Archive of SID

نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی
جلد ۷/ شماره ۲/ پاییز و زمستان ۱۳۹۷ (۶۷-۷۸)

انتخاب مناسب‌ترین نوع گودال‌کن جهت کاربری در باغات با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی

سامان ملاپور[۱]، داود کلانتری[۲*] و مجید رجبی وندچالی[۳]

چکیده

امروزه با پیشرفت علوم مختلف و ورود نرم‌افزارها و سامانه‌های تصمیم‌یار، تصمیم‌گیری در کشاورزی مکانیزه از حالت سعی و خطا خارج شده و به سمت پیش‌بینی آینده‌نگر و هدفمند درآمده است. از این‌رو، در کار تحقیقاتی حاضر، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی به کمک نرم‌افزار EXPERT CHOICE11 برای انتخاب مناسب‌ترین نوع گودال‌کن جهت کاربری در باغات استفاده شده است. در این تحقیق، سه نوع مختلف گودال‌کن رایج، شامل گودال‌کن دستی موتوری (تک نفره یا دو نفره)، گودال‌کن هیدرولیکی و گودال‌کن پشت تراکتوری مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. معیارهای انتخاب، شامل قیمت دستگاه، مانورپذیری در فضای محدود، ارگونومی، سهولت کاربرد و پیشرفت کار بود. این معیارها و نحوهٔ اولویت‌بندی و وزن‌دهی آن‌ها با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و مذاکره با کارشناسان کشاورزی، صاحب‌نظران دانشگاهی، تولیدکنندگان و فروشندگان، در قالب پرسش‌نامه صورت گرفت. نتایج نشان داد که وزن معیارهای قیمت دستگاه، مانورپذیری در فضای محدود، ارگونومی، پیشرفت کار و سهولت کاربرد به‌ترتیب برابر با ۰/۳۶۶، ۰/۲۷۷، ۰/۱۶۸، ۰/۱۲۱ و ۰/۰۶۸ می‌باشند و گودال‌کن دستی با وزن نهایی ۰/۴۰۳ از نظر تمام معیارهای مورد بررسی به‌عنوان مناسب‌ترین گودال‌کن، انتخاب و معرفی شد. نرخ ناسازگاری برابر ۰/۰۵ بود که مقدار قابل قبولی بود و نیازی به تجدیدنظر در قضاوت‌ها نبود.

واژه‌های کلیدی: ارگونومی، تحلیل سلسله‌مراتبی، سامانه‌ی تصمیم‌یار، گودال‌کن، نرخ ناسازگاری.

ارجاع: ملاپور س، کلانتری د، و رجبی وندچالی م، ۱۳۹۷. انتخاب مناسب‌ترین نوع گودال‌کن جهت کاربری در باغات با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی، ۷(۲): ۶۷-۷۸.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۲- دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۳- استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جویبار، مازندران.
*** نویسنده مسئول**: d.kalantari@sanru.ac.ir
تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۰۲

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

گاهی اوقات خاک از نظر موادغذایی موردنیاز گیاه فقیر بوده و ضروری است تا به کمک کودهای شیمیایی و حیوانی، خاک را از نظر موادغذایی به‌صورت غنی درآورد تا عملکرد محصول افزایش یابد (Geisseler & Scow, 2014). در حال حاضر، بهترین روش برای کوددهی درختان، حفر گودال‌هایی در اطراف تنهٔ درختان می‌باشد (Taki *et al.*, 2015). چال‌کود به دو روش دستی (با بیل) و روش استفاده از گودال‌کن انجام می‌شود که به دلایل مختلف، نظیر عدم تخریب فضای سبز، هزینهٔ کارگری نسبتاً کم و سرعت پیشرفت کار استفاده از گودال‌کن بهتر است (Taki *et al.*, 2015). استفاده از گودال‌کن‌های رایج در جهان (دستی موتوری، هیدرولیکی و پشت تراکتوری یا همان اتصال سه نقطه) هر کدام مشکلات و محدودیت‌های کاربری مربوط به خود را داشته و هیچ‌یک عمومیت برای استفاده در تمام شرایط کاری را ندارند. به همین دلیل، انتخاب هر یک از آن‌ها بر اساس شرایط محیطی و کاری موردنیاز کشاورز یا 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؛ به همین جهت، ضرورت وجود یک تکنیک قوی که بتواند مدیران را در این زمینه یاری کند، کاملاً محسوس می‌باشد (Yurdakul, 2004; Brunelli, 2014). در مواردی که تصمیم‌گیری در خصوص پروژه‌ها با اتکا بر معیارهای چندگانه و متکی به تصمیم‌گیری در شرایط نامطمئن باشد، فرایند تصمیم‌گیری به‌علت 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 باشند. با توجه به اینکه شاخص‌های گوناگون و نامتجانس و یا اهداف مختلف در ارزیابی و انتخاب گزینهٔ مناسب در پیش روی یک مدیر است؛ به همین جهت، تصمیم‌گیری درست و مناسب، به طور معمول پیچیده و مشکل می‌شود (Bohanec *et al.*, 2000; Vargas, 2015). از طرف دیگر، محاسبات پیچیده موردنیاز برای روش‌های اقتصادی به‌دلیل تفاوت در نوع و جنس شاخص‌های تصمیم‌گیری، استفاده از روش‌های موجود را برای این نوع تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره 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 (AHP, ANP, SAW, TOPSIS, VIKOR, ELECTERE, ORESTE, PROMETHEE, SIR & GRA) که از قوانین و اصول خاصی پیروی می‌کنند و دارای مزایا و معایب خاص خود هستند. در تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه، انتخاب یک گزینه از بین گزینه‌های موجود مدنظر است (Hakimi Pour & Hozhabr Kiani, 2008; Torabi *et al.*, 2011). یکی از تکنیک‌های قوی که می‌تواند بنگاه‌های تولیدی را در این زمینه یاری کند، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی[1] است (Saaty, 1980). روش تحلیل سلسله‌مراتبی 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 سلسله‌مراتبی، 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, 2006; Rehman & Romero, 1993) و در حل مسائل تصمیم‌گیری در کشاورزی (Khosravi *et al.*, 2011) و تجزیه و تحلیل سیستم‌های کشاورزی پایدار نیز توصیه شده است (Ebraheem, 2012). این روش به‌دلیل توانایی و قابلیت بالا، سادگی و قابل فهم‌بودن و همچنین قابلیت به‌کارگیری هم‌زمان معیارهای کمی و کیفی برای ارزیابی معیارهای مؤثر در فرایند تصمیم‌گیری، روشی مناسب و کاربردی است (Nikmardan, 2012; Lopez & Requena, 2006). یکی از مزایای استفاده از معیارهای کیفی، اندازه‌گیری ویژگی‌هایی است که قابل اندازه‌گیری به‌صورت عددی نمی‌باشند؛ مثل اهمیت برند (Potoc̆nik, 2006). کلیات فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی را می‌توان در طی سه مرحله خلاصه کرد: ساختن سلسله‌مراتبی، محاسبه وزن و سازگاری سیستم (Ghodsipour, 2016). این روش گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان

1- Analytical Hierarchy Process

www.SID.ir

Archive of SID

تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را فراهم می‌آورد. علاوه بر این، بر مبنای مقایسهٔ زوجی بنا شده است؛ به همین جهت، 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). روش مذکور به‌علت ماهیت ساده و در عین حال جامعی که دارد، مورد استقبال مدیران و کاربران مختلف واقع شده و از سوی محققین نیز همواره مورد توجه بوده است (Ghodsipour, 2016). مهم‌ترین مزیت روش تحلیل سلسله‌مراتبی، دارا بودن یک مبنای تئوری قوی بوده که بر اساس اصول بدیهی پایه‌ریزی شده است (Sarkheil &Navid, 2010). تمامی محاسبات، قوانین و مقررات این روش بر چهار اصل استوار است که عبارت‌اند از (Harker & Vargass, 1987; Saaty, 1986):

۱- شرط معکوسی: اگر ترجیح عنصر A بر عنصر B برابر N باشد، ترجیح عنصرB بر A برابر $\frac{1}{N}$ خواهد بود.

۲- همگنی: عنصر A با عنصر B باید همگن و قابل مقایسه باشند. به بیان دیگر، برتری عنصر A بر عنصر B نمی‌تواند بی‌نهایت یا صفر باشد.

۳- وابستگی: هر عنصر سلسله‌مراتبی به عنصر سطح بالاتر خود می‌تواند وابسته باشد و به‌صورت خطی، این وابستگی تا بالاترین سطح می‌تواند ادامه داشته باشد.

۴- انتظارات: هرگاه تغییری در ساختمان سلسله‌مراتبی رخ دهد، پروسهٔ ارزیابی باید مجدداً انجام گیرد.

در سال ۲۰۱۳، سه کمباین نیوهلند تی سی۵۶، جاندیر ۱۱۶۵ و جاندیر ۹۵۵ با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی 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 شدند 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 به‌ترتیب مربوط به تعمیر و نگهداری و قیمت با وزن نسبی ۴۹/۴% و ۲۹/۶% است. تراکتورهای ITM285 و Romania650 با وزن مطلق ۸۳% در اهواز و تراکتور John Deere6150 با وزن مطلق ۸۳% در قائم‌شهر مناسب‌ترین تراکتور انتخاب شدند (Amini & Asoodar, 2016).

در راستای پژوهشی که روش‌های وجین‌کاری علف‌های هرز با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی 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 به‌ترتیب با میانگین نسبت‌های وزنی ۰/۳۴۰، ۰/۲۲۵، 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 است، مسئله ارگونومی است که در درازمدت ممکن است سلامت جسمانی اپراتور را به مخاطره بیندازد. در تحقیق حاضر نیز به این مهم پرداخته شده است.

با توجه به اینکه بهترین روش برای کوددهی درختان، حفر گودال‌هایی در اطراف تنه درختان می‌باشد؛ به همین جهت، با افزایش سطح کشت باغات در استان مازندران در سال‌های اخیر، نیاز مبرم باغداران و زارعان به استفاده از انواع گودال‌کن‌ها افزایش یافته است. روش سنتی حفر گودال که با بیل صورت می‌گیرد، از نظر صرف زمان و هزینه کارگری و مسئله ارگونومی که به‌عنوان یک امر مهم و قابل توجه از نظر سلامت و بهداشت است، توجیه‌پذیر نیست. به همین جهت، ضروری است که روش سنتی حفر گودال با بیل به سرعت جای خود را به گودال‌کن‌ها بدهد. از این‌رو، در تحقیق حاضر و در جهت پیشبرد این اهداف، انتخاب مناسب‌ترین گودال‌کن از بین سه نوع گودال‌کن دستی، گودال‌کن هیدرولیکی و گودال‌کن پشت تراکتوری با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی مورد توجه قرار گرفته است.

