

بررسی اثرات چند گانه جانشینی انرژی از توسعه تکنولوژی بر نرخ رشد بخش کشاورزی

فاطمه طایی سمیرمی^۱صادق خلیلیان^۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۶

چکیده

توسعه تکنولوژی که در بخش کشاورزی برای کاهش مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای صورت می‌گیرد، اثرات چندگانه‌ای بر جانشینی انرژی و در نتیجه بر نرخ رشد شاخص‌های اقتصادی و محیط‌زیستی در بخش کشاورزی می‌گذارد. هدف از انجام این مطالعه بررسی اثرات چندگانه جانشینی انرژی از توسعه تکنولوژی بر نرخ رشد شاخص‌های اقتصادی - محیط زیستی در بخش کشاورزی ایران با کاربرد تابع هزینه ترانسلوگ است. نتایج نشان داد که در صورت افزایش سطح توسعه تکنولوژی، جانشینی بین سرمایه و انرژی کاهش و درمقابل جانشینی بین نیروی کار و انرژی افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که با کاهش میزان جانشینی بین سرمایه و انرژی، اثرات منفی آن بر اقتصاد و کیفیت محیط زیست قابل توجه است و درمقابل افزایش میزان جانشینی بین نیروی کار و انرژی، اثر مثبتی بر اقتصاد و کیفیت محیط زیست می‌گذارد که میزان این اثرات با افزایش سطح بالاتر توسعه تکنولوژی بر جانشینی انرژی بیشتر شده است. از نتایج این مطالعه پیشنهاد می‌شود که برای کاهش اثرات منفی اقتصادی و محیط زیستی از کاهش موجودی سرمایه لازم است تسهیلاتی برای سرمایه‌گذاری بیشتر در بخش کشاورزی ایران اختصاص داده شود.

واژگای کلیدی: اثرات جانشینی، سرمایه‌گذاری، گازهای گلخانه‌ای، مصرف انرژی

طبقه‌بندی JEL: I28, O44, P18, Q48, Q43

۱. مقدمه

سیاست هدفمندی یارانه انرژی که با هدف صرفه‌جویی در مصرف انرژی صورت گرفت، با اثرات بازگشتی انرژی به چالش کشیده شد (پنگ و همکاران، ۱، ۲۰۲۳). بخش کشاورزی نیز از این امر مستثنی نبوده است (رایحان و همکاران، ۲، ۲۰۲۳). معمولاً بهبود بهره‌وری انرژی، یک روش مؤثر برای کاهش مصرف انرژی و آلودگی‌های محیط‌زیستی است (اعظمی و همکاران، ۱۴۰۳؛ محسن و همکاران، ۳، ۲۰۲۱؛ ژانگ و همکاران، ۴، ۲۰۲۳؛ تقوایی و همکاران، ۵، ۲۰۲۳؛ جعفری و محمدی، ۱۳۹۱). اثرات بازگشتی انرژی از توسعه تکنولوژی، یک چالش اساسی در حفاظت از محیط‌زیست است (کنگ و همکاران، ۲۰۲۳).

افزایش نرخ رشد سالانه مصرف انرژی، چالش‌های زیست‌محیطی زیادی را به‌وجود آورد (وزارت نیرو، ۱۳۹۷؛ محمدی و همکاران، ۱۴۰۲)، به این شکل که میزان انتشار گازهای دی‌اکسیدکربن که مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای در بخش کشاورزی ایران است، از ۱۳۶۸۲ هزار تن در سال قبل از هدفمندی یعنی سال ۱۳۸۹ به ۱۷۶۳۹ هزار تن در سال ۱۳۹۹ رسیده، و به بیان دیگر، میزان افزایش متوسط رشد سالیانه انتشار گازهای دی‌اکسیدکربن در بخش کشاورزی در طی این دوره برابر با ۲۸/۹۲ درصد بوده است (وزارت نیرو، ۱۳۹۹).

اجرای برخی سیاست‌های صرفه‌جویی در مصرف انرژی، ممکن است نتیجه معکوس در مصرف انرژی و محیط‌زیست داشته باشد (زیمرن و همکاران، ۷، ۲۰۲۱؛ کانسینو و همکاران، ۸، ۲۰۲۲؛ ژانگ و همکاران، ۹، ۲۰۲۳؛ ژانگ، ۱۰، ۲۰۲۳؛ جیانگ و همکاران، ۱۱، ۲۰۲۳؛ وانگ و همکاران، ۱۲، ۲۰۲۳؛ لی و همکاران، ۱۳، ۲۰۲۳).

از سوی دیگر، افزایش مصرف انرژی، منجر به گسترش بیشتر ارزش افزوده می‌شود. ادغام ارزش افزوده با توسعه تکنولوژی، به یک عامل اساسی برای پایداری رشد اقتصادی و حفظ محیط زیست

1. Peng et al. (2023)
2. Raihan et al. (2023)
3. Mohsin et al. (2021)
4. Zhang et al. (2023)
5. Taghvaei et al. (2023)
6. Kong et al. (2023)
7. Zimmermann et al. (2021)
8. Cansino et al. (2022)
9. Zhang et al. (2023)
10. Zhang (2023)
11. Jiang et al. (2023)
12. Wang et al. (2023)
13. Li et al. (2023)

تبدیل شده است (تائو و همکاران^۱، ۲۰۲۲؛ گوو و همکاران^۲، ۲۰۲۳). چالش‌هایی که اجرای این سیاست بر مصرف انرژی و محیط‌زیست به وجود آورده، بخش تولید را به سمت استفاده از تکنولوژی صرفه‌جویی در مصرف انرژی ترغیب کرده است (یمیلیانو و همکاران^۳، ۲۰۲۳).

نگرانی‌های گسترده‌ای نیز برای توسعه تکنولوژی در سراسر جهان وجود دارد، که در برخی مطالعات، به تأثیرات منفی آن اشاره شده که از این مطالعات، می‌توان به مطالعه وو و همکاران^۴ (۲۰۲۰)؛ ایرم و همکاران^۵ (۲۰۲۰)؛ وو و همکاران^۶ (۲۰۲۱) اشاره کرد و برخی دیگر، به تأثیرات مثبت آن اشاره نموده‌اند. از این مطالعات، می‌توان به مطالعات برتولدی و موسکونی^۷ (۲۰۲۰)؛ اکرم و همکاران^۸ (۲۰۲۰)؛ بلوچ و همکاران^۹ (۲۰۲۰) و دل آنا^{۱۰} (۲۰۲۱) اشاره نمود.

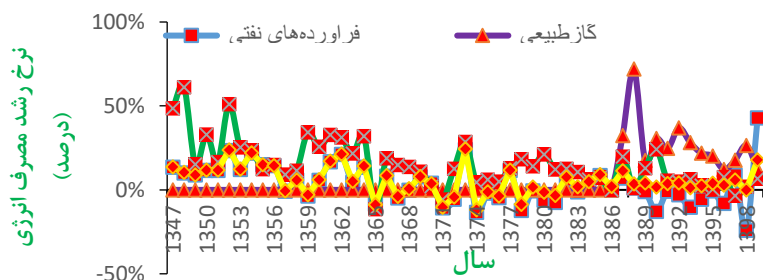
کشورها مقررات زیست‌محیطی را برای دستیابی به توسعه پایدار و پایداری اکولوژیکی وضع می‌کنند. با این وجود، مقررات زیست‌محیطی، پایداری زیست‌محیطی را تضمین نمی‌کند تا زمانی که به صورت کارآمد اجرا شوند (احمد و همکاران^{۱۱}، ۲۰۲۲). بنابراین، بررسی اثرات توسعه تکنولوژی بر اقتصاد و محیط‌زیست، به یک موضوع اصلی در توسعه پایدار تبدیل شده است. با توجه به اهمیت موضوع، در این مقاله، اثرات چندگانه جانشینی انرژی از توسعه تکنولوژی بر نرخ رشد شاخص‌های محیط‌زیستی و اقتصادی در بخش کشاورزی ایران برای دوره هدفمندی یارانه انرژی، مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. شواهد آماری

چنان‌که شکل ۱ نشان می‌دهد، با اجرای قانون هدفمندی یارانه انرژی در بخش کشاورزی ایران، نرخ رشد مصرف حامل‌های انرژی در این بخش تغییر یافته است، به‌طوری‌که نرخ رشد مصرف فرآورده‌های نفتی از ۱/۰۲- درصد در سال قبل هدفمندی (۱۳۸۹) به ۴۲/۹ درصد در سال ۱۳۹۹، نرخ رشد مصرف گاز طبیعی از ۱۷/۵۰ درصد در سال ۱۳۸۹ به ۱۲/۲۳ درصد در سال ۱۳۹۹ رسیده است و نرخ رشد برق مصرفی از ۱۳ درصد در سال قبل هدفمندی (۱۳۸۹) به ۶/۶۹ درصد در سال ۱۳۹۹ رسیده است که این افزایش نرخ رشد مصرف در حامل‌های انرژی منجر به برگشت انرژی می‌شود

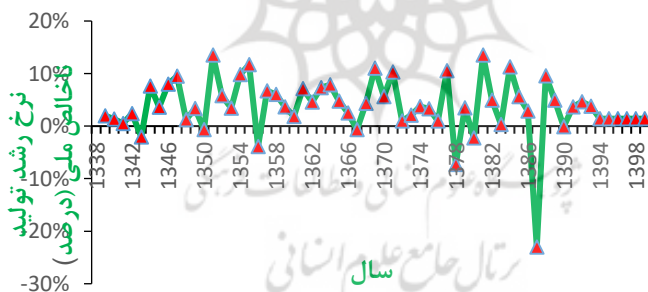
1. Tao et al. (2022)
2. Guo et al. (2023)
3. Yemelyanov et al. (2023)
4. Wu et al. (2020)
5. Iram et al. (2020)
6. Wu et al. (2021)
7. Bertoldi & Mosconi (2020)
8. Akram et al. (2020)
9. Baloch et al. (2020)
10. Dell'Anna (2021)
11. Ahmed et al. (2022)

که بیشتر به دلیل افزایش نرخ رشد مصرف فرآورده‌های نفتی در بخش کشاورزی بوده، که از نرخ رشد ۴/۱۳ درصد در سال ۱۳۸۹ به نرخ ۱۷/۹۶ درصد در سال ۱۳۹۹ رسیده است (وزارت نیرو، ۱۳۹۹).



نمودار ۱: نرخ رشد مصرف حامل‌های مختلف انرژی در بخش کشاورزی ایران
(منبع: وزارت نیرو، ۱۳۹۹)

چنان‌که نمودار ۲ نشان می‌دهد، میزان نرخ رشد تولید ناخالص داخلی در بخش کشاورزی ایران در دوره هدفمندی یارانه انرژی از (۰/۱-) درصد در سال ۱۳۹۰ به میزان ۱/۴ درصد در سال ۱۳۹۹ رسیده است که این بیانگر افزایش نرخ رشد تولید ناخالص ملی در دوره هدفمندی یارانه انرژی در بخش کشاورزی ایران است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۹).



نمودار ۲: میزان نرخ رشد تولید ناخالص ملی در بخش کشاورزی ایران
(منبع: مرکز آمار ایران، ۱۳۹۹)

۳. پیشینه پژوهش

در این راستا و در ادامه، به بررسی نتایج مطالعات انجام شده در زمینه توسعه تکنولوژی پرداخته شده است (ژنگ و همکاران، ۲۰۲۳)، به این نتیجه دست یافتند که یک ارتباط N معکوس بین توسعه فناوری و انتشار کربن وجود دارد؛ به این معنی که توسعه تکنولوژی، ابتدا انتشار کربن را کاهش داده

اما زمانی که به یک سطح مشخصی رسید، شروع به افزایش انتشار گاز دی اکسید کربن می کند (اوموندی و همکاران، ۲۰۲۳).

در مطالعه‌ای با استفاده از مدل رشد نئوکلاسیک، به تجزیه و تحلیل نقش اثرات بازگشتی انرژی بر اقتصاد کشور کنیا پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که میانگین اثرات انرژی و اثرات کربن بر اقتصاد کنیا، به ترتیب ۱۵/۶۴ و ۱۳/۴۱ درصد است (کنگ و همکاران، ۲۰۲۳).

