

Assessing Fuel Consumption, Energy Use, and Greenhouse Gas Emissions in Plant Production in Iran

Seyedreza Amiri^{*1,2} , Majid Alimagham³, Afshin Soltani^{3*} 

Received: 10 July, 2024

Accepted: 24 May, 2025

1-Dept. of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, University of Saravan.Iran.

2-Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Iran.

3. Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

Corresponding Author E-mail: amirisedreza86@gmail.com, R.Amiri@ujiroft.ac.ir and afshin.soltani@gmail.com,

Abstract

Background & Objectives: One of the most pressing challenges facing humanity is achieving sustainable food production while preserving the environment. Agriculture currently represents a major source of greenhouse gas (GHG) emissions. The increasing atmospheric concentration of these gases accelerates climate change and its detrimental effects worldwide. This study aimed to develop a dynamic module to investigate the environmental impact of plant production in Iran.

Materials and Methods: The module facilitates the estimation of fuel, electricity, and energy consumption within the agricultural sector of Iran. Additionally, it enables the assessment of greenhouse gas emissions associated with agricultural production at both national and provincial levels. Calculations within the module were conducted for a total of 36 plant types, encompassing 18 field crop, 13 fruit plants, and 5 vegetable crops. The module differentiates between rainfed and irrigated agriculture at both national and provincial scales.

Results: Our results revealed that plant production consume 440,720,680 MJ yr⁻¹ energy, encompassing both direct and indirect energy inputs, at country level. Of this total energy consumption, 73% is allocated to field crops, 22% to fruit plants, and the remaining 5% supports vegetable production. Additionally, 89% of the energy used for plant production is dedicated to irrigated conditions, while the remaining 11% sustains rainfed agriculture. Annually, 21456 thousand tons of carbon dioxide equivalent are emitted from plant production in Iran. 66%, 28%, 6% of this amount of emission is due to the production of field crops, fruit plants and vegetables, respectively.

Conclusion: Aligned with the principles of sustainable agricultural product management, the module facilitates the investigation of various environmental impacts at national and provincial levels. These impacts include: the effects of changing on-farm management practices for plant production, variations in input consumption, adjustments to cropping patterns, reductions in losses and waste, and population growth.

Keywords: Climate change, Environment, Module, Model

ارزیابی مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولیدات گیاهی در کشور

سید رضا امیری^{۱،۲*} مجید عالیمقام^۳، افشین سلطانی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۰	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۷/۰۳
--------------------------	-------------------------

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه سراوان، ایران

۲- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، ایران

۳- دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

چکیده

مقدمه و اهداف: تولید پایدار غذا همراه با حفظ محیط زیست، یکی از بزرگترین چالش‌های پیش روی بشر می‌باشد. در حال حاضر کشاورزی یکی از بزرگترین منابع تولید گازهای گلخانه‌ای است. افزایش غلظت این گازها در جو باعث تسریع پدیده تغییر اقلیم و اثرات مخرب آن در جهان می‌شود.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه یک ماژول جهت بررسی تأثیر تولید محصولات گیاهی بر محیط زیست در سطح کشور استفاده شد. با استفاده از این ماژول می‌توان مقدار سوخت، الکتریسیته و انرژی مصرفی در بخش کشاورزی و همچنین انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید محصولات کشاورزی در سطح کشور و استان را برآورد کرد. در ماژول محاسبات برای ۱۸ گیاه زراعی، ۱۳ گیاه باغی و ۵ گیاه صیفی و سبزیجات در سطح کشوری و استانی به تفکیک دیم و آبی انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد سالانه ۴۴۰۷۲۰۶۸۰ گیگاژول انرژی (مجموع انرژی مستقیم و غیرمستقیم) در مزارع تولید محصولات گیاهی مصرف می‌شود که ۷۳ درصد از این انرژی برای تولید محصولات زراعی، ۲۲ درصد برای تولید محصولات باغبانی و ۵ درصد برای تولید صیفی و سبزیجات استفاده می‌شود. از کل انرژی مصرفی برای تولید محصولات گیاهی ۸۹ درصد برای تولید محصولات آبی و ۱۱ درصد برای تولید محصولات دیم صرف می‌شود. سالانه ۲۱۴۵۶ هزار تن معادل دی اکسید کربن از محل تولید محصولات گیاهی در کشور منتشر می‌شود. ۶۶ درصد از این مقدار انتشار ناشی از تولید محصولات زراعی، ۲۸ درصد ناشی از تولید محصولات باغبانی و ۶ درصد ناشی از تولید صیفی و سبزیجات در کشور است. همچنین از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای ۸۶ درصد ناشی از تولید محصولات آبی و ۱۴ درصد ناشی از تولید محصولات دیم می‌باشد.

نتیجه گیری: در راستای مدیریت پایدار محصولات کشاورزی با استفاده از این ماژول می‌توان اثرات تغییر روش‌های مدیریتی در مزرعه برای تولید محصولات گیاهی، اثرات تغییر مصرف مقدار نهاده‌ها در مزرعه، تأثیر تغییر الگوی کاشت در سطح کشوری و استانی، تأثیر کاهش تلفات و ضایعات، افزایش جمعیت بر شاخص‌های محیط زیستی در کشور را مورد بررسی قرار داد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، ماژول، محیط زیست، مدل

مقدمه

تغییر اقلیم از پیامدهای افزایش گازهای گلخانه‌ای در جو است. با مقایسه تأثیر پدیده‌های طبیعی در ایجاد تغییر اقلیم (شامل شکل مدار زمین، زاویه محور زمین نسبت به مدار چرخش و فاصله زمین از خورشید) با فعالیت‌های انسانی تأثیرگذار در گرم شدن زمین (مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از سوختن سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی)، مشاهده می‌شود که فعالیت‌های انسانی باعث تسریع وقوع پدیده تغییر اقلیم در کره زمین شده است. دمای کره زمین بر اساس تغییر عوامل طبیعی در هر قرن کمتر از 0.1 درجه سانتی‌گراد تغییر می‌کند. این در حالی است که بر اساس فعالیت‌های انسانی دمای زمین پس از انقلاب صنعتی تاکنون در حدود 1 درجه افزایش داشته است (گایدن و همکاران ۲۰۱۹). بر اساس سناریوهای مختلف تغییر اقلیم، پیش‌بینی می‌شود که تا اواخر قرن حاضر، دمای کره زمین $1/5$ تا $5/8$ درجه سلسیوس افزایش خواهد داشت (گایدن و همکاران ۲۰۱۹). افزایش دما منجر به وقوع تغییر اقلیم می‌شود. افزایش سطح آب دریاها (شفرد و وینگام ۲۰۰۷)، تغییر توزیع بارش‌ها در جهان و افزایش شدت طوفان‌ها و انقراض گونه‌های جانوری از علایم پدیده تغییر اقلیم در جهان می‌باشند (IPCC, ۲۰۲۰).

کشاورزی نیز در انتشار گازهای گلخانه‌ای نقش زیادی داشته و دارد. از دوره صنعتی شدن به بعد، سهم کشاورزی در انتشار گازهای گلخانه‌ای افزایش یافته است. در چند دهه گذشته، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در این بخش به دلیل تغییر کاربری جنگل‌ها و مراتع به زمین‌های کشاورزی، افزایش تقاضا برای غذا ناشی از افزایش جمعیت، کاهش زمین‌های قابل کشت و تمایل بیشتر مردم به استفاده از محصولات دامی ناشی از افزایش سطح رفاه زندگی می‌باشند (دیهم فرد و همکاران ۲۰۲۱).

بوچینسکی و همکاران (۲۰۲۱) از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش کشاورزی در قاره‌های مختلف را بررسی کردند. ایشان گزارش کردند

که در سال ۱۹۹۰ مقدار کل انتشار گازهای گلخانه‌ای از بخش کشاورزی در جهان ۵۳۱۰ تراگرم معادل دی‌اکسید کربن بود. در سال ۲۰۲۰ انتشار گازهای گلخانه‌ای به ۵۶۵۶ تراگرم معادل دی‌اکسید کربن رسید. در طول این دوره در بخش کشاورزی فقط در قاره اروپا مقدار کل انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش داشت و از ۷۹۶ به ۶۲۶ تراگرم معادل دی‌اکسید کربن رسید. این محققان، برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش کشاورزی استفاده از راهکارهایی از جمله افزایش کیفیت مواد غذایی در جهت هضم بهتر خوراک توسط دام، پیشرفت مدیریت کودهای دامی، افزایش راندمان مصرف کود نیتروژن، مدیریت بهتر آب در تولید برنج و گسترش سیستم‌های جنگل زراعی را ضروری دانستند.

در داخل مزرعه و عوامل مرتبط با مصرف نهاده‌ها در مزرعه، منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های کشاورزی در سه گروه قرار می‌گیرند: منبع اول به دلیل عملیات نیاز به حرکت مانند: خاک‌ورزی، کشت، برداشت و انتقال ماشین و محصولات یا عملیات در جا مانند پمپاژ آب و خشک کردن محصول می‌باشد. منبع دوم ساخت، فرمولاسیون، بسته‌بندی و انبارداری کودها و سموم را شامل می‌شود. منبع سوم انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از اکتشاف مواد و ساخت ماشین‌های کشاورزی می‌باشد (چانات و همکاران ۲۰۲۳). برای تأمین غذای جمعیت در حال رشد، به افزایش مصرف کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، ماشین‌های کشاورزی، انرژی برق و سایر منابع طبیعی نیاز است (برات و همکاران ۲۰۱۱). افزایش استخراج مواد معدنی، تبدیل مواد معدنی به کود و سموم در کارخانه، بسته‌بندی، انتقال به مزارع و استفاده در مزارع باعث مصرف بیشتر انرژی و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای به جو می‌شوند.

روش‌های مختلفی در سطح مزرعه در مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای تأثیرگذار است. شیوه‌های مختلف مدیریتی سودمند در مزرعه، از جمله مدیریت نیتروژن، تولید زیست توده، تناوب زراعی، و گیاهان

پوشش همه گیاهان در بخش کشاورزی از نکاتی است که مانع استفاده از نتایج این مطالعات در جهت مدیریت کلان کشور در بخش کشاورزی برای کاهش مصرف انرژی و گازهای گلخانه‌ای می‌شود.

هدف از این مطالعه، ارزیابی میزان مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید محصولات گیاهی در سطح کشور بود. برای این منظور ماژولی تهیه شد که به عنوان بخشی از سیستم SEA¹ (جهت توضیحات بیشتر به مواد و روش‌ها مراجعه کنید) این ارزیابی‌ها را برای کلیه گیاهان مورد کاشت در سطح استان‌ها و کشور انجام می‌دهد. این ماژول دارای پویایی می‌باشد و با تغییر الگوی کشت، مدیریت تولید و آبیاری و سایر مشخصات تولید گیاهی، می‌توان محاسبات و ارزیابی‌ها را انجام داد.

