بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده تولید گیاهی

رساله دکتری رشته زراعت

ارزیابی زیست محیطی نظام‌های تولید چغندر قند در خراسان به روش LCA

پژوهش و نگارش

امیر بهزاد بذرگر

استاد راهنما

دکتر افشین سلطانی

استادان مشاور

دکتر علیرضا کوچکی

دکتر ابراهیم زینلی

دکتر علیرضا قائمی

۱۳۹۰

تعهدنامه پژوهشی

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان مبین بخشی از فعالیت‌های علمی- پژوهشی بوده و همچنین با استفاده از اعتبارات دانشگاه انجام می‌شود، بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به موارد ذیل متعهد می‌شوند:

۱) قبل از چاپ پایان نامه (رساله) خود، مراتب را قبلاً بطور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع داده و کسب اجازه نمایند.

۲) در انتشار نتایج پایان‌نامه (رساله) در قالب مقاله، همایش، اختراع و اکتشاف و سایر موارد ذکر نام دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان الزامی است.

۳) انتشار نتایج پایان‌نامه (رساله) باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب **امیر بهزاد بذرگر** دانشجوی رشته **زراعت** مقطع **دکتری** تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده و به آن ملتزم می‌شوم.

به یاد مادرم؛

که به من آموخت

زمین را دوست بدارم

همچنان که او را دوست می دارم.

سپاسگزاری

انجام این رساله علاوه بر حاصل علمی آن، دو دستاورد بزرگ در زندگی من داشت. نخست آنکه فرصتی برایم بوجود آورد تا در پهنای خراسان بزرگ، چهره به چهره، افتخار هم گویی، و گاه هم دلی، با دهقانان سرزمینم را داشته باشم. مردمان شریفی که از آب و خاک و آفتاب، نان می‌خورند و پشت به پشت اسرار هم زیستی با زمین را در دل اندوخته‌اند.

درک محضر همزمان دو استاد بزرگ و گرانقدر، پادافره دیگر این رساله بود. استاد دکتر افشین سلطانی و استاد دکتر علیرضا کوچکی. اگرچه درک همه ظرافت‌های روحی و توانمندی‌های علمی این دو فرزانه از توان چون منی بیرون است اما این مهربانی زندگی در حق خود را سجده شکر گزارده و شادمانم و به ویژه از دکتر افشین سلطانی که آغاز تا انجام این رساله را پشتیبانی و دل گرمی وجود ایشان برایم ممکن ساخت، سپاسگزارم.

همچنین از استادان مشاورم در این رساله، جناب آقای دکتر زینلی و جناب آقای دکتر قائمی به خاطر حمایت‌ها و همکاری‌هایشان قدردانی می‌کنم و هم از استاد فاضل فرهیخته دکتر سراله گالشی که منش و کردارشان آموزگار اخلاق من بود.

از دوست، استاد و برادر ارجمندم جناب آقای دکتر بهنام کامکار به پاس همه محبت‌های بی‌دریغ و بزرگوارانه شان در طول دوران تحصیلم سپاسگزارم و به دوستی ایشان می‌بالم.

همچنین از استاد وارسته دکتر مهدی نصیری محلاتی به خاطر مطالعه متن رساله و نقطه نظرات ارزنده شان سپاسگزاری می‌کنم.

برخود لازم می‌دانم از پرفسور جرالد جیلارد و دکتر توماس نمچک از مرکز تحقیقات **ART** زوریخ سوئیس و همچنین از پروفسور توماس کوئلنر از دانشگاه بایروث آلمان به واسطه آنچه در طی دوره مطالعاتی خود در بخش کارکردهای بوم نظام در این دانشگاه از ایشان آموختم قدردانی کنم. از دکتر ماریسا ویرا از موسسه تحقیقاتی **PRé** هلند که در مدلسازی اثرات زیست محیطی تولید برق در ایران از هم فکری ایشان بهره‌مند بودم و از دوست بزرگوارم دکتر

کریس موتل از موسسه مهندسی زیست محیطی مرکز تحقیقات ETH سوئیس به واسطه پشتیبانی‌های علمی ایشان سپاسگزارم.

