اصول حاکم بر مطالعات بهره وری انرژی توصیه شده توسط استاندارد های علمی

محمد علی میسمی[۱]، ورنر برگ[۲]

۱- عضو هیئت علمی گروه ماشین های کشاورزی دانشگاه تبریز E-mail: maysami_ma@yahoo.com

۲- عضو هیئت علمی انستیتو تحقیقاتی آ. ت. ب پتسدام، آلمان E-mail: wberg@atb-potsdam.de

چکیده

تصمیم بر ادامه استفاده از روش ها و فناوری های متداول یا ضرورت رسیدن به یافته های جدید و بکارگیری آنها مستلزم ارزیابی های جامع از اثرات آنها در ابعاد مختلف است. بهره وری انرژی در تولید یکی از مباحثی است که ارتباط مستقیمی با ابعاد اقتصادی و زیست محیطی دخیل در فناوری بکار رفته و نیز سیاست گذاری های تولید در سطح خرد و کلان دارد. ارزیابی بهره وری انرژی در دنیا به دهه ۱۹۷۰ و بحران انرژی روی داده در این سالها بر می گردد و با توجه به اهمیت روز افزون مباحث مربوط به مصرف منابع انرژی از جمله عوامل اقتصادی، سیاسی و زیست محیطی اهمیت روز افزونی پیدا کرده است. روش های بکار رفته در این نوع ارزیابی همواره رو به تکامل بوده و منجر به تبیین استاندارد های مختلف در سطوح ملی و بین المللی گردیده است. در ایران نیز ارزیابی بهره وری انرژی در دهه گذشته مورد توجه قرار گرفته و تحقیقات متعددی بدان پرداخته است. بررسی این تحقیقات وجود پراکندگی در روش های بکار رفته، استفاده از مفاهیم و تعاریف متفاوت و نتیجه گیری های مختلف را نشان می دهد که امکان مقایسه مناسب بین یافته ها با یکدیگر و برداشت یکسان را دچار خدشه کرده است. در این مقاله سعی بر آن است که با بررسی استاندارد ها و روش های توصیه شده علمی در این رابطه، از جمله استانداردهای بین المللی ایزو و VDI، تلاشی در جهت ارایه راهکارهای مناسب برای استاندارد سازی مطالعات آینده در این زمینه صورت گیرد.

واژه های کلیدی: ایران، بهره وری انرژی، روش های استاندارد

مقدمه

ارزیابی روش ها و فناوری های متداول یا یافته های جدید در امر تولید بر اساس مباحث اقتصادی و بوم شناسی (اکولوژیکی) همواره یکی از ضروریات علمی بوده است. درکنار ارزیابی عوامل اقتصادی که از دیرباز در مورد هر فرآیندی مطرح بوده است در دهه های اخیر مباحث بوم شناسی از جمله بهره وری انرژی و آلایندگی زیست محیطی نیز جزو ابعادی هستند که باید در نظر گرفته شوند. روش های ارزیابی بوم شناسی همواره در حال تدوین و تکامل هستند.

تولید محصولات کشاورزی نیز همچون سایر صنایع وابسته به استفاده از منابع انرژی است. با توجه به افزایش جمعیت جهان، تقاضا به مواد غذایی نیز در حال رشد است و این رشد به دلیل افزایش سطح رفاه، فزاینده تر از رشد جمعیت می باشد. این در حالی است که منابع طبیعی در دسترس از جمله آب و خاک بدلیل فرسایش و گسترش زیر ساخت ها از لحاظ کیفیت و کمیت در حال کاهش می باشند (Steinfeld *et al*., 2006). جهت جبران کاهش در منابع آبی و خاکی و افزایش تولید نیاز به مصرف بیشتر انرژی می باشد. از طرف دیگر منابع انرژی های متداول نیز در حال کاهش بوده و قیمت آن در حال افزایش است. همچنین مسایل زیست محیطی مرتبط با مصرف انرژی های متداول فشار فزاینده ای برای کاهش مصرف انرژی وارد می کند. برای غلبه بر این چالش ها در بخش کشاورزی نیاز به ارزیابی و سپس تلاش برای افزایش بهره وری انرژی می باشد که ارتباط مستقیمی با کاهش آلودگی و تغییرات آب و هوایی دارد (Varone and Aebischer, 2001).

بهره وری انرژی نخستین بار بعد از بحران انرژی در سال های ۱۹۷۰ مورد توجه جدی قرار گرفت (Zuberman, 2009). در ابتدا مسایل اقتصادی و سیاسی و در مراحل بعد مسایل زیست محیطی مرتبط وابستگی فرآیند های تولید به منابع انرژی را مورد توجه قرار دادند. دیوید پیمنتل، هوارد ادوم و روبرت کنستانزا[1] جزو پیشتازان ارزیابی بهره وری انرژی در کشاورزی (Zuberman, 2009). افزایش مطالعات انفرادی در زمینه بهره وری انرژی باعث شد تا در سال ۱۹۷۴ فدراسیون بین المللی انستیتو های مطالعات پیشرفته (ایفیاس[2]) با هدف تبیین استانداردها، تعاریف و قراردادهای واحدی در این زمینه کارگاهی در استکهلم برگزار کند(IFIAS, 1975). ادامه تکامل روش ارزیابی منجر به تبیین الگو ها و استاندارد هایی در سال های بعد شد که می توان به الگوی VDI ۴۶۰۰ معرفی شده توسط انجمن مهندسان آلمان در سال ۱۹۹۷ و بازنگری آن در سال ۲۰۱۲ و استاندارد های ایزو ۱۴۰۴۱ در سال ۱۹۹۸ و ۱۴۰۴۳ در سال ۲۰۰۰ که تحت استاندارد های ایزو ۱۴۰۴۰ و ۱۴۰۴۴ در سال ۲۰۰۶ بازنگری شدند اشاره کرد (رجوع به منابع).