مواد و روش‌ها

ساختار ماژول EnEn

برای محاسبه مقدار شاخص‌های محیط زیستی از قبیل مصرف سوخت، انرژی و تولید گازهای گلخانه‌ای به اطلاعات مدیریتی مزارع برای تولید انواع محصولات کشاورزی در کشور نیاز بود. در این مطالعه تولید بیش از ۲۵ گیاه مهم زراعی و باغبانی در سطح کشور و به تفکیک شرایط کشت آبی و دیم مد نظر بود (جدول ۱). این اطلاعات شامل نوع کشنده و دنباله برای انجام هر یک از عملیات مدیریتی (آماده‌سازی بستر کشت یا گودال کنی، کاشت، حفاظت گیاهی، آبیاری و برداشت) بودند. همچنین اطلاعات مرتبط با تعداد دفعات انجام هر یک از عملیات مدیریتی، مدت زمان انجام آنها، مقدار سوخت مصرفی برای هر مرتبه انجام عملیات، مقدار نهاده‌های مصرفی (آب، کود و سموم شیمیایی) مورد نیاز بودند. کلیه این اطلاعات و نیز مقدار مصرف کودهای شیمیایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) با کمک مراکز استانی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی کشور برای گیاهان مهم هر استان جمع آوری شدند.

پوششی، می‌تواند از نظر اقتصادی و زیست محیطی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای موثر باشد (یانی و همکاران ۲۰۲۱). مدیریت پایدار شالیزارهای برنج، راهکارهایی از قبیل مدیریت بهتر نیتروژن از طریق کاربرد به موقع کودهای نیتروژنی و متناسب با مقدار نیاز محصول و تقسیم آنها در مراحل گوناگون رشد گیاه، گنجاندن محصولات لگوم در تناوب زراعی، مدیریت مناسب بقایای گیاهی، استفاده از کودهای آهسته‌رهش و مصرف مواد بازدارنده نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون باعث کاهش انتشار نیتروژن اکساید از خاک می‌گردند. کاهش انتشار متان نیز از طریق زهکشی شالیزارها به‌منظور ایجاد تهویه مناسب برای اکسیداسیون متان و تجزیه بقایای گیاهی قبل از غرقاب شدن از طریق خاکورزی یا تبدیل آنها به کمپوست امکانپذیر است (میرزایی و همکاران ۲۰۲۱). شخم حفاظتی در بسیاری از مناطق باعث افزایش مقدار کربن آلی خاک و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود (دلی و همکاران ۲۰۲۳). مقدار گازهای گلخانه‌ای منتشر شده از مزارع در ارتباط تنگاتنگی با راندمان مصرف انرژی است. اشنایدر و اسمیت (۲۰۰۹) گزارش کردند که در کشورهایی که در آنها تولید محصولات کشاورزی با راندمان مصرف انرژی در پایین‌تر از مقدار میانگین جهانی می‌باشد، اگر راندمان مصرف انرژی در این کشورها به مقدار میانگین جهانی برسد، میزان تولید سالیانه دی‌اکسید کربن از ۵۰۰ میلیون تن موجود به کمتر از ۲۰۰ میلیون تن خواهد رسید.

برای مقابله با پدیده تغییر اقلیم، آگاهی از مقدار مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای و گام برداشتن در جهت کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای بسیار پراهمیت می‌باشد. در سال‌های اخیر، در کشور گزارشات منطقه‌ای در مورد مقدار مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید برخی از محصولات ارایه شده است (عالیمقام و همکاران ۲۰۱۷؛ سلطانی و همکاران ۲۰۱۳). منطقه‌ای بودن و عدم

¹. System for integrated assessment of water, land, food and environment

در شرایط دیم و آبی و نیز نیاز آبیاری خالص آن‌ها را در سطح استانی شبیه‌سازی می‌کند (سلطانی و همکاران ۲۰۲۰).

ماژول تولید (Production) با دریافت پتانسیل عملکرد و نیاز خالص آبیاری هر گیاه در شرایط آبی هر استان، با کمک سطح زیر کشت آبی و دیم گیاه در استان و نیز مقدار منابع آب اختصاص یافته به آن گیاه در استان تولید آن گیاه در شرایط دیم و آبی استان را محاسبه می‌کند. در این محاسبه عملکرد واقعی در واحد سطح و نیاز آبیاری واقعی و ناخالص در واحد سطح، با کمک ضریب خلأ عملکرد نسبی و راندمان آبیاری کل از روی پتانسیل عملکرد و نیاز آبیاری خالص برای رسیدن به پتانسیل عملکرد، به دست می‌آید. در واقع سطح زیر کشت و منابع آب آبیاری اختصاصی، نشان‌دهنده فراهمی^۳ منابع زمین و آب برای آن گیاه در استان هستند و ضریب خلأ عملکرد و راندمان آبیاری، قابلیت^۴ یا کارایی تبدیل منابع را نشان می‌دهند. این ماژول همچنین با توجه به تولید انجام شده و میزان منابع زمین و آب به کار رفته برای تولید آن‌ها در هر استان، واحد زمین و آب لازم برای تولید هر واحد محصول، یعنی ردپای زمین و آب، را پیدا می‌کند.

ماژول آب (Water) میزان تخصیص آب به هر گیاه در هر استان را با توجه به منابع آب کشاورزی استان، سطح زیر کشت گیاه در استان در شرایط آبی، نیاز آبیاری خالص برای رسیدن به پتانسیل عملکرد در استان محاسبه می‌کند. این ماژول برای محاسبه تخصیص آب در شرایط متنوع بر اساس سناریوهای انتخابی نیز استفاده می‌شود.

ماژول تقاضا (Demand) میزان نیاز یا تقاضا برای هر یک از محصولات کشاورزی (گیاهی و دامی) برای تغذیه جمعیت کشور را به عنوان تابعی از جمعیت کشور، رژیم غذایی، تلفات/ضایعات و سایر مصارف محاسبه

ماژول شامل اجزا و زیر مدل‌های گوناگونی است که در محاسبه مصرف انرژی استفاده می‌شود. در مطالعه حاضر، برای برآورد مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، از اطلاعات جمع‌آوری شده در ارتباط با مصرف کودها از طریق پرسش‌نامه‌ها از مراکز استانی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی کشور، استفاده شد. ولی در کاربرد معمول سیستم SEA برای انجام سناریو آنالیز، مقادیر کود برای تولید هر گیاه در هر استان با استفاده از ماژول NPK^۱ محاسبه می‌شود (سلطانی و همکاران ۲۰۲۰) و خروجی این ماژول به عنوان ورودی در ماژول EnEn^۲ مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین مقدار آب آبیاری برای هر گیاه در هر استان در ماژول Production سیستم (سلطانی و همکاران ۲۰۲۱) محاسبه شده و خروجی آن برای هر گیاه در هر استان، به عنوان ورودی در ماژول EnEn استفاده می‌شود (شکل ۱).

خروجی ماژول EnEn شامل مقدار سوخت، الکتریسیته و انرژی مصرفی و مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید هر گیاه در سطح استانی و کشوری می‌باشند (شکل ۱). با توجه به اینکه ماژول EnEn به صورت پویا طراحی شده است، با کمک این ابزار می‌توان تأثیر انواع تغییرات در نحوه انجام مدیریت‌های زراعی (مانند روش‌های مختلف با بکارگیری ماشین‌آلات مختلف برای خاک‌ورزی، کاشت، داشت و برداشت)، تغییر الگوی کاشت محصولات، تغییر در مقادیر مصرف نهاده‌ها و آب را بر روی شاخص‌های محیط زیستی در سطح استانی و کشوری مورد ارزیابی قرار داد.

سیستم SEA شامل یک مدل شبیه‌سازی گیاهی (SSM-iCrop2) و تعدادی ماژول است. این مدل شبیه سازی برای ۲۸ گونه گیاهی مهم در کل کشور قابل استفاده است به طوری که پتانسیل عملکرد این گیاهان

^۳. Availability

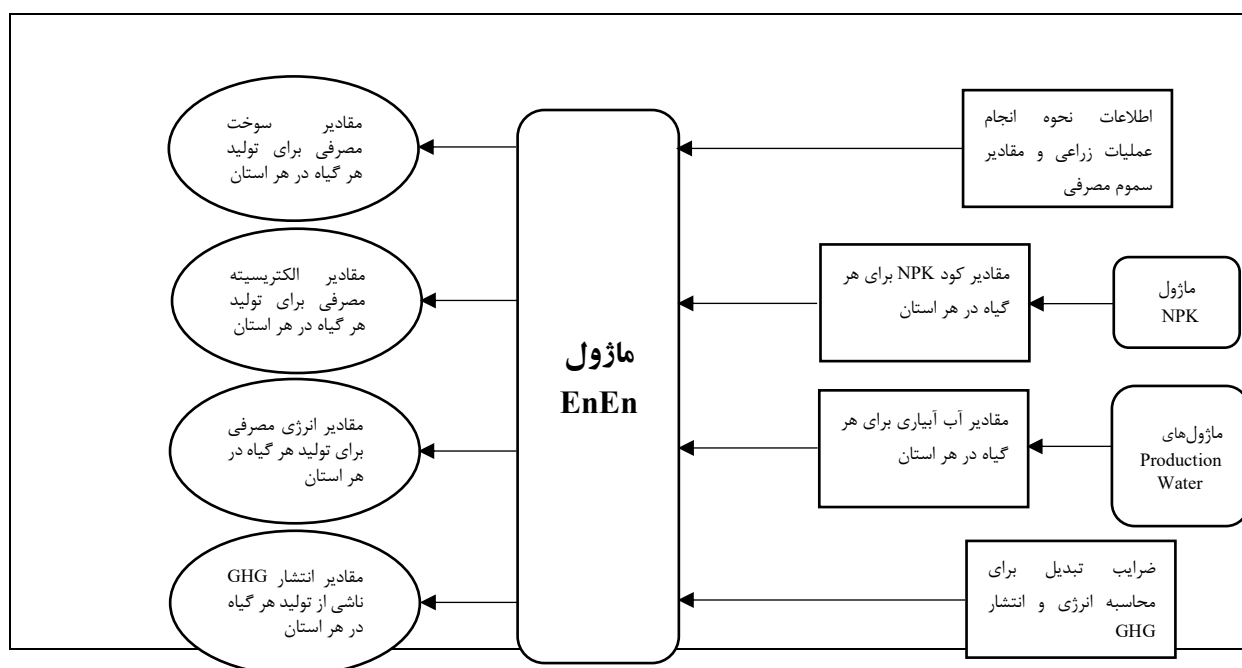
^۴. Productivity

۱ - این ماژول شامل مقادیر کود برای تولید هر گیاه در هر استان است.

۲ - شامل مقدار سوخت، الکتریسیته و انرژی مصرفی و مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید هر گیاه در سطح استانی و کشوری می‌باشند.

ماژول عناصر (NPK) با توجه به میزان عملکرد هر گیاه در شرایط دیم و آبی هر استان و مشخصات خاک آن استان میزان تخلیه سه عنصر غذایی پرمصرف و سپس میزان کود لازم برای جبران خروج عناصر (توصیه کودی) را محاسبه می‌کند. همچنین واحد کودی لازم نیتروژن، فسفر و پتاسیم برای تولید هر واحد محصول توسط این ماژول محاسبه می‌گردد. برای توضیح کامل این ماژول به سلطانی و همکاران، ۲۰۲۰ مراجعه شود.

می‌کند. تقاضا برای محصولات دامی مثل گوشت، شیر و تخم مرغ در این ماژول با توجه به میزان علوفه لازم برای تولید آن‌ها (سلطانی و همکاران ۲۰۲۰ الف) به محصولات گیاهی درب مزرعه تبدیل می‌شوند. بنابراین، این ماژول در نهایت میزان تولیدات گیاهی برای استفاده مستقیم (با یا بدون فرآوری) در تغذیه انسان یا استفاده برای تعلیف دام‌ها و سپس تغذیه انسان را به دست می‌دهد و همچنین مشخص می‌کند برای تولید آن‌ها به چه میزان زمین و آب نیاز است.