در مطالعه‌ای با استفاده از تابع تولید کاب-داگلاس و از طریق رابطه باقیمانده سولو برای سطح اقتصاد پکن، به این نتیجه دست یافتند که درجه اثرات بازگشتی انرژی در طی سال‌ها به تدریج کاهش یافته است و در بررسی بیشتر، نشان دادند که صرفه جویی در مصرف انرژی در سطح بخش‌ها ایده آل نیست بلکه در بخش‌ها با راندمان پایین، اثرات بازگشتی بیشتر از بخش‌ها با راندمان بالا است (وی و همکاران، ۲۰۲۳). نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که داده‌ها، روش‌ها، دامنه اندازه‌گیری، مقدار برآورد، ممکن است عامل تضاد نتایج در مطالعات قبلی باشد. همچنین نتایج نشان داد که عامل فضایی و اثرات بازگشتی ناشی از فناوری، ممکن است یک مکانیسم اساسی بر پایداری انرژی باشد (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۲). یافته‌های مطالعه آن‌ها نشان داد که فناوری‌های اقلیمی اثر معنی دار و مثبتی بر توسعه انسانی و رشد اقتصادی می‌گذارد. همچنین فناوری‌های اقلیمی با کاهش ردپای اکولوژیکی در اقتصاد به پایداری زیست محیطی کمک می‌کنند (ژانگ و وی، ۲۰۲۲).

در مطالعه‌ای، به این نتیجه دست یافتند که دوره اندازه‌گیری، رویکرد اندازه‌گیری، در دسترس بودن داده‌ها و انتخاب ابزارهای تحلیلی، مهم‌ترین عوامل برای اندازه‌گیری اثرات فناوری اطلاعات و ارتباطات است که نادیده گرفتن این موارد، به یک تحلیل نادرست از آن بر شاخص‌های اقتصادی و محیط زیستی منجر می‌شود (فونت و یوانکو و همکاران، ۲۰۲۲).

در پژوهشی، به این نتیجه رسیدند که عدم توجه به چند بعدی بودن اثرات بازگشتی که در آن ممکن است، هم نتایج مثبت و هم، نتایج منفی حاصل گردد، ممکن است منجر به یک نتیجه‌گیری نادرست شود (کوسی اوگلو و همکاران، ۲۰۲۲).

در مطالعه‌ای، به این نتیجه دست یافتند که فناوری‌های زیست محیطی، اثرات معنی داری بر ردپای اکولوژیکی می‌گذارند، به این معنی که ۱ درصد افزایش در فناوری‌های زیست محیطی، منجر به کاهش ۰/۱۲۹ درصد ردپای اکولوژیکی می‌شود (آلفاریسی و همکاران، ۲۰۲۲).

1. Omondi et al. (2023)
2. Kong et al. (2023)
3. Wei et al. (2023)
4. Zhang et al. (2022)
5. Zhang & Wei (2022)
6. Font Vivanco et al. (2022)
7. Koseoglu et al. (2022)
8. Alfarisi et al. (2022)

در پژوهش دیگری، به این نتیجه دست یافتند که یک ارزیابی کلاسیک از سیستم محصول-خدمات که فقط به بازده انرژی و اثرات زیست‌محیطی توجه داشته باشد، حتی زمانی هم که به خوبی طراحی شده باشد، ممکن است به پایداری منجر نشود؛ بلکه برای دستیابی به پایداری، باید یک ارزیابی جامع از اثرات بازگشت مورد بررسی قرار گیرد (پوپونی و همکاران^۱، ۲۰۲۲).

در مطالعه‌ای، نشان دادند که برای دست یافتن به توسعه پایدار در بخش کشاورزی-غذایی، نیاز به این است که آزمایش شاخص‌ها در سطح خرد شروع شود تا قابلیت کاربرد آن‌ها تأیید گردد و تأییدیه‌ای که ممکن است در سطوح کلان داشته باشند، مشخص شود (اونات^۲، ۲۰۲۲). نتایج بررسی مطالعه آن‌ها نشان داد که برای ارزیابی اثر وسایل نقلیه الکتریکی در جهت کاهش گازهای گلخانه‌ای، باید یک ارزیابی جامع از شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی، به‌عمل آید تا توسعه پایدار حاصل شود.

وو و همکاران^۳ (۲۰۲۱) با استفاده از مدل رگرسیون آستانه پویا در کشور چین، نشان دادند که یک رابطه غیرخطی بین توسعه اینترنت و بازده انرژی سبز وجود دارد.

سیدریوس و پولدنر^۴ (۲۰۲۱)، به این نتیجه رسیدند که برای بررسی اثرات بازگشتی در صنعت نساجی هلند، رویکردهای سنتی ارزیابی اثرات بازگشتی باید تغییر کند و از یک ارزیابی جامع در سطح وسیع‌تر برای دستیابی به توسعه پایدار استفاده شود.

زی و همکاران^۵ (۲۰۲۱)، به این نتیجه دست یافتند که پیشرفت تکنولوژی منجر به افزایش کارایی انتشار کربن می‌شود.

نارا و همکاران^۶ (۲۰۲۱)، به این نتیجه رسیدند که تکنولوژی در صنعت پلاستیک، اثر مثبت بیشتری بر شاخص‌های اقتصادی نسبت به شاخص‌های محیطی و اجتماعی می‌گذارد.

دل آنا^۷ (۲۰۲۱)، نشان دادند که سرمایه‌گذاری در منابع انرژی، تأثیر مستقیم و غیرمستقیم مثبتی بر اقتصاد ایتالیا دارد.

چن و همکاران^۸ (۲۰۲۱)، به این نتیجه دست یافتند که سیاستگذاران در بررسی اثرات بازگشتی، نباید تنها به شاخص عددی کارایی توجه داشته باشند، بلکه باید زمینه‌های اجتماعی اثرات بازگشتی را نیز بررسی کنند.

1. Poponi et al. (2022)
2. Onat (2022)
3. Wu et al. (2021)
4. Siderius & Poldner. (2021)
5. Xie et al. (2021)
6. Nara et al. (2021)
7. Dell'Anna (2021)
8. Chen et al. (2021)

اکرم و همکاران^۱ (۲۰۲۰)، به این نتیجه دست یافتند که کارایی انرژی میزان انتشار گاز دی اکسیدکربن در کشورهای در حال توسعه را کاهش می دهد.

مرشد^۲ (۲۰۲۰)، با تحلیل مدل های اقتصادسنجی، نشان داد که تکنولوژی، مصرف انرژی تجدیدپذیر را افزایش می دهد و در مقابل، شدت مصرف انرژی و میزان انتشار گاز دی اکسیدکربن را کاهش می دهد.

اکرم و همکاران^۳ (۲۰۲۰)، نشان دادند که بهره وری انرژی، به کاهش انتشار گاز دی اکسیدکربن در کشورهای برزیل، روسیه، هند، چین و آفریقای جنوبی کمک می کند. همچنین نشان دادند که در بلندمدت، شوک مثبت گاز دی اکسیدکربن به مقدار زیادی انتشار گاز دی اکسیدکربن در این کشورها را کاهش می دهد، به این معنی که یک درصد افزایش در نوسان بهره وری انرژی، به کاهش دی اکسیدکربن به میزان ۰/۷۸۳ درصد در بلندمدت منجر می شود.

اسکلتون و همکاران^۴ (۲۰۲۰)، به این نتیجه رسیدند که بهبود در بازده مواد در صنعت آهن و فولاد که یک محرک خوب برای رشد است، ممکن است بیشترین اثرات بازگشتی را داشته باشد. هدف از انجام این مطالعه، آن است که نقش اثرات چندگانه جانشینی انرژی از توسعه تکنولوژی بر نرخ رشد شاخص های اقتصادی و محیط زیستی در بخش کشاورزی برای دوره هدفمندی یارانه انرژی مشخص شود.

بنابراین، بررسی اثرات چندگانه جانشینی انرژی از توسعه تکنولوژی بر شاخص های اقتصادی و محیط زیستی در بخش کشاورزی ضرورت دارد. در بررسی مطالعات فوق، این جمع بندی حاصل شد که اغلب مطالعات انجام شده در زمینه اثرات تکنولوژی بر محیط زیست و اقتصاد، کافی نبوده است. هدف از مطالعه حاضر، کمک به کاهش این شکاف با بررسی اثرات چندگانه جانشینی انرژی از توسعه تکنولوژی بر شاخص های اقتصادی-محیط زیستی در بخش کشاورزی ایران برای دوره هدفمندی یارانه انرژی می باشد.

۴. روش تحقیق

به منظور بررسی اثر چندگانه جانشینی انرژی از توسعه تکنولوژی بر نرخ رشد شاخص های اقتصادی-محیط زیستی در زمان اجرای قانون هدفمندی یارانه انرژی، ابتدا کشش خودی قیمتی تقاضای انرژی از تابع تقاضای مشروط انرژی از قضیه لم شفارد تخمین زده شد و در انتها از کشش خودی قیمتی انرژی تخمین زده شده و به عنوان ابزاری برای بررسی اثرات چندگانه جانشینی انرژی از توسعه تکنولوژی بر شاخص های اقتصادی-محیط زیستی استفاده گردیده است.

1. Akram et al. (2020)

2. Murshed (2020)

3. Akram et al. (2020)

4. Skelton et al. (2020)

این اثرات چندگانه، شامل تأثیر بر میزان نرخ رشد تولیدات کشاورزی، میزان نرخ رشد انتشار CO_2 ، میزان نرخ رشد مصرف انرژی، میزان نرخ رشد سرمایه و میزان نرخ رشد تعداد نیروی کار استفاده شد.

در این مطالعات، با پیروی از مطالعه کامپی و گاراتی^۱ (۲۰۱۸) و روتینگ و همکاران^۲ (۲۰۲۳)، از رویکرد سناریوسازی^۳ استفاده شده، که در این مطالعه، سه سناریوی افزایش تدریجی سطح تکنولوژی ۲۵ درصد (سطح پایین تکنولوژی)، ۵۰ درصد (سطح متوسط تکنولوژی) و ۱۰۰ درصد (سطح بالای تکنولوژی) برای مصرف انرژی در بخش کشاورزی، اعمال شده است. در این مطالعه، از شاخص تعداد نیروی کار، میزان تولید و میزان سرمایه به عنوان شاخص‌های اقتصادی و از میزان انرژی مصرفی و میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن به عنوان شاخص‌های محیط‌زیستی استفاده شد (مانیگاندان و همکاران^۴، ۲۰۲۳؛ شاهوردیان و همکاران^۵، ۲۰۲۳).

بر این اساس، مدل تقاضای مشروط نهاده‌ها براساس قضیه لم‌شفارد در این مطالعه به صورت زیر بیان شد:

$$X_{CE} = F(P_E, P_K, P_L, T, P_M, Y) \quad (1)$$

در رابطه (۱)، X_{CE} تابع تقاضای مشروط نهاده‌ها، P_E قیمت انرژی، P_K نرخ بهره سرمایه، P_L دستمزد، P_M قیمت دیگر نهاده‌های واسطه‌ای بجز سرمایه، T متغیر روند زمان به منظور بررسی اثرات تغییرات فنی است و Y میزان ارزش افزوده در بخش کشاورزی ایران است. بخش کشاورزی، واحد تولیدی است که از عوامل تولید برای تولید استفاده می‌کنند. این عوامل تولید در این مطالعه: میزان انرژی مصرفی، تعداد نیروی کار، میزان موجودی سرمایه و سایر واسطه‌ها هستند که با فرض اینکه مدیریت تولید، رفتار بهینه را اتخاذ کنند و به دنبال حداقل کردن هزینه‌های تولید جهت رسیدن به سطح مشخصی از تولید باشند، می‌توان تابع ضمنی زیر را که بیانگر تکنولوژی تولید است، معرفی نمود؛ یعنی تابع تبدیل ضمنی زیر را (که بیانگر تکنولوژی تولید است) معرفی نمود. این تابع تبدیل، تابعی از سطح تولید، مقدار عوامل تولید و متغیر روند است:

$$F(Y, T, L, E, M, K) = 0 \quad (2)$$

در رابطه (۲)، T متغیر روند، L تعداد نیروی کار، Y میزان ارزش افزوده، E مقدار انرژی مصرفی، K میزان موجودی سرمایه و M بیانگر سایر واسطه‌ها بجز سرمایه است.

