مروری بر قابلیت های روش "ارزیابی چرخه حیات" در بررسی چالش های زیست محیطی تولید نان در جهان

مهتا رفیعی[۱]، محمدحسین عباسپورفرد[۲]، آوا حیدری[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مکانیزاسیون، دانشگاه فردوسی مشهد؛ Mahta.rafie@mail.um.ac.ir
[۲]استاد و عضو هیئت علمی، گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه فردوسی مشهد؛ Abaspour@um.ac.ir
[۳]استادیار و عضو هیئت علمی، منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد؛ Haidari@um.ac.ir

چکیده

روش ارزیابی چرخه حیات (LCA) ابزاری است که برای ارزیابی اثرات سوء زیست محیطی ناشی از تولید یک محصول، فرآیند و یا فعالیت مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعه بررسی جامعی بر مطالعات انجام شده در جهان در زمینه تولید نان، که به روش ارزیابی چرخه حیات LCA انجام شده، صورت گرفته تا قابلیت های این تکنیک برای اهداف مورد نظر برجسته و نمایان شود. پژوهش‌های بررسی شده نشان می دهند که در طول چرخه حیات نان، بیشترین اثرات سوء زیست محیطی مربوط به بخش تولید غلات در مزرعه می‌باشد. در این مطالعات آثار مخرب زیست محیطی فرایندهای مختلف زنجیره‌ی تولید نان بررسی شدند و برای کاهش آنها راه‌کارهایی پیشنهاد شده‌است. همچنین اطلاعات قابل اطمینان و جامعی در اختیار سیاست‌گذاران قرار می‌دهند تا بتوانند تصمیمات مناسبی اتخاذ نمایند. با مقایسه بین گزینه‌های موجود، بهترین نان‌ها از نظر اثرات زیست محیطی انتخاب شده، همچنین روش‌های مختلف تولید نان با آسیب‌های زیست‌محیطی و انتشارات کمتر شناسایی می‌شوند. استفاده از نتایج این تحقیقات در راستای دستیابی به اهداف توسعه پایدار منجر به کاهش پیامدهای سوء زیست محیطی و آلاینده‌های ناشی از مراحل تولید نان می‌شود.

کلمات کلیدی: چرخه حیات نان، گرمایش جهانی، اسیدی شدن، اثرات زیست محیطی

A review on capabilities of "Life Cycle Assessment" (LCA) method in examining the environmental challenges of bread production in the world

Mahta Rafie, Mohammad Hossein Abbaspour-Fard, Ava Heidari
Msc student, Dept. of Biosystems Engineering, Ferdowsi university of Mashhad, Mahta.rafie@mail.um.ac.ir
Prof., Dept. of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, abaspour@um.ac.ir
Assistant Prof., Dept. of Natural Resources and Environment, haidari@um.ac.ir

ABSTRACT

Life Cycle Assessment Method (LCA) is used to evaluate environmental impacts of products, process or activity. In this article, a comprehensive review of the studies on bread production by using LCA was carried out, to highlight the capabilities of this technique. Based on researches the cereal production section is the hotspot in the bread life cycle. Environmental effects of processes in the bread chain were studied, and solutions are recommended to minimize these harmful impacts. Also, policy makers are able to choose appropriate decisions using these reliable and comprehensive information. By comparing available options, breads that make less environmental damage and emissions have been selected. In addition, Eco-friendly methods of bread production are identified. Using the results to achieve the aims of sustainable development will reduce the environmental harms and contaminants from the bread production.

Keywords: Bread LCA, Global warming, Acidification, Environmental effects

[۱] نویسنده مسئول مهتا رفیعی، تلفن۰۹۳۹۵۱۵۷۲۰۷، نشانی مشهد خیابان آزادی دانشگاه فردوسی، گروه مکانیک بیوسیستم

۱- مقدمه

ارزیابی چرخه حیات (LCA) به عنوان یک روش پذیرفته شده برای ارزیابی اثرات سوء زیست‌محیطی تولید محصولات در بخش‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. این راه‌کار بر مبنای ارزیابی دو مؤلفه مهم یعنی میزان مصرف منابع و انتشار آلاینده‌ها به محیط زیست تعیین می شود (Roy et al., 2009). ارزیابی چرخه حیات همچنین به ابزاری مناسب برای تعیین میزان تأثیرات زیست‌محیطی در تولید محصولات کشاورزی و صنایع غذایی تبدیل شده است. ارزیابی چرخه حیات روشی است که می‌تواند تمام تأثیرات زیست‌محیطی مرتبط با یک محصول، فرایند یا خدمت و آلاینده‌های منتشرشده، و مواد زائد رها شده ناشی از آن به طبیعت را تعیین کند (Rebitzer et al., 2004).