شکل ۱. دیاگرام نحوه انجام محاسبات در ماژول EnEn

چارچوب/انجام محاسبات

جریان انرژی در مزارع را می‌توان به دو بخش انرژی‌های ورودی و انرژی‌های خروجی تفکیک کرد. در اکثر مطالعات، انرژی ورودی (مصرفی) به دو بخش انرژی مستقیم و انرژی غیرمستقیم طبقه‌بندی می‌شود (سلطانی و همکاران ۲۰۱۳؛ عالیمقام و همکاران ۲۰۱۷) که انرژی مستقیم شامل:

- سوخت مورد نیاز ماشین‌های کشنده (تراکتور و کمباین) جهت آماده کردن زمین، کاشت، داشت، برداشت و سوخت مصرفی موتورهای دیزلی برای پمپاژ آب

• نیروی الکتریسیته جهت پمپاژ آب

و انرژی غیرمستقیم شامل (راتکه و همکاران ۲۰۰۷):

- انرژی مصرفی جهت تولید، انبارداری و حمل و نقل کودهای شیمیایی
- انرژی مورد نیاز برای تولید، انبارداری و حمل و نقل سموم شیمیایی
- انرژی مورد نیاز به منظور ساخت، تعمیر و نگهداری ادوات و ماشین‌های کشاورزی
- انرژی مصرفی برای تولید الکتریسیته در نیروگاه و همچنین الکتریسیته هدر رفته در مسیر انتقال از نیروگاه تا محل مصرف

جدول ۱. گیاهان تحت پوشش مطالعه حاضر به همراه سطح زیرکشت و تعداد استان‌هایی که گیاه در آنها کشت می‌شوند

گیاه	سطح زیرکشت در کشور (هکتار)*		گیاه	سطح زیرکشت در کشور (هکتار)*		گیاه
	آبی	دیم		آبی	دیم	
یونجه	۵۸۷۴۵۳	۵۵۶۲۷	بادام	۱۰۵۳۳۱	۹۰۰۵۸	
جو	۶۹۵۴۴۱	۹۷۳۲۹۹	سیب	۲۳۷۴۵۷	۵۹۰	
لوبیا	۱۱۳۲۶۰	۱۶۵۱	زردآلو	۶۴۵۲۳	۰	
کلزا	۵۴۳۹۵	۱۹۶۸۲	خرما	۲۱۸۸۴۷	۱۹۹۷۵	
نخود	۱۰۶۰۳	۴۸۴۶۹۰	انجیر	۷۱۸۶	۴۸۷۰۴	
شیدر	۴۰۳۶۴	۱۸۲۲۵	انگور	۲۲۴۳۰۱	۷۳۷۹۱	
ذرت علوفه	۱۹۸۸۱۹	۱۴۸۵	زیتون	۸۰۰۶۴	۶۵۱۳	
ذرت دانه	۲۰۳۰۶۶	۱۸	مرکیات	۱۴۰۰۱۸	۳۱۰۱۸	
پنبه	۷۵۲۶۲	۱۳۸۱	هلو	۵۹۷۴۰	۴۱۲	
عدس	۷۱۴۹	۱۳۲۱۷۶	پسته	۴۱۹۲۱۶	۰	
سیب زمینی	۱۵۶۰۶۳	۶۰۰	انار	۸۴۵۳۸	۱۰۶۵	
کنجد	۳۹۳۴۰	۵۶۴۹	زعفران	۹۵۳۹۰	۰	
سویا	۵۰۹۵۵	۶۵۷۱	گردو	۱۳۹۲۹۲	۸۱۲۷	
چغندر قند	۱۰۹۵۱۸	۰	خیار	۷۱۷۰۴	۵۴۲	
نیشکر	۸۹۰۵۰	۴	خریزه	۹۱۳۳۴	۱۶۸۲	
آفتابگردان	۴۸۲۹۵	۱۱۳۷۹	پیاز	۵۷۷۶۵	۲۹۷	
شلوک	۵۶۵۵۱۹	۰	گوچه فرنگی	۱۵۲۵۰۹	۸۲۳	
گندم	۲۲۱۳۴۱۶	۳۶۹۵۱۸۷	هندوانه	۱۴۵۴۴۲	۳۱۲۸۵	
سایر گیاهان زراعی	۳۲۸۴۹۲	۸۳۹۰۵	خیار گلخانه	۴۶۹۹	۰	
			گوچه فرنگی گلخانه	۴۵۷	۰	
			سایر محصولات باغی	۴۲۲۸۴۲	۹۱۳۷۹	

* آمار میانگین سالیانه برای دوره زمانی ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰

** اعداد خارج پرانتز تعداد استان کشت آبی و اعداد داخل پرانتز تعداد استان کشت دیم گیاه را نشان می‌دهد

الکتریسیته، مقدار مصرف انرژی فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای خارج از مزرعه شامل مقادیر آنها برای تولید الکتریسیته در نیروگاه‌های برق و همچنین هدر رفت انرژی الکتریسیته در مسیر انتقال از محل تولید (نیروگاه تولید برق) تا محل مصرف (مزرعه) می‌باشد

در محاسبات این گزارش، برای گازهای گلخانه‌ای، مقدار گاز متان منتشر شده از مزارع برنج غرقاب و همچنین مقدار متان منتشر شده توسط نشخوارکنندگان لحاظ نشده است. انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تنفس میکروارگانیسم‌ها و تجزیه مواد آلی در خاک

با توجه به مصرف انرژی مستقیم و غیرمستقیم در تولید محصولات کشاورزی، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای برای تولید محصولات کشاورزی هم در داخل و هم خارج از مزرعه صورت می‌گیرد. خارج از مزرعه شامل انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای برای استخراج مواد اولیه از معادن و همچنین انرژی مصرفی و گازهای گلخانه‌ای منتشر شده در کارخانجات برای تبدیل مواد اولیه خام به محصول نهایی کود، سموم و ماشین‌ها می‌باشد. همچنین مقدار مصرف انرژی و انتقال گازهای گلخانه‌ای برای انتقال این محصولات از محل کارخانه تا درب ورودی مزرعه می‌باشد. در مورد

محصولات باغی و زراعی، تهیه و توسط متخصصان مراکز استانی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشور تکمیل گردید.

پس از تکمیل و جمع‌آوری پرسشنامه‌ها از مراکز خدمات کشاورزی سراسر کشور، به تفکیک هر گیاه اقدام به آنالیز و طبقه‌بندی اطلاعات شد تا برای هر گیاه، یک روش تیپیک مدیریتی در سطح کل کشور حاصل شود. برای این منظور، هر روش مدیریت زراعی که در بیش از پنجاه درصد از مناطق مهم تولید یک محصول مورد استفاده قرار گرفت، به عنوان روش تیپیک مدیریتی در سطح کشور برای آن گیاه در نظر گرفته شد. به عنوان مثال، برای گیاه جو آبی، در ۱۴ استانی که برای این گیاه، پرسشنامه‌ها تکمیل شده بود، در ۱۲ استان اظهار شده بود که برای خاک ورزی از تراکتور فرگوسن ۲۸۵ و گاواهن برگردان‌دار سه خیش برای خاک‌ورزی استفاده می‌شود. بنابراین، نتیجه گرفت شد که برای جو آبی تراکتور فرگوسن ۲۸۵ به عنوان کشنده مرسوم و گاواهن سه خیش به عنوان دنباله‌بند تیپیک برای انجام خاک‌ورزی در سطح کل کشور می‌باشند. برای تک تک سایر عملیات مدیریتی (دیسک، نهرکن، روش کاشت، روش سم‌پاشی، روش آبیاری، روش برداشت و ...) به تفکیک گیاهان، به همین شکل عمل شد تا روش تیپیک کشوری مدیریتی هر گیاه به دست آمد. مقادیر مصرف سموم شیمیایی (علف‌کش، قارچ‌کش و حشره‌کش) نیز از طریق پرسشنامه‌ها حاصل و مقدار تیپیک مصرف سموم برای هر گیاه در سطح کشور به روش توضیح داده شده در بالا، به دست آمد.

محاسبه مقدار انرژی مصرفی

برای محاسبه مقدار انرژی ورودی به مزارع برای تولید محصولات کشاورزی، ابتدا انرژی نهاده‌های مصرف شده محاسبه شد. سپس بر اساس دو شکل انرژی مستقیم و غیرمستقیم، مقدار انرژی ورودی به تفکیک دیم و آبی برای گیاهان مختلف برآورد شد. برای این منظور، به غیر از انرژی استفاده از ماشین‌ها و انرژی حاصل از مصرف الکتریسیته، مقدار مصرف انرژی برای هر یک از نهاده‌های مصرف شده (کود بر حسب کیلوگرم

مزرعه و یا گازهای گلخانه‌ای ناشی از آتش زدن بقایای محصولات در محاسبات وارد نشده‌اند. همچنین مقدار انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای برای ساخت و احداث دامداری‌ها و مرغداری‌ها مد نظر قرار نگرفته است. محاسبه شاخص‌های محیط زیستی برای محصولات دامی و طیور در این مطالعه فقط شامل خوراک گیاهی است که دام‌ها مصرف می‌کنند و شامل انتشارهای مستقیم در دامداری‌ها نمی‌شود. مقدار خوراک لازم برای تولید انواع محصولات دامی در سلطانی و همکاران، ۲۰۲۰ الف ارایه شده است. بنابراین، هر کجا در گزارش برآوردهایی برای مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای برای محصولات دامی ارایه شده است، مربوط به تولید محصولات گیاهی است که به مصرف دام‌ها می‌رسند و شامل مصارف و انتشار در دامداری‌ها (شامل انرژی مصرفی در سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی، ماشین‌آلات مورد استفاده در دامداری‌ها و ...) نمی‌شود. لازم به ذکر است که منابع مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای اشاره شده که در ماژول EnEn در نظر گرفته نشده‌اند، همگی قابل افزودن به این ماژول می‌باشند.

جمع‌آوری داده‌های مدیریت زراعی

با توجه به گستردگی کشور و تعداد زیاد گیاهان تحت پوشش این مطالعه، جمع‌آوری اطلاعات لازم از مدیریت-ها و نهاده‌ها برای تک تک گیاهان در همه استان‌ها مقدور نبود. بنابراین، برای تسهیل کار، ابتدا محصولات کشاورزی مهم هر استان از طریق سطح زیرکشت آنها شناسایی شدند. برای این منظور، به تفکیک هر گیاه، استان‌های کشور بر اساس سطح زیرکشت گیاه (برای متوسط دوره زمانی سال‌های برداشت ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰) مورد نظر از مقدار بیشتر به کمتر، مرتب شدند. سپس درصد تجمعی سطح زیرکشت برای استان‌ها محاسبه شد. استان‌هایی که ۸۵ درصد از کل سطح زیرکشت آن محصول را در بر گرفتند، به عنوان استان‌های مهم کشت برای آن محصول، در نظر گرفته شدند. پس از شناسایی استان‌های مهم تولید هر محصول در کشور، پرسشنامه‌هایی جهت جمع‌آوری اطلاعات لازم به تفکیک

ماده مغذی مصرفی در هکتار، آفت‌کش‌ها بر حسب کیلوگرم ماده مؤثره مصرفی در هکتار، سوخت بر حسب لیتر در هکتار) در معادل انرژی آنها ضرب شد. معادل انرژی برای هر یک از نهاده‌ها از منابع استخراج گردید که این اطلاعات در جدول (۲) آورده شده است.

