بوم‌شناسی کاربردی/ سال یازدهم / شماره چهارم / زمستان ۱۴۰۱/ صفحات ۳۳ تا ۴۸

# ارزیابی شاخص‌های انرژی و اثرات زیست‌محیطی بوم‌نظام‌های گوجه‌فرنگی و فراورده رب در منطقه کرمانشاه با رویکرد ارزیابی چرخه زیستی

جاوید صفری[۱]، محمود خرمی‌وفا[۲*]، زینب رمدانی[۳] و محمد یوسفی[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۲۷)

## چکیده

**در این پژوهش، اثرات زیست محیطی تولید رب با توجه به کل چرخه زندگی گوجه‌فرنگی شامل کشت، فرآوری، بسته‌بندی و حمل و نقل با استفاده از روش پایه CML-IA (Institute of Environmental Sciences, CML) در منطقه کرمانشاه بررسی شد. اطلاعات مورد نیاز از طریق مصاحبه، پرسشنامه و پایگاه‌های Ecoinvent، LCA Food DK و IDMAT به‌دست آمد. برپایه نتایج، تخریب لایه ازون و تقلیل منابع آلی کمترین و مسمومیت آب‌های آزاد بیشترین سهم را در بین گروه‌های تأثیرگذار در طی فرآیند تولید یک قوطی رب یک کیلویی داشتند. در فرآیند کشت نیز برق چاه آب و پس از آن کود نیتروژن بیشترین اثر را بر مسمومیت آب‌های آزاد داشتند. مرحله فرآوری در کارخانه کمترین سهم را در بین گروه‌های تأثیر گذار (به جز مسمومیت آب‌های آزاد) داشت. میزان بهره‌وری انرژی ۰/۶۳ کیلوگرم بر مگاژول محاسبه شد. افزوده خالص انرژی و کل انرژی مصرفی در مزرعه نیز به ترتیب ۴۲۷۰۰- و ۴۴/۸۶ مگاژول بر هکتار بدست آمدند، که الکتریسته و کود شیمیایی به ترتیب با ۷۵/۴۳، ۱۶/۹۴ درصد بیشترین سهم را از کل مصرف انرژی داشتند. با توجه به نتایج، مرحله کشت از طریق کاهش مصرف برق با بهبود سامانه‌های آبیاری، پتانسیل کافی برای کاهش اثرات زیست محیطی در طول دوره تولید رب گوجه فرنگی را دارد.**

**واژه‌های کلیدی: اثرات زیست محیطی، الکتریسیته، رب گوجه فرنگی، شاخص‌های انرژی، کشت گوجه‌فرنگی**

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی.

۲. دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی.

۳. دانش‌آموخته دکتری مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی

۴. دانش‌آموخته دکتری زراعت

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: khoramivafa@razi.ac.ir

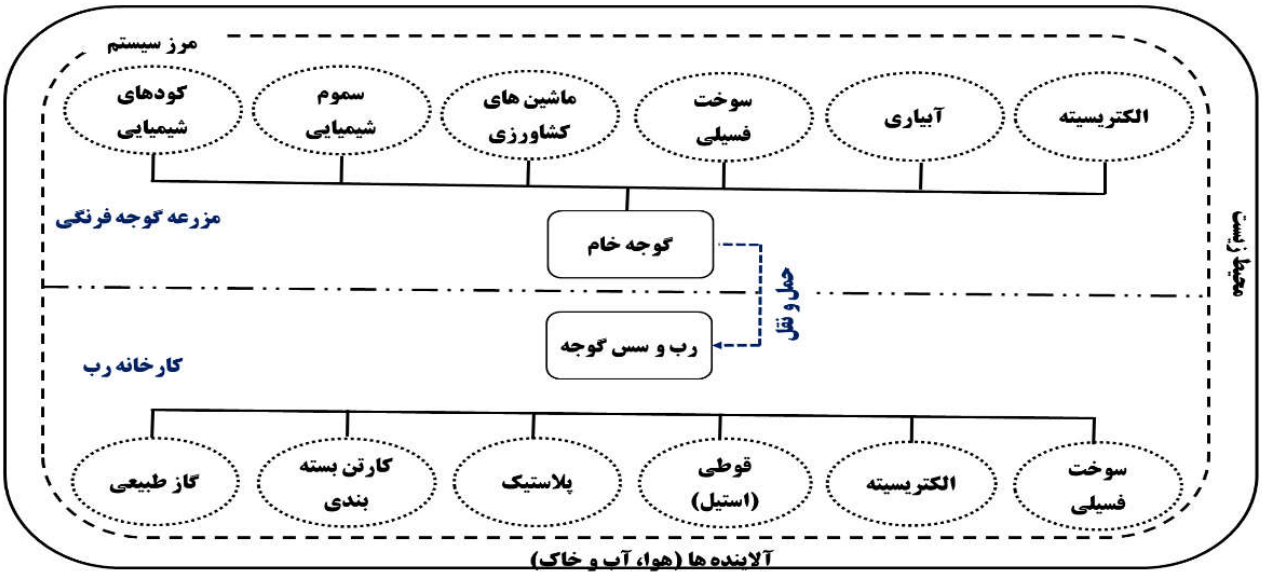
**مقدمه**

با افزایش جمعیت جهان و نیز صنعتی شدن کشورها، استفاده از منابع مختلف انرژی به‌منظور تأمین نیازهای مختلف جوامع بشری، امری ضروری است و موضوع انرژی به عنوان یکی از مهمترین موضوعات بحث برانگیز در جهان تبدیل شده است (۱۷). بخش کشاورزی به‌عنوان مهمترین تولید کننده انرژی، به واسطه وابستگی به کودها، سموم شیمیایی و بذور اصلاح شده، بزرگترین مصرف کننده انرژی نیز شناخته شده است (۱۵). مصرف زیاد نهاده‌های کشاورزی همچون انواع کودهای شیمیایی و سوخت‌های فسیلی با تولید نزدیک به دو سوم گازهای گلخانه‌ای، به بروز تأثیرات زیست‌محیطی زیانباری چون افزایش گرمایش جهانی، کاهش تنوع زیستی، تنزل کیفیت خاک (مانند فرسایش، فشردگی و یا کاهش مواد آلی خاک) و آلودگی آب‌ها، خاک و هوا منجر شده است (۳۰).

گوجه فرنگی با تولید جهانی نزدیک به ۱۷۷ میلیون تن (۴)، پس از خروج از مزرعه وارد مراحل پس از تولید مانند بسته‌بندی یا فرآوری در کارخانه شده که می‌تواند زمینه ساز آسیب‌های زیست محیطی شود. در واقع تجارت جهانی گوجه‌فرنگی بیشتر به تجارت محصولات فرآوری شده حاصل از آن همچون پوره، سس، رب گوجه¬فرنگی (قوطی) و غیره ارتباط دارد و همین افزایش تولید کالاهای فرآوری شده به رشد تجارت گوجه‌فرنگی و افزایش سطح زیر کشت آن کمک می‌کند. در این ارتباط ایران نیز با تولید ۶ میلیون تن (مقام ششم تولید) (۴)، از کشورهای مهم تولید این محصول در جهان است و از نظر صادرات رب گوجه‌فرنگی نیز، در جایگاه نهم جهانی کشورهای صادر کننده قرار دارد (۳۱).

ارزیابی چرخه زندگی عبارت است از گردآوری و ارزیابی ورودی‌ها، خروجی‌ها و تاثیرات زیست‌محیطی بالقوه در یک فرآیند تولیدی در طول چرخه زندگی آن محصول (۵). ارزیابی چرخه زندگی روشی برای محاسبه پتانسیل اثرات زیست محیطی و منابع مورد استفاده در طی زندگی یک کالا از ابتدا تا انتها است که با طراحی و توسعه محصول شروع شده و با استخراج منابع، ساخت محصول، دسته‌بندی، مصرف کالا، بازیافت و دفن زایدات خاتمه پیدا می‌کند و دارای چهار مرحله شامل تعیین دامنه و هدف، تحلیل سیاهه (موجودی)، ارزیابی تاثیرات چرخه زندگی و تحلیل نتایج است (۵). در مرحله اول ابتدا پژوهشگر هدف از کار خود را مشخص نموده و سپس بر اساس آن مرزهای سامانه مورد نظر خود را تعیین می‌نماید. در واقع مرز سامانه مشخص می‌نماید که مشکلات زیست‌محیطی تا چه مرحله‌ای باید دنبال شوند، چرا که مشکلات زیست‌محیطی ممکن است حتی پس از تولید محصول یا فرآورده همچنان ادامه داشته باشند (شکل ۱). ارزیابی اثرات زیست محیطی و استفاده از منابع زیرزمینی در محصولات غذایی در تمام طول چرخه زندگی آن‌ها، یک ضرورت برای تولید محصولات بر اساس نگرش توسعه پایدار (۱۶) و روشی مناسب برای تخمین اثرات زیست‌محیطی تجمعی ناشی از همه مراحل چرخه زندگی محصول است (۲۳).