1. Campi & Garatti (2018)

2. Rutting et al. (2023)

۳. سناریوسازی سطح توسعه تکنولوژی در بخش کشاورزی با توجه به اهمیت قانون هدفمندی یارانه انرژی در این بخش، یک آزمون برای سنجش میزان کاربرد تکنولوژی در این بخش در زمان اجرای قانون هدفمندی یارانه انرژی در سطوح مختلف افزایش تدریجی تکنولوژی است.

4. Manigandan et al. (2023)

5. Shahveridian et al. (2023)

تابع هزینه ترانسلوگ: به منظور مدل سازی در این مطالعه، از تابع هزینه ترانسلوگ استفاده می گردد. از امتیارات این روش می توان به موارد زیر اشاره کرد: اول، تابع تقاضای شرطی نهاده ها خطی است؛ دوم، پارامترهای ناشناخته کمتری دارد؛ سوم، در این روش تقاضای نهاده ها بستگی به سطح خاصی از تولید دارد؛ چهارم، به علت آنکه در تابع هزینه ترانسلوگ، قیمت نهاده ها به جای عوامل تولید در سمت راست معادله قرار دارند. به همین دلیل همخطی بین قیمت عوامل تولید که متغیر مستقل الگو هستند، ضعیف است و لذا تخمین را با مشکل مواجه نخواهد کرد (کریستنسن و همکاران، ۱۹۷۳). فرم کلی تابع هزینه ترانسلوگ در این مطالعه، به صورت زیر بیان شد:

$$\ln C_t = \alpha_0 + \sum \varphi_i \ln Y_t + \sum \beta_i \ln Y_t^2 + \sum \theta_i \ln P_{it} + \sum \sum \eta_{ij} \ln P_{it} \ln P_{jt} + 1/2 \sum \sum \delta_{ij} \ln Y_t \ln P_{jt} + \rho_i T \ln P_{it} + \varepsilon_{it} \quad i, j = K, L, E, M \quad (3)$$

در رابطه (۳)، C_t میزان هزینه، P_i قیمت عامل i ، P_j قیمت عامل j ، “ t ” زمان از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۹، α_0 ، β_i ، φ_i ، θ_i ، ρ_i ، δ_{ij} ، η_{ij} عرض از مبدأ و ضرایب هستند. یک مزیت تابع هزینه این است که می توان توابع تقاضای نهاده ها را با گرفتن مشتق جزئی از تابع هزینه نسبت به قیمت عوامل تولید به دست آورد (دبرتین، ۲۰۱۲). طبق قضیه لم شفارد، مشتق تابع هزینه به قیمت عامل تولید با تقاضای مشروط آن عامل تولید برابر است؛ بنابراین، برای محاسبه سهم هزینه ای هر یک از عوامل تولید، به روش زیر عمل می کنیم:

$$\frac{\delta \ln C_t}{\delta \ln P_{it}} = CS_{it} = \theta_i + \sum_j \eta_{ij} \ln P_{jt} + \varphi_i \ln Y_t + \rho_i T + \varepsilon_{it} \quad i, j = K, L, E, M \quad (4)$$

در رابطه (۴)، CS_{it} سهم هزینه نهاده ها، P_j قیمت نهاده j ، Y_t ارزش افزوده، T متغیر روند، θ_i ، η_{ij} و φ_i عرض از مبدأ و ضرایب هستند. در این رابطه، با تابع هزینه ترانسلوگ، شرط فوق به صورت زیر بیان شد:

$$\sum_i \theta_i = 1, \sum_i \varphi_i = 0, \sum_i \rho_i = 0, \sum_i \eta_{ij} = \sum_j \eta_{ji} = 0, \eta_{ij} = \eta_{ji}, \quad i, j = K, L, E, M \quad (5)$$

چون مجموعه سهم هزینه ها برابر با واحد است، باید یکی از معادلات سهم هزینه (سهم هزینه سایر نهاده واسطه ای بجز سرمایه) را هنگام برآورد حذف نمود. بعد از برآورد سیستم معادلات، پارامترهای مربوط به معادله سهم هزینه، حذف شده به کمک قیود تقارن و همگنی و براساس سایر پارامترهای به دست آمده، قابل محاسبه است. از آنجا که سهم های هزینه دارای ویژگی خاص جمع پذیری است، بنابراین، $n-1$ معادله سهم هزینه از استقلال خطی برخوردارند و برای رفع همبستگی معادلات، تعداد آن یکی تقلیل یافته است و به صورت زیر بیان می شود:

$$CS_{it} = \gamma_i + \sum_j \eta_{ij} \ln P'_{jt} + \phi_i \ln Y_t + \rho_i T + \varepsilon_{it} \quad i, j = K, L, E, M \quad (6)$$

$$P'_{jt} = \frac{P_{jt}}{P_{Mt}} \quad (7)$$

در رابطه (۶) و (۷)، علاوه بر پارامترها و متغیرهای که در روابط بالا معرفی شد، P'_{jt} بیانگر تعدیل قیمت عوامل تولید (نیروی کار، سرمایه و انرژی) به هزینه سایر نهاده‌های واسطه‌ای است. کشش جانشینی آلن (۱۹۳۸) - اوزاوا (۱۹۶۲) در حالت کلی، کشش جانشینی جزئی آلن - اوزاوا بین دو نهاده، با فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\sigma_{ij}^{AES} = \frac{\widehat{\eta_{ij}} + CS_i CS_j - CS_i \omega_{ij}}{CS_i CS_j} \quad (8)$$

در رابطه (۸)، $\omega_{ij} = 1$ اگر $i=j$ و $\omega_{ij} = 0$ اگر $i \neq j$ باشد، σ_{ij}^{AES} کشش جانشینی آلن - اوزاوا، CS_i سهم نهاده i ، CS_j سهم نهاده j ، $\widehat{\eta_{ij}}$ مقدار ضرایب تخمینی بین نهاده i و نهاده j است. **کشش خودی و متقاطع:** به دلیل اینکه کشش جانشینی آلن - اوزاوا ماهیت تقارنی دارد و قادر به بیان خصوصیات انحناى عملکرد تولید نیست، بنابراین، کشش قیمتی متقاطع (CPE^۱) با وجود اینکه تغییرات مطلق نهاده‌ها را به جای تغییرات نسبی نهاده‌ها اندازه‌گیری می‌کند ولی به دلیل نامتقارن بودن کشش‌ها نسبت به کشش جانشینی آلن - اوزاوا (AES^۲) برتری دارد (لیو و همکاران^۳، ۲۰۱۸). کشش خودی قیمتی تقاضای یک نهاده، نشان‌دهنده درصد تغییرات در مقدار تقاضای یک نهاده وقتی قیمت آن نهاده یک درصد تغییر می‌کند و کشش متقاطع قیمتی، نشان‌دهنده درصد تغییرات در مقدار تقاضای یک نهاده وقتی قیمت نهاده دیگر یک درصد تغییر می‌کند که با محاسبه کشش جانشینی آلن - اوزاوا، کشش‌های خودی و متقاطع قیمتی نهاده‌ها به صورت زیر محاسبه شد (توماس و تیلور^۴، ۱۹۹۵):

$$\begin{aligned} \eta_{ij} &= CS_j \times \sigma_{ij}^{AES} \\ \eta_{ii} &= CS_i \times \sigma_{ii}^{AES} \end{aligned} \quad (9)$$

در رابطه (۹)، η_{ij} کشش متقاطع تقاضا، η_{ii} کشش خودی قیمتی، CS_j سهم نهاده j ، CS_i سهم نهاده i ، σ_{ij}^{AES} کشش جانشینی آلن - اوزاوا است. در این مطالعه، جهت افزایش کارایی تخمین

1. cross-price elasticity (CPE)
2. Allen elasticity of substitution (AES)
3. Liu et al. (2018)
4. Thompson and Taylor (1995)

پارامترها، معادلات سهم هزینه نهاده‌ها، تحت عنوان سیستم معادلات همزمان با یکدیگر و به روش رگرسیون‌های به ظاهر نامرتب تخمین زده شد.

همچنین در این مطالعه، برای برآورد تغییرات مصرف انرژی از توسعه تکنولوژی با پیروی از مطالعه ولز-هنائو و همکاران^۱ (۲۰۲۰)، رابطه (۱۰) و اثرات آن بر تغییرات مصرف انرژی با پیروی از مطالعه ترنر و هانلی^۲ (۲۰۱۱)، به صورت رابطه (۱۱) بیان شد.

$$(10) \quad 1 - (\text{کشش قیمتی تقاضا}) = \text{تغییرات مصرف انرژی}$$

$$(11) \quad (\text{نرخ تکنولوژی}) \times (\text{تغییرات مصرف انرژی}) = \text{تأثیر تکنولوژی}$$

اطلاعات آماری مربوط به این مطالعه از مرکز آمار ایران، بانک مرکزی ایران، سازمان فائو و وزارت نیرو برای دوره ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۹ جمع‌آوری شده است.

۵. نتایج و بحث

نتایج آزمون ریشه واحد در متغیرها

اولین مرحله در تحلیل داده‌های سری زمانی، بررسی مسئله ریشه واحد در داده‌ها است که در این مطالعه، از آزمون ریشه واحد فیلیپس-پرون^۳ (۱۹۸۸) برای بررسی مانایی متغیرها استفاده شده است. براساس نتایج جدول ۱، بیشتر ضرایب در سطح ۵ و ۱۰ درصد معنی‌دار شده‌اند که از ضرایب معنی‌دار شده برای محاسبه کشش جانشینی بین عوامل تولید استفاده گردیده است. نتایج نشان داد که همه متغیرهای مورد بررسی در این مطالعه، انباشته از مرتبه I(1) بوده است؛ به این معنی که متغیرها در سطح مانا نیستند؛ یعنی در طول زمان میانگین، واریانس و خود کواریانس متغیرها با هم برابر نیستند و با یک بار تفاضل‌گیری مانا می‌شوند.

جدول ۱: نتایج آزمون ریشه واحد فیلیپس-پرون برای متغیرها

Series	t-Statistic	Critical Values		Result
		۵ درصد	۱۰ درصد	
$\ln P_K$	*-۹/۳۲۷	-۳/۵۹۵	-۳/۲۳۳	I(1)
$\ln P_E$	*-۳/۳۵۶	-۳/۵۹۵	-۳/۲۳۳	I(1)
$\ln P_L$	*-۳/۵۳۱	-۳/۵۹۵	-۳/۲۳۳	I(1)
$\ln P_M$	*-۳/۵۸۶	-۳/۶۳۳	-۳/۲۵۵	I(1)
$\ln Y$	**,-۶/۱۳۲	-۳/۵۹۵	-۳/۲۳۳	I(1)

(مأخذ: یافته‌های پژوهش)

** و * به ترتیب، نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۵ و ۱۰ درصد است.

1. Velez-Henao et al. (2020)
2. Turner & Hanley (2011)
3. Phillips and Perron (1988)

نتایج از تخمین سهم عوامل تولید

نتایج از تخمین معادلات سهم عوامل تولید در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج این جدول، بیشتر ضرایب ۱ در سطح ۵ و ۱۰ درصد معنادار شده‌اند که از ضرایب معنادار شده در جهت محاسبه کشش جانشینی بین عوامل تولید در بخش کشاورزی استفاده گردید.