سازمان استاندارد جهانی در استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰ ارزیابی چرخه حیات را به صورت گردآوری و ارزیابی دروندادها (نهاده ها)، بروندادها (محصول تولیدی) و پیامدهای بالقوه زیست‌محیطی یک محصول در سراسر چرخه‌ی حیات آن تعریف میکند. اعتقاد بر این است که ارزیابی چرخهٔ حیات، اثرات زیست محیطی اجزای نظام های تولید را بررسی و به دنبال آن بهترین نظام تولیدی را معرفی میکند (Consoli et al., 1993)

بر اساس آمار سازمان خوار و بار جهانی FAO در سال ۲۰۱۳ تولید جهانی گندم تقریبا ۷۰۰ میلیون تن بوده است. گندم در الگوی غذایی سه چهارم جمعیت جهان، به دلیل مغذی و ارزان بودن نسبت به سایر مواد غذایی مشابه، جایگاه خاصی دارد. ضمن اینکه مهم‌ترین مورد مصرف گندم به صورت نان و فراورده‌های آن است. نان اصلی‌ترین غذای سفره‌ی مردم بسیاری از کشورهای جهان می‌باشد. وجود مصرف‌کنندگان در تمام نقاط دنیا نشانگر نقش مهم نان در تغذیه بین‌المللی است.

با توجه به اینکه نان غذای اصلی مردم است و درنتیجه مصرف سالانه این ماده غذایی در جهان قابل توجه بوده و برای تولید آن مقدار زیادی از منابع و انرژی مصرف می شود؛ تامین این مقدار از منابع و انرژی منجر به کاهش منابع مختلف (مانند سوخت‌های فسیلی و مواد معدنی)، تولید مقادیر متنابهی از گازهای گلخانه ای و انتشار آلاینده‌ها و تولید ضایعات می شود. بنابراین ارزیابی اثرات زیست محیطی ناشی از تولید نان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می باشد. در سالهای اخیر بحث توسعه پایدار محیط زیستی به‌طور گسترده‌ای افزایش‌یافته است که به معنای نوعی توسعه است که نیازهای زمان حال را برآورده می‌سازد، بدون آنکه توانایی نسل‌های آینده در راستای تأمین نیازهایشان را به خطر اندازد.

در این مقاله به گردآوری و بررسی مطالعات و مقالاتی که به ارزیابی چرخه حیات تولید نان در نقاط مختلف دنیا به روش LCA انجام گرفته، پرداخته شده است. هدف از این بررسی برجسته نمودن توانایی‌های این تکنیک در براورد اثرات سوء روش‌های تولید نان و سهم آن در تشدید معضلات جهانی مثل انتشار آلاینده ها و گرمایش جهانی است.

۲- مواد و روش‌ها

در مطالعه حاضر سعی بر آن شده که کلیه مقالات مرتبط از منابع مختلف جمع آوری شود و روش‌ها، واحدهای کارکردی، اثرات زیست محیطی مختلف و نقاط ضعف و قدرت کار بررسی شود که جزئیات آن در ادامه ذکر می‌شود.

در تحقیقی اثرات زیست محیطی نان سفید در کشور سوئد در چهار مقیاس پخت خانگی، نانوایی محلی و پخت نان صنعتی در دو مقیاس کوچک و بزرگ بررسی شد. هدف از این مطالعه مقایسه روش‌های مختلف تولید نان و تاثیر آنها بر محیط زیست بود. روش بکار رفته در این تحقیق دامنه گسترده ای از فعالیت های مختلف شامل کشت گندم در مزرعه تا مصرف نان در انتهای زنجیره کامل تولید تا مصرف بود. مولفه های مورد بررسی شامل تولید نهاده‌های کشاورزی مورد نیاز برای کاشت گندم، آسیاب (فرایند تولید آرد گندم)، نهاده های مورد نیاز برای پخت و بسته‌بندی نان، حمل و نقل، فاز مصرف (استفاده توسط مشتری) و مدیریت پسماندها بود. گروه‌های تاثیر مورد ارزیابی نیز شامل گرمایش جهانی[2]، اسیدی شدن[3]، پرغذایی آب[4] و تولید اکسنده‌های فتوشیمیایی[5] بودند. میزان عملکرد مزارع، مقدار کودهای شیمیایی و میزان نیتروژن مازاد مصرفی از منابع مختلف و مدل‌های مربوط به منطقه برآورد شد و داده‌های مربوط به پخت خانگی با اندازه‌گیری مستقیم به دست آمدند. با توجه با اینکه یکی از اهداف مطالعه‌ی آنها مقایسه چهار نظام تولیدی مختلف بر مبنای مقیاس تولید بود و مقادیر مواد اولیه‌ی تولید نان در همه‌ی سطوح دارای نسبت تقریبا برابر بود، از بین مواد مصرفی فقط آرد و آب را در محاسبه لحاظ کردند. به نظر می‌رسید که به دلیل ناچیز بودن مقدار سایر مواد ورودی به ازای واحد کارکردی[6] یک کیلوگرم نان و تاثیرگزاری اندک آنها در نتیجه‌ی نهایی از محاسبات مربوطه چشم‌پوشی شد. از نکات برجسته این بررسی لحاظ نمودن

