مجله پژوهش‌های به زراعی
جلد۱۴ ، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱

مجله پژوهش های به زراعی

روند تاریخی تغییرات منابع مختلف نیروی کار در بهره‌وری از اراضی کشاورزی اکوسیستم‌های تولید گندم ایران (۱۴۰۰-۱۳۰۰ خورشیدی)

شهلا لجم‌اورک رمه‌چری[۱]، عبدالمجید مهدوی دامغانی[۲]*، هومان لیاقتی[۳]

۱- دانش‌آموخته دکتری، گروه اگرواکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲- دانشیار گروه اگرواکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۳- استاد گروه اگرواکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۸

چکیده

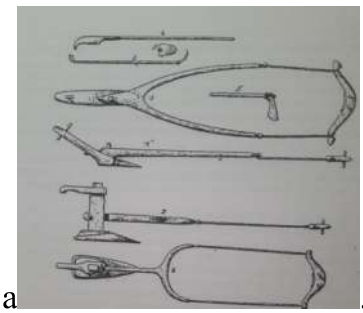
سامانه‌های کشاورزی سنتی و کشاورزی رایج تفاوت‌های عمده‌ای با یکدیگر دارند. از جمله این تفاوت‌ها می‌توان به تعداد و منابع مختلف نهاده‌های خارجی مورد استفاده برای دستیابی به تولید نهایی اشاره داشت. یکی از این نهاده‌ها، موضوع نیروی کار در سامانه‌های کشاورزی ایران به ویژه تولیدگندم است. نیروی کار در این نظام‌ها از منبع از نیروی کار انسان، نیروی کار دام و نیروی مکانیزاسیون تامین می‌گردد. پژوهش حاضر به‌منظور تشریح منابع مورد استفاده در کار فیزیکی رخ داده در بوم‌نظام‌های تولید گندم در ایران و تغییرات سطح زیر کشت آن در طی یک صد سال تدوین شده است. برای این منظور از روش سنجش میزان انرژی نهاده به میزان انرژی ستانده استفاده گردید. داده‌های مورد نیاز از منابع مختلفی از قبیل از مرکز آمار ایران، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی، پایگاه آماری فائو و منابع تاریخی گردآوری شد. داده‌ها با استفاده از ضرایب تبدیل به صورت ژول در آمدند و در نهایت با استفاده از نرم‌افزار مایکروسافت اکسل ۲۰۰۷ و نرم‌افزار Minitab® 17.1.0 این سری‌های زمانی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. نتایج پژوهش حاکی از افزایش سطح زیرکشت گندم از میانگین ۱/۵ میلیون هکتار در ابتدای دوره مورد مطالعه به مقدار میانگین ۶/۵ میلیون هکتار هستند. در طی این بازه زمانی یک‌صدساله میزان بازده نهایی سامانه‌های تولید گندم به مقدار نهاده کاری که به عنوان نهاده خارجی به سامانه وارد شده است در حدود ۳۷ درصد کاهش یافته است. از این رو لازم است تا در طراحی منابع تامین کننده نیروی کار برای سامانه‌های تولیدگندم بازبینی و بازنگری صورت بگیرد.

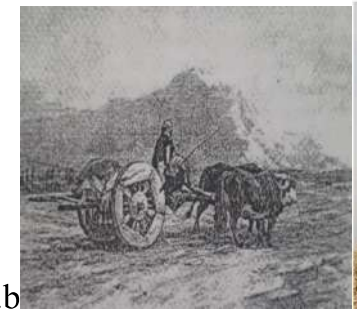
واژه‌های کلیدی: نیروی انسانی، نیروی دام، مکانیزاسیون کشاورزی، سطح زیر کشت گندم، نهاده‌های کشاورزی

* نگارنده مسئول (mahdavi.a@sbu.ac.ir)

مقدمه

از آغاز قرن نوزدهم تغییرات وسیعی در مکانیزاسیون کشاورزی و مشارکت نسبی نیروی کار انسانی و حیوانی هم‌راستا با فعالیت‌های کشاورزی رخ داده است. از آنجایی که کشاورزی نوعی فعالیت فیزیکی است که در تمامی بخش‌های آن از جمله کاشت، داشت و برداشت و فعالیت‌های پس از آن از نیروی کار مکانیکی استفاده می‌شود، درک فرآیندهای این بخش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از مهمترین منابع تامین نیروی فیزیکی در کشاورزی از سال ۱۸۰۰ به بعد می‌توان به انسان، حیوان، سوخت‌های فسیلی و برق اشاره داشت. همراه با تکامل فناوری و پیشرفت‌های حاصله در اختراعات انسان، اهمیت نسبی هر کدام از موارد ذکر شده تغییر کرده است. مکانیزاسیون در حقیقت به جایگزینی ابزارهای دستی و نیروی انسانی با ماشین‌آلاتی که توسط نیروی محرکه (در آغاز حیوانات و پس از آن سوخت‌های فسیلی و برق) به حرکت درمی‌آیند، اشاره دارد (Olmstead & Rhode, 2018). در این تعریف مکانیزاسیون فرآیندی در نظرگرفته شده است که در طی آن ابزارهای جدید برای فعالیت‌های کشاورزی که پیش از این توسط انسان‌ها انجام می‌شد، به‌کار گرفته می‌شود. این ابزارهای جدید ممکن است توسط انسان در قالب ابزارهای دستی بهتر و دقیق‌تر، ابزارهایی برای کار با حیوانات کششی مانند گاوآهن‌هایی که توسط نیروی دام کشیده می‌شوند یا ماشین‌هایی که با سوخت‌های فسیلی (مانند تراکتور) کار می‌کنند، مورد استفاده قرار بگیرند (Steenwyk *et al.*, 2022). در شکل ۱ برخی از انواع ابزارهای تولید نیرو در بوم‌نظام‌های کشاورزی ایران مشاهده می‌شود.


.a


.b

.c

شکل ۱- انواع نیروهای مورد استفاده در کشاورزی ایران از گذشته تا کنون (a) ابزارهای کشاورزی در ایران در دوران قاجار (Floor, 2003)، (b) کشیدن ارابه توسط دام در دوران قاجار (Floor, 2003)، (c) کمباین در گندم‌زارهای ایران در شرایط کنونی (Tahlilbazaar.com). از دیگر سو، اگرچه انرژی مصرفی در بخش کشاورزی نسبت به صنعتی سهم کمتری دارد، اما همین مقدار به خودی خود قابل‌توجه است و با بهینه‌سازی و مدیریت انرژی و صرفه‌جویی در بخش‌های کوچک می‌تواند اثرات بسیار مفیدی در برآوردهای نهایی داشته باشد و سهم قابل‌توجهی در تقلیل مقادیر انرژی مصرفی خواهد داشت. همچنین استفاده بهینه و موثر از انرژی می‌تواند ما را در رسیدن به کشاورزی پایدار یاری کند. نحوه گنجاندن نیروی انسانی در تجزیه‌وتحلیل انرژی سیستم‌های زراعی موضوعی بسیار بحث برانگیز است. برخی مطالعات که جریان‌های انرژی را در سیستم‌های مزارع صنعتی بررسی می‌کنند، نیروی انسانی را نادیده می‌گیرند، بیشتر به این دلیل که نهاده نسبتاً کمی در مقایسه با سایر حامل‌های انرژی خارجی است. در موارد دیگر نیروی کار به جای در نظر گرفته شدن به‌صورت جریان انرژی در واحد زمان در نظر گرفته می‌شود. از دیدگاه اجتماعی-اکولوژیک بلند مدت ما، نیروی انسانی یک جریان انرژی ضروری است که باید به‌عنوان یک نهاده انرژی مورد محاسبه قرار بگیرد.