در گردآوری داده‌های مورد نیاز در این رساله از همکاری‌های بی‌دریغ همکاران بسیاری در سازمان‌ها و اداره‌های جهاد کشاورزی، کارخانجات قند، مراکز و ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، شرکت تحقیقات و خدمات زراعی چغندر قند و کارشناسان ناظر چغندر قند در استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی برخوردار بودم که از یکایک آن‌ها قدردانی می‌کنم و از همه دوستانم که در طول انجام این مطالعه از یاری و همکاری آنان بهره‌مند بوده‌ام سپاسگزارم.

در پایان از همسرم به پاس همکاری‌اش سپاسگزارم و به فرزندم همه آنچه می‌توانم بگویم آن است که پدرش را به خاطر کاستی‌هایش در روزهای سختی و دلواپسی انجام این رساله ببخشد.

چکیده

اگرچه در گذشته بهینه سازی تولید در کشاورزی بر اساس سودآوری اقتصادی آن تعیین می‌شد اما امروزه نگرانی‌های زیست محیطی سبب شده است تا نظام‌های کشاورزی ناگزیر به رسیدن به برخی اهداف زیست محیطی باشند. ارزیابی چرخه حیاتی (LCA) ابزاری است برای سنجش پیامدهای زیست محیطی یک محصول، فرآیند یا عملیات ویژه در طی چرخه حیاتی آن یا به عبارت دیگر آغاز تا انجام روند شکل‌گیری آن محصول یا فرآیند. هدف از این رساله علاوه بر پیامد سنجی مقایسه‌ای نظام‌های مختلف تولید محصول راهبردی چغندر قند در خراسان، معرفی LCA به عنوان یک بینش و روش در پیامد سنجی جامع زیست محیطی محصولات کشاورزی در کشور است. برای این منظور مناطق کشت چغندر قند در استان‌های خراسان رضوی، شمالی و جنوبی بر اساس سه نظام تولید مکانیزه، نیمه مکانیزه و سنتی به ۲۶ مکان نظام طبقه بندی و کلیه داده‌های مزرعه‌ای مورد نیاز جمع‌آوری شدند. سپس کلیه ورودی‌ها و مواد منتشره زیست محیطی در تولید و فرآیندهای وابسته تعیین و فهرست برداری و اثرات زیست محیطی آن‌ها در طبقات اثر مورد نظر، کمی‌سازی شد. نتایج ارزیابی اثرات زیست محیطی چرخه حیاتی تولید یک تن چغندر قند در خراسان به طور متوسط بیانگر منتشر شدن ۴۸۹ کیلوگرم معادل CO_2 گازهای گلخانه‌ای، ۸۳ میلی‌گرم معادل CFC-11 آلاینده‌های دارای پتانسیل تخلیه ازن، ۰/۳۳کیلوگرم معادل C_2H_4 آلاینده‌های دارای پتانسیل اکسیداسیون فتوشیمیایی، ۲/۲ کیلوگرم معادل SO_2 مواد دارای اثرات اسیدی شدن، ۰/۶۴کیلوگرم معادل PO_4 آلاینده‌های دارای پتانسیل مردابی شدن و ۷۹۸۷ مگاژول تقاضا برای انرژی غیر قابل تجدید بود. مقایسه این نتایج در سه نظام مورد مطالعه نشان‌دهنده برتری زیست محیطی نظام‌های مکانیزه تر نسبت به سنتی عمدتا به دلیل برخورداری این نظام‌ها از تولید بالاتر و مصرف کمتر نهاده‌ها و تولید کمتر مواد منتشره زیست محیطی به ازای تولید هر تن چغندر قند بود به طوریکه برای کلیه طبقات اثر در هیچ یک از مزارع مکانیزه در طی فرآیند تولید یک تن چغندر قند بیش از مقدار میانگین اثرات زیان بار زیست محیطی حاصل نشد اما بین ۵۷ تا ۸۶ و ۳۳ تا ۴۴ درصد از مکان نظام‌های سنتی و نیمه مکانیزه بر این اساس کارکرد مطلوبی نداشتند. نتایج آنالیز مشارکت فرآیندهای مختلف تولید چغندر قند در نظام‌های مختلف خراسان نشان دادکه فرآیندهای آبیاری، انتشارات مستقیم از مزرعه و تولید و عرضه کودهای شیمیایی به ترتیب بیشترین نقش را در ایجاد اثرات زیست محیطی داشته و برای بهینه‌سازی کارکرد زیست محیطی این محصول در اولویت بازنگری قرار دارند. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که میزان اثرات زیست محیطی ناشی از چرخه حیاتی تولید چغندر قند در خراسان در طبقات مختلف اثر بین ۲ تا ۴۰ برابر این اثرات در سوییس بوده و بنابراین، فاصله معنی داری با حد مطلوب دارد.