[1]Life cycle assessment
[2]Global warming
[3]Acidification
[4]Water Eutrophication
[5]Photo-oxidant formation
[6]Functional unit

حمل و نقل همه مواد اولیه به نانوایی و بسته‌بندی آن‌ها بود. ماشین‌های موجود در مراحل تولید، عمده فروشان و خرده فروشان از آنجاییکه در نتایج نهایی تاثیرگذار نبودند، در نظرگرفته نشدند. روش های تولید الکتریسیته مصرفی در محاسبات لحاظ شد و منابع الکتریسیته سوئد، نیروگاه‌های آبی و هسته‌ای فرض شد. در همه‌ی بخش‌های مورد مطالعه، زیرشاخه فعالیت های زراعی و کشاورزی، برای اغلب گروه‌های تاثیر بیشینه بود و بیش از ۲۰٪ مقدار آلاینده‌ها را به خود اختصاص داده بود. ایشان اظهار داشتند که پخت نان به صورت صنعتی در مقیاس بزرگ به انرژی بیشتری نیاز دارد و نسبت به سه روش تولیدی دیگر بیشتر باعث گرمایش جهانی، اسیدی شدن و پرغذایی می‌شود. در سه مقیاس پخت خانگی (استفاده از نفت)، نانوایی محلی و پخت نان صنعتی در مقیاس کوچک (استفاده از الکتریسیته)، پخت خانگی انرژی بیشتری مصرف می‌کند که دلیل آن می‌تواند استفاده از سوخت‌های فسیلی باشد، اما از نظر بقیه‌ی گروه‌های تاثیر باهم اختلاف معنی‌داری نداشتند (Andersson & Ohlsson., 1999).

براکات و همکارانش هشت روش مختلف تولید نان به وسیله‌ی روش LCA مورد بررسی قرار دادند. بدین صورت که روش های مختلف زراعت و تولید محصول (مرسوم، ارگانیک)، فن‌آوری‌های مختلف آسیاب کردن (آسیاب‌های صنعتی، آسیاب‌های غیرصنعتی) و فن‌آوری‌های مختلف پخت (نانوایی صنعتی، نانوایی محلی، نان خانگی) را در نظرگرفتند. ایشان سناریوی متشکل از گندم ارگانیک، استفاده از آسیاب صنعتی و پخت نان در مقیاس بزرگ صنعتی را به عنوان بهترین روش برای تولید نان با توجه به مقادیر اثرات زیست‌محیطی پیشنهاد کردند. با این وجود، استفاده از گندم ارگانیک، مستلزم استفاده از زمین بیشتر نسبت به گندم مرسوم می‌باشد. یعنی در همه‌ی گروه‌های تاثیر بجز زمین مورد استفاده نتیجه بهتری داشت. بیشترین انرژی ورودی مربوط به مرحله تولید و پخت نان در همه‌ی روش‌ها بود که ۶۴ ٪ انرژی را به خود اختصاص می‌داد. در مرحله تولید گندم در همه سناریوها شاخص‌های پرغذایی، اسیدی شدن و کاهش لایه‌ی ازن[1]تأثیر بسزایی داشتند. علاوه بر موارد ذکر شده، حمل و نقل غله، آرد و نان برای همه سناریوها مهم ارزیابی شد(Braschkat et al., 2003).

پروژه‌ای تحت حمایت سیاست‌های پژوهشی سازمان برنامه‌ریزی فدرال بلژیک برای ارزیابی زیست‌محیطی تولید و مصرف نان با روش LCA برای سالهای ۱۸۰۰ ، ۱۹۰۰ و ۲۰۰۰ انجام گرفت. واحد کارکردی، یک کیلوگرم نان در نظر گرفته شد. در مقایسه‌ی بین سال‌های ۱۸۰۰ و ۲۰۰۰ گروه‌های تاثیر گرمایش جهانی و اکسیداسیون فتوشیمیایی در سال ۱۸۰۰ به علت انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از احتراق چوب بسیار بالاتر بود. از طرف دیگر در سال ۲۰۰۰ مشکل اسیدی شدن و پرغذایی به مقدار زیادی نمایان بود، که عمدتا ناشی از تولید و مصرف انواع کود برای تولید غلات بود. از آنجایی‌که همه‌ی داده‌های مورد نیاز مربوط به سال ۱۹۰۰ موجود نبود (احتمالا به دلیل همزمانی با وقوع جنگ‌های جهانی) ، تنها میزان انتشار CO ، CO_2 و SO_2 برای مقایسه‌ی سال‌های ۱۸۰۰، ۱۹۰۰ و ۲۰۰۰ در نظرگرفته شد. بررسی ها نشان دادند که میزان انتشار این آلاینده‌ها بهبود قابل توجهی در سال ۲۰۰۰ داشته اند. بعبارتی بالاترین سطح این انتشارات مربوط به سال ۱۹۰۰ و پس از آن در سال ۱۸۰۰ اتفاق افتاده است. این امر به دلیل استفاده از زغال‌سنگ برای حمل و نقل غلات توسط کشتی‌ها و قطارهای بخار از ایالات متحده آمریکا در سال ۱۹۰۰ و از طرفی به میزان کم به دلیل احتراق در فرآیندهای آسیاب و پخت بوده است. در سال ۲۰۰۰، میزان انتشار CO و CO_2 به مصرف انرژی برای تولید کود، فرآیند پخت نان و توزیع به مصرف کننده مرتبط شده است. انتشار SO_2 نیز به طور عمده به انرژی مورد استفاده در فرآیند پخت مربوط می‌شود (Van Holderbeke et al., 2004).

