

## ارزیابی جریان انرژی و اثرات زیست‌محیطی تولید گلخانه‌های گیاهان دارویی با رویکرد ارزیابی چرخه زندگی مطالعه موردی گیاه آلوئه‌ورا

مجید خانعلی<sup>۱\*</sup>، هما حسین‌زاده بندبافها<sup>۲</sup>

۱. استادیار، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع

طبیعی، دانشگاه تهران

۲. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و

منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۲ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۴/۲۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۴/۲۸)

### چکیده

در این مطالعه تولید برگ آلوئه‌ورا گلخانه‌ای در استان خراسان رضوی از نظر الگوی مصرف انرژی و تبعات زیست‌محیطی ناشی از مصرف نهاده‌های کشاورزی مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت. بر اساس نتایج، کل انرژی مصرفی در تولید برگ آلوئه‌ورا برابر ۱۰۲۸۲۵/۱۹ مگاژول بر تن تعیین شد. نتایج تحلیل انرژی نشان داد تأمین گرمایش و سازه گلخانه بیش از ۹۰ درصد انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده‌اند. براساس نتایج ارزیابی چرخه زندگی، مقدار کل آلاینده‌های زیست‌محیطی برای تولید گلخانه‌ای یک تن برگ آلوئه‌ورا برابر با  $2331/26$  (pPt ton<sup>-1</sup>) تعیین شد که سهم فرآیندهای تولید نهاده در خارج از گلخانه و مصرف نهاده در داخل گلخانه به ترتیب  $1744/63$  (pPt ton<sup>-1</sup>) و  $586/63$  (pPt ton<sup>-1</sup>) محاسبه شد. نتایج نشان داد گروه‌های اثر مسمومیت انسان‌ها و مسمومیت آب‌های آزاد به ترتیب با شاخص آلاینده‌گی  $608/538$  (pPt ton<sup>-1</sup>) و  $795/57$  (pPt ton<sup>-1</sup>)، بیشترین سهم را بر میزان آسیب زیست‌محیطی کل داشته‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** آلوئه‌ورا، ارزیابی چرخه زندگی، انرژی، گلخانه، گیاهان دارویی.

### مقدمه

به دلیل افزایش جمعیت جهان و بالا رفتن سطح استانداردهای زندگی، نیاز بشر به مواد غذایی مختلف و غیراستراتژیک بیشتر شده است. از این رو تمایل کشورها در رسیدن به خودکفایی در زمینه تولیدات این گونه مواد غذایی و حضور در بازارهای جهانی به سرعت در حال گسترش است. به دلیل اختصاص درصد عمده‌ای از زمین‌های زراعی به کشت محصولات استراتژیک در کشورهای مختلف، استفاده از کشت‌های فشرده مانند کشت‌های گلخانه‌ای بیش از سایر روش‌ها در پیشبرد خودکفایی در کشت محصولات غیر استراتژیک مؤثر واقع شده است. هدف اولیه کشت گلخانه‌ای افزایش عملکرد محصولات کشاورزی در واحد سطح است که این افزایش عملکرد می‌تواند به‌واسطه افزایش در مصرف نهاده‌ها حاصل گردد (Khoshnevisan et al., 2013a).

سیستم تولیدات گلخانه‌ای در دنیا به دلیل وابستگی بیشتر به کودها و سموم شیمیایی و بذور اصلاح شده، تغییرات قابل ملاحظه‌ای در الگوی مصرف انرژی در بخش کشاورزی ایجاد کرده و موجب وابستگی بیشتر به منابع انرژی سوخت‌های

فسیلی شده است. به دلیل محدودیت منابع انرژی فسیلی، بحث ناپایداری انرژی‌های فسیلی مطرح می‌گردد و در نتیجه چالش مهمی درباره پایداری تولید محصولات گلخانه‌ای به‌وجود می‌آید. زیرا تولید محصولات زمانی به‌صورت مستمر ادامه خواهد داشت که تولید محصول در گلخانه به‌شکل پایدار انجام شود. در این شرایط کشاورزی پایدار معنا و مفهوم پیدا می‌کند و از آن‌جا که کشاورزی پایدار به‌مفهوم تولید محصول کافی با حفاظت کامل از منابع و محیط زیست است (Reganold et al., 2001)، توجه به منابع طبیعی محدود و اثرات نامطلوب استفاده نامناسب از منابع مختلف انرژی روی سلامتی انسان و محیط زیست، در مرحله اول ضرورت بررسی الگوهای مصرف انرژی به‌منظور استفاده مؤثر از آن را در بخش کشاورزی حیاتی ساخته است (Mousavi-Avval et al., 2011). با توجه به این مطلب مهم، مطالعه و ارزیابی جریان انرژی در تولیدات گلخانه‌ای جهت ارائه الگوی مصرف انرژی و ارائه روش‌هایی جهت نیل به پایداری در تولیدات گلخانه‌ای در نقاط مختلف جهان صورت گرفته است. به‌عنوان مثال می‌توان به مطالعه و بررسی جریان انرژی در کشت سبزی‌های گلخانه‌ای در ترکیه (Canakci & Akinci, 2006)، انگور گلخانه‌ای در ترکیه (Ozkan et al., 2007) و خیار گلخانه‌ای در ایران (Khoshnevisan et al., 2013a) اشاره کرد.

\* نویسنده مسئول: khanali@ut.ac.ir

از سوی دیگر مصرف سموم و کودهای شیمیایی در تولید محصولات گلخانه‌ای گرچه سبب افزایش عملکرد و ارتقاء کیفیت محصولات شده ولی آثار مخربی را به همراه داشته است که نمی‌توان آن‌ها را نادیده گرفت. آلوده کردن محیط زیست به خصوص آب‌های زیرزمینی، تجمع مواد آلاینده نظیر نیترات در اندام‌های مصرفی محصولات کشاورزی و در نتیجه به خطر افتادن سلامت و بهداشت انسان و دام، نمونه‌هایی از اثرات مضر مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی هستند (Kim, 2001). از آنجایی که کشاورزی و تولید پایدار در ارتباط تنگاتنگ با محیط زیست قرار دارد (Reganold *et al.*, 2001) الزام است که در تولید محصولات گلخانه‌ای همانند دیگر تولیدات کشاورزی، ابعاد زیست‌محیطی تولید مورد توجه قرار گیرد.

اطلاعات توسعه‌یافته در زمینه اهمیت حفاظت محیط زیست و پیامدهای زیست‌محیطی احتمالی مرتبط با تولید محصول، علاقه به توسعه روش‌های درک بهتر و شناسایی این پیامدها را افزایش داده است. در سال‌های اخیر ارزیابی چرخه زندگی به ابزار مناسبی جهت بررسی و تعیین میزان تأثیرات زیست‌محیطی در تولیدات کشاورزی و غذایی تبدیل شده است، به طوری که در بسیاری از کشورها از آن به عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری‌های کلان در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی استفاده می‌شود. به طور کلی می‌توان گفت، ارزیابی چرخه زندگی روشی است برای تعیین تمام تأثیرات محیطی مرتبط با یک محصول، فرآیند یا خدمات و تمام آلاینده‌های منتشر شده و مواد زائد رها شده به طبیعت (Rebitzer *et al.*, 2004). محققان متعددی بر این باورند که ارزیابی چرخه زندگی یکی از مناسب‌ترین رویکردها برای ارزیابی پایداری فعالیت‌های کشاورزی است (Brentrup *et al.*, 2004; Cellura *et al.*, 2012). از این رو در خصوص ارزیابی زیست‌محیطی تولیدات گلخانه‌ای، مطالعات مختلفی بر این اساس صورت گرفته که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره شده است. در مطالعه‌ای در اسپانیا بار زیست‌محیطی گلخانه‌های تولید گوجه‌فرنگی با در نظر گرفتن ساختار گلخانه، تجهیزات آبیاری، کودها، آفت‌کش‌ها و آبیاری به عنوان زیرسیستم تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان داد که اثرات زیست‌محیطی در هر کیلوگرم گوجه‌فرنگی تولیدی در مزرعه بیشتر از هر کیلوگرم گوجه‌فرنگی تولید شده در گلخانه با توجه به عواملی از قبیل استفاده از آب، کود و آفت‌کش بوده است (Muñoz *et al.*, 2007). در ایتالیا چرخه زندگی چند محصول گلخانه‌ای از جمله فلفل، هندوانه و گوجه‌فرنگی مورد ارزیابی زیست‌محیطی قرار گرفت. مرزهای این مطالعه استخراج مواد اولیه، تولید نهاده‌ها، تولید محصول، حمل و نقل و بسته‌بندی

محصول را در برمی‌گرفت. ارزیابی نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد نوع بسته‌بندی و سازه گلخانه‌ها عمده‌ترین دلایل انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی بودند. همچنین نتایج نشان داد، گلخانه‌هایی که از سیستم‌های گرمایشی استفاده نمی‌کردند، از لحاظ زیست‌محیطی دارای تأثیرات بهتری بودند (Cellura *et al.*, 2012). در مطالعه‌ای دیگر اثرات زیست‌محیطی گلخانه‌های خیار و گوجه‌فرنگی در استان اصفهان مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد در تولید گلخانه‌ای خیار و گوجه‌فرنگی، بیشترین آسیب زیست‌محیطی در شاخص‌های مختلف زیست‌محیطی ناشی از مصرف گاز طبیعی، الکتریسته و پوشش پلاستیکی بوده است. همچنین گزارش شد که اثرات زیست‌محیطی در تولید گلخانه‌ای گوجه‌فرنگی کمتر از اثرات زیست‌محیطی تولید خیار گلخانه‌ای می‌باشد (Khoshnevisan *et al.*, 2014a). همچنین ارزیابی چرخه زندگی تولید توت‌فرنگی در دو سیستم کشت باز و گلخانه‌ای در استان گیلان مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد برای هر تن توت‌فرنگی، سیستم کشت گلخانه‌ای توت‌فرنگی از لحاظ زیست‌محیطی زیان‌بارتر بوده و آلاینده‌های بیشتری را در شاخص‌های مختلف آلاینده‌ها به جز گروه اثر اسیدی‌شدن و اختناق دریاچه‌ای نسبت به سیستم کشت باز محصول داشته است. همچنین نتایج نشان داد در تولید توت‌فرنگی گلخانه‌ای، الکتریسته، گاز طبیعی و کودهای نیتراژ در هر دو مرحله تولید و کاربرد بیشترین بار آسیب‌های زیست‌محیطی را به خود اختصاص داده‌اند (Khoshnevisan *et al.*, 2013b).