اگرچه انرژی انسان ممکن است بخش کوچکی از انرژی کشاورزی امروزی را تشکیل دهد، اما در کشاورزی سنتی سهم زیادی داشته است، بنابراین مطالعه همان مقدار و صرفه‌جویی در مصرف آن و استفاده کمتر و مفیدتر از آن به طرق مختلف حائز اهمیت است: و از آنجا که تقریباً تمام فعالیت‌های انسان در راستای بهتر و آسانتر کردن زندگی اوست، بنابراین باید در کارهای سخت با بیشترین بازدهی، کمترین استفاده را از انرژی انسان داشته باشیم و همچنین پس از ارزیابی‌های لازم، شرایط کاری و فناوری‌های مرتبط را به نحوی فراهم کنیم که باعث کاهش میزان کالری مورد نیاز برای تامین انرژی مورد نیاز در مصارف انسانی

شود. همچنین آگاهی از انرژی مورد نیاز برای فعالیت‌های مختلف کشاورزی می‌تواند به دست اندرکاران این بخش در تصمیم‌گیری صحیح از جمله بررسی منابع مصرف انرژی در بوم‌نظام‌ها، تعیین میزان انرژی سرمایه‌گذاری شده با دقت بیشتر به میزان دریافتی، مدیریت منابع انسانی و یا موارد دیگر کمک کند. اولین قدم در این راستا، تعیین میزان مصرف انرژی نیروی انسانی در فعالیت‌های کشاورزی است. مکانیزاسیون کشاورزی با صرفه‌جویی در نیروی کار و افزایش بهره‌وری ارتباط تنگاتنگی با تغییرات در زمین و بهره‌وری نیروی کار انسانی از طریق تامین کار فیزیکی اثر داشته است. با این حال اثر این عامل مهم در بوم نظام‌های تولید گندم در ایران در طی زمان به منظور سنجش اثرات مکانیزاسیون بر مقدار، کارآیی و بهره‌وری کار فیزیکی بر زمین و نیروی کار هنوز مورد مطالعه قرار نگرفته است. به‌منظور ارزیابی دقیق نحوه جابه‌جایی انرژی و شیوه‌های مختلف آن لازم است تا توازن انرژی اعمال‌شده در کشاورزی که معمولاً یک رویکرد ورودی- خروجی یا نهاده-ستانده را، با هدف ارزیابی انرژی خارجی سرمایه‌گذاری شده به ازای واحد انرژی موجود در محصول (غذا، فیبر، چوب) که از سیستم خارج شده و برای جامعه در دسترس است، به دقت مورد ارزیابی و واکاوی قرار دهد. اصطلاح "بازگشت انرژی بر سرمایه‌گذاری شده یا EROI" مقدار انرژی قابل دسترس و البته منبع آن را در سیستم‌های کشاورزی به خوبی روشن می‌کند (Hall & Klitgaard, 2011). بازگشت میزان انرژی به میزان انرژی سرمایه‌گذاری شده (EROI) نسبت انرژی به دست آمده از یک فعالیت جمع‌آوری انرژی در مقایسه با انرژی سرمایه‌گذاری شده در آن فرآیند است.

$$\mathrm{EROI} = \frac{\mathrm{ER}}{EI}$$

در این معادله واحدهای اندازه‌گیری در صورت و مخرج یکسان هستند، به‌طوری که نسبت حاصل بدون واحد است. خروجی به صورت نسبت واحدهای انرژی برگشتی برای یک واحد انرژی سرمایه‌گذاری شده بیان می‌شود. هنگامی که این نسبت در کشاورزی اعمال

می‌شود، میزان انرژی سرمایه‌گذاری شده برای به دست آوردن یک واحد انرژی به شکل زیست‌توده را اندازه‌گیری می‌کند. به بیان ساده‌تر، می‌توان گفت در کشاورزی یک EROI یا هزینه انرژی (Scheidel & Sorman, 2012) زیست‌توده خالص تولید شده برای استفاده توسط جامعه را (Martinez-Alier, 2011)، چه در قالب مواد غذایی، مواد خام، یا سوخت‌های زیستی اندازه‌گیری می‌کند. این شاخص به‌ویژه در شرایط بحران انرژی کنونی، مخصوصا در زمینه کشاورزی صنعتی که از مقادیر زیادی انرژی خارجی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم استفاده می‌کند و با چالش کاهش هزینه‌های انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای مواجه است، اهمیت ویژه‌ای دارد.

لذا بر اساس آنچه پیش از این گفته شد با وقوع تغییرات گسترده در فناوری‌های مکانیکی استفاده شده در کشاورزی فعلی و همچنین تغییر در حامل‌های انرژی مصرفی و توان ارائه کار، اکنون نیازمند دانستن این مطلب هستیم که چگونه توان فیزیکی در بالا بردن سطح زیرکشت و بهره‌وری نیروی کار در مزارع موثر بوده است. تا با مطالعه روند تاریخی این موضوع بتوانیم تقاضاهای آتی برای کار در مزرعه را تعیین کرده و پیش‌بینی کنیم چگونه می‌توان سیستم‌های کشاورزی را برای استفاده کمتر از سوخت‌های فسیلی برنامه‌ریزی کرده و به سوی کشاورزی پاک برویم. در واقع هدف از انجام پژوهش حاضر تشریح منابع مورد استفاده در کار فیزیکی رخ داده در بوم‌نظام-های تولید گندم در ایران در طی یک صد سال گذشته است. با استفاده از این روش می‌توان تغییرات در بهره‌وری از زمین و نیروی کار را در طی یک قرن با دقت بیشتری مورد بررسی قرار داد. با استفاده از نتایج این مطالعه می‌توان دریافت که چگونه می‌توان از منابع مختلف برای تامین انرژی مورد نیاز در بخش نیروی کار استفاده کرد و رابطه نیروی کار و انواع آن با بهره‌وری زمین در طی بازه بلندمدت به چه صورت بوده است.

مواد و روش‌ها

در فیزیک، کار فیزیکی به عنوان نیروی اعمالی ضرب در مولفه جابجایی که در همان جهت نیرو است، تعریف شده (Holzner, 2014) و منظور از کار فیزیکی در کشاورزی، تبدیل اشکال مختلف انرژی به حالت انرژی مکانیکی است. اینکه چگونه نهاده‌های انرژی اولیه از نفت و گاز، معادن زغال‌سنگ و مزارع به نهاده-های انرژی نهایی به فرمی تبدیل می‌شوند که انرژی حاصل از آنها برای انسان، حیوانات و ماشین‌ها قابل استفاده باشد و در نهایت از این حالت به نیروی کار در مزراع تبدیل گردد که موضوع مورد بررسی در پژوهش حاضر می‌باشد. منابع مورد توجه در اینجا نیروی کار فیزیکی انسان و حیوانات (عضلانی) و ماشین‌ها (و سوخت‌شان) است.

اطلاعات مورد نیاز برای انجام پژوهش در بازه زمانی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۰۰ خورشیدی (۲۰۲۰-۱۹۲۰ میلادی) از مرکز آمار ایران برای اطلاعات مربوط به سالهای ۱۳۲۰ تا ۱۳۹۹ (مرکز آمار ایران، ۱۴۰۰)، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی اطلاعات مربوط به سال‌های ۱۳۴۰ تا ۱۴۰۰ (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۴۰۰) و پایگاه آماری فائو (FAO, 2021) استخراج گردیده است. اطلاعات مربوط به مصرف و تولید انرژی در اکوسیستم کشاورزی ایران را از سوابق رسمی داخلی، FAOSTAT (2021) و منابع ثانویه جمع‌آوری گردید. ما تکامل نهاده‌های کار را در در طول دوره و بین سال‌های ۱۳۰۰ تا ۱۴۰۰ با استفاده از میانگین‌های ۱۰ ساله برای حفظ تنوع سال‌به‌سال بازسازی کردیم. به منظور تامین مقادیر انرژی داده‌های انرژی ورودی به سیستم به‌صورت انرژی بر حسب ژول (J) بیان گردید. با این حال، از آنجا که داده‌های ورودی برای کشاورزی به‌ندرت به شکل انرژی جمع‌آوری می‌شود، ما داده‌های موجود را با استفاده از ضرایب تبدیل ثابت به واحدهای انرژی تبدیل کردیم که در ادامه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