واژه‌های کلیدی: چغندر قند، LCA، پیامد سنجی زیست محیطی، تولید پایدار

ازین سموم که بر طرف بوستان بگذشت
عجب که برگ گلی ماند و بوی یاسمنی!

حافظ

پیشگفتار

شایستگی فعالیت‌های انسان، که خود نام پیشرفت را بر آن نهاده، در دهه‌های اخیر به شدت مورد تردید قرار گرفته است. نگرانی‌های پیشگامان و نخبگان جوامع انسانی در باره رابطه انسان با محیط زیست خود، امروزه بدل به دلواپسی‌های توده مردم شده است. به راستی آیا انسان امروزی بُن شاخه‌ای را که خود بر سر آن نشسته است، نمی‌بُرد؟

کشاورزی به عنوان یکی از مهمترین و دیرپاترین فعالیت‌های انسانی، موضع فعال رابطه انسان با طبیعت بوده و بنابراین نقطه ویژه‌ای برای تخریب، و نقطه ویژه‌ای برای بهبود است. بهبود زیست محیطی نظام‌های تولید کشاورزی نیازمند ارزیابی اثرات تخریبی این نظام‌ها بر محیط زیست است. بسیاری از نگرش‌های مختلف در ارزیابی اثرات زیست محیطی، در بند جزیی نگرینند. چرا که برجستگی مزرعه به عنوان واحد اصلی تولید چنان است که بر سایر حلقه‌های بالا دستیِ‌ای بسا موثر در پیامدهای زیست محیطی، پرده می‌کشد. حاصل چنین نگرشی، می‌تواند به سادگی "مدیریت مشکلات زیست محیطی" را بدل به "جابجایی مشکلات زیست محیطی" کند.

ارزیابی چرخه حیاتی (LCA) روشی است مبتنی بر جامع نگری. این ویژگی یگانه، سبب فراگیری روزافزون این روش شده است چنانکه آن را به ابزاری پرکاربرد در بسیاری از تصمیم‌سازی‌ها و سیاست‌گزاری‌های نوین در کشورهای پیشرفته تبدیل کرده است. این رساله، کوششی است برای معرفی مبانی و کاربرد LCA در پیامد سنجی زیست محیطی محصولات کشاورزی که به طور موردی به تولید محصول راهبردی چغندر قند در خراسان پرداخته است.