روش ارزیابی چرخه زیستی برای بررسی بخش‌های اثرگذار تولید گوجه‌فرنگی بر آلودگی‌های زیست‌محیطی در نقاط مختلف جهان مورد استفاده قرار گرفته است. برای نمونه، بررسی تولید گوجه فرنگی در مزرعه، بسته‌بندی، حمل و نقل و فراورده‌های آن مانند سس در ارومیه (۲۷)، تولید گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در استان خوزستان (۱۲)، تولید گوجه‌فرنگی از مزرعه تا کارخانه جهت تولید سس در شمال ایتالیا (۱۶) و تأثیر ۸۱ درصدی اثرات زیست‌محیطی تولید گوجه‌فرنگی در مزرعه با استفاده از تونل‌های مرتفع در جنوب فرانسه (۱)، از جمله این مطالعات هستند. در بررسی دیگری محققین ارزیابی چرخه حیات یک تن گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای را از مرحله کاشت تا مرحله بسته‌بندی، جهت بررسی اثرات زیست محیطی مورد بررسی قرار دادند و نتایج پژوهش‌های آن‌ها نشان داد که تولید این محصول اثرات منفی بر روی شاخصهای زیست محیطی شامل سلامت انسان، اکوسیستم و منابع دارد (۱۵). موضوع انرژی و ارزیابی شاخص‌های آن در دیگر فراورده‌ها و مواد غذایی نیز مورد توجه قرار گرفته است. در این ارتباط در




**شکل ۱. طرح‌واره از چرخه زندگی تولید رب گوجه فرنگی؛ کادرهای مربع مراحل اصلی این چرخه را مشخص کرده‌اند. دایره‌ها نهاده‌های مورد نیاز را تعیین نموده‌اند و خطوط نقطه چین مرزهای سیستم را نشان می‌دهد.**

بررسی شاخص‌های جریان مواد و انرژی و شاخص‌های انرژی در تولید هفت نان رایج در ایران در ایلام مشاهده شد که بیشترین انرژی خروجی به تولید نان بربری و کمترین مقدار آن به نان سنگک مربوط بود. همچنین موثرترین نهاده مصرف کننده انرژی در تولید نان، آرد گندم با سهم ۵۳/۵۷ درصد بوده است. علاوه بر این، شاخص‌های انرژی بطور متوسط در تولید انواع نان بررسی شد. شاخص نسبت انرژی ۰/۵۲، شدت انرژی ۲۲/۶۲ مگاژول بر کیلوگرم و افزوده خالص انرژی ۱۰/۷۹- مگاژول بر کیلوگرم در تولید نان بدست آمد. همچنین گاز طبیعی در تولید نان سنگک و ساجی با سهم ۵۳/۵۷٪، بیشتر از سایر انواع نان بود (۱۱). در مطالعه‌ای دیگر که شاخص‌های انرژی و زیست محیطی در تولید شکر از چغندر قند مورد ارزیابی قرار قرار گرفته بود، مشاهده شد که گاز طبیعی با سهم ۴۳ درصدی مؤثرترین نهاده‌ی انرژی بر در تولید شکر بود، و شاخص‌های نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی، شدت انرژی و افزوده خالص انرژی نیز به ترتیب ۰/۵۶، ۰/۰۲ کیلوگرم بر مگاژول، ۴۷/۹ مگاژول بر کیلوگرم و۲۰۷۵۴۹۹/۷- مگاژول بر ۱۰۰ تن به دست آمدند. ضمن اینکه گروه‌های اثر سمیت آب‌های آزاد، تقلیل منابع غیرآلی (سوخت‌های فسیلی)، گرمایش جهانی، سمیت آب‌های سطحی و پتانسیل اسیدی شدن نسبت به سایر گروه‌های اثر، دارای مقادیر بیشتری بودند (۷). در پژوهشی دیگر بررسی شاخص‌های زیست محیطی تولید یک تن نان سنگک و لواش در شهرستان اسلام آباد غرب نشان داد که به دلیل مصرف بیشتر نهاده ها در نان سنگک نسبت به نان لواش، مقادیر شاخص‌های زیست محیطی نان سنگک بیشتر بود. همچنین تحلیل نتایج مشخص نمود که در تولید یک تن نان، گروه‌های اثر سمیت آب‌های آزاد، تقلیل منابع غیرآلی (سوخت‌های فسیلی،) گرمایش جهانی، سمیت آب‌های سطحی و پتانسیل اسیدی شدن نسبت به سایر گروه‌های اثر، دارای اثرات زیست محیطی قابل توجهی هستند (۹).

با توجه به اینکه گوجه‌فرنگی یک محصول دارای فرآیند صنعتی است بنابراین در طی چرخه زندگی به مقادیر قابل توجهی انرژی خارجی برای عملیات مختلف زراعی (نظیر کاشت، داشت، برداشت) و عملیات فرآوری (نظیر تولید رب گوجه‌فرنگی) در کارخانجات صنایع تبدیلی نیازمند است و در صورت عدم مدیریت نامناسب و تعیین کمی این انرژی، آلودگی‌های زیست‌محیطی متعددی را به همراه دارد. بنابراین باید بتوان با استفاده از جریان

ارزیابی چرخه زیست، سهم هر یک از بخش‌های این زنجیره یعنی کاشت داشت، برداشت و تولیدات کارخانه‌ای را از کل گازهای گلخانه‌ای تولید شده و رد پای کربن تعیین نمود تا بتوان توسط رویکردی مؤثر میزان آلودگی‌ها و فشار به محیط زیست را کاهش داد. بر همین اساس این پژوهش در راستای اهداف زیر انجام شده است:۱- ارزیابی جریان انرژی در کشت گوجه‌فرنگی و فرآورده‌های آن ۲-ارزیابی چرخه‌زیست تولید گوجه‌فرنگی و فرآورده‌های آن در جهت بررسی استانداردهای لازم برای کسب استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰.

## مواد و روش‌ها

جهت ارزیابی اثرات زیست محیطی فرآیند تولید رب گوجه فرنگی در شهرستان کرمانشاه، چرخه زندگی آن از مرحله کشت در مزرعه تا فرآوری آن در کارخانه و بسته‌بندی و آماده شدن آن برای توزیع، مورد بررسی قرار گرفت. استان کرمانشاه در غرب ایران واقع شده و دارای موقعیت جغرافیایی با طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شمالی، عرض جغرافیای ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۱۹ متر و متوسط بارندگی ۴۸۰-۴۵۰ میلی‌متر می‌باشد.

در این مطالعه، فرآیند جمع‌آوری اطلاعات شامل سه مرحله اصلی کشت در مزرعه و تولید گوجه فرنگی، حمل و نقل (انتقال گوجه فرنگی از مزرعه به کارخانه) و فرآوری گوجه‌فرنگی و تولید رب در کارخانه بود. ابزار جمع‌آوری داده‌ها پرسش‌نامه در دو بخش کشاورزی و کارخانه بود.

جامعه آماری، بهره‌برداران گوجه‌فرنگی ۱۰ دهستان شهرستان کرمانشاه بودند که نیاز اولیه گوجه‌فرنگی کارخانه تولید رب را تامین می کردند. از رابطه کوکران (رابطه ۱) برای تعیین تعداد نمونه (پرسشنامه) استفاده شد (۲۹).

$$n = \frac{\frac{z^2 pq}{d^2}}{1+\frac{1}{N}\left(\frac{z^2 pq}{d^2}-1\right)} \qquad (۱)$$

که در آن، N: حجم جامعه آماری، d: اشتباه مجاز (۰/۰۵)، Z: مقدار متغیر نرمال با سطح اطمینان α-1 (در آزمون دودامنه مقدار z برای سطح اطمینان ۹۵ درصد برابر ۱/۹۶ و برای سطح اطمینان ۹۹ درصد برابر ۲/۵۸ است)، p و q: به ترتیب نسبت برخورداری و عدم برخورداری از صفت مورد نظر است.