نهاده نیروی کار انسان

در مطالعات انرژی کشاورزی طیف وسیعی از رویکردهای مختلف برای تعیین کمیت انرژی ورودی مربوط به نیروی انسانی وجود دارد. فلاک (۱۹۸۱) و استانهیل (۱۹۸۴) مروری بر روش‌های مختلف موجود برای اندازه‌گیری انرژی معادل نیروی انسانی دارند. فلاک (۱۹۹۲) این بحث را خلاصه می‌کند و ۹ اصل حسابداری مختلف را فهرست می‌کند، و اساساً بین روش‌هایی که روی مقدار مستقیم انرژی درگیر (یا محتوای آنتروپی غذا) متمرکز هستند و روش‌هایی که انرژی جدا شده و یا تجسم‌یافته در نیروی کار، یعنی آنتروپی ناخالصی که باید در کل زنجیره مورد نیاز برای در دسترس قرار دادن نیروی کار مصرف شود، تفاوت‌هایی قایل است. مقادیر واقعی محتوای انرژی مستقیم نیروی انسانی که در منابع استفاده می‌شود، بستگی زیادی به میزان فعالیت بدنی دارد، از محدوده ۰/۷ MJ/h (Stanhill, 1984)، ۰/۸ MJ/h (Leach, 1976) تا حدود ۱ (Revelle, 1976) تغییر کرده که در شرایط کاری عادی به ۴ تا ۱۲ مگاژول در روز (MJ/day) منجر می‌شود. با استناد به این منابع پیشنهاد شده است که اگر اطلاعات دقیقی در مورد فعالیت بدنی و ساعات کار در دسترس نیست، به‌طور متوسط ۸-۷ مگاژول در روز (MJ/day) استفاده شود (که متداول‌ترین مقدار برای محاسبه این جریان است که در صورت موجود نبودن اطلاعات بهتر در مورد رژیم‌های غذایی و زمان کار وجود می‌توان از آن استفاده کرد). با فرض ۶ روز کاری در هفته و زمان کار روزانه ۸ ساعت، این مقدار ۲-۱/۷ GJ در سال یا بین ۳۰ تا ۵۰٪ انرژی غذایی مصرفی توسط یک مرد بزرگسال است (بر اساس Fluck 1992 این مقدار برابر است با ۵/۵-۳/۷ GJ/cap/y). این مقادیر را می‌توان برای سیستم‌های تولیدی که در آن تأمین غذای محلی عمدتا از تولیدات معیشت و به‌صورت محلی به دست می‌آید، اعمال کرد.

در تحقیق حاضر نهاده نیروی کار انسانی به‌عنوان انرژی صرف شده توسط کشاورزان در هر ساعت در هکتار در سال محاسبه شد. تعداد روزهای کار صرف شده در

اکوسیستم‌های تولید گندم ایران به دو دوره تقسیم شد. دوره اول ازآغاز زمان مطالعه تا زمان شروع صنعتی شدن کشور و دوره دوم از صنعتی شدن و بکارگیری مکانیزاسیون در بوم‌نظام‌های تولید گندم تا زمان حال در ایران محاسبه شد (Vahedi 2019؛ آزادشهرکی و همکاران، ۱۳۸۹؛ همتیان و همکاران، ۱۳۹۰). با فرض اینکه میانگین روز کاری مزرعه ۸ ساعت است (Tello *et al.*, 2015) و به‌عنوان کل انرژی مواد غذایی متابولیزه شده در طول کار مورد مصرف قرار می‌گیرد، فرمول محاسبه مقدار انرژی مصرف شده به شرح زیر خواهد بود:

(۱)

"person-hours (hours ha−1) × area (ha) × 60 cropped (minutes) × 60 (seconds) × human power (J second−1)."

با توجه به خصوصیت متفاوت بوم‌نظام‌های تولید گندم قبل و بعد از صنعتی شدن در فرمول نیروی انسان، ساعات کار و منطقه کشت شده برای هر سال جداگانه مورد محاسبه قرار گرفت. به این منظور از با استفاده از روش Steenwyk *et al* (2022) تعداد ساعات کار مورد نیاز در مزارع تولید گندم و همچنین توان کارگران بخش کشاورزی در کشور محاسبه و به فرمول فوق وارد شد. در این فرمول، person-hours معادل نفر-ساعت بر حسب ساعت در هکتار، cropped area سطح زیر کشت بر حسب هکتار و مقدار human power مقدار عددی توان انسان برحسب ژول بر ثانیه (با فرض وزن مرد حدود ۷۰ کیلوگرم) است (Steenwyk *et al.*, 2022).

نهاده نیروی کار دام

حیوانات منبع اصلی نیروی کار در کشاورزی سنتی بودند (Krausmann, 2004). قدرتی که می‌تواند توسط حیوانات کشنده ایجاد شود به گونه/نژاد و سرعت کار آن‌ها بستگی دارد. در مورد گاوهای نر و اسب‌ها، رویکرد رایج تخصیص تمام انرژی ناخالص خوراک به کار حیوانات است، زیرا این حیوانات کشنده هیچ هدف مهم دیگری در اکوسیستم کشاورزی ندارند. بنابراین، هزینه‌های نگهداری آن‌ها را

می‌توان صرفاً به نیروی کار آنان نسبت داد. در همین راستا Aguilera *et al* (2015) مقادیر ۹۷۹ مگاژول در روز کاری برای تیمی متشکل از ۲ اسب (قاطر یا اسب) (۴۸۹ مگاژول در روز کاری برای هر راس حیوان) و ۸۳۷ مگاژول در روز کاری برای یک جفت ۲ گاو (۴۱۸ مگاژول در روز کاری برای هر راس حیوان) را گزارش کرده‌اند. آنان همچنین مقادیر ۹۳۸ مگاژول در روز کاری را برای یک جفت اسب (قاطر یا اسب) (۴۶۹ مگاژول در روز کاری برای هر راس حیوان) و ۱۰۶۰ مگاژول در روز کاری برای یک تیمی متشکل از ۲ گاو (۵۳۰ مگاژول در روز کاری به ازای هر گاو) برای منطقه ای دیگر در نظر گرفته‌اند. در این مورد تعداد روزهای کاری حیوانات ۱۸۸ روز بود (Aguilera *et al.*, 2015). در پژوهش دیگر Steenwyk *et al* (2022) مقادیر نیروی دام برای الاغ ۰/۲ کیلووات و روزانه به مدت ۵ ساعت و برای گاو ۰/۴ کیلووات و روزانه به مدت ۶ گزارش کرده‌اند. در مورد ایران تعداد روزهای کاری برای قاطر و الاغ ۲۰۰ روز و برای گاو ۱۲۰ روز در سال گزارش شده است. نیروی دام مورد استفاده در اکوسیستم‌های تولید گندم در ایران با استفاده از فرمول زیر محاسبه شده است:

(۲)

Livestock power= number of livestock × number of working days of livestock (ha−1)× Livestock power (MJ)

نهاده انرژی تجسم‌یافته تراکتورها

انرژی تجسم‌یافته در مگاژول برای یک تراکتور در هر سال بر اساس فرمول در (Pracha and Volk, 2011) محاسبه شد. فرمول محاسبه به شرح زیر می‌باشد:

(۳)

"(45 HP/1.2) × (31.9 kg (PTO HP)−1) × (143.2 MJ kg−1)/(10.6 years)"

میانگین حجم موتور تراکتور ۴۵ اسب بخار است (Hoye Tractor Parts, 2006). نسبت تراکتور به قدرت ۳۱/۹ کیلوگرم PTO HP-1 است (Quick, 2006). معادل انرژی وزن ماشین آلات ۱۴۳/۲ مگاژول در کیلوگرم می‌باشد (Stout, 2012). میانگین طول عمر یک تراکتور در ایران ۱۰/۶ سال

است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۲). این مقدار با عدد پیشنهادی Smil (2010) برای عمر تراکتوری که بین ۱۰ تا ۲۰ سال بیان شده است، مطابقت دارد. در ادامه میانگین ساعاتی که برای یک هکتار گندم در سال از تراکتور استفاده شده و تعداد هکتارهایی که در طی یک سال تراکتور بر روی آن کار می‌کند، محاسبه گردیده و در نهایت ارقام انرژی تجسم‌یافته تراکتور مخصوص گندم به دست آمد.