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش‌ها

روش جمع‌آوری داده‌ها

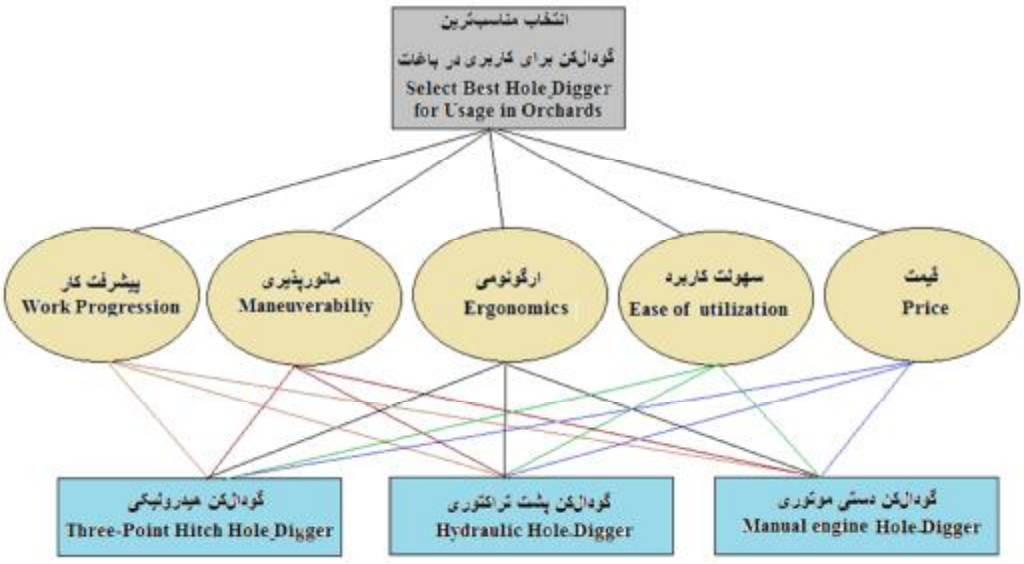
در این تحقیق برای داشتن معیارهایی مناسب جهت انتخاب مناسب‌ترین گودال‌کن از بین سه نوع گودال‌کن دستی، گودال‌کن هیدرولیکی و گودال‌کن پشت تراکتوری (شکل ۱) جهت کاربری در باغات از مطالعات کتابخانه‌ای و مذاکره با کارشناسان کشاورزی، صاحب‌نظران دانشگاه، تولیدکنندگان و فروشندگان در قالب پرسش‌نامه به‌ترتیب با تعداد ۱۲، ۹، ۱۰و ۹ نفر استفاده شد. تعداد ۴۰ پرسش‌نامه برای جمع‌آوری اطلاعات مورد استفاده قرار گرفت که برای تکمیل پرسش‌نامه‌ها، از افراد در دسترس در گروه‌های ذکرشده به‌صورت تصادفی استفاده شد. معیارهای انتخاب، شامل قیمت دستگاه، مانورپذیری در فضای محدود، ارگونومی، سهولت کاربرد و پیشرفت کار بود

c b a

شکل ۱- (a) گودال‌کن دستی موتوری، (b) گودال‌کن پشت تراکتوری و (c) گودال‌کن هیدرولیکی

ساختار سلسله‌مراتبی

اولین قدم در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، ایجاد یک نمایش گرافیکی از مسئله می‌باشد که در آن هدف، معیارها و گزینه‌ها مشخص شده باشند. شکل ۲، سلسله مراتب انتخاب مناسب‌ترین گودال‌کن را نشان می‌دهد. سطح یک در سلسله‌مراتب، هدف را نشان می‌دهد که انتخاب مناسب‌ترین گودال‌کن در باغات است و در سطح دوم، معیارها و در سطح آخر، گزینه‌های انتخاب که گودال‌کن دستی موتوری (تک نفره یا دو نفره)، گودال‌کن هیدرولیکی و گودال‌کن پشت تراکتوری (اتصال سه نقطه) است، قرار دارند.



شکل ۲- ساختار سلسله‌مراتبی انتخاب مناسب‌ترین گودال‌کن

www.SID.ir

Archive of SID

محاسبه وزن

در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوط به خود در سطح بالاتر به‌صورت 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 مقایسهٔ 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, 2008). در نهایت، ماتریس مقایسه زوجی به‌صورت معادله (۱) تشکیل می‌شود که در آن a_{ij}، ترجیح عنصر iام نسبت به عنصر jام است. حال با مشخص بودن a_{ij} ها وزن عناصر، یعنی w_i ها به‌دست می‌آید.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ : & : & : & : \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \qquad (۱)$$
$$A = [a_{ij}] \qquad i,j = 1,2,\dots,n$$

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

ترجیحات (قضاوت شفاهی)	مقدار عددی
کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر و یا کاملاً مطلوب‌تر	۹
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی	۷
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی	۵
کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر	۳
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان	۱
ترجیحات بین فواصل فوق	۸ ،۶ ،۴ ،۲

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 از روش حداقل مربعات استفاده شد. هر ماتریس مقایسه زوجی ممکن است سازگار و یا ناسازگار باشد. به‌عنوان مثال، اگر A دو برابر B اهمیت داشته باشد و B سه برابر C مهم باشد، چنانچه A شش 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 تشکیل‌شده سازگار گردد. در روش حداقل مربعات، w_i و w_j به گونه‌ای محاسبه می‌شوند که مجموع مربعات اختلافات w_i ، w_j و a_{ij} حداقل گردد. به‌عبارت دیگر، سعی بر این است که wi و wj 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 معادله (۲) استفاده شد (Sharifi *et al.*, 2014).

