Village and Development

Vol.28, No.109, Spring 2025

Research Paper

Measuring Energy Consumption Efficiency and its Influencing Factors in Potato Production in Rural Areas of Ardabil City

E. Ghasemi[1], *Gh. Dashti*[2], *R. Mohammadzadeh*[3]

Received: 10 March, 2025 Accepted: 15 June, 2025

Abstract

Introduction

Energy has become a critical focus of sustainable development in recent decades due to its significant role in economic growth and its destructive impact on the environment and natural resources. Studying energy efficiency and optimizing its consumption in the production process is essential. This study aims to evaluate the factors affecting energy efficiency in potato production in rural areas of Ardabil county.

Materials and Methods

Data was collected from 160 potato farmers in Ardabil county through a questionnaire and converted into energy equivalents. The stochastic frontier production function and inefficiency model were used to analyze the data**.**

Results and Discussion

The energy inputs of seeds, machinery, labor, fertilizers, and pesticides significantly influenced the energy output of potato production. The average

1. Ph.D. Student of Agricultural Economics, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2. Corresponding Author and Professor of Agricultural Economics, University of Tabriz, Tabriz, Iran. (Dashti-g@Tabrizu.ac.ir)
3. Ph.D. Student in Agricultural Development, Department of Agricultural Development and Management, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Tehran, Iran.

DOI: 10.30490/rvt.2025.367408.1655

energy efficiency of farms was 86%, and optimizing energy resources could increase efficiency by 14%. Factors such as farmer's age, experience, land ownership, and main occupation had a significant impact on efficiency.

Conclusion
Increasing cultivation can reduce inefficiency and improve energy efficiency in potato production. Encouraging experienced farmers with agriculture as their main occupation and expanding cultivation areas can enhance energy savings and scale of production. Leveraging the expertise of experienced farmers and combining it with modern agricultural knowledge can boost productivity and efficiency. Larger-scale production can lead to economies of scale and cost savings, benefiting potato farmers in Ardabil county.

Keywords: Efficiency, Potato, SFA, Sustainable Agriculture, Translog Production Function.

روستا و توسعه

سال ۲۸، شماره ۱۰۹، بهار ۱۴۰۴

مقاله پژوهشی

اندازه‌گیری کارایی مصرف انرژی و عوامل مؤثر بر آن در تولید سیب‌زمینی مناطق روستایی شهرستان اردبیل

الهه قاسمی[۱]، *قادر دشتی*[۲]، *رویا محمدزاده*[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۳/۲۵

چکیده

سیب‌زمینی به‌عنوان یکی از محصولات استراتژیک بخش کشاورزی، نقش اساسی در تأمین امنیت غذایی و اقتصاد روستایی دارد. استفاده بهینه از منابع انرژی در تولید آن، ضمن افزایش کارایی، هزینه‌ها را کاهش داده و به کاهش اثرات زیست‌محیطی و پایداری کشاورزی کمک می‌کند. بدین ترتیب، هدف اصلی تحقیق حاضر اندازه‌گیری کارایی انرژی و شناسایی عوامل مؤثر بر آن در تولید سیب‌زمینی در مناطق روستایی شهرستان اردبیل با بهره‌گیری از رهیافت تولید مرزی تصادفی (تخمین تابع تولید ترانسلوگ همراه با مدل ناکارایی) است. اطلاعات و داده‌های مورد نیاز با مصاحبه حضوری و تکمیل پرسش‌نامه از ۱۶۰ سیب‌زمینی‌کار منطقه در سال زراعی ۰۲-۱۴۰۱ جمع‌آوری شد. سپس داده‌ها با استفاده از هم‌ارزهای استاندارد به میزان انرژی تبدیل شد. نتایج نشان داد که میانگین کارایی انرژی مزارع ۸۶/۱۵ درصد است. این نتیجه بیانگر آن است که در صورت استفاده بهینه و اصولی از منابع انرژی در تولید می‌توان انرژی خروجی محصول را حدود ۱۴ درصد افزایش داد. بر اساس نتایج حاصل از محاسبه کشش تولید نهاده‌ها، کشاورزان از عوامل بذر، کود

۱- دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۲- نویسنده مسئول و استاد اقتصاد کشاورزی، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
(Dashti-g@Tabrizu.ac.ir)

۳- دانشجوی دکتری توسعه کشاورزی، گروه مدیریت و توسعه کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

DOI: 10.30490/rvt.2025.367408.1655

شیمیایی و تراکتور در محدوده اقتصادی تولید بهره می‌گیرند. همچنین کشش تولید نیروی‌کار و سم بیانگر استفاده کمتر از حد بهینه این نهاده‌ها در فرایند تولید است. در مجموع، هرچند که سیب‌زمینی‌کاران از برخی نهاده‌ها به‌طور اقتصادی استفاده می‌نمایند، لیکن توصیه می‌شود که در راستای رعایت اصول و عملیات کشاورزی پایدار، مقادیر بهینه نهاده‌ها مدنظر زارعین منطقه قرار گیرد. برابر یافته‌های تحقیق، عوامل سن، تجربه، سطح زیرکشت، مالکیت اراضی و شغل اصلی کشاورز دارای تأثیر معنی‌دار بر کارایی است. بر همین اساس پرداختن به تولید در مزارع وسیع‌تر گامی عملی برای بهبود کارایی انرژی محصول سیب‌زمینی محسوب می‌شود؛ ضمن‌اینکه بهره‌گیری از توانایی و تجربه کشاورزان باسابقه و دارای شغل اصلی کشاورزی نیز عملاً به افزایش کارایی مصرف انرژی منجر خواهد شد.

کلید واژه‌ها: *تابع تولید ترانسلوگ، سیب‌زمینی، رهیافت مرزی تصادفی، کارایی، کشاورزی پایدار.*

مقدمه

بخش کشاورزی در سال‌های اخیر به‌دلیل رشد روزافزون جمعیت جهان، افزایش تقاضای محصولات کشاورزی، حرکت به سمت مکانیزاسیون و عدم مدیریت صحیح، به یک بخش انرژی‌–محور تبدیل شده است (Mardani Najafabadi et al., 2020). یکی از رهیافت‌های ارزیابی توسعه پایدار در بخش کشاورزی، بهره‌گیری از روش جریان انرژی است. محدودیت منابع و مسائل زیست‌–محیطی (آلودگی محیط زیست ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی)، ضرورت استفاده اصولی و بهینه انرژی را ایجاب کرده است؛ بنابراین کارایی انرژی می‌تواند به‌عنوان یک هدف در برنامه‌ریزی مدیران واحدهای کشاورزی مورد توجه قرار گیرد (Salehi Asfiji et al., 2019). کارایی انرژی یک شاخص مهم در ارزیابی پایداری سیستم‌های کشاورزی محسوب می‌شود. درواقع، می‌توان بیان داشت که یکی از عوامل مهم و اساسی برای رسیدن به کشاورزی پایدار، مصرف کارآمد انرژی است، زیرا نه تنها موجب صرفه‌جویی اقتصادی می‌شود بلکه در حفظ انرژی‌های تجدیدناپذیر همچون سوخت‌های فسیلی و کاهش آلودگی هوا نیز مؤثر است (Rahimi et al., 2024). علاوه بر این، استفاده کارا و بهینه از انرژی در تولید محصولات کشاورزی می‌تواند در بلندمدت به استمرار بقاء فعالیت‌های این بخش کمک شایان توجهی نماید. بنابراین تحلیل اقتصادی مصرف عوامل می‌تواند به بهره‌گیری مطلوب از آن‌ها منجر شده و کارایی استفاده از انرژی و تولید را افزایش دهد (Mohammadi & Mehry, 2015). به دیگر سخن، کارایی با نسبت انرژی تولیدی به مصرفی ارتباط نزدیکی دارد. بنابراین تجزیه و تحلیل کارایی انرژی از دو بعد حائز اهمیت است. نخست اینکه سیستم‌های کشاورزی می‌توانند در ارزیابی نقش فعالیت‌های اقتصادی بر ثبات و تعادل محیطی مثمر ثمر واقع