برای محاسبه مقدار انرژی مصرفی به صورت استفاده از نیروی الکتریسیته از رابطه ۱ استفاده شد:

$$\text{EIE} = t \times P \times \text{UE} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه (۱)، EIE: مقدار انرژی ناشی از مصرف الکتریسیته بر حسب مگاژول در هکتار؛ t: مدت زمان استفاده از الکتروموتور بر حسب ساعت در هکتار؛ P: توان الکتروموتور بر حسب کیلووات ساعت (الکتروموتورها با فرض کارکرد ۹۰ درصد از بیشینه توان آنها در نظر گرفته شده است)؛ UE: معادل هر کیلووات ساعت انرژی بر حسب مگاژول (جدول ۲).

منظور از انرژی استفاده از ماشین‌ها، شامل انرژی مورد نیاز برای ساخت و نگهداری، انتقال و استهلاک آنها می‌باشد. به منظور محاسبه انرژی ورودی ناشی از استفاده از ماشین‌ها از روابط ۲ و ۳ استفاده شد:

$$\text{TE} = \text{UNH} \times t \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\text{UEH} = (\text{UEW} \times W) / \text{ULT} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در روابط (۲) و (۳)، TE: انرژی حاصل از استفاده از ماشین (مگاژول در هکتار)؛ UEH: انرژی مصرفی ادوات و ماشین‌ها برای انجام عملیات مدیریتی بر حسب (مگا ژول در ساعت)؛ t: مدت زمان کاربرد ماشین (ساعت در هکتار)؛ UEW: انرژی مورد نیاز برای ساخت، تعمیر و نگهداری و حمل و نقل ماشین بر حسب مگاژول بر کیلوگرم (جدول ۲)؛ W: وزن ماشین بر حسب کیلوگرم (جدول‌های ۳ و ۴)؛ ULT: عمر مفید ماشین‌ها بر حسب ساعت؛ متوسط وزنی انرژی و سوخت برای هر مترمکعب از محل آب سطحی و زیرزمینی برای کل کشور محاسبه شد که برابر ۳/۷ مگاژول برای هر متر مکعب آب آبیاری است. توجه شود که ضریب ۶/۳ نشان داده شده در جدول ۲، فقط برای آبیاری از محل آب زیرزمینی بود. برای آبیاری سطحی انرژی و سوخت بسیار کمی لازم است که برای ایجاد نهر در مزرعه می‌باشد.

ضریب انرژی برای آب حاصل متوسط انرژی، سوخت و الکتریسیته مصرفی برای متوسط یک چاه ۶ اینچ برقی و یک چاه ۶ اینچ دیزلی در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه حدود ۸۰ درصد چاه‌های کشور برقی هستند و ۲۰ درصد دیزلی، متوسط وزنی در نظر گرفته شد. همچنین انرژی و سوخت مصرفی برای ایجاد نهر در مزرعه در محاسبات نیز لحاظ شد. (جدول‌های ۳ و ۴).

جدول ۲. معادل‌های انرژی برای نهاده‌های کشاورزی

منبع	معادل انرژی (مگاژول بر واحد)	واحد مصرف	ورودی‌ها/خروجی‌ها
کالتساس و همکاران، ۲۰۰۷	۱۴۲/۷۰	کیلوگرم	ماشین‌ها*
			کود
آکسوز و همکاران، ۲۰۰۹	۶۰/۶۰	کیلوگرم	نیتروژن
آکسوز و همکاران، ۲۰۰۹	۶/۷۰	کیلوگرم	پتاسیم
آکسوز و همکاران، ۲۰۰۹	۱۱/۱۰	کیلوگرم	فسفر
			سوخت
وزارت نفت، ۱۴۰۰	۴۸/۰۰	لیتر	گازوئیل
نحوه محاسبه در ضمیمه ۲ توضیح داده شده است	***۱۲/۱	کیلووات ساعت	الکتریسیته
محاسبه شده توسط نویسندگان**	۶/۳	متر مکعب	آب
			مواد شیمیایی
تزیلیواکیس و همکاران، ۲۰۰۵	۲۷۸	کیلوگرم ماده موثره	علف‌کش
تزیلیواکیس و همکاران، ۲۰۰۵	۲۳۷	کیلوگرم ماده موثره	حشره‌کش
تزیلیواکیس و همکاران، ۲۰۰۵	۹۹	کیلوگرم ماده موثره	قارچ‌کش

* این انرژی شامل ساخت، تعمیرات و نگهداری و حمل و نقل می‌باشد؛ ** برای شرایط غرقاب در ایران؛ *** مجموع انرژی مستقیم و غیر مستقیم

جدول ۳. برخی از تجهیزات آبیاری به همراه وزن و عمر مفید آنها

ماشین	وزن (کیلوگرم)	عمر مفید (ساعت)
پمپ برای پمپاژ آب از چاه نیمه عمیق	۶۰۰	۳۵۰۰۰
پمپ ایجاد فشار برای سیستم‌های آبیاری بارانی	۱۰۰	۳۵۰۰۰
الکتروموتور با قدرت ۵۰ تا ۱۰۰ کیلووات ساعت جهت تأمین نیرو برای پمپ آب	۳۰۰	۳۵۰۰۰
موتور دیزلی با قدرت ۷۵ اسب بخار جهت تأمین نیرو برای پمپ آب	۷۰۰	۳۵۰۰۰
پمپ دیزلی با قدرت ۱۵ اسب بخار برای پمپاژ آب از چاه‌های ۱۵ متری	۶۰	۵۰۰۰
سیستم آبیاری بارانی سنتر پیوت به طول ۲۵ متر	۲۴۰۰	۲۰۰۰۰
سیستم آبیاری بارانی متحرک ارابه‌ای گان	۲۰۰۰	۲۰۰۰۰
سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت برای یک هکتار	۱۸۰۰۰	۲۰۰۰۰
هر متر لوله گالوانیزه ۴ اینچ	۱۶/۱	۲۰۰۰۰
هر متر لوله پلی‌اتیلنی ۴ اینچ	۴/۶	۱۰۰۰۰

جدول ۴. اطلاعات وزن و عمر مفید برای برخی از ماشین‌آلات و ادوات

وسيله	مدل	وزن (kg)*	**عمر مفید
تراکتور فرگوسن	۲۸۵	۳۳۰۰	۱۵۰۰۰
تراکتور جاندر ۶ سیلندر	۳۳۵۰	۳۷۳۰	۱۵۰۰۰
تراکتور نیوهلند	TM155	۵۳۸۰	۱۵۰۰۰
تراکتور والترا	T170	۶۰۰۰	۱۵۰۰۰
تراکتور نیوهلند	T6090	۵۹۵۰	۱۵۰۰۰
گاواهن برگردان‌دار سوکی ۳ خیش	GAK-P-12-13	۳۴۰	۲۴۰۰
دیسک تاندوم سبک ۲۸ پره	یدک کش با پره ۱۸ اینچی	۵۷۵	۱۵۰۰
دیسک تاندوم سنگین ۴۲ پره	۴۲ پره ۲۰ اینچ	۲۴۰۰	۲۴۰۰
سیکلوتیلر + غلطک	عرض کار ۲/۵ متر	۱۴۵۰	۲۴۰۰
دیسک افست نیمه سنگین ۳۲ پره ۲۴ اینچ	GAK-OTO-R140	۱۶۰۰	۲۴۰۰
دیسک افست سنگین ۳۶ پره ۲۴ اینچ	GAK-OTO-R140	۲۴۰۰	۲۴۰۰
خطی‌کار	TAKA254	۵۸۰	۱۵۰۰
دستگاه کشت مستقیم ۵ ردیفه مدل	SAM 135.200	۸۰۰	۲۴۰۰
ردیفکار بشکه‌ای ۵ ردیفه	204I18	۳۰۰	۱۵۰۰
گودال کن برای درختان		۲۰۰	۱۵۰۰
مرزکش	K.S.S-M-T	۲۰۰	۱۵۰۰
نهرکن	IMT-DH	۱۵۰	۱۵۰۰
کولتیواتور	TF/11	۲۵۰	۱۵۰۰
سم‌پاش بوم‌دار	۸ متری ۴۰۰ لیتری	۴۰۰	۱۵۰۰
سم‌پاش توربو ۱۰۰۰ لیتری	207B61	۵۰۰	۱۵۰۰
سم‌پاش لنسر	۴۰۰ لیتری	۵۰۰	۱۵۰۰
سم‌پاش پشتی	CNF	۸	۱۰۰۰
کودپاش سانتریفیوژی	۳۵۰ لیتری	۲۵۰	۱۵۰۰
کمباین	۹۵۵	۶۰۰۰	۱۵۰۰۰

* اعداد وزن دستگاه‌ها از کاتالوگ هر یک از آنها گرفته شده است.

** اعداد عمر مفید دستگاه‌ها برگرفته از لوب و همکاران (۲۰۱۳) و همچنین از تجربه کشاورزان در گرگان گرفته شده‌اند.

محاسبه انتشار گازهای گلخانه‌ای

مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید محصولات مختلف کشاورزی با استفاده از حاصلضرب انرژی (نحوه محاسبه مقادیر انرژی هر یک از بخش‌ها در

قسمت قبلی توضیح داده شده است) در مقدار ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای هر مگاژول انرژی مصرفی، محاسبه شد. مقادیر این ضرایب برای موارد مختلف در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵. مقادیر ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای برای نهاده‌های مختلف. ضریب تبدیل برای الکتریسیته بر اساس اطلاعات جدول ۶ و برای آب بر اساس اطلاعات جدول ۳ توسط نویسندگان محاسبه شده است و بقیه موارد از تزیلیواکیس و همکاران (۲۰۰۵) هستند.

منبع مصرف انرژی	ضریب تبدیل به گاز گلخانه‌ای (kg CO ₂ eq.Mj)
گازوئیل	۰/۰۷۸
استفاده از ماشین‌آلات	۰/۱۸۹
الکتریسیته	۰/۲۳۶
کود نیتروژن	۰/۰۷۷
کود فسفر	۰/۰۸۲
کود پتاسیم	۰/۰۸۲
علف‌کشی	۰/۱۴۰
قارچ‌کشی	۰/۱۴۰
حشره‌کشی	۰/۱۴۰
آب	۰/۰۶۰

انجام عملیات خاک ورزی و کاشت در گیاهان چند ساله (مانند خاک ورزی و کاشت برای یونجه و یا خاک ورزی و کندن گودال برای کاشت درختان) به صورت سالیانه انجام نمی‌شود. بنابراین، در این گیاهان پس از محاسبه مقدار فاکتورهای محیط زیستی برای عملیات خاک‌ورزی و کاشت، مقادیر به دست آمده تقسیم بر طول عمر این گیاهان شد تا مقدار این فاکتورها به صورت سالیانه به دست آید. همچنین در ارتباط با عملیات داشت و برداشت گیاهی مانند یونجه که در طول سال بیش از یک چین دارد، مقدار فاکتورهای محیطی برای این عملیات مدیریتی، برای یک مرتبه چین محاسبه و سپس مقادیر به دست آمده در تعداد دفعات چین در یک سال، ضرب شدند تا مقادیر فاکتورهای محیط زیستی برای این گیاهان در طول یک سال به دست آید.

