

برنامه‌ریزی زنجیره تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر با در نظر گرفتن ارزش تولید پایدار

حامد فضل‌الله تبار*

دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

خلاصه

منابع انرژی از مهمترین عوامل و عناصر توسعه پایدار در هر کشور می‌باشند. بنابراین باتوجه به نیاز روزافزون کشورها به توسعه، میزان به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر روبه افزایش بوده به‌طوری که یکی از شاخص‌های توسعه یافتگی، مصرف انرژی محسوب می‌شود. یکی از فرآیندهایی که می‌تواند در هر کشوری برای مدنظر قرار دادن این مهم و اعمال آن در کلیه فرآیندهای کاری مؤثر واقع شود، مدیریت زنجیره تأمین است. باتوجه به اهمیت این موضوع، در تحقیق حاضر تلاش بر این بوده است تا با در نظر گرفتن سه بعد پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، به مدل‌سازی زنجیره تأمین و تصمیم‌گیری در سطح برنامه‌ریزی کلان پرداخته شود. اساس کار در این تحقیق یک رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی و روشی جهت مدل‌سازی زنجیره تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد. کوشش شده است تا مدل‌سازی با در نظر گرفتن پویایی ارزش‌گذاری شاخص‌ها در قالب زنجیره تأمین صورت گرفته و با حل مدل به‌وسیله نرم‌افزار لینگو، به راه‌حلی پایدارتر در سطح برنامه‌ریزی زنجیره تأمین دست یابیم. در نظر گرفتن قابلیت فرآیند، به‌عنوان یک معیار کیفی در فرآیند ارزیابی شاخص‌های انرژی تجدیدپذیر و نیز ارزش‌گذاری شاخص‌ها در مرحله اول به کمک تحلیل پوششی داده‌ها از جمله نوآوری‌های این مدل می‌باشد. نتایج حل این مسأله مجموعه‌ای از شاخص‌ها می‌باشند که باتوجه به شرایط مسأله مورد مطالعه و میزان اهمیت هر شاخص در هر لایه از زنجیره تأمین، می‌توان از میان آن‌ها با اهمیت‌ترین‌شان را انتخاب کرد و باتوجه به داده‌های موجود یک چارچوب برنامه استراتژیک مناسب برای توسعه این نوع انرژی‌ها در کشور تدوین نمود.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۴۰۱/۰۱/۲۳

پذیرش ۱۴۰۱/۱۰/۰۵

(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:

پایداری

انرژی‌های تجدیدپذیر

زنجیره تأمین

تولید پایدار

۱. مقدمه

امروزه تغییرات آب‌وهوایی یک چالش بزرگ جهانی شده است. این تغییرات به‌علت تأثیرات وسیع خود حتی به‌میزان ضعیف، به‌دلیل گستردگی بسیار قابل تأمل بوده و این‌گونه است که لزوم استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر برای کشورها و جوامع باید در نظر گرفته شود [۱]. عوامل بسیاری از جمله گسترش فزاینده نیاز به انرژی، محدودیت منابع فسیلی، آلودگی زیست‌محیطی ناشی از سوختن مواد فسیلی، گرم شدن هوا و اثر گلخانه‌ای، لزوم تعادل پخش گازهای آلاینده و

بسیاری از عوامل دیگر سبب رویکرد دوباره علم به‌سمت انرژی‌های نو و تجدیدپذیر شده با این تفاوت که پیشرفت علم و فناوری فصلی تازه در به‌کارگیری و تبدیل و مهار این انرژی‌ها گشوده است [۲]. باتوجه به نقش حیاتی انرژی برای جوامع بشری و نقش بسیار تأثیرگذار آن در پیشرفت و توسعه پایدار کشورها، امروزه به‌کارگیری و استفاده بهینه از منابع انرژی جهت رفع نیازهای جامعه انسانی نیازمند روی آوردن به انرژی‌های تجدیدپذیر، مدیریت انرژی و بهینه‌سازی مصرف آن است [۳]. باتوجه به افزایش مصرف انرژی در ایران و محدود بودن منابع

* نویسنده مسئول: حامد فضل‌الله تبار

تلفن: ۰۲۳-۳۱۱۷۰۰۰۰؛ پست الکترونیکی: h.fazl@du.ac.ir

اگر منابع به بنگاه اختصاص یابد.

مفهوم تولید پایدار با تغییرات ناشی از ظهور مدل‌های اقتصادی و صنعتی جدید مانند اقتصاد دوار و صنعت ۴/۰ در حال تحول است [۹]. باتوجه به اهمیت پایداری، جای تعجب نیست که این بخش در زمان‌های اخیر توجه فزاینده‌ای را در ادبیات موجود به خود جلب کرده است، اگرچه توجه کمتری به اهمیت ایمنی در تولید پایدار و اینکه چگونه ممکن است عملکرد در این بخش را به چالش بکشد، شده است [۱۰].

مطالعه گرامی و همکاران [۱۱] با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و با در نظر گرفتن تأثیر جمعیت، تولید ناخالص ملی و پیشینه مصرف به پیش‌بینی مصرف حامل‌های انرژی، به تفکیک بخش‌های آن می‌پردازد. همچنین سیاست‌های کشور ایران برای بهره‌برداری از سیستم‌های فتوولتائیک خانگی را بررسی می‌کند. با اعمال این سیاست‌ها در افق زمانی ۱۳۹۲ تا ۱۴۱۰ کاهش ۴۵ میلیون تنی گازهای گلخانه‌ای معادل کربن پیش‌بینی می‌شود.

در مطالعه مشایخی و همکاران [۱۲] مدل ساده‌ای برای توضیح رفتار مصرف‌کننده در بخش انرژی و بیان موانع پیش‌رو برای بهره‌برداری از انرژی‌های نو ارائه شده است.

مطالعه نارولا کاپیل و همکاران [۱۳] بخشی از ارزیابی امنیت انرژی پایدار (SES) برای هند است. امنیت انرژی پایدار فراتر از "عرضه انرژی" است و در واقع عملکرد سیستم انرژی کشوری یک کشور است، از جمله "تقاضای انرژی" و "زیرسیستم تبدیل و توزیع". سیستم فرعی عرضه که شامل هشت منبع اولیه است. زغال سنگ، نفت، گاز طبیعی، زیست توده، آبی، خورشیدی، بادی و هسته‌ای برای چهار ابعاد امنیت انرژی پایدار، یعنی دسترسی، مقرون به صرفه بودن، کارایی و پذیرش (محیط زیست) با استفاده از ۱۶ معیار انتخاب شده مورد ارزیابی قرار گرفته است.

پژوهش آبسالیامو و همکاران [۱۴] به جستجوی شاخص‌های ارزشیابی توسعه پایدار سرمایه‌ی انسانی اختصاص یافته است. رابطه‌ی توسعه پایدار سرمایه‌ی انسانی با توسعه اقتصادی گردش‌ی مورد مطالعه قرار گرفته است. تأثیر سرمایه‌ی انسانی بر دستیابی به رشد اقتصادی پایدار و طولانی مدت تحلیل شد. همچنین تأثیر اقتصاد اطلاعات بر کیفیت بازتولید سرمایه‌ی انسانی مورد بررسی قرار گرفته است. لیندیک جادا و همکاران [۱۵] یک روش جدید برای سیاست‌گذاری را نشان می‌دهند که ناشی از دیدگاه کارآفرینی است. این رویکرد به بررسی چارچوب استراتژی کسب‌وکار موفق (استراتژی اقیانوس آبی) برای کشف شرایط لازم برای رشد بالا می‌پردازد.

مطالعه یاووز آکار و همکاران [۱۶] نشان می‌دهد پیش‌بینی کردن به‌عنوان یکی از عوامل مهم تعیین‌کننده‌ی عملکرد عملیاتی، در زنجیره‌های تأمین در نظر گرفته می‌شود، اگرچه تنها تعداد اندکی از مطالعات روش‌های پیش‌بینی خود را بر این اساس انتخاب کرده‌اند. این مقاله به‌عنوان یک مطالعه‌ی موردی در ارتباط با انتخاب روش پیش‌بینی مناسب برای یکی از تولیدکننده‌های جهانی روغن و

طبیعی، حرکت در راستای طرح توسعه پایدار و حفاظت از محیط زیست باید به‌گونه‌ای باشد که توسعه و بهره‌برداری از پتانسیل‌های موجود انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی‌های خورشیدی، بادی، برق آبی و زیست توده به حداکثر رسیده و از هدر رفتن و تلف شدن انرژی در مقیاس کلی نیز جلوگیری شود [۴]. موضوع توسعه‌ی پایدار یکی از چالش‌های پیش روی کشورهای در حال توسعه است. تاکنون رشد اقتصادی مهم‌ترین معیار موفقیت نظام‌های اقتصادی در جهت دستیابی به رفاه اقتصادی تلقی می‌شده است [۵].

باتوجه به اینکه لزوم استفاده از سایر منابع انرژی برای تأمین آن روز به روز در کشور بیشتر احساس می‌شود، این مطالعه با بهره‌گیری از رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی، روشی در جهت مدل‌سازی پایداری زنجیره‌تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر باتوجه به پویایی ارزش‌گذاری متمرکز می‌شود. رویکرد پژوهش نیز شناسایی شاخص‌ها، ارزیابی اهمیت این شاخص‌های پایداری در سطوح (لایه) مختلف زنجیره‌تأمین با در نظر گرفتن ابعاد سه‌گانه توسعه پایدار است. همچنین اثرات مثبت کلان استفاده از این نوع انرژی‌ها در کشور، در ابعاد زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی توسعه پایدار بررسی شده تا بتوان استراتژی‌های لازم برای بهره‌برداری هرچه بهتر از انرژی‌های تجدیدپذیر را تدوین نمود.