در جهت جمع آوری نتایج مطالعات متعدد انجام شده بر اساس استانداردهای متداول، پایگاه داده های متعددی در کشورهای مختلف ایجاد شده که از جمله می توان به GEMIS در سال ۱۹۹۹ در آلمان و ECOINVENT در سال ۲۰۰۰ در سوئیس اشاره کرد که بصورت آنلاین در دسترس کاربران قرار دارند (رجوع به منابع). با گسترش مطالعات انرژی و آلایندگی و ارتباط آنها با یکدیگر و پیچیده تر شدن روش های ارزیابی و تحلیل داده ها، مدل های نرم افزارهای متعددی جهت کاربردی تر کردن این مباحث ایجاد شده است. از جمله این نرم افزارها می توان به KUL (Eckert, 1999) و REPRO (Hülsbergen, 2003) توسعه داده شده در آلمان، و EMA (Lewis and Bardon, 1998) در انگلیس و ESI (Sands & Podmore, 2000) در آمریکا اشاره کرد.

[1] David Pimentel, Howard Odum and Robert Constanza
[2] International Federation of Institutes for Advance Study (IFIAS)

ارزیابی انرژی در تولید محصولات کشاورزی در کشور ایران با روش های متداول مسبوق به سال های اخیر است. با توجه به عدم دسترسی جامع به نتایج و تحقیقات در دانشگاه ها ایجاد تاریخچه برای آن نیاز به جمع آوری اطلاعات می باشد. شاید اولین تحقیق در این رابطه را پایان نامه کارشناسی ارشد انجام شده در سال ۱۳۸۴ در دانشگاه تبریز دانست. در حال حاضر تحقیات متعددی در زمینه ارزیابی انرژی در تولید محصولات کشاورزی در نقاط مختلف ایران انجام و منتشر شده و در دسترس می باشند.

آنچه از بررسی آثار منتشر شده چه در سطح بین المللی و چه در داخل ایران در رابطه با ارزیابی انرژی تولید محصولات کشاورزی بدست می آید، اشتراک نسبی همه آنها در روش متداول ارائه شده از سال های ۱۹۷۰ می باشد. اما در سیر انجام ارزیابی ها اختلافاتی مشاهده می شود که گاه جزیی بوده و تاثیر چندانی در نتایج ندارد و گاه کلی بوده و منجر به اختلافات فاحشی در نتایج بدست آمده می شود. این اختلافات باعث عدم امکان مقایسه مناسب یافته ها و بالطبع روش های تولید ارزیابی شده می شود. در ادامه این مقاله سعی بر آن است که با مرور روش های علمی ارایه شده در این رابطه نکات حایز اهمیت آنها مورد توجه قرار گیرد تا تلاشی در راستای نیل به ارزیابی های استاندارد صورت گیرد.

روش های ارزیابی، بررسی و بحث

تعاریف

قبل از ورود به بحث در مورد روش ها نیاز به معرفی تعاریف و اصطلاحات مورد استفاده در این مبحث می باشد که مختصرا به شرح زیر بدان ها اشاره می شود:

انرژی تجاری: انرژیی که مورد داد و ستد قرار می گیرد و دارای قیمت است. زغالسنگ، نفت، گاز و برق انرژی های تجاری هستند (Bhattacharyya, 2011). بسته به مکان و زمان، منابع بیومس می توانند شامل این گروه باشند.

انرژی غیر تجاری: انرژی که مورد داد و ستد قرار نمی گیرد و قیمتی ندارد (Bhattacharyya, 2011). انرژی نهفته در باد، خورشید، زمین و آب انرژی های غیر تجاری هستند.

انرژی اولیه: انرژیی که در طبیعت بوده و هنوز هیچگونه فرآوری در مورد آن صورت نگرفته است. زغالسنگ در معدن، نفت خام، گاز طبیعی و نیروی هسته ایی از جمله انرژی های اولیه هستند (Bhattacharyya, 2011).

انرژی ثانویه: انرژیی که از تبدیل انرژی های اولیه بدست می آید. فرآورده های نفتی و برق از آن جمله (Bhattacharyya, 2011).

ارزش حرارتی بالا: حداکثر حرارتی که با اکسیداسیون مقدار مشخصی از یک ماده در بمب کالری سنج بدست می آید (Kaltschmitt *et al*., 2009). ارزش غذایی محصولات کشاورزی مجموع ارزش حرارتی بالای مواد تشکیل دهنده آن می باشد.

ارزش حرارتی پایین: عبارت است از ارزش حرارتی بالا منهای انرژی تبخیر، جذب شده توسط بخار آب تولید شده در اکسیداسیون (Kaltschmitt *et al*., 2009).

روش ایفیاس

بر اساس روش ایفیاس (IFIAS, 1974) "مفهوم تحلیل انرژی به تعیین انرژی هزینه شده در فرآیند تولید یک کالا یا خدمات و در چارچوب مجموعه ایی از توافقات و اطلاعات بدست آمده گفته می شود". این روش شامل گام های زیر است:

- پایه گذاری مرزهای فرآیند مورد مطالعه
- تعیین تمام عوامل درگیر در فرآیند
- اختصاص یک ضریب انرژی برای هر عامل
- ضرب مقادیر بکار برده شده از هر عامل در ضریب انرژی آن
- تشخیص و کمی کردن کالای نهایی، تخصیص انرژی بکار برده شده بین کالای اصلی و جانبی
- ارتباط دادن انرژی نهفته در کالا با انرژی بکار برده شده در تولید آن، که به معنی تعریف شاخص های مناسب برای ارزیابی بهره وری فرآیند می باشد.