پرسش‌نامه‌ها در مرحله کاشت در اختیار کشاورزان و در کارخانه تولید رب گوجه‌فرنگی در اختیار کارشناسان قرار گرفت. به‌منظور دستیابی به اطلاعات مورد نیاز چهار قسمت کلی در هر پرسشنامه طراحی شد که شامل موارد زیر بودند:

۱) اطلاعات مربوط به مقدار نهاده‌های مصرفی در هکتار و عملکرد (میزان بذر مصرفی، مقدار کودهای شیمیایی، میزان سموم، میزان عملکرد و غیره)

۲) اطلاعات مربوط به نوع کشت، سطح زیر کشت، تامین آب آبیاری، نوع تراکتور، روش آبیاری و منابع مورد استفاده در فرآیند تولید محصول گوجه‌فرنگی

۳) اطلاعات مربوط به عملیات مختلف کشاورزی از خاک‌ورزی تا برداشت و حمل و نقل

۴) اطلاعات مربوط به کارخانه تولید رب گوجه‌فرنگی، از ورود گوجه‌فرنگی‌ها تا خروج محصول

جهت تکمیل آمار و اطلاعات مربوط به وضعیت کشاورزی در مناطق مورد بررسی و همچنین اطلاعات مربوط به کارخانه مورد مطالعه سعی بر این شد که با کارشناسان کارخانه رب گوجه‌فرنگی مصاحبه شود و اطلاعات آنها نیز مدنظر قرار گیرد.

اطلاعات مربوط به مصارف نهاده‌های انرژی‌بر، شامل انواع مختلف ماشین‌های کشاورزی، میزان کود و سموم مورد استفاده در مزرعه، تعیین مقدار آب و برق مصرفی، تخمین نیروی کاری در مراحل مختلف پرورش محصول گوجه‌فرنگی در مزرعه و محصولات آن در کارخانه، میزان بذر و سوخت فسیلی بکار برده شده و وضعیت مکانیزاسیون تولید گوجه‌فرنگی در شهرستان کرمانشاه محاسبه شد.

انرژی ورودی در ارزیابی چرخه زندگی تولید رب گوجه‌فرنگی در دو دسته مستقیم و غیرمستقیم در نظر گرفته شد. بر همین اساس، گازوئیل، بنزین، گاز طبیعی، الکتریسیته و نیروی

انسانی از نهاده‌های انرژی مستقیم بودند که پس از تعیین مقدار مصرفی هر یک از این نهاده‌ها، عدد بدست آمده در مقدار ارزش انرژی معادل یک واحد (جدول ۱) بر حسب ژول یا یکی از ضرایب آن (کیلو، مگا و گیگا) ضرب شد (رابطه ۲) تا نتیجه حاصل سهم هر یک از نهاده‌ها را در تولید مشخص کند (۲۲).

$$E_p = Q_i \times E_i \qquad (۲)$$

در اینجا، Ep: انرژی سوخت بر حسب مگاژول بر هکتار (MJ/ha)، Qi: مقدار سوخت مصرف شده بر حسب لیتر بر هکتار (L/ha)، Ei: انرژی معادل هر واحد سوخت بر حسب مگاژول بر لیتر (MJ/l) است.

منابع غیرمستقیم انرژی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند شامل: کود شیمیایی، ماشین‌های کشاورزی، آبیاری، بذر، سموم شیمیایی و حمل و نقل بودند. معادل انرژی ورودی‌های غیرمستقیم با استفاده از جدول ۱ محاسبه شدند. برای محاسبه انرژی سموم، کودهای شیمیایی و بذر مقدار مصرفی آن‌ها در هکتار مشخص شد و با ضرب مقدار مصرف شده در معادل انرژی مواد مصرفی آنها طبق جدول ۱، انرژی ورودی آن‌ها بدست آمد.

به‌منظور محاسبه انرژی حمل و نقل مصاحبه‌هایی حضوری از ۲۰ نفر از رانندگان کامیون‌ها که در کارخانه رب گوجه‌فرنگی مشغول به کار بودند انجام و مقدار سوخت مصرفی، مسافت، مقدار بار و نوع وسیله نقلیه از نظر سوخت مصرفی سوال شد و سپس مقدار سوخت مصرفی به انرژی معادل آن ضرب و عدد حاصله بر حسب مگاژول بر تن کیلومتر (MJ/ton/km) بدست آمد.

## شاخص‌های انرژی

شاخص‌های انرژی مورد نظر در این پژوهش شامل نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی، شدت انرژی و افزوده خالص انرژی بر اساس روابط ۳ تا ۶ بودند (۲۴).

(۳) نسبت انرژی = انرژی خروجی / انرژی ورودی

(۴) افزوده خالص انرژی (MJ/ha) = انرژی خروجی – انرژی ورودی

(۵) بهره‌وری انرژی (kg/MJ) = میزان محصول تولیدی / انرژی ورودی

(۶) شدت انرژی (MJ/kg) = انرژی ورودی / میزان محصول تولیدی

برای محاسبه انرژی بسته‌بندی ابتدا مواد بسته‌بندی شناسایی و سپس معادل انرژی آن‌ها بر اساس جدول ۲ مشخص و در معادل انرژی هر واحد ضرب و انرژی مصرف شده در بسته‌بندی بدست آمد. همچنین تراز انرژی سایر نهاده‌های بکار رفته در کارخانه‌ی تولید رب گوجه فرنگی شامل الکتریسیته و نیروی انسانی پیش‌تر در جدول ۱ ذکرگردیده است.

برای بررسی انرژی مصرفی در کارخانه رب از دو شاخص بهره‌وری انرژی (رابطه ۵) و مصرف انرژی ویژه (رابطه ۷ و ۸) استفاده شد.

$$EEI_{1,j} = \frac{E_j}{MD} \qquad (۷)$$

$$EEI_{2,j} = \frac{E_j}{\sum m_i \times SEC_{ref\ i,j}} \qquad (۸)$$

که در آن j : نوع انرژی (برای مثال برق، گازوئیل و ...)، $EEI_1$: شاخص بازده انرژی برای سوخت j بر مبنای گوجه‌فرنگی خام ورودی (J/ton)، Ej: میزان مصرف انرژی در کارخانه برای سوخت j (J یا W)، MD: میزان گوجه فرنگی خام ورودی به واحد کارخانه (ton)، $EEI_2$: شاخص بازده انرژی برای سوخت بر مبنای محصول نهایی، mi میزان محصول که با اندیس i مشخص می‌شود (ton)، SECref i,j: مصرف انرژی ویژه برای مقدار معینی از محصول i و سوخت j (یعنی میزان انرژی اولیه برای تولید هر تن محصول) هستند (۱۴). انرژی‌های اصلی مورد استفاده در کارخانه فرآوری گوجه‌فرنگی تحت بررسی، شامل انرژی الکتریکی و انرژی گاز طبیعی بودند. داده‌های لازم در این بخش از طریق مصاحبه با مدیران و بازدید از کارخانه جمع‌آوری شده است. مشاهده قبوض برق و گاز چند سال متوالی کارخانه نیز تکمیل کننده اطلاعات لازم بودند. در این

**جدول ۱. معادل انرژی عوامل اثرگذار در الگوی مصرف انرژی در کشت گوجه‌فرنگی در مزرعه**

| الف) نهاده (انرژی‌های ورودی) | | انرژی معادل (MJ/ha) | منبع |
|---|---|---|---|
| نیروی انسانی(hr) | | ۱/۹۶ | (۳۲) |
| ماشین (hr) | | ۶۴/۸ | (۲۸) |
| سوخت دیزل (L) | | ۴۷/۸ | (۲۸) |
| | نیتروژن | ۷۸/۱ | (۳۲) |
| کود شیمیایی (kg) | فسفر | ۱۷/۴ | (۳۲) |
| | پتاس | ۱۳/۷ | (۳۲) |
| | حشره کش | ۱۰۱/۲ | (۳) |
| سموم شیمیایی (kg) | علف کش | ۲۳۸ | (۳) |
| | قارچ کش | ۲۱۶ | (۳) |
| برق (kw/.hr) | | ۱۱/۹۳ | (۲۴) |
| بذر (kg) | | ۰/۲۸ | (۲۹) |
| ب) ستاده (انرژی خروجی) | | | |
| محصول گوجه فرنگی (kg) | | ۰/۸ | (۱۹) |

**جدول ۲. انرژی معادل مواد و تجهیزات مورد استفاده در کارخانه تولید رب گوجه فرنگی**

| مواد بسته بندی و سوخت | معادل انرژی (مگاژول بر یکا) | منبع |
|---|---|---|
| پلاستیک (kg) | ۱۰۶ | (۲۱) |
| کارتن ($m^2$) | ۰/۱–۷۵/۲۵ | (۱۰) |
| استیل برای کنسرو (kg) | ۱۰۳ | (۶) |
| ماشین‌ها و تجهیزات (kg) | ۰/۱۳ | (۲۱) |
| گاز طبیعی ($m^3$) | ۴۹/۵ | (۱۳) |

تحقیق میزان مصرف انرژی الکتریکی به ازای هر تن گوجه فرنگی ورودی ماهیانه در نظر گرفته شد (kw.hr/ton). محاسبه مصرف انرژی ویژه گاز نیز با فرآیندی مطابق مصرف انرژی ویژه الکتریکی انجام شد.