۲. پیشینه پژوهش

این مطالعه منابع انرژی تجدیدپذیر را از منظر زنجیره‌تأمین ارزیابی می‌کند و تحقیقاتی راجع به انرژی‌های تجدیدپذیر باتوجه به چهار بخش اصلی زنجیره‌تأمین انرژی تجدیدپذیر، عملکرد انرژی تجدیدپذیر و موانع و استراتژی‌های توسعه آن انجام می‌دهد. مطالعه هو مینگ وی و همکاران [۶] بینش‌های مدیریتی را برای دولت‌ها، پژوهشگران و ذینفعان برای شروع استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و پیشنهادات برای غلبه بر موانع توسعه آن را فراهم می‌کند.

ارزش ذینفعان یک منبع و مزیت رقابتی جدید و در حال رشد است که مبتنی بر عملکرد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی سازمان است. کاهش انتظارات سنتی و افزایش انتظارات اجتماعی از کسب‌وکار در حال ایجاد فرصت‌های استراتژیک جدید است. مقاله کریس لازلو و همکاران [۷] موضوع را از لحاظ مزیت رقابتی با استفاده از یک رویکرد سیستماتیک، ملاحظات ذینفعان را در استراتژی کسب‌وکار ادغام می‌کند. چنین رویکردی می‌تواند به سازمان کمک کند تا هزینه‌ها را کاهش دهد، میان محصولات و خدمات تمایز قائل شود و بازارهای جدیدی که در آن نیازهای اجتماعی برآورد نشده توسعه دهد.

در مقاله فرانک فیگ و تالیاس هان [۸] یک رویکرد جدید برای اندازه‌گیری مشارکت بنگاه در پایداری ارائه شده است که آن را ارزش پایدار گویند. این روش براساس مفهوم هزینه فرصت شکل یافته است. ارزش پایدار یک شاخص است که نشان می‌دهد، یک بنگاه نسبت به نهاد الگو (این نهاد می‌تواند یک بنگاه دیگر، یک صنعت خاص و یا کل صنعت یک کشور باشد) چه مقدار ارزش افزوده بیشتری ایجاد می‌کند

افزودنی‌های سوخت انجام شده است، محصولات می‌گیرند. طبقه‌بندی مواد شیمیایی تخصصی قرار می‌گیرند. استراتژی‌های پایدار مزایای زیست‌محیطی و مالی قابل توجهی را برای سازمان‌های مراقبت‌های بهداشتی ارائه می‌دهد. در مطالعه‌ای یک مدل بهینه‌سازی تعاملی را برای برنامه‌ریزی تولید پایدار در مراقبت‌های بهداشتی با در نظر گرفتن مدل‌های تولید محصولات پزشکی با کربن ارائه می‌کند [۱۷]. با هم‌سویی با هدف توسعه پایدار ۲۰۳۰ سازمان ملل متحد (SDGs)، در مطالعه‌ای نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در دستیابی به الگوی مصرف و تولید پایدار در آفریقا بررسی شده است [۱۸]. منابع انرژی سبز باید با سرعتی قریب‌الوقوع بسیج شوند تا نیازهای انرژی جهان را برآورده کنند که هم پایدار و هم مقرون به صرفه هستند. استفاده از محاسبات نرم برای تولید برق پایدار به‌طور مؤثر نیازمندی‌ها و هزینه‌های اضافی را حذف می‌کند. روش انتخاب فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) و تکنیک فازی برای ترتیب اولویت‌ها براساس شباهت به راه‌حل ایده‌آل (FTOPSIS) نقشی محوری در قدرت پایدار و محاسبات نرم ایفا می‌کند. القصاب در مطالعه‌ای ارزیابی و تجزیه و تحلیل یک سیستم کنترل انرژی تجدیدپذیر بلندمدت با محافظت سیستم در برابر حملات سایبری انجام داده است [۱۹].

هدف پژوهش [۲۰] ارائه یک رویکرد هوشمند تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر صنعت ۴/۰ و اصول سه‌گانه محوری برای توسعه زنجیره‌تأمین پایدار در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر است. به‌طور خاص، زنجیره‌تأمین انرژی فتوولتائیک خورشیدی به‌عنوان یک مطالعه موردی استفاده می‌شود که کل فرآیند تولید انرژی، از عرضه تا دفع را دربر می‌گیرد. بررسی ادبیات جامعی برای شناسایی معیارهای اصلی مؤثر بر پایداری اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی در زنجیره‌تأمین انرژی فتوولتائیک و بررسی تأثیر بالقوه صنعت ۴/۰ بر پایداری انجام می‌شود. متعاقباً، سه سیستم استنتاج فازی که داده‌های کمی و کیفی را ترکیب می‌کنند برای محاسبه پایداری اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی زنجیره‌تأمین ساخته می‌شوند. نظرات کارشناسان برای شناسایی تأثیر فناوری‌های Industry 4.0 بر سه ستون پایداری برای هر مرحله زنجیره‌تأمین استفاده می‌شود.

۱-۲. جمع بندی و تبیین شکاف

تاکنون موضوعات زنجیره‌تأمین، زنجیره‌تأمین پایدار و طراحی شبکه‌ی زنجیره‌تأمین پایدار برای انرژی‌های تجدیدپذیر مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است [۲۱]، اما در زمینه مدل‌سازی زنجیره‌تأمین پایدار براساس شاخص‌های توسعه پایدار در ابعاد سه‌گانه، برای این نوع از انرژی‌ها پژوهش متمرکز صورت نگرفته است. لذا تصمیم‌گیری در سطح استراتژیک شبکه زنجیره‌تأمین پایدار در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر موضوع جدید و مورد توجهی می‌باشد و در مقایسه با سایر زنجیره‌های تأمین در جهان، زنجیره‌تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر نقش مهمی را در عملکرد اجتماعی ایفا می‌کند. باتوجه به مطالبی که در بخش‌های قبل بررسی شد، در زمینه

- ۱) عدم وجود شاخص‌های مدون برای هر سطح از زنجیره‌تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر
- ۲) عدم تدوین شاخص‌ها در هر بعد از ابعاد سه‌گانه پایداری (اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی) در زنجیره‌تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر
- ۳) در نظر نگرفتن اثرات شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در زنجیره‌تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر
- ۴) در نظر نگرفتن اهمیت متفاوت شاخص‌های انرژی‌های تجدیدپذیر در تدوین استراتژی‌های کلان انرژی‌های تجدیدپذیر
- ۵) در نظر نگرفتن یک مدل ریاضی برای استخراج شاخص‌های ارجح برای تصمیم‌گیری

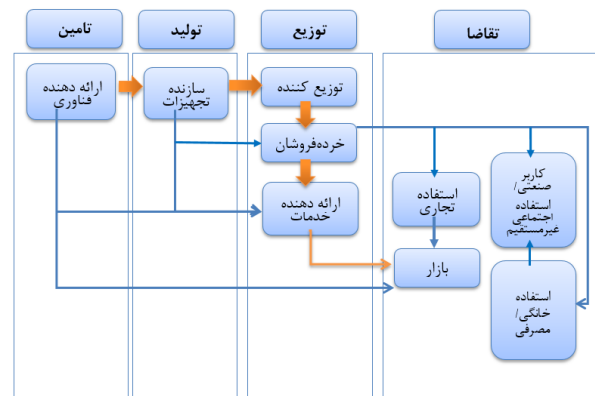
۳. بیان مسأله

در تحلیل زنجیره‌تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر، هدف از مدل‌سازی آن شناسایی و کمی‌ن کردن شاخص‌های مربوط به تولید و بهره‌برداری از این نوع انرژی‌ها، با در نظر گرفتن یک سری استانداردها و معیارهای مشخص می‌باشد. بدین منظور شاخص‌هایی برای سیستم‌های انرژی در سطح خرد و یا کلان تعریف می‌شود، به‌گونه‌ای که با استفاده از این شاخص‌ها به قضاوت در مورد کارایی سیستم‌های انرژی پرداخته می‌شود. زنجیره‌تأمین سیستم‌های انرژی در مقیاس‌های خرد (مانند یک واحد عملیاتی، یا یک فرآیند و یا حتی یک کارخانه) و در مقیاس کلان (مانند یک بخش صنعتی یا منطقه‌ای، کشور و یا حتی جهان) در نظر گرفته می‌شوند. لذا شاخص‌های قضاوت در مورد آن‌ها نیز باید هم در مقیاس خرد و هم در مقیاس کلان قابلیت تحلیل عملکرد آن سیستم‌ها را داشته باشند [۲۲].

به‌طور کلی هزینه همواره معیار اصلی در تصمیم‌گیری‌های مربوط به مدیریت زنجیره‌تأمین و به‌خصوص زنجیره‌تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر بوده است اما آن چیزی که بررسی مدیریت زنجیره‌تأمین در حوزه توسعه پایدار را مهم می‌نماید، حضور دو فاکتور زیست‌محیطی و اجتماعی است. در واقع ادبیات مدیریت زنجیره‌تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر در محیط توسعه پایدار در دو بخش، راهکارهای زیست‌محیطی برای مدیریت زنجیره‌تأمین و سناریوهای مختلف برای مدیریت زنجیره‌تأمین در محیط توسعه پایدار بررسی می‌شود. منابع انرژی‌های تجدیدپذیر بسیار زیاد و غیرمستقیم بوده‌اند و همیشه به‌دلیل شرایط غیرقابل کنترل آب‌وهوایی و سایر عوامل همیشه تغییر می‌کنند و غیر قابل پیش‌بینی هستند. با این حال، استفاده و توزیع انرژی‌های تجدیدپذیر، از وظایف اصلی در زنجیره‌تأمین آن‌ها است.

۳-۱. جریان و عملکرد زنجیره‌تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر

در حال حاضر، انرژی‌های تجدیدپذیر و لزوم استفاده از این نوع انرژی‌ها و زنجیره‌تأمین آن به یک موضوع مهم و در حال تحول تبدیل شده است و این زنجیره تأثیر قابل توجهی در اجرای برنامه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی می‌گذارد. زنجیره پایدار انرژی‌های تجدیدپذیر تنها محدود به مسائل اقتصادی نمی‌شود، بلکه مباحث مربوط به گرمایش زمین، مسائل اجتماعی، محیط زیست و ... را نیز دربر می‌گیرند. مانند بسیاری از زنجیره‌های عرضه معمول، عناصر زنجیره‌تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر شامل جریان فیزیکی، اطلاعاتی و مالی هستند. از منظر جریان فیزیکی در صنایع، افزایش آگاهی از فرآیندهای تولید این نوع انرژی‌ها، محصولات و شاخص‌های مرتبط با عملکرد مدیریت زنجیره‌تأمین آن‌ها، مسائل مدنظر هستند. این مسائل توجه بسیاری از محققان را به دلیل سهم بالقوه انرژی‌های تجدیدپذیر در کاهش مشکلات جهانی محیط زیستی به تصویر کشیده است.



