

تحلیل عوامل مؤثر بر ضایعات مزرعه‌ای حاصل از برداشت نیشکر

علی کعب^۱، حسن قاسمی مبتکر^{۱*}، ناهید طاهرزاده شالمائی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۸

۱- گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

* مسئول مکاتبه mobtaker@ut.ac.ir

چکیده

هدف از این پژوهش، بررسی میزان ضایعات حاصل از برداشت نیشکر در شرکت کشت و صنعت نیشکر امام خمینی (ره) واقع در منطقه شعیبیه بود. برای الویت‌بندی عوامل مؤثر بر میزان ضایعات از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. نتایج آماری حاصل از اندازه‌گیری ضایعات نشان می‌دهد که بین سن مزرعه و میزان ضایعات حاصل از برداشت نیشکر رابطه مستقیمی وجود دارد. این رابطه با دقت یک درصد بررسی شده است. همچنین با استفاده از اطلاعات ثبت شده، چهار معیار مؤثر به همراه ۲۳ زیرمعیار در نظر گرفته شد. برای تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها، پرسشنامه‌هایی بر مبنای مقایسه‌های زوجی تهیه و توسط مسئولین کشت و صنعت تکمیل گردید. با توجه به وزن به‌دست آمده در معیارها، کمبود نیروی انسانی متخصص و ماهر (مهارت اپراتور) (۰/۴۲۶)، عدم مدیریت صحیح مزرعه (۰/۳۶۸)، عدم مدیریت صحیح برداشت محصول (۰/۲۲۹)، تنظیم نبودن دستگاه‌های برداشت و عدم مدیریت صحیح فنی (۰/۰۷۶)؛ به ترتیب رتبه‌بندی شدند. کنترل و هدایت نادرست سبد حمل نی (۰/۱۹۴)، فقدان آموزش کافی برای اپراتورها (۰/۱۷۶) و عدم قرار گرفتن محصول (استقرار گیاه) روی سطح کشت (۰/۱۴۸)، سه زیرمعیار مهم با توجه به بیشترین وزن به‌دست آمده می‌باشند. به‌دنبال محاسبه میزان ضایعات حاصل از برداشت نیشکر به برآورد درآمد حاصل از ضایعات پرداخته شد. این مورد برای تمام مزرعه‌های مورد بررسی در این مطالعه محاسبه گردید و نتایج اقتصادی نشان داد میانگین درآمد حاصل از ضایعات نیشکر معادل ۱۲۳/۷۰ دلار به ازای هر هکتار می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اولویت‌بندی، برداشت نیشکر، تحلیل سلسله مراتبی، ضایعات مزرعه‌ای

Analysis of the Factors Affecting Field Waste from Sugarcane Harvesting

Ali Kaab¹, Hassan Ghasemi-Mobtaker^{1*}, Nahid Taherzadeh-Shalmaei¹

Received: 10 Jan 2023

Accepted: 27 Feb 2023

1- Department of Agricultural Machinery Engineering, College of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran

*Corresponding author: mobtaker@ut.ac.ir

Abstract

The aim of this study was to investigate the amount of sugarcane losses during harvesting at the Imam Khomeini Sugarcane Agro-Industrial Company located in the Shoaibiyeh region. Analytical hierarchy process was used to prioritize the factors affecting the level of losses. The statistical results obtained from measuring the losses showed a direct relationship between the age of the farm and the amount of sugarcane losses during harvesting. This relationship was examined with an accuracy of one percent. Additionally, using the recorded information, four effective criteria along with 23 sub-criteria were considered. Questionnaires based on pairwise comparisons were prepared and completed by agriculture and industry officials to determine the weights of the criteria and sub-criteria. Based on the obtained weights of the criteria, the lack of skilled and expert human resources (operator skills) (0.426), improper farm management (0.368), improper crop harvesting management (0.229), and the lack of adjustment of harvesting machines and improper technical management (0.076) were ranked in order. Improper control and management of the sugarcane transportation basket (0.194), insufficient training for operators (0.176), and the lack of placement of the product (plant deployment) on the cultivation surface (0.148) were the three most important sub-criteria based on their highest weights. After calculating the amount of sugarcane losses, the revenue obtained from the losses was estimated. This was calculated for all the farms studied in this research, and the economic results showed that the average income obtained from sugarcane losses was equivalent to 123.70 \$ ha⁻¹.

Keywords: Prioritization, Sugarcane harvesting, Analytical hierarchy process, Field waste

How to cite:

Kaab, A., Ghasemi-Mobtaker, H., and Taherzadeh-Shalmaei, N. 2023. Analysis of Factors Affecting Field Waste from Sugarcane Harvesting. *Journal of Agricultural Mechanization* 7 (4): 11-25.

۱- مقدمه

نیشکر یک محصول با ارزش گیاهی و از منابع تولیدکننده ساکارز (شکر) است. کشت نیشکر در استان خوزستان با سطحی بیش از ۱۲۰ هزار هکتار به منظور تولید شکر صورت می‌گیرد. برداشت ساقه‌های نیشکر برای استخراج قند زمانی صورت می‌گیرد که مقدار قند ذخیره شده در داخل ساقه به حداکثر خود رسیده باشد. همان‌گونه که مراقبت‌های دوران کاشت و رشد گیاه در میزان تولید محصول مؤثر است به همان نسبت نیز برداشت به موقع این محصول در مقدار قند آن تأثیر به سزایی دارد. در برداشت نیشکر دو مسئله (رسیدن محصول و چگونگی برداشت آن) در نظر گرفته می‌شود (Kaab et al., 2019a). برداشت نیشکر به دو صورت، سوزاندن مزرعه قبل از برداشت (برداشت سوخته) و بدون سوزاندن مزرعه (برداشت سبز) انجام می‌گیرد. به دلیل بقایای زیاد نیشکر و انبوه برگ و سرشاخه، سوزاندن مزرعه کار برداشت نیشکر را آسان می‌کند. ولی علی‌رغم مزیت این روش، به دلیل مسائل زیست‌محیطی در سطح جهان در حال منسوخ شدن است و فشار سازمان‌های حامی محیط‌زیست و افکار عمومی برای جایگزینی برداشت سبز رو به افزایش است (Khanifar et al., 2010). در روش برداشت سبز پوشال (برگ‌های خشک نیشکر)، سرنی و مقداری نی در سطح زمین باقی می‌ماند که به تراش بلانکت معروف است. جایگزین شدن برداشت سبز به جای برداشت سوخته می‌تواند با افزودن سالانه تا ۲۰ تن تراش بلانکت (سرنی و برگ‌های خشک نیشکر) به خاک راهی برای افزودن ماده آلی خاک و پایداری تولید نیشکر و جلوگیری از پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از سوزاندن آن باشد (Taheri et al., 2010; Kaab et al., 2019b). از دیگر مزایای تراش بلانکت می‌توان به حفظ خاک و کاهش فرسایش آن و کنترل علف‌های هرز اشاره کرد. در مجموع باقی گذاردن تراش بلانکت به علت کم کردن تبخیر از سطح خاک، باعث کاهش مصرف آب، با برگرداندن مواد غذایی باعث کاهش مصرف کود و با جلوگیری از رشد علف‌های هرز باعث کاهش مصرف سم می‌شود که از مسائل اولیه در سامانه‌های کشاورزی پایدار است. نتایج اغلب مطالعات انجام شده حاکی از بالاتر بودن میزان ضایعات برداشت سبز نیشکر در مزرعه نسبت به برداشت سوخته است. بخش‌هایی از ضایعات برداشت در مزرعه که به شکل نی قدی، نی کفبری نشده و نی چاپر شده هستند می‌توانند بلافاصله پس از برداشت طی عملیاتی که لیلیکو نامیده می‌شود توسط کارگر جمع‌آوری شود. ولی ضایعاتی که شامل نی خرد شده و تراش شده هستند، قابل جمع‌آوری در مزرعه نیستند (Shomeili, 2012).

برای محصول نیشکر نیز، تعیین زمان برداشت، یکی از تصمیمات اصلی برای مدیر مکانیزاسیون واحدهای زراعی کشت نیشکر محسوب می‌شود (Omran et al., 2013). اگر محصول خیلی زود یا خیلی دیر برداشت شود ممکن است به علت کاهش درصد قند استحصالی، درآمد حاصله کاهش پیدا کند. اغلب به دلیل مصادف شدن فصل برداشت با بارندگی که عدم گاورو بودن زمین را در پی دارد، عملیات

برداشت به موقع انجام نمی‌گیرد و به تعویق می‌افتد، در نتیجه میزان درجه خلوص و درصد قند محصول کاهش می‌یابد. در نهایت تأخیر در برداشت نیشکر و کشیده شدن برداشت تا اردیبهشت ماه می‌تواند استحصال شکر را به میزان ۳۰٪ کاهش دهد. این مقدار کاهش در مقیاس‌های بزرگ به میزان بسیار زیادی افزایش می‌یابد (Shomeili, 2012).