$$Min\ Z = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}(a_{ij}w_j - w_i)^2 \qquad (۲)$$
$$st: \sum_{i=1}^{n} w_i = 1$$

برای حل معادله (۲)، معادله لاگرانژ آن به‌صورت معادله (۳) در نظر گرفته شد که مشتق آن به‌صورت معادله (۴) است.

$$L = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}(a_{ij}w_j - w_i)^2 + 2\lambda\left(\sum_{i=1}^{n} w_i - 1\right) \qquad (۳)$$

$$\sum_{i=1}^{n}(a_{il}w_l - w_i)a_{il} - \sum_{j=1}^{n}(a_{lj}w_j - w_l) + \lambda = 0 \qquad (۴)$$
$$l = 1,2,\dots,n$$

از معادلات (۲) تا (۴) به تعداد n+1 معادله خطی ناهمگن و n+1 مجهول به‌دست می‌آید که با حل آن‌ها، به وزن‌های مورد انتظار دست خواهیم یافت. بعد از به‌دست آوردن وزن نسبی، وزن نهایی هر گزینه در یک فرایند سلسله‌مراتبی از مجموع حاصل‌ضرب اهمیت معیارها در وزن گزینه‌ها به‌دست می‌آید.

در مقایسه معیار i با معیار j، اگر اهمیت هر دو معیار یکسان بود، ضریب هر دو معیار برابر با یک خواهد شد. اگر

www.SID.ir

Archive of SID

معیار سمت راست مهم‌تر بود، به همان اندازه که با اهمیت‌تر است، عدد سمت راست مطابق جدول ۲ انتخاب می‌گردد. 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 گزینه‌ها امتیازدهی شود.

جدول ۲- جدول فرضی امتیازدهی

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

سازگاری سیستم

یکی از مزایای فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، کنترل سازگاری تصمیم است. به‌عبارت دیگر، همواره در این فرایند می‌توان میزان ناسازگاری تصمیم را محاسبه کرد و نسبت به خوب یا بد بودن و یا قابل قبول و مردود بودن آن قضاوت کرد. در حالت کلی، می‌توان گفت که میزان قابل قبول نرخ ناسازگاری[1] یک ماتریس یا سیستم بستگی به تصمیم‌گیرنده دارد؛ اما ساعتی، عدد ۰/۱ را به‌عنوان حد قابل قبول ارائه می‌نماید و معتقد است چنانچه میزان ناسازگاری بیشتر از ۰/۱ باشد، بهتر است در قضاوت‌ها تجدید نظر گردد (Saaty, 1980). برای محاسبه نرخ ناسازگاری ابتدا از معادله (۵) استفاده می‌کنیم (Ghodsipour, 2016):

$$A.w = \lambda_{max}.w \qquad (۵)$$

که در آن A، ماتریس مقایسه زوجی $n\times n$، و W، بردار وزن؛ و λ_{max}، بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس می‌باشد.

حال با تقسیم مقادیر به‌دست آمده برای $W.\lambda_{max}$ بر W مربوطه، تخمین‌هایی از λ_{max} را محاسبه می‌کنیم و مقدار متوسط آن‌ها را می‌یابیم و از معادله (۶) برای به‌دست آوردن مقدار شاخص ناسازگاری[2] استفاده می‌کنیم (Ghodsipour, 2016):

$$I.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \qquad (۶)$$

که در آن $I.I.$، مقدار شاخص ناسازگاری و n، تعداد سطر یا ستون ماتریس مقایسه زوجی می‌باشد.

در نهایت، نرخ ناسازگاری ماتریس با استفاده از معادله (۷) و جدول ۳ به‌دست می‌آید (Ghodsipour, 2016):

$$I.R. = \frac{I.I.}{I.I.R.} \qquad (۷)$$

که در آن $I.R.$، نرخ ناسازگاری و $I.I.R.$، شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی می‌باشد.

برای محاسبه شاخص ناسازگاری ماتریس‌های تصادفی از جدول ۳ استفاده گردید.

برای محاسبه نرخ ناسازگاری کل سیستم یا همان سلسله‌مراتبی، شاخص ناسازگاری هر ماتریس را در وزن عنصر مربوطه‌اش (یعنی عنصری که ماتریس در مقایسه با آن ساخته شده است) ضرب نموده و حاصل جمع آن‌ها را به دست آورده که $\overline{I.I.}$ نامیده می‌شود. همچنین، وزن عناصر را در $I.I.R.$ ماتریس‌های مربوطه ضرب کرده، مجموع‌شان را $\overline{I.I.R.}$ نام‌گذاری می‌کنید و نرخ ناسازگاری سلسله‌مراتبی از حاصل تقسیم $\overline{I.I.R.}$ / $\overline{I.I.}$ به‌دست می‌آید (Ghodsipour, 2016).

برای انجام فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی با توجه به عوامل مورد بررسی از نرم‌افزار EXPERT CHOICE11 که توانایی طراحی سلسله‌مراتبی تصمیم‌گیری، طراحی پرسش‌های تعیین ترجیحات و اولویت‌ها، محاسبهٔ وزن نهایی، قابلیت تحلیل حساسیت تصمیم‌گیری نسبت به تغییرات در مؤلفه‌های مسئله و ایجاد نمودار سر به سر[3] 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 کلیهٔ معیارها نمایش می‌دهد. گزینهٔ سمت چپ این نمودار همیشه ثابت بوده و گزینه سمت راست نمودار می‌تواند تغییر کند (Ghodsipour, 2016).