شکل (۱). جریان زنجیره‌تأمین خالص انرژی‌های تجدیدپذیر [۲۳].

شکل (۱) یک جریان زنجیره‌تأمین خالص انرژی‌های تجدیدپذیر که توسط برنامه توسعه سازمان ملل متحد ارائه شده را نشان می‌دهد. الگوریتم به‌عنوان مثال در این جریان زنجیره‌تأمین برای نشان دادن روابط در حلقه نشان داده شده است. تکنولوژی در زنجیره‌تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر یکی از عوامل موفقیت کلیدی برای بهبود بهره‌وری و نوآوری شبکه توزیع است.

حال آنکه جریان زنجیره‌تأمین مورد مطالعه در این پژوهش شامل سه سطح، تأمین‌کننده، توزیع‌کننده و مشتری می‌باشد. در بررسی‌های انجام شده و طبق نظر کارشناسان انرژی‌های تجدیدپذیر، برای نشان دادن شکل کلی برای زنجیره‌تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور، شکل (۲) در نظر گرفته شد. سپس به‌منظور بررسی ابعاد پایداری و توسعه پایدار در این زنجیره، شاخص‌های مربوط به هر یک از ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی توسعه پایدار، در هر لایه از زنجیره‌تأمین شناسایی شده تا برای برنامه‌ریزی‌های کلان انرژی در کشور به‌کار گرفته شوند. عناصر این زنجیره‌تأمین شامل جریان فیزیکی، جریان اطلاعاتی، جریان مالی می‌باشد. برای بررسی درست و شناسایی نقاط ضعف و قوت این جریان‌ها به بررسی شاخص‌های

مربوط به آن‌ها پرداخته شده است. این شاخص‌ها فقط آثار زنجیره‌تأمین و سیستم‌های انرژی نیستند؛ بلکه استفاده از این آن‌ها موجب درک عمیق‌تر در مورد تعاملات بین جریان‌های زنجیره، محیط زیست و بخش‌های اجتماعی و اقتصادی می‌شود. یکی از مهم‌ترین نکات در مدیریت زنجیره‌تأمین کنترل مؤثر جریان فیزیکی در زنجیره است. معمولاً ۳۰٪ از قیمت کالا مربوط به فرآیند توزیع است. بنابراین، بهبود جریان مواد و کالا از طریق مدیریت کارآمد فرآیند توزیع یک فعالیت ضروری برای افزایش رضایت مشتریان است. بنابراین، بسیاری از سازمان‌ها در حال تحقیق و توسعه روش‌هایی برای کنترل مؤثر جریان مواد خود هستند. بنابراین به‌طور مثال شاخص‌های مربوط به جریان فیزیکی می‌تواند چگونگی فراهم آوردن تجهیزات و تکنولوژی‌های سیستم‌های تولیدکننده انرژی از منابع تجدیدپذیر (پنل‌های خورشیدی) و چگونگی انتقال این تجهیزات از تأمین‌کنندگان به مشتریان را مورد بررسی قرار دهد. جریان مالی در خلاف جهت جریان مواد و کالا در سرتاسر زنجیره برقرار می‌باشد. عملکرد مالی در زنجیره‌تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر مورد مطالعه شامل هزینه‌ها؛ مانند هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌های تعمیر و نگهداری است. شاخص‌های مورد بررسی نیز در همین راستا تهیه و تنظیم شده‌اند. مدل مسأله هم به‌دنبال کاهش هزینه‌های اجرایی هر شاخص در جریان مالی زنجیره می‌باشد. جریان اطلاعاتی صحیح در زنجیره‌تأمین، همکاری بین اعضا زنجیره‌تأمین را از طریق انتقال و توزیع سریع اطلاعات دقیق بهبود می‌بخشد و باعث افزایش کارایی زنجیره‌تأمین می‌گردد. مدیریت زنجیره‌تأمین بر سودآوری بلندمدت و کلی برای تمام شرکای زنجیره‌تأمین به‌واسطه انتقال و توزیع دقیق و قوی اطلاعات تأکید دارد که این خود دلالت بر اهمیت فناوری اطلاعات در مدیریت زنجیره‌تأمین است. در عصر ما، اطلاعات یک عامل کلیدی در تصمیم‌گیری جهت بقا و توسعه بنگاه می‌باشد. از طرفی دو ستون اصلی مدیریت زنجیره‌تأمین، یکپارچه‌سازی شبکه بنگاه‌ها و هماهنگ‌سازی جریان مواد، اطلاعات و مالی است. این هماهنگ‌سازی در طول زنجیره با استفاده از پیشرفت‌های اخیر در فناوری اطلاعات و ارتباطات به‌نحو مؤثری بهبود یافته است. جریان‌های اطلاعاتی در زنجیره‌تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر (شکل ۲) می‌تواند دربرگیرنده اطلاعات مربوط به تعاملات بین محیط زیست و بخش‌های اقتصادی و اجتماعی در استفاده از این نوع انرژی‌ها باشد.

همان‌طور که بیان شد در تحلیل زنجیره‌تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر، هدف از مدل‌سازی آن، شناسایی و کمینه کردن شاخص‌های مربوط به هر لایه از زنجیره با توجه به سه بعد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی توسعه پایدار با در نظر گرفتن یک سری استانداردها و معیارهای مشخص می‌باشد. بدین منظور شاخص‌هایی که در سطح خرد و یا کلان تعریف می‌شود، می‌توانند به قضاوت در مورد کارایی سیستم‌های انرژی بپردازد. همچنین گزارش‌های متعددی تنظیم شده که درباره‌ی شاخص‌های انرژی پایدار در زنجیره‌تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر بحث کرده‌اند. به‌عنوان مثال، گزارش مجموعه‌ی

ارزیابی یکپارچه.

ابزارهای دسته اول ساده‌ترین و رایج‌ترین ابزارهایی هستند که به صورت کمی، پایداری سیستم‌های انرژی را کنترل می‌کنند. این ابزارها می‌توانند به دو شکل یکپارچه و غیریکپارچه تقسیم شوند. درآمد ملی قابل توجه، شاخص‌های پایداری محیطی و رد پای اکولوژیک، نمونه‌های رایج از شاخص‌های یکپارچه هستند که توسط ابزارهای یکپارچه دسته اول استفاده می‌شوند. اگرچه بیشتر مطالعات ارزیابی پایداری از ابزارهای دسته اول، به‌ویژه شاخص‌های غیریکپارچه استفاده می‌کنند، اما این ابزارها قادر به در نظر گرفتن تعاملات بین جنبه‌های پایداری به طور همزمان نیستند. آن‌ها همچنین دیدگاه برگشتی دارند و فقط برای پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت مناسب هستند. ابزارهای دسته دوم، که بر فرآیندهای تولید تمرکز دارند، به بررسی جریان‌های مختلف انرژی و مواد در رابطه با محصولات می‌پردازند. آن‌ها به دنبال شناسایی خطرات و ناکارایی خاص برای حمایت از فرآیند تصمیم‌گیری هستند. این ابزارها ارزیابی چرخه عمر یک محصول را به تجزیه و تحلیل یک سیستم پیچیده ترجیح می‌دهند. علاوه بر این، تمرکز آن‌ها بر روی جنبه زیست‌محیطی پایداری است.

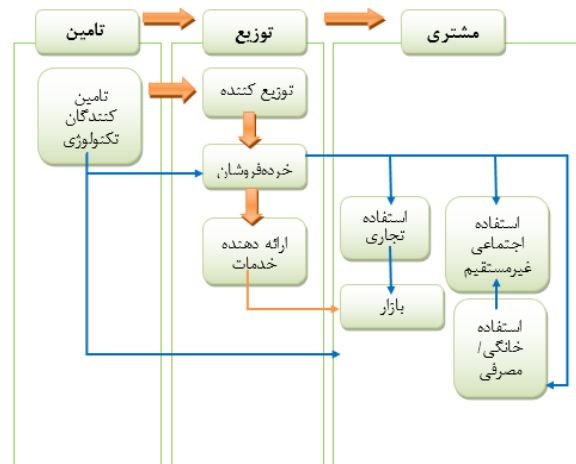
ابزار دسته سوم، تعداد زیادی از موضوعات مهم در حوزه پایداری را برآورده می‌کند، و در برابر اولین دسته، آن‌ها از لحاظ سیستمی مورد بررسی قرار می‌دهد. این ابزارها اغلب بر اساس رویکرد تحلیل سیستم و در نظر گرفتن تأثیرات اجتماعی و محیطی هستند. آن‌ها شامل مدل‌سازی مفهومی، پویایی سیستم، تصمیم‌گیری چند معیار و تحلیل ریسک، عدم اطمینان، آسیب‌پذیری و هزینه-سود. تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره یکی از مؤثرترین روش‌ها است که می‌تواند به طور همزمان تمام جنبه‌های پایداری را در نظر بگیرد. علاوه بر این، می‌تواند شاخص‌های کیفی و کمی را نیز استفاده کرد [۲۵].