جدول ۲: نتایج تخمین معادلات سهم عوامل تولید

Variable	SC _K	SC _L	SC _E
C	** -۲/۱۸۶ (۰/۰۰۰)	** -۱/۵۰۰ (۰/۰۱۸)	** -۰/۱۳۵ (۰/۰۴۷)
lnP _L	** -۰/۱۰۰ (۰/۰۰۳)	** ۰/۱۱۲ (۰/۰۰۰)	** -۰/۱۹۷ (۰/۰۰۱)
lnP _K	** ۰/۰۲۱ (۰/۰۳۹)	** -۰/۱۰۰ (۰/۰۰۳)	** ۰/۰۳۳ (۰/۰۰۱)
lnP _E	** ۰/۰۳۳ (۰/۰۰۱)	** -۰/۱۹۷ (۰/۰۰۱)	** ۰/۰۳۱ (۰/۰۰۰)
lnY	** ۰/۱۷۸ (۰/۰۰۰)	* ۰/۰۷۴ (۰/۰۶۷)	* -۰/۰۶۳ (۰/۰۶۳)
T	۰/۰۰۳ (۰/۴۲۶)	** -۰/۰۷۰ (۰/۰۰۰)	** ۰/۰۴۸ (۰/۰۰۰)
R ²	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۵

(مأخذ: یافته‌های پژوهش)

** و * به ترتیب، نشان‌دهنده معناداری در سطح ۵ و ۱۰ درصد است.

کشش‌های قیمتی خودی و متقاطع عوامل تولید در بخش کشاورزی

براساس نتایج جدول ۳، کشش قیمتی خودی برای انرژی، سرمایه و نیروی کار، به ترتیب، برابر با ۰/۲۹۵-، درصد؛ ۰/۴۳۶-، درصد و ۰/۳۰۷-، درصد است که نشان می‌دهد، تمام کشش‌های قیمتی خودی نهاده‌های مورد بررسی، کمتر از یک و منفی است؛ به این معنی که با افزایش قیمت نهاده‌ها، تقاضای نهاده‌ها به مقدار ناچیز کاهش می‌یابد. همچنین ارتباط بین قیمت نهاده‌ها و مقدار آن، با تئوری‌های اقتصادی سازگاری دارد. از میان آن‌ها کشش قیمتی خودی انرژی نسبت به دو نهاده دیگر کوچک‌تر است؛ به این معنی که قیمت انرژی توسط دولت در سطح پایین کنترل می‌شود. بنابراین، افزایش قیمت انرژی، اثر ناچیزی بر ذخیره‌سازی انرژی دارد.

همچنین از نتایج مشخص می‌شود که افزایش قیمت انرژی، روش مؤثری برای ذخیره‌سازی انرژی بوده، ولی کافی نبوده است، به دلیل آنکه سرعت اصلاحات قیمت‌گذاری انرژی در بخش کشاورزی پایین است. بنابراین، برای ذخیره‌سازی بیشتر انرژی در این بخش، باید سرعت اصلاحات قیمت‌گذاری انرژی در بخش کشاورزی افزایش یابد و میزان کنترل قیمت انرژی توسط دولت نیز به حداقل برسد.

۱. لازم به ذکر است که ضرائب برآورد شده توابع سهم عوامل تولید، به خودی خود معنا ندارند و تنها در قالب فرمول‌های کشش جانشینی آلن، کشش‌های قیمتی و سایر شاخص‌های اقتصادی قابل تفسیر می‌باشند.

علاوه بر این، نتایج نشان داد که کشش جانشینی (بین سرمایه و انرژی) مثبت بوده، به این معنی که سرمایه جانشین مناسبی برای انرژی در بخش کشاورزی ایران است.

همچنین نتایج نشان داد که مقدار این جانشینی برابر با $0/103$ درصد است که مقداری ناچیز و (کمتر از یک درصد) بوده، به این معنی که افزایش قیمت انرژی، اثر ناچیزی بر افزایش سرمایه گذاری در این بخش داشته است. این نتایج نشان می دهد که قیمت انرژی در بخش کشاورزی توسط دولت کنترل می شود که به دلیل کاهش هزینه های واقعی انرژی در بخش کشاورزی، انگیزه کمتری برای کاربرد تکنولوژی های صرفه جویی در مصرف انرژی در این بخش در زمان هدفمندی ایجاد می شود که این باعث شده، افزایش قیمت انرژی، اثر کمتری در کاربرد تکنولوژی ذخیره سازی انرژی داشته باشد.

این نتایج، ضرورت اصلاحات قیمت گذاری انرژی در بخش کشاورزی را آشکارتر می سازد. مقدار کشش جانشینی بین سرمایه و انرژی، مقداری ناچیز است، و این نشان می دهد، افزایش هزینه های انرژی در دوره هدفمندی یارانه انرژی، تأثیر ناچیزی در به کارگیری فناوری های صرفه جویی در مصرف انرژی برای این بخش دارد، به این معنی که توسعه تکنولوژی در دوره هدفمندی در بخش کشاورزی به کندی صورت گرفته است. این نتایج بیانگر این است که افزایش دستمزد می تواند به ذخیره سازی انرژی کمک کند؛ به خصوص در بخش کشاورزی ایران که مازاد نیروی کار وجود دارد، به طوری که می تواند به کاهش هزینه های تولید کمک قابل توجهی کند؛ به این معنی که افزایش دستمزد نیروی کار در این بخش، علاوه بر کاهش هزینه های انرژی، می تواند به کاهش مازاد نیروی کار در این بخش نیز کمک کند.

جدول ۳: کشش قیمتی خودی و متقاطع از نهاده های تولید

η_{Li}	η_{Ki}	η_{Ei}	Factor i
$-0/726$	$0/103$	$-0/244$	E
$0/206$	$-0/436$	$1/309$	K
$-0/307$	$0/088$	$-3/945$	L

(مأخذ: یافته های پژوهش)

به طور مشابه، کشش جانشینی بین نیروی کار و انرژی در این مطالعه، برابر با $-0/729$ درصد بوده، که کمتر از یک درصد است؛ به این معنی که یک درصد افزایش در قیمت انرژی، سبب کاهش افزایش انرژی در بخش کشاورزی به میزانی کمتر از یک درصد می شود. این نتایج بیان می کنند که استخدام نیروی کار در بخش کشاورزی، وابستگی کمتری به انرژی دارد و همچنین از نتایج مشخص شد که افزایش دستمزد، اثر کمی بر کاهش مازاد نیروی کار در بخش کشاورزی دارد. بنابراین، می توان با استخدام بیشتر نیروی کار در مشاغل دستی و مشاغل نیمه مکانیزاسیون، به کاهش عرضه نیروی کار در بخش کشاورزی کمک نمود؛ ولی با توجه به اینکه ظرفیت جذب بخش کشاورزی برای نیروی کار کم و تقریباً حدود ۱۵ درصد کل اشتغال کشور را شامل می شود و همچنین با توجه به اینکه نهاده سرمایه و نیروی کار جانشین یکدیگر هستند، این چالش را می توان با افزایش مستمر فناوری های

جدید صرفه جویی در مصرف انرژی جبران کرد و مقدار مازاد نیروی کار در بخش کشاورزی را کاهش داد.

بنابراین، کاهش مصرف انرژی با افزایش تعداد نیروی کار در بخش کشاورزی، رویکرد پایداری نیست؛ در نتیجه، جایگزینی نهاده سرمایه با نهاده انرژی، باید به عنوان یک رویکرد اصلی برای کاهش مصرف انرژی و کاهش آلودگی های محیط زیستی در بخش کشاورزی، مورد توجه قرار گیرد که با این راهکار، می توان سهم بخش کشاورزی از ارزش افزوده که حدود ۱۰ درصد است را افزایش داد. نتایج از تغییرات در مصرف انرژی از توسعه تکنولوژی بر جانشینی انرژی در جدول ۴ آورده شده است که از آن، برای بررسی اثرات افزایش توسعه تکنولوژی بر جانشینی انرژی و شاخص های اقتصادی- محیط زیستی در بخش کشاورزی استفاده شده است. همان طور که از نتایج جدول (۴) مشخص شد، یک درصد افزایش در سطح توسعه تکنولوژی، منجر به کاهش مصرف انرژی به میزان ۰/۷۵۶ درصد می شود که به دنبال آن، میزان سرمایه گذاری در بخش کشاورزی به میزان ۰/۰۷۸ درصد کاهش و میزان اشتغال در بخش کشاورزی به میزان ۰/۵۴۹ درصد افزایش خواهد یافت.

جدول ۴: تأثیر توسعه تکنولوژی در سطح بر جانشینی انرژی

Factor i	η_{Li}	η_{KLi}	η_{Ei}
E	-۰/۷۵۶	-۰/۰۷۸	۰/۵۴۹
K	۱/۳۰۹	-۰/۴۳۶	۰/۲۰۶
L	-۳/۹۴۵	۰/۰۸۸	-۰/۳۰۷

(مأخذ: یافته های پژوهش)

نتایج حاصل از این پژوهش، نشان داد که با افزایش تدریجی مصرف انرژی از توسعه سطوح تکنولوژی در سناریوهای ۲۵ درصد، ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد، جانشینی بین عوامل تولید در بخش کشاورزی تغییر خواهد یافت؛ به این معنی که یک افزایش ۲۵ درصدی در توسعه تکنولوژی، منجر به افزایش مصرف انرژی به میزان ۰/۵۶۷ درصد نسبت به تغییرات در مصرف انرژی با توسعه تکنولوژی در سطح می باشد که این نشان می دهد، افزایش سطح اندک توسعه تکنولوژی، منجر به اثرات بازگشتی انرژی می شود. این اثرات بازگشتی انرژی، منجر به افزایش جانشینی بین سرمایه و انرژی به میزان ۰/۰۶۸ درصد و کاهش جانشینی بین نیروی کار و انرژی به میزان ۰/۴۱۲ درصد نسبت به سطح اولیه توسعه تکنولوژی می شود، اما با افزایش بیشتر سطح توسعه تکنولوژی، تأثیر اثرات بازگشتی انرژی بر جانشینی انرژی کاهش می یابد؛ به این معنی که از میزان سرمایه گذاری در بخش کشاورزی کاسته و به میزان اشتغال زایی در این بخش افزوده می شود.

از نتایج نیز مشخص شد که یک افزایش ۷۵ درصدی در توسعه تکنولوژی، منجر به افزایش کمتر مصرف انرژی به میزان ۰/۱۸۹ درصد می شود که این بیانگر کاهش اثرات بازگشتی در نرخ بالای توسعه تکنولوژی است. کاهش اثرات بازگشتی انرژی، منجر به افزایش کمتر سرمایه گذاری به میزان ۰/۰۲ درصد و کاهش کمتر اشتغال به میزان ۰/۱۳۷ درصد می شود. بنابراین، وقتی سطح تکنولوژی به مقدار کمی افزایش می یابد، انرژی بازگشت داده می شود، اما با افزایش بیشتر سطح توسعه

تکنولوژی، اثرات بازگشتی انرژی کاهش پیدا می کند که این کاهش اثرات بازگشتی انرژی، میزان سرمایه گذاری در بخش کشاورزی را کاهش و میزان اشتغال را در بخش کشاورزی افزایش می دهد. همچنین از نتایج مشخص می شود که انرژی یک عامل ضروری برای سرمایه گذاری در بخش کشاورزی است که با افزایش سطح تکنولوژی جانشینی بین سرمایه و انرژی، کاهش و در مقابل، جانشینی بین نیروی کار و انرژی، افزایش می یابد.