1- Inconsistency Ratio (I.R.)
2- Inconsistency Index (I.I.)
3- Head to head

www.SID.ir

Archive of SID

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

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

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 نظرهای خبرگان حاصل از پرسش‌نامه‌ها می‌باشند.

جدول ۴- ماتریس مقایسه زوجی معیارها

	قیمت دستگاه	سهولت کاربرد	ارگونومی	پیشرفت کار	مانورپذیری در فضای محدود
قیمت دستگاه	۱	۴	۲	۳	۲
سهولت کاربرد	۱/۴	۱	۱/۲	۱/۳	۱/۴
ارگونومی	۱/۲	۲	۱	۲	۱/۲
پیشرفت کار	۱/۳	۳	۱/۲	۱	۱/۳
مانورپذیری در فضای محدود	۱/۲	۴	۲	۳	۱

جدول ۵- ماتریس مقایسه زوجی برای انواع گودال‌کن‌ها بر اساس قیمت

قیمت دستگاه	گودال‌کن دستی	گودال‌کن هیدرولیکی	گودال‌کن پشت تراکتوری
گودال‌کن دستی	۱	۱/۳	۱/۷
گودال‌کن هیدرولیکی	۳	۱	۱/۶
گودال‌کن پشت تراکتوری	۷	۶	۱

جدول ۶- ماتریس مقایسه زوجی برای انواع گودال‌کن‌ها بر اساس سهولت کاربرد

سهولت کاربرد	گودال‌کن دستی	گودال‌کن هیدرولیکی	گودال‌کن پشت تراکتوری
گودال‌کن دستی	۱	۱/۴	۱/۹
گودال‌کن هیدرولیکی	۴	۱	۱/۸
گودال‌کن پشت تراکتوری	۹	۸	۱

جدول ۷- ماتریس مقایسه زوجی برای انواع گودال‌کن‌ها بر اساس ارگونومی

ارگونومی	گودال‌کن دستی	گودال‌کن هیدرولیکی	گودال‌کن پشت تراکتوری
گودال‌کن دستی	۱	۱/۶	۱/۹
گودال‌کن هیدرولیکی	۶	۱	۱/۴
گودال‌کن پشت تراکتوری	۹	۴	۱

جدول ۸- ماتریس مقایسه زوجی برای انواع گودال‌کن‌ها بر اساس پیشرفت کار

پیشرفت کار	گودال‌کن دستی	گودال‌کن هیدرولیکی	گودال‌کن پشت تراکتوری
گودال‌کن دستی	۱	۱/۵	۱/۶
گودال‌کن هیدرولیکی	۵	۱	۱/۲
گودال‌کن پشت تراکتوری	۶	۲	۱

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۹- ماتریس مقایسه زوجی برای انواع گودال‌کن‌ها بر اساس مانورپذیری در فضای محدود

مانورپذیری	گودال‌کن دستی	گودال‌کن هیدرولیکی	گودال‌کن پشت تراکتوری
گودال‌کن دستی	۱	۱	۹
گودال‌کن هیدرولیکی	۱	۱	۸
گودال‌کن پشت تراکتوری	۱/۹	۱/۸	۱

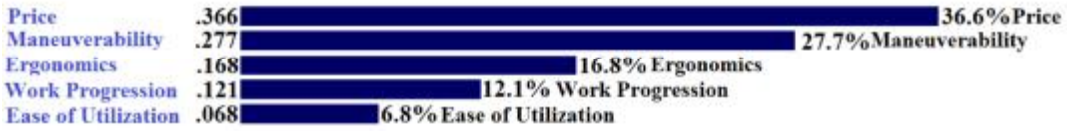
شکل ۳، مقایسه وزن معیارهای تصمیم‌گیری را با توجه به نظرهای جمع‌آوری‌شده نشان می‌دهد. با توجه به نمودار، میزان اهمیت معیارهای قیمت دستگاه، مانورپذیری در فضای محدود، ایمن بودن در درازمدت، پیشرفت کار و سهولت کاربرد به‌ترتیب برابر با ۰/۳۶۶، ۰/۲۷۷، ۰/۱۶۸، ۱۲۱، ۰/۰۶۸ به‌دست آمد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، معیار قیمت با وزن ۰/۳۶۶ بیشترین اولویت و سهولت کاربرد با وزن ۰/۰۶۸ کمترین اولویت را دارند که حکایت از اهمیت عامل قیمت و عدم توجه به سهولت کاربرد در نظر کارشناسان و باغداران دارد. با توجه به این یافته‌ها، می‌توان بیان کرد که کم‌بودن درآمد کشاورزان و نیز زیادبودن هزینه خرید ادوات کشاورزی منجر به افزایش وزن معیار قیمت و از طرفی، کاهش وسعت باغات در طول زمان منجر به عدم توجه به سهولت کاربرد گودال‌کن‌ها شده است. از این‌رو، این اولویت‌بندی در اهمیت معیارها، حاکی از این است که معیار هزینه و قیمت از اهمیت بسزایی در بین مصرف‌کنندگان برخوردار است و باید توسط مهندسان امر در طراحی و نیز توسط تولیدکنندگان صنعتی در عرضهٔ محصول، مورد توجه قرار گیرد تا قابل رقابت با نمونه‌های خارجی باشد. در پژوهشی دیگر نیز که برای انتخاب مناسب‌ترین پمپ هیدرولیک صورت پذیرفت، معیار قیمت با وزن ۰/۱۳۷ مهم‌ترین عامل از بین عوامل مورد بررسی بود (Rezapour-Sarabi *et al.*, 1394). معیار مانورپذیری در فضای محدود با وزن ۰/۲۷۷ بعد از معیار قیمت مهم‌ترین عامل از عوامل فوق با توجه به گزارش‌ها و بررسی‌های به‌دست آمده، در نظر گرفته شد. بنابراین، می‌توان بیان کرد که باغات کوچک و متراکم با درختان انبوه و فاصله کم بین درختان، معیار مانورپذیری را در رتبه دوم و بالاتر از معیار ارگونومی قرار داده است. همچنین در این تحقیق، پیشرفت کار با اهمیت نسبی ۰/۱۲۱ جزء کم اهمیت‌ترین عوامل می‌باشد. قابل توجه اینکه میزان اهمیت مؤلفه‌ها بستگی به نوع تجهیزات مورد استفاده و ادوات نیز دارد. به طور نمونه، در تحقیق انجام‌شده توسط هربیزاده و شیخ داودی (۲۰۱۳) قابلیت اطمینان و خدمات پس از فروش در انتخاب مناسب‌ترین کمباین در سال ۲۰۱۳ به‌ترتیب با وزن ۰/۰۲۵ و ۰/۰۲۳ کمترین اهمیت را در بین عوامل تصمیم‌گیری به خود اختصاص دادند (Harbizadeh & Sheikhdavoodi, 2013). در پژوهش دیگری که برای شناخت بهترین روش تولید برنج از بین روش‌های سنتی، نیمه‌مکانیزه و مکانیزه در استان گیلان انجام شد، مشخص گردید که معیار ارگونومی با وزن ۰/۳۹۸ بالاترین اهمیت را در بین معیارهای دیگر کسب کرده است (Monajem *et al.*, 2013).