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یک روش تصمیم‌گیری چند شاخصه برای وزن‌دهی به معیارها و انتخاب گزینه بهینه می‌باشد. هدف این روش اولویت‌بندی تعدادی معیار یا گزینه است. پس از تعیین هدف باید معیارهایی برای تصمیم‌گیری شناسایی شوند (Saaty, 1977). این معیارها براساس هدف باهم مقایسه زوجی می‌شوند و وزن آن‌ها تعیین می‌شود. در نهایت گزینه‌ها براساس هر معیار باهم مقایسه زوجی شده و اولویت نهایی گزینه‌ها مشخص می‌شود. مطالعات زیادی در زمینه کشاورزی با استفاده از این روش انجام شده است. (Manjezi et al., 2016) به شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر عدم انجام به موقع عملیات تولید نیشکر با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی پرداختند. نتایج پژوهش حاکی از آن بود که عامل ماشین، به خاطر عدم رعایت استاندارد در تولید ادوات، بالا بودن عمر ماشین‌های برداشت و فرسوده و مستهلک بودن آن‌ها و همچنین کار در شرایط بالای رطوبتی (هم‌زمانی عملیات برداشت با بارندگی در خوزستان) نقش به سزایی در عدم انجام به موقع عملیات تولید نیشکر دارند. (Yousefi & Mehranzadeh, 2017) به بررسی و ارزیابی سرعت فن اولیه ماشین برداشت بر ضایعات نیشکر در مزارع کشت و صنعت کارون پرداختند. نتایج نشان داد که سرعت فن اولیه ماشین برداشت، رقم و سن نیشکر بر میزان ضایعات آن در برداشت معنی‌دار بود، اما اثر سرعت پیشروی ماشین برداشت معنی‌دار نبود. اثرات متقابل سرعت فن اولیه ماشین برداشت و سرعت پیشروی ماشین برداشت، سرعت فن اولیه ماشین برداشت و سن نیشکر و سرعت پیشروی ماشین برداشت و سن نیشکر بر میزان ضایعات مؤثر بود، بنابراین، سرعت فن اولیه و رقم نیشکر بیشترین تأثیر را بر میزان ضایعات داشت. (Aguilar- Rivera, 2019) مطالعه‌ای در کشور مکزیک جهت بررسی پایداری تولید نیشکر انجام داد و گزارش کرد پایداری در تولید نیشکر، نتیجه تعامل فناوری، تناسب زمین، محیط زیست، شیوه‌های مدیریت، استفاده از محصولات جانبی، محدودیت‌های اجتماعی- اقتصادی و جغرافیایی است. همچنین بر اساس فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، رتبه‌بندی در سه جنبه، زنجیره ارزش، تولید مواد خام، فرآوری در نیشکر در یک ساختار سلسله مراتبی با به دست آوردن اهمیت نسبی هر معیار، یک ابزار ارزیابی پایداری یکپارچه توسعه داده شد. نتایج نشان داد که شاخص پایداری چارچوبی برای ارزیابی و پهنه‌بندی پایداری و متغیرها فراهم می‌کند. در جدول ۱ به برخی از پژوهش‌های انجام شده در رابطه با ضایعات حاصل از برداشت نیشکر اشاره شده است.

جدول ۱- برخی از پژوهش‌های انجام شده در رابطه با ضایعات حاصل از برداشت نیشکر
Table 1. Some of the researches done in relation to the wastes from sugarcane harvesting

منبع Reference	روش کار Method	عنوان پژوهش Research title
(Shirali, 2002)	اندازه‌گیری ضایعات Waste measurement	بررسی میزان ضایعات نیشکر در ایران Investigating the amount of sugarcane waste in Iran
(Shomeili, 2012)	اندازه‌گیری ضایعات Waste measurement	بررسی منابع ضایعات کشاورزی تولید طی دوره بهره‌برداری نیشکر در ایران Investigating sources of agricultural waste produced during sugarcane exploitation period in Iran
(Zaki Dizji & Manjezi, 2017)	تحلیل سلسله مراتبی Analytical hierarchy process	ارزیابی منابع ایجاد ضایعات طی فرآیند تولید نیشکر در ایران Evaluation of the sources of waste generation during the sugarcane production process in Iran
(Eskandari et al., 2018)	اندازه‌گیری ضایعات Waste measurement	بررسی عوامل مؤثر بر میزان ضایعات شکرخام در فرایند تولید شکر از نیشکر در ایران Investigating factors affecting the amount of raw sugar waste in the process of producing sugar from sugarcane in Iran
(Aguilar- Rivera, 2019)	تحلیل سلسله مراتبی Analytical hierarchy process	تجزیه و تحلیل ضایعات حاصل از برداشت نیشکر در مکزیک Analysis of waste from sugarcane harvesting in mexico
(Zulu et al., 2019)	اطلاعات ثبت شده Recorded information	بررسی عوامل مؤثر تولید نیشکر در آفریقای جنوبی Investigating the effective factors of sugarcane production in South Africa

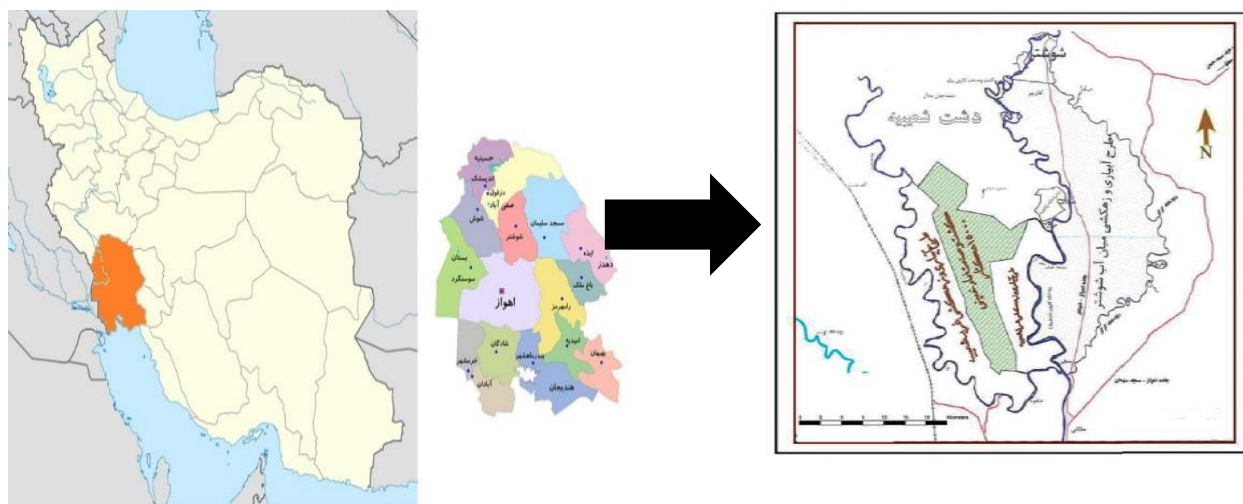
راهکارهایی جهت کاهش ضایعات به منظور افزایش عملکرد محصول می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در منطقه شعیبیه، شرکت کشت و صنعت امام خمینی(ره)، یکی از کشت و صنعت‌های مهم در زمینه کشت نیشکر در ایران، انجام شد. این کشت و صنعت در استان خوزستان و در اراضی شعیبیه، بین رودخانه‌های شطیط (شاخه‌ای از کارون) و دز، در ۳۰ کیلومتری جنوب شهر شوشتر واقع شده است (شکل ۱). موقعیت جغرافیایی این منطقه بین ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است (Anonymous, 2020).

هدف اصلی روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی انتخاب بهترین گزینه براساس معیارهای مختلف از طریق مقایسه زوجی است. این روش برای وزن‌دهی به معیارها نیز استفاده می‌شود. چون افزایش تعداد عناصر هر خوشه مقایسه زوجی را دشوار می‌کند. بنابراین معمولاً معیارهای تصمیم‌گیری را به زیرمعیارهایی تقسیم می‌کنند. کنترل ضایعات مزرعه یکی از مسائل مهم در مرحله برداشت محصول نیشکر جهت ثبت و افزایش عملکرد محصول می‌باشد، لذا با اندازه‌گیری‌هایی که در سطح مزارع انجام شده است و همچنین با دانستن عوامل مؤثر جهت شناسایی و رتبه‌بندی گزینه‌ها برای کنترل ضایعات در مرحله برداشت در واحدهای کشت و صنعت نیشکر ضروری می‌باشد. با بررسی این موضوع می‌توان دریافت که کدام بخش در هنگام برداشت محصول ضایعات بیشتری را دارد که با الویت‌بندی این بخش‌ها و کنترل آن‌ها در زمان مناسب می‌توان بخش بزرگی از ضایعات را کنترل کرد و باعث افزایش عملکرد محصول شد. هدف از این مطالعه شناسایی ضایعات حاصل از برداشت نیشکر در بخش‌های مختلف و برآورد میزان ضایعات جهت کنترل برداشت نیشکر و ارائه



شکل ۱- موقعیت کشت و صنعت نیشکر امام خمینی (ره) در منطقه شعیبیه

Fig 1. The location of Imam Khomeini sugarcane agro-industrial in Shuaibiya region

۲-۲- روش انجام کار

این پژوهش در دو بخش انجام شد: (۱) اندازه‌گیری ضایعات پس از برداشت نیشکر (۲) استفاده از اطلاعات ثبت شده و نظرات مدیران و کارشناسان کشت و صنعت جهت اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر ضایعات نیشکر.



شکل ۲- اندازه‌گیری ضایعات در برداشت مزارع نیشکر

Fig 2. Measurement of waste in the harvest of sugarcane farms

$$X = \frac{10000 \times Y}{27.5} \quad (1)$$

که در آن، X میزان ضایعات در یک هکتار بر حسب کیلوگرم در هکتار، Y میزان ضایعات در کادر اندازه‌گیری شده (مساحت ۲۷/۵ مترمربع) بر حسب کیلوگرم بر مترمربع می‌باشد.