در سال ۲۰۰۶ تحقیقی در رابطه با جریان انرژی و ارزیابی زیست‌محیطی کشت قهوه سبز در برزیل صورت گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد مصرف کودهای شیمیایی در مرحله کشت قهوه سبز، بیشترین اثرات مخرب زیست‌محیطی را در پی داشته است (Coltro *et al.*, 2006). در تحقیقی اثرات زیست‌محیطی مصرف آب در گروه‌های مختلف محصولات گیاهی از جمله گیاه دارویی دارچین مورد مطالعه قرار گرفت. براساس نتایج، تولید دارچین نسبت به اکثر محصولات مورد مطالعه، اثر مخرب‌تری بر منابع آبی داشته است (Pfister *et al.*, 2011). در تحقیقی در آمریکا، کشت و فرآوری گیاه دارویی شاهدانه از لحاظ مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد به‌ازای هر کیلوگرم محصول فرآوری‌شده آماده مصرف، ۴۲۰۰ کیلوگرم دی‌اکسید کربن معادل به جو منتشر شده است (Mills, 2012). تولید گیاه دارویی کنجد نیز از لحاظ اثرات زیست‌محیطی و مصرف انرژی در نیجریه مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس نتایج، مصرف

این گیاه به سرما، تولید آلوتهورا در این منطقه به صورت گلخانه‌ای انجام می‌شود و به سبب احداث صنایع تبدیلی آلوتهورا در این استان، کشت گلخانه‌ای این محصول در این منطقه روبه گسترش است. براساس اعلام رسمی در حدود ۴۴۷۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی کشور به کشت گیاهان دارویی اختصاص دارد که سطح زیر کشت گیاهان دارویی در استان خراسان رضوی برابر ۱۴۱۱۶ است. سهم کشت آلوتهورا در کشور در حدود ۴۰۰ هکتار گزارش شده است که سهم کمی به کشت گلخانه‌ای اختصاص دارد. به دلیل نوبا بودن گلخانه‌های گیاهان دارویی، در زمان جمع‌آوری اطلاعات این مطالعه تنها ۲۷ واحد گلخانه فعال در این زمینه شناسایی شدند هر چند تعداد بیشتری گلخانه در حال احداث بوده ولیکن هنوز به باردهی نرسیده بودند (Anon, 2016). ولی با توجه به گسترش این نوع کشت گلخانه‌ای ضروری است که الگوی مصرف انرژی آن‌ها سریع‌تر شناسایی شود تا علاوه بر مصرف بهینه انرژی منجر به سودآوری بیشتر گردد. بنابراین اطلاعات مورد نیاز برای این مطالعه از ۲۷ واحد گلخانه پرورش گیاه آلوتهورا در شهرستان‌های مختلف استان خراسان رضوی با استفاده از پرسش‌نامه و مصاحبه حضوری جمع‌آوری و مورد بررسی قرار گرفت. اطلاعات استخراج شده شامل سطح زیرکشت، میزان عملکرد محصول، نوع و میزان مواد اولیه احداث سازه گلخانه، نوع سیستم‌های آبیاری و آبرسانی، نوع سیستم‌های گرمایشی، میزان نهاده‌های مصرفی از قبیل کودهای شیمیایی و ارگانیک، سوخت، الکتریسیته، ماشین‌های کشاورزی، پاجوش آلوتهورا جهت کشت و همچنین میزان نیروی کارگری مورد استفاده در مراحل مختلف آماده‌سازی زمین، کاشت، داشت و برداشت محصول بود.

#### مطالعه جریان انرژی

تجزیه و تحلیل انرژی در کشاورزی نقش قابل توجهی در توسعه دیدگاه انسان نسبت به بوم نظام‌های زراعی داشته و موجب ارتقاء کیفی تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌ها در مدیریت و توسعه بخش کشاورزی می‌شود (Rathke & Diepenbrock, 2006). دیگر مزایای تحلیل انرژی، تعیین انرژی مصرف شده در هر مرحله از فرآیند تولید برای فراهم‌آوردن مبنایی جهت محافظت از منابع و همچنین مساعدت در زمینه مدیریت پایدار و سیاست گذاری‌های مربوطه است (Chaudhary et al., 2006). تحلیل سیستم از منظر انرژی ضرورت حیاتی برای منابع کمیاب به منظور بهبود روش‌های تولید محصولات کشاورزی بوده و از این طریق فعالیت‌های تولیدی کارآمد و اقتصادی مشخص می‌شوند (Sheikh-Davoodi et al., 2013). در این مطالعه برای مطالعه

بهینه انرژی در تولید کنجد منجر به تولید ۲۱/۸۷ کیلوگرم دی‌اکسید کربن معادل به‌ازای هر هکتار کنجد تولیدی شده است (Sadiq et al., 2016).

هر چند تحقیقات مختلفی در رابطه با ارزیابی جریان انرژی و همچنین اثرات زیست‌محیطی محصولات گلخانه‌ای اعم از صیفی و سبزی انجام شده است، اما تاکنون مطالعه‌ای در رابطه با ارزیابی جریان انرژی و ارزیابی چرخه زندگی تولید گیاهان دارویی در گلخانه که به‌سرعت در حال گسترش هستند، صورت نگرفته است. از بین گیاهان دارویی، آلوتهورا از دیرباز تاکنون دارای کاربردهای فراوان دارویی بوده است (Cheesbrough, 2006) و در سال‌های اخیر به‌طور گسترده‌ای در مراقبت‌های پوستی و مصارف بهداشتی و آرایشی کاربرد داشته است (Cragg & Newman, 2001). نیاز ناچیز به آبیاری، کود، آفت‌کش‌ها، تجهیزات و ماشین‌های گران‌قیمت، هزینه کشت این محصول را به‌طور قابل توجهی کاهش داده است و کشت آلوتهورا را به یک کسب و کار ارزان با درآمدزایی بالا تبدیل کرده است. این گیاه به لحاظ تحمل دماهای بالا بسیار مقاوم است اما نسبت به دماهای پایین حساس است، به‌گونه‌ای که با کاهش میانگین کمینه دمای هوا، فعالیت و رشد گیاه کند شده و با نزدیک شدن میانگین کمینه دمای هوا به صفر درجه سلسیوس، علائم مرگ در گیاه پدیدار می‌شود (Simal et al., 2000). بنابراین کشت گلخانه‌ای آن به دلیل کنترل دما و سایر شرایط محیطی، رو به گسترش است. از این‌رو به دلیل مصرف انرژی برای کنترل و بهبود شرایط محیطی در تولید این محصول، انرژی بیشتری مصرف می‌شود که مطالعه جریان انرژی و شناسایی عواملی که منجر به افزایش مصرف انرژی می‌شوند را ضروری ساخته است. از سوی دیگر مصرف بیشتر انرژی به‌خصوص سوخت‌های فسیلی و ساختار گلخانه منجر به افزایش قابل تأملی در انتشار آلاینده‌ها در کشت گلخانه‌ای آلوتهورا نسبت به کشت مزرعه‌ای خواهد شد. از این رو با توجه به گسترش استفاده از گیاهان دارویی و افزایش سطح زیر کشت آن‌ها، هدف از این مطالعه تحلیل جریان انرژی و ارزیابی زیست‌محیطی تولید گلخانه‌ای گیاه دارویی آلوتهورا برای شناسایی منابع مهم در مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌های تولید این محصول در استان خراسان رضوی می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

##### جمع‌آوری داده‌ها

استان خراسان رضوی نقش عمده‌ای در تولید گیاهان دارویی از جمله آلوتهورا دارد. به دلیل وجود زمستان‌های سرد و حساسیت

دلایل احتمالی مصرف بالای انرژی در فرآیند و یا سیستم خاصی به راحتی کشف شده و به محقق در رفع اشکالات و مصرف صحیح انرژی یاری می‌رساند، مهم‌ترین این شاخص‌ها به قرار زیر هستند (Mousavi-Avval *et al.*, 2011): نسبت انرژی یا بازده انرژی که از تقسیم انرژی خروجی (تولیدی) حاصل از محصول اصلی و یا محصول اصلی و فرعی بر انرژی ورودی (مصرفی) بدست می‌آید. بهره‌وری انرژی شاخصی است که بیان‌گر کیفیت فرآیند تولید می‌باشد. بهره‌وری انرژی نشان می‌دهد در مقابل یک مگاژول انرژی چند کیلوگرم محصول تولید شده است. شاخص انرژی مخصوص نشان می‌دهد که برای تولید یک کیلوگرم/تن محصول چه مقدار انرژی مصرف شده است. در نهایت افزوده خالص انرژی تفاوت میزان انرژی ورودی و خروجی را نشان می‌دهد.

#### ارزیابی چرخه زندگی

در حال حاضر، مسائل زیست‌محیطی به یکی از مهم‌ترین مسائل مطرح در سطح جهانی و ملی در بسیاری از کشورها می‌باشد. داشتن اطلاعات کافی از وضعیت محیط زیست کشورها و بررسی روند تغییرات محیط زیستی یکی از موضوعات مورد توجه مجامع جهانی طی سال‌های اخیر بوده است. این موضوع در شناخت و درک صحیح از وضعیت موجود برای تعیین تغییرات لازم در نحوه مدیریت و ارائه برنامه‌های مدیریتی نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند (ISO, 2006). از میان روش‌های مختلف برای مطالعه زیست‌محیطی فرآیندها و تولید محصولات و خدمات، استفاده از روش ارزیابی چرخه زندگی است که براساس استاندارد بین‌المللی ایزو ۱۴۰۴۰ (ISO, 2006)، مجموعه‌ای از روش‌های سیستماتیک برای گردآوری و ارزیابی مواد، انرژی ورودی و خروجی و اثرات محیط زیستی همراه یک سیستم تولید محصول در طول چرخه زندگی آن می‌باشد. بنابراین، ارزیابی چرخه زندگی ابزاری برای تجزیه و تحلیل اثرات محیط زیستی محصولات در همه مراحل چرخه زندگی آن‌ها از استخراج منابع تا تولید مواد، تولید قطعات و تولید نهایی محصول و استفاده از محصول تا مدیریت پس از دورانداختن آن شامل بازیافت، استفاده مجدد و دفع نهایی (به عبارت دیگر از گهواره تا گور) می‌باشد. فرآیند ارزیابی چرخه زندگی می‌تواند به تصمیم‌گیران در انتخاب محصول یا فرآیند با کمترین اثرات محیط زیستی کمک کند. همچنین ارزیابی چرخه زندگی به جلوگیری از انتقال مشکلات محیط زیستی از مرحله‌ای به مرحله دیگر کمک می‌کند (SAIC, 2006). روش ارزیابی چرخه زندگی مورد استفاده در این مطالعه به دنبال مراحل مشخص

جریان انرژی، از میزان انرژی معادل هر یک از نهاده‌ها و ستانده‌ها که با استفاده از ضرایب انرژی متناظر با آن‌ها برآورد شده، استفاده شده است. محتوای انرژی نهاده‌ها و ستانده در گلخانه‌های پرورش آلون‌ورا در جدول شماره ۱ ارائه شده است. به منظور محاسبه محتوای انرژی آلون‌ورا، ترکیبات و محتوای انرژی آن‌ها در نظر گرفته شد. بخش عمده‌ای از آلون‌ورا از آب و با نسبت ۹۸ درصدوزنی تشکیل شده است (Ahlawat & Khatkar, 2011). بدون احتساب آب درون آلون‌ورا و براساس وزن خشک محصول، آلون‌ورا از کربوهیدرات مانند پلی‌ساکارید و شکر (۷۲ درصد)، مواد معدنی مانند خاکستر (۱۶ درصد)، پروتئین (۷ درصد) و چربی (۵ درصد) تشکیل شده است (Ahlawat & Khatkar, 2011; Scala *et al.*, 2013). محتوای انرژی کربوهیدرات، مواد معدنی، پروتئین و چربی به ترتیب برابر ۱۷، ۱۰، ۱۶ و ۳۸ مگاژول بر کیلوگرم در نظر گرفته شد (Perry, 1984). بنابراین محتوای انرژی آلون‌ورا با در نظر گرفتن دو درصد وزنی ماده جامد (بدون احتساب آب موجود در محصول) و درصد وزنی و محتوای انرژی ترکیبات مختلف برابر ۰/۳۳ مگاژول بر کیلوگرم محاسبه شد.

جدول ۱. محتوای انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها در تولید گلخانه‌ای آلون‌ورا

عنوان	واحد	محتوای انرژی (MJ/Unit)	مرجع
نهاده‌ها			
نیروی کارگری ماشین‌ها و ادوات	h kg	۱/۹۶	(Ozkan <i>et al.</i> , 2004)
تراکتور	kg	۹-۱۰	(Kitani, 1999)
سایر ماشین‌ها	kg	۶-۸	(Kitani, 1999)
سوخت دیزل کود	L kg	۴۷/۸	(Kitani, 1999)
نیترژن	kg	۷۸/۱	(Kitani, 1999)
فسفر	kg	۱۷/۴	(Kitani, 1999)
پتاسیم	kg	۱۳/۷	(Kitani, 1999)
کود حیوانی	kg	۰/۳	(Ozkan <i>et al.</i> , 2004)
الکتریسیته	kWh	۱۱/۹۳	(Ozkan <i>et al.</i> , 2004)
فولاد	kg	۶۲/۷	(Chauhan <i>et al.</i> , 2006)
پلاستیک	kg	۷۹	(Martin-Gorriz <i>et al.</i> , 2014)
پلی‌اتیلن	kg	۴۶/۳	(Kittle, 1993)
کارتن بسته‌بندی	kg	۱۷/۲۸	(Kitani, 1999)
ستانده			
برگ آلون‌ورا	kg	۰/۳۳	محاسبه شده

برای تولید و مصرف انرژی در تولید محصولات کشاورزی، شاخص‌هایی منظور شده که به کمک این شاخص‌ها می‌توان تولید و مصرف انرژی در قسمت‌های گوناگون یک سیستم را با یکدیگر مقایسه نمود. علاوه بر آن امکان مقایسه چند سیستم تولیدی با یکدیگر نیز میسر خواهد شد. با کمک این شاخص‌ها،

واحد فرآیندهایی که در مطالعه وارد شده‌اند، سازگار باشد و جزئیات واحد-فرآیندها نیز باید مورد مطالعه قرار گیرند. در این سیستم مرزهای مطالعه از آماده‌سازی زمین و ساخت سازه گلخانه شروع و به برداشت و بسته‌بندی آلوئه‌ورا ختم شده است.