**تعیین واحد کارکردی (Function Unit, FU) و تحلیل سیاهه موجودی (Life Cycle Inventory, LCI)**

در این مطالعه، واحد کارکردی در نظر گرفته شده، یک کیلوگرم رب گوجه فرنگی بود. همچنین جهت تحلیل سیاهه، داده‌های جمع آوری شده از مزرعه، سیستم حمل و نقل و کارخانه پس از تحلیل انرژی و محاسبات مورد نیاز، به واحد کارکردی (یک کیلوگرم رب گوجه‌فرنگی) تبدیل شدند. در این رابطه اطلاعات مربوط به مواد شوینده، سوخت‌های فسیلی و مواد بسته‌بندی از پایگاه داده اکواینونت، انتشارات دی کی ( Dorling Kindersley, DK) و هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم ( IPCC Intergovernmental Panel on Climate, Change) اخذ گردید (۸).

به منظور ارزیابی تاثیرات چرخه زندگی، دسته‌های تأثیر گذار بر اساس روش پایه CML-IA شامل؛ تقلیل منابع غیر آلی

(Abiotic depletion, ADP)، تقلیل منابع غیر آلی (سوخت‌های فسیلی) (Abiotic depletion (fossil fuels) ,CED)، گرم شدن جهانی (Global warming potential ,GWP 100a)، تخریب لایه ازون (Ozone depletion ,ODP)، مسمومیت انسانی (Human intoxication ,HTP)، مسمومیت آب‌های شیرین (Fresh water ecotoxicity, FEP)، مسمویت آب‌های آزاد ( Open waters ecotoxicity, MEP)، مسمومیت خاک (Terrestrial ecotoxicity ,TEP)، اکسیداسیون فتوشیمیایی (Photochemical oxidation, POFP)، اسیدی شدن (Acidification, AC)، اتروفیکاسیون (Eutrophication, EP) تعیین، و برای محاسبه این گروه‌های تاثیرگذار زیست‌محیطی و بررسی اثرات فرآیند بر روی محیط‌زیست، از نتایج LCI به کمک نرم‌افزار SimaPro (نسخه ۷,۳,۳) استفاده شد. در این رابطه، محصول تولیدی (رب گوجه فرنگی) به وزن ۱ کیلوگرم مورد ارزیابی زیست محیطی قرار گرفت و یازده شاخص زیست محیطی بر اساس محاسبات نرم افزار تعیین گردید. از آنجا که به طور متوسط برای تولید یک کیلوگرم رب نیاز به ۷ کیلوگرم گوجه‌فرنگی بوده، تمام نهاده‌های ورودی به مزرعه و همچنین سوخت و الکتریسیته مصرف شده در کارخانه به ازای ۷ کیلوگرم گوجه تعیین شده و در نرم افزار قرار گرفتند. در کارخانه مورد بررسی، ۹۸٪ تولیدات کارخانه به رب و تنها ۲٪ مربوط به تولید سس اختصاص یافته است. داده‌ها و اطلاعات به‌دست آمده از پرسش‌نامه با نرم افزارهای SPSS ۱۶,۰ و SimaPro. تجزیه و تحلیل شد. نمودارهای تحقیق با نرم افزار Excel (نسخه Microsoft Office 2010) طراحی و به‌دست آمد.

## نتایج و بحث

نتایج بررسی الگوی مصرف انرژی در بخش مزرعه در جدول ۳ و ۴ آورده شده است. برای کشت گوجه فرنگی کشاورزان در برخی مناطق از بذر و در برخی مناطق از نشا استفاده کردند. مقدار بذر مصرفی در مناطقی که از بذر استفاده کردند ۰/۵ کیلوگرم در هکتار بود و مقدار نشا مصرفی با توجه به مناطق مختف از ۳۰۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰ نشا در یک هکتار متغیر بود.

در جدول ۳ مقادیر نهاده‌های استفاده شده در مزرعه همراه با انحراف معیار هر کدام، و نیز مقادیر نهایی هر نهاده جهت تولید ۱ کیلوگرم رب گروجه فرنگی آورده شده است. با توجه به جدول ۴، الکتریسته و کود شیمیایی به ترتیب با ۷۵/۴۳ و ۱۶/۹۴ درصد بیشترین میزان انرژی ورودی را در تولید گوجه‌فرنگی در مزرعه داشتند. انرژی الکتریسیته برای آبیاری می‌تواند با یک سیستم آبیاری تحت فشار همچون آبیاری قطره‌ای تا ۹۰ درصد کاهش یابد (۲).

### شاخص‌های انرژی

شاخص‌های انرژی در جدول ۵ ارائه شده‌اند. نسبت انرژی کوچکتر از یک، نشان‌دهنده این است که میزان انرژی خروجی از مزرعه کمتر از انرژی ورودی به آن است که این مورد در اکثر محصولات کشاورزی بجز دانه‌های روغنی (به دلیل تراز انرژی نسبتاً بالا) دیده می‌شود. به تبع آن افزوده خالص انرژی هم عددی منفی می‌گردد. آبیاری غیر اصولی و عدم استفاده از سیستم‌های آبیاری کارآمد عامل اصلی افزایش انرژی ورودی در فرآیند تولید گوجه فرنگی بوده است.

نتایج یک بررسی مشابه نشان داد که نسبت انرژی و بهره‌وری انرژی گوجه فرنگی به ترتیب برابر ۰/۴۷ و ۰/۵۹ مگاژول بر کیلوگرم بود. کل انرژی مصرفی در مزرعه برای تولید گوجه فرنگی ۴۹۹۹۶/۸۷ مگاژول به‌دست آمد که از این مقدار کود شیمیایی ۶۱/۶۵ درصد، ۱۵/۶۳ درصد الکتریسیته و ۱۰/۴۱ درصد کارگری بیشترین مقادیر را به خود اختصاص دادند (۲۵). همچنین در بررسی میزان مصرف انرژی برای تولید گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای، متوسط انرژی مصرفی برای یک کیلوگرم گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای ۰/۸۰۸۱ مگاژول بود، و مقدار متوسط بهره‌وری انرژی ۱/۳۲۷ کیلوگرم بر مگاژول، متوسط افزوده خالص انرژی ۱۲۲۵/۴۲۶- مگاژول بر هکتار و نسبت انرژی ۰/۹۸۹۹ بدست آمد (۲۳).

### مقدار انرژی مستقیم و غیرمستقیم در فرآیند تولید رب گوجه‌فرنگی در کارخانه

بر اساس نتایج به دست آمده، مجموع انرژی مصرفی مستقیم و

**جدول ۳. مقادیر نهاده‌های مختلف استفاده شده در مزرعه در یک هکتار همچنین در واحد کارا (۱ کیلوگرم رب گوجه فرنگی)**

| نهاده‌ها | مقدار در هر هکتار | | مقدار در واحد کارا (۱ کیلوگرم رب) |
|---|---|---|---|
| | میانگین | انحراف معیار | میانگین |
| سوخت دیزل (L) | ۹۷/۳ | ۲۰۱/۷۲ | ۰/۱۲ |
| نیتروژن (kg) | ۱۶۶/۲۷ | ۲/۵۵ | ۰/۰۲۱ |
| فسفر (kg) | ۶۴/۰۶ | ۱/۱۳ | ۰/۰۰۸ |
| پتاس (kg) | ۳۵/۸۲ | ۱/۳۱ | ۰/۰۰۴ |
| علف کش (kg) | ۰/۲۴ | ۳۹/۷۹ | |
| حشره کش (kg) | ۰/۱۹ | ۱۰/۰۳ | ۰/۰۰۰۹۳* |
| قارچ کش (kg) | ۰/۲۲ | ۴۴/۳ | |
| الکتریسیته (kw.hr) | ۵۴۱۴/۴۴ | ۱۳۸/۱۳ | ۰/۶۹ |