با توجه به شکل ۴ که نمودار سر به سر بین گودال‌کن دستی و هیدرولیکی را نشان می‌دهد، گودال‌کن دستی به‌دلیل قیمت کمتر، رتبهٔ بالاتری را نسبت به گودال‌کن هیدرولیکی کسب کرده است.

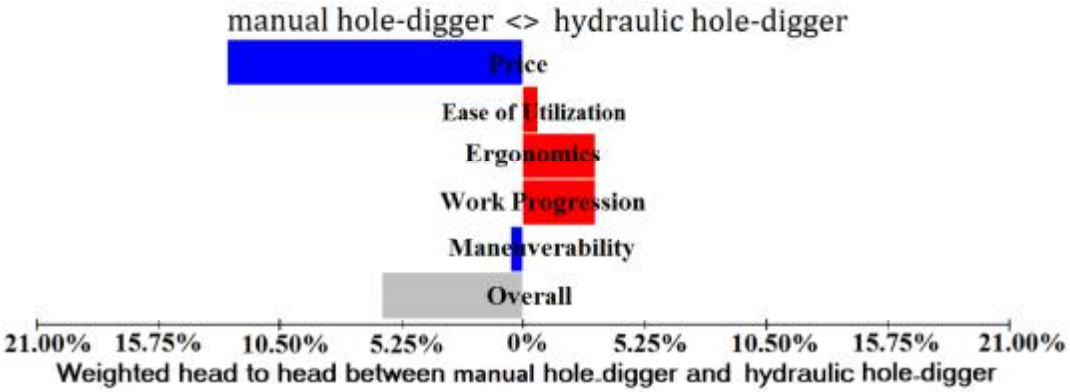
همچنین، با توجه به شکل ۵ که نمودار سر به سر بین گودال‌کن دستی و پشت تراکتوری را نشان می‌دهد، گودال‌کن دستی نه تنها به‌دلیل قیمت کمتر بلکه به خاطر مانورپذیری بیشتر در باغات بر گودال‌کن پشت تراکتوری برتری دارد. این بدان معناست که مکانیزاسیون کشاورزی و به دنبال آن، رویکرد کشاورزی دقیق به شدت تحت تأثیر معیار هزینه می‌باشد. بنابراین، برای پیشرفت در این امر، نیاز به اجرای سیاست‌های حمایت‌گرانه از طرف دولت و رویکرد کاهش بار مالی بر روی مصرف‌کننده می‌باشد تا با استقبال کشاورزان و تولیدکنندگان کشاورزی از دستگاه‌ها و تجهیزات مکانیزه روبه‌رو شوند.

