اولین همایش ملی بهینه سازی و بهره وری مصرف انرژی در صنایع غذایی و کشاورزی
۲۹-۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۵

الگوی امتیازدهی پیوسته برای رتبه‌بندی ساختمان‌های انرژی صفر در بخش کشاورزی بر مبنای شاخص نرمال‌شده مصرف انرژی

احمد فضلی،حسین مبلی
دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم گرایش انرژی های تجدید پذیر دانشگاه تهران
استاد دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
hmobli@ut.ac.ir

شماره مقاله EFAB015831192

چکیده

این تحقیق قابلیت استفاده مستقیم در نظام‌های رتبه‌بندی انرژی واحدهای کشاورزی، طراحی مشوق‌ها و جرایم انرژی، و پایش اثربخشی سیاست‌های بهبود بهره‌وری را داراست. امتیازدهی استانداردشده و قابل مقایسه، این امکان را برای نهادهای سیاست‌گذار فراهم می‌کند تا مداخلات خود را به‌صورت هدفمند بر واحدهای با ناکارآمدی بحرانی متمرکز کرده و هم‌زمان از اعمال فشار غیرضروری بر واحدهای نزدیک به سطح مطلوب جلوگیری نمایند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تبدیل شاخص «نسبت مصرف انرژی در بخش کشاورزی» به یک تابع امتیازدهی پیوسته و آستانه‌محور، امکان ترجمه نتایج فنی به پیام‌های سیاستی شفاف و قابل اجرا را فراهم می‌سازد. استفاده از ساختار دوقطعه‌ای، تعارض کلاسیک میان سادگی شاخص و حساسیت تنبیهی را به‌صورت نظام‌مند حل می‌کند و شاخص انرژی را از یک معیار صرفاً توصیفی به یک ابزار تصمیم‌سازی ارتقا می‌دهداین تحقیق قابلیت استفاده مستقیم در نظام‌های رتبه‌بندی انرژی واحدهای کشاورزی، طراحی مشوق‌ها و جرایم انرژی، و پایش اثربخشی سیاست‌های بهبود بهره‌وری را داراست. امتیازدهی استانداردشده و قابل مقایسه، این امکان را برای نهادهای سیاست‌گذار فراهم می‌کند تا مداخلات خود را به‌صورت هدفمند بر واحدهای با ناکارآمدی بحرانی متمرکز کرده و هم‌زمان از اعمال فشار غیرضروری بر واحدهای نزدیک به سطح مطلوب جلوگیری نمایند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تبدیل شاخص «نسبت مصرف انرژی در بخش کشاورزی» به یک تابع امتیازدهی پیوسته و آستانه‌محور، امکان ترجمه نتایج فنی به پیام‌های سیاستی شفاف و قابل اجرا را فراهم می‌سازد. استفاده از ساختار دوقطعه‌ای، تعارض کلاسیک میان سادگی شاخص و حساسیت تنبیهی را به‌صورت نظام‌مند حل می‌کند و شاخص انرژی را از یک معیار صرفاً توصیفی به یک ابزار تصمیم‌سازی ارتقا می‌دهد. تعریف آستانه عملکردی صریح در مقدار مشخصی از نسبت مصرف انرژی، هسته مفهومی مدل پیشنهادی را تشکیل می‌دهد. این آستانه مرز میان «رفتار اصلاح‌پذیر» و «ناکارآمدی غیرقابل قبول» را مشخص کرده و امکان تفکیک دقیق واحدها را فراهم می‌سازد. وجود این نقطه لنگر، تفسیرپذیری شاخص را هم برای تحلیلگران فنی و هم برای سیاست‌گذاران افزایش می‌دهد. تحقیق حاضر: ه نخستین چارچوب رتبه‌بندی پیوسته برای ساختمان‌های انرژی صفر کشاورزی با معیار مصرف انرژی را ارائه می‌دهد؛ • شاخص مصرف انرژی را به‌صورت نرمال‌شده اقلیمی تعریف می‌کند؛ • از یک تابع دوقطعه‌ای کشاورزی به بازار گواهی‌های انرژی و سیاست‌های تشویقی–تنبیهی را فراهم می‌سازد. تعریف آستانه عملکردی صریح در NZEBخطی–نمایی سیاست‌محور استفاده می‌کند که رفتار واقعی ناکارآمدی انرژی را بازتاب می‌دهد؛ و • بنیان مفهومی اتصال رتبه‌بندی مقدار مشخصی از نسبت مصرف انرژی، هسته مفهومی مدل پیشنهادی را تشکیل می‌دهد. این آستانه مرز میان «رفتار اصلاح‌پذیر» و «ناکارآمدی غیرقابل قبول» را مشخص کرده و امکان تفکیک دقیق واحدها را فراهم می‌سازد. وجود این نقطه لنگر، تفسیرپذیری شاخص را هم برای تحلیلگران فنی و هم برای سیاست‌گذاران افزایش می‌دهد. تحقیق حاضر: ه نخستین چارچوب رتبه‌بندی پیوسته برای ساختمان‌های انرژی صفر کشاورزی با معیار مصرف انرژی را ارائه می‌دهد؛ • شاخص مصرف انرژی را به‌صورت نرمال‌شده اقلیمی تعریف می‌کند؛ • از یک تابع دوقطعه‌ای کشاورزی به بازار گواهی‌های انرژی و سیاست‌های تشویقی–تنبیهی را فراهم می‌سازدNZEBتعریف می‌کند؛ • از یک تابع دوقطعه‌ای خطی–نمایی سیاست‌محور استفاده می‌کند که رفتار واقعی ناکارآمدی انرژی را بازتاب می‌دهد؛ و • بنیان مفهومی اتصال رتبه‌بندی