شوند. همچنین آگاهی از نحوه استفاده از انرژی در این سیستم‌ها هم به بهبود کارایی مصرف انرژی و هم به کاهش اثرات سوء حاصل از مخاطرات زیست‌محیطی در راستای دستیابی به تولید پایدار در مناطق روستایی کمک می‌کند. نظر به اهمیت بهره‌گیری اقتصادی از منابع تولید، مطالعات متعددی در خصوص کارایی انرژی واحدهای کشاورزی در خارج و داخل کشور انجام گرفته شده است. آکدمیر و همکاران (Akdemir et al., 2012) به بررسی روابط انرژی نهاده و ستاده و نیز الگوهای مختلف مصرف انرژی طی فرایند تولید محصول سیب استان آنتالیا در کشور ترکیه پرداختند. مطابق نتایج به دست آمده، به‌طور کلی در هر هکتار ۴۳۴۰۴ مگاژول انرژی به کار گرفته شده است. بر اساس مقایسات انجام گرفته، مشخص شد که میزان استفاده انرژی غیرمستقیم از انرژی مستقیم بیشتر بوده ضمن‌اینکه سهم انرژی تجدیدپذیر نیز از انرژی تجدیدناپذیر بیشتر است. آیدین و همکاران (Aydin et al., 2018) کارایی مصرف انرژی تولید محصول سیب کشور ترکیه را بررسی و به تحلیل اقتصادی تولید این محصول پرداختند. نتایج گویای آن بود که کارایی مصرف انرژی یک کشاورز خوب (نسبتاً کارا) ۱/۳۶ کیلوگرم بر مگاژول، بهره‌وری انرژی ۰/۵۷ کیلوگرم بر مگاژول و انرژی ویژه ۱/۷۷ مگاژول در هکتار است. همچنین برای یک کشاورز دارای عملکرد پایین، کارایی مصرف انرژی ۱/۲۳ کیلوگرم بر مگاژول، بهره‌وری انرژی ۰/۵۱ کیلوگرم بر مگاژول و انرژی ویژه ۱/۹۴ مگاژول بر هکتار به دست آمده است. یلمن و همکاران (Yelmen et al., 2019) به بررسی کارایی انرژی و تحلیل اقتصادی تولید گوجه‌فرنگی در منطقه مرسین کشور ترکیه پرداختند. یافته‌ها نشان داد که کل انرژی مورد نیاز در مزارع باز و گلخانه‌ای به‌ترتیب ۵۶۱۲۷/۷۷ و ۲۴۵۲۴۶/۷۸ مگاژول در هکتار است. همچنین کارایی مصرف انرژی در مزارع باز و گلخانه‌ای به‌ترتیب ۱/۱۲ و ۰/۷۵ کیلوگرم بر مگاژول و نیز نسبت درآمد – هزینه دو سامانه به‌ترتیب معادل ۲/۳۲ و ۳/۰۶ به دست آمد. بر این اساس، کارایی انرژی در سیستم باز نسبت به گلخانه بیشتر بوده، درحالی‌که سیستم گلخانه‌ای ازنظر اقتصادی سودآورتر است. قادرزاده و پیرمحمدیانی (Ghaderzadeh & Pirmohamadyani., 2019) کارایی انرژی در تولید سیب‌زمینی استان همدان را مطالعه کردند. مطابق نتایج، مجموع انرژی‌های ورودی در تولید سیب‌زمینی برای سطح یک هکتار در استان همدان، ۶۹۲۴۹/۰۲ مگاژول به دست آمد. انرژی کود شیمیایی با ۳۸/۷۸ درصد از کل انرژی مصرفی، بیشترین سهم از میان انرژی‌های ورودی را به خود اختصاص داده است. نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی و خالص انرژی برای سیب‌زمینی‌کاران به‌ترتیب برابر ۲/۲۲۴، ۰/۶۷۱ کیلوگرم بر مگاژول و ۸۴۷۵۱/۸۸ مگاژول در هکتار محاسبه شد. نیکان و دشتی (Nikan & Dashti, 2022) به بررسی مصرف انرژی و تحلیل اقتصادی تولید پیاز در استان

آذربایجان‌شرقی با برآورد تابع تولید ترانسلوگ و با استفاده از داده‌های ۲۳۰ کشاورز پیازکار پرداختند. مطابق نتایج، انرژی عوامل تولید بذر، نیروی‌کار، کود شیمیایی، کود حیوانی و آب تأثیر معنی‌داری بر انرژی خروجی محصول پیاز داشتند. همچنین کارایی مصرف انرژی، کارایی انرژی و انرژی خالص نیز به‌ترتیب ۲/۰۸، ۴/۳۳ و ۲۱۲۰۵/۴ کیلوگرم بر مگاژول به دست آمد. چاوشی و همکاران (Chavoshi et al., 2023) در تحقیقی میزان کارایی انرژی تولید گندم دیم شهرستان اهر و عوامل مؤثر بر آن را با بهره‌گیری از رهیافت مرزی تصادفی ارزیابی کردند. بر اساس یافته‌های تحقیق، میانگین کارایی انرژی تولیدکنندگان گندم برابر ۵۱ درصد به دست آمد. همچنین انرژی عوامل تولید نیروی‌کار، سموم و ماشین‌ها تأثیر معنی‌داری بر انرژی خروجی محصول گندم داشت. ضمن‌اینکه عواملی مانند فاصله مزارع تا روستا، شیب اراضی، تعداد قطعات گندم دیم و سطح زیرکشت گندم بر کارایی انرژی اثرگذار بودند. دشتی و همکاران (Dashti et al., 2024) با استفاده از رهیافت مرزی تصادفی و شاخص انرژی به برآورد کارایی انرژی و عوامل مؤثر بر آن در تولید محصول کلزا در شهرستان تبریز پرداختند. برآورد تابع تولید ترانسلوگ (برحسب انرژی نهاده‌ها و محصول) نشان داد که میانگین کارایی انرژی مزارع مورد مطالعه ۷۱/۱۷ درصد بوده و عوامل سن، بیمه محصول، میزان تحصیلات تأثیر مثبت و تعداد قطعات تأثیر منفی بر کارایی نشان دادند. بر اساس یافته‌های تحقیق، شاخص‌های انرژی شامل کارایی انرژی و بهره‌وری انرژی به‌ترتیب ۲/۳۲ و ۰/۰۹کیلوگرم بر مگاژول به دست آمد. عبدالمالکی و همکاران (Abdolmaleki et al., 2024) کارایی انرژی مزارع تولید گوجه‌فرنگی در شهرستان اسدآباد را بررسی کردند. نتایج نشان داد که شاخص کارایی و بهره‌وری انرژی به دست آمده از نسبت انرژی خروجی حاصل از محصول گوجه‌فرنگی به انرژی‌های ورودی ناشی از نهاده‌های مصرفی به‌ویژه برق با ۳۸/۹ درصد، کود ازته با ۲۶/۹ درصد و گازوئیل با ۱۵/۲ درصد، به‌ترتیب برابر با ۰/۳۴ و ۰/۴۲ مگاژول است. همچنین عامل اصلی پایین بودن کارایی و بهره‌وری انرژی، مصرف بی‌رویه نهاده‌ها به‌ویژه برق و کود ازته است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مطالعات پیشین عمدتاً بر محاسبه شاخص‌های مرسوم انرژی نظیر بهره‌وری، انرژی ویژه و نسبت انرژی تمرکز داشته‌اند. با این حال، این رویکردها غالباً ماهیتی توصیفی داشته و کمتر به تحلیل ساختاری روابط بین نهاده‌ها و ستاده‌ها از طریق توابع تولید می‌پردازد. همچنین، در تحقیقاتی که در آنها از مدل‌های اقتصادسنجی استفاده شده، اغلب توابع تولید انعطاف‌ناپذیر به ویژه تابع کاب –داگلاس به کار رفته است. این در حالی است که این قبیل توابع به دلیل برخورداری از تعداد پارامترهای کمتر، دچار محدودیت ساختاری بوده و قادر به تبیین ارتباط واقعی انرژی نهاده‌ها با انرژی ستاده نیست. بر این اساس، در مطالعه