### تحلیل سیاهه

در این مرحله، میزان مصرف نهاده‌ها تعیین و بر حسب واحد کارکردی محاسبه می‌شود. کیفیت داده‌های جمع‌آوری شده به منظور تحلیل سیاهه در اجرای موفق ارزیابی چرخه زندگی همواره یک عامل بحرانی محسوب می‌شود. دستیابی به داده‌های معتبر عامل مهمی در پیشرفت و استفاده از ارزیابی چرخه زندگی در مدیریت محیط زیست است (Curran et al., 2005). نتیجه اصلی این مرحله، ارائه جدولی از فهرست ورودی‌ها (مواد و انرژی) و خروجی‌ها (انتشار به محیط زیست) به‌ازای واحد کارکردی می‌باشد که به عنوان ورودی برای مرحله ارزیابی اثر محسوب می‌شود (Guinée et al., 2002). برای محاسبه میزان انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی غیرمستقیم (خارج از گلخانه) ناشی از مصرف نهاده‌ها (مواد اولیه سازه گلخانه، کودهای شیمیایی و دامی، سوخت دیزل و الکتریسیته تولیدی از نیروگاه‌های گاز طبیعی (Kouchaki-Penchah et al., 2016) از داده‌های موجود در پایگاه داده اکواینونت استفاده شد. از سوی دیگر برای محاسبه میزان انتشار آلاینده‌ها ناشی از مصرف نهاده‌ها، از روابط استاندارد ارائه شده توسط هیئت بین دولتی تغییرات آب و هوا استفاده شده است که در ادامه این روابط ذکر شده‌اند (IPCC, 2006; Mousavi-Avval et al., 2017a).

شده توسط استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰ استوار می‌باشد. بر اساس این استاندارد، هر پروژه ارزیابی چرخه زندگی دارای چهار مرحله الزامی است: تعریف هدف و دامنه، تحلیل سیاهه، ارزیابی اثرات چرخه زندگی و تفسیر نتایج. در ادامه مراحل ذکر شده به تفصیل بیان شده است.

### تعریف هدف و دامنه

اولین گام در روش ارزیابی چرخه زندگی، بیان هدف و مشخص کردن واحد کارکردی و تعیین مرز سیستم است. در این مطالعه، هدف بررسی اثرات زیست‌محیطی گروه‌های تأثیر (شاخص‌ها) مختلف در بخش پرورش گلخانه‌ای آلوئه‌ورا است. دامنه ارزیابی یک چرخه زندگی باید به‌وضوح کارکرد (ویژگی‌های عملکرد) سیستم مورد مطالعه را مشخص کند. واحد کارکردی باید با هدف و دامنه مطالعه سازگار باشد (ISO, 2006). در واقع واحد کارکردی یک توصیف کمی از سیستم خدمات یا محصول فرآیند مورد بررسی می‌باشد (Rebitzer et al., 2004).

سه واحد کارکردی متفاوت برای ارزیابی محصولات کشاورزی بر اساس واحد سطح، واحد پول و واحد جرم ماده تولیدی پیشنهاد شده است (Nemecek et al., 2011). در این تحقیق واحد کارکردی یک تن برگ آلوئه‌ورا تولیدی در گلخانه‌های استان خراسان رضوی در نظر گرفته شد. مرز سیستم، فرآیندهایی را که باید در ارزیابی چرخه زندگی قرار گیرند، تعیین می‌کند (ISO, 2006). انتخاب مرز سیستم باید با هدف مطالعه سازگار باشد. معیارهای مورد استفاده در برقراری مرز سیستم باید شناسایی و تشریح شود. تصمیم‌گیری باید با

$\left[ \frac{kg \text{ Phosphorus emission}}{kg \text{ Phosphorus in fertilizer and manure applied}} \right]$	۰,۰۵ (ضریب انتشار به آب)	ناشی از مصرف کود	(رابطه ۶)
$\left[ \frac{kg N_2O - N}{kg N \text{ in chemical fertilizer applied}} \right]$	۰,۱۸ × ۰,۰۱ (ضریب انتشار به هوا)	ناشی از تجزیه اتمسفری کودها	(رابطه ۷)
$\left[ \frac{kg N_2O - N}{kg N \text{ in manure applied}} \right]$	۰,۲ × ۰,۰۱ (ضریب انتشار به هوا)	ناشی از تجزیه اتمسفری کودها	(رابطه ۸)
$\left[ \frac{kg NO_x}{kg N_2O \text{ From fertilisers and soil}} \right]$	۰,۲۱ (ضریب انتشار به هوا)	NO <sub>x</sub> مستقیم از کود و خاک	(رابطه ۹)
$\left[ \frac{kg CO_{2eq}}{man - h \text{ Labor}} \right]$	۰,۷ (ضریب انتشار به هوا)	ناشی از نیروی کارگری	(رابطه ۱۰)

$\left[ \frac{kg N_2O - N}{kg N \text{ in fertilizer and manure applied}} \right]$	۰,۰۱ (ضریب انتشار به هوا)	ناشی از مصرف کود	(رابطه ۱)
$\left[ \frac{kg CO_2 - C}{kg Urea} \right]$	۰,۲ (ضریب انتشار به هوا)	ناشی از مصرف کود	(رابطه ۲)
$\left[ \frac{kg NH_3 - N}{kg N \text{ in manure applied}} \right]$	۰,۲ (ضریب انتشار به هوا)	ناشی از مصرف کود	(رابطه ۳)
$\left[ \frac{kg NH_3 - N}{kg N \text{ in fertilizer applied}} \right]$	۰,۱ (ضریب انتشار به هوا)	ناشی از مصرف کود	(رابطه ۴)
$\left[ \frac{kg NO_3^- - N}{kg N \text{ in fertilizer and manure applied}} \right]$	۰,۰۳ (ضریب انتشار به آب)	ناشی از مصرف کود	(رابطه ۵)

انتشار ناشی از تنفس نیروی انسانی نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه شده است (Nguyen & Hermansen, 2012):

همچنین ضرایبی برای تبدیل آلاینده‌ها محاسبه شده توسط روابط بالا به مقدار کاربردی آن‌ها در جدول شماره ۲ ارائه شده است. در جدول شماره ۳ نیز تحلیل سیاهه برای انتشار مواد مختلف برای هر مگاژول سوخت دیزل ذکر شده است.

جدول ۲. ضرایب تبدیل آلاینده‌ها به مقدار کاربردی (IPCC, 2006; Mousavi-Avval et al., 2017a)

$\left(\frac{44}{12}\right)$	تبدیل kg CO <sub>2</sub> -C به kg CO <sub>2</sub>
$\left(\frac{44}{28}\right)$	تبدیل kg N <sub>2</sub> O-N به kg N <sub>2</sub> O
$\left(\frac{17}{14}\right)$	تبدیل kg NH <sub>3</sub> -N به kg NH <sub>3</sub>
$\left(\frac{62}{14}\right)$	تبدیل kg NO <sub>3</sub> -N به kg NO <sub>3</sub>
$\left(\frac{62}{142}\right)$	تبدیل kg phosphorus به kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>

جدول ۳. تحلیل سیاهه مواد مختلف در احتراق ناشی از سوخت دیزل (Nemecek et al., 2007).

مقدار (g MJ <sup>-1</sup> ) diesel	ماده	مقدار (g MJ <sup>-1</sup> ) diesel	ماده
$2/39 \times 10^{-5}$	روی	۷۴/۵	دی‌اکسید کربن
$7/16 \times 10^{-7}$	بنزو	$2/41 \times 10^{-2}$	دی‌اکسید سولفور
$4/77 \times 10^{-4}$	آمونیم	$3/08 \times 10^{-3}$	متان
$2/39 \times 10^{-7}$	سلنیم	$1/74 \times 10^{-4}$	بنزن
	هیدروکربن‌های		
$7/85 \times 10^{-5}$	چند حلقه	$2/39 \times 10^{-7}$	کادمیم
$6/8 \times 10^{-2}$	هیدروکربن‌ها	$1/19 \times 10^{-6}$	کروم
	اکسیدهای		
۱/۰۶	نیترژن	$4/06 \times 10^{-5}$	مس
			دی‌نیترژن
$1/5 \times 10^{-1}$	منوکسید کربن	$2/86 \times 10^{-3}$	منوکسید
	ذرات معلق		
	(کوچکتر از ۲/۵ میکرومتر)		
$1/07 \times 10^{-1}$	میکرومتر)	$1/67 \times 10^{-6}$	نیکل

### ارزیابی اثرات چرخه زندگی

ارزیابی اثرات چرخه زندگی، مرحله‌ای است که در آن مجموعه نتایج مرحله قبل (جدول سیاهه) بر اساس اثرات محیط زیستی تفسیر می‌شود. در پایان این مرحله، فهرستی از گروه‌های اثر تعریف شده و برای مداخلات محیط زیستی مرتبط به شاخص‌های مناسب گروه‌های اثر، مدل‌سازی می‌شوند. این مرحله دارای چندین زیر بخش به شرح زیر می‌باشد (Guinée et al., 2002):

طبقه‌بندی یا گروه‌بندی: در این گام، مداخلات محیط زیستی توصیفی و کمی در تجزیه و تحلیل سیاهه بر اساس کمیت خالص به گروه‌های اثر از پیش انتخاب شده اختصاص می‌یابد (Guinée et al., 2002). در گروه‌بندی اثرات، مداخلات

محیط زیستی به طبقه اثرات پیشنهادی اختصاص می‌یابد. در این مطالعه روش ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی بر اساس مدل CML2 baseline انجام شد. این مدل در تحقیقات گسترده‌ای در زمینه تولیدات کشاورزی استفاده شده است. بر این اساس، ۱۱ گروه اثر شامل تقلیل منابع غیرآلی، تقلیل منابع فسیلی، اسیدی‌شدن، اختناق دریاچه‌ای، گرمایش جهانی، نقصان لایه ازن، مسمومیت انسان‌ها، مسمومیت آب‌های سطحی، مسمومیت آب‌های آزاد، مسمومیت خاک و اکسیداسیون فتوشیمیایی در گلخانه تولید آلوئه‌ورا مورد بررسی قرار گرفت. به دلیل گستردگی بحث و عدم امکان ارائه کامل آن، برای دریافت اطلاعات بیشتر در رابطه با تعاریف و ویژگی‌های گروه‌های اثر، به منابع معتبر مراجعه شود (Guinée et al., 2002). به در گام تعیین ویژگی ارزیابی اثرات، مداخلات محیط زیستی تخصیص داده شده به یک گروه اثر مشخص در بخش گروه‌بندی بر اساس واحد متعارف برای همان طبقه کمی می‌شوند و مجموع به صورت یک نمره (نتیجه شاخص) ارائه می‌شود. نتیجه برای هر گروه اثر مشخص به یک نتیجه شاخص اشاره داشته و مجموعه کامل نتایج شاخص‌ها به‌عنوان پروفایل محیط زیستی مطرح می‌شود (Guinée et al., 2002).

نرمال‌سازی: این مرحله در ارزیابی چرخه زندگی اختیاری است، از آن‌جا که پس از انجام مرحله گروه‌بندی نمی‌توان به اهمیت مقادیر بدست آمده پی‌برد، لذا در این مرحله سهم اثرات زیست محیطی سیستم مورد مطالعه در کل اثرات زیست محیطی یک منطقه تعیین می‌شود. به عبارت دیگر در این بخش اهمیت یا بزرگی شاخص‌های محاسبه شده با توجه به اطلاعات مرجع محاسبه می‌شود (ISO, 2006).