فصل نخست این رساله به معرفی روش شناسانه و سیر تحول و تطور LCA پرداخته است. فصل دوم در مستند سازی شیوه تولید در نظام‌های مختلف کوشیده است. فصل سوم کاربرد آفتکش‌ها را در شیوه‌های مختلف تولید آسیب شناسی کرده است. در فصل چهارم، تلفات نیتروژن به عنوان عنصر کلیدی و در عین حال پر آسیب به لحاظ زیست محیطی شبیه‌سازی و چندی و چونی آن مورد دقت قرار گرفته است. در فصل پنجم نیز روش ممیزی چرخه حیاتی (LCI) و ایجاد نیمرخ زیست محیطی تولید در نظام‌های مختلف بیان شده و در فصل آخر، LCA چغندر قند ایجاد و پیامدهای زیست محیطی آن مورد ارزیابی مقایسه‌ای قرار گرفته است.

امید است که این تلاش، قدمی - هر چند کوچک و به نظر نیامدنی- برای بهبود محیط زیست در کشورمان باشد.

فصل اول

مروری بر ارزیابی چرخه حیاتی (LCA)،

ابزاری برای پیامدسنجی جامع زیست محیطی

چکیده

ارزیابی چرخه حیاتی مدلی است برای پیامدسنجی زیست‌محیطی محصولات، فرآیندهای تولیدی و خدمات. قابلیت‌های فراوان تکنیکی، آسانی انتقال نتایج و یافته‌ها، جامع‌نگر بودن و شفافیت نظام‌مند این روش سبب فراگیری آن در طراحی نظام‌های تولید، سیاست‌گزاری‌ها و تجارت محصولات کشاورزی در کشورهای پیشرفته شده است به‌طوری‌که به‌نظر می‌رسد عدم بهره‌گیری از این ابزار، نه تنها سبب کاهش کیفیت زیست‌محیطی تولید در بخش کشاورزی و زیان‌های ناشی از آن بر سلامت جوامع انسانی، سلامت بوم نظام و ناکارآمدی مصرف منابع طبیعی شود، بلکه در آینده‌ای نه چندان دور مشارکت در بازارهای جهانی را نیز با مشکل مواجه کند. متاسفانه ارزیابی چرخه حیاتی (LCA) به‌ویژه در محصولات کشاورزی در منطقه خاورمیانه و آسیای مرکزی مورد توجه و اقبال شایسته نبوده است. این فصل با معرفی روش‌شناسانه و کاربردی این ابزار می‌کوشد تا امکان ایجاد نمای کاملی از تاثیرات زیست‌محیطی محصولات کشاورزی را فراهم آورده و روشی نظام‌مند در ارزیابی و تفکر را برای طراحان شیوه‌های تولید و تدوین‌گران معیارهای زیست‌محیطی و برچسب‌گزاری محصولات مختلف در تشخیص و تمیز اثرات نهاده‌های جایگزین در نظام‌های تولید محصولات کشاورزی بنمایاند.

واژه‌های کلیدی: LCA؛ تفکر چرخه حیاتی؛ اثرات زیست‌محیطی؛ تولید کشاورزی

مقدمه

چالش بزرگ وضعیت کنونی جهان، آشتی دادن نظام‌های تولید مواد غذایی و حفاظت از طبیعت در کشاورزی نوین است. چرا که بی‌شک سه‌گانه رشد جمعیت، کاهش منابع طبیعی و تغییر اقلیم (ناشی از انتشار گازهای گلخانه) کابوس‌های بشر در قرن بیست و یکم است (بلک و همکاران، ۲۰۱۱). نظام‌های نوین کشاورزی بوم نظام‌هایی هستند که توسط انسان لگام شده‌اند. این نظام‌ها از سویی مبتنی بر نهاده‌های زیست‌محیطی مانند نور، باد، آب و خاک هستند و از دیگر سوی بر پایه نهاده‌هایی مانند کود، آفت‌کش‌ها، سوخت، الکتریسیته، تجهیزات و ماشین‌آلات مختلف استوارند که توسط کشاورزان خریداری شده و نهاده‌های اقتصادی به‌شمار می‌روند. استفاده از این منابع انرژی به‌دلیل افزایش جمعیت، محدودیت منابع زمین و افزایش سطح حیاتی جوامع، افزایش یافته است. رابطه بین افزایش جمعیت و اثرات زیست‌محیطی با جزییات بیش‌تر در اسپیدل و همکاران (۲۰۰۹) مورد بحث واقع شده است. اما آن‌چه آشکار است آن‌که تداوم افزایش تقاضا در تولید محصولات غذایی سبب شده است تا کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، ماشین‌آلات کشاورزی از سویی و منابع زیست‌محیطی چون منابع زمین، منابع آب از سوی دیگر به‌طور فشرده در تولید محصولات غذایی مورد استفاده قرار گیرند. به بیان دیگر فشرده‌سازی نظام‌های کشاورزی، نیاز غیرقابل انکار فراهمی غذا برای انسان امروزین است (گادفری و همکاران، ۲۰۱۰).