*مجموع هر سه نوع سم باهم آمده است

**جدول ۴. انرژی مصرفی نهاده‌های به کار رفته برای تولید گوجه‌فرنگی در مزرعه (مگاژول در هکتار)**

| نهاده‌ها | انرژی مصرفی ($MJ.ha^{-1}$) | درصد |
|---|---|---|
| الف- ورودی‌ها | | |
| بذر (kg) | ۰/۰۳۱ | ۳/۷۱ |
| ماشین (hr.ha) | ۲۹۳/۹۴ | ۰/۷۹ |
| کود شیمیایی (kg/ha) | ۱۴۵۹۱/۲۱ | ۱۶/۹۴ |
| نیتروژن N | ۱۲۹۵/۷۵ | |
| فسفر P | ۱۱۱۴/۶۸ | |
| پتاس K | ۴۹۰/۷۷ | |
| سموم شیمیایی (kg) | ۷۸/۹۲ | ۰/۰۹ |
| علف کش | ۲۸/۹۲ | |
| حشره کش | ۲۳/۶۰ | |
| قارچ کش | ۲۶/۴ | |
| سوخت دیزل ($L.ha^{-1}$) | ۴۶۵۰۷/۸۰ | ۵/۳۹ |
| الکتریسیته (kw.hr) | ۱۰۶۱۶۵/۵۷ | ۷۵/۴۳ |
| نیروی انسانی (hr) | ۱۱۵۸/۰۵ | ۱/۳۴ |
| مجموع انرژی ورودی (MJ) | ۸۶۱۳۳/۴۴ | ۱۰۰ |
| ب- خروجی | | |
| میوه گوجه‌فرنگی (Kg) | ۴۳۴۳۳/۳۳ | - |

**جدول ۵. شاخص‌های انرژی در تولید گوجه‌فرنگی در مزرعه**

| شاخص‌های انرژی | معادل کل انرژی |
|---|---|
| نسبت انرژی | ۰/۵ |
| افزوده انرژی خالص (MJ/ha) | -۴۲۷۰۰ |
| بهره‌وری انرژی (kg/MJ) | ۰/۶۳ |
| شدت انرژی (MJ/kg) | ۱/۵۸ |

**جدول ۶. انرژی مستقیم و غیر مستقیم جهت تولید ۱ کیلوگرم رب گوجه‌فرنگی در کارخانه**

| | نهاده | مقدار نهاده | میزان انرژی (MJ) | درصد |
|---|---|---|---|---|
| انرژی مستقیم | الکتریسیته (kw.hr) | ۰/۱۳۸ | ۱/۱۶ | ۸/۱۷ |
| | گاز طبیعی($m^3$) | ۰/۰۸۱ | ۴/۰۱۵ | ۲۸/۲۹ |
| انرژی غیرمستقیم | دستگاه‌ها و تجهیزات (kg) | ۰/۰۰۲۷ | ۰/۰۰۰۳ | ۰/۰۰۲۱ |
| | آب مصرفی($m^3$) | ۰/۰۰۰۳۶ | ۰/۰۰۰۳۶۷ | ۰/۰۰۲۵ |
| | بسته‌بندی (قوطی) (kg) | ۰/۰۸۷۵ | ۹/۰۱۲ | ۶۳/۵۱ |
| | کاغذ(kg) | ۰/۰۱۶ | ۰/۰۱۲ | ۰/۰۸ |
| مجموع انرژی | | | ۱۴/۱۹ | ۱۰۰ |

غیرمستقیم در تولید یک کیلوگرم (یک قوطی) رب گوجه‌فرنگی معادل ۱۴/۱۹ مگاژول بر کیلوگرم بود. از این مقدار، بسته بندی با ۹/۰۱۲ مگاژول بر کیلوگرم بیشترین انرژی مصرفی را در طی این فرآیند به خود اختصاص داد که ۶۳/۵۱ درصد از کل انرژی مصرفی در کارخانه برای تولید یک کیلوگرم رب گوجه‌فرنگی بود. کمترین انرژی مصرف شده برای تولید یک کیلوگرم رب گوجه‌فرنگی در کارخانه نیز به دستگاه‌ها و تجهیزات و آب مصرفی با ۰/۰۰۲ درصد از کل انرژی مصرفی کارخانه مربوط بود (جدول ۶). لازم به ذکر است از انرژی نیروی انسانی به دلیل اندک بودن مقدار بدست آمده صرف نظر شده است. همچنین در ادامه کار جهت بدست آوردن شاخص های زیست محیطی انرژی انسانی در هیچ مرحله‌ای لحاظ نشده است.

**شاخص‌های انرژی در تولید رب گوجه‌فرنگی در کارخانه**

از آنجایی که در استان کرمانشاه بیشترین میزان گوجه فرنگی در ماه‌های شهریور و مهر تولید می‌گردد، میزان مصرف انرژی کارخانه‌های تولید رب گوجه‌فرنگی (شامل مصرف الکتریسیته و گاز طبیعی) نیز در این دو ماه بیشترین مقدار است. در محاسبات مربوط به این دو نوع انرژی، میانگین تمام ماه‌های سال لحاظ شده است. شاخص مصرف انرژی ویژه برای گاز طبیعی (سوخت فسیلی) به ازای هر تن محصول خروجی برابر ۰/۰۰۴ بدست آمد. این عدد نشان میدهد که انرژی حرارتی کارخانه دارای راندمان خوبی است و انرژی گاز طبیعی هدر نمی‌رود. مصرف انرژی ویژه الکتریسته ۱۳۸/۲۷ کیلووات ساعت بر تن محاسبه شد. بهره‌وری انرژی در کارخانه تولید رب گوجه‌فرنگی با توجه به انرژی‌های مصرفی ۰/۱۹ تن بر گیگاژول بدست آمد (جدول ۷).

**جدول ۷. مصرف انرژی و شاخص‌های آن در تولید رب گوجه‌فرنگی در کارخانه**

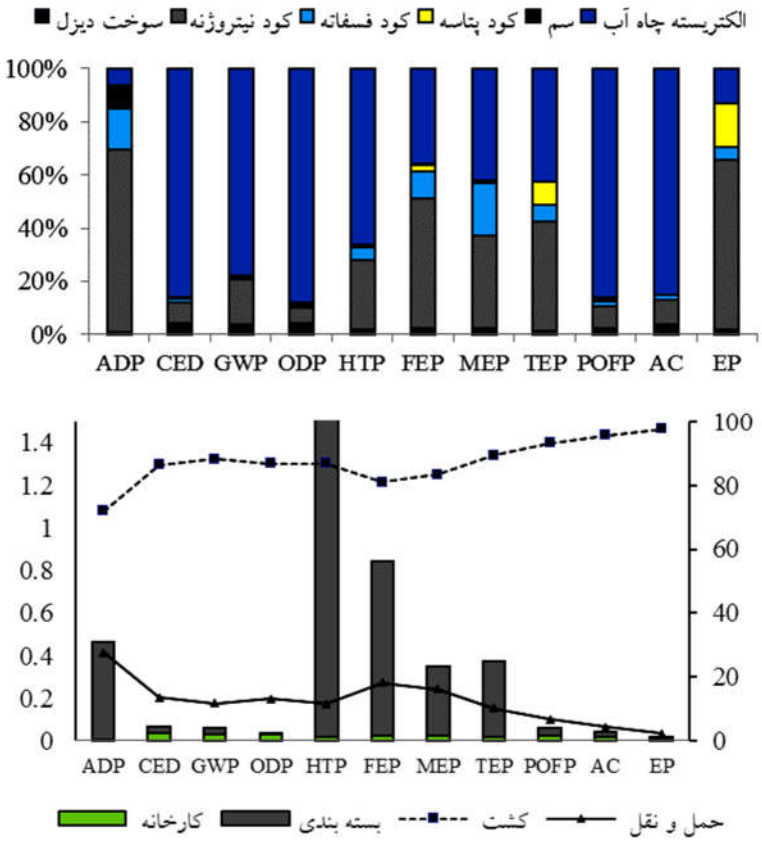
| شاخص‌های انرژی | منبع انرژی | مقدار |
|---|---|---|
| میزان مصرف انرژی کل | گاز طبیعی(GJ) | ۵۰۱۳۶/۲۸ |
| | الکتریسیته (GJ) | ۱۴۵۰۳/۵۶ |
| بهره‌وری انرژی (Ton/GJ) | | ۰/۱۹ |
| مصرف انرژی ویژه | گاز طبیعی (GJ/ton) | ۰/۰۰۴ |
| | الکتریسیته (kWhr/ton) | ۱۳۸/۲۷ |