مقدمه

یکی از چالش‌های اساسی در ارزیابی عملکرد انرژی کشاورزی، نبود شاخص‌هایی است که بتوانند مصرف واقعی را نسبت به یک مقدار مرجع منصفانه و قابل مقایسه بسنجند. شاخص‌های شدت انرژی بدون نرمال‌سازی اقلیمی، تفاوت‌های ساختاری بین مناطق را پنهان می‌کنند و نتایج بالقوه ناعادلانه تولید می‌نمایند (Patterson, 1996؛ Iida, 2021 & Chen). این مسئله در نظام‌های رتبه‌بندی انرژی کمتر به‌صورت کمی و صریح مورد توجه قرار گرفته است.

در پاسخ به این محدودیت‌ها، استفاده از شاخص‌های بدون بعد مبتنی بر نسبت مصرف واقعی به مصرف ایده‌آل اقلیمی، به‌عنوان رویکردی دقیق و تفسیرپذیر مطرح شده است (Jollands et al., 2010). با این حال، نحوه تبدیل چنین شاخص‌هایی به امتیازهای قابل استفاده در سیاست‌گذاری و رتبه‌بندی رسمی، همچنان در ادبیات با ابهام مواجه است و اغلب به توابع خطی یا کلاس‌بندی گسسته تقلیل می‌یابد (Ramachandran, 2004 & Pohekar).

مطالعات متعددی نشان داده‌اند که ناکارآمدی انرژی ،رفتاری غیرخطی و شتاب‌دار دارد و افزایش مصرف مازاد، پیامدهای نامتناسبی بر هزینه و محیط‌زیست بر جای می‌گذارد (Zhou et al., 2006). با این وجود، الگوهای امتیازدهی متداول قادر به نمایش شدت این اتلاف نیستند و در انتقال پیام تنبیهی به مصرف‌کنندگان پرمصرف ناکام می‌مانند (Shove, 2018).

از منظر سیاست‌گذاری، وجود آستانه‌های عملکردی شفاف نقش مهمی در هدایت رفتار بهره‌برداران ایفا می‌کند. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که ترکیب رفتار اصلاحی پیش از آستانه و رفتار تنبیهی کنترل‌شده پس از آن، اثربخشی نظام‌های ارزیابی انرژی را به‌طور معناداری افزایش می‌دهد (Rosenow et al., 2020). با این حال، چنین ساختاری تاکنون در رتبه‌بندی NZEB بخش کشاورزی به‌طور نظام‌مند پیاده‌سازی نشده است.

متن اصلی

به‌منظور ارزیابی ناکارآمدی مصرف انرژی در تولید کشاورزی، نسبت مصرف انرژی واقعی به مقدار ایده‌آل متناظر با شرایط اقلیمی به‌صورت متغیر بی‌بعد

$$r = E_actual / E_ideal, climate$$

تعریف می‌شود. این نسبت، میزان انحراف سیستم تولید از وضعیت بهینه انرژی را نشان می‌دهد. از آنجا که رفتار سیاستی و تحلیلی مورد انتظار از شاخص در کل دامنه r یکنواخت نیست، استفاده از یک تابع پیوسته با رفتار همگن در کل بازه منجر به تضعیف قدرت تفسیری شاخص می‌شود. به همین دلیل، در این مطالعه یک تابع امتیازدهی دوقطعه‌ای با رفتار متفاوت در نواحی عملکرد قابل‌قبول و ناکارآمدی شدید معرفی می‌گردد.