جدول ۵: تحلیل سناریوی توسعه تکنولوژی بر جانشینی انرژی

η_{Li}	η_{Ki}	η_{Ei}	Factor i
سطح تکنولوژی پایین (با نرخ ۲۵ درصد)			
۰,۱۳۷	-۰,۰۱۹۵	-۰,۱۸۹	E
۰/۲۰۶	-۰/۴۳۶	۱/۳۰۹	K
-۰/۳۰۷	۰/۰۸۸	-۳/۹۴۵	L
سطح تکنولوژی متوسط (با نرخ ۵۰ درصد)			
۰,۲۷۴	-۰,۰۳۹	-۰,۳۷۸	E
۰/۲۰۶	-۰/۴۳۶	۱/۳۰۹	K
-۰/۳۰۷	۰/۰۸۸	-۳/۹۴۵	L
سطح تکنولوژی بالا (با نرخ ۷۵ درصد)			
۰,۴۱۲	-۰,۰۵۸	-۰,۵۶۷	E
۰/۲۰۶	-۰/۴۳۶	۱/۳۰۹	K
-۰/۳۰۷	۰/۰۸۸	-۳/۹۴۵	L

(مأخذ: یافته های پژوهش)

با کاهش اثرات بازگشتی از توسعه تکنولوژی، میزان نرخ رشد مصرف انرژی از ۰/۴۱۸ درصد با یک افزایش ۲۵ درصدی در توسعه تکنولوژی به ۱/۲۵۳ درصد با یک افزایش ۷۵ درصدی در توسعه تکنولوژی کاهش می یابد و در مقابل، کاهش اثرات بازگشتی، منجر به افزایش میزان انتشار گاز دی اکسید کربن به ترتیب در یک افزایش ۲۵ درصدی و ۷۵ درصدی نرخ رشد توسعه تکنولوژی به ترتیب به میزان ۰/۰۸۷ درصد و ۰/۲۶۱ درصد می شود.

بنابراین، مشخص می شود که با کاهش اثرات بازگشتی، نرخ رشد مصرف انرژی کاهش و نرخ رشد آلودگی افزایش می یابد که این کاهش در نرخ رشد مصرف انرژی و افزایش در نرخ رشد آلودگی با افزایش بیشتر اثرات بازگشتی، بیشتر می شود. این نتیجه با نتایج مطالعات استرن^۱ (۲۰۲۰) که بیان کرد، بهبود بهره وری انرژی، مصرف کل انرژی را افزایش می دهد و مطالعه چن و همکاران^۲ (۲۰۲۰) که نشان دادند، پیشرفت تکنولوژی برای کاهش مصرف انرژی فسیلی مفید است.

اثرات جانشینی انرژی، از افزایش توسعه تکنولوژی بر نرخ رشد شاخص های محیط زیستی و اقتصادی، با استفاده از آمار رسمی نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج، از بررسی شاخص های

1. Stern (2020)

2. Chen et al. (2020)

محیط‌زیستی، نشان داد که یک افزایش ۲۵ درصدی در اثرات جانشینی انرژی از توسعه تکنولوژی که منجر به کاهش جانشینی بین سرمایه و انرژی شد، سبب می‌شود نرخ رشد مصرف انرژی سالیانه در بخش کشاورزی، به میزان ۰/۰۴۳ درصد کاهش یابد و همچنین با افزایش جانشینی بین نیروی کار و انرژی، نرخ رشد مصرف انرژی سالیانه به میزان ۰/۳۰۳ درصد افزایش پیدا کند، اما با افزایش بیشتر اثرات جانشینی انرژی از افزایش توسعه تکنولوژی به میزان ۰/۷۵ درصد که با کاهش بیشتر جانشینی بین سرمایه-انرژی همراه بود، منجر به کاهش بیشتر نرخ رشد سالیانه مصرف انرژی به میزان ۰/۱۲۸ درصد شد و با افزایش بیشتر جانشینی بین نیروی کار و انرژی، میزان نرخ رشد سالیانه به میزان بیشتر یعنی ۰/۰۹۱ درصد افزایش پیدا کرد.

اثرات جانشینی انرژی از افزایش توسعه تکنولوژی بر نرخ رشد سالیانه میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن اثر گذاشت، به گونه‌ای که یک افزایش ۲۵ درصد در توسعه تکنولوژی که با کاهش جانشینی بین سرمایه و انرژی همراه است، منجر به افزایش نرخ رشد میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن به میزان ۰/۰۰۹ درصد و با افزایش جانشینی بین نیروی کار و انرژی، میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن به میزان ۰/۰۶۳ درصد کاهش یافت که این اثرات با افزایش نرخ رشد توسعه تکنولوژی به میزان ۷۵ درصد بیشتر شد، به طوری که با کاهش جانشینی بین سرمایه و انرژی، میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن به میزان ۰/۰۲۷ درصد افزایش و با افزایش جانشینی بین نیروی کار-انرژی، میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن به میزان ۰/۱۸۹ درصد کاهش یافت. بنابراین مشخص شد که با کاهش جانشینی بین سرمایه و انرژی، میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن افزایش می‌یابد.

این نتیجه، با نتایج برخی از مطالعات همخوانی داشت. از این مطالعات می‌توان به مطالعه جیانگ و خان^۱ (۲۰۲۳) که نشان دادند فناوری‌های نوآور، انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را افزایش می‌دهد، مطالعه بیانچینی و همکاران^۲ (۲۰۲۳) که نشان دادند توسعه فناوری دیجیتال، گازهای گلخانه‌ای را افزایش می‌دهد، مطالعه چانگ و همکاران^۳ (۲۰۲۳) که نشان دادند فناوری، انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را افزایش می‌دهد، مطالعه عثمان و حمار^۴ (۲۰۲۱) که بیان کردند نوآوری، به اندازه ۰/۰۹۹ درصد کیفیت محیط زیست را کاهش می‌دهد، مطالعه شعبانی و شهنازی^۵ (۲۰۱۹) که بیان کردند فناوری اطلاعات و ارتباطات، بر کاهش دی‌اکسیدکربن در بخش حمل و نقل و خدمات اثر منفی دارد، مطالعه چن و همکاران^۶ (۲۰۲۳) که نشان دادند مصرف بالای نفت در بنگلادش، منجر به افزایش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن می‌شود.

همچنین از نتایج مشخص شد که با افزایش جانشینی بین نیروی کار و انرژی، میزان انتشار کاهش می‌یابد. این نتیجه با نتایج برخی مطالعات مانند مطالعه وانگ و همکاران^۷ (۲۰۲۳) که نشان دادند

1. Jiang & Khan (2023)
2. Bianchini et al. (2023)
3. Chang et al. (2023)
4. Usman & Hammar (2021)
5. Shabani & Shahnazi (2019)
6. Chen et al. (2023)
7. Wang et al. (2023)

فناوری نوآور، سطح تخریب محیط زیست را کاهش می دهد، مطالعه مانیگاندان و همکاران^۱ (۲۰۲۳) که نشان دادند سطوح بالاتر فناوری نوآور، نرخ سرانه رشد انتشار دی اکسید کربن را کاهش می دهد، مطالعه آدبایو و همکاران^۲ (۲۰۲۳) که نشان دادند نوآوری فناورانه با محدود کردن میزان انتشار گاز دی اکسید کربن، پایداری زیست محیطی را در کوتاه مدت و بلندمدت افزایش می دهد، مطالعه هو و همکاران^۳ (۲۰۲۳) که نشان دادند کیفیت محیط زیست پس از اصلاحات فناوری نوآور بهبود می یابد، مطالعه وانگ و همکاران^۴ (۲۰۲۳) که بیان کردند اجرای آزمایشی تجارت الکترونیک شهری عمدتاً انتشار کربن شهری را کاهش می دهد، مطالعه سو و همکاران^۵ (۲۰۲۳) که نشان دادند فناوری نوآور، هم اثرات مثبت و هم، منفی بر انتشار گاز دی اکسید کربن دارد، مطالعه رایحان و همکاران^۶ (۲۰۲۳) که بیان کردند فناوری نوآورانه به میزان ۰/۱۷ درصد انتشار گاز دی اکسید کربن را کاهش می دهد، مطالعه وی و همکاران^۷ (۲۰۲۳) که نشان دادند تأثیر فناوری نوآور سبز به طوری غیرمستقیم، انتشار آلودگی را کاهش می دهد، مطالعه کاگلار^۸ (۲۰۲۳) که نشان داد تغییرات مثبت در انرژی هسته ای، تخریب محیط زیست را کاهش می دهد، مطالعه رژ و همکاران^۹ (۲۰۲۳) که نشان دادند یک شوک منفی به فناوری نوآور زیست محیطی، تأثیر منفی بلندمدتی بر کیفیت محیط زیست می گذارد، مطالعه بیانچینی و همکاران^{۱۰} (۲۰۲۳) که به این نتیجه رسیدند توسعه فناوری های زیست محیطی، انتشار گازهای گلخانه ای را کاهش می دهد، مطالعه عثمان و همکاران^{۱۱} (۲۰۲۳) که بیان کردند فناوری های نوآور به میزان قابل توجهی انتشار گازهای گلخانه ای را کاهش می دهد، مطالعه احمد و همکاران^{۱۲} (۲۰۲۰) که بیان کردند تکنولوژی نوآور، به کاهش تخریب محیط زیست کمک می کند، مطالعه هاشمی و علم^{۱۳} (۲۰۱۹) که نشان دادند یک افزایش یک درصدی در ثبت اختراع سازگار با محیط زیست، میزان انتشار گاز دی اکسید کربن را به میزان ۰/۰۱۷ درصد کاهش می دهد، مطالعه شعبان و شهناز^{۱۴} (۲۰۱۹) که بیان کردند فناوری اطلاعات و ارتباطات بر کاهش دی اکسید کربن در بخش صنعت، اثر مثبت دارد، مطالعه بندیک و همکاران^{۱۵} (۲۰۲۳) که نشان دادند دیجیتالی شدن یک شرکت، تأثیر مثبت و معنی داری بر عملکرد محیط زیست می گذارد و همچنین رابطه منفی بین انتشار آلودگی و

1. Manigandan et al. (2023)
2. Adebayo et al. (2023)
3. Hou et al. (2023)
4. Wang et al. (2023)
5. Su et al. (2023)
6. Raihan et al. (2023)
7. Wei et al. (2023)
8. Caglar (2023)
9. Rej et al. (2023)
10. Bianchini et al. (2023)
11. Usman et al. (2023)
12. Ahmad et al. (2020)
13. Hashmi & Alam (2019)
14. Shabani & Shahnazi (2019)
15. Bendig et al. (2023)

نوآوری در مطالعات شفر و همکاران^۱ (۲۰۱۹)؛ چنگ و همکاران^۲ (۲۰۲۱)؛ کائو و همکاران^۳ (۲۰۲۱)؛ جهانگر و همکاران^۴ (۲۰۲۲)؛ جهانگر و همکاران^۵ (۲۰۲۳) نیز مشاهده شد.

جدول ۶: تحلیل سناریوی اثر جانشینی انرژی از توسعه تکنولوژی بر نرخ رشد

شاخص‌های محیط‌زیستی با هدفمندی یارانه انرژی

عامل تغییر انرژی	تغییر نرخ رشد سالیانه مصرف انرژی (درصد)	تغییر نرخ رشد سالیانه انتشار گاز دی اکسید کربن (درصد)
ضریب نرخ رشد سالیانه	۲,۲۱	-۰,۴۶
سطح تکنولوژی پایین (با نرخ ۲۵ درصد)		
E	-۰,۴۱۸	۰,۰۸۷
K	-۰,۰۴۳	۰,۰۰۹
L	۰,۳۰۳	-۰,۰۶۳
سطح تکنولوژی متوسط (با نرخ ۵۰ درصد)		
E	-۰,۸۳۵	۰,۱۷۴
K	-۰,۰۸۶	۰,۰۱۸
L	۰,۶۰۵	-۰,۰۶۳
سطح تکنولوژی بالا (با نرخ ۷۵ درصد)		
E	-۱,۲۵۳	۰,۲۶۱
K	-۰,۱۲۸	۰,۰۲۷
L	۰,۹۱۰	-۰,۱۸۹

(مأخذ: یافته‌های پژوهش)

نتایج همچنین نشان داد که با کاهش جانشینی بین سرمایه و انرژی در سطح ۲۵ درصدی توسعه تکنولوژی، نرخ رشد تولید، نرخ رشد سرمایه و نرخ رشد نیروی کار، به ترتیب، به میزان ۰/۰۱۷ درصد، ۰/۰۷۸ درصد و ۰/۰۰۸ درصد کاهش می‌یابد و در یک بررسی بیشتر از افزایش توسعه تکنولوژی بر جانشینی انرژی به میزان ۷۵ درصد، نرخ رشد تولید، نرخ رشد سرمایه و نرخ رشد نیروی کار، به ترتیب، به میزان ۰/۰۵۲ درصد، ۰/۲۳۱ درصد و ۰/۰۲۴ درصد کاهش می‌یابد.