اگرچه استفاده از ابزارهای دسته سوم، امکان مقایسه و ارزیابی گزینه‌های مختلف را فراهم می‌کند، اما این ابزار نمی‌تواند توضیح دهد که چگونه یک سیستم در طول زمان تکامل و بهینه‌سازی شده است. بنابراین، ترکیب یک چارچوب برای ارزیابی پایداری، کیفیت ارزیابی را ارتقا می‌بخشد. به این ترتیب، امکان ارزیابی پایداری سیستم‌های انرژی تحت شرایط و سیاست‌های مختلف وجود دارد. با این حال، بیشتر مطالعات آینده‌نگر اغلب پایداری سیستم‌های انرژی را بر اساس مجموعه‌ای از تصمیمات از پیش تعیین شده در سال هدف ارزیابی می‌کنند. به این ترتیب، نه زنجیره‌تأمین انرژی بهینه شده است و نه تغییرات متغیر سال‌های میانی مشخص شده است. بنابراین، نمی‌توان تکامل سیستم انرژی را ردیابی کرد و سیستم پشتیبانی تصمیم را در این سال‌ها مدیریت کرد

۳-۳. تدوین شاخص‌های انرژی‌های تجدیدپذیر برای رسیدن به توسعه پایدار

یکی از روش‌های ارزیابی وضعیت زنجیره‌تأمین انرژی در کشور، بررسی شاخص‌های اصلی در این حوزه می‌باشد. گزارش‌های مربوط به توسعه پایدار انرژی‌های تجدیدپذیر، اغلب مجموعه‌ای از شاخص‌ها را برای

شاخص‌های انرژی برای توسعه پایدار (EISD) یکی از آن‌هاست، که ۳۰ شاخص انرژی برای توسعه پایدار را به طور جامع شرح می‌دهند و روش‌ها و دستورالعمل‌های خاصی را برای آن‌ها ارائه می‌کنند. همچنین می‌توان با بالا بردن آگاهی‌های لازم برای نیاز به پیگیری توسعه پایدار در فرمولاسیون پروژه‌های انرژی، برنامه‌ریزی و تدوین استراتژی، به کشورهای در حال توسعه، برای تعریف رویکرد یکپارچه در جهت توسعه و پایداری انرژی کمک کرد.



شکل (۲). زنجیره‌تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر

۳-۲. ارزیابی پایداری

ارزیابی پایداری برای زنجیره‌تأمین و سیستم‌های انرژی ابزاری است که سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان را در مورد گزینه‌های پیش روی آن‌ها مطلع می‌کند. در همین راستا بررسی شاخص‌های پایداری مرتبط می‌توانند در ارزیابی گزینه‌های مختلف برای سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان نقش مهمی را ایفا کنند. بدین ترتیب تعریف مجموعه‌ای از شاخص‌های پایداری برای زنجیره‌تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر یک گام مهم در ارزیابی پایداری می‌باشد. لازم به ذکر است که شاخص‌های انرژی فقط آمار زنجیره‌تأمین و سیستم‌های انرژی نیستند. استفاده از این شاخص‌ها موجب درک عمیق‌تر در مورد تعاملات بین انرژی، محیط زیست و بخش‌های اجتماعی و اقتصادی می‌شود [۲۴].

ارزیابی توسعه پایدار بستگی به ترکیب شاخص‌های تعریف شده در سه بعد دارد: اقتصادی، اجتماعی و محیط زیست دارد. بررسی رابطه بین سیستم‌های انرژی، با شاخص‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی، تجزیه و تحلیل عمیق‌تری از سیستم را انجام می‌دهد. از آنجا که، فعالیت‌ها در هر سیستمی تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم بر دیگران و محیط دارند بنابراین آن‌ها در غالب یک سیستم پیچیده درهم تنیده می‌شوند. تغییرات شاخص‌های انرژی در طول زمان می‌تواند به عنوان نزدیک بودن به پایداری انرژی تفسیر شود. طبقه‌بندی‌های مختلفی برای ابزارهای ارزیابی پایداری صورت گرفته است. یک طبقه‌بندی از ابزارهای ارزیابی پایداری این است که آن‌ها را به سه دسته تقسیم کنیم: (۱) شاخص‌ها، (۲) ارزیابی محصول و (۳)

به تفکیک، شناسایی و استخراج شاخص‌های انرژی‌های تجدیدپذیر در هر سطح (لایه) از زنجیره‌تأمین آن و سپس در هر بعد از ابعاد سه‌گانه پایداری پرداخته می‌شود. جداول (۱)، (۲) و (۳) تقسیم‌بندی شاخص‌ها در هر سطح از زنجیره‌تأمین را نشان می‌دهند.

پس از جداسازی شاخص‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، در هر لایه و سپس در هر بعد از زنجیره‌تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر به دنبال تعیین یک متودولوژی یا راه‌حل مناسب برای شناسایی و غربال کردن شاخص‌های ارجح، و استفاده از آن‌ها برای برنامه‌ریزی برای آینده و تعیین و تبیین اهداف، استراتژی‌ها و سیاست‌های انرژی در آینده هستیم زیرا به کمک شناسایی این شاخص‌ها و ارزش‌گذاری آن‌ها می‌توان به مدیران جهت شناسایی هر چه بهتر اقدامات و تصمیماتشان یاری رساند.

اندازه‌گیری عملکرد پایداری معرفی می‌کنند. در این گزارش‌ها مؤلفه‌های توسعه پایدار تبدیل به شاخص‌های قابل اندازه‌گیری در حوزه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی شده و اطلاعاتی را درباره نحوه حرکت به سمت توسعه پایدار فراهم می‌آورند. اصولاً شاخص‌های تهیه شده مورد قبول همگان نیستند، به طوری که تاکنون یکسری شاخص‌های مشترک تهیه نشده است تا مورد پذیرش همگان باشد. تنوع جغرافیایی محیط‌های انسانی و طبیعی ایجاب می‌کند که شاخص‌هایی متناسب با وضعیت محلی و زمینه مورد تحقیق انتخاب شود که قابل مشاهده، قابل برآورد، بیان‌کننده ویژگی منحصر به فرد، تا حد ممکن جامع و کلی، قابل تولید مجدد، نسبت به زمان و مکان حساس، نشان‌دهنده روند تغییرات، وابسته به تأثیرات انسانی، به طور مفهومی قابل کاربرد و برای جمع‌آوری ساده باشند [۲۶]. بدین ترتیب

جدول (۱). شاخص‌های پایداری مربوط به سطح تأمین‌کنندگان در ابعاد سه‌گانه توسعه پایدار [۲۵،۲۶]

تأمین‌کنندگان			
ابعاد پایداری	بعد اقتصادی	بعد زیست‌محیطی	بعد اجتماعی
شاخص‌ها	شدت انرژی	غلظت مواد الاینده در محیط‌های شهری	درصد تأمین‌کنندگان محلی به کل تأمین‌کنندگان
	نرخ گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر	درصدی از منابع دیگر که به جای منابع فعلی می‌تواند مصرف شود	درصد جمعیتی که مشکلات جدی تأمین انرژی دارند.
	نمایه پایدار منطقه: درصد GDP براساس فعالیت‌های پایدار ظرفیت تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر و پسماند در کل کشور طی سال	درصد ظرفیت قابل تحمل منطقه (تولید اولیه و ظرفیت جذب مواد زائد)	وجود خط‌مشی‌ها، روش‌های اجرایی، سیستم‌های مدیریت و مکانیزم‌های تطابق برای مدیریت تبلیغات و کمک‌های سیاسی
	سراجه مصرف نهایی انرژی به تفکیک حامل‌ها	درصد منابع حیاتی وابسته (غذا، آب، انرژی، مواد ضروری) به منابعی که تحت کنترل نیستند	میزان پول پرداختی به مهمانی‌های سیاسی و موسساتی که کار اصلی آن‌ها سرمایه‌گذاری در مهمانی‌های سیاسی یا کاندیدهای آن‌ها می‌باشند
	نسبت عرضه کل انرژی اولیه به GDP		
	سهم منابع تجدیدپذیر		
	اثرات اقتصادی: نسبت هزینه‌های فعالیت‌های اقتصادی به ارزش معاملات اقتصادی		
	میزان سرمایه‌گذاری برای انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران		
	مصرف انرژی اولیه		

جدول (۲). شاخص‌های پایداری مربوط به سطح توزیع‌کنندگان در ابعاد سه‌گانه توسعه پایدار [۲۵،۲۶]

سطح	ابعاد پایداری	شاخص‌ها
توزیع‌کنندگان	بعد اقتصادی	نرخ تغییر انرژی لازم برای برداشت یک واحد از منابع تجدیدپذیر نرخ تغییر در ظرفیت تحمل زیستی منطقه رشد سالانه مصرف نهایی حامل‌های انرژی در بخش‌های مختلف
	بعد زیست‌محیطی	میزان استفاده از منابع تجدیدناپذیر (سوخت‌های فسیلی و...) انرژی لازم برای برداشت یک واحد از منابع تجدیدپذیر ظرفیت تحمل زیستی واقعی در برابر ظرفیت تحمل مورد بهره‌برداری درصد مصرف، بازیافت و احیای منابع و میزان جذب مواد زائد که باید از روش‌های فنی انجام گیرد ظرفیت خودپالایی نسبت به اندوخته‌های مصرف شده
	بعد اجتماعی	درصد سازگاری بومی و روش‌های برداشت میزان منابع باتوجه به شرایط بومی تعداد شکایات تأیید شده در مورد نقض خلوت مشتریان

جدول (۳). شاخص‌های پایداری مربوط به سطح مشتریان در ابعاد سه‌گانه توسعه پایدار [۲۵،۲۶]

سطح	ابعاد پایداری	شاخص‌ها
	بعد اقتصادی	متوسط هزینه سالانه انرژی خانوارهای شهری و روستایی ایران نرخ رشد بهره‌وری انرژی‌های تجدیدپذیر بهره‌وری انرژی
مشتریان	بعد زیست‌محیطی	آلودگی هوا درصد بار زیست‌محیطی و مصرف منابع وابسته به مصرف غیرقابل جبران منابع مشترک بین‌المللی میزان تهی‌سازی منابع تجدیدپذیر (میزان احیا-میزان برداشت) میزان تهی‌سازی منابع تجدیدناپذیر
	بعد اجتماعی	اثرات مثبت استفاده از تجدیدپذیرها در فرهنگ عمومی جامعه فشار وارد بر نسل آینده ناشی از نیازهای بیش از حد امروز (استفاده بی‌رویه از منابع تجدیدناپذیر و...) نابرابری درآمد براساس استانداردهای جامعه

۳-۴. مدل ریاضی

هدف از انجام این پژوهش، ارائه یک مدل ریاضی چندهدفه برای زنجیره‌تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر با در نظر گرفتن شاخص‌های پایداری در ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی توسعه پایدار در هر لایه از زنجیره می‌باشد. در واقع در این مطالعه با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی و محدودیت‌های مسئله شاخص‌هایی که پایداری و قابلیت اجرای فرآیند را بیشینه و هزینه‌ها را کمینه می‌کنند، برای تصمیم‌گیری‌های آینده استخراج می‌شوند.