برای محاسبه مقدار گازهای گلخانه‌ای منتشر شده به ازای هر کیلووات ساعت الکتریسیته مصرفی، آمار

سالانه کشوری مقدار و نوع سوخت مصرفی جهت تولید الکتریسیته (گاز طبیعی، گازوئیل و مازوت)، مقدار کل الکتریسیته تولید شده در نیروگاه‌های کشور و آمار مقدار الکتریسیته رسیده به دست مشتریان استخراج شد (جدول ۶). همچنین اطلاعات مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای هر مگاژول انرژی از منابع سوخت مصرفی در نیروگاه‌ها (گاز طبیعی، گازوئیل و مازوت) از منابع موجود استخراج شد (جدول ۶). ابتدا مقدار کل گازهای منتشر شده ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی برای تولید الکتریسیته در کشور محاسبه شد. از تقسیم این عدد در کل مقدار الکتریسیته تولید شده در کشور، مقدار گازهای گلخانه‌ای منتشر شده به ازای هر واحد الکتریسیته در محل نیروگاه‌ها به دست آمد (برابر ۰/۱۹۴ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن به ازای هر مگاژول الکتریسیته). لازم به ذکر است که الکتریسیته تولیدی در نیروگاه‌ها با کارایی صد در صد از نیروگاه به دست

مصرف کننده نمی‌رسد، بلکه در مسیر انتقال مقداری تلفات وجود دارد. برای محاسبه مقدار کارایی انتقال الکتریسیته در کشور، مقدار کل الکتریسیته رسیده به دست مصرف کنندگان بر مقدار کل الکتریسیته تولیدی در نیروگاه‌ها تقسیم شد (کارایی انتقال برابر ۸۲ درصد). در نهایت از تقسیم مقدار گازهای گلخانه‌ای منتشر شده برای تولید هر واحد الکتریسیته در نیروگاه‌ها بر مقدار

کارایی انتقال الکتریسیته، مقدار گازهای گلخانه‌ای منتشر شده به ازای هر واحد الکتریسیته مصرفی توسط مصرف‌کننده در کشور به دست آمد (برابر ۰/۲۳۷ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن به ازای هر مگاژول الکتریسیته). در جدول ۶ مقادیر داده‌های مختلف برای محاسبه این ضریب در کشور لیست شده است.

جدول ۶. اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای هر واحد انرژی الکتریسیته مصرفی در شرایط کشور ایران برای سال ۱۴۰۰

متغیر	واحد	مقدار	منبع
کل گاز طبیعی مصرفی برای تولید الکتریسیته	میلیون متر مکعب در سال	۶۱۷۸۲	وزارت نیرو (۱۴۰۰)
کل گازوئیل مصرفی برای تولید الکتریسیته	میلیون لیتر	۵۸۶۷	وزارت نیرو (۱۴۰۰)
کل مازوت مصرفی برای تولید الکتریسیته	میلیون لیتر	۴۴۸۳	وزارت نیرو (۱۴۰۰)
کل الکتریسیته تولیدی با مصرف سوخت فسیلی	گیگاوات ساعت	۲۶۶۰۶۶	وزارت نیرو (۱۴۰۰)
کل الکتریسیته تولیدی	گیگاوات ساعت	۲۸۹۱۹۶	وزارت نیرو (۱۴۰۰)
کل الکتریسیته رسیده به دست مصرف‌کننده	گیگاوات ساعت	۲۳۷۴۳۶	وزارت نیرو (۱۴۰۰)
انرژی هر کیلووات ساعت الکتریسیته	مگاژول	۳/۶	وزارت نیرو (۱۴۰۰)
انرژی هر متر مکعب گاز طبیعی	کیلوژول	۳۵۹۴۸	وزارت نیرو (۱۴۰۰)
انرژی هر لیتر گازوئیل	کیلوژول	۲۸۵۸۹	وزارت نیرو (۱۴۰۰)
انرژی هر لیتر مازوت	کیلوژول	۴۰۹۲۲	وزارت نیرو (۱۴۰۰)
انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای هر مگاژول گاز طبیعی	کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن	۰/۰۶۹	IPCC (۲۰۲۰)
انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای هر مگاژول گازوئیل	کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن	۰/۰۷۸	IPCC (۲۰۲۰)
انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای هر مگاژول مازوت	کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن	۰/۰۷۸	IPCC (۲۰۲۰)

نتایج و بحث

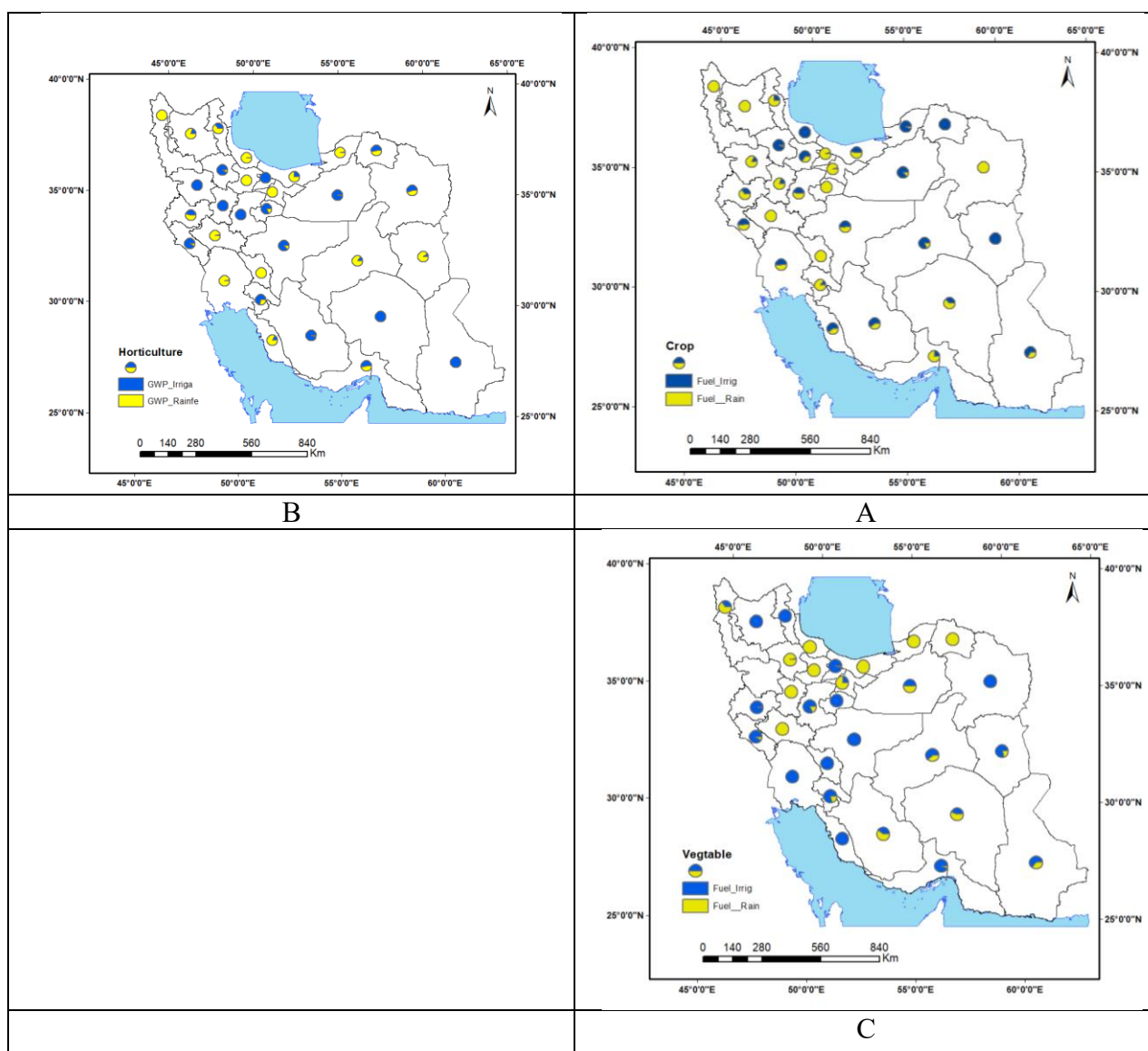
مقادیر شاخص‌ها در سطح کشور

در ماژول EnEn امکان محاسبه شاخص‌های انرژی-محیط زیستی برای هر گیاه در سطح استان و کشوری وجود دارد. در شکل‌های ۲ تا ۵، نتایج مقادیر محاسبه شده توسط این ماژول برای مصرف سوخت (شکل ۲)، الکتریسیته (شکل ۳)، انرژی (شکل ۴) و انتشار گازهای گلخانه‌ای (شکل ۵) ناشی از تولید محصولات کشاورزی در کشور به تفکیک دیم و آبی در قالب ۳ گروه گیاهان زراعی، باغبانی و صیفی و سبزیجات نشان داده شده‌اند. نتایج نشان داد که ۷۸/۵ درصد از کل سوخت مصرفی برای تولید محصولات آبی و ۲۱/۵ درصد برای تولید محصولات دیم مصرف شد. در بین محصولات

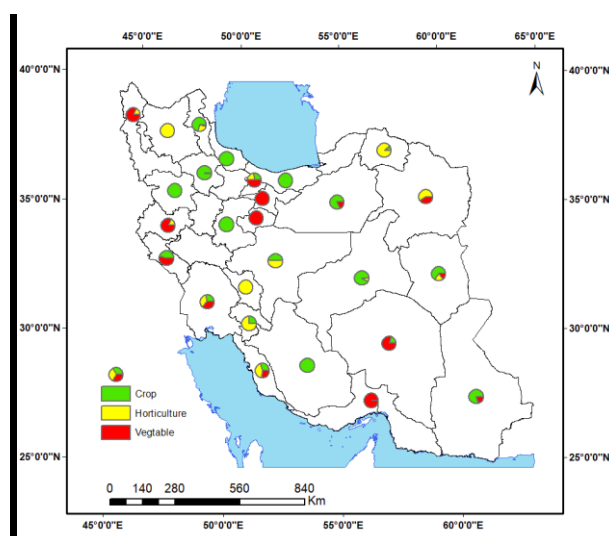
آبی، گیاهان زراعی با ۶۶/۷ درصد مصرف سوخت، بیشترین مقدار را به خود اختصاص دادند. ۲۷/۱ درصد از سوخت مصرفی برای محصولات باغبانی و ۶/۲ درصد برای صیفی و سبزیجات به کار گرفته شد. در مورد محصولات دیم نیز، گیاهان زراعی با ۹۷/۳ درصد بیشترین مصرف سوخت را دارا بودند. محصولات باغبانی ۲/۲ و صیفی و سبزیجات دیم کمتر از ۰/۵ درصد مصرف سوخت در بخش دیم را به خود اختصاص دادند. بر اساس نتایج به دست آمده، ۵۷/۵ درصد الکتریسیته مصرفی برای پمپاژ آب برای آبیاری در کشور، برای تولید گیاهان زراعی، ۳۶/۳ درصد برای محصولات باغبانی و ۶/۲ درصد برای تولید صیفی و سبزیجات مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج بررسی مقدار انرژی مصرفی برای تولید محصولات مختلف در کشور نشان داد که ۸۸/۶ درصد از کل انرژی برای تولید محصولات آبی و ۱۱/۴ درصد برای تولید محصولات دیم مورد استفاده قرار گرفت. در بین محصولات آبی، سهم مصرف انرژی برای تولید محصولات زراعی ۶۱/۲ درصد، برای محصولات باغبانی

۳۲/۶ و برای صیفی و سبزیجات برابر ۶/۳ درصد بود. سهم تولید محصولات زراعی از کل انرژی مصرفی برای محصولات دیم برابر ۹۶/۴ درصد، برای محصولات باغبانی ۲/۸ درصد و برای سبزی و صیفی جات ۰/۸ درصد بود.