www.SID.ir

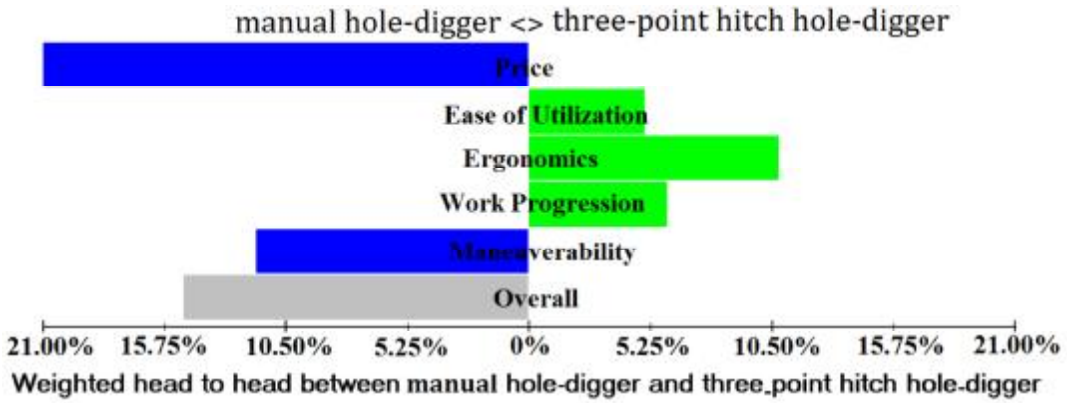
Archive of SID



شکل ۳- وزن نسبی معیارهای تصمیم



شکل ۴- نمودار سر به سر بین گودال‌کن دستی و هیدرولیکی

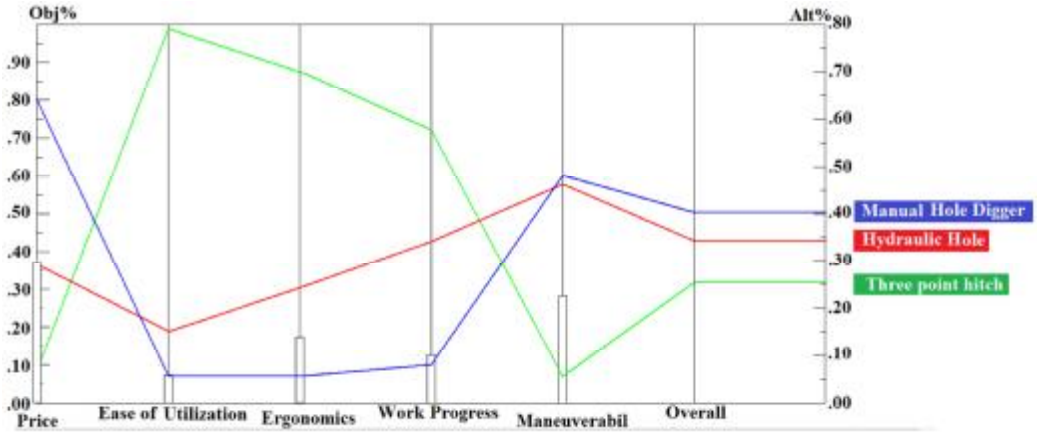


شکل ۵- نمودار سر به سر بین گودال‌کن دستی و پشت تراکتوری

شکل ۶، ارزش نهایی هر یک از گزینه‌ها را همراه با نمایش گرافیکی آن نشان می‌دهد که با توجه به شکل، ارزش مطلق و نهایی شاخص تصمیم با توجه به پنج معیار در نظر گرفته شده، برای گودال‌کن‌های دستی، هیدرولیکی و پشت تراکتوری به‌ترتیب ۰/۴۰۳، ۰/۳۴۳ و ۰/۲۵۴ به‌دست آمد. با توجه به اینکه معیار قیمت و مانورپذیری بر اساس پرسش‌نامه‌های جمع‌آوری‌شده، مهم‌ترین عامل‌ها از بین معیارهای ذکرشده بودند (شکل ۳)، به همین جهت، گودال‌کن دستی (به‌علت قیمت کمتر و مانورپذیری بیشتر) بر دو نوع گودال‌کن دیگر ترجیح داده شده است (شکل ۴ و ۵). نرخ ناسازگاری نیز برابر ۰/۰۵ محاسبه شد که مقدار قابل قبولی از نظر ساعتی (محقق) می‌باشد. در خصوص اهمیت معیار مانورپذیری دستگاه می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که رویکرد اصلاح اراضی کشاورزی و یکپارچه‌سازی بسیار حایز اهمیت است؛ چرا که باعث اصلاح ساختار هندسی اراضی گردیده و مانورپذیری دستگاه‌ها و ماشین‌آلات کشاورزی را در حین عملیات افزایش می‌دهد. بنابراین، رفع موانع و محدودیت‌های موجود در امر یکپارچه‌سازی اراضی، امری است که باید توسط دولت مورد توجه ویژه قرار گیرد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶- مقادیر وزن مطلق گزینه‌های تصمیم و خروجی نهایی نرم‌افزار

نتیجه‌گیری

در مقایسه معیارهای تصمیم‌گیری در روش تحلیل سلسله‌مراتبی به کمک نرم‌افزار EXPERT CHOICE11 مشخص گردید که باغداران به‌ترتیب قیمت دستگاه، مانورپذیری در فضاهای محدود، ارگونومی، پیشرفت کار و سهولت کاربرد را با میزان اهمیت نسبی ۰/۳۶۶، ۰/۲۷۷، ۰/۱۶۸، ۰/۱۲۱ و ۰/۰۶۸ ترجیح می‌دهند. مشکل اقتصادی کشور و عدم استطاعت مالی باغداران، موجب گردیده است که قیمت دستگاه، از بین معیارهای اولویت‌بندی از بالاترین اولویت برخوردار باشد و گودال‌کن دستی که ارزان‌ترین نوع گودال‌کن می‌باشد، با ارزش نهایی ۰/۴۰۳ از بین سه نوع گودال‌کن به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه انتخاب و معرفی شود.