اندیس‌ها: اندیس‌های مورد استفاده در مدل و توضیحات مربوط به آن بیان شده است.

I بیانگر شاخص‌های مربوط به هر بعد از مسئله در هر سطح از زنجیره‌تأمین می‌باشد که شامل ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است

J بیانگر سطح (لایه)‌های زنجیره‌تأمین می‌باشد که شامل تأمین‌کنندگان، توزیع‌کنندگان و مشتریان می‌باشد.

K بیانگر ابعاد توسعه پایداری شامل بعد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی می‌باشد.

پارامترها: پارامترهای مورد استفاده در مدل برنامه‌ریزی ریاضی و توضیحات مربوط به هر پارامتر نیز بیان شده است.

فاکتور مربوط به کارایی (ارزش) شاخص I-ام در لایه J-ام در بعد k-ام زنجیره‌تأمین

W_{ijk}

فاکتور مربوط به قابلیت فرآیند اجرای شاخص I-ام در لایه J-ام در بعد k-ام

CP_{ijk}

فاکتور مربوط به هزینه اجرای شاخص I-ام در لایه J-ام در بعد k-ام

C_{ijk}

فاکتور مربوط به ظرفیت بهره‌برداری شاخص I-ام در لایه J-ام در بعد k-ام

Cap_{ijk}

فاکتور مربوط به خدمات قابل بهره‌برداری شاخص I-ام در لایه J-ام در بعد k-ام

S_{ijk}

حداکثر مقدار بودجه در نظر گرفته شده برای اجرای

B

شاخص‌ها

PP حداکثر مقدار قابلیت اجرای فرآیند شاخص‌ها

CC حداکثر ظرفیت قابل بهره‌برداری شاخص‌ها

SS حداکثر خدمات خدمات قابل بهره‌برداری شاخص‌ها

متغیر تصمیم: متغیر مسأله از نوع صفر و یک می‌باشد که متغیر و توضیحات مربوط به آن بیان شده است.

متغیر نوع متغیر

در حالتی که شاخص I-ام در لایه J-ام و

در بعد k-ام باشد، مقدار آن یک و

در صورتی که نباشد، مقدار آن برابر صفر

خواهد بود.

X_{ijk} باینری

تابع هدف

باتوجه به اینکه هدف شناسایی شاخص‌هایی است که میزان پایداری و قابلیت اجرای فرآیندها را بیشینه و هزینه اجرای آن‌ها را کمینه کنند، مدل زیر بدین منظور ارائه شده است.

$$MaxZ = \sum_i \sum_j \sum_k W_{ijk} X_{ijk} + \sum_i \sum_j \sum_k C_{p_{ijk}} X_{ijk} \quad (1)$$

$$MinZ = \sum_i \sum_j \sum_k C_{ijk} X_{ijk} \quad (2)$$

محدودیت‌ها:

ST :

$$\sum_i X_{ijk} \geq 1; \forall j, k \quad (4)$$

$$\sum_i C_{ijk} X_{ijk} \leq B; \forall j, k \quad (5)$$

$$\sum_i C_{p_{ijk}} X_{ijk} \leq PP; \forall j, k \quad (6)$$

$$\sum_i C_{ap_{ijk}} X_{ijk} \leq CC; \forall j, k \quad (7)$$

$$\sum_i S_{ijk} X_{ijk} \leq SS; \forall j, k \quad (8)$$

$$X_{ijk} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \quad (9)$$

محدودیت شماره (۴) بیان می‌کند که حداقل یک شاخص از هر

لایه انتخاب می‌شود. در واقع این محدودیت، محدودیت بالانس می‌باشد.

از آنجا که در این مطالعه به دنبال تعیین کارایی (ارزش) هر شاخص هستیم لذا از مدل تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزش‌گذاری هر شاخص استفاده شده است. این مدل می‌تواند یکی از ابزارهای مناسب و کارآمد در زمینه بررسی شاخص‌ها و ارزیابی عملکرد سازمان‌ها در جهت تصمیم‌گیری برای آینده آن‌ها، باشد که به‌عنوان یک روش غیرپارامتری برای محاسبه کارایی (ارزش) واحدهای تصمیم‌گیرنده (شاخص‌ها) مورد استفاده قرار گیرد.

باتوجه به معلوم نبودن اهمیت شاخص‌های بیان شده، ابتدا برای وزن‌دهی شاخص‌ها، پرسش‌نامه‌ای براساس ضریب اهمیت شاخص‌ها که برطبق طیف لیکرت در جدول (۴) نشان داده شده، تبیین گشته است. طیف لیکرت یک ساختار ساده برای نظردهی توسط خبرگان می‌باشد. لازم به ذکر است که، در این مرحله اهمیت شاخص‌ها براساس نظر خبرگان تعیین می‌شود. خبرگان نیز افراد مطلع در زمینه زنجیره‌تأمین انرژی تجدیدپذیر هستند که شامل اساتید و دانشجویان تحصیلات تکمیلی مهندسی صنایع می‌باشند.

جدول (۴). نحوه تعیین اهمیت شاخص i-ام

Ki	۱	۲	۳	۴	۵
اهمیت شاخص	بی اهمیت	کم اهمیت	عادی	با اهمیت	بسیار با اهمیت

سپس مقدار متوسط اهمیت هر شاخص (میانگین وزنی) بر طبق نظر خبرگان که در بازه ۱ تا ۵ می‌باشد، مطابق جدول (۵) نشان داده شده است:

جدول (۵). میانگین وزنی شاخص‌ها طبق نظر خبرگان

شاخص‌ها	میانگین وزنی شاخص‌ها از دید خبرگان
۱- شدت انرژی: تعیین کارایی انرژی در سطح اقتصاد ملی هر کشور	۳/۸
۲- نرخ گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر جایگزین	۳/۱
۳- نمایه پایدار منطقه: درصد GDP براساس فعالیت‌های پایدار	۲/۷
۴- سهم منابع تجدیدپذیر	۲/۵
۵- سرانه مصرف نهایی انرژی به تفکیک حامل‌ها	۳/۲
۶- نسبت عرضه کل انرژی اولیه به GDP	۴/۱
۷- ظرفیت تولید برق از تجدیدپذیرها و پسماند در کل کشور در طی سال	۳/۵
۸- نسبت هزینه‌های فعالیت‌های اقتصادی به ارزش معاملات اقتصادی	۳/۲
۹- سرمایه‌گذاری برای انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران	۲/۷
۱۰- مصرف انرژی اولیه	۳/۸
۱۱- غلظت مواد آلاینده در محیط‌های شهری	۴/۱
۱۲- درصدی از منابع دیگر که به‌جای منابع فعلی می‌تواند مصرف شود	۲/۸
۱۳- درصد ظرفیت قابل تحمل منطقه (تولید اولیه و ظرفیت جذب مواد زائد)	۳/۳
۱۴- درصد منابع حیاتی وابسته (غذا، آب، انرژی، مواد ضروری) به منابعی که تحت کنترل نیستند.	۳/۴
۱۵- درصد تأمین‌کنندگان محلی به کل تأمین‌کنندگان	۲/۷
۱۶- درصد جمعیتی که مشکلات جدی تأمین انرژی دارند.	۳/۴

محدودیت (۵) نشان می‌دهد که شاخص‌هایی که هزینه اجرای آن‌ها از حد تعیین شده کمتر است، باید انتخاب شوند. محدودیت (۶) نشان می‌دهد که شاخص‌هایی که قابلیت فرآیند اجرای آن‌ها از مقدار ۳/۴ کمتر است، انتخاب می‌شوند. این مقدار حد بالای تعیین شده برای این شاخص است. محدودیت (۷) حد بالای ظرفیت قابل بهره‌برداری برای هر شاخص در هر لایه و در هر بعد را نشان می‌دهد. بدین ترتیب شاخص‌هایی که ظرفیت بهره‌برداری کمتر از این حد را دارند، انتخاب می‌شوند. در نهایت محدودیت (۸) بیان‌کننده حد بالای خدمات قابل بهره‌برداری برای هر شاخص در هر لایه و در هر بعد است که شاخص‌هایی را که میزان خدمات قابل بهره‌برداری از آن‌ها کمتر از حد تعیین شده است، انتخاب می‌شوند. رابطه (۹) بیانگر نوع متغیر تصمیم می‌باشد.