این نتایج نشان می‌دهد که با افزایش نرخ رشد توسعه تکنولوژی که با کاهش بیشتر جانشینی بین سرمایه و انرژی همراه است، نرخ رشد سرمایه، نرخ رشد تولید و نرخ رشد اشتغال به میزان

1. Schäfer et al. (2019)
2. Cheng et al. (2021)
3. Cao et al. (2021)
4. Jahanger et al. (2022)
5. Jahanger et al. (2023)

بیشتری کاهش می‌یابد. این نتیجه با نتایج برخی مطالعات مانند مطالعه لی و همکاران^۱ (۲۰۲۳) که نشان دادند سطح نوآوری در صنعت دیجیتال منطقه‌ای، یک اثر تعدیل‌کننده منفی بر سرمایه‌گذاری در فناوری نوآورانه دارد و مطالعه آسونگو و اودیامبو^۲ (۲۰۲۰) که نشان دادند اینترنت و گوشی، سرمایه‌گذاری خارجی را کاهش می‌دهد، همسویی دارد.

علاوه بر این، نتایج نشان داد که افزایش جانشینی بین نیروی کار و سرمایه در سطح ۲۵ درصد توسعه تکنولوژی، منجر به افزایش نرخ رشد تولید، نرخ رشد سرمایه و نرخ رشد اشتغال، به ترتیب، به میزان ۰/۱۲۲ درصد، ۰/۵۴۷ درصد و ۰/۰۵۶ درصد خواهد شد و در یک بررسی بیشتر از افزایش توسعه تکنولوژی به میزان ۷۵ درصد، این مقادیر، به ترتیب، به میزان ۰/۳۶۷ درصد، ۱/۶۴۴ درصد و ۰/۱۶۹ درصد تغییر یافت. این نتایج، بیان می‌کنند که به دلیل استفاده از تکنولوژی بالاتر و اثر آن بر جانشینی عوامل تولید در بخش کشاورزی، میزان تولید، میزان سرمایه‌گذاری و میزان تقاضا برای نیروی کار افزایش یافته است که این می‌تواند به دلیل اثرات ثانوی ناشی از اثر توسعه تکنولوژی بر جانشینی بین عوامل تولید و نهایتاً اثر جانشینی باشد.

این نتیجه با نتایج برخی مطالعات همخوانی داشت. از این مطالعات می‌توان به مطالعه چرشنار و همکاران^۳ (۲۰۲۳) که نشان دادند تکنولوژی موجود در صنعت، اثرات مثبتی بر بهره‌وری می‌گذارد، مطالعه ژانگ و همکاران^۴ (۲۰۲۳) که نشان دادند توسعه تکنولوژی، منجر به افزایش سرمایه‌گذاری در فناوری‌های صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود، مطالعه لی و همکاران^۵ (۲۰۲۳) که نشان دادند دیجیتالی کردن شرکت‌ها، منجر به افزایش سرمایه‌گذاری در فناوری نوآور شرکت می‌شود، مطالعه جیاکوی و همکاران^۶ (۲۰۲۳) که نشان دادند ابزارهای نوآورانه مالی، سرمایه‌گذاری در نوآوری سبز را به مقدار زیاد افزایش می‌دهد، مطالعه سوئی و یائو^۷ (۲۰۲۳) که بیان کردند تحول دیجیتالی، منجر به افزایش نوآوری تکنولوژی سبز می‌شود، مطالعه زهرا و همکاران^۸ (۲۰۲۳) که نشان دادند فناوری دیجیتال، منجر به توسعه و رشد سرمایه‌گذاری جدیدی می‌شود، مطالعه هالدار و همکاران^۹ (۲۰۲۳) که نشان دادند فناوری اطلاعات و ارتباطات، رشد اقتصادی را افزایش می‌دهد، مطالعه کیهومبو و همکاران^{۱۰} (۲۰۲۱) که بیان کردند فناوری نوآور، برای افزایش رشد اقتصادی مفید است، مطالعه هفتو و همکاران^{۱۱} (۲۰۱۹) که نشان دادند یک افزایش ۱۰ درصدی در توسعه تکنولوژی، منجر به تغییر ۱/۲ درصدی در تولید ناخالص داخلی سرانه می‌شود، مطالعه میوولا و همکاران^{۱۱} (۲۰۲۰) که نشان

1. Li et al. (2023)
2. Asongu & Odhiambo (2020)
3. Črešnar et al. (2023)
4. Zhang et al. (2023)
5. Li et al. (2023)
6. Jiakui et al. (2023)
7. Sui & Yao (2023)
8. Zahra et al. (2023)
9. Haldar et al. (2023)
10. Haftu et al. (2019)
11. Myovella et al. (2020)

دادند دیجیتالی شدن، سهم مثبتی در رشد اقتصادی دارد، مطالعه جیانگ و خان^۱ (۲۰۲۳) که نشان دادند فناوری‌های نوآور، مصرف انرژی تجدیدپذیر را افزایش می‌دهد، مطالعه مانینگاندان و همکاران^۲ (۲۰۲۳) که بیان کردند سطوح بالاتر فناوری نوآور، نرخ سرانه رشد اقتصادی کشورهای رهبر قدرت‌های اقتصادی نوظهور است را افزایش می‌دهد و مطالعه احمد و همکاران^۳ (۲۰۲۳) که بیان کردند نوآوری به رشد اقتصادی کمک می‌کند، همخوانی داشت.

جدول ۷: تحلیل سناریوی اثر جانشینی انرژی از توسعه تکنولوژی بر نرخ رشد

شاخص‌های اقتصادی با هدفمندی یارانه انرژی

عامل تغییر انرژی	تغییر نرخ رشد تولید ناخالص داخلی (درصد)	تغییر نرخ رشد موجودی سرمایه (درصد)	تغییر نرخ رشد نیروی کار (درصد)
ضریب نرخ رشد سالیانه	۰,۸۹	۳,۹۹	۰,۴۱
سطح تکنولوژی پایین (با نرخ ۲۵ درصد)			
E	-۰,۱۶۸	-۰,۷۵۴	-۰,۰۷۷
K	-۰,۰۱۷	-۰,۰۷۸	-۰,۰۰۸
L	۰,۱۲۲	۰,۵۴۷	۰,۰۵۶
سطح تکنولوژی متوسط (با نرخ ۵۰ درصد)			
E	-۰,۳۳۶	-۱,۵۰۸	-۰,۱۵۵
K	-۰,۰۳۵	-۰,۱۵۶	-۰,۰۱۶
L	۰,۲۴۴	۱,۰۹۳	۰,۱۱۲
سطح تکنولوژی بالا (با نرخ ۷۵ درصد)			
E	-۰,۵۰۵	-۲,۲۶۲	-۰,۲۳۲
K	-۰,۰۵۲	-۰,۲۳۱	-۰,۰۲۴
L	۰,۳۶۷	۱,۶۴۴	۰,۱۶۹

(مأخذ: یافته‌های پژوهش)

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نگرانی‌های زیادی برای افزایش سطح توسعه تکنولوژی در بخش کشاورزی ایران وجود دارد. این نگرانی‌ها بیشتر مربوط به اثرات بازگشتی توسعه تکنولوژی مورد استفاده در بخش کشاورزی بر شاخص‌های اقتصادی و محیط‌زیستی در این بخش است، به گونه‌ای که براساس آمار وزارت نیرو (۱۳۹۹)، با وجود افزایش سطح فناوری‌های صرفه‌جویی در مصرف انرژی در دوره هدفمندی یارانه انرژی در بخش کشاورزی ایران، میزان مصرف انرژی در این بخش از ۴۵/۱ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال ۱۳۸۹ به ۶۸/۵ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال ۱۳۹۹ رسیده است (وزارت نیرو، ۱۳۹۹).

1. Jiang & Khan (2023)
2. Manigandan et al. (2023)
3. Ahmad et al. (2023)

با توجه به این چهارچوب، هدف این تحقیق این بود که در صورت تأثیرپذیری اثرات جانشینی انرژی از سطح توسعه تکنولوژی، چه اتفاقاتی ممکن است بر شاخص‌های اقتصادی و محیط‌زیستی در این بخش رخ دهد. در این مقاله، از رویکرد سناریوسازی با در نظر گرفتن نرخ‌های متفاوت افزایش سطح توسعه تکنولوژی بر جانشینی انرژی استفاده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش سطح توسعه تکنولوژی در دوره هدفمندی یارانه انرژی، ابتدا میزان اثرات بازگشتی انرژی افزایش می‌یابد، اما در سطح بالای توسعه تکنولوژی، این اثرات بازگشتی انرژی در بخش کشاورزی کاهش می‌یابد. بنابراین، نتیجه می‌شود که در مراحل اولیه توسعه تکنولوژی که در سطح پایین قرار دارد، اثرات آن بر بازگشت انرژی قابل توجه است، اما با توسعه تکنولوژی در سطح بالا، مقدار آن به تدریج کاهش یافته است و پایدار نمی‌ماند.

همچنین نتایج نشان داد که با افزایش سطح توسعه تکنولوژی، میزان جانشینی بین سرمایه و انرژی، کاهش و در مقابل، میزان جانشینی بین نیروی کار و انرژی افزایش می‌یابد که این اثرات در سطح بالای توسعه تکنولوژی بیشتر است. بنابراین، افزایش سطح تکنولوژی، منجر به کاهش سرمایه‌گذاری و افزایش میزان اشتغال در بخش کشاورزی می‌شود. علاوه بر این، مشخص شد که با کاهش جانشینی بین سرمایه و انرژی، اثرات منفی بر شاخص‌های اقتصادی و کیفیت محیط‌زیست قابل توجه است.

این نتیجه در تضاد با نتایج مطالعات زهرا و همکاران^۱ (۲۰۲۳)؛ سوئی و یائو^۲ (۲۰۲۳)؛ جیانگ و خان^۳ (۲۰۲۳)؛ جیاکوی و همکاران^۴ (۲۰۲۳)؛ لی و همکاران^۵ (۲۰۲۳) است که اثرات توسعه تکنولوژی بر اقتصاد را مثبت دانستند. دلیل اینکه توسعه سطح تکنولوژی در بخش کشاورزی ایران، اثرات منفی اقتصادی قابل توجهی داشته است را می‌توان در فرسودگی تکنولوژی مورد استفاده در تولیدات این بخش دانست؛ زیرا، با کاربرد این تکنولوژی‌ها، هزینه تولید افزایش و سودآوری در این بخش کاهش خواهد یافت. بنابراین، انگیزه برای تولید و سرمایه‌گذاری و ایجاد اشتغال در این بخش کاهش می‌یابد.

از سوی دیگر، نتایج نشان داد که افزایش جانشینی بین نیروی کار و انرژی، اثرات مثبت بر اقتصاد و کیفیت محیط‌زیست می‌گذارد. این نتیجه با نتایج مطالعات هاشمی و علم^۶ (۲۰۱۹)؛ شعبانی و شهنازی^۷ (۲۰۱۹)؛ احمد و همکاران^۸ (۲۰۲۰)؛ عثمان و همکاران^۹ (۲۰۲۳)؛ بیانچینی و همکاران^{۱۰} (۲۰۲۳) که نشان دادند فناوری میزان آلودگی را کاهش می‌دهد، همخوانی دارد.

بنابراین، از نتایج این مطالعه، پیشنهاد می‌شود که تسهیلاتی برای سرمایه‌گذاری در طرح نوسازی تکنولوژی فرسوده در بخش کشاورزی ایران اختصاص داده شود.