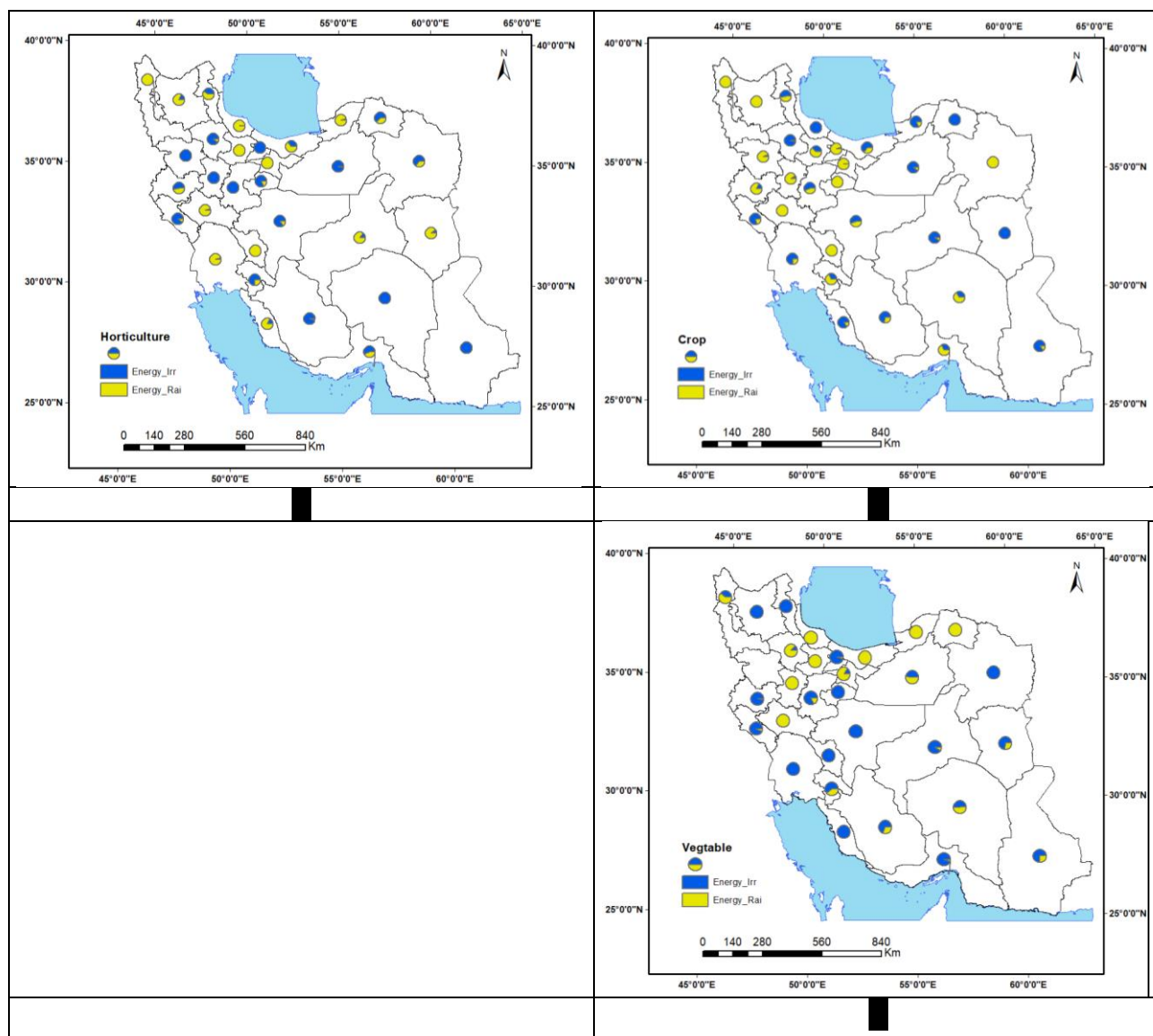
شکل ۲. برآورد مقدار کل سوخت محاسبه شده برای تولید محصولات زراعی (A)، محصولات باغی (B) و محصولات صیفی و سبزیجات (C) به تفکیک روش کشت آبی و دیم در هر استان برای متوسط بازه زمانی ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ (سال برداشت). به این نکته توجه شود که مقیاس نقشه‌ها یکسان نیست.



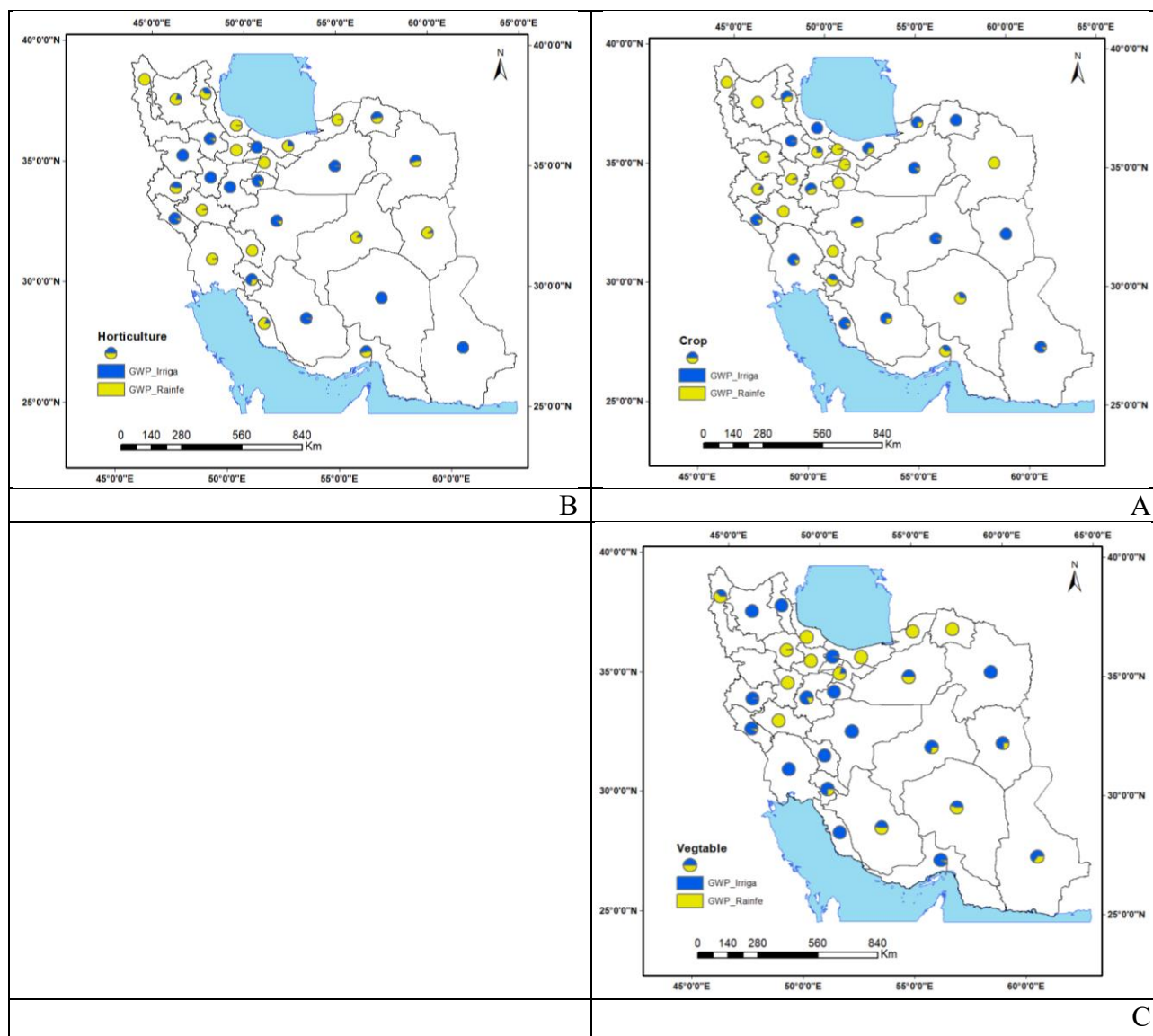
شکل ۳. مقدار کل الکتریسیته مصرفی محاسبه شده در بخش کشاورزی برای پمپاژ آب در هر استان برای تولید محصولات زراعی، باغبانی و سبزی و صیفی جات برای متوسط بازه زمانی ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ (سال برداشت).

گازهای گلخانه ای در این بخش ۹۶ درصد، محصولات باغی ۳/۲ درصد و سبزی و صیفی جات ۰/۸ درصد بود. در همه شاخص های مورد بررسی، برای مجموع شرایط دیم و آبی و برای مجموع گروه های گیاهی، استان فارس بیشترین مصرف (سوخت، الکتریسیته و انرژی) و انتشار گازهای گلخانه ای را به خود اختصاص داد. کمترین مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه ای در استان البرز مشاهده شد. همچنین کمترین مقدار الکتریسیته مصرفی برای پمپاژ آب در استان اردبیل به دست آمد.

انتشار گازهای گلخانه ای یکی دیگر از شاخص های قابل محاسبه توسط ماژول EnEn می باشد. بر اساس نتایج این ماژول، سالانه از کل گازهای گلخانه ای منتشر شده برای تولید محصولات کشاورزی، ۸۵/۵ درصد ناشی از تولید محصولات آبی و ۱۴/۵ درصد ناشی از تولید محصولات دیم در کشور بود. در بخش آبی، سهم محصولات زراعی از انتشار گازهای گلخانه ای ۶۱/۳ درصد، برای محصولات باغبانی ۳۲ درصد و برای سبزی و صیفیجات ۶/۷ درصد بود. در بخش تولید محصولات دیم، سهم محصولات زراعی از انتشار



شکل ۴. مقدار کل انرژی مصرفی محاسبه شده برای تولید محصولات زراعی (A)، محصولات باغی (B) و محصولات صیفی و سبزیجات (C) به تفکیک روش کشت آبی و دیم در هر استان برای متوسط بازه زمانی ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ (سال برداشت). به این نکته توجه شود که مقیاس نقشه‌ها یکسان نیست.



شکل ۵. مقدار کل انتشار گازهای گلخانه‌ای محاسبه شده برای تولید محصولات زراعی (A)، محصولات باغی (B) و محصولات صیفی و سبزیجات (C) به تفکیک روش کشت آبی و دیم در هر استان برای متوسط بازه زمانی ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ (سال برداشت). به این نکته توجه شود که مقیاس نقشه‌ها یکسان نیست.