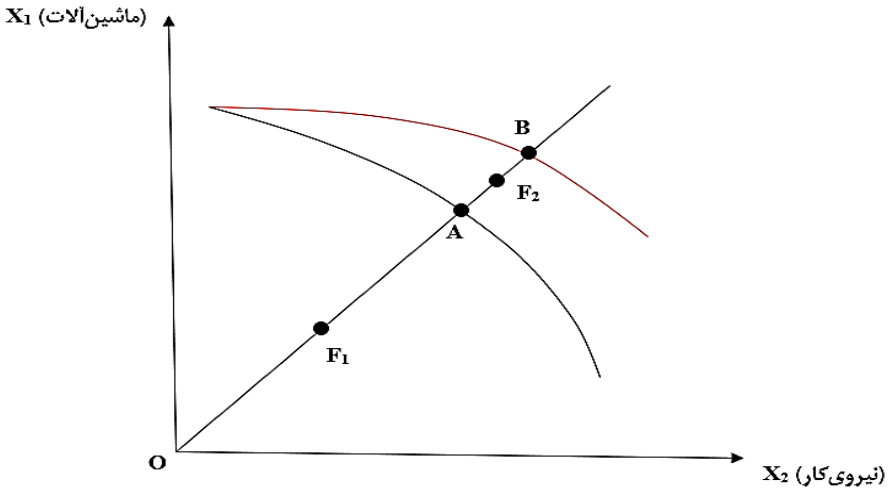
حاضر با هدف تحلیل کارایی مصرف انرژی در سطح مزرعه، از تابع تولید انعطاف‌پذیر استفاده شد. برای داشتن فهم اصولی و درک واقعی از وضعیت مصرف انرژی در مزارع شهرستان اردبیل، ابتدا یک تابع تولید انعطاف‌پذیر مناسب (تابع ترانسلوگ) برآورد و سپس کارایی انرژی مزارع محاسبه می‌شود. در ادامه، با بررسی کشش نهاده‌ها، اقتصادی یا غیراقتصادی بودن مصرف آن‌ها تحلیل و در نهایت عوامل مؤثر بر کارایی مصرف انرژی بررسی می‌شود.

سیب‌زمینی از جمله محصولات زراعی پر مصرف جهان است که در کشت آن انرژی زیادی مورد نیاز است، از این‌رو کشاورزی پایدار به‌عنوان کلیدی برای کاهش مصرف انرژی به حساب می‌آید (Singh & Sandhu, 2023). بر اساس آمار وزارت جهاد کشاورزی، در سال زراعی ۰۱-۱۴۰۰ ایران بالغ بر ۴/۶۸ میلیون تن سیب‌زمینی تولید کرده است. در این میان، شهرستان اردبیل به‌عنوان یکی از مراکز اصلی تولید با داشتن ۱۹ هزار هکتار سطح زیرکشت حدود ۵/۹ هزارتن از سیب‌زمینی کشور را در این سال تولید کرده است (Ministry of Agriculture Jahad, 2023). از آنجا که در فرآیند تولید محصول سیب‌زمینی از عوامل تولید و اشکال مختلف انرژی استفاده می‌شود، بنابراین اندازه‌گیری میزان کارایی انرژی با برآورد تابع تولید مناسب حائز اهمیت است. نتایج این پژوهش می‌تواند در بهره‌گیری اقتصادی از عوامل و ارتقای کارایی به کشاورزان کمک کند. همچنین سیاست‌گذاران با درک شرایط موجود قادر خواهند بود به‌شکل علمی‌تر برای کاهش استفاده از انرژی نهاده‌های زیانبار زیست‌محیطی نظیر کود و سم برنامه‌ریزی نمایند. بدین ترتیب، آنچه این مطالعه را از مطالعات پیشین متمایز می‌سازد، تمرکز آن بر محصول سیب‌زمینی در منطقه‌ای است که تاکنون پژوهشی با بهره‌گیری از رهیافت مرزی تصادفی در قالب تابع تولید ترانسلوگ برای ارزیابی کارایی انرژی آن صورت نگرفته است. از همین‌رو، هدف مطالعه حاضر اندازه‌گیری کارایی مصرف انرژی در تولید سیب‌زمینی در مناطق روستایی شهرستان اردبیل و شناسایی عوامل مؤثر بر آن است.

روش‌شناسی تحقیق

اصطلاحات بهره‌وری و کارایی در برخی از مطالعات اقتصادی در دهه‌های گذشته به‌جای یکدیگر به‌کار گرفته شده‌اند که این امر نادرست است، زیرا این دو عبارت دقیقاً یکسان نیستند (Coelli et al., 2005). درواقع می‌توان بیان داشت که کارایی یکی از مؤلفه‌های تغییردهنده بهره‌وری است. برای توضیح تفاوت بین کارایی و بهره‌وری از نمودار ۱ استفاده شده است. مطابق نمودار مزبور، یک مزرعه ناکارا در نقطه F_2 قرار دارد. بدین‌ترتیب علی‌رغم بهره‌مندی از فناوری نوین، هنوز نمی‌تواند بیشینه محصول ممکن را به دست آورد و لذا به‌شکل ناکارا به فعالیت خود ادامه

می‌دهد. به‌عبارت‌دیگر، هرچند که بهبود فناوری موجب انتقال تابع می‌شود و به افزایش تولید و بهره‌وری کمک می‌کند، اما هنوز می‌توان اثرات ناکارایی را ملاحظه نمود. بدین‌ترتیب می‌توان گفت که تغییر کارایی الزاماً به ارتقاء بهره‌وری منجر نمی‌شود زیرا مؤلفه‌های فناوری و مقیاس نیز از عوامل اثرگذار به شمار می‌روند.



نمودار ۱. کارایی فنی و بهره‌وری عوامل تولید

منبع: FAO, 2017

کارایی یک مفهوم مشترک میان علم اقتصاد و مدیریت است که پایه و اساس بسیاری از تصمیمات سیاسی محسوب می‌شود. کارایی تبیین‌کننده میزان موفقیت یک واحد اقتصادی در استفاده بهینه از نهاده، برای تولید ستاده در قیاس با سایر واحدهای اقتصادی است (Emami Meybodi et al., 2005). از کاربردی‌ترین روش‌های اندازه‌گیری کارایی رهیافت مرزی تصادفی بوده که بر مبنای برآورد یک تابع تولید، هزینه و سود بنا نهاده شده است. بر همین اساس انتخاب فرم تابعی مناسب حائز اهمیت است. تابع تولید مرزی تصادفی به‌صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود:

$$y_i = f(x_i, \beta)\, exp(\varepsilon_i) \qquad i=1,2,3,\ldots,N \qquad (۱)$$

بر اساس رابطه ۱، Y_i مقدار ستاده مزرعه iام، و X_i بردار نهاده‌های مورد استفاده است. همچنین، β بردار پارامترها است که باید تخمین زده شوند و ε_i جزء خطای مدل است که به‌صورت ترکیب دو مؤلفه تصادفی تعریف می‌شود. به‌طور دقیق‌تر، $\varepsilon_i = v_i - u_i$ که در آن، v_i نمایانگر مؤلفه تصادفی ناشی از عواملی خارج از کنترل تولیدکننده نظیر شرایط آب‌وهوایی، بلایای طبیعی و سایر شوک‌های تصادفی است و u_i میزان ناکارایی فنی مزرعه iام را نشان می‌دهد (Coelli et al., 2005).