گرونروس و همکارانش میزان انرژی مصرف شده در تولید نان چاودار و نان حاوی شیر ارگانیک و معمولی در کشور فنلاند را به روشLCA مورد مطالعه قرار داند. بخش های مختلف مورد بررسی تولید این نان‌ها عبارت بودند از: بخش تولید زراعی گندم، سوخت، برق، کود، و مراحل فراوری شیر و نان. حمل و نقل مواد سوختی، مواد خام و محصولات نهایی نیز مورد توجه قرار گرفتند. میزان مصرف انرژی اولیه به ازای واحد کارکردی هر ۱۰۰۰ لیتر شیر در تولید شیر معمولی به طور متوسط به میزان GJ ۶/۴ و درتولید شیر ارگانیک GJ ۴/۴ محاسبه شد. همچنین مصرف انرژی به ازای واحد کارکردی هر ۱۰۰۰ کیلوگرم نان چاودار، برای نان معمولی GJ ۱۵/۳و برای نان ارگانیک GJ ۱۳/۳ بود. در تولید نان معمولی، ۸٪ کل انرژی مورد نیاز در مزرعه مورد استفاده قرار می‌گرفت. در تولید نان ارگانیک، از آنجایی که کود شیمیایی استفاده نمی شود (که در تولید معمولی در مرحله داشت به محصول داده میشود)، نسبت عملیات برداشت در مزرعه بالاتر بود (۱۱٪). برق مورد استفاده در نانوایی ۴۲ درصد کل مصرف انرژی را در تولید نان معمولی بخود اختصاص داد. در تولید نان ارگانیک، سهم انرژی مصرفی برای پخت نانوایی تا حدودی بالاتر بود، زیرا مصرف کل انرژی در سیستم کمتر است. اگر سوخت‌های مورد استفاده در نانوایی نیز مورد توجه قرار گیرند، مصرف کل انرژی در نانوایی به ترتیب ۶۷ و ۷۷ درصد کل مصرف انرژی اولیه در سیستم های تولید نان معمولی و ارگانیک است. سهم منابع انرژی تجدیدپذیر به طور متوسط ۷٪ برآورد شد که برای نان ارگانیک نسبتا بالاتر بود. بنابراین تغییرات در الگوهای مصرف انرژی نانوایی ها سریع‌ترین راه برای تأثیر بر مشخصات انرژی نان می‌باشد (Gronroos et al., 2006).

در پژوهشی در استکهلم سوئد تولید نان در مقیاس صنعتی و خانگی با هدف مقایسه چرخه حیات با واحد کارکردی یک کیلوگرم نان، مورد بررسی قرار گرفت. آنها مراحل کاشت و برداشت گندم، آسیاب گندم، تولید نان و حمل و نقل را در نظر گرفتند. شاخص‌های گرمایش جهانی، کاهش