وزن‌دهی: این مرحله نیز در ارزیابی چرخه زندگی اختیاری می‌باشد. در این بخش به هر اثر زیست‌محیطی بر اساس کارایی که برای آسیب‌زدن به محیط زیست دارند یک وزن داده می‌شود و هر گروه اثر که دارای کارایی آسیب‌زدن بیشتری باشد، مقدار وزن بیشتری به آن اختصاص می‌یابد. وزن‌دهی امکان مقایسه و درک بهتر نتایج را فراهم می‌سازد (ISO, 2006).

به منظور انجام محاسبات ارزیابی چرخه زندگی از نرم‌افزار سیمپرو استفاده شد. یکی از نقاط ضعف مدل CML2 baseline عدم ارائه نتایج به‌صورت نرمال‌شده و وزن‌دارشده می‌باشد. بنابراین برای مدل CML2 baseline در نرم‌افزار سیمپرو ضرایب نرمال‌سازی و وزن‌دهی اختصاص داده شد و نتایج به‌صورت نرمال‌شده و وزن‌دارشده نیز ارائه گردید.

## نتایج و بحث

### تحلیل جریان انرژی

در جدول شماره ۴ میزان انرژی معادل هر یک از نهاده‌ها و همچنین ستانده خروجی به تفکیک ذکر شده است. بر اساس نتایج، کل انرژی ورودی برای تولید هر تن برگ آلوئه‌ورا در گلخانه برابر ۱۰۲۸۲۵/۱۹ مگاژول برآورد شده است. سوخت دیزل مصرفی بیش از ۸۴ درصد این میزان مصرف انرژی را به خود اختصاص داده است. این میزان سوخت مصرفی بیشتر صرف گرمایش گلخانه شده است. همچنین در تحقیقی دیگر در رابطه با تجزیه و تحلیل انرژی در گلخانه‌های تولید خیار در استان اصفهان، سوخت دیزل با ۵۴/۱۷ درصد از کل انرژی مصرفی بیشترین سهم را به خود اختصاص داده بود (Heidari et al., 2012). در گلخانه‌های خیار (Khoshnevisan et al., 2013a) و توت‌فرنگی (Khoshnevisan et al., 2014b) مصرفی (گازطبیعی) بیشترین سهم را در میزان مصرف انرژی داشت. این نتیجه نشان می‌دهد در گلخانه‌های ایران عمده مصرف انرژی مربوط به گرمایش گلخانه است. در جایگاه بعدی فولاد و پلاستیک مصرفی در سازه گلخانه با انرژی مصرفی معادل ۱۱۰۵۹/۱۲ و ۳۹۹۶/۹۱ مگاژول بر تن قرار دارند که بیانگر این موضوع است که سازه گلخانه از لحاظ انرژی مصرفی سهم عمده‌ای را به خود اختصاص داده است. از آن‌جا که آلوئه‌ورا گیاهی دارویی است در کشت آن از کود و سموم شیمیایی استفاده نمی‌شود (در صورتی که زمین بسیار فقیر باشد قبل از احداث سازه و هنگام آماده‌سازی زمین مقدار کمی کود شیمیایی به زمین اضافه می‌شود)، بنابراین بر خلاف سایر محصولات گلخانه‌ای (Canakci & Akinci, 2006; Heidari et al., 2012; 2013a; 2014b) این نهاده‌ها نقش چندانی در مصرف انرژی در این گلخانه‌ها ندارند. در نتیجه عمده مصرف انرژی مربوط به سوخت مصرفی گلخانه خواهد شد که نتایج این تحقیق (سهم ۸۴ درصدی سوخت مصرفی از کل انرژی مصرفی) گویای این مطلب است. در این مطالعه، کمترین مصرف انرژی مربوط به نهاده تراکتور و ماشین‌های کشاورزی بود. باید توجه داشت که استفاده از ماشین فقط به منظور آماده‌سازی زمین گلخانه استفاده می‌شود. براساس نتایج مندرج در جدول شماره ۴، مصرف انرژی ناشی از نهاده‌های مانند سوخت دیزل، الکتریسته و پلاستیک، دارای مقادیر بالایی از انحراف معیار می‌باشند. دلیل این انحراف معیار

بالا تنوع در مصرف این نهاده‌ها در گلخانه‌های مختلف است. به این ترتیب که در برخی از گلخانه‌ها از الکتریسته برای راه‌اندازی پمپ آبیاری استفاده نشده و تنها برای تأمین روشنایی به‌کار رفته است و سوخت دیزل جایگزین آن شده است. همچنین در برخی از گلخانه‌ها از هیترهای الکتریکی به جای هیترهای دیزلی استفاده شده است. از سوی دیگر تنها برخی از گلخانه‌ها از پلاستیک به‌عنوان مالچ استفاده کرده‌اند و به دلیل تفاوت در میزان و نوع پلاستیک مصرفی و تک لایه بودن یا دو لایه بودن روکش، انحراف معیار مقدار بالایی را در مصرف این نهاده نشان داده است.

نتایج شاخص‌های انرژی برای گلخانه‌های آلوئه‌ورا در جدول شماره ۵ ارائه شده است. نسبت انرژی به عنوان شاخصی برای بررسی کارایی انرژی در تولید محصول برابر ۰/۰۳ محاسبه شد. به عبارت دیگر، به‌ازای مصرف یک مگاژول انرژی ورودی، ۰/۰۳ مگاژول انرژی تولید شده است. شاخص نسبت انرژی در تولید گلخانه‌ای سبزیجات در ترکیه از قبیل خیار، گوجه فرنگی، فلفل و بادمجان به ترتیب برابر ۰/۳۱، ۰/۳۲، ۰/۱۹ و ۰/۲۳ محاسبه شد (Canakci & Akinci, 2006). این شاخص در ایران برای تولید گلخانه‌ای خیار برابر ۰/۱۲ (Khoshnevisan et al., 2013a) و در تولید گلخانه‌ای توت‌فرنگی نیز برابر ۰/۱۲ (Khoshnevisan et al., 2014b) محاسبه شد. پایین بودن این نسبت در گلخانه‌های تولید آلوئه‌ورا در درجه اول به عملکرد بسیار کم‌تر آلوئه‌ورا نسبت به سایر محصولات ذکر شده است که بر این اساس، مصرف انرژی برای هر تن/کیلوگرم محصول تولیدی بیشتر شده است (علاوه بر عملکرد بالاتر سایر محصولات، امکان کشت چندباره آن‌ها در سال وجود دارد که این امر نیز عملکرد گلخانه را چندین برابر می‌کند در حالی که آلوئه‌ورا این ویژگی را ندارد). دلیل دیگر نیز پایین بودن محتوی انرژی این محصول نسبت به سایر محصولات ذکر شده است. از آن‌جایی که بخش عمده انرژی ورودی به گلخانه آلوئه‌ورا ناشی از مصرف سوخت است، با کاهش مصرف در این نهاده می‌توان به شدت این نسبت را افزایش داد.

بهره‌وری انرژی برابر ۰/۰۱ کیلوگرم بر مگاژول محاسبه شد. در گلخانه‌های توت‌فرنگی اصفهان، این شاخص ۰/۰۶ کیلوگرم بر ژول محاسبه شد (Khoshnevisan et al., 2014b). نتایج نشان می‌دهد به نسبت سایر محصولات گلخانه‌ای، در گلخانه آلوئه‌ورا به‌ازای تولید هر کیلوگرم محصول، انرژی

بیشتری مصرف می‌شود، دلیل اصلی را می‌توان به عملکرد کمتر آلئوئورا نسبت به سایر محصولات گلخانه‌ای نسبت داد.

جدول ۴. محتوای انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها در تولید گلخانه‌ای برگ آلئوئورا

عنوان	میانگین انرژی (MJ ton <sup>-1</sup> )	ماکزیمم انرژی (MJ ton <sup>-1</sup> )	مینیمم انرژی (MJ ton <sup>-1</sup> )	انحراف معیار	سهم هر یک از نهاده‌ها در انرژی مصرفی (%)
نهاده‌ها					
نیروی کارگری	۴۹/۶۹	۵۰/۶۴	۴۲/۷۳	۱/۹۰	۰/۰۴۸
ماشین‌ها و ادوات	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۲	۰	۰
سوخت دیزل کود	۸۶۲۵۵/۶۴	۱۱۱۱۸۲/۴۱	۳۹۸۶۵/۵۲	۱۳۷۸۳/۹۳	۸۳/۸۸۶
نیتروژن	۸/۴۲	۲۰/۲۸	۰	۹/۶۳	۰/۰۰۸
فسفر	۱/۶۸	۳/۳۳	۰	۱/۶۵	۰/۰۰۲
پتاسیم	۰/۶۳	۳/۴۵	۰	۱/۲۳	۰/۰۰۱
کود حیوانی	۹۰/۳۶	۱۰۸/۹۱	۶۵/۸۶	۱۸/۳۳	۰/۰۸۸
الکتریسیته	۷۹۱/۵۹	۹۷۰/۰۸	۱۵۰/۶۱	۳۰۱/۶۷	۰/۷۷
فولاد	۱۱۰۵۹/۱۲	۱۱۶۲۱/۸۶	۱۱۰۰۳/۰۱	۱۱۳/۸۰	۱۰/۷۵۵
پلاستیک	۳۹۹۶/۹۱	۴۷۲۷/۷۵	۳۴۵۶/۲۵	۵۲۰/۹۸	۳/۸۸۷
پلی اتیلن	۱۲۷/۴۱	۱۸۹/۶۰	۶۶/۶۵	۲۸/۴۲	۰/۱۲۴
کارتن بسته‌بندی	۴۴۳/۵۰	۶۰۱/۱۷	۳۴۷/۱۵	۲۰/۰۹	۰/۴۳۱
مجموع انرژی ورودی ستانده	۱۰۲۸۲۵/۱۹	۱۳۰۱۱۹/۷۳	۵۴۹۹۵/۹۸	-	۱۰۰
برگ آلئوئورا					

۳۳۰

است (Williams *et al.*, 2006). در گلخانه‌های کشور سوئد این میزان برابر ۳۳۰۰ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن معادل برای هر تن گوجه‌فرنگی بوده است (Carlsson-Kanyama, 1998). در شکل شماره ۱ منابع ایجاد گرمایش جهانی و سایر شاخص‌های زیست‌محیطی به تفکیک نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در حدود ۸۰ درصد گرمایش جهانی ناشی از انتشار مستقیم داخل گلخانه می‌باشد. این انتشار ناشی از سوختن سوخت دیزل و همچنین ناشی از مصرف کودهای شیمیایی و کودهای دامی است. در رابطه با انتشار ناشی از تولید نهاده‌های مصرفی نیز سوخت دیزل و پلاستیک سهم بیشتری در گرمایش جهانی در تولید آلئوئورا گلخانه‌ای داشته‌اند. همچنین انتشار مستقیم بیشترین اثر را در شاخص‌های اسیدی-شدن و اختناق دریاچه‌ای داشته‌اند. در شاخص‌های تخلیه منابع غیرآلی، نقصان لایه ازن، مسمومیت آب‌های سطحی و مسمومیت آب‌های آزاد عمده دلیل انتشار مربوط به سوخت دیزل بوده است. با توجه به عوارض نامطلوب شاخص‌های ذکر شده باید تا حد امکان از سوخت دیزل به میزان بهینه استفاده کرد (عدم استفاده از تجهیزات گرمایشی مستهلک) و یا نوع سوخت مصرفی گلخانه‌ها را با سوخت پاک‌تری (تجدیدپذیر) عوض کرد

جدول ۵. شاخص‌های انرژی در گلخانه تولید الوئه ورا در استان خراسان رضوی

عنوان	واحد	مقدار
نسبت انرژی	-	۰/۰۰۳
بهره‌وری انرژی	kg MJ <sup>-1</sup>	۰/۰۱
شدت انرژی	MJ kg <sup>-1</sup>	۱۰۲/۸۲
افزوده خالص انرژی	MJ ton <sup>-1</sup>	-۱۰۲۴۹۵/۱۹

### تحلیل شاخص‌های زیست‌محیطی تولید گلخانه‌ای

#### برگ آلئوئورا

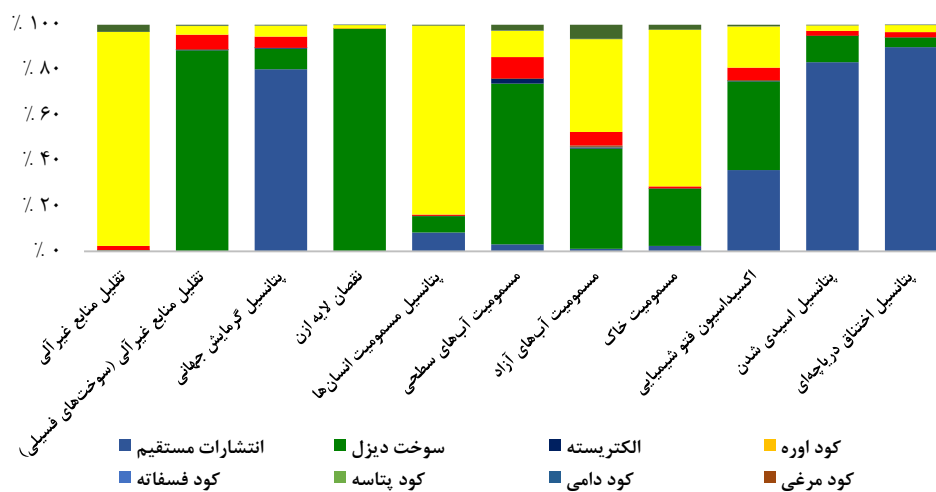
به منظور ارزیابی زیست‌محیطی تولید آلئوئورا گلخانه‌ای، چرخه زندگی این محصول از مرحله استخراج مواد اولیه تا بسته‌بندی محصول مورد مطالعه قرار گرفت. محاسبات بر اساس یک تن برگ آلئوئورا تولیدی در گلخانه انجام شد. شاخص‌های زیست-محیطی محاسبه شده برای تولید آلئوئورا گلخانه‌ای در جدول شماره ۶ ارائه شده است. براساس نتایج، گرمایش جهانی ۸۱۶۰/۲۳۹ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن معادل گزارش شده است که ۸۰/۴۴ درصد آن ناشی از فعالیت‌های داخل گلخانه (انتشار مستقیم) است. در دیگر تحقیقات برای تولید هر تن گوجه‌فرنگی، ۹۴۰۰ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن معادل آزاد شده



تا از اثرات نامطلوب استفاده از سوخت دیزل کاسته شود. همچنین بیشترین عامل در ایجاد شاخص‌های تقلیل منابع آلی، مسمومیت انسان‌ها و مسمومیت خاک مربوط به تولید فولاد مصرفی برای احداث سازه گلخانه بوده است. هر چند استحکام سازه برای گلخانه‌داران بسیار مهم و اساسی است اما می‌توان گلخانه‌ها را به نحوی طراحی کرد که میزان فولاد کمتری در آن استفاده شود و یا از موادی استفاده شود که علاوه بر تأمین استحکام گلخانه، آلاینده‌های کمتری داشته باشند.

جدول ۶. شاخص‌های زیست‌محیطی تولید گلخانه‌ای یک تن برگ آلوئه‌ورا

گروه اثر	واحد	کل	خارج از گلخانه	داخل گلخانه
تقلیل منابع غیرآلی	kg Sb <sub>eq</sub>	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰
تقلیل منابع غیرآلی (سوخت‌های فسیلی)	MJ	۹۴۹۵۰/۲۶	۹۴۹۵۰/۲۶	۰
گرمایش جهانی	kg CO <sub>2</sub> eq	۸۱۶۰/۳۳۹	۱۵۹۵/۵۱۶	۶۵۶۴/۷۲۳
نقصان لایه ازن	kg CFC-11 eq	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰
مسمومیت انسان‌ها	kg 1,4-DB eq	۲۰۵۰/۴۲۵	۱۸۷۹/۳۹۳	۱۷۱/۰۴۲
مسمومیت آب‌های سطحی	kg 1,4-DB eq	۲۹/۲۶۷	۲۸/۳۴۰	۰/۹۲۷
مسمومیت آب‌های آزاد	kg 1,4-DB eq	۳۵۷۳۷۵/۰۰۲	۳۳۳۱۰۷/۳۷۱	۴۲۶۷/۶۳۱
مسمومیت خاک	kg 1,4-DB eq	۲/۸۶۲	۲/۷۹۳	۰/۰۶۹
اکسیداسیون فتوشیمیایی	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	۱/۲۶۴	۰/۸۱۰	۰/۴۵۴
اسیدی شدن	kg SO <sub>2</sub> eq	۷۱/۵۰۲	۱۱/۷۶۱	۵۹/۷۴۱
اختناق دریاچه‌ای	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq	۱۶/۳۶۲	۱/۶۰۱	۱۴/۷۶۱



شکل ۱. سهم نهاده‌های مختلف در شاخص‌های زیست‌محیطی تولید گلخانه‌ای یک تن برگ آلوئه‌ورا با روش CML2 baseline

### برگ آلوئه‌ورا با روش CML2 baseline

یکدیگر جمع کرد و شاخص کلی برآورد کرد لازم است ضرایب وزنی برای این شاخص‌ها وجود داشته باشد. در مدل CML2 baseline برای تبدیل مقادیر واقعی اثرات زیست‌محیطی به مقادیر وزن‌دار شده شاخص‌ها، از ضرایب وزنی ارائه شده در جدول شماره ۷ استفاده شد. از حاصل ضرب این ضرایب در مقدار مصرف نهاده‌ها برای تولید هر تن محصول، میزان انتشار آلاینده‌های وزن‌دار شده با واحد pPt به دست می‌آید (Mousavi- Avval et al., 2017b). با توجه به یکسان بودن واحد مربوط به هر گروه اثر می‌توان مقادیر را برای گروه‌های اثر مختلف جمع

نرمال‌سازی و وزندهی شاخص‌های اثرات زیست‌محیطی در مدل CML2 baseline برای تبدیل مقادیر واقعی اثرات زیست‌محیطی به مقادیر نرمال‌شده مربوط به شاخص‌های زیست‌محیطی از ضرایب خاصی استفاده می‌شود که این ضرایب از نرم‌افزار سیمپرو استخراج شده و در جدول شماره ۷ ارائه شده است. با ضرب این ضرایب در مقدار هر شاخص، مقدار نرمال شده هر شاخص محاسبه شده است. از سوی دیگر برای اینکه بتوان شاخص‌های زیست‌محیطی را با واحدهای مربوطه با

مسمومیت آب‌های آزاد و مسمومیت خاک؛ ضرایب نرمال‌سازی و وزن‌دهی برای سایر شاخص‌ها برابر می‌باشند. دلیل این امر این است که در وزن‌دهی، این سه شاخص در مجموع با هم در نظر گرفته شده‌اند. هدف از نرمال‌سازی امکان مقایسه شاخص‌های مختلف با هم و وزن‌دهی برای ارائه مقدار کل آسیب زیست‌محیطی ایجاد شده در اثر کشت محصول می‌باشد (Mousavi-Avval *et al.*, 2017b).

کرد و مقدار انتشار آلاینده‌ها را به صورت یک مقدار عددی و شاخصی نهایی بیان نمود. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود ضرایب وزن‌دهی و ضرایب نرمال‌سازی برای کلیه شاخص‌های زیست‌محیطی غیر از شاخص‌های مسمومیت آب‌های سطحی، مسمومیت آب‌های آزاد و مسمومیت خاک یکسان است. به عبارت دیگر می‌توان گفت برای تبدیل مقادیر نرمال‌شده به مقادیر وزن‌دارشده از ضریب یک استفاده شده است به جز در مورد شاخص‌های مسمومیت آب‌های سطحی،

جدول ۷. ضرایب نرمال‌سازی و وزن‌دهی و مقادیر نرمال شده و وزن‌دار شده برای تولید هر تن آلوده‌ورای گلخانه‌ای

شاخص وزن‌دار شده (داخل گلخانه) (pPt ton <sup>-1</sup> )	شاخص وزن‌دار شده (کل) (pPt ton <sup>-1</sup> )	ضرایب وزن‌دهی (pPt)	شاخص نرمال شده (داخل گلخانه) ( $\times 10^{-12}$ )	شاخص نرمال‌شده (کل) ( $\times 10^{-12}$ )	ضرایب نرمال سازی ( $\times 10^{-12}$ )	گروه اثر
۰	۳۵/۴۴	۴۷۸۰	۰	۳۵/۴۴	۴۷۸۰	تقلیل منابع غیرآلی
۰	۲۴۹/۷	۰/۰۰۳	۰	۲۴۹/۷	۰/۰۰۳	تقلیل منابع غیرآلی (سوخت‌های فسیلی)
۱۵۶/۹۰	۱۹۵/۰۳	۰/۰۲	۱۵۶/۹۰	۱۹۵/۰۳	۰/۰۲	گرمایش جهانی
۰	۴/۶۰۸	۴۴۱۰	۰	۴/۶۰۸	۴۴۱۰	نقصان لایه ازن
۶۶/۳۶	۷۹۵/۵۷	۰/۳۹	۶۶/۳۶	۷۹۵/۵۷	۰/۳۹	مسمومیت انسان‌ها
۰/۱۳	۴/۰۸۵	۰/۱۴۱	۰/۳۹	۱۲/۴	۰/۴۲	مسمومیت آب‌های سطحی
۷/۲۷	۶۰۸/۵۳۸	۰/۰۰۲	۲۲	۱۸۴۰	۰/۰۱	مسمومیت آب‌های آزاد
۰/۰۲	۰/۸۶۴	۰/۳۰۵	۰/۰۶	۲/۶۲	۰/۹۲	مسمومیت خاک
۱۲/۳۵	۳۴/۳۹۸	۲۷/۲۰	۱۲/۳۵	۳۴/۳۹۸	۲۷/۲۰	اکسیداسیون فتوشیمیایی
۲۵۰/۳۱	۲۹۹/۵۹۴	۴/۱۹	۲۵۰/۳۱	۲۹۹/۵۹۴	۴/۱۹	اسیدی‌شدن
۹۳/۲۹	۱۰۳/۴۱	۶/۳۲	۹۳/۲۹	۱۰۳/۴۱	۶/۳۲	اختناق دریاچه‌ای
۵۸۶/۶۳	۲۳۳۱/۲۶	-	-	-	-	کل

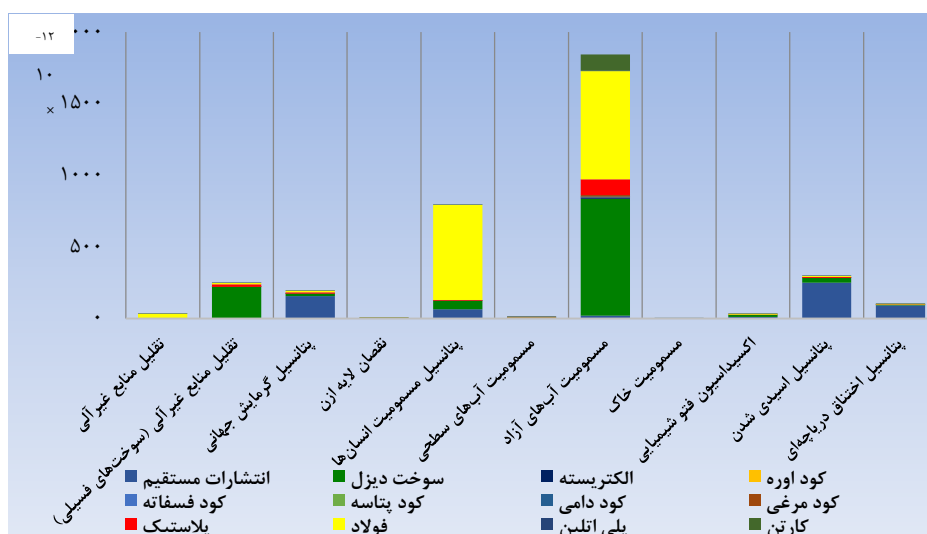
محیطی برای تولید گلخانه‌ای یک تن برگ آلوده‌ورا برابر با (pPt)  $1744/63$  (ton<sup>-1</sup>) است که از این مقدار، (pPt)  $1744/63$  مربوط به فرآیندهای تولید نهاده‌ها در خارج از گلخانه و (pPt)  $586/63$  (ton<sup>-1</sup>) مربوط به مرحله مصرف نهاده‌ها در داخل گلخانه می‌باشد. براساس نتایج شکل شماره ۳، گروه اثر مسمومیت انسان‌ها بیشترین میزان آلاینده‌گی را به خود اختصاص داده است که تولید فولاد عامل اصلی آن بوده است. در نهایت می‌توان گفت در تولید آلوده‌ورا گلخانه‌ای، گرمایش گلخانه (انتشار مستقیم و غیرمستقیم) و سازه گلخانه به عنوان نقاط داغ زیست‌محیطی محسوب می‌شوند. همان‌طور که ذکر شد پیشنهاد می‌شود برای کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی در تولید این محصول، مصرف سوخت و فولاد بهینه شود و یا از نهاده‌های جایگزین با آلاینده‌گی کمتر استفاده شود.

این شاخص برای تولید هر تن کلزا در شمال ایران (pPt)  $857/32$  (ton<sup>-1</sup>) محاسبه شده است که (pPt)  $857/32$  مربوط به فرآیندهای تولید نهاده‌ها در خارج از مزرعه و (pPt)  $341/48$  (ton<sup>-1</sup>) مربوط به مرحله مصرف نهاده‌ها در داخل مزرعه

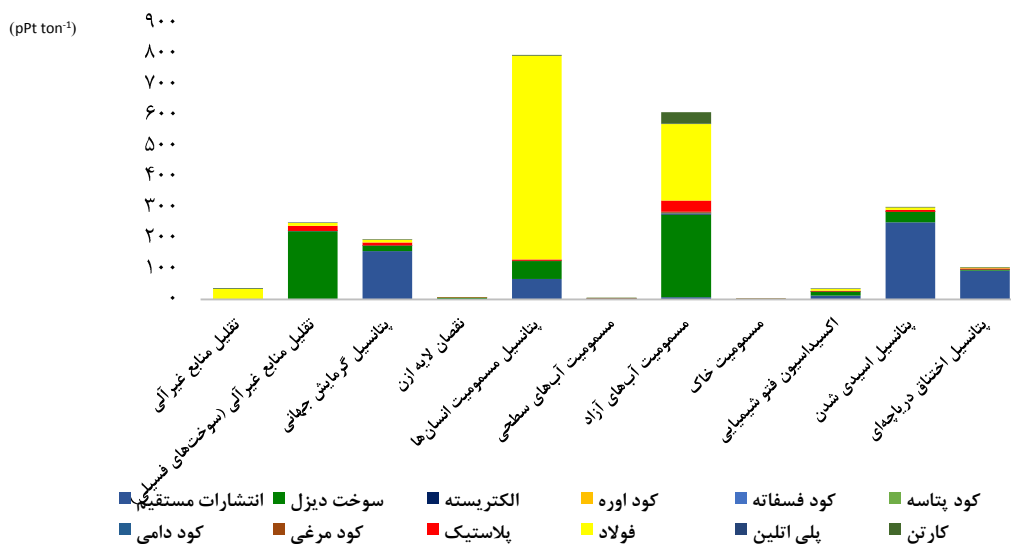
در شکل‌های شماره ۲ و ۳ مقادیر آلاینده‌های زیست‌محیطی تولید گلخانه‌ای یک تن برگ آلوده‌ورا به صورت نرمال و وزن‌دار نشان داده شده است. نتایج نرمال‌سازی (شکل شماره ۲ و جدول شماره ۷) نشان می‌دهد مسمومیت آب‌های آزاد بیشترین میزان آلاینده‌گی را به خود اختصاص داده است که تولید سوخت دیزل مهم‌ترین عامل ایجاد آن می‌باشد و تولید فولاد نیز در جایگاه بعدی قرار دارد. در دیگر تحقیقات در رابطه با تولید گلخانه‌ای محصولات خیار و گوجه‌فرنگی نیز نشان داده شد که شاخص مسمومیت آب‌های آزاد بیشترین میزان آلاینده‌گی را داراست (Khoshnevisan *et al.*, 2014a). مشابه این نتیجه برای تولید توت‌فرنگی گلخانه‌ای نیز به دست آمده است (Khoshnevisan *et al.*, 2013b). بعد از این گروه اثر، مسمومیت انسان‌ها دارای بیشترین میزان آلاینده‌گی است. در این شاخص نیز تولید فولاد اصلی‌ترین عامل ایجاد آلاینده‌گی است. با توجه به اینکه این دو شاخص هر دو بر روی تخریب اکوسیستم مؤثرند باید از انتشار آن‌ها به شدت جلوگیری کرد. نتایج وزن‌دهی نشان داد که مقدار کل آلاینده‌های زیست

است (Mousavi-Avval *et al.*, 2017b). مقایسه نتایج نشان می‌دهد تولید هر تن آلونه‌ورا اثر تخریبی در حدود ۲ برابر نسبت به تولید کلزا دارد. مطالعه شاخص وزن‌دهی در تولید کلزا نشان داد آب‌های آزاد بیشترین اثر مخرب زیست‌محیطی را در تولید این محصول داشته است که کود تریپل فسفات سهم عمده‌ای در این مقدار داشته است. میزان این شاخص برای هر تن کلزا  $723/53$  (pPt ton<sup>-1</sup>) محاسبه شده است که در حدود ۱۵ درصد بیشتر از این شاخص برای تولید آلونه‌ورا است. بنابراین می‌توان گفت به دلیل مصرف کم کودهای شیمیایی، تولید آلونه‌ورا نسبت به کلزا تخریب کمتری را برای منابع آب‌های آزاد در پی دارد

انتشار گازهای گلخانه‌ای بر حسب (Pt) در فعالیت‌های کشاورزی و دامپروری برای تولید هر کیلوگرم شیر گوسفند (با احتساب کاشت علوفه) در مزارع ایتالیا بین (mPt) ۳۰۰ تا ۴۸۰ (ماده اصلی منتشره متان بوده است) محاسبه شد که نشان می‌دهد تولید گلخانه‌های آلونه‌ورا نسبت به تولید شیر گوسفند آسیب زیست‌محیطی بسیار کمتری را به محیط زیست می‌رساند (Vagnoni *et al.*, 2014).



شکل ۲. مقدار آلاینده‌های زیست‌محیطی برای تولید یک تن برگ آلونه‌ورا گلخانه‌ای با روش CML2 baseline به صورت نرمال شده



شکل ۳. مقدار آلاینده‌های زیست‌محیطی برای تولید یک تن برگ آلونه‌ورا گلخانه‌ای با روش CML2 baseline به صورت وزن دار شده

کننده آن‌ها ذکر شده است. نتایج خروجی نرم‌افزار نشان داد در ایجاد مسمومیت انسان‌ها در گلخانه‌های آلونه‌ورا، ۱۷۴ ماده نقش داشتند که به آب، هوا و خاک وارد شده و منجر به ایجاد

با توجه به اینکه گروه اثر مسمومیت انسان‌ها و همچنین مسمومیت آب‌های آزاد بیشترین میزان آسیب به محیط زیست را داشتند، در ادامه توضیحات بیشتری در رابطه با مواد ایجاد

نتایج، انتشار مواد به هوا و آب به ترتیب برابر ۹۷ و ۳ درصد می‌باشند. در ضمن، سهم عمده‌ای از این مواد (بیش از ۸۳ درصد) مربوط به تولید نهاده‌ها در خارج از گلخانه می‌باشد.

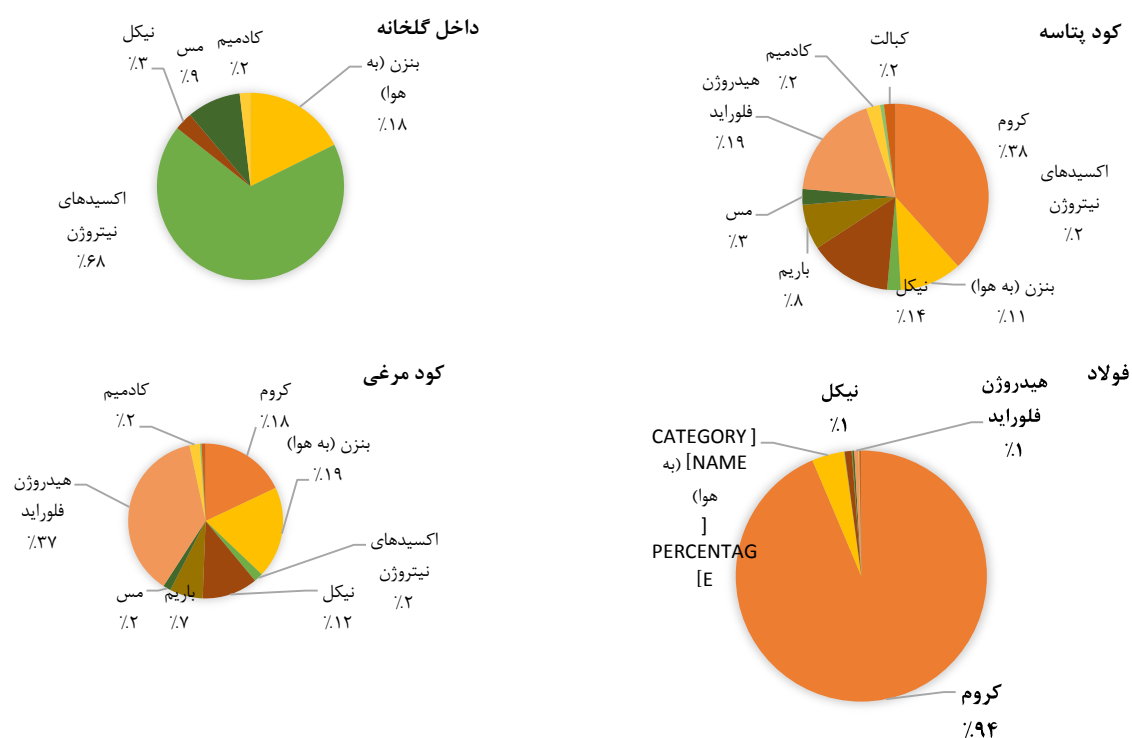
مسمومیت برای انسان‌ها شده‌اند. از میزان ( $\text{pPt ton}^{-1}$ ) ۷۹۵/۵۷ مربوط به این گروه اثر، بیش از ۹۴ درصد مربوط به انتشار نه ماده سمی ذکر شده در جدول شماره ۸ می‌باشند. بر اساس

جدول ۸. مواد سمی منتشره مربوط به گروه اثر مسمومیت انسان‌ها

ماده	نوع انتشار	کل ( $\text{pPt ton}^{-1}$ )	داخل گلخانه ( $\text{pPt ton}^{-1}$ )	خارج از گلخانه ( $\text{pPt ton}^{-1}$ )
کروم	به هوا	۶۲۱/۰۴۳	۰	۶۲۱/۰۴۳
بنزن	به هوا	۴۷/۵۰۲	۱۱/۰۶۴	۳۶/۴۳۸
اکسیدهای نیتروژن	به هوا	۴۴/۳۷۵	۴۲/۵۸۴	۱/۷۹۲
نیکل	به هوا	۲۱/۶۱۱	۱/۹۵۶	۱۹/۶۵۵
باریم	به آب	۲۱/۲۳۷	۰	۲۱/۲۳۷
مس	به هوا	۷/۹۹۱	۵/۸۴۳	۲/۱۴۸
هیدروژن فلوراید	به هوا	۷/۱۱۴	۰	۷/۱۱۴
کادمیم	به هوا	۵/۳۸۱	۱/۱۶۰	۴/۲۲۱
بنزن	به آب	۱/۱۶۶	۰	۱/۱۶۶
کبالت	به هوا	۲/۲	۰	۲/۲

با توجه به مسئله سلامت انسان‌ها، شناسایی منابع انتشار این مواد از اهمیت خاصی برخوردار است. چرا که با شناسایی منابع انتشار می‌توان از مصرف بی‌رویه نهاده‌های که منجر به انتشار این مواد سمی می‌شوند جلوگیری کرد و یا آن‌ها را با موادی که خطرات کمتری برای سلامت انسان‌ها دارند، جایگزین نمود. در شکل شماره ۴ درصد انتشار این مواد برای هر نهاده مصرفی که سهم بیشتری در میزان کروم تولیدی داشته و همچنین فعالیت‌های داخل گلخانه به تفکیک نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، فولاد مصرفی منجر به تولید و انتشار مقدار زیادی کروم به هوا می‌شود. پس از فولاد، بیشترین میزان کروم منتشر شده مربوط است به کود پتاسه (۳۸ درصد)، کارتن (۲۸ درصد) و کود مرغی (۱۸ درصد) می‌باشد. این نتیجه نشان می‌دهد برای کاهش انتشار کروم به هوا و جلوگیری از افزایش سمیت آن می‌توان مصرف این نهاده‌ها را به حداقل رساند و یا با مواد دیگر جایگزین کرد. به‌طور مثال می‌توان کود مرغی را تا حد امکان با کود دامی که کروم کمتری منتشر می‌کند، جایگزین نمود. عمده ماده منتشر شده از فعالیت‌های داخل گلخانه مربوط به گروه اثر مسمومیت انسان‌ها، اکسیدهای نیتروژن هستند که ناشی از احتراق دیزل جهت گرمایش گلخانه است. با تغییر نوع سوخت و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، این مشکل تا حد زیادی مرتفع خواهد شد. در مطالعه‌ای درباره ارزیابی چرخه زندگی تولید ترفرنگی، سم بوسکالید به دلیل انتشار مستقیم کلر و اکسیدهای نیتروژن ماده مهمی در ایجاد مسمومیت برای انسان‌ها بوده است (De

Backer et al., 2009). در کشت ذرت نیز انتشار مستقیم کلر و اکسیدهای نیتروژن ناشی از سم آکتاچلور و انتشار مستقیم ترکیبات گوگرد و فسفر و همچنین کلر ناشی از سم کلرپیریفوس نقش اصلی را در گروه اثر مسمومیت انسان‌ها داشته‌اند (Xue et al., 2015). مقایسه نتایج نشان می‌دهد در تولید محصولات کشاورزی مواد منتشره از سموم مصرفی نقش اصلی را مسمومیت انسان‌ها داشته‌اند اما در تولید آلئوئورا به-دلیل عدم مصرف سموم، نتایج متفاوتی به دست آمده است. نتایج خروجی نرم‌افزار برای گروه اثر مسمومیت آب‌های آزاد، ۱۷۵ ماده سمی را معرفی نمود که بیش از ۹۹ درصد از (pPt)  $\text{ton}^{-1}$  ۶۰۸/۵۳۸ مربوط به هفت ماده سمی (هیدروژن فلوراید، باریم، نیکل، مس، برلیم، کبالت، سلنیم) بود که در جدول شماره ۹ ذکر شده‌اند. براساس نتایج، میزان آسیب زیست محیطی این مواد ( $\text{pPt ton}^{-1}$ ) ۴۷۰/۵۴۹ ناشی از انتشار مواد به هوا و ( $\text{pPt ton}^{-1}$ ) ۱۳۷/۹۸۸ ناشی از انتشار مواد به آب بوده است. نیکل، برلیم و سلنیم هم از طریق هوا و هم از طریق آب منجر به افزایش میزان آسیب زیست‌محیطی این گروه اثر بوده که باید به‌طور جدی در رابطه با کاهش انتشار آن‌ها تلاش کرد. نیکل، همچنین به عنوان یکی از مواد مؤثر در شاخص مسمومیت انسان‌ها مشخص شد. هیدروژن فلوراید بیشترین مقدار را در این گروه اثر به خود اختصاص داده است (بیش از ۷۳ درصد)، بنابراین شناسایی عوامل انتشار این ماده بسیار



شکل ۴. سهم مواد سمی گروه اثر مسمومیت انسان‌ها در فعالیت‌های داخل و نهاد های داری بیشترین اثر در گلخانه‌های آلوده‌ورا

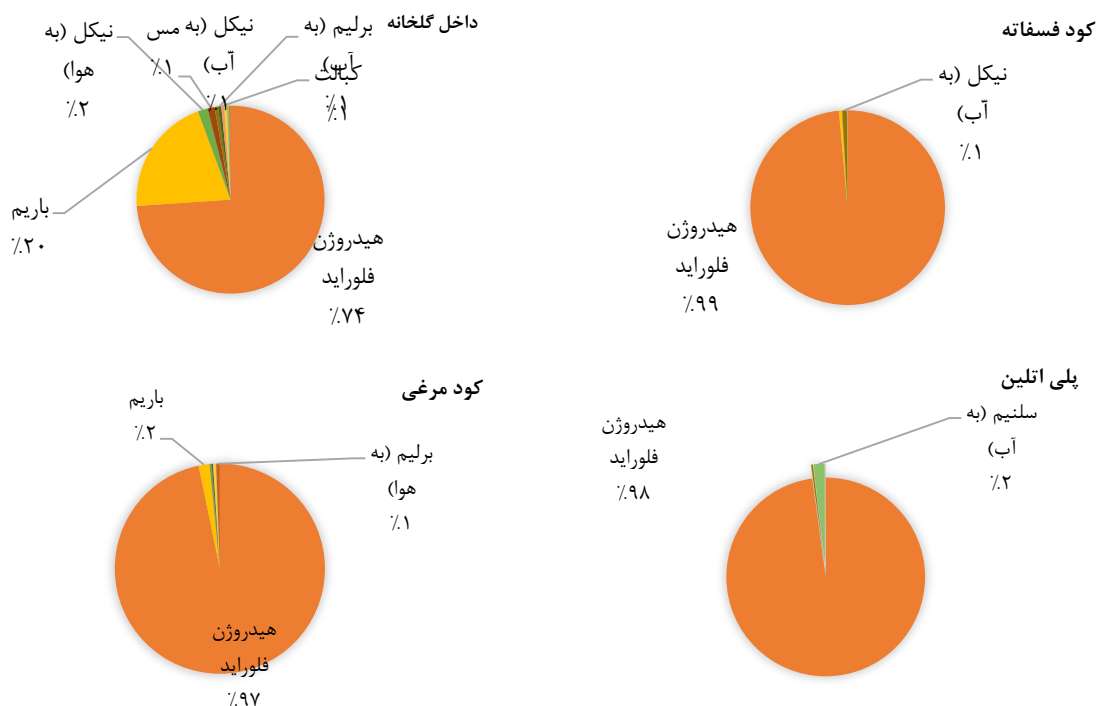
مختلف بهینه‌سازی می‌توان الگوی مصرف مناسبی ارائه کرد. همچنین باید در فرآیند ساخت نهاده‌های مصرفی نیز تجدیدنظر نمود تا از انتشار این ماده مضر تا حد امکان کاسته شود. استفاده از روش‌های جدید و تجهیزات کارا در ساخت و حمل و نقل نهاده‌ها و استخراج مواد اولیه توصیه می‌شود. در نهایت در جدول شماره ۱۰ ضرایبی برای محاسبه شاخص‌های زیست‌محیطی وزن‌دار شده جهت تولید نهاده‌های مصرفی (خارج از گلخانه) در کشت آلوده‌ورا ارائه شده است که می‌توان برای ارزیابی زیست‌محیطی چرخه زندگی محصول به‌صورت مستقیم و بدون استفاده از نرم‌افزارسیمپرو از این ضرایب استفاده نمود.

ضروری است. در شکل شماره ۵ درصد مواد سمی منتشره ناشی از نهاده‌های مصرفی که سهم بیشتری در میزان انتشار هیدروژن فلوراید تولیدی داشته‌اند و همچنین فعالیت‌های داخل گلخانه به‌تفکیک نشان داده شده است.

براساس نتایج شکل شماره ۵، هیدروژن فلوراید سهم عمده‌ای (بیش از ۹۵ درصد) در ایجاد گروه اثر مسمومیت آب‌های آزاد در تولید کود فسفاته، کود مرغی و پلی‌اتیلن و همچنین سهم ۷۴ درصدی در فعالیت‌های داخل گلخانه داشته است. این ماده همچنین سهم عمده‌ای در سایر نهاده‌ها (به‌جز الکتریسته) داشته است بنابراین باید تجدید نظری جدی در نحوه میزان مصرف این نهاده‌ها داشت که با استفاده از روش‌های

جدول ۹. مواد سمی منتشره مربوط به گروه اثر مسمومیت آب‌های آزاد

ماده	نوع انتشار	کل (pPt ton <sup>-1</sup> )	داخل گلخانه (pPt ton <sup>-1</sup> )	خارج از گلخانه (pPt ton <sup>-1</sup> )
هیدروژن فلوراید	به هوا	۴۵۵/۸۶۶	۰	۴۵۵/۸۶۶
باریم	به آب	۱۲۳/۴۲۵	۰	۱۲۳/۴۲۵
نیکل	به هوا	۱۰/۱۸۹	۰/۹۲۲	۹/۲۶۷
مس	به هوا	۷/۲۸۳	۵/۳۲۵	۱/۹۵۸
نیکل	به آب	۳/۵۱۴	۰	۳/۵۱۴
برلیم	به آب	۳/۳۱۰	۰	۳/۳۱۰
کبالت	به هوا	۳/۰۰۱	۰	۳/۰۰۱
سلنیم	به هوا	۲/۸۶۸	۰/۷۴۴	۲/۱۲۴
سلنیم	به آب	۲/۴۱۹	۰	۲/۴۱۹
برلیم	به هوا	۱/۳۲۲	۰	۱/۳۲۲



شکل ۵. سهم مواد سمی گروه اثر مسمومیت آب‌های آزاد در فعالیت‌های داخل و نهاد های داری بیشترین اثر در گلخانه‌های آلوده‌ورا

جدول ۱۰. ضرایب وزن‌دهی محاسبه شاخص‌های زیست‌محیطی وزن دار شده تولید نهاده‌های مصرفی درخارج از گلخانه یک تن برگ آلوده‌ورا

شاخص وزن‌دار شده (خارج از گلخانه) (pPt ton <sup>-1</sup> )	مقدار مصرف شده نهاده (Unit)	ضریب وزن‌دهی برای تولید واحد نهاده مصرفی (pPt/Unit)	نهاده مصرفی
۶۲۵/۷۴۲۹	۱۵۰/۳۵۳ (kg)	۰/۴۱۶۷۸۶	سوخت دیزل
۷/۰۸۴۹۳۶	۶۶/۳۵۳ (kWh)	۰/۱۰۶۷۷۷	الکتریسته
۰/۱۶۷۹۸۲	۰/۱۰۸ (kg)	۱/۵۵۸۸۰۲	کود اوره
۱/۲۶۶۲۸	۰/۰۹۶ (kg)	۱۳/۱۳۹۰۱	کود فسفات
۰/۰۵۶۹۹۹	۰/۰۴۶ (kg)	۱/۲۴	کود پتاسه
۰/۲۶۰۵۳۱	۲۷۶/۳۴۱ (kg)	۰/۰۰۰۹۴۳	کود دامی
۳/۱۳۵۴۳۶	۲۴/۸۷۴ (kg)	۰/۱۵۴۱۹۴	کود مرغی
۷۸/۲۲۷۲۲	۵۰/۵۹۴ (kg)	۱/۵۴۶۱۸۲	پلاستیک
۹۸۳/۰۰۶۵	۱۷۶/۳۸۲ (kg)	۵/۵۷۳۱۸۳	فولاد
۱/۶۴۲۸۹۲	۳/۳۲۶ (kg)	۰/۴۹۳۹۸۱	پلی اتلین
۴۳/۳۳۷۳۱	۲۵/۶۶۶ (kg)	۱/۶۸۸۵۳۱	کارتن
۱۷۴۴/۶۲۸۹			کل

### نتیجه‌گیری

۰/۰۰۳ محاسبه شدند. سوخت دیزل و فولاد مهم‌ترین نهاده‌های مصرف‌کننده انرژی بودند. نتایج تحلیل انرژی نشان داد تأمین گرمایش و سازه گلخانه بیش از ۹۰ درصد انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده‌اند که با بهینه‌سازی مصرف و همچنین تغییر در نوع نهاده مصرفی در صورت امکان می‌توان از این میزان کاست و نسبت انرژی را افزایش داد. نتایج ارزیابی چرخه زندگی نشان داد در سه گروه اثر گرمایش جهانی، اسیدی‌شدن و اختناق دریچه‌ای، انتشار مستقیم ناشی از احتراق سوخت و مصرف کودهای شیمیایی نقش عمده‌ای داشته‌اند. این در حالی است

در این تحقیق انرژی ورودی و خروجی تولید گلخانه‌ای برگ آلوده‌ورا در استان خراسان رضوی مورد بررسی قرار گرفت و سپس ارزیابی چرخه زندگی تولید این محصول برای تخمین اثرات زیست‌محیطی فرآیند تولید انجام شد. داده‌های مورد نیاز از طریق مصاحبه حضوری با کشاورزان به‌دست آمد. بر اساس نتایج تحلیل انرژی، کل انرژی مورد نیاز برابر ۱۰۲۸۲۵/۱۹ مگاژول برای هر تن برگ آلوده‌ورا، انرژی خروجی برابر ۳۳۰ مگاژول برای هر تن برگ محصول و نسبت انرژی برابر با

انسان‌ها به‌دلیل تولید فولاد و گروه اثر مسمومیت آب‌های آزاد به‌دلیل تولید سوخت دیزل و فولاد در خارج از گلخانه قابل توجه است. نتایج نشان داد اصلی‌ترین ماده سمی در ایجاد این دو گروه اثر به ترتیب مربوط به کروم و هیدرژن فلوراید بوده است که با تغییر در میزان مصرف و نوع نهاده‌های مصرفی و در نهایت با تغییر در نحوه ساخت و حمل و نقل نهاده‌ها می‌توان از انتشار بیشتر این مواد جلوگیری نمود.

که در سایر گروه‌های اثر، عمده دلیل آلاینده‌گی تولید سوخت دیزل و تولید فولاد بوده است. نتایج وزن‌دهی در ارزیابی چرخه زندگی نشان داد کل انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی برابر با  $2331/26$  (pPt ton<sup>-1</sup>) بوده که از این مقدار  $74/84\%$  مربوط به مرحله تولید نهاده‌ها در خارج گلخانه و  $25/16\%$  مربوط به مرحله مصرف نهاده‌ها در داخل گلخانه بوده است. همچنین نتایج وزن‌دهی شاخص‌ها نشان داد که گروه اثر مسمومیت

## REFERENCES

- Ahlawat K.S., & Khatkar, B. S. (2011). Processing, food applications and safety of aloe vera products: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 48(5), 525–533.
- Anon. (2016). Annual Agricultural Statistics. Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran. <http://www.maj.ir>, (in Farsi).
- Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Barraclough, P., & Kuhlmann, H. (2004). Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. *European Journal of Agronomy*, 20(3), 265–279.
- Canakci, M., & Akinci, I. (2006). Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. *Energy*, 31(8), 1243–1256.
- Carlsson-Kanyama, A. (1998). Climate change and dietary choices—how can emissions of greenhouse gases from food consumption be reduced?. *Food policy*, 23(3), 277–293.
- Cellura, M., Longo, S., & Mistretta, M. (2012). Life Cycle Assessment (LCA) of protected crops: an Italian case study. *Journal of Cleaner Production*, 28, 56–62.
- Chaudhary, V. P., Gangwar, B., & Pandey, D. K. (2006). Auditing of energy use and output of different cropping systems in India. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, 8, 1–13.
- Chauhan, N. S., Mohapatra, P. K., & Pandey, K. P. (2006). Improving energy productivity in paddy production through benchmarking—An application of data envelopment analysis. *Energy Conversion and Management*, 47(9), 1063–1085.
- Cheesbrough, M. (2006). *District laboratory practice in tropical countries*. United Kingdom: Cambridge university press.
- Coltro, L., Mourad, A., Oliveira, P., Baddini, J., & Kletecke, R. (2006). Environmental Profile of Brazilian Green Coffee (6 pp). *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(1), 16–21.
- Cragg, G. M., & Newman, D. J. (2001). Natural product drug discovery in the next millennium. *Pharmaceutical Biology*, 39(1), 8–17.
- Curran, M. A., Mann, M., & Norris, G. (2005). The international workshop on electricity data for life cycle inventories. *Journal of Cleaner Production*, 13(8), 853–862.
- De Backer, E., Aertsens, J., Vergucht, S., & Steurbaut, W. (2009). Assessing the ecological soundness of organic and conventional agriculture by means of life cycle assessment (LCA) A case study of leek production. *British Food Journal*, 111(10), 1028–1061.
- Guinée, J. B. (2002). Handbook on life cycle assessment operational guide to the ISO standards. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 7(5), 311–313.
- Heidari, M. D., Omid, M., & Mohammadi, A. (2012). Measuring productive efficiency of horticultural greenhouses in Iran: a data envelopment analysis approach. *Expert Systems with Applications*, 39(1), 1040–1045.
- IPCC, 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories. In: Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (Eds.), Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan. <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.htm>.
- ISO. (2006) 14040: 2006. *Environmental management—Life cycle assessment—Principles and framework*. European Committee for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., & Mousazadeh, H. (2013b). Environmental impact assessment of open field and greenhouse strawberry production. *European journal of Agronomy*, 50, 29–37.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., & Mousazadeh, H. (2013a). Reduction of CO<sub>2</sub> emission by improving energy use efficiency of greenhouse cucumber production using DEA approach. *Energy*, 55, 676–682.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Mousazadeh, H., & Clark, S. (2014a). 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.
- Khoshnevisan, B., Shariati, H. M., Rafiee, S., & Mousazadeh, H. (2014b). Comparison of energy consumption and GHG emissions of open field and greenhouse strawberry production. *Renewable and Sustainable Energy*

- Reviews, 29, 316-324.
- Kim, C. G. (2001). *Developing Policies for Agriculture and the Environment*. Food and Fertilizer Technology Center. Korea Rural Economic Institute: Working Paper.
- Kitani, O. (1999). CIGR handbook of agricultural, volume 5: *Energy and biomass engineering*. ASAE publications, St Joseph, MI.
- Kittle, A. P. (1993). *Alternate daily cover materials and subtitle, the selection technique Rusmar*. USA: Incorporated West Chester, PA.
- Kouchaki-Penchah, H., Sharifi, M., Mousazadeh, H., Zarea-Hosseinabadi, H., & Nabavi-Pelesaraei, A. (2016). Gate to gate life cycle assessment of flat pressed particleboard production in Islamic Republic of Iran. *Journal of Cleaner Production*, 112, 343-350.
- Martin-Gorriz, B., Soto-García, M., & Martínez-Alvarez, V. (2014). Energy and greenhouse-gas emissions in irrigated agriculture of SE (southeast) Spain. Effects of alternative water supply scenarios. *Energy*, 77, 478-488.
- Mills, E. (2012). The carbon footprint of indoor Cannabis production. *Energy Policy*, 46, 58-67.
- Mousavi-Avval, S. H., Rafiee, S., Jafari, A., & Mohammadi, A. (2011). Improving energy use efficiency of canola production using data envelopment analysis (DEA) approach. *Energy*, 36(5), 2765-2772.
- Mousavi-Avval, S. H., Rafiee, S., Sharifi, M., Hosseinpour, S., Notarnicola, B., Tassielli, G., & Khanali, M. (2017a). Use of LCA indicators to assess Iranian rapeseed production systems with different residue management practices. *Ecological Indicators*, 80, 31-39.
- Mousavi-Avval, S. H., Rafiee, S., Sharifi, M., Hosseinpour, S., Notarnicola, B., Tassielli, G., & Renzulli, P. A. (2017b). Application of multi-objective genetic algorithms for optimization of energy, economics and environmental life cycle assessment in oilseed production. *Journal of Cleaner Production*, 140, 804-815.
- Muñoz, P., Antón, A., Nuñez, M., Paranjpe, A., Ariño, J., Castells, X., & Rieradevall, J. (2007). Comparing the environmental impacts of greenhouse versus open-field tomato production in the Mediterranean region: *In International Symposium on High Technology for Greenhouse System Management*, 4 Oct., Greensys, pp. 1591-1596.
- Nemecek, T., Dubois, D., Huguenin-Elie, O., & Gaillard, G. (2011). Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming. *Agricultural Systems*, 104(3), 217-232.
- Nemecek, T., Heil, A., Huguenin, O., Meier, S., Erzinger, S., Blaser, S., & Zimmermann, A. (2007). Life cycle inventories of agricultural production systems. From: <http://www.ecoinvent.org/documentation/reports/>
- Nguyen, T. L. T., & Hermansen, J. E. (2012). System expansion for handling co-products in LCA of sugar cane bio-energy systems: GHG consequences of using molasses for ethanol production. *Applied energy*, 89(1), 254-261.
- Ozkan, B., Akcaoz, H., & Fert, C. (2004). Energy input-output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy*, 29(1), 39-51.
- Ozkan, B., Fert, C., & Karadeniz, C. F. (2007). Energy and cost analysis for greenhouse and open-field grape production. *Energy*, 32(8), 1500-1504.
- Perry, R. H., Green, D. W., & Maloney, J. (1997). *Perry's chemical engineers' handbook*. McGraw-Hill. New York, United States.
- Pfister, S., Bayer, P., Koehler, A., & Hellweg, S. (2011). Environmental impacts of water use in global crop production: hotspots and trade-offs with land use. *Environmental science & technology*, 45(13), 5761-5768.
- Rathke, G. W., Behrens, T., & Diepenbrock, W. (2006). Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): a review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 117(2), 80-108.
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., & Pennington, D. W. (2004). Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment International*, 30(5), 701-720.
- Reganold, J. P., Glover, J. D., Andrews, P. K., & Hinman, H. R. (2001). Sustainability of three apple production systems. *Nature*, 410(6831), 926-930.
- Romero-Gómez, M., Audsley, E., & Suárez-Rey, E. M. (2014). Life cycle assessment of cultivating lettuce and escarole in Spain. *Journal of Cleaner Production*, 73, 193-203.
- Sadiq, M. S., Singh, I. P., Makama, S. A., Umar, S. M., Isah, M. A., & Grema, I. J. (2016). Agrarian crisis and steps to combat it: Evidence of GHG emission (CO<sub>2</sub>) in sesame production in Jigawa State, Nigeria. *Indian Journal of Economics and Development*, 12(1a), 361-368.
- SAIC. (2006). *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, EPA. From <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess>.
- Scala, K. D., Vega-Gálvez, A., Ah-Hen, K., Nuñez-Mancilla, Y., Tabilo-Munizaga, G., Pérez-Won, M., & Giovagnoli, C. (2013). Chemical and physical properties of aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) gel stored after high hydrostatic pressure processing. *Food Science and Technology (Campinas)*, 33(1), 52-59.
- Sheikh-Davoodi, M. J., Taki, M., & Monjezi, N. (2013). Application of artificial neural networks ANNs to predict energy output for wheat production in Iran. *African Journal of Agricultural Research*, 8(19), 2099-2105.
- Simal, S., Femena, A., Llull, P., & Rossello, C. (2000). Dehydration of aloe vera: simulation of



drying curves and evaluation of functional properties. *Journal of Food Engineering*, 43(2), 109-114.

- Vagnoni, E., Franca, A., Breedveld, L., Porqueddu, C., Ferrara, R., & Duce, P. (2014). Environmental footprint of milk production from Mediterranean sheep systems. In *Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2014)*, San Francisco, California, USA, 8-10 October, 2014 (pp. 1408-1417).
- Williams, A., Audsley, E., & Sandars, D. (2006).

Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities: Defra project report IS0205. Zu finden in, From: <http://randd.defra.gov.uk/Default.aspx>.

- Xue, X., Hawkins, T. R., Ingwersen, W. W., & Smith, R. L. (2015). Demonstrating an approach for including pesticide use in life-cycle assessment: Estimating human and ecosystem toxicity of pesticide use in Midwest corn farming. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(8), 1117..