روی دیگر این سکه اثرات گوناگون این مصرف فشرده نهاده‌ها بر سلامت اجتماعی و محیط زیست است. نظام‌های تولید، ذخیره‌سازی و توزیع محصولات غذایی یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی و دیگر نهاده‌ها و بنابراین یکی از مؤثرترین فعالیت‌های انسانی بر محیط زیست در جهان است. از سوی دیگر در سال‌های اخیر تمایل مصرف‌کنندگان به استفاده از محصولات سالم و با کمینه اثرات زیست‌محیطی در جوامع مختلف بالا گرفته است و آن‌ها محصولاتی را می‌گزینند که پایبند به مبانی بوم‌شناختی و اخلاق زیست‌محیطی باشد (بوئر، ۲۰۰۲). بنابراین ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و کارآمدی مصرف منابع در تولید غذا برای اطمینان از سلامت بهره‌گیری از منابع به لحاظ زیست‌محیطی و طراحی نظام‌های تولیدی که در درازمدت ادامه حیات داده، از نظر محیطی سودمند و مناسب بوده، امنیت غذایی را با تکیه بر بهینه‌سازی مصرف نهاده‌های خارجی ایجاد کرده و براساس راهبردهای بوم‌شناختی درون نظام، خود را تنظیم کرده و توانایی بازیابی داشته باشند، ضروری است.

این بخش به معرفی مدل ارزیابی چرخه حیاتی (LCA)[1] به‌عنوان یک ابزار قدرتمند، فراگیر و جامع‌نگر در پیامدسنجی زیست‌محیطی در تولید محصولات کشاورزی می‌پردازد.

روش‌های مختلف پیامدسنجی زیست‌محیطی در کشاورزی

اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌های کشاورزی در دامنه‌ای از مقیاس‌های مکانی، از یک مزرعه تا در سطح ملی و حتی بین‌المللی تجزیه و تحلیل می‌شود (OECD, 2001). ابزارها و روش‌های مختلفی متناسب با هر یک از این مقیاس‌ها وجود دارد (گالان و همکاران، ۲۰۰۷). مزرعه، مهم‌ترین واحد مدیریت یک نظام کشاورزی است. روش‌های متعدد ارزیابی زیست‌محیطی در سطح مزرعه (ون در ورف و پتی، ۲۰۰۲) نشان‌دهنده اهمیت و نیاز فراوانی است که در این مقیاس برای شناخت این اثرات وجود دارد. این روش‌های ارزیابی ممکن است براساس نتایج حاصل از بخش‌های خاص و منفردی از مزرعه انجام شود، و یا بر پایه روشی در کل مزرعه، مانند روش موازنه نیتروژن (کریستنسن و همکاران، ۲۰۰۳؛ شرودر و همکاران ۲۰۰۳) صورت گیرد.

در جدول ۱-۱، شش روش ارزیابی اثرات زیست‌محیطی را به همراه مطالعات موردی که به‌وسیله هر یک از این روش‌ها صورت گرفته است و همچنین اهداف قابل دست‌یابی از طریق هر یک از این روش‌ها را نشان داده شده است. بدیهی است که با مراجعه به مطالعات موردی آمده در جدول، چگونگی و موارد کاربرد این روش‌ها بیش‌تر روشن می‌گردد.