پس از محاسبه نیروی کار از منابع مختلف نوبت به مبحث تجزیه‌وتحلیل انرژی می‌رسد. برای این منظور بر اساس مدل جریان-سرمایه تجزیه‌وتحلیل بازده انرژی به میزان انرژی سرمایه‌گذاری شده اکوسیستم‌های کشاورزی تولید گندم در ایران و برای پی‌بردن به تغییرات کارآیی و پایداری طی فشرده‌سازی اکوسیستم‌های کشاورزی گندم از سال۱۳۰۰ تا ۱۴۰۰، بر اساس روش *et* Guzmán et *al* (2015) و Tello *et al* (2016) عمل کردیم. در مدل جریان-سرمایه، جامعه کشاورزی از نهاده‌های خارجی متعددی برای تولید محصول نهایی استفاده می‌کند که نیروی کار دام، انسان و ماشین‌آلات برخی از این نهاده‌ها هستند. بنابراین برای مشاهده دقیق‌تر وقایع در سیستم کشاورزی لازم است هر کدام از نهاده‌ها را به روشنی مورد ارزیابی قرار داد. ازاین‌رو فرمول نهایی محاسبه نیروی کار در گندم‌زارهای ایران به صورت سال‌به‌سال محاسبه شده و در نهایت به صورت پیش و پس از وقوع انقلاب سبز در ایران و در طی بازده‌های زمانی ۵ گانه‌ای که در آن وقایع اجتماعی کشور در قالب متابولیسم اجتماعی تقسیم‌بندی شده‌اند، با استفاده از فرمول‌های زیر تجزیه شده و مورد تحلیل قرار خواهند گرفت.

$$EFEROIt = \frac{FPt}{EIt} \qquad (۴)$$

EFEROI (External Final EROI) اطلاعاتی در مورد ظرفیت سیستم کشاورزی برای تامین انرژی بیشتر از انرژی دریافتی از جامعه می‌دهد و همچنین وابستگی عملکرد اکوسیستم کشاورزی به نهاده خارجی یا EI (External Input) را نیز می‌سنجد. در این

مورد نهاده‌های خارجی‌ای که مورد بررسی قرار می‌گیرند عبارتند از: نیروی کار دام، نیروی کار انسان و نیروی کار ماشین‌آلات. اطلاعات این بازه زمانی ۱۰۰ ساله در نهایت به‌صورت میانگین‌های ده ساله به‌منظور بافرسازی تغییرات سال به سال مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. که به این منظور از مایکروسافت اکسل ۲۰۰۷ و نرم‌افزار مینی‌تب (Minitab® 17.1.0) استفاده شد و برای ترسیم اشکال نیز مایکروسافت اکسل ۲۰۰۷ مورد استفاده قرار گرفت.

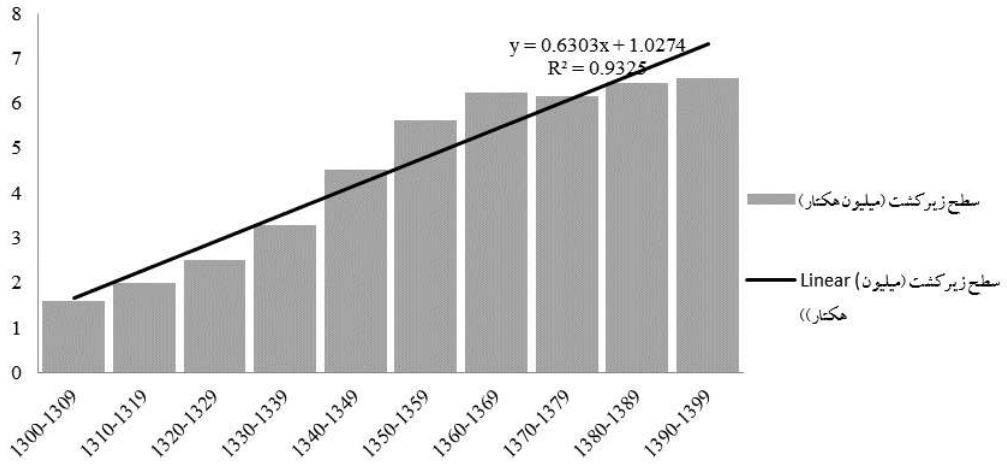
نتایج و بحث

در ابتدای بیان نتایج لازم است این نکته یادآور شود که شرایط بوم‌نظام‌های تولید گندم در بازه مورد مطالعه از نظر زمانی به دو دوره پیش و پس از صنعتی‌شدن تقسیم شده است. با توجه به مرزبندی انجام شده، در پژوهش حاضر از ابتدای دوره مورد مطالعه (۱۳۰۰) تا زمان آغاز انقلاب سبز در جهان در سال و ایران در سال ۱۳۳۹ (۱۹۶۱ میلادی) را به‌عنوان اکوسیستم‌های سنتی و پس از این دوران را به‌عنوان آغاز و ادامه انقلاب سبز در اکوسیستم‌های تولید گندم در نظر می‌گیریم که تاثیرات عمدهای بر روی تولیدات کشاورزی از جمله سطح زیر کشت گیاهان و مقدار تولیدشان داشته است. از طرفی شرایط اجتماعی ایران نیز تغییرات چشمگیری در این بازه۱۰۰ ساله داشته است که آنها را به چهار دوره تقسیم‌بندی کرده و برای تحلیل رخدادها از این دسته‌بندی‌ها استفاده خواهد شد. این دوره‌های اجتماعی عبارتند از: دوره اول (۱۳۰۰-۱۳۱۹) که در دوران حکومت پهلوی اول قرار دارد، دوره دوم از ۱۳۱۹ تا ۱۳۳۹ دوران سلطنت محمدرضا پهلوی تا آغاز انقلاب سبز و اجرای اصلاحات ارضی، دوره سوم در فاصله سال‌های ۱۳۴۰ تا ۱۳۶۸ از آغاز صنعتی‌شدن کشاورزی تا پایان دوران حکومت محمدرضا پهلوی، وقوع انقلاب اسلامی و آغاز تا پایان دوران جنگ تحمیلی را نشان داده و در نهایت از ۱۳۶۹ تا امروز را دوران کنونی نام‌گذاری خواهیم کرد. دوره‌های مذکور به‌دلیل اثرات ویژه بر اوضاع کشاورزی کشور مدنظر قرار گرفته‌اند.