۲) استفاده از اطلاعات ثبت شده

در بخش دوم این پژوهش اطلاعات ثبت شده در مدیریت مطالعات کاربردی شرکت کشت و صنعت نیشکر امام خمینی (ره) و همچنین اطلاعات حاصل از پرسش‌نامه طراحی شده مرتبط با پژوهش مورد نظر طی یک دوره برداشت نیشکر در سال ۱۴۰۰، جهت اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر ضایعات نیشکر استفاده شد. پرسش‌نامه‌ها توسط ۲۰ نفر از کارشناسان کشت و صنعت نیشکر امام خمینی (ره) در زمینه زراعت و برداشت تکمیل شدند. جدول ۲ مشخصات مربوطه را نشان می‌دهد. پس از جمع‌آوری اطلاعات نتایج با روش اندازه‌گیری ضایعات مورد مقایسه قرار گرفت.

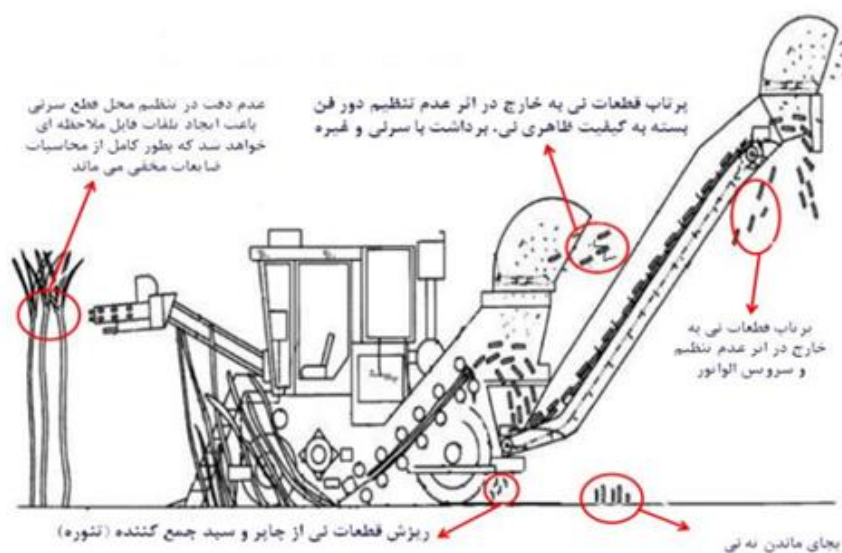
۱) اندازه‌گیری ضایعات پس از برداشت نیشکر

برای اندازه‌گیری ضایعات ۲۰ مزرعه در سن و رقم‌های مختلف در نظر گرفته شد، برای محاسبه مقدار ضایعات از کادرهای $5 \times 5/5$ متر (مساحت ۲۷/۵ مترمربع) استفاده شد. در هر قطعه آزمایشی از سه کادر مربعی یکی در ابتدا، یکی در وسط و دیگری در انتهای مزرعه استفاده شد (شکل ۲). سپس با جمع‌آوری ضایعات به شکل‌های مختلف شامل نی قادی برداشت نشده، نی قلمه‌ای ریخته شده از سبد یا بالابر، تکه‌های نی کوتاه، تراشه‌های نی و ته نی تفکیک و به‌طور مجزا توزین گردید و نهایتاً میزان ضایعات در برداشت نیشکر برای یک هکتار محاسبه شد (رابطه (۱)). به‌طور کلی ضایعات به‌دست آمده را می‌توان به ۲ گروه تقسیم‌بندی کرد: ضایعات قابل برگشت شامل نی‌های قادی که توسط کارگر (لیلیکو) قابل جمع‌آوری هستند و سپس توسط گراپ (بیل چنگک) در سبد حمل نی بارگیری می‌شود (شکل ۳) و ضایعات غیرقابل برگشت شامل نی قلمه شده و تراشه نی توسط ماشین برداشت که قابل جمع‌آوری توسط کارگر نیستند (شکل ۴).



شکل ۳- ضایعات قابل برگشت در برداشت مزارع نیشکر

Fig 3. Recyclable wastes in the harvesting of sugarcane fields



شکل ۴- ضایعات غیرقابل برگشت در یک دروگر نیشکر

Fig 4. Unrecyclable waste in a sugarcane harvester

جدول ۲- مشخصات کارشناسان کشت و صنعت

Table 2. Profile of agriculture experts in Agro-industry company

تجربه کاری	رشته تحصیلی	فراوانی	تحصیلات	فراوانی	سن	تعداد
Work experience	Field of study	Abundance	Education	Abundance	Age	Number
۳ تا ۱۰ سال 3 to 10 year	مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی Agricultural mechanization engineering	4	کارشناسی Bachelor	6	۲۸ تا ۳۱ سال 28 to 31 year	
۱۱ تا ۱۸ سال 11 to 18 year	مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی Mechanical engineering of agricultural machines	8	کارشناسی ارشد MSc	9	۳۱ تا ۳۵ سال 31 to 35 year	۲۰ (مرد) 20 (male)
۱۸ تا ۲۵ سال 18 to 25 year	مهندسی زراعت Agricultural engineering	8	کارشناسی ارشد MSc	5	۳۵ تا ۴۵ سال 35 to 45 year	

۲-۳- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

با توجه به فرآیند مقایسه زوجی از پایین‌ترین سطح سلسله مراتبی به سمت بالا، ساختار پرسش‌نامه دارای ساختار یک ماتریس می‌باشد. به طور کلی، ماتریس‌های زوجی که پرسشنامه بر اساس آن تعریف و طراحی شده است؛ به صورت رابطه (۲) نوشته می‌شود (Darko et al., 2019).

$$A = \begin{bmatrix} \frac{W_1}{W_1} & \frac{W_1}{W_2} & \dots & \frac{W_1}{W_n} \\ \frac{W_2}{W_1} & \frac{W_2}{W_2} & \dots & \frac{W_2}{W_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{W_n}{W_1} & \frac{W_n}{W_2} & \dots & \frac{W_n}{W_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{W_1}{W_2} & \dots & 3 \\ \frac{W_2}{W_1} & 1 & \dots & \frac{W_3}{W_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/3 & \frac{W_n}{W_2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

در محاسبه وزن نسبی به روش میانگین هندسی، ابتدا ارجحیت‌های نسبی یا محاسبه میانگین هندسی ردیف‌های ماتریس‌های مقایسات زوجی انجام شده و سپس این ارجحیت‌ها نرمال می‌شوند. ضرایب حاصل از این فرآیند نشان‌دهنده اهمیت نسبی هر یک از عناصر ماتریس هستند. برای محاسبه وزن نهایی کافی است که مجموع حاصل ضرب‌های وزن زیرمعیارها بر اساس هر یک از معیارها در وزن آن معیارها براساس رابطه (۳) به دست آمد (Irfan et al., 2022).

$$P_i = \sum W a_{ij} \times W c_j \quad (3)$$

در این رابطه، P نشان‌دهنده اولویت گزینه i ام و $W a_{ij}$ نشان‌دهنده وزن مربوط به هر زیرمعیار براساس هر معیار، و $W c_j$ نشان‌دهنده وزن مربوط به هر معیار است. جهت تعیین معیارها، پس از مطالعات کتابخانه‌ای، مذاکره با کارشناسان و محققان کشاورزی در کشت و صنعت و صاحب‌نظران دانشگاه و همچنین مرور مطالعات انجام شده، شاخص‌های احتمالی تأثیرگذار تعیین شد. داده‌های جمع‌آوری شده از پرسش‌نامه‌ها که مورد تحلیل و محاسبه قرار گرفته بودند (ماتریس‌های مقایسه زوجی گروهی)؛ به عنوان ورودی به نرم‌افزار Expert Choice برای تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها معرفی گردید. از کاربردهای مهم نرم‌افزار می‌توان به انجام تصمیم‌گیری چند

برای اجرای این کار، ابتدا بر اساس معیارهای شناسایی شده درخت سلسله مراتبی تشکیل شد. سپس بر اساس معیارها و زیرمعیارها پرسش‌نامه‌ای به سبک تحلیل سلسله مراتبی طراحی شد. در این پرسش‌نامه ابتدا ارجحیت معیارها براساس طیف ۹ درجه‌ای توسط خبرگان مورد ارزیابی قرار گرفت و سپس هر کدام از گزینه‌ها براساس معیارها و مطابق همان طیف ۹ درجه‌ای ارزیابی گردید. در پرسش‌نامه مذکور خبرگان ارجحیت معیارها و زیرمعیارها را به صورت مقایسه زوجی مشخص می‌کردند. در این مقایسه عدد ۱ به معنای ارجحیت برابر، و عدد ۲ به معنای این است که یکی از معیارها یا گزینه‌ها دو برابر بیشتر از معیار یا گزینه مقابل دارای ارجحیت است. عدد ۳ تا ۹ نیز نشان‌دهنده میزان ارجحیت یکی از معیارها یا گزینه‌ها بر دیگری است و هر چه این مقدار بیشتر باشد میزان ارجحیت بیشتری را نشان می‌دهد. جدول ۳ مقدار ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی را نشان می‌دهد.