بر همین اساس می‌توان ارتباط بین واریانس جمله خطای مرکب تابع تولید مرزی تصادفی (δ_v^2) و اثرات ناکارایی (δ_u^2) و واریانس کل مدل (δ^2) را به‌صورت $\delta^2 = \delta_u^2 + \delta_v^2$ تعریف کرد. بدین ترتیب، ناکارایی واریانس کل پسماند به‌صورت $\gamma = \frac{\delta_u^2}{\delta^2}$ قابل اندازه‌گیری خواهد بود[۱] (Dashti et al., 2021). چنانچه $\gamma=0$ باشد، بدان مفهوم است که اختلاف تولید به دست آمده و تولید مورد انتظار مربوط به عوامل غیرقابل کنترل یا تصادفی بوده و بنابراین ناکارایی به عملکرد تولیدکننده مربوط نمی‌شود. این در حالی است که اگر $\gamma=1$ باشد، تولیدکننده ناکارایی دارد (Coelli et al., 2005). بنابراین در صورت مواجه با چنین شرایطی $(\gamma=0)$ روش حداقل مربعات معمولی نسبت به روش حداکثر درست‌نمایی برتر خواهد بود. چنانچه بتوان قسمتی از جمله خطا را به عوامل انسانی (عوامل تحت کنترل مدیر) نسبت داد، روش حداکثر درست‌نمایی کاربرد داشته و کارایی فنی قابل‌محاسبه خواهد بود (Battese & Corra,1977). بنابراین، روش محاسبه کارایی فنی را می‌توان به‌صورت رابطه ۲ ارائه کرد:

$$TE_i = {Y_i}/{Y_i^*} = exp\,(-U_i) \qquad (۲)$$

در رابطه ۲، TE_i کارایی فنی واحد تولیدی iام، Y_i مقدار محصول واقعی و Y_i^* بیانگر میزان محصول موردانتظار مزرعه iام است. به‌منظور تبیین اهداف تحقیق، برای تبدیل مقدار هر نهاده و ستاده به واحدهای انرژی (مگاژول/هکتار)، از هم‌ارزی‌های استاندارد انرژی استخراج شده به شرح جدول ۱ بهره گرفته شد. مطابق اطلاعات مندرج در این جدول، رقم مربوط به آب نشان می‌دهد که برای استحصال و انتقال یک مترمکعب آب مصرفی ۱/۰۲ مگاژول انرژی مصرف می‌شود. این میزان انرژی نهایتاً در فرآیند تولید سیب‌زمینی به‌کار گرفته شده و در زمره انرژی ورودی محسوب می‌شود.

۱. γ عددی بین ۰ و ۱ است.

جدول ۱. ضریب‌های هم‌ارز انرژی نهاده‌ها و ستاده‌ها در تولید محصول سیب‌زمینی

انرژی نهاده و ستاده	معادل انرژی در واحد	واحد انرژی	منابع
نهاده			
نیروی‌کار	۱/۹۶	مگاژول بر ساعت	(Sigalingging et al., 2024)
ماشین‌آلات	۶۲/۷	مگاژول بر ساعت	(Sigalingging et al., 2024)
کود حیوانی	۰/۳۰	مگاژول بر کیلوگرم	(Sigalingging et al., 2024)
علف‌کش‌ها	۸۵	مگاژول بر کیلوگرم	(Sigalingging et al., 2024)
حشره‌کش‌ها	۱۱۵	مگاژول بر کیلوگرم	(Sigalingging et al., 2024)
قارچ‌کش‌ها	۲۹۵	مگاژول بر کیلوگرم	(Sigalingging et al., 2024)
نیتروژن	۷۸/۱	مگاژول بر کیلوگرم	(Sigalingging et al., 2024)
فسفر	۱۷/۴	مگاژول بر کیلوگرم	(Sigalingging et al., 2024)
پتاسیم	۱۳/۷	مگاژول بر کیلوگرم	(Sigalingging et al., 2024)
آب آبیاری	۱/۰۲	مگاژول بر مترمکعب	(Sigalingging et al., 2024)
الکتریسیته	۱۲	مگاژول بر کیلووات ساعت	(Sigalingging et al., 2024)
بذر	۹۳	مگاژول بر کیلوگرم	(Sigalingging et al., 2024)
ستاده			
سیب‌زمینی	۹۳	مگاژول بر کیلوگرم	(Sigalingging et al., 2024)

به‌منظور تعیین ارجحیت بین تابع کاب – داگلاس و ترانسلوگ، از آزمون نسبت درست‌نمایی[1] (LR) مطابق با رابطه ۳ استفاده شد:

$$\lambda = -2\left[lnL_{Cobb-Douglass} - LnL_{Translog}\right] \quad (۳)$$

بر اساس رابطه فوق، λ آماره خی‌دو با درجه آزادی R است. اگر میزان λ از ارزش بحرانی خی‌دو جدول بیشتر باشد، فرم تابعی ترانسلوگ برتر شناخته می‌شود (Wongnaa et al., 2019). فرم کلی توابع تولید کاب – داگلاس و ترانسلوگ مورداستفاده برای برآورد کارایی به‌صورت روابط ۴ و ۵ ارائه می‌شود (Tu et al., 2019):

$$LnY = \beta_i + \sum_{i=1}^{n} \alpha_i \, LnX_i \quad (۴)$$

1. Likelihood Ratio Test

$$LnY = \beta_i + \sum_{i=1}^{n} \alpha_i \, LnX_i + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} \alpha_{ii}(LnX_i)^2 + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=2}^{n} \alpha_{ij}\,(LnX_i)(LnX_j) + (v_i - u_i) \quad (۵)$$

در روابط ۴ و ۵، Y_i مقدار انرژی محصول سیب‌زمینی مزرعه iام، X_i مقادیر انرژی نهاده‌های به‌کار گرفته شده در فرآیند تولید (شامل بذر مصرفی، ماشین‌آلات، نیروی‌کار، کود شیمیایی و سموم)، β_i عرض از مبدأ مدل و α_i فراسنجه‌های مدل است. یکی از ابزارهای تحلیلی مؤثر برای بررسی اقتصاد مصرف نهاده‌ها، محاسبه کشش تولید است. این شاخص بیانگر میزان واکنش ستاده به تغییرات نسبی در مصرف نهاده‌ها بوده و نقش کلیدی در ارزیابی اقتصادی بودن کاربرد آن‌ها ایفا می‌کند. از منظر اقتصاد تولید، کشش هر نهاده بازتابی از سهم مؤثر آن در تولید نهایی است و در صورت انحراف از سطوح بهینه، می‌تواند نشانه‌ای از ناکارایی مصرف باشد. نحوه محاسبه این شاخص به شرح رابطه ۶ است (Dashti et al., 2012):

$$E = \frac{\%\Delta y}{\%\Delta X} = \frac{\Delta y}{\Delta X} \cdot \frac{y}{X} = \frac{MP}{AP} \quad (۶)$$

در رابطه ۶، E بیانگر کشش تولید، $\%\Delta y$ درصد تغییرات ستاده، $\%\Delta X$ درصد تغییرات نهاده، MP تولید نهایی و AP تولید متوسط را نشان می‌دهد. کشش تولید، که به نسبت تغییرات نسبی ستاده به نهاده تعریف می‌شود، نقش کلیدی در تحلیل نواحی اقتصادی تولید دارد. در ناحیه اول، کشش تولید بزرگ‌تر از یک بوده و توقف مصرف نهاده در این ناحیه، اقدامی غیر اقتصادی خواهد بود. در ناحیه دوم، کشش بین صفر و یک قرار می‌گیرد. در این ناحیه، هرچند که بازده نهایی نهاده‌ها روندی نزولی دارد، اما تولید همچنان افزایش یافته و بکارگیری نهاده اقتصادی تلقی می‌شود. نهایتاً در ناحیه سوم، کشش تولید منفی است و مصرف بیشتر نهاده‌ها نه تنها به افزایش تولید کمک نمی‌کند، بلکه موجب کاهش آن می‌شود و بنابراین، در این ناحیه استفاده از نهاده‌ها غیراقتصادی است (Bakhshudeh & Akbari, 2011).