آنچه که امروزه بعنوان ارزیابی بهره وری انرژی شناخته می شود در حقیقت انجام مراحل بالا در مورد فرآیند تولید کالا یا خدمات می باشد. تفاوت موجود در مطالعات مختلف مربوط به دیدگاه های متفاوت در مورد گام های اشاره شده می باشد. عمده این تفاوت ها در تعیین مرزهای فرآیند، عوامل دخیل در آن و ضرایب انرژی است. تخصیص انرژی بین کالای اصلی و جانبی و نیز شاخص های مورد استفاده نیز بر اساس اهداف مطالعات محل اختلاف می تواند باشد. تعیین گام به گام این مراحل نیاز به تعیین اهداف ارزیابی و شناخت کامل از ماهیت گام های بعد دارد.

در روش ایفیاس ضریب انرژی هر عامل بر اساس ارزش ترمودینامیکی آن تعیین می شود. در این روش هیچ تفاوتی بین کیفیت انرژی ها یا اولویت بندی آنها وجود ندارد (Zuberman, 2009). بنابراین شاخص های استفاده شده برای ارزیابی بهره وری در حقیقت بر اساس قانون اول ترمودینامیک (قانون بقا انرژی) تعریف می شوند. بر اساس چنین شاخص هایی هیچ تفاوت کیفی بین انرژی های ورودی و خروجی اعمال نمی شود و این بزرگترین ایراد وارده به این شاخص ها می باشد (Patterson, 1996). یکی از راه حل هایی که به این مشکل ارایه شده کیفی کردن انرژی های ورودی و خروجی با استفاده از توانایی انجام کار آنها و مفهوم اکسرژی[3] است که مبتنی بر قانون دوم ترمودینامیک است (Patterson, 1996). راه حل دیگر استفاده از مفهوم امرژی[4]

[3] Exergy

(حافظه انرژی) می باشد. این مفهوم که توسط ادوم در سال ۱۹۹۶ ارایه شده تلاشی برای کیفی کردن همه انرژی های مفید (اکسرژی)، بکاربرده شده، بصورت مستقیم یا غیر مستقیم، در کل فرآیند تولید یک کالا است (Zuberman, 2009). چون منبع اصلی و اولیه همه انرژی ها از خورشید می باشد، واحد اندازه گیری امرژی بر اساس واحد ژول خورشیدی برای هر واحد تولیدی (کیلوگرم یا ژول) می باشد (Odum, 1998). با این دیدگاه، در تحلیل انرژی، مرزهای یک سیستم تولید با منابع انرژی های اولیه (تجدید ناپذیر) شروع می شود و با دورریز کالای تولید و استفاده شده پایان می یابد. به این نوع تحلیل، ارزیابی چرخه حیات (ال سی ای[5]) گفته می شود (VDI 4600, 2012). در حالیکه تحلیل امرژی تمام جریانات محیطی و مبدا ورودی ها را مشخص می کند (Zuberman, 2009). همچنین، شاخص های مورد استفاده در تحلیل، انرژی های اولیه مصرف شده در فرآیند (تجاری و عمدتا تجدید ناپذیر) را اندازه گیری می کنند. در حالیکه شاخص های مورد استفاده در تحلیل امرژی تمام انرژی های جاری در فرآیند، اعم از تجدید پذیر یا تجدید ناپذیر و تجاری یا غیر تجاری، را شامل می شود (Zuberman, 2009 ؛ Odum, 1998). با این حال استفاده از تحلیل اکسرژی و امرژی معایبی نیز دارد که بخصوص در کشاورزی حایز اهمیت می باشند. اول اینکه این روش ها ارزیابی را بسیار پیچیده می کنند. دوم، تعریف کار فیزیکی بعنوان کار مفید در کشاورزی نامناسب است. صورت مطلوب کار نیز (بعنوان مثال الکتریکی، مکانیکی یا شیمیایی) تعریف نشده است. همچنین، حجم عظیمی از انرژی های ورودی محیطی و خورشیدی در سیستم کشاورزی وجود دارد که اعمال آنها باعث نادیده گرفته شدن انرژی های ورودی اولیه خواهد شد که در مقایسه سهم ناچیزی دارند اما مد نظر اصلی ارزیابی هستند. بنابر این، در تحلیل انرژی سیستم های خرد کشاورزی انرژی خورشیدی در مرزهای فرآیند های تولید در نظر گرفته نمی شود و بیشتر با انرژی های اولیه آغاز می گردد. در ادامه به روش های تحلیل انرژی و اصول آنها پرداخته می شود و سپس مراحل معرفی شده توسط ایفیاس با استاندارد های تکمیلی بررسی می شوند.

مرزهای فرآیند در تحلیل انرژی

بر اساس الگوی VDI ۴۶۰۰ (۲۰۱۲)، ایزو ۱۴۰۴۰ و ایزو ۱۴۰۴۴ (۲۰۰۶)، سیستم انرژی با مصرف انرژی های اولیه و مواد خام در ابتدای یک فرآیند شروع شده و بعد از تولید و استفاده از کالا با دورریز آن و یا اقدامات بازیافتی و محو آثار محیطی ضروری پایان می یابد. مطالعه این نوع سیستم به ارزیابی چرخه حیات یا ارزیابی ز گهواره تا گور[6] معروف است. گهواره اشاره به مرحله استخراج منابع و گور اشاره به مرحله دورریزی دارد. ارزیابی انرژی چرخه حیات شامل ارزیابی سه مرحله مصرف انرژی در تولید، استفاده و دورریزی می شود که انرژی مورد نیاز کل فرآیند مجموع انرژی مصرف شده در این مراحل می باشد. در هر یک از

[4] Emergy
[5] Life Cycle Assessment (LCA)
[6] Cradle to grave boundary

این مراحل نیز انرژی مورد نیاز مجموع انرژی مصرف شده در بدست آوری، فرآوری، ساخت، انتقال و دورریزی همه مواد، ابزارها و خدمات مورد استفاده می باشد. به همین دلیل این روش به روش انرژی مورد نیاز تجمعی[۷] معروف است (VDI 4600, 2012).