۴. روش حل مدل و ارزیابی تولید پایدار

با وجود افزایش آگاهی از تعریف مفهومی و عملی پایداری، سوالات در مورد نحوه اندازه‌گیری پایداری عملکرد آن باقی می‌ماند. استفاده از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها^۱ علاوه بر تعیین میزان کارایی نسبی، نقاط ضعف سازمان را در شاخص‌های مختلف تعیین کرده و با ارائه میزان مطلوب آن‌ها، خط‌مشی سازمان را به‌سوی ارتقای کارایی و بهره‌وری مشخص می‌کند. شرایطی که واحدهای مورد ارزیابی (واحد تصمیم‌گیری) در مدل تحلیل پوششی داده‌ها با آن مواجه هستند، این است که با صرف تعدادی ورودی، تعداد معینی خروجی را تولید می‌کنند. این واحدها در این پژوهش، همان شاخص‌های توسعه پایدار مربوط به زنجیره‌تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر در نظر گرفته شده‌اند و

۳/۴	۱۷- بیان خطومشی‌ها، روش‌های اجرایی سیستم‌های مدیریت و مکانیزم‌های تطابق برای مدیریت تبلیغات و کمک‌های سیاسی
۳/۱	۱۸- میزان پول پرداختی به مهمان‌های سیاسی و موسساتی که کار اصلی آن‌ها سرمایه‌گذاری در مهمانی‌های سیاسی بوده و یا کاندیدهای آن‌ها می‌باشند.
۴/۱	۱۹- نرخ تغییر انرژی لازم برای برداشت یک واحد از منابع تجدیدپذیر
۲/۵	۲۰- نرخ تغییر در ظرفیت تحمل زیستی منطقه
۳/۲	۲۱- رشد سالیانه مصرف نهایی حامل‌های انرژی در بخش‌های مختلف
۴/۱	۲۲- میزان استفاده از منابع تجدیدپذیر
۳/۳	۲۳- میزان استفاده از منابع تجدیدناپذیر
۲/۹	۲۴- انرژی لازم برای برداشت یک واحد از منابع تجدیدپذیر
۳/۵	۲۵- ظرفیت تحمل زیستی واقعی در برابر ظرفیت تحمل مورد بهره برداری
۲/۵	۲۶- درصد مصرف، بازیافت و احیای منابع و میزان جذب مواد زائد که باید از روش‌های فنی انجام گیرد.
۳/۸	۲۷- ظرفیت خودپالایی نسبت به اندوخته‌های مصرف شده
۳/۹	۲۸- درصد سازگاری بومی و روش‌های برداشت منابع باتوجه به شرایط بومی
۳/۷	۲۹- وجود منابع باتوجه به شرایط بومی
۲/۸	۳۰- تعداد شکایات تأیید شده در مورد نقض حقوق مشتریان
۳/۱	۳۱- متوسط هزینه سالانه انرژی خانوارهای شهری و روستایی ایران
۳/۴	۳۲- نرخ رشد بهره‌وری انرژی‌های تجدیدپذیر
۲/۷	۳۳- امنیت انرژی
۳/۱	۳۴- آلودگی هوا و افزایش اثر گلخانه‌ای
۳/۵	۳۵- درصد بار زیست‌محیطی و مصرف منابع وابسته به مصرف غیرقابل جبران منابع مشترک بین‌المللی
۴/۱	۳۶- نرخ تهی‌سازی منابع تجدیدپذیر
۳/۹	۳۷- نرخ تهی‌سازی منابع تجدیدناپذیر
۳/۵	۳۸- اثرات مثبت استفاده از تجدیدپذیرها در فرهنگ عمومی جامعه
۲/۷	۳۹- فشار وارد بر نسل آینده ناشی از نیازهای بیش از حد امروز
۳/۱	۴۰- نابرابری درآمد براساس استانداردهای جامعه

که باتوجه به رابطه‌ی زیر محاسبه شده است.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

لازم به ذکر است که، نتایج محاسبه شده برای قابلیت اجرایی فرآیند، هزینه، ظرفیت قابل بهره‌برداری و خدمات قابل بهره‌برداری تمامی شاخص‌ها باتوجه به داده‌های گذشته، اطلاعات موجود در ترازنامه انرژی ایران، گزارش‌های وضعیت جهانی شاخص‌های انرژی تجدیدپذیر و همچنین نظر کارشناسان بخش انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران و باتوجه با بازه‌های بیان شده در جداول (۷)، (۸) و (۹)، ارائه شده است. داده‌های مربوط به پارامتر قابلیت اجرای فرآیند هر شاخص در جدول (۷) نشان داده شده است.

۴-۳. هزینه اجرایی هر شاخص (C_{ijk})

این پارامتر داده‌های مربوط به هزینه اجرایی شاخص‌هایی است که در هر سطح از زنجیره تأمین و در ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی شناسایی شدند، می‌باشد. حد بالای هزینه از میانگین بودجه تعیین شده در ترازنامه انرژی ایران و گزارشات وضعیت جهانی شاخص‌های انرژی تجدیدپذیر به‌دست آمده است.

۴-۱. مدل تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)

به منظور رتبه‌بندی شاخص‌های ارائه شده، میانگین وزن هر شاخص که در جدول (۲) طبق نظر خبرگان به‌دست آمد، به‌عنوان ورودی به مدل تحلیل پوششی داده‌ها که در نرم‌افزار لینگو تعبیه شده، داده شده است. نتایج خروجی این مدل در جدول (۶) ارائه شده است. قابل ذکر است که خروجی این مدل، کارایی (ارزش) برای هر شاخص در نظر گرفته شده است.

با داشتن کارایی (ارزش) شاخص‌ها از مدل تحلیل پوششی داده‌ها و داده‌های مربوط به پارامترهای مدل که در ادامه بیان شده است، با استفاده از نرم‌افزار لینگو به حل مسأله پرداخته می‌شود.

۴-۲. قابلیت اجرای فرآیند هر شاخص (C_{pijk})

قابلیت اجرای فرآیند هر شاخص از استخراج داده‌ها، از فرآیند ارزیابی کیفی اجرای شاخص‌ها به‌دست می‌آید. حال آنکه برخی از شاخص‌ها ممکن است از استاندارد خاصی پیروی کنند که این استاندارد در دوره‌هایی اندازه‌گیری و ثبت می‌گردد. با کمک این داده‌ها می‌توان حد بالا (USL) و حد پایین (LSL) مشخصات را ثبت و انحراف معیار σ را محاسبه و در نتیجه مقدار قابلیت اجرای فرآیند استخراج می‌گردد

جدول (۸). هزینه اجرایی شاخص‌ها

مقدار (برحسب شاخص واحد هزینه)	هزینه اجرایی (برحسب واحد هزینه)	مقدار (برحسب واحد هزینه)	هزینه اجرایی (برحسب واحد هزینه)	مقدار (برحسب واحد هزینه)	هزینه اجرایی (برحسب واحد هزینه)
۲	C511	۴	C311	۳	C111
۳	C611	۶	C411	۳	C211
۶	C3131	۵	C1921	۲/۵	C711
۹/۵	C3231	۲	C2021	۴	C811
۸	C3331	۲	C2121	۷	C911
۴	C3432	۴/۵	C2222	۵	C1011
۲	C3532	۱	C2322	۲/۵	C1112
۵	C3632	۲	C2422	۵	C1212
۶	C3732	۲/۵	C2522	۴	C1312
۷	C3833	۱/۵	C2622	۵	C1412
۱	C3933	۲	C2722	۳/۵	C1513
۳	C4033	۱/۵	C2823	۲	C1613
-	-	۱/۵	C2923	۴	C1713
-	-	۹	C3023	۳	C1813

۴-۴. ظرفیت قابل بهره‌برداری هر شاخص (Cap_{ijk})

این پارامتر داده‌های مربوط به ظرفیت قابل بهره‌برداری شاخص‌هایی است که در هر سطح از زنجیره‌تأمین و در ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی شناسایی شدند. این حد بالای ظرفیت از میانگین مقدار تعیین شده در ترازنامه انرژی ایران و گزارشات وضعیت جهانی شاخص‌های انرژی تجدیدپذیر به‌دست آمده است. حد بالای ۳۰۰ کیلووات ساعت برای این منظور در نظر گرفته شده است. داده‌های به‌دست آمده برای پارامتر ظرفیت قابل بهره‌برداری هر شاخص در جدول (۹) نشان داده شده است.

جدول (۹). ظرفیت قابل بهره‌برداری شاخص‌ها

مقدار	ظرفیت قابل بهره-مقدار	ظرفیت قابل بهره-مقدار	ظرفیت قابل بهره-مقدار	ظرفیت قابل بهره-مقدار	
۱۰۰	Cap2923	۱۵۰	Cap1513	۲۰۰	Cap111
۱۵۰	Cap3023	۲۰۰	Cap1613	۲۵۰	Cap211
۲۰۰	Cap3131	۵۰	Cap1713	۱۰۰	Cap311
۸۰	Cap3231	۸۰	Cap1813	۱۵۰	Cap411
۱۰۰	Cap3331	۶۰	Cap1921	۳۵۰	Cap511
۱۵۰	Cap3432	۱۰۰	Cap2021	۲۰۰	Cap611
۸۰	Cap3532	۱۵۰	Cap2121	۲۰۰	Cap711
۱۰۰	Cap3632	۵۰	Cap2222	۱۵۰	Cap811
۸۰	Cap3732	۱۰۰	Cap2222	۱۰۰	Cap911
۱۵۰	Cap3833	۷۰	Cap2322	۳۵۰	Cap1011
۱۰۰	Cap3933	۱۰۰	Cap2422	۲۰۰	Cap1112
۸۰	Cap4033	۱۰۰	Cap2522	۲۰۰	Cap1212
-	-	۱۵۰	Cap2622	۱۵۰	Cap1312
-	-	۷۰	Cap2722	۱۰۰	Cap1412

جدول (۶). میزان کارایی (ارزش) هر شاخص

مقدار	کارایی (ارزش) هر شاخص	مقدار	کارایی (ارزش) هر شاخص
۰/۹۱۳۴	W1513	۰/۶۵۷۸	W111
۰/۷۶۵۳	W1613	۰/۸۰۶۴	W211
۰/۸۹۴۳	W1713	۰/۹۲۵۹	W311
۰/۸۰۶۳	W1813	۰/۸۴۵۳	W411
۰/۶۰۹۷	W1921	۰/۷۸۱۲	W511
۰/۹۱۸۹	W2021	۰/۶۰۹۷	W611
۰/۷۸۶۴	W2121	۰/۹۱۴۳	W711
۰/۶۰۵۱	W2222	۰/۷۸۱۲	W811
۰/۷۵۷۵	W2322	۰/۹۲۵۲	W911
۰/۸۶۲۰	W2422	۰/۶۵۷۸	W1011
۰/۷۲۴۱	W2522	۰/۶۰۷۹	W1112
۰/۹۲۹۲	W2622	۰/۸۹۳۲	W1212
۰/۶۵۷۸	W2722	۰/۷۵۷۵	W1312
۰/۸۹۲۸	W2823	۰/۷۳۵۲	W1412
۰/۷۱۴۲	W3532	۰/۶۷۶۵	W2923
۰/۶۰۹۱	W3632	۰/۹۲۵۹	W3023
۰/۶۴۱۱	W3732	۰/۸۶۷۴	W3131
۰/۷۱۴۳	W3833	۰/۷۳۴۹	W3231
۰/۹۲۶۰	W3933	۰/۹۲۵۹	W3331
۰/۸۰۶۵	W4033	۰/۸۰۶۴	W3432