**جدول ۸. شاخص‌های تأثیر چرخه زندگی در تولید رب گوجه‌فرنگی (یک قوطی رب به وزن یک کیلوگرم)**

| گروه‌های اثرگذار | واحد | کل | کشت | فرآوری در کارخانه | بسته بندی | حمل و نقل |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تقلیل منابع آلی (ADP) | kg Sb eq | $۲۸ \times ۱۰^{-۴}$ | $۲ \times ۱۰^{-۳}$ | $۱۵ \times ۱۰^{-۸}$ | $۱۳ \times ۱۰^{-۶}$ | $۷۸ \times ۱۰^{-۵}$ |
| تقلیل منابع غیرآلی (سوخت‌های فسیلی)(CED) | MJ | ۲۴۶۲۱/۳۲ | ۲۱۲۷۱/۳۶ | ۸/۶۲ | ۷/۷۸ | ۳۳۳۱/۳۴ |
| گرم شدن جهانی (GWP 100a) | kg CO2 eq | ۱۸۱۴/۳۳ | ۱۵۹۹/۰۰ | ۰/۵۵ | ۰/۵۳ | ۲۱۴/۱۵ |
| تخریب لایه ازون (ODP) | kg CFC-11 eq | $۲۸ \times ۱۰^{-۵}$ | $۲۸ \times ۱۰^{-۵}$ | $۷۹ \times ۱۰^{-۹}$ | $۲۹ \times ۱۰^{-۹}$ | $۳۸ \times ۱۰^{-۶}$ |
| مسمومیت انسانی (HTP) | kg 1,4-DB eq | ۴۲۹/۳۷ | ۳۷۳/۰۶ | ۰/۰۷ | ۶/۴۵ | ۴۹/۷۳ |
| مسمومیت آب‌های شیرین (FEP) | kg 1,4-DB eq | ۱۴۸/۱۶ | ۱۲۰/۱۰ | ۰/۰۳ | ۱/۲۱ | ۲۶/۷۸ |
| مسمویت آب‌های آزاد (MEP) | kg 1,4-DB eq | ۴۱۵۶۸۱/۰۷ | ۳۴۷۰۲۰/۹۰ | ۱۰۳/۳۷ | ۱۳۴۰/۷۸ | ۶۷۱۴۰/۲۳ |
| مسمومیت خاک (TEP) | kg 1,4-DB eq | ۲/۴۳ | ۲/۱۷ | $۳۸ \times ۱۰^{-۵}$ | $۸ \times ۱۰^{-۳}$ | ۰/۲۵ |
| اکسیداسیون فتوشیمیایی (POFP) | kg C2H4 eq | ۰/۵۰۲ | ۰/۴۷ | $۱۲ \times ۱۰^{-۵}$ | $۱۷ \times ۱۰^{-۵}$ | ۰/۰۳۳ |
| اسیدی شدن (AC) | kg SO2 eq | ۱۲/۹۰ | ۱۲/۳۳ | $۲۴ \times ۱۰^{-۴}$ | $۳ \times ۱۰^{-۳}$ | ۰/۵۵ |
| اتروفیکاسیون (EP) | kg PO4--- eq | ۵/۹۴ | ۵/۸۰ | $۲۷ \times ۱۰^{-۵}$ | $۹۶ \times ۱۰^{-۵}$ | ۰/۱۳ |

**ارزیابی چرخه حیات**

گروه‌های اثرات زیست محیطی برای تولید رب گوجه فرنگی و سهم نسبی هر فرآیند در جدول (۸)، و شکل (۲) نشان داده شده است. با توجه به فرآیندهای تولید رب گوجه فرنگی، تخریب لایه ازون (ODP) و تقلیل منابع آلی (ADP) کمترین سهم و مسمومیت آب‌های آزاد (MEP) بیشترین سهم (kg 1,4-DB eq 07/415681) را در بین گروه‌های تأثیرگذار در طی فرآیند تولید یک قوطی رب یک کیلوگرمی داشتند. در تمامی گروه‌های تأثیرگذار بر محیط زیست، فرآیند کشت بیشترین تأثیر را داشت. تمامی فرآیندهای تولید یک کیلو رب گوجه‌فرنگی بیشترین تأثیر را بر مسمومیت آب‌های آزاد (MEP) و بعد از آن بر سوخت‌های فسیلی داشتند. در فرآیند کشت، الکتریسیته چاه آب بیشترین اثر را بر MEP داشت و بعد از آن کود نیتروژنه بیشترین تأثیر را ایجاد کرد (جدول ۹). آبشویی کودهای نیتروژنه می‌تواند مهمترین دلیل بر مسمومیت آب‌های آزاد باشد. بعد از مرحله کشت، حمل و نقل بیشترین سهم را در بین گروه‌های تأثیر گذار (به جز ODP و ADP) بر فرآیند تولید رب گوجه‌فرنگی داشت. حمل و نقل بیشترین تأثیر را بر گروه تأثیرگذار MEP داشت (جدول ۸).




**شکل ۲. اثرات زیست محیطی فرآیند تولید رب گوجه‌فرنگی در مزرعه (بالا) و از مزرعه تا توزیع محصول رب (پایین)**

تقلیل منابع آلی (ADP)، تقلیل منابع غیرآلی (سوخت‌های فسیلی)(CED)، گرم شدن جهانی (GWP 100a)، تخریب لایه ازون (ODP)، مسمومیت انسانی (HTP)، مسمومیت آب‌های شیرین (FEP)، مسمویت آب‌های آزاد (MEP)، مسمومیت خاک (TEP)، اکسیداسیون فتوشیمیایی (POFP)، اسیدی شدن (AC)، اتروفیکاسیون (EP)

**محور عمودی: در شکل بالا مقادیر بصورت درصد هر کدام از کل انتشارات زیست محیطی است و در شکل پایین میزان آلودگی‌ها جهت مقایسه بصورت مقادیر نرمال شده تعریف شده‌اند.**

مرحله فرآوری در کارخانه کمترین سهم را در بین گروه‌های تأثیر گذار (به جز MEP) داشت. بر اساس فرآیندها، مرحله کشت بیشترین سهم را در بین گروه‌های تأثیرگذار (به جز ODP و ADP) داشت (جدول ۸).

بر اساس شکل (۲) در فرآیند چرخه زندگی تولید رب گوجه‌فرنگی (شامل کشت، حمل و نقل، کارخانه و بسته‌بندی)، میزان اثرگذاری مرحله کشت در ایجاد شاخص‌های زیست محیطی ADP، AC و POFD بیش از ۹۰ درصد بود. همچنین کمترین اثرگذاری در تمامی شاخص‌های زیست محیطی مربوط به مرحله کارخانه و بعد از آن بسته‌بندی بود (شکل ۲). مصرف بالای کود نیتروژنه می‌تواند دلیلی بر تقلیل منابع آلی خاک (ADP) بوده باشد. مصرف بالا و غیراصولی کودهایی شیمیایی به خصوص کود نیتروژنه از سال‌ها پیش در ایران رواج داشته است (۱۸ و ۲۶).

نهاده‌های تاثیرگذار بر روی شاخص‌های زیست محیطی در شکل ۲ ارائه شده است. این شکل مربوط به تولید گوجه‌فرنگی در مزرعه است. همان‌طور که در شکل مشخص است، الکتریسیته چاه آب بزرگترین عامل در بیشتر شاخص‌های زیست محیطی