[1]Ozone depletion

لایه ازن، اسیدی شدن، پرغذایی و مسمومیت انسان[1] با استفاده از نرم افزار سیما پرو۶[2] و روش CML2 baseline 2000 مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق از اثرات زیست محیطی خشک کردن و نگهداری گندم چشم‌پوشی شد. جذب کربن در تولید گندم لحاظ شد اما بازگشت آن به محیط زیست در نظر گرفته نشد. همچنین فرض شد محل نگهداری ماشین های کشاورزی، کود، بذر و سموم مورد مصرف، در داخل مزرعه می‌باشد. آلایندگی‌های ناشی از کودهای شیمیایی نیز لحاظ نشد. بسته بندی و استفاده از وسایل نقلیه برای خرید نان فقط برای نانوایی صنعتی در نظر گرفته شد. در نانوایی خانگی تهیه خمیر، چانه گیری و قالب گیری به صورت دستی انجام می‌شد و انرژی الکتریکی در مرحله پخت نان مورد استفاده قرار می‌گرفت. در حالی‌که در نانوایی صنعتی همه‌ی مراحل توسط انرژی الکتریکی انجام می‌گرفت. بررسی مقایسه‌ای مصرف انرژی الکتریکی نشان داد که با هر بار روشن کردن فر در روش خانگی ۶ قرص نان و در روش صنعتی ۱۰۰ قرص نان تولید می‌شد، در نتیجه انرژی مصرفی برای یک کیلوگرم نان در پخت خانگی بیشتر از روش صنعتی بدست آمد. در همه شاخص‌های زیست محیطی بیشترین تأثیر مربوط به تولید گندم در مزرعه و تبدیل آن به آرد و همینطور انرژی الکتریکی بود. شاخص پرغذایی در هر دو روش برابر بود اما شاخص‌های دیگر در روش صنعتی با اختلاف کم، وضعیت بهتری داشتند. شاخص گرمایش جهانی در هر دو روش منفی گزارش شد که با توجه به اینکه جذب کربن توسط گندم بدون در نظر گرفتن بازگشت آن به محیط لحاظ شده است، قابل پیش بینی بود (Bimpeh et al., 2006).

محققان در پژوهشی در ایالات متحده آمریکا، به کمک روش LCA شاخص پتانسیل گرمایش جهانی برای تولید گندم معمولی و ارگانیک را باهم مقایسه کردند. آنها اثرات نهاده‌های کشاورزی، کشت غلات و فرآیند حمل و نقل به‌صورت مقایسه‌ای بررسی نمودند. پتانسیل گرمایش جهانی برای واحد کارکردی یک کیلوگرم نانی که آرد آن از گندم ارگانیک بود، ۳۱gCo_2 کمتر از نانی ست که از گندم معمولی تولید می‌شود (Meisterling et al., 2009). در این پژوهش تنها به تولید میزان گرمایش جهانی توجه شده و به سایر اثرات زیست محیطی توجهی نشده است در نتیجه ممکن است گندم ارگانیک از این جنبه اثر سوء زیست محیطی کمتری نسبت به گندم معمولی داشته باشد اما در بقیه موارد لزوما اینطور نباشد.

اسپینوزا و همکاران در تحقیقی میزان ردپای کربنی تولید شده در چرخه حیات نان در انگلستان برای واحد کارکردی یک قرص نان به وزن ۸۰۰ گرم را مورد بررسی قرار دادند. پارامترهایی شامل کشورهای مبدا گندم (انگلستان، کانادا، فرانسه، آلمان، اسپانیا و ایالات متحده آمریکا)، نوع آرد و نوع بسته بندی مدنظر قرارگرفت. نتایج نشان دادند که میزان کربن تولید شده در محدوده‌ی ۹۷۷ g CO_2 eq تا ۱۲۴۴ بود که ۳۵ ٪ از کل کربن تولید شده مربوط به کشت و تولید گندم و ۲۵ ٪ آن مربوط به مصرف نان (ذخیره و منجمد کردن) برآورد گردید. برآورد ردپای کربن[3] معمولا برای برچسب زدن و اعلام برروی محصولات به منظور نمایش میزان اثرات سوء زیست محیطی آن، استفاده می‌شود. همچنین برای تصمیم‌گیری داخلی توسط شرکت‌ها و شناسایی نقاط بیشینه‌ی تولید CO_2 در فرایندهای مختلف و فرصت‌های بهبود، مناسب است که گاهی می‌تواند در سطح ملی تاثیرگذار باشد (Espinoza et al., 2011).

در پژوهشی به بررسی اثرات زیست محیطی تولید نان از ابتدا تا انتها (گهواره تا دروازه) در سه مرحله فعالیت‌های مربوط به پیش از مزرعه، در مزرعه و سپس تولید نان در کشور نروژ پرداخته شده است. از آنجایی که تمرکز بر تولید متعارف غلات بود، دو مزرعه ارگانیک (بدون استفاده از کود های شیمیایی) را نادیده گرفتند. آنها اثرات زیست محیطی تولید محصولاتی شامل جو، یولاف، گندم زمستانه و گندم بهاره را در ۹۳ مزرعه که نماینده‌ی مناطق اصلی تولید غلات در نروژ بودند، محاسبه کردند. سپس زنجیره ای از تولید نان را در نظر گرفتند که شامل فرایندهای حمل و نقل، آسیاب، پخت و بسته‌بندی بود. واحد کارکردی برای مرحله اول این تحقیق که از گهواره تا دروازه مزرعه بود، برابر با یک کیلوگرم از غلات و واحد کارکردی مربوط به مرحله تولید نان معادل با یک کیلوگرم نان در نظر گرفته شد. ده گروه تاثیر شامل گرمایش جهانی، پرغذایی آب شیرین[4]، پرغذایی آب دریا[5]، اسیدی شدن خشکی، تخلیه‌ی منابع فسیلی[6]، سمیت برای آب شیرین، سمیت برای آب دریا، سمیت برای خشکی و سمیت برای انسان مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد فرآیندهای مزرعه ای سهم بسزایی از اثرات زیست محیطی مربوط به تولید نان را تشکیل می دهند. بنابراین در تغییر و بهبود مدیریت مزرعه پتانسیل قابل توجهی برای کمتر شدن اثرات زیست محیطی وجود دارد. در کل برای هر کیلوگرم نان، پتانسیل گرمایش جهانی با بیشترین تاثیر معادل ۰/۹۵ kg CO_2 eq برآورد گردید. در بین مولفه های تولید نان سهم اثرات زیست محیطی حمل و نقل کمترین مقدار بود (Korsaeth et al., 2012). در این مطالعه تعداد زیادی از گروه‌های تاثیر درنظر گرفته شده اند که نتایج جامع‌تری در اختیار سیاست‌گذارن، تولیدکنندگان و مصرف کنندگان قرار می‌دهد. استفاده از نرم افزار سیماپرو و پایگاه‌های داده، در داشتن این نتایج به صورت دقیق‌تر و قابل اتکا نقش بسیار موثری دارند.