جدول (۷). قابلیت اجرای فرآیند هر شاخص

مقدار	قابلیت اجرای فرآیند هر شاخص	مقدار	قابلیت اجرای فرآیند هر شاخص	مقدار	قابلیت اجرای فرآیند هر شاخص
۲/۳	Cp1513	۲/۸	Cp811	۳/۱	Cp111
۲/۸	Cp1613	۲/۹	Cp911	۲/۹	Cp211
۲/۸	Cp1713	۲/۶	Cp1011	۲/۸	Cp311
۳/۰	Cp1813	۳/۱	Cp1112	۲/۷	Cp411
۳/۱	Cp1921	۲/۹	Cp1212	۳/۱	Cp511
۲/۹	Cp2021	۲/۴	Cp1312	۲/۹	Cp611
۲/۸	Cp2121	۲/۳	Cp1412	۲/۸	Cp711
۲/۷	Cp3632	۳/۱	Cp2923	۲/۷	Cp2222
۲/۴	Cp3732	۲/۹	Cp3023	۳/۰	Cp2322
۲/۶	Cp3833	۳/۱	Cp3131	۲/۹	Cp2422
۳/۱	Cp3933	۲/۸	Cp3231	۲/۸	Cp2522
۲/۸	Cp4033	۳/۱	Cp3331	۳/۱	Cp2622
۲/۳	Cp3532	۲/۴	Cp3432	۳	Cp2722
				۲/۳	Cp2823

۴-۵. خدمات قابل بهره‌برداری هر شاخص

این پارامتر داده‌های مربوط به خدمات قابل بهره‌برداری هر شاخص، سرویس و خدمتی که اجرای هر شاخص در ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی توسعه پایدار در هر سطح از زنجیره تأمین را ارائه می‌دهد. داده‌های مربوط به خدمات قابل بهره‌برداری در جدول (۱۰) نشان داده شده است.

جدول (۱۰). میزان خدمات قابل بهره‌برداری

خدمات قابل بهره‌برداری هر شاخص	مقدار	خدمات قابل بهره‌برداری هر شاخص	مقدار	خدمات قابل بهره‌برداری هر شاخص	مقدار
S111	۷	S1513	۲	S2923	۵
S211	۱	S1613	۳	S3023	۸
S311	۱	S1713	۱	S3131	۷
S411	۲	S1813	۵	S3231	۸
S511	۱	S1921	۷	S3331	۸
S611	۷	S2021	۸	S3432	۵
S711	۶	S2121	۳	S3532	۶
S811	۵	S2222	۵	S3632	۷
S911	۴	S2222	۲	S3732	۶
S1011	۴	S2322	۲	S3833	۶
S1112	۵	S2422	۳	S3933	۸
S1212	۵	S2522	۵	S4033	۳
S1312	۶	S2622	۶	-	-
S1412	۳	S2722	۲	-	-

۴-۶. نتایج حل مدل پیشنهادی و تحلیل

پس از وارد کردن داده‌های به‌دست آمده در مدل، در نرم‌افزار لینگو، ۱۰ شاخص از میان ۴۰ شاخص مورد بررسی، که پایداری و قابلیت اجرای فرآیند را بیشینه و هزینه‌های اجرایی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر را کمینه کرده‌اند، انتخاب می‌شوند. قابل ذکر است مدل دو هدفه نیز به روش وزن‌دهی با اوزان برابر بهینه‌سازی شده است. درآمد این مطالعه، از این شاخص‌ها برای تدوین استراتژی‌های لازم در جهت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور استفاده شده است. نتایج حل مدل (خروجی) در جدول (۱۱) نشان داده شده است.

جدول (۱۱). نتیجه حل مدل توسط نرم‌افزار لینگو

X2922	X1713	X1612	X911	X111
۱	۱	۱	۱	۱
X4033	X3933	X3832	X3732	X3423
۱	۱	۱	۱	۱

۴-۶-۱. تدوین استراتژی‌های جامع مبتنی بر ارزش تولید پایدار:

تدوین استراتژی جامع انرژی برای انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران، فرصت‌هایی را برای کشور و منافع ملی ایجاد خواهد کرد. این فرصت‌ها

سبب می‌شود تا بخش حاکمیت و قانون‌گذار و تصمیم‌گیرنده در خصوص برنامه‌ریزی بخش انرژی از بنگاه‌های متصدی امور تبدیل و پخش و پالایش و ... انرژی جدا شده و استعدادهای بالقوه کشور در همه انواع حامل‌های انرژی شناسایی خواهد شد و برای بخش مصرف براساس در دسترس‌ترین نوع حامل انرژی منطقه، با توجه به فاکتورهای متفاوت از جمله شرایط اقلیمی جغرافیایی و ... تصمیم‌گیری شده و جلوی موازی‌کاری‌ها گرفته می‌شود. همچنین به علت تصمیم‌گیری یکپارچه و جامع برای بخش انرژی کشور منافع مالی، ضرورتاً در نظر گرفته و حداکثر خواهند شد و توجه اصلی به منافع کل جامعه معطوف خواهد شد، نه فقط حداکثر کردن منافع درون‌بخشی و سازمانی. در این صورت نقش همه فاکتورهای مؤثر در سیاست‌گذاری انرژی دیده خواهد شد و علاوه بر فاکتور مسائل اقتصادی به مسائل دیگری اعم از فاکتورهای نظامی، امنیتی، روابط بین‌الملل، سیاسی، اجتماعی و فرهنگی و ... پرداخته می‌شود. بدین ترتیب جابجایی صحیح منابع مالی در کل بخش انرژی انجام خواهد گرفت که این مسأله خود، می‌تواند بسیاری از مسائل بخش انرژی کشور را حل کند. تشکیل نظام آماری و بانک اطلاعاتی جامع انرژی کشور از دیگر مزایای چنین مرجعی در بخش انرژی است.

همچنین به منظور تحقق این استراتژی‌ها در سطح کلان در کشور، پیشنهاد می‌شود نکات ذیل در این سیاست‌گذاری‌ها در نظر گرفته شود:

- نوع نگاه راهبردی به کل بخش انرژی کشور ایجاد شود و پایه همه تصمیم‌گیری‌ها قرار گیرد.
- نگاه به همه انواع حامل‌های انرژی بصورت یکجا و نگاه واحد باشد و برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری جامع برای بخش انرژی انجام شود.
- بخش مدیریت جامع و قدرتمند تشکیل گردد، تا تصمیمات اتخاذ شده در رابطه با انرژی‌های نو را اجرا کند.
- نظام اطلاعات و آمار جامع بخش انرژی کشور تشکیل گردد و بوسیله ارگان‌های مربوط به هریک از حامل‌ها، تغذیه اطلاعاتی شود.
- در هر مرحله از اجرای سیاست‌ها، نتایج حاصل از اجرای سیاست‌های گذشته، مورد ارزیابی و بررسی قرار گیرد و نتایج آن اساس تصمیمات و سیاست‌گذاری‌های آینده بخش انرژی گردد.
- ارتباط و هماهنگی و یکپارچگی بخش انرژی با بدنه اصلی جامعه و دیگر بخش‌های آن مانند، اقتصاد، سیاست، فرهنگ، خدمات و ... ایجاد شود و هماهنگ با آن‌ها در جهت حداکثر کردن منافع ملی حرکت شود.
- تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری در جهت ایجاد فضای فرهنگی مورد نیاز و ایجاد عزم و اراده ملی برای رسیدن به اهداف بخش انرژی در کل جامعه و ایجاد حساسیت عمومی نسبت به مصرف همه انواع انرژی و صرفه‌جویی در مصرف آن در بین افراد جامعه، باشد.
- پشتیبانی و حمایت از مراکز تحقیقاتی تخصصی در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر و تقویت بنیه علمی این مراکز به‌وسیله

سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران در بخش‌های دیگر (غیر از حوزه انرژی) نیز مورد استفاده قرار گیرد.
بنابراین با بررسی مطالعات انجام شده برای پژوهش‌های بعدی موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

- به‌کارگیری روش‌های کمی کردن شاخص‌ها مانند مدل‌های ارزش‌گذاری پایداری
- تغییر در ساختار پیمانچه‌های سه‌وجهی سیله تغییر در ابزارهای اندازه‌گیری
- به‌کارگیری متدهای متداول برای مدل سازی انرژی در قالب زنجیره‌تأمین آن
- استفاده از روش‌های استراتژیک برای رتبه‌بندی استراتژی‌ها
- تغییر تابع هدف با در نظر گرفتن اهداف دیگر برای شاخص‌ها و تغییر محدودیت‌ها
- ارائه رویکردی برای بهینه‌سازی مدل چندهدفه

مراجع

- [1] Stadler H. Supply chain management: An overview. In Supply chain management and advanced planning 2015 (pp. 3-28). Springer Berlin Heidelberg.
- [2] Christopher M. Logistics & supply chain management. Pearson UK; 2016 Mar 24.
- [3] F. Figge and T. Hahn, "Sustainable Value Added-measuring corporate contributions to sustainability beyond eco-efficiency," Ecological Economics, 2004; 48,173-187.
- [4] Keesstra SD, Quinton JN, van der Putten WH, Bardgett RD, Fresco LO. The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. Soil. 2016 Jan 1;2(2):111.

[۵] سازور ز، سپهری، مهران. مدل برنامه‌ریزی امکانی زنجیره‌تأمین پایدار محصولات زوال‌پذیر با اهداف اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی. مهندسی صنایع و مدیریت. سپتامبر ۲۰۱۷.