با اینحال، بر اساس اهداف مطالعه و شاخص های مد نظر برای برآورد، مرزهای سیستم مورد ارزیابی می توانند باز تعریف شوند. بطور مثال، در تحلیل یک سیستم بیو انرژی در کشاورزی مطالعه کل چرخه حیات یک امر حیاتی است. زیرا این سیستم ها برای جایگزینی انرژی های تجدید ناپذیر و حفظ محیط زیست بکار برده می شوند و کل سیستم باید بهره وری مطلق داشته باشد (انرژی بدست آمده باید بیشتر از انرژی مصرف شده باشد). در حالیکه در سیستم های تولید غذا بهره وری مطلق انرژی مطرح نبوده و مرحله های استفاده یا دورریزی مورد صرف نظر قرار می گیرند و تنها تا درب خروجی مزرعه تحلیل می شود. ارزیابی این مرز محدود شده اصطلاحا ارزیابی ز گهواره تا دروازه[۸] نامیده می شود.

تعیین عوامل درگیر در فرآیند

ورود مستقیم انرژی به یک سیستم با مصرف حامل های انرژی اولیه و یا حامل های انرژی ثانویه، که تبدیل و بهینه شده حامل های انرژی اولیه هستند، صورت می گیرد. مشتقات نفتی، گاز، الکتریسیته، نیروی انسانی و دامی از این موارد هستند. با استفاده و مصرف ابزارها و مواد در یک فرآیند، انرژی غیر مستقیمی نیز وارد سیستم می شود که در حقیقت انرژی های اولیه یا ثانویه بکار رفته در طی چرخه تولید، استفاده و دورریزی آنها می باشد. بر اساس الگوی VDI ۴۶۰۰ (۲۰۱۲) همه انرژی های مستقیم و غیر مستقیم در ارزیابی باید لحاظ شوند. با این حال بر اساس اهداف یک ارزیابی نهاده هایی می توانند در مرزهای فرآیند مد نظر قرار نگیرند که در این صورت نیاز به مشخص کردن دقیق نهاده های لحاظ شده و صرف نظر شده در هر ارزیابی یا توضیح روش ارایه شده می باشد.

در تحلیل انرژی، در حالت کلی منابع انرژی تجاری در محاسبات وارد می شوند. منابع انرژی زیست محیطی مانند دمای محیط، نیروی باد و آب مورد محاسبه قرار نمی گیرند و تنها انرژی اولیه مصرف شده برای تبدیل، انتقال و عرضه آنها محاسبه می شود.

ضریب انرژی هر نهاده

همانطور که گفته شد، ضریب انرژی مناسب هر نهاده معادل مقدار انرژی اولیه مصرف شده در فرآیند استخراج، تبدیل، انتقال، عرضه، استفاده و دورریز یا بازیافت آن می باشد. ارزش حرارتی بالای انرژی های اولیه پایه ارزش انرژی آن است (Börjesson, 1996). ارزش حرارتی بالا گزینه مناسبی برای ارزش انرژی حامل های انرژی و مواد بکار برده می باشد. اما برای

[7] Cumulative Energy Demand (CED)
[8] Cradle to gate boundary

مواد سوختنی که به عنوان حامل انرژی در آمار های ملی یک کشور به ثبت نرسیده اند، مانند بیومس، ارزش حرارتی پایین توسط الگوی VDI ۴۶۰۰ (۲۰۱۲) پیشنهاد می شود. در سیستم های کشاورزی بیومس جزء اصلی نهاده ها یا ستاده ها می باشد و تعیین ارزش مناسب برای آن نقش اساسی در نتایج ارزیابی ها ایفا می کند. یکی از موارد اختلاف در مطالعات متعدد، اختلاف ناشی از تعیین ارزش برای بیومس می باشد. بنابراین بر اساس اهداف مورد نظر از ارزیابی و نوع فرآیند تعیین ارزش انرژی مناسب برای بیومس باید بصورت مبسوط مورد بحث و بررسی قرار گیرد و استدلال های لازم در هر مطالعه ارایه گردد.

ضرایب تعیین و انتخاب شده برای نهاده ها و ستاده ها در مطالعات متعدد بسیار متفاوت است. بدلیل اینکه این تفاوت ها منجر به نتایج کاملا متفاوتی می شوند لزوم توجه به تعیین ضرایب که مرحله ای اساسی در تحلیل انرژی می باشد ضروری است. بدلیل مبسوط بودن نهاده ها و استدلال ها در تعیین ضرایب مناسب، در این مقاله از پرداخت موردی به آنها خودداری می شود.

تعیین مقادیر بکار برده شده از هر عامل

در مرحله چهارم از روش معرفی شده در ایفیاس (۱۹۷۴) مقادیر بکار برده شده از هر عامل در ضریب انرژی آن ضرب می شود تا انرژی ورودی از آن نهاده در فرآیند بدست آید. در تعیین مقادیر بکار برده شده نهاده ها باید بین مصارف مربوط به فرآیند و مصارف جانبی تفکیک قایل بود. مصارف جانبی چنانچه مستلزم فرآیند باشند باید در محاسبات لحاظ شوند و در غیر اینصورت باید صرفنظر شوند. از بعد مثال، در مزارع کشاورزی یا دامداری که کشاورز در محل سکونت دارد و محل زندگی او نیز می باشد نباید مصارف انرژی واحد مسکونی وی در محاسبه انرژی فرآیند تولید دخالت داده شود. بدین دلیل که این مصارف چه در بود و چه در نبود سیستم تولید پابرجا بوده و مستقل هستند. در زمینه استفاده از ابزارها و ماشین ها نیز باید تا حد امکان به طول عمر واقعی توجه داشت که تفاوت آشکاری می تواند با طول عمر محاسباتی داشته باشد.

