). Engineering principles of agricultural machines.

Zabardast, A. (2001). Applying of AHP to urban planning and local. *Beautiful art Paper*, 10. (In Farsi).

www.SID.ir