[6] Wee HM, Yang WH, Chou CW, Padilan MV. Renewable energy supply chains, performance, application barriers, and strategies for further development. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012 Oct 31; 16(8):5451-65.

[7] Laszlo C, Sherman D, Whalen J, Ellison J. Expanding the Value Horizon. Journal of Corporate Citizenship. 2005 Dec 1(20).

[8] Figge F, Hahn T. Sustainable value added—measuring corporate contributions to sustainability beyond eco-efficiency. Ecological economics. 2004 Feb 20; 48(2):173-87.

[9] Viles, E., Kalemkerian, F., Garza-Reyes, J.A., Antony, J. and Santos, J. Theorizing the Principles of Sustainable Production in the context of Circular Economy and Industry 4.0, Sustainable Production and Consumption, 2022: 33, 1043-1058.

[10] Syaifullah, D.H., Tjahjono, B., McIlhatton, D. and Zagloel, T.Y.M. The impacts of safety on sustainable production performance in the chemical industry: A systematic review of literature and conceptual framework, Journal of Cleaner Production, 2022: 366, 132876.

[۱۱] گرمای، رضا، درویش، امیرعباس و لوانسان پور، لیلیا؛ "بررسی تأثیر سیاست‌های اعمالی برای بهره‌برداری از سیستم‌های فتوولتائیک خانگی

تربیت نیروهای متخصص مورد نیاز در این بخش که در نهایت، نتایج کار این مراکز علمی، می‌تواند بخش سیاست‌گذار و تصمیم‌گیرنده انرژی کشور را حمایت کند تا تصمیمات اتخاذ شده از پشتوانه تحقیقاتی و فنی لازم برخوردار باشند.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

از آنجایی که به‌طور کلی، انرژی مقوله‌ای استراتژیک است، کشورهایی که تأثیر مهمی در تأمین انرژی جهانی دارند، قدرتی بازدارنده در مقابل تهدیدات خارجی نیز خواهند داشت و ایران هم که دارای منابع غنی نفت و گاز است، از این قاعده مستثناً نخواهد بود. بدین ترتیب اگر ایران از جمع کشورهای صادرکننده نفت خارج شده و به واردکننده نفت یا (گاز) تبدیل شود، موقعیت استراتژیک آن به مخاطره خواهد افتاد. امری که وقوع آن در آینده نزدیک و باتوجه به روند رو به گسترش و رشد مصرف انرژی در کشور، بعید به نظر نمی‌رسد. وقوع چنین رویدادی در آینده، به‌نحوه مدیریت انرژی کنونی بستگی زیادی دارد، یعنی باید با تکیه بر برنامه‌ریزی‌های دقیق و کارشناسانه، روند پرشتاب مصرف انرژی در کشور را مهار کرده، با مدیریت درست بر منابعی که به دلیل تجدیدناپذیر بودن، امنیت آن‌ها روبه کاهش است، آن‌ها را حفظ کرده و امکان استفاده از آن‌ها را برای مدت بیشتری در آینده فراهم کنیم. بدین ترتیب برای اجتناب از کاهش تولید انرژی در کشور، باید با بررسی پتانسیل‌های داخلی تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر، امکان جایگزینی منابع تجدیدناپذیر و کاهش اتکاء به یک منبع فراهم آید. از آنجا که چنین فرآیندی زمان بر خواهد بود، لازم است از هم‌اکنون برای اجرای چنین طرحی، گام برداشته شود.

بدین ترتیب در پژوهش حاضر به ارائه ساختاری برای برنامه‌ریزی استراتژیک انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور با در نظر گرفتن زنجیره‌تأمین آن پرداخته شد. در این ساختار ابتدا به بررسی و چگونگی جریان‌های فیزیکی، اطلاعاتی و مالی زنجیره‌تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر پرداخته و شکل کلی از آن طبق مدل ارائه شده توسط سازمان ملل متحد و نظر کارشناسان حوزه انرژی در کشور ارائه گشت. سپس با شناسایی شاخص‌های مربوط به هر سطح از زنجیره و در سه بعد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی توسعه‌ی پایدار، به ارزیابی پایداری هر شاخص پرداخته شد. مدل‌سازی ریاضی نیز در همین راستا برای بهینه‌کردن پایداری، قابلیت اجرای فرآیند برای هر شاخص و کمینه کردن هزینه‌های اجرای هر شاخص، باتوجه به محدودیت‌های موجود، برای شناسایی و جداسازی شاخص‌های ارجح‌تر ارائه شد تا مدیران و سیاست‌گذاران بخش‌های انرژی در کشور بتوانند اثرات اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی ناشی از استفاده از انرژی‌های نو را عمیق‌تر درک کرده، و در راستای توسعه پایدار این انرژی‌ها گام بردارند. زیرا وجود این شاخص‌ها و سنجه‌های عملکردی آن‌ها، اطلاعات کمی و کیفی دقیقی به سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران در جهت تدوین برنامه‌ریزی و استراتژی مناسب به‌منظور توسعه این نوع از انرژی‌ها در کشور خواهد داد. این ساختار می‌تواند برای

- [20] Mastrocinque, E., Ramírez, F.J., Honrubia-Escribano, A. and Pham, D.T. Industry 4.0 enabling sustainable supply chain development in the renewable energy sector: A multi-criteria intelligent approach, *Technological Forecasting and Social Change*, 2011: 182, 121813.
- [۲۱] علیزاده باسبان، نیما، & طالعی زاده، عطا الله. (۱۳۹۶). کاهش نشر کربن در یک زنجیره تأمین دوسطحی با در نظر گرفتن سطح کیفیت، سیاست بازگشت محصول و قیمت‌گذاری بازپرداخت: رویکرد تئوری بازی‌ها. نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، (۱۱)۵، ۲۴۹-۲۲۹.
- [22] Wee HM, Yang WH, Chou CW, Padilan MV. Renewable energy supply chains, performance, application barriers, and strategies for further development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012 Oct 31;16(8):5451-65.
- [23] Balaman ŞY, Selim H. Sustainable design of renewable energy supply chains integrated with district heating systems: A fuzzy optimization approach. *Journal of Cleaner Production*. 2016 Oct 1; 133: 863-85.
- [24] United Nations Development Programme, Productive uses of renewable energy: energy supply chain, United Nations Development Programme, (n.d.). Retrieved October 6, 2010, from http://www.undp.org/gef/pure/05/05_1/05_1_2.htm.
- [25] Sahabmanesh A, Saboohi Y. Model of sustainable development of energy system, case of Hamedan. *Energy Policy*. 2017 May 31; 104:66-79.
- [26] Graymore ML, Sipe NG, Rickson RE. Sustaining human carrying capacity: a tool for regional sustainability assessment. *Ecological economics*. 2010 Jan 15;69(3): 459-68.
- "بر برنامه‌ریزی انرژی و پیشنهاد سناریوی نو (افق سال ۱۴۱۰)"
کنفرانس بین‌المللی مهندسی برق، تهران، خرداد ۱۳۹۵.
- [12] Mashayekhi, Ali Naghi., Mohammadi, Hanieh., Mirassadollahi, Kaveh and Kamranianfar, Alireza., "Modeling Sustainability of Renewable Energies in Rural Areas: A Case Study for Iran".
- [13] Narlo kapil, Kumar K, Kaushik N, Sharma S, Mishra S. Renewable energy in India: current status and future potentials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010 Oct 31;14(8):2434-42.
- [14] J. Absalimo, Van den Bergh JC. Externality or sustainability economics?. *Ecological Economics*. 2010 Sep 15;69(11):2047-52.
- [15] Lindič J, Bavdaž M, Kovačič H. Higher growth through the Blue Ocean Strategy: Implications for economic policy. *Research policy*. 2012 Jun 30;41(5):928-38.
- [16] Acar Y, Kadipasaoglu S, Schipperijn P. A decision support framework for global supply chain modelling: an assessment of the impact of demand, supply and lead-time uncertainties on performance. *International Journal of Production Research*. 2010 Jun 1;48(11):3245-68.
- [17] Priyan, S. and Banerjee, S. An interactive optimization model for sustainable production scheduling in healthcare. *Healthcare Analytics*, 2022: 2, 100124.
- [18] Zakari, A., Tawiah, V., Khan, I., Alvarado, R. and Li, G. Ensuring sustainable consumption and production pattern in Africa: Evidence from green energy perspectives. *Energy Policy*, 2022: 169, 113183.
- [19] Alghassab, M. Quantitative assessment of sustainable renewable energy through soft computing: Fuzzy AHP-TOPSIS method, *Energy Reports*, 2022: 8, 12139-12152.



DOI: 10.22084/IER.2023.27077.2098

Renewable Energy Supply Chain Planning considering Sustainable Production Value

H. Fazlollahtabar *

Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Damghan University,
Damghan, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received 12 Apt 2022

Accepted 26 Dec 2022

Keywords:

Sustainability
Renewable Energy
Supply Chain
Sustainable Production

ABSTRACT

Energy resources are one of the most important factors and elements of sustainable development in any country. Therefore, according to the increasing need of countries for development, the amount of use of renewable energies has been increasing, so that one of the indicators of development is energy consumption. One of the processes that can be effective in any country to consider this importance and apply it to all work processes is supply chain management. Considering the importance of this issue, in the present research, an effort has been made to model the supply chain and decision-making at the level of macro-planning, taking into account the three dimensions of economic, social and environmental sustainability. The basis of this research is a mathematical programming approach and a method for modeling the renewable energy supply chain. An attempt has been made to model by considering the dynamics of valuation of indicators in the form of a supply chain and by solving the model using Lingo software, we can achieve a more stable solution at the planning level of the supply chain. Considering the capability of the process, as a quality criterion in the evaluation process of renewable energy indicators, as well as valuing the indicators in the first stage with the help of the data envelopment analysis, are innovations of this model. The results of solving this problem are a set of indicators that according to the conditions of the problem and the importance of each indicator in each layer of the supply chain, the most important ones are selected and applied to develop a suitable strategic plan framework for the development of this type of energy in the country.

* Corresponding author. H. Fazlollahtabar
Tel.:023-31170000; E-mail address: h.fazl@du.ac.ir