تخصیص انرژی بکار برده شده بین کالای اصلی و جانبی

در فرآیند تولید و بخصوص در کشاورزی در کنار محصول اصلی، محصولات جانبی نیز تولید می شوند. یکی از موارد مورد بحث در تحلیل انرژی، تخصیص انرژی کل بکار رفته در فرآیند بین محصول اصلی و محصولات جانبی است. روش های مختلفی در این رابطه بکار برده شده اند که به نتایج متفاوتی منجر می شوند.

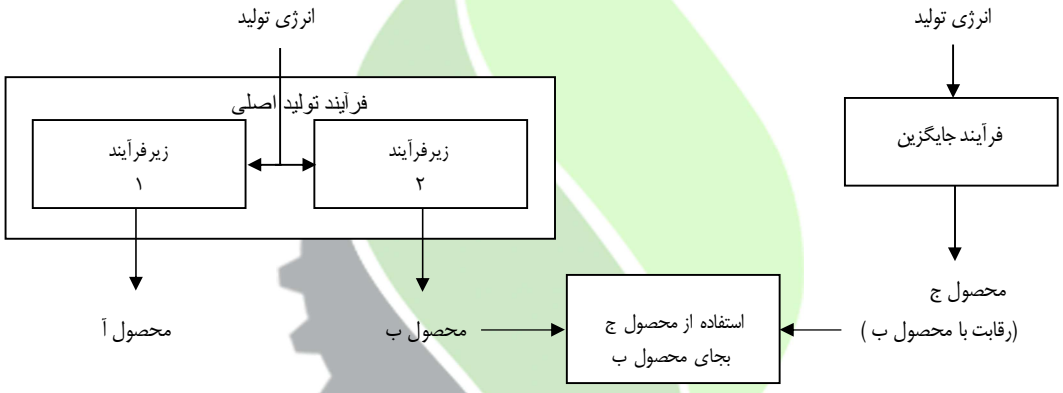
اختصاص کل انرژی تولید به محصول اصلی ساده ترین روش می باشد که در این صورت به محصول جانبی انرژی تولیدی اختصاص نمی یابد. این روش در کشاورزی که گاه محصول جانبی ارزشی کمتر از محصول اصلی ندارد توصیه نمی شود. سازمان بین المللی استاندارد ها در ایزو ۱۴۰۴۱ (۱۹۹۸) و ۱۴۰۴۴ (۲۰۰۶) توصیه هایی به شرح زیر در این زمینه ارایه کرده است:

- از تخصیص تا حد امکان باید جلوگیری کرد. این کار با جداسازی فرآیند به زیرفرآیند ها و جمع آوری اطلاعات زیرفرآیند بصورت مستقل انجام یابد. و یا با توسعه سیستم تا حدی که فرآیند مشابه و جایگزینی را شامل شود صورت می گیرد.

- جاییکه تخصیص ناگزیر است، تخصیص باید بر اساس رابطه بین ویژگی های فیزیکی محصولات صورت گیرد.

- اگر نتوان رابطه ای بین ویژگی های فیزیکی برقرار کرد، تخصیص بر اساس سایر مشخصات مثل قیمت محصولات صورت گیرد.

این موارد بدان معنی است که اگر زیرفرآیند های محصول اصلی و جانبی قابل تفکیک اند انرژی مورد نیاز برای هر فرآیند به محصول مربوطه اختصاص یابد. در غیر اینصورت انرژی تخصیصی به یکی از محصولات برابر انرژی مورد نیاز برای تولید آن محصول در سیستم مشابه و جایگزین دیگری باشد که به آن روش جایگزینی (شکل ۱) گفته می شود (Edwards and Anex, 2009).



شکل ۱ : تفکیک فرآیند و روش جایگزینی در تخصیص انرژی تولید بین محصول اصلی و فرعی (Ekvall and Finnveden, 2001).

در مواردی که این تفکیک امکان پذیر نباشد، مانند تولید کاه و گندم در مزرعه بصورت همزمان، باید بر اساس یک ویژگی فیزیکی (وزن، ارزش غذایی یا ارزش حرارتی آنها) صورت گیرد که بسته به مورد می تواند انتخاب می شود. توصیه می شود از یک ارزش حرارتی (مانند انرژی متابولیسمی) که قابل استفاده مشترک برای هر دو محصول است استفاده شود (فرمول ۱).

(۱) انرژی تخصیصی به محصول آ = انرژی تولید کل × ارزش حرارتی محصول آ / ارزش حرارتی کل محصولات

شاخص های مناسب برای ارزیابی بهره وری انرژی

مرحله نهایی روش ایفیاس ارتباط دادن انرژی نهفته در کالا با انرژی بکار برده شده در تولید آن است که به معنی تعریف شاخص های مناسب برای ارزیابی بهره وری فرآیند می باشد. منظور از انرژی نهفته در کالا همان ارزش حرارتی بالای آن است.

البته این تعریف در نگاه جامع به کالاها و خدمات تولید شده تعریف صحیحی نمی تواند باشد چرا که ممکن است کالاها یا خدمات تولید شده فاقد ارزش حرارتی باشد. بر اساس استاندارد های ایزو برای مطالعات ال سی ای، یکی از ضروریات اولیه ارزیابی تعریف واحد پایه[9] برای کالای تولیدی می باشد (ISO14040, 2006). واحد پایه مرجعی است که کالای تولیدی بدان سنجیده و انرژی های بکار برده شده نسبت بدان قیاس می شوند. تعیین کامل مشخصات واحد پایه جهت مقایسه با سایر مطالعات ضروری است. بعنوان مثال یک کیلوگرم، یک متر مکعب، ارزش اقتصادی یا یک ساعت خدمات تولید شده می تواند واحد پایه باشد. در کشاورزی بهتر است یک کیلوگرم ماده خشک محصول واحد پایه باشد و یا در صورت تازه در نظر گرفتن، میزان رطوبت محصول گزارش شود.

مقدار انرژی بکار برده شده برای تولید واحد پایه معروف به تراکم انرژی[10] می باشد. تراکم انرژی مهمترین شاخص برای برآورد میزان بهره وری در بخش کشاورزی است (IAEA, 2005). باردهی انرژی[11] که میزان کالای تولید شده به ازای مصرف مقادیر معین انرژی است شاخص دیگری است که در حقیقت عکس شاخص تراکم انرژی است و در گزارش ها گاه جایگزین آن می شود. شاخص دیگر نسبت انرژی تولید شده به انرژی مصرف شده[12] در فرآیند تولید است که مشهورترین و متداول ترین شاخص برای بیان بهره وری انرژی و تعادل انرژی چرخه تولید است. به همین دلیل این شاخص گاه بازده یا کارایی انرژی نیز نامیده می شود. تفاوت بین انرژی تولید شده و انرژی بکاربرده شده نیز شاخصی است که به آن سود یا عملکرد خالص انرژی[13] گفته می شود. چون مبنای انرژی ورودی ارزش حرارتی بالا است مبنای انرژی خروجی نیز باید ارزش حرارتی بالا باشد. شاخص دیگری که می تواند تعریف و استفاده شود باردهی انرژی کارگری[14] است که نشانگر میزان انرژی تولید شده به ازای یک ساعت کار کارگری است. مبنای انرژی تولید شده بسته به هدف مطالعه میتواند متغییر باشد (مانند ارزش غذایی، ارزش حرارتی بالا یا پایین). این شاخص در جوامعی که نیروی کارگری هزینه بالایی دارد می تواند از اهمیت خاصی برخوردار باشد. شاخص های بهره وری نسبی هستند و جهت مقایسه فرآیند ها با همدیگر بکار می روند. فرآیندی بهره وری بیشتری دارد که نیاز به انرژی کمتری جهت تولید مقدار معینی از محصول دارد و یا در نگاهی دیگر فرآیندی بهره وری بیشتری دارد که کارایی یا عملکرد خالص انرژی بیشتری داشته باشد.

[9] Functional unit
[10] Energy intensity
[11] Energy productivity
[12] Energy output/input ratio
[13] Net energy yield or net energy gain
[14] Labour energy productivity

نحوه طرح ریزی، اجرا و گزارش ارزیابی

استاندارد های ایزو تبیین شده برای مطالعات ال سی ای، الگوی بسیار مناسبی برای ارزیابی یک سیستم از بدو طرح ریزی تا اجرا و ارایه گزارش هستند. هرچند که روح اصلی حاکم بر آنها ارزیابی اثرات زیست محیطی و آلودگی ناشی از تولید یک محصول کاملا مشخص می باشد. بر اساس ایزو ۱۴۰۴۰ (۲۰۰۶)، یک مطالعه جامع ال سی ای دارای مراحلی به شرح زیر است:

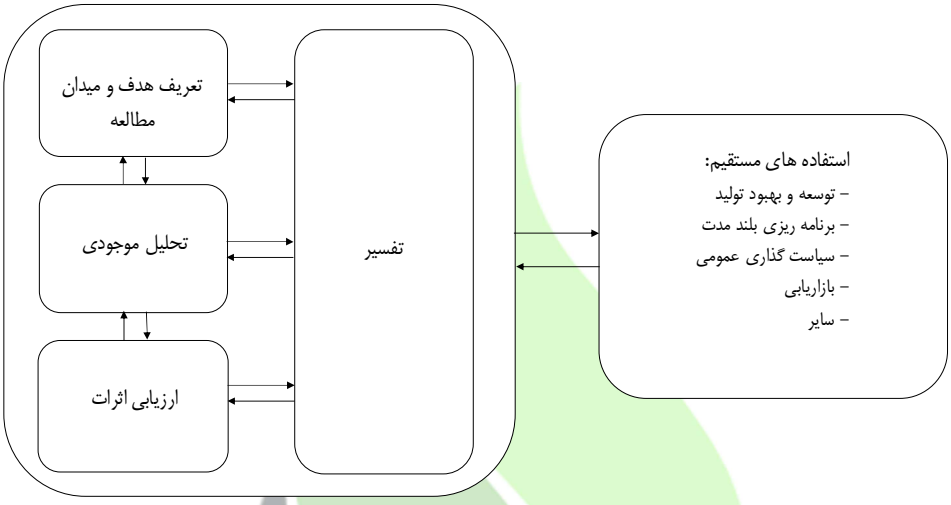
- تعریف هدف و میدان مطالعه. در این مرحله هدف، مشخصات، مرز سیستم، عمق و وسعت در نظر گرفته شده برای جزییات مطالعه مشخص می شود.
- تحلیل موجودی چرخه حیات. در این مرحله فهرست ورودی ها و خروجی های سیستم مورد تحلیل قرار می گیرد.
- ارزیابی اثرات چرخه حیات. این مرحله جهت تامین اطلاعات بیشتر برای ارزیابی بهتر سیستم است.
- تفسیر نتایج. مرحله بحث و تفسیر نتایج حاصل از مراحل تحلیل موجودی و یا ارزیابی اثرات است.

شکل ۲ نحوه ارتباط مراحل ال سی ای با یکدیگر و در نهایت کاربرد دستاوردهای نهایی مطالعه در تولید را نشان می دهد. همانطور که از این شکل پیداست، ارتباط دوطرفه ایی بین این مراحل وجود دارد. بدین مفهوم که با پیشرفت کار در هر مرحله ایی و کسب شناخت بهتر از روند کار یا کشف خطا در انجام کار باید امکان برگشت و باز تعریف مراحل قبل در جهت تحقق هر چه بهتر اهداف مطالعه و ارزیابی عوامل و اثرات جدید وجود داشته باشد.

آنچه در یک ارزیابی اهمیت به سزایی دارد، شفافیت در مراحل انجام کار و گزارش آن است. در همین راستا در استانداردهای ایزو لیست نسبتا کاملی از اقدامات و مواردی که در هر مرحله از مراحل مطرح شده در بالا باید مد نظر قرار گرفته و در گزارش به آنها اشاره شود آمده است. از اهم این موارد می توان به تعیین مرزهای ارزیابی، نحوه جمع آوری داده ها، دقت و کیفیت مورد نظر در داده ها، روش های مورد استفاده در تخصیص، اثرات مد نظر برای سنجش در مرحله اول و انجام محاسبات مرحله دوم بر اساس موارد مطرح شده در مرحله اول اشاره کرد. همانطور که قبلا بصورت موردی اشاره شد، اختلاف اساسی در ارزیابی ها ناشی از تفاوت دیدگاه ها در انجام این مراحل می باشد.

مرحله ارزیابی اثرات، مرحله ای اختیاری در ارزیابی ال سی ای است و می تواند نادیده گرفته شود. در این صورت تفسیر نتایج تنها بر اساس مراحل یک و دو صورت می گیرد. اما استفاده از آن کمک شایانی در تفسیر بهتر نتایج و شناخت راهکارهای احتمالی در جهت بهبود شاخص های ارزیابی خواهد داشت. از جمله فنونی که در این مرحله می تواند استفاده شود روش تحلیل حساسیت است که مورد تاکید این استانداردها نیز می باشد. بدین مفهوم که حساسیت فرآیند نسبت به تغییر عامل یا گروهی از عوامل سنجیده شده و بر همین اساس روش بهینه سازی در آن معین می شود. تکنیک های پارامتری و غیر پارامتری متعددی براساس هدف مطالعه و ماهیت فرآیند و داده ها می توانند مورد استفاده قرار گیرند. توصیه می شود در ارزیابی انرژی در تولید

محصولات کشاورزی مدل های آماری بر روی داده های جمع آوری شده آزمایش شوند. مخصوصا مدل های چندخطی می توانند مورد استفاده قرار گیرند که در عین سادگی در درک و انجام آنها توسط نرم افزار های آماری، به پیش بینی ها و تحلیل های بسیار مفیدی منجر می شوند. در حقیقت این مدل ها نوعی از تکنیک های تحلیل حساسیت می باشند.



شکل ۲: مراحل یک مطالعه ال سی ای (ISO14040, 2006)

نتیجه گیری

ارزیابی بهره وری انرژی یکی از ابعاد اصلی در ارزیابی جامع فرآیندها می باشد. این ارزیابی می تواند پایه و اساس سیاست گذاری ها، تصمیم گیری ها و قیمت گذاری ها در سطوح ملی و بین المللی باشد. روش های متعددی در دنیا در این رابطه ارایه و توسعه داده شده اند. با اینحال بررسی مطالعات انجام شده در این زمینه چه در دنیا و چه در ایران نشانگر تفاوت های گاه بنیادی و گاه جزیی در روش های بکار رفته در ارزیابی و گزارش نتایج آنها است. بدلیل نسبی بودن نتایج بهره وری انرژی و نیاز به مقایسه مطالعات با یکدیگر برای تفسیر بهتر آنها، اختلاف در ارزیابی ها باعث عدم امکان مقایسه مناسب و کاربرد بهتر این مطالعات می شود. این مقاله سعی بر آن داشت که با مروری بر تاریخچه، روش ها و الگوهای استاندارد تبیین و عرضه شده در این زمینه، امکان رسیدن به یک راهکار مشخص و مدون در ارزیابی ها را مقدور سازد. با نیل به این هدف و جمع آوری نتایج حاصل از ارزیابی های مبتنی بر روش مورد توافق، زمینه ایجاد پایگاه داده ها در سطح ملی در بخش کشاورزی و حتی فرا بخشی فراهم خواهد شد. و نتیجه وجود چنین پایگاه داده هایی رسیدن به اهداف حاصل از ارزیابی، یعنی افزایش بهره وری انرژی و سیاست گذاری های کلان و خرد در این زمینه خواهد بود.

انجام ارزیابی بهره وری انرژی در تولیدات محصولات کشاورزی بر اساس تحلیل انرژی و بر اساس انرژی های اولیه از پیشنهادات مطرح شده است. بدین مفهوم که وابستگی تولید به انرژی های اولیه مشخص شود. در این زمینه تعیین دقیق و منطبق بر هدف مرزهای ارزیابی، عوامل درگیر در این مرزها و تعیین ضریب انرژی مناسب برای هر عامل از اهمیت بسزایی برخوردارند. تعیین مرز ارزیابی گهواره تا دروازه مزرعه برای تولیدات کشاورزی مناسب است. تخصیص انرژی تولید بر اساس یکی از ارزش های حرارتی قابل استفاده مشترک بین محصول اصلی و فرعی، مانند انرژی متابولیسمی، بالاخص در تولیدات کشاورزی به تعیین انرژی تولید هر محصول کمک خواهد کرد. تعیین یک کیلوگرم ماده خشک بعنوان واحد پایه در محاسبه شاخص های بهره وری به سادگی مقایسه بین نتایج منجر می شود. در غیر اینصورت میزان رطوبت محصول باید مشخص شود. میزان انرژی تولید مورد نیاز به ازای این واحد پایه که به تراکم انرژی معروف است بهترین شاخص در ارزیابی بهره وری انرژی در کشاورزی است.