جدول ۳- مقدار ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی

Table 3. Numerical value of the preferences for pairwise comparisons

مقدار	ترجیحات
Value	Preferences
9	کاملاً مطلوب Completely desirable
7	مطلوبیت خیلی قوی Very strong desirability
5	مطلوبیت قوی Strong desirability
3	کمی مطلوب‌تر A little better
1	مطلوبیت یکسان The same desirability
2,4,6,8	ترجیحات بین فواصل Preferences between intervals

معیاره براساس روش سلسله مراتبی، طراحی نمودار سلسله مراتبی و طراحی سؤالات مربوط به تصمیم‌ها، محاسبه وزن معیارها با استفاده از روش مقایسه زوجی و ترکیب کردن نتایج حاصل از حل مدل و انتخاب بهترین گزینه اشاره کرد. بعد از وارد کردن نام مدل و تعریف مدل، معیارهای مورد نظر وارد شد. در مرحله بعدی، زیرمعیارهای هر معیار وارد و سرانجام مدل ذخیره گردید (جدول ۴). همچنین درخت سلسله مراتبی که در شکل ۵ نشان داده شده است، تشکیل شد.

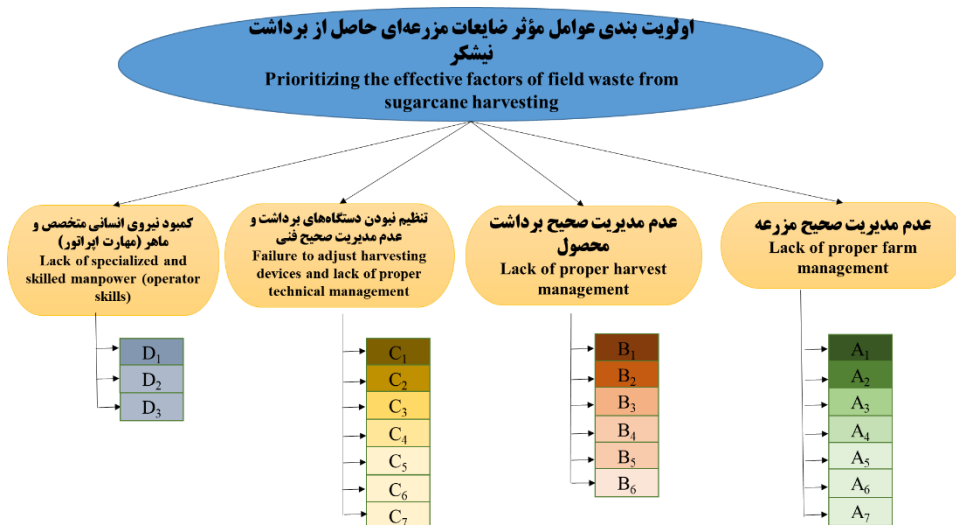
جدول ۴- ساختار معیارها و شاخص‌های ارزیابی ضایعات حاصل از برداشت نیشکر

Table 4. The structure of criteria and indicators for the evaluation of waste from sugarcane harvesting

نماد Symbol	شاخص‌ها Indicators	معیارها Criteria
A1	عدم کنترل ارتفاع گیاه (Lack of plant height control)	عدم مدیریت صحیح مزرعه (Lack of proper farm management)
A2	عدم بررسی میزان پنجه‌زنی گیاه (Failure to check the amount of plant tillering)	
A3	عدم قرار گرفتن محصول (استقرار گیاه) روی سطح کشت (Failure to place the product (plant establishment) on the cultivation surface)	
A4	انتخاب نادرست نوع واریته گیاه (Incorrect choice of plant variety)	
A5	عدم آگاهی از میزان سن مزرعه (پلنت یا راتون) (Unknown age of the farm (plant or ratoon))	
A6	بالا بودن میزان رطوبت مزرعه (The high level of humidity in the field)	
A7	بالا بودن میزان ورس (خوابیدگی) محصول (The high amount of wors (sleeping) of the product)	
B1	عدم صحیح برداشت سوخته (Improper removal of burnt)	عدم مدیریت صحیح برداشت محصول (Lack of proper harvest management)
B2	عدم صحیح برداشت سبز (Improper harvest of greens)	
B3	نداشتن برنامه زمانی مناسب جهت تعیین زمان برداشت در روز (Not having a suitable time schedule to determine the time of harvest per day)	
B4	نداشتن برنامه زمانی مناسب جهت تعیین زمان برداشت در شب (Not having a suitable schedule to determine the time of withdrawal at night)	
B5	انتخاب نادرست نوع سبد حمل نی با تراکتور (Incorrect selection of the type of straw carrying basket with a tractor)	
B6	انتخاب نادرست نوع سبد حمل نی با ونگارد (Incorrect selection of straw carrying basket with Vanguard)	

ادامه جدول ۴
Cont. Table 4.

نماد Symbol	شاخص‌ها Indicators	معیارها Criteria
C ₁	عدم تنظیم ارتفاع تاپر (سر نی زن) (Inconsistency in the height of the topper)	تنظیم نبودن دستگاه‌های برداشت و عدم مدیریت صحیح فنی (Failure to adjust harvesting devices and lack of proper technical management)
C ₂	عدم تنظیم جداکننده محصول (Failure to adjust the product separator)	
C ₃	عدم تنظیم تیغه (بیس کاتر) (Not adjusting the blade (base cutter))	
C ₄	عدم تنظیم غلتک‌های تغذیه (Failure to adjust the feeding rollers)	
C ₅	عدم تنظیم چابر دستگاه (Failure to set the machine's chopper)	
C ₆	عدم تنظیم سرعت دور فن اولیه و ثانویه (Failure to adjust the speed of the primary and secondary fan)	
C ₇	عدم تنظیم الواتور دستگاه (Failure to adjust the machine elevator)	
D ₁	کنترل و هدایت نادرست ماشین برداشت (Improper harvester control and guidance)	کمبود نیروی انسانی متخصص و ماهر (مهارت اپراتور) (Lack of specialized and skilled manpower (operator skills))
D ₂	کنترل و هدایت نادرست سبد حمل نی (Improper control and guidance of the reed basket)	
D ₃	فقدان آموزش کافی برای اپراتورها (Lack of adequate training for operators)	



شکل ۵- ساختار سلسله مراتبی الویت‌بندی ضایعات مزرعه‌ای حاصل از برداشت نیشکر
Fig 5. Hierarchical structure of prioritizing field waste from sugarcane harvesting

۲-۴- ارزیابی اقتصادی

پس از تعیین عوامل مؤثر بر میزان ضایعات حاصل از برداشت نیشکر، مقدار عملکرد قبل و پس از جمع‌آوری ضایعات مشخص شد که با محاسبه عملکرد ضایعات نیشکر و تبدیل آن به شکر تولیدی میزان آن مشخص گردید (رابطه (۴)). سپس با در نظر گرفتن قیمت هر کیلو شکر که به دلار، میزان درآمد حاصل از ضایعات نیشکر در هر هکتار با استفاده از رابطه (۵) محاسبه شد. این کار باعث مشخص شدن افزایش درآمد ناشی از افزایش شکر تولیدی حاصل از کاهش تلفات برداشت و افزایش درصد شکر حاصل در اثر برداشت به موقع می‌شود.

$$S = X \times Y \quad (4)$$

که در آن،

S، میزان تولید شکر بر حسب کیلوگرم

X، میزان ضایعات در یک هکتار بر حسب کیلوگرم در هکتار

Y، درصد تبدیل ضایعات نیشکر به شکر که با توجه داده‌های موجود ۱۰ درصد در نظر گرفته شد.

$$T = S \times P \quad (5)$$

که در آن،

T، میزان درآمد حاصل از ضایعات نیشکر بر حسب دلار

S، میزان تولید شکر بر حسب کیلوگرم

P، قیمت هر کیلو شکر بر حسب دلار

۲-۵- نرم‌افزار مورد استفاده

برای انجام تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار آماری SAS و با طرح اسپلیت پلات (کرت‌های خرد شده) بلوک کامل تصادفی انجام شد. همچنین داده‌های جمع‌آوری شده از پرسش‌نامه‌ها که مورد تحلیل و محاسبه قرار گرفته بودند (ماتریس‌های مقایسه زوجی گروهی)، به‌عنوان ورودی به نرم‌افزار Expert Choice برای تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها معرفی گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج حاصل از اندازه‌گیری ضایعات پس از

برداشت نیشکر

اندازه‌گیری میزان ضایعات در جدول ۵ نشان داده شده است. این اندازه‌گیری‌ها برای هر مزرعه به‌صورت جداگانه پس از عملیات برداشت

انجام و میزان ضایعات پس از اندازه‌گیری برای هر هکتار با استفاده از رابطه (۱) برآورد شد. پس از جمع‌آوری اطلاعات و اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در مزارع برداشت شده، مشخص گردید که حدود ۴۸ درصد ضایعات مربوط به ماشین برداشت است که قابل جمع‌آوری توسط نیروی انسانی نبوده و ۵۲ درصد ضایعات مربوط به نی قدی که توسط نیروی انسانی (للیکو) قابل جمع‌آوری هستند. با توجه به گستردگی مزارع نیشکر در کشت و صنعت واریته‌های مختلفی کشت می‌شود تا رسیدگی مزارع مختلف باشد و عملیات برداشت به‌طور منظم از واریته‌های زودرس به دیررس انجام شود. این واریته‌ها شامل زودرس (CP57 و CP73)، میان‌رس (CP69) و دیررس (CP48) می‌باشد. سن مزرعه که از پلنت تا راتون چهار در نظر گرفته شد، پلنت مزرعه‌ای که در سال اول کشت می‌شود و به دنبال آن مزارع راتون می‌باشد. مزارع راتون مزارعی هستند که پس از برداشت مزرعه پلنت، بدون هیچ عملیات خاک‌ورزی و فقط بین ردیف‌های نی عملیات احیا کردن فارو انجام می‌شود، و بسته به اقتصادی بودن مزارع تعداد راتون مشخص می‌شود.

جدول ۵- اندازه‌گیری میزان ضایعات نیشکر پس از برداشت

Table 5. Measurement of sugarcane waste after harvesting

شماره مزرعه	واریته	سن	شماره ایستگاه (تن بر هکتار)	میانگین (تن بر هکتار)	میانگین (تن بر هکتار)
Farm No	Variety	Age	Station number (ton ha ⁻¹)	Average (ton ha ⁻¹)	Average (ton ha ⁻¹)
			3	2	1
1	CP69	P ^۲	1.40	2.00	1.80
2	CP69	R ₁ ^۳	1.30	1.40	1.50
3	CP69	R ₂	2.10	3.00	2.40
4	CP69	R ₃	1.60	2.30	1.40
5	CP69	R ₄	1.40	1.30	1.00
6	CP48	P	2.00	1.80	1.80
7	CP48	R ₁	2.40	1.90	2.70
8	CP48	R ₂	1.50	1.40	0.9
9	CP48	R ₃	1.80	1.20	1.00
10	CP48	R ₄	1.60	1.30	1.30
11	CP57	P	2.50	2.40	1.90
12	CP57	R ₁	2.30	2.50	1.50
13	CP57	R ₂	2.00	1.90	1.80
14	CP57	R ₃	1.80	1.50	1.90
15	CP57	R ₄	1.00	1.80	1.30
16	CP73	P	1.00	1.70	2.00
17	CP73	R ₁	2.00	1.80	2.60
18	CP73	R ₂	1.80	1.30	1.50
19	CP73	R ₃	1.60	1.90	1.80
20	CP73	R ₄	1.40	1.00	1.30
میانگین	-	-	1.72	1.77	1.67
Average					

تجزیه واریانس بر حسب نوع رقم و سن مزرعه در ضایعات حاصل از برداشت نیشکر در جدول ۶ نشان داده شده است. با توجه به نتایج حاصل سن مزرعه و همچنین اثر متقابل سن مزرعه × ارقام نیشکر

^۲Ratoon^۳Canal Point^۴Plant

جدول ۷- نتایج مقایسه میانگین اثر سن مزرعه بر میزان ضایعات حاصل از برداشت نیشکر

Table 7. The results of mean comparison effect of farm age on the amount of waste from sugarcane harvesting

میانگین	سن مزرعه
1.85 ^a	P
1.99 ^a	R ₁
1.80 ^{ab}	R ₂
1.65 ^b	R ₃
1.30 ^c	R ₄

*مقادیر دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی داری در سطح احتمال خطای ۵٪ ندارند.

*Values in each column followed by similar letters are not significantly different at 5 % probability level.

جدول ۸- نتایج مقایسه میانگین اثر رقم نیشکر بر میزان ضایعات حاصل از برداشت نیشکر

Table 8. The results of mean comparison effect of cultivar type on the amount of waste from sugarcane harvesting

میانگین	سن مزرعه
1.87 ^a	CP57
1.72 ^a	CP69
1.64 ^a	CP73
1.64 ^a	CP48

*مقادیر دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی داری در سطح احتمال خطای ۵٪ ندارند.

*Values in each column followed by similar letters are not significantly different at 5 % probability level.

۳-۲- نتایج حاصل از اطلاعات ثبت شده با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی

با توجه به وزن معیارها، نتایج این بررسی نشان داد که بالاترین وزن جهت شناسایی و الویت‌بندی میزان ضایعات مزرعه‌ای حاصل از برداشت نیشکر، مربوط به کمبود نیروی انسانی متخصص و ماهر (مهارت اپراتور) (۰/۴۲۶)، عدم مدیریت صحیح مزرعه (۰/۳۶۸)، عدم مدیریت صحیح برداشت محصول (۰/۲۲۹)، تنظیم نبودن دستگاه‌های برداشت و عدم مدیریت صحیح فنی (۰/۰۷۶) است. وزن نهایی معیارها دارای نرخ ناسازگاری ۰/۰۲ است که در شکل ۶ مشخص شده است. با توجه به کمتر بودن این نرخ از ۰/۱، تصمیم گروه دارای سازگاری قابل قبول بود. به عبارت دیگر با کمک شاخص نرخ ناسازگاری می‌توان پی برد که بین مقایسه‌های دو به دو و زوجی در پرسشنامه‌ها سازگاری وجود دارد. همان‌طور که اشاره شد مهارت اپراتور تأثیر مستقیمی بر روی میزان ضایعات مزرعه‌ای دارد. پس توجه به این موضوع از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. آموزش کافی برای اپراتور دستگاه باید در دستور کار قرار بگیرد، همچنین انگیزه کافی برای اپراتورها باید در نظر گرفت تا بتوان در هنگام برداشت محصول میزان ضایعات را کاهش داد.

با توجه به نتایج تحلیل سلسله مراتبی اپراتور دستگاه برداشت نقش مستقیمی در کاهش میزان ضایعات نیشکر را دارد و با توجه به تجزیه و تحلیل آماری در بخش قبلی مشخص شد که سن مزرعه تأثیر

اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد دارد، اما بر اساس ارقام نیشکر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج مقایسه میانگین اثر سن مزرعه و رقم نیشکر بر میزان ضایعات به ترتیب در جدول ۷ و ۸ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مزارع راتون یک و پلنت بیشترین ضایعات را نسبت به راتون‌های بالاتر دارند. با بررسی زراعی این موضوع مشخص شد که سن مزرعه اثر مستقیمی بر میزان ضایعات حاصل از برداشت نیشکر دارد و با یک برنامه‌ریزی دقیق در هنگام برداشت می‌توان بخش عظیمی از ضایعات را کاهش داد. همچنین در جدول ۷ مقایسه میانگین اثر رقم نیشکر بر میزان ضایعات را نشان می‌دهد. همان‌طور که نشان می‌دهد بین ارقام نیشکر اختلاف میانگین زیادی مشاهده نمی‌شود، اما می‌توان گفت رقم مزارع CP57 و CP69 نسبت به رقم‌های CP48 و CP73 بالاتر است. با بررسی زراعی این موضوع مشخص شد که انتخاب واریته مناسب در زمان کشت می‌تواند میزان ضایعات حاصل از برداشت را کاهش داد. همچنین با بررسی‌های فنی مشخص گردید با توجه به قدیمی بودن دستگاه‌های برداشت (ماشین برداشت) ضایعات زیادی از بین قسمت‌های مختلف دستگاه (الوتر، دور فن اولیه و ثانویه و تیغه‌های دستگاه) در سطح مزرعه پس از برداشت نیشکر روی زمین می‌افتد. توصیه می‌شود با تنظیم نمودن دستگاه‌های برداشت تا حدودی میزان ضایعات نیشکر در هنگام برداشت کنترل شود. در هنگام برداشت، اپراتور ماشین برداشت و سید حمل نی نقش اصلی را در کاهش میزان ضایعات دارد زیرا که افراد ماهر و متخصص در این زمینه بهترین مسیر برداشت را انتخاب می‌کنند و باعث کاهش ضایعات در برداشت نیشکر می‌شود، پس، با توجه به این موضوع با برگزاری کلاس‌های آموزشی جهت آموزش اپراتورها و با بررسی نکات تخصصی در زمینه برداشت نیشکر می‌توان بخش بزرگی از ضایعات را کاهش داد.

جدول ۶- تجزیه واریانس بر حسب نوع رقم و سن مزرعه در ضایعات حاصل از برداشت نیشکر

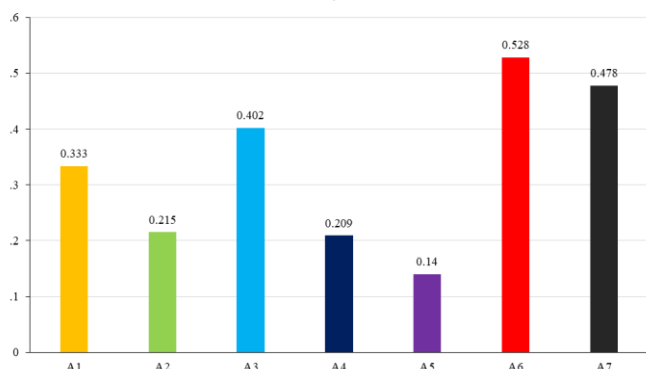
Table 6. Analysis of variance according to cultivar type and farm age in sugarcane harvesting waste

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
S.V	df	(MS)
تکرار (Rep)	2	0.05 ^{ns}
سن مزرعه	4	0.82 ^{**}
تکرار × سن مزرعه	8	0.04 ^{ns}
Rep × Farm age	3	0.17 ^{ns}
ارقام نیشکر	12	0.40 ^{**}
Sugarcane cultivars		
سن مزرعه × ارقام نیشکر		
Farm age × Sugarcane cultivars		

ns, **و* به ترتیب عدم اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and ** show no significant difference, significant difference at the 5 and 1% probability of error level respectively.

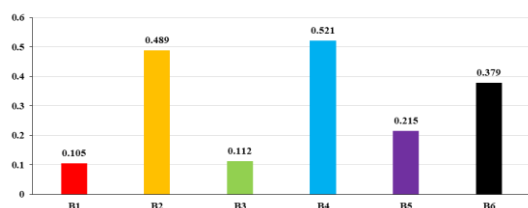
نرخ ناسازگاری = ۰.۰۴
Inconsistency rate = 0.04



شکل ۷- وزن زیرمعیارهای مربوط به عدم مدیریت صحیح مزرعه
Fig 7. The weight of the sub-criteria related to the lack of proper management of the farm

همان طور که در شکل ۸ نشان داده شده است، نداشتن برنامه زمانی مناسب جهت تعیین زمان برداشت در شب (۰/۵۲۱) و عدم صحیح برداشت سبز (۰/۴۸۹) مؤثرترین زیرمعیارها در میزان ضایعات مزرعه‌ای حاصل از برداشت نیشکر شناخته شد. در هنگام برداشت محصول نیشکر باید زمان برداشت را متناسب با وضعیت مزرعه و همچنین نوع برداشت را با توجه به نوع رقم محصول باید انتخاب کرد تا میزان ضایعات حاصل از برداشت نیشکر به حداقل ممکن برسد. برداشت در هنگام شب نیاز به دقت زیاد دارد پس باید اپراتورهای ماهر را وارد کار کرد و همچنین نظارت کافی در هنگام برداشت در شب داشته باشند. مطالعات نشان می‌دهد که ۲۰ تا ۳۰ درصد از کل ساکارز تولیدی به وسیله گیاه نیشکر به دلایل مختلفی چون زمان و نحوه برداشت محصول، تأخیر در فرآوری شکر از محصول برداشت شده، ضعف مکانیزاسیون و تلفات حادث شده در بخش صنعت از دست می‌رود (Saxena et al., 2010).

نرخ ناسازگاری = ۰.۰۲
Inconsistency rate = 0.02



شکل ۸- وزن زیرمعیارهای مربوط به عدم مدیریت صحیح برداشت

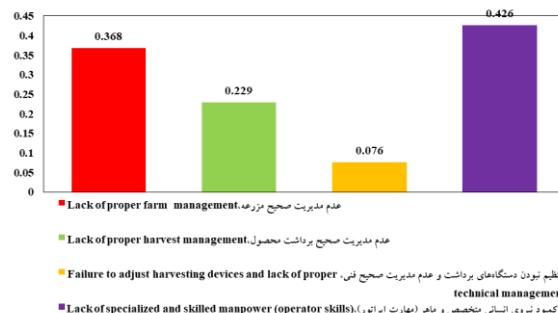
Fig 8. The weight of the sub-criteria related to the lack of proper harvest management

در شکل ۹ وزن زیرمعیارهای مربوط به تنظیم نبودن دستگاه‌های برداشت و عدم مدیریت صحیح فنی مشخص شده است. عدم تنظیم ارتفاع تاپر (سرنی زن)، عدم تنظیم تیغه (بیس کاتر) و عدم تنظیم غلتک‌های تغذیه به ترتیب با وزن‌های ۰/۵۵۶، ۰/۵۱۱ و ۰/۴۳۲ از زیرمعیارهای مهم در میزان ضایعات مزرعه‌ای حاصل از برداشت نیشکر

مثبتی بر میزان ضایعات را دارد. پس مزارعی که سن آن‌ها پایین است باید توسط افرادی که آموزش و تجربه زیاد دارند برداشت شوند. نتایج این بخش در تأیید تجزیه و تحلیل آماری در بخش قبل می‌باشد.

(Zaki Dizji & Manjezi, 2017) در مطالعه‌ای به بررسی ارزیابی منابع ایجاد ضایعات طی فرآیند تولید نیشکر و ارائه راهکارهای کاهش ضایعات نشان دادند، فرآیند تولید این محصول، ضایعات بالایی به دنبال دارد. بخشی از این ضایعات مربوط به شرایط تولید محصول در مزرعه و بخشی مربوط به فرآوری تولید شکر از نیشکر در کارخانه است که با بررسی، شناسایی و اولویت‌بندی منابع ایجاد ضایعات طی فرآیند تولید نیشکر و ارائه راهکارهای کاهش ضایعات، از طریق مصاحبه و نظرخواهی از کارشناسان و متخصصان واحدهای تولیدی در کشت و صنعت‌ها، در جهت کاهش ضایعات اقدام شد. با توجه به نتایج حاصله، منابع ایجاد ضایعات به صورت مراحل امور زیربنایی و تهیه زمین، کاشت، استفاده شد. به منظور اولویت‌بندی این منابع از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. نتایج نشان داد که مرحله برداشت مهم‌ترین منبع است. حمل‌نی، فرآوری پس از برداشت و صنعت، مرحله کاشت، مرحله داشت، مرحله بازرویی و مرحله تهیه زمین به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.

نرخ ناسازگاری = ۰.۰۴
Inconsistency rate = 0.02

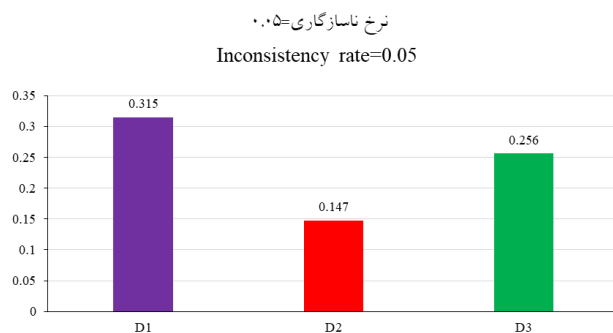


شکل ۶- وزن معیارها برای تعیین مهم‌ترین عامل ضایعات حاصل از برداشت نیشکر

Fig 6. The weight of the criteria to determine the most important factor of sugarcane harvesting waste

در شکل ۷ وزن زیرمعیارهای هر یک از معیارها نشان داده شده است. از بین زیرمعیارهای مربوط به معیار عدم مدیریت صحیح مزرعه، بالا بودن میزان رطوبت مزرعه (۰/۵۲۸) و بالا بودن میزان ورس (۰/۴۷۸) از زیرمعیارهای مهم ضایعات حاصل از برداشت نیشکر است. در این نتایج با توجه به وزن زیرمعیارها میزان رطوبت مزرعه رابطه مستقیمی با میزان ضایعات حاصل از برداشت نیشکر را دارد. در هنگام برداشت محصول، میزان رطوبت مزرعه باید بررسی شود تا کمترین تلفات محصول را داشته باشیم.

در معیار کمبود نیروی انسانی متخصص و ماهر (مهارت اپراتور)، زیرمعیارهای کنترل و هدایت نادرست ماشین برداشت (۰/۳۱۵) و فقدان آموزش کافی برای اپراتورها (۰/۲۵۶) از مهم‌ترین زیرمعیارها در میزان ضایعات مزرعه‌ای حاصل از برداشت نیشکر مشخص شدند که در شکل ۱۰ مشخص شده است. کشت و صنعت‌های نیشکری باید کلاس‌های آموزشی (تئوری و عملی) برای افزایش مهارت اپراتور دستگاه‌ها توسط افراد متخصص و ماهر برگزار کنند و هزینه کافی را در اختیار این مجموعه قرار بدهند تا بتوان آموزش لازم را با ترفندهای مختلف در اختیار اپراتور دستگاه‌ها قرار بدهند و نتیجه آن باعث کاهش میزان ضایعات مزرعه‌ای و افزایش سوددهی کشت و صنعت‌ها می‌شود.



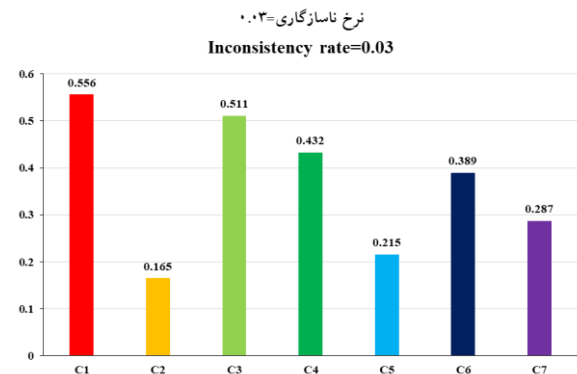
شکل ۱۰- وزن زیرمعیارهای مربوط به کمبود نیروی انسانی متخصص و ماهر (مهارت اپراتور)

Fig 10. The weight of the sub-criteria related to the lack of specialized and skilled human labor (operator skills)

وزن نهایی زیرمعیارها با توجه به وزن معیارها در جدول ۹ مشخص شده است. وزن نهایی همه زیرمعیارها از حاصل ضرب وزن نسبی معیارها و زیرمعیارهای هر کدام از معیارها محاسبه شد. وزن نهایی زیرمعیارها نشان داد که تأثیرگذارترین عوامل شامل: کنترل و هدایت درست سبد حمل‌نی، فقدان آموزش کافی برای اپراتورها و عدم قرار گرفتن محصول (استقرار گیاه) روی سطح کشت به ترتیب با وزن‌های ۰/۱۴۷، ۰/۲۵۶ و ۰/۴۰۲ می‌باشد. همچنین رتبه‌بندی کل زیر معیارها نسبت به هم در میزان ضایعات حاصل از برداشت نیشکر در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

طی فصل برداشت نیشکر مقداری از محصول هنگام بارگیری سبدهای حمل و یا ورود و خروج آن‌ها از مزرعه روی زمین می‌ریزد. مقداری از این ریزش‌ها نیز در طی مسیر انتقال محصول برداشتی به کارخانه صورت می‌گیرد. مشاهدات میدانی نشان داد که این مقدار ضایعات که اکثراً بدلیل له شدن در زیر چرخ‌های دستگاه‌های برداشت، فاقد بازیافت کیفی مناسب می‌باشد بطور متوسط بین ۵۰-۲۰ کیلوگرم به ازاء هر سرویس حمل می‌تواند باشد. لذا در صورتی که میزان حمل روزانه‌ای حدود ۵۰۰۰ تن نیشکر تصور شود که نیاز به انجام حدود ۳۵۰ نوبت سرویس می‌باشد (هر سرویس بطور میانگین ۱۵ تن) در طول یک دوره برداشت ۱۲۰ روزه حدود ۲۰۰۰-۸۰۰ تن نیشکر از این طریق ضایع خواهد شد (Shomeili, 2012).