در مطالعه حاضر عوامل سن، تجربه، مالکیت اراضی، سطح زیرکشت و شغل اصلی کشاورز به‌عنوان متغیرهای توضیحی در مدل لحاظ شدند و مدل ناکارایی هم همزمان با تابع تولید مطابق رابطه ۷ تخمین زده شد:

$$E_i = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{n} \alpha_i \ \delta_i \qquad (۷)$$

در رابطه بالا، E_i بیانگر کارایی انرژی، α پارامترها و δ_i عامل‌های تأثیرگذار برکارایی شامل δ_1 نشان دهنده سن کشاورز (بر حسب سال)، δ_2 سابقه سیب‌زمینی‌کار (بر حسب سال)، δ_3 مالکیت اراضی کشاورز (صفر برای اراضی غیر شخصی و یک برای زمین‌های دارای مالکیت شخصی)، δ_4 سطح زیرکشت (بر حسب هکتار)، δ_5 شغل اصلی کشاورز (صفر برای شغل غیر کشاورزی و یک برای شغل کشاورزی) است. به منظور برآورد تابع تولید، داده‌ها و اطلاعات موردنیاز از طریق تکمیل پرسش‌نامه در بین ۱۶۰ کشاورز سیب‌زمینی‌کار در مناطق روستایی شهرستان اردبیل گردآوری شد. نمونه‌گیری به روش تصادفی دو مرحله‌ای صورت گرفت. برای این منظور، در گام نخست از بین روستاهای شهرستان، تعداد ۲۰ روستا به‌صورت تصادفی انتخاب و در مرحله بعد از بین روستاهای منتخب، ۱۶۰ کشاورز برای تکمیل پرسش‌نامه در نظر گرفته شد. به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها و برآورد مدل از نرم‌افزار Stata بهره گرفته شد.

نتایج و بحث

در این مطالعه، نخست مقادیر نهاده‌ها بر اساس ارقام جدول ۱ به هم‌ارز انرژی تبدیل شد که نتایج محاسبه در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، کل انرژی ورودی سیب‌زمینی ۶۴۵۷۴/۲۳۰ مگاژول در هکتار به دست آمد که انرژی عوامل کودهای شیمیایی، بذر و سوخت به ترتیب بیشترین سهم را در بین عوامل مورد استفاده به خود اختصاص دادند. همچنین، انرژی خروجی فرآیند تولید ۱۳۶۶۶۰/۷۴۲ مگاژول در هکتار برآورد شد که این ارقام با نتایج مطالعات قادرزاده و پیرمحمدیانی (Ghaderzadeh & Pirmohamadyani, 2019) و شاه‌حسینی و همکاران (Shahhoseini et al., 2020) مطابقت دارد.

جدول ۲. مقادیر انرژی ورودی و خروجی در تولید محصول سیب‌زمینی

منابع	معادل انرژی کل (مگاژول در هکتار)	درصد از کل انرژی ورودی
	نهاده‌ها	
کود شیمیایی		
نیتروژن	۱۹۸۲۵/۹۰	۳۰/۷۳
فسفات	۴۰۰۱/۰۰۱	۵/۲۱
پتاسیم	۱۶۷۲/۰۰۲	۲/۶۲
بذر	۱۴۹۱۰/۰۰۱	۲۳/۶۹
سوخت دیزلی	۹۵۲۴/۰۱	۱۴/۷۸
آب آبیاری	۷۴۶۰/۰۲	۱۱/۷۶
سموم شیمیایی		
قارچ‌کش	۵۲۳/۰۲	۰/۸۱
علف‌کش	۳۷۹/۰۱	۰/۷
حشره‌کش	۲۵۰/۱۳	۰/۳
ماشین‌آلات	۸۷۰/۰۲	۱/۳۲
نیروی‌انسانی	۹۰۱/۰۲	۱/۴۱
کود دامی	۴۲۵۸/۱۰	۶/۶۷
کل انرژی ورودی	۶۴۵۷۴/۲۳۰	
	ستاده	
کل انرژی خروجی	۱۳۶۶۶۰/۷۴۲	

مأخذ: یافته‌های پژوهش

همانطور که قبلاً بیان شد، به منظور انتخاب فرم تابعی مناسب از آزمون نسبت درست‌نمایی تعمیم‌یافته استفاده شد. بر طبق نتایج، مقدار آماره LR محاسباتی معادل ۳۷/۴۲ به دست آمد که از آماره کای – دو جدول (۳۰/۵۸) بزرگ‌تر بوده و بنابراین برتری تابع ترانسلوگ نسبت به کاب – داگلاس تأیید شد. نتایج حاصل از برآورد تابع ترانسلوگ مرزی تصادفی در جدول ۳ ارائه شده است. یافته‌ها نشان داد که انرژی عامل‌های بذر، ماشین‌آلات، نیروی‌کار، کود شیمیایی و سم بر میزان انرژی محصول سیب‌زمینی تأثیر معنی‌دار دارند. بدین ترتیب انرژی محصول با تغییر انرژی عوامل مزبور دچار تغییر می‌شود. برآورد تابع تولید مرزی تصادفی نشان داد که میزان $\gamma = ۰/۷۶$ به دست آمده از صفر بزرگ‌تر بوده و لذا وجود ناکارایی در تولید سیب‌زمینی شهرستان اردبیل تأیید شد. بدین‌ترتیب روش حداکثر درست‌نمایی بر روش حداقل مربعات معمولی برتری داشته و برای برآورد تابع تولید ترانسلوگ و نهایتاً سنجش کارایی از این روش بهره گرفته شد.

نتایج برآورد تابع ناکارایی نیز در جدول ۳ ارائه شده است. ضرایب عوامل مورد استفاده در این تابع بیانگر تأثیر منفی و معنی‌داری عامل سن (با ضریب ۷/۱۷-) بر ناکارایی است. همانند نتایج مطالعات دشتی و همکاران (Dashti et al., 2021) و قاسمی و همکاران (Ghasemi et al., 2023) هرچه سن کشاورز افزایش می‌یابد، میزان آگاهی و تجربه وی نیز افزایش می‌یابد. بنابراین، کشاورز با اتکا به دانش و مهارتی که کسب کرده می‌تواند در راستای تولید انبوه همراه با سود اقتصادی بکوشد. عامل تجربه تأثیر منفی و معنی‌داری (۸/۱۶-) بر ناکارایی دارد. لازم به ذکر است که با بیشتر شدن تجربه کشاورزان، غالباً کیفیت و کمیت تولید نیز بهبود می‌یابد. کشاورزان با تجربه در مقایسه با کشاورزان خرده‌پا بیشتر به مسائل کشاورزی آگاه بوده که به سبب همین امر هم در اتلاف انرژی مصرفی و هم در هزینه‌های تولیدی صرفه‌جویی می‌شود. شغل اصلی نیز همانند عامل سن دارای تأثیر منفی و معنی‌دار بر کارایی است. بدین مفهوم که هر تولیدکننده‌ای که شغل اصلی وی کشاورزی باشد در مقایسه با تولیدکننده دارای شغل اصلی غیرکشاورزی کاراتر بوده که این نتیجه مطابق انتظار است. پر واضح است که در این حالت، کشاورز تمام توان فکری و سرمایه‌ای خود را برای بهبود شرایط تولید به‌کار گرفته و با دستیابی به مقدار بیشتری از ستاده عملاً به ارتقاء کارایی کمک می‌نماید. در مورد متغیر مالکیت اراضی نیز می‌توان گفت کشاورزان دارای زمین با مالکیت شخصی در مقایسه با دیگران، دارای کارایی بیشتری هستند؛ زیرا آنها به علت تعلق خاطر خاصی که به اراضی خود دارند، با علاقه و اطمینان خاطر از امکان بهره‌برداری مستمر از اراضی اقدام به سرمایه‌گذاری کرده و بدین ترتیب زمینه بهبود کارایی بیشتر فراهم می‌شود.