با توجه به ضروریت وجود شفافیت در ارزیابی بهره وری انرژی در مراحل مختلف طرح ریزی، اجرا و گزارش، نیاز به الگوی مشخصی در این زمینه می باشد. استانداردهای ایزو ۱۴۰۴۰ و ۱۴۰۴۴ بازنگری شده در سال ۲۰۰۶ این امکان را فراهم می کنند. تحلیل حساسیت در مرحله ارزیابی اثرات از توصیه های این استانداردها می باشد. نیز در این مقاله توصیه می شود در تولید محصولات کشاورزی از تحلیل های چند خطی آماری برای برآورد تغییر در شاخص ها در اثر تغییر در عوامل درگیر در فرایند استفاده شود.

منابع

1- Bhattacharyya, S. C. 2011. Energy economics: concepts, issues, markets and governance. Springer-Verlag, London, 2011.

2- Börjesson, P. I. I. 1996. Energy analysis of biomass production and transportati . Journal of Biomass and Bioenergy, 11(4), pp. 305-318.

3- Eckert, H., G., Breitschuh and D., Sauerbeck. 1999. Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung (KUL) - ein Verfahren zur ökologischen Bewertung von Landwirtschaftsbetrieben". Agribiol. Res. 52, 1.

4- ECOINVENT. 2013. Introduction to ecoinvent Version 3 for Existing Users. Dübendorf, Swiss. Available under: http://www.ecoinvent.org/database/ecoinvent-version-3/introduction/

5- Edwards, K. and P. R., Anex. 2009. Co-product allocation in life cycle assessment: a case study. Trinity consultants, USA, June 2009.

6- Ekvall, T. and G., Finnveden. 2001. Allocation in ISO 14041- a critical review. Journa of cleaner production 9, pp. 197-208.

7- GEMIS (Global Emission Model for Integrated Systems). 1999. Version 3.x. Umwelt Bundesamt für Mensch und Umwelt. Available under: http://www.iinas.org/gemis-de.html. (2012).

8- Hülsbergen, K.-J. 2003. Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme . Shaker-Verlag, Aachen, zugl. Halle, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Habil.-schrift, 2002, ISBN 3-8322-1464-X.

9- IAEA. 2005. Energy indicators for sustainable development: guidelines and methodologies. IAEA, Austria. April. 2005.

10- IFIAS. 1974. Energy analysis workshop on methodology and convention". Workshop report No. 6, International Federation of Institutes for Advanced Study, Stockholm.

11- IFIAS. 1975. Workshop on energy analysis and economic. Workshop report No. 9, International Federation of Institutes for Advanced Study, Stockholm.

12- ISO 14040. 2006. Environmental management Life cycle assessment Requirements and guidelines. Second edition. Switzerland.

13- ISO 14041. 1998. Environmental management Life cycle assessment Requirements and guidelines. First edition. Geneva, Switzerland.

14- ISO 14044. 2006. Environmental management Life cycle assessment Requirements and guidelines. Second edition. Switzerland.

15- Kaltschmitt, M., H., Hartmann and H., Hermann. 2009, Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer, Heidelberg, Germany, pp. 348-358

16- Lewis, A. and K. S., Bardon. 1998. A computer-based informal environmental system for agriculture. Environmental Modelling & Software 13, pp. 123-137.

17- Odum, T. H. 1998. Emergy evaluation. Workshop on advances in energy studies: Energy flows in ecology and economy, Porto Venere, Italy, May 1998.

18- Patterson, M. G. 1996. What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodologica issues", Journal of Energy Policy, Vol. 24 No. 5, pp. 377-390.

19- Sands, G. R. and T. H., Podmore. 2000. A generalized environmental sustainability index for agricultural systems. Agriculture, Ecosystem and Environment (79), pp. 29-41.

20- Steinfeld, H., P., Gerber, T., Wassenaar, V., Castel, M., Rosales and C., de Haan. 2006. Livestock's long shadow: environmental issues and options. FAO publicatio , Rome.

21- Varone, F. and B., Aebischer. 2001, Energy efficiency: the challenges of policy design, Journal of Energy Policy, Vol. 29 No. 8, pp. 615-629.

22- VDI 4600. 1997. Kumulierter Energieaufwand (KEA); Begriffe, Berechnungsmethoden (Cumulative energy demand; Terms, definitions, method of calculation). Berli : Beuth Verlag.

23- VDI 4600. 2012. Kumulierter Energieaufwand (KEA); Begriffe, Berechnungsmethoden (Cumulative energy demand; Terms, definitions, method of calculation). Berlin: Beuth Verlag.

24- Zuberman, F. 2009. A review and an overview about energy balances in agriculture, 4th Conference of the Association of Ecological Economics Argentine Uruguayan (ASAUEE), Feinstein H. A. and Pengue W. A. (Ed.), CD-Rom, Buenos Aires, Argentina, Nov. 2009.

Principles of Energy Efficiency Studies Introduced by Scientific Standards

Mohammadali Maysami[1], Werner Berg[2]

1- Scientific member of agricultural machinery engineering, University of Tabriz
E-mail: maysami_ma@yahoo.com
2- Scientific member of ATB institute, Potsdam, Germany.
E-mail: wberg@atb-potsdam.de

Abstract

In order to decide about the utilization of different production technologies, there is a need for comprehensive assessments from different aspects. Energy efficiency is one of the issues that has narrow relations with the environmental and economic aspects in production and consequently, production macro-policies. Energy efficiency first garnered attentions after the oil crisis and resulting increase in oil pri in the 1970s. Economic, political and environmental issues, linked with the consumption of fossil fuels, have brought the reliability of production systems and the dependency on fossil fuels to the forefront. Hence, the assessment techniques has been developed and standardised in national and international levels. Energy efficiency has been attended in Iran since last decade and numerous studies carried out to assess production efficiency. Survey on these studies identifies a variety in methods, definitions and conclusions used in assessments, distorts the comparability of the results. This study is a review on the scientific guidelines and standards in energy efficiency assessment, e.g. ISO standards and VDI guideline, tries to introduce a common method for the next studies.

Keywords: Database; Energy efficiency; Iran; Standardisation