زراعی و دارای بیشترین سطح زیرکشت و تولید در کشور، ۹۹۷۱ مگاژول انرژی (مجموع انرژی مستقیم و غیر مستقیم) مصرف شد. همچنین برای تولید هر تن از این محصول ۸۸ لیتر سوخت و ۲۱۶ کیلووات ساعت الکتریسیته مصرف می‌شود. انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از هر تن تولید گندم برابر ۱۱۱۵ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در سال است (جدول ۷).

در جدول ۷ مقادیر انرژی، سوخت و الکتریسیته مصرفی در واحد وزن و سطح به همراه مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای در واحد وزن و سطح برای تولید محصولات کشاورزی در شرایط مدیریت زراعی داخل کشور ارائه شده است. در دوره مورد بررسی در این مطالعه برای بازه زمانی ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰، برای تولید هر تن گندم (مجموع دیم و آبی)، به عنوان مهمترین گیاه

جدول ۷. شاخص‌های محیط زیستی به ازای تولید محصولات کشاورزی مختلف در شرایط زراعی و مدیریتی کشور (اعداد برای مجموع دیم و آبی می‌باشد)

انرژی		سوخت		الکتریسته		گازهای گلخانه‌ای	
مگاژول/تن	مگاژول/هکتار	لیتر/تن	لیتر/هکتار	کیلووات ساعت/تن	کیلووات ساعت/هکتار	کیلوگرم معادل دی اکسید کربن/تن	کیلوگرم معادل دی اکسید کربن/هکتار
۹۹۷۱	۱۸۰۵۱	۸۸	۱۶۰	۲۱۶	۳۹۲	۱۱۱۵	۲۰۱۸
۱۱۶۸۲	۵۱۵۳۷	۶۱	۲۷۳	۴۹۸	۲۲۰۹	۱۵۰۰	۶۶۴۹
۱۵۶۸۹	۱۱۲۱۲	۱۵۳	۱۰۹	۴۲۱	۳۰۱	۱۸۷۶	۱۳۴۱
۱۹۰۲	۵۸۴۹۰	۸	۲۴۴	۸۴	۲۵۸۱	۲۴۹	۷۶۵۵
۲۱۶۶۱	۳۵۲۲۳	۱۰۷	۱۷۴	۱۰۵۴	۱۷۱۳	۲۹۸۶	۴۸۵۵
۱۱۶۲	۷۲۰۹۹	۵	۲۹۲	۵۹	۳۶۶۱	۱۵۹	۹۸۴۹
۵۹۵۵	۴۲۶۳۶	۲۱	۱۵۲	۳۳۳	۲۳۸۴	۸۷۸	۶۲۸۸
۱۱۵۹	۳۴۱۳۵	۶	۱۶۵	۵۱	۱۴۹۰	۱۵۷	۴۶۲۹
۱۰۱۸۲	۱۸۵۱۹	۸۵	۱۵۵	۲۶۱	۴۷۴	۱۱۷۵	۲۱۳۷
۸۸۰۷	۶۱۸۹۶	۳۹	۲۷۱	۳۷۴	۲۶۲۹	۱۱۳۳	۷۹۶۴
۱۶۳۰	۸۲۳۹۸	۶	۳۱۵	۷۱	۳۵۷۴	۲۱۰	۱۰۶۲۲
۳۸۶۱	۴۹۹۳۰	۱۸	۲۳۱	۲۰۴	۲۶۴۲	۵۸۵	۷۵۷۱
۱۱۹۱	۶۴۶۱	۸	۴۳	۴۲	۲۲۶	۱۴۶	۷۹۲
۸۴۳	۲۳۵۰	۶	۱۶	۲۹	۸۲	۱۰۳	۲۸۸
۶۹۵۵	۱۶۵۵۵	۳۴	۸۲	۳۳۸	۸۰۵	۹۵۹	۲۲۸۲
۹۹۱۶۶		۵۸۲		۳۹۹۶		۱۳۰۲۷	
۱۹۵۵۶		۸۹		۸۶۶		۲۵۶۹	
۱۷۳۰۰		۷۹		۷۶۲		۲۲۶۸	
۷۱۱۲		۴۰		۲۹۸		۹۴۵	

دامنه مقادیر گزارش شده برای انرژی مصرفی جهت

تولید هر تن گندم در کشور و حتی در داخل هر استان، بالا است. برای تولید هر تن گندم آبی در گرگان ۲۴۹۵ تا ۶۲۲۹ مگاژول (سلطانی و همکاران ۲۰۱۳)، در سیستان و بلوچستان ۱۷۷۵۵ مگاژول (ضیائی و همکاران ۲۰۱۳)، در مازندران ۲۸۳۳ مگاژول (پازکی طرودی و همکاران، ۱۳۹۶) و در کرمانشاه ۱۰۶۹۴ مگاژول (اصغری پور و صالحی ۲۰۱۴) مصرف انرژی گزارش شده‌اند. همچنین برای تولید هر تن گندم در سیلاخور لرستان ۶۲۶۸ مگاژول (عجب شیرچی و همکاران ۲۰۱۸) و در کرمانشاه

۹۰۷۵ مگاژول (اصغری پور و صالحی ۲۰۱۴) مصرف انرژی گزارش شده‌اند.

تفاوت سیستم دیم و آبی و همچنین تنوع اقلیمی در مناطق مختلف کشور از دلایل اصلی تنوع مقادیر مصرف انرژی جهت تولید گندم و سایر محصولات در مناطق مختلف کشور هستند. در شرایط دیم، با توجه به عدم انجام آبیاری به عنوان یکی از پرمصرف ترین بخش‌های انرژی در تولید محصولات کشاورزی (سلطانی و همکاران ۲۰۱۳، عالیمقام و همکاران، ۲۰۱۷)، به طور معمول مقدار مصرف انرژی در واحد سطح کمتر از سیستم آبی است. اما نکته‌ای که وجود دارد، این تفاوت

مناطق مختلف کشور، تأثیر سیستم‌های تولید دیم و آبی و همچنین تأثیر عملکرد در محاسبه شاخص‌های محیط زیستی برای تولید هر واحد وزن محصول را در نظر می‌گیرد.

در طی بازه زمانی ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰، متوسط تولید گندم در کشور برابر ۱۱ میلیون تن در سال بوده است (بی نام ۲۰۲۱). بنابراین، سالیانه در کشور ۹۹۱۲۱۰۰۰ گیگاژول انرژی، ۱۰۰۱ میلیون لیتر سوخت و ۲۴۰۹ گیگاوات ساعت الکتریسیته برای تولید گندم اختصاص داده شد. تولید گندم در کشور موجب انتشار گازهای گلخانه‌ای به مقدار ۸۰۰۸ معادل هزار تن دی اکسید کربن در سال شد. سالانه در حدود ۲۳۰۴۸ گیگاوات ساعت (متوسط دوره زمانی ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰) الکتریسیته در کل بخش کشاورزی جهت پمپاژ آب استفاده شد. بنابراین، به طور متوسط سالانه ۱۰/۴ درصد از کل الکتریسیته این بخش در کشور، برای تولید گندم اختصاص یافته است. کل سوخت مصرفی سالانه برای تولید محصولات کشاورزی در کشور برای بازه زمانی ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ برابر ۲۱/۷ میلیون بشکه (۳۴۵۰ میلیون لیتر) در سال بود. بنابراین، ۲۹ درصد از کل سوخت مصرفی در بخش کشاورزی فقط برای تولید گندم اختصاص داده شد.

مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید محصولات دامی مختلف برای کشورهای اتحادیه اروپا توسط مدل CAPRI^۱ محاسبه و گزارش شده است (لون، ۲۰۲۳). بر اساس این گزارش در کشورهای عضو اتحادیه اروپا، مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید هر تن گوشت گاو بین ۱۵۰۰۰ تا ۴۴۰۰۰ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن، برای هر تن گوشت بز بین ۸۰۰۰ تا ۵۲۰۰۰ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن، برای هر تن گوشت مرغ بین ۳۰۰۰ تا ۱۸۰۰۰ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن، برای هر تن شیر گاو بین ۱۰۰۰ تا ۲/۷ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن، برای هر تن شیر بز ۱۰۰۰ تا ۱۰۵۰۰ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن و برای هر تن تخم مرغ بین ۲۰۰۰ تا ۸۷۰۰ کیلوگرم معادل

در مقدار مصرف انرژی در واحد سطح به معنی وجود حتمی اختلاف در مقدار انرژی مصرفی برای تولید هر تن محصول نیست. در شرایط دیم با وجود مصرف انرژی کمتر در واحد سطح، عملکرد محصول نیز کمتر است (به خصوص در استان‌های خارج از خط پر باران شمالی). بنابراین، ممکن است مصرف انرژی برای هر تن گندم دیم و آبی تفاوت آنچنانی نداشته باشد. به عنوان مثال در میامی استان سمنان عملکرد گندم دیم و آبی به ترتیب ۱/۶ و ۳/۹ تن گزارش شده است که برای تولید هر هکتار گندم دیم ۱۴۵۲۰ و برای هر هکتار گندم آبی ۴۱۹۲۲ مگاژول انرژی مصرف شد (اصغری‌پور و صالحی ۲۰۱۴). با این تفاسیر، در این منطقه مقدار انرژی مصرفی برای هر تن گندم دیم ۹۰۷۵ مگاژول و برای گندم آبی ۱۰۶۹۴ مگاژول انرژی مصرف شد که نشان می‌دهد در این منطقه برای تولید هر تن گندم دیم و آبی از نظر انرژی مصرفی، تفاوت آنچنانی نداشت.

تنوع اقلیم از طریق ایجاد تغییر در مقدار مصرف آب آبیاری می‌تواند باعث تغییر در مقدار مصرف انرژی برای تولید هر تن محصول شود. به عنوان مثال در گرگان و مازندران که در این مناطق نیاز آبی کمتری برای گندم نسبت به سایر استان‌های کشور است، مقدار انرژی مورد نیاز برای تولید هر تن گندم آبی بین ۲۴۹۵ تا ۶۲۲۹ مگاژول (سلطانی و همکاران ۲۰۱۳؛ سلطانی و همکاران ۲۰۲۱) بود. این در حالی است که در استان سیستان و بلوچستان که نیاز آبی گندم بالاتر است، مقدار انرژی مورد نیاز برای هر تن گندم آبی ۱۷۷۵۵ مگاژول برای هر تن گزارش شده است (ضیائی و همکاران ۲۰۱۳).

وجود تنوع بالا در مقدار نیاز به مصرف انرژی و همچنین سایر شاخص‌های محیط زیستی در مناطق مختلف کشور، این الزام را ایجاد می‌کند که جهت مدیریت کلان این بخش در کشور، برنامه‌ای جامع و یکپارچه جهت محاسبه شاخص‌های محیط زیستی ناشی از تولید محصولات کشاورزی طراحی شود. ماژول EnEn طوری است که بخش زیادی از این تنوع در اقلیم در

^۱. Common Agricultural Policy Regionalised Impact analysis

دی‌اکسید کربن گزارش شده‌اند (بوچینسکی و همکاران ۲۰۲۱). این در حالی است که در جدول ۷، مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای برای تولید هر تن گوشت قرمز در شرایط ایران ۷۹۰۲ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن، برای تولید هر تن گوشت مرغ ۱۹۵۶ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن، برای تولید هر تن شیر ۷۸۳ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن و برای تولید هر تن تخم مرغ ۱۶۳۹ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن به دست آمده است.