منابع

1. Abdollahzadeh, G. Damalas, C. A. Sharifzadeh, M. S. and Ahmadi-Gorgi, H. 2016. Selecting strategies for rice stem borer management using the analytic hierarchy process (AHP). Crop Protection 84: 27-36.
2. Amini, S. and Asoodar, M. A. 2016. Selecting the most appropriate tractor using Analytic Hierarchy Process- an Iranian case study. Information Processing in Agriculture, 3: 223-234.
3. Bohanec, M. Zupan, B. and Rajkovic, V. 2000. Applications of Qualitative Multi attribute Decision Models in Health Care. International Journal of Medical Informatics, 58-59, 191-205.
4. Brunelli M. 2014. Introduction to the analytic hierarchy process. Springer. 83 p.
5. Daniel, J. Vishal, N. V. R. Albert, B. and Selvarsan, I. 2010. Evaluation of the Significant Renewable Energy Resources in India Using Analytical Hierarchy Process. In: Ehrgott, M. Naujoks, B. Stewart, T. and Wallenius, J. (eds) Multiple Criteria Decision Making for Sustainable Energy and Transportation Systems. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. 634. Springer, Berlin, Heidelberg.
6. Ebraheem M. 2012. The Analytic Hierarchy Process (AHP) in Software Development. Prentice hall. 77 p.
7. Epule, E. T. Bryant, C. R. Akkari, C. and Daouda, O. 2015. Can organic fertilizers set the pace for a greener arable agricultural revolution in Africa? Analysis, synthesis and way forward, land use policy, 47: 179-187.
8. 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).
9. Ghodsipour, S. H. 2016. Analytical Hierarchy Process (AHP). The Eleventh Edition. Amir Kabir University publication (Tehran Polytechnic). 224 p. (In Farsi).
10. Geisseler, D. and Scow, K. M. 2014. Long-term Effects of Mineral Fertilizers on Soil Microorganisms- a Review. Soil boil, Biochem, 75: 54-63.
11. Hakimi Pour, N. and 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.
12. Harbizadeh, M. and Sheikhdavoodi, M. J.

www.SID.ir

Archive of SID

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).

13. Harker, P. and vargass, L. 1987. The Theory of Ratio Scale Estimation: Saaty's Analytical Hierarchy Process. Management Science, 33(11): 1383-1403.
14. Kamyabi, S. Habibi-Nokhandan, M. and Rouhi, A. R. 2014. Effect of climatic Factors Affecting Saffron using Analytic Hierarchy Process (ahp); (Case Study Roshtkhar Region, Iran). Journal of Saffron agronomy and technology, 2(1): 75-90 (In Farsi).
15. Khosravi, J. Asoodar, M. A. Alizadeh, M. R. and 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.
16. Li, D. and 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.
17. Lopez, C. P. and Requena, J. C. 2006. A Multifunctional Comparison of Conventional Versus Alternative Olive Systems in Spain by AHP. International Association of Agricultural Economists Conference. Gold Coast, Australia.
18. Mashayekhi, A. Rezapour, M. and 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).
19. Monajem, S. Ranji, A. Khani, M. and 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).
20. Nikmardan A. 2012. Introduction the Expert Choice Software (With Abstract of AHP Subject). Jahad Daneshgahi Publication. Amir Kabir University, 172 p (In Farsi).

Potoc˘nik M. 2006. Multi-attribute Model for the Assessment of Farm Tourism's Supply Quality. Unpublished master's thesis. University of Maribor, Maribor, Slovenia. 142 p.

21. Rehman, T. and Romero, C. 1993. The application of the MCDM paradigm to the Management of Agricultural Systems: Some Basic Considerations. Agricultural Systems Journal, 41: 239-255.
22. Rezapour-Sarabi, M. Mesri-Gundoshmian, T. and Ahmadi, A. 2015. Selecting the Appropriate Agricultural Machinery Hydraulic Pump using Analytical Hierarchy Process and Multi-Criteria Decision. The 9th National Congress on Agricultural Machinery Engineering (Biosystem) & Mechanization. 2-3 February, Karaj, 1-9 (In Farsi).
23. Saaty, T. L. 1980. The analytic hierarchy process. McGraw-Hill. New York., 763 pages.
24. Saaty, T. L. 1986. Axiomatic Foundation of Analytical Hierarchy Process. Management Science. 32, No. 7, July 1986.
25. Saaty T. 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. International Journal Services Sciences, 1(1): 83-98.
26. Saadi, H. Kalantari, Kh. and Iravani, 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).
27. Sarkheil, S. and Navid, H. 2010. Evaluation and Selection a tractor Of the Four types of tractors on the Analytic Hierarchy Process (AHP) in the Range of 30 to 90 Kilowatt. The 6th National Congress on Agricultural Machinery Engineering & Mechanization. 15-16 September, Karaj, 1-11 (In Farsi).
28. Sharifi, M. Akram, A. Rafiee, Sh. and 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).
29. Soleimani-Varposhti, I. Zaki-Dizaji, H. Sheikhdavoodi, M. J. and Hafezi, N. 2015. Selection of the optimum planting sugarcane cuttings economically using Analytical Hierarchy (AHP). The 9th National Congress on Agricultural Machinery Engineering (Biosystem) & Mechanization. 2-3 February, Karaj. (In Farsi).

Srdjevic, B. and Jandric, Z. 2010. Analytical Hierarchy Process in selecting the best irrigation method. Agricultural system, 103(6): 350-358.

www.SID.ir

Archive of SID

30. Taki, A. Heidari, M. and Asadi, A. 2015. Development and Evaluation of a Hydraulic Hole Digger for Spot treatment of Landscapes and Orchards. The 9th National Conference on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. 22-23 April, Karaj (In Farsi).
31. Torabi, B. Soltani, A. Galeshi, S. and Zeinali, E. 2011. Analyzing Wheat Yield Constraints in Gorgan. Electronic Journal of Crop Production 4(4): 1-17 (In Farsi).
32. 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.
33. Yurdakul M. 2004. AHP as a Strategic Decision-making tool to Justify Machine tool Selection. Journal of Materials Processing Technology, 146: 365-376.

www.SID.ir