جدول ۳. نتایج برآورد تابع تولید ترانسلوگ مرزی تصادفی و تابع ناکارایی

متغیر	ضریب	خطای معیار	آماره Z
تابع مرزی انرژی			
عرض از مبدا	−۱۷/۱۳***	۵/۹۷	−۲/۸۷
بذر	۲/۱۶***	۰/۸۵	۲/۵۴
ماشین‌آلات	−۰/۴۲*	۰/۷۸	−۱/۶۵
نیروی‌کار	−۲/۰۴***	۰/۸۵	−۲/۳۸
کود شیمیایی	۴/۴۱***	۰/۹۵	۴/۶۳
سم	−۰/۱۶	۰/۴۵	−۰/۳۷
بذر− بذر	−۰/۰۸**	۰/۰۴	−۱/۹۰
ماشین آلات − ماشین آلات	−۰/۰۷***	۰/۰۵	−۲/۵۹
نیروی‌کار− نیروی‌کار	۰/۰۰۲	۰/۱۰۵	۰/۰۳
کود شیمیایی −کود شیمیایی	−۰/۴۴***	۰/۰۹	−۴/۵۹
سم − سم	۰/۰۴*	۰/۰۴	۱/۶۷
بذر− ماشین‌آلات	۰/۰۳*	۰/۰۳	۱/۷۱
بذر − نیروی‌کار	۰/۰۸	۰/۰۷	۱/۱۹
بذر -کود شیمیایی	−۰/۱۸***	۰/۰۸	−۲/۱۳
بذر − سم	−۰/۰۵**	۰/۰۳	−۱/۸۸
ماشین‌آلات - نیروی‌کار	−۰/۰۲	۰/۰۵	−۰/۳۴
ماشین‌آلات - کود شیمیایی	۰/۰۷**	۰/۰۸	۱/۹۴
ماشین‌آلات - سم	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۹۰
نیروی‌کار - کود شیمیایی	۰/۱۶**	۰/۰۸	۱/۸۹
نیروی‌کار − سم	−۰/۰۲***	۰/۰۳	۲/۵۹
کود شیمیایی- سم	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۹۸
δ_u^2	۰/۱۶***	۰/۰۳	۴/۲۲
δ_v^2	۰/۰۵***	۰/۰۱	۳/۱۸
γ	۰/۷۶***	۰/۰۴	۱۹/۰۴
تابع ناکارایی			
عرض از مبدا	۵۶/۱۴***	۸/۲۶	۶/۷۹
سن	−۷/۱۷*	۴/۳۲	−۱/۶۶
تجربه	−۸/۱۶**	۴/۴۸	−۱/۸۲
مالکیت اراضی	−۱۲/۱۰***	۳/۹۶	−۳/۰۵
سطح زیرکشت	−۱۰/۶۵*	۶/۶۵	−۱/۶۰
شغل اصلی	−۷/۷۰***	۲/۹۵	−۲/۶۱

مأخذ: یافته‌های پژوهش *** و** و * به ترتیب معنی‌داری در سطوح یک، پنج و ده درصد

بر اساس نتایج جدول بالا، مقدار ضریب سطح زیرکشت (۱۰/۶۵-) نیز حاکی از تأثیر منفی و معنی‌دار این متغیر بر ناکارایی است. بنابراین می‌توان گفت هرچه سطح زیرکشت محصول بیشتر شود ناکارایی کاهش یافته و کارایی انرژی تولید سیب‌زمینی افزایش می‌یابد. اساساً افزایش سطح زیرکشت و تولید در مزارع وسیع‌تر موجب می‌شود کشاورزان به‌طور معمول از مزایای صرفه‌های ناشی از مقیاس بهره لازم را ببرند. قاسمی و همکاران (Ghasemi et al., 2023) و دشتی و همکاران (Dashti et al., 2023) نیز در مطالعه خود وجود رابطه معنی‌دار بین کارایی و سطح زیرکشت را تأیید کرده‌اند.

برای ارزیابی میزان و جهت اثرگذاری متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته در تابع ترانسلوگ، کشش‌های تولید هر نهاده محاسبه شد که نتایج در جدول ۴ گزارش شده است.

جدول ۴. کشش نهاده‌های لحاظ شده در تابع تولید سیب‌زمینی

متغیر	میانگین	انحراف‌معیار	کمینه	بیشینه
بذر	۰/۹	۰/۶۵۴	-۰/۶۴	۱/۸۲
ماشین‌آلات	۰/۸۲	۰/۳۰۲	۰/۵۹	۲/۰۴
نیروی‌کار	۱/۰۴	۰/۴۲۴	-۰/۷	۱/۶۱
کود شیمیایی	۰/۶۴	۰/۲۱۲	-۰/۴۹	۰/۸۲
سم	۱/۰۹	۰/۲۴۵	-۰/۵	۲/۱۶

مأخذ: یافته‌های پژوهش

همانند نتایج پژوهش‌های قاسمی و همکاران (Ghasemi et al., 2023) و دشتی و همکاران (Dashti et al., 2025)، مقدار کشش جزئی نهاده بذر (معادل ۰/۹) بیانگر آن است که با افزایش یک درصدی در مصرف انرژی بذر، میزان انرژی خروجی سیب‌زمینی حدود ۰/۹ درصد افزایش خواهد یافت. بنابراین عامل بذر در ناحیه دوم یعنی محدوده اقتصادی تولید به‌کار گرفته می‌شود. کشش تولیدی نهاده بذر بین ۰/۶۴- تا ۱/۸۲ در نوسان است. این دامنه نشان‌دهنده آن است که بخشی از بهره‌برداران، بذر را بیش از حد بهینه مصرف کرده و در ناحیه سوم تولید قرار دارند، در حالی‌که گروهی دیگر آن را کمتر از میزان بهینه به‌کار گرفته و در ناحیه اول فعالیت می‌کنند. در هر دو حالت، استفاده غیراقتصادی از نهاده بذر موجب کاهش کارایی تولید و درنتیجه کاهش انرژی خروجی خواهد شد. میانگین کشش تولید نهاده ماشین‌آلات برابر با ۰/۸۲ و مقادیر حداقل و حداکثر آن، به‌ترتیب ۰/۵۹ و ۲/۰۴ به دست آمد که نشان‌دهنده استفاده از این نهاده در ناحیه دوم بوده هرچند که برخی از کشاورزان در ناحیه اول تولید قرار دارند. متوسط کشش نیروی کار در تولید سیب‌زمینی معادل ۱/۰۴ به دست آمد. شایان ذکر است وجود مقادیر منفی کشش در مورد برخی مزارع حاکی از استفاده بیش از حد از این نهاده و قرارگیری در ناحیه غیراقتصادی تولید است. شرایط بازار کار منطقه، از جمله

عرضه فراوان و هزینه پایین نیروی‌کار، احتمال استفاده غیربهینه از این نهاده را افزایش داده است. در مناطق دورتر که امکان اشتغال افراد در مراکز شهری وجود ندارد، به‌طور معمول عرضه نیروی‌کار در مناطق روستایی بیشتر بوده و بنابراین دستمزد آن‌ها نیز به نسبت پایین‌تر بوده و به همین دلیل استفاده از نیروی کار در برخی مزارع در ناحیه سوم صورت گرفته است. کشش تولید کود شیمیایی با میانگین ۰/۶۴، حداقل ۰/۴۹- و حداکثر ۰/۸۲ در مجموع نشان‌دهنده استفاده اقتصادی از این نهاده است. با این حال، مصرف بیش از حد آن توسط برخی بهره‌برداران می‌تواند به کاهش بازده و بروز مشکلات زیست‌محیطی منجر شود. نهایتاً کشش عامل سم با میانگین ۱/۰۹، کاربرد نسبتاً غیراقتصادی آن را در مزارع منطقه موردمطالعه نشان می‌دهد.

کارایی انرژی کشاورزان تولیدکننده سیب‌زمینی در شهرستان اردبیل در جدول ۵ ارائه شده است. مطابق نتایج، میانگین کارایی انرژی مزارع سیب‌زمینی منطقه مورد مطالعه برابر ۸۶/۱۵ درصد به دست آمده است. کمینه و بیشینه کارایی انرژی هم به‌ترتیب برابر ۶۴ و ۹۷ درصد محاسبه شد. به دیگر سخن، سیب‌زمینی‌کاران منطقه موردمطالعه، در صورت بهره‌گیری اصولی و بهینه از عوامل تولیدی می‌توانند به‌طور متوسط انرژی محصول تولیدی خود را حدود ۱۴ درصد افزایش دهند. بنابراین اگر کشاورزان بتوانند عوامل ناکارایی را از بین ببرند، با همان مقادیر انرژی‌های نهاده‌ها و بدون تحمل هزینه مازاد قادر خواهند بود انرژی محصول بیشتری به دست آورند. وجود شکاف ۳۳ درصدی بین کاراترین و ناکاراترین بهره‌برداران موردمطالعه نیز نشان می‌دهد که اختلاف فاحشی از لحاظ نحوه استفاده از عوامل تولید بین این‌دو کشاورز وجود دارد. مطابق نتایج، میزان کارایی حدود ۳/۷۵ درصد کشاورزان کمتر از ۷۰ درصد محاسبه شد. این در حالی است که کارایی ۵۰ درصد آنها بیشتر از ۹۰ درصد بدست آمد. این نتیجه حاکی از آن است که درصد زیادی از بهره‌برداران منطقه از منابع موجود به شکل کارا بهره برده‌اند.

جدول ۵. کارایی انرژی کشاورزان تولیدکننده سیب‌زمینی در شهرستان اردبیل

دامنه کارایی	فراوانی	درصد
کمتر از ۷۰	۶	۳/۷۵
۷۰-۸۰	۳۳	۲۰/۶۳
۸۰-۹۰	۴۱	۲۵/۶۲
بیشتر از ۹۰	۸۰	۵۰
میانگین	-	۸۶/۱۵
دامنه	-	۳۳/۱۲
حداقل	-	۶۴/۴۵
حداکثر	-	۹۷/۵۷
انحراف معیار	-	۸/۲۰

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نظر به اهمیت و نقش به‌سزای انرژی در فرآیند رشد و توسعه بخش‌های مختلف اقتصادی، در پژوهش حاضر به ارزیابی عوامل مؤثر بر کارایی انرژی تولید سیب‌زمینی در مناطق روستایی شهرستان اردبیل پرداخته شد. نتایج برآورد تابع تولید ترانسلوگ مرزی تصادفی (بر حسب انرژی نهاده‌ها و ستاده) نشان داد که مقادیر انرژی محصول سیب‌زمینی به‌صورت معنی‌داری از انرژی نهاده‌های بذر، ماشین‌آلات، نیروی‌کار، کود شیمیایی و سم اثر می‌پذیرد. بدین ترتیب، تغییر در مقدار مصرف هرکدام از نهاده‌های مزبور می‌تواند به‌صورت معنی‌داری مقدار تولید سیب‌زمینی را تحت تأثیر قرار دهد. میانگین کارایی انرژی ۸۶/۱۵ درصد بیانگر آن است که در صورت استفاده بهینه و اقتصادی از منابع انرژی در فرآیند تولید محصول می‌توان میزان انرژی محصول تولیدی را به مقدار قابل‌توجهی افزایش داد. نتایج بیانگر آن است که سیب‌زمینی‌کاران منطقه در صورت از بین بردن عوامل ناکارایی، با بکارگیری همان مقادیر از انرژی نهاده‌ها و بدون تحمیل هزینه مازاد، کارایی انرژی را به میزان تقریبی ۱۴ درصد افزایش دهند که نتیجه این امر افزایش سودآوری و رقابت‌پذیر شدن تولید خواهد بود. براساس نتایج محاسبات کشش تولید نهاده‌ها، استفاده از عوامل بذر، ماشین‌آلات و نیروی‌کار در ناحیه اقتصادی تولید قرار دارد. لازم به ذکر است که مقادیر بزرگ‌تر از یک و منفی کشش بیانگر استفاده غیراصولی از این نهاده‌ها در تولید سیب‌زمینی است که برهمین اساس کوشش در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی عوامل تولید باید در اولویت برنامه‌های کاری زارعین منطقه باشد. با توجه به این‌که کشش نیروی‌کار ۱/۰۴ به دست آمده، زارعین از این نهاده در ناحیه اول، لیکن نزدیک به محدوده اقتصادی استفاده می‌کنند. بدین‌ترتیب هرچند که مقادیر میانگین کشش نیروی‌کار و سم دلالت بر استفاده کمتر از حد این عوامل دارد، ولی در روستاهای دورتر از مرکز شهر برخی از کشاورزان از نیروی کار در ناحیه سوم استفاده می‌نمایند. همچنین استفاده از کود شیمیایی با توجه به میانگین کشش به دست آمده (۰/۶۴) در ناحیه دوم قرار دارد و بنابراین مصرف آن در محدوده اقتصادی صورت می‌پذیرد. شایان ذکر است مصرف بیش از حد کود، توسط پاره‌ای از کشاورزان، عملاً منجر به کاهش کارایی و ایجاد مشکلات زیست‌محیطی می‌شود. بنابراین، استفاده اقتصادی از این نهاده‌ها می‌تواند تأثیر مثبتی بر کارایی تولید و کیفیت محیط زیست داشته باشد. مطابق نتایج عوامل سن، شغل اصلی کشاورز، تجربه، سطح زیرکشت و مالکیت اراضی تأثیر معنی‌داری بر کارایی دارند. نظر به تأثیر معنی‌دار سن و تجربه کشاورزان بر کارایی تولیدکنندگان سیب‌زمینی منطقه، ارتباط بیشتر با تولیدکنندگان دارای سابقه و مهارت فنی بالاتر از عوامل مهم و تأثیرگذار بر بهبود کارایی خواهد بود. به عبارت دیگر، استفاده از دانش بومی و عملی کشاورزان آگاه به مسائل کشت

سیب‌زمینی تأثیر به‌سزایی در ارتقاء کارایی سیب‌زمینی‌کاران شهرستان اردبیل خواهد داشت. همچنین گسترش مقیاس تولید و به‌عبارتی افزایش اندازه مزرعه (میزان سطح زیرکشت)، انگیزه و امکان دسترسی به بازار نهاده‌ها و محصول را فراهم آورده و ضمن کمک به اقتصادی شدن تولید، سبب بهبود کارایی نیز می‌شود. بنابراین افزایش سطح زیرکشت سیب‌زمینی در راستای بهبود کارایی و رشد بهره‌وری عوامل تولید در منطقه موردمطالعه توصیه می‌شود. این مورد با لحاظ محدودیت‌های موجود نظیر مقادیر منابع آب و زمین و نیز امکان استفاده مستمر و پایدار از آنها امکان‌پذیر خواهد بود.

منابع

1. Abdolmaleky, M., Najafi, M. & Naderi Mahdei, K. (2024). Energy efficiency and ecological footprint analysis of tomato production farms in Asadabd county of Iran. *Agricultural Economics and Development*, *32*(1), 223-254. https://doi.org/10.30490/aead.2024.363151.1544. [In Persian]
2. Akdemir, S., Akcaoz, H. & Kizilay, H. (2012). Analysis of energy use and input costs for apple production in turkey. *Journal of food, Agriculture and Environment, 10*(2), 473-479.
3. Aydin, B., Akturk, D., Ozkan, E., Hurma, H. & Kiraci, M.A. (2018). Comparative energy use efficiency and economic analysis of apple production in Turkey: Case of Thrace Region. *Erwerbs-Obstbau*, *61*(1), 39-45. https://doi.org/10.1007/s10341-018-0387-5.
4. Bakhshudeh, M., & Akbari, A. (2011). Agricultural economics. Publisher :Shahid Bahonar University (Kerman). [In Persian]
5. Battese, G.E., & Corra, G.S. (1977). Estimation of a production frontier model: with application to the pastoral zone of Eastern Australia. *Australian Journal of Agricultural Economics, 21*(3), 169‑179.
6. Chavoshi, P., Dashti, G. & Vahedi, J. (2023). Estimation of energy efficiency and its effective factors in rainfed wheat production in Ahar county: Application of the stochastic frontier approach. *Agricultural Mechanization*, *8*(2), 33-43. https://doi.org/10.22034/jam.2023.56088.1237 [In Persian]
7. Coelli, T.J., Rao, D.S.P.O., Donnell, C.J. & Battese, G.E. (2005). An introduction to efficiency and productivity analysis. Springer Science and Business Media, New York, NY 10013, USA.
8. Dashti, G., Baghban Adami, R. & Hayati, B. (2024). Energy efficiency of canola production in Tabriz county: Application of the stochastic frontier

function and energy index approaches. *Agricultural Mechanization, 8*(4), 53-65. https://doi.org/10.22034/jam.2024.60809.1273. [In Persian]

9. Dashti, G., Chavoshi, P. & Rahmani, E. (2025). Economic aspects of energy balance in rainfed wheat production in Saqqez county. *Journal of Agricultural Mechanization*, 41-52. https://doi.org/10.22034/jam.2025.63557.1295. [In Persian]
10. Dashti, G., Ranjbar, F., Hosseinzad, J. & Hayati, B. (2012). Some economic effects of fertilizer subsidy removal in onions crop (case study in Tabriz plain area). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 22*(1), 137-147. [In Persian]
11. Dashti, G., Vahedi, J. & Hosseinzad, J. (2021). Estimation of profit efficiency and its effective factors for rainfed wheat of Ahar county. *Agricultural Economics and Development, 29*(3), 99-121. https://doi.org/ 10.30490/aead.2021.353806.1314. [In Persian]
12. Emami Meibodi, A. (2005). Principles of measuring efficiency and productivity (scientific –applied). *Institute of Business Studies and Research,2*, 290. [In Persian]
13. FAO.(2017). Fao Statistical Data. Productivity and efficiency measurement in agriculture literature review and gaps analysis. Publication prepared in the framework of the Global Strategy to improve Agricultural and Rural Statistics.
14. Ghaderzadeh, H., & Pirmohamadyani, Z. (2019). Evaluation efficiencies of energy for potato production in Hamedan province of Iran. *Journal of Agricultural Economics Resarch, 11*(2(42)), 167-202. https://doi.org/20.1001.1.20086407.1398.11.42.8.5. [In Persian]
15. Ghaderzadeh, H., & Pirmohamadyani, Z. (2019). Evaluation efficiencies of energy for potato production in Hamedan province of Iran. *Journal of Agricultural Economics Researches, 42*(11), 167-202. [In Persian]
16. Ghasemi, E., Dashti, G. & Vahedi, J. (2023). Technical efficiency, environmental efficiency and economic losses of rainfed wheat production in Ahar county. *Agricultural Economics*, *17*(1), 1-20. https://doi.org/10.22034/iaes.2022.1971035.1954. [In Persian]
17. Mardani Najafabadi, M., Abdeshahi, A. & Shirzadi Laskookalayeh, S. (2020). Determining the optimal cropping pattern with emphasis on proper use of sustainable agricultural disruptive inputs: Application of robust multi-objective linear fractional programming. *Journal of Agricultural Science and*

Sustainable Production, 30(1), 241-256. https://doi.org/ 20.1001.1.24764310.1399.30.1.15.6. [In Persian]

18. Ministry of Agriculture Jahad.(2023). Available at: www.maj.ir.
19. Mohammadi, H., & Mehry, M. (2015). An analysis of improving energy use with data envelopment analysis in horticultural products in Yazd province: Case Study Pistahio. *Quarterely Energy Economics Review, 11*(46),113-134. [In Persia]
20. Nikan, S., & Dashti, G.(2022). Energy use and economical analysis of Onion production in Iran: A case study East Azerbaijan province. *Available at SSRN* 4248638.
21. Rahimi, L., Azizi, K., Goodarzi, D., Daneshvar, M. & Heidari, S. (2024). Evaluation of energy efficiency and ecological productivity of wheat and potato agroecosystem ecosystems in Borujerd city, Lorestan province. *Crop Science Research in Arid Regions, 5*(3), 761-774. https://doi.org/ 10.22034/csrar.2023.349325.1252. [In Persian]
22. Salehi Asfiji, N., Mirhoseini.,F. & Ashrafganjoei, R. (2019). Estimating allocation efficiency of energy inputs in agricultural, industry, and services. *Applied Economics Studies, Iran (AESI), 30*(8), 223-255. https://doi.org/ 10.22084/aes.2019.17723.2764. [In Persian]
23. Shahhoseini, H. R. , Ramroudi, M. and Kazemi, H. (2020). Evaluating and comparing the sustainability of autumn and spring potato agroecosystems using Energy analysis (Case study: Golestan province). *Journal of Agriculture Science and Sustainable Production, 30*(4), 265-279. https://doi.org/10.22034/saps.2020.12316. [In Persian]
24. Sigalingging, R., Ismail, I.K., Harahap, L.A. & Sigalingging, C. (2024). Potato cultivation energy ratio in food Estate, Hutajulu, North Sumatra, Indonesia. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1302*(1), 012108. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1302/1/012108.
25. Tu, V.H., Can, N.D., Takahashi, Y., Kopp, S.W. & Yabe, M. (2019). Technical and environmental efficiency of eco-friendly rice production in the upstream region of the Vietnamese Mekong delta. *Environment, Development and Sustainability, 21*, 2401-2424. https://doi.org/10.1007/s10668-018-0140-0.
26. Wongnaa, C.A ., Awunyo-Vitor, D., Mensah, A., & Adams, F. (2019). Profit efficiency among maize farmers and implications for poverty alleviation and

food security in Ghana. *Scientific African*, *6*, e00206. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00206.

27. Yelmen, B., Shahin, H.H. & Chakir, M.T. (2019). Energy efficiency and economic analysis in tomato production: A case study of Mersin province in the Mediterranean region. *Applied Ecology and Environmental Research, 17*(4), 7371-7379. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1704_73717379.