1. Zahra et al. (2023)
2. Sui & Yao (2023)
3. Jiang & Khan (2023)
4. Jiakui et al. (2023)
5. Li et al. (2023)
6. Hashmi & Alam (2019)
7. Shabani & Shahnazi (2019)
8. Ahmad et al. (2020)
9. Usman et al. (2023)
10. Bianchini et al. (2023)

References

- Azami S, Hosseini F, sohaili K. Economy, Energy and Environment (3E) Nexus in Selected Asian Countries An Application of Spatial Panel Simultaneous Equations Model. QJER 2024; 24 (2) : 3. [In Persian]
- Allen RGD. (1938). *Mathematical Analysis for Economists (Vol. 8)*. London School of Economics and Political Science. London: Macmillan.
- Alfarisi, S., Mitake, Y., Tsutsui, Y., Wang, H., & Shimomura, Y. (2022). A study of the rebound effect on the product-service system: Why should it be a top priority?. *Procedia CIRP*, 109, 257-262.
- Akram, R., Chen, F., Khalid, F., Ye, Z., & Majeed, M. T. (2020). Heterogeneous effects of energy efficiency and renewable energy on carbon emissions: Evidence from developing countries. *Journal of cleaner production*, 247, 119-122.
- Akram, R., Majeed, M. T., Fareed, Z., Khalid, F., & Ye, C. (2020). Asymmetric effects of energy efficiency and renewable energy on carbon emissions of BRICS economies: Evidence from nonlinear panel autoregressive distributed lag model. *Environmental science and pollution research*, 27, 18254-18268.
- Ahmed, Z., Ahmad, M., Rjoub, H., Kalugina, O. A., & Hussain, N. (2022). Economic growth, renewable energy consumption, and ecological footprint: Exploring the role of environmental regulations and democracy in sustainable development. *Sustainable Development*, 30(4), 595-605.
- Ahmad, N., Youjin, L., Žiković, S., & Belyaeva, Z. (2023). The effects of technological innovation on sustainable development and environmental degradation: Evidence from China. *Technology in Society*, 72, 102184.
- Ahmad, M., Jiang, P., Majeed, A., Umar, M., Khan, Z., & Muhammad, S. (2020). The dynamic impact of natural resources, technological innovations and economic growth on ecological footprint: An advanced panel data estimation. *Resources Policy*, 69, 101817.
- Asongu, S. A., & Odhiambo, N. M. (2020). Foreign direct investment, information technology and economic growth dynamics in Sub-Saharan Africa. *Telecommunications Policy*, 44(1), 101838.
- Ahmed, M., Hafeez, M., Kaium, M. A., Ullah, S., & Ahmad, H. (2023). Do environmental technology and banking sector development matter for green growth? Evidence from top-polluted economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(6), 14760-14769.
- Adebayo, T. S., Ullah, S., Kartal, M. T., Ali, K., Pata, U. K., & Ağa, M. (2023). Endorsing sustainable development in BRICS: The role of technological innovation, renewable energy consumption, and natural resources in limiting carbon emission. *Science of the Total Environment*, 859, 160181.
- Bianchini, S., Damioli, G., & Ghisetti, C. (2023). The environmental effects of the “twin” green and digital transition in European regions. *Environmental and Resource Economics*, 84(4), 877-918.

- Bertoldi, P., & Mosconi, R. (2020). Do energy efficiency policies save energy? A new approach based on energy policy indicators (in the EU Member States). *Energy Policy*, 139, 111320.
- Baloch, Z. A., Tan, Q., Iqbal, N., Mohsin, M., Abbas, Q., Iqbal, W., & Chaudhry, I. S. (2020). Trilemma assessment of energy intensity, efficiency, and environmental index: Evidence from BRICS countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 34337-34347.
- Bendig, D., Schulz, C., Theis, L., & Raff, S. (2023). Digital orientation and environmental performance in times of technological change. *Technological Forecasting and Social Change*, 188, 122272.
- Chen, C. W. (2021). Clarifying rebound effects of the circular economy in the context of sustainable cities. *Sustainable Cities and Society*, 66, 102622.
- Cansino, J. M., Ordóñez, M., & Prieto, M. (2022). Decomposition and measurement of the rebound effect: The case of energy efficiency improvements in Spain. *Applied Energy*, 306, 117961.
- Cheng, C., Ren, X., Dong, K., Dong, X., & Wang, Z. (2021). How does technological innovation mitigate CO₂ emissions in OECD countries? Heterogeneous analysis using panel quantile regression. *Journal of Environmental Management*, 280, 111818.
- Chen, J., Gao, M., Li, D., & Song, M. (2020). Analysis of the rebound effects of fossil and nonfossil energy in China based on sustainable development. *Sustainable Development*, 28(1), 235-246.
- Črešnar, R., Dabić, M., Stojčić, N., & Nedelko, Z. (2023). It takes two to tango: Technological and non-technological factors of Industry 4.0 implementation in manufacturing firms. *Review of Managerial Science*, 17(3), 827-853.
- Chen, X., Rahaman, M. A., Murshed, M., Mahmood, H., & Hossain, M. A. (2023). Causality analysis of the impacts of petroleum use, economic growth, and technological innovation on carbon emissions in Bangladesh. *Energy*, 267, 126565.
- Cheng, Y., Zhang, Y., Wang, J., & Jiang, J. (2023). The impact of the urban digital economy on China's carbon intensity: Spatial spillover and mediating effect. *Resources, Conservation and Recycling*, 189, 106762.
- Cao, S., Nie, L., Sun, H., Sun, W., & Taghizadeh-Hesary, F. (2021). Digital finance, green technological innovation and energy-environmental performance: Evidence from China's regional economies. *Journal of Cleaner Production*, 327, 129458.
- Campi, M. C., & Garatti, S. (2018). *Introduction to The Scenario Approach. Society for Industrial and Applied Mathematics*. MOS-SIAM Series on Optimization, The Society for Industrial and Applied Mathematics and the Mathematical Optimization Society.
- Caglar, A. E. (2023). Can nuclear energy technology budgets pave the way for a transition toward low carbon economy: insights from the United Kingdom. *Sustainable Development*, 31(1), 198-210.
- Christensen LR, Jorgenson DW and Lau LJ. (1973). Transcendental logarithmic production frontiers. *The Review of Economics and Statistics*. 28-45.

- Dell'Anna, F. (2021). Green jobs and energy efficiency as strategies for economic growth and the reduction of environmental impacts. *Energy Policy*, 149, 112031.
- Debertin, D.L. (2012). *Agricultural Production Economics*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Font Vivanco, D., Freire-González, J., Galvin, R., Santarius, T., Walnum, H. J., Makov, T., & Sala, S. (2022). Rebound effect and sustainability science: A review. *Journal of Industrial Ecology*, 26(4), 1543-1563.
- Haftu, G. G. (2019). Information communications technology and economic growth in Sub-Saharan Africa: A panel data approach. *Telecommunications Policy*, 43(1), 88-99.
- Hashmi, R., & Alam, K. (2019). Dynamic relationship among environmental regulation, innovation, CO2 emissions, population, and economic growth in OECD countries: A panel investigation. *Journal of Cleaner Production*, 231, 1100-1109.
- Hou, H., Zhu, Y., Wang, J., & Zhang, M. (2023). Will green financial policy help improve China's environmental quality? The role of digital finance and green technology innovation. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(4), 10527-10539.
- Haldar, A., Sucharita, S., Dash, D. P., Sethi, N., & Padhan, P. C. (2023). The effects of ICT, electricity consumption, innovation and renewable power generation on economic growth: An income level analysis for the emerging economies. *Journal of Cleaner Production*, 384, 135607.
- Husaini, D. H., Lean, H. H., Puah, C. H., & Affizzah, A. D. (2023). Energy subsidy reform and energy sustainability in Malaysia. *Economic Analysis and Policy*, 77, 913-927.
- Iram, R., Zhang, J., Erdogan, S., Abbas, Q., & Mohsin, M. (2020). Economics of energy and environmental efficiency: Evidence from OECD countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 3858-3870.
- Iran Statistical Center, Statistical Yearbook, 2019. [In Persian]
- Jiang, T., Cao, C., Lei, L., Hou, J., Yu, Y., & Jahanger, A. (2023). Temporal and spatial patterns, efficiency losses and impact factors of energy mismatch in China under environmental constraints. *Energy*, 282, 128875.
- Jiakui, C., Abbas, J., Najam, H., Liu, J., & Abbas, J. (2023). Green technological innovation, green finance, and financial development and their role in green total factor productivity: Empirical insights from China. *Journal of Cleaner Production*, 382, 135131.
- Jiang, Y., & Khan, H. (2023). The relationship between renewable energy consumption, technological innovations, and carbon dioxide emission: evidence from two-step system GMM. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(2), 4187-4202.
- Jahanger, A., Ozturk, I., Onwe, J. C., Joseph, T. E., & Hossain, M. R. (2023). Do technology and renewable energy contribute to energy efficiency and carbon neutrality? Evidence from top ten manufacturing countries. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 56, 103084.

- Jafari Samimi A, Mohammadi Khyareh M. Short run and Long run Relationship among CO2 Emissions, Energy Consumption and Economic Growth: New Evidence from Iran. QJER 2014; 14 (2) :1-20. [In Persian]
- Jahanger, A., Usman, M., Murshed, M., Mahmood, H., & Balsalobre-Lorente, D. (2022). The linkages between natural resources, human capital, globalization, economic growth, financial development, and ecological footprint: The moderating role of technological innovations. *Resources Policy*, 76, 102569.
- Kihombo, S., Ahmed, Z., Chen, S., Adebayo, T. S., & Kirikkaleli, D. (2021). Linking financial development, economic growth, and ecological footprint: What is the role of technological innovation?. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(43), 61235-61245.
- Koseoglu, A., Yucel, A. G., & Ulucak, R. (2022). Green innovation and ecological footprint relationship for a sustainable development: Evidence from top 20 green innovator countries. *Sustainable development*, 30(5), 976-988.
- Kong, L., Mu, X., Hu, G., & Tu, C. (2023). Will energy efficiency improvements reduce energy consumption? Perspective of rebound effect and evidence from beijing. *Energy*, 263, 125665.
- Li, S., Gao, L., Han, C., Gupta, B., Alhalabi, W., & Almakdi, S. (2023). Exploring the effect of digital transformation on Firms' innovation performance. *Journal of Innovation & Knowledge*, 8(1), 100317.
- Li, J., Du, Q., Lu, C., Huang, Y., & Wang, X. (2023). Simulations for double dividend of carbon tax and improved energy efficiency in the transportation industry. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(7), 19083-19096.
- Liu K, Bai H, Yin S and Lin B. 2018. Factor substitution and decomposition of carbon intensity in China's heavy industry. *Energy*, 145: 582-591.
- Myovella, G., Karacuka, M., & Haucap, J. (2020). Digitalization and economic growth: A comparative analysis of Sub-Saharan Africa and OECD economies. *Telecommunications Policy*, 44(2), 101856.
- Murshed, M. (2020). An empirical analysis of the non-linear impacts of ICT-trade openness on renewable energy transition, energy efficiency, clean cooking fuel access and environmental sustainability in South Asia. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(29), 36254-36281.
- Manigandan, P., Alam, M. S., Alagirisamy, K., Pachiyappan, D., Murshed, M., & Mahmood, H. (2023). Realizing the sustainable development goals through technological innovation: Juxtaposing the economic and environmental effects of financial development and energy use. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(3), 8239-8256.
- Mohsin, M., Hanif, I., Taghizadeh-Hesary, F., Abbas, Q., & Iqbal, W. (2021). Nexus between energy efficiency and electricity reforms: A DEA-based way forward for clean power development. *Energy Policy*, 149, 112052.
- Ministry of Energy, Energy Balances, Macro Planning of Electricity and Energy. 2020. [In Persian]