در جدول ۱-۲، برای درک بهتر نوع کاربرد این روش‌ها، پژوهش‌گرانی که هر یک از این روش‌ها را به‌کار برده‌اند و همچنین مولفه‌های پایداری قابل ارزیابی به‌وسیله هر روش و مقیاس‌های مطلوب برای کاربرد هر روش براساس مطالعات موردی آمده در جدول ۱-۱ نشان داده شده است.

مطلوبیت‌های هر یک از این روش‌های شش‌گانه براساس گروه‌های کاربری، تعریف اهداف مورد نظر، شاخص‌های به‌کار رفته برای کمی‌سازی اهداف، قابلیت تغییرپذیری زمانی و قابلیت تغییرپذیری مکانی مقایسه شده و بنابراین کاربردهای متفاوتی برای هر روش، موردنظر قرار گرفته است (پیرادو و وان در ورف، ۲۰۰۵).

1- Life Cycle Assessment

مفهوم تفکر چرخه حیاتی (LCT)[1]

LCA ابزاری است برای سنجش پیامدهای زیست‌محیطی یک محصول، فرآیند یا عملیات ویژه در طی چرخه حیاتی یا به‌عبارت دیگر آغاز تا انجام روند شکل‌گیری آن محصول یا فرآیند. چنین تجزیه و تحلیلی در میان متخصصین LCA به آنالیز گهواره تا گور[2] نیز موسوم است (کوران، ۲۰۰۸). در این روش تجزیه و تحلیل کلیه اثرات مرتبط با تولید یا مصرف محصول شامل همه زیر فرآیندهای بالادستی یا پایین‌دستی در نظر گرفته می‌شود و این ویژگی برجسته و یگانه LCA سبب شکل‌گیری دیدگاهی جامع‌نگر در پیامدسنجی زیست‌محیطی یک پدیده می‌گردد که آرایه‌ای گسترده از فرآیندها و زیر فرآیندها را در بستره‌ای به پهنای همه بوم نظام مادر یا زمین را در بر می‌گیرد. از استخراج مواد خام از زمین و تولید و توزیع انرژی تا حلقه‌ها و زیرحلقه‌های متعدد زنجیره تولید، مصرف، بازیافت و در نهایت انهدام یک محصول[3] ضایعاتی (شکل ۱-۱). بنابراین مراحل مختلف چرخه حیاتی یک محصول در LCA از این دیدگاه ارزیابی می‌شود که حلقه‌های متعدد تشکیل‌دهنده این مراحل به هم پیوسته بوده و هر تصمیمی در هر نقطه از این زنجیر می‌تواند در نقطه‌ای دیگر پیامدهایی را ایجاد کند. پس بی‌راه نیست اگر با بسیاری از متخصصین همراه شویم که چنین نگرشی را طرز تفکر چرخه حیاتی (LCT) می‌دانند (کوران، ۲۰۰۸؛ الاک، ۲۰۰۷). نگرشی که در یک مصرف‌کننده برای گزینش در خرید، در یک تولیدکننده هنگام انتخاب مواد اولیه و فرآیندهای تولید و در یک سیاست‌گزار اقتصادی یا علمی هنگام برنامه‌ریزی و گزینش فرآیندهای جایگزین، همه اجزای نظام چرخه حیاتی محصول را پیش روی او قرار می‌دهد. LCT در سال‌های اخیر در بسیاری از اسناد رسمی مانند سیاست‌های بوم‌شناختی، راهبردهای توسعه، قوانین حفاظت از محیط زیست و سیاست‌های تخصیص یارانه در کشورهای پیشرفته مانند اعضای اتحادیه اروپا، ایالات متحده امریکا، ژاپن، کره جنوبی، کانادا، استرالیا، و در سال‌های نزدیک‌تر هند و سپس چین دیده شده است (کولکزیسکا، ۲۰۰۹؛ گوئینی، ۲۰۱۱). برای مثال در سال ۲۰۰۲ برنامه زیست‌محیطی سازمان ملل متحد.