---

[1] Human toxicity
[2] Simapro 6
[3] Carbon footprint
[4] Freshwater eutrophication
[5] Marin eutrophication
[6] Fossil fuel depletion

در تحقیقی دیگر محققان برای یافتن سهم هر یک از مراحل تولید نان بر شاخص‌های زیست محیطی، به بررسی چرخه حیات آن پرداختند. در این مطالعه شاخص‌های گرمایش جهانی، مسمومیت آب، اسیدی شدن، زمین مورد استفاده[1]و تخلیه منابع فسیلی مورد بررسی قرار گرفتند. آنها دریافتند که مرحله تولید گندم نقش بسزایی در شاخص‌های زیست محیطی دارد و برای بهبود شاخص‌های اسیدی شدن، انرژی مصرفی و مسمومیت آب و هوا، تغییر نوع کودها و یا محل تولید آنها می‌تواند موثر باشد. همچنین مراحل تولید مواد اولیه، انبارداری و حمل و نقل به میزان زیادی باعث افزایش آلاینده‌های زیست محیطی در مراحل مختلف تولید نان شناسایی شدند. در بین مواد اولیه آرد با سهم ۳۶ تا ۹۰ ٪ دارای بیشترین سهم در شاخص‌های نهایی تولید نان معرفی شد. انرژی مصرفی نیز در مرحله تولید گندم از مراحل دیگر بسیارکمتر بود (Maupu et al., 2012).

نوتارنیکلا و همکارانش میزان مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ۲۱ نوع نان مختلف در اتحادیه اروپا به روش ارزیابی چرخه حیات از گهواره تا دروازه‌ی نانوایی با سه واحد کارکردی مختلف مورد بررسی قرار دادند. اولین واحد کارکردی معادل یک کیلوگرم نان در نظر گرفته شد. میزان انرژی مصرفی ۲۱ نوع نان از ۹MJ تا ۳۲/۹MJ تخمین زده شد. شاخص پتانسیل گرمایش‌جهانی حداقل ۰/۵ kg CO_2 eq و حداکثر ۶/۶ kg CO_2 eq بدست آمد. از آنجایی که این واحد کارکردی مبتنی بر وزن می‌باشد، مواد تشکیل دهنده نان یعنی آرد، مخمر و آب مورد توجه قرار گرفته است. واحد کارکردی دوم معادل ۱۰۰ کیلوکالری بود که از مصرف مقدار مشخصی نان که در بدن به انرژی تبدیل می‌شود، به وجود می‌آید. نتایج برای مصرف انرژی از ۰/۳۳ MJ تا ۰/۹۳ MJ و شاخص پتانسیل گرمایش جهانی از ۰/۰۱۹ kg CO_2 eq تا ۰/۱۳۵ kg CO_2 eq متغیر بود. ارزیابی نان با این واحد کارکردی بر پایه انرژی به وجود آمده توسط انواع نان حاوی روغن های گیاهی و مواد حیوانی است. برای واحد کارکردی که مقدار نان خریداری شده با یک یورو می‌باشد، نتایج انرژی از ۱/۱۹۷ MJ تا ۳/۷۰۸ MJ و شاخص پتانسیل گرمایش جهانی از ۰/۱۵ kg CO_2 eq تا ۰/۳۷۶ kg CO_2 eq متغیر بود. واحد کارکردی مبتنی بر قیمت نشان می‌دهد که انواع نان با قیمت های بالاتر که با مواد گران‌تر تولید می شوند، از نظر محیط زیست کارآمدتر و پایدارتر هستند. برای بسیاری از انواع نان و انواع واحد کارکردی، مصرف انرژی در مرحله تولید، به‌ویژه فرآیند پخت، بیشینه است و به اندازه و شکل نان بستگی دارد (Notarnicola et al., 2017).