مشخص شدند. قبل از شروع برداشت باید تنظیمات دستگاه را بررسی و قطعات مورد نیاز را تعمیر یا تعویض کرد. در هنگام برداشت نیز تنظیمات دستگاه را بررسی و متناسب با نوع رقم محصول و شکل مزرعه آن‌ها را اعمال نمود. این امر منجر به برداشت خوب محصول با حداقل تلفات مزرعه‌ای برداشت خواهد شد.



شکل ۹- وزن زیرمعیارهای مربوط به تنظیم نبودن دستگاه‌های برداشت و عدم مدیریت صحیح فنی

Fig 9. The weight of the sub-criteria related to the lack of regulation of harvesting devices and the lack of proper technical management

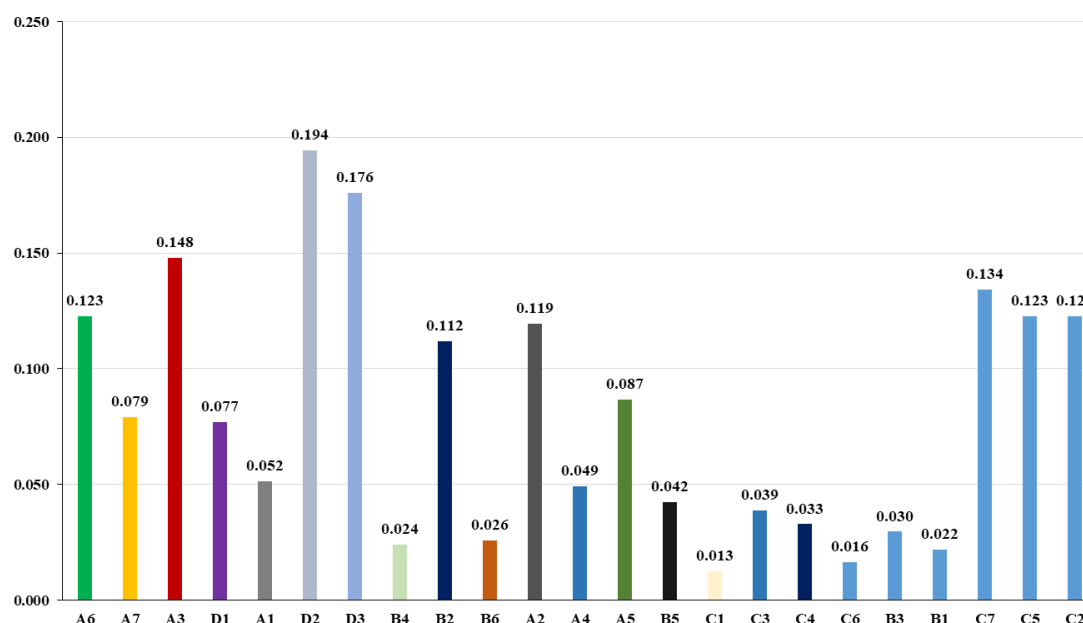
رعایت سه شرط اساسی سرعت پیشروی دروگر، سرعت دوران فن اولیه و دور موتور در تغییر حجم ضایعات یک دروگر بسیار مؤثر خواهد بود. گرچه اهمیت و نقش سرعت دوران فن اولیه که کار اصلی آن جداسازی شاخ و برگ همراه ساقه‌های نیشکر است بیش از سایرین است (Viator et al., 2007). Jesus et al. (2009) نشان می‌دهد که برش ساقه نیشکر به قطعات ۲۰-۳۰ سانتی‌متری نسبت به قطعات بلندتر ۴۰-۵۰ سانتی‌متری باعث ۲-۳ درصد ضایعات قندی ناشی از استحصال کمتر قند از ساقه می‌شود. دلیل آن خروج بیشتر شربت حین عبور نیشکر از بین قسمت‌های مختلف دروگر، کاهش سریعتر رطوبت قطعات کوچکتر و آلودگی بیشتر به عوامل میکروبی حین و پس از برداشت عنوان شده است.

عدم تعویض نمودن به موقع تیغه‌های برش زیرین دروگر باعث برش غیرمسطح ساقه شده و باقی‌مانده کنده را در محل برش شکافته یا به شدت تخریب می‌کند. چنین وضعیتی امکان آلودگی باقی‌مانده کنده را به عوامل بیماری‌زا افزایش می‌دهد و روی جوانه‌زنی مجدد مزرعه تأثیر سوئی خواهد گذاشت. عدم تنظیم مناسب تیغه برش زیرین می‌تواند قسمتی از کنده را تخریب و در کاهش جوانه‌زنی مجدد مزرعه و رسیدن به تراکم مطلوب تأثیر گذارد (Garside et al., 2011). Viator et al. (2007) نشان دادند که افزایش دور فن برای کاهش فقط یک درصد از شاخ و برگ همراه ساقه‌های نیشکر، بیش از ۴ تن در هکتار ضایعات را افزایش داد. بنابراین لازم است دور فن اولیه متناسب با حجم شاخ و برگ ورودی به دروگر و میزان چسبندگی آن‌ها به ساقه‌های نیشکر و حتی قطر ساقه‌های در حال برداشت تغییر یابد.

جدول ۹- وزن نهایی زیرمعیارها با توجه به وزن معیارها

Table 9. The final weight of the sub-criteria according to the weight of the criteria

رتبه‌بندی Ranking	وزن نهایی Final weight	نماد Symbol	رتبه‌بندی Ranking	وزن نهایی Final weight	نماد Symbol
19	0.379	B ₆	13	0.333	A ₁
23	0.556	C ₁	8	0.215	A ₂
7	0.165	C ₂	3	0.402	A ₃
16	0.511	C ₃	14	0.209	A ₄
17	0.432	C ₄	10	0.140	A ₅
6	0.215	C ₅	5	0.528	A ₆
22	0.389	C ₆	11	0.478	A ₇
4	0.287	C ₇	21	0.105	B ₁
12	0.315	D ₁	9	0.489	B ₂
1	0.147	D ₂	18	0.112	B ₃
2	0.256	D ₃	20	0.521	B ₄
			15	0.215	B ₅



شکل ۱۱- رتبه‌بندی کل زیرمعیارها نسبت به هم در میزان ضایعات حاصل از برداشت نیشکر

Fig 11. The ranking of all sub-criteria in relation to each other in the amount of waste from sugarcane harvesting

۳-۳- تجزیه و تحلیل اقتصادی

پس از برآورد میزان ضایعات مزرعای حاصل از برداشت نیشکر و مشخص شدن میزان عملکرد ناشی از تلفات در هنگام برداشت و با محاسبه تبدیل نیشکر به شکر تولیدی میزان تولید برای هر هکتار محاسبه شد. سپس با استفاده از روابط اقتصادی آورده شده در بخش قبلی درآمد کل حاصل از ضایعات مزرعای برآورد گردید. در جدول ۱۰ برآورد اقتصادی میزان ضایعات حاصل از برداشت نیشکر برای تمام مزرعه‌های مورد بررسی در این مطالعه مشاهده می‌شود. نتایج میانگین

با توجه به نتایج حاصل از بررسی میزان ضایعات حاصل از برداشت نیشکر مشخص شد که برای به حداقل رساندن میزان تلفات مزرعای باید در ابتدا عملیات زراعی در مراحل تهیه فارو و کشت با دقت کافی انجام شود، همچنین اپراتور ماشین برداشت و سبدحمل نی باید آموزش کافی و دقت لازم در انجام کار مراحل برداشت را داشته و همچنین تنظیمات دستگاه‌ها را متناسب با استقرار گیاه لحاظ کنند. و نیز لازم است قطعات مستهلک با قطعات نو جایگزین شود تا بتوان نتیجه خوبی را در کاهش ضایعات ثبت کرد.