ساختار تابع پیشنهادی دوقطعه‌ای تابع امتیازدهی به‌صورت زیر تعریف می‌شود: $S(r)$

$$= \begin{cases} 100 - 15\,(r-1) & \text{for } 1 \le r \le 3 \\ 70 * \dfrac{\left(\exp(-\lambda\,(r-3)) - \exp(-3\lambda)\right)}{1 - exp(-3\lambda)} & \text{for } 3 < r \le 6 \end{cases}$$

در این ساختار، دامنه تعریف تابع به دو ناحیه مفهومی تفکیک شده است. قطعه اول $(1 \le r \le 3)$ نمایانگر بازه‌ای است که در آن افزایش مصرف انرژی نسبت به مقدار ایده‌آل، همچنان در چارچوب قابل‌مدیریت و اصلاح‌پذیر قرار دارد. در این ناحیه، استفاده از یک رابطه خطی نزولی با شیب ثابت، بیانگر کاهش تدریجی امتیاز در پاسخ به ناکارآمدی‌های خفیف تا متوسط است. این انتخاب عامدانه بوده و از اعمال تنبیه غیرخطی زودهنگام جلوگیری می‌کند تا شاخص کارکردی تشویقی–اصلاحی داشته باشد.
قطعه دوم تابع $(r > 3)$ به ناحیه ناکارآمدی شدید اختصاص دارد؛ ناحیه‌ای که در آن مصرف انرژی به بیش از سه برابر سطح ایده‌آل می‌رسد و از منظر سیاست انرژی غیرقابل‌قبول تلقی می‌شود. در این بخش، فرم نمایی نزولی نرمال‌شده به‌کار گرفته شده تا امکان اعمال جریمه شدید اما تدریجی فراهم گردد، به‌نحوی که افت امتیاز اولیه چشمگیر بوده ولی در مقادیر بالاتر r به‌سمت اشباع میل کند. نرمال‌سازی تابع تضمین می‌کند که شرایط مرزی $S(6)$ و $S(3) = 70$ $= 0$ به‌طور دقیق برقرار باشند.

نتیجه گیری

در مجموع، تابع دوقطعه‌ای پیشنهادی با ترکیب یک رفتار خطی اصلاح‌محور در ناحیه قابل‌قبول و یک رفتار نمایی کنترل‌شده در ناحیه ناکارآمدی شدید، چارچوبی منعطف و تفسیرپذیر برای ارزیابی بهره‌وری انرژی فراهم می‌سازد. انتخاب پارامتر $\lambda=0.8$ نه بر مبنای ملاحظات تجربی صرف، بلکه به‌عنوان حاصل یک فرآیند کالیبراسیون تحلیلی و سیاست‌محور انجام شده و تعادل مناسبی میان شدت تنبیه، قدرت تمایز و قابلیت تصمیم‌سازی ایجاد می‌کند. اگرچه تمرکز این تحقیق بر بخش کشاورزی است، ساختار شاخص و تابع امتیازدهی به‌گونه‌ای طراحی شده که به‌سادگی قابل تعمیم به حوزه‌هایی مانند ساختمان‌های کم‌مصرف و صفرانرژی (NZEB) باشد. تنها تفاوت، بازتعریف مصرف ایده‌آل مرجع و تنظیم آستانه سیاستی متناسب با نوع کاربری خواهد بود. این ویژگی، قابلیت استفاده مجدد و توسعه‌پذیری مدل را تقویت می‌کند.

منابع

Ayres, R. U., & Warr, B. (2009). *The economic growth engine: How energy and work drive material prosperity*. Edward Elgar Publishing.
Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Prentice-Hall.
Bastianoni, S., Coscieme, L., Caro, D., Marchettini, N., & Pulselli, F. M. (2019). Energy and sustainability metrics: An integrative review. *Ecological Indicators, 98*, 112–125. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.036
Brundtland, G. H. (1987). *Our common future*. Oxford University Press.
Cabeza, L. F., Chàfer, M., Mata, É., & Pitelis, C. (2022). Energy efficiency in agriculture: Concepts, metrics and policy tools. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 158*, 112105. https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112105