1- Life Cycle Thinking
2- Cradle to Grave Analysis

۳- واژه محصول (Product) در مبحث روش‌شناسی LCA برای ساده‌سازی به چرخه حیاتی یک فرآیند یا عملیات و فعالیت ویژه نیز اطلاق می‌شود.

جدول ۱-۱- شش روش ارزیابی اثرات زیست‌محیطی به همراه مطالعات موردی و اهداف قابل دست‌یابی از طریق این روش‌ها (برگرفته از پیرادو و وان در ورف، ۲۰۰۵).

روش	مطالعات انجام شده	اهداف و دامنه عمل
EMR[1]	EMR-1: دکونینگ و همکاران (۱۹۹۷)	مدلسازی موازنه عناصر خاک به‌عنوان یک شاخص پایداری: مقیاس ملی (اکوادور).
	EMR-2:گیوپونی و همکاران (۱۹۹۹)	مدلسازی اثر سناریوهای جایگزین استفاده از زمین بر کیفیت آب با مدل GLEAMS و محاسبه شاخص‌های اثرات زیست‌محیطی: ونیز (ایتالیا)
LCA[2]	LCA-1: بیونگا و ون در بیجل (۱۹۹۶)	ارزیابی پایداری بوم‌شناختی و اقتصادی بوم کشت‌های گیاهان زراعی با استفاده از شاخص‌های مختلف مبتنی بر LCA : اروپا.
	LCA-2:گیر و کوپک (۱۹۹۸)	ارزیابی تبدیل کامل نظام‌های زراعی رایج به ارگانیک با استفاده از LCA . برون‌یابی به یک مقیاس منطقه‌ای روستایی (آلمان).
EIA[3]	EIA: رودریگوئز و همکاران (۲۰۰۳)	ارزیابی پایداری تغییر فن‌آوری در کشاورزی به‌وسیله روش EIA. مطالعه مزرعه‌ای- برزیل.
MAS[4]	MAS-1: پتی و همکاران (۲۰۰۱)	ارزیابی کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی به‌وسیله مدل‌های اجتماعی- اقتصادی، زراعی و آب‌شناختی در یک نظام چندعاملی (فرانسه).
	MAS-2: بکو و همکاران (۲۰۰۴)	مدل‌سازی اثر مدیریت حوضه‌های آبی تحت ضرورت‌های اجتماعی و زراعی در یک نظام چندعاملی. در مقیاس حوضه (تایلند).
LP[5]	LP-1: زاندر و کاچل (۱۹۹۹)	بهینه‌سازی نظام‌های متفاوت تولید در سطح مزرعه‌ای به‌وسیله برنامه‌ریزی خطی چندمنظوره. برون‌یابی به یک مقیاس منطقه‌ای (آلمان).
	LP-2: هنسدیک و وان ایترسام (۲۰۰۳)	بهینه‌سازی نظام‌های متفاوت تولید به‌منظور بیشینه‌سازی اهداف تولید همراه با کمینه‌سازی اثرات. مقیاس مزرعه‌ای یا منطقه‌ای (مالی).
AEI[6]	AEI-1: ECNC (۲۰۰۰)	بهبود شاخص‌های "پاسخ"، "وضعیت" و "نیرو محرکه" به‌منظور ارزیابی زیست‌محیطی در سطوح کلان: نظام‌های کشاورزی اروپا.
	AEI-2: رسول و تاپا (۲۰۰۴)	ارزیابی پایداری زراعی به‌وسیله شاخص‌های اجتماعی، اقتصادی و بوم‌شناختی: مناطق خرد (بنگلادش).

1- Environmental risk mapping
2- Life cycle analysis
3- Environmental impact assessment
4- Multi-agent system
5- Linear programming
6- Agro-environmental indicators