درآمد حاصل از ضایعات نیشکر معادل ۱۲۳/۷۰ دلار به ازای هر هکتار بخش عظیمی از هزینه‌های تولید را جبران کرد. به‌دست آمد. با کنترل میزان درآمد حاصل از ضایعات مزرعه‌ای می‌توان

جدول ۱۰- برآورد اقتصادی میزان ضایعات حاصل از برداشت نیشکر

Table 10. Economic estimation of waste from sugarcane harvesting

شماره مزرعه Farm No	میانگین ضایعات نیشکر (کیلوگرم بر هکتار) Average sugarcane waste (kg ha ⁻¹)	میزان شکر (کیلوگرم) Amount of sugar (kg)	قیمت هر کیلوگرم (دلار) Price per kilogram (\$)	درآمد کل حاصل از ضایعات (دلار) Total revenue from waste (\$)
1	1730	173	0.72	124.56
2	1400	140	0.72	100.8
3	2500	250	0.72	180
4	1760	176	0.72	126.72
5	1230	123	0.72	88.56
6	1860	186	0.72	133.92
7	2330	233	0.72	167.76
8	1260	126	0.72	90.72
9	1330	133	0.72	95.76
10	1400	140	0.72	100.8
11	2260	226	0.72	162.72
12	2100	210	0.72	151.2
13	1900	190	0.72	136.8
14	1730	173	0.72	124.56
15	1360	136	0.72	97.92
16	1560	156	0.72	112.32
17	2130	213	0.72	153.36
18	1530	153	0.72	110.16
19	1760	176	0.72	126.72
20	1230	123	0.72	88.56
میانگین Average	1720	172	0.72	123.70

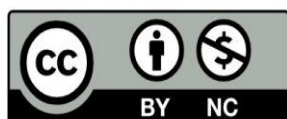
۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

میزان ضایعات با توجه به رقم و شرایط مزرعه‌ای و رطوبتی متفاوت است و با از دست دادن قسمتی از محصول (به‌عنوان ضایعات)، در اصل قسمتی از سود از دست می‌رود که این سود قسمت زیادی از هزینه‌ها را می‌تواند پوشش دهد. در زمانی که رطوبت در مزرعه بالا باشد، ضایعات افزایش می‌یابد و یا زمانی که نیشکر ورس کرده باشد، ضایعات بیشتر می‌شود. در پژوهش حاضر میزان ضایعات حاصل از برداشت نیشکر با استفاده از اندازه‌گیری ضایعات پس از برداشت نیشکر و با استفاده از اطلاعات ثبت شده مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور برای الویت‌بندی میزان ضایعات از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد. نتایج آماری اندازه‌گیری ضایعات پس از برداشت نیشکر نشان داد که سن مزرعه رابطه مستقیمی با میزان ضایعات حاصل از برداشت نیشکر دارد و با اختلاف معناداری در سطح یک درصد برآورد شد، اما با توجه به رقم نیشکر اختلاف معناداری مشاهده نشد. با مدیریت درست و صحیح آن از لحاظ زراعی و فنی می‌توان تا حدودی میزان ضایعات را کنترل کرد. همچنین با توجه به اطلاعات ثبت شده، در این مورد از اندازه‌گیری‌هایی استفاده شد که چهار معیار مؤثر به همراه ۲۳

زیرمعیار در نظر گرفته شد. با توجه به وزن به‌دست آمده در معیارها، به‌ترتیب، کمبود نیروی انسانی متخصص و ماهر (مهارت اپراتور)، عدم مدیریت صحیح مزرعه، عدم مدیریت صحیح برداشت محصول، تنظیم نبودن دستگاه‌های برداشت و عدم مدیریت صحیح فنی رتبه‌بندی شدند. با توجه به بیشترین وزن، کنترل و هدایت نادرست سید حمل نی، فقدان آموزش کافی برای اپراتورها و عدم قرار گرفتن محصول (استقرار گیاه) روی سطح کشت، سه زیرمعیار مهم مشخص شدند. همچنین برآورد اقتصادی حاصل از میزان ضایعات نیشکر نشان داد که به‌طور میانگین درآمد حاصل برابر با ۱۲۳/۷۰ دلار به ازای هر هکتار به‌دست آمد. در راستای کاهش ضایعات برداشت می‌توان با اندازه‌گیری روزانه صفات کمی و کیفی (پایش محصول) مزارع نیشکر از لحاظ رسیدگی و جهت تعیین دقیق تاریخ برداشت یک برنامه‌ریزی مناسب ایجاد کرد که با این کار عملیات برداشت به‌ترتیب تاریخ رسیدگی و با تشخیص سن مزارع نیشکر، برداشت آن‌ها به‌موقع انجام شود و باعث کنترل ضایعات نیشکر حاصل از برداشت شود. همچنین با استفاده از فناوری‌های جدید ماشین‌های برداشت نیشکر، آموزش اپراتورها جهت کفبری مناسب نیشکر و جلوگیری از ریزش‌ها مد نظر باشد.

منابع

- Aguilar-Rivera, N. (2019). *A framework for the analysis of socioeconomic and geographic sugarcane agro industry sustainability*. Socio-Economic Planning Sciences, 66: 149-160.
- Eskandari, M., Chaharlang, M., and Shirali, G. (2018). *Investigation of factors affecting the amount of raw sugar waste in the process of producing sugar from sugarcane*. Fourth international congress of agricultural development, natural resources, environment and tourism of Iran, Tabriz. (In Farsi).
- Darko, A., Chan, A. P. C., Ameyaw, E. E., Owusu, E. K., Pärn, E., and Edwards, D. J. (2019). *Review of application of analytic hierarchy process (AHP) in construction*. International journal of construction management, 19(5): 436-452.
- Garside, A. L., Bell, M. J., Robotham, B. G., Magarey, R. C. and Stirling, G. R. (2011). *Managing yield decline in sugarcane cropping systems*. A report from Sugar Yield Decline Joint Venture.
- Irfan, M., Elavarasan, R. M., Ahmad, M., Mohsin, M., Dagar, V., and Hao, Y. (2022). *Prioritizing and overcoming biomass energy barriers: Application of AHP and G-TOPSIS approaches*. Technological Forecasting and Social Change, 177: 121524.
- Jesus, E., Larrahondo, J. E., Viveros, C. and Victoria, J. (2009). *Deterioration in sugarcane after harvest: An approximation of the kinetics of the chemical process and varietal differences*. Sugar Technol. 11(2): 217-218.
- Kaab, A., Sharifi, M., Mobli, H., Nabavi-Pelesaraei, A., and Chau, K. (2019a). *Use of optimization techniques for energy use efficiency and environmental life cycle assessment modification in sugarcane production*. Energy, 181:1298–1320.
- Kaab, A., Sharifi, M., Mobli, H., Nabavi-Pelesaraei, A., and Chau, K. wing. (2019b). *Combined life cycle assessment and artificial intelligence for prediction of output energy and environmental impacts of sugarcane production*. Sci. Total Environ 664: 1005–1019.
- Khanifar, H., Ghasemipour, A., and Hashemi, M.H. (2010). *Investigating the effect of plowing and cultivators in ratoon sugarcane fields*. Proceedings of the 6th National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. Agriculture and Natural Resources Campus of Tehran University. Karaj.
- Manjezi, N., Sheikh Davodi, M., Zaki Dizji, H., Marzban, A., and Shamili, M. (2016). *Identifying and prioritizing factors affecting sugarcane production failure on time using analytic hierarchical analysis (AHP)*. Journal of Agricultural Machinery, 7 (2): 514-526.
- Anonymous. (2020). *Annual Agricultural Statistics*. <http://www.maj.ir>.
- Omrani, A., Sheikhdavoodi, M. J. and Shomeili, M. (2013). *Determine Sugarcane harvester field efficiency using global positioning system (GPS) data*. Elixir Agriculture 56: 13260-13263.
- Saaty, T. L. (1977). *A scaling method for priorities in hierarchical structures*. Journal of Mathematical. Psychology, 15(1): 234 – 281.
- Shirali, J. 2002. *Studying and indicating of the mechanized and semi-mechanized methods of sugarcane harvesting in view of economy and presenting the suitable method of harvesting in site of Mirza Kouchak Khan*. M.Sc. thesis in agricultural mechanization, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. (In Farsi).
- Saxena, P., R. Srivastava P., and Sharma, M. L. (2010). *Impact of cut to crush delay and bio-chemical changes in sugarcane*. Australian Journal Crop Science 4 (9): 692-699.
- Shomeili, M. (2012). *Evaluation of agricultural wastes produced during operation of sugarcane production*. CD Proceedings of the 7th conference of Iranian sugar cane technologists. February 21-23. Iran, Ahvaz.
- Taheri, G.A., Asakereh, A., and Haghani, K. (2010). *Energy elevation and economic analysis of canola production in Iran a case study: Mazandaran province*. Int. J. Environ. Sci. 1: 236-243.
- Viator, R.P., Richard, E. P. Viator, B. Jackson, J. W. Waguespack, H. L. and Birket, H. S. (2007). *Sugarcane chopper harvester extractor fan and ground speed effects on yield and quality*. Appl. Engin. Agri. 23(1): 31-34.
- Yousefi, A., and Mehranzadeh, M., (2017). *Investigating and evaluating the speed of the primary harvester case a 8000 fan on sugarcane waste in Karoon agricultural fields, the first national conference of agricultural and environmental sciences of Iran, Bavi*.
- Zaki Dizji, H., and Manjezi, N. (2017). *Evaluation of sources of waste generation during the sugarcane production process and providing solutions to reduce waste*. Journal of Agricultural Machinery, 8 (1): 67-77.
- Zulu, N. S., Sibanda, M., and Tlali, B. S. (2019). *Factors affecting sugarcane production by small-scale growers in Ndwedwe Local Municipality, South Africa*. Agriculture, 9(8): 170.



This is an open access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)