**جدول ۹. شاخص های تأثیر چرخه زندگی در تولید رب گوجه فرنگی (یک قوطی رب به وزن یک کیلوگرم)**

| گروه‌های اثرگذار | واحد | سوخت دیزل | کود نیتروژنه | کود فسفاته | کود پتاسه | سم | الکتریسیته چاه آب | حمل و نقل | نایلون بسته‌بندی | الکتریسیته | گاز طبیعی | کاغذ بسته‌بندی | قوطی رب |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تقلیل منابع آلی (ADP) | Kg Sb eq | $۱۹ \times ۱۰^{-۶}$ | $۱ \times ۱۰^{-۳}$ | $۳ \times ۱۰^{-۴}$ | $۱۱ \times ۱۰^{-۶}$ | $۱۶ \times ۱۰^{-۵}$ | $۱۲ \times ۱۰^{-۵}$ | $۷۸ \times ۱۰^{-۵}$ | $۵۳ \times ۱۰^{-۹}$ | $۲۱ \times ۱۰^{-۹}$ | $۱۳ \times ۱۰^{-۸}$ | $۱۳ \times ۱۰^{-۸}$ | $۱۳ \times ۱۰^{-۶}$ |
| تقلیل منابع غیرآلی (سوخت‌های فسیلی) (CED) | MJ | ۹۳۲/۳۱ | ۱۶۶۶/۹۶ | ۲۹۱/۲۰ | ۳۳/۶۲ | ۱۷/۵۸ | ۱۸۳۲۹/۶۸ | ۳۳۳۱/۳۴ | ۳/۲۱ | ۳/۰۸ | ۵/۵۴ | ۰/۲۴ | ۴/۳۲ |
| گرم شدن جهانی (GWP 100a) | kg CO2 eq | ۶۱/۴۱ | ۲۷۰/۷۲ | ۱۸/۵۹ | ۳/۸۲ | ۱/۰۸ | ۱۲۴۳/۳۶ | ۲۱۴/۱۵ | ۰/۱۱ | ۰/۲۱ | ۰/۳۴ | ۰/۰۱۹ | ۰/۳۹ |
| تخریب لایه اوزون (ODP) | kg CFC-11 eq | $۱۱ \times ۱۰^{-۶}$ | $۱۴ \times ۱۰^{-۶}$ | $۲ \times ۱۰^{-۶}$ | $۲ \times ۱۰^{-۷}$ | $۱۸ \times ۱۰^{-۷}$ | $۲۲ \times ۱۰^{-۵}$ | $۳۸ \times ۱۰^{-۶}$ | $۲۸ \times ۱۰^{-۱۰}$ | $۳۷ \times ۱۰^{-۹}$ | $۴۲ \times ۱۰^{-۹}$ | $۱۹ \times ۱۰^{-۱۰}$ | $۲۴ \times ۱۰^{-۹}$ |
| مسمومیت انسانی (HTP) | kg 1,4-DB eq | ۷/۷۶ | ۹۵/۹۵ | ۱۸/۶۴ | ۱/۷۶ | ۱/۷۴ | ۲۴۷/۱۸ | ۴۹/۷۳ | ۰/۰۱۷ | ۰/۰۴۱ | ۰/۰۳۱ | ۰/۰۰۸ | ۶/۴۳ |
| مسمومیت آب‌های شیرین (FEP) | kg 1,4-DB eq | ۲/۹۹ | ۵۸/۳۹ | ۱۲/۰۰ | ۳/۲۲ | ۰/۳۵ | ۴۳/۱۳ | ۲۶/۷۸ | ۰/۰۱۱ | ۰/۰۰۷ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۰۵ | ۱/۱۹ |
| مسمومیت آب‌های آزاد (MEP) | kg 1,4-DB eq | ۷۸۳۰/۲۳ | ۱۲۱۶۸۸/۲ | ۶۷۵۱۵/۸۵ | ۲۵۱۹/۵۷ | ۱۰۹۱/۱۸ | ۱۴۶۳۷۵/۹۱ | ۶۷۱۴۰/۲۳ | ۳۹/۰۲ | ۲۴/۶۰ | ۷۸/۷۷ | ۱۹/۵۰ | ۱۲۸۲/۲۵ |
| مسمومیت خاک (TEP) | kg 1,4-DB eq | ۰/۰۳۶ | ۰/۸۹ | ۰/۱۳۷ | ۰/۱۸ | $۲۷ \times ۱۰^{-۴}$ | ۰/۹۲ | ۰/۲۵ | $۶۴ \times ۱۰^{-۶}$ | $۱۵ \times ۱۰^{-۵}$ | $۲۲ \times ۱۰^{-۵}$ | $۱ \times ۱۰^{-۴}$ | $۸ \times ۱۰^{-۳}$ |
| اکسیداسیون فتوشیمیایی (POFP) | kg C2H4 eq | ۰/۰۱ | ۰/۰۳۷ | ۰/۰۱ | ۰/۰۰۴ | $۶ \times ۱۰^{-۴}$ | ۰/۴۰ | ۰/۰۳۳ | $۲۵ \times ۱۰^{-۶}$ | $۶۷ \times ۱۰^{-۶}$ | $۵۳ \times ۱۰^{-۶}$ | $۷۳ \times ۱۰^{-۷}$ | $۱۴ \times ۱۰^{-۵}$ |
| اسیدی شدن (AC) | kg SO2 eq | ۰/۴۶ | ۱/۱۴ | ۰/۲۳ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۱۱ | ۱۰/۴۶ | ۰/۵۵ | $۵۰ \times ۱۰^{-۵}$ | $۱۷ \times ۱۰^{-۴}$ | $۷ \times ۱۰^{-۴}$ | $۱۵ \times ۱۰^{-۵}$ | $۲ \times ۱۰^{-۳}$ |
| اتروفیکاسیون (EP) | kg PO4--- eq | ۰/۱۰۶ | ۳/۷۰ | ۰/۲۹ | ۰/۹۳ | ۰/۰۰۳ | ۰/۷۷ | ۰/۱۳ | $۱۴ \times ۱۰^{-۵}$ | $۱۲ \times ۱۰^{-۵}$ | $۱۴ \times ۱۰^{-۵}$ | $۶۹ \times ۱۰^{-۶}$ | $۷ \times ۱۰^{-۴}$ |

به‌خصوص AC، POFP، ODP، CED، GWP و HTP به ترتیب با اثرگذاری ۸۱/۱۴، ۸۰/۳۷، ۷۶/۳۰، ۷۴/۴۴، ۶۸/۵۰ و ۵۷/۵۷ درصد می‌باشد. با توجه به بالا بودن سهم الکتریسیته (چاه آب) بر بیشتر عوامل زیست محیطی، ضروری است که سیستم‌های آبیاری منطقه مورد بررسی قرار گیرد.

کود نیتروژنه بیشترین عامل را در شاخص‌های زیست محیطی EP و ADP به ترتیب با ۶۲/۳۲ و ۴۹/۲۹ درصد اثرگذاری را داشت (شکل ۲). سواد کم کشاورزان و عدم توجه به نظر کارشناسان کشاورزی، قیمت بالای کودهای دامی، عدم رعایت تناوب زراعی، عدم آزمایش خاک و درآمد پایین کشاورزان و نیازمند بودن آن‌ها به تولید محصول بیشتر باعث مصرف بالای کودهای شیمیایی به خصوص نیتروژن شده است که مصرف بی‌رویه و مدام این کودها باعث کاهش استفاده از کودهای آلی و تقلیل منابع آلی خواهد شد.

در مرحله فرآوری، گاز طبیعی بیشترین سهم (به جز AC، HTP و POFP) را در تمامی گروه‌های تأثیرگذار داشت. مرحله حمل و نقل بیشترین اثرگذاری را بر MEP با ۹۴/۸۸ درصد داشت. انتشار مستقیم از سوخت ناشی از دیزل باعث آلودگی آب‌های آزاد شده و بیشترین اثر زیست محیطی را بر آن داشته است.

در پژوهشی مشابه در ارزیابی مصرف انرژی و انتشار دی اکسید کربن در همه مراحل تولید رب گوجه فرنگی، مشاهده شد که برای تولید یک تن رب گوجه‌فرنگی ۴۷۴۹ مگاژول بر تن انرژی مصرف شده و انتشار دی اکسیدکربن حاصل از یک کیلوگرم رب معادل ۱/۵ کیلوگرم بود. همچنین انرژی مصرفی برای بسته‌بندی رب گوجه‌فرنگی ۹۶/۲۰ مگاژول بر تن رب بدست آمد (۱۰). همچنین نتایج ارزیابی چرخه زندگی محصول رب گوجه‌فرنگی در استان البرز، نشان داد برای تولید یک کیلوگرم رب گوجه‌فرنگی ۳/۰۲ کیلوگرم دی اکسید کربن تولید شده، که در آن به ترتیب الکتریسیته و کود شیمیایی بیشترین سهم را در آلایندگی در مرحله کشت به خود اختصاص دادند. بر اساس پیشنهاد این مطالعه، یکپارچه‌سازی مزارع و استفاده از آبیاری قطره‌ای نقطه عطفی در کاهش اثر کربن است (۲۰).

## نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که تخریب لایه ازون و تقلیل منابع آلی کمترین سهم و مسمومیت آب‌های آزاد بیشترین سهم را در بین گروه‌های تأثیرگذار در طی فرآیند تولید یک قوطی رب یک کیلوگرمی داشتند. در فرآیند کشت نیز، الکتریسیته چاه آب و کود نیتروژنی بیشترین اثر را بر مسمویت آب‌های آزاد نشان دادند. با توجه به نتایج سهم نسبی اثرگذاری هر یک از مراحل تولید رب گوجه فرنگی، در فرایند کشت، الکتریسیته و کود نیتروژنی در بیشتر شاخص‌های زیست محیطی بیشترین اثرگذاری را داشت. با اینحال در مرحله فرآوری، گاز طبیعی نقش پر رنگ‌تری در گروه‌های تأثیرگذار داشت. با توجه به نتایج کلی مرحله کشت پتانسیل کافی برای کاهش اثرات زیست محیطی در طول دوره تولید رب گوجه‌فرنگی را دارد که این می‌تواند از طریق بهبود سیستم‌های آبیاری برای کاهش برق به‌عنوان مرکز اصلی مصرف انرژی در مرحله کشت تحقق یابد.

## تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای جاوید صفری، دانشجوی کارشناسی ارشد آگرواکولوژی پردیس کشاورزی و منابع دانشگاه رازی است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از همه عزیزانی که به نوعی در اجرای این پایان نامه یاری رسانده اند، اعلام کنند.

## منابع مورد استفاده

1. Boulard, T., C. Raeppel, R. Brun, F. Lecompte, F. Hayer, G. Carmassi, and G. Gaillard. 2011. Environmental impact of greenhouse tomato production in France. *Agronomy for Sustainable Development* 31:757-777.

2. Dechmi, F., E. Playán, J. Faci, and M. Tejero. 2003. Analysis of an irrigation district in northeastern Spain: I. Characterisation and water use assessment. *Agricultural Water Management* 61:75-92.
3. Erdal, G., K. Esengün, H. Erdal, and O. Gündüz. 2007. Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy* 32:35-41.
4. FAO. 2020. The Food and Agriculture Organization Statistics.Available online at https://www.fao.org/statistics/en Accessed 23 March 2020.
5. Finkbeiner, M. 2014. The international standards as the constitution of life cycle assessment: the ISO 14040 series and its offspring, p. 85-106, Background and future prospects in life cycle assessment. Springer.
6. GEMIS. 2006. Global emission model for integrated systems. Version 4.3. Öko-/Institut Freiburg i.Br. Available online at http://www.iinas.org/gemis-de.html. Accessed …
7. Gholamrezaee, H., K. Kheiralipour, and S. Rafiee. 2021. Investigation of energy and environmental indicators in sugar production from sugar beet. *Journal of Environmental Sciences Studies*, 6(2): 3540-3548. (In Persian)
8. IPCC. 2014. Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Available online at https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr./ Accessed ….
9. Jalilian, M.M., K. Kheiralipour, and E. Mirzaee Ghaleh. 2020. Comparison of environmental indicators in Sangak and Lavash bread production in Eslamabad-e-Gharb, Kermanshah. *Journal of environmental science studies*, 5(4): 3198-3203. (In Persian)
10. Karakaya, A., and M. Özilgen. 2011. Energy utilization and carbon dioxide emission in the fresh, paste, whole-peeled, diced, and juiced tomato production processes. *Energy* 36:5101-5110.
11. Kheiralipour, K. and N. Sheikhi. 2021. Material and energy flow in different bread baking types. *Environment, Development and Sustainability*, 23:10512-10527.
12. Khoshnevisan, B., S. Rafiee, M. Omid, H. Mousazadeh, and S. Clark. 2014. Environmental impact assessment of tomato and cucumber cultivation in greenhouses using life cycle assessment and adaptive neuro-fuzzy inference system. *Journal of Cleaner Production* 73:183-192.
13. Kitani, O., T. Jungbluth, R.M. Peart, and A. Ramdani. 1999. CIGR handbook of agricultural engineering. *Energy and Biomass Engineering*, 5: 330.
14. Korsström, E., and M. Lampi. 2001. Best Available Techniques (BAT) for the Nordic Dairy Industry, Nordic Council of Ministers, Copenhagen, Denmark.
15. Maham, S.G., A. Rahimi, S. Subramanian, and D.L. Smith. 2020. The environmental impacts of organic greenhouse tomato production based on the nitrogen-fixing plant (Azolla). *Journal of Cleaner Production* 245:118679.
16. Manfredi, M., and G. Vignali. 2014. Life cycle assessment of a packaged tomato puree: a comparison of environmental impacts produced by different life cycle phases. *Journal of Cleaner Production* 73:275-284.
17. Mishra, P. K., A. Tripathi, H. Tripathi, and S. C. Moses. 2017. Energy inputs in production of lentil crop under different types of farming systems. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6:971-977.
18. Omid, M., F. Ghojabeige, M. Delshad, and H. Ahmadi. 2011. Energy use pattern and benchmarking of selected greenhouses in Iran using data envelopment analysis. *Energy Conversion and Management* 52:153-162.
19. Ozkan, B., A. Kurklu, and H. Akcaoz. 2004. An input–output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey. *Biomass and Bioenergy* 26:89-95.
20. Pishgar-Komleh, S. H., A. Akram, and A. Keyhani. 2017. Life cycle assessment of paste production (case study: Alborz Province). *Iranian Journal of Biosystems Engineering* 47:688-677. (In Persian)
21. Pydynkoweski, K., A. Herchek, and D. Drennan. 2008. A life cycle analysis for tomatoes in NH. Report prepared for ENGS 171:18str. Available online at http://engineering.dartmouth.edu/d30345d/courses/engs171/tomatoes.pdf. Accessed 3.jul.2014.
22. Raei Jadidi, M., M. Homayounifar, M. Sabouhi Sabuni, and V. Kheradmand. 2011. Determination of energy use efficiency and productivity in tomato production. *Journal Of Agricultural Economics and Development* 24: 363-370. (In Persian)
23. Rahmati, M. H., P. Pashaee, F. Pashaee, A. Rezaei Asl, and A. M. Razdari. 2012. Determination of energy consumption to produce tomato in the greenhouses of Kermanshah province. *Journal of Plant Production* 19:17-33. (In Persian)
24. Ramedani, Z., S. Rafiee, and M. Heidari. 2011. An investigation on energy consumption and sensitivity analysis of soybean production farms. *Energy* 36: 6340-6344.
25. Sefeedpari, P., M. Ghahderijani, and S. Pishgar-Komleh. 2013. Assessment the effect of wheat farm sizes on energy consumption and $CO_2$ emission. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 5(2):023131.
26. Shahvarooghi Farahani, S., F. Soheilifard, M. Ghasemi Nejad Raini, and D. Kokei. 2019. Comparison of different tomato puree production phases from an environmental point of view. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 24:1817-1827.
27. Singh, A. S., and M. B. Masuku. 2014. Sampling techniques and determination of sample size in applied statistics

research: An overview. *International Journal of Economics, Commerce and Management* 2:1-22.
28. Singh, H., D. Mishra, and N. Nahar. 2002. Energy use pattern in production agriculture of a typical village in arid zone, India—part I. *Energy Conversion and Management* 43: 2275-2286.
29. Taseska, V., N. Markovska, and J. M. Callaway. 2012. Evaluation of climate change impacts on energy demand. *Energy* 48:88-95.
30. Trade Promotion Organization of Iran. 2021. Non-oil export. Available online at https://en.tpo.ir/Non%E2%80%93oil-Export. Accessed ….
31. Zangeneh, M., M. Omid, and A. Akram. 2010. A comparative study on energy use and cost analysis of potato production under different farming technologies in Hamadan province of Iran. *Energy* 35: 2927-2933.

# Evaluation of Energy Indices and Environmental Impacts of Tomato Agroecosystems and Tomato Paste in Kermanshah Region, using a Life Cycle Approach

**J. Safari[1], M. Khoramivafa[2*], Z. Ramedani[1] and M. Yousefi[1]**

(Received: January 17-2023; Accepted: May 17-2023)

## Abstract

In the current study, the environmental impacts of tomato paste production were investigated based on the total life cycle of tomato including cultivation, processing, packaging and transportation, using the Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden Impact Assessment, (CML-IA) method in Kermanshah regions. The required information was obtained through interviews, questionnaires and, Ecoinvent, LCA Food DK and IDMAT databases. Results showed that among the influential groups, during the production process of one kg of canned tomato paste, the ozone layer depletion and the reduction of organic resources were least effected and the open waters ecotoxicity received the highest impact. In the cultivation process, electricity consumption had the greatest impact on open waters ecotoxicity followed by the nitrogen fertilizer. The factory processing phase had the lowest impact among the influential groups (except open waters ecotoxicity). The energy efficiency was calculated as 0.63 kg/MJ. The net energy gain and the total energy consumption in the tomato farm were -42700 and 44.86 MJ/ha, respectively. The consumption of electricity and chemical fertilizers were the highest amount of input energies with 75.43 and 16.94% respectively. According to the results, the cultivation phase has the adequate potential to reduce the environmental impacts during the tomato paste production through the improvement of irrigation systems to reduce electricity consumption.

**Keywords:** Electricity, Energy indicators, Environmental effects, Tomato paste, Tomato cultivation

1. Department of Production Engineering and Plant Genetics, Agriculture and Natural Resources Campus, Imam Khomeini Freeway.
2. Assoc. Prof. Razi University, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Agriculture and Natural Resources Campus, Imam Khomeini Freeway.

*: Corresponding Author, Email: khoramivafa@razi.ac.ir