- Ministry of Petroleum, Hydrocarbon Balance, International Energy Studies Institute. 2022. [In Persian]
- Mohammadi N, Sahabi B, Heydari H, Sadeghi H. Investigating the Impact of Economic Complexity and Renewable Energy Consumption on Environmental Pollution in Developing Countries. *QJER* 2023; 23 (4). [In Persian]
- Nara, E. O. B., da Costa, M. B., Baierle, I. C., Schaefer, J. L., Benitez, G. B., do Santos, L. M. A. L., & Benitez, L. B. (2021). Expected impact of industry 4.0 technologies on sustainable development: A study in the context of Brazil's plastic industry. *Sustainable Production and Consumption*, 25, 102-122.
- Onat, N. C. (2022). How to compare sustainability impacts of alternative fuel Vehicles?. *Transportation Research Part D. Transport and Environment*, 102, 103129.
- Omondi, C., Njoka, F., & Musonye, F. (2023). An economy-wide rebound effect analysis of Kenya's energy efficiency initiatives. *Journal of Cleaner Production*, 385, 135730.
- Poponi, S., Arcese, G., Pacchera, F., & Martucci, O. (2022). Evaluating the transition to the circular economy in the agri-food sector: Selection of indicators. *Resources, Conservation and Recycling*, 176, 105916.
- Peng, H. R., Zhang, Y. J., & Liu, J. Y. (2023). The energy rebound effect of digital development: Evidence from 285 cities in China. *Energy*, 270, 126837.
- Phillips PCB and Perron P. (1988). Testing for a unit root in time series regressions, *Biometrika*, 75: 335-346.
- Raihan, A., Pavel, M. I., Muhtasim, D. A., Farhana, S., Faruk, O., & Paul, A. (2023). The role of renewable energy use, technological innovation, and forest cover toward green development: Evidence from Indonesia. *Innovation and Green Development*, 2(1), 100035.
- Rej, S., Bandyopadhyay, A., Das, N., Hossain, M. E., Islam, M. S., Bera, P., & Yeeditballi, T. (2023). The asymmetric influence of environmental-related technological innovation on climate change mitigation: What role do FDI and renewable energy play?. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(6), 14916-14931.
- Romer, D. (2011). *Advanced Macroeconomics*. McGraw-Hill/Irwin.
- Rutting, L., Vervoort, J., Mees, H., Pereira, L., Veeger, M., Muiderman, K., ... & Driessen, P. (2023). Disruptive seeds: a scenario approach to explore power shifts in sustainability transformations. *Sustainability Science*, 18(3), 1117-1133.
- Skelton, A. C., Paroussos, L., & Allwood, J. M. (2020). Comparing energy and material efficiency rebound effects: an exploration of scenarios in the GEM-E3 macroeconomic model. *Ecological Economics*, 173, 106544.
- Su, C. W., Liu, F., Stefea, P., & Umar, M. (2023). Does technology innovation help to achieve carbon neutrality?. *Economic Analysis and Policy*, 78, 1-14.
- Siderius, T., & Poldner, K. (2021). Reconsidering the circular economy rebound effect: Propositions from a case study of the Dutch circular textile valley. *Journal of Cleaner Production*, 293, 125996.

- Shabani, Z. D., & Shahnazi, R. (2019). Energy consumption, carbon dioxide emissions, information and communications technology, and gross domestic product in Iranian economic sectors: A panel causality analysis. *Energy*, 169, 1064-1078.
- Sui, B., & Yao, L. (2023). The impact of digital transformation on corporate financialization: The mediating effect of green technology innovation. *Innovation and Green Development*, 2(1), 100032.
- Schäfer, A. W., Barrett, S. R., Doyme, K., Dray, L. M., Gnadt, A. R., Self, R., ... & Torija, A. J. (2019). Technological, economic and environmental prospects of all-electric aircraft. *Nature Energy*, 4(2), 160-166.
- Shahverdian, M. H., Sohani, A., Pedram, M. Z., & Sayyaadi, H. (2023). An optimal strategy for application of photovoltaic-wind turbine with PEMEC-PEMFC hydrogen storage system based on techno-economic, environmental, and availability indicators. *Journal of Cleaner Production*, 384, 135499.
- Stern, D. I. (2020). How large is the economy-wide rebound effect?. *Energy Policy*, 147, 111870.
- Taghvav, V. M., Arani, A. A., Soretz, S., & Agheli, L. (2023). Diesel demand elasticities and sustainable development pillars of economy, environment and social (health): Comparing two strategies of subsidy removal and energy efficiency. *Environment, Development and Sustainability*, 25(3), 2285-2315.
- Thompson P and Taylor TG. (1995). The capital-energy substitutability debate: A new look. *Review of Economics and Statistics*, 77(3): 565-569.
- Turner, K., & Hanley, N. (2011). Energy efficiency, rebound effects and the environmental Kuznets curve. *Energy economics*, 33(5), 709-720.
- Uzawa H. (1962). Production functions with constant elasticities of substitution. *The Review of Economic Studies*, 29(4): 291-299.
- Usman, M., Balsalobre-Lorente, D., Jahanger, A., & Ahmad, P. (2023). Are Mercosur economies going green or going away? An empirical investigation of the association between technological innovations, energy use, natural resources and GHG emissions. *Gondwana Research*, 113, 53-70.
- Usman, M., & Hammar, N. (2021). Dynamic relationship between technological innovations, financial development, renewable energy, and ecological footprint: Fresh insights based on the STIRPAT model for Asia Pacific Economic Cooperation countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(12), 15519-15536.
- Velez-Henao, J. A., García-Mazo, C. M., Freire-Gonzalez, J., & Vivanco, D. F. (2020). Environmental rebound effect of energy efficiency improvements in Colombian households. *Energy Policy*, 145, 111697.
- Wang, J., Wang, W., Liu, Y., & Wu, H. (2023). Can industrial robots reduce carbon emissions? Based on the perspective of energy rebound effect and labor factor flow in China. *Technology in Society*, 72, 102208.
- Wei, C., Li, C. Z., Löschel, A., Managi, S., & Lundgren, T. (2023). Digital technology and energy sustainability: Recent advances, challenges, and opportunities. *Resources, Conservation and Recycling*, 190, 106803.

- Wang, R., Usman, M., Radulescu, M., Cifuentes-Faura, J., & Balsalobre-Lorente, D. (2023). Achieving ecological sustainability through technological innovations, financial development, foreign direct investment, and energy consumption in developing European countries. *Gondwana Research*, 119, 138-152.
- Wei, L., Lin, B., Zheng, Z., Wu, W., & Zhou, Y. (2023). Does fiscal expenditure promote green technological innovation in China? Evidence from Chinese cities. *Environmental Impact Assessment Review*, 98, 106945.
- Wu, H., Hao, Y., & Ren, S. (2020). How do environmental regulation and environmental decentralization affect green total factor energy efficiency: Evidence from China. *Energy Economics*, 91, 104880.
- Wu, H., Hao, Y., Ren, S., Yang, X., & Xie, G. (2021). Does internet development improve green total factor energy efficiency? Evidence from China. *Energy Policy*, 153, 112247.
- Wang X, Wen X and Xie C. (2018). An evaluation of technical progress and energy rebound effects in China's iron and steel industry. *Energy Policy*, 123: 259-265.
- Xie, Z., Wu, R., & Wang, S. (2021). How technological progress affects the carbon emission efficiency? Evidence from national panel quantile regression. *Journal of Cleaner Production*, 307, 127133.
- Yemelyanov, O., Petrushka, I., Zahoretska, O., Petrushka, K., & Havryliak, A. (2023). Information support for managing energy-saving technological changes at enterprises. *Procedia Computer Science*, 217, 258-267.
- Zhang, X., & Wei, C. (2022). The economic and environmental impacts of information and communication technology: A state-of-the-art review and prospects. *Resources, Conservation and Recycling*, 185, 106477.
- Zhang, T., Wu, K., Tan, Y., & Xu, Z. (2023). Subsidy or not? How much government subsidy can improve performance level of energy-saving service company?. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(25), 67019-67039.
- Zhang, J. (2023). Assessing the impact of R&D Investments, government subsidies on energy efficiency: Empirical analysis from the Chinese listed firms. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(2), 3606-3620.
- Zimmermann, M., Vöhringer, F., Thalmann, P., & Moreau, V. (2021). Do rebound effects matter for Switzerland? Assessing the effectiveness of industrial energy efficiency improvements. *Energy Economics*, 104, 105703.
- Zhang, S., Luo, S., & Afshan, S. (2022). Role of climate technologies, financial development, and renewable energy in the facilitation of social, economic, and environmental goals. *Renewable Energy*, 199, 169-178.
- Zhang, H., Gao, S., & Zhou, P. (2023). Role of digitalization in energy storage technological innovation: Evidence from China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 171, 113014.
- Zahra, S. A., Liu, W., & Si, S. (2023). How digital technology promotes entrepreneurship in ecosystems. *Technovation*, 119, 102457.

Multiple Effects of Energy Substitution, Technology Development and Growth Rate in Agricultural Sector

Fatemeh Taei Samiromi¹
Sadegh Khalilian²

Received: 2024/1/16

Accepted: 2024/2/05

Aim and Introduction

The purpose of this study is to investigate the multiple effects of energy substitution from technology development on the growth rate of economic-environmental indicators in Iran's agricultural sector using the translog cost function. While one of the main goals of improving energy efficiency with the implementation of the Energy Subsidy Targeting Law in Iran was to deal with the rapid growth of fossil fuels, but looking at the energy consumption situation in the agricultural sector, it is clear that not only with the implementation of this plan, the consumption of fossil fuels has not decreased, but also increased in comparison to the time span before the plan. The increase in the annual growth rate of energy consumption has created many environmental challenges. In this way, the amount of carbon dioxide emissions, which is the most important greenhouse gas in Iran's agricultural sector, has reached from 13,682 tons to 17,639 tons in 2019. In other words, the average increase in the annual growth of carbon dioxide emissions in agricultural sector during this period was equal to 28.92%. The implementation of some energy saving policies may have the opposite effect on energy consumption and the environment as well.

Methodology

Translog cost function has been used to investigate the multiple effects of energy substitution from technology development on the growth rate of economic-environmental indicators in Iran's agricultural sector. The data used for the period 1988 to 2020 were collected from Central Bank, Iran Statistics Center, Ministry of Energy and World Food Organization.

Results and Discussion

The results has revealed that if the level of technology development increases, the substitution between capital and energy decreases and on the contrary, the substitution between labor and energy increases. The results have also shown that by reducing the amount of substitution between capital and energy, its negative effects on the economy and the quality of the environment are significant, and in contrast to the increase in the amount of substitution between labor and energy, it has a positive effect on the economy and the quality of environment. The higher level of technology development has increased the level of energy substitution.

-
1. Ph. D. Student, Department of Agricultural Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: F_taei@modares.ac.ir
 2. Associate Professor of Agricultural Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (Corresponding Author) E-mail: khalil_s@modares.ac.ir

Conclusion

The results of this research have shown that with an increase in the level of technology development on changes in energy consumption, the substitution between production factors in agricultural sector changes, which means that a 25% increase in technology development leads to an increase in energy consumption by 0.567%. In comparison, the changes in energy consumption are aligned with the development level of technology, which means that a small increase in the level of technology development leads to the rebound effects of energy. These energy feedback effects lead to an increase in substitution between capital and energy by 0.068% and a decrease in substitution between labor and energy by 0.412% compared to the initial level of technology development, but with a further increase in the level of technology development, the effect of energy feedback effects on energy substitution decreases. The results have also shown that with an increase in the level of technology development in the targeting period of energy subsidy, the amount of energy return effects increases, but at a higher level of technology development, these energy return effects decrease in the agricultural sector. Therefore, it is concluded that in the early stages of technology development, which is at a lower level, its effects on energy return are significant, but with the development of technology at a higher level, its value has gradually decreased and does not remain stable. The results have also revealed that with an increase in the level of technology development, the degree of substitution between capital and energy decreases and on the other hand, the degree of substitution between labor and energy increases, and these effects are greater at a higher level of technology development. Therefore, increasing the level of technology leads to a decrease in investment and an increase in employment in the agricultural sector at the same time. In addition, it was found that by reducing the substitution between capital and energy, the negative effects on economic indicators and environmental quality are significant. The reason that the development of the level of technology in Iran's agricultural sector has had significant negative economic effects can be seen in the exhaustion of the technology used in the production of this sector. The application of these technologies, will lead to a higher cost of production which in turn result into a lower rates of profitability in the sector. Therefore, the incentive for production, investment and job creation in this sector decreases in the long term.

Keywords: Energy Consumption, Greenhouse Gases, Investment, Substitution Effects
JEL Classification: I28, O44, P18, Q48, Q43