- سطح زیر کشت گندم

تغییرات سطح زیر کشت گندم اولین بخشی است که باید مورد بررسی قرار بگیرد. در این بازه ۱۰۰ ساله سطح زیر کشت گندم در ایران فرازوفرودهایی را تجربه کرده است که اکثرا ریشه در اوضاع اجتماعی ایران دارد. در مدت زمان مورد بررسی این پژوهش سطح زیر کشت روند صعودی داشته است. در دوره اول سطح زیر کشت از ۱/۳ میلیون هکتار در ابتدای دوره با ۳۰ درصد افزایش به‌مقدار میانگین ۱/۷ میلیون هکتار رسید. در کنار توجه رضا پهلوی به صنعت و نوعی از کشاورزی که بتواند نیازهای صنایع را محقق سازد، کشت گندم نیز در این سال‌ها رو به افزایش نهاد. در دوره دوم با آغاز طرح اصلاحات ارضی و زمزمه آغاز انقلاب سبز در جهان و هم‌راستا با افزایش جمعیت کشور، نیاز به تولید گندم نیز رو به گسترش نهاد. در این دوره با ورود نهاده‌های جدید به خصوص مکانیزاسیون امکان کشت اراضی بیشتری در کشور فراهم گردید. ورود مکانیزاسیون امکان زیر کشت بردن اراضی بایر و مناطق مرتعی را به نفع تولیدات گیاهی نیز فراهم کرد و در همین دوره با ورود نهاده‌های خارجی سطح زیر کشت گندم از میانگین ۱/۷ میلیون هکتار در دوره دوم با رشد بیش از ۷۰ درصد به میانگین ۲/۹ میلیون هکتار رسید. با آغاز این دوره و سرعت یافتن گسترش انقلاب سبز و پیامدهای آن در بالابردن تولیدات جهانی سطح زیرکشت گندم رو به افزایش نهاد. به‌نظر می‌رسد که فعالیت‌های آغاز شده برای پیوستن به جریان صنعتی‌شدن که از دوره قبل آغاز شده بود می‌تواند دلیلی برای این افزایش (کریمیان، ۱۳۹۰؛ کیانی و همکاران، ۱۳۸۷) اشاره داشت. دوره سوم در سال ۱۳۴۰ آغاز شد. در مقایسه کلی، این دوره نسبت به دوره قبل با افزایش ۸۵ درصدی در مقدار سطح زیر کشت قابل مشاهده تشخیص است. به‌نظر می‌رسد اقدامات قبلی در این مرحله گسترش یافته و منجر به این میزان پیشرفت گردیده است. در دوره آخر (۱۳۶۹-۱۴۰۰) سطح زیر کشت در ابتدای دوره رو به کاهش می‌گذارد. به‌نحوی که در ابتدای دوره مساحت زیر کشت گندم در کشور معادل ۶/۱ میلیون هکتار گزارش شده است؛ در حالی که ده سال

بعد به مساحتی معادل ۵/۱ میلیون هکتار رسیده است. حائز اهمیت است که به‌منظور یافتن دلیلی برای این کاهش در سطح زیرکشت نباید مسئله مهم دوره‌های خشک‌سالی که هر ازچندگاه گریبان کشور را می‌گیرد؛ از نظر دور بماند. یکی از این خشک‌سالی‌ها در بازه زمانی ده سال اول این دوره حادث شده و عمدتاً خشک‌سالی‌های متوسط تا شدید از ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۴ (بهنیافر، ۱۳۹۰) کشاورزی کشور را تحت تاثیر قرار داده است. از آنجا که خشک‌سالی پدیده‌ای پیش‌رونده و مزمن می‌باشد، بخش‌های مختلف اکوسیستم‌های ایران را به مرور تحت تاثیر قرار داده است که از پیامدهای آن می‌توان کمتر زیر کشت بردن اراضی مخصوصا اراضی دیم به‌دلیل عدم فراهمی آب کافی برای حمایت از دوره رشد گندم را در این بازه ذکر کرد. در ادامه با توجه به نمودار مشاهده می‌شود که تغییرات روند سطح زیر کشت از سال ۱۳۷۹ تا سال ۱۳۸۵ افزایشی بوده و در سال ۱۳۸۶ همزمان با تمامی نقاط جهان (FAO, 2009) با تغییر شدید ۲۷/۳۶- درصدی روبه‌رو شده است و در طی دو سال بعد اگرچه روند افزایشی می‌باشد اما هنوز به مساحت پیش از سال ۲۰۰۸ یعنی ۶/۶ میلیون هکتار نرسیده است (نمودار ۱). در ادامه و از سال‌های ۱۳۸۹ تا انتهای دوره بیشترین سطح زیر کشت به سال ۱۳۹۶ تعلق داشته است که مساحتی معادل ۸ میلیون هکتار از سطح اراضی کشت شده کشور به گندم اختصاص داده شده است. پس از تشریح این بخش به‌عنوان یکی از عناصر زیربنایی در میزان تولیدات اکوسیستم-ها، اکنون می‌توان به موضوع کار صرف‌شده در این اراضی پرداخت.



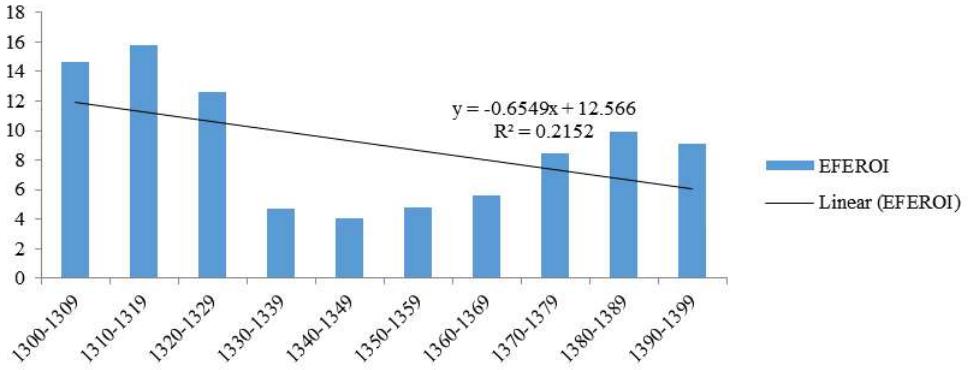
شکل ۲- تغییرات سطح زیر کشت گندم ایران از ۱۳۰۰ تا ۱۴۰۰. منبع: یافته‌های پژوهش

EFEROI

EFEROI (FP/EI) یا انرژی نهایی خارجی برگشت‌یافته به میزان انرژی صرف‌شده که نهاده‌های خارجی (EI) را به محصول نهایی (FP) مرتبط می‌کند. این فرمول به‌نحوی از مرزهای اکوسیستم کشاورزی عبور می‌کند و فعالیت کشاورزی را با بقیه سیستم انرژی یک جامعه پیوند می‌دهد. ازاین‌رو، ارزیابی می‌کند که تا چه اندازه اکوسیستم تجزیه‌شده کشاورزی به یک سیستم ارائه‌دهنده خالص یا به بیان دیگر مصرف‌کننده خالص انرژی در سطح اجتماعی تبدیل می‌شود، تحلیلی که برای ارزیابی مؤلفه کشاورزی «قانون حداقل EROI» ارائه شده توسط Hall *et al* (2009) و Hall & Klitgaard (2011) بسیار مهم قلمداد شده است. در واقع با بررسی EFEROI می‌توان تاثیر نهاده‌های مصرفی در اکوسیستم را در بازده نهایی مقدار انرژی صرف‌شده بیان کنیم. با توجه به فرمول محاسبه این EROI مقدار تولید نهایی به مقدار انرژی مصرف شده در اکوسیستم‌ها تعیین‌کننده نسبت EFEROI می‌باشد.