۳- نتایج و بحث

پژوهش‌های بررسی شده نشانگر آن است که تولید غلات (گندم) نقطه بیشینه در چرخه حیات تولید نان است و LCA می تواند به شناسایی گزینه‌های پایدارتر کمک کند.

در اکثر تحقیقات صورت گرفته در زمینه ارزیابی چرخه حیات نان، واحد کارکردی برابر با یک کیلوگرم نان در نظر گرفته شده است. این موضوع مقایسه این تحقیقات را ساده‌تر می‌کند. در جدول ۱ برخی از نتایج مربوط به شاخص‌های زیست محیطی مورد بررسی در فرایند تولید نان در تحقیقاتی که دارای واحد کارکردی یک کیلوگرم نان بوده اند، نشان داده شده است.

با مطالعه پژوهش‌هایی که با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات بر روی فرایند تولید نان از جنبه‌ها و دیدگاه‌های متنوع در نقاط مختلف دنیا به خصوص در کشورهای اروپایی، که در مقوله محیط زیست سرآمد هستند، انجام پذیرفته است، می‌توان به اهمیت این حیطه از موضوعات تحقیقاتی پی برد. در این مطالعات پس از تحلیل نتایج بدست آمده ، مقایسه بین گزینه‌های موجود انجام گرفته و برای کاهش اثرات زیست محیطی راه‌کارهایی پیشنهاد شده‌است. این پژوهش‌ها به سیاست‌گذاران کمک می‌کند تا گزینه‌هایی را انتخاب نمایند که تأثیرات زیست‌محیطی کمتری دارند و اطلاعات قابل اطمینان و جامعی را در اختیارشان قرار می‌دهد و برای کاهش میزان انتشارات نیز راه‌کارهایی ارائه می‌دهد که منجر به توسعه پایدار خواهد شد. نتایج این تحقیقات موجب کاهش پیامدهای سوء زیست محیطی بهبود امنیت غذایی و افزایش سلامت اکوسیستم و انسان می‌شود.

[1]Land use

جدول ۱- خلاصه نتایج بدست آمده از تحقیقات بر روی شاخص های زیست محیطی تولید نان

Table 1. summary of the researches results on the bread environmental indicators

scale	Andersson & Ohlsson.,1999					Braschkat et al., 2003		Bimpeh et al.,2006	
	Industrial bakery 1 (Natural gas)	Industrial bakery 2 (electricity)	Local bakery	Home baking		Organic	Conventional	Industrial bakery	Home baking
				oil	electricity				
Primary energy (MJ/Kg)	22	14	12	17	18	4.5 – 8.5	3.8 - 8	---	---
Global warming (g CO_2- eq)	940-1000	630-640	660-670	630-650	530-540	450-700	250-500	-501	-560
Ozone depletion	---	---	---	---	---	0.5 gN_2O/Kg	0.01-0.02 gN_2O/Kg	$4.27*10^{-8}$ SFS-11eq	$4.14*10^{-8}$ SFS-11eq
Acidification	0.15 – 0.17 mol H^+	0.1 mol H^+	0.10 – 0.11 mol H^+	0.090 – 0.094 mol H^+	0.078-0.082 mol H^+	2/4-2/6 SO_2-eq/Kg	0.8-1 SO_2-eq/Kg	0.00514 Kg SO_2-eq	0.00498 Kg SO_2-eq
Eutrophication	160 g O_2	99 g O_2	120 g O_2	89 g O_2	88 g O_2	3.8-4 gPO_4-eq	0.1-0.11 $KgPO_4$- eq	0.0021 $KgPO_4$- eq	0.00421 $KgPO_4$- eq
Photo-oxidant formation (g ethen-eq)	1.8	1.7	1	1.5	1.5	---	---	---	---
Land use (m^2/kg)	1.8	1.6	2.1	1.5	1.5	1.2	1.7	---	---