دلیل اختلاف زیاد مقادیر گزارش شده برای اروپا در مقایسه با مقادیر به دست آمده در مطالعه حاضر این بود که در گزارش چانات و همکاران (۲۰۲۳) علاوه بر انتشار گاز گلخانه‌ای ناشی از مصرف نهاده‌ها و ماشین آلات در مزرعه (چارچوب تعریف شده در شکل ۲)، مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تغییر کاربری اراضی، انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تخمیر نشخوارکنندگان و همچنین مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تنفس میکروارگانیسم‌ها در خاک نیز لحاظ شده است. در صورتیکه مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای برای تولید محصولات دامی در مطالعه دلبی و همکاران (۲۰۲۱) بر اساس چارچوب تعریف شده برای اندازه‌گیری در مطالعه حاضر در نظر گرفته شود، در کشورهای اتحادیه اروپا مقدار حدودی انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید هر تن گوشت گاو بین ۷۰۰۰ تا ۱۲۵۰۰ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن، برای هر تن گوشت بز بین ۲۰۰۰ تا ۱۹۰۰۰ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن، برای هر تن گوشت مرغ بین ۱۵۰۰ تا ۳۵۰۰ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن، برای هر تن شیر گاو بین ۴۰۰ تا ۹۰۰ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن، برای هر تن شیر بز ۵۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن و برای هر تن تخم مرغ بین ۱۲۰۰ تا ۳۲۰۰ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن گزارش شده‌اند (دلبی و همکاران ۲۰۲۱).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از ماژول نشان داد که سالانه در کشور ۲۳۷۴ میلیون لیتر سوخت در مزارع برای تولید محصولات گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این

مقدار ۷۳ درصد برای تولید محصولات زراعی، ۲۲ درصد برای تولید محصولات باغبانی و ۵ درصد برای تولید صیفی و سبزیجات مصرف می‌شود. همچنین ۷۹ درصد از کل سوخت مصرفی برای تولید محصولات آبی و ۲۱ درصد برای تولید محصولات دیم تخصیص داده می‌شود. سالانه ۴۴۰۷۲۰۶۸۰ گیگاژول انرژی (مجموع انرژی مستقیم و غیرمستقیم) در مزارع تولید محصولات گیاهی مصرف می‌شود که ۷۳ درصد از این انرژی برای تولید محصولات زراعی، ۲۲ درصد برای تولید محصولات باغبانی و ۵ درصد برای تولید صیفی و سبزیجات استفاده می‌شود. از کل انرژی مصرفی برای تولید محصولات گیاهی ۸۹ درصد برای تولید محصولات آبی و ۱۱ درصد برای تولید محصولات دیم صرف می‌شود. همچنین سالانه برای تولید محصولات گیاهی ۱۰۵۵۰ گیگاوات ساعت الکتریسیته مصرف می‌شود (در بخش پمپاژ آب) که ۵۸ درصد از این مقدار الکتریسیته برای تولید محصولات زراعی، ۳۶ درصد برای تولید محصولات باغبانی و ۶ درصد برای تولید صیفی و سبزیجات مصرف می‌شود.

سالانه ۲۱۴۵۶ هزار تن معادل دی‌اکسید کربن از محل تولید محصولات گیاهی در کشور منتشر می‌شود. لازم به ذکر است که این مقدار انتشار بدون در نظر گرفتن انتشار گاز متان از مزارع برنج و گازهای حاصل از نشخوارکنندگان می‌باشد. ۶۶ درصد از این مقدار انتشار ناشی از تولید محصولات زراعی، ۲۸ درصد ناشی از تولید محصولات باغبانی و ۶ درصد ناشی از تولید صیفی و سبزیجات در کشور است. همچنین از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای ۸۶ درصد ناشی از تولید محصولات آبی و ۱۴ درصد ناشی از تولید محصولات دیم می‌باشد.

سپاسگزاری

این گزارش بخشی از گزارش یک طرح تحقیقاتی است که به سفارش سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (قرارداد شماره ۲۹۴۶۸/۲۱۱) انجام شده است. لذا از آنها کمال تشکر و قدردانی را داریم.

منابع مورد استفاده

- Ajab Shirchi Eskoi Y, Taki M, Abdi R, Qobadifar A and Ranjbar A. 2018. Investigating the efficiency of energy consumption in rainfed wheat cultivation by the technique of data envelopment analysis (case study: Silakhor Plain). *Journal of Agricultural Machinery*, 1 (2): 122-132. (In Persian with English Abstract).
- Akcaoz H, Ozcatalbas, O and Kizilay H. 2009. Analysis of energy use for pomegranate production in Turkey. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 7:475-480.
- Alimagham SM, Soltani A, Zeinali E and Kazemi H. 2017. Energy flow analysis and estimation of greenhouse gases (GHG) emissions in different scenarios of soybean production (Case study: Gorgan region, Iran). *Journal of Cleaner Production*, 149: 621-628.
- Anonymous. 2021. Agricultural statistic. Volume 1: Crops. Jahad ministry of agriculture. Planning and economic affairs, office of statistics and information technology.
- Asgharipour M and Fariborz P. 2014. Energy use in wheat production: Analytical comparison of rainfed and irrigated wheat production methods in Kermanshah city. *Ecological agriculture*. 5 (1): 1-11. (In Persian with English Abstract).
- Barut ZB, Ertekin C and Karaagac HA. 2011. Tillage effects on energy use for corn silage in Mediterranean Coastal of Turkey. *Energy*, 36:5466-5475.
- Bocheńska M, Paulina R and Rzeźnik W. 2021. "Greenhouse Gas Emissions from Agriculture in EU Countries—State and Perspectives" *Atmosphere*, 12: 1396. <https://doi.org/10.3390/atmos12111396>
- Chataut G, Bhatta B, Joshi D, Subed K and Kafle K. 2023. Greenhouse gases emission from agricultural soil: A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11: 100533
- Dalby F.R, Vanderzaag AC, Chantigny MHS, Hafner D, Petersen SO, Dunfield J, Habtewold S and Sommer G. 2021. Understanding methane emission from stored animal manure: a review to guide model development. *Journal of Environmental Quality*, 50 (4): 817–835, <https://doi.org/10.1002/jeq2.20252>.
- Deihimfard R, Rahimi-Moghaddam S, Collins B and Azizi Kh. 2022. Future climate change could reduce irrigated and rainfed wheat water footprint in arid environments. *Science of the Total Environment*, 807: 150991. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150991>
- Gidden M. J, Riahi K, Smith SJ, Fujimori S, Luderer G, Kriegler E, van Vuuren DP, van den Berg M, Feng L, Klein D, Calvin K, Doelman JC, Frank S, Fricko O, Harmsen M, Hasegawa T, Havlik P, Hilaire J, Hoesly R, Horing J, Popp A, Stehfest E and Takahashi K. 2019. Global emissions pathways under different socioeconomic scenarios for use in CMIP6: a dataset of harmonized emissions trajectories through the end of the century, *Geosci. Model Dev.* 12: 1443-1475, <https://doi.org/10.5194/gmd-12-1443-2019>
- IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group1 to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA, 2013.
- IPCC. 2020. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>

- Kaltsas AM, Mamolos AP, Tsatsarelis CA, Nanos GD and Kalburtji KL. 2007. Energy budget in organic and conventional olive groves. *Agriculture ecosystem environment*, 122: 243-251.
- Ministry of Energy. 2021. Detailed statistics of Iran's electricity industry, especially for managers in 2015. Tovanir specialized mother company. Office of Information Technology, Communication and Statistics - Deputy of Statistics Information. 176 p.
- Mirzaei M, Gorji M, Moghiseh, E, Asadi, H, and Razavy-Toosi E. 2021. Sustainable soil management and its role in mitigating greenhouse emissions. *Journal of land Management*, 9(2): 189-205.
- Pazaki-Troudi M, Ajam Nowrozi H, Ghanbari Malidre A, Dadashi M and Destan S. 2016. Balance evaluation and carbon dioxide emissions in wheat production fields. *Agricultural ecology*, 9 (4): 1168-1193. (In Persian with English Abstract).
- Rathke GW, Wienhold BJ, Wilhelm W and Diepenbrock W. 2007. Tillage and rotation effect on corn-soybean energy balances in eastern nebraska. *Soil tillage research*, 97: 60-70.
- Schneider UA and Smith P. 2009. Energy intensities and greenhouse gas emission mitigation in global agriculture. *Energy Efficiency*, 2: 195-206.
- Soltani A, Alimagham S M, Nehbandani A, Torabi B, Zeinali E, Zand E and van Ittersum MK. 2020a. Future food self-sufficiency in Iran: A model-based analysis. *Global Food Security*, 24: 100351. doi:10.1016/j.gfs.2020.100351
- Soltani A, Alimagham S M, Nehbandani A. Torabi B, Zeinali E, Zand E, Ghassemi S, Vadez V, Sinclair TR and van Ittersum MK. 2020b. Modeling plant production at country level as affected by availability and productivity of land and water. *Agricultural Systems*, 183:102859-102864.
- Soltani A, Alimagham SM, Nehbandani A, Torabi B, Zeinali E, Dadrasi A, Zand E, Ghassemi S, Pourshirazi S, Alasti O, Hosseini RS, Zahed M, Arabameri R, Mohammadzadeh Z, Rahban S, Kamari H, Fayazi H, Mohammadi S, Keramat S, Vadez V, van Ittersum MK and Sinclair TR. 2020. SSM-iCrop2: A simple model for diverse crop species over large areas. *Agricultural Systems*, 182: 102855.
- Soltani A, Rajabi MH, Zeinali E and Soltani E. 2013. Energy inputs and greenhouse gases emissions in wheat production in Gorgan, Iran. *Energy*, 50:54-61.
- Soltani E, Soltani A, Alimagham M and Zand E. 2021. Ecological footprints of environmental resources for agricultural production in Iran: a model-based study. *Environmental Science and Pollution Research*, 28 (48): 68972-68981.
- The Ministry of Petroleum. 2021. Hydrocarbon balance sheet of the country for the year 2015. Ministry of Petroleum, Vice President of Planning. 659 p.
- Tzilivakis J, Warner DJ, May M, Lewis KA and Jaggard K. 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. *Agricultural systems*, 85 (2) :101-119
- van Loon MP, Alimagham S, Pronk A, Fodor N, Ion V, Kryvoshein O, Kryvobok O, Marrou H, Mihail R, Mínguez MI, Pulina A, Reckling M, Rittler L, Roggero PP, Stoddard FL, Topp CFE, van der Wel J, Watson C and van Ittersum MK. 2023. Grain legume production in Europe for food, feed and meat-substitution. *Global Food Security*, 39: Article 100723. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2023.100723>

- Yanni SF, De Laporte A, Rajsic P, Wagner-Riddle C and Weersink A. 2021. The environmental and economic efficacy of on-farm beneficial management practices for mitigating soil-related greenhouse gas emissions in Ontario, Canada. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 36(3):307-320. doi:10.1017/S1742170520000320
- Ziaei SM, Hossein Panahi F, Valizadeh J and Barabadi SA. 2013. Comparing the efficiency of wheat and barley production in terms of energy consumption and productivity in Sistan and Baluchistan province. *Agricultural research in Iran*. 11 (2): 327-336. (In Persian with English Abstract).