نهاده‌های کشاورزی انواع متفاوتی دارندکه در تولید هر کدام از آنها نیز مقادیر متفاوتی انرژی صرف شده است و به تبع به کاربردن آنها نیز منجر به تغییرات مختلفی در مقدار نهایی تولید سامانه‌های کشاورزی خواهد شد. در مقاله حاضر نهاده‌های مرتبط با موضوع کار مورد بررسی قرار گرفته‌اند و لذا آنچه در مخرج

کسر تحت عنوان (EI) قرار می‌گیرد، مقادیر انرژی مربوط به نیروی کار دام، انسان و ماشین‌آلات کشاورزی است. با در نظر داشتن این موضوع اکنون می‌توان به تفسیر نتایج در بخش EFEROI در نمودار ۲ پرداخت. اگرچه روند تغییرات EFEROI به طور کلی روند کاهشی را نشان می‌دهد. این امر بیانگر این مطلب است که کاربرد بیشتر نهاده‌های کار در سامانه‌های تولید گندم ایران تاثیری بر افزودن به مقدار تولید نهایی این سامانه‌ها نداشته است. از این مطلب می‌توان برای مدیریت بوم‌نظام‌های گندم ایرانی بهره برد. اما این مقدار در دوره اول به صورت افزایشی است. در فاصله سال‌های ۱۳۰۰ تا ۱۳۱۹ با میانگین ۱۵/۲، استفاده از نهاده‌های خارجی منجر به تولید بیشتر در سامانه‌های گندم ایران شده است. سامانه‌های سنتی تولید گندم تنها در ده ساله اول که تنها منبع تامین نیرو، استفاده از نهاده کار انسانی و کار دام بوده است، با کاربرد بیشتر نیرو، پاسخ بهتری در قالب تولید نهایی (دانه گندم) داده‌اند؛ اما با توجه به نمودار به خوبی دیده می‌شود که در ده سال آخر دوره دوم (۱۳۳۰-۱۳۳۹) همزمان با وارد شدن نهاده‌های مربوط به انقلاب سبز به ایران از میزان EFEROI کاسته شده است. کم شدن نسبت میزان تولید به میان نهاده‌های خارجی استفاده شده در این سامانه‌ها بیانگر اثر کمتر آنها در دستیابی به تولید بیشتر است. اگرچه روند تغییرات EFEROI در ادامه مجددا افزایشی می‌شود اما تا دوران کنونی هنوز به مقدار اولیه آن در سیستم سنتی تولید گندم نرسیده است. به‌نظر می‌رسد بازده هر واحد EI در اکوسیستم‌های سنتی دوره اول معادل ۰/۷۴ بوده و در شرایط فعلی ۰/۴۳ می‌باشد. این نتایج لازم است در هنگام برنامه‌ریزی برای اکوسیستم‌های کشور مدنظر قرار داده شوند. گویا در شرایط فعلی اکوسیستم‌ها به افزایش مقدار بیشتر EI پاسخ کمتر مثبتی در مقایسه با قبل می‌دهند. این نتایج با مطالعه Díez *et al* (2018) در مورد اکوسیستم‌های اسپانیایی مطابقت دارد.

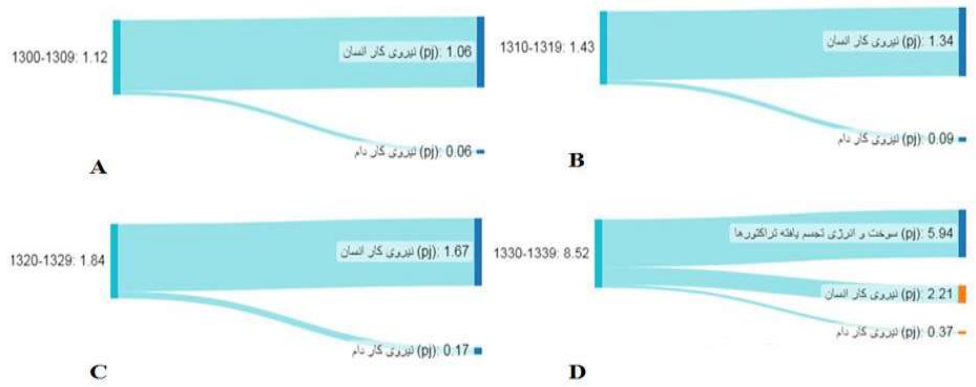


شکل ۳- تغییرات EFEROI گندم‌زارهای ایران از ۱۳۰۰ تا ۱۴۰۰. منبع: یافته‌های تحقیق.

نهاده‌های خارجی

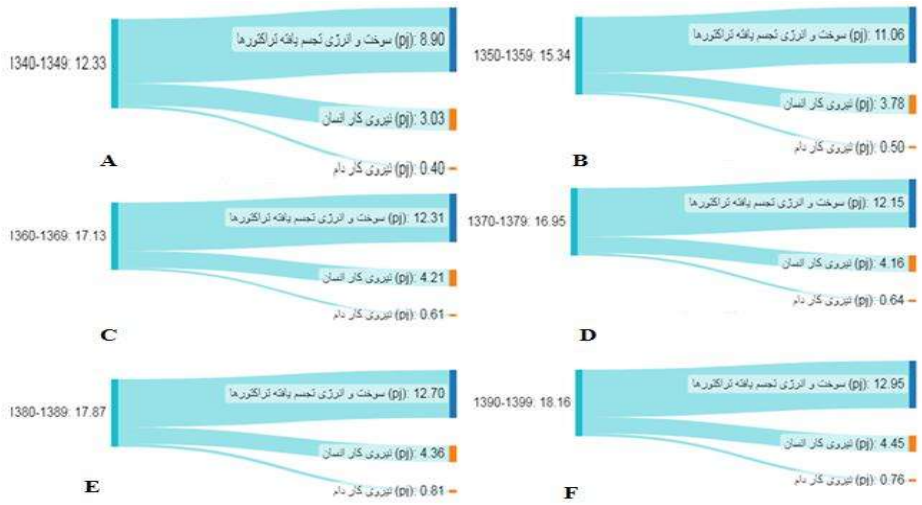
در شکل‌های ۴ و ۵ تغییرات نهاده‌های خارجی مربوط به نیروی کار استفاده شده در سامانه-های سنتی و صنعتی تولید گندم ایران به تفکیک هر دهه مشاهده می‌شود. جامعه بخش کشاورزی را مدیریت می‌کند و ردپای خود را بر سیمای اکوسیستم‌ها از طریق جامعه کشاورزی برجا می‌گذارد. جامعه کشاورزی، چشم‌اندازها را با هدایت جریان‌های انرژی به‌گونه‌ای ساختار می‌بخشد تا هم اکوسیستم‌ها و هم جامعه امکان تغذیه و برخورداری از تولیدات کشاورزی را داشته باشند. به‌منظور انجام این کار، جامعه همچنین انرژی خارجی را به اکوسیستم کشاورزی وارد می‌کنند. این نهاده‌های خارجی (EI) به نیروی انسانی، نیروی دام و ابزارهای کشاورزی و کودهای دامی در سیستم‌های ارگانیک محدود می‌شدند، اما با گسترش صنعتی‌شدن کشاورزی، سوخت فسیلی و ابزارآلات جدید نیز به بازیگران سابق در عرصه تولید افزوده شدند و شبکه پیچیده‌تری از روابط بنا یافت. دراین شرایط لازم است اثر هر کدام از این نهاده‌ها به روشنی مورد ارزیابی قرار بگیرد تا مدیر مزرعه بتواند به صورت کاملا دقیق جریان‌های انرژی موجود را برای به دست آوردن بالاترین مقدار سود مدیریت کند. با توجه به شکل ۱A دیده می‌شود که در یک سامانه کاملا سنتی تولید گندم نیروی کار

۱/۱۲ پتاژول انرژی را به خود اختصاص داده است که از این مقدار بیشترین سهم از آن نیروی کار انسانی بوده است. این روند تا سه دهه بعدی همچنان ادامه دارد و تنها در دهه چهارم دوران کشاورزی سنتی است که نهاده نیروی کار ماشین‌آلات در قالب سوخت و انرژی تجسم‌یافته آنها به سامانه تولید وارد شده است (شکل ۱D).



شکل ۴- نهاده‌های کار مورد استفاده در بوم‌نظام‌های تولید گندم ایران پیش از انقلاب سبز. منبع: یافته‌های تحقیق.
(A=۱۳۰۰-۱۳۰۹؛ B=۱۳۱۰-۱۳۱۹؛ C=۱۳۲۰-۱۳۲۹؛ D=۱۳۳۰-۱۳۳۹)

شکل ۵ منابع تامین‌کننده نیروی کار را در سامانه‌های صنعتی تولید گندم ایران از سال ۱۳۴۰ تا ۱۳۹۹ به صورت دهه‌بندی نشان می‌دهد. در تمامی این دهه‌ها آنچه به وضوح دیده می‌شود برتری میزان انرژی اختصاص‌یافته به مکانیزاسیون کشاورزی در مقایسه با دو منبع دیگر تامین‌کننده نیروی کار است. در این شکل اعداد سمت راست نمودارهای سانکی مجموع نیروی کار صرف شده در سامانه‌های تولید گندم را نشان می‌دهند. روند تغییر مجموع انرژی‌های واردشده به سامانه‌های تولید گندم به‌طور کلی افزایشی است که در کنار افزوده شدن به سطح زیر کشت گندم (نمودار ۱) در این دوره زمانی کاملا منطقی است، زیرا با فراهم شدن امکان کاشت اراضی بیشتر افراد و دام‌های بیشتری در کنار مکانیزاسیون در زمین‌های کشاورزی مشغول به کار شدند.



شکل ۵ – سهم هر کدام از منابع کار مصرفی در بوم‌نظام‌های تولید گندم ایران در هر دهه بعد از وقوع انقلاب سبز (از ۱۳۴۰ تا ۱۳۹۹). منبع: یافته‌های تحقیق

در جدول ۱ سهم سه منبع تامین نیرو در سامانه‌های تولید گندم به شیوه کشاورزی رایج بر حسب درصد مشاهده می‌شود. همچنین با توجه به نتایج شکل ۲ از A تا E دیده می‌شود که در ابتدای ورود مکانیزاسیون به سامانه‌های تولید گندم ایران سهم بیشتری از تامین نیروی کار را در اختیار داشته است که با رسیدن به دوران کنونی چیزی در حدود ۱/۱ درصدکاهش یافته است (جدول ۱)، در مقابل نیروی کار دام روند آرام و افرایشی را پیش گرفته و از ابتدای دوره تا انتهای آن در حدود ۲۹ درصد افزایش داشته است. نتایج به دست آمده با پژوهش استین‌وک و همکاران (۲۰۲۲) هم‌راستا می‌باشد.

جدول ۱– درصد منابع تامین کننده نیروی کار در تولیدگندم پس از انقلاب سبز (۱۳۴۰–۱۳۹۹). منبع: یافته‌های تحقیق

	سوخت و انرژی تجسم یافته تراکتورها (٪)	نیروی کار انسان (٪)	نیروی کار دام (٪)
۱۳۴۹-۱۳۴۰	۷۲/۲۰	۲۴/۵۷	۳/۲۴
۱۳۵۹-۱۳۵۰	۷۲/۱۴	۲۴/۶۴	۳/۲۵
۱۳۶۹-۱۳۶۰	۷۱/۸۸	۲۴/۵۷	۳/۵۶
۱۳۷۹-۱۳۷۰	۷۱/۷۳	۲۴/۵۴	۳/۷۷
۱۳۸۹-۱۳۸۰	۷۱/۰۷	۲۴/۳۹	۴/۵۳
۱۳۹۹-۱۳۹۰	۷۱/۳۳	۲۴/۵۰	۴/۱۸

نتیجه‌گیری

رشد جمعیت جهان این نگرانی را ایجاد کرده است که مردم از تمام زمین‌های کشاورزی موجود برای تامین غذای خود استفاده کنند. در مقیاس جهانی اگر بهره‌وری زمین نسبت به مقدارش از سال ۱۸۰۰ تغییر نکرده بود، جمعیت کنونی جهان بدون افزایش بهره‌وری زمین با کمبود زمین مواجه می‌شد، در این شرایط جهان به اراضی زراعی بسیار بیشتری برای تغذیه جمعیت بشر نیاز داشت (Revelle, 1976). در عوض، بهره‌وری زمین از سال ۱۹۵۰ تا ۲۷۵ درصد افزایش یافته است تا به تغذیه جمعیت در حال رشد ادامه دهد. این شرایط برای ایران جمعیت در حال افزایش ایران و در مقایسه با میزان تولید گندم و سطح زیر کشت آن صادق است (لجم‌اورک رمه‌چری و همکاران، ۱۴۰۱)، و در ایران نیز (شکل ۱) همانند سایر مناطق جهان نرخ گسترش زمین‌های زراعی نسبت به سطوح قبل از ۱۹۵۰ کاهش یافته است. این رشد ۲۷۵ درصدی جهانی در بهره‌وری از زمین، شاهدی بر نظریه Boserup (1965) است که اظهار می‌دارد عرضه غذا در پاسخ به فشار جمعیت افزایش می‌یابد. دلایل زیادی در افزایش بهره‌وری از زمین موثر بوده‌اند که از جمله آنها می‌توان به استفاده از نهاده‌های خارجی در قالب کودهای شیمیایی (Van Zanden 1991)، و فن‌آوری‌های مکانیکی قوی (جدول ۱) و کارآمد با سوخت مایع یا برق اشاره داشت.

اگرچه فناوری‌های مکانیکی با افزایش امکان عملیات شخم،کاربرد مواد شیمیایی کشاورزی و آبیاری، بهره‌وری زمین را افزایش داده و در نتیجه با افزایش نهاده‌ها در هکتار، عملکرد را افزایش داده‌اند اما در بررسی‌های انجام شده به منظور سنجش مقدار انرژی نهایی به دست آمده در مقایسه با انرژی صرف‌شده دیده می‌شود که استفاده از این فناوری‌ها در نتیجه نهایی بازه انرژی چندان موفق ظاهر نشده‌اند و از آنجایی که برای نگهداری آنها و تامین سوخت مورد نیازشان به انرژی نیاز هست در عمل بازده زیادی ندارند. در این شرایط پیشنهاد می‌شود پژوهشگران حوزه ماشین‌آلات کشاورزی در پی طراحی و ساخت فناوری‌های

جدیدی باشند تا در عین حال که به محتوی انرژی در قالب انرژی تجسم یافته در تولید ماشین‌آلات و همچنین سوخت مصرفی نیاز کمتری دارند، بازده بیشتری برای استفاده در بوم‌نظام‌های کشاورزی که بخشی از بوم‌نظام-های طبیعی هستند، نیز داشته باشند. در آینده در ایران نیز همانند سایر مناطق جهان در رابطه با ارتباط میان افزایش سطح زیر کشت و بهره‌وری از زمین، عوامل متعددی مانند محدودیت‌های بیوفیزیکی بر بهره‌وری خاک، تغییر در الگوهای بارش یا جمع‌آوری و پردازش داده‌های مرتبط با کشاورزی دقیق ممکن است، تأثیر بگذارند. اگر شرایط در آینده نیز مشابه وضعیت فعلی باشد؛ در صورتی که به نیروی کار بیشتری در مزراع نیاز باشد، به احتمال زیاد انرژی نهایی بیشتری نیز مورد نیاز خواهد بود، و از آنجایی که مصرف انرژی بیشتر در آینده بر خلاف اهداف مربوط به حفاظت از محیط زیست است، لازم است به این بخش از سامانه‌های تولیدات کشاورزی مخصوصا تولید گندم توجه ویژه‌ای اعمال داشت.

منابع

آزاد شهرکی، ف.، ک. شرافتی، و م، قاسمی نژاد. ۱۳۸۹. تعیین شاخص‌های انرژی در تولید محصولات عمده در بردسیر. ششمین کنگره ملی مهندسی و مکانیزاسیون ماشین‌های کشاورزی. تهران.

بهنیافر، ع.، م. حبیبی نوخندان، و ر، دولاتی. ۱۳۹۰. اثرات خشک‌سالی بر منابع آب حوضه مرکزی گناباد طی سال‌های ۱۳۶۵-۱۳۸۵. مجله جغرافیای فیزیکی.۶۶-۵۳: (۷).

کریمی، س.، ت. مصری گوندوشمیان، و ن. خادم الحسین. ۱۳۹۲. تعیین و تحلیل عمر مفید اقتصادی تراکتورهای کشاورزی در استان آذربایجان غربی. مجله علوم کشاورزی و تولید پایدار، ۲۲(۴): ۸۷-۹۸.

کیانی، ش.، ن. لویمی، و م، الماسی. ۱۳۸۷. مبانی مکانیزاسیون کشاورزی (اصول و کاربرد) با ویرایش و بازنگری. جنگل، ۱۸-۲۲.

لجم‌اورک رمه‌چری، ش.، ع. مهدوی دامغانی، و ه. لیاقتی. ۱۴۰۱. بررسی اگرواکولوژیک روند تاریخی تغییرات تولید و سطح زیر کشت گندم و تغییرات جمعیتی در ایران در دوره ۱۳۹۹-۱۳۴۰. فصلنامه علوم محیطی، ۲۲۸-۲۰۵: (۴)۲۰ .

مرکز آمار ایران. ۱۴۰۰.
/https://www.amar.org.ir

همتیان، ع.، ج. رنجبر، و ا. بختیاری. ۱۳۹۰. ارزیابی انرژی تولید گندم دیم و برآورد شاخص‌های انرژی (مطالعه موردی: بخش سرفیروزآباد کرمانشاه). ششمین کنگره ملی مهندسی و مکانیزاسیون ماشین‌های کشاورزی. تهران.

وزارت جهاد کشاورزی ایران. ۱۴۰۰.
https://www.maj.ir

Aguilera, E., G. Guzmán Casado, J. Infante Amate, D. Soto Fernández, R. García Ruiz, A. Herrera, I. Villa, E. Torremocha, G. Carranza, and M. González de Molina. 2015. Embodied energy in agricultural inputs. Incorporating a historical perspective.

Boserup, E. 2011. The conditions of agricultural growth: The economics of agrarin change under population pressure. Transaction Publishers.

Díez, L., X. Cussó, R. Padró, I. Marco, C. Cattaneo, J.R. Olarieta, R. Garrabou, and E. Tello. 2018. More than energy transformations: a historical transition from organic to industrialized farm systems in a Mediterranean village (Les Oluges, Catalonia, 1860–1959–1999). International Journal of Agricultural Sustainability, 16(4-5): 399-417.

Floor, W.M. 2003. Agriculture in Qajar Iran. Mage Publishers.

Fluck, R.C. 1981. Net energy sequestered in agricultural labor. *Transactions of the ASAE*, *24*(6): 1449-1455.

Fluck, R.C. 1992. Energy of human labor. *Energy in Farm production*, *6*: 31-37.

Food and Agriculture Organization. 2021. Internet database: http://www.fao.org.

Guzmán, G., E. Aguilera, D. Soto, A. Cid, J. Infante, R.G. Ruiz, A. Herrera, I. Villa, and M.G. de Molina. 2014. Methodology and conversion factors to estimate the net primary productivity of historical and contemporary agroecosystems (No. 1407). Sociedad Española de Historia Agraria.

Olmstead, A.L. and P.W. Rhode. 2018. Agriculture in American economic history. In The Oxford Handbook of American Economic History.

Pracha, A.S. and T.A., Volk. 2011. An edible energy return on investment (EEROI) analysis of wheat and rice in Pakistan. *Sustainability*, 3(12): 2358-2391.

Quick, G.R. 2006. Compact tractor bible. Voyageur Press.

Revelle, R. 1976. Energy Use in Rural India: It is surprisingly high, but an increase in energy supplies and more efficient utilization are needed.
Science, 192(4243): 969-975.

Scheidel, A. and A.H. Sorman. 2012. Energy transitions and the global land rush: Ultimate drivers and persistent consequences. *Global environmental change*, *22*(3): 588-595.

Smil, V. 2010. Energy transitions: history, requirements, prospects. ABC-CLIO.

Hall, C.A. and K.A. Klitgaard. 2011. *Energy and the Wealth of Nations*. New York: Springer.

Hall, C.A., S. Balogh, and D.J. Murphy. 2009. What is the minimum EROI that a sustainable society must have?. Energies, 2(1): 25-47.

Holzner, S. 2014. Physics I Workbook For Dummies. John Wiley & Sons.

Hoye Tractor Parts. Additional Help; 2006. Available online: http://www.hoyetractor.com/ whomakes.htm (accessed on 28 June 2009).
Https://www.tahlilbazaar.com/service/Agriculture/AgriculturalTools

Krausmann, F. 2004. Milk, manure, and muscle power. Livestock and the transformation of preindustrial agriculture in Central Europe. *Human Ecology*, *32*(6): 735-772.

Leach, G. 1976. *Energy and food production*. IPC Science and Technology Press.

Martinez-Alier, J. 2011. The EROI of agriculture and its use by the Via Campesina. The Journal of Peasant Studies, *38*(1): 145-160.

Tello, E., E. Galán, V. Sacristán, G. Cunfer, G.I. Guzmán, M.G. de Molina, F. Krausmann, S. Gingrich, R. Padró, I. Marco, and D. Moreno-Delgado. 2016. Opening the black box of energy throughputs in farm systems: a decomposition analysis between the energy returns to external inputs, internal biomass reuses and total inputs consumed (the Vallès County, Catalonia, c. 1860 and 1999).
Ecological Economics, 121: 160-174.

Vahedi, A. 2019. Energy consumption assessment and economic analysis of irrigated wheat production in Iran. Cereal Research, 9(2): 115-128.

Van Zanden, J.L. 1991. The first green revolution: the growth of production and productivity in European agriculture, 1870–1914. EconHist Rev, 2:215–239.

Stanhill, G. 1984. Agricultural labour: From energy source to sink. In *Energy and agriculture*, 113-130.

Steenwyk, P., M.K. Heun, P. Brockway, T. Sousa, and S. Henriques. 2022. The Contributions of Muscle and Machine Work to Land and Labor Productivity in World Agriculture Since 1800. Biophysical Economics and Sustainability, *7*(2): 1-17.

Stout, B.A. 2012. Handbook of energy for world agriculture. Elsevier.

Tello, E., E. Galán, G. Cunfer, G. Guzmán, M. González de Molina, F. Krausmann, S. Gingrich, V. Sacristán Adinolfi, I. Marco, R. Padró, and D. Moreno-Delgado. 2015. A proposal for a workable analysis of Energy Return On Investment (EROI) in agroecosystems.
Part I: Analytical approach. IFF Social Ecology Working Papers, 156: 1-110.

The historical trend of changes in different sources of labor in the productivity of agricultural lands in Iran's wheat production ecosystems (1921-2020)

S. Lajmorak Rameh'chari[1], A. Mahdavi Damghani[2*], H. Liaghati[3]

1. Ph.D Graduated, Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
2. Associate Professor, Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
3. Full Professor, Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Abstract

Traditional agricultural systems and conventional agriculture have major differences from each other. Among these differences, we can refer to the number and different sources of external inputs used to achieve the final production. One of these inputs is the labor issue in Iran's agricultural systems, especially wheat production. The workforce in these systems is provided from the source of human labor, livestock labor and mechanization. The present study was compiled in order to describe the resources used in the physical work that occurred in wheat production ecosystems in Iran and the changes in its cultivated area during a hundred years. For this purpose, the method of energy return on investment was used. The required data were collected from various sources such as the Iranian Statistics Center, the Information and Communication Technology Center of the Ministry of Agriculture, the FAO statistical database, and historical sources. The data were converted into Joules using conversion coefficients and finally, these time series were analyzed using Microsoft Excel 2007 and Minitab® 17.1.0 software. The results of the research indicate an increase in the area under wheat cultivation from an average of 1.5 million hectares at the beginning of the study period to an average of 6.5 million hectares. During this one-hundred-year time period, the final yield of wheat production systems as the amount of work input that has entered the system as an external input (EFEROI) has decreased 37%. Therefore, it is necessary to review and revise the design of labor supply sources for wheat production systems.

Keywords: Agricultural inputs, Agricultural mechanization, Animal power, Area under wheat cultivation, Human power

* Corresponding author (mahdavi.a@sbu.ac.ir)