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه طبق آمارهای جهانی ایران کشوری است که متاسفانه سهم قابل توجهی در تشدید معضل گرمایش جهانی دارد، در گزارش سازمان FAO ، ایران جزء ۱۵ کشوری که بیشترین تولید گازهای گلخانه‌ای را در فرآیند تولید مواد غذایی دارند، قرار گرفت. شکی نیست که با ادامه این روند فشارهای سیاسی و بین المللی و افکار عمومی جهانی بر ایران به صورت جدی بروز خواهد کرد، کمااینکه این فشارها از هم اکنون شروع شده است. درنتیجه محققین باید بدنبال راهکارهای موثرتر برای کاهش بار گرمایش جهانی و مخاطرات زیست محیطی شوند. از آنجایی که ایران یکی از بزرگترین مصرف‌کنندگان نان در جهان است، صنایع و فرآیندهای تولید نان در مقیاس های مختلف، بخش قابل توجهی از انرژی مصرفی و درنتیجه بار گرمایش جهانی را به‌خود اختصاص می دهد. بنابراین این بخش یکی از گزینه هایی ست که با بهبود فرایندهای آن می توان میزان مصرف انرژی را کاهش داد و از این طریق به کاهش سهم ایران در گرمایش جهانی کمک نمود. بررسی منابع نشان داد که بر روی محصولات اولیه مورد نیاز برای تولید نان مثل گندم و جو و غیره مطالعاتی در شهرهای مختلف ایران به کمک روش LCA صورت گرفته است (Fallahpour et al., 2012; Taghavifar & Mardani., 2015; Houshyar & Grundmann., 2017) اما برای تحقیقات بر روی انرژی مصرفی و اثرات زیست محیطی تولید نان به صورت مطالعه موردی در شهرها یا استان‌ها و انواع نان‌های سنتی و صنعتی در مقیاس‌های متفاوت جای کار دارد. استفاده از نتایج این تحقیقات در راستای دستیابی به اهداف توسعه پایدار منجر به کاهش پیامدهای سوء زیست محیطی و آلاینده‌های ناشی از مراحل تولید نان می‌شود.

۵- مراجع

Andersson, K., & Ohlsson, T. (1999). *Life cycle assessment of bread produced on different scales*. The International Journal of Life Cycle Assessment, 4(1), 25-40.

Bimpeh, M., Djokoto, E., Doe, H., & Jequier, R. (2006). *Life Cycle Assessment (LCA) of the Production of Homemade and Industrial Bread in Sweden*. KTH, Life Cycle Assessment Course (1N1800).

Braschkat, J., Patyk, A., Quirin, M., & Reinhardt, G. A. (2004). *Life cycle assessment of bread production-a comparison of eight different scenarios*. DIAS report, 9.

Consoli, F., Allen, D., Boustead, I., Fava, J., Franklin, W., Jensen, A. A., de Oude, N., Parrish, R., Perriman, R., Postlethwaite, D., Quay, B., Séguin, J. and Vignon, B. (1993). *Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practice'*. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), Brussels.

Espinoza-Orias, N., Stichnothe, H., & Azapagic, A. (2011). *The carbon footprint of bread*. The International Journal of Life Cycle Assessment, 16(4), 351-365.

Fallahpour, F., Aminghafouri, A., Behbahani, A. G., & Bannayan, M. (2012). *The environmental impact assessment of wheat and barley production by using life cycle assessment (LCA) methodology*. Environment, development and Sustainability, 14(6), 979-992.

Grönroos, J., Seppälä, J., Voutilainen, P., Seuri, P., & Koikkalainen, K. (2006). *Energy use in conventional and organic milk and rye bread production in Finland*. Agriculture, ecosystems & environment, 117(2), 109-118.

Houshyar, E., & Grundmann, P. (2017). *Environmental impacts of energy use in wheat tillage systems: A comparative life cycle assessment (LCA) study in Iran*. Energy, 122, 11-24.

ISO (International Organization for Standardization). (2006). *ISO 14040: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework*; ISO: Geneva, Switzerland.

Korsaeth, A., Jacobsen, A. Z., Roer, A. G., Henriksen, T. M., Sonesson, U., Bonesmo, H., ... & Strømman, A. H. (2012). *Environmental life cycle assessment of cereal and bread production in Norway*. Acta Agriculturae Scandinavica, Section A–Animal Science, 62(4), 242-253.

Maupu, P., Berthoud, A., Négri, O., Leguereau, B., Gely, B., & Poupart, A. (2012). *Traceability of environmental information all along the cereal industry: from the wheat field to the bakery*. In Proceedings 2nd LCA Conference (Vol. 6, p. 7).

Meisterling, K., Samaras, C. & Schweizer, V. (2009). *Decisions to reduce greenhouse gases from agriculture and product transport: LCA case study of organic and conventional wheat*. Journal of Cleaner Production, 17, 222-230.

Notarnicola, B., Tassielli, G., Renzulli, P. A., & Monforti, F. (2017). *Energy flows and greenhouses gases of EU (European Union) national breads using an LCA (Life Cycle Assessment) approach*. Journal of Cleaner Production, 140, 455-469.

Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T. et al., (2004). *Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications*. Environment International 30, 701- 720.

Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., & Shiina, T. (2009). *A review of life cycle assessment (LCA) on some food products.* Journal of food engineering, 90(1), 1-10

Taghavifar, H., & Mardani, A. (2015). *Energy consumption analysis of wheat production in West Azarbayjan utilizing life cycle assessment (LCA).* Renewable Energy, 74, 208-213.

Van Holderbeke, M., Sanjuán, N., Geerken, T., & De Vooght, D. (2004). *The history of bread production: using LCA in the past. N. Halberg and Danish Institute of Agricultural Sciences, ed.* Life Cycle Assessment in the Agri-food, 255-260.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران