بسم‌الله‌الرحمن‌الرحیم

فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی

سال بیست‌ویکم ـ شماره ۸۵ ـ تابستان ۱۴۰۴

صاحب امتیاز: مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی

مدیر مسئول: دکتر علی وکیلی
سردبیر: دکتر محمدحسین مهدوی عادلی
مدیر داخلی: سید جعفر حجازی
ویراستار: لیلا قربانی
طرح جلد و صفحه‌آرایی: سعید پرور

هیأت تحریریه:

دکتر حمید ابریشمی/ استاد دانشگاه تهران ● دکتر محمدحسن پنجه‌شاهی/ استاد دانشگاه تهران ● دکترمرتضی محمدی اردهالی/ استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر ● دکترمجید عباسپور/ استاد دانشگاه صنعتی شریف ● دکتر امامی میبدی/ استاد دانشگاه علامه طباطبایی● دکتر سیدابوالقاسم امام‌زاده/ دانشیار دانشگاه صنعت نفت ● دکتر کریم اسلاملوییان/ استاد دانشگاه شیراز● دکتر مصطفی سلیمی فر/ استاد دانشگاه فردوسی مشهد● دکتر محمدباقر حشمت‌زاده / دانشیار دانشگاه شهید بهشتی ●دکتر اسدالله فرزین‌وش/ دانشیار دانشگاه تهران● دکتر عبدالرسول قاسمی/ دانشیار دانشگاه علامه طباطبائی ● دکتر حمید کردبچه/ دانشیار دانشگاه الزهرا● دکتر محسن ابراهیمی/ دانشیار دانشگاه خوارزمی/ دکتر سید احمدرضا جلالی نایینی/ دانشیار اقتصاد مؤسسه عالی آموزش و پژوهش در برنامه‌ریزی و توسعه

داوران این شماره:

شهلا خالقی● دکتر محسن ابراهیمی● محمد حسین پورنیک● دکتر سعید مشیری● دکتر محمدحسین مهدوی عادلی ● دکتر ویدا ورهرامی ● دکتر محمدحسن فطرس ● دکتر سمانه عابدی ● دکتر سعید راسخی ● زهره طباطبایی نسب ● دکتر داریوش وافی نجار ● دکتر لیلی نیاکان ● دکتر حجت الله غنیمی فرد ● دکتر محسن مهرارا ● دکتر علی امامی میبدی

مشاورین:

دکتر مهدی احراری ● دکتر مهران امیرمعینی ●دکتر فریدون برکشلی ● دکتر مرتضی بهروزیفر ● دکتر افشین جوان ● دکتر محمدصادق جوکار ●دکتر سید محمدعلی حاجی میرزایی ● شهلا خالقی ● دکترحجت الله غنیمی فرد ●دکتر محمد مزرعتی ● دکتر سعید مشیری ●دکتر مهدی نوری ●دکتر داریوش وافی نجار

به موجب نامه شماره ۸۹/۱۰/۹۷۵ مورخ ۸۹/۵/۱۲، این نشریه در پایگاه استنادی علوم جهان اسلام به نشانی www. isc. gov. ir نمایه سازی می شود.

به موجب جلسه کمیسیون بررسی نشریات علمی کشور مورخ ۸۷/۵/۲۳ و طبق نامه ۱۳۸۷/۱۰/۲۳ به شماره ۳/۸۴۷۵ مجوز علمی ـ پژوهشی فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی ثبت و صادر شد.

به موجب قانون مطبوعات پروانه انتشار فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی طی نامه شماره ۱۲۴/۷۹۳ مورخ ۸۳/۱/۲۹ از سوی وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی ثبت و صادر شد.

این نشریه در پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی به نشانی www.sid.ir نمایه می‌شود.
این نشریه در پایگاه اطلاعاتی علمی Journal of Economic Literature نیز نمایه می‌شود.

چارچوب موردنظر فصل‌نامه برای پذیرش و چاپ مقالات رسیده الزامی است

- مقاله باید شامل بخش‌های چکیده فارسی، چکیده انگلیسی (درصورتی‌که مقاله فارسی باشد)، کلید واژه، مقدمه، متن، نتیجه و منابع باشد.
- چکیده مقاله حداکثر ۲۰۰ کلمه و در برگیرنده خلاصه‌ای از محتوای مقاله، نتایج و هم‌چنین کلمات کلیدی آن باشد.
- حجم مقاله حتی‌المقدور از ۲۰ صفحه بیش‌تر نباشد.
- عنوان مقاله، نام کامل نویسنده، عنوان شغلی یا علمی نویسنده، پست الکترونیکی نویسنده، نام و نشانی کامل مؤسسه‌ای که در آن پژوهش انجام شده، در صفحه اول مقاله نوشته شود.
- مقاله باید در محیط word، با بی‌نازنین ۱۳ و با فاصله سطر ۱ تایپ شده و به‌صورت الکترونیکی به آدرس iiesj@iies.ac.ir ارسال شده یا به‌صورت دیسکت به آدرس مجله فرستاده شود.
- معادل واژه‌های تخصصی که در مقاله عنوان شده، به زبان اصلی در پانوشت بیاید.

شکل‌ها و تصویرها علاوه بر این‌که در متن مقاله قرار می‌گیرد، باید فایل اصلی آن (Excel و ...) نیز ارائه شود.

- جدول‌ها باید به‌ترتیبی که در متن می‌آید، شماره‌گذاری شده باشد و نوع کمیت، همراه با واحد مربوط در بالای هر ستون نوشته شود. ضمناً تمام جدول‌ها باید دارای مآخذ باشند.
- برای ذکر منابع در پایان مقاله، باید الگوی زیر استفاده شود:
  - **برای کتاب**: نام‌خانوادگی و نام نویسنده (سال انتشار)، عنوان کتاب، نام مترجم، محل نشر، ناشر؛
  - **برای مقاله**: نام خانوادگی و نام نویسنده (سال انتشار)، عنوان مقاله (به‌صورت زیرخط‌دار)، عنوان نشریه، دوره یا جلد، شماره (سال)، صفحه یا صفحات؛
  - ضمناً در داخل متن مقاله، ذکر منابع به‌صورت خلاصه (نام‌خانوادگی یا نام سازمان، سال انتشار) نوشته شود.
- مقاله باید اصیل بوده و در جای دیگر به چاپ نرسیده باشد. در صورتی‌که به‌طور هم‌زمان برای چاپ به‌جایی ارائه شده است، دفتر نشریه در جریان قرار گیرد.

مباحث و موضوعات مورد توجه نشریه

فصل‌نامه *مطالعات اقتصاد انرژی* با هدف ارتقا سطح دانش علمی محققان، سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان انرژی، مباحث و مقالاتی با موضوعات متعدد اقتصاد انرژی در سطوح ملی و بین‌المللی منتشر می‌کند. از آنجایی‌که این مجله دارای ارزش علمی ـ پژوهشی است، عموما مقالاتی برخوردار از ویژگی‌های کاملا فنی ـ دانشگاهی و مطابق با استانداردهای تعیین شده را می‌پذیرد. عمده‌ترین موضوعات موردتوجه نشریه به شرح زیر است:

- مدل‌سازی عرضه و تقاضای انرژی
- مدل‌های بهینه‌سازی انرژی
- بازارنفت و رفتار قیمت
- مدل‌سازی قیمت نفت و گاز
- تحلیل‌های هزینه ـ فایده اقتصادی طرح‌های انرژی
- مسائل زیست‌محیطی مصرف سوخت‌های فسیلی
- تحولات ساختاری در بخش انرژی ایران و جهان
- مبادلات الکترونیکی در بخش انرژی
- مباحث سیاسی، اجتماعی و حقوقی انرژی
- قراردادهای نفتی
- برنامه‌ریزی انرژی
- نهادهای بین‌المللی انرژی (IEA, ECT, OPEC)
- چشم‌اندازهای عرضه و تقاضای انرژی
- بازارهای مالی انرژی

فهرست مطالب

شناسایی و اولویت‌بندی عوامل موثر بر سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر در صنعت استان یزد *آفرین اخوان - ابراهیم ذاکری زارچ*	۱-۳۱
بررسی رابطه‌ی بین گذار انرژی و شاخص‌های زیست‌محیطی ایران با استفاده از مدل پویا *امیررضا خلیلی - مجتبی بهمنی - مهدی نجاتی*	۳۳-۶۸
عوامل مؤثر بر تقاضای نفت‌گاز در بخش حمل و نقل ریلی (مطالعه موردی: استان‌های تهران و خراسان رضوی) *فرشاد کرم - ویدا ورهرامی*	۶۹-۱۰۴
مدل‌سازی تقاضای برق بخش خانگی استان تهران: رویکرد سری‌های زمانی ساختاری *میرحسین موسوی - اسماعیل صفرزاده* - فرید دهقانی	۱۰۵-۱۴۵
عوامل مؤثر بر مصرف انرژی‌ها پاک (با تأکید بر نابرابری توزیع درآمد): شواهدی از کشورهای توسعه یافته و درحال توسعه (رهیافت مدل PMG-ARDL) *مهدی محمدی راز - مریم شریف‌نژاد - محمدحسن فطرس*	۱۴۷-۱۷۰
نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در تحقق امنیت انرژی پایدار برای اقتصاد ایران: یک رویکرد پویایی سیستمی *علی حسین استادزاد*	۱۷۱-۲۰۸
تحلیل واکنش ضربه اثرات بلندمدت شوک درآمدهای نفتی و نرخ ارز بر کسری تجاری ایران *محبوبه السادات امیرشاکرمی - حسین شریفی رنانی - سارا قبادی*	۲۰۹-۲۳۳
بررسی تأثیر طرح تزریق گاز در بهینه‌سازی ضریب برداشت از یک میدان نفتی در جنوب ایران *اسماعیل رجبی - قدرت الله امام وردی - علی اصغر اسماعیل‌نیا - مرجان دامن کشیده*	۲۳۵-۲۷۲

نشانی: تهران، خیابان ولیعصر، خیابان سایه، شماره ۶۵، مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، کدپستی ۱۹۶۷۷۴۳۷۱۱- صندوق پستی ۴۷۵۷-۱۹۳۹۵ تلفن: ۶۰-۲۲۰۲۹۳۵۱ نمابر: ۲۲۰۲۹۳۸۸ - ۲۲۰۴۹۶۲۷

پست الکترونیکی: iiesj@iies.ac.ir

درج مطالب دراین فصل‌نامه لزوماً منعکس‌کننده نظر مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی نیست،
کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است. نقل مطالب با ذکر مآخذ آزاد است.

قیمت: ۷۵۰۰۰ ریال

فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی/ سال بیست‌ویکم / شماره ۸۵/ تابستان ۱۴۰۴/ صفحات ۳۱-۱

شناسایی و اولویت‌بندی عوامل موثر بر سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر در صنعت استان یزد

آفرین اخوان[۱]
دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه علم و هنر یزد، ایران، (akhavan@sau.ac.ir)

ابراهیم ذاکری زارچ
کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه علم و هنر یزد، ایران، (e.zakeri.z@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۳

چکیده

امروزه مسائل زیست محیطی و افزایش قیمت جهانی نفت بسیاری از کشورها را به سرمایه‌گذاری در منابع جدیدی از انرژی سوق داده است. از این‌رو دولت‌ها در صدد تشویق سرمایه‌گذاران در انرژی‌های تجدیدپذیر هستند. در این پژوهش به شناسایی و اولویت‌بندی عوامل موثر بر سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر در صنعت استان یزد پرداخته شده است. پژوهش حاضر از نظر نوع روش‌شناسی، کاربردی- پیمایشی است. استراتژی پژوهش از نوع آمیخته اکتشافی است. به‌طوری که در مرحله اول روش کیفی با تکنیک تحلیل محتوای کیفی و در مرحله دوم روش کمی و تکنیک تصمیم‌گیری بهترین- بدترین (BWM) مورد استفاده قرار گرفته است. ابزار مورد استفاده در پژوهش مصاحبه و پرسشنامه می‌باشد. نمونه آماری به روش هدفمند قضاوتی و با روش گلوله برفی انتخاب شده است. جامعه خبرگان این تحقیق در بخش کیفی و تکنیک دلفی ۱۴ نفر از مدیران بخش پژوهش‌های راهبردی وزارت نیرو که فعالیت‌های امکانسنجی سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر بخش صنعت را عهده دار بودند و همچنین کارشناسان و مدیران شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت استان یزد می‌باشد. در بخش کمی و تکنیک بهترین- بدترین از نظران سه نفر از خبرگان استفاده شد. پس از حل ۲۲ مدل ریاضی، نتایج پژوهش نشان داد که عوامل اصلی موثر بر سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر در صنعت استان یزد را می‌توان به‌ترتیب اولویت در شش دسته شامل: قابلیت اعتماد، پذیرش اجتماعی، منابع انسانی، فنی، زیست محیطی و اقتصادی دسته‌بندی نمود. براساس ارزیابی انجام شده ۱۵ مولفه کلیدی و ۴۱ شاخص در این ۶ بعد معرفی شدند.

طبقه‌بندی JEL: Q2, G11, C58, R11
کلیدواژه‌ها: انرژی‌های تجدیدپذیر، سرمایه‌گذاری، عوامل موثر، بخش صنعت، یزد، روش بهترین- بدترین.

---

۱. نویسنده مسئول

۱- مقدمه

مدیریت سرمایه‌گذاری در توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، یکی از مهم‌ترین راه‌های ذخیره انرژی و کاهش آلاینده‌های زیست محیطی در سیستم‌های اقتصادی مبتنی بر کاهش آلاینده‌های زیست محیطی است و سرمایه‌گذاران به دلایل فراوانی از جمله کم بودن هزینه‌های عملیاتی و عدم آلودگی محیط‌زیست جذب این حوزه می‌شوند. بسیاری از کشورها نیروگاههای خورشیدی را از طریق قانونی حمایت کرده‌اند که سبب رشد بازار برق خورشیدی شده است. این وضعیت موجب شد تا صنعت انرژی خورشیدی به سرعت رشد کند (Augustin & Werz, 2021). افزایش روز افزون مصرف انرژی، ضرورت شناسایی منابع پاک‌تر و تجدیدپذیر را افزایش داده است. انرژی نه تنها به عنوان جزئی مهم در توسعه جوامع بلکه به عنوان یک رکن اساسی برای دستیابی به توسعه و شکوفایی اقتصادی یک کشور مطرح است، به گونه ای که انرژی یکی از داده‌های مهم و حیاتی در زندگی افراد و تقریبا در تمامی فعالیت‌های تولیدی و مصرفی در بخش‌های گوناگون اقتصادی می‌باشد (نیکویی و همکاران، ۱۴۰۰). از آن جایی که مناطق مختلف ایران دارای اقلیم‌های گوناگونی است، بنابراین تنوع بخشی به منابع انرژی موجود در کشور و عدم وابستگی به منابع انرژی صرفا فسیلی، می‌تواند یکی از راهبردهای اصلی در این زمینه باشد که متاسفانه در کشور ما همچنان وابستگی شدیدی به سوخت‌های فسیلی در تامین برق مصرفی مردم وجود دارد که بایستی مورد بازنگری قرار گیرد. مساله اساسی دیگر جنبه مالی و اقتصادی انرژی‌های تجدید پذیر است. گذر از سیستم انرژی سنتی به سیستم انرژی تجدیدپذیر و بهره‌گیری موثر از آن، وابستگی زیادی به تجاری سازی انرژی تجدید پذیر دارد (ظریفی و همکاران، ۱۳۹۷).

رشد اقتصادی و کاهش روزافزون مصرف انرژی و آلودگی شدید محیط زیست دو مسئله اصلی است که به شدت بر توسعه پایدار در جامعه تأثیر می‌گذارد. به عبارت دیگر، حالت توسعه فعلی با مفهوم پایداری مطابقت ندارد. لذا در راستای توسعه اقتصادی، علاوه بر رشد اقتصادی، بایستی صرفه‌جویی انرژی، بهبود کارایی انرژی و زیست‌محیطی مورد توجه قرار گیرد (محمدپرست و همکاران، ۱۴۰۲). با توجه به پتانسیل بالای کشور در داشتن منابع انرژی خدادادی، جمعیت فراوان و افزایش مصرف انرژی در کشور، نیاز به توسعه پایدار در بخش صنایع و وجود بازار جذاب تامین انرژی و

منافع مالی آن در منطقه خاورمیانه و سهم ایران از این بازار، دولت در تلاش است تا بتواند سبد مصرف انرژی را در کشور متنوع نماید و سهم تجدیدپذیرها در تامین انرژی مصرفی افراد جامعه را افزایش دهد (شوقی و همکاران، ۱۴۰۲).

کشور ایران در به کارگیری از انرژی‌های تجدیدپذیر با مشکلات و چالشهای فراوانی روبرو است. شناخت ناکافی مردم و برخی از مسئولین از مسئله حیاتی انرژی، انرژی‌های تجدیدپذیر و مزایای آن و همچنین نبود توجیه اقتصادی را می‌توان از مهم‌ترین موانع دستیابی به انرژی‌های نو در این برهه‌ی زمانی دانست و وجود منابع غنی فسیلی در کشور دلیل عدم توفیق در توسعه تجدیدپذیرها است، اما تخصیص بهینه این مشوق‌های مالی برای دولت کاری دشوار است؛ چراکه در صورت عدم تخصیص مناسب این منابع، نتایج حاصله مطلوب نبوده و عملا دولت بخشی از سرمایه خود را هرچند موقتی از دست خواهد داد (آشفته، ۱۳۹۸). استقبال بخش خصوصی از سرمایه گذاری در پروژه های توسعه انرژی باعث شده است که اکنون دولت‌ها برای مدیریت بهتر این سرمایه‌ها برنامه‌ریزی کنند. در حال حاضر اکثر پروژه‌های توسعه انرژی مستقیما توسط دولت‌ها مدیریت می‌شود و این فرصتی برای استفاده از حداکثری از منابع بخش خصوصی جهت رسیدن به اهداف توسعه اقتصاد مبتنی بر کاهش آلاینده‌های زیست محیطی است (Sun et al, 2013). اما مشکل اساسی موجود، ایجاد تمایل در سرمایه‌گذاران بخش خصوصی به منظور حرکت در مسیر طرح‌ریزی شده توسط دولت‌ها است. باید به این موضوع توجه داشت که دولت‌ها همواره به دنبال ایجاد زیرساخت‌های لازم جهت تامین انرژی از منابع تجدیدپذیر بوده و توجه به سودآوری بخش خصوصی در اولویت بعدی قرار دارد (Ming et al, 2014). به عبارت دیگر، برای مدیران بخش دولتی، رسیدن به اهداف مدنظر دولت‌ها نسبت به ریسک‌های موجود برای سرمایه گذاران بخش خصوصی در ورود به بخش‌های مختلف توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر دارای اهمیت بیشتری است. این موضوع باعث شده کشورهایی که دارای زیرساخت‌های اقتصادی مناسبی نیستند و بخش خصوصی اطمینانی از سودآوری خود در آینده ندارد، مقدار سرمایه گذاری‌ها کاهش داشته باشد. برای مثال در کشور ایران، سرمایه گذاری بخش خصوصی در سال ۲۰۱۹ نسبت سال ۲۰۱۶ در بخش انرژی خورشیدی که به عنوان یک فرصت سرمایه گذاری پایدار شناخته می‌شود، افزایش یابد اما در بخش انرژی زیست توده و زمین

گرمایی کاهش ۱۷ درصدی داشته که دلیل آن وجود بحران اقتصادی در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ است (Shimbar & Ebrahimi, 2020).

در حقیقت سرمایه گذاران بخش خصوصی تمایلی به قبول ریسک سرمایه گذاری در بخش‌های دیگر توسعه انرژی را ندارند، حال آن که دولت به دنبال استفاده از تمامی ظرفیت‌های ممکن است. بنابراین دولت جهت افزایش سهم بخش خصوصی در سرمایه گذاری توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش‌های مورد نظر خود، باید راهکارهایی را ارائه دهد تا سرمایه گذاران بخش خصوصی را راغب به سرمایه‌گذاری در آن بخش‌ها نماید. بنابراین اجرای تحقیقات گسترده به منظور ارائه راه‌کارهای مدیریتی جهت حل مساله در بخش‌های مختلف از جمله مدیریت سرمایه‌گذاری دارای ضرورت قابل‌توجه است. علاوه بر این سرمایه‌گذاری در انرژی تجدیدپذیر بخش صنعت که یکی از بخش های مهم حوزه‌های اقتصادی است، نیاز به بررسی و تدوین استراتژی‌هایی جهت کاهش هزینه‌ها در سایر بخش‌ها است. استان یزد جزء شهرهای صنعتی کشور است که می تواند سرمایه‌گذاری انرژی‌های تجدیدپذیر مقرون به صرفه داشته باشد. از طرفی دسترسی به انرژی یکی از اصلی‌ترین مولفه‌های امنیت ملی در هر کشور است و هرگونه اخلال در آن آسیب‌های پردامنه‌ای به بخش‌های مختلف کشور وارد می‌کند. یکی از راهبردهای اصلی تنوع بخشی به منابع و عدم وابستگی به یک یا دو نوع سوخت است که با استفاده از انرژی حاصل از نیروگاه‌های تجدیدپذیر امکان صرفه‌جویی در منابع فسیلی و صیانت از آن برای نسل‌های بعدی فراهم می‌آید و بسیاری از تکنولوژی‌های مربوط به انرژی‌های تجدیدپذیر در مراحل ابتدایی توسعه‌ی فناوری خود قرار دارند. از این‌رو کشور ایران به ویژه استان یزد می‌تواند با استفاده از پتانسیل داخلی ضمن تهیه قسمتی از نیازهای انرژی خود به عنوان یکی از تولیدکنندگان اصلی در منطقه ایفای نقش کند. عدم استقبال از انرژی‌های تجدیدپذیر علی‌رغم داشتن پتانسیل بالای کشور و دستاوردهای مالی و اقتصادی و زیست محیطی که به همراه خواهد داشت، موضوعی است که نیاز به تحقیق و بررسی بیشتر را می‌طلبد. شکاف زیاد بین ظرفیت‌های موجود در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور و نحوه سرمایه‌گذاری و استفاده از این ظرفیت‌ها در تامین انرژی مصرفی، ضرورت و اهمیت شناسایی عوامل موثر را نشان می دهد. در ارتباط با سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر، تحقیقات متعددی انجام شده

است؛ اما مسئله اولویت‌بندی روش‌های سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر، در حد مطلوب مورد توجه قرار نگرفته است. تحقیق حاضر با ارائه یک چارچوب تصمیم گیری مبتنی بر روش دلفی فازی و رویکرد بهترین - بدترین به این شکاف تحقیقاتی می‌پردازد.

۲- مبانی نظری پژوهش

دلفی فازی

روش دلفی ابزاری برای تصمیم‌گیری و پیش‌بینی کیفی توسط گروه متنوعی از متخصصین است. دالکی و همکاران در شرکت رند در دهه ۱۹۵۰ پروژه‌ای را برای ارتش امریکا به عهده گرفته بودند که بر اساس آن باید دیدگاه‌های گروهی از متخصصان را توسط یک پرسشنامه به دست می‌آوردند، لذا برای اولین بار روش دلفی را ابداع نمودند (Sitlington & Coetzer, 2015). روش دلفی فازی از روش دلفی سنتی و تئوری مجموعه فازی منتج شده است. روش دلفی فازی، در طول سه دهه گذشته، با نگاه به اهمیت برطرف کردن ابهام خبرگان بارها توسط پژوهشگران مورد بازنگری قرار گرفته است. در این روش از مجموعه اعداد فازی یا نظریه مجموعه فازی استفاده می‌شود که به موجب آن هر مجموعه دارای ارزشی از صفر تا یک می‌باشد. این روش باعث کاهش هزینه و زمان ارزیابی‌ها، کاهش دفعات تحقیق و افزایش نرخ بازیافت آیتم‌ها می‌شود و به متخصصین اجازه می‌دهد که نظرات خود را بدون هیچ انحراف مبهمی ابراز نمایند و در نهایت بدون به خطرافتادن نظرات واقعی و اصلی خود به جماع و توافق‌نظر برسند (Manakandan et al, 2017). در این مطالعه الگوریتم جهت غربال عوامل موثر بر سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر، از تکنیک دلفی فازی بهره برده شده است. مراحل دلفی فازی به‌طور خلاصه عبارتند از شناسایی طیف مطلوب برای فازی‌سازی عبارات کلامی مطابق جدول (۱)، میانگین مقادیر فازی شده، فازی‌زدایی مقادیر طبق رابطه (۱)، انتخاب شدت آستانه و غربال معیارها.

جدول ۱. اعداد فازی مثلثی متناظر عبارت‌های کلامی (آذر و فرجی، ۱۳۹۵)

عبارت کلامی	عدد فازی مثلثی متناظر
خیلی زیاد	(۰/۷۵ ، ۱ ، ۱)
زیاد	(۰/۵ ، ۰/۷۵ ، ۱)
متوسط	(۰/۲۵ ، ۰/۵ ، ۰/۷۵)
کم	(۰ ، ۰/۲۵ ، ۰/۵)
خیلی کم	(۰ ، ۰ ، ۰/۲۵)

اگر $\tilde{N}$=(l,m,u) یک عدد فازی باشد، فازی زدایی شده این عدد از طریق رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

رابطه (۱)

$$\text{Crisp (N=(} \frac{۲m+l+u}{4}$$

روش بهترین-بدترین (BWM[1])

روش بهترین-بدترین یکی از کاراترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر پایه مقایسه‌های زوجی است. روش بهترین-بدترین با نیاز به تعداد مقایسه‌های زوجی کمتر نسبت به سایر تکنیک‌های مشابه تکنیک کاراتر است و نتایج با قابلیت اطمینان بالاتری را به‌دست می‌دهد. مراحل روش بهترین-بدترین به‌طور خلاصه عبارتند از (Rezaei, 2015):

گام ۱- مشخص کردن مجموعه معیارها $C = \{c_1 . c_2 \dots c_n\}$

گام ۲– مشخص کردن بهترین (به عبارت دیگر مطلوب‌ترین یا مهم‌ترین) معیار با اندیس B و بدترین (نامطلوب‌ترین یا بی اهمیت‌ترین) معیار با اندیس W

گام ۳- مشخص کردن میزان ارجحیت بهترین معیار Bدر مقایسه با سایر معیارها. a_{Bj} نشان‌دهنده عمکرد بهترین معیار (B) نسبت به معیار j میباشد. این مقیاس بین ۱ تا ۹ است. بدیهی است که $a_{BB} = ۱$ می‌باشد.

1. Best-Worst Method

رابطه (۲) $A_B = (a_{B1} \dots . a_{Bn})$

گام ۴- مشخص کردن عملکرد همه معیارها نسبت به بدترین معیار W. a_{jW} نشان‌دهنده عمکرد معیار j نسبت به بدترین معیار (W) می‌باشد. بدیهی است که مقدار $a_{WW} = ۱$ می‌باشد.

رابطه (۳) $A_W = (a_{1w} \dots . a_{nw})^T$

گام ۵- یافتن وزن‌های بهینه $(w_1^* \dots . w_n^*)$

مقادیر بهینه وزن برای معیارها منحصر به فرد هستند و به ازای هر جفت، شروط زیر برای آنها برقرار است:

رابطه (۴) $w_B/w_j = a_{Bj}$

رابطه (۵) $w_j/w_B = a_{jW}$

برای ارضای این شروط برای همهj ها، باید مقادیری را یافت، که مقدار قدرمطلق حداکثر اختلاف $\left|w_j/w_B - a_{jW}\right|$ و $\left|w_B/w_j - a_{Bj}\right|$ حداقل گردد. با توجه به این که وزن‌ها غیرمنفی و جمع‌پذیر هستند، مدل خطی و نهایی به شرح زیر می‌باشد (صادقی،۲۰۱۶):

رابطه (۶) $\min \xi^L$

s.t.

رابطه (۷) $\left|w_B - w_j a_{Bj}\right| \le \xi^L$

رابطه (۸) $\left|w_j - w_W a_{jW}\right| \le \xi^L$

رابطه (۹) $\sum_j w_j = 1$

رابطه (۱۰) $w_j \ge 0 \; for \; all \; w_j$

با حل مدل بالا مقادیر بهینه وزن‌های $(w_1^* \dots . w_n^*)$ بهینه هر معیار و مقدار ξ^{L*} به‌دست خواهد آمد. از ξ^{L*}، برای به دست آوردن رابطه‌ای برای شاخص نرخ سازگاری استفاده می‌شود. مقادیر بزرگتر ξ^{L*}، منجر به نرخ ناسازگاری بالاتر و قابلیت اطمینان کمتر مقایسات خواهد شد.

۳- پیشینه پژوهش

وجود منابع بزرگ نفت و گاز و ارزان بودن قیمت انرژی از طریق پرداخت یارانه در ایران، سبب شده تا ایران در مقایسه با کشورهای پیشرفته صنعتی از قافله انرژی‌های نو، عقب بماند. در ایران طی سال‌های اخیر به دلیل عدم تخصیص اعتبارات کافی، نیروگاه‌های بزرگ احداث نشده و این در حالی است که به اعتقاد صاحبنظران این حوزه، تمام نیاز برق ایران از طریق انرژی خورشیدی قابل تامین است. چنین ظرفیت بلا استفاده کشور موجب شده است که تولید برق در ایران، اعم از احداث و نگهداری نیروگاه‌ها، سالانه ده‌ها میلیارد دلار سوخت و درآمد ارزی کشور را ببلعد. سرمایه‌گذاری در صنعت انرژی نو، سرمایه‌گذاری برای استقلال انرژی است و کشورهایی که بتوانند زیرساخت‌های انرژی نو و شبکه برق خود را سریع تر گسترش دهند، در رقابت برای تولید برق و توسعه اقتصادی، یک گام جلوتر از رقیبان خود خواهند بود (پوردربانی، ۱۳۹۹). در ادامه به بررسی مطالعات و تحقیقات، پژوهشگران و محققین در راستای موضوع پژوهش پرداخته می‌شود. قادرتوتونچی و درخشان محبوب (۱۴۰۱) در مطالعه ای به بررسی پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر برای تامین برق استان قزوین در افق ۱۴۱۰ پرداختند. نتایج گرفته شده حاکی از این امر است که هزینه کربن زدایی از ۱۰ درصد بخش برق استان قزوین در افق ۱۴۱۰، در بازه ۰/۴۴ (خوش‌بینانه) تا ۰/۵۸ (بدبینانه) میلیارد دلار قرار دارد. در تحقیق ریحانی‌نیا و همکاران (۱۴۰۲) بر اساس آمار و اطلاعات مربوط به طرح‌های سرمایه‌ای بالادستی نفت و شاخص‌هایی که منعکس‌کننده اهمیت پروژه‌های بخش سرمایه‌ای نفت می‌باشند، اولویت‌بندی آن‌ها صورت گرفته‌است. براساس تجربیات کارشناسان و خبرگان نفت و انرژی و همچنین محاسبات کمی شاخص‌های مورد نظر براساس اطلاعات موجود، بیست معیار و شاخص مناسب برای اولویت‌بندی طرح‌های سرمایه‌ای بخش بالادستی نفت ذیل پنج شرکت تولیدی اصلی نفت و گاز شناسایی شد و با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری

چندمعیاره، طرح‌های مورد نظر اولویت‌بندی شد. زمان‌پور و همکاران (۱۴۰۱) در مقاله ای به ضرورت جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر با سوخت‌های فسیلی در ایران پرداختند. این مقاله جنبه توصیفی- تحلیلی داشته و نشان می‌دهد که انرژی‌های تجدیدپذیر و تقریبا بدون آلودگی محیط زیست در صورت بهره‌برداری صحیح با توجه به کاربردهای متنوع آن، می‌تواند نقش مهمی را در موازنه انرژی کشور ایفا کند. آشفته (۱۳۹۸) در پژوهشی به بررسی پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر در شهرستان همدان پرداخت. در این مقاله با استفاده از نرم افزار RETscreen امکان‌سنجی احداث نیروگاه های زیست‌توده، خورشیدی و بادی در شهرستان همدان مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از نرم افزار pvsyst احداث نیروگاه خورشیدی در همدان به‌طور دقیق تری بررسی شد. با توجه به نرخ تورم و نرخ بهره وام، سرمایه‌ی اولیه‌ی احداث و دوره بازگشت سرمایه نیروگاه‌های بادی ۶۶۰ کیلوواتی، ۳۰ مگاواتی فتوولتاییک، ۵۵۰ کیلوواتی زیست‌توده پیش‌بینی گردید. نتیجه آن بود که احداث نیروگاه خورشیدی در شهرستان همدان باید در اولویت قرارگیرد. همچنین با توجه به نتایج حاصل از نرم‌افزار pvsyst و میزان تابش افقی در همدان، متراژ زمین مورد نیاز و میزان برق تولیدی توسط نیروگاه برآورد شد. نتایج حاکی از آن بود همدان در زمینه‌ی انرژی بادی و بیومس پتانسیل بالایی ندارد و احداث این نیروگاه‌ها در این شهرستان صرفه اقتصادی ندارد. قناعت‌پیشه (۱۳۹۷) در پژوهش خود بیان داشت تغییر رویکرد در برنامه‌ریزی‌های مربوط به توسعه تولید و بهره‌برداری از شبکه‌هایی شامل نیروگاه‌های بادی پیش‌آمده است. تکسیبی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی میزان تقاضای انرژی در بخش نیروگاهی و پالایشگاهی و تقاضای زیربخش‌های حمل و نقل، صنعت، کشاورزی، خانگی و تجاری و عمومی در شهر تهران مورد بررسی و برآورد قرار دادند. این تقاضا به کمک مدل اقتصاد سنجی Eviews براساس میزان رشد جمعیت، خانوار و ارزش افزوده تا سال ۱۴۱۰ تخمین زده شد. مطابق با این تخمین بیشترین تقاضای انرژی در شهر تهران مربوط به بخش خانگی بوده و بیشترین افزایش مصرف تا ۱۴۱۰ در بخش حمل و نقل رخ خواهدداد. همچنین میزان تقاضای حامل‌های انرژی در شهر تهران تا سال ۱۴۱۰ پیش‌بینی شد.Qolipour و همکاران (۲۰۱۷) مطالعه‌ای با هدف امکان‌سنجی فنی و اقتصادی تأسیس نیروگاه بادی فتوولتائیک ترکیبی برای تولید برق و هیدروژن با

استفاده از نرم افزار هومر برای منطقه هندیجان در جنوب غربی ایران انجام دادند. یافته‌های مطالعه امکان سنجی فنی و اقتصادی نشان داد که در منطقه مورد مطالعه تأسیس نیروگاه ترکیبی تایید شد. Mostafaeipour و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهش خود به بررسی امکان‌سنجی فنی و اقتصادی پتانسیل‌های انرژی بادی برای یک منطقه واقع در گچساران پرداختند. هزینه اولیه احداث و درآمد خالص نیروگاه بادی پیش‌بینی گردید.Rezaei و همکاران (۲۰۲۰) جنبه‌های اقتصادی استفاده از انرژی بادی در افغانستان برای تولید هیدروژن را بررسی نمودند. Nematollahi و همکاران (۲۰۱۹) تحقیقی برای استفاده از انرژی‌های بادی و خورشیدی، تجزیه و تحلیل فنی و اقتصادی آن ارائه دادند. Jahangiri و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی به امکان‌سنجی تأمین برق و هیدروژن با شبکه‌های تجدیدپذیر متصل و سیستم‌های خارج از شبکه برای شهر بندرعباس با استفاده از نرم افزار HOMER Pro پرداختند. مطالعه He و همکاران (۲۰۲۳) اثربخشی سرمایه‌گذاری عمومی در تحقیق و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای پیشرو در این زمینه را بررسی نمودند. به‌طور کلی، یافته‌ها تأثیر بازدارنده تغییرات آب و هوایی، مصرف منابع طبیعی، شهرنشینی را تأیید نمود. هدف مقاله Graczyk و همکاران (۲۰۲۳) تقسیم‌بندی مصرف‌کنندگان انرژی و تعیین اینکه تا چه حد مصرف‌کنندگان هنگام تصمیم‌گیری در مورد مدیریت منابع انرژی تجدیدپذیر قبل از همه‌گیری و شیوع بحران انرژی در اروپا، طرفدار محیط زیست بودند. Selim & Alshareef (۲۰۲۵) بررسی نمودند که با وجود پیشرفت قابل توجه در انرژی‌های تجدیدپذیر در عربستان، سرمایه‌گذاران اغلب بر بازده مالی تاکید دارند و مایل به سرمایه‌گذاری در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر نیستند. چالش‌های تکنولوژیکی و نوسان قیمت انرژی نیز از موانع دیگر بودند. Zhang و همکاران (۲۰۲۴) در تحقیقی که در چین انجام گرفت، نشان دادند عوامل تعهد دولت، محیط زیست، فناوری، میزان سرمایه‌گذاری و عوامل تکنولوژیکی بر تقاضا برای سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر نقش دارند.

همان‌طور که اشاره شد پژوهش‌های پیشین به برخی از عوامل موثر بر سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر پرداخته‌اند. نکته حائز اهمیت این است که مجموعه معیارها و زیرمعیارها مدنظر در حل مساله تحقیق نیز دارای محدودیت‌های ذاتی در ادبیات پژوهش

بوده که خود می‌تواند قابلیت اطمینان نتایج حاصله را کاهش دهد. بنابراین واضح است که گسترش مجموعه معیارها و زیرمعیارهای لازم جهت تصمیم‌گیری، به عنوان نوآوری عملیاتی می‌تواند مدنظر قرار گیرد. همچنین اولویت‌بندی عوامل مؤثر در سرمایه‌گذاری انرژی تجدیدپذیر در بین مطالعات مورد بررسی قرار نگرفته است. ضمن آن‌که کمتر تحقیقاتی به استفاده از روش‌های جدید تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند روش بهترین-بدترین پرداخته است. این در حالی است که روش‌های جدید این حوزه دارای کارایی به مراتب بالاتری بوده و باعث کاهش چشمگیر محاسبات عددی می‌شوند. لذا در این مقاله به شناسایی و اولویت‌بندی عوامل موثر بر سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر بخش صنعت استان یزد، پرداخته شده است.

۴- روش شناسی

پژوهش حاضر از نوع هدف کاربردی است. از طرف دیگر، به دلیل آنکه پژوهش حاضر در هر دو مرحله به گردآوری داده‌ها به صورت کاملاً طبیعی و بدون دست‌کاری پرداخته‌است، در زمره پژوهش‌های توصیفی-تحلیلی محسوب می‌شود. از آنجا که در مرحله اول پژوهش حاضر از روش تحلیل محتوای کیفی برای جمع‌آوری داده‌ها و تحلیل آن‌ها استفاده می‌شود و در مرحله دوم از روش کمی، لذا روش مورد استفاده در این پژوهش آمیخته (ترکیبی) است. از طرفی به‌دلیل آنکه مرحله اول پژوهش نیازمند تدوین و اجرای یک ابزار کمی می‌باشد، لذا طرح پژوهش حاضر از نوع اکتشافی متوالی است. در هر دو مرحله پژوهش افق زمانی مقطعی و در مرحله اول از تکنیک دلفی فازی و ابزار مصاحبه و در مرحله دوم از تکنیک بهترین-بدترین و ابزار پرسشنامه استفاده شده است.

جامعه خبرگان این تحقیق در بخش کیفی و تکنیک دلفی ۱۴ نفر از مدیران بخش پژوهش‌های راهبردی وزارت نیرو که فعالیت‌های امکان‌سنجی سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر بخش صنعت را عهده دار بودند و همچنین کارشناسان و مدیران شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت استان یزد می‌باشد. در بخش کمی و تکنیک بهترین-بدترین از نظران سه نفر از خبرگان استفاده شد. برای انتخاب نمونه از ترکیب روش‌های هدفمند قضاوتی استفاده شده است. در مرحله اول پژوهش حاضر جهت شناسایی عوامل موثر بر سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر از تکنیک دلفی فازی

استفاده شده‌است. در مرحله دوم پژوهش حاضر جهت اولویت‌بندی عوامل موثر از ابزار تکنیک بهترین-بدترین استفاده شده‌است که با توجه به نتایج مرحله اول چارچوب، طراحی و تدوین گردیده است. جهت تجزیه وتحلیل داده‌ها نیز با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای Lingo, Excel استفاده شده است. از آنجا که نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد، سازگاری ماتریس مقایسات مورد تایید بوده و قابل قبول می‌باشد، لذا می‌توان پایایی این ابزار را تضمین نمود.

۵- تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

شناسایی عوامل موثر بر سرمایه‌گذاری

در این پژوهش، پس از مرور پیشینه تحقیق و اخذ نظرات خبرگان، عوامل موثر بر سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش صنعت استان یزد به روش تحلیل محتوای کیفی شناسایی شد و در ۶ بعد اقتصادی، فنی، قابلیت اعتماد، زیست‌محیطی، پذیرش اجتماعی و منابع انسانی دسته‌بندی گردید. به طریق مشابه مولفه‌ها و شاخص‌های هر بعد به شرح جدول (۲) شناسایی و دسته بندی شد.

جدول ۲. عوامل، مولفه‌ها و شاخص‌های مدل تحقیق

ابعاد	مولفه‌ها	شاخص‌ها	منابع
اقتصادی	اثر بخشی هزینه‌ها(C1)	قابلیت تأمین	Jahangiri et al (2019)، آشفته (۱۳۹۸)، Qolipour et al (2017)، Rezaei et al (2020)، ریحانی‌نیا و همکاران (۱۴۰۲)، Selim & Alshareef (2025)، Zhang et al (2024)
		نصب و راه‌اندازی	خبرگان، تکسیبی و همکاران (۱۳۹۷)، Qolipour et al (۲۰۱۷)، Rezaei et al (۲۰۲۰)
		تعمیر و نگهداری	Jahangiri et al (2019)، خبرگان، تکسیبی و همکاران (۱۳۹۷)، Qolipour et al (۲۰۱۷)، Rezaei et al (۲۰۲۰)
		وارهائی	خبرگان، تکسیبی و همکاران (۱۳۹۷)، Qolipour et al (۲۰۱۷)
	هزینه‌های اداری (C2)	استخدام	Mustafaeipour et al (2020) تکسیبی و همکاران (۱۳۹۷)، Qolipour et al (۲۰۱۷)
		آموزش	Mustafaeipour et al (2020)، Qolipour et al (۲۰۱۷)

ابعاد	مولفه‌ها	شاخص‌ها	منابع
		هزینه‌های سربار	Mustafaeipour et al (2020) Qolipour et al (۲۰۱۷)، تکسیبی و همکاران (۱۳۹۷)
فنی	سطح تکنولوژی (C3)	توان نامی	آشفته (۱۳۹۸)، Qolipour et al (۲۰۱۷)، Nematollahi و همکاران (۲۰۱۹)
		سرعت نامی	Jahangiri et al (2019)، آشفته (۱۳۹۸)، Qolipour et al (۲۰۱۷)، Nematollahi و همکاران (۲۰۱۹)
		عمر مفید	آشفته (۱۳۹۸)، Qolipour et al (۲۰۱۷)، Nematollahi و همکاران (۲۰۱۹)
		بازده	آشفته (۱۳۹۸)، Qolipour et al (۲۰۱۷)
	دسترسی به تکنولوژی (C4)	وجود زیر ساخت دانشی	خبرگان، Qolipour et al (۲۰۱۷)، Selim & Alshareef (2025)، Zhang et al (2024)
		تحریم و موانع سیاسی	خبرگان
		هزینه تکنولوژی	خبرگان، تکسیبی و همکاران (۱۳۹۷)، Qolipour et al (۲۰۱۷)، ریحانی‌نیا و همکاران (۱۴۰۲)، Selim & Alshareef (2025)
	میزان پیچیدگی (C5)	تعداد المان‌ها	Mustafaeipour et al (2020)
		میزان ارتباطات	Mustafaeipour et al (2020)
زیست محیطی	تولید سبز (C6)	میزان تأثیر روی اکوسیستم	خبرگان، Graczyk et al (2023)، ریحانی‌نیا و همکاران (۱۴۰۲)
		میزان کاهش تولید گاز CO_2	Mustafaeipour et al (2020), Graczyk et al (2023)، قادرتوتونچی و درخشان محبوب (۱۴۰۱)، ریحانی‌نیا و همکاران (۱۴۰۲)، Zhang et al (۲۰۲۴)
	سازگاری با محیط زیست (C7)	مناسب بودن شرایط محیطی منطقه	Mustafaeipour et al (2020), He et al (2023)، زمان‌پور و همکاران (۱۴۰۱)، ریحانی‌نیا و همکاران (۱۴۰۲)، Nematollahi و همکاران (۲۰۱۹)
		زمین مورد نیاز	خبرگان، He et al (2023)
قابلیت اعتماد	قابلیت اطمینان (C8)	شدت خرابی	آشفته (۱۳۹۸)
		نرخ خرابی	آشفته (۱۳۹۸)
		قابلیت کشف	آشفته (۱۳۹۸)
	تعمیرپذیری (C9)	سطح مهارت تعمیرکار	Mustafaeipour et al (2020)، ریحانی‌نیا و همکاران (۱۴۰۲)
		وجود رویه‌های	Mustafaeipour et al (2020)، ریحانی‌نیا و همکاران

ابعاد	مولفه‌ها	شاخص‌ها	منابع
		نگهداری	(۱۴۰۲)
		سطح دشواری تعمیر	Mustafaeipour et al (2020)، ریحانی‌نیا و همکاران (۱۴۰۲)
	دسترس‌پذیری (C10)	ذاتی	خبرگان
		عملیاتی	خبرگان
پذیرش اجتماعی	سیاسی (C11)	تایید منبع انرژی تجدیدپذیر توسط دولت	خبرگان، قناعت‌پیشه (۱۳۹۷)، ریحانی‌نیا و همکاران (۱۴۰۲)، Zhang et al (2024)
		سیاست‌گذاری‌های دولت جهت پذیرش تجاری	خبرگان، قناعت‌پیشه (۱۳۹۷)، ریحانی‌نیا و همکاران (۱۴۰۲)
		اجرای سیاست‌های تشویقی	آشفته (۱۳۹۸)، قناعت‌پیشه (۱۳۹۷)، ریحانی‌نیا و همکاران (۱۴۰۲)
	منافع اجتماعی (C12)	صرفه‌جویی اقتصادی	آشفته (۱۳۹۸)، ریحانی‌نیا و همکاران (۱۴۰۲)
		زندگی در محیطی سالم‌تر	آشفته (۱۳۹۸)، ریحانی‌نیا و همکاران (۱۴۰۲)
		ایجاد اشتغال برای افراد بومی	آشفته (۱۳۹۸)، قناعت‌پیشه (۱۳۹۷)، ریحانی‌نیا و همکاران (۱۴۰۲)
منابع انسانی	طراح (C13)	وجود متخصص طراحی	خبرگان
		وجود دانش طراحی	خبرگان
	راهبر (C14)	بهره‌مندی از متخصصان راهبری	خبرگان، قناعت‌پیشه (۱۳۹۷)
		بهره‌مندی از متخصصان برنامه‌ریزی	خبرگان، قناعت‌پیشه (۱۳۹۷)
		وجود تعمیرکاران مناسب	خبرگان، قناعت‌پیشه (۱۳۹۷)
	کاربر (C15)	کاربر پسند بودن	آشفته (۱۳۹۸)
		سهولت آموزش به کاربر	خبرگان

انتخاب نهایی عوامل

پس از شناسایی و دسته‌بندی مولفه‌های‌های سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش صنعت استان یزد، به منظور تایید و نهایی نمودن مولفه‌های هر بعد، با استفاده از روش دلفی فازی در جلسه طوفان فکری تشکیل‌شده میان اعضای خبرگان پژوهش، اقدام به جمع‌آوری دیدگاه‌ها و نظرات خبرگان شد. خبرگان پژوهش ۱۴ نفر بودند که بر اساس مصاحبه انجام شده، ۴ مصاحبه بدلیل عدم سازگاری نظرات از فهرست ارزیابی حذف شد. سپس دیدگاه ۱۰ خبره برای سنجش میزان اهمیت مولفه‌های شناسایی شده (جدول ۳) مورد تحلیل قرارگرفت. شایان ذکر است در دو مرحله ارزیابی نظرات خبرگان، انحراف نظرات کمتر از ۰/۱ بدست آمد.خبرگان پژوهش ۱۴ نفر بوده است که بر اساس مصاحبه انجام شده، ۴ مصاحبه بدلیل عدم سازگاری نظرات از فهرست ارزیابی حذف شده و دیدگاه ۱۰ خبره برای سنجش میزان اهمیت مولفه‌های شناسایی شده به شرح جدول (۳) است (شایان ذکر است در دو مرحله ارزیابی نظرات با توجه به انحراف کم زیر ۰,۱ نظرات بدست آمده است).

جدول ۳. دیدگاه خبرگان برای هریک از مولفه‌ها

نماد	کارشناس ۱	کارشناس ۲	کارشناس ۳	کارشناس ٤	کارشناس ٥	کارشناس ٦	کارشناس ۷	کارشناس ۸	کارشناس ۹	کارشناس ۱۰
C1	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد
C2	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد
C3	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	متوسط	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد
C4	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد
C5	زیاد	متوسط	زیاد	خیلی کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	متوسط	کم	زیاد
C6	خیلی زیاد	کم	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	متوسط	کم	زیاد
C7	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	متوسط	زیاد
C8	زیاد	متوسط	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد
C9	خیلی زیاد	متوسط	خیلی زیاد	خیلی زیاد	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	متوسط	خیلی زیاد
C 10	متوسط	متوسط	متوسط	خیلی زیاد	کم	متوسط	زیاد	متوسط	کم	خیلی زیاد
C 11	متوسط	متوسط	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد
C 12	خیلی زیاد	متوسط	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد
C 13	خیلی زیاد	متوسط	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد
C 14	خیلی زیاد	متوسط	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد
C 15	خیلی زیاد	متوسط	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد

در گام بعد اعداد فازی مثلثی متناظر عبارت‌های کلامی نظرات خبرگان بر اساس جدول (۱) در جدول (۳) جایگزین شدند. سپس به‌منظور تعیین اهمیت هر مولفه، برای هر مولفه (c_i) میانگین فازی نظرات ۱۰ خبره محاسبه شد و این میانگین فازی از طریق رابطه (۱) به عدد قطعی تبدیل شد (جدول۴). جهت افزایش دقت ارزیابی، مولفه‌هایی تایید شدند که مقدار قطعی نظرات آن‌ها بیش از میانگین مقدار فازی (۰/۵) بود. در این قسمت کلیه مولفه‌های موثر بر سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر بخش صنعت استان یزد تایید شدند.

جدول ۴. فازی زدایی و انتخاب مولفه‌ها

نماد	میانگین فازی			مقدار قطعی
C1	۱/۰۰	۰/۸۸	۰/۶۳	۰/۹۰
C2	۱/۰۰	۰/۹۳	۰/۶۸	۰/۸۳
C3	۰/۹۸	۰/۸۵	۰/۶۰	۰/۸۸
C4	۱/۰۰	۰/۹۰	۰/۶۵	۰/۵۸
C5	۰/۸۰	۰/۵۸	۰/۳۵	۰/۶۰
C6	۰/۸۰	۰/۶۰	۰/۳۸	۰/۸۵
C7	۰/۹۸	۰/۸۸	۰/۶۳	۰/۸۳
C8	۰/۹۸	۰/۸۵	۰/۶۰	۰/۷۸
C9	۰/۹۰	۰/۸۰	۰/۵۵	۰/۵۷
C10	۰/۷۸	۰/۵۸	۰/۳۳	۰/۸۰
C11	۰/۹۵	۰/۸۳	۰/۵۸	۰/۸۵
C12	۰/۹۸	۰/۸۸	۰/۶۳	۰/۹۱
C13	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۷۰	۰/۹۱
C14	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۷۰	۰/۸۹
C15	۰/۹۸	۰/۹۳	۰/۶۸	۰/۸۸

اولویت بندی عوامل

به‌منظور اولویت‌بندی عوامل هر ستون (سطح) مندرج در جدول (۲) از روش BWM استفاده شده‌است. در ابتدا ۳ ارزیاب خبره در هر سطح مهم‌ترین و بی‌اهمیت‌ترین عامل را مشخص نمودند. سپس با استفاده از رابطه (۲) میزان ارجحیت بهترین معیار B در

مقایسه با سایر معیارها (BO) و با استفاده از رابطه (۳) عملکرد همه معیارها نسبت به بدترین معیار W، (OW) را مشخص نمودند. به طور نمونه ارزیابی ابعاد مدل تحقیق از منظر ارزیاب اول در جدول (۵) آورده شده است. مطابق نتایج مشخص شد که کم‌اهمیت‌ترین بعد فنی و مهم‌ترین بعد زیست محیطی است.

جدول ۵. ارزیابی ابعاد مدل تحقیق از منظر ارزیاب اول

معیارها	اقتصادی	فنی	زیست محیطی	قابلیت اعتماد	پذیرش اجتماعی	منابع انسانی
BO	۴	۵	۱	۳	۳	۲
OW	۳	۱	۵	۱	۳	۲
بهترین (مهم‌ترین) بعد: زیست محیطی بدترین (کم‌اهمیت‌ترین) بعد: فنی						

در ادامه روش BWM به منظور محاسبه وزن‌های بهینه هر کدام از ابعاد، مدل برنامه‌ریزی خطی مربوطه طبق روابط (۶) تا (۱۰) برای هر ارزیاب تشکیل گردید و در نرم‌افزار Lingo اجرا شد. مدل مربوط به ارزیاب اول در خصوص ابعاد مدل در ادامه آورده شده است.

```
Min=e1;
Wc1+Wf1+We1+Wr1+Ws1+Wh1=1;
We1-4*Wc1<=e1;
We1-5*Wf1<=e1;
We1-1*We1<=e1;
We1-3*Wr1<=e1;
We1-3*Ws1<=e1;
We1-2*Wh1<=e1;
Wc1-3*Wf1<=e1;
Wf1-1*Wf1<=e1;
We1-5*Wf1<=e1;
Wr1-1*Wf1<=e1;
Ws1-3*Wf1<=e1;
Wh1-2*Wf1<=e1;
We1-4*Wc1>=-e1;
We1-5*Wf1>=-e1;
```

We1-1*We1>=-e1;
We1-3*Wr1>=-e1;
We1-3*Ws1>=-e1;
We1-2*Wh1>=-e1;
Wc1-3*Wf1>=-e1;
Wf1-1*Wf1>=-e1;
We1-5*Wf1>=-e1;
Wr1-1*Wf1>=-e1;
Ws1-3*Wf1>=-e1;
Wh1-2*Wf1>=-e1 ;

پس از حل مقدار e1، ۰/۰۷ بدست آمد. فرایند فوق برای دو ارزیاب دیگر انجام شد و مقادیر e2 و e3 به ترتیب ۰/۱۱۷ و ۰/۰۸۵ حاصل شدند. سپس میانگین نظرات سه ارزیاب محاسبه شد و به عنوان وزن نهایی در نظر گرفته شد. نتایج در (۱۲) آورده شده است.

پس از آن با روش BWM و طی مراحل مشابه مولفه‌های هر بعد توسط سه ارزیاب اولویت‌بندی شدند. به طور نمونه ارزیابی مولفه‌های وابسته به بعد اقتصادی از منظر ارزیاب اول در جداول (۶) نشان داده شده است.

جدول ۶. ارزیابی مؤلفه‌های بعد اقتصادی از منظر ارزیاب اول

هزینه‌های اداری	اثربخشی هزینه‌ها	اقتصادی
۲	۱	BO
۱	۴	OW
بهترین مولفه: اثربخشی هزینه‌ها بدترین مولفه: هزینه‌های اداری		

به منظور محاسبه وزن‌های بهینه مولفه‌های بعد اقتصادی، مدل برنامه‌ریزی خطی مربوط به ارزیاب اول به شرح زیر تشکیل گردید و در نرم‌افزار Lingo اجرا شد که در نتیجه آن ec1 با مقدار ۰/۲۵۰ مشخص گردید (جدول۱۲).

Min=ec1؛

Wc11+Wc21=1؛

Wc11-1*Wc11<=ec1؛

Wc11-2*Wc21<=ec1؛

Wc11-4*Wc21<=ec1؛

Wc21-1*Wc21<=ec1؛

Wc11-1*Wc11>=-ec1؛

Wc11-2*Wc21>=-ec1؛

Wc11-4*Wc21>=-ec1؛

Wc21-1*Wc21>=-ec1؛

برای دو ارزیاب دیگر نیز فرایند مشابه تکرار گردید و ec2 و ec3 به ترتیب صفر بدست آمدند.

ارزیابی مولفه‌های وابسته به بعد فنی از منظر ارزیاب اول در جداول (۷) نشان داده شده است.

جدول ۷. ارزیابی مؤلفه‌های بعد فنی از منظر ارزیاب اول

فنی	سطح تکنولوژی	میزان پیچیدگی	دسترسی به تکنولوژی
BO	۳	۲	۱
OW	۱	۳	۱
بهترین مولفه: دسترسی به تکنولوژی بدترین مولفه: سطح تکنولوژی			

پس از اجرای مدل‌های برنامه‌ریزی خطی مربوط به سه ارزیاب در بعد فنی در نرم‌افزار Lingo مقادیر ef1، ef2 و ef3 به ترتیب ۰/۲۵۰ ، ۰/۱۰۷ و ۰/۲۲۲ بدست آمدند (جدول۱۲).

ارزیابی مولفه‌های وابسته به بعد زیست محیطی از منظر ارزیاب اول در جداول (۸) نشان داده شده است.

جدول ۸. ارزیابی مؤلفه‌های بعد زیست محیطی از منظر ارزیاب اول

زیست محیطی	تولید سبز	سازگاری با محیط زیست
BO	۴	۱
OW	۱	۴
بهترین مولفه: سازگاری با محیط زیست بدترین مولفه: تولید سبز		

مدل برنامه‌ریزی خطی مربوط به سه ارزیاب در بعد زیست محیطی در نرم‌افزار Lingo اجرا شد که در نتیجه آن ee1، ee2 و ee3 هر سه صفر بدست آمدند (جدول۱۲).

ارزیابی مولفه‌های وابسته به بعد قابلیت اعتماد از منظر ارزیاب اول در جداول (۹) نشان داده شده است.

جدول ۹. ارزیابی مؤلفه‌های بعد قابلیت اعتماد از منظر ارزیاب اول

دسترس پذیری	تعمیر پذیری	قابلیت اطمینان	قابلیت اعتماد
۲	۴	۱	BO
۴	۱	۴	OW
بهترین مولفه: قابلیت اطمینان بدترین مولفه: تعمیر پذیری			

مدل برنامه‌ریزی خطی مربوط به سه ارزیاب در بعد قابلیت اعتماد در نرم‌افزار Lingo اجرا شد که در نتیجه آن er1، er2 و er3 به ترتیب با مقدار ۰/۱۱۱، ۰/۱۵۰ و ۰/۲۲۲ مشخص گردیدند (جدول۱۲).

ارزیابی مولفه‌های وابسته به بعد پذیرش اجتماعی از منظر ارزیاب اول در جداول (۱۰) نشان داده شده است.

جدول ۱۰. ارزیابی مؤلفه‌های بعد پذیرش اجتماعی از منظر ارزیاب اول

منافع اجتماعی	سیاسی	پذیرش اجتماعی
۱	۳	BO
۳	۱	OW
بهترین مولفه: منافع اجتماعی بدترین مولفه: سیاسی		

پس از حل مدل برنامه‌ریزی خطی مربوط به سه ارزیاب در بعد پذیرش اجتماعی، هر سه مقدار es1، es2 و es3 صفر بدست آمدند (جدول۱۲).

ارزیابی مولفه‌های وابسته به بعد منابع انسانی از منظر ارزیاب اول در جداول (۱۱) نشان داده شده است.

جدول ۱۱- ارزیابی مؤلفه‌های بعد منابع انسانی از منظر ارزیاب اول

منابع انسانی	طراح	راهبر	کاربر
BO	۱	۳	۳
OW	۳	۲	۱
بهترین مولفه: طراح بدترین مولفه: کاربر			

در نتیجه حل مدل برنامه‌ریزی خطی مربوط به سه ارزیاب در بعد منابع انسانی، مقادیر eh1، eh2 و eh3 به ترتیب ۰/۱۵۰، ۰/۱۱۱ و ۰/۰۴۲ بدست آمدند (جدول۱۲). شبیه فرایند فوق، تکنیک BWM برای همه پانزده مولفه C_i توسط سه ارزیاب ارزیابی شد و مدل‌های آنها حل گردید. نتایج در سطرهای ۸ تا ۲۲ جدول (۱۲) آورده شده است. در نتیجه حل ۲۲ مدل BWM، علاوه بر مقادیر تابع هدف، وزن هر یک از ابعاد، مولفه‌ها و شاخص‌ها نیز بدست آمد که در سطرهای ۲۳ تا ۸۴ جدول (۱۲) نشان داده شده است.

جدول ۱۲. مقدار توابع هدف و وزن نهایی عوامل، مولفه‌ها و شاخص‌ها

ردیف	عنوان	ارزیابی خبره ۱		ارزیابی خبره ۲		ارزیابی خبره ۳		وزن نهایی
		نماد	مقدار	نماد	مقدار	نماد	مقدار	
۱	تابع هدف کلی	e1	۰/۰۷۰	e2	۰/۱۱۷	e3	۰/۰۸۵	۰/۰۹۱
۲	تابع هدف وزن بعد اقتصادی	ec1	۰/۲۵۰	ec2	۰/۰۰۰	ec3	۰/۰۰۰	۰/۰۸۳
۳	تابع هدف وزن بعد فنی	ef1	۰/۲۵۰	ef2	۰/۱۰۷	ef3	۰/۲۲۲	۰/۱۹۳
۴	تابع هدف وزن بعد زیست محیطی	ee1	۰/۰۰۰	ee2	۰/۰۰۰	ee3	۰/۰۰۰	۰
۵	تابع هدف وزن بعد قابلیت اعتماد	er1	۰/۱۱۱	er2	۰/۱۵۰	er3	۰/۲۲۲	۰/۱۶۱
۶	تابع هدف وزن بعد پذیرش اجتماعی	es1	۰/۰۰۰	es2	۰/۰۰۰	es3	۰/۰۰۰	۰
۷	تابع هدف وزن بعد منابع انسانی	eh1	۰/۱۵۰	eh2	۰/۱۱۱	eh3	۰/۰۴۲	۰/۱۰۱
۸	تابع هدف وزن مولفه اثربخشی هزینه‌ها	ec11	۰/۱۰۰	ec12	۰/۸۱۱	ec13	۰/۰۲۵	۰/۳۱۲
۹	تابع هدف وزن مولفه هزینه‌های اداری	ec21	۰/۰۴۲	ec22	۰/۷۵۰	ec23	۰/۰۰۰	۰/۲۶۴
۱۰	تابع هدف وزن مولفه سطح تکنولوژی	ef11	۰/۱۵۴	ef12	۰/۸۱۱	ef13	۰/۰۳۲	۰/۳۳۲
۱۱	تابع هدف وزن مولفه دسترسی به تکنولوژی	ef21	۰/۰۴۲	ef22	۰/۱۰۰	ef23	۰/۰۴۲	۰/۰۶۱

ردیف	عنوان	ارزیابی خبره ۱		ارزیابی خبره ۲		ارزیابی خبره ۳		وزن نهایی
		نماد	مقدار	نماد	مقدار	نماد	مقدار	
۱۲	تابع هدف وزن مولفه میزان پیچیدگی	ef31	۰/۰۰۰	ef32	۰/۰۰۰	ef33	۰/۰۰۰	۰
۱۳	تابع هدف وزن مولفه تولید سبز	ee11	۰/۰۰۰	ee12	۰/۰۰۰	ee13	۰/۰۰۰	۰
۱۴	تابع هدف وزن مولفه سازگاری با محیط‌زیست	ee21	۰/۰۰۰	ee22	۰/۰۰۰	ee23	۰/۰۰۰	۰
۱۵	تابع هدف وزن مولفه قابلیت اطمینان	er11	۰/۰۵۰	er12	۰/۱۶۷	er13	۰/۰۴۲	۰/۰۸۶
۱۶	تابع هدف وزن مولفه تعمیرپذیری	er21	۰/۱۱۱	er22	۰/۲۱۴	er23	۰/۱۶۷	۰/۱۶۴
۱۷	تابع هدف وزن مولفه دسترس‌پذیری	er31	۰/۰۰۰	er32	۰/۰۰۰	er33	۰/۰۰۰	۰
۱۸	تابع هدف وزن مولفه سیاسی	es11	۰/۲۴۰	es12	۰/۰۵۷	es13	۰/۱۶۷	۰/۱۵۵
۱۹	تابع هدف وزن مولفه منافع اجتماعی	es21	۰/۰۰۰	es22	۰/۱۲۵	es23	۰/۰۴۲	۰/۰۵۶
۲۰	تابع هدف وزن مولفه طراح	eh11	۰/۰۰۰	eh12	۰/۰۰۰	eh13	۰/۰۰۰	۰
۲۱	تابع هدف وزن مولفه راهبر	eh21	۰/۱۹۶	eh22	۰/۱۰۰	eh23	۰/۰۴۲	۰/۱۱۳
۲۲	تابع هدف وزن مولفه کاربر	eh31	۰/۰۰۰	eh32	۰/۰۰۰	eh33	۰/۰۰۰	۰
۲۳	وزن بعد اقتصادی	WC1	۰/۱۰۹	WC2	۰/۱۰۴	WC3	۰/۱۱۸	۰/۱۱۰
۲۴	وزن بعد فنی	WF1	۰/۰۶۰	WF2	۰/۱۹۵	WF3	۰/۱۵۸	۰/۱۳۸
۲۵	وزن بعد قابلیت اعتماد	WE1	۰/۳۶۸	WE2	۰/۱۵۶	WE3	۰/۳۸۸	۰/۳۰۴
۲۶	وزن بعد زیست محیطی	WR1	۰/۱۲۹	WR2	۰/۱۵۶	WR3	۰/۰۶۱	۰/۱۱۵
۲۷	وزن بعد پذیرش اجتماعی	WS1	۰/۱۴۶	WS2	۰/۳۱۲	WS3	۰/۱۵۸	۰/۲۰۵
۲۸	وزن بعد منابع انسانی	WH1	۰/۱۸۹	WH2	۰/۰۷۸	WH3	۰/۱۱۸	۰/۱۲۸
۲۹	وزن مولفه اثر بخشی هزینه‌ها	WC11	۰/۷۵۰	WC12	۰/۸۰۰	WC13	۰/۸۰۰	۰/۷۸۳
۳۰	وزن مولفه هزینه‌های اداری	WC21	۰/۲۵۰	WC22	۰/۲۰۰	WC23	۰/۲۰۰	۰/۲۱۷
۳۱	وزن مولفه سطح تکنولوژی	WF11	۰/۲۰۰	WF12	۰/۱۴۳	WF13	۰/۱۱۱	۰/۱۵۱
۳۲	وزن مولفه دسترسی به تکنولوژی	WF21	۰/۳۵۰	WF22	۰/۳۲۱	WF23	۰/۲۲۲	۰/۲۹۸
۳۳	وزن مولفه میزان پیچیدگی	WF31	۰/۴۵۰	WF32	۰/۵۳۶	WF33	۰/۶۶۷	۰/۵۵۱
۳۴	وزن مولفه تولید سبز	WE11	۰/۲۰۰	WE12	۰/۳۳۳	WE13	۰/۷۵۰	۰/۴۲۸

ردیف	عنوان	ارزیابی خبره ۱		ارزیابی خبره ۲		ارزیابی خبره ۳		وزن نهایی
		نماد	مقدار	نماد	مقدار	نماد	مقدار	
۳۵	وزن مولفه سازگاری با محیط زیست	WE21	۰/۸۰۰	WE22	۰/۶۶۷	WE23	۰/۲۵۰	۰/۵۷۲
۳۶	وزن مولفه قابلیت اطمینان	WR11	۰/۵۵۶	WR12	۰/۱۵۰	WR13	۰/۱۱۱	۰/۲۷۲
۳۷	وزن مولفه تعمیرپذیری	WR21	۰/۱۱۱	WR22	۰/۶۰۰	WR23	۰/۶۶۷	۰/۴۵۹
۳۸	وزن مولفه دسترس‌پذیری	WR31	۰/۳۳۳	WR32	۰/۲۵۰	WR33	۰/۲۲۲	۰/۲۶۸
۳۹	وزن مولفه سیاسی	WS11	۰/۲۵۰	WS12	۰/۱۶۷	WS13	۰/۲۵۰	۰/۲۲۲
۴۰	وزن مولفه منافع اجتماعی	WS21	۰/۷۵۰	WS22	۰/۸۳۳	WS23	۰/۷۵۰	۰/۷۷۸
۴۱	وزن مولفه طراح	WH11	۰/۶۰۰	WH12	۰/۱۱۱	WH13	۰/۵۴۲	۰/۴۱۸
۴۲	وزن مولفه راهبر	WH21	۰/۱۵۰	WH22	۰/۳۳۳	WH23	۰/۲۹۲	۰/۲۵۸
۴۳	وزن مولفه کاربر	WH31	۰/۲۵۰	WH32	۰,۵۵٦	WH33	۰,۱٦۷	۰/۳۲۴
۴۴	وزن شاخص قابلیت تأمین	WC111	۰/۵۰۰	WC112	۰/۲۴۳	WC113	۰/۴۷۵	۰/۴۰۶
۴۵	وزن شاخص نصب و راه‌اندازی	WC121	۰/۲۰۰	WC122	۰/۴۰۵	WC123	۰/۲۵۰	۰/۲۸۵
۴۶	وزن شاخص تعمیر و نگهداری	WC131	۰/۲۰۰	WC132	۰/۱۰۸	WC133	۰/۱۵۰	۰/۱۵۳
۴۷	وزن شاخص وارهائی	WC141	۰/۱۰۰	WC142	۰/۲۴۳	WC143	۰/۱۲۵	۰/۱۵۶
۴۸	وزن شاخص استخدام	WC211	۰/۵۴۲	WC212	۰/۳۲۵	WC213	۰/۵۷۱	۰/۴۷۹
۴۹	وزن شاخص آموزش	WC221	۰/۲۹۲	WC222	۰/۵۷۵	WC223	۰/۲۸۶	۰/۳۸۴
۵۰	وزن شاخص هزینه‌های سربار	WC231	۰/۱۶۷	WC232	۰/۱۰۰	WC233	۰/۱۴۳	۰/۱۳۷
۵۱	وزن شاخص توان نامی	WF111	۰/۴۶۲	WF112	۰/۲۴۳	WF113	۰/۴۱۹	۰/۳۷۵
۵۲	وزن شاخص سرعت نامی	WF121	۰/۰۷۷	WF122	۰/۲۴۳	WF123	۰/۱۲۹	۰/۱۵۰
۵۳	وزن شاخص عمر مفید	WF131	۰/۲۳۱	WF132	۰/۴۰۵	WF133	۰/۲۲۶	۰/۲۸۷
۵۴	وزن شاخص بازده	WF141	۰/۲۳۱	WF142	۰/۱۰۸	WF143	۰/۲۲۶	۰/۱۸۸
۵۵	وزن شاخص وجود زیر ساخت دانشی	WF211	۰/۵۴۲	WF212	۰/۵۰۰	WF213	۰/۵۴۲	۰/۵۲۸
۵۶	وزن شاخص تحریم و موانع سیاسی	WF221	۰/۲۹۲	WF222	۰/۲۰۰	WF223	۰/۱۶۷	۰/۲۲۰
۵۷	وزن شاخص هزینه تکنولوژی	WF231	۰/۱۶۷	WF232	۰/۳۰۰	WF233	۰/۲۹۲	۰/۲۵۳
۵۸	وزن شاخص تعداد المان‌ها	WF311	۰/۶۶۷	WF312	۰/۲۵۰	WF313	۰/۷۵۰	۰/۵۵۶
۵۹	وزن شاخص میزان ارتباطات	WF321	۰/۳۳۳	WF322	۰/۷۵۰	WF323	۰/۲۵۰	۰/۴۴۴
۶۰	وزن شاخص میزان تأثیر روی اکوسیستم	WE111	۰/۷۵۰	WE112	۰/۷۵۰	WE113	۰/۷۵۰	۰/۷۵

ردیف	عنوان	ارزیابی خبره ۱		ارزیابی خبره ۲		ارزیابی خبره ۳		وزن نهایی
		نماد	مقدار	نماد	مقدار	نماد	مقدار	
۶۱	وزن شاخص میزان کاهش تولید گاز CO2	WE121	۰/۲۵۰	WE122	۰/۲۵۰	WE123	۰/۲۵۰	۰/۲۵۰
۶۲	وزن شاخص مناسب‌بودن شرایط محیطی منطقه	WE211	۰/۳۳۳	WE212	۰/۲۰۰	WE213	۰/۷۵۰	۰/۴۲۸
۶۳	وزن شاخص زمین مورد نیاز	WE221	۰/۶۶۷	WE222	۰/۸۰۰	WE223	۰/۲۵۰	۰/۵۷۲
۶۴	وزن شاخص شدت خرابی	WR111	۰/۲۵۰	WR112	۰/۱۲۵	WR113	۰/۲۹۲	۰/۲۲۲
۶۵	وزن شاخص نرخ خرابی	WR121	۰/۲۰۰	WR122	۰/۲۰۸	WR123	۰/۵۴۲	۰/۳۱۷
۶۶	وزن شاخص قابلیت کشف	WR131	۰/۵۵۰	WR132	۰/۶۶۷	WR133	۰/۱۶۷	۰/۴۶۱
۶۷	وزن شاخص سطح مهارت تعمیرکار	WR211	۰/۲۲۲	WR212	۰/۱۴۳	WR213	۰/۱۶۷	۰/۱۷۷
۶۸	وزن شاخص وجود رویه‌های نگهداری	WR221	۰/۳۳۳	WR222	۰/۵۰۰	WR223	۰/۵۰۰	۰/۴۴۴
۶۹	وزن شاخص سطح دشواری تعمیر	WR231	۰/۴۴۴	WR232	۰/۳۵۷	WR233	۰/۳۳۳	۰/۳۷۸
۷۰	وزن شاخص ذاتی	WR311	۰/۶۶۷	WR312	۰/۶۶۷	WR313	۰/۶۶۷	۰/۶۶۷
۷۱	وزن شاخص عملیاتی	WR321	۰/۳۳۳	WR322	۰/۳۳۳	WR323	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳
۷۲	وزن شاخص تایید منبع انرژی تجدیدپذیر توسط دولت	WS111	۰/۱۲۰	WS112	۰/۲۲۹	WS113	۰/۱۶۷	۰/۱۷۲
۷۳	وزن شاخص سیاست‌گذاری‌های دولت جهت پذیرش تجاری	WS121	۰/۶۰۰	WS122	۰/۱۴۳	WS123	۰/۵۰۰	۰/۴۱۴
۷۴	وزن شاخص اجرای سیاست‌های تشویقی	WS131	۰/۲۸۰	WS132	۰/۶۲۹	WS133	۰/۳۳۳	۰/۴۱۴
۷۵	وزن شاخص صرفه‌جویی اقتصادی	WS211	۰/۱۴۳	WS212	۰/۱۲۵	WS213	۰/۱۶۷	۰/۱۴۵
۷۶	وزن شاخص زندگی در محیطی سالم‌تر	WS221	۰/۵۷۱	WS222	۰/۶۲۵	WS223	۰/۵۴۲	۰/۵۷۹
۷۷	وزن شاخص ایجاد اشتغال برای افراد بومی	WS231	۰/۲۸۶	WS232	۰/۲۵۰	WS233	۰/۲۹۲	۰/۲۷۶
۷۸	وزن شاخص وجود متخصص طراحی	WH111	۰/۲۵۰	WH112	۰/۶۶۷	WH113	۰/۳۳۳	۰/۴۱۷
۷۹	وزن شاخص وجود دانش طراحی	WH121	۰/۷۵۰	WH122	۰/۳۳۳	WH123	۰/۶۶۷	۰/۵۸۳
۸۰	وزن شاخص بهره‌مندی از متخصصان راهبری	WH211	۰/۶۹۶	WH212	۰/۲۰۰	WH213	۰/۵۴۲	۰/۴۷۹

ردیف	عنوان	ارزیابی خبره ۱		ارزیابی خبره ۲		ارزیابی خبره ۳		وزن نهایی
		نماد	مقدار	نماد	مقدار	نماد	مقدار	
۸۱	وزن شاخص بهره‌مندی از متخصصان برنامه‌ریزی	WH221	۰/۱۲۵	WH222	۰/۵۰۰	WH223	۰/۲۹۲	۰/۳۰۶
۸۲	وزن شاخص وجود تعمیرکاران مناسب	WH231	۰/۱۷۹	WH232	۰/۳۰۰	WH233	۰/۱۶۷	۰/۲۱۵
۸۳	وزن شاخص کاربر پسند بودن	WH311	۰/۲۵۰	WH312	۰/۲۵۰	WH313	۰/۲۵۰	۰/۲۵۰
۸۴	وزن شاخص سهولت آموزش به کاربر	WH321	۰/۷۵۰	WH322	۰/۷۵۰	WH323	۰/۷۵۰	۰/۷۵۰

نتایج نشان داد عوامل اصلی "قابلیت اعتماد" با وزن ۰/۳۰۴ در رتبه اول، "پذیرش اجتماعی" با وزن ۰/۲۰۵ در رتبه دوم و "فنی" با وزن ۰/۱۳۸ در رتبه سوم قرار گرفتند. در بخش شاخص‌ها، در بعد اقتصادی شاخص "استخدام" با وزن ۰/۴۷۹ در رتبه اول و شاخص "قابلیت تامین" با وزن ۰/۴۰۶ در رتبه دوم قرار گرفتند. در بعد فنی شاخص "تعداد المان‌ها" با وزن ۰/۵۵۶ در رتبه اول و شاخص "وجود زیرساخت دانشی" با وزن ۰/۵۲۸ در رتبه دوم مشخص شدند. در بعد زیست محیطی دو شاخص مهم به‌ترتیب "میزان تاثیر روی اکوسیستم" و "زمین مورد نیاز" با وزن‌های ۰/۷۵ و ۰/۵۷۲ بودند. در بعد قابلیت اعتماد شاخص‌های مهم عبارت بودند از "ذاتی" با وزن ۰/۶۶۷ و "قابلیت کشف" با وزن ۰/۴۶۱. در بعد پذیرش اجتماعی مهم‌ترین شاخص "زندگی در محیطی سالم‌تر" با وزن ۰/۵۷۹ بود و پس از آن دو شاخص "سیاست‌گذاری دولت جهت پذیرش تجاری" و "اجرای سیاست‌های تشویقی" با وزن یکسان ۰/۴۱۴ قرار گرفتند. در نهایت در بعد منابع انسانی شاخص‌های مهم به ترتیب "سهولت آموزش به کاربر" با وزن ۰/۷۵ و وجود "دانش طراحی" با وزن ۰/۵۸۳ بودند.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

اهمیت انرژی در عرصه سیاسی به حدی است که الگویی از روابط کشمکش‌زا، درگیرانه، همگرایانه و واگرایانه را در عرصه روابط بین‌الملل شکل داده‌است. در نتیجه بخشی از تعاملات کشورها در عرصه بین‌المللی و به تعبیر دیگر بخشی از روابط بین‌الملل تحت تاثیر انرژی و به خصوص انرژی‌های نو قرار دارد. از این‌رو در این پژوهش بر اساس یافته های بدست‌آمده حاصل از تحلیل عوامل موثر بر سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر

در بخش صنعت استان یزد شناسایی شد و با تکیه بر رویکرد تصمیم‌گیری BWM اولویت‌بندی گردید. بر اساس ارزیابی انجام شده، مرور تحقیقات پیشین و نظر خبرگان، ۱۵ مولفه کلیدی در ۶ بعد شناسایی شد. سپس ۴۱ شاخص مرتبط با هر یک از مولفه‌ها معرفی شدند. پس از اجرای تکنیک BWM، شش بعد (عامل) اصلی شناسایی شده به‌ترتیب اهمیت عبارتند از "قابلیت اطمینان"، "پذیرش اجتماعی"، "فنی"، "منابع انسانی"، "زیست‌محیطی" و "اقتصادی". در میان پانزده مولفه (زیرعامل) خروجی تحقیق، مهم‌ترین مولفه‌ها "منافع اجتماعی"، "سازگاری با محیط زیست" و "میزان پیچیدگی فنی" بودند. از سوی دیگر، یافته‌های تحقیق نشان‌داد که شاخص‌های کلیدی موثر بر سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر بخش صنعت استان یزد به‌ترتیب اهمیت "تاثیر روی اکوسیستم" و "سهولت آموزش به کاربر"، شاخص "ذاتی" از مولفه دسترس‌پذیری، "دانش طراحی" از مولفه طراح، "سهولت آموزش به کاربر" از مولفه کاربر، "زندگی در محیط سالم‌تر"، "زمین مورد نیاز"، "تعداد المان‌ها" و "وجود زیر ساخت دانشی" هستند. این تحقیق به شناسایی و اولویت‌بندی عوامل موثر بر سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر به طور خاص در صنعت پرداخته است.

سلیمی و همکاران (۱۴۰۲) در تحقیق خود عنوان‌کردند که منابع انرژی تجدیدپذیر شامل بادی، خورشیدی، آبی، زیست‌توده‌ای، زمین گرمایی، دریایی و سایر انرژی‌های غیرفسیلی نقش بسیار مهمی در امنیت انرژی، توسعه اجتماعی و اقتصادی، دسترسی به انرژی، تضمین تأمین انرژی در طولانی مدت، کاهش تغییرات آب و هوایی و کاهش اثرات زیست‌محیطی و بهداشتی دارند. با توجه به اهمیت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌جای انرژی‌های فسیلی، کشورهای زیادی با تصویب قوانین و مقررات و اتخاذ سیاست‌های تشویقی و حمایتی، در پی جایگزین‌سازی منابع انرژی خود هستند. شکیبایی و همکاران (۱۴۰۲) نشان‌دادند که مدیران برای رسیدن به توسعه اقتصادی پایدار باید به ابعاد تامین مالی پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر توجه‌کنند. در تحقیقات پیشین برخی از این عوامل به صورت پراکنده مورد بررسی قرار گرفته است، ضمن آنکه در هیچ یک از تکنیک بهترین-بدترین استفاده نشده‌است. در حالی‌که در این تحقیق سعی شده‌است همه عوامل به طور کامل‌تر همراه با زیر مولفه‌ها و شاخص‌ها بررسی شوند و اولویت آنها در بخش صنعت مشخص‌گردد. علاوه بر این استفاده از تکنیک

بهترین-بدترین در این تحقیق دارای کارایی بالایی بود. به منظور اعتبارسنجی نتایج تحقیق در اختیار مرتبط قرار گرفت و مورد تایید قرار گرفت.

در حوزه‌های کلان، حمایت‌های مستقیم و غیرمستقیم دولت از طریق اتخاذ قوانین صورت می‌گیرد تا بتوان بسترها را آماده‌کرد. سیاست‌های توسعه انرژی تجدیدپذیر نیز یکی دیگر از سیاست‌های دولت است که می‌تواند برنامه‌ریزی‌ها را به سوی اهداف توسعه اقتصادی پایدار سوق دهد. آینده‌نگری و برنامه‌ریزی دولت می‌تواند برنامه‌ریزی دقیق و معین برای رشد و توسعه نیروگاه‌ها را ایجاد کند. توانمندسازی شرکت‌های تامین مالی موجب می‌شود تا شرکت‌های تامین‌کننده متنوع‌تر و گسترش یابند. ابعاد فرهنگ سرمایه‌گذاری در انرژی تجدیدپذیر و مدیریت بهینه ریسک سرمایه‌گذاری موجب می‌شود تا سرمایه‌گذاران تامین مالی ترغیب شوند و محیط اقتصادی برای سرمایه‌گذاری قابلیت اطمینان داشته باشد. از طرفی دیگر سیاست‌های بازده سرمایه‌گذاری موجب می‌شود تا انتظارات شرکت‌های تامین مالی برآورده شود. ظرفیت‌های مالی هم موجب رشد و توسعه بازار انرژی‌های تجدیدپذیر می‌گردد و در نهایت برنامه‌ریزی و مدیریت تامین مالی پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر از طریق ابعاد مطرح‌شده می‌تواند به توسعه اقتصادی پایدار، مسئولیت‌پذیری اجتماعی، توسعه اقتصادی پایدار و پایداری زیست‌محیطی منجر شود. Donastorg و همکاران (۲۰۲۱) عنوان نمودند دولت از طریق سیاست‌ها، مقررات و چارچوب‌های قانونی جامع و اختصاصی همراه با برنامه‌های آموزش عمیق و مدیریت دانش بر بهبود بسترهای سرمایه‌گذاری تاثیر می‌گذارد. از این‌رو در جهت بهبود عوامل شناسایی شده، پیشنهاد می‌شود شاخص‌های بهره‌وری انرژی نیز در ارزیابی و تحلیل در بخش صنعت استان یزد مورد تحلیل قرار گیرد. بهره‌وری از عوامل مهم و کلیدی در سنجش میزان به کارگیری مطلوب داده‌ها در تولیدات صنعتی می‌باشد، که با ارزیابی و مقایسه آن در سطح سازمان‌ها و صنایع مختلف، می‌توان برنامه‌ریزی مناسبی با هدف اصلاح و بهبود سازمان یا صنعت مربوط و در نهایت پیشرفت کشور ارائه کرد. همچنین پیشنهاد می‌گردد ستاد انرژی‌های نو و پاک در استان یزد تشکیل شده و مطابق با شاخص‌های جهانی ارزیابی و سرمایه‌گذاری، تحلیل جامعی انجام دهند. سیاست‌های انرژی، اهداف آینده انرژی کشور را تعیین می‌کند. آنها ثبات را در بازار ایجاد می‌کنند و اعتماد سرمایه‌گذاران را افزایش می‌دهند و از این طریق امکان حمایت از انرژی فراهم می‌شود.

منابع

- آذر، عادل؛ فرجی، حجت (۱۳۹۵) علم مدیریت فازی، مرکز مطالعات مدیریت و بهره‌وری ایران، موسسه کتاب مهربان نشر، چاپ پنجم.
- آشفته، حسین. (۱۳۹۸). بررسی پتانسیل انرژی‌های تجدید پذیر؛ مطالعه موردی:شهرستان همدان،چهارمین کنفرانس بین المللی پژوهش در علوم و مهندسی. https://civilica.com/doc/936423
- پوردربانی، راضیه. (۱۳۹۹). بررسی وضعیت فعلی و تقاضاهای آینده انرژی تجدیدپذیر در ایران و بازاریابی آن. انرژی‌های تجدید پذیر و نو، ۷(۱): ۱۱۸-۱۲۴. URL: http://iiesj.ir/article-1-1540-en.html
- تکسیبی, فرزانه؛ یداله سبوحی؛ حسین خواجه پور و حسام قدکساز، (۱۳۹۷). تخمین تقاضای انرژی شهر تهران تا سال ۱۴۱۰ به کمک روش اقتصادسنجی، پنجمین کنفرانس بین‌المللی فناوری و مدیریت انرژی با رویکرد پیوند انرژی، آب و محیط‌زیست، تهران، انجمن انرژی ایران. https://civilica.com/doc/855210
- ریحانی نیا، سید وحید؛ اسمعیل‌نیا کتابی، علی اصغر؛ دقیقی اصلی، علیرضا. (۱۴۰۲). اولویت‌بندی طرح‌های سرمایه‌ای نفت و گاز با استفاده از الگوهای تصمیم‌گیری چند معیاره(MCDM). فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، ۱۹ (۷۷): ۵۹-۹۶. URL: http://iiesj.ir/article-1-1540-en.html
- زمان‌پور، زینت؛ مژدکانلو، داوود؛ شریفی، حمید. (۱۴۰۱). ضرورت جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر با سوخت‌های فسیلی در ایران، نهمین همایش ملی مطالعات و تحقیقات نوین در حوزه علوم انسانی، مدیریت و کارافرینی ایران، تهران. https://civilica.com/doc/1562386
- سلیمی، وحید؛ پیری، مهدی. (۱۴۰۲). الزامات قانونی گذار از انرژی فسیلی به تجدیدپذیر با مقایسه نظام حقوقی اتحادیه اروپا، چین و ایران. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، ۱۹ (۷۷): ۳۳-۵۷. URL: http://iiesj.ir/article-1-1573-en.html
- شکیبایی، سعید؛ مدیری، محمود؛ فتحی هفشجانی، کیومرث؛ والمحمدی امامچائی، چنگیز. (۱۴۰۲). طراحی مدل تامین مالی پروژههای انرژی تجدیدپذیر برای توسعه اقتصادی پایدار با رویکرد معادلات تفسیری-ساختاری جامع. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، ۱۹(۷۶): ۱۵۷-۱۹۷. URL: http://iiesj.ir/article-1-1538-fa.html

- شوقی آغجه مشهد، فاطمه؛ فرخ بخت فومنی، علیرضا؛ قلی پور سلیمانی، علی. (۱۴۰۲). ارائه الگویی جهت پذیرش تکنولوژی و نوآوری‌های جدید در حوزه انرژی‌های تجدید پذیر توسط مصرف کنندگان ایرانی با رویکرد اقتصادی و مالی و اجتماعی مبتنی بر نظریه داده بنیاد. اقتصاد مالی, ۱۷(۶۲): ۱۲۳-۱۴۶. doi: 10.30495/fed.2023.700128
- ظریفی، سید فواد؛ موسی خانی، مرتضی؛ آذر، عادل؛ الوانی، سید مهدی. (۱۳۹۷). تجاری‌سازی ایده‌های کارآفرینانه در حوزه انرژی‌های تجدید پذیر، فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی، ۴(۱۰): ۲۱۹-۱۹۳. URL: http://epprjournal.ir/article-1-284-fa.html
- قادرتوتونچی، علیرضا؛ درخشان محبوب، فاطمه. (۱۴۰۱). بررسی پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر برای تامین برق استان قزوین در افق ۱۴۱۰، هشتمین کنفرانس انرژی بادی ایران، تهران. https://civilica.com/doc/1560428
- قناعت پیشه، محمد. (۱۳۹۷). ارزیابی قابلیت اطمینان پتانسیل‌های نیروگاه بادی در رویکرد برنامه ریزی‌های توسعه تولید و بهره برداری از انرژی‌های تجدید پذیر کشور، دوازدهمین همایش بین المللی انرژی، تهران، کمیته ملی انرژی جمهوری اسلامی ایران و دبیرخانه همایش بین المللی انرژی. https://civilica.com/doc/848591
- محمدپرست، حوا؛ شهرکی، جواد؛ مردانی نجف آبادی، مصطفی. (۱۴۰۲). تحلیل کارآیی انرژی و زیست محیطی بخش حمل و نقل تحت محدودیت‌های مصرف انرژی و آلودگی‌های زیست محیطی در ایران. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، ۱۹ (۷۶): ۱۱۷-۱۵۶. URL: http://iiesj.ir/article-1-1543-en.html
- نیکویی، فاطمه؛ علوی راد، عباس؛ موسوی، سید نعمت اله. (۱۴۰۰). تاثیر گسترش فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش‌های اقتصادی ایران (صنعت, خدمات, کشاورزی). تحقیقات اقتصاد کشاورزی. ۲(۱۳): ۲۸۱-۲۹۴.
- Augustin, A. U., & Werz, D. B. (2021). Exploiting heavier organochalcogen compounds in donor–acceptor cyclopropane chemistry. Accounts of Chemical Research, 54 (6), 1528-1541.

- Donastorg, A.D., Renukappa, S. & Suresh, S. (2021). Financing renewable energy projects in the Dominican Republic: an empirical study. International Journal of Energy Sector Management, 16(1), 95-111.
- Graczyk A. M., Kusterka-Jefmańska, M., Jefmański, B., Graczyk, A. (2023). Pro-Ecological Energy Attitudes towards Renewable Energy Investments before the Pandemic and European Energy Crisis: A Segmentation-Based Approach. Energies, 16(2):707. https://doi.org/10.3390/en16020707
- He, X., Khan, S., Ozturk, I., Murshed, M. (2023). The role of renewable energy investment in tackling climate change concerns: Environmental policies for achieving SDG-13. Sustainable Development, 31(3): 1888-1901.
- Jahangiri, M., Haghani, A., Aliabadi Shamsabadi, A., Mostafaeipour, A., Pomares, L, M. (2019). Feasibility study on the provision of electricity and hydrogen for domestic purposes in the south of Iran using grid-connected renewable energy plants. Energy Strategy Reviews, 23:23-32 .
- Manakandan, S. K., Rosnah, I., Mohd, R. J., Priya ,R. (2017). Pesticide applicators questionnaire content validation: A fuzzy delphi method .Med J Malaysia, 72 (4), 228-235.
- Ming, Z., Ximei, L., Yulong, L., & Lilin, P. (2014). Review of renewable energy investment and financing in China: Status, mode, issues and countermeasures. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 31: 23-37.
- Mostafaeipour, A., Qolipour, M., Rezaei, M., Goudarzi, H. (2020). Techno-economic assessment of using wind power system for tribal region of Gachsaran in Iran. Journal of Engineering, Design and Technology, 18(2): 293-307.
- Mostafaeipour, A., Qolipour, M., Rezaei, M., Jahangiri, M., Sedaghat, A. (2020). A novel integrated approach for ranking solar energy location planning: a case study. Journal of Engineering, Design and Technology, 19(3): 698-720.
- Nematollahi, O., Alamdari, P., Jahangiri, M., Sedaghat, A., Alemrajabi, A, K. (2019). A techno-economical assessment of solar/wind resources and hydrogen production: A case study with GIS maps. Energy, 175: 914-930 .
- Qolipour, M., Mostafaeipour, A., Mohseni Tousi, O. (2017). Techno-economic feasibility of a photovoltaic-wind power plant construction for

electric and hydrogen production: A case study. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 78: 113-123.

- Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. Omega, 53: 49-57.
- Rezaei, M., Naghdi-Khozani, N., Jafari, N. (2020). Wind energy utilization for hydrogen production in an underdeveloped country: An economic investigation. Renewable Energy, 147 (1): 1044-1057 .
- Selim, M. M., & Alshareef, N. (2025). Trends and opportunities in renewable energy investment in Saudi Arabia: Insights for achieving vision 2030 and enhancing environmental sustainability. Alexandria Engineering Journal, 112, 224-234.
- Shimbar, A., & Ebrahimi, S. B. (2020). Political risk and valuation of renewable energy investments in developing countries. Renewable Energy. 145: 1325-1333.
- Sitlington, H. & Coetzer, A. (2015). Using the Delphi technique to support curriculum development. Education and Training, 57 (3): 306-321. https://doi.org/10.1108/ET-02-2014-0010
- Sun, Y.w., Hof, A., Wang, R., Liu, J., Lin, Y. j., Yang, D. w. (2013). GIS-based approach for potential analysis of solar PV generation at the regional scale: A case study of Fujian Province. Energy Policy, 58: 248-259.
- Zhang, X., Zhang, R., Feng, C., Wang, Y., Zhao, M., & Zhao, X. (2024). Decomposition analysis of renewable energy demand and coupling effect between renewable energy and energy demand: evidence from China. Renewable Energy, 121839.

فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی/ سال بیست‌ویکم/ شماره ۸۵/ تابستان ۱۴۰۴ / صفحات ۶۸-۳۳

بررسی رابطه‌ی بین گذار انرژی و شاخص‌های زیست‌محیطی ایران با استفاده از مدل پویا

امیررضا خلیلی [۱]
دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی،دانشکده مدیریت و اقتصاد،دانشگاه شهید باهنر کرمان، (amirreza.khalili@aem.uk.ac.ir)

مجتبی بهمنی [۲]
دانشیار، گروه اقتصاد، مدیریت و اقتصاد، شهید باهنر کرمان،ایران، (mbahmani@uk.ac.ir)

مهدی نجاتی
دانشیار، گروه اقتصاد، مدیریت و اقتصاد، شهید باهنر کرمان،ایران، (mnejati@uk.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۰

چکیده

انتخاب‌های امروز ما به طور قابل توجهی بر جهانی که فردا در آن زندگی می‌کنیم تأثیر می‌گذارد، نتیجه‌ی انتخابات گذشته ما تا امروز، انباشت طولانی مدت و عظیم دی اکسید کربن و تغییرات شدید در سیستم آب و هوایی کره زمین بوده که منجر به شکل گیری گذار انرژی در جهان امروز شده است. با توجه به اهمیت انتشار کربن و گذار انرژی در جهان امروز، این مقاله با ایجاد مدلی پویا طی دوره‌ی ۱۳۷۴ الی ۱۴۴۰ به ارزیابی شاخص‌های زیست محیطی بر گذار انرژی در ایران پرداخته، که در ابتدا با عنوان کردن چکیده‌ای از اوضاع جهانی در حوزه انرژی و سپس پرداختن به وضعیت انرژی ایران به این مهم می‌پردازد، یافته‌های تحقیق بیانگر رابطه‌ای معکوس بین دو متغیرِ نسبت انرژی‌های پاک به کل انرژی و میزان انتشار CO_2 بوده است، نتایج نشان می‌دهد با سرعت گرفتن این گذار می‌توان شاهد افزایش شدت کاهش انتشار CO_2 بود که نشان می‌دهد در دنیای امروز، ضروری است که انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان منبع انرژی اولیه وجود داشته باشد تا انتشار کربن به محیط زیست کاهش یابد؛ از آنجا که گذار انرژی برای محدود کردن اثرات زیست محیطی، تضمین امنیت انرژی و.. اتفاق می‌افتد. اگر سیاست گذاران سیاست‌هایی نظیر محدودیت استفاده از سوخت‌های فسیلی، کاهش یارانه سوخت‌های فسیلی جهت افزایش مقرون به صرفه بودن انرژی‌های پاک را به کار ببرند تا سهم استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش یافته و انتشار کربن دی‌اکسید کاهش یابد می‌توان شاهد سرعت گرفتن گذار انرژی در ایران بود.

طبقه‌بندی JEL: Q00، Q4، Q50، Q53
کلیدواژه‌ها: سیستم‌های پویا، گذار انرژی، انرژی‌های تجدید پذیر،انرژی پاک.

---

۱. این مقاله از پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده، با عنوان ارزیابی اثر شاخص‌های زیست محیطی بر گذار انرژی در ایران با استفاده از مدل داینامیک استخراج شده است.استاد راهنما: دکتر مجتبی بهمنی، استاد مشاور: دکتر مهدی نجاتی.
۲. نویسنده مسئول

۱- مقدمه

اکثر حالت‌های مختلف تولید انرژی‌های فسیلی و بهره‌برداری از آن، در حال حاضر باعث ایجاد مسائل زیست محیطی درمقیاس‌های محلی،منطقه‌ای و جهانی و همچنین موجب کاهش کیفیت زندگی می‌شوند و سلامت نسل‌های کنونی و آینده بشر را به خطر می‌اندازند. تولید و بهره برداری از انرژی فسیلی به تنهایی ۸۰ درصد دی‌اکسید کربن و دو سوم کل انتشار گازهای گلخانه‌ای در سراسر جهان را شکل می‌دهد(محبوب و نوراللهی،۱۴۰۰). هزینه‌های زیاد و دیگر اثرات مخرب انرژی‌های فسیلی موجب شده که اقتصادهای مطرح دنیا مصرف سوخت‌های فسیلی خود را کاهش داده و به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر روی آورند. پیامدهای وخیم تخریب محیط زیست از نظر اثرات بر سلامت انسان، تغییرات جوی، از دست دادن تنوع زیستی و تخریب لایه اوزون، توجه جهانی را به مسائل زیست محیطی جلب کرده است(لی و اولاسهینده[1]،۲۰۲۲).

انباشت طولانی مدت و عظیم دی اکسید کربن و سایر انتشار گازهای گلخانه‌ای در جو منجر به تغییرات در سیستم آب و هوایی کره زمین شده است که مشخصه اصلی آن افزایش دمای سطح جهانی است، به ویژه در نیم قرن گذشته، دوره‌ای که حداقل در ۲۰۰۰ سال گذشته افزایشی معادل آن نداشته است. این گرم شدن پیامدهای مخرب فراوانی چون امواج گرما، خشکسالی، تغییر الگوی بارندگی و سیل می‌شود. و هیچ کشوری را بی تأثیر نمی‌گذارد. خشکسالی چند ساله ایران و عراق و طوفان‌های گرد و غبار تنها نمونه‌هایی از بحران آب و هوایی هستند که بر کل جهان تأثیر می‌گذارد(عبد ا... و همکاران[2]،۲۰۲۴). فوریت این است که اثرات خارجی منفی بر رفاه محیط زیست بدون ایجاد اختلال در روند رشد اقتصادی به حداقل برسد. علاوه بر این، گذار به سمت منابع تجدیدپذیر می‌تواند از رشد پایدار، کاهش سطوح آلودگی و کاهش بار کلی اکولوژیکی حمایت کند(بشیر و همکاران[3]،۲۰۲۳).

اقتصاددانان محیط زیست، متخصصان انرژی و دانشمندان علوم اجتماعی استدلال کردند که زندگی انسان تا حد زیادی تحت تأثیر تغییرات محیطی در دهه‌های اخیر است. تخریب زیستگاه، آب، خاک و انتشار گازهای گلخانه‌ای مهم‌ترین چالش‌های

1. Lee & Olasehinde
2. Abdallah et al.
3. Bashir et al.

زیست‌محیطی برای توسعه پایدار هستند و قرن کنونی را به طور فزاینده‌ای نگران جلوگیری از رشد مداوم انتشارگازهای گلخانه‌ای جهانی کرده‌اند(فاطیما و همکاران[1]،۲۰۲۴). برخلاف انرژی‌های تجدید ناپذیر، منابع انرژی تجدیدپذیر پایدار هستند و دی‌اکسید کربن زیادی منتشر نمی‌کنند. بنابراین، توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر به یک عامل کلیدی در حرکت به سمت اقتصاد کم کربن تبدیل شده است، توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند اثرات تغییر آب و هوا را کاهش دهد و به پیشبرد اهداف توسعه پایدار مانند امنیت انرژی و کاهش اثرات زیست محیطی کمک کند بنابراین، با توجه به اهمیت استقرار انرژی‌های تجدیدپذیر، نیاز اساسی به بررسی عوامل تعیین کننده گذار انرژی وجود دارد(تزرمس و همکاران[2]،۲۰۲۳).

هدف گذار انرژی تضمین دسترسی همگانی به خدمات انرژی مقرون به صرفه، قابل اعتماد و پایدار است. که این شامل ارائه انرژی پاک و راه‌حل‌هایی برای جمعیت‌ها و جوامع محروم، به ویژه در کشورهای در حال توسعه و در عین حال پرداختن به نابرابری‌های اجتماعی و اقتصادی است(زو و وانگ[3]،۲۰۲۴). اما همانطور که در ابتدا بیان شد بخش انرژی جهانی در یک دوره گذار قرار دارد و با درگیری روسیه و اوکراین تقویت شده در این دوره انتظار می‌رود که منابع انرژی تجدیدپذیر و کم کربن مانند باد و خورشید جایگزین سوخت‌های فسیلی سنتی از جمله نفت، گاز و زغال سنگ شوند(جنز و کاسمپل[4]،۲۰۲۳). از طرفی با افزایش جمعیت و محدود بودن منابع انرژی تجدید ناپذیر و از سوی دیگر افزایش آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از مصرف بیش از اندازه‌ی سوخت‌های فسیلی کشورها و جوامع بشری با تهدیدهای جدی روبرو شده‌اند(رضایی راد و همکاران،۱۴۰۱). و چالشی اساسی در مسیر توسعه پایدار را به وجود آوردند. طبیعی است که در صورت عدم اتخاذ گام‌های مناسب، شرایط در آینده نزدیک بدتر شود(بشیر و همکاران[5]،۲۰۲۳). که این موضوع لزوم گذار به انرژی‌های تجدید پذیر را روشن می‌سازد.

با اینکه گذار انرژی در حال وقوع است و کشورهای زیادی ترکیب سبد انرژی خود را تغییر داده و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را وارد سبد مصرفی انرژی‌های خود کرده‌اند

1. Fatima et al.
2. Tzeremes et al.
3. Zou & Wang
4. Genc & Kosempel
5. Bashir et al.

اما همچنان هم گذار انرژی با چالش‌ها و ابهامات زیادی روبرواست. جایگزینی سریع‌تر انرژی‌های تجدیدپذیر به جای انرژی‌های تجدیدناپذیر و افزایش کارایی انرژی می‌تواند به تسریع گذار کمک کند(وای و همکاران[1]،۲۰۲۲). سنگ بنای سناریوی گذار سریع، گسترش به موقع فناوری‌های کلیدی سبز است، انرژی خورشیدی، باد، باتری‌ها و الکترولیزها از آنجایی که نقش مهمی در کربن‌زدایی داشته‌اند آنها را «فناوری‌های سبز کلیدی» می‌نامند، زیرا تنها با بزرگ‌تر شدن این فناوری‌ها می‌توان سوخت‌های فسیلی را حذف کرد و صرفه‌جویی‌ها را تحقق بخشید(بلازیو و ژنگ[2]،۲۰۲۳). افزایش سالانه ظرفیت جهانی انرژی‌های تجدیدپذیر تقریباً ۵۰ درصد افزایش یافته و سریع‌ترین نرخ رشد را در دو دهه گذشته به ثبت رساند که انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۸، منابع انرژی تجدیدپذیر بیش از ۴۲ درصد از تولید برق جهانی را تشکیل می‌دهند(گزارش توسعه صنعتی[3]،۲۰۲۴).

مهم‌ترین راهی که اغلب کشورهای دنیا برای غلبه بر مشکلات انرژی جوامع و کاهش مسائل زیست محیطی دنبال کرده‌اند استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر است. طی سال‌های گذشته در ایران نیز، تلاش‌هایی در این خصوص صورت گرفته است که تأکید سیاست‌های کلی نظام بر بهینه سازی مصرف سوخت و کاهش شدت انرژی می‌باشد(سلیمی و همکاران،۱۴۰۲). باید به این نکته توجه داشت که نوع گذار در حوزه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر ایران با دیگر کشورهای توسعه یافته تفاوت دارد به گونه‌ای که تا گذاری در کشورهای توسعه یافته رخ ندهد، در کشورهای درحال توسعه گذاری نخواهیم داشت(موسوی درچه و همکاران،۱۳۹۷). گذار انرژی چالش‌های فراوانی دارد که در ایران این چالش‌ها با توجه به ساختار اقتصادی و ساختار بخش انرژی، شیوه‌ی مدیریت و بهره برداری انرژی ایران می‌تواند چالش برانگیزتر باشد و منجر به آهسته شدن این گذار گردد.

در این نقطه محوری در تاریخ بشر، انتخاب‌های ما به طور قابل توجهی بر جهانی که فردا در آن زندگی می‌کنیم تأثیر می‌گذارد. از آنجایی که با کاهش منابع طبیعی و پیامدهای گسترده آن مواجه هستیم، شناخت پتانسیل‌ها ضروری است(کائو و همکاران[4]،۲۰۲۴). در سال‌های اخیر کشورها با توجه به پتانسیل‌های خود در زمینه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر

1. Way et al.
2. Blasio & Zheng
3. INDUSTRIAL DEVELOPMENT REPORT 2024
4. Cao et al.

اقداماتی را در این زمینه انجام داده‌اند، ایالات متحده آمریکا رشد زیادی(حدود ۴۲ درصد سالانه) در تولید انرژی خورشیدی داشته است. در همین حال، در طول دهه گذشته، بریتانیا رشد سالانه ۳۵ درصدی در تولید انرژی خورشیدی، که برای تامین برق بیش از ۲,۵ میلیون خانه کافی است را تجربه می‌کند(فراحت[1] و همکاران،۲۰۲۴).

کشورهای اطراف ایران نیز اهداف و استراتژی‌هایی را برای خود در این زمینه تعیین کرده‌اند. استراتژی انرژی امارات متحده عربی، تامین برق ۴۴ درصدی از انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش۷۰ درصدی انتشار کربن تا سال ۲۰۵۰ را تعیین می‌کند(آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدید پذیر[2]،۲۰۱۹). در ترکیه سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سه سال اخیر روندی افزایشی داشته است، یعنی در مجموع به بیش از ۴۰ درصد می‌رسد و نکته جالب توجه اینجاست که هیچ نیروگاه هسته‌ای در ترکیه وجود ندارد. از طرفی نیز ترکیه متعهد به کاهش ۲۱ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای شده است(کت بورا،۲۰۲۳). سرمایه‌گذاری انرژی خورشیدی در ترکیه در سال ۲۰۱۴ با ۴۰ مگاوات ظرفیت نصب شده آغاز شد و تا ژوئن ۲۰۲۲ کل ظرفیت نصب شده به تقریباً ۸,۳۵٪ از کل برق نصب شده تولید انرژی ترکیه رسید در سال ۲۰۲۰، ترکیه شانزدهمین کشور در رتبه بندی جهانی ظرفیت انرژی خورشیدی نصب شده بود. منابع انرژی تجدیدپذیر تقریباً ۵۴ درصد از تولید انرژی داخلی در ترکیه را تامین می‌کند(اور و همکاران[3]،۲۰۲۴). منابع آبی تا سال ۲۰۲۱، با ۳۲ درصد، بیشترین سهم را داشتند، اما با این حال، در همین دوره، سهم ظرفیت نصب شده برای منابع بادی، خورشیدی، زیست توده و زمین گرمایی به ترتیب به حدود ۱۱ درصد، ۸ درصد، ۲ درصد و ۲ درصد افزایش یافته است. ترکیه پتانسیل انرژی خورشیدی بالایی دارد، سهم انرژی‌های تجدید پذیر از کل تولید برق در ترکیه ۳۵,۷۵ درصد است که ۴,۰۱ درصد آن خورشیدی، ۹,۳۹ درصد بادی، ۲,۳ درصد زیست توده، ۱۶,۸ درصد انرژی آبی و ۳,۲۵ درصد مربوط به زمین گرمایی است(آکیگز و یورولماز[4]،۲۰۲۴). کشور تاجیکستان نیز از نظر پتانسیل انرژی آبی با ۵۲۷ تراوات ساعت و با ظرفیت فنی قابل بهره برداری ۳۱۷ تراوات ساعت، جایگاه هشتم جهان را دارد. تنها ۴ تا ۶ درصد از این پتانسیل عظیم در حال حاضر استفاده می‌شود و۴۵ درصد از

1. Farahat et al.
2. International Renewable Energy Agency
3. Or et al.
4. Acikgoz & Yorulmaz

برق تولیدی در سال ۲۰۱۸ را شامل می‌شود(سولتونوف و همکاران[1]،۲۰۲۴). کویت نیز با صدور حکمی ساختمان‌های دولتی را موظف کرد که حداقل ۱۰ درصد از برق ساختمان‌ها را از منبع تجدیدپذیر استفاده کند(القهطانی و همکاران[2]،۲۰۲۴). همچنین در جدول۱نیز اقدامات دیگر کشورهای همسایه ایران قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۱. برخی اقدامات کشورهای همسایه در حوزه گذار انرژی

عربستان	عراق
- انعقاد قرار داد با یک شرکت چینی برای توسعه پروژه خورشیدی ازبکستان. - همکاری با فرانسه در بخش انرژی هسته‌ای و تجدیدپذیر. - توسعه نیروگاه بادی مصر تا پایان سال ۲۰۲۶ - ساخت چندین نیروگاه تجدیدپذیر توسط شرکت پیشرو آمریکایی به منظور کاهش وابستگی به صنایع سنتی و کاهش انتشارکربن.	- تجهیز ۵۰۰ ساختمان دولتی عراق به سامانه انرژی خورشیدی. - ساخت دو نیروگاه خورشیدی توسط شرکت‌های توتال انرژی[3] فرانسه و پاورچاینا[4]. - دعوت عراق از سرمایه‌گذاران برای اولین پروژه تبدیل زباله به انرژی برق. - ساخت دو پروژه خورشیدی در عراق توسط چین. - ساخت اولین پروژه خورشیدی درعراق توسط چین تا سال ۲۰۲۵.
روسیه	**پاکستان**
- امضای توافقنامه بین روسیه و ارمنستان برای نوسازی نیروگاه هسته‌ای متسامور[5]. - افزایش دو برابری تولید نیروگاه‌های بادی و خورشیدی در روسیه در ماه ژانویه. - برنامه‌ریزی برای ساخت و راه‌اندازی مزارع بادی دیگر با مجموع ظرفیت ۲۶۰ مگاوات. - برنامه‌ریزی روسیه برای نسل جدید نیروگاه‌های اتمی شناور روسیه. - آغاز صادرات پانل‌های خورشیدی ساخت روسیه به اروپا.	- سرمایه‌گذاری ۷/۲ میلیون دلار (۲ میلیارد روپیه) در انرژی‌های تجدیدپذیر. - تجارت مشترک پاکستان و آمریکا درانرژی سبز. - استفاده ارتش پاکستان از انرژی خورشیدی. - امضا تفاهم‌نامه ۲۰ مگاواتی شرکت انرژی پاکستان برای پروژه‌های انرژی خورشیدی در عربستان سعودی. - تامین ۴۰۰۰ مگاوات نیاز برق پاکستان با انرژی هسته‌ای. - مجوز برای احداث نیروگاه برق آبی ۳۰۰ مگاواتی. - تصویب ۳۰۰ میلیون دلار جهت احداث نیروگاه برق‌آبی.

ماخذ: وزارت نیرو۱۴۰۳، https://isn.moe.gov.ir

1. Sultonov et al.
2. Alqahtani et al.
3. TotalEnergies
4. POWERCHINA
5. Metsamor Nuclear Power Plant

اما در ایران نیز مطابق دیگر کشورها در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر و گذار به انرژی‌های پاک اقداماتی انجام شده است و قوانینی نیز در این حوزه تصویب شده است از جمله قانون هوای پاک مصوب ۱۳۹۶یا ماده ۸ قانون هدفمند کردن یارانه‌ها که دولت مکلف شده است سی درصد خالص وجوه حاصل از اجراء این قانون را برای پرداخت کمک‌های بلاعوض، یا یارانه سود تسهیلات و یا وجوه اداره شده برای اصلاح ساختار فناوری واحدهای تولیدی در جهت افزایش بهره‌وری انرژی، آب و توسعه تولید برق از منابع تجدیدپذیر هزینه نماید، قانون دیگر تامین حداقل ۲۰ درصد از برق مصرفی وزارتخانه‌ها، موسسه‌ها و شرکت‌های دولتی و نهادهای عمومی غیردولتی، بانک‌ها، شهرداری‌ها ساختمان‌های خود از انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد، قانون مهم دیگر، قانون مانع‌زدایی از توسعه صنعت برق مصوب ۱۴۰۱ است(سلیمی و پیری،۱۴۰۲).

با همه‌ی این تفاسیر میزان برق تولیدی از منابع تجدیدپذیر و پاک در سال ۱۴۰۱ نسبت به سال ۱۴۰۰، ۲۳,۲ درصد رشد داشته است. همچنین ظرفیت نصب شده نیروگاه‌های تجدید پذیر و پاک در سال ۱۴۰۱ نسبت به سال ۱۴۰۰، ۱۱,۳ درصد رشد داشته است. از طرفی نیز میزان اجتناب از انتشار گازهای گلخانه‌ای و میزان اجتناب از مصرف سوخت‌های فسیلی در سال ۱۴۰۱ نسبت به سال قبل به ترتیب ۱۹,۴ و۲۲ درصد رشد داشته همچنین میزان اجتناب از مصرف آب نیز در این سال نسبت به سال قبل ۲۳,۳ درصد رشد داشته است(وزارت نیرو،۱۴۰۲).

جدول۲. شاخص‌های انرژی‌های تجدیدپذیر و پاکش

ردیف	عنوان	واحد	میزان تجمعی		چهار ماهه نخست ۱۴۰۳			
			۱۴۰۰	۱۴۰۱	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر
۱	برق تولیدی از منابع تجدید پذیر و پاک	میلیون کیلووات ساعت	۷۶۰۷	۹۳۷۱	۲۰۲	۲۱۴	۲۶۱	۲۸۵
۲	اجتناب از انتشار گازهای گلخانه‌ای*	هزار تن	۵۰۷۱	۶۰۵۷	۱۱۳	۱۱۹	۱۴۶	۱۶۰
۳	اجتناب از مصرف سوخت فسیلی*	معادل میلیون متر مکعب گاز طبیعی	۲۱۶۰	۲۶۳۷	۵۴	۵۸	۷۰	۷۷

ردیف	عنوان	واحد	میزان تجمعی		چهار ماهه نخست ۱۴۰۳			
			۱۴۰۰	۱۴۰۱	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر
۴	اجتناب از مصرف آب*	میلیون لیتر	۱۶۷۳	۲۹۶۲	۴۴	۴۷	۵۷	۶۳
۵	ظرفیت نصب شده انرژی‌پاک	مگاوات	۹۳۳	۱۰۳۸	**۱۱۸۶,۲۶	**۱۱۹۲,۳۹	**۱۱۹۹,۷۱	**۱۲۳۱,۰۶

*به دلیل نصب نیروگاههای تجدید پذیر و پاک به جای توسعه نیروگاه‌های حرارتی

**مقادیر تجمعی می‌باشند.

ماخذ: وزارت نیرو https://isn.moe.gov.ir

همچنین ظرفیت نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر و پاک دولتی و غیر دولتی نصب شده تا پایان تیر ماه ۱۴۰۳ در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد که بیشترین ظرفیت نصب شده مربوط به نیروگاه خورشیدی با میزان ۵۴۷,۷ مگاوات بوده و پس از آن نیروگاه بادی در رتبه‌ی دوم با میزان ۳۶۶,۳۱ مگاوات و در رتبه سوم برقابی کوچک با میزان ۱۰۳,۶۷ مگاوات می‌باشد در مجموع نیز طرفیت نصب شده تجمعی به عدد ۱۲۳۱,۰۶ می‌رسد که ظرفیت نصب شده در این ماه به طور کلی ۲,۶ درصد نسبت به ماه قبل رشد داشته است(وزارت نیرو،۱۴۰۳).

انرژی هسته‌ای نیز به عنوان انرژی‌ای پاک امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما رشد انرژی هسته‌ای در سه دهه اخیر کند شده است و چشم انداز آن محدود به نظر می‌رسد. به طوری که حدود دو سوم نیروگاه‌های هسته‌ای امروزی در اقتصادهای پیشرفته بیش از ۳۰ سال قدمت دارند و در آینده تعطیل خواهند شد. دولت‌هایی مانند آلمان، سوئیس، اسپانیا و کره جنوبی در حال برنامه‌ریزی برای حذف تدریجی انرژی هسته‌ای هستند(آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر[1]،۲۰۱۹). در زمانی که دیگر کشورها به دنبال جایگزینی دیگر انرژی‌های پاک به جای انرژی هسته‌ای هستند. در ایران طبق اعلام سازمان انرژی اتمی ایران احداث تعدادی نیروگاه اتمی در دست اقدام است و انتظار می‌رود طبق برنامه هفتم توسعه حداقل دو نیروگاه دیگر مورد بهره برداری قرار گیرد(سازمان انرژی اتمی،۱۴۰۳). بر اساس آخرین گزارش موجود در سازمان انرژی اتمی ایران واحد یکم نیروگاه اتمی بوشهر در مجموع در سال‌های راه اندازی از سال

1. International Renewable Energy Agency

۱۳۹۰ و بهره برداری تجاری از مهر ماه ۱۳۹۲ تا پایان شش ماهه اول سال ۱۴۰۱، جمعاً به میزان ۵۶۱۱۵ میلیون کیلووات ساعت برق تولید کرده که از این میزان ۵۱۱۰۳ میلیون کیلووات ساعت تحویل شبکه برق سراسری شده است. در مجموع سال‌های فعالیت واحد یکم نیروگاه اتمی بوشهر از سال ۱۳۹۰ تا پایان شهریورماه ۱۴۰۱، میزان کل صرفه‌جویی‌ای که در مصرف سوخت‌های فسیلی صورت گرفته در حدود ۸۸ میلیون بشکه معادل نفت خام و یا برابر با ۱۴,۸ میلیارد متر مکعب گاز طبیعی بوده است. همچنین در دوره بهره‌برداری از نیروگاه اتمی بوشهر تا کنون از انتشار حدود ۵۴ میلیون تن گازهای آلاینده در هوا جلوگیری شده است(گزارش عملکرد تولید برق نیروگاه اتمی بوشهر،۱۴۰۱). همچنین در سال گذشته در این نیروگاه ۷ میلیارد و ۴۰۰ میلیون کیلووات ساعت برق تولید شده و امسال نیز این روند در حال ادامه است(سازمان انرژی اتمی ایران،۱۴۰۳).

با وجود شتاب گرفتن گذار انرژی سوخت‌های فسیلی همچنان جایگاه خود را به عنوان یکی از مهم‌ترین کالاها و شاخص‌های کلان حفظ کرده است(ایگلند و همکاران[1]،۲۰۲۴). بنابراین، کشورها باید توجه بیشتری به گذار انرژی داشته باشند تا به سطح مصرف بالاتری از منابع انرژی سازگار با محیط زیست برسند. از آنجایی که تولید برق عمدتاً به سوخت‌های فسیلی بستگی دارد هر گونه بهبود در گذار انرژی(کاهش مصرف سوخت فسیلی) ممکن است مستقیماً بر تولید برق تأثیر بگذارد یا تغییراتی را در ساختار تولید برق آغاز کند(تقی زاده و همکاران،۲۰۲۱). طبق پیش‌بینی اخیر اداره اطلاعات انرژی ایالات متحده هزینه‌های جهانی انرژی تا سال ۲۰۵۰، ۵۰ درصد افزایش خواهد یافت و اگرچه ۸۴ درصد از انرژی اولیه مصرف شده در سراسر جهان در سال ۲۰۱۹ از سوخت‌های فسیلی تامین می‌شود اما موضوع اصلی در صنعت انرژی، اثرات زیست محیطی استفاده از سوخت‌های فسیلی است(اسلم و همکاران[2]،۲۰۲۴) که در این خصوص نیز گذار انرژی و حرکت به سمت سوخت‌های کم کربن می‌تواند چاره کار باشد.

1. Igeland et al.
2. Aslam et al.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

گذار کم‌کربن یک موضوع داغ جهانی است که توسط کشورهای متعددی مورد توجه قرار گرفته است(خان و همکاران[1]،۲۰۲۲). مصرف سوخت‌های فسیلی، سبک زندگی لوکس، جمعیت زیاد و تحولات اقتصادی، محرک‌های تاثیرگذار برای تغییرات شدید آب و هوا در سیاره زمین بوده(کالایر و همکاران[2]،۲۰۲۱). که موجب نگرانی‌های بسیار نسبت به این تغییرات و توجه مردم به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح جهان شده است، که نتیجه‌ی آن شروع گذار انرژی در بحبوحه انقلاب صنعتی چهارم بود(تیان و همکاران[3]،۲۰۲۲).

امروزه می‌دانیم که اقتصاد جهانی توسط سوخت‌های فسیلی رهبری شده به گونه‌ای که انرژی، عنصر اصلی تمام بخش‌هایی است که به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر اقتصاد و توسعه تأثیر می‌گذارد(بهاتارای و همکاران[4]،۲۰۲۲). در واقع انرژی بیشترین سهم را در تغییر شرایط محیطی به خصوص انتشار CO_2 دارد. بر این اساس، می‌توان گفت بین سیاست‌های بخش انرژی و پایداری محیط‌زیست رابطه‌ای تنگاتنگ وجود دارد. ازآنجایی که انرژی‌های تجدیدپذیر دوستدار محیط زیست هستند، می‌توانند در کاهش CO_2 و حفظ محیط زیست کمک کنند بنابراین این گونه به نظر می‌رسد که منابع انرژی تجدید پذیر کلید حل مشکلات امنیت انرژی و آلودگی محیط زیست هستند(فخار و همکاران[5]،2023).

همانگونه که اشاره شد گذار انرژی معمولاً به عنوان تغییر بخش انرژی از سیستم‌های تولید و مصرف انرژی فسیلی به منابع انرژی تجدیدپذیر نامیده می‌شود(گیتلمن و کوژونیکوف[6]،۲۰۲۲). که می‌توان این منابع را با پیشرفت‌های تکنولوژیکی به یک منبع انرژی جایگزین تبدیل کرد(آدریان و همکاران[7]،۲۰۲۳). جامعه جهانی، در حالِ توسعه‌ی طرح‌های کربن‌زدایی با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به شیوه‌ای

1. Khan et al.
2. Kalair et al.
3. Tian et al.
4. Bhattarai et al.
5. Fakhar et al.
6. Gitelman & Kozhevnikov
7. Adrian et al.

پایدار است(کابئی و اولانرواجو[1]،۲۰۲۲)، که تسهیل این گذار می‌تواند به پیشرفت‌های سریع‌تر در رفاه اجتماعی منجر شود، که یکی از اهداف صریح اهداف توسعه پایدار[2] نیز می‌باشد(لیائو و همکاران[3]،۲۰۲۱). این گذار انرژی باید آینده‌ای پایدار را تضمین کند و نسل بعدی را با انرژی کافی برای رفع نیازها باقی بگذارد(رابی و همکاران[4]،۲۰۲۲).

در راستای حرکت از سمت سوخت‌های فسیلی به سمت سوخت‌های تجدیدپذیر و پاک، تحلیل فرآیندهای تغییر بلند مدت در سیستم‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی نظریه‌ی "گذار پایدار" را شکل می‌دهد(ژلز[5]،۲۰۰۲) که در چارچوب این نظریه مشخص می‌شود که تغییرات ساختاری و بنیادین در حوزه‌های نام برده برای دستیابی به پایداری ضروری هستند. از طرفی دیگر نیز نظریه‌ی "سیستم‌های اجتماعی_فنی" (ریپ و کمپ[6]،۱۹۹۸) عنوان می‌کند که گذار انرژی علاوه بر اینکه نیازمند تغییرات فناورانه می‌باشد، مستلزم هماهنگی در نظام‌های اقتصادی و اجتماعی و نهادی می‌باشد. که نشان می‌دهد پذیرش و وقوع گذار انرژی تنها با بازتعریف ساختارهای فرهنگی و اجتماعی موجود امکان پذیر می‌شود.

علاوه بر نظریات موجود تجربه نیز نشان می‌دهد که گذار انرژی برای کامل شدن به زمان نیاز دارد(اولینا کوچانک[7]،۲۰۲۱). این گذار علاوه بر مشکل زمان‌بر بودن با چالش‌هایی نیز همراه است در مرحله اول بیشتر فناوری‌های انرژی پاک به مواد معدنی بیشتری نیاز دارند به عنوان مثال نیروگاه‌های بادی ۹ برابر بیشتر از نیروگاه‌های گازسوز مواد معدنی مصرف می‌کنند و خودروهای الکتریکی شش برابر بیشتر از خودروهای معمولی مواد معدنی مصرف می‌کنند(مارین و گویا[8]،۲۰۲۱).

بنابراین و با توجه به نکات مطرح شده دولت‌ها و سیاست گذاران می‌توانند چالش‌ها و فرصت‌های موجود در زمینه‌ی گذار انرژی را مورد بررسی قرار داده و با توجه به اینکه گذار انرژی فرایندی زمان‌بر می‌باشد سیاست‌های بهینه‌ای را بر گزینند تا

1. Kabeyi & Olanrewaju
2. Sustainable Development Goals
3. Liao at el.
4. Rabbi et al.
5. Geels, f.w.
6. Rip & Kemp
7. Kochanek, E.
8. Marín & Goya

نتیجه‌ای مطلوب در این زمینه حاصل شود. لذا بررسی مطالعات صورت گرفته در این زمینه می‌تواند سودمند، و دستاوردهای آن مورد توجه باشد. بنابراین در این قسمت از پژوهش به بررسی مطالعات انجام شده در حوزه گذار انرژی پرداخته و نتایج مطالعات را مورد بررسی قرار می‌دهیم:

جدول۳. مطالعات داخلی و خارجی انجام شده

نویسندگان	سال	منطقه	نتیجه
الف) مطالعات داخلی انجام شده			
(قائد و همکاران)	۱۳۹۸	ایران طی دوره‌ی ۳۶ ساله منتهی به سال ۱۳۹۶	با استفاده الگوی خود توضیح برداری، روش جوهانسون_جوسیلیوس و روش تصحیح خطا به بررسی تاثیر انواع منابع انرژی‌های تجدیدپذیر بر رشد اقتصادی پرداخته که بر اساس نتایج بدست آمده مشخص شد که از بین انواع منابع انرژی‌های تجدیدپذیر اثر انرژی بادی بر رشد اقتصادی در مقایسه با سایر انرژی‌ها بیشتر است. به طوری که در بلندمدت، یک درصد افزایش در متغیرهای نیروی کار، سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی الکتریکی تولید شده توسط انرژی‌های تجدیدپذیر و تولید انواع منابع انرژی‌های تجدید پذیر باعث افزایش چند درصدی رشد اقتصادی می‌شوند. از آنجا که انرژی بادی در مقایسه با سایر انرژی‌ها بیشترین اثر را بر رشد اقتصادی دارد؛ با سرمایه‌گذاری در این واحد انرژی می‌توان سهم استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را در ایران افزایش داد.
(رضایی‌راد و همکاران)	۱۴۰۱	قطر	در این مطالعه عنوان می‌شود که مهم‌ترین هدف قطر تا سال ۲۰۳۰ افزایش بهره‌وری انرژی تجدیدپذیر در حوزه‌ی حمل‌ونقل و احداث ایستگاه‌های شارژ برقی برای خودروهای برقی می‌باشد؛ اولین هدف قطر در زمینه‌ی حمل و نقل تامین ۱۰۰ درصدی سوخت‌های اتوبوس این کشور از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر است. برنامه‌ی دیگر قطر تا سال ۲۰۳۰ تلاش برای ساخت شهر هوشمند درسطح جهانی است. با توجه به پتانسیل‌ها و ظرفیت‌های این کشور در جهت توسعه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر پیشرفت کندی نسبت به دیگر کشورها دارد اما با توجه به برنامه‌ها و استراتژی‌هایی که برای توسعه‌ی

نویسندگان	سال	منطقه	نتیجه
			آن مطرح کرده است می‌تواند به پیشرفت بزرگی در این زمینه برسد .
(سلیمی و همکاران)	۱۴۰۲	ایران	در مقاله‌ای براساس تحلیل مدیریتی سوات به بررسی نقاط ضعف، نقاط قوت، فرصت‌ها و تهدیدهای انرژی‌های تجدید پذیر پرداخته‌اند. از آنجا که توسعه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر دارای مزیت‌هایی نظیر افزایش امنیت عرضه‌ی انرژی، کاهش میزان تغییر اقلیم، تحریک رشد اقتصادی، ایجاد اشتغال، افزایش درآمد سرانه، در تمام زمینه‌ها می‌شود، از طرفی دیگر با وجود این مزیت‌ها درکنار جهت‌گیری کشور در حرکت به سمت اقتصاد بدون نفت، باید به توسعه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر ضرورت و اولویت بخشید. نکته‌ای که وجود دارد این است که توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر کاملاً منطبق بر جهت‌گیری کلی و برنامه‌های بالا دستی جمهوری اسلامی ایران در حوزه‌ی انرژی می‌باشد. و از سویی دیگر با تعداد کم متخصصین در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر نمی‌توان سرعت رشد بالا و استفاده‌ی فراگیری از انرژی‌های تجدیدپذیر انتظار داشت.
ب) مطالعات خارجی صورت گرفته			
(نیر و همکاران[1])	۲۰۲۱	مالزی	در مقاله‌ای به تاثیر سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در امنیت انرژی کوتاه‌مدت و بلندمدت مالزی پرداخته‌اند. با عنوان کردن این موضوع که تنوع منابع انرژی باید اولویت اصلی مالزی برای کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی باشد و اینکه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند پایداری بهتر، گزینه پاک‌تری در میان سایر منابع انرژی باشد و نقش انرژی به عنوان اکسیژن اقتصاد و مایه‌ی حیات رشد اقتصادی، نیاز است که ساختار سیاستی به سمت تنوع بخشیدن منابع انرژی متمایل شود؛ با بررسی سه بعد مهم از ابعاد امنیت انرژی(دسترسی ، توان مالی و پایداری زیست محیطی) در بستر مدل‌های پویا مشخص می‌شود که سه بعد مطرح شده تاثیر قابل توجهی در امنیت انرژی مالزی دارند و می‌توانند مسیر گذار را برای مالزی هموار کنند.

1. Nair et al.

نویسندگان	سال	منطقه	نتیجه
(راجش شارما و همکاران[1])	۲۰۲۱	کشورهای بریکس ۱۹۹۰ الی ۲۰۱۸	در مطالعه‌ای به دنبال تبیین این موضوع بودند که آیا رشد درصادرات باعث تحریک تقاضا برای انرژی‌های تجدیدپذیر می‌شود؟ با در نظر گرفتن، نوآوری فناورانه، نابرابری درآمد و تشکیل سرمایه به عنوان متغیرهای کنترلی ضرایب کشش نشان داد که تنوع صادرات، صادرات سنتی، نوآوری تکنولوژیکی و سرمایه‌گذاری به افزایش استفاده از راه‌حل‌های انرژی پاک‌تر کمک می‌کنند، نتایج محاسبه‌شده نشان‌دهنده نیاز به فرآیندهای تولید پیشرفته و مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر و توزیع عادلانه درآمد در جامعه است تا در سطوح صنعتی و خانگی، روش‌های پاک‌تر، کارآمدتر انرژی و سازگار با محیط‌زیست را بتوان دنبال کرد.
(چیپانگامات و نوایلا[2])	۲۰۲۳	-------	با هدف ارائه‌ی چارچوبی برای گذار انرژی برای بازارهای نو ظهور به دنبال یافتن پاسخ‌هایی چون الف)گذار انرژی از دیدگاه بازارهای نوظهور چگونه مفهوم سازی می‌شود؟ ب)بازارهای نوظهور برای گذار عادلانه انرژی موفق باید بر چه چالش‌هایی غلبه کند؟ ج) بازارهای نوظهور چگونه می‌توانند برای گذار انرژی پایدار بر چالش‌های مختلف غلبه کنند؟ د) نتایج مهمی که یک گذار عادلانه انرژی باید به همراه داشته باشد چیست؟، نتیجه آنکه با پیشتهاد یک چارچوب گذار انرژی در بازارهای نوظهور، نه تنها برجنبه‌های تکنولوژیکی پرداخت، بلکه ملاحظات اجتماعی را نیز در نظر گرفت.
(گامزه تانیل[3])	۲۰۲۳	ترکیه	به ارتباط مثبت و معنی‌دار بین مکانییسم‌های حمایت مالی دولت برای منابع انرژی‌های تجدیدپذیر پی برده و تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که ترکیه از منابع انرژی متعارف برای تولید برق استفاده می‌کند. در رابطه با سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر توجه ویژه به شش متغیر معطوف می‌شود. تعداد مشارکت کنندگان جدید در طرح حمایت ظرفیت‌های نصب شده، تولید برق آنها، میزان پرداختی به این شرکت کنندگان، ظرفیت کلی برق تجدیدپذیر در کشور و سهم

1. Sharma et al.
2. Chipangamate & Nwaila
3. Tanil, G.

نویسندگان	سال	منطقه	نتیجه
			انرژی‌های تجدیدپذیر در ترکیب برق کشور این جنبه‌ها درکنار هم به عنوان موفقیت استقرار نامیده می‌شوند. انتظار می‌رود این سرمایه‌گذاری‌ها پیامدهای مثبت اجتماعی_اقتصادی نیز به همراه داشته باشند اگرچه هدف اصلی سیاست برای ارتقای انرژی‌های تجدیدپذیر عمدتا کاهش وابستگی وارداتی به نفت و گاز است.
(احمد و همکاران[1])	۲۰۲۳	اتحادیه اروپا ۱۹۹۴ الی ۲۰۱۹	این مطالعه به تاثیر فناوری‌های آب و هوایی و گذار انرژی بر انتشارCO_2 در کشورهای عضو اتحادیه می‌پردازد. علاوه بر این، نقش مقررات زیست محیطی را در رابطه بین فناوری آب و هوا، گذار انرژی و انتشارCO_2 مورد توجه قرار می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که هر دو فناوری آب و هوا و گذار انرژی با کاهش انتشار کربن، تخریب محیط زیست را کاهش می‌دهند. علاوه بر این، رشد اقتصادی و شهرنشینی به‌عنوان متغیرهای کنترلی به افزایش انتشارCO_2کمک می‌کند و در نتیجه بر پایداری محیط‌زیست تأثیر منفی می‌گذارد. این مقاله پیشنهاد می‌کند که، باید فناوری‌های سبز مرتبط با آب و هوا توسعه یافته و به طور فعال فرآیند گذار انرژی را همراه با اجرای مقررات زیست‌محیطی برای توسعه پایدار ترویج دهند.
(آدلکان و همکاران[2])	۲۰۲۴	-------	این مقاله به طرح‌های سیاستی بی‌شماری می‌پردازد که توسط کشورهای سراسر جهان برای گذار از سیستم‌های انرژی مبتنی بر سوخت‌های فسیلی به جایگزین‌های پاک‌تر و پایدارتر می‌پردازد. علاوه بر این، این مقاله تأثیر سیاست‌های گذار انرژی بر ذینفعان مختلف از جمله دولت‌ها، صنایع و جوامع محلی را روشن می‌کند و درک دقیقی از تعامل پیچیده بین چارچوب‌های سیاست و گذار جهانی به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر ارائه می‌دهد. از آنجایی که جهان با ضرورت کاهش تغییرات آب و هوایی، افزایش امنیت انرژی و ترویج توسعه پایدار دست و پنجه نرم می‌کند، گذار انرژی یک تلاش جمعی است و کشورها باید از یکدیگر بیاموزند، دانش را به اشتراک بگذارند و برای غلبه بر چالش‌ها با یکدیگر همکاری کنند.

1. Ahmad, M et al
2. Adelkan et al.

بنابراین با توجه به بررسی مطالعات داخلی و خارجی صورت گرفته در زمینه‌ی گذار انرژی و شاخص‌های زیست محیطی و همچنین بیان مقدمه‌ای از وضعیت انرژی و گذار انرژی، این مطالعه با نوآوری استفاده از مدلسازی پویا نسبت به مطالعات پیشین، اقدام به ایجاد مدلی پویا در زمینه‌ی گذار انرژی و شاخص زیست محیطی کرده و با بررسی متغیرهای تاثیر گذار بر آن به دنبال بررسی رابطه‌ی بین گذار انرژی و شاخص‌های زیست محیطی ایران با استفاده از مدلی پویا می‌باشد، که در ادامه به روش انجام پژوهش و مدلسازی پویا پرداخته می‌شود.

۳- روش انجام پژوهش

این مطالعه تحلیلی _توصیفی است. که به کمک آمارهای موجود در ترازنامه‌ی انرژی، بانک مرکزی و بانک جهانی تجزیه و تحلیل می‌شود. در ابتدای امر با انجام تست مانایی برای متغیرهای سه رگرسیون ۱-۳ روشن می‌شود که بهترین روش برای تخمین رگرسیون در این مطالعه روش ARDL می‌باشد. از اصلی‌ترین دلایل استفاده از روش ARDL در این مطالعه عدم اهمیت ایستا یا ناایستا بودن متغیرهای مورد بررسی است که در مطالعه‌ی حاضر، متغیرهای مورد بررسی در I(0) و I(1) مانا می‌باشند، ضمن اینکه روش ARDL به دلیل امکان محاسبه‌ی رابطه‌ی بلندمدت و کوتاه‌مدت میان متغیرها می‌تواند مفید باشد. همان طور که مشاهده می‌شود نتایج حاصل از آزمون مانایی در جدول شماره ۴ مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول۴. مانایی متغیرهای رگرسیون ۱-۳

مانایی متغیرهای انتخابی در رگرسیون اول		
مانایی	**نماد متغیر**	**متغیر**
I(۱)	LRE	نسبت انرژی پاک به کل انرژی
I(۰)	LGDP	GDP
I(۰)	LGDP2	GDP^2
I(۱)	LHDI	HDI
I(۰)	FDI	FDI
I(۱)	LMC	مصرف سوخت‌های فسیلی
I(۱)	LXMG	حاصل جمع صادرات و واردات تقسیم بر GDP
I(۱)	LGINI	ضریب جینی

مانایی متغیرهای انتخابی در رگرسیون دوم		
ضریب جینی تقسیم بر یک	LGINII	I(1)
GDP	LGDP	I(1)
GDP^2	LGDPP	I(1)
امید به زندگی	LLIFE	I(1)
نسبت تولید انرژی پاک به تولید کل	LRE(1)	I(0)
شهرنشینی	LURB	I(0)
جمعیت	LP	I(0)
انتشارCO2	LCO2	I(1)
میانگین دما در سطح کشور	LCL	I(0)
مانایی متغیرهای انتخابی در رگرسیون سوم		
GDP	LGDP	I(1)
جمعیت فعال	LL	I(2)
موجودی سرمایه	LK	I(2)
HDI	LHDI	I(1)
FDI	FDI	I(0)
کل مصرف نهایی	LMC	I(1)

ماخذ: محاسبات محقق

1. $LRE_{it}=\beta_0+\beta_1 LGDP_{it}+\beta_2 LGDP2_{it}+\beta_3 LHDI_{it}+\beta_4 FDI_{it}+\beta_5 LMC_{it}+\beta_6 LXMG_{it}+\beta_7 LGINI_{it}$

2. $LCO2_{it}=\beta_0+\beta_1 LGDP_{it}+\beta_2 LGDPP_{it}+\beta_3 LLIFE_{it}+\beta_4 LRE1_{it}+\beta_5 LURB_{it}+\beta_6 LP_{it}+\beta_7 LGINII_{it}+LCL_{it}$

3. $LGDP_{it}=\beta_0+\beta_1 LL_{it}+\beta_2 LK_{it}+\beta_3 LHDI_{it}+\beta_4 LFDI_{it}+\beta_5 LMC_{it}$

با انجام تخمین‌های رگرسیون‌های مربوطه نتایج حاصل از آن در جدول شماره ۲ قابل مشاهده می‌باشد تمامی متغیرها به غیر از موجودی سرمایه هم در کوتاه‌مدت و هم دربلندمدت معنی‌دار بوده همچنین یافته‌های تحقیق نشان می‌دهند که برای رگرسیون اول، ۷۷درصد از تغییرات در نسبت انرژی‌های پاک به وسیله‌ی متغیرهای انتخابی ما در

این مطالعه بوده، در رگرسیون دوم حدوداً ۹۹ درصد از تغییرات حاصل در متغیرCO_2 به دلیل تغییرات در متغیرهای بررسی شده است و در رگرسیون سوم نیز عدد ۹۹ درصد را نشان می‌دهد که نشان از تاثیرات متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته در این مطالعه دارد. همچنین در رگرسیون اول متغیرهای تولید ناخالص داخلی، شاخص توسعه‌ی انسانی، FDI، به ترتیب ۶,۶ و ۲۴,۹ و۰,۱۵ درصد تغییرات نسبت انرژی پاک به کل انرژی را توضیح می‌دهند. و در رگرسیون دوم نیز متغیرهای تولید ناخالص داخلی، شهرنشینی و جمعیت تاثیری مثبت بر میزان انتشار CO_2 دارند و در رگرسیون سوم نیز متغیرهای نیروی کار، موجودی سرمایه، FDI و کل مصرف نهایی انرژی بر رشد اقتصادی تاثیری مثبت را دارا می‌باشند.

بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده در قسمت اول مدل تجربی و با توجه به رگرسیون‌های ۱-۳ در قسمت دوم مدل تجربی به بررسی پویای موضوع مورد بررسی می‌پردازیم، پویایی شناسی سسیتم‌ها در طیف گسترده‌ای از موضوعات، از استراتژی شرکت گرفته تا پویایی شناسی بیماری قند، از رقابت تسلیحاتی در دوران جنگ سرد بین ایالات متحده آمریکا و اتحاد جماهیر شوروی گرفته تا مبارزه بین ویروس اچ‌ای وی و سیستم دفاعی بدن، به کار رفته است. می‌دانیم که همه‌ی پویایی‌ها تنها از فعل و انفعالات حلقه‌های مثبت یا خود فزاینده و حلقه‌های منفی یا خود اصلاح کننده به وجود می‌آیند، حلقه‌های مثبت تمایل دارند هر آنچه در سیستم رخ می‌دهد را تقویت کنند ولی حلقه‌های منفی تغییر را خنثی کرده و با آن به مخالفت بر می‌خیزند(استرمن[1]،۱۳۹۶).

جدول۵. نتایج مربوط به تخمین‌های رگرسیون‌های ۱-۳

نتایج مربوط به رگرسیون اول				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.*
LRE(-1)	۰,۷۱۰۹۹۸	۰,۰۸۱۴۴۸	۸,۷۲۹۴۸۳	۰,۰۰۰۰
LGDP	۶,۶۰۴۳۵۵	۱,۰۳۴۷۸۱	6.382371	۰,۰۰۰۰
LGDP2	-0.097553	۰,۰۱۶۴۱۶	-5.942693	۰,۰۰۰۰
LGDP2(-1)	-0.065698	۰,۰۱۲۰۹۳	-5.432905	۰,۰۰۰۰

1. Sterman

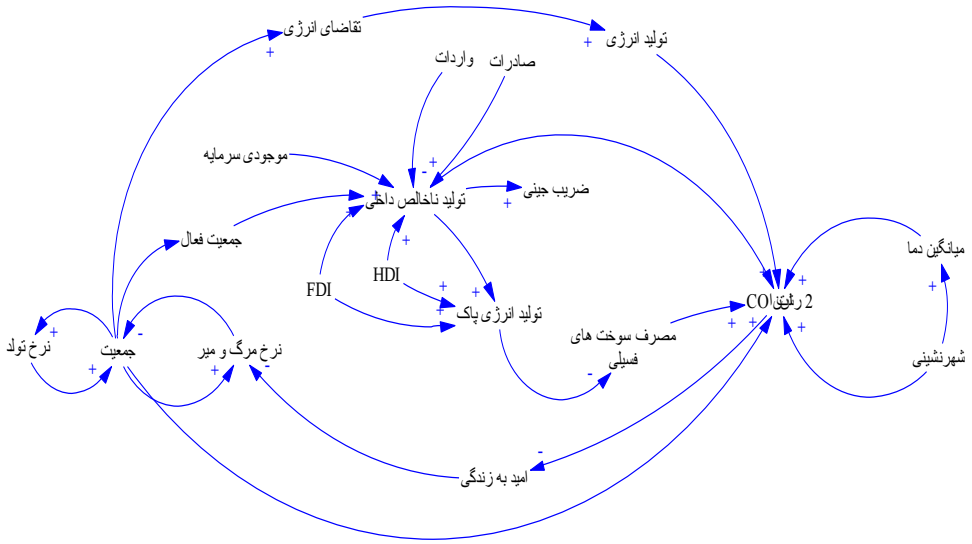
LHDI	۲۴,۹۱۳۸۰	۲,۶۰۸۷۲۷	۹,۵۵۰۱۷۴	۰,۰۰۰۰
LHDI(-1)	-19.05228	۲,۳۶۰۷۵۳	-8.070423	۰,۰۰۰۰
FDI	۰,۰۲۸۳۲۷	۰,۰۴۶۵۷۷	۰,۶۰۸۱۷۷	۰,۵۵۰۷
FDI(-1)	۰,۱۵۴۴۲۵	۰,۰۳۲۴۹۰	۴,۷۵۳۰۷۲	۰,۰۰۰۲
LMC	۱,۷۴۱۰۳۳	۰,۴۸۹۸۲۶	۳,۵۵۴۳۸۹	۰,۰۰۲۳
LXMG	۱,۱۰۱۵۷۲	۰,۱۵۳۷۶۱	۷,۱۶۴۱۷۶	۰,۰۰۰۰
LGINI	۴,۳۵۱۰۸۲	۱,۰۵۳۰۸۲	۴,۱۳۱۷۵۹	۰,۰۰۰۶
R-squared	۰,۷۷۹۸۱۷			
Adjusted R-square	۰,۶۵۷۴۹۳			
رابطه‌ی بلند مدت				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LGDP	۲۲,۸۵۲۲۹	۴,۰۰۴۳۷۹	۵,۷۰۶۸۲۴	۰,۰۰۰۰
LGDP2	-0.564878	۰,۱۰۰۰۸۲	-5.644154	۰,۰۰۰۰
LHDI	۲۰,۲۸۱۹۳	۶,۶۵۱۰۳۱	۳,۰۴۹۴۴۱	۰,۰۰۶۹
FDI	۰,۶۳۲۳۵۷	۰,۲۷۳۳۰۳	۲,۳۱۳۷۶۰	۰,۰۳۲۷
LMC	۶,۰۲۴۲۹۵	۱,۳۷۰۶۵۹	۴,۳۹۵۱۸۱	۰,۰۰۰۳
LXMG	۳,۸۱۱۶۴۴	۰,۶۲۶۵۲۸	۶,۰۸۳۷۵۵	۰,۰۰۰۰
EC = LRE - (۲۲.8523*LGDP -0.5649*LGDP2 + 20.2819*LHDI + 0.6324*FDI +6.0243*LMC + 3.8116*LXMG)				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
CointEq(-1)*	-0.680069	۰,۰۷۹۹۵۹	-8.505213	۰,۰۰۰۰
خود همبستگی	F-statistic: ۰.388870		Prob. F(۲,16):۰,۶۸۴۱	
همسانی واریانس براش- پیگن	F-statistic: ۰.337926		Prob. F(۱0,18):۰,۹۵۸۲	
همسانی واریانس آرچ	F-statistic:۰,۰۱۲۷۳۹		Prob. F(۱,26):۰,۹۱۱۰	
نتایج حاصل از تخمین رگرسیون دوم				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.*
LCO2(-1)	0.581980	0.088154	6.601872	0.0012
LCO2(-2)	-0.430211	0.070895	-6.068282	0.0018
LGDP	216.5976	39.00176	5.553535	0.0026
LGDP(-1)	-449.2287	42.12004	-10.66544	0.0001
LGDP2	-2.915477	0.525122	-5.552003	0.0026

LGDP2(-1)	6.055344	0.568321	10.65479	0.0001
LURB	-144.8567	25.02768	-5.787860	0.0022
LURB(-1)	158.6356	21.00008	7.554048	0.0006
LRE1	0.104442	0.014801	7.056403	0.0009
LRE1(-1)	-0.028318	0.007513	-3.769111	0.0130
LCL	-1.252554	0.165903	-7.549930	0.0006
LCL(-1)	-0.789025	0.156201	-5.051334	0.0039
LLIFE	-2.472188	0.411001	-6.015049	0.0018
LLIFE(-1)	-5.508634	0.365427	-15.07450	0.0000
LP	24.65726	3.682086	6.696546	0.0011
LGINII	0.220524	0.150847	1.461899	0.2036
LGINII(-1)	-1.780306	0.160207	-11.11257	0.0001
C	۴۰۲۸,۳۸۵	671.8856	5.995641	0.0019
@TREND	-0.398188	0.047788	-8.332322	0.0004
R-squared	0.998820			
Adjusted R-squared	0.994574			
رابطه‌ی بلند مدت				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LGDP	-274.2543	32.55452	-8.424461	0.0004
LGDP2	3.701664	0.439807	8.416564	0.0004
LURB	16.24425	4.777224	3.400353	0.0192
LRE1	0.089744	0.024737	3.627951	0.0151
LCL	-2.406866	0.406288	-5.924035	0.0020
LLIFE	-9.408783	1.057897	-8.893858	0.0003
LP	29.06903	4.076434	7.130995	0.0008
LGINII	-1.838865	0.244072	-7.534109	0.0007
@TREND	-0.469433	0.039225	-11.96759	0.0001
EC = LCO2 - (-۲74.2543*LGDP + ۳.7017*LGDP2 + ۱6.2442*LURB + 0.0897*LRE1 -۲.4069*LCL -9.4088*LLIFE + 29.0690*LP -1.8389*LGINII -0.۴694*@TREND				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
CointEq(-1)*	-0.848220	0.052129	-8.424461	0.0000
خود همبستگی	F-statistic:۸.692741		Prob. F(3,2):0.1049	
همسانی واریانس براش_پیگن	F-statistic:۰.973330		Prob. F(16,7):0.550	
همسانی واریانس آرچ	F-statistic:۰.406867		Prob. F(1,21):0.530	

نتایج حاصل از تخمین رگرسیون سوم				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.*
LGDP(-1)	0.759446	0.127724	5.945982	0.0000
LGDP(-2)	-0.561542	0.088401	-6.352188	0.0000
LGDP(-3)	0.592354	0.090746	6.527620	0.0000
LL	0.306090	0.060220	5.082898	0.0001
LK	1.602349	0.173618	9.229156	0.0000
LK(-1)	-1.442403	0.127968	-11.27155	0.0000
LHDI	-0.684488	0.284049	-2.409752	0.0276
LXM	-0.049962	0.014305	-3.492754	0.0028
FDI	0.010995	0.003297	3.334643	0.0039
LMC	0.053910	0.049841	1.081641	0.2945
R-squared	۰,۹۹۵۰۰۸			
Adjusted R-squared	۰,۹۹۲۳۶۵			
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LL	۱,۴۵۹۳۶۰	۰,۳۶۵۷۲۲	۳,۹۹۰۳۵۶	۰,۰۰۰۹
LK	۰,۷۶۲۵۸۳	۰,۳۷۵۹۶۸	۲,۰۲۸۳۲۰	۰,۰۵۸۵
LHDI	-3.263468	۰,۹۸۵۸۷۷	-3.310219	۰,۰۰۴۱
LXM	-0.238208	۰,۱۱۴۵۰۵	-2.080327	۰,۰۵۲۹
FDI	۰,۰۵۲۴۲۴	۰,۰۱۷۴۹۹	۲,۹۹۵۷۹۰	۰,۰۰۸۱
EC = LGDP - (۱.۴۵۹*LL + ۰.7626*LK -3.2635*LHDI -0.2382*LXM + 0.0524*FDI)				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
CointEq(-1)*	-0.209743	۰,۰۳۵۹۴۵	-5.835046	۰,۰۰۰۰
خود همبستگی	F-statistic:۱,۹۶۱۲۸۸		Prob. F(۲,15):۰,۱۷۵۱	
همسانی واریانس براش_پیگن	F-statistic:۰,۳۴۶۲۴۹		Prob. F(۱۰,16):۰,۹۵۳۲	

ماخذ: محاسبات محقق

بنابراین و با توجه به توضیحات داده شده در قسمت مدل تجربی می‌توان با استفاده از نرم افزار ونسیم[1] نمودار حلقوی علی- معلولی را به شکل زیر رسم کرد.

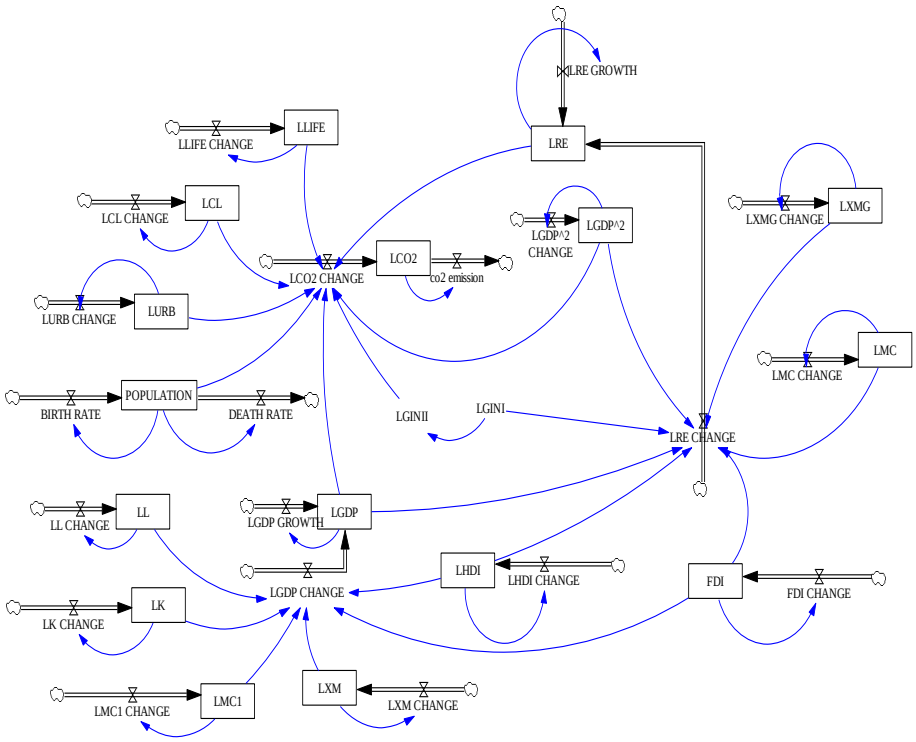


شکل۱. نمودار حلقوی علی و معلولی در این مطالعه

ماخذ: محاسبات محقق

توانایی رسم حالت‌ها و جریان‌های سیستم برای مدلسازی اثر بخش ضروری است. معمولاً بهتر است حالت‌های اصلی سیستم و سپس جریان‌های تغییر دهنده‌ی آن شناسایی شوند. از آنجایی که نمودارهای علی-حلقوی محدودیت‌هایی در نمایش ساختار متغیر حالت و جریان دارند (استرمن[2]،۱۳۹۶) در این مطالعه نمودار حالت جریان نیز در شکل۲ رسم شده است.

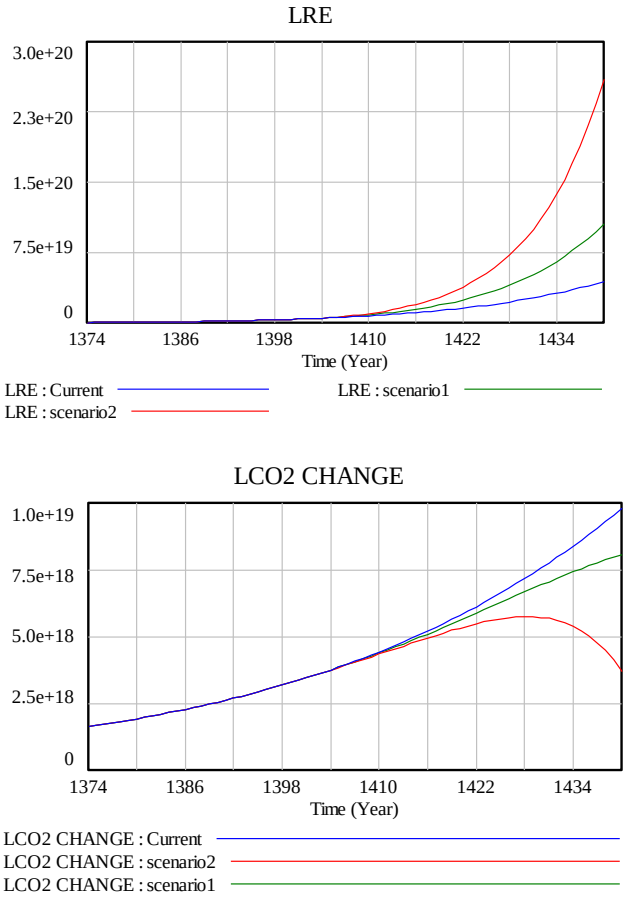
1. VENSIM
2. Sterman



شکل۲. نمودار حالت_جریان در این مطالعه

ماخذ: محاسبات محقق

همان طور که در شکل 3 مشاهده می‌شود با اجرای مدل در دوره‌ی۱۳۷۴تا۱۴۴۰، روند خط آبی رنگ(Current) که نشان دهنده‌ی حالت پایه در این مطالعه می‌باشد حاصل می‌شود. اما اگر در قالب سناریوی اول نسبت انرژی‌های تجدید پذیر بر کل انرژی به میزان ۳ درصد در سال ۱۴۰۴ افزایش یابد همان گونه که مشاهده می‌شود سبب کاهش co_2 می‌شود. و اگر در سال ۱۴۰۴ در قالب سناریو دوم رشد۶ درصدی حاصل شود و در واقع گذار از انرژی‌های فسیلی به انرژی‌های تجدید پذیر سرعت گیرد، کربن دی‌اکسید با شدتی بیشتر از قبل کاهش می‌یابد.

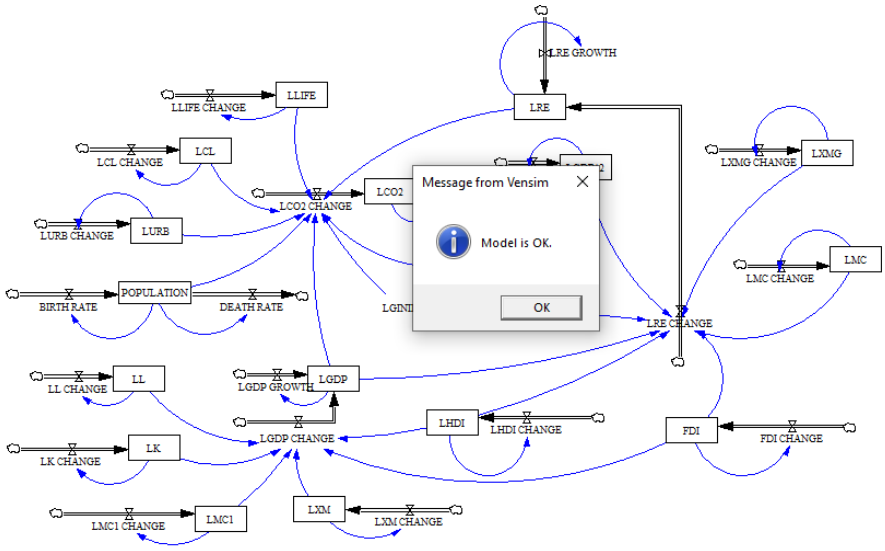


شکل۳. نتایج حاصل از اعمال سناریو اول و دوم

ماخذ: محاسبات محقق

۳-۱- اعتبار سنجی نتایج بدست آمده

برای اعتبار سنجی مدل در این مطالعه و صحت نتایج حاصل از آن از روش متداول اعتبار سنجی، یعنی مقایسه‌ی یافته‌های مدل‌سازی انجام شده با داده‌های تاریخی در دسترس (تولید مجدد رفتار) استفاده شده است که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد، همچنین با انجام تست صحت سنجی نمودار حالت- جریان مشخص می‌شود که روابط موجود در نمودار حالت جریان به درستی صورت گرفته است(شکل۴).

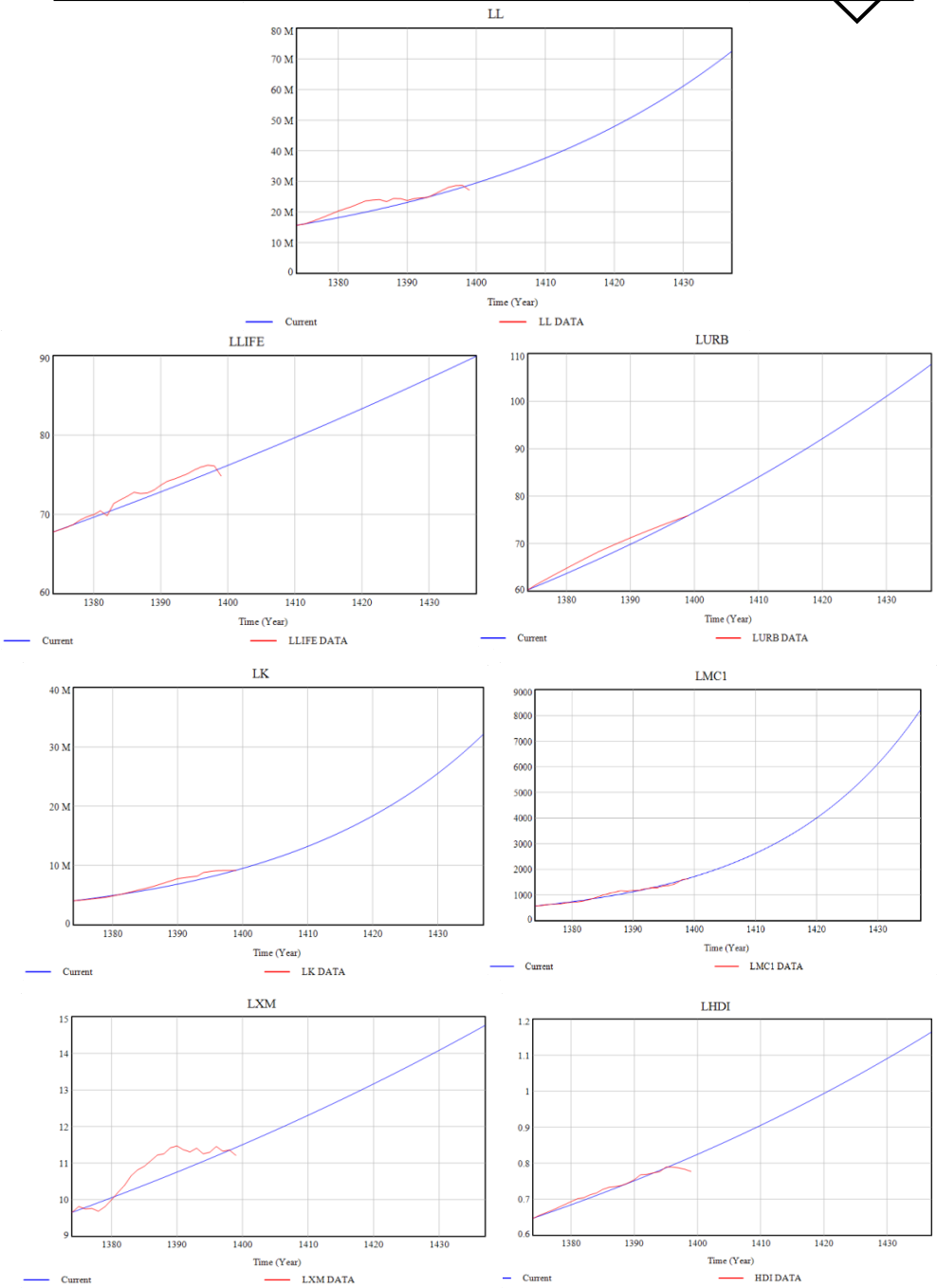


شکل٤. نتیجه حاصل از صحت سنجی نمودار حالت- جریان رسم شده

ماخذ: محاسبات محقق

۳-۱-۱- آزمون تولید مجدد رفتار

در شکل شماره ۵ نتیجه‌ی آزمون تولید مجدد رفتار و در واقع مقایسه‌ای میان داده‌های حقیقی موجود و روند پیش‌بینی شده توسط مدل صورت گرفته است، که خطوط قرمز رنگ نشان دهنده‌ی داده‌های رسمی منتشر شده برای کشور ایران و خطوط آبی رنگ نشان دهنده‌ی پیش‌بینی مدل تحقیق حاضر از روند و آینده‌ی متغیرها می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود نتایج شبیه سازی با روند داده‌های تاریخی موجود مطابقت داشته و در نتیجه روند پیش‌بینی شده دارای اعتبار می‌باشد.



شکل۵. مقایسه‌ی داده‌های حقیقی موجود و روند پیش بینی شده توسط مدل

ماخذ: محاسبات محقق

۴- نتیجه گیری

اکثر حالت‌های مختلف تولید انرژی‌های فسیلی و بهره برداری از آن، در حال حاضر باعث ایجاد مسائل زیست محیطی درمقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و جهانی شده و سلامت نسل‌های کنونی و آینده بشر را به خطر انداخته است. همانطور که در ابتدا بیان شد بخش انرژی جهانی در یک دوره گذار قرار دارد. بنابراین در این دوره انتظار می‌رود که منابع انرژی تجدیدپذیر و کم کربن مانند باد و خورشید جایگزین سوخت‌های فسیلی سنتی از جمله نفت، گاز و زغال سنگ شوند. در ایران نیز مطابق دیگر کشورها در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر و گذار به انرژی‌های پاک اقداماتی انجام شده است. به گونه‌ای که میزان برق تولیدی از منابع تجدید پذیر و پاک در سال ۱۴۰۱ نسبت به سال ۱۴۰۰، ۲۳,۲ درصد رشد داشته. همچنین ظرفیت نصب شده نیروگاه‌های تجدید پذیر و پاک در سال ۱۴۰۱ نسبت به سال ۱۴۰۰، ۱۱,۳ درصد رشد داشته است. و از طرفی نیز میزان اجتناب از انتشار گازهای گلخانه‌ای و میزان اجتناب از مصرف سوخت‌های فسیلی در سال ۱۴۰۱ نسبت به سال قبل به ترتیب ۱۹,۴ و۲۲ درصد رشد داشته است. بنابراین می‌توان گفت گذار انرژی در ایران در حال وقوع است.

با توجه به مطالب عنوان شده در این پژوهش و باتوجه به اهمیت روز افزون انرژی و اثرات زیست محیطی و لزوم گذار انرژی، این مطالعه تصویری واضح از تغییرات و تحرکات ناشی از جایگزین کردن انرژی‌های تجدید پذیر و پاک به جای انرژی‌های فسیلی در سطح کشورهای منتخب منطقه و کشور ایران ارائه داده و به سناریو سازی و تاکید بر اهمیت انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر می‌پردازد. این مطالعه باهدف ارزیابی شاخص‌های زیست محیطی بر گذار انرژی در ایران با استفاده از مدل پویا طی دوره ۱۳۷۴ تا سال ۱۴۴۰ شکل گرفت، مدل تجربی استفاده شده در این مطالعه شامل دو قسمت بوده اولاً با توجه به انجام آزمون مانایی برای متغیرهای انتخابی در این پژوهش، روش ARDL انتخاب شده و پس از انجام تخمین‌ها و آزمون‌های مربوطه در بخش دوم به مدلسازی پویا و سناریوسازی پرداخته شد، که خروجی‌های مدل در شکل ۳ قابل مشاهده می‌باشد، سناریو اول شامل رشد سه درصدی در تولید انرژی‌های تجدیدپذیر و سناریو دوم شامل رشد شش درصدی در تولید انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد؛ همان گونه که در یافته‌های تحقیق نیز مشاهده می‌شود:

- افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در ترکیب انرژی ایران می‌تواند منجر به کاهش کربن دی‌اکسید انتشار یافته به عنوان شاخص زیست محیطی مورد بررسی در این مطالعه شود و همانگونه که نتایج سناریو دوم نشان می‌دهد تسریع در فرایند گذار انرژی می‌تواند با شدت بیشتری انتشار کربن دی‌اکسید را کاهش دهد.
- با انجام تخمین‌های رگرسیون‌های مربوطه نتایج حاصل نشان می‌دهند تمامی متغیرها به غیر از موجودی سرمایه هم در کوتاه مدت و هم دربلند مدت معنی‌دار هستند.
- همچنین در رگرسیون اول متغیرهای تولید ناخالص داخلی، شاخص توسعه‌ی انسانی ،FDI، به ترتیب ۶,۶ و ۲۴,۹ و۰,۱۵ درصد تغییرات نسبت انرژی پاک به کل انرژی را توضیح می‌دهند. و در رگرسیون دوم نیز متغیرهای تولید ناخالص داخلی، شهرنشینی و جمعیت تاثیری مثبت بر میزان انتشار CO_2 دارند و در رگرسیون سوم متغیرهای نیروی کار، موجودی سرمایه، FDI و کل مصرف نهایی انرژی بر رشد اقتصادی تاثیری مثبت را دارا می‌باشند.
- همچنین نتایج نشان می‌دهد، مصرف انرژی تاثیری معنادار بر رشد اقتصادی خواهد داشت. که به تبع آن به دلیل اتکا به سوخت‌های فسیلی شاهد افزایش آلودگی‌های زیست محیطی خواهیم بود.

بنابراین با توجه به نکات مطرح شده در این پژوهش و از آنجایی که ضروری است انرژی‌های تجدید پذیر به عنوان منبع انرژی اولیه وجود داشته باشد تا انتشار کربن به محیط زیست کاهش یابد. سیاست‌هایی چون محدودیت استفاده از سوخت‌های فسیلی، کاهش یارانه سوخت‌های فسیلی جهت افزایش مقرون به صرفه بودن انرژی‌های پاک را به کار ببرد تا سهم استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر افزایش یافته و بتوانیم شاهد کاهش انتشار کربن دی‌اکسید و افزایش سرعت گذار انرژی در ایران باشیم. همچنین نتایج مشابه و هم جهت میان مطالعه‌ی حاضر با مطالعات مرتبطِ صورت گرفته وجود دارد. مطالعاتی مانند(بهبودی و برقی گلعذانی،۱۳۸۷)، (محمدی و ظریف،۱۳۹۸)، (موسوی و همکاران،۱۳۹۶)، (کهنسال و بهرامی نسب،۱۳۹۸) و (فلاحی و همکاران،۱۴۰۱)؛ همچنین مطالعات خارجی صورت گرفته مانند (نیر و

همکاران[1]،۲۰۲۱)، (قلیزاده و همکاران[2]،۲۰۲۴)، (ابراهیم و همکاران،۲۰۲۳)، (ژرژسکو و همکاران[3]،۲۰۲۴)و (یاووز و همکاران[4]،۲۰۲۳) یافت می‌شود.

با این حال همانگونه که اشاره شد گذار انرژی در ایران با چالش هایی نظیر وابستگی به سوخت‌های فسیلی و عدم دسترسی به فناوری‌های نوین به دلیل محدودیت‌های ایجاد شده مواجه است. این تحقیق همچنین با محدودیت‌هایی نظیر عدم انتشار داده‌های رسمی جدید و عدم امکان افزایش بازه‌ی زمانی و همچنین عدم اعمال تاثیرات عوامل خارجی مانند تغییرات ناشی از بحران‌های اقتصادی و همچنین تغییرات ناشی از شوک بیماری کرونا و تحریم‌های اقتصادی می‌باشد. این مطالعه برای پژوهش‌های آینده پیشنهاد می‌کند تا در صورت امکان دوره زمانی مورد بررسی تحقیق را افزایش داده و نقش تاثیرات عوامل اجتماعی و فرهنگی بر پذیرش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نیز بر گذار انرژی و شاخص‌های زیست محیطی مورد بحث و بررسی قرار گیرد و سایر عوامل اثر گذار بر تولید انرژی‌های پاک در قالب حلقه‌های علی و معلولی به مدل اضافه شود، تا به تحلیلی جامع‌تر از تاثیر عوامل مختلف بر گذار انرژی و شاخص‌های زیست محیطی ایران برسیم.

بنابراین در نهایت، می‌توان این گونه عنوان نمود که علی رغم چالش‌های موجود، اگر دولت و مسئولین به استفاده از فرایندهای تحقیق و توسعه، آموزش و آگاهی بخشی، همکاری‌های بین المللی، بازتعریف ساختارهای فرهنگی و اجتماعی موجود و سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین بپردازند می‌توان شاهد گذاری مطمئن و سریع و به همراه آلودگی کمتر به منابع انرژی‌های تجدید پذیر بود.

1. Nair et al.
2. Gholizadeh et al.
3. Georgescu et al.
4. Yavuz et al.

منابع

- بهبودی، داوود، و برقی گلعذانی، اسماعیل. (۱۳۸۷). اثرات زیست محیطی مصرف انرژی و رشد اقتصادی در ایران. اقتصاد مقداری (بررسیهای اقتصادی)، ۵(۴ (پیاپی ۱۹))، ۳۵-۵۳. SID. https://sid.ir/paper/110838/fa
- جان دی استرمن، (۱۳۹۶)، پویایی شناسی کسب و کار (تفکر سیستمی و مدلسازی برای جهان پیچیده)، جلد اول،مترجم:کوروش برارپور، پریسا موسوی اهرنجانی، بتفشه بهزاد، مرضیه امامی، لاله رضایی عدل، حسن فغانی،نشر سمت
- حاجی مینه، رحمت و رضایی راد، ابراهیم و حسینی، مهساسادات،۱۴۰۱،گذار از انرژی‌های فسیلی به تجدیدپذیر در قطر،چهارمین کنفرانس ملی ژئومکانیک نفت نوآوری و فناوری،تهران،https://civilica.com/doc/1618355
- سلیمی محسن، حسین پور مرتضی و دودانگه بهاره. (۱۴۰۲). بررسی اهمیت انرژی‌های تجدیدپذیر در گذار انرژی موفق در کشور ایران بر اساس مدل تحلیل مدیریتی سوات. نشریه انرژی‌های تجدیدپذیر و نو, ۱۰(۱), ۹۷-۱۰۹. doi: 10.52547/jrenew.10.1.97
- سلیمی وحید، پیری مهدی.(۱۴۰۲) الزامات قانونی گذار از انرژی فسیلی به تجدیدپذیر با مقایسه نظام حقوقی اتحادیه اروپا، چین و ایران. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی.; ۱۹ (۷۷) :۳۳-۵۷-http://iiesj.ir/article-URL: ۱۵۷۳-۱fa.html
- فلاحی, فیروز , پورعبادالهان, محسن , صادقی, سید کمال و شکری, توحید . (۱۴۰۱). بررسی رابطه‌ی میان رشد اقتصادی و کیفیت محیط زیست در ایران: شواهدی جدید مبتنی بر تبدیل موجک پیوسته. پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی, ۱۲(۴۷), ۳۷-۵۲. doi: 10.30473/egdr.2020.49586.5499
- قائد, ابراهیم, دهقانی, علی, & فتاحی, محمد. (۱۳۹۸). بررسی تأثیر انواع انرژی‌های تجدیدپذیر بر رشد اقتصادی ایران. پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی, ۹(۳۵), ۱۳۷-۱۴۸. doi: 10.30473/egdr.2019.43208.4991
- کهنسال, محمدرضا و بهرامی نسب, مهسا . (۱۳۹۸). ارزیابی رابطه مصرف انرژی و آلودگی با رشد اقتصادی در راستای سیاست‌های کلی محیط زیست. سیاست‌های راهبردی و کلان, ۷(۲۸), ۵۰۰-۵۲۵. doi: 10.32598/JMSP.7.4.1

- گزارش آماری انرژی‌های تجدید پذیر ایران در سال ۱۳۹۷ ،شهریور ماه ۱۳۹۸، سازمان انرژی‌های تجدید پذیر و بهره برداری انرژی برق (ساتبا) ، وزارت نیرو، دفتر روابط عمومی و امور بین الملل ،گروه توسعه ، همکاری‌های بین المللی
- گزارش عملکرد تولید برق نیروگاه اتمی بوشهر شش ماه نخست سال ۱۴۰۱، شرکت مادر تخصصی تولید و توسعه انرژی اتمی ایران معاونت برنامه ریزی و توسعه
- گزارش عملکرد سال ۱۴۰۱ صنعت آب و برق،مرداد ماه۱۴۰۲، معاونت سرمایه انسانی، تحقیقات و فناوری اطلاعات، دفتر فناوری اطلاعات و امنیت مجازی.
- محجوب، امیرعلی، و نوراللهی، یونس. (۱۴۰۰). تحلیل روند مصرف انرژی و تکنولوژی‌های استحصال آب کشور و بررسی جایگزینی برق خورشیدی. اکوهیدرولوژی، ۸(۴)، ۹۰۷-۹۲۳. SID. https://sid.ir/paper/1059259/fa
- محمدی, حسین و ظریف, شیرین . (۱۳۹۷). بررسی تاثیر کارایی انرژی بر شاخص عملکرد محیط زیست در کشورهای منتخب اوپک و سازمان همکاری و توسعه اقتصادی. پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران, ۷(۲۸), ۱۳۳-۱۵۶. doi: 10.22054/jiee.2019.9841
- مظفری ابوالقاسم، حاجی حسینی حمیدرضا و حاجی حسینی محمدرضا. (۱۳۹۸). بررسی جایگاه ژئوپلیتیک آب در توسعه و امنیت پایدار مناطق مرزی براساس رویکرد سیستم‌های پویا. فصلنامه بین المللی ژئوپلیتیک, ۱۵(۱), ۱۱۸-۱۴۵.
- موسوی درچه، سیدمسلم، قانعی راد، محمدامین، کریمیان، حسن، زنوزی زاده، هدیه، و باقری مقدم، ناصر. (۱۳۹۷). ارائه چارچوب توصیف گذار حوزه‌های فنّاورانه بر اساس رویکرد تحلیل چندسطحی: (مطالعه موردی: گذار انرژی‌های بادی و خورشیدی در ایران). بهبود مدیریت، ۱۲(۲ (پیاپی ۴۰))، ۱۴۱-۱۷۱. SID. https://sid.ir/paper/524599/fa
- موسوی, سید کاظم , سلمان پور, علی و شکوهی فرد, سیامک . (۱۳۹۶). اثر رشد اقتصادی، مصرف انرژی و توسعه مالی بر آلودگی محیط زیست در ایران طی دوره ۱۳۹۵-۱۳۶۵. مطالعات علوم محیط زیست, ۲(۱), ۱۲۰-۱۱۱.
- Abdallah, I., Alhosin, H., Belarabi, M., Chaouki, S., & Mahmoud, N. (2024). A Pan-Asian Energy Transition? The New Rationale for Decarbonization Policies in Asia and the World’s Largest Energy

Exporting Countries, the Case of Qatar, and Saudi Arabia. https://doi.org/10.20944/preprints202405.2108.v1

- Acikgoz, F., & Yorulmaz, O. (2024). Renewable energy adoption among Türkiye's future generation: What influences their intentions? Energy for Sustainable Development, 80, 101467. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.esd.2024.101467
- Adelekan, O. A., Ilugbusi, B. S., Adisa, O., Obi, O. C., Awonuga, K. F., Asuzu, O. F., & Ndubuisi, N. L. (2024). Energy transition policies: a global review of shifts towards renewable sources. Engineering Science & Technology Journal, 5(2), 272-287.
- Adrian, M., Purnomo, E. P., Enrici, A., & Khairunnisa, T. (2023). Energy transition towards renewable energy in Indonesia. Heritage and Sustainable Development, 5(1), 107-118.
- Ahmad, M., Ahmed, Z., Riaz, M., & Yang, X. (2024). Modeling the linkage between climate-tech, energy transition, and CO2 emissions: Do environmental regulations matter? Gondwana Research, 127, 131–143. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.04.003
- Aslam, N., Yang, W., Saeed, R., & Ullah, F. (2024). Energy transition as a solution for energy security risk: Empirical evidence from BRI countries. Energy, 290, 130090. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.130090
- Ayedh Alqahtani, Heba Abdullah, Suhaila Marafi,Basim Musallam and Nour El Din Abd El Khalek,(2024). Electricity Generation in Kuwait using Sustainable Energy Sources – A Focus on Solar Photovoltaic Systems.
- Bashir, M. F., Pan, Y., Shahbaz, M., & Ghosh, S. (2023). How energy transition and environmental innovation ensure environmental sustainability? Contextual evidence from Top-10 manufacturing countries. Renewable Energy, 204. https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.01.049
- Bhattarai, U., Maraseni, T., & Apan, A. (2022). Assay of renewable energy transition: A systematic literature review. Science of The Total Environment, 833, 155159.
- Cao, Y., Cai, J., & Liu, X. (2024). RETRACTED ARTICLE: Advancing toward a sustainable future: assessing the impact of energy transition, circular economy, and international trade on carbon footprint. Economic Change and Restructuring, 57(2), 77. https://doi.org/10.1007/s10644-024-09621-0
- Chipangamate, N., & Nwaila, G. (2023). Assessment of challenges and strategies for driving energy transitions in emerging markets: A socio-

technological systems perspective. Energy Geoscience, 5, 100257. https://doi.org/10.1016/j.engeos.2023.100257

- de Blasio, N., & Zheng, D. (2023). The Future of Energy Value Chains in the Transition to a Low-Carbon Economy / An Evaluation Framework of Integration and Segmentation Scenarios.
- Fakhar, H. A., Ahmed, Z., Acheampong, A. O., & Nathaniel , S. P. (2023). Renewable energy, nonrenewable energy, and environmental quality nexus: An investigation of the N-shaped Environmental Kuznets Curve based on six environmental indicators. Energy, 263, Article 125660. https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125660
- Farahat, A., Labban, A., Mashat, A., Hasanean, H., & Kambezidis, H. (2024). Status of Solar-Energy Adoption in GCC, Yemen, Iraq, and Jordan: Challenges and Carbon-Footprint Analysis. Clean Technologies, 6, 700–731. https://doi.org/10.3390/cleantechnol6020036
- Fatima, N., Usman, M., Khan, N., & Shahbaz, M. (2023). Catalysts for sustainable energy transitions: the interplay between financial development, green technological innovations, and environmental taxes in European nations. Environment, Development and Sustainability, 26, 1–28. https://doi.org/10.1007/s10668-023-04081-4
- Geels, F. W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. Research policy, 31(8-9), 1257-1274.
- Genc, T., & Kosempel, S. (2023). Energy Transition and the Economy: A Review Article. Energies, 16, 2965. https://doi.org/10.3390/en16072965
- Georgescu, I. A., Oprea, S. V., & Bâra, A. (2024). Investigating the relationship between macroeconomic indicators, renewables and pollution across diverse regions in the globalization era. Applied Energy, 363, 123077.
- Gholizadeh, A., Mirnezami, S. R., & Wang, Y.(2024). Green Synergies and Economic Dynamics: Assessing the Impact of China-Iran Energy Collaboration in the Context of the Belt and Road Initiative.
- https://isn.moe.gov.ir
- https://pep.moe.gov.ir
- https://www.aeoi.org.ir
- Ibrahim, R. L., Al-Mulali, U., Solarin, S. A., Ajide, K. B., Al-Faryan, M. A. S., & Mohammed, A. (2023). Probing environmental sustainability pathways in G7 economies: the role of energy transition, technological innovation, and demographic mobility. Environmental Science and Pollution Research, 30(30), 75694-75719.

- Igeland, P., Schroeder, L., Yahya, M., Okhrin, Y., & Uddin, G. S. (2024). The energy transition: The behavior of renewable energy stock during the times of energy security uncertainty. Renewable Energy, 221, 119746. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119746
- INDUSTRIAL DEVELOPMENT REPORT 2024. UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION.
- IRENA(2019). a new world the geopolitics of the Energy Transformation, ISBN: 978-92-9260-097-6
- Kabeyi, M. J. B., & Olanrewaju, O. A. (2022). Sustainable energy transition for renewable and low carbon grid electricity generation and supply. Frontiers in Energy research, 9, 743114.
- Kalair, A., Abas, N., Saleem, M. S., Kalair, A. R., & Khan, N. (2021). Role of energy storage systems in energy transition from fossil fuels to renewables. Energy Storage, 3(1), e135..
- Kat, B. (2023). Clean energy transition in the Turkish power sector: A techno-economic analysis with a high-resolution power expansion model. Utilities Policy, 82, 101538. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jup.2023.101538
- Khan, I., Zakari, A., Ahmad, M., Irfan, M., & Hou, F. (2022). Linking energy transitions, energy consumption, and environmental sustainability in OECD countries. Gondwana Research, 103, 445-457.
- Kochanek, E. (2021). Evaluation of energy transition scenarios in Poland. Energies, 14(19), 6058.
- Lee, C.-C., & Olasehinde-Williams, G. (2022). Does economic complexity influence environmental performance? Empirical evidence from OECD countries. International Journal of Finance & Economics, 29. https://doi.org/10.1002/ijfe.2689
- Liao, C., Erbaugh, J. T., Kelly, A. C., & Agrawal, A. (2021). Clean energy transitions and human well-being outcomes in Lower and Middle Income Countries: A systematic review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 145, 111063.
- Marín, A., & Goya, D. (2021). Mining—The dark side of the energy transition. Environmental Innovation and Societal Transitions, 41, 86-88.
- Nair, K., Shadman, S., Chin, C. M. M., Sakundarini, N., Yap, E. H., & Koyande, A. (2021). Developing a system dynamics model to study the impact of renewable energy in the short- and long-term energy security. Materials Science for Energy Technologies, 4, 391–397. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mset.2021.09.001

- Nair, K., Shadman, S., Chin, C. M., Sakundarini, N., Yap, E. H., & Koyande, A. (2021). Developing a system dynamics model to study the impact of renewable energy in the short-and long-term energy security. Materials Science for Energy Technologies, 4, 391-397.
- Odunayo Adewunmi Adelekan, Bamidele Segun Ilugbusi, Olawale Adisa, Ogugua Chimezie Obi, Kehinde Feranmi Awonuga, Onyeka Franca Asuzu, & Ndubuisi Leonard Ndubuisi. (2024). ENERGY TRANSITION POLICIES: A GLOBAL REVIEW OF SHIFTS TOWARDS RENEWABLE SOURCES. Engineering Science & Technology Journal, 5(2), 272-287. https://doi.org/10.51594/estj.v5i2.752
- Or, B., Bilgin, G., Akcay, E. C., Dikmen, I., & Birgonul, M. T. (2024). Real options valuation of photovoltaic investments: A case from Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 192, 114200. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114200
- Rabbi, M. F., Popp, J., Máté, D., & Kovács, S. (2022). Energy security and energy transition to achieve carbon neutrality. Energies, 15(21), 8126.
- Rip, A., & Kemp, R. (1998). Technological change. In S. Rayner & E. L. Malone (Eds.), Human Choice and Climate Change (pp. 327-399.(
- Sharma, R., Shahbaz, M., Kautish, P., & Vinh, V. X. (2021). Analyzing the impact of export diversification and technological innovation on renewable energy consumption: Evidences from BRICS nations. Renewable Energy, 178, 1034–1045. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.125
- Sultonov, M., Hasanov, B., Valizoda, P., Inagaki, F., & Tj. (2024). Exploring the Macroeconomic Effects of Renewable Energy in Tajikistan: An Empirical Analysis. Economies, 12, 99. https://doi.org/10.3390/economies12050099
- Taghizadeh-Hesary, F., Rasoulinezhad, E., Shahbaz, M., & Vinh Vo, X. (2021). How energy transition and power consumption are related in Asian economies with different income levels? Energy, 237, 121595. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121595
- Tanil, G. (2023). Impact of Financial Support Mechanisms on Renewable Energy Deployment: Turkey as a Case Study. Journal of International Environmental Application and Science, 18(1), 10-16.
- Tian, J., Yu, L., Xue, R., Zhuang, S., & Shan, Y. (2022). Global low-carbon energy transition in the post-COVID-19 era. Applied energy, 307, 118205.
- Tzeremes, P., Dogan, E., & Alavijeh, N. K. (2023). Analyzing the nexus between energy transition, environment and ICT: A step towards COP26

targets. Journal of Environmental Management, 326, 116598. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116598

- Way, R., Ives, M., Mealy, P., & Farmer, J. (2022). Empirically grounded technology forecasts and the energy transition. Joule, 6. https://doi.org/10.1016/j.joule.2022.08.009
- Yavuz, E., Ergen, E., Avci, T., Akcay, F., & Kilic, E. (2023). Do the effects of aggregate and disaggregate energy consumption on different environmental quality indicators change in the transition to sustainable development? Evidence from wavelet coherence analysis. Environmental Science and Pollution Research, 1-21.
- Zou, Y., & Wang, M. (2024). Does environmental regulation improve energy transition performance in China? Environmental Impact Assessment Review, 104, 107335. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107335

فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی/ سال بیست‌ویکم/ شماره ۸۵/ تابستان ۱۴۰۴/ صفحات ۱۰۴-۶۹

عوامل مؤثر بر تقاضای نفت‌گاز در بخش حمل و نقل ریلی (مطالعه موردی: استان‌های تهران و خراسان رضوی)

فرشاد کرم[۱]

دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده اقتصاد و علوم سیاسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، (farshadkarm@gmail.com)

ویدا ورهرامی

دانشیار، دانشکده اقتصاد و علوم سیاسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، (V_varahrami@sbu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۳

چکیده

یکی از مصرف کنندگان عمده انرژی (فرآورده نفتی) در بین بخش‌های مصرف کننده انرژی در تمام جوامع، بخش حمل‌ونقل می‌باشد. بنابراین رشد و شکوفایی بخش حمل‌ونقل و به خصوص حمل‌ونقل عمومی با تأثیرگذاری بر روی هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم باعث ارتقای رفاه نسبی افراد جامعه خواهد شد. بنابراین هدف از انجام این پژوهش بررسی عوامل مؤثر بر تقاضای نفت‌گاز در بخش حمل‌ونقل ریلی(باری-مسافری)(مطالعه موردی: استان‌های تهران و خراسان رضوی) با استفاده از روش رگرسیون به ظاهر نامرتبط در بازه زمانی ۱۴۰۰-۱۳۷۵ می‌باشد. نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش گویای این نکته است که تولید ناخالص داخلی و ایجاد خطوط جدید در استان‌های مورد بررسی، بیشترین تأثیر را بر تقاضای نفت‌گاز خواهند گذاشت و قیمت حامل انرژی(نفت‌گاز)، کمترین تأثیر را در تقاضای سوخت در بخش جمل‌ونقل ریلی در استان‌های تهران و خراسان رضوی خواهد داشت. در مجموع پیشنهاد می‌شود که دولت با سیاست‌های تبعیض قیمتی و افزایش قیمت سوخت در استان خراسان رضوی و کاهش تعرفه‌های قیمتی در بخش حمل‌ونقل ریلی استان تهران، موجب افزایش تقاضای حمل‌ونقل ریلی در استان‌های مذکور، گردد.

طبقه‌بندی JEL: Q43، Q41، O18، R41

کلیدواژه: تقاضای نفت‌گاز ، حمل‌ونقل ریلی، استان‌های تهران و خراسان رضوی

---

۱. نویسنده مسئول

۱- مقدمه

در دنیای امروز حمل‌ونقل مقوله‌ای است که تمام افراد جامعه به‌نحوی با آن در ارتباط مستقیم هستند و در راستای رشد و توسعه شهرها، نیاز به خدمات و تسهیلات همگانی نیز افزایش یافته‌است. امروزه مشکلات مربوط به حمل‌ونقل از قبیل: تراکم، تصادفات، آلودگی‌های زیست‌محیطی و ... باعث شده تا تأمین حمل‌ونقل ایمن و مفید یکی از مهم‌ترین مسائل پیش روی کشور ایران باشد. حمل‌ونقل ریلی به عنوان عامل ارتباط میان مراکز عرضه و تقاضا و عنصر تداوم بخش و تأثیرگذار در جریان فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی، از دو جنبه توسعه ملی و قیمت نهایی کالا و خدمات دارای اهمیتی خاص می‌باشد و نقش اساسی و کلیدی در تقریبا تمامی فرآیندهای اقتصادی یک کشور دارد. بنابراین توجه دقیق و همه‌جانبه به هریک از عوامل زیرساختی حمل‌ونقل ریلی در تامین بازده اجتماعی - اقتصادی از الزامات اصلی به ثمر رساندن اهداف رشد و توسعه یک کشور به شمار می‌رود (خاکساری، ۱۳۹۵). اصلاح قیمت حامل‌های انرژی به این علت که اثر مهمی بر رفاه افراد و همچنین هزینه‌های تولید در کشورهای درحال‌توسعه دارد، افزایش قیمت آن می‌تواند بر سود بنگاه‌های اقتصادی تأثیرگذار باشد؛ از این‌رو تولیدکنندگان در کشورهای درحال‌توسعه به افزایش قیمت حامل‌های انرژی به علت تغییر در فنّاوری به‌صورت کاهش در تولید واکنش نشان می‌دهند(زورکی و همکاران، ۱۴۰۲). براساس آمارهای بین المللی، سرانه مصرف نهایی انرژی ایران در بخش‌های کشاورزی، خانگی، تجاری و عمومی، صنعت و حمل‌ونقل به ترتیب ۱/۲،۷/۱،۳/۴ و۱/۶برابر متوسط جهانی است. مقایسه سرانه مصرف نهایی انرژی ایران به تفکیک حامل‌های انرژی با مقیاس جهانی نشان می‌دهد که سرانه مصرف نهایی گازطبیعی ۶/۲ و نفت خام و فرآورده‌های نفتی ۱/۵ برابر متوسط مصرف سرانه جهانی می‌باشد. این امر از بهروری پایین در بهره‌برداری، مصرف بالای انرژی و همچنین استفاده از کالاها و خدمات انرژی‌بر ناشی می‌شود. بخش حمل‌ونقل یکی از مصرف کنندگان عمده انرژی در بین بخش‌های مصرف کننده انرژی با مصرفی حدود ۲۳ درصد می‌باشد و پس از بخش‌های خانگی و صنعت با مصارفی در حدود ۳۰ و ۲۸ درصد در رتبه سوم قرار دارد (ترازنامه انرژی سال ۱۴۰۰). این امر برای کشور ایران که به شدّت متّکی بر درآمدهای نفتی است بسیار اهمیت دارد.

گازوئیل (نفت‌گاز) عمده سوخت مورد استفاده در حمل‌ونقل ریلی است که به دلیل داشتن قابلیت مصرف در بخش‌های مختلف اقتصادی همچون حمل‌ونقل، کشاورزی، صنعت، اصناف، تولید برق و بخش خانگی، از اصلی‌ترین فرآورده‌های نفتی محسوب و به عنوان یک سوخت استراتژیک تلقی می‌شود. شرایط و وضعیت راه‌آهن یکی از شاخص‌های مهم رشد و توسعه محسوب می‌گردد و شناسایی نقش و سهم بخش حمل‌ونقل ریلی و بررسی عوامل موثر بر میزان استفاده از سوخت در این بخش برای کشور بسیار حائز اهمیت است. لذا استان‌های تهران و خراسان رضوی به دلیل حجم بالای ورودی و خروجی مسافر و کالا از اهمیت ویژه‌ای در کشور برخوردار هستند و بررسی عوامل مؤثر بر میزان مصرف سوخت در بخش ریلی این استان‌ها در راستای مدیریت هزینه‌های حمل‌ونقل ریلی بسیار مؤثر خواهد بود.

فروض تحقیق مشتمل بر این موارد است که، تقاضای نفت‌گاز نسبت به قیمت نفت‌گاز در بخش حمل‌ونقل ریلی در استان‌های خراسان رضوی و تهران بی‌کشش باشد. همچنین تولید ناخالص داخلی هر استان (GDP)[1] و ایجاد خطوط جدید راه‌آهن بر تقاضای نفت‌گاز در استان‌های خراسان رضوی و تهران اثر مثبت داشته باشند. هدف از انجام این تحقیق بررسی عوامل مؤثر بر تقاضای سوخت (نفت‌گاز) در بخش حمل‌ونقل ریلی (باری-مسافری) مطالعه موردی: استان‌های تهران و خراسان رضوی و مقایسه استان‌های ذکر شده از نظر مقدار ظرفیت مسافر و کالا به دلیل اهمیت ویژه و سهم بالای آن‌ها در حمل‌ونقل ریلی کشور و ارائه پیشنهاداتی به منظور توسعه‌ی حمل‌ونقل ریلی استان‌های ذکر شده به دلیل ورود و خروج زیاد مسافر و کالا در هر سال و اهمیت ویژه در جنبه‌های مختلف زیارتی، گردشگری، اقتصادی، سیاسی و فرهنگی و همچنین وجود مزایای بخش ریلی نسبت به سایر بخش‌ها از جمله مصرف سوخت کمتر و آلودگی کمتر زیست‌محیطی، در جهت بهبود بازدهی انرژی و توسعه اقتصادی می‌باشد.

بخش دوم این مقاله به بررسی مبانی نظری و ادبیات تحقیق پرداخته می‌شود. در بخش سوم به مروری بر آمار و داده‌ها و ترسیم نمودار متغیرها در استان‌های تهران و خراسان رضوی پرداخته می‌شود. در بخش چهارم در ابتدا با استفاده از آزمون دیکی فولر تعمیم یافته، پایایی متغیرها بررسی می‌شود و پس از آن برای ارتباط هم‌جمعی

1. Gross domestic product

متغیرها از آزمون هم‌جمعی جوهانسن استفاده می‌گردد. در مرحله بعد قبل از تخمین معادلات رگرسیون به روش (SURE)[1]، با استفاده از آزمون (LM)[2] وجود همبستگی همزمان بین جملات اخلال برای استان‌های تهران و خراسان رضوی آزمون می‌شود. در نهایت با استفاده از الگوی رگرسیون به‌ظاهر نامرتبط، روابط بین متغیرها برآورد شده و در بخش پایانی به ارائه توصیه‌های سیاستی برگرفته شده از مقاله می‌پردازیم.

۲- ادبیات موضوع و پیشینه تحقیق

حمل‌ونقل ریلی یکی از بخش‌های مهم و غیر قابل جایگزین در حمل‌ونقل هر کشور به شمار می‌آید و با وجود مزایای بسیار نسبت به سایر بخش‌ها، از طریق جابه‌جایی بار و مسافر و همچنین ارائه خدمات، نقش اساسی و کلیدی در اقتصاد کشورها ایفا می‌کند و باعث رشد و توسعه جوامع می‌شود. در کشور ایران، این بخش یکی از مصرف‌کنندگان عمده انرژی (فرآورده‌های نفتی) به‌شمار می‌رود و بنابراین میزان، نوع و قیمت سوخت مورد استفاده در این بخش می‌تواند تأثیر چشمگیری در روند رشد و توسعه اقتصاد کشور داشته باشد.

۲-۱- مبانی نظری

مطالعه‌ی روند تقاضای انرژی مفید ایجاب می‌کند، تأمین انرژی مفید لازم در بخش‌های اقتصادی و اجتماعی در انطباق با توسعه‌ی سطح زندگی و نیازهای فردی و اجتماعی مورد ارزیابی قرار گیرد. انرژی مفید، صورتی از انرژی است که عملا توسط مصرف‌کننده برای گرمایش، روشنایی و نیروی محرکه تقاضا می‌شود(یعنی انرژی که عملا برای انجام کار مورد نیاز است). مقدار انرژی مفید به‌دست‌آمده از مقداری انرژی مفروض انرژی نهایی، بستگی به کارایی دستگاه‌های مصرف‌کننده نهایی انرژی دارد (درخشان، ۱۳۸۱).

انجام چنین مطالعه‌ای مستلزم توجه به تحولات تقاضای انرژی است. بنابراین،کاربرد مدل تقاضای انرژی به عنوان ابزاری برای انعکاس روابط تابعی و علت و معلولی بین تقاضای انرژی و عوامل مؤثر بر آن، ضرورت می‌یابد.

مدل‌های اولیه‌ی تقاضای انرژی به صورت کلی زیر است:

1. Seemingly Unrelated Regression
2. LM Test

$$E_j = a \times P_i^{\alpha} \times P_j^{\theta} \times \text{ı}^{\gamma} \quad (۱)$$

که در آن:

E_j : تقاضا برای سوخت j

P_i : قیمت سوخت i

P_j : قیمت سوخت j

ı : درآمد یا تولید ناخالص داخلی

a : عرض از مبدا مدل و γ،α و θ کشش‌های کوتاه مدت مدل هستند.

در مدل‌های شبیه‌سازی، تقاضای انرژی به‌صورت بخشی مطالعه می‌شود و انرژی به صورت انرژی مفی‌د لازم مورد بررسی قرار می‌گیرد.

به‌طور کلی مدل‌های مورد بحث در تقاضای انرژی چهار گروه‌اند:

۱- مدل‌هایی که ارتباط مصرف و کل متغیرهای اقتصادی را آزمون می‌کنند.

۲- مدل‌هایی که تخصیص سوخت را با توجه به نوع سوخت مصرفی در اقتصاد یا در بخش ویژه بهینه می‌کنند.

۳- مدل‌های تقاضای انرژی بخشی که مصرف را در بخش یا زیر بخش ویژه اقتصادی بررسی میکنند.

۴- مدل‌های سیستم‌های انرژی که بررسی کلی از عرضه و تقاضا برای انواع منابع انرژی و مقایسه‌های بین‌المللی را ممکن می‌سازند (صمیمی، ۱۳۹۷).

در ادامه به معرفی مدل‌های مختلف حمل‌ونقل می‌پردازیم؛ این مدل‌ها عبارتند از:

مدل نوع اول

$$G = f_1 (P_G \text{ ، } y) \quad (۲)$$

$$LnG = \alpha_0 + \alpha_1 LnP_G + \alpha_2 Lny + u_{it} \quad (۳)$$

این مدل به مدل‌های ایستا یا استاتیک معروف می‌باشد. در این مدل، فرض می‌شود که تقاضا برای سوخت تابعی از قیمت سوخت و درآمد واقعی یا درآمد قابل تصرف واقعی کشور است. با توجه به این‌که در بعضی کشورها، قیمت سوخت، کنترل شده می‌باشد و اثرهای آن واقعی نیست و از طرفی، میزان مصرف به تعداد وسایل نقلیه

بستگی دارد و به کار بردن مدل اول تعدیل‌ها را طولانی‌تر از دوره‌ی مورد استفاده در تخمین نشان می‌دهد و زمانی که به صورت سری زمانی استفاده می‌شود، همه‌ی تعدیل‌ها را در نظر نمی‌گیرد. بنابراین، در صورت دسترسی به آمار و اطلاعات دیگر، به کار بردن چنین مدلی، به ویژه در کشورهایی که قیمت سوخت تحت کنترل دولت است، مناسب نیست.

مدل نوع دوم

نوع دوم به مدهای پویا معروف است و از این نشأت می‌گیرد که در طول زمان تطبیق انجام می‌شود و مصرف‌کنندگان، زمانی که درآمد یا قیمت تغییر می‌کند، در همان زمان واکنش نشان نمی‌دهند، بلکه یک سال بعد رفتار خود را با وضعیت جدید منطبق می‌کنند. مصرف سال بعد، ناشی از نرخ استفاده از وسایل می‌باشد که این نیز تابعی از متغیرهای اقتصادی، نظیر درآمد و قیمت است. در چنین مدل‌هایی، تعدیل با استفاده از مدل تعدیل کلاسیک تقاضا، صورت می‌گیرد. بنابراین، فرض می‌شود G* مقدار مطلوب و مورد دلخواه است و تابعی از قیمت و درآمد می‌باشد.

$$G^* = f(PG ،Yt) \qquad (۴)$$

$$G^* = \alpha P_G^{\alpha} Y_E^{\beta} \qquad (۵)$$

$$\frac{G_t}{G_{t_1}} = \left(\frac{G_t^*}{G_{t_1}}\right)^{\theta} \qquad \& \qquad 0 < \theta < 1 \qquad (۶)$$

$$LnG_t - LnG_{t-1} = \theta Ln\, G_t^* - \theta Ln\, G_{t-1} \qquad (۷)$$

$$LnG_t = \gamma_0 Ln\alpha + \gamma_1 LnP_t + \gamma_2 LnY + (1-\theta) Ln\, G_{t-1} \qquad (۸)$$

چون مقدار G* مورد دلخواه قابل دسترسی نیست، بنابراین با استفاده از فرایند تعدیل ساده، فرم نهایی تابع به‌دست می‌آید.

این مدل فرض می‌کند که نرخ استفاده از وسایل برای همه‌ی انواع وسایل خودروها یکسان است و به خصوصیات و مدل آن بستگی ندارد. از آن‌جا که عامل عمده‌ی مصرف سوخت در بخش حمل‌ونقل، ویژگی، نوع و تعداد خودروهاست و از نظر کشورها نیز

وضعیت متفاوتی نسبت به یکدیگر دارند، مدل فوق پاسخگوی کاملی برای تقاضا نخواهد بود. البته به دلیل سادگی و پویا بودن مدل، بیشتر مطالعات کاربرد فراوانی دارد. از سوی دیگر، به آسانی می‌توان کشش کوتاه‌مدت و بلندمدت قیمتی و درآمدی را محاسبه نمود.

در مدل فوق، کشش کوتاه‌مدت قیمت γ_1 و درآمد γ_2 است و کشش‌های بلندمدت از تقسیم کشش کوتاه‌مدت بر عکس ضریب تعدیل می‌باشد.

$$\text{کشش بلندمدت قیمتی} = \frac{\gamma_1}{1-\theta} \quad (۹)$$

$$\text{کشش بلندمدت درآمدی} = \frac{\gamma_2}{1-\theta} \quad (۱۰)$$

مدل نوع سوم

در این مدل فرض شده که تابع تقاضای سوخت از تقاضا برای حمل‌ونقل خودرو مشتق می‌شود. تقاضای سوخت تابعی از قیمت بنزین، درآمد و موجودی خودرو است. اما موجودی خودرو نیز تابعی از قیمت بنزین، درآمد، قیمت خودرو و موجودی وسایل نقلیه از دوره قبل است.

$$Gt = f(P_G ، Y، V) \quad (۱۱)$$

$$Vt = f(PG، Y، Pc، V_{t-1}) \quad (۱۲)$$

بنابراین، با دو رابطه فوق G_t و V_t به طور همزمان تخمین زده می‌شود و برای تخمین رابطه‌ی فوق از فرم لگاریتمی استفاده می‌گردد.

$$Gt = \alpha + bPGt + Cyt + dVt + \varepsilon_t \quad (۱۳)$$

$$Vt = f + gPG + hy_t + nPc + mV_{t-1} + \varepsilon_{2t} \quad (۱۴)$$

Pc : قیمت خودرو

V : موجودی خودرو

y_t : درآمد واقعی

PG : قیمت سوخت

G : مصرف سوخت

مدل نوع چهارم

بخش راه‌آهن با بخش جاده‌ای تفاوت عمده‌ای از لحاظ اطلاعات آماری دارد. در این بخش، آمارهای مسافر و بار به تفکیک وجود دارد، زیرا هنگام بارگیری و مسافرت باید بلیط تهیه شود. بنابراین، اطلاعات نسبت به بخش جاده‌ای دقیق‌تر است. در بخش جاده‌ای تعداد بار و مسافر را نمی‌توان محاسبه کرد؛ فقط در بخش برون شهری، به طور محدودی، آمار و اطلاعات وجود دارد.

برای دسترسی به اطلاعات دقیقتر، می‌توان مدل‌های دیگری را برای این بخش در نظر گرفت. از آنجا که تابع تقاضای سوخت در بخش حمل‌ونقل، تابعی از بار و مسافر است، بنابراین، ابتدا تقاضای بار و مسافر را به‌دست می‌آوریم. تقاضا برای بار، تن ـ کیلـومتر[1] (TK) و برای مسافر، مسافر ـ کیلومتر [2] (PK) و در نظر گرفته می‌شود.

$$TK = f(W_{TK}، W، X، Y_1) \quad (۱۵)$$

$$PK = f(W_{PK}، W، D، Y_2) \quad (۱۶)$$

با فرض این‌که شرکت‌های حمل‌ونقل، سود خود را حداکثر می‌کنند؛ تن کیلومتر تابعی از قیمت نهاده یا قیمت بار (W_{TK})، محصول شرکت‌ها $(Y_1،Y_2)$ و قیمت سایر نهاده‌ها W است. در این معادلات، نهاده‌های دیگر همان شبکه‌های حمل‌ونقل غیر از راه‌آهن است که شامل قیمت تن ـ کیلـومتر یا مسافر ـ کیلومتر در بخش زمینی خواهد بود و در معادلات فوق D و X نیز بردار مقادیر عوامل ثابت می‌باشند.

بنابراین تقاضا برای سوخت نیز تابعی از تن ـ کیلـومتر، مسافر ـ کیلومتر و W است که در اینجا قیمت سوخت و قیمت دیگر سوخت‌های جایگزین در نظر گرفته می‌شود (آخانی، ۱۳۷۸).

$$\text{تابع تقاضای سوخت} = G = f(PK، TK، W) \quad (۱۷)$$

در این مطالعه از مدل نوع چهارم استفاده شده است.

1. ton kilometers
2. person kilometers

۲-۲- تقاضای حمل‌ونقل

در هر جامعه به دلایل مختلف و گوناگون احساس نیاز و وابستگی به حمل‌ونقل احساس می‌شود؛ امّا از مهم ترین دلایلی که تقاضا برای حمل‌ونقل را در جوامع آشکار می‌سازد می‌توان به تولید و توزیع اشاره کرد. همانطور که در قسمت قبل اشاره شد، حمل‌ونقل مجموعه‌ای از خدمات است که انتقال و جابه‌جایی کالا و انسان از یک نقطه به نقطه دیگر را امکان پذیر می‌سازد. بنابراین برآورده کردن چنین تقاضایی در این حوزه، نیازمند شبکه‌ای کارا و قدرتمند و خطوط مدرن و مجهز خواهد بود. در نتیجه می‌توان گفت، تولید و توزیع ارتباط تنگاتنگی با کارایی این شبکه‌ها خواهند داشت و عرضه و تقاضا به یکدیگر وابسته‌اند.

۲-۳- حمل‌ونقل ریلی به عنوان یک تقاضای مشتق شده

یکی از مفاهیم اصلی در حمل‌ونقل و اقتصاد جغرافیایی، تقاضای مشتق شده در این بخش است که برای مسافران و صنعت حمل‌ونقل اهمیت یکسانی دارد. دلیل مشتق شدن تقاضا در حیطه حمل‌ونقل این است که انعکاس دهنده‌ی فعالیت‌های دیگر می‌باشد و تقاضا برای این بخش، از تقاضا برای خدمات حمل‌ونقل سرچشمه می‌گیرد و فعالیت‌های دیگر نیز برای انجام شدن به روش‌های مختلف به حمل‌ونقل نیازمند می‌باشند. به عنوان مثال اگر کالایی در یک محیط تولید شود و نیاز باشد که در مکان دیگری مصرف شود، این جابه‌جایی از طریق حمل‌ونقل بین دو مکان صورت می‌گیرد.

به دلیل عدم وجود روابط علی یک طرفه در بخش حمل‌ونقل ، مدل‌های تک معادله‌ای اعتبار لازم برای حل مسئله را ندارند و چون تقاضای انرژی در بخش حمل‌ونقل تابعی از تقاضا برای بار و مسافر است، برای تخمین تابع تقاضای سوخت برای مدل‌سازی انرژی در بخش حمل‌ونقل ، ابتدا بهتر است که تقاضای بار و مسافر تعریف شود و در نهایت از اجماع دو قسمت مذکور، تقاضای سوخت بدست آید.

عوامل تعیین کننده تقاضا در حمل‌ونقل، به دو بخش اصلی تقاضای حمل بار و مسافر تقسیم شده که در ادامه به بررسی هر یک از آن‌ها پرداخته می‌شود.

۲-۴- تقاضای حمل بار

وظیفه اصلی حمل‌ونقل از گذشته تا کنون، خدمت‌رسانی به سایر بخش‌ها از طریق شبکه کارا و قدرتمند بوده است. الگوی تقاضا در این بخش می‌تواند از حمل بار تا حمل مسافر تغییر کند. انتخاب حمل بار به عوامل متعددی از جمله مشخصات فیزیکی کالا، عوامل جغرافیایی و... بستگی دارد. به عنوان مثال کالایی که ارزش اقتصادی نسبتا پایین و حجم بالایی دارد بهتر است با حمل‌ونقل زمینی سنگین (کامیون و ریل) و کالاهای مهم و با ارزش مانند نفت و یا سوخت هسته‌ای که دارای حجم زیادی نیز هستند اگر به وسیله حمل‌ونقل زمینی و یا دریایی حمل شوند، نتیجه مطلوب‌تری را در پی خواهند داشت. از طرف دیگر عوامل جغرافیایی نیز در انتخاب نوع حمل بار نقش مهمی را ایفا می‌کند. به عنوان مثال کشورهایی که به دریا متصل هستند، می‌بایست با بهبود کارایی بنادر خود و گسترش و ارتقاء حمل‌ونقل دریایی خود، حداکثر مطلوبیت اقتصادی را کسب کنند. همچنین اگر وسعت یک کشور به میزان قابل توجهی باشد و بتواند طول جاده و خطوط راه‌آهن خود را گسترش و ارتقاء بخشد، از این طریق در حمل بار به مطلوبیت اقتصادی دست پیدا خواهد کرد. حمل‌ونقل ریلی یکی از روش‌های مرسوم جابه‌جایی بار در بین بخش‌های حمل‌ونقل بوده و از مهم‌ترین دلایلی که بسیاری از افراد این روش را نسبت به سایر روش‌های دریایی و هوایی ترجیح می‌دهند، می‌توان به امنیت قابل توجه محموله ها، ایمنی بالا و... اشاره نمود.

۲-۵- تقاضای حمل مسافر

یکی دیگر از عوامل مهم و تعیین‌کننده‌ی تقاضا، مسافران هستند که می‌توانند با انتخاب روش‌های متنوع حمل و نقل، مطلوبیت کسب کنند و از خدمات مختلف بهره‌مند شوند. عوامل متعددی بر میزان تقاضای افراد در این بخش تاثیر گذار هستند که از مهمترین آن‌ها می‌توان به سطح واقعی درآمد، خصوصیات سرویس دهندگی، قیمت، زمان سفر و ... اشاره کرد. مشابه قسمت قبل، حمل‌ونقل ریلی در این بخش نیز نقش اساسی و کلیدی ایفا می‌کند و دارای مزایای بسیاری نسبت به سایر بخش‌ها خواهد بود که عبارتند از: قابلیت اعتماد، ایمنی، سازماندهی بهتر.

۲-۶- اهمیت سوخت در بخش حمل‌ونقل ریلی

حمل‌ونقل ریلی پس از بخش جاده‌ای بالاترین سهم را در بین سایر بخش‌های حمل‌ونقل در اختیار دارد. به دلیل این که حمل‌ونقل ماهیت خدماتی دارد و وظیفه ایجاد ارتباط بین عرضه و تقاضا از طریق زیر ساخت‌های مناسب را خواهد داشت و از طرف دیگر سوخت نیز مهم‌ترین عامل به حرکت درآوردن و گردش این بخش است؛ بنابراین هر گونه اخلال در سوخت مصرفی مانند کمبود عرضه، افزایش ناگهانی قیمت و ... باعث اخلال در بخش حمل‌ونقل و در نتیجه کل اقتصاد خواهد شد. سوخت اصلی مورد استفاده در بخش حمل‌ونقل ریلی، نفت‌گاز می‌باشد. نفت‌گاز یا گازوئیل به عنوان سوخت موتورهای دیزلی و تأسیسات حرارتی بکار می‌رود و قیمت آن معمولاً به عواملی مانند نرخ نفت خام، تقاضا و عرضه محلی و جهانی، مالیات‌ها و سیاست‌های دولتی، هزینه حمل‌ونقل و وضعیت بازار نفت و اقتصاد هر کشور وابسته است.

۲-۷- خطوط راه‌آهن عامل کلیدی در حمل‌ونقل ریلی

بعد از حمل‌ونقل دریایی، استفاده از شبکه ریلی و خطوط راه‌آهن ملی و بین‌المللی بیشترین نقش را در جابه‌جایی انواع محموله‌های تجاری و شخصی دارد. ریل‌های استاندارد و ایمنی که شرق تا غرب و شمال تا جنوب سراسر دنیا را به یکدیگر متصل می‌کنند، به صورت مستقیم و غیرمستقیم باعث بهبود کیفیت زندگی افراد شده‌اند. این ریل‌ها و واگن‌های تجاری، هرساله هزاران تن محصولات کشاورزی و زراعی، انواع تجهیزات پزشکی و الکترونیکی، مواد معدنی سنگین و ماشین‌آلات و تجهیزات صنعتی را به دوردست‌ترین نقاط منتقل کرده و رفاه را به ارمغان می‌آورند. با بیان این نکات، می‌توان نتیجه گرفت هرچقدر دولت‌ها به امکانات و زیرساخت‌های مربوط به صنعت حمل‌ونقل ریلی بپردازند، به همان اندازه از کمبودها و ناتوانی‌ها فاصله می‌گیرند. از دلایل عمده‌ای که باعث به وجود آمدن ناکارایی فنّی در بخش حمل‌ونقل ریلی شده است؛ می‌توان به فرسودگی، محدود بودن سرویس حمل‌ونقل ریلی و استهلاک خطوط راه‌آهن کشور که باعث اتلاف وقت و انرژی می‌شود اشاره نمود. سرمایه به عنوان یک عامل مهم در تولید، نقش اساسی و تعیین کننده‌ای در فرآیند تولید تمامی بخش‌های اقتصادی دارد و با توجه به اهمیت گسترش شبکه حمل‌ونقل ریلی و نقش آن در

اقتصاد، سرمایه گذاری در این بخش نقش مهمّی در رشد و شکوفایی اقتصادی کشورها به ویژه کشورهای درحال‌توسعه دارد. همچنین افزایش کمّی و تحوّلات کیفی می‌تواند تأثیر بسزایی در رشد اقتصادی بخش حمل‌ونقل ریلی و در نتیجه تحوّلی عظیم دراقتصاد داشته باشد.

۲-۸- تولید ناخالص داخلی

ارتقاء سهم ارزش افزوده بخش حمل‌ونقل در تولید ناخالص ملی کشور با توجه به نقش مؤثر آن در بعد اقتصادی و اجتماعی، یکی از مهم‌ترین ضرورت‌های توسعه ملی به‌شمار می‌رود. امروزه استفاده از شبکه ریلی در بین حوزه‌های مختلف حمل‌ونقل، به دلیل مزایا و قابلیت‌های ویژه ازجمله حمل انبوه با قیمت مناسب، افزایش نظم و ایمنی، کاهش تصادفات، قابلیت افزایش سرعت مطمئن، کاهش مصرف سوخت و کاهش آلودگی زیست‌محیطی بسیار مورد توجه بوده است. در نهایت می‌توان گفت به دلیل این که افزایش تولید ناخالص داخلی نشانگر ارزش افزوده تولید شده توسط بخش‌های مختلف اقتصادی است؛ بنابراین با افزایش ارزش افزوده کل، تقاضا برای بخش حمل‌ونقل ریلی نیز به دلیل جابه‌جایی‌ها افزایش یافته و در نتیجه سبب افزایش ارزش افزوده این بخش می‌شود.

۲-۹- مطالعات داخلی

محرابیان (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای تحت عنوان « بررسی عوامل موثر بر جابجایی مسافر در شبکه حمل‌ونقل ریلی در ایران » به بررسی عوامل موثر بر جابجایی مسافر در ایران و پیش بینی تعداد مسافر جابه‌جا شده توسط حمل‌ونقل ریلی پرداخت. تعداد مسافر جابجا شده توسط حمل‌ونقل ریلی، تولید ناخالص داخلی، جمعیت، سرانه مالکیت اتومبیل، تعداد واگن‌های مسافربری، تعرفه جابجایی مسافر با اتوبوس و طول خطوط اصلی راه‌آهن، متغیرهای مورد استفاده در این تحقیق بودند. این مطالعه به صورت فصلی طی سالهای ۸۹-۱۳۷۷ برای سیستم حمل‌ونقل ریلی در ایران صورت گرفت و از روش خودرگرسیون برداری برای برآورد مدل مورد نظر استفاده شد. نتایج نشان داد که به ترتیب درآمد مسافرین، تعداد واگن مسافری، طول خطوط اصلی و جمعیت بیشترین

تاثیر را بر جابجایی مسافر داشته و سرانه مالکیت اتومبیل، قیمت بلیط قطار و قیمت بلیط اتوبوس نیز به ترتیب کمترین تاثیر را بر حجم جابجایی مسافر داشته اند.

شهسوارانی و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای تحت عنوان «تخمین تقاضای نفت‌گاز در زیر بخش حمل‌ونقل ریلی ایران: یک مدل دو مرحله‌ای» با روش حداقل مربعات دو مرحله‌ای (TSLS)[1] به تخمین تابع تقاضای نفت‌گاز در حمل‌ونقل ریلی با استفاده از اطلاعات آماری سال‌های۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰ پرداختند. نتایج نشان داد که سیاست قیمت‌گذاری برای مصرف سوخت (نفت‌گاز) در زیر بخش حمل‌ونقل ریلی کشور مؤثر نخواهد بود و همچنین سیاست سرمایه‌گذاری در بخش باری در حمل‌ونقل ریلی کشور جهت افزایش ستانده ریلی مؤثر است. همچنین کشش قیمتی تقاضای مسافر نسبت به قیمت و کشش مصرف سوخت نسبت به تن-کیلومتر و مسافر-کیلومتر در زیر بخش حمل‌ونقل ریلی کم است.

در مطالعه بازدار اردبیلی (۱۳۹۷) با موضوع « مدل‌سازی سرمایه‌گذاری در بخش حمل‌ونقل ریلی کشور» با استفاده از الگوی خود رگرسیون‌برداری به تخمین تأثیر سرمایه‌گذاری در بخش حمل‌ونقل ریلی بر رشد ارزش افزوده این بخش در طی سال‌های ۱۳۵۳ تا ۱۳۹۱ پرداخته شد. نتایج ناشی از این تخمین نشان داد که افزایش یک درصد در نسبت سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در بخش حمل‌ونقل ریلی بر تولید ناخالص داخلی آن بخش موجب بالا رفتن نرخ رشد ارزش افزوده به میزان ۰/۳۱۵ خواهد شد. همچنین شاخص افزایش مصرف انرژی در بخش حمل‌ونقل ریلی اثر مثبتی بر ارزش افزوده این بخش دارد.

نظری و رستمخانی (۱۴۰۱) در مطالعه‌ای تحت عنوان « تدوین و اولویت‌بندی استراتژی‌های قیمت‌گذاری حمل‌ونقل بار با استفاده از تکنیک SWOT[2] و QSPM[3] » به تدوین و اولویت‌بندی استراتژی‌های قیمت‌گذاری حمل و نقل پرداختند. نتایج نشان داد که امکان حمل بار در حجم انبوه و ایمنی در حمل، مهم ترین نقاط قوّت راه‌آهن بوده و در مقابل محدودیت ظرفیت شبکه ریلی برای پاسخ به تمام تقاضا و نیز سرعت بازرگانی پایین نسبت به جاده، از نقاط ضعف این مدل حمل و نقل

1. Two-Stage Least Squares
2. Strength Weakness Opportunities Threats
3. Quantitative Strategic Planning Matrix

است. همچنین پرداخت هزینه‌های نگهـداری و تعمیرات جاده‌ای توسط دولت که منجر به کاهش هزینه تمام شده حمل‌ونقل جاده‌ای می‌شود و اعطای وام نوسازی ناوگان به خودروهای شخصی و عمومی جاده‌ای نسبت به سایر تهدیدها، اولویت بیشتری دارند.

در مطالعه‌ی سنچولی و شهرکی (۱۴۰۳) تحت عنوان «بررسی رابطه بین زیرساخت حمل‌ونقل، منابع‌انرژی تجدیدپذیر و رشد اقتصادی» به بررسی روابط بین زیرساخت حمل و نقل، منابع انرژی تجدیدپذیر و رشد اقتصادی در ایران طی دوره ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰ با استفاده از روش خود توضیح برداری با وقفه‌های توزیعی و علیت گرنجری کوتاه‌مدت و بلندمدت با استفاده از مدل تصحیح خطا پرداخته است. نتایج این مطالعه نشان داد که انرژی‌های تجدیدپذیر، مصرف فرآورده‌های نفتی را در بلندمدت برای کشور ایران به میزان ۰/۴۸ تعدیل می‌کند. علاوه بر این، حمل‌ونقل، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و ارزش افزوده صنعت، مصرف فرآورده‌های نفتی را در کشور ایران به ترتیب به میزان۰/۰،۱۴/۶۶ و ۰/۳۳ درصد افزایش می‌دهند.

۲-۱۰- مطالعات خارجی

ویجیورا و چارلز[1] (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای تحت عنوان « تجزیه و تحلیل تجربی عوامل تعیین‌کننده تقاضای راه‌آهن مسافری در ملبورن، استرالیا » با استفاده از روش‌های سری زمانی مدرن به رشد تقاضای ریلی مسافر در ملبورن، استرالیا پرداختند. در این پژوهش از رویکرد هم‌انباشتگی برای کشش‌های بلند مدت و از مدل تصحیح برای کشش‌های کوتاه مدت استفاده شد. نتایج نشان داد که واکنش مسافران به افزایش کرایه تقریبا وجود ندارد. ماهیت بی‌کشش بودن تقاضا نشان داد که افزایش کرایه منجر به کاهش قابل توجهی در تقاضای سفر نخواهد شد و باعث افزایش درآمد کل می‌گردد. همچنین جمعیت شهر، قیمت بنزین و درآمد مسافر تأثیر مثبتی بر تقاضای راه‌آهن مسافری دارد.

شافی[2] و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای تحت عنوان « تحلیل تجربی تقاضای راه‌آهن مسافری در پاکستان » به بررسی عوامل تعیین‌کننده اصلی تقاضای ریل مسافری در دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲ همراه با پیش‌بینی عملکرد در مورد پاکستان

1. Albert Wijeweera and Michael Charles
2. Mariuam Shafi

پرداختند. برای بررسی رابطه کوتاه‌مدت و بلندمدت بین تقاضای راه‌آهن مسافری و عوامل تعیین‌کننده آن، از مدل خود رگرسیون‌برداری با وقفه توزیعی (ARDL)[1] استفاده شده است. همچنین برای مقایسه پیش‌بینی عملکرد، میانگین متحرک یکپارچه خودرگرسیون تک متغیره (ARIMA)[2] و مدل پیش‌بینی شده خود رگرسیون‌برداری با وقفه توزیعی چند متغیره برآورد گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که تولید ناخالص داخلی سرانه و جمعیت نقش اساسی در افزایش تقاضای ریلی-مسافری دارند، اما کرایه و قیمت گازوئیل با تقاضای ریلی-مسافری رابطه منفی دارند.

آلبایراک[3] (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای تحت عنوان «برآورد تقاضای حمل‌ونقل ریلی ترکیه با استفاده از تحلیل سری زمانی» با استفاده از داده‌های سری زمانی سالانه بین سال‌های ۲۰۱۸- ۱۹۷۸ به بررسی تقاضای حمل‌ونقل ریلی در ترکیه پرداخت. انعطاف‌پذیری کوتاه‌مدت و بلندمدت برآورد با تحلیل هم‌انباشتگی جوهانسن و مدل تصحیح خطا برآورد شد. نتایج نشان داد که مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده تقاضای حمل‌ونقل ریلی، نرخ بار است. با توجه به نرخ بار تقاضای حمل‌ونقل ریلی، کشش‌های بلندمدت و کوتاه‌مدت تقریباً برابر با ۰/۱۸۱- و ۰/۱۸۴- است. کشش حجم تجارت بلندمدت تقاضا برای حمل‌ونقل ریلی معنی دار و مثبت است، به این معنی که با افزایش حجم تجارت، تقاضا برای ریل افزایش می‌یابد. با این حال، کشش‌های بلندمدت ارزش افزوده ناخالص و قیمت سوخت تقاضا برای بار راه‌آهن، معنی دار و منفی است. به عبارت دیگر، این متغیرها تقاضا برای حمل‌ونقل ریلی را کاهش خواهند داد. بر اساس مدل تصحیح خطا، ۵۵ درصد از آخرین انحراف در تقاضای حمل‌ونقل ریلی ظرف یک سال اصلاح شده و رابطه تعادل بلندمدت قابل بازیابی است.

عمران خان[4] و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای تحت عنوان «تفکیک کشش‌های تقاضای خدمات ریلی و عوامل مؤثر بر آن در پاکستان.» با استفاده از مدل‌های ARDL[5] و VAR[6] به تخمین کشش‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت تقاضای حمل‌ونقل

1. Autoregressive Distributed Lag
2. Autoregressive Integrated Moving Average
3. Özlem Karadag Albayrak
4. Muhammad Imran Khan
5. Autoregressive Distributed Lag
6. Vector Autoregression

ریلی در پاکستان پرداختند. نتایج نشان داد که بین افزایش درآمد و تقاضای خدمات ریلی برای مسافران رابطه مثبت وجود دارد و کشش‌های جایگزین برای خدمات ریلی مثبت است که نشان می‌دهد خطوط ریلی و اتوبوس‌ها جایگزین یکدیگرند. همچنین قیمت کرایه ارتباط منفی با تقاضای ریل دارد و در نهایت تقاضای افراد کم درآمد نسبت به قیمت سوخت و نوسانات درآمد حساس‌تر است.

مائو[1] و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای تحت عنوان« تحلیل اثرات تقاضای مسافر بر سودآوری انواع مختلف ترانزیت ریلی شهری» با استفاده از یک استراتژی و بر اساس داده‌های منطقه‌ی (SD)[2] در چین، سودآوری مترو، حمل و نقل ریلی سبک، مونوریل و تراموا را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان دهنده سودآوری در سطوح مختلف تقاضا بود. تراموا بهترین انتخاب در سطوح تقاضای کم بود و حمل و نقل ریلی سبک و مونوریل در سطوح تقاضای متوسط، رقابتی در نظر گرفته شدند. همچنین در سطوح تقاضای بالا، حمل و نقل ریلی سبک با ظرفیت متوسط به بالا و هزینه کم جایگزین خوبی برای مترو در نظر گرفته شد. همچنین استفاده از (URT)[3] با ظرفیت بالا تحت تقاضای ناکافی می‌تواند بار استهلاک را تشدید کند و دستیابی به سود را دشوار نماید.

یاگیس[4] (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای تحت عنوان «تحلیل اثرات تقاضای مسافر بر سودآوری انواع مختلف ترانزیت ریلی شهری» به تجزیه و تحلیل اثرات حمل و نقل بار ریلی بر رشد اقتصادی ترکیه با استفاده از مدل خود رگرسیون‌برداری با وقفه توزیعی (ARDL)[5] برای دوره ۲۰۲۱-۱۹۶۰ پرداخت. نتایج مطالعه نشان داد که حمل و نقل ریلی بار بر رشد اقتصادی در بلندمدت و کوتاه مدت تأثیر مثبت داشته و در بلندمدت، افزایش ۱ درصدی حمل و نقل ریلی بار منجر به افزایش ۱,۹۵ درصدی رشد اقتصادی می‌گردد.

در زمینه بررسی عوامل مؤثر بر تقاضای نفت‌گاز در بخش حمل‌ونقل ریلی چه در ایران و چه در خارج، مطالعات زیادی صورت گرفته است؛ اما با توجه به مطالعه موردی این پژوهش که صرفا به بررسی استان‌های تهران و خراسان رضوی و مقایسه استان‌های

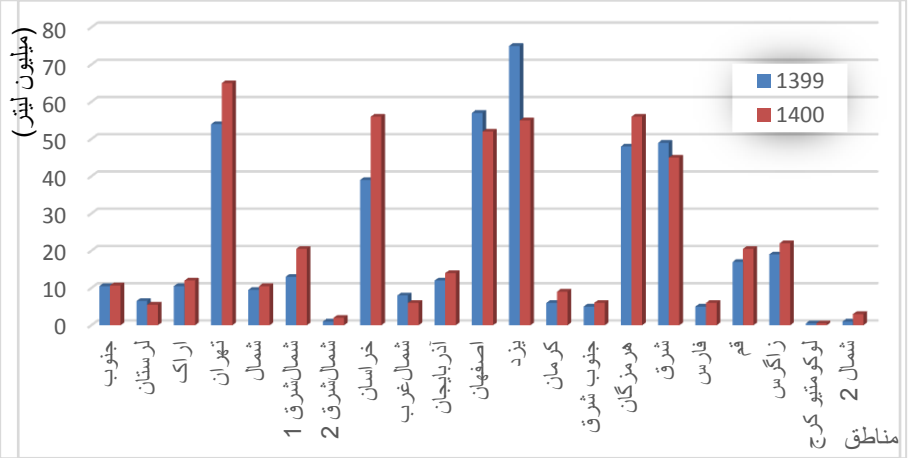
1. Baohua MAO
2. Shunde
3. Urban Rail Transit
4. Onur Yağış
5. Autoregressive Distributed Lag

ذکر شده از نظر مقدار ظرفیت مسافر و کالا به دلیل اهمیت ویژه و سهم بالای آن‌ها در حمل‌ونقل ریلی کشور و ارائه پیشنهاداتی به منظور توسعه‌ی حمل‌ونقل ریلی استان‌های ذکر شده به دلیل ورود و خروج زیاد مسافر و کالا در هر سال و اهمیت ویژه در جنبه‌های مختلف زیارتی، گردشگری، اقتصادی، سیاسی و فرهنگی می‌پردازد؛ لذا این پژوهش را می‌توان از این منظر دارای نوآوری دانست.

۳- مروری بر آمار و داده‌ها

۳-۱- مصرف نفت‌گاز در استان‌های تهران و خراسان رضوی

بر اساس آمار میزان مصرف نفت‌گاز در سال ۱۳۹۰ برای استان تهران ۳۶۸۱۲۹۲ (هزار لیتر) و برای استان خراسان رضوی به میزان ۲۰۰۱۷۳۷ (هزار لیتر) به‌دست آمده است؛ که به ترتیب ۵۳۲۲۰ و ۵۱۷۷۱ (هزار لیتر)، در بخش راه‌آهن استان‌های مذکور مصرف شده است. میزان مصرف این حامل انرژی برای استان تهران در سال ۱۳۹۹ به میزان ۲۵۳۶۰۰۰ (هزار لیتر) کاهش یافته است؛ اما مصرف این حامل در استان خراسان رضوی در این سال افزایش یافته و به میزان ۲۸۵۵۵۰۰ (هزار لیتر) رسیده است و همچنین میزان مصرف این حامل در بخش راه‌آهن در سال مذکور برای استان تهران تغییر چندانی نداشته و به مقدار ۵۳۶۶۹ رسیده و برای استان خراسان رضوی به ۳۸۵۷۰ (هزار لیتر) کاهش یافته است. در نهایت مصرف این فرآورده در سال ۱۴۰۰ برای استان‌های تهران و خراسان رضوی به‌ترتیب به ۲۳۴۷۷۰۰ و ۳۰۰۲۱۰۰ (هزار لیتر) رسیده است . نهایتا مصرف سوخت نفت‌گاز با افزایش چشمگیر به میزان ۶۴۳۶۳ و ۵۵۵۱۴ (هزار لیتر) برای استان‌های تهران و خراسان رضوی در سال ۱۴۰۰ رسیده است (سالنامه آماری حمل‌ونقل ریلی کشور).

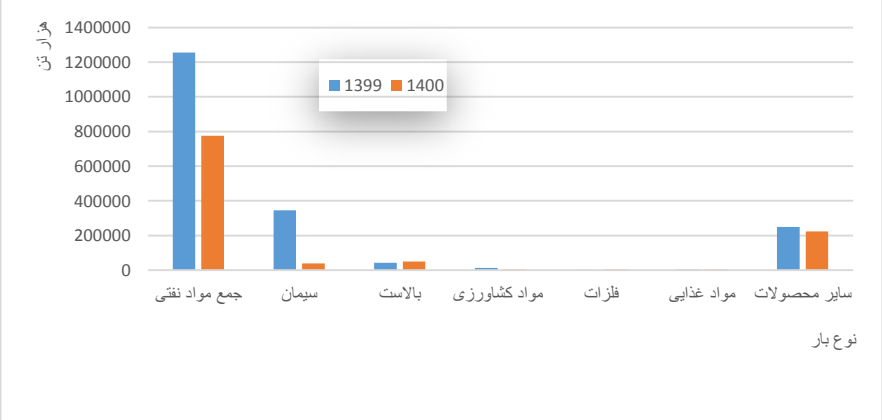


نمودار۱. مصرف گازوئیل لکوموتیوها به تفکیک مناطق در سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۹

مأخذ: سالنامه آماری حمل‌ونقل ریلی کشور سال ۱۴۰۰

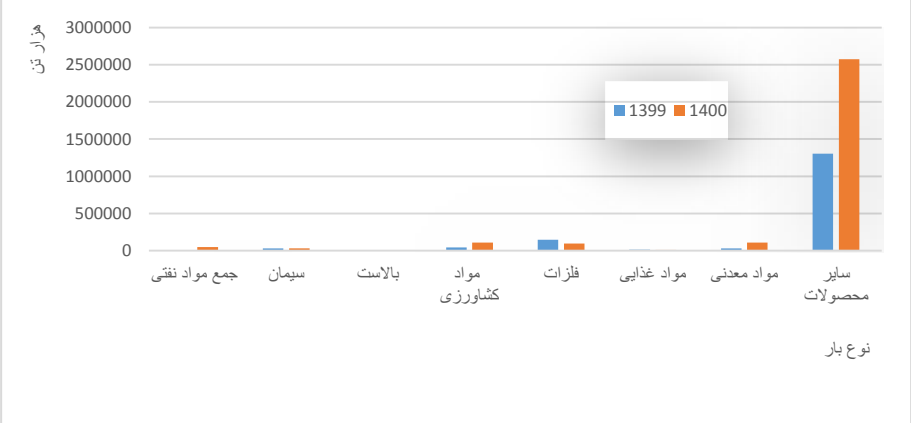
۳-۲- تن‌کیلومتر بار در استان‌های تهران و خراسان رضوی

بر اساس آمار میزان تن -کیلوتر بار بارگیری شده در استان تهران از ۱۹۰۸۳۲۲ (هزار تن) در سال ۱۳۹۹ به میزان ۱۰۹۸۷۰۱ (هزار تن) در سال ۱۴۰۰ کاهش یافته و بیشترین سهم بار در سال ۱۳۹۹ متعلق به مواد نفتی بوده است و سیمان و سایر محصولات شامل گوگرد، چوب، وسایل نقلیه و ... در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. میزان بار در سال ۱۴۰۰ نیز برای این استان مطابق سال قبل بوده با این تفاوت که مقدار بار سایر محصولات به میزان کمتری از سیمان کاهش پیدا کرده است. همچنین این میزان بار حمل شده برای استان خراسان رضوی از ۱۵۸۱۲۱۱ (هزار تن) در سال ۱۳۹۹ به ۲۹۷۴۵۷۴ (هزار تن) در سال ۱۴۰۰ افزایش پیدا کرده است که سایر محصولات(گوگرد، چوب، وسایل نقلیه و ...) در هر دو سال بیشترین میزان بار را در این استان به خود اختصاص داده‌اند و فلزات، مواد کشاورزی و مواد معدنی در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند (سالنامه آماری حمل‌ونقل ریلی کشور).



نمودار۲. تن کیلومتر بار بارگیری شده در استان تهران در سالهای ۱۴۰۰-۱۳۹۹

مأخذ: سالنامه آماری حمل‌ونقل ریلی کشور سال ۱۴۰۰



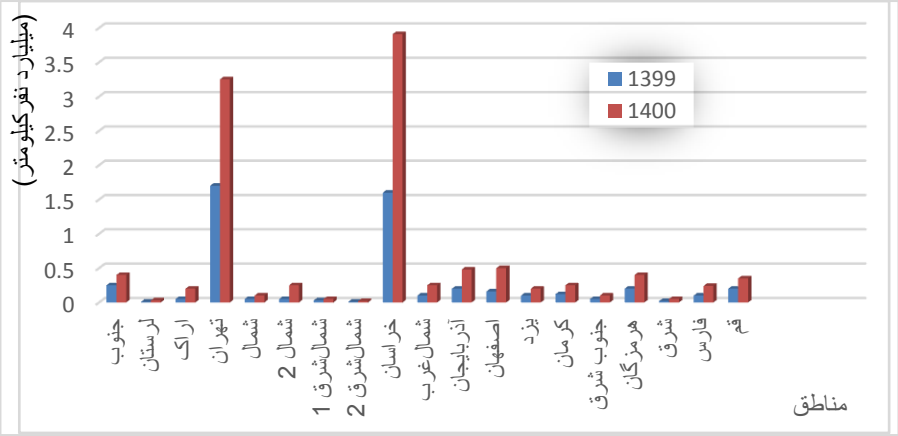
نمودار۳. تن کیلومتر بار بارگیری شده در استان خراسان رضوی در سالهای ۱۴۰۰-۱۳۹۹

مأخذ: سالنامه آماری حمل‌ونقل ریلی کشور سال ۱۴۰۰

۳-۳- مسافر کیلومتر جابجا شده در استان‌های تهران و خراسان رضوی

بر اساس آمار مقدار مسافر کیلومتر جابجا شده برای استان تهران از ۶۰۵۸۴۶۵ (هزار نفر) در سال ۱۳۸۹ به ۶۱۶۰۳۱۷ (هزار نفر) در سال ۱۳۹۰ رسیده است و پس از آن به ۱۶۶۵۷۳۶ (هزار نفر) در سال ۱۳۹۹ کاهش چشمگیری را تجربه کرده است و سرانجام در سال ۱۴۰۰ به میزان ۳۲۵۶۲۸۷ (هزار نفر) افزایش پیدا کرده است. این مقادیر برای استان خراسان رضوی نیز تقریبا مشابه تهران بوده و از ۵۳۲۹۲۲۳ (هزار

نفر) در سال ۱۳۸۹ به ۵۴۳۰۹۴۲ (هزار نفر) در سال ۱۳۹۰ رسیده است. این مقادیر در سال ۱۳۹۹ به ۱۶۲۳۸۲۵ (هزار نفر) کاهش پیدا کرده و نهایتا در سال ۱۴۰۰ به ۳۸۷۶۹۰۹ (هزار نفر) رسیده است (سالنامه آماری حمل‌ونقل ریلی کشور).



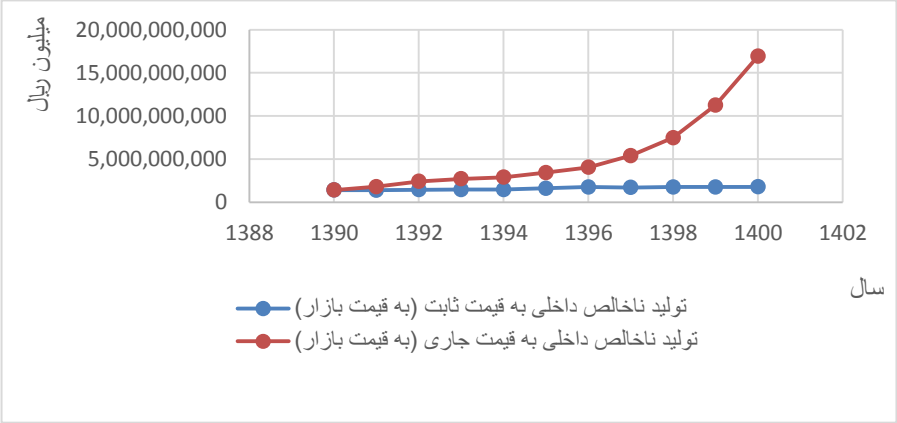
نمودار۴. نفرکیلومترمسافر مناطق درسالهای ۱۴۰۰-۱۳۹۹

مأخذ: سالنامه آماری حمل‌ونقل ریلی کشور سال ۱۴۰۰

۳-۴- تولید ناخالص داخلی در استان‌های تهران و خراسان رضوی

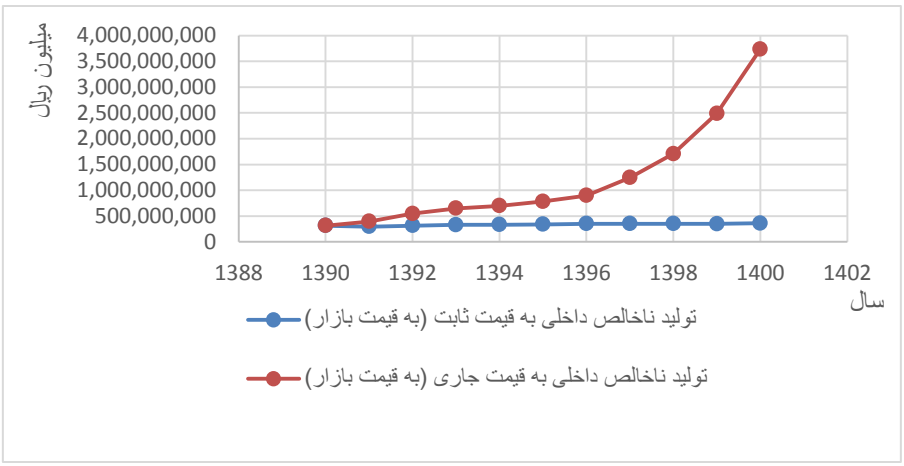
بر اساس آمار استان‌های تهران و خراسان رضوی در سال ۱۳۹۰، پر جمعیت استان‌های کشور بوده‌اند و به ترتیب ۱۶/۲ و ۸ درصد از جمعیت کشور را شامل می‌شدند و این آمار در سال ۱۴۰۰ به ۱۶/۶ درصد برای تهران و ۸/۲ درصد برای خراسان رضوی افزایش یافته است. همچنین استان تهران از نظر سهم تولید ناخالص داخلی در سال ۱۳۹۰ پس از استان خوزستان با ۲۰/۵ درصد در رتبه دوم قرار داشته است؛ اما به دلیل کاهش درآمدهای نفتی طی سال‌های گذشته در سال ۱۴۰۰، با سهم ۲۲/۲ درصد در رتبه نخست قرار گرفته است. طی سال‌های مذکور استان خراسان رضوی نیز به ترتیب با ۴/۶ و ۴/۷ درصد از سهم تولید ناخالص داخلی در رتبه پنجم قرار گرفته است. همچنین تولید ناخالص داخلی استان‌های تهران و خراسان رضوی از ۱۰۴۷۲۴۰ و ۳۱۴۲۳۲ (میلیارد ریال) در سال ۱۳۹۰ به ۱۷۸۲۳۸۸ و ۳۵۸۴۲۵ (میلیارد ریال) در سال ۱۴۰۰ رسیده است. دو استان مذکور در سهم ارزش افزوده بخش حمل‌ونقل نیز از جایگاه ویژه‌ای برخوردار هستند؛ به طوری که استان تهران با سهم ۳۲/۸ و ۲۹/۵ درصد

در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰ در رتبه اول قرار گرفته است و استان خراسان رضوی نیز با سهم ۶/۲ درصد در هر دو سال در رتبه پنجم قرار گرفته است (مرکز آمار ایران).



نمودار۵. تولید ناخالص داخلی به قیمت‌های ثابت و جاری استان تهران

مأخذ: مرکز آمار ایران



نمودار۶. تولید ناخالص داخلی به قیمت‌های ثابت و جاری استان خراسان رضوی

مأخذ: مرکز آمار ایران

۴- برآورد مدل

۴-۱- معرفی متغیرها

همانطور که در بخش دوم بیان شد؛ فرم عمومی معادلات استفاده شده به صورت زیر است:

$$LnTK_t = f1(LnPTK_t، LnRR_t، LnGDP_t، U_t) \quad (۱۸)$$

$$LnPK_t = f2(LnPPK_t، LnRR_t، LnGDP_t، U_t) \quad (۱۹)$$

$$LnGD_t = F(LnTK_t، LnPK_t، LnGP_t، \sum_t) \quad (۲۰)$$

که در آن‌ها متغیرهای مورد استفاده عبارتند از:

LTK: لگاریتم تن-کیلومتر بار حمل شده در زمان t

LPTK: لگاریتم قیمت هر تن-کیلومتر

LPK: لگاریتم تعداد مسافر-کیلومتر جابجا شده در زمان t

LPPK: لگاریتم قیمت مسافر-کیلومتر

LRR: لگاریتم تغییرات طول خطوط راه‌آهن

LGDP: لگاریتم تولید ناخالص داخلی

LGP: لگاریتم قیمت نفت‌گاز

LGD: لگاریتم تقاضای نفت‌گاز

DUM(1): هدفمندی یارانه‌ها

DUM(2): شیوع بیماری کرونا

لازم به‌ذکر است که متغیرهای موجود در این تحقیق (اسمی) در نظر گرفته شده‌اند.

در نهایت مدل مورد استفاده در این پژوهش به صورت زیر خواهد بود:

$$LnTK_t = a_1 + a_2\, LnPTK_t + a_3\, LnRR_t + a_4\, LnGDP_t + U_t \quad (۲۱)$$

$$LnPK_t = b_1 + b_2\, LnPPK_t + b_3\, LnRR_t + b_4\, LnGDP_t + U_t \quad (۲۲)$$

$$LnGD_t = c_1 + c_2\, LnTK_t + c_3\, LnPK_t + c4\, LnGP_t + \sum_t \quad (۲۳)$$

لازم به‌ذکر است که به‌دلیل بهبود تفسیر متغیرها و هموار شدن متغیرها به‌منظور بهبود عملکرد آزمون ریشه واحد در بحث پایایی و همچنین کاهش داده‌های پرت، در این پژوهش از لگاریتم داده‌ها استفاده گردیده است. همچنین برای تخمین مدل در این پژوهش، از مدل نوع چهارم که در قسمت مبانی نظری ذکر گردیده، استفاده شده است.

در این بخش الگوی اقتصاد سنجی تقاضای نفت‌گاز در بخش حمل‌ونقل ریلی، با استفاده از مبانی نظری و تجربی ارائه شده در بخش دوم، طی بازه زمانی ۱۴۰۰-۱۳۷۵ تصریح می‌گردد؛ داده‌های مورد استفاده در این پژوهش عمدتا از منابعی همچون مرکز آمار ایران، ترازنامه انرژی، سالنامه آماری حمل‌ونقل ریلی و سازمان حمل‌ونقل جمهوری اسلامی ایران جمع آوری شده است و برای تجزیه و تحلیل آماری و روش‌های اقتصاد سنجی از نرم‌افزار EVIEWS12 استفاده شده است. به‌دلیل این‌که تقاضای انرژی در بخش حمل‌ونقل تابعی از تقاضا برای بار و مسافر است برای تخمین تابع تقاضای سوخت برای مدل‌سازی انرژی در بخش حمل‌ونقل از روش معادلات هم‌زمان استفاده می‌شود. در این روش تقاضای انرژی در بخش حمل‌ونقل ریلی در دو بخش استخراج می‌شود. در ابتدا، تقاضای مسافر-کیلومتر و تن-کیلومتر برای استان‌های تهران و خراسان رضوی برآورد شده و در نهایت با توجه به اشتقاقی بودن تقاضا، از قسمت اول برای مدل‌سازی تقاضای انرژی در دو بخش تن-کیلومتر و مسافر-کیلومتر برای استان‌های مورد نظر استفاده می‌شود. در ادامه برای بررسی نحوه اثرگذاری متغیرها بر روی تقاضای انرژی در بخش حمل‌ونقل ریلی، ابتدا پایایی متغیرها را با استفاده از آزمون دیکی فولر تعمیم یافته (ADF)[1] بررسی کرده و و پس از آن برای ارتباط هم‌جمعی متغیرها از آزمون هم‌جمعی جوهانسن (JCT)[2] استفاده می‌گردد. در مرحله بعد به تخمین و پس از آن تفسیر مدل پرداخته شده و در نهایت نتایج به‌دست‌آمده برای استان‌های تهران و خراسان رضوی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۳- پایایی[3] متغیرها

یکی از فروض اصلی در برآورد سری‌های زمانی، پایایی متغیرهاست. در سری پایا میانگین و واریانس متغیرها در طول زمان و کوواریانس متغیرها بین سال‌های مختلف،

1. Augmented Dickey-Fuller
2. Johansen Cointegration Test
3. Stationary

ثابت در نظر گرفته می‌شود (نوفرستی، ریشه واحد و همجمعی در اقتصاد سنجی، صفحه ۹، ۱۳۹۱). اولین قدم در راستای تعیین پایایی یک متغیر، مشاهده‌ی نمودار سری زمانی آن متغیر است. تشخیص وجود روند تصادفی در یک سری زمانی به سادگی از طریق آزمون ریشه واحد امکان‌پذیر است و اساس این آزمون بر این فرض استوار است که در زمان $\rho=1$ ، فرآیند خودتوضیح مرتبه اول $yt= \rho yt-1+ut$ ناپایا است؛ بنابراین در روش حداقل مربعات معمولی (OLS)[1] می‌توان ضریب ρ معادله فوق را برآورد و برابر با یک بودن آن را مورد آزمون قرار داد و در نهایت پایایی و ناپایایی یک فرآیند سری زمانی را به اثبات رساند. مسئله‌ای که در انجام این آزمون وجود دارد این است که آماره t ارائه شده توسط روش فوق تحت صحت فرض $\rho=1$ دارای توزیع t نرمال حتی در نمونه‌های بزرگ نیست و در نتیجه نمی‌توان از کمیت‌های بحرانی t برای انجام آزمون استفاده کرد. برای رفع این مشکل می‌توان از آزمون دیکی فولر که یکی از پرکاربردترین آزمون‌ها برای بررسی پایایی است؛ استفاده کرد. نتایج مربوط به پایایی متغیرهای معادله تقاضای نفت‌گاز با استفاده از آزمون دیکی فولر تعمیم یافته برای استان‌های تهران و خراسان رضوی در جداول زیر ذکر شده‌اند:

جدول۱. نتایج آزمون ریشه واحد

نام متغیر	آزمون دیکی _ فولر تعمیم یافته(استان تهران)			
	مقدار آماره t	مقدار بحرانی	Prob	نتایج
LGD	۵,۹۰۷-	۲,۹۹۱-	۰,۰۰۰	پایا(1)I-
LGDP	۳,۰۰۱-	۲,۹۹۱-	۰,۰۴۹	پایا(1)I-
LGP	۳,۷۷۳-	۲,۹۹۱-	۰,۰۰۹	پایا(1)I-
LPK	۷,۴۷۸-	۶۱۲.۳-	۰,۰۰۰	پایا(1)I-
LPPK	۶,۰۲۷-	۲,۹۹۱-	۰,۰۰۰	پایا(1)I-
LTK	۵,۶۶۸-	۲,۹۹۱-	۰,۰۰۰	پایا(1)I-
LPTK	۵,۵۵۷-	۲,۹۹۱-	۰,۰۰۰	پایا(1)I-
LRR	۳,۷۱۷-	۲,۹۹۱-	۰,۰۱۰	پایا(1)I-

مأخذ: محاسبات تحقیق

1. Ordinary Least Squares

جدول۲. نتایج آزمون ریشه واحد

نام متغیر	آزمون دیکی _ فولر تعمیم یافته(استان خراسان رضوی)			
	مقدار آماره t	مقدار بحرانی	Prob	نتایج
LGD	۵,۶۱۱-	۲,۹۹۱-	۰,۰۰۰	پایا(1)I-
LGDP	۳,۱۴۲-	۱,۹۵۶-	۰,۰۰۳	پایا I(1)-
LGP	۳,۷۷۳-	۲,۹۹۱-	۰,۰۰۹	پایا(1)I-
LPK	۷,۷۲۳-	۳,۶۱۲-	۰,۰۰۰	پایا(1)I-
LPPK	۶,۵۶۳-	۲,۹۹۱-	۰,۰۰۰	پایا(1)I-
LTK	۵,۰۰۰-	۲,۹۹۱-	۰,۰۰۰	پایا(1)I-
LPTK	۳,۹۷۵-	۲,۹۹۸-	۰,۰۰۶	پایا(1)I-
LRR	۷,۶۲۳-	۴,۴۹۸-	۰,۰۰۰	پایا(1)I-

مأخذ: محاسبات تحقیق

نتایج آزمون دیکی فولر تعمیم یافته برای استان‌های تهران و خراسان رضوی نشان می‌دهد که تمامی متغیرهای تحقیق در هر دو استان، در سطح ناپایا بوده و با یکبار تفاضل‌گیری پایا شده‌اند و مقدار بحرانی این متغیرها در سطح ۵ درصد مورد بررسی قرار گرفته است. بنابراین فرضیه مربوط به ناپایایی این متغیرها رد شده و متغیرهای ذکر شده، پایا در نظر گرفته می‌شوند. نتیجه مذکور بیان می‌کند که این متغیرها، تحت تأثیر شکست ساختاری قرار نداشته و پس از هر تغییر به سمت روند خطی گرایش دارند.

۴-۳- هم‌جمعی[1]

هنگامی که متغیرهای مورد استفاده در رگرسیون از نوع سری زمانی بوده و به عبارت دیگر ایستا نباشند؛ پدیده‌ای به نام رگرسیون کاذب به وجود می‌آید ولی اگر تمام متغیرهای به کار رفته در مدل رگرسیونی در مجموع ایستا شوند، یعنی باقیمانده‌های حاصل از مدل ایستا باشند آن‌گاه پدیده‌ی هم‌انباشتگی یا هم‌جمعی به وجود می‌آید. از این رو هم‌انباشتگی به مرور کاربرد خود را در سری‌های زمانی پیدا کرده و به هر سری زمانی که ایستا باشد هم انباشته گفته می‌شود و اگر سری زمانی پس از d مرتبه تفاضل

1. Cointegration

گیری، ایستا یا هم‌انباشته شود، به آن هم‌انباشته از مرتبه d گفته شده و با (Id) نشان داده می‌شود. نتایج حاصل از آزمون هم‌جمعی متغیرها به روش جوهانسن به صورت زیر می‌باشد:

جدول ۳. نتایج آزمون هم‌جمعی جوهانسن

معادله	آزمون هم‌جمعی جوهانسن در سطح ۵ درصد(استان تهران)				
	مقدار آماره t	مقدار بحرانی	مقدار ویژه	Prob	نتایج
LTK	۵۳,۱۲۶	۴۷,۸۵۶	۰,۶۷۶	۰,۰۱۴	هم‌جمع
LPK	۶۴,۰۴۳	۴۷,۸۵۶	۰,۷۷۳	۰,۰۰۰	هم‌جمع
LGD	۵۳,۰۸۶	۴۷,۸۵۶	۰,۶۹۲	۰,۰۱۴	هم‌جمع

مأخذ: محاسبات تحقیق

جدول ۴. نتایج آزمون هم‌جمعی جوهانسن

معادله	آزمون هم‌جمعی جوهانسن در سطح ۵ درصد(استان خراسان رضوی)				
	مقدار آماره t	مقدار بحرانی	مقدار ویژه	Prob	نتایج
LTK	۶۸,۵۰۲	۴۷,۸۵۶	۰,۸۷۵	۰,۰۰۰	هم‌جمع
LPK	۸۲,۱۷۹	۴۷,۸۵۶	۰,۸۷۰	۰,۰۰۰	هم‌جمع
LGD	۶۸,۲۵۹	۶۳,۸۷۶	۰,۷۳۵	۰,۰۲۰	هم‌جمع

مأخذ: محاسبات تحقیق

با توجه به نتایج حاصل از جداول ۳ و ۴ مشاهده می‌شود که متغیرهای معادلات ۲۱، ۲۲ و ۲۳ برای هر دو استان هم‌جمع بوده است. در نتیجه پسماندهای معادله برای هر دو استان پایا خواهد بود؛ بنابراین می‌توان گفت که بین متغیرهای معادله مذکور برای هر دو استان یک رابطه تعادلی بلندمدت برقرار است.

۴-۴- روش رگرسیون به‌ظاهر نامرتبط (SURE)[1]

همان‌طور که در بخش‌های قبل اشاره شد، در این پژوهش برای برآورد انرژی در بخش حمل‌ونقل از مدل معادلات هم‌زمان استفاده خواهد شد. روش معادلات هم‌زمان نوعی از مدل‌های آماری هستند که در آن متغیرهای وابسته به جای متغیرهای مستقل، تابعی از متغیرهای وابسته دیگر هستند. این بدان معناست که برخی از متغیرهای توضیحی به

1. Seemingly Unrelated Regression

طور مشترک با متغیر وابسته تعیین می‌شوند و این امر در نهایت باعث می‌شود که مدل اعتبار خود را از دست بدهد؛ همچنین در این معادلات به دلیل تصادفی بودن متغیرهای مستقل یا نداشتن توزیع مستقل از جزء اخلال (خطا) یکی از فروض اصلی روش OLS[1] تأمین نشده و در صورت استفاده از این روش تخمین زن‌های حداقل مربعات نه تنها تورشدار (اریب)، بلکه ناسازگار نیز خواهند بود. بنابراین در این معادلات بر خلاف مدل‌های تک معادله‌ای بدون در نظر گرفتن اطلاعات حاصل از سایر معادلات سیستم، نمی‌توان به تخمین پارامترهای یک معادله‌ی منفرد پرداخت.

در سیستم معادلات هم‌زمان می‌توان از روش‌های متنوعی برای تخمین داده‌ها استفاده کرد. این روش‌ها شامل حداقل مربعات معمولی، حداقل مربعات وزن‌دار (WLS)[2]، حداقل مربعات دو مرحله‌ای و سه مرحله‌ای (2SLS و 3SLS)[3] ، رگرسیون به ظاهر نامرتبط و... می‌باشند. متداول‌ترین روش‌های حل معادلات هم‌زمان، روش‌های رگرسیونی حداقل مربعات دومرحله‌ای و سه‌مرحله‌ای و همچنین رگرسیون به ظاهر نامرتبط است. لازم به ذکر است که در این پژوهش برای تحلیل و تخمین داده‌های آماری از روش رگرسیون به ظاهر نامرتبط استفاده شده است. این روش زمانی کاربرد دارد که بین جزء خطای معادلات ارتباط و یا همبستگی هم‌زمان وجود داشته باشد (امیری و فخاری، ۱۴۰۰).

با توجه به این‌که سیستم معادلات هم‌زمان به لحاظ ساختاری متفاوت با رگرسیون‌های چند متغیره است، ممکن است تأمین کننده فروض کلاسیک حاکم بر رگرسیون‌های چند متغیره نباشد. برای مثال یکی از ویژگی‌های سیستم معادلات هم‌زمان این است که متغیر وابسته در یک معادله به عنوان متغیری توضیحی در معادله‌ای دیگر از سیستم ظاهر می‌شود. چنین متغیر توضیحی ممکن است با جمله پسماند معادله‌ای که در آن به عنوان متغیر توضیحی وارد شده است همبسته باشد و همبسته بودن متغیر توضیحی با جمله پسماند در یک معادله، فرض کلاسیک $cov(ui,xi)= 0$ را نقض می‌کند. در این شرایط، استفاده از برآوردگرهای روش حداقل مربعات معمولی منجر به نتایجی می‌شود که علاوه بر اریب بودن، ناسازگار نیز می‌باشد.

1. Ordinary Least Squares
2. Weighted Least Squares
3. Two-Stage Least Squares، Three-Stage Least Squares

به عبارت بهتر حتی اگر حجم نمونه به سمت بی‌نهایت میل کند، باز هم برآوردگرهای حداقل مربعات معمولی با مقادیر حقیقی جامعه برابر نمی‌شوند. بنابراین به دلیل عدم وجود استقلال بین متغیرهای توضیحی درونزا و جزء اخلال، روش حداقل مربعات معمولی برای تخمین یک معادله در سیستم هم‌زمان نامناسب بوده و کاربرد روش رگرسیون به ظاهر نامرتبط کارایی بیشتری در این موارد دارد. یک سیستم به ظاهر نامرتبط ترکیبی از چندین رابطه‌ی مجزا (منفرد) است که بر اساس همبستگی اجزاء اخلال خود، با هم رابطه دارند. دو مزیت روش رگرسیون به ظاهر نامرتبط عبارت است از: ۱- این روش بر اساس ترکیب اطلاعات معادلات متفاوت، تخمین کارایی را به دست می‌دهد. ۲- قیودی را که شامل پارامترهای معادلات مختلف است، نیز لحاظ می‌نماید (قربانی و همکاران، ۱۳۹۶). لازم به ذکر است که قبل از تخمین معادلات رگرسیون به روش رگرسیون به ظاهر نامرتبط ، باید وجود همبستگی همزمان را بین جملات اخلال با استفاده از آزمون LM[1] در توابع هر یک از معادلات برای استان‌های تهران و خراسان رضوی آزمون کرد. نتایج در جداول زیر ذکر شده‌اند:

جدول۵. نتایج آزمون LM

آزمون LM(استان تهران)				
معادله	آماره F	Prob(2 ،21)	Obs*R-squared	Prob. Chi-Square(2)
LTK	۵۱,۵۹۵	۰,۰۰۰	۲۱,۶۰۳	۰,۰۰۰
LPK	۲۳,۳۴۷	۰,۰۰۰	۱۷,۹۳۴	۰,۰۰۰
LGD	۱۹,۸۲۰	۰,۰۰۰	۱۶,۹۹۶	۰,۰۰۰

جدول۶. نتایج آزمون LM

آزمون LM(استان خراسان رضوی)				
معادله	آماره F	Prob(2 ،21)	Obs*R-squared	Prob. Chi-Square(2)
LTK	۹,۳۴۵	۰,۰۰۱	۱۲,۲۴۳	۰,۰۰۲
LPK	۲,۸۶۹	۰,۰۴۳	۳,۹۸۹	۰,۰۳۶
LGD	۷,۲۹۸	۰,۰۰۳	۱۰,۶۶۱	۰,۰۰۴

مأخذ: محاسبات تحقیق

1 LM Test.

نتایج نشان می‌دهد که به‌دلیل وجود واریانس ناهمسانی، همبستگی هم‌زمان بین جمـلات اخلال هر یک از معادلات پذیرفته شده و به این دلیل نمی‌توان از روش‌های حداقل مربعات دو مرحله‌ای و سه مرحله‌ای برای تخمین معادلات استفاده کرد. از این رو می‌توان از روش معادلات رگرسیون به ظاهر نامرتبط برای تخمین دستگاه معادلات الگو استفاده نمود.

نتایج مربوط به تخمین معادلات به روش رگرسیون به ظاهر نامرتبط برای استان‌های تهران و خراسان رضوی در جداول زیر ذکر شده‌اند (معناداری ضرایب با * نشان داده شده است):

جدول۷. نتایج تخمین معادلات رگرسیون به روش (SURE)

تخمین معادلات با روش رگرسیون به ظاهر نامرتبط (SURE)(استان تهران)				
متغیر	ضریب	خطای استاندارد	مقدار آماره t	Prob
C(1)	۷,۹۴۹	۰,۲۹۷	۲۶,۷۴۱	*۰,۰۰۰
LPTK	-۰,۱۱۹	۰,۰۳۶	۳,۲۴۶-	*۰,۰۰۱
LRR	۰,۰۳۹	۰,۰۴۰	۰,۹۷۸	۰,۳۳۱
LGDP	۰,۰۲۶-	۰,۰۳۳	-۰,۷۸۱	۰,۴۳۷
C(5)	۵,۵۵۸	۰,۲۹۸	۱۸,۵۹۴	*۰,۰۰۰
LPPK	-۰,۳۷۰	۰,۰۳۹	-۹,۳۷۵	*۰,۰۰۰
LRR	۰,۳۷۴	۰,۳۱۲	۴,۰۷۵	*۰,۰۴۶
LGDP	۰,۳۰۱	۰,۰۲۸	۱۰,۷۵۴	*۰,۰۰۰
C(9)	-۵,۵۷۳	۰,۹۴۴	-۵,۸۹۸	*۰,۰۰۰
LTK	۰,۶۹۵	۰,۰۸۸	۷,۸۵۹	*۰,۰۰۰
LPK	۰,۰۵۵	۰,۰۶۸	۰,۸۰۴	*۰,۰۴۲
LGP	-۰,۰۸۲	۰,۰۲۰	-۴,۱۲۴	*۰,۰۰۰
DUM(1)	-۰,۰۳۰	۰,۰۴۹	-۰,۶۲۵	۰,۵۳۴
DUM(2)	-۰,۱۳۲	۰,۰۵۸	-۲,۲۶۵	*۰,۰۲۶

مأخذ: محاسبات تحقیق

نتایج نشان می‌دهد که برای استان تهران مقدار R^2 برای معادله لگاریتم تن-کیلومتر به میزان ۰,۷۶ بوده است. در این معادله متغیر لگاریتم قیمت هر تن-کیلومتر ، معنادار و منفی بوده و متغیرهای لگاریتم تغییرات طول خطوط راه‌آهن و لگاریتم تولید

ناخالص داخلی نیز در این معادله، بی‌معنا به‌دست آمده است. در ادامه مقدار R^2 به‌دست آمده برای معادله لگاریتم تعداد مسافر-کیلومتر جابجا شده، ۰,۸۱ بوده است که بیانگر برازش مطلوب متغیرهای این معادله خواهد بود. در این معادله متغیر لگاریتم قیمت مسافر-کیلومتر ، معنادار و منفی بوده و متغیرهای لگاریتم تغییرات طول خطوط راه‌آهن و لگاریتم تولید ناخالص داخلی، معنادار و مثبت بوده اند. در نهایت مقدار R^2 به‌دست آمده برای معادله لگاریتم تقاضای نفت‌گاز برای استان تهران، ۰,۷۴ به‌دست آمده است. متغیرهای لگاریتم تن-کیلومتر و لگاریتم تعداد مسافر-کیلومتر جابجا شده، در این معادله ، معنادار و مثبت بوده‌اند. همچنین متغیر لگاریتم قیمت نفت‌گاز نیز در این معادله معنادار و منفی بوده است.

جدول ۸. نتایج تخمین معادلات رگرسیون به روش (SURE)

تخمین معادلات با روش رگرسیون به ظاهر نامرتبط (SURE)(استان خراسان رضوی)				
متغیر	ضریب	خطای استاندارد	مقدار آماره t	Prob
C(1)	۵,۳۸۲	۰,۶۵۱	۸,۲۵۵	*۰,۰۰۰
LPTK	-۰,۰۹۲	۰,۰۷۷	۱,۱۹۲-	۰,۲۳۷
LRR	۰,۰۰۶	۰,۰۰۳	۲,۲۸۰	*۰,۰۳۲
LGDP	۰,۱۶۱	۰,۰۹۱	۱,۷۷۷	۰,۰۸۰
C(5)	۱,۹۹۳	۰,۳۸۲	۵,۲۱۷	*۰,۰۰۰
LPPK	-۰,۳۳۳	۰,۰۴۷	-۶,۹۵۹	*۰,۰۰۰
LRR	۰,۰۱۱	۰,۰۱۷	۱,۵۳۵	۰,۱۲۹
LGDP	۰,۶۲۲	۰,۰۴۰	۱۵,۲۷۰	*۰,۰۰۰
C(9)	۷,۵۵۲	۰,۸۲۴	۹,۱۵۵	*۰,۰۰۰
LTK	۰,۳۹۳	۰,۱۱۹	۳,۲۸۱	*۰,۰۰۱
LPK	۰,۷۳۸	۰,۰۵۵	۱۳,۲۷۶	*۰,۰۴۲
LGP	-۰,۰۳۶	۰,۰۳۹	-۰,۹۰۵	۰,۳۶۸
DUM(1)	-۰,۰۳۶	۰,۰۷۷	-۰,۴۷۰	۰,۶۳۹
DUM(2)	۰,۱۶۲	۰,۰۸۹	۱,۸۱۴	۰,۰۷۴

مأخذ: محاسبات تحقیق

در ادامه مقدار R^2 برای معادله لگاریتم تن-کیلومتر در استان خراسان رضوی به میزان ۰,۷۲ بوده است. در این معادله متغیر لگاریتم قیمت هر تن-کیلومتر و لگاریتم تولید ناخالص داخلی، بی‌معنا بوده و متغیر لگاریتم تغییرات طول خطوط راه‌آهن نیز، معنادار و مثبت بوده است. همچنین مقدار R^2 به‌دست آمده برای معادله لگاریتم تعداد مسافر-کیلومتر جابجا شده، ۰,۹۳ بوده است که بیانگر برازش مطلوب متغیرهای این معادله خواهد بود. در این معادله متغیر لگاریتم قیمت مسافر-کیلومتر ، معنادار و منفی، متغیر لگاریتم تغییرات طول خطوط راه‌آهن ، بی‌معنا و در نهایت متغیر لگاریتم تولید ناخالص داخلی، معنادار و مثبت بوده است. در نهایت مقدار R^2 به‌دست آمده برای معادله لگاریتم تقاضای نفت‌گاز برای استان خراسان رضوی، ۰,۹۱ به‌دست آمده است که بیانگر برازش مطلوب متغیرهای این معادله خواهد بود. متغیرهای لگاریتم تن-کیلومتر و لگاریتم تعداد مسافر-کیلومتر جابجا شده در این معادله، معنادار و مثبت و متغیر لگاریتم قیمت نفت‌گاز نیز در این معادله، بی‌معنا بوده‌است.

بنابراین قیمت مسافر- کیلومتر در هر دو استان معنادار و منفی بوده که نشانگر باکشش بودن تقاضا نسبت به این متغیر خواهد بود. در ادامه قیمت تن- کیلومتر برای استان تهران مشابه بخش مسافری بوده اما برای استان خراسان رضوی بی‌معنا به‌دست‌آمده و نشان می‌دهد که تقاضا در این بخش بی‌کشش می‌باشد. همچنین با توجه به نتایج، متغیرهای تغییرات طول خطوط راه‌آهن و تولید ناخالص داخلی در هر دو استان، اثر مثبتی بر تقاضای سوخت خواهند گذاشت. در نهایت متغیر قیمت سوخت در استان تهران معنادار و در استان خراسان رضوی بی‌معنا به‌دست‌آمده است که نشان‌دهنده‌ی حساسیت تقاضا بر روی قیمت در استان تهران و بی‌کشش بودن در استان خراسان رضوی بوده است.

۵- نتیجه‌گیری و توصیه‌های سیاستی

در این تحقیق به بررسی عوامل مؤثر بر تقاضای نفت‌گاز در بخش حمل و نقل ریلی(مطالعه موردی: استان‌های تهران و خراسان رضوی) با استفاده از الگوی رگرسیون به‌ظاهر نامرتبط، طی سال‌های۱۴۰۰-۱۳۷۵ پرداخته شد. بدین منظور، از متغیرهای لگاریتم تن_کیلومتر بار حمل شده، لگاریتم تعداد مسافر_کیلومتر جابجا شده و لگاریتم تقاضای نفت‌گاز، به عنوان متغیرهای وابسته و همچنین متغیرهای لگاریتم قیمت هر

تن-کیلومتر، لگاریتم قیمت مسافر-کیلومتر، لگاریتم تغییرات طول خطوط راه‌آهن، لگاریتم تولید ناخالص داخلی و لگاریتم قیمت نفت‌گاز به عنوان متغیر مستقل در مدل استفاده شد.

نتایج حاصل از برازش نشان داد که قیمت مسافر- کیلومتر در هر دو استان معنادار و منفی بوده که نشانگر باکشش بودن تقاضا نسبت به این متغیر خواهد بود. در ادامه قیمت تن- کیلومتر برای استان تهران مشابه بخش مسافری بوده اما برای استان خراسان رضوی بی‌معنا به‌دست‌آمده و نشان می‌دهد که تقاضا در این بخش بی‌کشش می‌باشد. همچنین با توجه به نتایج، متغیرهای تغییرات طول خطوط راه‌آهن و تولید ناخالص داخلی در هر دو استان، اثر مثبتی بر تقاضای سوخت خواهند گذاشت. در نهایت متغیر قیمت سوخت در استان تهران معنادار و در استان خراسان رضوی بی‌معنا به‌دست‌آمده است که نشان‌دهنده‌ی حساسیت تقاضا بر روی قیمت در استان تهران و بی‌کشش در استان خراسان رضوی بوده است. با توجه به روابط به‌دست آمده و ضرایب آن‌ها، فرضیه اول تحقیق مبنی بر این‌که تقاضای نفت‌گاز نسبت به قیمت نفت‌گاز در بخش حمل و نقل ریلی در استان‌های خراسان رضوی و تهران بی‌کشش است، برای استان خراسان رضوی پذیرفته شده و به دلیل معناداری ضریب قیمت نفت‌گاز و باکشش بودن آن در استان تهران رد خواهد شد. همچنین فرضیه دوم تحقیق مبنی بر این‌که تولید ناخالص داخلی هر استان بر تقاضای نفت‌گاز در استان‌های خراسان رضوی و تهران اثر مثبت دارد، برای هر دو استان پذیرفته شده و ضرایب این متغیر برای استان‌های ذکر شده مثبت و معنادار بوده است. در نهایت فرضیه سوم تحقیق نیز که مبتنی بر اثر مثبت ایجاد خطوط جدید راه‌آهن بر تقاضای نفت گاز در استان‌های خراسان رضوی و تهران بود، برای هر دو استان پذیرفته شده و ضرایب این متغیر هم برای استان‌های نام‌برده شده مثبت و معنادار بوده است.

در بخش حمل‌ونقل ریلی، میزان بار حمل‌شده و مسافر جابه‌جا شده و همچنین تولید ناخالص داخلی و طول خطوط راه‌آهن، اثر مثبت بر تقاضا داشته است. همچنین قیمت نفت‌گاز با تقاضای ریلی-مسافری رابطه منفی خواهد داشت. نتایج این پژوهش با نتایج محققانی چون محرابیان (۱۳۹۱)، ویجیورا و چارلز (۲۰۱۳)، شافی و همکاران (۲۰۱۶) و یاگیس (۲۰۲۴) مطابقت دارد.

با توجه به اهمیت گسترش شبکه حمل‌ونقل ریلی و نقش آن در اقتصاد، سرمایه گذاری در این بخش نقش مهمّی در رشد و شکوفایی اقتصادی کشورها به ویژه کشورهای در حال توسعه خواهد داشت. همچنین افزایش کمّی و تحوّلات کیفی تأثیر بسزایی در رشد اقتصادی بخش حمل‌ونقل ریلی و در نتیجه تحوّلی عظیم دراقتصاد خواهد گذاشت. نتایج این پژوهش با نتایج محققانی چون شهسوارانی و همکاران (۱۳۹۳) و بازدار اردبیلی (۱۳۹۷) مطابقت دارد.

با توجه به نتایج حاصل از تحقیق، توصیه‌های سیاستی زیر پیشنهاد می‌شود:

با توجه به اهمیت تولید ناخالص داخلی برای استان‌های تهران و خراسان رضوی، دولت باید به‌وسیله تزریق سرمایه در این استان‌ها و همچنین افزایش مخارج خود در جهت بهبود و رشد بخش‌های مختلف استان‌های مورد نظر از جمله بخش کشاورزی، صنعت و به‌خصوص بخش حمل‌ونقل ریلی به دلیل ماهیت خدماتی این بخش، سبب افزایش تولید ناخالص داخلی و در ادامه‌ی آن افزایش تقاضا برای بخش حمل‌ونقل ریلی گردد؛ که این امر در بلندمدت باعث درآمدزایی برای دولت شده و در نتیجه رشد و توسعه اقتصادی را به ارمغان خواهد آورد.

مچنین با توجه به اثرگذاری مثبت افزایش طول خطوط راه‌آهن بر روی تقاضای سوخت برای استان‌های مورد نظر و همچنین اهمیت و حجم بالای ورود و خروج مسافر و کالا به استان‌های اشاره شده و در نظر گرفتن عدم کارایی و عدم بازده‌هی خطوط ریلی در این استان‌ها، دولت باید با سرمایه‌گذاری در جهت بهسازی و نوسازی خطوط و ایجاد خطوط جدید و همچنین پوشش ریسک سرمایه‌گذاری و تامین منابع مالی مورد نیاز برای بخش خصوصی، ایجاد انگیزه کند و باعث افزایش تقاضا در این بخش شود.

در ادامه با توجه به بی‌کشش بودن قیمت نفت‌گاز در استان خراسان رضوی(به علت پایین بودن قیمت واقعی نفت‌گاز و جنبه زیارتی این استان به دلیل وجود حرم مطهر امام رضا(ع))، دولت باید با سیاست‌های تبعیض قیمتی و افزایش قیمت سوخت در استان خراسان رضوی، کسب درآمد کند و به دنبال آن با حمایت از بخش خصوصی تقاضا برای بخش حمل‌ونقل ریلی را در این استان افزایش داده و رشد و توسعه اقتصادی را برای کشور به عمل آورد.

در نهایت با توجه به تاثیر قیمت سوخت بر کاهش تقاضای نفت‌گاز در بخش باری و مسافری حمل‌ونقل ریلی در استان تهران، دولت باید با کاهش تعرفه‌های قیمتی در بخش حمل‌ونقل ریلی این استان، تقاضای سوخت را در این استان افزایش داده و به دنبال آن موجب افزایش تقاضای حمل‌ونقل ریلی در استان تهران گردد و با این امر موجب ارتقاء و افزایش سهم این استان در بخش حمل‌ونقل ریلی کشور در بلندمدت شود.

منابع

- آخانی، زهرا (۱۳۷۸)، مدل‌های برآورد تابع تقاضای سوخت در بخش حمل‌ونقل، برنامه‌ریزی و بودجه، ش ۳۸ و ۳۹ : ۱۰۱-۲۸
- امیری اسماعیل و فخاری حسین(۱۴۰۰)، خرید اظهارنظر حسابرس و کیفیت گزارشگری مالی: با رویکرد الگوی معادلات همزمان، نشریه دانش حسابرسی، دوره ۲۱، شماره ۸۲، صفحات ۵۴-۲۷
- بازداراردبیلی، پریسا(۱۳۹۷)، مدل سازی سرمایه گذاری در بخش حمل و نقل ریلی کشور، نشریه پژوهشنامه حمل‌ونقل، دوره ۱۵، شماره ۵۴، صفحات ۱۴۷-۱۳۹
- درخشان، مسعود (۱۳۸۱)، مشتقات و مدیریت ریسک در بازارهای نفت، تهران: مرکز مطالعات بین‌المللی انرژی، وزارت نفت، چاپ مقدماتی، صفحه ۵۷۰
- زورکی و همکاران (۱۴۰۲)، تحلیل‌اثرشدت وقیمت حامل‌های‌انرژی بررفاه اقتصادی در ایران، فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال‌نوزدهم، شماره78 ، صفحات ۳۹-۱
- سنچولی سمیرا و شهرکی جواد (۱۴۰۳)، بررسی‌رابطه بین زیرساخت حمل‌ونقل، منابع‌انرژی تجدیدپذیر و رشد اقتصادی، فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال‌بیستم، شماره83 ، صفحات ۲۱۲-۱۸۳
- سایت راه آهن جمهوری اسلامی ایران، سالنامه آماری حمل‌ونقل ریلی کشور سال‌های مختلف. www.rai.ir
- سایت مرکز آمار ایران www.amar.org.ir.
- شهسوارانی و همکاران(۱۳۹۳)، تخمین تقاضای نفت گاز در زیر بخش حمل‌ونقل ریلی ایران: یک مدل دو مرحله‌ای، انجمن مهندسی حمل‌ونقل ریلی ایران، شانزدهمین همایش حمل‌ونقل ریلی
- قربانی و همکاران(۱۳۹۶)، بررسی رابطه نقدشوندگی، کیفیت افشا و ارزش شرکت بر اساس سیستم معادلات همزمان، نشریه تحقیقات حسابداری و حسابرسی، دوره ۹، شماره ۳۵، صفحات ۱۲۸-۱۰۷
- محرابیان، آزاده(۱۳۹۱)، بررسی عوامل موثر بر جابجایی مسافر در شبکه حمل‌ونقل ریلی در ایران، نشریه اقتصاد مالی، دوره ۷، شماره ۲۲، صفحات ۱۵۳-۱۳۷

- نظری محسن و رستمخانی اکرم(۱۴۰۱)، تدوین و اولویت بندی استراتژی‌های قیمت گذاری حمل و نقل بار با استفاده از تکنیک SWOT و QSPM، نشریه پژوهشنامه حمل‌ونقل، دوره ۲۰، شماره ۱، صفحات ۲۲۶-۲۱۳
- نوفرستی، ریشه واحد و همجمعی در اقتصاد سنجی، صفحه ۹، ۱۳۹۱
- وزارت نیرو، ترازنامه انرژی سال‌های مختلف.www.moe.gov.ir

- Albayrak, Ö. K. (2021). Türkiye'nin demiryolu yük taşımacılığı talebinin zaman serisi analizi ile tahmini. Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, (58), 137-154.
- Hussain, A., RAZA, S., & SHAFI, M. (2016). An Empirical Analysis of Passenger Rail Demand in Pakistan. Research Journal Social Sciences, 5(1).
- Jahan, N., Khan, M. I., & Naqvi, K. A. (2022). DISAGGREGATING THE DEMAND ELASTICITIES OF RAIL SERVICES AND ITS INFLUENCING FACTOR IN PAKISTAN. Pakistan Journal of Social Research, 4(2), 702-716.
- Wijeweera, A., & Charles, M. (2013). An empirical analysis of the determinants of passenger rail demand in Melbourne, Australia. Economic Analysis and Policy, 43(3), 249-264.
- Yağış, O. (2024). Demiryolu Yük Taşımacılığı Ekonomik Büyümeyi Etkiler Mi? ARDL Sınır Testi Yaklaşımı. Akademik İncelemeler Dergisi, 19(2), 384-404.
- Zhou, Q., Mao, B., Peng, S., Huang, J., & Tian, P. (2023). Analysis of the impacts of passenger demand on the profitability of different types of urban rail transit. Promet-Traffic&Transportation, 35(1), 71-86.

فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی/ سال بیست‌ویکم / شماره ۸۵/ تابستان ۱۴۰۴/ صفحات ۱۴۵-۱۰۵

مدل‌سازی تقاضای برق بخش خانگی استان تهران: رویکرد سری‌های زمانی ساختاری

میرحسین موسوی [۱]
دانشیار، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اجتماعی و اقتصادی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران،
(hmousavi@alzahra.ac.ir)

اسماعیل صفرزاده
استادیار، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اجتماعی و اقتصادی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران ،
(e.safarzadeh@alzahra.ac.ir)

فرید دهقانی
مربی، گروه مطالعات انرژی، صنعت و معدن، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، تهران، ایران،
(fdehghani1979@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۳۰

چکیده

عدم تعادل بین عرضه و تقاضای برق باعث بوجود آمدن ناترازی در شبکه برق شده است. یکی از راهکارهای رفع این ناترازی‌ها اصلاح تعرفه‌های برق با هدف تشویق بهرهوری انرژی و سرمایهگذاری خصوصی است. نتیجه این راهکار تاثیر قابل توجه آن بر رفاه خانوار خواهد بود. در این مقاله، با معرفی مفهوم روند ضمنی و نقش آن در تقاضای برق اقدام به مدل‌سازی تقاضای برق با استفاده از روش سری‌های زمانی ساختاری در بخش خانگی استان تهران شده است. برای این منظور از داده‌های سری زمانی طی دوره ۱۴۰۱-۱۳۶۱ استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که ماهیت روند ضمنی تقاضای برق در بخش خانگی تصادفی و از نوع روند هموار است. کشش خود قیمتی کوتاه مدت و بلند مدت تقاضای برق به ترتیب برابر ۰,۰۲۹- و ۰,۳۹- است که نشان از بی کشش بودن تقاضای برق نسبت به تغییرات قیمت است. این واکنش در بلند مدت بیش از کوتاه مدت است. کشش درآمدی تقاضا در کوتاه مدت و بلندمدت به ترتیب ۰,۳۸ و ۰,۵ است. به این معنی که برق در سبد کالایی خانوار یک کالای نرمال ضروری است. گاز طبیعی نیز نقش کالای جانشین را برای برق در بخش خانگی دارد ولی درجه جانشینی بین آنها پایین است. همچنین این تقاضا نسبت به تعداد مشترکین در کوتاه مدت و بلند مدت باکشش است.

طبقه‌بندی JEL: E32, L94, D12, Q41, D50 .

کلیدواژه‌ها: عدم تعادل، تقاضای برق، روند ضمنی، سری زمانی ساختاری.

---

۱. نویسنده مسئول

۱- مقدمه

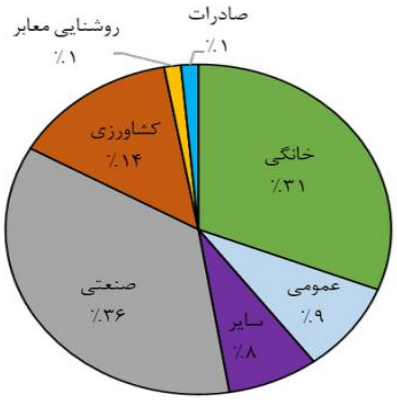
از اوایل دهه ۱۹۷۰ وقتی انرژی توجه سیاستمداران را در نتیجه اولین بحران نفتی به خود جلب کرد؛ تحقیق و بررسی روی تقاضای آن به منظور غلبه بر فهم محدود از ماهیت تقاضای انرژی، به شدت گسترش یافت (پیندایک[1]، ۱۹۷۹). مجادلات بین مهندسین و اقتصاددانان این حوزه منجر به تحولات روش‌شناسی چشم‌گیری شد که فرایند تصمیم‌گیری انرژی را به عنوان یک مجموعه تقویت نمود و طیف گسترده‌ای از مدل‌ها را برای تجزیه، تحلیل و پیش‌بینی تقاضا در دسترس قرار داد. مدل‌سازی تقاضای انرژی جزء ضروری برای برنامه‌ریزی انرژی، فرموله کردن استراتژی‌ها و توصیه‌های سیاستی است.

تقاضای انرژی که از تجزیه و تحلیل‌ها به دست می‌آید اغلب به خاطر محدودیت‌های ساختاری مدل و برخی فروض نامناسبی که وجود دارد از تقاضای واقعی انرژی منحرف می‌شود. بایستی در مدل‌سازی تقاضا به این نکته توجه نمود که مدل‌های پیچیده حتماً نتایج دقیق‌تری را به دنبال نخواهند داشت گاهی اوقات یک مدل ساده می‌تواند نتایج بهتری به همراه داشته باشد (آرمسترانگ[2]، ۲۰۰۱). همانطور که کومی[3] (۲۰۰۲) اشاره می‌کند مدل‌سازان تقاضای انرژی بایستی این سوال را از خود بپرسند که آیا ابزار مدل‌سازی در جامعه‌ای که می‌خواهند آن را پیاده کنند، قابل حصول است یا خیر؟ اینکه چرا نتایج حاصل از برخی مدل‌های تقاضای انرژی دور از واقعیت است می‌تواند چند دلیل داشته باشد. بر اساس مطالعه لایتنر و دیگران[4] (۲۰۰۳)، برخی از آنها شامل تشخیص نادرست رفتار تقاضاکنندگان و عرضه‌کنندگان انرژی، پوشش ناکامل اثرات محیطی و اجتماعی و فروض اقتصادی غیر واقعی است.

در بین بخش‌های مختلف اقتصادی متقاضی انرژی تامین انرژی بخش خانگی با توجه به مساله کرامت انسانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. و از بین حامل‌های مختلف انرژی برق از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. امروزه بدون برق زندگی امکان‌پذیر نیست. در سال ۲۰۲۲، مصرف جهانی برق حدود ۲۵،۵۰۰ تراوات ساعت بوده است.

1. Pindyck
2. Armestrong
3. Koomey
4. Laitner & etal

بخش خانگی در بسیاری از کشورها سهم قابل توجهی از مصرف برق را به خود اختصاص می‌دهد. حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد از برق مصرفی در دنیا متعلق به بخش خانگی، ۴۰-۴۵ درصد بخش صنعت، ۳۰-۳۵ درصد بخش تجاری و عمومی و ۲-۳ درصد بخش حمل و نقل است. البته بخش حمل و نقل با توجه به پیشرفت تکنولوژی خودروهای برقی و وارد شدن به ناوگان حمل و نقل سهمش از مصرف برق در حال افزایش است (آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۲۲). در ایران نیز در سال ۱۴۰۲ سهم بخش خانگی از مصرف برق ۳۱ درصد، بخش صنعت ۳۶ درصد، بخش کشاورزی ۱۴ درصد و ۱۷ درصد سایر بخش‌ها بوده است. لذا شواهد نشان می‌دهد که بخش خانگی دومین مصرف‌کننده برق در اقتصاد ایران است (نمودار ۱).



نمودار ۱. سهم بخش‌های مختلف اقتصادی مصرف‌کننده برق در سال ۱۴۰۲

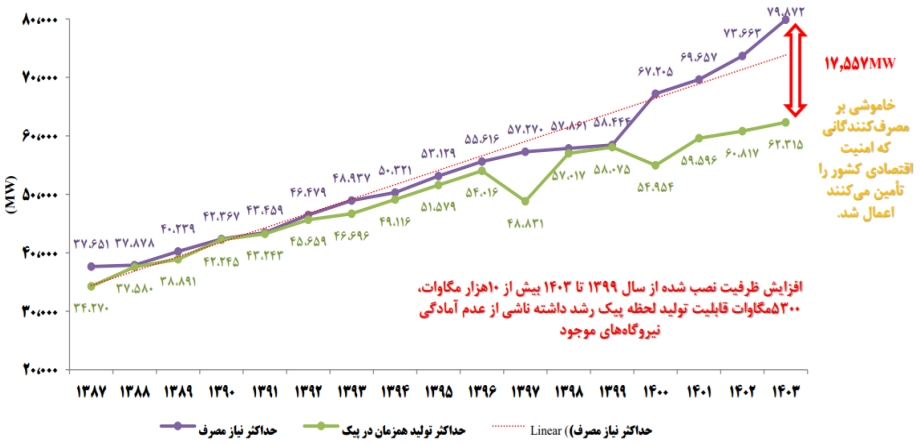
منبع: شرکت مادرتخصصی توانیر، آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه مدیریت راهبردی، ۱۴۰۲

در این میان استان تهران به عنوان پایتخت و پرجمعیت‌ترین استان کشور سهم عمده‌ای از مصرف برق کشور دارد و عمده ترین بخش برق مصرفی در این استان مربوط به بخش خانگی است. بنابراین مدل‌سازی تقاضای برق در این استان و در بخش خانگی به منظور برنامه‌ریزی، تدوین استراتژی‌ها و توصیه‌های سیاستی از اهمیت بالایی برخوردار است.

مدل‌سازی تقاضای برق کاربردهای متنوعی می‌تواند داشته باشد. همان‌طور که باتاچاریا و تیمیلسینا[1] (۲۰۰۹)، نشان داده‌اند؛ این کاربردها می‌توانند از پیش‌بینی

1. Bhattacharyya and Timilsina

کوتاه‌مدت مصرف برق در شبکه‌ها و بازارهای برق گرفته تا شبیه‌سازی بارهای گرمایشی و الکتریکی در ساختمان‌ها و فرآیندهای صنعتی و پیش‌بینی‌های بلندمدت تقاضای انرژی ملی را شامل شوند. یکی دیگر از کارکردهای مدل‌سازی تقاضای برق برای سیاستگذاران، تدوین سیاست‌های حمایتی مناسب از بخش خانوار است به منظور کاهش مصرف در این بخش شود. متاسفانه در اقتصاد ایران سیاست‌های حمایتی دولت‌ها از عاملان اقتصادی (خانوارها و بنگاه‌ها) در چارچوب قیمت‌گذاری دستوری نهاده‌های تولیدی وکالاها و خدمات صورت گرفته است. این رویکرد با تاثیرگذاری بر قیمت‌های نسبی و انحراف آن از قیمت‌های تعادلی موجب تخصیص ناکارآمد منابع در اقتصاد شده است. رشد سریع مصرف انرژی، کاهش کارایی، افزایش آلاینده‌های زیست محیطی، بار هزینه‌ای بر بودجه دولت، قاچاق و شکاف درآمدی از جمله پیامدهای نامطلوب سیاست حمایتی قیمت‌گذاری دستوری در حوزه انرژی به طور عام و برق به طور خاص قلمداد می‌شود. این شیوه سیاست‌های حمایتی به دفعات با هدف تشویق بهره‌وری انرژی و سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در تولید برق اجرا شده است. شواهد تاریخی نشان می‌دهد که این راهکار به جز اثرات کوتاه مدت در میان مدت و بلندمدت کارساز نبوده است؛ چرا که مصرف برق به روند افزایشی خود ادامه داده است. در نمودار (۲) وضعیت عدم تعادل بین عرضه و تقاضای برق نشان داده شده است.



نمودار ۲. وضعیت ناترازی بین عرضه و تقاضای برق در لحظه پیک شبکه برق

منبع: کمیسیون بازار برق و بورس انرژی، سندیکای شرکت‌های تولید کننده برق، ۱۴۰۳

در این راستا هدف از مدل سازی تابع تقاضا برق در این مقاله در مرحله اول شناخت رفتار و الگوی مصرفی بخش خانگی در استان تهران است. به این معنی که مشخص شود بخش خانگی در استان تهران نسبت به تغییرات قیمتی برق و سایر حامل‌های انرژی و همچنین تغییرات درآمدی چه واکنشی نشان می‌دهد؟ به عبارت دیگر حساسیت تقاضای برق بخش خانگی استان تهران نسبت به قیمت برق، قیمت سایر حامل‌های انرژی و مخارج مصرفی چقدر است؟ در مرحله دوم هدف مقاله لحاظ کردن عوامل غیرقابل مشاهده (روند ضمنی) تاثیرگذار بر تقاضای برق در بخش خانگی به منظور برآورد دقیق تر کشش‌های قیمتی و درآمدی تقاضا است. لذا سوال‌های اصلی مقاله این است که با لحاظ کردن روند ضمنی در تابع تقاضا حساسیت تقاضای برق بخش خانگی استان تهران به قیمت برق، قیمت سایر حامل‌هاي انرژی (گاز طبیعی) و درآمد چقدر است؟ آیا با سیاست‌های قیمتی می‌توان ناترازی بوجود آمده در تامین برق بخش خانگی استان تهران را رفع کرد؟

ویژگی خاص این مقاله نسبت به سایر کارهای تجربی که در داخل کشور در خصوص مدل‌سازی تقاضای برق صورت گرفته است، این است که اولا تابع تقاضای برق از طریق رویکرد حداکثرسازی دو مرحله‌ای تابع مطلوبیت استخراج شده است. همچنین روند ضمنی[1] به عنوان یک متغیر نامشهود که از یک فرآیند تصادفی تبعیت می‌کند، در تابع تقاضا وارد شده است. متغیر روند اولا نقش ترجیحات مصرکنندگان را در تقاضای برق لحاظ می‌کند. ثانیاً نقش عوامل غیراقتصادی نظیر عوامل جمعیتی، اجتماعی و جغرافیایی را در تقاضای برق مد نظر قرار می‌دهد. با توجه به این موارد بایستی اطلاعات مربوط به پیشرفت تکنولوژیکی، ترجیحات مصرف کنندگان و عوامل غیراقتصادی در تابع تقاضا لحاظ شود. مشکل اینجاست که از یک طرف امکان اندازه‌گیری این عوامل وجود ندارد؛ و از طرف دیگر اثر این عوامل ممکن است در طول زمان تغییر کند و هریک در جهات مختلفی بر تقاضا اثر بگذارند. لذا برای اینکه بتوان اثرات عوامل مذکور را بر تقاضا لحاظ کرد؛ باید جزء روند در مدل تقاضای برق لحاظ شود تا از اریب‌دار شدن کشش‌های قیمتی و درآمدی تقاضا جلوگیری شود. هاروی و

1. Underlying Trend

همکارانش[1] (۱۹۸۹) برای لحاظ کردن این عوامل در تابع تقاضا مدل‌های سری زمانی ساختاری را پیشنهاد داده‌اند که مبنای مدل‌سازی تقاضای برق در این مقاله قرار گرفته است.

در ادامه ساختار مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است. در قسمت دوم مروری بر جنبه‌های نظری مدل‌های تقاضای انرژی با تاکید بر برق شده است. در قسمت سوم تابع تقاضای برق در بخش خانگی تصریح شده است. قسمت چهارم به بررسی ویژگی‌های آماری متغیرهای مورد استفاده در مقاله و برآورد تجربی مدل تقاضای تصریح شده پرداخته است. در نهایت نتیجه‌گیری و توصیه‌های سیاستی ارائه شده است.

۲- مروری بر ادبیات

۲-۱- پایه‌های مدل‌سازی تقاضای برق

پایه‌های خرد تقاضای مصرف کننده از هر کالا و خدمتی بر اساس حداکثرسازی مطلوبیت بنا شده است. در این چارچوب فرض می‌شود؛ ۱) مصرف‌کننده از مجموعه مصرفی، مجموعه امکان‌پذیر و ساختار ترجیحات خود آگاهی کامل دارد، ۲) ساختار ترجیحات توسط تابع مطلوبیت بیان می‌شود، ۳) مصرف‌کننده از عقلانیت کامل برخوردار است. به این معنی که توانایی تصمیم‌گیری دارد و تصمیماتش سازگار است. به عبارت دیگر اصل ترتیبات کامل و اصل انتقال پذیری در مورد مصرف کننده صادق است (کشاورز، ۱۳۹۵). در چنین ساختاری رفتار بهینه مصرف‌کننده در جایی شکل می‌گیرد که ارزش ذهنی نسبی کالاها و خدمات با ارزش بازاری نسبی آنها برابر باشد. آنچه از این تعریف به دست می‌آید تابع تقاضایی است که تمایل مصرف‌کنندگان به مصرف مقدار معینی از کالا و خدمات را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه اغلب این تمایل تامین نمی‌شود؛ مصرف و تقاضا از هم تفکیک می‌شوند. در واقع مصرف کالا بخشی از تقاضاست که عملاً به وقوع پیوسته است (لیارد، .

تقاضای کالاها و خدمات ممکن است بر اساس حداکثر مطلوبیت حاصل نشده باشد، از طرف دیگر ممکن است مصرف کنندگان به عوامل تعیین‌کننده تقاضا به سرعت

1. Harvey and et al

واکنش نشان ندهند. در این صورت دو مفهوم تقاضای واقعی و بالقوه از هم تفکیک می‌شوند. تقاضای واقعی مقداری از تقاضاست که در همان دوره اتفاق می‌افتد و تقاضای بالقوه مقداری از تقاضاست که می‌توانست در همین دوره جاری رخ دهد؛ اما به دلایل فنی و اقتصادی به وقوع نمی پیوندد. اگر قیمت برق در زمان $(t-1)$تغییر یابد، بخشی از تقاضای برق در همین زمان به تغییر قیمت واکنش نشان می‌دهد، اما تا تکمیل اثر این تغییر بر مقدار تقاضا زمان بیشتری لازم است. به عنوان مثال مدت زمان بیشتری لازم است تا تجهیزات با انرژی‌بری کمتر جایگزین تجهیزات با انرژی بری بالا شود. بر همین اساس تقاضای برق به دو بخش «تقاضای محدود شده» و یا «تقاضای آزاد» تقسیم می‌شود. تقاضای محدود شده آن بخش از تقاضای برق است که به تجهیزات انرژی‌بری که در گذشته تهیه شده‌اند، اختصاص دارد. این تقاضا بدین دلیل وجود دارد که در گذشته تجهیزات انرژی‌بر خریداری شده و استفاده می‌شوند و می‌توان گفت که تغییر قیمت برق این بخش از تقاضا را حداقل در کوتاه مدت چندان تحت تاثیر قرار نمی‌دهد. تقاضای آزاد آن بخش از تقاضای برق است که به خاطر نیازهای فعلی و خرید تجهیزات انرژی‌بر جدید ایجاد می‌شود. این بخش از تقاضا نسبت به تغییرات متغیرهای اقتصادی مانند قیمت واکنش نشان می‌دهد.

در مورد کالای برق باید به چند واقعیت توجه کرد. واقعیت اول اینکه، بر خلاف عمده کالاهایی که مورد مصرف مستقیم قرار می‌گیرند، کالای برق مستقیماً مصرف نمی‌شود؛ بلکه تقاضای برق یک تقاضای مشتق شده است که به خاطر تقاضا برای خدمات دیگری مشتق می‌شود (مثل تقاضای سرمایش در هوای گرم یا گرمایش در هوای سرد).

واقعیت دوم اینکه، عرضه‌کنندگان برق به دلیل هزینه‌های بالاتر تمایل دارند که از مصرف‌کنندگان بخش خانگی در زمان‌های اوج بار مصرف و یا حتی در برخی از مواقع زمان‌های مختلف طی روز، نرخ‌های بیشتری اخذ نمایند. در مطالعات تقاضای برق بر مبنای داده‌های سالانه این تغییرات قیمت تا حد زیادی مورد چشم پوشی واقع شده است.

ماهیت سوم کالای برق این است که قابلیت ذخیره کردن مستقیم ندارد و باید برای ذخیره کردن تبدیل به حالت‌های دیگری شود. ذخیره‌سازی انرژی شبکه مجموعه‌ای از

روش‌هایی است که برای ذخیره انرژی در مقیاس بزرگ در یک شبکه برق الکتریکی، استفاده می‌شود. انرژی الکتریکی در مواقعی که تولید برق فراوان و ارزان است (به ویژه از منابع انرژی متناوب مانند برق تجدیدپذیر از نیروی باد، نیروی جزر و مد و انرژی خورشیدی)، یا زمانی که تقاضای مصرف برق کم است، ذخیره می‌شود و بعداً زمانی که تقاضا افزایش یابد، به شبکه برق بازگردانده می‌شود. از سال ۲۰۲۰، بزرگ‌ترین شکل ذخیره‌سازی انرژی شبکه، شامل احداث سد و نیروگاه‌های برق آبی و همین‌طور نیروگاه‌های برق آبی با ذخیره پمپ بوده‌است. از جمله روش‌های غیرمستقیم ذخیره کردن برق می‌توان به هیدروالکتریک پمپاژ شده از برق[۱]، هوای فشرده[۲]، هوای مایع، دی اکسید کربن فشرده، هیدروژن، باتری‌ها وذخیره انرژی حرارتی برای تولید اشاره کرد(ویسواناتان و همکاران[۳]، ۲۰۲۲).

برق برای تمامی بخش‌های اقتصادی بویژه بخش خانگی در دنیای مدرن امروزی بسیار حیاتی است، زیرا تأمین‌کننده انرژی مورد نیاز برای وسایل و سیستم‌های ضروری است (افتوتس و همکاران[۴]،۲۰۲۱). با رشد اقتصادی و افزایش شهرنشینی، شناخت عوامل تعیین‌کننده تقاضای برق خانگی برای سیاست‌گذاران، تأمین‌کنندگان انرژی و برنامه‌ریزان محیط زیست اهمیت ویژه‌ای دارد (آکیل و همکاران[۵]، ۲۰۲۰ – علی و همکاران[۶]، ۲۰۲۱). دو عامل اقتصادی کلیدی در این زمینه عبارتند از کشش‌های درآمدی و قیمتی که میزان حساسیت تقاضای برق نسبت به تغییرات درآمد خانوار و قیمت برق را اندازه‌گیری می‌کنند (احمد و نصیر[۷]، ۲۰۱۹). این کشش‌ها نقش اساسی در تدوین سیاست‌های مؤثر انرژی، مدیریت تعادل بین عرضه و تقاضا، و ارتقاء بهره‌وری انرژی ایفا می‌کنند (تقوایی و همکاران[۸]، ۲۰۲۳). به طور معمول، افزایش درآمد خانوار به

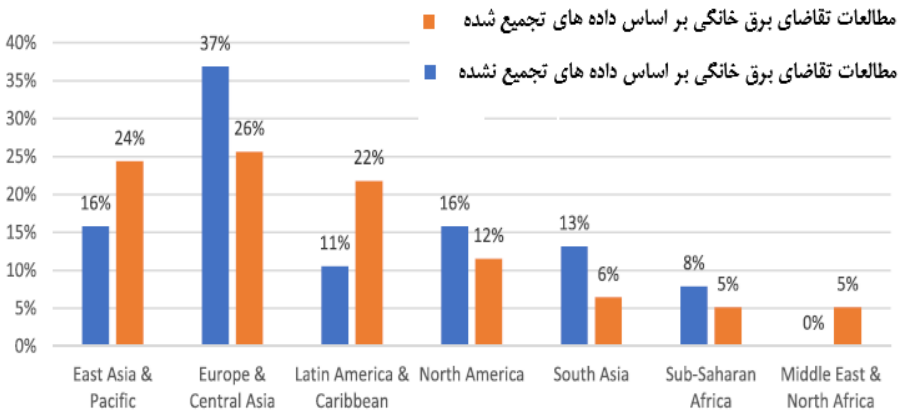
---

۱. این مورد بیشتر برای پمپاژ آب یا مخزن استفاده میشود. هنگامی که آب از مخزن خارج می‌شود، از طریق یک توربین به سمت پایین جریان می‌یابد تا برق تولید کند.

۲. یکی از روش‌های ذخیره‌سازی انرژی شبکه، استفاده از برق در شرایط غیر پیک یا از منابع تجدیدپذیر برای فشرده‌سازی هوا است که معمولاً در یک معدن قدیمی ذخیره می‌شود. هنگامی که تقاضای برق زیاد است، هوای فشرده با استفاده از مقدار کمی سوخت گاز طبیعی گرم شده و سپس از طریق توربو اکسپندرها برای تولید برق به کار گرفته می‌شود.

3. Viswanathan and etal
4. Ofetotse and et al
5. Akil and et al
6. Ali et al
7. Ahmed and Nisar
8. Taghvaee and et al

دلیل افزایش تعداد وسایل الکتریکی و فضای زندگی بیشتر، منجر به افزایش مصرف برق می‌شود(سینگ و همکاران[1]، ۲۰۲۲). از سوی دیگر، افزایش قیمت برق می‌تواند مصرف را کاهش دهد، اگرچه میزان این پاسخ بسته به بخش‌ها و خانوارهای مختلف متفاوت است(ظهوری و همکاران، ۲۰۱۹). توزیع مطالعات تقاضای برق خانگی برحسب منطقه در نمودار (۳) آمده است. شواهد نشان می‌دهد که بیشترین تحقیقات تقاضای برق بخش خانگی در کشورهای با درآمد بالا صورت گرفته است و تحقیقات کمی در کشورهای کم‌درآمد در این حوزه انجام شده است. کمبود تحقیقات در کشورهای با درآمد پائین مانع از درک الگوهای مصرف برق در بخش خانگی می‌شود. در مقابل، فراوانی مطالعات در کشورهای با درآمد بالا بینش‌های دقیق و توسعه سیاست‌های انرژی مؤثری ارائه می‌دهد. تحلیل کشش‌های درآمدی و قیمتی تقاضای برق با استفاده از داده‌های تجمیع شده و تجمیع نشده[2] در این مطالعات همواره کم کشش بودن تقاضای برق در بخش خانگی را نشان می‌دهد و نقش ضروری برق در بخش خانگی و تأثیر اندک تغییرات درآمد و قیمت بر مصرف آن را برجسته می‌کند. لذا این بینش برای تدوین سیاست‌های آگاهانه و استراتژی‌های مدیریت انرژی مؤثر ضروری است تا آینده‌ای پایدار و باثبات در بخش انرژی تضمین شود.



نمودار ۳. سهم مناطق از مطالعات صورت گرفته در خصوص تقاضای برق خانگی

منبع: مابینزی و همکاران، ۲۰۲۴

مابینزی و همکاران[3] (۲۰۲۴) تحلیلی در ارتباط با برابری میانگین‌ها و واریانس‌ها در مورد کشش‌های درآمدی و قیمتی تقاضای برق بخش خانگی در میان کشورهای

1. Singh and et al
2. Aggregated and Disaggregated data
3. Mubbinzi and et al

مختلف ارائه دادند که نتیج نشان‌دهنده تفاوت‌های معنادار این کشش‌ها بین کشورهای مختلف است. میانگین کشش‌ها و واریانس‌های آن‌ها به طور قابل‌توجهی متغیر است که ماهیت پیچیده و ناهمگن واکنش تقاضای برق بخش خانگی به تغییرات قیمتی و درآمدی را نشان می‌دهد. تفاوت معنادار کشش‌ها تحت تأثیر نوع داده‌های استفاده‌شده و شرایط اقتصادی- اجتماعی هر منطقه است. داده‌های تجمیع نشده درک دقیق‌تر و جزئی‌تری از رفتار مصرفی بخش خانگی را ارائه می‌دهند، به‌ویژه در مناطقی با نابرابری درآمدی قابل‌توجه، که در آن‌ها خانوارهای کم‌درآمد به تغییرات قیمت و درآمد حساس‌تر هستند. داده‌های تجمیع شده برای درک روندهای اقتصادی کلان مفید هستند. معمولاً تجمیع داده‌ها تفاوت‌های بین گروه‌های مختلف مصرفی را هموار می‌کنند و به تخمین‌های کمتر کشش قیمتی و درآمدی منجر می‌شوند. برخی از مطالعات که در مقاله مابینزی و همکاران کشش‌های قیمتی و درآمدی تقاضای برق خانگی را مورد بررسی قرار داده اند در جدول (۱) گزارش شده است.

جدول ۱. کشش‌های درآمدی و قیمتی تقاضای برق خانگی در مطالعات مختلف

محقق[1]	کشور	دوره زمانی	کشش درآمدی		کشش قیمتی	
			کوتاه مدت	بلندمدت	کوتاه مدت	بلندمدت
مودیانو، ۱۹۸۴	برزیل	۸۱-۱۹۶۳	۰,۳۳	۱,۱۳	-۰,۱۲	-۰,۴
دوناتوس و مرگوس، ۱۹۹۱	یونان	۸۶-۱۹۶۱	۱,۵۰	۰,۵۳	-۰,۵۸	-۰,۲۱
انگ و همکاران، ۱۹۹۲	سنگاپور	۹۰-۱۹۷۱		۱		-۰,۳۵
بنتزن و انگستد، ۱۹۹۳	دانمارک	۸۱-۱۹۶۰		۱,۲۱		-۰,۴۷
اندراده و لوبائو، ۱۹۹۷	برزیل	۹۵-۱۹۶۳	۰,۲۱	۰,۲۱	-۰,۰۶	-۰,۰۵
کریستودولاکیس و کالیویتیس، ۱۹۹۷	یونان	۹۰-۱۹۷۰	۱,۸۵	۱,۳۳		-۰,۲۵
سیلک و جوتس، ۱۹۹۷	ایالات متحده	۹۳-۱۹۴۹	۰,۳۹	۰,۵۲	-۰,۶۳	-۰,۴۸
بوسه و شوکلا، ۱۹۹۹	هند	۹۴-۱۹۸۵	۰,۸۸		-۰,۶۵ تا -۱,۳۵	
فلیپینی، ۱۹۹۹	سوئیس	۹۰-۱۹۸۷		۰,۳۳		-۰,۳۰

1. (Modiano),(Donatos and Mergos), (Ang and et al), (Bentzen and Engsted), (Andrade and Lobão), (Christodoulakis and Kalyvitis), (Silk and Joutz), (Bose and Shukla), (Filippini), (Hondroyiannis), (De Vita et al), (Siqueira et al), (Halicioglu), (Narayan et al), (Inglesi), (Jamil and Ahmad), (Polemis and Dagoumas), (Sun and Lin), (Ivy-Yap and Bekhet), (Othman and Hariri).

کشش قیمتی		کشش درآمدی		دوره زمانی	کشور	محقق[1]
بلندمدت	کوتاه مدت	بلندمدت	کوتاه مدت			
-۰,۴۱	-۰,۴۱	۱,۵۶	۰,۲۰	۹۹-۱۹۸۶	یونان	هوندروویانیس، ۲۰۰۴
-۰,۳۴		۱,۲۷		۲۰۰۲-۱۹۸۰	نامیبیا	دویتا و همکاران، ۲۰۰۶
-۰,۴۱	-۰,۳۰	۱,۴۰	۰,۱۸	۲۰۰۳-۱۹۷۰	برزیل	سینکواریا و همکاران، ۲۰۰۶
-۰,۵۲ تا -۰,۶۳	-۰,۳۳ تا -۰,۴۶	۰,۴۹ تا ۰,۷	۰,۳۷ تا ۰,۴۴	۲۰۰۵-۱۹۶۸	ترکیه	هالیچی اغلو، ۲۰۰۷
-۱,۴۵ تا -۱,۵۶	-۰,۱۱	۰,۲۵ تا ۰,۳۱		۲۰۰۳-۱۹۷۸	کشورهای G7	نارایان و همکاران، ۲۰۰۷
-۰,۶۵		۰,۴۲		۲۰۰۵-۱۹۸۰	آفریقای جنوبی	اینگلسی، ۲۰۱۰
-۱,۲۲	-۰,۰۷	۱,۹۷	۰,۴۹	۲۰۰۸-۱۹۶۱	پاکستان	جمیل و احمد، ۲۰۱۱
-۰,۰۸	-۰,۲۹	۰,۱۹	۴,۴۵	۲۰۱۱-۱۹۷۰	یونان	پولمیس و داگوماس، ۲۰۱۳
	-۰,۱۲		۰,۴۷	۲۰۰۷-۲۰۰۰	چین	سان و لین، ۲۰۱۳
-۰,۹۴		۱,۴۲		۲۰۱۳-۱۹۷۸	مالزی	ایوی یاپ و بخت، ۲۰۱۵
۰,۷۱		۰,۳۸		۲۰۲۰-۱۹۸۰	مالزی	اوتمان و حریری، ۲۰۲۱

۲-۲- تکنیک‌های مدل‌سازی تقاضای برق

در ادبیات علمی، طبقه‌بندی‌های متنوعی برای تکنیک‌های مدل‌سازی تقاضای انرژی وجود دارد. ورویب و همکاران[1] (۲۰۲۱)، به بررسی سیستماتیک ۴۱۹ مقاله درباره مدل‌سازی تقاضای انرژی که بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ منتشر شده‌اند، پرداخته‌اند. هدف از این بررسی، ارائه یک نمای کلی و جامع از ادبیات مورد بررسی و طبقه‌بندی تکنیک‌های مدل‌سازی تقاضای انرژی بوده است. برخلاف ادبیات تجربی موجود، این مطالعه تمامی جنبه‌های مدل‌های تقاضای انرژی از جمله تکنیک‌ها، دقت پیش‌بینی،

1. Verwiebe and etal

ورودی‌ها، حامل‌های انرژی، بخش‌ها، افق زمانی، و دقت مکانی را تحلیل کرده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تکنیک‌های یادگیری ماشین بیشترین استفاده را در میان مقالات دارند. این تکنیک‌ها عمدتاً برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت برق در سطح منطقه‌ای به‌کار رفته‌اند و به‌طور عمده بر داده‌های تاریخی برق تکیه دارند. مدل‌های مهندسی‌محور وابستگی کمتری به داده‌های تاریخی داشته و مصرف وسایل را در بازه‌های زمانی طولانی‌تر پوشش داده‌اند. تکنیک‌های فرا ابتکاری و مدل‌های عدم قطعیت معمولاً در مدل‌های ترکیبی استفاده شده‌اند. تکنیک‌های آماری نیز به‌طور گسترده برای مدل‌سازی تقاضای انرژی استفاده شده‌اند و اغلب به‌عنوان معیار مقایسه برای سایر تکنیک‌ها عمل کرده‌اند. سطح دقت پیش‌بینی، که با معیار خطای میانگین درصد مطلق اندازه‌گیری شده، برای تمامی تکنیک‌ها در سطوح مشابهی قرار دارد. دبناث و مورشد[1] (۲۰۱۸) تکنیک‌های پیش‌بینی برای برنامه‌ریزی عرضه و تقاضای انرژی انرژی را بررسی کرده‌اند. آن‌ها ۴۸۳ مدل از مقالات منتشرشده بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۷ را بررسی کرده و گستره جغرافیایی، بازه‌های زمانی، و معیارهای عملکرد را تحلیل کرده‌اند. ایشان تکنیک‌های مدل‌سازی تقاضا را به چهار دسته آماری، هوش محاسباتی، برنامه‌ریزی ریاضی، و همچنین تکنیک‌های مستقل و ترکیبی تقسیم کرده‌اند. در دسته تکنیک‌های آماری، آن‌ها رگرسیون، تحلیل سری زمانی و مدل‌های خودرگرسیونی با واریانس شرطی ناهمسان را تعریف کرده‌اند. در دسته هوش محاسباتی، تکنیک‌هایی مانند یادگیری ماشین، مدل‌های عدم قطعیت، روش‌های فرا ابتکاری و روش‌های مبتنی بر خبره ذکر شده‌اند. هونگ و فان[2] (۲۰۱۶)، تکنیک‌ها را به دو دسته کلی آماری و هوش مصنوعی تقسیم کرده‌اند. دسته آماری شامل رگرسیون چندگانه خطی و تکنیک‌های سری زمانی است، در حالی که دسته هوش مصنوعی شامل تکنیک‌هایی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، رگرسیون فازی، ماشین‌های بردار پشتیبان و ماشین‌های گرادیان تقویتی است. وی و همکاران[3] (۲۰۱۹) تکنیک‌ها را به دو دسته تکنیک‌های مرسوم (مانندمدل‌های سری زمانی، رگرسیون و مدل‌های خاکستری) و تکنیک‌های هوش مصنوعی (مانند شبکه‌های عصبی و ماشین‌های بردار

1. Debnath and Mourshed
2. Hong and Fon
3. Wei and etal

پشتیبان) تقسیم کرده‌اند. کوستر و همکاران[1] (۲۰۱۷) مروری بر تکنیک‌های پیش بینی برق کرده‌اند. ۴۱ مقاله در خصوص تکنیک‌های به‌کار رفته، داده‌های ورودی، رویه‌های پیش‌پردازش، گستره جغرافیایی، وضوح زمانی، و افق پیش‌بینی بررسی کرده‌اند. دسته‌هایی مانند مدل‌های سری زمانی، مدل‌های رگرسیون، شبکه‌های عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و تکنیک‌های پایین‌به‌بالا را بررسی کرده‌اند. ریوا و همکاران[2] (۲۰۱۸) مطالعه‌ای بر ۱۳۰ مقاله مرورشده در زمینه برنامه‌ریزی انرژی بلندمدت روستایی انجام داده‌اند که بخش‌های برق، نفت، و گرمایش را در دو سوی تقاضا و عرضه پوشش می‌دهد. مقالات بررسی‌شده بر اساس پوشش مکانی، افق زمانی، حامل انرژی، مدل‌های ریاضی، و استفاده انرژی طبقه‌بندی شده‌اند.

در روش‌شناسی مدل‌های تقاضای انرژی نیاز به پاسخ به یک پرسش کلیدی است و آن این است که باید کدام یک از مدل‌ها برای استخراج کشش‌های قیمت و درآمدی تقاضا با توجه به اهداف پژوهش‌ها انتخاب شوند. در پاسخ به این پرسش، دو رویکرد برای مدل‌سازی تقاضای انرژی در ادبیات مطرح شده است. گروه اول شامل سیستم معادلات همزمان است که به شدت به انواع فرم‌های تبعی انعطاف پذیر؛ به ویژه ترانسلوگ وابسته است و از آنها به عنوان سهم مخارج یاد می‌شود. گروه دوم، رویکرد تک معادله‌ای است که به اصطلاح تک معادله تقاضای واقعی نامیده می‌شود (هال[3]، ۱۹۸۶). پژوهش‌های بسیاری در ادبیات اقتصادی وجود دارد که از هر دو رویکرد برای مدل‌سازی تقاضای انرژی استفاده کرده‌اند. به عنوان نمونه برای رویکرد تک معادله‌ای می‌توان به آلتینی و یالتا[4] (۲۰۱۶)، داگر[5] (۲۰۱۲)، لیدله و هانتینگتون[6] (۲۰۲۰) اشاره کرد. در رویکرد سیستمی هم می‌توان به کارهای ما و استرن (۲۰۱۶)، هی و لین (۲۰۱۹)، لیو و همکاران (۲۰۱۸)، بولوک و کاچ (۲۰۱۰) اشاره کرد. ولی هر یک از این روش‌ها با کاستی‌ها و مزایایی مواجه‌اند. خیابانی و توسلی (۱۳۹۹)، در مقاله‌ای به بررسی مدل‌سازی تقاضای انرژی از منظر روش‌شناسی و برآورد پرداخته‌اند. مقاله تمرکز

1. Kuster and etal
2. Riva
3. Hall
4. Altinay and Yalta
5. Dagher
6. Liddle and Huntington

خود را بر دو رویکرد اصلی مدل‌های تک معادله‌ای و مدل‌های سیستمی در این حوزه قرار داده است. مدل‌های تک‌معادله‌ای به دلیل سادگی در برآورد پارامترها رایج است اما با مشکلاتی چون درون‌زایی، بی‌ثباتی پارامترها و فقدان پایه نظری قوی مواجه است. لذا این محدودیت‌ها باعث می‌شوند تفسیر اقتصادی کشش‌های قیمتی و متقاطع دقیق نباشد. مدل‌های سیستمی تقاضا بر پایه نظریه اقتصاد خرد بنا شده و امکان استخراج کشش‌های قیمتی خودی و متقاطع و جانشینی بین حامل‌های انرژی را فراهم می‌کند. با این حال، حساسیت بالایی به انتخاب فرم تابعی دارد و ممکن است نتایج متغیری ارائه دهد. مطالعه ویژگی‌ها و محدودیت‌های دو فرم اصلی در مدل‌های سیستمی، ترانسلوگ و لاجیت خطی، نشان می‌دهد که مدل لاجیت خطی با شرایط منظم‌بودن نظریه اقتصادی سازگاری بیشتری دارد و برآوردهای دقیق‌تری ارائه می‌کند. رویکرد سیستمی امکان بررسی تعاملات بین حامل‌های انرژی و محاسبه کشش‌های مختلف را فراهم می‌کند. رویکرد تک‌معادله‌ای به دلیل سادگی برای بررسی رفتار غیرقیمتی مصرف مناسب است اما دقت کمتری در تحلیل‌های جانشینی دارد.

۳- تصریح تجربی تابع تقاضای برق

در ادبیات اقتصاد خرد چهار رویکرد برای استخراج تابع تقاضای مصرف کننده معرفی شده است. رویکرد اول حداکثرسازی تابع مطلوبیت مستقیم با توجه به محدودیت بودجه است. در این روش بر اساس شرایط بهینگی مرتبه اول توابع تقاضا برای کالاها و خدمات استخراج می‌شود. رویکرد دوم استخراج تابع تقاضا، استفاده از قضیه روی[1] است. این روش مبتنی بر تابع مطلوبیت غیرمستقیم است. رویکرد سوم استفاده از لم شفارد می‌باشد که مبتنی بر تابع مخارج مصرف کننده است. در این روش تابع مخارج مصرف کننده با توجه به سطح معینی از مطلوبیت به حداقل می‌رسد. رویکرد چهارم استفاده از رهیافت دیفرانسیلی است. در این روش سهم کالا و خدمات از مخارج مصرفی کل مصرف کننده به جای مقدار تقاضای کالا و خدمات در نظر گرفته است.

در این مقاله از رویکرد مدل‌سازی آماری تک معادله‌ای و روش حداکثرسازی تابع مطلوبیت مستقیم نسبت به محدودیت بودجه استفاده می‌شود. برق مورد استفاده در

1. Roy's Lemma

بخش خانگی خودش جزئی از حامل‌های انرژی است که توسط مصرف‌کنندگان نهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد و حامل‌های انرژی خود بخشی از کالاها و خدماتی است که در سبد مصرفی خانوار قرار دارد. بنابراین اگر کلیه کالاهایی که مصرف‌کنندگان در تابع مطلوبیت خود قرار می‌دهند به دو بخش کالاهای انرژی و کالاهای غیرانرژی تقسیم شود؛ مطابق بحث ویمن – جونز[1] (۱۹۸۶)، تابع تقاضای برق را می‌توان از طریق یک فرایند دو مرحله‌ای به دست آورد به گونه‌ای که مصرف کننده در هر مرحله بودجه خود را به بهترین نحو بین کالاهای مختلف تخصیص می‌دهد (احمدیان و همکاران[2]، ۲۰۰۷). در مرحله اول مصرف کننده مخارج خود را بین کالاهای انرژی (q_e) و غیرانرژی (q_{ne}) تخصیص می‌دهد. در این صورت تابع مطلوبیت برای مصرف کننده به صورت زیر خواهد بود.

$$u_1 = u_1(q_e, q_{ne}) \qquad (۱)$$

قید بودجه مصرف کننده با توجه به قیمت کالاهای انرژی و غیرانرژی به صورت زیر است:

$$y = p_e q_e + p_{ne} q_{ne} \qquad (۲)$$

با حداکثرسازی تابع مطلوبیت (۱) نسبت به قید بودجه (۲) می‌توان تابع تقاضای کالاهای انرژی و غیر انرژی را به صورت زیر استخراج کرد:

$$\begin{aligned} q_e^* &= q_e^*(p_e, p_{ne}, y) \\ q_{ne}^* &= q_{ne}^*(p_e, p_{ne}, y) \end{aligned} \qquad (۳)$$

حاصلضرب میزان تقاضای انرژی در قیمت آن $\left(y_e = p_e q_e^*\right)$ مخارج مصرفی تخصیص یافته توسط مصرف کننده برای کالای انرژی را نشان می‌دهد. پس از مشخص شدن مخارج مصرفی برای کالاهای انرژی در مرحله اول، این مخارج مصرفی در مرحله دوم فرآیند تخصیص به انواع حامل‌های انرژی اختصاص داده می‌شود. حامل‌های انرژی در حالت کلی به چهار گروه اصلی فرآورده‌های نفتی، گازطبیعی، برق و زغال سنگ

1. Weyman - Jones
2. Ahmadian and ethal, 2007

تقسیم می‌شوند. با توجه به هدف تحقیق به صورت دو گروه برق و سایر حامل‌های انرژی در نظر گرفته می‌شود. که به ترتیب با نماد $(elec)$ و (oe) نشان داده می‌شوند. اگر مقادیر مصرفی برق و سایر حامل‌های انرژی توسط مصرف کننده به ترتیب با (q_{elec})، (q_{oe}) نشان داده شود در این صورت تابع مطلوبیت به صورت زیر خواهد بود:

$$u_2 = u_2(q_{elec}, q_{oe}) \qquad (۴)$$

محدودیت درآمدی مصرف کننده در این حالت y_e است. اگر قیمت حامل‌های انرژی مذکور را به ترتیب با (p_{elec}) و (p_{oe}) نشان داده شوند در این صورت محدودیت درآمدی به صورت زیر خواهد بود:

$$y_e = p_{elec}q_{elec} + p_{oe}q_{oe} \qquad (۵)$$

با حداکثرسازی تابع مطلوبیت (۴) نسبت به قید (۵) می‌توان توابع تقاضای برق و سایر حامل‌های انرژی به صورت زیر استخراج کرد:

$$\begin{aligned} q^*_{elec} &= q^*_{elec}(p_{elec}, p_{oe}, y_e) \\ q^*_{oe} &= q^*_{oe}(p_{pet}, p_{oe}, y_e) \end{aligned} \qquad (۶)$$

با فرض توابع مطلوبیت به شکل $\left(u_1 = q_e^{\alpha_1} q_{ne}^{\alpha_2}\right)$، $\left(u_2 = \exp(q_{elec}^{\gamma_1} q_{oe}^{\gamma_2})\right)$ باشد در این صورت توابع تقاضای استخراج شده در رابطه (۷) به صورت زیر خواهند بود (موناسینگه و شرام[1]، ۱۹۹۳):

$$\begin{aligned} q_{elec} &= k\, p_{elec}^{\delta_1}\, p_{oe}^{\delta_2}\, y^{\delta_3} \\ q_{oe} &= h\, p_{elec}^{\phi_1}\, p_{oe}^{\phi_2}\, y^{\phi_3} \end{aligned} \qquad (۷)$$

که در آن $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \phi_1, \phi_2, \phi_3, h, k$ پارامترهایی هستند که به پارامترهای α, γ, β در توابع مطلوبیت فرضی فوق‌الذکر بستگی دارند. پارامترهای δ_1, ϕ_2 به

1. Munasinghe and Schramm

ترتیب بیانگر کشش خودی قیمتی تقاضای برق و سایر حامل‌های انرژی در بخش خانگی هستند. با گرفتن لگاریتم از طرفین و ساده کردن آن تابع تقاضای برق در بخش خانگی به شکل زیر خواهد بود:

$$\ln q_{elec} = \ln k + \delta_1 \ln p_{elec} + \delta_2 \ln p_{oe} + \delta_3 \ln y \qquad (۸)$$

یک مدل هیچگاه قادر به توصیف دقیق وقایع به صورتی که در جهان واقع است، نیست. اصل قلت متغیرهای توضیحی حکم می‌کند که برای توصیف واقعیت‌ها نباید از مدل‌های پیچیده‌ای که فاقد ارزش علمی هستند، استفاده کرد. از طرف دیگر، لازم است به منظور اجتناب از هر نوع خطای تصریح، متغیرهای کلیدی و اثرگذار در مدل وارد شوند. بر اساس ادبیات نظری مرور شده و رابطه (۸) که از مبانی نظری مصرف‌کننده استخراج شده است، از جمله متغیرهای اصلی تاثیرگذار بر تقاضای برق می‌توان به قیمت برق، قیمت سایر حامل‌های انرژی و مخارج مصرف کننده، تعداد مشترکین و شرایط آب و هوایی است.

علاوه بر متغیرهای مذکور عوامل دیگری از قبیل کارایی فنی، ترجیحات استفاده کنندگان و عوامل غیراقتصادی نیز بر میزان تقاضای برق اثر گذار هستند. نوآوری این مقاله هم در وارد کردن این نوع متغیرها در مدل تقاضای برق است تا از این طریق از اریب‌دار شدن مهمترین مولفه‌های تابع تقاضا یعنی کشش‌ها اجتناب شود. آثار این عوامل ممکن است در طول زمان دارای روند معینی نباشند؛ لذا عدم مدل‌سازی صحیح آنها می‌تواند منجر به اریب‌دار شدن نتایج شود. بنابراین اینکه اثرات فوق چگونه در مدل لحاظ شوند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (احمدیان، چیت نیس و هانت[1]، ۲۰۰۷).

کارایی فنی یا به عبارتی پیشرفت تکنولوژی یکی از عواملی است که همواره تابع تقاضا را تحت تاثیر قرار می‌دهد. تقاضای برق یک نوع تقاضای مشتق شده است. به این معنی که برق برای استفاده در تجهیزات الکتریکی در بخش خانگی تقاضا می‌شود و به تنهایی مصرف نمی‌شود. بنابراین میزان برق مصرفی بستگی به سطح تکنولوژی لوازم الکتریکی دارد. افزایش کارایی وسایل برقی در اثر پیشرفت‌های فنی در شرایط ثبات سایر عوامل، منجر به کاهش مصرف برق خواهد شد. نه تنها پیشرفت‌های فنی بلکه

1. Ahmadian, chitnis and hunt

عوامل برونزای دیگری نظیر ترجیحات استفاده‌کنندگان و عوامل غیراقتصادی (عوامل جمعیتی، اجتماعی و جغرافیایی) می‌توانند به طور مثبت یا منفی بر تقاضا تاثیر گذار باشند.

تغییر در کارایی از طریق توسعه تکنولوژی یکی از عوامل مهم تعیین کننده روند در متغیرهای اقتصادی است. تکنولوژی در حقیقت نوع مشخصی از دانش مرتبط با فعالیت‌های انسان است. بخشی از این دانش در ماشین‌آلات و تجهیزات و بخشی در مردم، ساختارهای سازمانی و الگوهای رفتاری نهفته است. از بخش اول معمولاً به عنوان تکنولوژی متبلور و از بخش دوم به عنوان تکنولوژی غیر متبلور یاد می‌شود. پیشرفت تکنولوژی متبلور زمانی رخ می‌دهد که ماشین آلات و تجهیزات فرسوده با ماشین آلات و تجهیزات جدیدتر جایگزین شود، زیرا تکنولوژی در ماشین آلات و تجهیزات جدیدتر نهفته است. لذا این مورد نیاز به تغییر ساختار تولید و در نتیجه سرمایه گذاری جدید دارد. در حالت پیشرفت تکنولوژی غیر متبلور نیازی به جایگزینی ماشین آلات و تجهیزات و در نتیجه تغییر سرمایه موجود نیست بلکه این مورد در دانش مصرف‌کننده و رفتار مصرفی آنها نهفته است. منظور از دانش در این حالت استفاده کارا از منابع موجود است (چیت نیس، ۱۳۸۴).[۱] لازم به ذکر است که وقتی گفته می‌شود تغییرات تکنیکی (از هر دو نوع) اتفاق افتاده است دارای دو بخش برونزا و درونزا است. بخشی که به صورت برونزا است در طول زمان به طور مستقل صورت می‌گیرد و بخش درونزای آن در اثر تغییراتی است که در سایر عوامل رخ می‌دهند. به عنوان مثال تغییرات تکنیکی که در اثر افزایش قیمت برق در تجهیزات انرژی بر بوجود می‌آید. با توجه به اینکه جزء درونزای تغییرات تکنیکی در طول زمان الزاماً با نرخ ثابتی صورت نمی گیرد لذا مدل‌سازی این جزء از تغییرات تکنیکی به صورت تابع خطی از زمان روش نامناسبی خواهد بود. برخلاف جزء درونزا می‌توان پیشرفت تکنیکی برونزا را به صورت تابع خطی ساده از زمان در نظر گرفت. علاوه بر توسعه تکنولوژی، ترجیحات مصرف‌کنندگان نیز یکی دیگر از عوامل تاثیرگذار بر میزان تقاضای برق است. تغییر در عوامل غیراقتصادی نظیر عوامل جمعیتی، اجتماعی و جغرافیایی می‌تواند مدل‌سازی تقاضا را تحت تاثیر قرار

۱. جهت مطالعه بیشتر به منبع چیت نیس، ۱۳۸۴ مراجعه شود.

دهد. به عنوان نمونه ساختار جمعیتی، ساختار سنی، تراکم جمعیت،میزان تحصیلات افراد خانوار... همگی می‌توانند بر تقاضای برق در بخش خانگی موثر باشند.

هاروی و همکارانش[1] (۱۹۸۹)، جولیوس[2] (۲۰۰۹)، برای لحاظ کردن این عوامل مدل‌های سری زمانی ساختاری را توسعه دادند. در این روش هر سری زمانی ترکیبی از یک جزء روند و یک جزء نامنظم در نظر گرفته شده است. مدل مورد استفاده در این مطالعه یک مدل سری زمانی ساختاری است که به روند غیر قابل مشاهده اجازه می‌دهد در طول زمان به طور تصادفی تغییر داشته باشد. در حالت کلی این مدل‌ها را می‌توان به صورت زیر نشان داده می‌شوند:

$$Q_t = \mu_t + Z_t'\delta + \varepsilon_t \rightarrow \begin{cases} (1) \rightarrow \mu_t = \mu_{t-1} + \beta_{t-1} + \eta_t \\ (2) \rightarrow \beta_t = \beta_{t-1} + \xi_t \end{cases} \qquad (۹)$$

که در آن Q_t متغیر وابسته، μ_t جزء روند، Z_t بردار متغیرهای توضیحی، δ پارامترهای نامعلوم و ε_t جزء تصادفی مدل است که فرض می‌شود که دارای خاصیت وایت نویز $\varepsilon_t \approx NID(0,\sigma_\varepsilon^2)$ است. همچنین فرض بر این است که جزء روند دارای فرآیند تصادفی بود که در ردر قالب معادلات (۱) و (۲) در رابطه (۹) نشان داده شده است. ξ_t, η_t دارای خاصیت وایت نویز ($\eta_t \approx NID(0,\sigma_\eta^2)$ و $\xi_t \approx NID(0,\sigma_\xi^2)$) هستند. این معادلات به ترتیب، بیانگر سطح و شیب روند هستند. فرآیند فوق را به این صورت می‌توان توصیف کرد که روند در یک دوره برابر با روند در یک دوره قبل به علاوه جزء رشد و برخی عوامل غیرقابل پیش بینی است که جزء رشد همان شیب است که در طول زمان متغیر است. واریانس‌های $\sigma_\eta^2, \sigma_\xi^2$ ابر پارامتر[3] نامیده می‌شوند که نقش بسیار مهمی در تعیین ماهیت روند دارند. حالت‌های ممکن برای فرآیند تصادفی روند در جدول (۲) نشان داده شده است.

1. Harvey & etal, 1989
2. Julles
3. Hyper parameter

جدول ۲. حالت‌های متختلف فرآیند تصادفی روند

حالت	بدون سطح و $\left(\sigma_\eta^2 = 0\right)$	سطح ثابت و $\left(\sigma_\eta^2 = 0\right)$	سطح تصادفی و $\left(\sigma_\eta^2 \neq 0\right)$
بدون شیب و $\left(\sigma_\xi^2 = 0\right)$	(۱): رگرسیون متعارف بدون جزء ثابت و روند زمانی[۱]	(۲): رگرسیون متعارف با جزء ثابت و بدون روند زمانی[۲]	(۳): مدل سطح محلی (گام تصافی همراه با نویز)[۳]
شیب ثابت و $\left(\sigma_\xi^2 = 0\right)$	(۴): رگرسیون متعارف بدون جزء ثابت و با روند زمانی	(۵): رگرسیون متعارف با جزء ثابت و روند زمانی[۴]	(۶): مدل سطح محلی با جزء رانش[۵]
شیب تصادفی و $\left(\sigma_\xi^2 \neq 0\right)$	(۷): رگرسیون متعارف بدون جزء ثابت و با روند تصادفی	(۸): مدل روند هموار[۶]	(۹): مدل روند محلی[۷]

منبع: هانت، جاج و نینومیا، ۲۰۰۳

بررسی ادبیات تجربی مدل‌های سری زمانی ساختاری نشان می‌دهد که افرادی از جمله هاروی و کوپمن[۸] (۱۹۹۳)، هاروی و شفارد[۹] (۱۹۹۳)، هاروی، کوپمن و شفارد[۱۰] (۲۰۰۵)، هانت و نینومیا[۱۱] (۲۰۰۳)، هانت، جاج و نینومیا[۱۲] (۲۰۰۰، ۲۰۰۳)، دیمیتروپولوس، هانت و جاج[۱۳] (۲۰۰۵)، آماراویکرما و هانت[۱۴] (۲۰۰۸)، برودستاک و هانت[۱۵] (۲۰۱۰)، آگنولوچی[۱۶] (۲۰۱۰)، دلاور و هانت (۲۰۱۱)، سلیمان سعد[۱۷] (۲۰۱۱)، چیت نیس و هانت[۱۸] (۲۰۱۱، ۲۰۱۲)، کریمی و همکاران[۱۹] (۲۰۲۴) و در داخل کشور

1. Conventional regression but with no constant and no time trend
2. Conventional regression with a constant but no time trend
3. Local Level Model (random walk plus noise)
4. Conventional regression with a constant and a time trend
5. Local Level Model with Drift
6. Smooth Trend Model
7. Local Trend Model
8. Harvey and Koopman
9. Harveyand Shephard
10. Harvey, Koopman and Shephard
11. Hunt and Ninomiya
12. Hunt, Judge and Ninomiya
13. Dimitropoulos, Hunt and Judge
14. Amarawickrama and Hunt,
15. Broadstock, and Hun
16. Agnolucci
17. Sa'ad, Suleiman
18. Chitnis and Hunt
19. Karimi and etal

موسوی، پدرام و صداقت (۲۰۱۴)، چیت نیس (۱۳۸۴)، شاکری و همکاران (۱۳۸۹)، میبدی امامی (۱۳۸۹)، امیرمعینی (۱۳۹۴)، لطفی پور، فلاحی و ناظمی معزآبادی (۱۳۹۴) از مدل‌های سری زمانی ساختاری برای مدل سازی تقاضای انرژی استفاده کرده‌اند.

با توجه به موارد فوق چنانچه در معادله (۸) روند ضمنی با ماهیت تصادفی، پویایی‌های بین تقاضای برق و سایر متغیرهای توضیحی و جزء اخلال تصادفی را اضافه کنیم مدل سری زمانی ساختاری تقاضای برق به صورت زیر استخراج خواهد شد:

$$A(L)Q_t^{elec} = \mu_t + B(L)p_t^{elec} + C(L)p_t^{oe} + D(L)y_t + E(L)\mathrm{sub}_t^{elec} + \varepsilon_t$$

$$\mu_t = \mu_{t-1} + \beta_{t-1} + \eta_t \rightarrow \eta_t \approx NID(0,\sigma_\eta^2) \qquad (a)$$

$$\beta_t = \beta_{t-1} + \xi_t \rightarrow \qquad \xi_t \approx NID(0,\sigma_\xi^2) \qquad (b)$$

$$\left(\mathrm{A(L)} = 1 - a_1 L - ..... - a_{p_1} L^{p_1}\right) \ , \ \left(B(L) = b_0 + b_1 L + ... + b_{p_2} L^{p_2}\right) \qquad (۱۰)$$

$$\left(C(L) = c_0 + c_1 L + ... + c_{p_3} L^{p_3}\right) \ , \ \left(D(L) = d_0 + d_1 L + ... + d_{p_4} L^{p_4}\right)$$

$$E(L) = e_0 + e_1 L + ... + e_{p_5} L^{p_5}$$

که در آن Q_t^{elec} مقدار تقاضای برق در بخش خانگی، p_t^{elec} قیمت واقعی برق در بخش خانگی، p_t^{oe} قیمت واقعی سایر حامل‌های انرژی، y_t مخارج مصرف کننده و sub_t^{elec} تعداد مشترکین برق خانگی است. μ_t نشان دهنده روند ضمنی که برای لحاظ اثرات متغیرهای غیرقابل مشاهده اثر گذار بر تقاضای برق خانگی وارد مدل شده است. دارای فرآیند تصادفی بوده و الگوی حرکتی آن بر اساس معادلات اجزاء (a,b) است. اجزاء A(L)، B(L)، C(L)، D(L) و E(L) بیانگر چند جمله‌ای عملگرهای وقفه هستند که نشان دهنده پویایی بین تقاضای برق و هریک از متغیرهای توضیحی است. برای به دست آورد کشش‌های قیمتی و درآمدی تقاضا متغیرها به صورت لگاریتمی وارد مدل شده‌اند. لذا پارامترهای برآورد شده در حکم کشش‌های کوتاه مدت و بلندمدت قیمتی و درآمدی تقاضای برق خواهد بود.

۴- برآورد و تفسیر نتایج

۴-۱- روش برآورد تابع تقاضا

مدل سری زمانی ساختاری ارائه شده در معادله رگرسیونی (۱۰) به دلیل حضور روند ضمنی مدلی با جزء غیر قابل مشاهده است. مدل‌های با اجزاء غیر قابل مشاهده را نمی‌توان از طریق روش‌های معمول مانند حداقل مربعات معمولی برآورد کرد. با وجود این اگر در معادله (۱۰) اجزاء (a,b)در شکل فضا - حالت[1] و در قالب دو معادله وضعیت[2] و مشاهده[3] تنظیم شوند؛ با استفاده از الگوریتم کالمن فیلتر می‌تواند یک دسته معادلات بازگشتی تولید کند که پارامترهای نامعلوم از طریق روش حداکثر راستنمایی برآورد شوند. در شکل فضا - حالت متغیر غیر قابل مشاهده روند به عنوان متغیر وضعیت[4] تلقی می‌شود. معادله وضعیت برای مدل رگرسیونی (۱۰) به صورت زیر خواهد بود:

$$\alpha_t = \begin{bmatrix} \mu_t \\ \beta_t \\ \delta_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mu_{t-1} \\ \beta_{t-1} \\ \delta_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \eta_t \\ \xi_t \\ 0 \end{bmatrix} \qquad (۱۱)$$

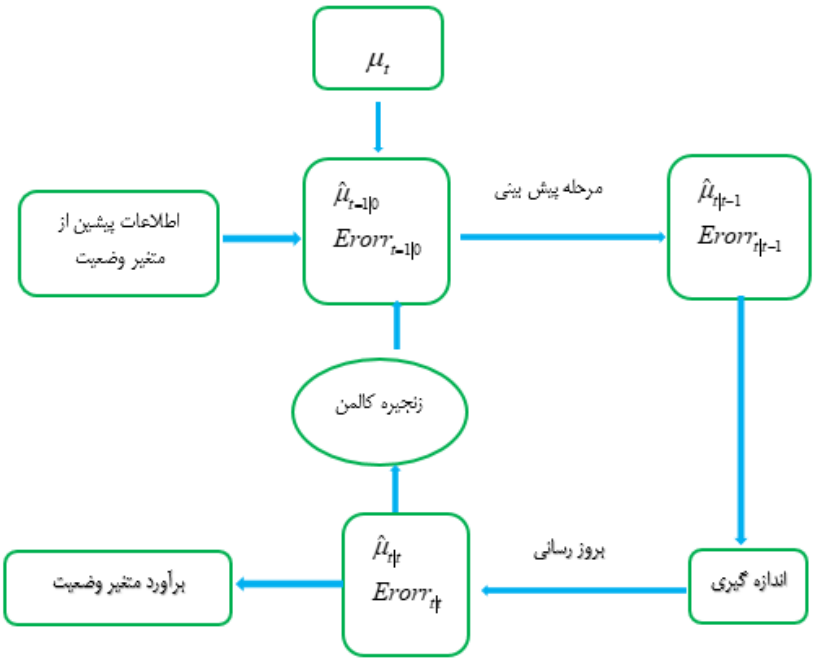
که در آن α_t بیانگر بردار وضعیت است. معادله مشاهده نیز به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Q_t = \begin{bmatrix} 1 & 0 & Z_t' \end{bmatrix} \alpha_t + \varepsilon_t \qquad (۱۲)$$

که در آن (Z_t') بیانگر متغیرهای توضیحی و (δ_t) بردار پارامترهای مربوط به متغیرهای توضیحی هستند. نقش معادله مشاهده این است که بردار وضعیت غیرقابل مشاهده (α_t) را به مقادیر عددی قابل مشاهده(Q_t) مرتبط کند. معادله وضعیت پویایی بردار وضعیت را در طول زمان نشان می‌دهد. ترکیب معادله مشاهده و وضعیت

1. State space
2. Transaction equation
3. Measurement equation
4. State variable

متغیرهای غیرقابل مشاهده را با استفاده از متغیرهای قابل مشاهده برآورد می‌نماید. همه اجزاء اخلال مستقل و متقابلاً ناهمبسته هستند. ابرپارامترها توسط معادلات بازگشتی کالمن فیلتر و روش حداکثر راستنمایی برآورد می‌شوند و با در دست داشتن مقادیر این پارامترها برآوردهای مناسب (β_T, μ_T) توسط کالمن فیلتر برآورد می‌شوند[۱]. (β_T) و (μ_T) آخرین برآوردهای شیب و سطح روند در هر دوره را نشان می‌دهند. برآوردهای بهینه روند در کل دوره نمونه توسط الگوریتم هموارکننده کالمن فیلتر محاسبه می‌شوند، که به وسیله آن تحول روند می‌تواند تعقیب شود. در شکل (۱) نحوه اجرای الگوریتم فیلتر کالمن نشان داده شده است.



شکل ۱. فرآیند اجرای الگوریتم کالمن فیلتر

با توجه به حالات ارائه شده در جدول (۱) به منظور انتخاب مناسبترین حالت از طریق آماره نسبت راستنمایی (LR) به آزمون فرضیه تصادفی بودن هر دو جزء روند در مقابل حداقل ثابت بودن یکی از آنها اقدام می‌شود. آماره نسبت راستنمایی از طریق

۱. جهت مطالعه بیشتر به منابع Harvey (1989) - Harvey and Koopman, (1992) -Durbin and Koopman (1992) رجوع گردد.

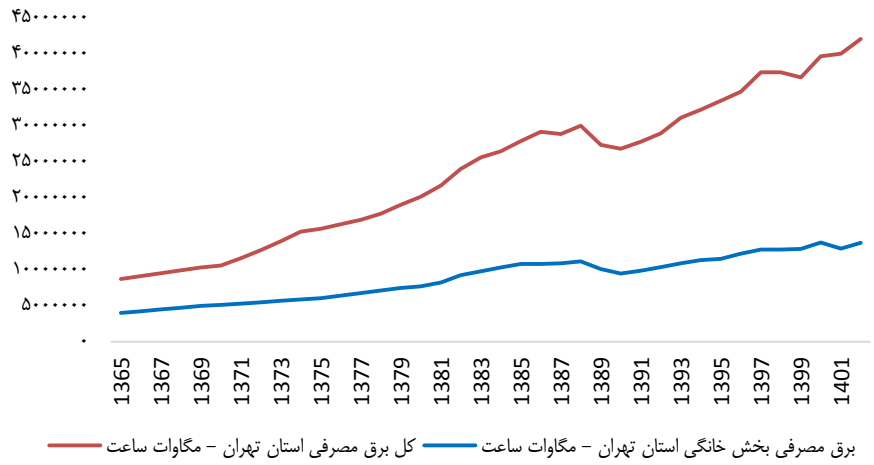
رابطه زیر به دست می‌آید. که در آن صورت کسر مقدار حداکثر راستنمایی حاصل از برآورد تابع تقاضایی است که در آن قید لحاظ شده است و مخرج آن مقدار حداکثر راستنمایی در حالت غیر مقید است. با توجه به اینکه معمولاً مقدار حداکثر راستنمایی مقید کمتر از حالت غیر مقید است؛ لذا نسبت کسر کوچکتر از یک خواهد شد. حال اگر قید معتبر باشد (یعنی قید رد نشود) در این صورت نسبت λ به سمت یک متمایل می‌شود و آماره LR به صفر متمایل می‌شود. ولی اگر قید معتبر نباشد نسبت λ به سمت صفر متمایل خواهد شد.

$$LR = -2\ln(\lambda) = -2\ln\left(\frac{L(\hat{\theta}_R)}{L(\hat{\theta}_{UR})}\right) \approx \chi^2(k) \qquad (۱۳)$$

۴-۲- داده‌ها

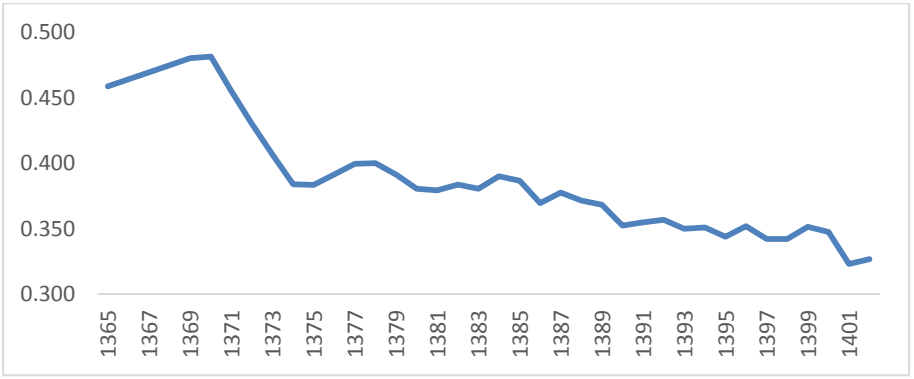
بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن مرکز آمار ایران (۱۳۹۵)، استان تهران دارای ۴۲۸۸۵۶۳ خانوار بوده است که حدود ۹۴٫۵ درصد از این خانوارها در نقاط شهری و ۵٫۵ درصد در نقاط روستایی ساکن بوده‌اند. برآورد جمعیتی مرکز آمار ایران در سال ۱۴۰۳ نشان می‌دهد که جمعیت استان تهران حدود ۱۴٬۴۲۵٬۰۰۰ نفر خواهد بود. با در نظر گرفتن بعد خانوار ۳٫۳ نفر که در این سرشماری گزارش شده است، تعداد خانوارهای استان تهران در سال ۱۴۰۳ به حدود ۴٬۳۷۲٬۷۲۷ خانوار برآورد می‌شود. بخش خانگی در ایران حدود ۳۲ درصد از کل مصرف برق کشور را در سال ۱۴۰۱ به خود اختصاص داده است و این رقم در استان تهران ۳۶٫۸ درصد بوده است؛ لذا به منظور برنامه‌ریزی مدیریت تقاضای شبکه برق، جامعه مورد هدف این مقاله استان تهران قرار گرفته است. داده‌های مورد استفاده در این مقاله شامل؛ تقاضای بخش خانگی برق، قیمت برق مصرفی، قیمت سایر حامل‌های انرژی، مخارج مصرفی خانوار و تعداد مشترکین برق هستند. تمامی آمار اطلاعات مربوط به مرکز آمار ایران از سالنامه آماری استان طی سال‌های مختلف و داده‌های درآمد مخارج خانوار طی سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۴۰۱ جمع آوری شده است. در مورد قیمت سایر حامل‌های انرژی لازم به ذکر است که با توجه به سهم بالای مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی قیمت این حامل به عنوان نماینده قیمت سایر حامل‌های انرژی استفاده شده است. همچنین از قیمت‌های واقعی

برق و گاز طبیعی استفاده شده است. برای واقعی کردن قیمت‌ها از شاخص قیمتی مصرف کننده بر پایه ۱۳۹۵ بانک مرکزی استفاده شده است. در نمودار (۴)، (۵) و (۶) به ترتیب روند کل مصرف برق و مصرف بخش خانگی استان تهران، سهم بخش خانگی از کل برق مصرفی استان تهران و قیمت‌های اسمی و واقعی برق بخش خانگی آورده شده است. مشاهده می‌شود روند مصرف برق در بخش خانگی با شیب ملایم‌تری نسبت به روند کل مصرف برق استان تهران حرکت می‌کند. به این معنی که سهم بخش خانگی از کل مصرف برق استان تهران دارای روند نزولی بوده است. چارک‌های اول، دوم و سوم مصرف برق بخش خانگی نشان می‌دهد که به ترتیب ۲۵ درصد، ۵۰ درصد و ۷۵ درصد از خانوارهای استان تهران میزان برق مصرفی‌شان کمتر از ۵۴۷۱۴۴۷ مگا وات ساعت، ۷۹۴۵۴۱۰ مگاوات ساعت و ۱۰۸۶۲۶۷۰ مگاوات ساعت است. متوسط برق مصرفی بخش خانگی ۸۴۱۷۰۵۱ مگاوات ساعت است. با توجه به اینکه میانه کمتر از میانگین است؛ لذا داده‌های مصرف برق خانگی دارای چولگی به سمت راست است.



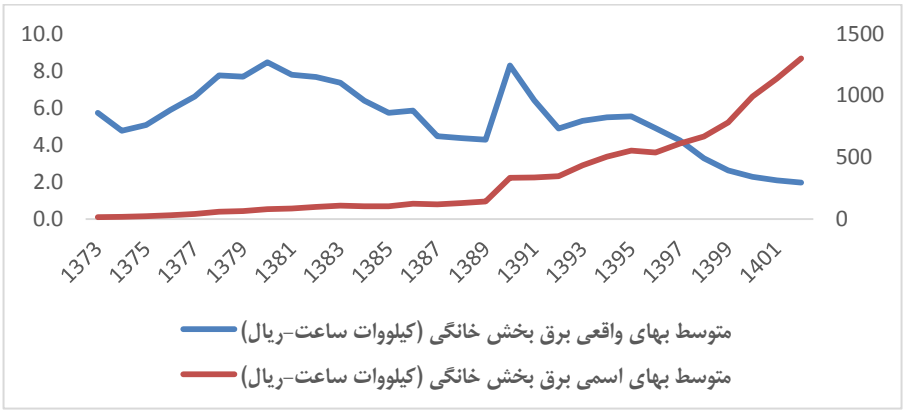
نمودار ۴. روند کل مصرف برق و مصرف بخش خانگی استان تهران (مگاوات ساعت)

منبع: سالنامه آماری استان سال‌های ۱۴۰۲-۱۳۸۰



نمودار ۵. روند سهم مصرف برق در بخش خانگی از کل در استان تهران

منبع: محاسبات تحقیق



نمودار ۶.روند قیمت اسمی و واقعی برق بخش خانگی

منبع: سالنامه آماری استان سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۸۰

۴-۳- بررسی مانایی متغیرهای مدل

به منظور جلوگیری از برآورد رگرسیون کاذب ابتدا مانایی متغیرها بررسی می‌شوند. بر اساس آزمون ریشه واحد با لحاظ شکست ساختاری، همه متغیرها در سطح نامانا بوده ولی پس از یک بار تفاضل‌گیری لگاریتمی مانا می‌شوند. نتایج در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳. آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم یافته با لحاظ شکست ساختاری در عرض از مبدا و شیب

سطح متغیرها			تفاضل مرتبه اول متغیرها		
متغیرها	آماره ADF	سطح احتمال معنی داری	متغیرها	آماره ADF	سطح احتمال معنی داری
$\log(q^{elec})$	-۴,۵۵۲	0.214	$D(\log(q^{elec}))$	-5.425	کمتر از ۰,۰۱
$\log(p^{elec})$	-۳,۲۱۲	0.921	$D(\log(p^{elec}))$	-۷,۶۷۴	کمتر از ۰,۰۱
$\log(p^{ng})$	-۲,۰۶۳	0.548	$D(\log(p^{ng}))$	-۱۴,۲۶۳	کمتر از ۰,۰۱
$\log(y)$	-۲,۰۵۴	0.263	$D(\log(y))$	-۶,۸۱۷	کمتر از ۰,۰۱
$\log(sub^{elec})$	-۱,۷۸۰	0.694	$D(\log(sub^{elec}))$	-۵,۸۱۷	کمتر از ۰,۰۱

منبع:محاسبات محقق

با توجه به اینکه با تفاضل‌گیری، جزء روندی سری‌ها که در بردارنده اطلاعات بلندمدت هستند از بین می‌رود، لذا به تبعیت از یوهانسون یوسیلیوس هم‌انباشتگی بین متغیرها بررسی می‌شود. چنانچه رابطه هم انباشتگی بین متغیرها برقرار باشد؛ در این صورت برآورد مدل با سطح متغیرها منجر به شکل‌گیری نتایج کاذب نخواهد شد. بررسی آزمون هم انباشتگی یوهانسون یوسیلیوس نشان می‌دهد که متغیرهای مدل دارای روابط هم انباشتگی هستند. تعداد بردارهای هم انباشته در حالات مختلف در جدول (۴) گزارش شده است.

جدول ۴.تعداد بردارهای هم انباشتگی بین متغیرهای مدل بر اساس آزمون یوهانسون یوسیلیوس

نبود روند در داده ها		روند خطی در داده ها		روند درجه دوم در داده ها
عدم حضور عرض از مبدا و روند در مدل	حضور عرض از مبدا و عدم حضور روند در مدل	حضور عرض از مبدا و عدم حضور روند در مدل	حضور عرض از مبدا و روند در مدل	حضور عرض از مبدا و روند در مدل
۴	۴	۲	۳	۵

منبع: محاسبات محقق

۴-۴- برآورد تابع تقاضای برق

با توجه به آزمون نسبت راستنمایی و بر اساس حالت۲های مختلف رگرسیون مطابق جدول (۱)، مناسبترین حالت ثابت بودن سطح روند و تصادفی بودن شیب آن یعنی حالت (۸) است. به عبارت دیگر، ماهیت روند ضمنی در تابع تقاضای برق از نوع روند هموار است. بررسی آزمون‌های خوبی برازش مدل نشان می‌دهد که متغیرهای توضیحی ۹۹ درصد از تغییرات تقاضای بخش خانگی را توضیح می‌دهند. همچنین بررسی آزمون‌های تشخیصی نشان می‌دهند که هیچگونه ناهمسانی واریانس، خود همبستگی و خودهمبستگی سریالی در اجزاء باقیمانده‌ها وجود ندارد. به عبارت دیگر اجزاء باقیمانده از هیچ نوع الگوی سیستماتیکی تبعیت نمی‌کند و دارای روند کاملاً تصادفی هستند. با توجه به آماره باون – شنتون[1] نشانه‌ای از غیر نرمال بودن باقیمانده‌ها در مدل وجود ندارد. این آماره ترکیبی از معیارهای کشیدگی و چولگی است و دارای توزیع χ^2 با درجه آزادی دو است. نتایج حاصل از برآورد در جدول (۵) گزارش شده است.

جدول ۵. نتایج برآورد تابع تقاضای برق خانگی استان تهران (ثابت بودن سطح و تصادفی بودن شیب روند)

متغیرهای توضیحی	$\log(q_{t-1}^{elec})$	$\log(p_t^{elec})$	$\log(p_{t-1}^{elec})$	$\log(p_t^{ng})$	$\log(y_t)$	$\log(sub_t^{elec})$
ضرایب	۰,۲۴	-۰,۰۲۹	-۰,۲۷	۰,۲۹	۰,۳۸	۱,۰۴
سطح احتمال معنی‌داری	۰,۰۰۴۵	۰,۰۰۳۵	۰,۰۰۲۷	۰,۰۰۴۵	۰,۰۰۰۱	۰,۰۰۵۵
سطح روند $\mu_{T=1401}$	شیب روند $\beta_{T=1401}$	واریانس سطح σ_η^2	واریانس شیب σ_ξ^2	R^2	$D-W$	LR
۱۳۷۳۱۷۲۹	۲۶۳۳۱۷,۸	۰,۰۰۰۰	$8*10^{-11}$	۰,۹۹۸	۱,۹۸۵	۰,۹۶۷
آزمون نرمالیتی باقیمانده‌های مدل						

1. Bowman - Shenton

باقیمانده‌های مدل تقاضای برق			فرمول محاسباتی آماره باون- شنتون
معیار	آماره χ^2	سطح احتمال	$S=\frac{T\left(\sqrt{b_1}\right)^2}{6}\approx\chi^2(1)$
چولگی	۰,۰۵۳۰	۰,۸۱۷	$K=\frac{T\left(b_2-3\right)^2}{24}\approx\chi^2(1)$
کشیدگی	۰,۷۰۶۹	۰,۴۰۱	$\sqrt{b_1}=\frac{m_3}{\left(m_3\right)^{3/2}}\quad,\quad b_2=\frac{m_4}{\left(m_2\right)^2}$
آماره باون- شنتون	۰,۷۵۹۹	۰,۶۸۴	$N_{B-S}=S+K\approx\chi^2(2)$

منبع: محاسبات محقق

بر اساس جدول (۵) کلیه متغیرهای تاثیرگذار بر تقاضای برق به لحاظ آماری در سطح ۵ درصد کاملاً معنی‌دار هستند. تابع تقاضای برآورد شده ماهیت پویا دارد؛ چرا که مقدار تقاضای برق در دوره گذشته در سمت راست تابع تقاضا ظاهر شده است. لذا پارامترهای برآورد شده ماهیت کوتاه مدت و بلندمدت پیدا می‌کنند. در مدل برآورد شده پارامترها در حکم کشش‌های تقاضای برق (خود قیمتی، قیمتی متقاطع و درآمدی) هستند که به صورت کوتاه مدت و بلندمدت قابل محاسبه هستند. کشش‌های محاسبه شده در جدول (۶) گزارش شده است.

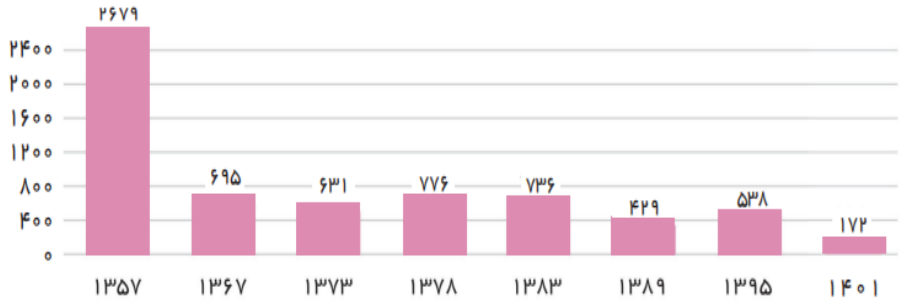
جدول ۶. کشش‌های تقاضای برق بخش خانگی استان تهران

کشش خود قیمتی		کشش قیمتی متقاطع		کشش درآمدی	
کوتاه مدت	بلندمدت $\left(\frac{B(L)}{A(L)}\right)$	کوتاه مدت	بلندمدت $\left(\frac{C(L)}{A(L)}\right)$	کوتاه مدت	بلندمدت $\left(\frac{D(L)}{A(L)}\right)$
-۰,۰۲۹	-۰,۳۹	۰,۲۹	۰,۳۸	۰,۳۸	۰,۵

منبع: محاسبات محقق

کشش خود قیمتی تقاضای برق خانگی در کوتاه مدت برابر (-۰,۰۳) است. به این معنی که اگر قیمت برق خانگی ۱۰۰ درصد افزایش (کاهش) یابد با ثابت بودن سایر شرایط تقاضای آن به طور متوسط به اندازه ۳ درصد کاهش (افزایش) خواهد یافت. لذا برق یک کالای کم کشش است و تغییرات قیمتی تاثیر زیاد در کاهش تقاضای آن

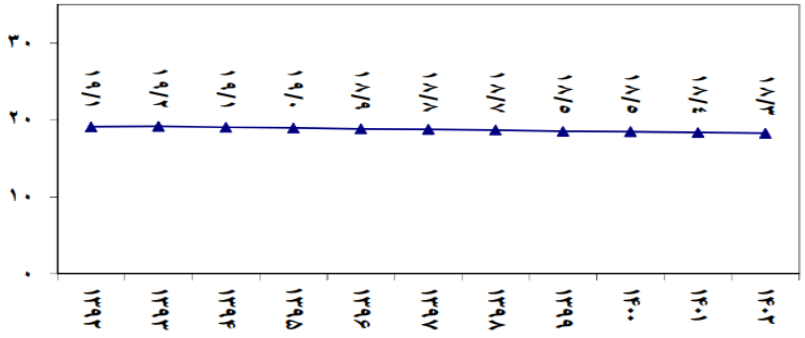
ندارد. در بلندمدت این کشش افزایش یافته و به ۰٫۴- می‌رسد. به این معنی که اگر قیمت واقعی برق ۱۰ درصد افزایش (کاهش) یابد با فرض ثابت بودن سایر عوامل تقاضای برق در بلند مدت به طور متوسط ۴ درصد کاهش (افزایش) خواهد یافت. حتی افق زمانی که یکی از عوامل موثر بر مقدار کشش تقاضا است در خصوص کالای برق تاثیرگذار نیست. این مساله می‌تواند ناشی از جانشین‌های اندکی باشد که برای کالای برق در بخش خانگی وجود دارد. باید به این نکته توجه کرد که حساسیت تقاضا نسبت به تغییرات قیمت زمانی قابل تجزیه و تحلیل است که قیمت از انعطاف‌پذیری لازم برخوردار باشد. قیمت‌گذاری برق در یک فرآیند غیرشفاف اقتصادی و بر اساس چانه زنی بین ذینفعان و گروه‌های مختلف انجام می‌شود. در چنین ساختاری نباید انتظار داشت که تقاضا به تغییرات قیمتی پاسخ دهد؛ زیرا که قیمت نقش اصلی خود را که علامت دهی و تنظیم بازار است، ایفا نمی‌کند. در نمودار (۷) روند متوسط قیمت فروش برق در بخش خانگی نشان داده شده است. شواهد نشان می‌دهد که از قیمت واقعی برق در طول زمان روند کاهشی داشته است که به دلیل تعدیل قیمت برق به نسبت کمتر از افزایش سطح عمومی قیمت‌ها بوده است. همچنین بررسی ساختار قیمت حامل‌های انرژی به طور عام و قیمت برق به طور خاص با توجه به مسائل سیاسی و امنیتی در دهه‌های گذشته حکایت از قیمت گذاری دستوری دارد و این عوامل منجر به کم کشش شدن تقاضای برق خانگی شده است. اگر هدف از تعدیل‌های قیمتی در صنعت برق کاهش مصرف برق برای بهبود ناترازی‌های شکل گرفته در این صنعت باشد به دلیل کم کشش بودن تقاضای آن این امر تحقق نخواهد یافت.



نمودار ۷. روند متوسط قی‌مت فروش برق در بخش خانگی به قی‌مت‌های ثابت ۱۳۹۵

منبع: آمارنامه صنعت برق، توانیر سالهای مختلف

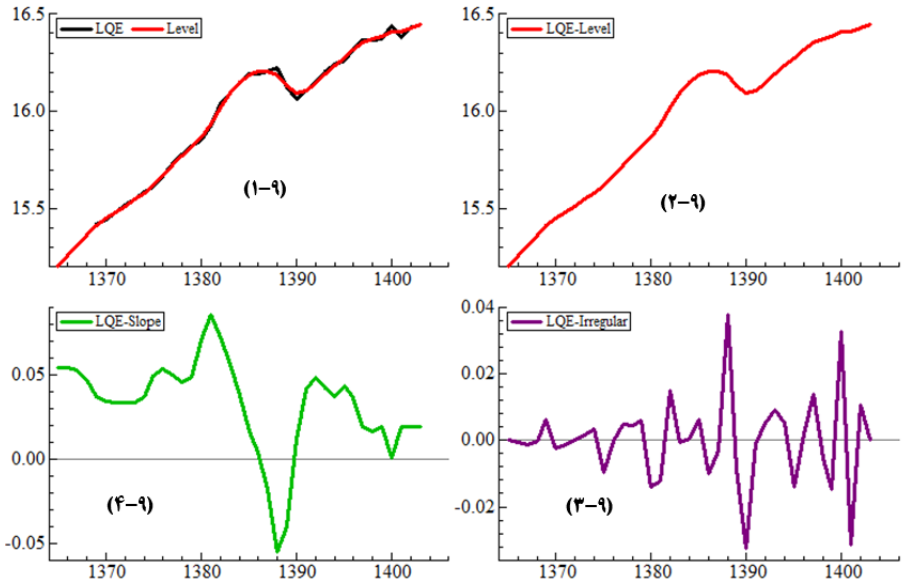
بررسی کشش قیمتی متقاطع تقاضای برق نشان می‌دهد که گاز طبیعی یک کالای جانشین برای برق است؛ چرا که ضریب قیمت واقعی گاز طبیعی مثبت و برابر ۰,۲۹ است. این ضریب بیانگر کشش قیمتی متقاطع تقاضای برق در کوتاه مدت است و نشان می‌دهد که اگر قیمت گاز طبیعی ۱۰ درصد افزایش یابد، تقاضای برق خانگی به اندازه ۲,۹ درصد افزایش خواهد یافت. این کشش در بلند مدت به ۰,۳۸ رسیده است. مشاهده می‌شود که حساسیت تقاضای برق به تغییرات قیمت گاز طبیعی هم کم کشش است. کشش درآمدی تقاضای برق در کوتاه مدت و بلندمدت به ترتیب برابر (۰,۳۸) و (۰,۵) است که حکایت از این دارد که برق یک کالای نرمال ضروری است. اگر درآمد خانوار ۱۰ درصد افزایش (کاهش) یابد با ثبت بودن سایر شرایط تقاضای برق خانگی در کوتاه مدت و بلند مدت به ترتیب ۳,۸ درصد و ۵ درصد افزایش (کاهش) خواهد یافت. کشش تقاضای برق خانگی نسبت به تعداد مشترکین در کوتاه مدت و بلندمدت به ترتیب برابر (۱,۰۴) و (۱,۳۶) است. این نتیجه حاکی از آن است که تقاضای برق نسبت به این مولفه پرکشش است. یکی از دلایلی که کارشناسان صنعت برق برای وجود ناترازی‌های صنعت برق مطرح می‌کنند افزایش تعداد انشعابات در شبکه برق است. بررسی روند سهم مشترکین برق خانگی در استان تهران از کل مشترکین برق در نمودار (۸) نشان می‌دهد که در دهه ۹۰ این سهم از روند کاهشی برخوردار بوده است به طوری که از ۱۹,۱ درصد در سال ۱۳۹۲ به ۱۸,۵ درصد در سال ۱۳۹۹ و ۱۸,۳ درصد در سال ۱۴۰۲ رسیده است. لذا درست است که تقاضای برق نسبت به تعداد مشترکین حساس است ولی دلیل شکل‌گیری ناترازی‌های صنعت برق نمی‌تواند ناشی از این مولفه باشد.



نمودار ۸. روند سهم مشترکین برق خانگی از کل مشترکین برق استان تهران

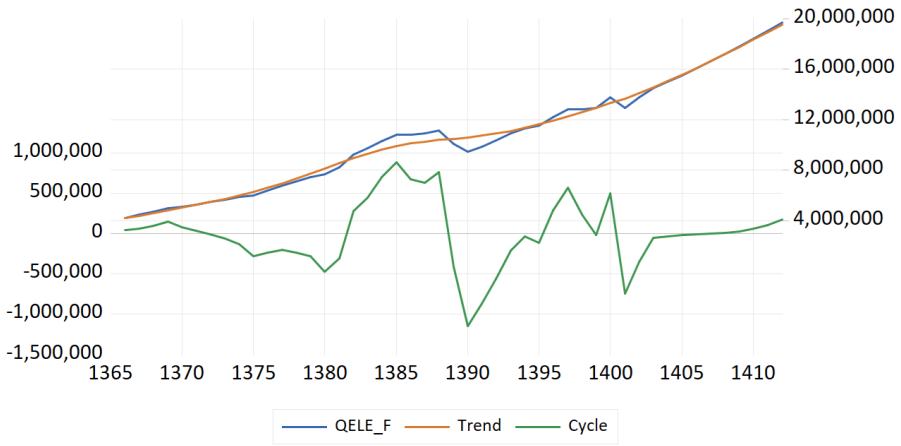
منبع: آمارنامه صنعت برق، توانیر، سال‌های مختلف

یکی دیگر از نتایج به دست آمده برآورد روند ضمنی تقاضای بخش خانگی است که نشان دهنده اثرات عواملی مانند پیشرفت تکنولوژی، ترجیحات مصرف‌کنندگان و عوامل غیر اقتصادی بر تقاضای برق بخش خانگی است. در نمودار (۹) ماهیت و ساختار روند ضمنی نشان داده شده است. نمودار (۹-۲) نشان دهنده سطح روند است که اولاً دارای ماهیت هموار بوده و ثانیاً به صورت غیرخطی است به طوری که طی سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۸۶ رفتار افزایشی داشته از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۰ رفتار کاهشی شده است و مجددا بعد از سال ۱۳۹۰ به رفتار افزایش خود ادامه داده است. مشاهده می‌شود اجرای قانون هدفمند کردن یارانه‌ها از سال ۱۳۸۹ که همراه با اصلاح قیمت حامل‌های انرژی بوده نتوانسته است رفتار مصرفی برق را اصلاح کند و صرفا یک اثر لحظه‌ای یک ساله داشته است. در طول سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۸۶ با فرض ثبات سایر عوامل موثر بر تقاضا منحنی تقاضای برق بخش خانگی به سمت چپ منتقل شده است. ولی طی دوره‌های ۱۳۸۶-۱۳۶۱ و ۱۴۰۱-۱۳۹۰ که روند در حال افزایش بوده با فرض ثابت بودن سایر عوامل منحنی تقاضا به سمت بالا منتقل شده است. پس مشاهده می‌شود چنانچه روند به شکل صحیح مدل‌سازی نشود با توجه به عدم لحاظ اثرات انتقالی تابع تقاضا کشش‌های قیمتی حاصل تورش‌دار خواهد بود. در حالت اول کشش قیمتی کمتر از حد و در حالت دوم بیشتر از حد تخمین زده می‌شود. در نمودار (۹-۱) روند واقعی تقاضای برق بخش خانگی و روند ضمنی برآورد شده باهم ترسیم شده اند. مشاهده می‌شود که روند ضمنی انحراف ناچیزی از روند واقعی تقاضا دارد که نشان دهنده این است که تقاضای برق به شدت تحت تاثیر عوامل غیرقابل مشاهده است. هرچه قدر منحنی روند ضمنی از روند واقعی دارای انحراف زیادتری باشد به معنی تاثیرگذاری کمتر عوامل غیرقابل مشاهده بر رفتار متغیر واقعی است. با توجه به اینکه تاثیر متغیرهای قیمتی و درآمدی در تابع تقاضای برق خانگی کنترل شده‌اند و نشان داده شد که تقاضای برق خانگی نسبت به این متغیرها کم کشش است؛ لذا با توجه به انحراف کم روند ضمنی از روند واقعی راهکارهای غیرقیمتی برای کنترل مصرف برق خانگی مناسب‌تر هستند و در سیاست‌گذاری باید بر متغیرهای غیرقیمتی مانند تغییرات تکنولوژی، ترجیحات مصرف کنندگان و سایر عوامل غیر اقتصادی برنامه‌ریزی کرد.



نمودار ۹. برآورد اجزای روند ضمنی تقاضای برق بخش خانگی

منبع: محاسبات محقق



نمودار ۱۰. پیش بینی مقدار تقاضای برق بخش خانگی استان تهران (واحد: مگاوات ساعت)

منبع: محاسبات محقق

در نمودار (۱۰) مقدار تحقق یافته تقاضای برق خانگی استان تهران برای دوره زمانی قبل از ۱۴۰۲ و مقدار پیش بینی شده آن برای بازه زمانی ۱۰ ساله یعنی ۱۴۰۲

تا ۱۴۱۲ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که اگر رفتار مصرفی در بخش خانگی همانند گذشته باشد در این صورت تقاضای برق در بخش خانگی استان تهران از ۱۳,۷ میلیون مگاوات ساعت در سال ۱۴۰۲ به ۱۹,۷ میلیون مگاوات ساعت در سال ۱۴۱۲ افزایش خواهد یافت. در این نمودار منحنی به رنگ آبی مقادیر واقعی تقاضای برق را تا سال ۱۴۰۲ و مقادیر پیش بینی شده آن را برای دوره (۱۴۱۲-۱۴۰۲) نشان می‌دهد. منحنی‌های به رنگ نارنجی و سبز به ترتیب مقادیر بلندمدت و کوتاه مدت (چرخه ای) تقاضای برق را نشان می‌دهد. رفتار بلندمدت تقاضای برق تمایل به افزایش تقاضای برق در بخش خانگی استان تهران را نشان می‌دهد. رفتار کوتاه مدت نوسانات تقاضای برق به دلیل برخی سیاست‌های گذرا و مقطعی نشان می‌دهد. در جایی که مقادیر چرخه‌ای منفی هستند کمتر بودن تقاضای برق را از مقدار بلندمدت آن مسان می‌دهد و در جاهایی مقادیر چرخه‌ای مثبت هستند بیانگر بیشتر بودن تقاضا از مقدار بلندمدت آن است.

۵- نتیجه‌گیری

در بخش مروری بر ادبیات بیان شد که چهار روش برای استخراج تابع تقاضا وجود دارد. این چهار روش شامل؛ حداکثرسازی تابع مطلوبیت مستقیم با توجه به محدودیت بودجه، استفاده از اتحاد روی، استفاده از لم شفارد و رهیافت دیفرانسیلی بود. در این مقاله برای مدل سازی و استخراج تابع تقاضای برق بخش خانگی استان تهران از رویکرد حداکثر سازی دو مرحله‌ای تابع مطلوبیت مستقیم با توجه به محدودیت بودجه در هر مرحله استفاده شد. همچنین در بخش ادبیات نظری تاکید بر نقش عوامل غیرقابل مشاهده اثر گذار بر تقاضای برق شد. در ادبیات اقتصادی از این عوامل غیرقابل مشاهده به عنوان روند ضمنی یاد می‌شود. لذا برای لحاظ کردن نقش روند ضمنی در تابع تقاضای برق برای برآورد از روش اقتصادسنجی سری زمانی ساختاری استفاده شد. هدف از برآورد تابع تقاضا به دست آوردن کشش قیمتی و درآمدی تقاضای برق خانگی در استان تهران بوده است.

نتایج نشان‌دهنده؛ بی‌کشش بودن تقاضای برق نسبت به قیمت (کشش خود قیمتی برق در کوتاه‌مدت و بلندمدت به ترتیب ۰,۰۲۹- و ۰,۳۹- است. این ارقام حاکی از آن است که تقاضای برق به تغییرات قیمت واکنش اندکی نشان می‌دهد، به ویژه در

کوتاه‌مدت که وابستگی خانوارها به برق بیشتر محسوس است)، کشش درآمدی مثبت (کشش درآمدی تقاضای برق در کوتاه‌مدت و بلندمدت به ترتیب ۰,۳۸ و ۰,۵ است که بیانگر ماهیت ضروری بودن برق در سبد مصرفی خانوارها است. افزایش درآمد خانوارها به افزایش تقاضای برق به میزان کمتری منجر می‌شود)، نقش گاز طبیعی به عنوان کالای جانشین (گاز طبیعی نقش جانشینی برای برق ایفا می‌کند، اما کشش قیمتی متقاطع پایین (۰,۲۹ در کوتاه‌مدت و ۰,۳۸ در بلندمدت) نشان‌دهنده درجه پایین جانشینی بین این دو حامل انرژی است)، اثر تعداد مشترکین (نتایج نشان می‌دهد که تقاضای برق نسبت به تعداد مشترکین حساسیت بالایی دارد (کشش ۱,۰۴ در کوتاه‌مدت و ۱,۳۶ در بلندمدت)، و افزایش تعداد مشترکین می‌تواند منجر به افزایش تقاضای برق شود)، روند ضمنی تقاضا (روند ضمنی تقاضای برق، که شامل عوامل غیرقابل مشاهده مانند پیشرفت تکنولوژی، تغییرات جمعیتی و ترجیحات مصرف‌کنندگان است، نشان می‌دهد که این عوامل تأثیر قابل توجهی بر تقاضای برق دارند. اصلاح قیمت‌ها تنها توانسته اثر کوتاه‌مدت ایجاد کند و روند تقاضا به‌طور کلی تحت تأثیر باقی مانده است) و نتایج اصلاح قیمت برق (تحلیل‌ها حاکی از آن است که اصلاحات قیمتی اگرچه منجر به کاهش محدود تقاضا شده، اما اثرات آن پایدار نبوده و نتوانسته به کاهش قابل توجهی در ناترازی شبکه برق منجر شود) بوده است.

با توجه به یافته‌های این مقاله برای مدیریت تقاضای برق بخش خانگی استان تهران پیشنهاد می‌شود که به راهکارهای غیرقیمتی تاکید شود. از جمله این راهکارها ارتقای بهره وری انرژی از طریق ایجاد مشوق هایی برای خرید وسایل برقی با بازده انرژی بالاتر است. حمایت مالی برای جایگزینی تجهیزات الکتریکی با تکنولوژی قدیمی و فرسوده منجر به افزایش بهره وری مصرف انرژی می‌شود. اجبار کردن رعایت استانداردهای بهره وری انرژی در تولید و واردات وسایل برقی به مدیریت تقاضای برق خانگی کمک می‌کند. از راهکارهای غیرقیمتی دیگر می‌توان به سرمایه گذاری در توسعه زیرساخت‌های انرژی‌های تجدید پذیر از جمله انرژی‌های خورشیدی و بادی به عنوان مکمل هایی برای تامین برق بخش خانگی اشاره کرد. ارتقای فناوری‌های مدیریت شبکه برای کاهش تلفات انرژی و افزایش کارایی توزیع از دیگر راهکارهای غیرقیمتی است.

در خصوص راهکارهای قیمتی جهت مدیریت تقاضای برق بخش خانگی می‌توان به طراحی تعرفه‌های پلکانی مبتنی بر میزان مصرف به گونه‌ای که مصرف‌کنندگان پرمصرف هزینه بیشتری پرداخت کنند، اشاره کرد. بازبینی ساختار یارانه‌ها در جهت کاهش یارانه‌های انرژی برای مصرف‌کنندگان پرمصرف، در عین حال حمایت از اقشار کم‌درآمد صورت گیرد. تغییر سیاست‌های قیمت‌گذاری برق به طوری که از رویکرد دستوری به سمت قیمت‌گذاری بر مبنای هزینه واقعی تولید و توزیع برق باشد. البته باید توجه کرد که هزینه‌های ناشی از مدیریت ناکارا، تکنولوژی‌های تولید و توزیع ناکارامد و قدیمی جزء هزینه‌های تولید و توزیع برق به حساب نیاید.

به طور کلی با توجه به ماهیت بی‌کشش تقاضای برق نسبت به قیمت و اهمیت عوامل غیرقیمتی ضروری است سیاست‌گذاری‌ها در این بخش از رویکردهای جامع و چندبُعدی پیروی کند. اتخاذ راهکارهای ترکیبی قیمتی و غیرقیمتی همراه با توسعه زیرساخت‌ها و ارتقای بهره‌وری انرژی، می‌تواند به‌طور موثری در کاهش ناترازی شبکه برق و بهبود مصرف انرژی در بخش خانگی استان تهران نقش‌آفرین باشد.

منابع

- ۵۶ سال صنعت برق ایران در آئینه آمار (۱۴۰۱-۱۳۴۶)، دفتر فنآوری اطلاعات آمار و امنیت فضای مجازی، شرکت مادر تخصصی توانیر (۱۴۰۲).
- امامی میبدی، علی، محمدی، تیمور، سلطان‌العلمایی، سید محمدهادی (۱۳۸۹)، برآورد تابع تقاضای گاز طبیعی با استفاده از روش فیلتر کالمن (مطالعه موردی: تقاضای بخش خانگی در شهر تهران)، فصلنامه اقتصاد مقداری، سال ۷، شماره ۳، صص ۴۱-۲۳.
- امیرمعینی، مهران (۱۳۹۴)، اندازه گیری اثر عوامل برونزای غیراقتصادی بر تقاضای انرژی بخش صنعت ایران، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال ۱۰، شماره ۴۵، صص۱۱۲-۸۳.
- چیت نیس، مونا (۱۳۸۴)، برآورد کشش قیمتی تقاضای بنزین با استفاده از مدل سری زمانی ساختاری و مفهوم روند ضمنی، فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی، سال ۵، شماره ۳.
- خیابانی، ناصر، توسلی، سلاله (۱۳۹۹)، مروری بر مدلسازی نقاضای انرژی، فصلنامه برنامه و بودجه، سال ۲۵، شماره ۳، ۹۳-۶۵.
- سالنامه آماری استان تهران، سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان تهران، معاونت فنآوری و اطلاعات سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۲.
- سرشماری عمومی نفوس و مسکن ۱۳۹۵، مرکز امار ایران، ۱۴۰۲.
- شاکری، عباس، محمدی، تیمور، جهانگرد، اسفندیار، موسوی، میرحسین (۱۳۸۹)، تخمین مدل ساختاری تقاضای بنزین و نفت و گاز در بخش حمل و نقل ایران، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال۷، شماره ۲۵، صص ۳۱-۱.
- کشاورز حداد، غلامرضا (۱۳۹۵)، اقتصاد خرد میانه: همراه با مسائل حل شده، نشر نی.
- لطفعلی پور، محمد رضا، فلاحی، محمدعلی، ناظمی معزآبادی، سیما (۱۳۹۴)، برآورد توابع تقاضای برق در بخش‌های خانگی و صنعتی ایران با به کارگیری الگوی سری زمانی ساختاری، سال ۴، شماره ۱۳، صص ۲۰۸-۱۸۷.

- محمدی، تیمور، خرسندی، مرتضی، امیرمعینی، مهران (۱۳۹۳)، مدل سازی تقاضای برق در بخش صنعت ایران رویکرد مدل سری زمانی ساختاری، فصلنامه مدلسازی اقتصادی، شماره ۱۸، صص ۱۱۴-۸۸.
- منظور، داوود، جدیدزاده، علی، شاهمرادی، اصغر (۱۳۸۶)، مدل سازی تقاضای انرژی خانگی در ایران: رویکرد تابع تقاضای انعطاف پذیر تقریبا ایده آل، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال ۶، شماره ۲۲، صص ۹۱-۷۱.
- موسوی، میرحسین، جلال، دهنوی، شاطری، الهه (۱۴۰۰)، مدل سازی تقاضای کل برق: رویکرد اقتصادسنجی پانل فضایی، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال ۱۷، شماره ۶۸، صص ۲۳-۱.
- Ahmadian, M, Chitnis, M and Lester C Hunt (2007), "Gasoline Demand, Pricing Policy and Social Welfare in Iran" SEEDS, Discussion Paper Series. NO.117
- Ahmed, N., Nisar, U., 2019. Electricity demand in Pakistan: A household analysis. J. Econ. Impact 1, 34–39.
- Akil, Y.S., Mangngenre, S., Amar, K., Pachri, H., 2020. Urban household electricity consumption: A study of providing information for energy policy planning. Int. J. Renew. Energy Res. 10, 1194–1200.
- Ali, S.S.S., Razman, M.R., Awang, A., Asyraf, M.R.M., Ishak, M.R., Ilyas, R.A., Lawrence, R.J., 2021. Critical determinants of household electricity consumption in a rapidly growing city. Sustainability 13, 4441.
- Altinay, G., & Yalta, A. T. (2016). Estimating the Evolution of Elasticities of Natural Gas Demand: The Case of Istanbul, Turkey. Empirical Economics, 51(1), 201-220.
- Armstrong, JS (2001), "Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners", Norwell, MA: Kluwer Academic.
- Bhattacharyya, S.C.; Timilsina, G.R. Energy Demand Models for Policy Formulation: A Comparative Study of Energy Demand Models; Policy Research Working Papers; The World Bank: Washington, DC, USA, 2009.
- Bölük, G., & Koç, A. A. (2010). Electricity Demand of Manufacturing Sector in Turkey: A Translog Cost Approach. Energy Economics, 32(3), 609-615 .

- Chitnis, M and L.Hunt (2004) The Effect of Energy Pricing Policy on Social Welfare in Iran; IAEE International Conference proceedings: Critical Infrastructure in the Energy Sector, Prague, Czech Republic.
- Dagher, L. (2012). Natural Gas Demand at the Utility Level: An Application of Dynamic Elasticities. Energy Economics, 34(4), 961-969
- Debnath, K.B.; Mourshed, M. Forecasting Methods in Energy Planning Models. Renew. Sustain. Energy Rev. 2018, 88, 297–325.
- Dimitropoulos, J.; Hunt, L. C. and Judge, G. (2005), Estimating Underlying Energy Demand Trends using UK annual data, Applied Economics, 12: 239-244.
- Hall, V. B. (1986). Major OECD Country Industrial Sector Interfuel Substitution Estimates, 1960–1979. Energy Economics, 8(2), 74-89
- Harvey, A. C. (1989) Forecasting, Structural Time Series Models and the Kalman Filter; Cambridge University Press, Cambridge.
- Harvey, A. C. and Koopman, S. J. (1992), Diagnostic Checking of Unobserved-Components Time Series Models; Journal of Business and Economic Statistics, 10, p.p. 377-389.
- Harvey, A. C. and Koopman, S. J. (1993), Forecasting Hourly Electricity Demand Using Time Varying Splines, Journal of American Statistical Association 88-424: 1228-1236.
- Harvey, A. C. and Shephard, N. (1993), Structural Time Series Models, In: Maddala.G.S.; Rao.C.R.; Vinod.H.D.(Eds), Handbook of Statistics, Vol. 11 North Holland: Amsterdam: 261-302.
- Harvey, A. C.; Koopman, S. J. and Shephard, N. (2005), State Space and Unobserved Component Models: Theory and Applications, Cambridge University Press: Cambridge, UK
- He, Y., & Lin, B. (2019). Heterogeneity and Asymmetric Effects in Energy Resources Allocation of the Manufacturing Sectors in China. Energy, 170(1), 1019-1035.
- Hong, T.; Fan, S. Probabilistic Electric Load Forecasting: A Tutorial Review. Int. J. Forecast. 2016, 32, 914–938 .
- Hunt, L. C. and Y. Ninomiya (2003) Unravelling Trends and Seasonality: A Structural Time Series Analysis of Transport Oil Demand in the UK and Japan; The Energy Journal, 24 (3), p.p. 63-96. 11 .

- Hunt, L.C, Judge, G. and Y. Ninomiya (2000), Modelling Technical Progress: An Application of the Stochastic Trend Model to UK Energy Demand; Surrey Energy Economics Discussion Paper, No.99, Surrey Energy Economics Centre (SEEC), Department of Economics, University of Surrey, Guildford, UK.
- Hunt, L.C. and G. Judge and Y. Ninomiya (2003a) Modelling Underlying Energy Demand Trends; Chapter in Hunt, L.C. (Ed), Energy in a Competitive Markets: Essays in Honour of Colin Robinson, Cheltenham, UK: Edward Elgar.
- Hunt, L.C. and G. Judge and Y. Ninomiya (2003b) Underlying Trends and Seasonality in UK Energy Demand: A Sectoral Analysis; Energy Economics, 25, p.p. 93-118.
- karimi, M. S., Doostkouei, S. G., Naysary, B., & Mousavi, M. H. (2024). Estimating hydrogen demand function: A structural time series model. Journal of Cleaner Production, 455, 142331 .
- Koomey, J. G. (2002), "From My Perspective: Avoiding "The Big Mistake" in Forecasting Technology Adoption, Technological Forecasting and Social Change, 69, pp. 511-18.
- Koopman S.J., A.C Harvey, J.A. Doornik and N. Shephard (2000), Stamp: Structural Time Series Analyser, Modeller and Predictor, London:Timberlake Consultants Press.
- Kuster, C.; Rezgui, Y.; Mourshed, M. Electrical Load Forecasting Models: A Critical Systematic Review. Sustain. Cities Soc. 2017, 35, 257–270.
- Laitner, J.A., S. J. DeCanio, J. G. Coomey and A. H. Sanstand (2003), Room for Improvement: Increasing The Value of Energy Modeling for Policy Analysis, Utilities Policy, 11, pp. 87-94.
- Liddle, B., & Huntington, H. (2020). Revisiting the Income Elasticity of Energy Consumption: A Heterogeneous, Common Factor, Dynamic OECD & Non-OECD Country Panel Analysis. The Energy Journal, 41(3), 207- 229 .
- Mousavi, M. H., Pedram, M., & Kalmarzi, H. S. (2014). An estimation of natural gas demand in household sector of Iran: The structural time series approach. Journal of Applied Sciences & Agriculture, 9(1), 130-138.
- Mubiinzi, G., Senyonga, L., Kaawaase, T. K., Wasswa, F., Adaramola, M. S., & Nantongo, M. (2024). Income and price elasticities of household

electricity demand: A comparative systematic review of aggregated and disaggregated data studies. Energy Reports, 12, 4449–4465.

- Munasinghe, M, & Schramm, G (1983). Energy economics, demand management, and conservation policy, Van Nostrand Reinhold Co. New York, NY. https://www.osti.gov/biblio/6832377.
- Ofetotse, E.L., Essah, E.A., Yao, R., 2021. Evaluating the determinants of household electricity consumption using cluster analysis. J. Build. Eng. 43, 102487.
- Riva, F.; Tognollo, A.; Gardumi, F.; Colombo, E. Long-Term Energy Planning and Demand Forecast in Remote Areas of Developing Countries: Classification of Case Studies and Insights from a Modelling Perspective. Energy Strategy Rev. 2018, 20,71–89.
- Singh, J.P., Alam, O., Yassine, A., 2022. Influence of geodemographic factors on electricity consumption and forecasting models. IEEE Access 10, 70456–70466.
- Taghvaee, V.M., Arani, A.A., Soretz, S., Agheli, L., 2022. Comparing energy efficiency and price policy from a sustainable development perspective: Using fossil fuel demand elasticities in Iran. MRS Energy Sustain. 9, 480–493.
- Taghvaee, V.M., Arani, A.A., Soretz, S., Agheli, L., 2023. Diesel demand elasticities and sustainable development pillars of economy, environment and social (health): comparing two strategies of subsidy removal and energy efficiency. Environ. Dev. Sustain 25, 2285–2315.
- Verwiebe, P.A.; Seim, S.; Burges, S.; Schulz, L.; Müller- Kirchenbauer, J. (2021), Modeling Energy Demand:A Systematic Literature Review. Energies, 14, 7859 .
- Viswanathan, V., Mongird, K., Franks, R., Li, X., Sprenkle, V., & Baxter, R. (2022). Grid energy storage technology cost and performance assessment. U.S. Department of Energy .
- Wei, N.; Li, C.; Peng, X.; Zeng, F.; Lu, X. Conventional Models and Artificial Intelligence-Based Models for Energy Consumption Forecasting: A Review. J. Pet. Sci. Eng. 2019, 181, 106187.
- Weyman-Jones, T. (1986), The Economics of Energy Policy, England: Gower Publishing Company Limited.

فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی/ سال بیست‌ویکم/شماره ۸۵/ تابستان ۱۴۰۴/ صفحات ۱۷۰-۱۴۷

عوامل مؤثر بر مصرف انرژی‌ها پاک (با تأکید بر نابرابری توزیع درآمد): شواهدی از کشورهای توسعه یافته و درحال توسعه (رهیافت مدل PMG-ARDL)

مهدی محمدی راز

دانشجو دکتری اقتصاد، دانشکده مدیریت و حسابداری و اقتصاد، واحد اراک،دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران، (Mmraz3041@chmail.ir)

مریم شریف‌نژاد[1]

استادیار اقتصاد ،دانشکده مدیریت و حسابداری و اقتصاد، واحد اراک،دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران، (m_sharifnejad2006@yahoo.com)

محمد حسن فطرس

استاد، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اقتصادی و اجتماعی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران، (fotros@basu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۹

چکیده

آسیب‌ها و خسارات جبران ناپذیر وارده به محیط‌زیست، سلامت بشر و آینده نسل‌ها در پی فعالیت‌ها تولیدی جوامع، ضرورت توجه جدی به پیامدهای جانبی منفی مصرف انرژی فسیلی و لزوم جایگزین کردن انرژی پاک با انرژی‌ها تجدید ناپذیز فسیلی را بیش از پیش مطرح کرده است. در این راستا شناخت عوامل مؤثر و نحوه اثرگذاری آن‌ها بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر یا پاک می‌تواند به سیاست‌گذاری موفق‌تر در توسعه این جایگزینی کمک نماید. تحقیق حاضر اثر متغیرهای کلان اقتصادی را بر مصرف انرژی‌های پاک، در کشورهای منتخب توسعه‌یافته و درحال توسعه، طی دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۲ به روش داده‌ها پانلی با رویکرد اقتصادسنجی ARDL-PMG مطالعه می‌کند. نتایج پژوهش حاکی از آن است که نابرابری درآمد در هر دو گروه کشورها اثر منفی بر مصرف انرژی‌ها پاک دارد ولی اثر سایر متغیرها متفاوت است. بنابراین توصیه می‌گردد در سیاست‌های توسعه‌اقتصادی دولت‌ها اهمیت کاهش نابرابری درآمد مورد توجه ویژه قرار گیرد.

طبقه‌بندی JEL: Q42, Q56, Q58, C82, C23

کلیدواژه‌ها: انرژی پاک، مصرف انرژی تجدیدپذیر، نابرابری درآمد، ARDL-PMG

---

۱. نویسنده مسئول

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر به طور فزاینده‌ای پژوهش اقتصاددانان بر اهمیت تأثیر مسائل زیست محیطی در موفقیت فعالیت‌ها توسعه‌ای متمرکز شده است. در هفتمین هدف برنامه هزاره سوم توسعه، اهمیت محیطزیست با تعیین اولویت در محافظت از پایداری محیطزیست بیان شده است.وجود نقصان و شکست اقتصاد کلاسیک در مکانیزم بازار می‌تواند عامل تخریب محیطزیست باشد. آن همچنین رابطه متقابل فقر و توسعه نیافتگی با تخریب محیطزیست میتواند یک فرآیند خودتقویت کننده و مستمر را ایجاد کند و جوامع در اثر ناآگاهی یا ضرورت اقتصادی، محیطزیست را تخریب و منابع طبیعی را تمام کنند درحالیکه دو عامل محیطزیست و منابع طبیعی عامل حیات جوامع و بقای نسل هاست. (تودارو و اسمیت، ۲۰۱۱)

موضوع انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در حوزه توسعه اقتصادی از دو منظر مهم است. نخست کم یابی و پایان پذیری ذخایر انرژهای فسیلی است. رشد اقتصادی بییشتر در گرو رشد تولید است و تولید بیشتر مستلزم استفاده بیشتر از انرژی است اما منابع انرژی فسیلی مثل نفت ، گاز و زغال سنگ رو به پایان است. علاوه بر اینکه همه مناطق زمین دربرگیرنده این منابع نیست و تاریخ استعمار جنگ‌هایی که کشورهای سلطه طلب جهت دستیابی به منابع دیگر کشورها به راه انداخته اند را در خاطر ثبت کرده و تکرار آن از تاب جهان خارج است. دوم اینکه استفاده از منابع تجدیدناپذیر جهت تولید انرژی مورد نیاز نیروگاه‌ها و کارخانجات پیامدهای زیست محیطی جبران ناپذیری دارد که در دهه‌های اخیر بیشتر نمود پیدا کرده است. گازهای دی اکسید کربن، دی اکسید گوگرد و مونوکسید کربن و غیره حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی از عوامل انتشار آلودگی هوا هستند و در این میان گاز دی اکسید کربن به واسطه ایجاد اثر گلخانه‌ای عامل مهم گرمایش زمین شناخته شده است. از طرفی گرمایش زمین عامل بسیاری از مشکلات زیست محیطی و بهداشتی از جمله خشکسالی‌های پی در پی، پدیده ریزگردها و طوفان‌های سهمگین، آتش سوزی گسترده جنگل‌ها، پیدایش بیماری‌ها صعب العلاج و غیره است که همگی هزینه‌ها مستقیم و غیر مستقیم قابل توجهی را به اقتصاد کشورها تحمیل می‌کنند. از آنجایکه جهت پایداری رشد و توسعه اقتصادی و دست یافتن به اهداف توسعه، حداقل کردن عوارض جانبی منفی فعالیت‌های

اقتصادی و فرایند تولید ضرورت است و این موضوع نهادهای ملی و بین المللی را برآن داشت تا در قالب توافق نامه‌ها، کنفرانس‌ها و غیره درصدد چاره اندیشی و برنامه‌ریزی برآیند. توافق‌نامه پاریس، کنفرانس ریو، پیمان کیوتو و برنامه توسعه هزاره سوم سازمان ملل نمونه‌ای از این اقدامات است. راهکار دیگر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مثل انرژی باد، آب و خورشید به جای سوخت‌های فسیلی است. تحقیقات بسیاری هم با این هدف انجام شده است.اما اکثر تحقیقات تأثیر مصرف انرژی‌های تجدید پذیر را روی رشد اقتصادی سنجیده‌اند مانند اسکندری و همکاران (۱۴۰۳) ایازی و همکاران (۱۴۰۲)، شریف کریمی و همکاران (۱۳۹۹) و تهامی پور و همکاران (۱۳۹۵)؛ اما مطالعه‌ای که به بررسی تأثیر کوتاه مدت و بلند مدت نابرابری درآمد و متغیرهای مهم اقتصادی بر مصرف انرژی‌های تجدید پذیر و پاک بپردازد و اقتصاد ایران هم شامل آن باشد، صورت نگرفته است.

در این راستا و جهت برطرف کردن این شکاف تحقیقاتی مطالعه حاضر در نظر دارد با توجه به مبانی نظری واستفاده از الگوهای اقتصاد سنجی اثر متغیرهای کلان اقتصادی را بر مصرف انرژی‌ها تجدیدپذیر در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه بررسی واین سؤال مهم را مطرح می‌کند که آیا نابرابری درآمدی و متغیرهای مهم اقتصادی می‌تواند مصرف انرژی‌های تجدید پذیر (پاک) را تحت تأثیر قرار دهد؟وآیا این تاثیردر کوتاه مدت و بلند مدت دراقتصاد کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه یکسان است؟

در ادامه ، مروری بر ادبیات موضوع شامل مبانی نظری و پیشینه تحقیق در بخش دوم، روش شناسی تحقیق در بخش سوم، نتایج برآورد مدل در بخش چهارم و نهایتاً نتیجه گیری در بخش پنجم ارائه میگردد.

۲- مروری بر ادبیات موضوع

۲-۱- مبانی نظری

یکی از عوامل مهم تخریب محیط‌زیست انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی است. بیش از ۸۰ درصد انرژی مورد نیاز فعایت‌ها اقتصادی جهان از سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود (اسکوبار و همکاران، ۲۰۲۰) انتشار گازهای گلخانه‌ای

ناشی از سوخت‌ها فسیلی تجدید ناپذیر با اثرات نامطلوب بر سلامتی، از جمله مسائل قلبی عروقی و تنفسی، در مسئول تقریبا ۶۵٪ از میزان مرگ و میر مرتبط با الودگی هوا هستند (Lelieveld et al.، ۲۰۱۹). با توجه به اینکه بسیاری از مردم سالانه جان خود را از دست می‌دهند یا از شرایط نامناسب سلامتی ناشی از استفاده از انرژی‌ها تجدید ناپذیر رنج می‌برند، ترویج مصرف انرژی‌ها تجدیدپذیر در کانون بحث‌ها سیاست عمومی جهانی قرار گرفته است (چرچیل و همکاران،۲۰۲۱).

گذر از الگوی مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر به الگوی مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر نیاز به ایجاد زیرساخت‌های قوی دارد. یکی از این زیرساخت‌ها ، شناسایی دقیق عوامل مؤثر بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر است. مطالعات زیادی در این خصوص انجام شده است که به بررسی این عوامل پرداخته اند مانند چرچیل و همکاران (۲۰۲۱)، اوزار (۲۰۲۰)، مک گی و گرینر (۲۰۱۹)، فراهتی و همکاران (۱۴۰۲)، شامحمدی و همکاران (۱۴۰۱)، نقدی و همکاران(۱۴۰۰) و عبادتی فر (۱۴۰۰) که در مطالعات خود اثر عوامل مختلفی از جمله قیمت انرژی‌های فسیلی بخصوص نفت، تجارت بین المللی و باز بودن اقتصاد، تولید ناخالص ملی، میزان انتشار گار دی اکسید کربن و توزیع درآمد یا نابرابری توزیع درآمد را بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر مورد بررسی قرار داده اند.

یکی از عواملی که میتواند انگیزه مصرف انرژی‌ها تجدیدپذیر را تقویت کند پیامدهای جانبی منفی استفاده از انرژی‌ها تجدیدناپذیر است. سوخت‌های فسیلی از طریق انتشار و رهاسازی دی اکسید کربن در جو کره زمین، از عوامل اصلی گرمایش جهانی و تغییرات آب و هوایی زمین هستند و در نتیجه این امر تبدیل به عاملی جهت ایجاد تقاضا برای محیطزیستی پاک و به دور از آلاینده‌های تهدید کننده و اتخاذ فشار سیاسی در جهت افزایش مصرف انرژهای پاک یا همان انرژی‌های تجدیدپذیر می‌گردد (عسگری و همکاران، ۱۳۹۵).

عامل دیگر افزایش تولید ناخالص ملی است که عامل مهم مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر است به این نحو که رشد اقتصادی بالاتر نیاز به انرژی تجدیدپذیر بیشتری به عنوان سهم مهمی از کل انرژی مصرفی دارد(شامحمدی سه چکی،۱۴۰۱).

نابرابری درآمد نیز یکی دیگر از عوامل تعیین‌کننده مصرف انرژی تجدیدپذیر است (چرچیل و همکارن، ۲۰۲۱). توزیع عادلانه درآمدها مصرف انرزی‌ها تجدید پذیر را افزایش می‌دهد (اوزار، ۲۰۲۰).هرچقدر نابرابری توزیع درآمد کمتر باشد از نظر اقتصاد سیاسی تقاضای شهروندان برای محیطزیست پاک افزایش می‌یابد و چون انرژی‌های تجدیدپذیر عامل مهمی در حفاظت از محیطزیست و کاهش انتشار آلاینده‌های زیست محیطی هستند این نوع از انرژیها جایگزین مناسبی برای انرژی‌های تجدیدناپذیر و سوخت‌های فسیلی خواهد بود(فراهتی، ۱۴۰۲). وقتی نابرابری توزیع درآمد زیاد باشد گروه‌های سرمایه دار با تکیه بر قدرتی که در اقتصاد دارند به جهت حداکثر کردن سود خود از طریق حداقل کردن هزینه‌ها تمایل به استفاده از منابع انرژی ارزان قیمت سوخت‌های فسیلی خواهند داشت.

شوک‌های وارده به قیمت حامل‌های انرژی بخصوص نفت و افزایش هزینه انرژی برای کشورهای وارد کننده نفت این کشورها را بر آن داشته تا به سمت انرژی‌های جایگزین حرکت کنند. در طول دهه‌های اخیر در دوره‌های افزایش قیمت نفت سرمایه گذاری در پروژه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش یافته است بعنوان مثال در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴ که قیمت جهانی نفت به بیش از دو برابر سال‌های قبل آن افزایش یافته تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر بویژه انرژی بادی و خورشیدی بصورت نمایی افزایش یافت(شوال پور، ۱۳۹۷). از سوی دیگر کاهش قیمت نفت در کشورهای نفتی و هزینه بالای سرمایه گذاری در اکتشاف و استخراج نفت انگیزه سرمایه گذاری در این صنعت را کاهش داده سیاست گذاران را متوجه سوخت‌ها جایگزین می‌کند.

افزایش واردات کالاهای بادوام مثل خودرو، سیستم‌ها تهویه، یخچال و غیره که از مصرف کنندگان بزرگ انرژی هستند تقاضا برای انرژی را افزایش می‌دهد (برقی اسکویی،۱۳۹۵). در این رابطه مصرف بالای سوخت خصوصا در غفلت نظارت بر استانداردهای محیطزیستی این لوازم و برچسب‌ها انرژی بعنوان نمونه خودروهای وارداتی که هم گازسوز نیستند و هم مصرف بالایی دارند باعث افزایش انتشار آلودگی محیطزیست و فشار بر تقاضا برای سوخت‌های پاک می‌گردد. از سوی دیگر چنانچه ظرفیت تولید برق از منابع تجدیدپذیر انرژی مثل انرژی آب، برق و خورشید افزایش

یابد توسعه تجارت و آزادسازی تجاری از طریق صادرات برق نیز می‌تواند تقاضا برای انرژی‌ها تجدید پذیر را افزایش دهد.

۲-۲- پیشینه تحقیق

آسونگو و اودیامب[1] (۲۰۲۱)، پیامدهای نابرابری و مصرف انرژی‌های تجدید پذیر را در کشورهای جنوب صحرای آفریقا بررسی کرده اند. در این پژوهش نشان داده شد که در کشورهای با درآمد کم و متوسط، نابرابری درآمد با انتشار کمتر گاز دی‌اکسید کربن (CO2) مرتبط است.

آوراوری چرچیل و همکاران (۲۰۲۱)، اثر نابرابری درآمد بر مصرف انرژی تجدید پذیر و اجزای تفکیک‌شده آن را برای ترکیبی از ۱۷ کشور در دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶ بررسی کرده اند. نتایج تحقیق، یک اثر متغیردر طول زمان را نشان داد که برای دوره کوتاهی در سال‌های بین ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۲ رابطه منفی وجود دارد. سپس از سال ۲۰۱۰ به بعد رابطه مثبت شد. این پژوهش همچنین اثرات ناهمگن نابرابری درآمد را باتوجه به اندازه انرژی تجدید پذیر مورداستفاده بررسی نموده است. اثرات متغیر در طول زمان نشان داد که نابرابری درآمد از طریق کانال‌های مختلف بر مصرف انرژی تجدید پذیر تأثیر می‌گذارد و در زمان‌های خاص برخی کانال‌ها غلبه بیشتری دارند.

اوزار و همکاران (۲۰۲۰)، این موضوع که آیا نابرابری درآمدی محرکی برای مصرف انرژی‌های تجدید پذیر است را به‌صورت تئوری و تجربی در ۴۳ کشور توسعه‌یافته و درحال‌توسعه در طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۱۵ با روش ARDL تابلویی بررسی نموده اند. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که کاهش نابرابری درآمد، مصرف انرژی‌های تجدید پذیر را افزایش می‌دهد. به‌عبارت‌دیگر، سیاست‌گذاران این فرصت را دارند که هم‌زمان نابرابری درآمدی و تخریب محیط‌زیست را کاهش دهند. به‌صورت مشابه، کنترل فساد و افزایش آلاینده‌های کربن دی‌اکسید نیز مصرف انرژی‌های تجدید پذیر را افزایش خواهند داد. سایر عوامل اقتصادی مانند رشد اقتصادی و باز بودن تجارت تأثیر معناداری بر مصرف انرژی‌های تجدید پذیر ندارند.

1. Asongu & Odhiambo

ردیف	نام نویسنده	سال چاپ	عنوان تحقیق	متغیر وابسته	متغیرهای مستقل	جامعه آماری	روش اقتصاد سنجی	تفاوت تحقیق با تحقیق حاضر
۱	محبوبه فراهتی لیلا صمیمی	۱۴۰۲	اثر نابرابری درآمد بر مصرف انرژی‌ها تجدیدپذیر در ایران	مصرف انرژی تجدیدپذیر	ضریب جینی، نرخ شهرنشینی، رشد اقتصادی، درجه باز بودن تجاری و انتشار CO2	ایران	ARDL	جامعه آماری و روش
۲	عرفان شامحمدی سچکی و همکاران	۱۴۰۱	عوامل مؤثر بر مصرف انرژی تجدید پذیر در کشوهای اوپک	مصرف انرژی تجدیدپذیر	قیمت انرژی، تولید ناخالص داخلی، رشد جمعیت، توسعه مالی	کشورهای منتخب اوپک	ARDL	جامعه آماری و روش
۳	منصوره عبادتی‌فرد	۱۴۰۰	عوامل مؤثر بر انتشار دی‌اکسید کربن با تأکید بر مصرف انرژی تجدید پذیر و قیمت نفت در کشورهای منتخب اوپک	CO2	رشد قیمت نفت، مصرف انرژی‌ها تجدید پذیر تولید ناخالص داخلی به قیمت پایه , GDPمتغیر مجازی	کشورهای منتخب اوپک	روش اثرات ثابت	در تحقیق حاضر انرژی‌ها تجدپذیر به عنوان متغیر وابسته است . جامعه آماری متفاوت است.
۴	داود بهبودی و همکاران	۱۳۹۹	روابط متقابل بین انرژی تجدید پذیر- توسعه پایدار- انتشار دی‌اکسید کربن در ایران	شاخص توسعه پایدار سرانه بر حسب دلار	شاخص مصرف انرژی (به تفکیک تجدیدپذیر و تجدید ناپذیر) سرانه معادل کیلوگرم نفت و شاخص انتشار آلاینده CO2 سرانه بر حسب متریک تن است	ایران	خود رگرسیون برداری بیزین	در تحقیق حاضر انرژی‌ها تجدپذیر به عنوان متغیر وابسته است . جامعه آماری متفاوت است.
۵	بهاره رمضانیان باج‌گیران و همکاران	۱۳۹۷	رابطه بین مصرف انرژی تجدید پذیر با تولید و تجارت در ایران	تولید ناخالص داخلی	تجارت بین‌المللی، قیمت نفت و مصرف انرژی تجدید پذیر	ایران	خود رگرسیونی با وقفه توزیعی (ARDL) و در چارچوب مدل VECM	در تحقیق حاضر انرژی‌ها تجدپذیر به عنوان متغیر وابسته است . جامعه آماری متفاوت است. روش سنجی پانل است.
۶	جواد شهرکی و همکاران	۱۳۹۵	تابع تقاضای انرژی تجدید پذیر در کشور ایران	مصرف انرژی‌های تجدید پذیر	سرانه تولید ناخالص داخلی واقعی	ایران	خود رگرسیونی با وقفه توزیعی (ARDL) و روش هم‌جمعی	متغیرهای مستقل گسترده تر است. جامعه آماری متفاوت است. روش سنجی پانل است.

۳- روش شناسی تحقیق

در این مطالعه روابط بلندمدت و کوتاه‌مدت بین متغیرها با استفاده از روش پانل ARDL-PMG توسعه‌یافته توسط پسران و همکاران مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. مدل پانل ARDL-PMG که به عنوان یک مدل تصحیح خطا طبقه بندی می-شود، روشی موثر برای تعریف روابط کوتاه مدت و بلند مدت است (لیو و همکاران[1]، ۲۰۱۹).

برآوردگر PMG یک نسخه بهبود یافته از برآوردگر MG است که توسط پسران و اسمیت (۱۹۹۵) توسعه یافته است.

برآوردگر MG از مقدار متوسط ضرایب برای هر کشور استفاده می‌کند و فرض می‌کند که ضرایب شیب و واریانس خطا برای هر کشور یکسان است.اما برآوردگر PMG فرض می‌کند که ضرایب بلندمدت برای هر کشور همگن هستند، در حالی که ضرایب کوتاه‌مدت و واریانس خطا می‌توانند برای هر کشور ناهمگن باشند(سیلوا و همکاران[2]، ۲۰۱۸). مسائلی مانند تخریب محیط‌زیست و نابرابری درآمد باعث نگرانی جهانی می-شده ف آیند توسعه پایدار به عنوان اهداف همگن میان مدت و بلندمدتی است که همه کشورها آن را دنبال می‌کنند، این موضوع استفاده از روش PMG را توجیه می‌کند. همچنین، اهداف کاهش انتشاردی اکسید کربن که در توافقات بین المللی تعیین شده است، مصرف انرژی تجدیدپذیر را به یک استراتژی جهانی برای همه کشورها تبدیل می‌کند.

مدل کلی ARDL-PMG برگرفته از مدل ARDL (p,q) پسران و همکاران (۱۹۹۹) عبارت است از :

$$lnRE_{it} = \sum_{j=1}^{p} \alpha_{i.j}\, lnRE_{i.t-j} + \sum_{j=0}^{q} \delta_{ij} X_{i.t-j} + \gamma_i + \varepsilon_{it} \qquad (۱)$$

که آن را می‌توان بصورت رابطه (۲) بازنویسی کرد:

$$\Delta lnRE_{it} = \varphi_i(lnREN_{i.t-1} - \beta X_{it}) + \sum_{j=1}^{p-1} \alpha_{ij}\, \Delta lnRE_{i.t-j} \qquad (۲)$$

1. Liu et al.
2. Silva et al.

در روابط فوق، X بیانگر بردار متغیرهای مستقل است. همچنین β_i نشان دهنده اثر بلندمدت متغیرهای مستقل بر مصرف انرژی تجدیدپذیر است. $\boldsymbol{\varphi}$i تاثیر مکانیسم تصحیح کننده خطا را نشان می‌دهد. ε_{it} عبارت خطا با توزیع مستقل، میانگین صفر و واریانس ثابت است و γ_i اثر گروه است. پارامترهای باقی مانده ضرایب کوتاه مدت را نشان می‌دهند.

رابطه (۲) را می‌توان برای مدل تحقیق حاضر به صورت معادله (۳) بازنویسی کرد:

(۳)

$$REN_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 GINI_{it} + \alpha_2 GDP_{it} + \alpha_3 CO2_{it} + \alpha_4 OPEN_{it} + \alpha_5 OIL_{it} + \varepsilon_{it}$$

که در آن i و t به ترتیب نشان دهنده کشور و زمان است و متغیرهای مدل عبارتند از:REN مصرف انرژی تجدید پذیر، GINI نابرابری توزیع درآمد (GINI) که با شاخص ضریب جینی اندازه گیری شده است،GDP سرانه تولید ناخالص داخلی حقیقی به عنوان شاخص درآمد،OIL قیمت حقیقی نفت،CO2 انتشار گاز دی‌اکسید کربن،OPEN آزادی تجاری، εنیز جمله اختلال می‌باشد.

متغیرهای مستقل ارائه شده در این تحقیق برگرفته از مطالعه چرچیل و همکاران (۲۰۲۱) ،یوزار(۲۰۲۰) , آسونگو و اودیامبو، (۲۰۲۱) می‌باشد. قلمرو مکانی تحقیق شامل ایران، کشورهای درحال توسعه و کشورهای توسعه یافته و قلمرو زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۲ درنظر گرفته شده است.

لازم به ذکر است که اگرضرایب بلندمدت بین گروه‌ها همگن باشند، استفاده از تخمین‌گر PMG که اجازه می‌دهد پارامترهای کوتاه‌مدت بین گروه‌ها متفاوت اما ضرایب در بلندمدت همگن باشند، موثرتر خواهد بود.

۴- یافته‌های تحقیق

در ابتدا آماره‌های توصیفی مربوط به متغیرهای مدل بررسی و در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول۱. خلاصه آماره‌های توصی‌فی داده‌های تابلویی مورد مطالعه

	وضعیت	REN	GINI	GDP	CO2	OPEN	OIL
کشورهای توسعه یافته	میانگین	۱۹/۸۴۸۴۲	۳۱/۳۹۸۲۸	۱/۲۰۱۳۸۰	۱۹۶۲۳۴/۹	۱۱۱/۴۲۴۰	۱/۶۷۴۳
	انحراف معیار	۱۷/۶۴۶۹۱	۳/۰۴۳۷۱۸	۳/۴۲۹۳۸۲	۲۶۴۶۹۵/۸	۸۰/۳۳۱۵	۶/۵۹۶۹
	Max	۸۰/۷۷۰۰۰	۳۸/۹۰۰۰۰	۲۳/۳۰۴۶۹	۱۲۶۷۳۷۶	۴۳۷/۳۲۶۷	۴۹/۶۱۷۴
	Min	۰/۱۷۰۰۰۰	۲۴/۹۰۰۰۰	-۱۴/۴۶۴۳۳	۱۳۵۲/۳۰۰	۱۵/۷۲۳۳	۰/۰
کشورهای درحال توسعه	میانگین	۱۸/۴۷۴۵	۳۱/۴۶۳۶	۱/۲۹۷۴	۴۹۲۴۳۶/۶	۷۸/۸۹۴۰	۲/۲۶۲۹
	انحراف معیار	۱۷/۴۲۷۴	۳/۱۶۲۷	۳/۳۴۹۰	۱۷۲۵۰۰۱	۳۷/۸۵۵۳	۵/۰۹۰۲
	Max	۸۰/۷۷۰۰	۳۸/۹۰۰۰	۲۳/۳۰۴۶	۱۰۹۴۴۶۸۶	۱۶۸/۳۹۴۶	۳۱/۶۰۷۶
	Min	۰/۱۷۰۰	۲۰/۷۰۰۰	-۱۴/۴۶۴۳۳	۱۴۷۹/۱۶۰	۱۵/۶۳۵۵	۰/۰

مأخذ: یافته‌ها محقق

۴-۱- نتایج آزمون تشخیص مانایی داده ها

آزمون مانایی برای تمامی متغیرهای مستقل و وابسته با استفاده از آزمون ریشه واحد داده‌ها ترکیبی انجام گردید. برای این منظور از آزمون لین لوین چو که یکی از معتبرترین آزمون‌ها ریشه واحد داده‌ها ترکیبی است استفاده شده است. نتایج حاصل از این آزمون نشان می‌دهد که فرضیه‌ی صفر مبتنی بر عدم وجود خود رگرسیونی بین جملات‌اخلال درآن‌ها رفع شده و همه متغیرهای مدل با یکبار تفاضل‌گیری مانا هستند. لذا مشکل رگرسیون کاذب در تخمین‌ها با استفاده از سطح متغیرها وجود نخواهد داشت. نتایج حاصل از آزمون مانایی در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول۲. نتایج آزمون‌های ریشه واحد

بلوک	متغیرها	آماره لین،لوین،چو[3]	آماره ایم، پسران و شین[2]	آماره دیکی فولر- فیشر[1]
کشورهای توسعه یافته	REN	-۱۷/۵۸۷۱	-۱۸/۸۶۵۷***	۳۹۵/۶۶۵***
	GINI	-۱۹/۲۲۵۹	-۱۷/۰۴۸۱***	۳۰۲/۷۳۳***
	GDP	-۴۱/۹۰۷۰	-۳۹/۹۰۸۳***	۸۳۷/۵۱۱***
	CO2	-۱۸/۳۴۱۰**	-۲۰/۱۸۸۶*	۴۳۷/۲۶۴*
	OPEN	-۲۱/۴۴۶۲**	-۱۵/۸۶۰۶*	۴۸۴/۱۸۴*
	OIL	-۲۰/۲۹۲۷	-۲۰/۵۴۱۵***	۴۱۱/۴۶۹***
کشورهای در حال توسعه	REN	-۹/۷۲۳۱۹**	-۱۴/۰۶۷۲*	۳۴۴/۹۰۷*
	GINI	-۸/۳۱۶۸۴	-۱۱/۴۴۴۹***	۲۶۶/۶۵۵***
	GDP	-۱۹/۴۳۶۳	-۲۶/۸۱۷۹***	۸۳۷/۵۱۱***
	CO2	-۱۵۰۵/۹۰	-۵۲۵/۲۹۶***	۷۵۱/۱۱۴***
	OPEN	-۵/۵۸۳۶۴	-۸/۸۳۷۲۸***	۲۰۷/۴۶۱***
	OIL	-۱۰/۳۳۱۴	-۱۲/۲۸۱۸***	۳۳۱/۲۴۲***

(***و **و *: به ترتیب نشان دهنده سطح معناداری ۱ و ۵ و ۱۰ درصد است.)

مأخذ: یافته‌ها محقق

۴-۲- نتایج آزمون وابستگی مقطعی

آزمون دیگر در داده‌های پانلی، آزمون وابستگی مقطعی پسران[4] (CD) است. آزمون وابستگی مقطعی برای اولین بار توسط پسران (۲۰۰۴) مطرح گردید و هدف از اعمال آن بررسی وابستگی مقطعی بین متغیرهای تحقیق است.فرضیه صفر در این آزمون عدم وجود وابستگی در بین متغیرهای تحقیق است. مقداراحتمال ارائه شده در جدول (۳) نشان می‌دهد فرضیه صفر برای تمامی متغیرها تأیید می‌گردد. به بیان دیگر در بین تمامی متغیرهای تحقیق، وابستگی مقطعی وجود ندارد. بنابراین نیازی به در نظرگرفتن وابستگی بین مقاطع در مطالعه نمی‌باشد.

1. ADF - Fisher
2. Im, Pesaran and Shin
3. Levin, Lin & Chu
4. Pesaran's test of cross-sectional independent = CD Test

جدول ۳. آزمون وابستگی

بلوک	متغیرها	آماره آزمون	مقدار احتمال
کشورهای توسعه یافته	GINI	۱۹/۳۳	۰/۱۵۷۷
	GDP	۱۶/۱۲	۰/۳۹۹۶
	CO2	۱/۷۲	۰/۱۱۳۲
	OPEN	۲۴/۶۳	۰/۶۹۹۱
	OIL	۵/۵۶	۰/۹۹۱۴
کشورهای در حال توسعه	GINI	۱۴/۹۸	۰/۱۳۲۲
	GDP	۱۵/۰۵	۰/۳۸۰۶
	CO2	۱/۰۹	۰/۱۰۹۵
	OPEN	۲۲/۹۴	۰/۵۶۸۹
	OIL	۴/۴۳	۰/۹۴۶۴

مأخذ: یافته‌ها محقق

۴-۳- نتایج برآورد مدل

این تحقیق معادله (۳) را جهت سنجش اثر متغیرهای کلان اقتصادی بر مصرف انرژی‌ها تجدیدپذیر در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه به روش ARDL PMG برآورد می‌کند.

تجزیه و تحلیل آمارهای به دست آمده (جدول ۴) برای کشورهای درحال توسعه و توسعه یافته به شرح زیر است.

نتایج حاصل از این برآورد برای کشورهای درحال توسعه و توسعه یافته در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول۴. نتایج برآورد مدل

حوزه	اثرات	متغیر	ضریب	انحراف استاندارد	Z آماره	احتمال
کشورهای توسعه یافته	بلندمدت	GINI	-۰/۶۶۵۹	۰/۱۸۹۷	-۳/۵۱	۰/۰۰۰۰***
		GDP	۰/۹۵۳۸	۰/۰۲۸۰	۳۴/۰۴	۰/۰۰۰۰***
		CO2	۰/۳۷۰۶	۰/۰۹۰۷	۴/۰۸	۰/۰۰۰۰***
		OPEN	۰/۱۶۴۰	۰/۰۲۲۰	۷/۴۳	۰/۰۰۰۰***
		OIL	۰/۶۴۰۲	۰/۳۱۷۸	۲/۰۱	۰/۰۰۰۴***

حوزه	اثرات	متغیر	ضریب	انحراف استاندارد	Z آماره	احتمال
	کوتاه‌مدت	ECM	-۰/۰۷۲۳	۰/۱۸۹۷	۳/۵۱	۰/۰۴۴۰**
		D.GINI	-۰/۰۵۲۲	۰/۰۳۰۵	-۱/۷۱	۰/۰۸۷۶*
		D.GDP	۰/۱۰۰۴	۰/۰۱۸۴	۵/۴۵	۰/۰۰۰۰***
		D.CO2	-۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۳	-۲/۱۷	۰/۰۳۰۰**
		D.OPEN	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۴۸	۱/۰۹	۰/۱۰۲۱
		D.OIL	۰/۱۵۱۷	۰/۰۶۳۰	۲/۴۰	۰/۰۱۶۵**
		عرض از مبداء	۲/۰۲۵۷	۰/۸۶۲۳	۲/۳۴	۰/۰۱۹۳**
	-	تعداد مشاهدات	۴۰۴			
	-	تعداد گروه‌ها	۲۱			
	مشاهدات در گروه	مینیمم	۱۱			
		میانگین	۱۹/۲			
		ماکزیمم	۳۰			
کشورهای در حال توسعه	بلندمدت	GINI	-۰/۰۹۲۷	۰/۰۱۶۹	-۵/۴۷	۰/۰۰۰۰***
		GDP	۰/۹۹۵۲	۰/۰۱۸۴	۵۴/۰۲	۰/۰۰۰۰***
		CO2	-۰/۰۵۷۹	۰/۰۳۱۲	-۱/۸۵	۰/۰۶۳۹*
		OPEN	-۱/۵۲۱۴	۹/۱۰۱۵	-۱/۶۷	۰/۰۹۵۵*
		OIL	۰/۰۴۷۳	۰/۰۲۸۰	۱/۶۸	۰/۰۹۲۴*
	کوتاه‌مدت	ECM	-۰/۱۶۹۴	۰/۰۳۲۲	۵/۲۶	۰/۰۰۰۰***
		D.GINI	-۰/۱۷۸۶	۰/۰۸۵۵	-۲/۰۹	۰/۰۱۰۸**
		D.GDP	۰/۰۳۵۳	۰/۰۲۰۳	۱/۷۳	۰/۰۸۳۰*
		D.CO2	-۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۲	-۳/۵۰	۰/۰۰۰۰***
		D.OPEN	۰/۰۲۱۶	۰/۰۰۸۵	۲/۵۵	۰/۰۱۶۳**
		D.OIL	۱/۹۱۱۲	۰/۹۰۱۵	۲/۱۲	۰/۰۱۲۱**
		عرض از مبداء	۶/۳۶۵۶	۱/۱۳۳۰	۵/۶۲	۰/۰۰۰۰***
	-	تعداد مشاهدات	۱۰۱۱			
	-	تعداد گروه‌ها	۳۵			
	مشاهدات در گروه	مینیمم	۲۳			
		میانگین	۲۸/۹			
		ماکزیمم	۳۰			

***، **، * به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح خطای ۱، ۵ و ۱۰ درصد.

مأخذ: یافته‌ها محقق

۴-۴- نتایج برآورد مدل در کشورهای توسعه یافته

نتایج برآورد مدل به روش PMG ARDL برای دو حالت بلندمدت و کوتاه‌مدت ارائه شده است. همانطور که نتایج جدول (۴) برای کشورهای توسعه یافته نشان می‌دهد در سطح اطمینان ۹۹ درصد در کوتاه‌مدت و بلندمدت، نابرابری توزیع درآمدها اثر منفی و معناداری بر توسعه انرژی‌های پاک دارد. با افزایش یک درصدی نابرابری توزیع درآمد، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر به مقدار ۰/۶۶۵۹- درصد (در یک دوره بلندمدت) کاهش می‌یابد. این نتایج بیانگر این است که با افزایش نابرابری درآمدها، مصرف انرژی‌های سبز به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. نابرابری درآمدی به عنوان یکی از مهمترین چالش‌های اجتماعی، اقتصادی سبب افزایش نگرانی‌های اقتصادی افراد می‌شود که مراقبت و آگاهی زیست‌محیطی را بدلیل مسائل اقتصادی ضروری‌تر و با اولویت‌تر در اهمیت پایین‌تری برای افراد قرار می‌دهد. در واقع، در جوامعی با نابرابری درآمدی بالا، امکان سرمایه‌گذاری در انرژی‌های پاک (که زیرساخت‌های آن گران است) برای طیف وسیعی از جامعه وجود ندارد. از اینرو، می‌توان بیان کرد که نابرابری درآمدی یکی از موانع اصلی توسعه انرژی‌های سبز است. فراهتی و سلیمی (۱۴۰۲) نیز دریافتند که توزیع عادلانه درآمد به افزایش مصرف انرژی‌های پاک کمک می‌کند.

نتایج جدول ۴ بیانگر رابطه مثبت و معنادار بین رشد اقتصادی و توسعه انرژی‌های پاک در گروه کشورهای توسعه یافته در کوتاه‌مدت و بلندمدت است. با افزایش یک درصدی تولید ناخالص داخلی سرانه، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر حدود ۰/۹۵۳۸ در بلندمدت افزایش می‌یابد. افزایش رشد اقتصادی می‌تواند منابع لازم برای تهیه تجهیزات و زیرساخت‌های منابع پاک را برای کشورها فراهم کند. بعلاوه، افزایش درآمد کشورها امکان سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پیشرفته و سبز و تحقیق و توسعه را فراهم می‌کند که می‌تواند به توسعه انرژی‌های سبز کمک کند. مطالعات متعددی از نتایج ما پشتیبانی می‌کنند (هیولان۱ و همکاران، ۲۰۲۴؛ کوینگ۲ و همکاران،۲۰۲۴؛ کادیر۳ و همکاران، ۲۰۲۳؛ رحمان۴ و همکاران ،۲۰۲۳؛ مای۵ ،۲۰۲۳). برخی مطالعات نیز نتایج متناقضی

1. Huilan
2. Qing
3. Kadir
4. Rahman
5. Mai

گزارش کردند (علی و همکاران، ۲۰۲۳). پولسین و همکاران۱ (۲۰۲۲) رابطه مثبتی بین سهم مصرف انرژی تجدیدپذیر از کل مصرف انرژی نهایی، و رشد اقتصادی بدست آوردند. اسدزاده و جلیلی (۲۰۱۶)، با داده‌های سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۲، به بررسی رابطه بلندمدت بین انرژی‌های تجدیدپذیر و رشد اقتصادی در منتخبی از کشورهای پیشرفته پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که رابطه بلندمدتی بین مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و رشد اقتصادی وجود دارد.

همانطور که در جدول بالا مشاهده می‌شود انتشار کربن در کوتاه‌مدت در کشورهای توسعه یافته سبب کاهش مصرف انرژی‌های پاک می‌شود. در حالی که در بلندمدت منجر به افزایش مصرف انرژی‌های پاک می‌شود. افزایش انتشار کربن بدلیل چالش‌های زیست محیطی، دلیل مهمی برای جوامع برای جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر با تجدیدناپذیر است. گرچه اثرات این سیاستگذاری‌ها در کوتاه‌مدت قابل مشاهده نیست ولی با گذشت زمان، منجر به افزایش توسعه انرژی‌های پاک می‌شود. پولسین و همکاران۲ (۲۰۲۲) با رگرسیون اثرات ثابت و GMM رابطه آماری معنی‌دار و منفی را بین مصرف انرژی تجدیدپذیر و انتشار CO2 سرانه شناسایی کردند. برخی مطالعات نیز رابطه مثبت و معناداری بین انتشار کربن و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر بدست آوردند (مطالعات یولا و لین۳ ،۲۰۲۴؛ کریکاللی۴ و همکاران، ۲۰۲۳؛ کریمی علاویجه۵ و همکاران، ۲۰۲۳؛ مارتیال۶ و همکاران، ۲۰۲۳؛ مای۷، ۲۰۲۳).

جدول بالا نشان می‌دهد که بین آزادسازی تجاری و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در بلندمدت در کشورهای توسعه یافته رابطه مثبت و معناداری وجود دارد. گرچه این رابطه در کوتاه‌مدت از نظر آماری معنادار نیست. گسترش تجارت به سرریز تکنولوژی و دانش بین کشورها منجر می‌شود که می‌تواند به توسعه انرژی‌های پاک و تهیه زیرساخت‌های آن‌ها کمک کند. علاوه بر این، آزادسازی تجارت سبب ایجاد درآمد برای کشورها با مزیت‌های بین‌المللی می‌شود که کشورهای مذکور می‌توانند از این درآمدها

1. Polcyn et al.
2. Polcyn et al.
3. Ullah & Lin
4. Kirikkaleli
5. Karimi Alavijeh
6. Martial
7. Mai

برای توسعه زیرساخت‌های گرانقیمت انرژی‌های پاک استفاده کنند. مطالعات متعددی رابطه مثبت و معناداری بین آزادسازی تجارت و انرژی‌های پاک کشف کردند (فنگ۱ و همکاران، ۲۰۲۴)؛ هیولان۲ و همکاران، ۲۰۲۴)؛ ابراهیم۳ و همکاران، ۲۰۲۴)؛ ژانگ۴ و همکاران، ۲۰۲۴: چانگ۵ و همکاران، ۲۰۲۳).

همانطور که نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد بین قیمت حقیقی نفت و انرژی‌های پاک رابطه مثبت و معناداری در کشورهای توسعه یافته وجود دارد. افزایش قیمت نفت به مفهوم گرانتر شدن انرژی‌های فسیلی است که بر طبق اثر جانشینی زمانی که قیمت یک کالا (انرژی تجدیدناپذیر) افزایش یابد، مصرف کنندگان کالای جانشین آن (انرژی تجدیدپذیر) را جایگزین می‌کنند. در نتیجه، با افزایش قیمت نفت، مصرف انرژی‌های سبز توسعه می‌یابد. تأثیر معنی‌دار قیمت حقیقی نفت بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر نیز همسو با مطالعات کوینگ۶ و همکاران (۲۰۲۴)؛ اوانز۷ (۲۰۲۴)؛ ماگازینو و گیولی۸ (۲۰۲۴)؛ تامباری۹ و همکاران (۲۰۲۴)؛ اوزکان۱۰ و همکاران (۲۰۲۴)؛ جین و کیم۱۱ (۲۰۲۳) و زاقدودی۱۲ و همکاران (۲۰۲۳) است.

در جدول ۴، متغیر ECM نیز به معنی ضریب تعدیل در الگوی بکارگرفته شده است. ضریب ECM برابر ۷٫۲٪- شده است و این نشان می‌دهد که تعدیل حاصل از سایر عوامل مؤثر بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در کوتاه‌مدت به‌صورت یکنواخت و سریع امکان‌پذیر است، به‌طوری‌که در هر سال حدود ۷٫۲ درصد شوک‌های کوتاه‌مدت ناشی از عوامل مؤثر بر مصرف انرژی تجدیدپذیر تعدیل می‌شود. درواقع در هر دوره زمانی که (در این تحقیق یک سال در نظر گرفته‌شده است)، ۷٫۲ درصد انحراف از تعادل بلندمدت جبران می‌شود.

1. Feng
2. Huilan
3. Ibrahim
4. Zhang
5. Chang
6. Qing
7. Evans
8. Magazzino & Giolli
9. Tambari
10. Ozkan
11. Jin & Kim
12. Zaghdoudi

۴-۵- نتایج برآورد مدل در کشورهای درحال توسعه

همانطور که در جدول (۴) نشان داده شده است ، اثر بلندمدت تمامی متغیرها بر روی مصرف انرژی پاک برای کشورهای درحال توسعه در سطح اطمینان ۹۹ درصد و ۹۰ درصد معنی دار است. این بدین معنی است که در کوتاه‌مدت و بلندمدت، نابرابری توزیع درآمدها اثر منفی و معناداری بر توسعه انرژی‌های پاک دارد. با افزایش یک درصدی نابرابری توزیع درآمد، مصرف انرژی‌های پاک به مقدار ۰/۰۹۲۷- درصد (در یک دوره بلندمدت) در کشورهای در حال توسعه کاهش می‌یابد. مشاهده می‌شود که ضریب اثرگذاری نابرابری درآمدها بر مصرف انرژی‌های پاک در کشورهای توسعه یافته بیشتر از کشورهای در حال توسعه می‌باشد.

نتایج جدول ۴ بیانگر رابطه مثبت و معنادار بین رشد اقتصادی و توسعه انرژی‌های پاک در گروه کشورهای در حال توسعه در کوتاه‌مدت و بلندمدت است. با افزایش یک درصدی تولید ناخالص داخلی سرانه، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر حدود ۰/۹۹۵۲ در بلندمدت افزایش می‌یابد. ضریب اثرگذاری رشد اقتصادی بر توسعه انرژی‌های سبز در کشورهای در حال توسعه بیشتر از کشورهای توسعه یافته است.

همانطور که در جدول بالا مشاهده می‌شود انتشار کربن در کوتاه‌مدت و بلندمدت منجر به کاهش مصرف انرژی‌های پاک در کشورهای در حال توسعه می‌شود. به طوری که با یک درصد افزایش انتشار کربن در بلندمدت سبب کاهش مصرف انرژی‌های پاک حدود ۰/۰۵۷۹ است. گرچه افزایش انتشار کربن به عنوان مهمترین گاز گلخانه‌ای و تهدیدکننده زمین، سبب نگرانی‌های جوامع بین‌المللی و توسعه سیاست‌های بی‌طرفی کربن در بسیاری از کشورهای توسعه یافته شده است اما در کشورهای در حال توسعه بدلیل بودن در مراحل اولیه رشد، مسائل زیست محیطی اهمیت چندانی ندارد و در نتیجه افزایش انتشار کربن هنوز هم به توسعه انرژی‌های پاک در این کشورها منجر نمی‌شود.

جدول بالا نشان می‌دهد که بین آزادسازی تجاری و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای در حال توسعه در کوتاه‌مدت رابطه مثبت و در بلندمدت رابطه منفی و معنادار وجود دارد. به طوری که با یک درصد افزایش باز بودن تجارت در بلندمدت سبب کاهش مصرف انرژی‌های پاک حدود ۱/۵۲۱۴ است. گرچه آزداسازی تجاری

می‌تواند به انتقال تکنولوژی در کشورهای توسعه یافته کمک کند اما در کشورهای در حال توسعه ممکن است آزادسازی تجاری سبب انتقال محصولات با کربن بالا از کشورهای توسعه یافته به کشورهای در حال توسعه شود که این منجر به کاهش توسعه انرژی‌های سبز با افزایش تجارت در کشورهای در حال توسعه شود.

همانطور که نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد بین قیمت حقیقی نفت و انرژی‌های پاک در کوتاه‌مدت و بلندمدت رابطه مثبت و معناداری در کشورهای در حال توسعه وجود دارد. نتایج بدست آمده برای کشورهای درحال توسعه با مطالعات عسکری(۱۳۹۵)،شوالپور (۱۳۹۷)ف شامحمدی سه چکی (۱۴۰۱)و فراهتی (۱۴۰۲) همسویی دارد.

ضریب جز تصحیح خطا (ECM) در کوتاه مدت نیز به معنی ضریب تعدیل در الگوی بکارگرفته شده است. ضریب ECM برابر ۱۷٪- شده است و این نشان می‌دهد که تعدیل حاصل از سایر عوامل مؤثر بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در کوتاه‌مدت به‌صورت یکنواخت و سریع امکان‌پذیر است، به‌طوری‌که در هر سال حدود ۱۷ درصد شوک‌های کوتاه‌مدت ناشی از عوامل مؤثر بر مصرف انرژی تجدیدپذیر تعدیل می‌شود. درواقع در هر دوره زمانی که (در این تحقیق یک سال در نظر گرفته‌شده است)، ۱۷ درصد انحراف از تعادل بلندمدت جبران می‌شود.

ضریب ECM برابر ۱۷٪- بدست آمده است و این نشان می‌دهد که تعدیل حاصل از سایر عوامل مؤثر بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در کوتاه‌مدت به‌صورت یکنواخت و سریع امکان‌پذیر است، به‌طوری‌که در هر سال حدود ۱۷ درصد شوک‌های کوتاه‌مدت ناشی از عوامل مؤثر بر مصرف انرژی تجدیدپذیر تعدیل می‌شود. درواقع در هر دوره زمانی که (در این تحقیق یک سال در نظر گرفته‌شده است)، ۱۷ درصد انحراف از تعادل بلندمدت جبران می‌شود.

۵- نتیجه گیری و پیشنهادات

اهمیت رشد و توسعه اقتصادی،کارایی تولید و کاهش هزینه‌های تولید مسئله مهمی در شکل گیری تصمیمات اقتصادی است. اما در دهه‌ها اخیر با برجسته شدن توسعه پایدار در مباحث کلان اقتصادی، آنچه که ضروری تر ابه نظر می‌رسد توجه به آثار جانبی استفاده از انرژی در فرایند تولید است. در این راستا شناسایی عوامل موثر بر کاهش

آثار جانبی منفی استفاده از انرژی ،از طریق جایگزینی انرژی پاک بجای سوخت‌های فسیلی، جایگاه خاصی در مطالعات اقتصادی به خود اختصاص داده است.

بر اساس نتایج این مطالعه نابرابری درآمد هم در کشورهای درحال توسعه و هم در کشورهای توسعه یافته تاثیر منفی و معنی‌دار بر مصرف انرژی تجدیدپذیر و پاک دارد. با توجه به نتایج حاصله و نتایج مطالعات مشابه چنین استنباط می‌شود که نابرابری بیشتر یعنی فاصله بیشتر بین طبقات اقتصادی و شکاف بین صاحبان ثروت با توده مردم قدرت نهادها را کاهش داده و انگیزه کسب منافع بیشتر توسط صاحبان ثروت و قدرت بر ملاحظات زیست محیطی غلبه می‌کند. درنتیجه ترجیح استفاده از انرژی ارزان قیمت نسبت به انرژی پاک به منظور کاهش هزینه‌ها تولید باعث کاهش مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر می‌گردد. درحالیکه اگر ضریب جینی کاهش یابد و به دنبال آن توزیع درآمد عادلانه تر شود، ثروت و قدرت در دست عده‌ای خاص نبود، لذا تصمیمات تولیدی وابسته به شرایط سیاسی و اقتصادی نمی‌شود و ملاحظات توسعه پایدار و حفظ محیط‌زیست مورد توجه قرار می‌گیرد. درعین حال هرچقدر توزیع درآمد ناعادلانه تر و نابرابری درآمدی بیشتر باشد توده‌های فقیر چاره‌ای جز استفاده عمده از منابع طبیعی ارزانتر و در دسترس‌تر که همان منابع انرژی فسیلی هستند، ندارند و کمتر به استفاده از انرژی پاک رو می‌آورند.

افزایش قیمت حقیقی نفت بعنوان منبع اصلی تأمین انرژی از سوخت‌های فسیلی اثر مثبت بر مصرف انرژی پاک در هر دو دسته کشورهای توسعه یافته و درحال توسعه دارد. با افزایش قیمت تمام شده انرژی‌های تجدیدناپذیر در کنار هزینه جبران پیامدهای منفی استفاده از سوخت‌های فسیلی و هزینه‌های مالی حفاظت از محیط‌زیست که براساس قوانین برعهده تولیدکنندگان قرار می‌گیرد، روی آوردن به انرژی‌های پاک را توجیه و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش می‌یابد.

تولیدناخالص داخلی که شاخصی از سطح درآمد و رشد اقتصادی کشورها است در هر دو گروه کشورهای منتخب اثر مثبت و معنی دار بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر دارد. زیرا افزایش درآمد ملی منابع مالی لازم برای ایجاد زیرساخت‌ها لازم جهت تولید و بهره برداری از انرژی پاک را فراهم می‌کند. با تأمین منابع مالی می‌توان از فناوری‌های بهتر برای تولید انرژی تجدیدپذیر استفاده نمود.

در کشورهای توسعه یافته افزایش انتشار دی‌اکسید کربن باعث افزایش مصرف انرژی‌های پاک می‌شود. پیامدهای منفی استفاده از سوخت‌های فسیلی و انرژی‌های تجدیدناپذیر که یکی از مهم‌ترین آنها افزایش گازهای گلخانه‌ای خصوصا دی‌اکسیدکربن است منجر به خسارت‌های زیست محیطی سنگینی می‌شود که یا جبران‌ناپذیرند و یا با تحمیل هزینه‌ها بسیار سنگین به جامعه چه بسا توسعه جوامع را به چالش می‌کشد. در کشورهای توسعه یافته که معمولا از قوانین زیست محیطی قدرتمندتری برخوردارند با افزایش انتشار دی‌اکسید کربن فشارهای قانونی و نهادی همچنین ملاحظات اقتصادی به سبب اجتناب از هزینه‌ها گزاف محافظت از محیط‌زیست ،تمایل به استفاده از انرژی‌ها پاک افزایش می‌یابد. بنابراین با افزایش انتشار دی‌اکسید کربن مصرف انرژی تجدیدپذیر افزایش خواهد یافت. اما در کشورهای درحال توسعه این رابطه منفی بدست آمده است. در کشورهای توسعه یافته بدلیل قدرت نهادهای محیط‌زیستی و نیز وجود منابع مالی و حقوقی لازم برای تولید انرژی‌ها تجدیدپذیر با افزایش انتشار دی اکسید کربن گرایش به سمت انرژی‌ها پاک با قدرت و سرعت انجام میشود اما در کشورهای درحال توسعه افزایش انتشار دی اکسید کربن باعث تضعیف زیست توده که یکی از منابع اصلی تولید انرژی‌ها تجدید پذیر است میگردد.

درجه باز بودن تجاری میزان رقابت پذیری کشورها و همچنین دسترسی به تکنولوژی و فناوری‌های جدید را نشان می‌دهد. کشورهای توسعه یافته با افزایش درجه باز بودن تجاری دسترسی به منابع تکنولوزی و فناوری برای تولید و بهره برداری از انرژی پاک را تأمین می‌کند بنابرین با افزایش درجه باز بودن تجاری مصرف انرژی تجدیدپذیر افزایش می‌یابد.

با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش و با توجه به اهمیت حفاظت از محیط‌زیست و اهداف توسعه پایدار، پیشنهاد می‌شود سیاست گذاران اقتصادی در تصمیم گیری‌های خود دست آوردهای این مطالعات را در نظر بگیرند و با توزیع عادلانه ثروت و کاهش نابرابری درآمد که یکی از وظایف دولت‌ها است بستر مناسب برای افزایش گرایش به سمت مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر را فراهم نمایند.

منابع

- اسدزاده، احمد و جلیلی. (۱۳۹۵). تأثیر رشد اقتصادی بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای پیشرفته: شواهدی از هم‌انباشتگی پانلی و برآوردگر CUP-FM . فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی. (۴۷)۱۱. ۱۶۱-۱۸۱.
- اسکندری،هانیه،احمدی،محمدامین،رحیمی،غلامعلی(۱۴۰۳)، بررسی آزمون وجود رابطه علی بین متغیرهای مصرف سوخت‌های فسیلی، انرژی‌ها پاک و رشد اقتصادی در کشورهای منتخب ،فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی،۸۲، ۲۶۰-۲۳۷.
- ایازی، شلیر، عطرکار روشن، صدیقه و صفر زاده، اسماعیل،۱۴۰۲، تأثیر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر بر رشد اقتصادی و محیط‌زیست (مقایسه کشورهای نفتی و غیرنفتی)،پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران،۴۸،۴، ۵۶-۳۱
- ایازیف شلیر، عطرکار روشن، صدیقه،۱۳۹۷، تأثیر مصرف انرژی¬های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر بر رشد اقتصادی و محیط‌زیست، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۵۶-۱۲،۴۸،۳۲
- برقی اسکویی،محمدمهدی، محمدی بیلانکوهی، احد، ۱۳۹۵، تأثیر تجارت بر مصرف انرژی در کشورهای گروه دی هشت، فصلنامه تحقیقات مدلسازی اقتصادی، ۲۵، ۲۴۱-۲۱۷.
- تهامی پور، مرتضی، عابدی، سمانه، کریمی بابااحمدی، رضا، و ابراهیمی زاده، مرتضی،۱۳۹۵، بررسی تاثیر انرژی‌ها تجدیدپذیر بر سرانه رشد اقتصادی واقعی ایران. اقتصاد انرژی ایران (اقتصاد محیط‌زیست و انرژی)، ۵(۱۹)، ۵۳-۷۷. SID. https://sid.ir/paper/244864/fa
- شامحمدی سه چکی، عرفان،خانزادی،آزاده،کریمی، محمد شریف، ۱۴۰۱، بررسی عوامل مؤثر بر مصرف انرژی تجدیدپذیر در کشورهای منتخب اوپک، فصلنامه علمی سیاست‌ها و تحقیقات اقتصادیف ۳،۱سکویی،۸۰-۱۰۶.
- شریف کریمی، محمد، سهیلی کیومرث، برزگری، شیما، ۱۳۹۹،رابطه بین مصرف انرژی تجدید پذیر و رشد اقتصادی در ایران،فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۲۲،۶، ۴۷-۳۱

- شوال پور، سعید، کاویانی،احمد، ۱۳۹۷، تأثیر نوسانات قیمت نفت بر ظرفیت برق بادی در کشورهای درحال توسعه، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۷،۲۶،۲۵-۵۰
- فراهتی محبوبه، سلیمی لیلا،۱۴۰۲، اثر نابرابری درآمد بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران، فصلنامه برنامه ریزی و بودجه; ۲۸ ،۹۵-۷۷
- Ali, A., Radulescu, M., & Balsalobre-Lorente, D. (2023). A dynamic relationship between renewable energy consumption, nonrenewable energy consumption, economic growth, and carbon dioxide emissions: Evidence from Asian emerging economies. Energy & Environment, 34(8), 3529-3552.
- Chang, L., Taghizadeh-Hesary, F., & Mohsin, M. (2023). Role of mineral resources trade in renewable energy development. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 181, 113321.
- Evans, O. (2024). The investment dynamics in renewable energy transition in Africa: The asymmetric role of oil prices, economic growth and ICT. International Journal of Energy Sector Management, 18(2), 229-247.
- Feng, C., Liu, Y. Q., & Yang, J. (2024). Do energy trade patterns affect renewable energy development? The threshold role of digital economy and economic freedom. Technological Forecasting and Social Change, 203, 123371.
- Huilan, W., Akadiri, S. S., Haouas, I., Awosusi, A. A., & Odu, A. T. (2024). Impact of trade liberalization and renewable energy on load capacity factor: Evidence from novel dual adjustment approach. Energy & Environment, 35(2), 795-814.
- Ibrahim, R. L., Adebayo, T. S., Awosusi, A. A., Ajide, K. B., Adewuyi, A. O., & Bolarinwa, F. O. (2024). Investigating the asymmetric effects of renewable energy-carbon neutrality nexus: Can technological innovation, trade openness, and transport services deliver the target for Germany?. Energy & Environment, 35(1), 185-206.
- Jin, T., & Kim, D. (2023). The role of renewable energy in hedging against oil price risks: A study of OECD net oil importers. Renewable Energy, 218, 119325.
- Kadir, M. O., Deka, A., Ozdeser, H., Seraj, M., & Turuc, F. (2023). The impact of energy efficiency and renewable energy on GDP growth: new

evidence from RALS-EG cointegration test and QARDL technique. Energy Efficiency, 16(5), 46.

- Karimi Alavijeh, N., Ahmadi Shadmehri, M. T., Nazeer, N., Zangoei, S., & Dehdar, F. (2023). The role of renewable energy consumption on environmental degradation in EU countries: do institutional quality, technological innovation, and GDP matter?. Environmental Science and Pollution Research, 30(15), 44607-44624.
- Kirikkaleli, D., Awosusi, A. A., Adebayo, T. S., & Otrakçı, C. (2023). Enhancing environmental quality in Portugal: can CO2 intensity of GDP and renewable energy consumption be the solution?. Environmental Science and Pollution Research, 30(18), 53796-53806.
- Magazzino, C., & Giolli, L. (2024). Analyzing the relationship between oil prices and renewable energy sources in Italy during the first COVID-19 wave through quantile and wavelet analyses. Renewable Energy Focus, 48, 100544.
- Mai, T. N. (2023). Renewable Energy, GDP (Gross Domestic Product), FDI (Foreign Direct Investment) and CO2 Emissions in Southeast Asia Countries. International Journal of Energy Economics and Policy, 13(2), 284-289.
- Martial, A. A. A., Dechun, H., Voumik, L. C., Islam, M. J., & Majumder, S. C. (2023). Investigating the influence of tourism, GDP, renewable energy, and electricity consumption on carbon emissions in low-income countries. Energies, 16(12), 4608.
- Ozkan, O., Saleem, A., Khan, N., & Alola, A. A. (2024). Global impact of geopolitical oil price uncertainty and associated commodity prices on clean energy stocks. Energy & Environment, 03.
- Polcyn, J., Us, Y., Lyulyov, O., Pimonenko, T., & Kwilinski, A. (2022). Factors Influencing the Renewable Energy Consumption in Selected European Countries. Energies 2022, 15, 108.
- Qing, L., Yao, Y., Sinisi, C. I., Salman, A., Jaradat, M., Spinu, A. E., ... & Shabbir, M. S. (2024). Do trade openness, environmental degradation and oil prices affect green energy consumption?. Energy Strategy Reviews, 52, 101342.

- Rahman, M. R., Rahman, M. M., & Akter, R. (2023). Renewable energy development, unemployment and GDP growth: South Asian evidence. Arab Gulf Journal of Scientific Research, (ahead-of-print.(
- Tambari, I., Failler, P., & Jaffry, S. (2024). Understanding the Interplay: Oil price and renewable energy investment in Africa's net oil importing and net oil exporting countries. Resources Policy, 91, 104875.
- Ullah, S., & Lin, B. (2024). Natural resources, renewable energy-environment nexus for Pakistan: A policy perspective. Resources Policy, 90, 104788.
- Zaghdoudi, T., Tissaoui, K., Maaloul, M. H., Bahou, Y., & Kammoun, N. (2023). Asymmetric connectedness between oil price, coal and renewable energy consumption in China: Evidence from Fourier NARDL approach. Energy, 285, 129416.
- Zhang, M., Adebayo, T. S., Awosusi, A. A., Ramzan, M., Otrakçı, C., & Kirikkaleli, D. (2024). Toward sustainable environment in Italy: The role of trade globalization, human capital, and renewable energy consumption. Energy & Environment, 35(4), 2058-2086.

فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی/سال بیست‌ویکم / شماره ۸۵/ تابستان ۱۴۰۴ / صفحات ۲۰۸-۱۷۱

نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در تحقق امنیت انرژی پایدار برای اقتصاد ایران: یک رویکرد پویایی سیستمی

علی حسین استادزاد[1]
استادیار گروه مهندسی انرژی، مجتمع آموزش عالی لارستان، لار، ایران
(a.ostadzad@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۲

چکیده

تأمین انرژی پایدار به یکی از چالش‌های اساسی کشورهای در حال توسعه تبدیل شده است. این پژوهش با هدف بررسی نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در تحقق امنیت انرژی پایدار برای اقتصاد ایران، به این سوال پاسخ می‌دهد که دولت با چه سیاست‌هایی می‌تواند سهم انرژی‌های تجدیدپذیر را تا سال ۱۴۳۰ به ۴۷ درصد (هدف تعیین شده توسط آژانس بین‌المللی انرژی) برساند؟ در این راستا، از رویکرد پویایی‌های سیستم برای مدل‌سازی روابط پیچیده بین مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، وابستگی به منابع فسیلی و امنیت انرژی استفاده شده است. شش سناریو برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر تعریف و تحلیل شده است. نتایج نشان می‌دهد که با اتخاذ سیاست‌های مناسب و حمایت از توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، می‌توان به سهم ۴۷ درصدی از این منابع در تولید برق تا سال ۱۴۳۰ دست یافت. این پژوهش با ارائه یک مدل پویا، به سیاستگذاران کمک می‌کند تا با درک بهتر از اثرات متقابل عوامل مختلف، تصمیمات بهینه‌تری در زمینه انرژی اتخاذ کنند. با توجه به قوی ترین و خوشبینانه‌ترین حالت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر پیش‌بینی الگوی بسط داده شده توسط تحقیق نشان دهنده تولید ۴۷/۳۱ درصدی تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر در سال ۱۴۳۰ می‌باشد.

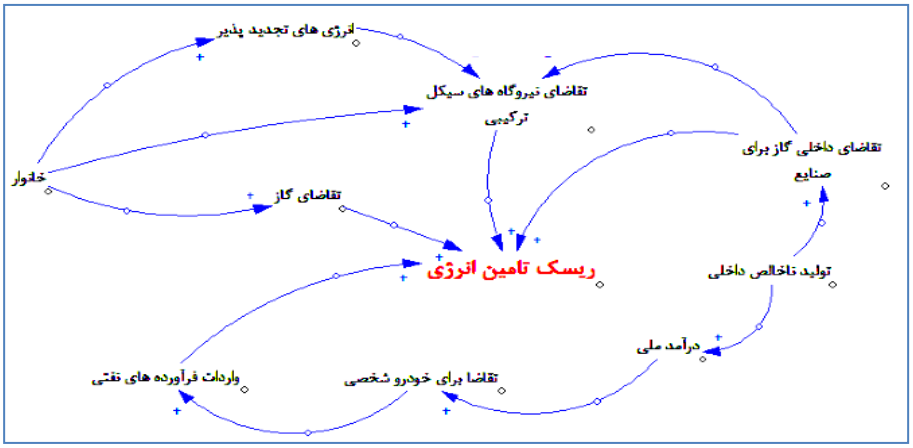
طبقه‌بندی JEL:
کلیدواژه‌ها: انرژی‌های تجدیدپذیر، مدل‌سازی پویایی‌های سیستم، امنیت انرژی، تقاضای انرژی

---

۱. نویسنده مسئول

۱- مقدمه

آژانس بین‌المللی انرژی(IEA)، امنیت انرژی را به عنوان "در دسترس بودن بی وقفه منابع انرژی با قیمت مقرون به صرفه" تعریف می‌کند (آیو[1]، ۲۰۲۰) . این تعریف ارتباط بین منابع طبیعی، توانایی دولت در تأمین انرژی، تقاضای انرژی و امنیت انرژی با تحولات اقتصادی و پایداری، تعادل عرضه و تقاضای انرژی و رابطه متقابل اجتماعی را نشان می‌دهد (حسین آباد[2]، ۲۰۱۸ و لونیسکو، ۲۰۲۲) . عدم دسترسی پایدار به انرژی در بلند مدت و کوتاه مدت تأثیراتی منفی بر تولید و مطلوبیت خانوار خواهد گذاشت، که این موضوع می‌تواند منجر به توزیع نامتوازن انرژی در کنار اثرات منفی اقتصادی شود (آکسون و دارتون[3]، ۲۰۲۱) . عناصر و شاخص‌های امنیت انرژی را به عنوان در دسترس بودن و دسترسی مقرون به صرفه طبقه‌بندی می‌شود. در شکل ۱ نمونه‌ای از یک ماژول توسعه یافته برای ارزیابی ناامنی انرژی در ایران باتوجه به اجزای دسترسی به انرژی نشان داده شده است. با توجه به این نمودار چهار عامل می‌تواند امنیت انرژی در ایران را تحت تأثیر قرار دهد: تقاضای خانگی گاز در فصل زمستان، واردات فرآورده‌های نفتی با وجود تحریم‌های اقتصادی و فشارهای بین‌المللی، تقاضای صنایع و نیروگاه‌های سیکل ترکیبی برای گاز در زمستان.



شکل ۱. نمونه‌ای از رابطه متقابل عناصر تأثیر گذار بر ریسک تأمین انرژی در اقتصاد ایران

(مرجع: یافته‌های تحقیق)

1. Ayoo
2. Hosseinabad
3. Axon & Darton

علاوه براین نگرانی‌هایی مانند محدودیت مخازن سوخت‌های فسیلی، افزایش تقاضای انرژی و بی ثباتی عرضه انرژی، دولت‌ها و سیاست‌گذاران به دنبال جایگزین هایی برای سوخت‌های فسیلی به منظور تثبیت امنیت انرژی می‌باشند (کالایر و همکاران[1]، ۲۰۲۱) . استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر، با توجه به تنوع و استفاده نامحدود به عنوان یکی از جایگزین‌های سوخت‌های فسیلی جهت تأمین انرژی مورد نیاز کشورها معرفی شده است (آدوم و همکاران[2]، ۲۰۲۳) . به منظور اجرای موفق سیاست-های توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، سناریوهای مختلفی توسط دولت‌ها باید به کار گرفته شود. از جمله این سیاست‌ها حمایت مالی از توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد، که این موضوع امنیت انرژی را افزایش داده و انرژی را با قیمت پایین‌تر عرضه خواهد کرد (آینو و همکاران[3]، ۲۰۲۳) . با توجه به محدود بودن سطح منابع سوخت‌های فسیلی، الزامی است که دولت‌ها وابستگی به منابع محدود فسیلی را کاهش داده و سیاست-گذاری به منظور استفاده بیشتر از منابع جایگزین مانند انرژی‌های تجدیدپذیر و انرژی هسته‌ای کنند.

با این حال همواره محدودیت هایی برای تأمین انرژی در کشورهای توسعه یافته و درحال توسعه وجود دارد، که بیشتر ناشی از تغییرات آب و هوایی جهانی و افزایش تقاضای انرژی است. این موضوع باعث افزایش قیمت انرژی و افزایش رقابت برای بهره-برداری از انرژی شده است (کوبر و همکاران[4]، ۲۰۲۰) . ایران چهاردهمین مصرف کننده انرژی در جهان می‌باشد و با توجه به رشد تقاضای انرژی برای گاز طبیعی در سال ۱۴۱۲ روزانه به ۸۲۰ میلیار متر مکعب خواهد بود که استان تهران به عنوان اولین مصرف کننده در بخش مصرف نهایی در نظر گرفته شده است. این آمار با توجه به میزان سرمایه‌گذاری جهت توسعه پالایشگاه‌های گاز، نشان دهنده مواجعه با مشکلات در تأمین انرژی در آینده است.

با توجه به خلاء مطالعاتی موجود و همچنین اهمیت امنیت انرژی برای کشور ایران در این مطالعه با توجه به اهمیت موضوع امنیت تأمین عرضه انرژی به نقش غالب

1. Kalair et al.
2. Odoom et al.
3. Ainou et al.
4. Kober et al.

انرژی‌های تجدیدپذیر در امنیت تأمین انرژی برای اقتصاد ایران با توجه به متغیرهای اقتصادی و پیش‌بینی تقاضای انرژی پرداخته شده است و تلاش شده است تا وابستگی کشور به منابع انرژی فسیلی مورد بررسی قرار گیرد، همچنین عوامل کمی و کیفی مختلف از نظر نمودار علی – حلقوی (CLD) و نمودار انباشت و جریان(SFD) که مدل پویایی‌های سیستم (SD) را ایجاد می‌کند مدل سازی شده است.

در ادامه پیشینه پژوهش در بخش دوم مورد بررسی قرار گرفته است. سپس در قسمت سوم مبانی نظری و اهمیت موضوع امنیت انرژی مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش چهارم روش شناسی تحقیق و در بخش پنجم شبیه‌سازی با استفاده از روش پویایی‌های سیستم (بررسی نمودارهای علی-حلقوی و نمودارهای جریان) صورت پذیرفته است. در نهایت پس از اطمینان از صحت الگوی بسط داده شده به پیش‌بینی امنیت انرژی با توجه به رشد انرژی‌های تجدیدپذیر در سناریوهای مختلف پرداخت شده است. در نهایت نتایج تحقیق و پیشنهادات برای بهبود امنیت انرژی ارائه گردیده است.

۲- پیشینه پژوهش

به طور کلی بیش از ۲۰ سال است که مطالعات با تمرکز بر مدل سازی سیستم‌های پویا (SD) در زمینه سیستم‌های انرژی مورد بحث قرار گرفته است. در مدل SD تغییراتی که در بین متغیرهای تقاضای انرژی و امنیت عرضه انرژی وجود دارد و همچنین تأثیر سیاست‌های مختلف در زمینه انتقال انرژی قابل تجزیه و تحلیل است (سوبرامانیان و همکاران[1]، ۲۰۱۸) .

در مطالعات زیادی ساختار فیزیکی انرژی در سیستم‌های پویا برای ارزیابی قابلیت اطمینان منابع انرژی تجدیدپذیر در مناطق مختلف مورد بررسی قرار گرفته است (امانوال و همکاران[2]، ۲۰۲۰) .

در مطالعات گروه دوم به تخمین تأثیر سیستم قیمت‌گذاری و شاخص‌های اقتصادی مانند تولید ناخالص داخلی(GDP) بر شاخص‌های انرژی تحت سناریوهای مختلف در حوزه انرژی پرداخته شده است (لین و رازا[3]، ۲۰۲۰) .

1. Subramanian et al.
2. Emmanuel et al.
3. Lin & Raza

در گروه سوم مطالعات محققان اثرات زیست محیطی CO_2 را ارزیابی کرده و انتشار و آلودگی صنعتی در سیستم‌های انرژی با استفاده از روکرد SD ارزیابی شده است (واو و همکاران[1]، ۲۰۲۱) . در این مطالعات مدل SD برای ارزیابی سناریوهای مختلف در کاهش CO2و بسیاری از سناریوهای دیگر ساخته شده است. اکثر این مطالعات بخش‌های خدماتی و حمل و نقل را به عنوان عوامل اصلی انتشارCO2 نشان می‌دهند و نتیجه می‌گیرند که توسعه شبکه‌های جاده‌ای و ظرفیت می‌تواند منجر به انتشار عمده CO2 در مناطق شهری شود (تانگ و همکاران[2]، ۲۰۲۰، وانگ و همکاران، ۲۰۲۴) .

تعدادی از مطالعات به منظور ارزیابی تأثیر سیاست‌های بخش انرژی بر امنیت عرضه انرژی از الگوهای SD استفاده نموده اند (راوار و همکاران[3]، ۲۰۲۰). . الگوهای SD به پیش‌بینی مدل‌های رفتاری قابل مشاهده یک سیستم انرژی تا بررسی ساختارهای سطح خرد اقتصادی کمک می‌کنند که این موضوع منجر به شناسایی سیاست‌های کلیدی انرژی در افزایش امنیت عرضه انرژی خواهد شد. در چارچوب سیاست‌های مختلف نرخ مصرف انرژی در طول زمان قابل شبیه‌سازی است، که این موضوع نقشه راه تصمیم گیرندگان به منظور اجرای سیاست‌های قابل اجرا در کاهش مصرف انرژی است.

در مطالعه (حسین آباد و موراگا[4]، ۲۰۲۰) از روش مدل سازیSD به منظور بررسی وابستگی به انرژی در کشور فنلاند استفاده شده است. در این مطالعات به منظور بررسی بهترین برنامه اقدام انرژی و صرفه جویی در هزینه تولید انرژی با استفاده از تعداد محدودی از انرژی‌های تجدیدپذیر از سناریوهای مختلف استفاده شده است. با این حال، آنها نقاط ضعف و قوت منابع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر و خطرات مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر را نشان ندادند و همچنین، مدل پیشنهادی آنها قادر به پوشش تمام منابع انرژی تجدیدپذیر نمی‌باشد، بنابراین برای سایر مطالعات موردی قابل استفاده نیست. در ادامه در جدول شماره (۱) تعدادی از مطالعات پیشین در زمینه تأثیر انرژی‌های تجدیدپذیر و امنیت انرژی مورد بررسی قرار گرفته است.

1. Wu et al.
2. Tang et al.
3. Ravar et al.
4. Hosseinabad & Moraga

جدول ۱. مطالعات پیشین در زمینه تأثیر انرژی‌های تجدیدپذیر و امنیت انرژی

مطالعه	خلاصه مقاله	نتایج و روش تحقیق
(گالاگان و فریگیریو[1]، ۲۰۲۳)	در این مقاله، نویسندگان تأثیر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در چارچوب امنیت بین‌المللی را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که انرژی‌های تجدیدپذیر با کاهش وابستگی متمایز به تجارت فعلی منابع فسیلی، کاهش نفرین منابع کشورهای صادرکننده انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه تعدیل خطرات مرتبط با تغییرات آب و هوایی می‌توانند سهم مثبتی در امنیت بین‌المللی انرژی داشته باشند.	✓ انرژی‌های تجدیدپذیر با کاهش وابستگی به منابع فسیلی به امنیت انرژی کمک می‌کنند. ✓ انرژی‌های تجدیدپذیر «نفرین منابع» کشورهای صادرکننده انرژی را کاهش می‌دهند. ✓ بررسی تأثیر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر بر امنیت بین‌المللی انرژی
(احمد و همکاران[2]، ۲۰۱۸)	در این مقاله، روند فعلی رشد انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح جهانی و به ویژه در کشور هند و همچنین مسائل زیست محیطی با جزئیات مورد بررسی قرار گرفته است. در مورد فن‌آوری، پتانسیل، آینده و دامنه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر به ویژه با مطالعه موردی کشور هند مورد بحث قرار گرفته است.	✓ انرژی تجدیدپذیر برای امنیت انرژی و تغییرات آب و هوایی بسیار مهم است. ✓ هند اهداف بلند مدت برای رشد انرژی‌های تجدیدپذیر برنامه‌ریزی کرده است. ✓ این مقاله به بررسی فن‌آوری اشکال مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی باد، برق آبی، انرژی خورشیدی، انرژی زیست توده و انرژی زمین گرمایی پرداخته است. ✓ مروری بر فن آوری، پتانسیل‌های آینده و دامنه‌های این منابع انرژی تجدیدپذیر، به ویژه با مطالعه موردی کشور هند ارائه شده است.
(سوتنیک و همکاران[3]، ۲۰۲۱)	در این مقاله، به بررسی تأثیر انرژی‌های تجدیدپذیر و توسعه بهره‌وری انرژی بر امنیت انرژی برای اقتصادهای نوظهور پرداخته شده است. روش‌شناسی ارزیابی امنیت انرژی با شاخص ابهام‌زدایی بار مالی انرژی‌های تجدیدپذیر بر بودجه دولت، شاخص ابهام‌زدایی انرژی، شاخص فقر انرژی خانوارها، شاخص توسعه ظرفیت توازن حجم تولید برق و شاخص نوسانات انرژی پیشنهاد دادند.	✓ ارزیابی تأثیر انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره وری انرژی بر امنیت انرژی. ✓ شاخص‌های پیشنهادی برای ارزیابی جامع امنیت انرژی بر اساس آخرین چالش‌های موجود. ✓ شاخص ابهام‌زدایی بار مالی انرژی‌های تجدیدپذیر

1. **Galagan & Frigerio**
2. **Ahmad et al.**
3. **Sotnyk et al.**

مطالعه	خلاصه مقاله	نتایج و روش تحقیق
(مالیک[1]، ۲۰۲۰)	در این مقاله دغدغه اقتصادی- اجتماعی امنیت انرژی مورد بررسی قرار گرفته است و منابع انرژی تجدیدپذیر محبوبیت بیشتری کسب می‌کنند. اما منابع انرژی متعارف به تدریج تخلیه و روند کاهشی را تجربه خواهند کرد.	✓ منابع انرژی تجدیدپذیر در طول زمان محبوبیت را برای امنیت انرژی کسب می‌کنند. ✓ بهره‌گیری از منابع انرژی تجدیدپذیر برای تولید پایدار برق
(بردیشیوا و ایکونیکووا[2]، ۲۰۲۱)	در این مقاله، نویسندگان با استفاده از داده‌های انرژی و جریان پولی ۲۰۰۰-۲۰۱۸ سازمان ملل متحد و تجارت کالاهای سازمان ملل متحد و آژانس بین‌المللی انرژی، الگوهای جدید و درک پیامدهای امنیت انرژی، تکامل شبکه بین‌المللی جریان انرژی را مورد بررسی قرار دادند.	✓ تغییرات منابع انرژی بر الگوهای تجارت سوخت‌های فسیلی تأثیر می‌گذارد ✓ انتقال انرژی بر جریانات بین‌المللی انرژی و امنیت تأثیر می‌گذارد ✓ تحلیل داده‌های تجارت کالا سازمان ملل متحد و آژانس بینالمللی انرژی ✓ تست خصوصیات دنیای کوچک برای درک انتشار فن آوری‌های جدید
(باهگات، ۲۰۰۸)	در این مقاله، نویسندگان تنوع ترکیبی انرژی را به عنوان یک استراتژی برای افزایش امنیت انرژی بررسی می‌کنند و دریافتند که اگرچه گاز طبیعی، زغال سنگ، انرژی هسته‌ای و انرژی زیستی سهم قابل توجهی در ترکیب انرژی جهانی دارند، نفت احتمالا منبع اصلی انرژی باقی خواهد ماند.	✓ نفت همچنان منبع غالب سوخت خواهد بود. ✓ تنوع سازی ترکیب انرژی برای امنیت انرژی مهم است. ✓ تنوع سازی مخلوط انرژی ✓ ارتقای امنیت انرژی از طریق راهبردهای مختلف
(تقی زاده و همکاران[3]، ۲۰۲۱)	امنیت انرژی، مفهومی چند بعدی که شامل مفهوم در دسترس بودن منابع، دسترسی، پذیرش زیست محیطی و مقرون به صرفه بودن هزینه است، همانطور که در این مقاله ذکر شد به طور گسترده مورد بحث قرار گرفته است. اما، این مفهوم هنوز در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر مورد توجه قرار نگرفته است.	✓ امنیت انرژی برای رشد اقتصادی بسیار مهم است. ✓ انرژی تجدیدپذیر می‌تواند به امنیت انرژی کمک کند. ✓ تجزیه و تحلیل امنیت انرژی، انرژی‌های تجدیدپذیر و روابط رشد اقتصادی. ✓ ابعاد مورد بحث: در دسترس بودن منابع، دسترسی، پذیرش زیست محیطی و مقرون به صرفه بودن هزینه.

1. Malik
2. Berdysheva & Ikonnikova
3. Taghizadeh-Hesary et al.

مطالعه	خلاصه مقاله	نتایج و روش تحقیق
(گوکگوز و گوورسین[1]، ۲۰۱۸)	در این مقاله، نویسندگان ابتدا به طور تجربی اثر جایگزینی انرژی تجدیدپذیر بر واردات انرژی تأیید کردند، سپس عملکرد کشورهای منتخب اتحادیه اروپا در بهره وری انرژی‌های تجدیدپذیر از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ با چشم انداز امنیت انرژی مورد بررسی قرار داده شده است.	✓ متوسط کارایی کشورهای منتخب اتحادیه اروپا در حال افزایش است. ✓ تغییرات تکنولوژیکی محرک اصلی رشد بهره وری است. ✓ تجزیه و تحلیل پوششی داده‌ها (Spector et al.) برای معیار کارایی ✓ شاخص مالمکویست-لوئنبرگر برای تجزیه و تحلیل رشد بهره وری

در مطالعه مغانی و همکاران (۱۴۰۳) به بررسی چالش‌ها و فرصت‌های انرژی در ایران پرداخته است، اما تمرکز اصلی آن بر گاز طبیعی و انرژی خورشیدی بوده است. در حالی که این دو منبع، به ویژه گاز طبیعی، نقش مهمی در سبد انرژی ایران ایفا می‌کنند، پرداختن صرف به آنها نمی‌تواند تصویر کاملی از وضعیت انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور ارائه دهد. پژوهش حاضر با رویکردی جامع‌تر، به بررسی نقش *انواع* انرژی‌های تجدیدپذیر، شامل انرژی خورشیدی، باد، زیست‌توده، آبی و زمین‌گرمایی، در تحقق امنیت انرژی پایدار برای اقتصاد ایران می‌پردازد. این رویکرد جامع‌تر، امکان تحلیل دقیق‌تر و واقع‌بینانه‌تری از پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران و نقش آنها در کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و تحقق امنیت انرژی را فراهم می‌کند.

(فتاحی زاده & اندرخورد, ۲۰۲۵) مطالعه فتاحی زاده و اندرخورد (۱۴۰۳) به بررسی راهبردها و سیاست‌های ایران در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر و نقش آنها در امنیت انرژی پرداخته است. این مطالعه با استفاده از روش مدلسازی عقلانی-مفهومی، به شناسایی تهدیدها و فرصت‌های ناشی از گذار به انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران پرداخته و نشان داده است که بیشترین توجه در سیاستگزاری‌های کلان و اسناد بالادستی ایران به شاخص‌های قیمت و شدت مصرف انرژی و کمترین توجه به شاخص‌های مقبولیت و ثبات سیاسی و تا حدی شاخص استمرار تولید بوده است. پژوهش حاضر با تمرکز بر نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در تحقق امنیت انرژی پایدار برای اقتصاد ایران، از مطالعه فتاحی زاده و اندرخورد (۱۴۰۳) و سایر مطالعات پیشین

1. Gökgöz & Güvercin

متمایز می‌شود. در حالی که مطالعه فتاحی زاده و اندرخورد (۱۴۰۳) به بررسی راهبردها و سیاست‌های ایران در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر پرداخته است، پژوهش حاضر به طور خاص به بررسی تأثیر انرژی‌های تجدیدپذیر بر امنیت انرژی در ایران می‌پردازد. علاوه بر این، پژوهش حاضر از رویکرد پویایی‌های سیستم برای مدل‌سازی روابط پیچیده بین عوامل مختلف مؤثر بر امنیت انرژی استفاده می‌کند، که این امر امکان تحلیل دقیق‌تر و جامع‌تر اثرات متقابل عوامل مختلف بر یکدیگر را فراهم می‌کند.

مطالعه استادزاد (۱۴۰۳) به بررسی نقش انرژی خورشیدی در توسعه پایدار اقتصادی در ایران پرداخته است. این مطالعه با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها، به بررسی عوامل مؤثر بر سیستم انرژی، اقتصاد، جامعه و محیط‌زیست پرداخته و نشان داده است که برای توسعه پایدار، دولت باید بر افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در کل تولید انرژی تمرکز کند. پژوهش حاضر با تمرکز بر نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در تحقق امنیت انرژی پایدار برای اقتصاد ایران، از مطالعه استادزاد (۱۴۰۳) و سایر مطالعات پیشین متمایز می‌شود. در حالی که مطالعه استادزاد (۱۴۰۳) به بررسی نقش انرژی خورشیدی در توسعه پایدار اقتصادی پرداخته است، پژوهش حاضر به طور خاص به بررسی تأثیر انرژی‌های تجدیدپذیر بر امنیت انرژی در ایران می‌پردازد. علاوه بر این، پژوهش حاضر از رویکرد پویایی‌های سیستم برای مدل‌سازی روابط پیچیده بین عوامل مختلف مؤثر بر امنیت انرژی استفاده می‌کند، که این امر امکان تحلیل دقیق‌تر و جامع‌تر اثرات متقابل عوامل مختلف بر یکدیگر را فراهم می‌کند.

در مطالعه «اروپا و معضل امنیت انرژی؛ محدودیت و راهبردها» (رضوی، ۱۴۰۰)، نویسنده به بررسی چالش‌های امنیتی انرژی در اروپا و راهبردهای اتخاذ شده برای مقابله با این چالش‌ها می‌پردازد. در این مطالعه، وابستگی روزافزون کشورهای اروپایی به واردات انرژی، به ویژه نفت و گاز، به عنوان یک عامل تهدید کننده برای امنیت انرژی این منطقه مورد تاکید قرار گرفته است. نویسنده با اشاره به نقش روسیه به عنوان یکی از تامین کنندگان اصلی انرژی اروپا، به تحلیل تاثیر تحریم‌های بین‌المللی و تنش‌های سیاسی بر امنیت عرضه انرژی در این منطقه می‌پردازد. مطالعه رضوی (۱۴۰۰) به بررسی چالش‌های امنیتی انرژی در اروپا و راهبردهای اتخاذ شده برای مقابله با این چالش‌ها می‌پردازد، در حالی که در این مطالعه بر نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در تحقق

امنیت انرژی پایدار برای اقتصاد ایران متمرکز است. به عبارت دیگر، مطالعه رضوی (۱۴۰۰) یک دیدگاه منطقه‌ای (اروپا) و کلان (امنیت انرژی به طور کلی) دارد، در حالی که در این مطالعه یک دیدگاه ملی (ایران) و خاص (انرژی‌های تجدیدپذیر) را دنبال می‌کند. علاوه بر این، مطالعه رضوی (۱۴۰۰) بیشتر بر چالش‌های مربوط به وابستگی به واردات انرژی و نقش عوامل سیاسی و اقتصادی در امنیت عرضه انرژی تمرکز دارد. در مقابل، در این مطالعه به بررسی نقش انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان یک راهکار برای کاهش این وابستگی و دستیابی به امنیت انرژی پایدار می‌پردازد. بنابراین، در این مطالعه می‌تواند به عنوان یک مطالعه موردی در زمینه چگونگی پرداختن به چالش‌های امنیتی انرژی که در مطالعه رضوی (۱۴۰۰) مطرح شده‌اند، در نظر گرفته شود.

با وجود مطالعات گسترده در زمینه انرژی و سیستم‌های پویا، تحقیق حاضر با تمرکز بر نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در تحقق امنیت انرژی پایدار برای اقتصاد ایران و ارائه یک مدل پویای جامع که به طور خاص به بررسی روابط متقابل بین مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، وابستگی به منابع فسیلی و امنیت انرژی در ایران می‌پردازد، از مطالعات پیشین متمایز می‌شود. در حالی که برخی مطالعات (مانند حسین آباد و موراگ، ۲۰۲۰ و) به بررسی وابستگی به انرژی در کشورهای دیگر پرداخته‌اند، این تحقیق به طور خاص به شرایط اقتصادی و انرژی ایران می‌پردازد و با ارائه شش سناریو برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، راهکارهای عملی برای تحقق اهداف امنیت انرژی در ایران را ارائه می‌دهد .علاوه بر این، مدل پیشنهادی در این تحقیق قادر به پوشش تمامی منابع انرژی تجدیدپذیر است و می‌تواند به عنوان یک الگوی جامع برای سایر مطالعات موردی در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر مورد استفاده قرار گیرد. در تعدادی از مطالعات به منظور توسعه سیستم‌های انرژی مدل‌های SD ایجاد شده است. ولی تحقیقات در استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر به عنوان سیاست‌های کاهش وابستگی انرژی از منابع فسیلی محدود می‌باشد. با این حال مقالات در زمینه بررسی تأثیر منابع انرژی تجدیدپذیر در افزایش امنیت تأمین انرژی و کاهش وابستگی انرژی بسیار محدود است. هدف از این تحقیق پوشش این شکاف تحقیقاتی به گونه‌ای است که تقاضای انرژی با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر توسعه و برای ایران کالیبره گردد.

برتری مدل سازیSD در پیش‌بینی تقاضای انرژی در مقایسه با مدل رگرسیونی مورد توافق تمام مطالعات می‌باشد. بنابراین سهم عمده پژوهش حاضر پیشنهاد یک مدل SD است که در آن تأثیر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان یک سیاست برای برآوردن تقاضای انرژی، افزایش امنیت انرژی و صرفه جوی در هزینه‌های مرتبط با آن در کشورهای در حال توسعه مانند ایران می‌باشد. این مدل به گونه‌ای توسعه یافته است که می‌تواند در مطالعات آتی برای کشورهای مختلف کالیبره گردد. همچنین مدل پیشنهادی می‌تواند به تصمیم گیرندگان انرژی بینش جدیدی در سیاست‌گذاری انرژی-های تجدیدپذیر بدهد تا با کاهش وابستگی به انرژی‌های فسیلی به سطح مطلوبی از امنیت عرضه انرژی برسند.

۳- مبانی نظری

در این بخش نقش تنوع انرژی، قیمت انرژی، تحریم و همچنین واردات انرژی بر امنیت انرژی مورد بررسی قرار گرفته است.

امنیت انرژی و تنوع در بازار انرژی از جنبه‌های مهمی است که در مقالات تحقیقاتی برجسته شده است. انتقال انرژی، در میان بحران‌های اقتصادی، بر اثربخشی تنوع سازی در اطمینان از بهره برداری پایدار و توسعه در بخش انرژی تأکید دارد. علاوه بر این، مفهوم امنیت انرژی با تمرکز بر عرضه فیزیکی، اجزای قیمت و انعطاف پذیری در برابر شوک‌های خارجی در حال تکامل است، همانطور که در تجزیه و تحلیل کشورهای شورای همکاری خلیج فارس مشاهده می‌شود (بولینو و گالکین[1]، ۲۰۲۱) . اتحادیه اروپا همچنین بر اهمیت امنیت انرژی، به ویژه با توجه به رویدادهای اخیر، با ایجاد چارچوبی برای ارزیابی وابستگی واردات انرژی و تنوع سازی برای بهبود سیاست تأکید دارد (استریمیکینی[2]، ۲۰۲۳) .

امنیت انرژی موضوع مهمی است که تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند وابستگی به واردات، شدت انرژی، و نیاز به تنوع سازی منابع انرژی است. وابستگی به واردات انرژی یک عامل کلیدی موثر بر امنیت ملی انرژی است، زیرا می‌تواند منجر به آسیب پذیری مانند نفوذ اقتصادی و سیاسی از سایر کشورها و قرار گرفتن در معرض شرایط بازار

1. Bollino & Galkin
2. Streimikiene et al.

جهانی شود (واسیلینا[1]، ۲۰۲۳) . بحران انرژی جهانی اخیر پس از تهاجم روسیه به اوکراین باعث شده است بسیاری از کشورها سیاست‌های امنیت انرژی خود را دوباره ارزیابی کنند، با تمرکز بر کاهش وابستگی به واردات از طریق تنوع عرضه و کاهش وابستگی به منابع انرژی روسیه علاوه بر این، اتحادیه اروپا ابتکاراتی مانند Re-Power را برای افزایش امنیت انرژی با صرفه جویی در انرژی، تنوع بخشیدن به منابع و ترویج منابع انرژی تجدیدپذیر برای کاهش وابستگی به واردات روسیه آغاز کرده است. درک و رسیدگی به وابستگی به واردات برای اطمینان از سیستم‌های انرژی پایدار و ایمن در مواجهه با چالش‌های در حال تحول ژئوپلیتیک و نگرانی‌های تغییرات آب و هوایی بسیار مهم است (لوتی و همکاران، ۲۰۲۳) .

تحریم‌ها نقش مهمی در افزایش هزینه‌های معاملات ایفا می‌کند و همچنین عدم اطمینان در سرمایه‌گذاری را افزایش می‌دهد. سرمایه‌گذار خواستار تضمین‌های محکم در برابر سود نقدی هستند که این امر باعث کاهش شدید سطح سرمایه گذاری و مشارکت در پروژه های مرتبط با بخش انرژی می‌شود. اقدامات تنبیهی اقتصادی، به‌ویژه تحریم‌های نفتی می‌تواند به امنیت انرژی کشورهای تولیدکننده آن آسیب برساند. آنها یکی از مهمترین عوامل ایجاد رکود در صنایع انرژی این کشورها هستند. چنین جریمه‌های مالی ممکن است به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر خطرات امنیت انرژی تأثیر بگذارد، اگر کشوری خود را تحت تحریم قرار دهد، احتمالاً ظرفیت تولید و ارسال انرژی به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. دو مشکل اصلی وجود دارد که ممکن است این اتفاق بیفتد. برای شروع، جریمه‌ها می‌توانند نیاز به برق را در بازارهای بین‌المللی کاهش دهند و سازندگان انرژی مجبور به کاهش تولید و ارسال آن‌ها شوند. دوم، همین مجازات‌ها ممکن است دستیابی به فناوری نوآورانه در تولید انرژی را برای یک کشور سخت کند. با این حال، در حالی که همه چیز درست است، این نوع مجازات‌های اقتصادی می‌تواند باعث شود یک کشور بیشتر روی توسعه فناوری خود و تولید کالا در داخل مرزهایش تمرکز کند (وین و همکاران، ۲۰۲۱) . در ادامه با توجه به مبانی نظری ذکر شده در مورد امنیت انرژی به مدلسازی الگو پرداخته شده است.

1. Vasylyna

۴- روش شناسی

سیستم‌های پویا (SD) یک رویکرد تفکر سیستمی است که محقق را قادر می‌سازد یک سیستم پیچیده با تمام متغیرها و عوامل مؤثر بر آن در طول زمان مدل سازی کند. از ابزارهای کنترل SD، مانند تأخیرهای زمانی و حلقه بازخورد متعادل می‌باشد، که این ابزارها به محققان کمک می‌کند که نه تنها جزئیات مربوط به رفتار همه متغیرهای سیستم را بررسی کنند، بلکه یک دید کلی و کلان از سیستم به عنوان یک ابزار کنترلی داشته باشند (آزار، ۲۰۱۲) .

با استفاده از رویکرد SD رفتار سیستم بر اساس رابطه بین متغیرها و عوامل موثر در مدل قابل پیش‌بینی است و سیستمی که شامل تعدادی حلقه با رابطه غیر خطی است، نسبت به تغییرات اکثر پارامترهای سیستم حساس خواهد بود. علاوه بر این SD ابزاری قدرت‌مند می‌باشد که رفتار متغیرها در یک سیستم و رفتار کل سیستم در نتیجه تغییر هر پارامتر را نشان می‌دهد.

به طور کلی SD ابزاری است که برای تحلیل کیفی و همچنین برای تحلیل کمی مورد استفاده قرار می‌گرد و به دلیل کاربردی بودن آن در رشته‌های مختلف به کار گرفته شده و این رویکرد یک گرایش برای پرداختن به سیستم‌های زیست محیطی و انرژی است. از آن جایی که SD بر رفتار و پویایی داخل سیستم تمرکز می‌کند، رابطه بین متغیرهای درون سیستم و ساختار باز خوردی را نشان می‌دهد و می‌توان از آن به عنوان منبع قابل اعتمادی برای بررسی این که آیا امکان تعادل در سیستم وجود دارد استفاده کرد (رانجان و شانکار، ۲۰۲۲) .

انرژی‌های تجدیدپذیر به‌عنوان منابع انرژی قابل اعتماد و پایدار در کاهش مصرف انرژی‌های فسیلی می‌باشد. از طرفی پیش‌بینی دقیق مصرف انرژی می‌تواند منجر به بررسی بهتر امنیت انرژی گردد. تحقیق حاضر همچنین پیشنهاد می‌کند که سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیرندگان باید برنامه‌های ارتقا انرژی‌های تجدیدپذیر را برای دست‌یابی به سطح مطلوبی از وابستگی و امنیت تأمین انرژی مورد بازبینی قراردهند.

مراحل مدل‌سازی شامل ۱- تعریف مسئله و هدف: در این مرحله، مسئله اصلی تحقیق (بررسی نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در تحقق امنیت انرژی پایدار) و هدف از مدل‌سازی (ارزیابی سناریوهای مختلف توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و تأثیر آن بر

امنیت انرژی) به طور دقیق مشخص شده است. ۲- شناسایی متغیرها و عوامل مؤثر: با بررسی ادبیات موضوع و مصاحبه با متخصصان، متغیرهای کلیدی مؤثر بر امنیت انرژی و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر شناسایی شده است. این متغیرها شامل مواردی مانند میزان مصرف انرژی، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر، میزان سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر، و عوامل اقتصادی و اجتماعی مرتبط می‌شوند. ۳- تعیین روابط بین متغیرها: با استفاده از دانش تخصصی و تحلیل داده‌ها، روابط علی و معلولی بین متغیرها و نحوه تأثیر آنها بر یکدیگر تعیین شد. این روابط به صورت حلقه‌های بازخورد (مثبت و منفی) در مدل نشان داده می‌شوند. ۴- ساخت مدل پویایی سیستم: با استفاده از نرم‌افزار تخصصی ونسیم، مدل پویایی سیستم بر اساس متغیرها و روابط بین آنها ساخته شد. در این مدل، از ابزارهای کنترل پویایی سیستم مانند تأخیرهای زمانی و حلقه‌های بازخورد برای شبیه‌سازی رفتار سیستم در طول زمان استفاده خواهد شد. ۵- اعتبارسنجی مدل: مدل ساخته شده با استفاده از داده‌های تاریخی و نظرات متخصصان مورد اعتبارسنجی قرار خواهد گرفت. این مرحله شامل بررسی تطابق خروجی‌های مدل با داده‌های واقعی و تحلیل حساسیت مدل نسبت به تغییر پارامترها می‌شود. ۶- سناریوسازی و تحلیل: با تعریف سناریوهای مختلف برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر (مانند سناریوی خوشبینانه، بدبینانه و سناریوی مرجع)، تأثیر هر سناریو بر امنیت انرژی در آینده شبیه‌سازی و تحلیل می‌شود. ۷- ارائه پیشنهادات: بر اساس نتایج تحلیل سناریوها، پیشنهادهای سیاستی برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و بهبود امنیت انرژی ارائه می‌شود.

به منظور ساخت و اعتبارسنجی مدل، از داده‌های آماری (داده‌های مربوط به میزان مصرف انرژی، تولید انرژی‌های تجدیدپذیر، و سایر متغیرهای اقتصادی و اجتماعی از منابع معتبر مانند سازمان‌های بین‌المللی (آژانس بین‌المللی انرژی، بانک جهانی)، سازمان‌های دولتی (وزارت نیرو، سازمان برنامه و بودجه)، و مراکز پژوهشی جمع‌آوری شد.) و داده‌های کیفی (نظرات و دیدگاه‌های متخصصان و صاحب‌نظران در حوزه انرژی از طریق مصاحبه‌های تخصصی و پرسشنامه‌ها جمع‌آوری شد. این داده‌ها برای شناسایی عوامل مؤثر بر توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و اعتبارسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت) استفاده شده است.

۴-۱- مدل سازی نمودار علی-حلقوی[1]

مدل سازی SD بیشتر شامل دو مرحله مدل سازی است. در مرحله اول مدل‌ساز تلاش می‌کند تا نمودار علی-حلقوی(CLD) را برای نشان دادن درک مفهومی مدل تنظیم کند. این مرحله شامل تعیین حدود روابط علی در چارچوب سیاستی دولت‌ها با کمک قضاوت خود و نیز نظرات کارشناسان است (اسپکتور و همکاران[2]، ۲۰۰۱ – لین و همکاران[3]، ۲۰۲۰). رابطه بین متغیرها در مدل علی-حلقوی می‌تواند مثبت باشد که سیستم را تقویت می‌کند یا منفی که به عنوان متعادل کننده سیستم عمل خواهد کرد (واترلاندر و همکاران[4]، ۲۰۲۱) . این رابطه‌ها منجر به شناسایی متغیرها و روابط متقابل بین متغیرهای مختلف می‌شود.

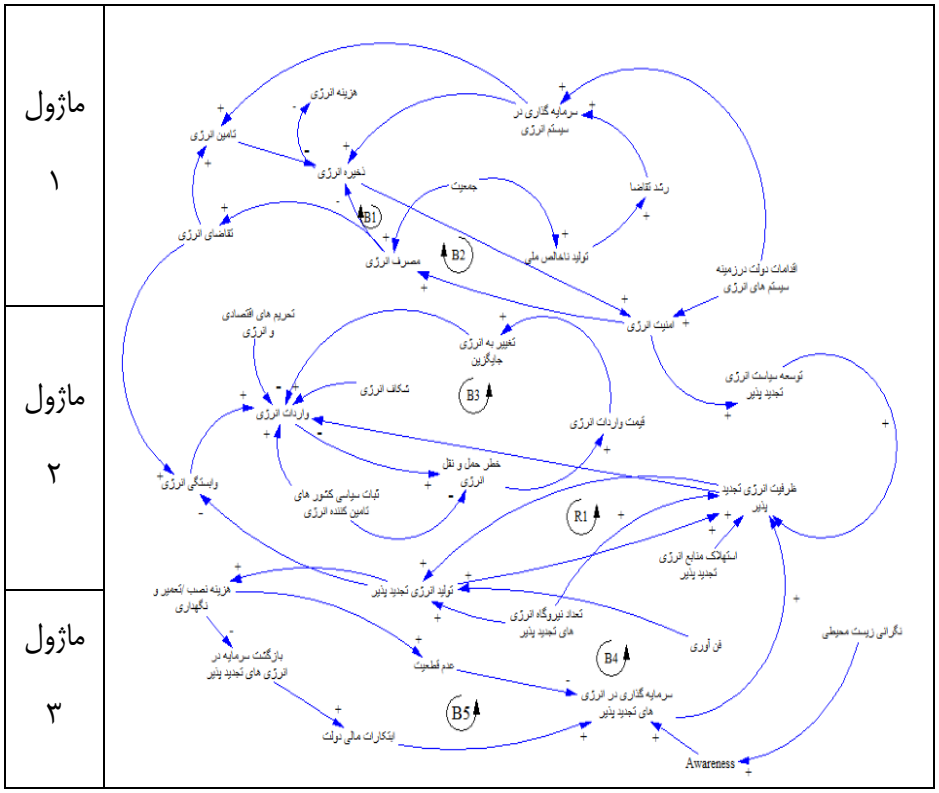
مطالعه حاضر چارچوبی با رویکرد SD به منظور ارزیابی استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر ارائه می‌کند. الگوی سیستم‌های پویا بسط داده شده در این تحقیق به منظور بررسی سیاست‌های جبران تولید انرژی، روشی برای کاهش وابستگی به انرژی-های فسیلی با توجه به تنوع انرژی‌های تجدیدپذیر به همراه تعدادی از متغیرهای موثر بر وابستگی انرژی و تقاضای انرژی برای پیشنهاد سیاست‌های بعدی و آزمایش سناریوهای مختلف مناسب است.

برای طراحی CLD ابتدا باید متغیرهای تأثیرگذار مدل شناسایی شوند. این موضوع را می‌توان با مرور ادبیات و همچنین تجربه متخصصان در موضوع خاص به دست آورد. در فرایند طراحی به منظور توضیح بهتر دیدگاه‌های مختلف، ممکن است نمودار علی-حلقوی به چند بخش تقسیم شود تا مدل از دیدگاه‌های مختلف موضوع بهتر توضیح داده شود. نمودار علی- حلقوی پیشنهادی در تحقیق فعلی شامل سه زیر بخش مختلف است. بخش اول (بخش اقتصاد و تقاضای انرژی): حلقه علی به منظور توضیح تقاضای انرژی طراحی شده است که این حلقه نشان می‌دهد چه شاخص‌هایی بر تقاضای انرژی دریک کشور تأثیر می‌گذارند. بخش دوم (انرژی‌های فسیلی): نشان دهنده وابستگی انرژی به منابع فسیلی و شکاف بین تقاضای انرژی و میزان عرضه انرژی

1. Causal loop modelling
2. Spector et al.
3. Lin et al.
4. Waterlander et al.

فسیلی و شاخص‌های آن در یک کشوراست. بخش سوم (انرژی‌های تجدیدپذیر): بر رابطه متقابل انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان جایگزینی برای انرژی‌های تجدیدناپذیر و به عنوان منابع افزایش امنیت انرژی و کاهش وابستگی به انرژی فسیلی تمرکز دارد.

با توجه به شکل ۲، رابطه متقابل بالقوه بین متغیرها بر اساس وابستگی به منابع انرژی فسیلی (بخش ۲)، تقاضای انرژی (بخش ۱) و انرژی‌های تجدیدپذیر (بخش ۳) وجود دارد. مزیت اصلی توسعه این مدل‌ها تحقیق در مورد ساختارهای بازخوردی عوامل، متغیرها و سیاست‌های مرتبط با سیستم‌های انرژی است.



شکل (۲): نمودار علی–حلقوی وابستگی به انرژی با در نظر گرفتن انرژی‌های تجدیدپذیر

(مرجع: یافته‌های تحقیق)

در شکل ۲ (ماژول۱) ساختار بازخوردی تقاضای انرژی و امنیت انرژی نشان داده شده است. با افزایش مصرف انرژی، تقاضای انرژی و همچنین میزان انباشت انرژی

افزایش می‌یابد، افزایش عرضه انرژی مستقیما بر هزینه انرژی و امنیت انرژی تأثیر گذاشته که باعث افزایش هر دو متغیر می‌شود. از سوی دیگر تولید ناخاص داخلی بر رشد اقتصادی و مصرف انرژی تأثیر مثبت گذاشته و جمعیت کشور بر تولید ناخاص داخلی تأثیر مثبت و هزینه انرژی بر تولید ناخاص‌داخلی تأثیر منفی دارد. با افزایش امنیت انرژی، دولت بیشتر تشویق می‌شود تا سرمایه‌گذاری و برنامه‌های کاربردی بر تحقیق و توسعه انرژی به منظور افزایش امنیت تأمین انرژی و کاهش وابستگی به انرژی فسیلی اجرا کند. بنابراین با توجه به حلقه بازخوردی فوق یکی از سیاست‌های غلبه بر وابستگی به انرژی، استفاده بیشتر از انرژی تجدیدپذیر است.

در زیرمجموعه دوم شکل ۲ (ماژول۲) وابستگی به انرژی، واردات انرژی ثانویه (مانند بنزین) و شاخص‌های مختلف وابستگی به انرژی فسیلی نشان داده شده است. واردات انرژی ثانویه مستقیما بر این واقعیت منطبق است که کشورهای مورد نظر وابسته به انرژی هستند. از طرفی صادرات انرژی اولیه (مانند نفت خام و گاز) می‌تواند خطرات مربوط به حمل و نقل انرژی را افزایش داده و این موضوع می‌تواند منجر به افزایش هزینه‌های صادرات انرژی و در نتیجه تمایل کشورهای دیگر به کاهش واردات انرژی فسیلی خواهد شد. همه این روابط متقابل می‌تواند بر وابستگی اقتصاد به صادرات انرژی تأثیر گذاشته و باید سیاست گذاران را به توسعه سیاست کاهش صادرات انرژی فسیلی و توسعه سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر تشویق کرد. در بخش سوم شکل ۲(ماژول۳) رابطه دو طرفه تمرکز بر ایجاد انرژی‌های تجدیدپذیر با سرمایه‌گذاری مناسب و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر با درنظر گرفتن منابع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر است، در این قسمت راه حل‌های افزایش ظرفیت بالقوه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر بررسی شده است.

با کاهش هزینه نصب و راه اندازی سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر تولید انرژی‌های تجدیدپذیر تا حدی افزایش می‌یابد. این موضوع باعث افزایش نرخ بازده تولید انرژی‌های تجدیدپذیر می‌شود. بنابراین دولت تشویق خواهد شد تا روش‌ها و نوآوری‌های مالی بیشتری در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر اعمال کند. با حمایت‌های دولت سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر، فناوری و همچنین آگاهی عمومی برای کمک به توسعه زیرساخت‌های انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش خواهد یافت. شایان ذکر است که با افزایش تعداد منابع انرژی تجدیدپذیر، تعداد منابع انرژی تجدیدپذیر مستهلک شده نیز در طول زمان افزایش می‌یابد.

۴-۲- مدل سازی نمودار انباشت و جریان

مدل سازی علی- حلقوی اولین مرحله از مدل‌سازی SD می‌باشد که شامل رابطه‌های متقابل بین شاخص‌های انرژی، سیاست‌های انرژی تجدیدپذیر با در نظر گرفتن وابستگی به انرژی و حلقه‌های بازخورد است (گراوندستررویم و جوهولا[1]، ۲۰۲۱) . درنمودارهای علی-حلقوی رفتار متغیرها در سیستم قابل بررسی نمی‌باشد. به منظور بررسی رفتار متغیرها در طول زمان باید از نمودارهای انباشت-جریان استفاده نمود (اسچافرنیچت[2]، ۲۰۱۰) ((Schaffernicht, 2010. در شکل ۳ با توجه به سیاست‌های انرژی‌های تجدیدپذیر جهت ارزیابی سطح وابستگی یک کشور یا منطقه به انرژی، نمودار انباشت-جریان طراحی شده است. به عنوان برنامه‌ای عملیاتی جهت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، شش متغیر انباشت در این تحقیق (شکل ۳) معرفی شده است. که به طور بالقوه می‌توانند وابستگی انرژی به منابع فسیلی را کاهش دهند. این متغیرها شامل ظرفیت انرژی برق آبی، انرژی خورشیدی، انرژی زمین گرمایی، انرژی نیروگاه بادی و سایر موارد می‌باشد.

متغیر انباشت انرژی‌های تجدیدپذیر مجموع برق تولید شده توسط تمام منابع انرژی تجدیدپذیر است. ظرفیت هر یک از منابع تجدیدپذیر تحت تأثیر افزایش تعداد منابع انرژی تجدیدپذیر می‌باشد که این موضوع خود تحت تأثیر برنامه‌ریزی و سیاست‌های دولت در مورد منابع انرژی تجدیدپذیر در آینده است. از طرفی ظرفیت منابع انرژی تجدیدپذیر متاثر از تعداد نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر مستهلک شده است. در قسمت بعد و برای ایران در بخش بعد این نمودار مورد بررسی بیشتری قرار خواهد گرفت.

جدول ۲ پارامترها، واحدهای مرتبط و روابط را برای مدل انرژی SD پیشنهادی نشان می‌دهد. پارامترهای متغیرهای انباشت به یک مقدار اولیه به عنوان ورودی نیاز دارند. این مقدارها بر اساس سال پایه ۱۳۹۶ در نظر گرفته شده است. همچنین تا سال ۱۴۰۲ مقادیر تحقق یافته متغیرهای الگو موجود می‌باشد و این ۶ سال جهت صحت سنجی الگو استفاده شده است. مقادیری از سایر متغیرها بر اساس اهداف برنامه توسعه

1. Groundstroem & Juhola
2. Schaffernicht

ششم و هفتم و با توجه به رشد در نظر گرفته شده در این برنامه‌ها تا سال ۱۴۳۰ در ارتقاع منابع انرژی تجدیدپذیر در ایران تنظیم شده است.

با توجه به شکل ۳، تقاضای انرژی[1] در یک متغیر انباشت نشان داده شده است. با توجه به روند افزایش تقاضای انرژی و همچنین با توجه به شاخص امنیت انرژی، تمام تقاضای انرژی را نمی توان از منابع فسیلی تأمین کرد. شکافی که پس از کسر تقاضای انرژی داخلی و انرژی هسته‌ای وجود دارد باید با استفاده از انرژی‌های های تجدیدپذیر پر شود. بنابراین، وابستگی به انرژی فسیلی باید تفاوت بین انباشت انرژی تجدیدپذیر و انرژی هسته‌ای و تقاضای داخلی برای انرژی باشد. مقدار پارامترهای مرتبط، واحدها و معادلات، نرخ‌ها و متغیرهای کمکی قبل از اجرای شبیه‌سازی در شکل ۳ و توضیحات مربوط به آن در جدول ۲ بررسی شده است.

با توجه به شکل ۳ تعداد نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر مستهلک شده[2] تحت تأثیر زمان تاخیر می‌باشند، به این معنی که تعداد نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر مستهلک شده به تعداد نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر و دوره‌های استهلاک هر نیروگاه تجدیدپذیر بستگی دارد. علاوه بر این، به منظور ارزیابی نقش اساسی منابع انرژی تجدیدپذیر به عنوان سیاست‌های کاهش وابستگی انرژی به منابع انرژی‌های فسیلی درایران، تعداد نیروگاه‌های تجدیدپذیر با ظرفیت جدید[3]، سیاست‌های مرتبط با توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر[4] و همچنین تعداد نیروگاه‌های مستهلک شده وابسته است. جدول ۳ دوره‌های استهلاک منابع انرژی تجدیدپذیر را نشان می‌دهد، که از مفروضات مطالعات پیشین در مورد دوره‌های استهلاک نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر به دست آمده است.

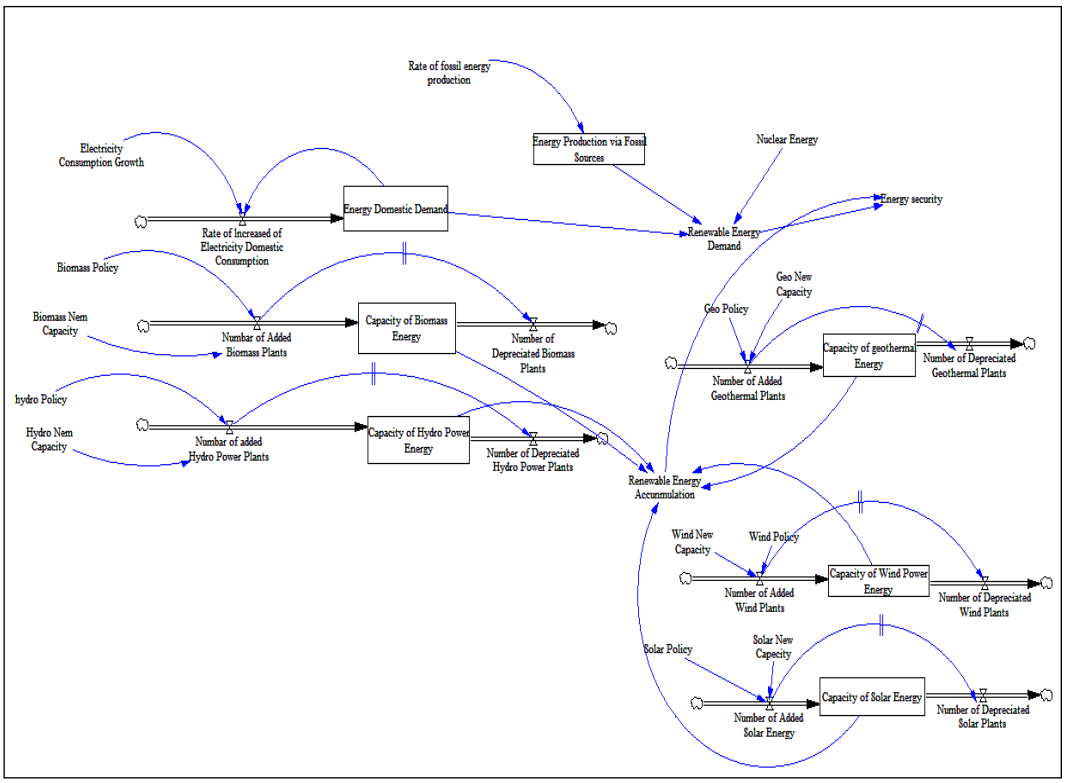
جدول ۲. مقادیر، واحدها و تعریف متغیرهای الگوی بسط داده شده

پارامترها و متغیرهای تعریف شده	مقدار یا رابطه مربوط به متغیر	واحد	توضیحات
energy domestic demand	INTEG (Rate of lncreased of Electricity Domestic Consumption)	TWY	کل تقاضای انرژی
Capacity of biomass energy	INTEG (Numbar of Added Biomass Plants-Number of Depreciated Biomass Plants)	TWY	ظرفیت نیروگاه‌های زیست توده

1. Energy Domestic Demand
2. Number of depreciated …… plants
3. …. new capacity
4. ….. policy

پارامترها و متغیرهای تعریف شده	مقدار یا رابطه مربوط به متغیر	واحد	توضیحات
Capacity of hydro power energy	INTEG (Numbar of added Hydro Power Plants-Number of Depreciated Hydro Power Plants)	TWY	ظرفیت نیروگاه‌های برق آبی
Capacity of geothermal energy	INTEG (Number of Added Geothermal Plants-Number of Depreciated Geothermal Plants)	TWY	ظرفیت نیروگاه‌های زمین گرمایی
Capacity of wind power energy	INTEG (Number of Added Wind Plants-Number of Depreciated Wind Plants)	TWY	ظرفیت نیروگاه‌های بادی
Capacity of solar energy	INTEG (Number of Added Solar Energy-Number of Depreciated Solar Plants)	TWY	ظرفیت نیروگاه‌های خورشیدی
Number of added biomass plants	Biomass Nem Capacity+Biomass Policy	$\frac{TWY}{Year}$	ظرفیت برنامه ریزی شده انرژی زیست توده
Number of depreciated biomass plants	DELAY FIXED(Numbar of Added Biomass Plants, 15 , 0)	$\frac{TWY}{Year}$	تعداد نیروگاه زیست توده مستهلک شده
Number of added hydro power plants	Hydro Nem Capacity+hydro Policy	$\frac{TWY}{Year}$	ظرفیت برنامه ریزی شده انرژی برق آبی
Number of depreciated hydro power plants	DELAY FIXED(Numbar of added Hydro Power Plants, 15 , 0)	$\frac{TWY}{Year}$	تعداد نیروگاه برق آبی مستهلک شده
Number of added geothermal plants	Geo New Capacity+Geo Policy	$\frac{TWY}{Year}$	ظرفیت برنامه ریزی شده انرژی زمین گرمایی
Number of depreciated geothermal of depreciated geothermal plant	DELAY FIXED(Number of Added Geothermal Plants, 20 , 0)	$\frac{TWY}{Year}$	تعداد نیروگاه زمین گرمایی مستهلک شده
Number of added wind plants	Wind New Capacity+Wind Policy	$\frac{TWY}{Year}$	ظرفیت برنامه ریزی شده انرژی بادی
Number of depreciated wind plants	DELAY FIXED(Number of Added Wind Plants, 20 , 0)	$\frac{TWY}{Year}$	تعداد نیروگاه بادی مستهلک شده
Number of added solar plants	Solar New Capecity+Solar Policy	$\frac{TWY}{Year}$	ظرفیت برنامه ریزی شده انرژی خورشیدی
Number of depreciated solar plants	DELAY FIXED(Number of Added Solar Energy, 15 , 0)	$\frac{TWY}{Year}$	تعداد نیروگاه خورشیدی مستهلک شده
Biomass new capacity	1*PULSE(0 , 1)	$\frac{TWY}{Year}$	ظرفیت جدید برنامه ریزی شده زیست توده در سال پایه

پارامترها و متغیرهای تعریف شده	مقدار یا رابطه مربوط به متغیر	واحد	توضیحات
Biomass policy	در سه سناریو مقادیر مختلفی تعریف شده است که در قسمت تحلیل نتایج مورد بررسی قرار گرفته است.	$\frac{TWY}{Year}$	سیاست گذاری انرژی زیست توده
Hydro new capacity	10*PULSE(0 , 1)	$\frac{TWY}{Year}$	ظرفیت جدید برنامه ریزی شده زیست توده در سال پایه
Hydro policy	در سه سناریو مقادیر مختلفی تعریف شده است که در قسمت تحلیل نتایج مورد بررسی قرار گرفته است.	$\frac{TWY}{Year}$	سیاست گذاری انرژی برق آبی
Geothermal new capacity	PULSE(0.04, 1)	$\frac{TWY}{Year}$	ظرفیت جدید برنامه ریزی شده زمین گرمایی در سال پایه
Geothermal policy	در سه سناریو مقادیر مختلفی تعریف شده است که در قسمت تحلیل نتایج مورد بررسی قرار گرفته است.	$\frac{TWY}{Year}$	سیاست گذاری انرژی زمین گرمایی
Wind new capacity	PULSE(0.89, 1)	$\frac{TWY}{Year}$	ظرفیت جدید برنامه ریزی شده بادی
Wind policy	در سه سناریو مقادیر مختلفی تعریف شده است که در قسمت تحلیل نتایج مورد بررسی قرار گرفته است.	$\frac{TWY}{Year}$	سیاست افزایش نیروگاه بادی
Solar new capacity	PULSE(1.541, 1)	$\frac{TWY}{Year}$	ظرفیت جدید برنامه ریزی شده خورشیدی در سال پایه
Solar policy	در سه سناریو مقادیر مختلفی تعریف شده است که در قسمت تحلیل نتایج مورد بررسی قرار گرفته است.	$\frac{TWY}{Year}$	سیاست گذاری انرژی خورشیدی
Electricity consumption growth	۰,۰۳۳۷	1/Year	ترخ رشد مصرف انرژی الکتریکی
Dependency on fossil fuel	INTEG (Rate of fossil energy production)	TWY	این مقدار به تفاوت بین برق تولید شده توسط انرژی هسته‌ای و انرژی‌های تجدیدپذیر و تقاضای برق است
Renewable energy accumulation	Capacity of Biomass Energy+Capacity of geothermal Energy+Capacity of Hydro Power Energy+Capacity of Solar Energy+Capacity of Wind Power Energy	TWY	این مقدار برابر است با مجموع تمام ظرفیت‌های انرژی‌های تجدیدپذیر



شکل ۳. نمودار انباشت–جریان سیستم انرژی با در نظر گرفتن تنوع انرژی‌های تجدیدپذیر

(مرجع: یافته‌های تحقیق)

جدول ۳. دوره‌های استهلاک منابع انرژی‌های تجدیدپذیر

انرژی تجدیدپذیر	دوره استهلاک
خورشید	۱۵
زمین گرمایی	۲۰
نیروگاه بادی	۲۰
برق آبی	۱۵
سایر موارد	۱۵

(مرجع: ربانی و همکارن[1] ۲۰۱۴ (Rabbani, 2014))

1. Rabbani

تعداد نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر اضافه شده مستقیماً تحت تأثیر سیاست‌ها یا اقدامات وزارت نیرو و برنامه‌های توسعه ششم و هفتم کشور است که در جدول ۴ توضیح داده شده است. این نکته لازم به ذکر است که در موردی که وزارت نیرو برنامه‌های مشخصی برای ارتقای انرژی تجدیدپذیر نداشته باشد، آن ظرفیت انرژی تجدیدپذیر در فرآیند شبیه‌سازی در نظر گرفته نشد.

جدول۴. اهداف ارتقا منابع انرژی تجدیدپذیر درایران تا سال۱۴۳۰[1]

منابع تجدیدپذیر	هدف تا سال ۱۴۳۰	طرح‌های سیاست فعلی
خورشیدی	افزایش به ۵۰۰۰۰ مگا وات	جهت افزایش نیروگاه‌های خورشیدی، برنامه ریزی توسعه پنل‌های خورشیدی به نسل جدیدPW با کمک شرکت‌های دانش بنیان به منظور افزایش سرمایه و جلوگیری از خروج ارز از کشور.
زمین گرمایی	افزایش به ۵۵ مگاوات	به علت بالا بودن هزینه راه اندازی نیروگاه‌های زمین گرمایی بودجه بیش از ۷۰۰ میلیارد تومان جهت حفاری سیستم زمین گرمایی در نظر گرفته شده است.
برق بادی	افزایش به ۲۵۰۰۰ مگاوات	حداقل ۴۰ درصد از منابع انرژی تجدیدپذیر باید از منابع انرژی بادی تأمین شود.
برق آبی	افزایش به ۴۰۰ مگاوات	توسعه و ساخت سدهای جدید برای افزایش تولید برق از سدهای آبی.
سایر موارد	افزایش به ۴۰ مگاوات ساعت	ارتقا و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر دیگری که به آن‌ها کم توجهی شده.

(مرجع: برنامه توسعه هفتم و پیش‌بینی نویسندگان)

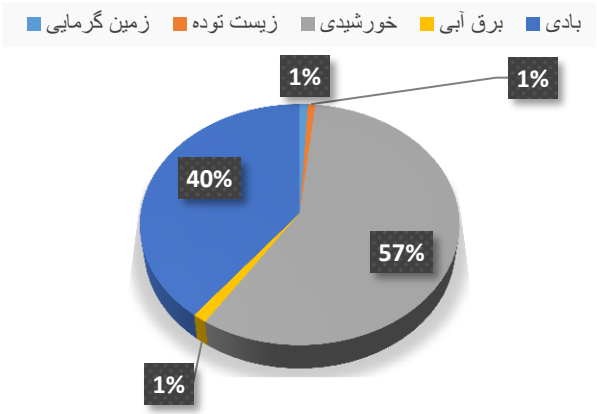
در مطالعه موردی حاضر، یک منبع انرژی تجدیدپذیر می‌تواند به عنوان متغیری در مدل برای پیش‌بینی رفتار مصرف انرژی و وابستگی انرژی بر اساس سناریوهای مختلف عمل کند. نقش منابع انرژی تجدیدپذیر تأمین نیاز انرژی و کاهش وابستگی انرژی به منابع انرژی فسیلی است. در ادامه با توجه به داده‌های موجود برای بخش انرژی ایران الگو کالیبره خواهد شد.

۱. داده های این جدول بر اساس توان تولیدی انرژی های تجدید پذیر در ایران و بر اساس برنامه توسعه هفتم و پیش بینی نویسندگان آورده شده است.

۵- کالیبره کردن الگو (مطالعه موردی اقتصاد ایران)

همان طور که در بخش‌های قبلی ذکر شد، ایران به عنوان مطالعه موردی به منظور بررسی تأثیر منابع انرژی‌های تجدیدپذیر در کاهش انرژی فسیلی انتخاب شده است.

مجموع پتانسیل توان انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور ایران معادل ۱۲۴ هزار مگاوات برآورد شده است. از این مقدار انرژی خورشیدی با ۷۱ و بادی ۴۹ هزار مگا وات بیش از ۹۷ درصد از کل پتانسیل موجود کشور در تولید برق تجدیدپذیر را به خود اختصاص می‌دهند (شکل ۴). از این رو تمرکز بر توسعه نیروگاه‌های انرژی خورشیدی و بادی دارای اولویت بالاتری است.

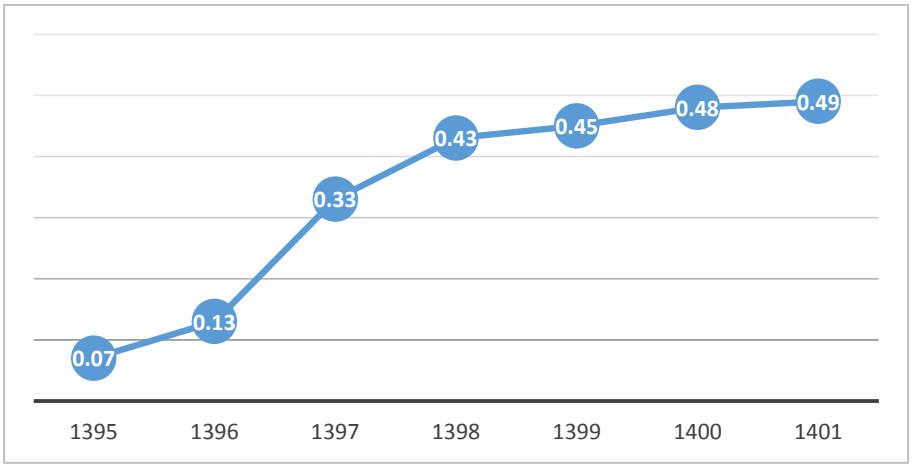


شکل ۴. سهم پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر در کل کشور (درصد)[۱]

به رغم ضرورت متنوع سازی سبد تولید انرژی برق کشور، به دلیل ملاحظات تأمین سوخت گاز، امنیت و مباحث محیط زیستی و لزوم حرکت به سمت خوروهای برقی و همچنین تکالیف قانونی ماده ۵۰ قانون برنامه پنج ساله ششم توسعه تا پایان سال ۱۴۰۱ مجموع ظرفیت نصب شده برق تجدیدپذیر کشور برابر با ۱۰۵۸ مگا وات بوده که معادل ۱/۱۳ درصد از کل ظرفیت نصب شده کشور است و دارای اختلاف زیادی با اهداف کمی برنامه می‌باشد. اگر چه میزان انرژی برق تولیدی از محل انرژی‌های تجدیدپذیر در طول برنامه ششم تویعه افزایش داشته است و در سال ۱۴۰۱

۱. مرجع: یافته های تحقیق و گزارشات پتانسیل سنجی انرژی‌های تجدیدپذیر در استان های کشور، ساتبا، ۱۳۹۸-۱۴۰۱

به ۱۷۶۴ میلیون کیلو وات رسیده، اما تنها ۰/۵ درصد از کل برق تولیدی کشور را تشکیل می‌دهد (شکل ۵).



شکل ۵. سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از کل تولید برق

(مرجع: یافته‌های تحقیق و گزارشات پتانسیل سنجی انرژی‌های تجدیدپذیر)

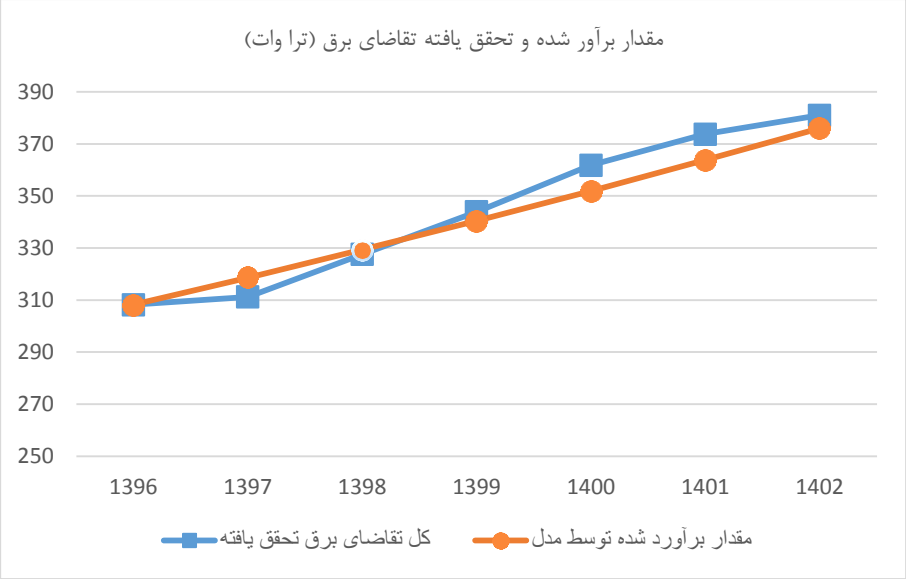
بررسی ظرفیت تولید انرژی‌های تجدیدپذیر در دهه گذشته نشان می‌دهد که رشد ظرفیت تولید برق تجدیدپذیر از سال ۱۳۹۵ به طور قابل توجهی تسریع شده است (شکل ۵) و این جهش همزمان با ظهور نیروگاه‌های خورشیدی است. در ایران مجموع ظرفیت برق تجدیدپذیر از ۳۷۲ مگاوات در سال ۱۳۹۵، تا سال ۱۴۰۱ به ۱۰۵۸ مگاوات افزایش یافته است. این افزایش نسبت انرژی خورشیدی نشان دهنده علاقه سرمایه‌گذاران به این نوع از انرژی تجدیدپذیر است، روندی که در مقیاس جهانی نیز مشهود می‌باشد. عدم تمایل به توسعه انرژی زمین گرمایی در ایران و سایر کشورها ناشی از سرمایه‌گذاری‌های مالی قابل توجه برای فعالیت‌های اکتشاف و حفاری است. برعکس، انرژی بادی و خورشیدی در مقایسه با دیگر انرژی‌های تجدیدپذیر هزینه نسبتاً کمتری ارائه می‌دهد. با توجه به عوامل مانع پیشرفت نیروگاه‌های آبی، جنبه‌های قابل توجه شامل تقاضای سرمایه‌گذاری قابل توجه، وابستگی به سطوح بارش سالانه و محدودیت‌های فضایی است که منجر به ظرفیت اسمی ثابت این نیروگاه‌ها در سالهای اخیر شده است (منبع: گزارش آماری ماهانه، ۱۴۰۲، ساتبا، وزارت نیرو)

در ادامه با توجه به داده‌های انرژی برای ایران (جدول ۲، ۳ و ۴)، الگو شبیه‌سازی شده و پس از اعتبار سنجی و اطمینان از صحت شبیه‌سازی به بررسی نتایج پرداخته شده است.

۶- اعتبار سنجی مدل

این مطالعه سه آزمون اعتبارسنجی مختلف برای اثبات صحت مدل SD بسط داده شده ایجاد کرده است. به طور کلی برای ارزیابی پایایی، ثبات و دقت آن در پیش‌بینی رفتار متغیرها در مدل و اینکه آیا مدل قادر به رفتار دقیق است و آیا با سیستم واقعی مطابقت دارد، سه آزمون بر اساس الگوی تحقیق انجام می‌شود. سه آزمون اصلی اعتبار سنجی انجام شده در این مطالعه، آزمون‌های رفتار مدل، تأیید پارامتر و آزمون‌های سازگاری ابعادی می‌باشد (یوآن و یانگ، ۲۰۲۲) .

رفتار مدل: هدف آزمون رفتار مدل، بررسی رفتار تقاضای داخلی انرژی در ایران به عنوان متغیر هدف شبیه‌سازی شده در مدل از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۲ و مقایسه آن با مصرف واقعی برق در ایران به دست آمده از داده‌های تاریخی است. نتایج شبیه‌سازی شده در شکل ۶ برای دوره ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۲ نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی می‌تواند تقریباً با رفتار واقعی مصرف انرژی سازگار باشد.



شکل ۶. اعتبارسنجی مدل با مقایسه بین داده‌های تاریخی و شبیه‌سازی شده (مرجع: یافته‌های تحقیق)

برای اطمینان از اینکه شکاف بین مدل شبیه‌سازی شده و داده‌های تاریخی در شکل ۶ قابل توجه نیست، یک آزمون اعتبار سنجی آماری انجام شد. آزمون نرمال بودن انجام شده برای رفتار واقعی و مجموعه داده‌های شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد که توزیع نرمال را نمی توان در سطح اطمینان ۰,۰۵ =∝ (سطح معنی داری) رد کرد. به منظور آزمون اختلاف میانگین بین هر دو مجموعه داده از آزمونt دو نمونه‌ای استفاده شد. بنابراین، آزمون فرضیه برای آزمون t با توجه به دو نمونه فوق به شرح زیر است:

$$\begin{cases} H0: \mu a = \mu s \\ H1: \mu a \neq \mu s \end{cases} \quad (۱)$$

نتیجه آزمون t نشان می‌دهد که مقدار p برابر با ۰/۷۲۴است. بنابراین آزمون در رد فرضیه صفر شکست خورده و این بدان معناست که رفتار هر دو مجموعه داده‌های تاریخی و شبیه‌سازی شده را نمی توان در سطح اطمینان $\alpha = 0.05$ نابرابر در نظر گرفت. از این رو مدلSD تناسب قابل قبولی با روندهای تاریخی دارد و می‌تواند به عنوان یک الگوی معتبر برای رفتار مصرف انرژی در ایران مورد استفاده قرار گیرد.

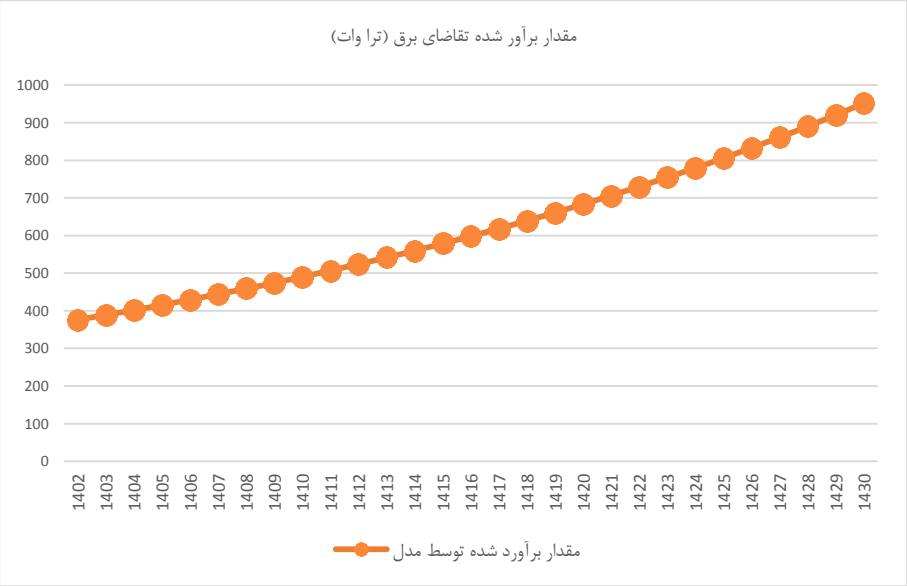
آزمون تایید پارامتر: کلیه پارامترهای موجود در مدل از منابع رسمی و بر اساس داده‌های واقعی یا برآوردهای مربوط و با رعایت آزمون تایید پارامتر جمع آوری شده است.

تست سازگاری ابعادی: با استفاده از ابزار چک واحد تعبیه شده در نرم افزار VENSIM این آزمون انجام شد و نتایج نشان داد که تمامی واحدها با پارامترهای مرتبط مطابقت دارند بنابراین، مدل آزمون سازگاری ابعادی را پشت سر گذاشت.

۷- نتایج تحقیق

پس از اطمینان از اعتبار مدل ارائه شده، رفتار مدل برای پیش‌بینی متغیرهای آتی انجام شده است. پس از وارد کردن داده‌های بخش انرژی ایران بر حسب واحد هر پارامتر در مدل انباشت - جریان، شبیه‌سازی انجام شد. در شکل ۷ پیش‌بینی انرژی در ایران بین سال‌های ۱۴۰۲ تا ۱۴۳۰ نشان داده شده است. شکل ۷ نشان می‌دهد تقاضای داخلی ۳۷۶/۱ ترا وات در سال ۱۴۰۲ به ۹۵۱/۲ ترا وات در سال ۱۴۳۰خواهد رسید که میانگین رشد سالیانه ۳/۳ درصد تقاضای برق را نشان می‌دهد. در

تحقیق(حافظی و دلفان، ۲۰۲۲) تقاضای برق ایران تحت ۴ سناریو محاسبه شده است. سناریو اول مبتنی بر رشد اقتصادی ۲ درصد سالیانه کشور است. بر مبنای این سناریو تقاضای برق در سال ۲۰۵۰ (۱۴۳۰) به ۹۷۵ تراوات ساعت خواهد رسید. در تحقیق فوق ۳ سناریو دیگر نیز بررسی شده است ولی نتیجه این سناریو به پیش‌بینی مطالعه حاضر نزدیک تر است.



شکل ۷. مقدار پیش‌بینی شده تقاضای برق برای ایران (مرجع: یافته‌های تحقیق)

همان طور که در بخش‌های قبل ذکر شد، مدل سازی SD توانایی پیشبینی دقیق تقاضای انرژی را دارد، که با آزمایش کاربرد سناریوهای مختلف در مدل ارائه شده کمک می‌کند. با بررسی سناریوهای پیشنهادی می‌توان دریافت که آیا برنامه‌های عملیاتی بهره برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر در جهت کاهش وابستگی به انرژی در آینده موثر است؟ با این حال، نتایج تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که سیاست‌های انرژی تجدیدپذیر پیشنهاد شده توسط دولت مؤثر نخواهد بود زیرا سطح وابستگی به انرژی در سال‌های آتی افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد این سیستم از اهداف سیاست در کوتاه مدت پشتیبانی می‌کند، امادر بلند مدت، سیستم به وضعیت قبل از تغییر سیاست بازمی گردد یا وضعیت بدتری ایجاد می‌کند. بنابراین، وزارت نیرو سناریوهای مختلف استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر را می‌تواند بررسی کند که منجر به پایداری وابستگی به انرژی در ایران می‌شود. در ایران

ظرفیت انرژی بادی بالایی وجود دارد. سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر بیان می‌کند که مناطق شرقی ایران چون زابل، خواف و دوروح، سه منطقه باد خیز است که ظرفیت انرژی بادی حدود ۳۰۰۰ مگا وات ساعت پیشبینی شده است و از آن جهت که ظرفیت بادی آن منطقه برای سال ۱۴۰۱، ۵۰ مگا وات ساعت بوده است. این نشان دهنده کارایی نیروگاه‌های بادی در کاهش وابستگی به انرژی است.

جدول ۵. سیاستگذاری توسعه انرژی بادی و خورشیدی

سال	سیاست گذاری انرژی خورشیدی[1]						سیاست گذاری انرژی بادی[2]					
	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ۴	سناریو ۵	سناریو ۶	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ۴	سناریو ۵	سناریو ۶
1402	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1403	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1404	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1405	0	0.2	0.5	1	1	1.4	0	0.1	0.2	0.2	0.4	0.4
1406	0	0.2	0.5	1	1	1.4	0	0.1	0.2	0.2	0.4	0.4
1407	0	0.5	1.1	2.4	2.7	4.1	0	0.2	0.5	1	1.6	1.6
1408	0	0.5	1.1	2.4	2.7	4.1	0	0.2	0.5	1	1.6	1.6
1409	0	0.5	1.1	2.4	2.7	4.1	0	0.2	0.5	1	1.6	1.6
1410	0	0.5	1.1	2.4	2.7	4.1	0	0.2	0.5	1	1.6	1.6
1411	0	0.5	1.1	2.4	2.7	4.1	0	0.2	0.5	1	1.6	1.6
1412	0	0.9	1.9	4.2	5	7.4	0	0.4	0.8	2.5	3.6	3.6
1413	0	0.9	1.9	4.2	5	7.4	0	0.4	0.8	2.5	3.6	3.6
1414	0	0.9	1.9	4.2	5	7.4	0	0.4	0.8	2.5	3.6	3.6
1415	0	0.9	1.9	4.2	5	7.4	0	0.4	0.8	2.5	3.6	3.6
1416	0	0.9	1.9	4.2	5	7.4	0	0.4	0.8	2.5	3.6	3.6
1417	0	1.4	2.8	6.2	8.2	11.6	0	0.6	1.2	4.4	6.3	6.3
1418	0	1.4	2.8	6.2	8.2	11.6	0	0.6	1.2	4.4	6.3	6.3
1419	0	1.4	2.8	6.2	8.2	11.6	0	0.6	1.2	4.4	6.3	6.3
1420	0	1.4	2.8	6.2	8.2	11.6	0	0.6	1.2	4.4	6.3	6.3
1421	0	1.4	2.8	6.2	8.2	11.6	0	0.6	1.2	4.4	6.3	6.3
1422	0	2	3.8	9	12.3	15.8	0	0.8	1.7	6.4	9.3	9.3
1423	0	2	3.8	9	12.3	15.8	0	0.8	1.7	6.4	9.3	9.3
1424	0	2	3.8	9	12.3	15.8	0	0.8	1.7	6.4	9.3	9.3
1425	0	2	3.8	9	12.3	15.8	0	0.8	1.7	6.4	9.3	9.3
1426	0	2	3.8	9	12.3	15.8	0	0.8	1.7	6.4	9.3	9.3
1427	0	2.7	4.9	12	17.3	20	0	1.1	2.4	9.2	12.4	12.4
1428	0	2.7	4.9	12	17.3	20	0	1.1	2.4	9.2	12.4	12.4
1429	0	2.7	4.9	12	17.3	20	0	1.1	2.4	9.2	12.4	12.4
1430	0	2.7	4.9	12	17.3	20	0	1.1	2.4	9.2	12.4	12.4

1. STEP(1.4,3)+STEP(2.7,5)+STEP(3.3,10)+STEP(4.2,15)+STEP(4.2,20)+STEP(4.2,25)
2. STEP(0.4,3)+STEP(1.2,5)+STEP(2,10)+STEP(2.7,15)+STEP(3,20)+STEP(3.1,25)

در ادامه امنیت انرژی با اعمال شش سناریوی مختلف در مدل در طول زمان برآورد می‌شود (شش سناریو در جدول شماره ۵ مورد بررسی قرار گرفته است). سناریوی اول به عنوان مبنایی برای سناریوهای دیگر تنظیم می‌شود.

بر اساس سناریوی اول (سناریو عدم توسعه) وضعیت وابستگی به انرژی بدون اجرای هرگونه برنامه اقدام انرژی‌های تجدیدپذیر، مقدار انرژی انباشته شده از منابع انرژی تجدیدپذیر بین سال‌های ۱۴۰۲ تا ۱۴۳۰ بدون تغییر در نظر گرفته شده است. به این معنی که سیاست انرژی‌های تجدیدپذیر توسعه صفر درصدی در سال می‌باشد. از آنجایی که هیچ برنامه ریزی عملیاتی در توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در این سناریو اجرا نخواهد شد، وضعیت انباشت انرژی‌های تجدیدپذر در سطح فعلی تا مستحلک تجهیزات باقی خواهد ماند (بر اساس شکل ۸ در سال ۱۴۱۷ افت تولید انرژی‌های تجدیدپذیر را شاهد خواهیم بود). بر اساس این سناریو در سال ۱۴۳۰، ۴۲۲ تراوات در سال کمبود تولید برق را شاهد خواهیم بود. بر اساس این سناریو در سال ۱۴۳۰ کسری ۵۴/۱ درصدی تولید برق را شاهد خواهیم بود.

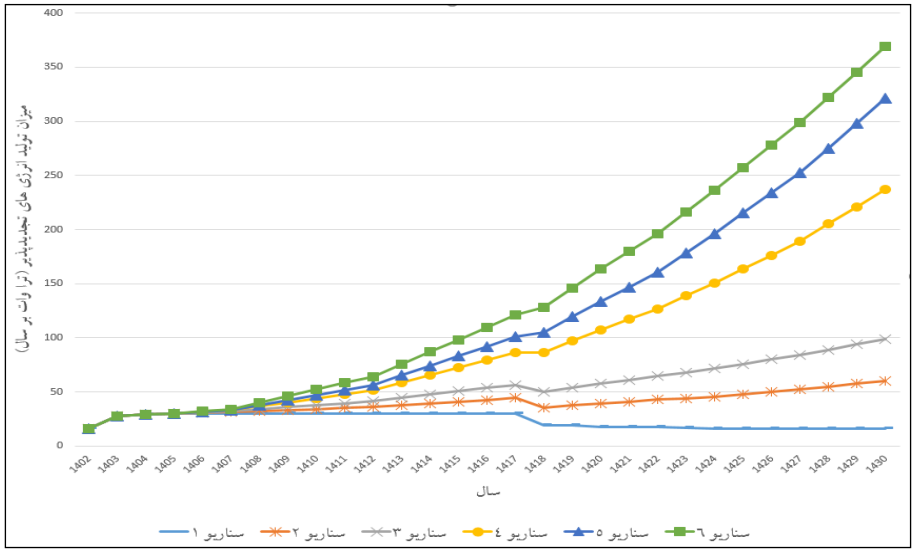
در ادامه ۵ سناریو دیگر بررسی می‌گردد. در این ۵ سناریو بررسی شده با توجه به پتانسیل پایین ایران در توسعه انرژی‌های زمین گرمایی و زیست توده و همچنین عدم توسعه نیروگاه‌های برق آبی با توجه به خشکسالی‌های اخیر تمرکز محققین بر توسعه نیروگاه‌های بادی و خورشیدی می‌باشد. که این توسعه در شکل ۸ مورد بررسی قرار گرفته است. ذکر این نکته ضروری است که توسعه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر ۵ ساله و به صورت پله‌ای فرض شده است.

سناریوی دوم: این سناریو توسعه ضعیف تولید برق از منابع انرژی تجدیدپذیر می‌باشد. در این سناریو میزان راه اندازی نیروگاه‌های انرژی بادی و خورشیدی بر اساس سال در شکل ۸ آورده شده است. بر اساس این سناریو برنامه ریزی برای رشد متوسط راه اندازی ۱۸/۲ و ۱۶/۵ درصدی (به صورت پله‌ای و ۵ ساله) به ترتیب برای نیروگاه‌های بادی و خورشیدی فرض شده است. با توجه به برنامه ریزی این سناریو به طور متوسط رشد سالانه ۵/۶ درصدی برای انرژی‌های تجدیدپذیر را شاهد خواهیم بود. با فرض توسعه بر اساس این سناریو ۳۲/۲ درصد کسری تولید برق در سال ۱۴۳۰ را شاهد خواهیم بود. ذکر این نکته ضروری است که با این روند برنامه ریزی در سال

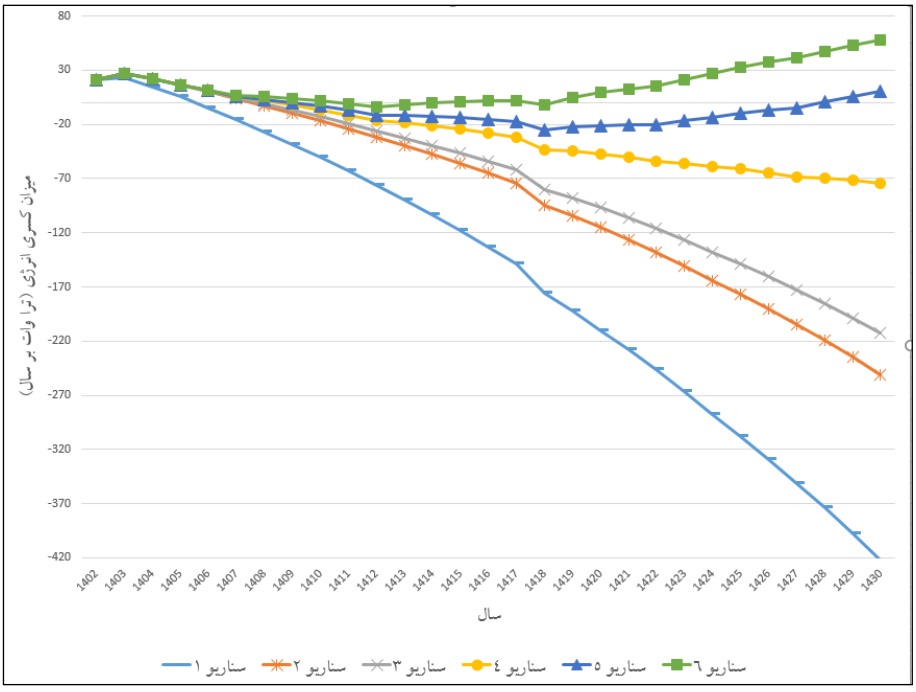
۱۴۳۰ تولید برق مورد تقاضا از انرژی‌های تجدیدپذیر و فسیلی به ترتیب ۷/۷۳ و ۵۸/۳۸ درصد پیش‌بینی می‌شود.

سناریو سوم: بر اساس شکل ۸ برنامه ریزی جهت راه اندازی نیروگاه‌های برق خورشیدی و بادی بر اساس سال‌های مختلف جهت برنامه ریزی بلند مدت آورده شده است. بر اساس برنامه‌ریزی در این سناریو با رشد متوسط سالیانه ۱۷/۱ و ۱۶/۳ درصدی تولید انرژی خورشیدی و بادی، ۹۸/۹ تراوات در سال تولید برق برای انرژی‌های تجدیدپذیر پیش‌بینی می‌شود. با توجه به فروض الگوی این تحقیق با اجرای این سناریو، (رشد ۱۰/۷ درصدی انرژی‌های تجدیدپذیر) میزان تولید برق از انرژی‌های فسیلی و تجدیدپذیر به ترتیب ۵۸/۳۸ و ۱۲/۶۸ درصد در سال ۱۴۳۰ پیش‌بینی می‌شود. از طرفی کسری ۲۷/۲ درصدی در این سال پیش‌بینی شده است.

در سناریوهای چهارم، پنجم و ششم رشد متوسط راه اندازی نیروگاه‌های تولید برق خورشیدی و بادی به ترتیب ۲۰ و ۱۸ درصد در سال فرض شده است. تنها مقادیر و سال‌های راه اندازی جابجا شده است. بر اساس پیش‌بینی تحقیق در سناریو چهارم ۹/۵ درصد کسری برق پیش‌بینی شده است و در سناریوهای پنجم و ششم به ترتیب ۱/۳ و ۷/۴ درصد مازاد تولید برق در کشور پیش‌بینی شده است (شکل ۹). در این سه سناریو برای تولید برق تجدیدپذیر به ترتیب رشد سالیانه ۱۰/۷، ۱۱/۸ و ۱۲/۴ درصدی پیش‌بینی می‌شود (شکل ۸). با توجه به سناریو ششم که قوی ترین و خوشبینانه‌ترین حالت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد. پیش‌بینی الگو تولید ۴۷/۳۱ درصدی تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر در سال ۱۴۳۰ می‌باشد.



شکل ۸. میزان تولید انباشته انرژی‌های تجدیدپذیر در طول زمان (مرجع: یافته‌های تحقیق)



شکل ۹. میزان کسری یا مازاد انرژی (مرجع: یافته‌های تحقیق)

۸- نتیجه‌گیری

توسعه سیستم‌های انرژی- اقتصادی در الگوهای سیستم‌های پویا به سیاست گذاران و تصمیم گیرندگان انرژی کمک می‌کند، تا برنامه‌های توسعه انرژی تجدیدپذیر را به عنوان شیوه‌های سیاستی برای دستیابی به سطح مطلوبی از وابستگی و امنیت عرضه انرژی بررسی کنند. در نظر گرفتن سیاست‌های مختلف در مدل برای تصمیم گیری بهتر در مورد اینکه چه چیزی برای مدیریت وابستگی به انرژی و تقویت نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در تأمین تقاضای انرژی مطمئن ضروری است. از آنجایی که مدل سیستم‌های پویای پیشنهادی عمومی است، که می‌توان آن را در مطالعات موردی مختلف به کار برد. این موضوع مدل را برای مطالعات مختلف کاربردی‌تر خواهد کرد. در این تحقیق به منظور تعیین این که چگونه نتایج سناریوهای پیشنهادی می‌تواند به کاهش وابستگی انرژی در ایران کمک کند، صرفه جویی در هزینه به منظور کاهش وابستگی انرژی در ایران با اجرای برنامه‌های اقدام تجدیدپذیر برآورد شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد در ضعیف‌ترین سناریو استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر (عدم اجرای هرگونه برنامه اقدام انرژی‌های تجدیدپذیر)، مقدار انرژی انباشته از منابع انرژی تجدیدپذیر بین سال‌های ۱۴۰۲ تا ۱۴۳۰ بدون تغییر در نظر گرفته شده است. بنابراین بر اساس این سناریو وضعیت انباشت انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح فعلی تا مستهلک شدن تجهیزات باقی خواهد ماند. بر اساس این سناریو در سال ۱۴۳۰، ۴۲۲ تراوات در سال کمبود تولید برق را شاهد خواهیم بود. با توجه به افزایش تقاضای برق و رشد کمتر عرضه انرژی‌های فسیلی نسبت به تقاضا، پیش‌بینی می‌شود که در سال ۱۴۳۰، ایران با کسری ۵۴/۱ درصدی در تولید برق مواجه شود.

در خوش بینانه ترین سناریو افزایش نیروگاه‌های بادی و خورشیدی، رشد سالانه راه‌اندازی این نیروگاه‌ها به ترتیب ۲۰ و ۱۸ درصد در سال فرض شده است. بر اساس پیش‌بینی تحقیق با توجه به فروض در نظر گرفته شده ۷/۴ درصد مازاد تولید برق در سال ۱۴۳۰ در کشور پیش‌بینی شده است. بر اساس این سناریو تولید برق تجدیدپذیر به ترتیب رشد سالیانه ۱۲/۴ درصدی خواهد داشت. با توجه به قوی ترین و خوشبینانه-ترین حالت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر پیش‌بینی الگوی بسط داده شده توسط

تحقیق نشان دهنده تولید ۴۷/۳۱ درصدی تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر در سال ۱۴۳۰ می‌باشد.

۹- پیشنهادات برای تحقیقات آتی

در این تحقیق رشد مصرف برق بر اساس رشد سالانه و تاریخی در نظر گرفته شده است. می‌توان متغیرهایی مانند جمعیت و رشد صنعتی را به این تحقیق اضافه و رشد تقاضای برق را متغیر وابسته‌ای به جمعیت و همچنین رشد بخش‌های مختلف اقتصادی (مانند خانگی، کشاورزی، صنعتی و غیره) در نظر گرفت.

توسعه فن آوری می‌تواند بر توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر تأثیر معناداری داشته باشد. بنابراین یکی از متغیرهایی که می‌تواند بر رشد توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر تأثیر گذار باشد رشد فن آوری است که برای مطالعات جاری می‌تواند موضوع مهم و حائز اهمیتی باشد.

با توجه به توسعه صنعتی و همچنین افزایش جمعیت, نه تنها ایران, بلکه تمام کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته با مشکل آلودگی و محیط زیست روبرو می‌باشند. از آنجا که انرژی‌های تجدیدناپذیر باعث آلودگی زیست محیطی می‌باشد و همچنین محدودیت انرژی‌های فسیلی، بهترین روش کاهش آلودگی بکارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد. بنابراین آلودگی اگر به الگو اضافه گردد می‌تواند به تکمیل الگو کمک کند.

منابع

- استادزاد, علی حسین (۱۴۰۳). انرژی خورشیدی و توسعه پایدار اقتصادی در ایران. نشریه انرژی‌های تجدیدپذیر و نو, ۱۱(۲), ۱۲۸-۱۳۷.
- امینی امید، امانی رامین، قادری سامان (۱۴۰۱). مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، تجدیدناپذیر و ریسک امنیت انرژی در ایران: کاربرد مدل خودرگرسیون برداری ساختاری (SVAR). نشریه انرژی ایران. ۲۵ (۴) :۸۱-۱۰۳
- فتاحی زاده, ابوذر، اندرخورد, شیرین. انرژی‌های تجدیدپذیر و راهبردهای امنیت انرژی ایران. پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران. https://doi.org/10.22054/jiee.2025.79556.2089
- رضوی سید عبدااله (۱۴۰۰). اروپا و معضل امنیت انرژی؛ محدودیت و راهبردها. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی. ۱۷ (۷۱) :۱۸۷-۲۲۱
- مغانی امیرمحمد، حیدری بهاره، ملکی عباس (۱۴۰۳). گاز طبیعی و انرژی خورشیدی؛ چالش‌ها و فرصت‌های ایران از منظر امنیت انرژی. فصلنامه پژوهش‌های سیاست گذاری وبرنامه ریزی انرژی. ۱۰ (۲) :۳۲-۶۴
- Ahmad, M. M., Kumar, A., & Ranjan, R. (2018). Current trends in renewable energy: an overview. Int J Eng Res Adv Technol (IJERAT), 4, 1-15.
- Ainou, F. Z., Ali, M., & Sadiq, M. (2023). Green energy security assessment in Morocco: green finance as a step toward sustainable energy transition. Environmental Science and Pollution Research, 30(22), 61411-61429.
- Axon, C., & Darton, R. (2021). Sustainability and risk–a review of energy security. Sustainable Production and Consumption, 27, 1195-1204 .
- Ayoo, C. (2020). Towards energy security for the twenty-first century. Energy policy, 15-40.
- Azar, A. T. (2012). System dynamics as a useful technique for complex systems. International Journal of Industrial and Systems Engineering, 10(4), 377-410.
- Bahgat, G. (2008). Energy Security: What Does It Mean? The Journal of Social, Political, and Economic Studies, 33, 1.

- Berdysheva, S., & Ikonnikova, S. (2021). The energy transition and shifts in fossil fuel use: the study of international energy trade and energy security dynamics. Energies, 14(17), 5396.
- Bollino, C.A., & Galkin, P. (2021). Energy security and portfolio diversification: Conventional and novel perspectives. Energies, 14(14), 4257.
- Emmanuel, M., Doubleday, K., Cakir, B., Marković, M., & Hodge, B.-M. (2020). A review of power system planning and operational models for flexibility assessment in high solar energy penetration scenarios. Solar Energy, 210, 169-180.
- Galagan, M., & Frigerio, A. (2023). The Contribution of Renewable Energy to International Security: A Preliminary Study. Вестник КазНУ. Серия международные отношения и международное право, 101(1), 116-122.
- Gökgöz, F., & Güvercin, M. T. (2018). Energy security and renewable energy efficiency in EU. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 96, 226-239.
- Groundstroem, F., & Juhola, S. (2021). Using systems thinking and causal loop diagrams to identify cascading climate change impacts on bioenergy supply systems. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 26(7), 29.
- Hafezi, H., & Delfan, M. (2022). Long-Term Forecasting of Iran's Electricity Demand (A Scenario-Based Approach Using a Combined ARDL and ARIMA Approach). Iranian Energy Economics, 11(44), 41-71. https://doi.org/10.22054/jiee.2022.70675.1959
- Hosseinabad, E. R. (2018). Evaluating the role of energy demand prediction and renewable energy utilization on energy dependency management: a generic system dynamics model. Northern Illinois University.
- Hosseinabad, E. R., & Moraga, R. J. (2020). The evaluation of renewable energy predictive modelling in energy dependency reduction: a system dynamics approach. International Journal of Applied Management Science, 12(1), 1-22.
- Kalair, A., Abas, N., Saleem, M. S., Kalair, A. R., & Khan, N. (2021). Role of energy storage systems in energy transition from fossil fuels to renewables. Energy Storage, 3(1), e135.
- Kober, T., Schiffer, H.-W., Densing, M., & Panos, E. (2020). Global energy perspectives to 2060–WEC's World Energy Scenarios 2019. Energy Strategy Reviews, 31, 100523.

- Ionescu, R. V., Zlati, M. L., Antohi, V. M., & Stanciu, S. (2022). Was the European oil industry prepared for the current global crisis?. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, 12(12), 3357-3372.
- Lin, B., & Raza, M. Y. (2020). Analysis of energy security indicators and CO2 emissions. A case from a developing economy. Energy, 200, 117575 .
- Lin, G., Palopoli, M., & Dadwal, V. (2020). From causal loop diagrams to system dynamics models in a data-rich ecosystem. Leveraging data science for global health, 77-98.
- Luty, L., Zioło, M., Knapik, W., Bąk, I., & Kukuła, K. (2023). Energy security in light of sustainable development goals. Energies, 16(3), 1390 .
- Malik, M. S. (2020). Electricity generation from the high-speed wind of the spillway in a hydroelectric power station. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 1-13.
- Odoom, R., Brännlund, R., Karimu, A., & Nanzoninge, J. (2023). Oil and Gas Energy Security. In The Economics of the Oil and Gas Industry (pp. 58-71). Routledge.
- Ranjan, M., & Shankar, R. (2022). A literature survey on load frequency control considering renewable energy integration in power system: Recent trends and future prospects. Journal of Energy Storage, 45, 103717.
- Ravar, Z., Zahraie, B., Sharifinejad, A., Gozini, H., & Jafari, S. (2020). System dynamics modeling for assessment of water–food–energy resources security and nexus in Gavkhuni basin in Iran. Ecological Indicators, 108, 105682.
- Schaffernicht, M. (2010). Causal loop diagrams between structure and behaviour: A critical analysis of the relationship between polarity, behaviour and events. Systems Research and Behavioral Science, 27(6), 653-666 .
- Sotnyk, I., Kurbatova, T., Kubatko, O., Prokopenko, O., Prause, G., Kovalenko, Y., Trypolska, G., & Pysmenna, U. (2021). Energy security assessment of emerging economies under global and local challenges. Energies, 14(18), 5860.
- Spector, J. M., Christensen, D. L., Sioutine, A. V., & McCormack, D. (2001). Models and simulations for learning in complex domains: Using causal loop diagrams for assessment and evaluation. Computers in Human Behavior, 17(5-6), 517-545.
- Streimikiene, D., Siksnelyte-Butkiene, I., & Lekavicius, V. (2023). Energy diversification and security in the EU: comparative assessment in different EU regions. Economies, 11(3), 83.

- Subramanian, A. S. R., Gundersen, T., & Adams, T. A. (2018). Modeling and simulation of energy systems: A review. Processes, 6(12), 238.
- Taghizadeh-Hesary, F., Chang, Y., Yoshino, N., & Morgan, P. J. (2021). Energy insecurity, renewable energy and economic growth. In (Vol. 66, pp. 313-322): World Scientific.
- Tang, M., Wang, S., Dai, C., & Liu, Y. (2020). Exploring CO2 mitigation pathway of local industries using a regional-based system dynamics model. International Journal of Information Management, 52, 102079 .
- Vasylyna, O. (2023). INFLUENCE OF PHYSICAL ECONOMY ON ENERGY SECURITY. Economics & Education, 8(1), 68-71 .
- Wang, L., Li, Z., Xu, Z., Yue, X., Yang, L., Wang, R.,... & Ma, H. (2024). Carbon emission scenario simulation and policy regulation in resource-based provinces based on system dynamics modeling. Journal of Cleaner Production, 460, 142619.
- Waterlander, W. E., Singh, A., Altenburg, T., Dijkstra, C., Luna Pinzon, A., Anselma, M., Busch, V., van Houtum, L., Emke, H., & Overman, M. L. (2021). Understanding obesity-related behaviors in youth from a systems dynamics perspective: the use of causal loop diagrams. Obesity reviews, 22(7), e13185.
- Wen, J., Zhao, X., Wang, Q.-J., & Chang, C.-P. (2021). The impact of international sanctions on energy security. Energy & Environment, 32(3), 458-480.
- Wu, W., Sheng, L., Tang, F., Zhang, A., & Liu, J. (2021). A system dynamics model of green innovation and policy simulation with an application in Chinese manufacturing industry. Sustainable Production and Consumption, 28, 987-1005.
- Yuan, H., & Yang, B. (2022). System dynamics approach for evaluating the interconnection performance of cross-border transport infrastructure. Journal of Management in Engineering, 38(3), 04022008.

فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی/ سال بیست‌ویکم/ شماره ۸۵/ تابستان ۱۴۰۴/ صفحات ۲۳۳-۲۰۹

تحلیل واکنش ضربه اثرات بلندمدت شوک درآمدهای نفتی و نرخ ارز بر کسری تجاری ایران

محبوبه السادات امیرشاکرمی

دانشجوی دکتری گروه اقتصاد، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران، (Mahboob.shahkarami@gmail.com)

حسین شریفی رنانی[۱]

دانشیار گروه اقتصاد، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران، (h.sharifi@khuisf.ac.ir)

سارا قبادی

استادیار گروه اقتصاد، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران، (sghobadi@iau.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۴

چکیده

کسری تجاری موضوعی است که به طور گسترده در دنیای اقتصاد و تجارت بین‌الملل مورد بحث قرارگرفته است و تفاوت بین ارزش کل واردات یک کشور و کل صادرات آن است. در حالی که برخی کسری تجاری را یک پدیده منفی می‌دانند که نشان‌دهنده ناتوانی یک کشور در رقابت جهانی است، برخی دیگر استدلال می‌کنند که در شرایط خاصی می‌تواند سودمند باشد. به طور کلی، کسری تجاری یک موضوع پیچیده با پیامدهای مثبت و منفی است و تأثیر آن بر اقتصاد یک کشور به عوامل مختلفی ازجمله اندازه و مدت کسری بودجه و همچنین سلامت کلی اقتصاد بستگی دارد. تجارت خارجی در اقتصاد کشورهای مختلف، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، نقش بسیار حساسی ایفا می‌کند. بخش تجارت خارجی یکی از مهمترین بخش‌های اقتصاد است که ضمن تأثیر گذاری بر سایر بخش‌ها از آنها نیز تأثیر می‌پذیرد. با توجه به اهمیت بخش خارجی و تراز تجاری کشور، هدف این مطالعه تحلیل و بررسی اثرات بلندمدت شوک درآمدهای نفتی و نرخ ارز بر کسری تجاری ایران با استفاده از داده‌های فصلی طی دوره ۲۰۰۴-۲۰۲۲ با استفاده از تکنیک واکنش ضربه(IRF) می‌باشد. نتایج نشان دادند بر اساس تخمین یوهانسن رابطه بلندمدت در الگو بر حسب تولید ناخالص داخلی، می‌باشد که این رابطه نشان دهنده عرضه کل است. توابع واکنش ضربه نیز آشکار کردند که شوک درآمدهای نفتی در کوتاه مدت، میان مدت و بلندمدت اثر منفی و معنادار بر حساب جاری دارد. همچنین شوک نرخ ارز در کوتاه مدت، میان مدت و بلندمدت اثر مثبت و معنادار بر حساب جاری دارد.

طبقه‌بندی JEL: F19, F32.

کلیدواژه‌ها: تحلیل واکنش ضربه، شوک درآمدهای نفتی، شوک نرخ ارز، حساب جاری.

---

۱. نویسنده مسئول

۱- مقدمه

اهمیت نفت در اقتصاد کشورهای در حال توسعه نفت خیز همانند ایران، به گونه ای است که تغییر قیمت آن، قیمت تعداد وسیعی از کالاها و خدمات و فعالیت‌های اقتصادی کشور صادرکننده نفت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با توجه به اینکه درآمدهای نفتی، قسمت بزرگی از درآمدهای صادراتی و درآمدهای بودجه‌های سالانه دولت ایران را تشکیل می‌دهد، هرگونه افزایش یا کاهش در قیمت آن مستقیم و غیر مستقیم اقتصاد کشور را متأثر ساخته و یکی از مهم ترین شاخص‌های اقتصادی یعنی نرخ ارز و به تبع آن قطعا حساب جاری و کسری تجاری را متأثر می‌سازد. در اغلب کشورهای دنیا و به ویژه کشورهای صادر کننده نفت، عدم تعادل‌های بودجه ای بزرگ عموماً با کسری‌های تراز تجاری همراه بوده است. این موضوع به ویژه در کشورهای صادر کننده نفت که در آنها بخش نفت سهم بزرگی در صادرات و درآمدهای نفتی دارد شفاف تر است. در سال‌های گذشته اقتصاد ایران با عدم تعادل هایی مواجه بوده و تراز پرداخت‌های خارجی نیز از این امر مستثنی نبوده است. یکی از جلوه‌های این عدم تعادل فزونی ارزش کالاهای وارداتی نسبت به ارزش کالاهای صادراتی می‌باشد که موجب کسری موازنه تجاری شده است(قهرمان زاده و همکاران، ۱۴۰۱).

اثر گذاری نفت بر تعادل در بخش خارجی را نیز می‌توان از مجرای تأثیر بر نرخ ارز مورد بررسی قرار داد. بر اساس مدل‌های تجارت و مالیه و به لحاظ نظری افزایش کسری بودجه دولت، از راه متغیر هایی چون نرخ بهره و نرخ ارز بر تراز تجاری تأثیر می‌گذارد، اما درجه تأثیر پذیری کسری تراز تجاری از کسری بودجه دولتی، خود به نوع تامین مالی کسری بودجه بستگی دارد تامین کسری بودجه از طریق بازارهای مالی بر نرخ بهره فشار آورده و باعث افزایش آن می‌شود که با فرض تحرک کامل سرمایه و شناوری نرخ ارز، منجر به جذب سرمایه خارجی و افزایش پول داخلی در مقابل پول خارجی شده و در نهایت نیز چنین فعل و انفعالاتی به افزایش واردات و کسری تراز تجاری منجر می‌شود (فعالجو و همکاران، ۱۳۹۷).

آگاهی از چگونگی تأثیر گذاری نرخ ارز و درآمدهای نفتی می‌تواند راهنمای مناسبی در برنامه‌ریزی و سیاست گذاری دولتمردان و برنامه‌ریزان اقتصادی باشد. درآمدهای نفتی، نرخ ارز و کسری تجاری از متغیرهای مهم اقتصاد کلان می‌باشند که

چگونگی ارتباط میان آن‌ها از سوالات اصلی محققان اقتصاد کلان طی سه دهه ی اخیر بوده است. لذا این پژوهش بدنبال پاسخ به این پرسش است که آیا شوک‌های درآمدهای نفتی و نرخ ارز در بلندمدت تأثیر معناداری بر کسری تجاری ایران دارند؟

پیشینه‌های انجام شده صرفا بر تخمین ضرایب متمرکز شده اند ولی این پژوهش برای اولین بار است که از تکنیک اقتصاد سنجی واکنش ضربه استفاده می‌کند و تأثیر شوک‌های درآمدهای نفتی و نرخ ارز را بر کسری تجاری تحلیل می‌کند و از این جهت نسبت به مطالعات و پیشینه‌های انجام شده دارای نوآوری و خلاقیت می‌باشد.

در این مطالعه ابتدا مبانی نظری بیان می‌گردد، سپس به پیشینه‌های داخلی و خارجی انجام شده می‌پردازد، بعد از آن الگوی مورد نظر تصریح و متغیرها معرفی می‌شوند و در نهایت نتایج تجربی برآوردها و پیشنهادات سازنده ارائه می‌گردد.

۲- مروری بر ادبیات موضوع

در طول زمان، الگوهای نظری کلان اقتصادی متعددی مانند دیدگاه‌های نظری نئوکلاسیک، کینزی و ریکاردوئی برای تبیین کسری حساب جاری و کسری تجاری شکل گرفته است. البته با گذشت زمان و طرح شرایط جدیدتر، الگوهای نظری پیچیده تر و کامل تر شدند و توانستند مبانی نظری لازم برای تبیین رفتار حساب جاری و سیاست گذاری اقتصادی را به شیوه کامل تری فراهم نمایند. با این وجود، دو نکته در اینجا قابل توجه به نظر می‌رسد: اولا، اقتصاددانان در مورد عوامل موثر بر کسری حساب جاری و کسری تجاری با هم اتفاق نظر ندارند. ثانیا، در صورت پذیرفتن تأثیرگذاری کسری‌های مالی(و همچنین رابطه مبادله و نرخ ارز) بر بخش خارجی ساز و کار آن به سادگی روشن نیست، به نحوی که پیچیدگی‌های مربوط در صحنه عمل فراتر از دیدگاه‌های نظری مطرح شده و الگوهای نظری محض است. الگوهای نظری مرتبط با کسری حساب جاری و کسری تجاری را می‌توان به دو گروه تقسیم نمود: دسته اول، الگوهایی هستند که بر اساس تئوری‌های اقتصاد کلان بنا شده و از مبانی مستحکمی بر اساس تئوری‌های اقتصاد خرد برخوردار نیستند. الگوی متعارف و الگوی مشهور ماندل فلمینگ[1] در این گروه قرار می‌گیرند که با گذشت زمان کامل تر شده و توانسته اند

1. Mundell Fleming Model

شرایط جدید در جوامع را به خوبی توضیح دهد. الگوهای دسته دوم، از بنیادهای نظری قوی تری در اقتصاد برخوردارند و بر اساس رفتار بهینه یابی عوامل اقتصادی و با توجه به قیود بین دوره ای استخراج شده اند. این الگوها نسبت به الگوهای دسته اول، جدید تر بوده و طی دو دهه اخیر بیشتر مورد توجه محققین قرار گرفته‌اند(آفونسو و جالس، ۲۰۱۹)[1].

طرح الگوی ماندل فلمینگ در دهه ۱۹۶۰ توجه اقتصاد دانان را به اثرات سیاست‌های پولی و مالی در چارچوب اقتصاد کلان باز جلب نمود. مدل ماندل فلمینگ(M-F) به این مطلب اشاره می‌کند که تحرک(جریان های) سرمایه، تعادل را در بازار ارز تعیین می‌کند و تغییرات نرخ ارز به نوبه خود توازن حساب جاری و حساب تجاری را مشخص خواهد کرد. در واقع مدل ماندل فلمینگ، چارچوب IS-LM را با در نظر گرفتن تحرک بین المللی سرمایه و تجارت کالاها توسعه می‌بخشد. امکان تحرک سرمایه، ثابت بودن قیمت‌ها و ایستا بودن انتظارات از فرروض مهم الگو به شمار می‌رود. نتایج الگو حکایت از آن دارد که سیاست مالی از طریق تأثیر گذاری بر نرخ ارز و در آمد، تراز تجاری را سازگار با رویکرد متفاوت تحت تأثیر قرار می‌دهد. به طور مثال افزایش مخارج دولت(کسری مالی)، در نظام نرخ ارز ثابت از طریق افزایش درآمد ملی به افزایش واردات(بدتر شدن تراز تجاری) می‌انجامد. سیاست مالی انبساطی در نظام نرخ ارز شناور نیز اثرات مشابهی را از طریق افزایش نرخ بهره و تقویت ارزش پول داخلی ایجاد می‌کند. به طور خلاصه الگوی ماندل فلمینگ بسط مالی غیر تورمی را عامل کسری حساب جاری و تجاری و افزایش ارزش پول می‌داند. با وارد کردن اثر ثروت به الگو می‌توان نتایج مذکور را تعمیم داد (احمد و آوارایند، ۲۰۲۰)[2].

الگوهای بین دوره ای بر اساس رفتار بهینه یابی آحاد اقتصادی و با لحاظ نمودن قیود بین دوره ای شکل گرفته اند. ارتباط بین کسری‌های بودجه و تجارت خارجی و نیز تأثیر تکانه‌های رابطه مبادله و نرخ ارز بر تراز تجاری با بهره گیری از چنین الگو هایی قابل تبیین می‌باشد. در این الگوها کسری حساب جاری حاصل تصمیمات آحاد اقتصادی در خصوص مصرف و سرمایه گذاری مبتنی بر انتظارات آنها نسبت به رشد

1. Afonso & Jalles
2. Ahmad & Aworinde

بهره‌وری ، مخارج دولت، نرخ‌های بهره و سایر متغییر هاست. در این رویکرد، کسری حساب جاری به عنوان یک ضربه گیر برای تغییرات موقتی بهره‌وری یا تقاضا به حساب می‌آید. در مورد عوامل اثرگذار بر کسری تجاری، پژوهشگران مختلف، دیدگاه‌های متفاوتی دارند. مسلما هر گونه عدم توازن در تجارت خارجی نیز رشد اقتصادی را متأثر خواهد ساخت(باندی و آنجا، ۲۰۱۹)[1].

مطابق فرضیه هدف گذاری بر پایه حساب جاری[2]، این امکان وجود دارد که کسری حساب جاری و تجاری علت کسری بودجه باشد. این ارتباط معکوس تحت عنوان هدف گذاری بر پایه حساب جاری شناخته می‌شود. بر این اساس، افزایش کسری حساب جاری موجب دستیابی به الگوهای رشد کندتر و متعاقب آن افزایش کسری بودجه دولت می‌شود. رشد اقتصادی پایین نه تنها موجب افزایش هزینه‌های دولت می‌گردد، بلکه درآمدهای مالیاتی را نیز کاهش می‌دهد. به عبارت دیگر، بودجه یک کشور تحت تأثیر جریان‌های عظیم سرمایه یا انباشت بدهی قرار می‌گیرد که این امر در نهایت منجر به کسری بودجه آن کشور خواهد شد(بات و شارما، ۲۰۱۸)[3].

در میان اقتصاددانان، در مورد جایگاه و اهمیت انرژی در فرآیند رشد و توسعه اقتصادی، اتفاق نظر نسبی وجود دارد. نفت به عنوان مهمترین حامل انرژی ، یکی از مهمترین کالاها در سطح جهان است. از این رو تغییرات قیمت آن در بلندمدت و کوتاه مدت، اثرات مختلفی بر بخش واقعی اقتصاد و تورم در کشورهای صادرکننده و یا وارد کننده نفت بر جای خواهد گذاشت. با توجه به اهمیت و مجاری اثر گذاری متفاوت تکانه درآمد و یا قیمت نفت در کشورهای صادرکننده و وارد کننده نفت، مطالعات فراوانی به بررسی اثرات آن پرداخته اند. افزایش قیمت نفت برای کشورهای وارد کننده همواره به عنوان یک خبر یا نشانه از احتمال بروز رکود می‌باشد. اما همین امر برای کشورهای صادرکننده می‌تواند اثر مثبتی بر فعالیت‌های اقتصادی داشته باشد(جعفری صمیمی و همکاران، ۱۳۹۵).

نوسانات قیمت نفت اصلی ترین منبع نوسانات اقتصادی کشورهای تولیدکننده ی نفت است. افزایش ناگهانی قیمت نفت بعد از سال ۱۹۷۳ تأثیرات مهمی بر اقتصاد

1. Banday & Aneja
2. Current Account Targeting Hypothesis
3. Bhat & Sharma

کشورهای صادرکننده ی نفت گذاشت، به طوری که در این دوره درآمدهای ارزی حاصل از فروش نفت به شدت افزایش یافت و باعث رشد سریع قیمت ها، نرخ‌های دستمزد و واردات در این کشورها گردید. رشد بخش نفت به عنوان مهمترین عامل مؤثر بر درآمد ملی، عموماً منجر به افزایش تقاضای کل اقتصاد و در نتیجه افزایش قیمت‌ها و سودآوری در بخش غیر قابل مبادله نسبت به بخش قابل مبادله می‌شود، این امر باعث سرازیر شدن سرمایه و نیروی کار به سمت بخش غیرقابل مبادله و قویتر شدن این بخش در مقابل ضعیف شدن بخش قابل مبادله ی اغلب اقتصادهای تک محصولی می‌شود. وقوع این پدیده که در ادبیات اقتصادی به بیماری هلندی[1] معروف است و در اقتصادهای متنوع و نسبتاً بزرگ مانند ایران نیز قابل مشاهده است، در بسیاری از کشورهای صادر کننده ی نفت، افزایش قابل توجه سهم بخش نفت نسبت به بخش‌های غیرنفتی و افزایش در درآمد سرانه ی این کشورها را موجب می‌شود .چنین افزایشی تنها به دلیل افزایش درآمدهای نفتی و نه در اثر رشد بخش واقعی اقتصاد رخ داده است و عدم تعادل هایی در بخش‌های مختلف این اقتصادها را در پی دارد. کاهش قیمت نفت که در کشورهای نفت خیز سبب کاهش درآمدهای ارزی و کاهش واردات(عموماً مواد اولیه و کالاهای واسطه ای) می‌شود، افت شدید تولید را در پی دارد و با توجه به ویژگی اقتصادی این کشورها، رکود تورمی وکاهش عرضه در اقتصاد این کشورها را موجب می‌شود. از طرفی دیگر، با افزایش قیمت نفت، کشورهای نفت خیز شاهد انتقال منابع(دلارهای نفتی) به سمت خود هستند و این منابع را در راه سرمایه گذاری در کشورهای مصرف کننده یا واردات از این کشورها مصرف خواهند نمود، به طوری که نزدیک به دو سوم درآمدهای نفتی بلافاصله پس از ورود به حساب کشورهای نفتی، به صورت ودیعه یا سرمایه گذاری دوباره به کشورهای صنعتی باز می‌گردد و بقیه برای تأمین بودجه ی ملی و پرداخت بهای واردات از این کشورها، از قبیل خرید تجهیزات، خدمات یا مواد مصرفی(اغلب از آمریکا، اروپای غربی و ژاپن) مصرف می‌شود (الکیشین و السعید، ۲۰۲۱)[2].

1. Dutch Disease
2. El-Khishin & El-Saeed

۳- پیشینه پژوهش

پیشینه‌های داخلی:

قهرمان‌زاده و همکاران(۱۴۰۱) در مطالعه ای تحت عنوان بررسی اثر نوسان‌های نرخ ارز بر تراز تجاری بخش کشاورزی ایران، با استفاده از روش خودبازگشتی با وقفه توزیعی نشان دادند که یک رابطه تعادلی بلندمدت بین تراز تجاری کشاورزی ایران با GDPایران، GDP کشورهای شریک اصلی تجاری ایران، نرخ ارز موثر حقیقی و نوسان‌های نرخ ارز موثر حقیقی وجود دارد. یافته‌های تحقیق بیانگر آن است که افزایش نرخ ارز موثر حقیقی و GDP کشورهای شریک تجاری باعث بهبود تراز تجاری کشاورزی ایران دارند. البته نوسان‌های نرخ ارز موثر حقیقی در بلندمدت اثر منفی و معنی دار بر تراز تجاری کشاورزی داشته ولی در کوتاه مدت اثر معنی داری ندارد. پیشنهاد می‌شود دولت افزون بر مهار نوسان‌های نرخ ارز از طریق عملیات بازار باز از سوی بانک مرکزی، در راستای حذف تحریم‌های اقتصادی و رفع بازدارنده‌های تجاری و همچنین انعقاد توافقنامه‌های تعرفه ای بین کشورها در راستای بهبود تجارت محصول‌های کشاورزی ایران گام بردارد.

ابوالحسین بیگی و مهدوی(۱۳۹۸) در مطالعه ای تحت عنوان رابطه نرخ ارز با تراز تجاری ایران تحت شرایط نااطمینانی(رویکرد غیرخطی) با استفاده از رهیافت مارکوف سوییچینگ، دریافتند که بی ثباتی اقتصاد کلان در ایران، قابل تفکیک به دو رژیم شامل بی ثباتی بالا (رژیم ۱) و پایین(رژیم ۲) است. اثر مستقیم نرخ ارز حقیقی بر تراز تجاری در هر دو رژیم مثبت و معنادار است. یعنی با افزایش نرخ ارز تراز تجاری در هر دو رژیم بهبود می‌یابد. اثر بی ثباتی اقتصاد کلان بر رابطه نرخ ارز با تراز تجاری در هر دو رژیم منفی و معنادار است. منفی بودن این ضریب در دو رژیم به این معنی است که بی ثباتی اقتصاد کلان موجب کاهش اثر نرخ ارز بر تراز تجاری ایران می‌شود.

رضا قلی زاده و همکاران(۱۳۹۷) در مطالعه ای تحت عنوان ارزیابی تأثیر قیمت جهانی نفت بر حساب جاری در ایران با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم یافته دریافتند که رابطه مثبت و مستقیم بین قیمت نفت و حساب جاری در ایران تأیید می‌شود. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهند که سطح بالاتر سرمایه‌گذاری داخلی، رشد اقتصادی کشور، مخارج عمومی دولت و نرخ بهره خارجی تأثیر منفی بر تراز حساب

جاری دارند و در مقابل، نرخ ارز حقیقی بالاتر، سرمایه‌گذاری خارجی بیشتر و یک اقتصاد بازتر منجر به بهبود در تراز جاری می‌شوند.

فعالجو و نظری(۱۳۹۷)، به بررسی اثر غیرخطی نرخ ارز حقیقی بر تراز تجاری ایران با استفاده از رویکرد رگرسیون انتقال ملایم پرداختند. نتایج حاصل از این مطالعه، ضمن تأیید اثر غیرخطی نرخ ارز حقیقی بر تراز تجاری حاکی از این است که اثرگذاری نرخ ارز حقیقی بر تراز تجاری بستگی به رژیمی دارد که اقتصاد در آن قرار گرفته است.

دمیری و همکاران(۱۳۹۶) در مطالعه ای تحت عنوان تأثیر تکانه نفتی بر تراز تجاری و متغیرهای کلان اقتصاد ایران با استفاده از یک مدل تعادل عمومی پویای تصادفی با استفاده از یک مدل تعادل عمومی پویا دریافتند که تأثیر مستقیم تکانه نفتی بر تراز تجاری مثبت امّا تأثیر غیرمستقیم آن منفی است. در نهایت تأثیر مستقیم بر تأثیر غیرمستقیم غلبه می‌نماید و تکانه نفتی مثبت سبب بهبود نسبت تراز تجاری کل به تولید ناخالص داخلی می‌شود. همچنین تکانه نفتی مثبت موجب کاهش نسبت تراز تجاری غیرنفتی به تولید ناخالص داخلی می‌گردد. از طرفی تکانه نفتی موجب افزایش تولید، سرمایه گذاری و تورم می‌شود. توابع واکنش ضربه ای نشان می‌دهند که تعدیل اثر تکانه نفتی بر تراز تجاری به کندی صورت می‌گیرد، در حالی که متغیرهای کلان اقتصادی سریعتر تعدیل می‌گردند. با توجه به تأثیر منفی تکانه نفتی بر تراز تجاری غیرنفتی و همچنین نقشی که بهبود این تراز در کاهش بیکاری و افزایش درآمد ارزی برای کشور دارد، لازم است که سیاستگذارها اقدامات خود در جهت کاهش وابستگی کشور به درآمدهای نفتی را سرعت بخشند.

الیاس پور و همکاران(۱۳۹۶) در مطالعه ای تحت عنوان تأثیر نااطمینانی نرخ ارز بر تراز تجاری ایران با استفاده از مدل‌های خودبازگشتی واریانس ناهمسانی دریافتند که در بلندمدت و در هر سه مدل برآوردی، نرخ ارز واقعی تأثیر منفی و معنی داری بر صادرات غیرنفتی، واردات و تراز تجاری ایران دارد. همچنین نااطمینانی نرخ ارز واقعی تأثیر مثبت بر صادرات غیرنفتی و تراز تجاری ایران و تأثیر منفی بر واردات ایران دارد.

پیشینه‌های خارجی:

اورمان و دلا(۲۰۲۱)[1] اقدام به تجزیه و تحلیل اثرگذاری‌های نوسان‌های نرخ ارز بر صادرات کشاورزی از طریق الگوی خودرگرسیونی با وقفه توزیعی نمودند. برمبنای یافته‌های تحقیق، افزایش نرخ ارز حقیقی و نوسان‌های آن به ترتیب اثرگذاری مثبت و منفی بر میزان صادرات کشاورزی دارند.

بهمنی اسکویی و آفتاب(۲۰۱۸)[2] به بررسی اثرات نامتقارن تغییرات نرخ ارز بر تراز تجاری مالزی-چین پرداختند. نتایج نشان داد اثر تغییرات نرخ ارز بر تراز تجاری مالزی-چین نامتقارن است. به طوری که افزایش ارزش پول ملی مالزی اثر معناداری بر تراز تجاری دو کشور نداشته اما کاهش ارزش پول ملی مالزی باعث بهبود تراز تجاری مالزی با چین شده است.

آرایز و دیگران(۲۰۱۷)[3] در مطالعه خود به بررسی اثر نرخ ارز واقعی موثر روی تراز تجاری هشت کشور در حال توسعه آسیایی با استفاده از داده‌های فصلی و روش‌های مختلف غیرخطی به ویژه مدل خود بازگشت با وقفه‌های توزیعی غیرخطی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که یک رابطه بلندمدت منحصر به فرد و معنی دار بین تراز تجاری و نرخ ارز موثر واقعی در هر کشور وجود دارد. در هر مورد نرخ ارز موثر واقعی اثر کوتاه مدت نیز دارد. نتایج منطبق بر نظریه‌های اقتصادی است به گونه ای که در بلندمدت تضعیف واقعی ارزش پول در این کشورها تراز تجاری را بهبود می‌دهد و بنابراین شرط مارشال- لرنر در بلندمدت برقرار است.

فورنی و همکاران(۲۰۱۵)[4] به بررسی تأثیر تکانه نفت بر اروپا با استفاده از داده‌های فصلی با استفاده از مدل تعادل عمومی باز با رویکرد کینزی جدید پرداخته اند. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که تکانه نفتی در اروپا سبب کسری تجاری می‌گردد، همچنین تکانه نفتی منجر به افزایش یک درصدی در تورم و کاهش تولید ناخالص داخلی می‌شود.

1. Orman & Dellal
2. Bahmani-Oskooee & Aftab
3. Arize and et al.
4. Forni and et al.

۴- روش شناسی تحقیق

در این مطالعه، از الگوها و روش‌های اقتصادسنجی بهره گرفته می‌شود. الگوهای اقتصادسنجی یکی از ابزارهای مهم تحلیل سیاستگذاری‌های اقتصادی هستند که همواره در همهٔ کشورها مورد استفاده قرار می‌گیرد. اصولاً خصوصیت بارز یک الگو در کلیت متغیرها و معادلات و ارتباطات موجود بین آنها پدیدار می‌گردد و شاید نتوان از این لحاظ کیفیت این ارتباطات را توضیح داد. یکی از مهمترین ویژگی‌های هر الگوی کلان اقتصادسنجی، نحوه ارتباط بخش‌های آن با یکدیگر است که اساس دیدگاه نظری سازنده الگو را از بعد اقتصادی در مورد جامعه تحت بررسی تبیین می‌نماید. در این مطالعه از رویکرد تصحیح خطای برداری(VECM)[1] استفاده می‌شود. مدل‌های تصحیح خطای برداری مدل‌های بسیار پرکاربردی در مطالعات اقتصادی بشمار می‌آیند. در این مدل‌ها می‌توان ترکیبی از متغیرهای مانا در سطح و مانا با یک درجه تفاضل را وارد و آن را برآورد کرد. قابلیت‌های متنوع این مدل‌ها موجب شده تا مطالعات زیادی آن‌ها را بکارگیرند(حوساین و همکاران، ۲۰۲۴)[2].

الگویی که به بررسی و تحلیل اثرات شوک‌های درآمد نفتی و نرخ ارز بر کسری تجاری ایران می‌پردازد برگرفته از

حوساین و همکاران(۲۰۲۴) می‌باشد که در قالب الگوی VECM بصورت ماتریس زیر قابل تصریح و تعریف می‌باشد.

(۱)

$$\begin{bmatrix} \Delta LGDP_t \\ \Delta LCPI_t \\ \Delta LM_t \\ \Delta R_t \\ \Delta LOR_t \\ \Delta EXR_t \\ \Delta CA_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} \\ \alpha_{21} \\ \alpha_{31} \\ \alpha_{41} \\ \alpha_{51} \\ \alpha_{61} \\ \alpha_{71} \end{bmatrix} EC_{t-k} + \sum_{t-k}^{p} \begin{bmatrix} \Gamma_{11}\Gamma_{12} & \Gamma_{13} & \Gamma_{14} & \Gamma_{15} & \Gamma_{16} & \Gamma_{17} \\ \Gamma_{21}\Gamma_{22} & \Gamma_{23} & \Gamma_{24} & \Gamma_{25} & \Gamma_{26} & \Gamma_{27} \\ \Gamma_{31}\Gamma_{32} & \Gamma_{33} & \Gamma_{34} & \Gamma_{35} & \Gamma_{36} & \Gamma_{37} \\ \Gamma_{41}\Gamma_{42} & \Gamma_{43} & \Gamma_{44} & \Gamma_{45} & \Gamma_{46} & \Gamma_{47} \\ \Gamma_{51}\Gamma_{52} & \Gamma_{53} & \Gamma_{54} & \Gamma_{55} & \Gamma_{56} & \Gamma_{57} \\ \Gamma_{61}\Gamma_{62} & \Gamma_{63} & \Gamma_{64} & \Gamma_{65} & \Gamma_{66} & \Gamma_{67} \\ \Gamma_{71}\Gamma_{72} & \Gamma_{73} & \Gamma_{74} & \Gamma_{75} & \Gamma_{76} & \Gamma_{77} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta LGDP_{t-k} \\ \Delta LCPI_{t-k} \\ \Delta LM_{t-k} \\ \Delta R_{t-k} \\ \Delta LOR_{t-k} \\ \Delta EXR_{t-k} \\ \Delta CA_{t-k} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_{11}c_{12} & c_{13} & c_{14} & c_{15} & c_{16} & c_{17} \\ c_{21}c_{22} & c_{23} & c_{24} & c_{25} & c_{26} & c_{27} \\ c_{31}c_{32} & c_{33} & c_{34} & c_{35} & c_{36} & c_{37} \\ c_{41}c_{42} & c_{43} & c_{44} & c_{45} & c_{46} & c_{47} \\ c_{51}c_{52} & c_{53} & c_{54} & c_{55} & c_{56} & c_{57} \\ c_{61}c_{62} & c_{63} & c_{64} & c_{65} & c_{66} & c_{67} \\ c_{71}c_{72} & c_{73} & c_{74} & c_{75} & c_{76} & c_{77} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{11t} \\ C_{21t} \\ C_{31t} \\ C_{41t} \\ C_{51t} \\ C_{61t} \\ C_{71t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{u}_{1t} \\ \hat{u}_{2t} \\ \hat{u}_{3t} \\ \hat{u}_{4t} \\ \hat{u}_{5t} \\ \hat{u}_{6t} \\ \hat{u}_{7t} \end{bmatrix}$$

1. Vector Error Correction Model
2. Hussain and et al.

متغیرهای مورد استفاده در این مطالعه شامل:

تولید ناخالص داخلی:(GDP): ارزش ریالی کالاها و خدمات نهایی تولید و مبادله شده در کشور در طول یک دوره اقتصادی که داده‌های آن از سایت بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران[1] و به قیمت ثابت، گرفته می‌شود.

شاخص بهای کالاها و خدمات مصرفی خانوارهای شهری:(CPI): شاخص بهای کالاها و خدمات مصرفی (CPI) معیار سنجش تغییرات قیمت کالاها و خدماتی است که توسط خانوارهای شهرنشین ایرانی به مصرف می‌رسد. این شاخص به عنوان وسیله‌ای برای اندازه‌گیری سطح عمومی قیمت کالاها و خدمات مورد مصرف خانوارها، یکی از بهترین معیارهای سنجش تغییر قدرت خرید پول داخل کشور، به شمار می‌رود که داده‌های آن از سایت بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران گرفته می‌شود.

نقدینگی: (M) نقدینگی جامع ترین مفهوم و روش برای محاسبه حجم پول یک کشور معین است که شامل مجموع دارایی هایی که خانوارها و مشاغل برای پرداخت یا نگهداری به عنوان سرمایه گذاری کوتاه مدت استفاده می‌کنند، داده‌های این متغیر از سایت بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران گرفته می‌شود.

نرخ بهره: (R) نرخ بهره به عنوان هزینه وام‌گیری در نظر گرفته می‌شود و یکی از عوامل مهم در تصمیم‌گیری‌های مالی است. برای این متغیر از داده‌های سود سپرده‌های کوتاه مدت بانک‌های تجاری در سایت بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران استفاده می‌شود.

درآمدها نفتی: (OR) درآمدهای حاصل از فروش و صادرات نفت و فرآورده‌های آن که داده‌های آن از سایت بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران گرفته می‌شود.

نرخ ارز رسمی: (EXR) منظور از نرخ ارز خارجی عبارت است از مقداری از واحد پولی ملی که برای به دست آوردن واحد پول کشور دیگر باید پرداخت شود. همچنین می‌توان نرخ ارز را، ارزش برابری یک واحد پول خارجی به پول داخلی دانست. به عبارت دیگر بهای خرید یا فروش یک واحد پول خارجی به پول رایج کشور را نرخ ارز می‌گویند. داده‌های آن از سایت بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران گرفته می‌شود.

1. www.cbi.ir

کسری تجاری: (CA) تراز تجاری منفی یا کسری تجاری به معنای بیشتر بودن ارزش واردات یک کشور نسبت به ارزش صادرات آن در یک دوره زمانی معین است برای این متغیر از داده‌های تراز حساب جاری که از سایت بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران گرفته می‌شود، استفاده می‌شود.

در ماتریس بالا، K تعداد وقفه ها(K=1,..,P)، ماتریس α، ماتریس همجمعی است که نشان دهنده بخش بلندمدت الگوست و ماتریس Γ_i ، ضرایب کوتاه مدت و ui_t نیز بردار اجزاء خطای اختلال و cij ماتریس ضرایب متغیرهای از پیش تعیین شده است. همچنین اندیس‌های i نشان دهنده داده‌های سری زمانی می‌باشد. در این روابط شکل تفاضلی متغیرها در قالب الگوی VEC، معرفی شده است. بجز نرخ بهره، نرخ ارز، کسری بودجه و کسری تجاری، سایر متغیرها(تولید ناخالص داخلی، تورم، نقدینگی، درآمدهای نفتی) بصورت لگاریتمی در نظر گرفته می‌شوند.

۵- نتایج تجربی

۵-۱- آماره‌های توصیفی متغیرهای اصلی الگو

در ابتدا برای شناخت بیشتر ویژگی‌های آماری متغیرهای ایران، خلاصه ای از آماره‌های توصیفی متغیرها، به تفکیک به شرح جدول (۱) ارایه می‌شود.

جدول ۱. جدول توصیفی متغیرهای کشورهای عراق و شرکای عمده تجاری آن (میانگین، میانه، حداکثر، حداقل، انحراف معیار، مجموع، مشاهدات)

	GDP	CPI	M	R	EXR	CA
میانگین	۱۰۴۱۴۱۴۹	۱۰۷/۱۰	۱۴۶۲۸/۲۸	۹/۳۵	۲۴۲۱۶/۰۷	۱۷۰۱۴/۹۱
میانه	۱۰۷۳۰۵۷۲	۸۱/۴۰	۶۵۲۴/۶۸	۱۰/۰۰	۲۵۱۸۹/۹۰	۱۷۲۹۵/۰۰
حداکثر	۲۶۱۲۷۶۱۲	۲۵۰/۱۰	۶۳۳۷۶/۸۰	۱۲/۳۱	۲۴۶۴۵/۵۰	۶۰۸۲۲/۵۸
حداقل	۱۴۶۹۰۷۴	۳۴/۵۰	۵۵۲/۱۲	۵/۷۱	۸۵۵۶/۹۰	-۲۰۶۹۱/۲۳
مشاهدات	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول(۱) برخی ویژگی‌های آماری متغیرهای اصلی پژهش حاضر را که شامل: میانگین، میانه، حداکثر، حداقل و تعداد مشاهدات می‌باشد را نشان می‌هد.

۵-۲- آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم یافته

از جمله موضوعاتی که لازم است قبل از برآورد الگو مورد بررسی قرار گیرد، موضوع مانایی سری زمانی متغیرهاست. در این پژوهش برای آزمون مانایی سری زمانی مورد نظر از آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم یافته فصلی و هگی استفاده می‌شود. اگر قدر مطلق آماره آزمون‌ها از قدر مطلق کمیت بحرانی ارائه شده بزرگتر باشد فرضیه H_0 دالّ بر وجود ریشه واحد، رد می‌شود. در جدول زیر، نتیجه این آزمون‌ها برای متغیرهای معرفی شده ارائه شده است.

جدول ۲. آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم یافته

متغیرها	آماره آزمون دیکی فولر	آماره آزمون هگی
log (GDP)	-۲/۱۵	-۲/۵۳
log(CPI)	-۱/۹۱	-۱/۸۳
log (M)	-۲/۸۰	-۱/۶۷
R	-۳/۰۱	-۱/۴۸
log (OR)	-۲/۵۷	-۲/۱۵
EXR	-۱/۷۷	-۱/۷۷
CA	-۳/۳۳	-۲/۲۱
Δlog (GDP)	-۴/۷۰	-۳/۹۶
Δlog (CPI)	-۴/۶۷	-۴/۱۷
Δlog (M)	-۴/۵۵	-۵/۶۸
ΔR	-۴/۲۲	-۳/۷۱
Δ Log (OR)	-۶/۹۵	-۴/۶۸
ΔEXR	-۴/۳۷	-۵/۷۹
ΔCA	-۴/۷۱	-۴/۴۰
میزان آماره آزمون در سطوح بحرانی بر اساس مطالعه دیویدسون و مکینون (۱۹۹۳)[1]		
جزء ثابت، متغیرهای مجازی فصلی و روند خطی ۱٪ : (-۳/۹۶) ۵٪ : (-۳/۴۱) ۱۰٪ : (-۳/۱۳)		
جزء ثابت و متغیرهای مجازی فصلی ۱٪ : (-۳/۴۳) ۵٪ : (-۲/۸۶) ۱۰٪ : (-۲/۵۷)		

ماخذ: یافته‌های تحقیق

1. Davidson and MacKinnon

همان گونه که از نتایج جدول بالا مشخص است، تمام متغیرهادر سطح معناداری ۹۹٪ نامانا می‌باشند ولی با یک بار تفاضل گیری در این سطح معناداری، مانا می‌شوند و بدین ترتیب یکی از شروط مهم برآورد الگوهای مورد نظر فراهم شده است.

۵-۳- آزمون همجمعی

برای بررسی همجمعی بین متغیرها، آزمون‌های مختلفی وجود دارد که در این تحقیق از آزمون یوهانسون (۱۹۹۵) استفاده می‌شود. در صورتی که همجمعی بین متغیرها تعیین گردد می‌توان گفت که رابطه تعادلی و بلندمدت بین متغیرهای مورد نظر برقرار است. با انجام این آزمون و محاسبه آزمون نسبت راستنمایی LR[1] و نیز مقایسه آن با مقادیر بحرانی جدول در سطوح ۱٪، ۵٪ و ۱۰٪، همجمعی و رابطه تعادلی بین متغیرهای الگو اثبات می‌شود. در این آزمون بر اساس نتایج جدول (۲) مشاهده می‌شود که در الگو در سطح معنا داری ۹۹٪، ۱ رابطه بلندمدت وجود دارد. نتایج این آزمون در تخمین الگوی VEC مورد نیاز می‌باشد.

جدول ۳.آزمون همجمعی یوهانسن

فرضیه صفر	*LR*	آماره *p*	٪۹۰	٪۹۵	٪۹۹
r=0	۱۵۷/۷۱	۰/۰۱	۱۴۴/۸۱	۱۵۰/۳۵	۱۶۱/۱۱
r=1	۹۸/۹۱	۰/۴۱	۱۱۲/۵۴	۱۱۷/۴۵	۱۲۷/۰۴
r=2	۶۳/۹۹	۰/۷۳	۸۴/۲۷	۸۸/۵۵	۹۶/۹۷
r=3	۳۶/۷۸	۰/۹۲	۶۰/۰۰	۶۳/۶۶	۷۰/۹۱
r=4	۲۱/۴۵	۰/۹۲	۳۹/۷۳	۴۲/۷۷	۴۸/۸۷
r=5	۱۱/۱۵	۰/۸۶	۲۳/۳۲	۲۵/۷۳	۳۰/۶۷
R=6	۳/۷۹	۰/۷۶	۱۰/۶۸	۱۲/۴۵	۱۶/۲۲

ماخذ: یافته‌های تحقیق

۵-۴- تعیین وقفه بهینه

تعیین وقفه بهینه در تصریح الگوی VEC از اهمیت زیادی برخوردار است. بدین منظور از معیار اطلاعات آکائیک (AIC)، معیار شوارتز (SC) و معیار حنان کوئین (HQC) و

1. Likelihood Ratio Testing

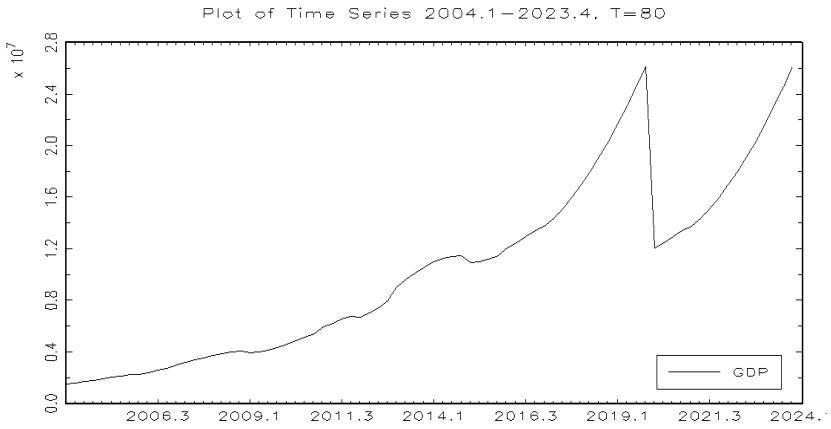
خطای پیش بینی نهایی (FPE) استفاده می‌شود. وقفه‌های بهینه با توجه به این معیارها و علی الخصوص معیار شوارتز بیزین که در انتخاب وقفه بهینه صرفه جویی می‌کند در الگو وقفه ۰ و ۱ مشخص شده است که این وقفه‌ها در جدول زیر قابل مشاهده می‌باشند.

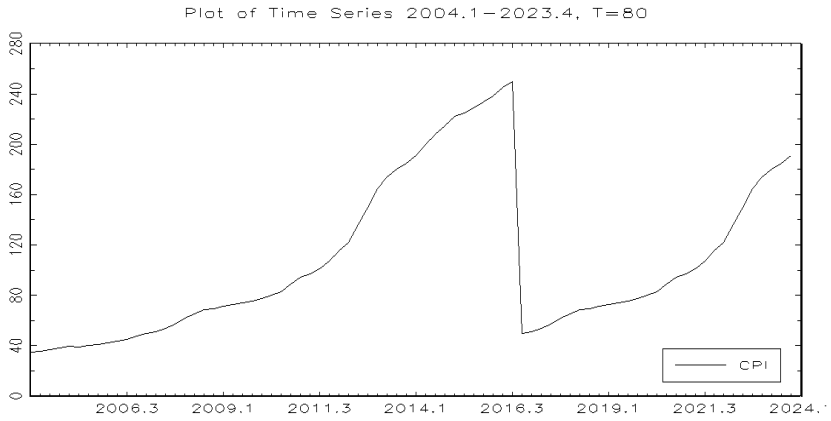
جدول ۴. تعداد وقفه‌های بهینه

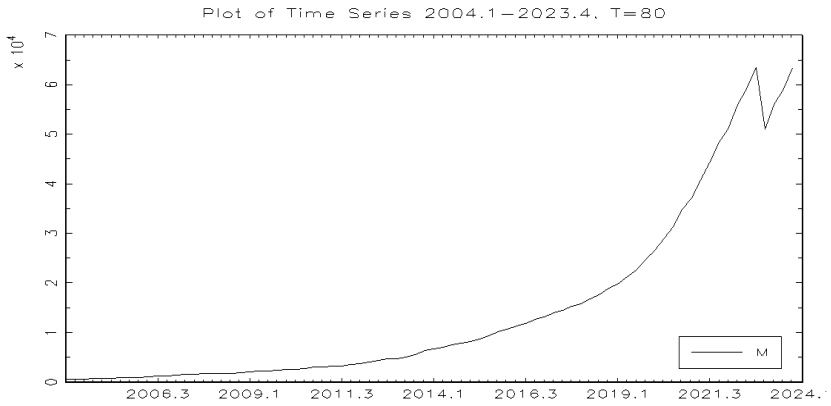
	وقفه ها
AIC	۰
FPE	۰
SC	۱
HQC	۱

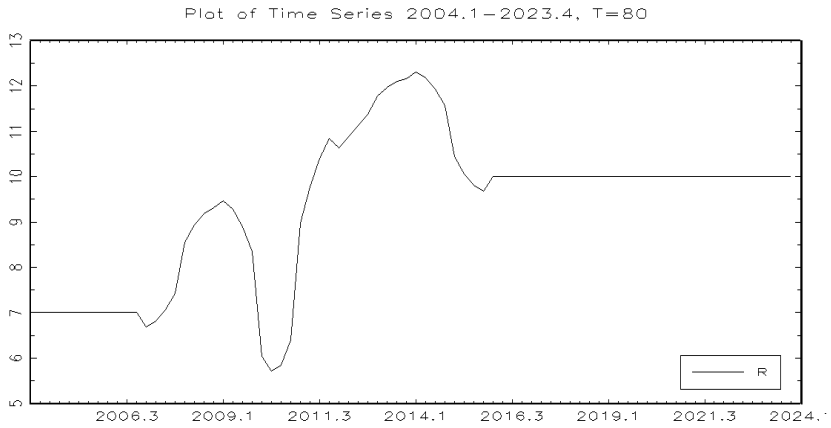
ماخذ: یافته‌های تحقیق

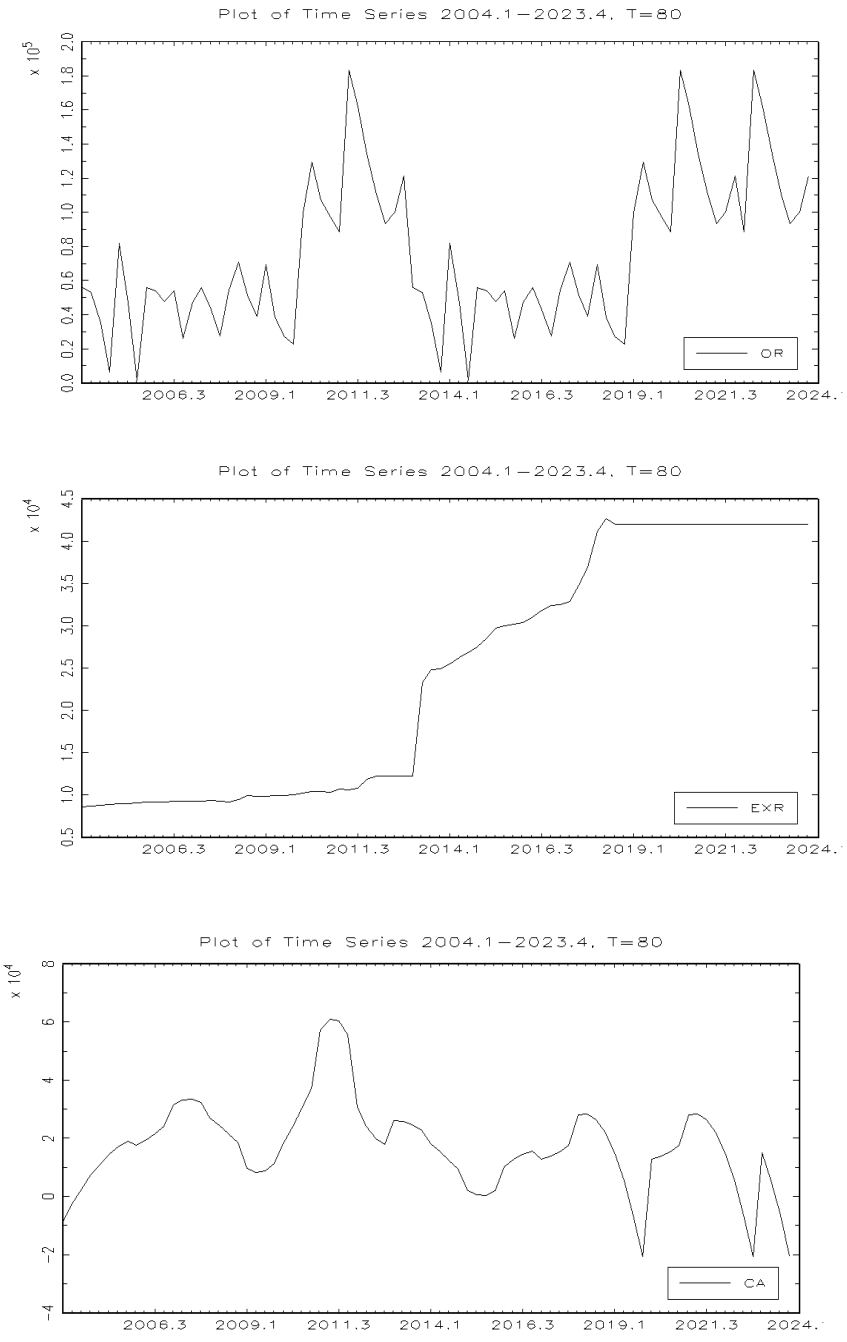
همچنین با توجه به روند متغیرها در شکل(۱) و همچنین از آنجایی که در اینجا نیز داده‌های آماری مربوط متغیرهای تولید(GDP)، سطح عمومی قیمت ها(CPI)، حجم پول(M)، نرخ بهره(R)، درآمدهای نفتی(OR)، نرخ ارز(EXR) و کسری تجاری(CA) به طور فصلی تعدیل نشده اند، در کنار همه متغیرها، جزء ثابت، روند خطی و متغیرهای مجازی فصلی نیز به الگو اضافه می‌شوند.




Plot of Time Series 2004.1—2023.4, T=80
0
40
80
120
160
200
240
280
CPI
2006.3
2009.1
2011.3
2014.1
2016.3
2019.1
2021.3
2024.


Plot of Time Series 2004.1—2023.4, T=80
x 10^4
0
1
2
3
4
5
6
7
M
2006.3
2009.1
2011.3
2014.1
2016.3
2019.1
2021.3
2024.


Plot of Time Series 2004.1—2023.4, T=80
5
6
7
8
9
10
11
12
13
R
2006.3
2009.1
2011.3
2014.1
2016.3
2019.1
2021.3
2024.



شکل ۱. سری زمانی متغیرهای log(GDP)، log(CPI)، log(M)، R، log(OR)، EXR، CA

۵-۵- آزمون‌های تشخیصی

به منظور ارزیابی و بررسی وقفه بهینه جهت تخمین الگوی مورد نظر، از آزمون پورتمن و آزمون بریوش گادفری برای تشخیص خودهمبستگی، آزمون ژارکو- برا، برای تشخیص نرمال بودن و آزمون ARCH-LM چند متغیره برای تشخیص واریانس ناهمسانی اجزاء باقیمانده خطا استفاده نموده و نتایج این آزمون‌ها برای الگو در جدول (۵) قابل مشاهده می‌باشند.

جدول ۵. آزمون‌های تشخیصی

آزمون	$Q_{۱۶}$		$LM_{۱}$		$LM_{۲}$		$LJB_{۲}$		$ARCH_{LM}$	
وقفه ها	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱
آماره تخمینی	۸۵۳/۸۹	۷۵۶/۹۵	۷۰/۰۴	۳۹/۷۴	۷۹/۶۵	۶۹/۴۰	۳۱۹۷۰/۵۴	۲۸۶۳۴/۰۸	۹۸۴/۵۰	۷۸۴/۰۰
آماره p	۰/۰۳	۰/۶۲	۰/۰۲	۰/۸۲	۰/۰۱	۰/۹۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۵

فرضیه صفر تنها وقتی ردّ می‌شود که آماره p کوچکتر از ۰,۱ یا ۰,۰۵ باشد.(لوتکپل، ۲۰۰۵: ۴۷)

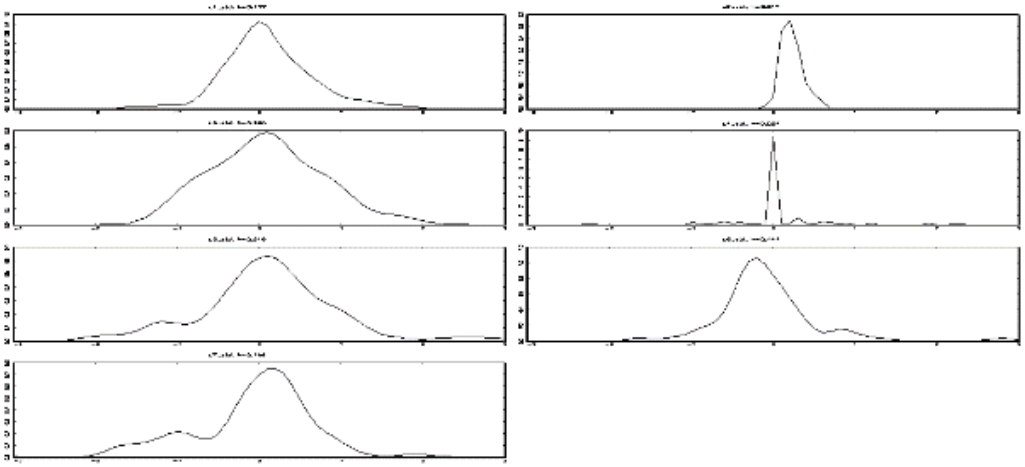
Q_h : آزمون پورتمن برای تشخیص خودهمبستگی LM_h : آزمون بریش- گادفری برای تشخیص خودهمبستگی

LJ_k : آزمون ژارکو- برا برای تشخیص غیرنرمال بودن $MARCH_{LM}(q)$: آزمون ARCH- LM چندمتغیره برای تشخیص واریانس ناهمسانی اجزاء باقیمانده خطا

ماخذ: یافته‌های تحقیق

با توجه به نتایج جدول بالا می‌توان دید که آزمون‌های تشخیصی در الگو، وقفه ۱ را به عنوان وقفه بهینه جهت تخمین الگوی مورد نظر مشخص می‌کنند که دلالت بر عدم وجود خود همبستگی و واریانس ناهمسانی اجزاء باقیمانده خطا دارند ولی الگو با غیر نرمال بودن اجزای باقیمانده خطا مواجه می‌باشد. با انجام آزمون کرنل دنسیتی[1] برای بررسی شکل توزیع نرمال اجزای باقیمانده خطا از آنجایی که طبق این آزمون در شکل زیر، اجزای باقیمانده خطا شکل توزیع نرمال را حفظ کرده، از این نتیجه اغماض می‌گردد.

1. Kernel Density Test



شکل۲. آزمون کرنل دنسیتی برای بررسی شکل توزیع نرمال اجزای باقیمانده خطا

۵-۶- تخمین الگوی VEC

بعد از اثبات نامانایی متغیرها در سطح و مانایی آنها در تفاضل مرتبه اول، وجود همجمعی، انجام آزمون‌های تشخیصی و تعیین وقفه بهینه، به برآورد ضرایب با استفاده از الگوی VEC پرداخته می‌شود. با توجه به نتایج به دست آمده، ماتریس های(۱) با استفاده از فرآیند RR[1] یوهانسن در سطح معناداری ۹۹٪ توسط نرم افزار به ترتیب برای الگو تخمین زده می‌شود. بر اساس الگوی تخمینی ابتدا روابط بلندمدت الگو بیان می‌شود و سپس بررسی ثبات ضرایب تخمینی، تحلیل واکنش ضربه و تجزیه واریانس خطای پیش بینی ارائه خواهد شد. در الگوهای تصحیح خطای برداری ترتیب متغیرها برای استخراج روابط بلندمدت از اهمیت زیادی برخوردار است بدین جهت، ابتدا عرضه کل که مبتنی بر GDP، تقاضای کل که مبتنی بر CPI و سپس رابطه بلندمدت بر حسب سایر متغیرها می‌باشد را در نظر می‌گیرند. در الگو در سطح ۹۹٪، ۱ رابطه بلندمدت وجود دارد که این رابطه بصورت زیر می‌باشد[2]:

$$LGDP_t = \underset{(2.10)}{0.36}LCPI_t + \underset{(4.97)}{0.09}LM_t - \underset{(-2.22)}{0.21}R_t - \underset{(-3.40)}{1.70}LOR_t - \underset{(-5.10)}{3.85}EXR_t + \underset{(2.00)}{0.55}CA_t \quad (۲)$$

1. Reduced Rank

۲. اعداد داخل پرانتز آماره t را نشان می‌دهد.

بر اساس تخمین یوهانسن رابطه بلندمدت در الگو از ابتدا بر حسب تولید ناخالص داخلی، به هنجار[1] می‌باشد. این روابطه نشان دهنده عرضه کل است. طبق رابطه(۲)، مکتب پس انداز اجباری کینز– کالسکی عقیده دارد تورم می‌تواند موجب رشد تولید شود. همچنین بر اساس نظریه پولی فریدمن افزایش غیرمنتظره تورم موجب افزایش اشتغال و تولید می‌شود. نظریه مقداری پول بیان می‌کند که در بلندمدت رشد حجم پول تنها سطح قیمت‌ها را افزایش می‌دهد و تأثیری بر متغیرهای واقعی مانند تولید، اشتغال و نرخ بهره واقعی ندارد. افزایش نرخ بهره باعث کاهش تولید و رشد اقتصادی می‌شود زیرا کاهش این نرخ منجر به کاهش تسهیلات بانکی، کاهش تولید ناخالص داخلی و در نهایت کاهش رشد اقتصادی می‌شود. درآمدهای نفتی در ایران در جهت تولید نبوده و بیشتر برای تأمین هزینه‌های جاری دولت استفاده می‌شود، بنابراین باعث کاهش تولید می‌شوند. با بالا رفتن نرخ ارز، برخی از شرکت‌های صادرکننده رشد خواهند کرد و صادرکنندگان به صادرات بیشتر تشویق می‌شوند که البته این امر اجتناب‌ناپایدار است. افزایش نرخ ارز باعث رشد ناپایدار و مقطعی برخی از شرکت‌های صادرکننده می‌شود، صادرات تا اندازه‌ای به نفع اقتصاد کشور است؛ اما به علت اینکه محصولات داخلی کشور تحت‌تأثیر افزایش قیمت‌های نسبی ناشی از تورم دلار هستند، مزیت رقابتی خود را از دست می‌دهند؛ بنابراین بنگاه‌های اقتصادی قادر به تولید با مقدار و کیفیت مناسب به همان قیمتی که قبل از صادرات داشتند، نیستند و تولید بنگاه‌ها کاهش می‌یابد. تراز تجاری می‌تواند به عنوان یک عامل موثر در رشد اقتصادی عمل کند. صادرات، به وجود آورنده درآمد ارزی و ایجاد اشتغال است و همچنین تقاضا در بازار داخلی را تحریک می‌کند. این موضوع می‌تواند به توسعه بیشتر بخش‌های تولیدی و افزایش سرمایه‌گذاری، افزایش تولید و رشد اقتصادی منجر شود. با کسری حساب جاری واردات بر صادرات فزونی می‌یابد، درآمد ارزی حاصل از صادرات کاهش، سرمایه گذاری و تولید نیز کاهش می‌یابد.

۵-۷- آزمون ثبات چاو

برای انجام آزمون چاو دوره نمونه را به دو یا چند قسمت تقسیم می‌کنیم و از آنجا که دوره مورد مطالعه در این تحقیق دوره $۲۰۰۴Q_۱$ -$۲۰۲۲Q_۲$ می‌باشد پس از تقسیم

1. Normalize

نمونه به دو قسمت، این آزمون در الگو در فصل دوم سال ۲۰۱۱ بنا بر انتخاب نرم افزار انجام گرفت. این آزمون فرضیه صفر، ثبات پارامترها را در سطح معنی داری ۱ درصد مورد آزمون قرار می‌دهد. بنابر این با بررسی آماره p نتایج نشان می‌دهند که چون این آماره از ۰/۰۵ بزرگتر می‌باشد نمی توان فرضیه صفر مبنی بر ثبات ضرایب را رد کرد و در نتیجه شکست ساختاری وجود نداشته است و ضرایب در الگو با ثبات می‌باشد.

جدول ۶. آزمون چاو

نقطه شکست آزمون	۲۰۱۱-Q۲
p-value	۰/۲۹

ماخذ: یافته‌های تحقیق

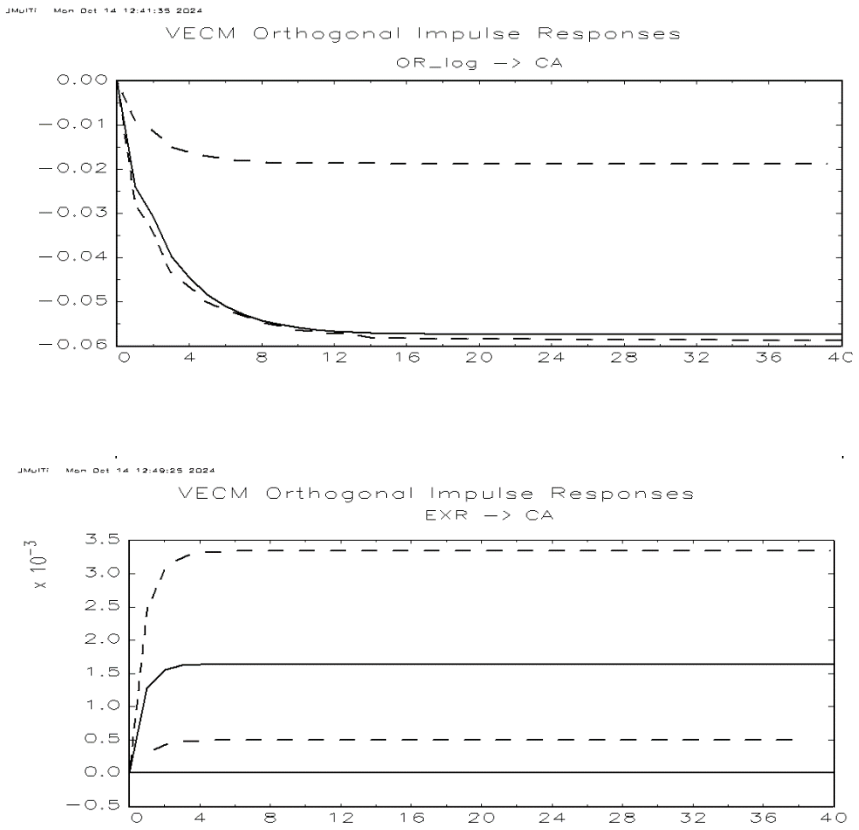
۵-۸- تجزیه واریانس خطای پیش بینیFEVD[1]

طبق یافته‌های پژوهش و با استفاده از تکنیک تجزیه واریانس خطای پیش بینی مشخص گردید که، سهم شوک درآمدهای نفتی در واریانس کسری تجاری در کوتاه مدت ۰/۱۰٪، در میان مدت به ۰/۰۵٪ می‌رسد و در بلندمدت به ۰/۰۳٪ تقلیل می‌یابد. سهم شوک نرخ ارز در واریانس کسری تجاری در کوتاه مدت۰/۳۰٪، میان مدت به ۰/۲۵٪ می‌رسد و در بلندمدت به ۰/۲۲٪ کاهش می‌یابد.

۵-۹- تحلیل واکنش ضربه (IR)

شکل های(۳) واکنش کسری تجاری را نسبت به شوک درآمدهای نفتی و نرخ ارز، در سطح معناداری ۹۰٪، با تعداد انعکاس بوتسترپ[2] ۵۰۰(تعداد ارتعاشات وارد شده به شوک در الگو)، با در نظر گرفتن ۴۰ فصل، در کوتاه‌مدت، ۱ تا ۴ فصل(سال)، میان مدت، ۴ تا ۲۰ فصل(۵ سال) و بلندمدت، بیش از ۲۰ فصل(بیش از ۵ سال) نشان می‌دهند.

1. Forecast Error Variance Decomposition
2. Number of Bootstrap Replications



شکل ۳. تحلیل واکنش ضربه کسری تجاری نسبت به شوک در درآمدهای نفتی و نرخ ارز

نتایج شکل های(۳) نشان می‌دهد که شوک درآمدهای نفتی در کوتاه مدت، میان مدت و بلندمدت اثر منفی و معنادار بر حساب جاری دارد. با افزایش درآمدهای نفتی حجم دلارهای بانک مرکزی افزایش می‌یابد که با تبدیل به پول داخلی، بر حجم پول و نقدینگی افزوده می‌شود، و سرانجام به افزایش قیمت‌های داخلی و افزایش تقاضای واردات منجر می‌شود. در نتیجه، حساب جاری کاهش، کسری حساب جاری و کسری تجاری افزایش می‌یابد. همچنین، کسری در حساب جاری را می‌توان ناشی از مقابله کشورهای صنعتی با افزایش قیمت نفت، به صورت افزایش قیمت کالاهای صنعتی دانست. به طوریکه علیرغم افزایش درآمدهای ارزی از محل صادرات نفت، از آنجا که کشورهای منتخب صادرکننده ی نفت، واردکننده ی عمده ی محصولات نیمه صنعتی و صنعتی از کشورهای صنعتی هستند، باعث افزایش ارزش واردات این کشورها نیز خواهد شد.

همچنین شوک نرخ ارز در کوتاه مدت، میان مدت و بلندمدت اثر مثبت و معنادار بر حساب جاری دارد. با افزایش نرخ ارز، ارزش پول داخلی کاهش می‌یابد و به دنبال آن، صادرات افزایش و واردات کاهش می‌یابد. در نتیجه، حساب جاری افزایش، کسری حساب جاری و کسری تجاری کاهش می‌یابد.

۶- نتیجه گیری و پیشنهادات

هدف اصلی این پژوهش تحلیل و بررسی اثرات شوک‌های درآمدهای نفتی و نرخ ارز بر کسری تجاری ایران است. نتایج این مطالعه آشکار کرد که: شوک درآمدهای نفتی در کوتاه مدت، میان مدت و بلندمدت اثر منفی و معنادار بر حساب جاری و شوک نرخ ارز در کوتاه مدت، میان مدت و بلندمدت اثر مثبت و معنادار بر حساب جاری دارد.

از مقایسه نتایج پژوهش حاضر با مقالات انجام شده مشخص است نتایج این مطالعه همانند نتایج مطالعه ابوالحسن بیگی و مهدوی(۱۳۹۸) و آرایز و همکاران(۲۰۱۷) می‌باشد و شوک‌های نرخ ارز تأثیر منفی و معنادار بر کسری تجاری دارد. نتایج مطالعه حاضر با مطالعات قهرمان زاده و همکاران(۱۴۰۱) و الیاس پور و همکاران(۱۳۹۶) در تضاد می‌باشد زیرا پیشینه‌های ذکر شده به این نتیجه رسیدند که تکانه‌های نرخ ارز تأثیر مثبت بر کسری تجاری دارد. علت تضاد این مطالعه با دو پیشینه ذکر شده ممکن است مربوط به متفاوت بودن جامعه آماری و دوره مورد مطالعه باشد.

که از آنجایی که شوک درآمدهای نفتی منجر به کاهش حساب جاری، و افزایش کسری حساب جاری و کسری تجاری می‌شود، لازم است که سیاستگذارها اقدامات خود در جهت کاهش وابستگی کشور به درآمدهای نفتی را سرعت بخشند. همچنین با توجه به افزایش تورم در زمان بروز شوک نفتی مثبت نقش کاهش وابستگی کشور به درآمدهای نفتی، بیش از پیش اهمیت می‌یابد؛ بنابراین پیشنهاد می‌گردد که جهت جلوگیری از کاهش تراز تجاری غیرنفتی و افزایش تورم در زمان بروز شوک نفتی مثبت وابستگی بودجه کشور به درآمدهای نفتی کاهش یابد. همچنین به دلیل اینکه شوک نرخ ارز در بلندمدت بر حساب جاری و کسری تجاری ایران تأثیرگذار است، بایستی از سیاست‌های اقتصادی که به ثبات نرخ ارز کمک می‌کند، بهره بهینه و موثری گرفته شود.

منابع

- ابواحسن بیگی، هانا و مهدوی، ابوالقاسم (۱۳۹۸). رابطه نرخ ارز با تراز تجاری ایران تحت شرایط نااطمینانی، فصلنامه علمی مطالعات اقتصادیِ کاربردی ایران، سال ۸، شماره ۳۲، ص ۱۷-۱.
- الیاس پور، بهنام و احمدی شادمهری، محمد طاهر و لطفعلی پور، محمدرضا و فلاحتی، محمد علی(۱۳۹۶). تأثیر نااطمینانی نرخ ارز بر تراز تجاری ایران، فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۸۸، ص ۲۵۵-۲۰۷.
- جعفری صمیمی، احمد و بالونژادنوری، روزبه و ظهرانچیان، امیرمنصور(۱۳۹۵). بررسی اثر تکانه درآمدهای نفتی بر تولید و تورم در شرایط وجود چسبندگی در قیمت و دستمزد، فصلنامه ی مطالعات اقتصاد انرژی، سال دوازدهم، شماره ۴۸، ص ۳۲ – ۱.
- دمیری، فاطمه و اسلاملوییان، کریم . هادیان، ابراهیم(۱۳۹۶). تأثیر تکانه نفتی بر تراز تجاری و متغیرهای کلان اقتصاد ایران با استفاده از یک مدل تعادل عمومی پویای تصادفی، فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات اقتصادیِ کاربردی ایران، سال ششم، شماره ۲۳، ص ۶۰-۳۵.
- رضا قلی زاده، مهدیه و آقایی، مجید و کیوان پور، ملیحه(۱۳۹۷). ارزیابی تأثیر قیمت جهانی نفت بر حساب جاری در ایران، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال چهاردهم، شماره ۵۶، ص ۱۷۷-۱۴۵.
- فعالجو، حمیدرضا و نظری سفیدان، رسول(۱۳۹۷). بررسی اثر غیرخطی نرخ ارز حقیقی بر تراز تجاری ایران :رویکرد رگرسیون انتقال ملایم، فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی، شماره ۸۸، ص ۲۶۸-۲۴۵.
- قهرمان زاده، محمد و اسدزاده، پریا و پیش بهار، اسماعیل و واحدی، جبرئیل(۱۴۰۱). بررسی اثر نوسان‌های نرخ ارز بر تراز تجاری بخش کشاورزی ایران، اقتصاد کشاورزی، جلد ۱۶، شماره ۲، ص ۱۴۱-۱۱۹.
- Afonso, A., & Jalles, J. T. (2019). Decomposing and analysing the determinants of current accounts' cyclicality: Evidence from the Euro area. Open Economies Review, 30(1), 133–156.

- Ahmad, A. H., & Aworinde, O. B. (2020). Revisiting the twin deficits hypothesis: New evidence from nonlinear tests. Applied Economics Letters, 27(19), 1602–1606. https://doi.org/10.1080/13504851. 2019.1707473
- Arize, A. C., Malindretos, J., & Igwe, E. U. (2017). Do Exchange Rate Changes Improve The Trade Balance: An Asymmetric Nonlinear Cointegration Approach. International Review of Economics & Finance, 49, 313-326.
- Banday, U. J., & Aneja, R. (2019). Twin deficit hypothesis and reverse causality: A case study of China. Palgrave Communications, 5(1), 1–10. https://doi.org/10.1057/s41599-019-0304-z
- Bhat, J. A., & Sharma, N. K. (2018). The twin-deficit hypothesis: Revisiting Indian economy in a nonlinear framework. Journal of Financial Economic Policy, 10(3), 386–405. https://doi.org/10.1108/ JFEP-09-2017-0082
- Bahmani-Oskooee, M. & Aftab, M. (2018). "Asymmetric effects of exchange rate changes on the Malaysia-China commodity trade". Economic Systems, 42, 470-486 .
- Davidson R , MacKinnon JG.1993. "Estimation and inference in econometrics", Oxford. University Press, New York, NY. Greene, W. H.
- El-Khishin, S., & El-Saeed, J. (2021). The twin deficit hypothesis in the MENA region: Do geopolitics matter? Economies. https://doi.org/10.3390/economies9030124
- Forni, L.; Gerali, A. and Pisani, M. (2015). "Euro Area, Oil and Global Shocks: An Empirical Model-Based Analysis". Journal of Macroeconomics, 46: 295-314 .
- Hussain1, I & Hayat. U & Alam. MS & Khan. U(2024). A Dynamic Analysis of the Twin Deficit Hypothesis: the Case of a Developing Country. Asia-Pacific Financial Markets (2024) 31:25–52 https://doi.org/10.1007/s10690-023-09405-y.
- Orman, T. and Dellal, I. (2021). Cointegration analysis of exchange rate volatility and agricultural exports in Turkey: an ARDL approch. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology. 9(6):1180-1185.

فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی/ سال بیست‌ویکم / شماره ۸۵/ تابستان ۱۴۰۴/ صفحات ۲۷۲-۲۳۵

بررسی تأثیر طرح تزریق گاز در بهینه‌سازی ضریب برداشت از یک میدان نفتی در جنوب ایران

اسماعیل رجبی
دانشجوی اقتصاد نفت و گاز، گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و حسابداری ، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، (esmaeelrajabi5@gmail.com)

قدرت الله امام وردی[1]
استادیار اقتصاد، گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و حسابداری، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، (ghemamverdi2@gmail.com)

علی اصغر اسماعیل‌نیا
استادیار اقتصاد، گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و حسابداری، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاداسلامی، تهران، ایران، (aeketabi@gmail.com)

مرجان دامن کشیده
استادیار اقتصاد، گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و حسابداری، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، (m.damankeshideh@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۴

چکیده

تزریق گاز به میدان نفتی از روش‌های ازدیاد برداشت نفت محسوب می‌شود و روشی است، که به منظور جلوگیری از کاهش فشار نفت و تثبیت آن، افزایش حجم و فشار سیال درون مخزن، در نتیجه تثبیت میزان استخراج نفت در یک مخزن نفتی، در طول زمان انجام می‌شود. این روش از دهه ۱۹۵۰ میلادی در سطح فراملی (بین‌المللی) استفاده شده‌است و به دلیل کم هزینه بودن در مقایسه با روش حفاری چاه‌های جدید، مورد استقبال قرار گرفت. هدف نهایی از تزریق گاز، تأمین ضریب بازیافت بیشتر برای میدان نفتی، نسبت به روش‌های اولیه و معمول می‌باشد. در این روش به دلیل وجود خاصیت امتزاج، در اثر تزریق گاز، موییننگی به کمترین مقدار ممکن می‌رسد، در نتیجه نفت خام موجود در دیواره مخزن، جای خود را به گاز خشک تزریق شده می‌دهد و نفت مورد نظر نیز با فشار مناسب از دهانه چاه، خارج می‌شود. مساله با برنامه رایانه ای نرم افزار متلب برای بازه زمانی چهل ساله ۱۳۸۱ تا ۱۴۲۰خورشیدی برای یکی از میادین نفتی واقع در جنوب کشور شبیه سازی می‌شود. با توجه به نتایج به دست آمده استدلال بر این است که با افزایش نرخ تنزیل، میزان سود حاصل از فروش نفت در دوره مورد بررسی کاهش و با افزایش قیمت نفت خام، میزان سود حاصل از فروش افزایش یافته است. همچنین با تزریق روزانه ۹۰ میلیون متر مکعب گاز در بازه زمانی فوق حجمی معادل ۲۷۶۰ میلیون بشکه نفت خام اضافی به حجم ذخایر قابل استحصال میدان اضافه می‌گردد که این میزان در سال ۶۹ میلیون بشکه خواهد بود.

طبقه‌بندی JEL: Q19, C61, A23, A19 Q29.
کلید واژه‌ها: ضریب برداشت نفت، تزریق گاز، بهینه‌سازی، سود، میدان نفتی جنوب.

---

۱. نویسنده مسئول

۱- مقدمه

گاز یکی از متداولترین سیالات تزریقی برای تأمین فشار و ازدیاد برداشت می‌باشد، چون که در بسیاری از نواحی چه بصورت گاز همراه و چه بصورت مخازن گازی در دسترس است. تزریق گاز برای مخازنی که ضریب حجمی نفت آنها به نسبت بالاست،اثر قابل توجهی را در بازیافت نفت دارا می‌باشد. ازعوامل مهمی که در تصمیم گیری درباره تزریق گاز در یک مخزن منظور می‌شود وجود یک منبع گاز ارزان به مقدار کافی و نزدیک به محل تزریق است.تزریق دوباره گاز تولیدی از مخزن به عنوان اصلی ترین منبع تزریق گاز در نظر گرفته می‌شود. تزریق گاز در مخازن نفتی به عنوان فرآیند ازدیاد برداشت به دو صورت تزریق غیرامتزاجی[۱] و تزریق امتزاجی[۲] انجام می‌گیرد. تولید نفت به وسیله تزریق گاز یک فرآیند غیر امتزاجی است، مگر آنکه گاز در فشار بالا تزریق شده یا از هیدروکربن‌های غنی استفاده شود. در تزریق غیرامتزاجی یک جریان دوفازی مایع(نفت)با سطح تماس مشخص در حفره‌ها قابل مشاهده است.این نوع تزریق در مخازن دارای نفوذپذیری عمودی خوب یا مخازن ضخیم و یا شیب تند،کارآمدتر است. کاربرد این روش اگرچه موثر است ولی با مشکلاتی نیز همراه است.بالا بودن کشش سطحی و نیروی مویینگی در حفره‌های بسیار کوچک سبب به تله افتادن نفت درون آنها می‌شود.مقدار بالای نیروی مویینگی مانع حرکت نفت می‌شود مقدار نفت به تله افتاده در کل مخزن نیز قابل توجه است و هرچند با افزایش فشار تزریق گاز می‌توان براین مشکل تا حدودی غلبه کرد ولی تزریق امتزاجی گاز برای حل این مشکل ضروری است (۱۳۹۱، حسینی و همکاران). به طور متوسط در مخازنی که نفت سبک و نیمه سنگین دارند تزریق گاز دی اکسید کربن به صورت امتزاجی و در مخازنی که دارای نفت سنگین هستند تزریق به صورت غیر امتزاجی با موفقیت بیشتری همراه است. در میدان نفتی مورد بحث تزریق گاز از طریق امتزاجی انجام می‌شود.

تاکنون مطالعات عرضه انرژی پیرامون چند موضوع خاص بوده است. اغلب این مطالعات مرتبط با عرضه نفت و گاز است. این امر به دلیل نگرانی دایمی از کمبود انرژی است که به واسطه تصور پایان پذیری ذخایر نفت و گاز ایجاد شده است. اغلب متون

۱. تزریق مستقیم درون کلاهک گازی است.

۲. تزریق در لایه نفتی مخزن است.

اقتصاد انرژی با توضیح دو قانون اول ترمودینامیک بیان می‌شود. این دو قانون عبارتند از:

نخست، انرژی نه تولید می‌شود و نه از بین می‌رود. دوم، انرژی می‌تواند تبدیل شود که این تبدیل کارا نیست. دلالت این قوانین این است که انرژی مفید محدود است و استفاده از آن می‌بایست در فرایندهای اقتصادی کاهش یابد. در اقتصاد انرژی، چشم پوشی از مصرف آینده هزینه مصرف کننده نامیده می‌شود. بر اساس نظریه‌های موجود در اقتصاد انرژی، هزینه مصرف کننده عبارت است از ارزش انرژی مصرفی ضربدر نرخ بهره.(گد، ۲۰۲۲). رشد اقتصاد ایران در طول سالیان متوالی کمتر از رشد درآمدهای نفتی بوده است. در بیان علت این روند، می‌توان گفت اگر متوسط نرخ رشد اقتصادی از متوسط رشد درآمدهای نفتی زیادتر باشد به خاطر اینکه اقتصاد ایران یک اقتصاد دولتی مبتنی بر درآمدهای نفتی است، باعث کسری قابل ملاحظه در حساب‌های جاری بازرگانی می‌شود و در نتیجه سبب واردات سرمایه متناسب با این کسری می‌شود ولی به علت محدودیت در سرمایه‌های خارجی باعث محدودیت در رشد اقتصادی می‌شود.

۱-۱- رعایت الزامات زیست محیطی

مهمترین مساله در اجرای پروژه‌های نفتی عدم سوزاندن گازهای همراه نفت است که یکی از دغدغه‌های اصلی زیست محیطی در ایران محسوب می‌شود. پروژه‌های مزبور نباید به سفره‌های زیرزمینی آب لطمه وارد کرده و آنها را آلوده نماید. پروژه هایی که در دریا انجام می‌شود می‌تواند آبهای ساحلی و فراملی (بین المللی) را آلوده کرده، خسارت جبران ناپذیربه محیط زیست وارد نماید.هر چند مسایل زیست محیطی به افزایش هزینه‌ها منجر می‌شود ولی به عنوان یک اصل مسلم در توسعه پایدار مورد تاکید قرار گرفته است. طبق آمار آژانس بین المللی انرژی، ۶۲ درصد مصرف انرژی جهان از طریق نفت خام، میعانات گازی و گاز طبیعی تامین شده است. این آژانس پیش بینی می‌کند که در سال ۲۰۴۴ با افزایش تولید و مصرف گاز طبیعی، سهم نفت و گاز در سبد انرژی جهان ۶۷ درصد خواهد رسید. در میدان نفتی مورد بررسی ازسیستم بازیافت پسماند حفاری۱ به منظور رفع آلودگی زیست محیطی بر روی دستگاه‌های حفاری استفاده

1. Waste Management

می‌شود که در این راستا جمع آوری گازهای همراه نفت لایه بنگستان را می‌توان به عنوان یک طرح زیست محیطی نام برد که معروف به طرح آماک می‌باشد.. فرآیند پروژه به این صورت است که با توجه به این که گازهای همراه نفت لایه بنگستان به سبب دارا بودن گاز هیدروژن سولفوره قابل استفاده نیستند و در مشعل‌های واحدهای بهره برداری می‌سوزند و در چارچوب طرح آماک در کنار هر یک از ایستگاه‌های بهره برداری یک ایستگاه تقویت فشار برای گازهای همراه احداث شده تا گازها را پس از جمع آوری، تراکم و نم زدایی از طریق شبکه خطوط لوله به پالایشگاه شیرین سازی پروژه منتقل و توسط حلال دی اتانول آمین، گوگرد زدایی و به گاز شیرین تبدیل شود. پیشگیری از انتشار آلاینده‌های زیست محیطی از طریق جمع آوری، آبزدایی و شیرین سازی گازهای ترش و تبدیل این گازها به گاز شیرین غنی برای استفاده‌های صنعتی، تجاری و خانگی به عنوان اهداف اجرای این طرح در میدان نفتی فوق می‌باشد.

۱-۲- نظریه هتلینگ[1]

دو نتیجه اصلی کار هتلینگ که مورد توجه اقتصاددانان قرار گرفت به شرح زیر است :

الف) مقدار ثابتی از نفت خام وجود دارد که در طی زمان به واسطه استخراج تمام می‌شود.

ب) طی زمان قیمت منابع پایان پذیر بر اساس نرخ بهره افزایش می‌یابد که این بیانگر تفاوت ارزش حال و آینده این منابع خواهد بود که این مساله از تخلیه زود هنگام منابع جلوگیری می‌کند.

منبع نگهداری می‌شود. ← بازدهی استخراج < بازدهی منبع در زیر زمین

منبع را به فروش می‌رساند. ← بازدهی استخراج > بازدهی منبع در زیر زمین

فرضیه هتلینگ بر مبنای این فرضیه اساسی قرار دارد که موجودی ذخایر نفت خام ثابت است و تولید مجدد آن امکان پذیر نیست. این به معنای پایان پذیری نفت خام است، آدلمن این فرض اساسی هتلینگ را رد کرد. وی بر این باور است که یک موجودی ناشناخته از نفت خام وجود دارد که با سرمایه‌گذاری جدید قابل استخراج است. در برخی از دوره‌ها، هزینه تولید نفت بیش از قیمت نفت خام خواهد بود که دلیل

1. Hotelling , Harold

آن پایین بودن قیمت نفت خام، ناشی از کمبود تقاضا و یا بالا بودن هزینه تولید بر اثر کاهش ذخایر نفت خام است. در چنین وضعیتی، سرمایه گذاری در صنعت نفت صورت نمی گیرد و صنعت دچار رکود می‌شود.

دومین کاستی مطالعات مبتنی بر فرض ثابت بودن ذخایر در تئوری هتلینگ این است که از واقعیت‌های صنعت نفت در دو حوزه چشم پوشی شده است. اول اینکه در این مطالعات، شوک‌های نفتی هیچگونه اثری بر استخراج منابع نفتی ندارند. دوم، در هیچکدام از مطالعات تجربی نشانه ای ازتخلیه منابع دیده نمی شود در حالی که پایان پذیری منابع می‌بایست از طریق افزایش در هزینه‌های تولید و یا افزایش قیمت‌ها در طی زمان آشکار شود. (موسیوند و کاکویی، ۱۳۹۷).

بهینه یابی بین دوره ای در اقتصاد منابع و مدل سازی آن در بازار انرژی به لحاظ تاریخی به «هتلینگ» (۱۹۳۱) نسبت داده می‌شود. او رفتار صاحب یک منبع انرزی پایان پذیر را مدل می‌نماید. در این روش صاحب منبع انرژی برنامه تولیدی خود را در طی زمان طوری انتخاب می‌کند که ارزش فعلی بازدهی خالص فروش آن را در یک افق زمانی مشخص، ماکزیمم سازد. بنابراین سیاستگذاری بهینه توسط برنامه ریزی تولید می‌بایست با بیشینه سازی تابع ارزش اجتماعی منافع خالص بهره برداری از منبع انرژی در دوره برنامه ریزی صورت گیرد و نگرش واقع بینانه مستلزم آن است که هم منافع جاری و هم منافع آتی در نظر گرفته شود. شایان ذکر است که دستیابی به حداکثر منفعت امروز صرفنظر کردن از توان تولید برای منافع آتی است و از این منظر مبادله سود بین دوره ای و نقش نرخ بهره مطرح می‌شود. در این راستا علت اینکه نیازمندیم بهره برداری را به بهینه انجام دهیم اینست که می‌خواهیم بر اساس نظریه هتلینگ منافع نسل‌های آینده نیز در نظر گرفته شده و حفظ شود.

۱-۳- الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات که به نام الگوریتم پرندگان نیز مشهور است یک خانواده از روش‌های هوش جمعی و یکی از الگوریتم‌های موفق در زمینه بهینه‌سازی پیوسته و گسسته می‌باشد. این روش بهینه‌سازی اولین بار در سال ۱۹۹۵ توسط جیمز کندی و راسل سی ابرهارت و با الهام از رفتار جمعی پرندگان و ماهی‌ها (که در

گروه‌های کوچک و بزرگ در کنار هم زندگی می‌کنند) و به کارگیری مفاهیم الگوریتم‌های تکاملی، معرفی شد.

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات مشابه با الگوریتم‌های تکاملی یک الگوریتم جمعیتی بوده که در آن تعدادی ذره که راه حل‌های کاندیدای یک تابع با حل یک مساله هستند یک ازدحام (جمعیت) را تشکیل می‌دهند. این ذرات در فضای مساله حرکت کرده و بر اساس تجربیات فردی خود و تجربیات جمعی سعی می‌کنند تا راه حل‌های بهینه در فضای جستجو را بیابند. این روش به وسیله ابعاد و غیر خطی بودن مساله خیلی تحت تأثیر قرار نگرفته و نتایج خوبی در محیط‌های استاتیک، نویزی و محیط‌های به طور پیوسته در حال تغییر می‌گیرد. این ویژگی‌ها به علاوه سادگی پیاده سازی، عدم الزام بر پیوستگی تابع هدف و توانایی وفق دادن به محیط پویا باعث شده که این الگوریتم در حوزه‌های بسیار مختلفی به کار رود.(پاتل و همکاران،[1] ۲۰۱۱).

این الگوریتم همچنین یکی از مهمترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی هوشمند است که در حوزه هوش ازدحامی [2] جای می‌گیرد. در الگوریتم [3] PSOاعضای جمعیت جواب‌ها به صورت مستقیم با هم ارتباط دارند و از طریق تبادل اطلاعات با یکدیگر و یادآوری خاطرات خوب گذشته به حل مساله می‌پردازند.

مراحل الگوریتم تکاملی ازدحام ذرات (PSO) به صورت زیر است :

۱) موقعیت دهی اولیه به علاوه رقابت

۲) به روز رسانی موقعیت و سرعت برای همه اعضا

۳) بررسی شرایط جدید و رقابت

۴) در صورت محقق نشدن شرایط خاتمه، از مرحله (۲) این فرآیند تکرار می‌شود

۵) بازگردان بهترین پاسخ یافته شده (جلالی، ۱۳۹۸).

در این تحقیق به سوالات زیر پاسخ داده می‌شود :

الف) اختلاف میزان تولید کنونی با میزان تولید بهینه در میدان نفتی مورد بررسی، پس از تزریق گاز چه میزان است ؟

1. Patel & Etal
2. Swarm Intelligence
3. Particle Swarm Optimization

ب) طرح تزریق گاز به میدان نفتی مورد بررسی، قابل گسترش به سایر میادین نفتی است؟

با توجه به شرایط اقتصاد ایران از نظر تحریم‌های نفتی و در مقایسه با سایر پژوهش‌های انجام شده بر آنیم تا مساله تزریق گاز به میدان نفتی مورد نظر و ارتباط آن با صادرات گاز و گاز مصرفی خانگی (گرمایشی) را مورد بررسی قرار داده و نیم نگاهی نیز به ارتباط تزریق گاز با مصرف گاز مصرفی خانگی (گرمایشی) در حالت خاص برای میدان نفتی مورد بررسی و در حالت کل برای ذخایر نفتی داشته باشیم که این امر می‌تواند به عنوان نوآوری در این تحقیق در نظر گرفته شود.

مطالعه حاضر به پنج بخش تقسیم شده است. بخش اول شامل مقدمه، در بخش دوم مروری بر ادبیات و پیشینه تجربی پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است. سپس، بخش سوم، روش‌شناسی استفاده شده در پژوهش توضیح داده شده است. در بخش چهارم برآورد مدل و تجزیه و تحلیل داده‌ها ارایه خواهد شد. بخش پنجم نیز، شامل جمع بندی و ارایه پیشنهادات خواهد بود.

۲- مروری بر ادبیات و پیشینه تحقیق:

کریمی (۱۳۹۸). هدف از انجام این تحقیق، طراحی بهینه محل و مسیر مناسب حفر چاه‌های نفت و گاز در یکی از مخازن هیدروکربنی جنوب غرب ایران با استفاده از روش‌های زمین آماری و برنامه نویسی در محیط متلب به منظور اکتشافات توسعه ای، تکمیلی و افزایش بهره‌دهی مخزن است. بدین منظور، ابتدا از تخمین زمین آماری کریجینگ برای برآورد پارامترهای پتروفیزیکی این مخزن استفاده و مقادیر تخلخل، اشباع آب و واریانس کریجینگ این پارامترها در مدل بلوکی محاسبه شد. جهت تعیین محل و مسیر حفاری‌های بهینه، دو رویکرد برای جانمایی حفاری‌های قائم (توسعه ای و تکمیلی) و دو رویکرد برای جانمایی و تعیین مسیر حفاری‌های جهت دار (Continuous Build) و (Build-and-hold) به کار گرفته شد. جهت جانمایی حفاری‌های قائم، یک تابع هدف تعریف و تغییرات آن به گونه ای در نظر گرفته شد که منجر به بیشینه شدن تخلخل، اشباع هیدروکربن و واریانس کریجینگ آن‌ها در بلوک‌های قرار گرفته در یک راستای قائم شود. تعیین محل و مسیر حفاری‌های جهت دار، از طریق بهینه‌سازی تابع هدف در مسیر حرکت چاه و برنامه نویسی در متلب با دو رویکرد حفاری انحرافی مدنظر

قرار گرفت. در حفاری‌های قائم، ۵ مکان بهینه برای چاه‌های توسعه ای و ۵ مکان بهینه برای چاه‌های تکمیلی با بیشینه سازی تابع هدف پیشنهاد شد. برآوردهای انجام شده، نشان می‌دهد که چاه‌های توسعه ای می‌تواند ذخیره هیدروکربن درجای مخزن را ۳/۲۶ درصد افزایش و حفر چاه‌های تکمیلی، واریانس و خطای تخمین را به ترتیب برای تخلخل به میزان ۱۰ و ۴/۱۰ درصد و برای اشباع آب به میزان ۳/۸ و ۹/۲ درصد کاهش دهد.

جلالی (۱۳۹۸). با توجه به وجود میادین مشترک در ایران با کشورهای همسایه، نیاز به استفاده از روش‌های بهینه‌سازی برای استفاده حداکثری از این میادین احساس می‌شود که در این بین، میدان نفتی آزادگان به دلیل حجم عظیم ذخایر نفتی و مشترک بودن با کشور عراق نیازمند توجه ویژه‌ای می‌باشد. با توجه به عدم وجود سامانه بهینه‌سازی در میدان نفتی آزادگان، در این تحقیق، معرفی و توسعه مدل‌سازی ریاضی با استفاده از اطلاعات میدان به منظور بهینه‌سازی تولید انجام شد. هدف این مدل، با فرض سودمند بودن افزایش تولید، رسیدن به میزان تولید بهینه در هرلحظه از زمان با استفاده از روش بهینه‌سازی تولید بی‌درنگ (RTPO) [1]در میدان نفتی آزادگان می‌باشد. در همین راستا برای افزایش تولید در منیفولد شماره ۷ میدان نفتی آزادگان که شامل ۱۳ حلقه چاه می‌باشد از رویکرد بهینه‌سازی تولید بی‌درنگ برای پیدا کردن فشار بهینه نقاط مختلف سامانه در هر لحظه از زمان استفاده شده است. با توجه به وجود معادلات غیرخطی برای تولید نفت و افت فشار در طول مسیر، ابتدا روش‌های مناسب برای تبدیل معادلات غیرخطی سامانه به معادلات خطی (MILP) [2]بررسی شده، سپس با استفاده از آنالیز حساسیت (Pipesim)نقاط گسسته برای این خطی‌سازی به‌دست‌آمده و به عنوان ورودی به نرم‌افزار GAMS استفاده شده است. در نهایت با حل همزمان معادلات در نرم‌افزارGAMS ، نقاط بهینه فشاری برای رسیدن به حداکثر تولید نفت به دست آمد که نشان دهنده افزایش تولید ۲۷/۷ درصدی نفت با استفاده از این روش می‌باشد.

1. Real Time Production Optimization
2. Mixed Integer Linear Programming

کاوسی (۱۳۹۹). در این مطالعه واکنش رفتاری هر یک از طرفین قرارداد بیع متقابل با استفاده از دو روش ایستا (رویکرد سناریو) و روش پویا (رویکرد برنامه‌ریزی پویا) نسبت به ساختار و مؤلفه‌های رژیم مالی قرارداد مقایسه شده است. هدف اصلی از انجام این پژوهش، بررسی این مسأله است که شرایط قرارداد بیع متقابل یا همان مؤلفه‌های رژیم مالی این قرارداد بر میزان اختلاف بین طرفین در خصوص مسیر بهینه تولید در طول دوره قرارداد چگونه تأثیر می‌گذارد. مهمترین نوآوری این تحقیق وارد کردن پارامترها و متغیرهای رژیم مالی قرارداد در مسأله بهینه‌سازی هر یک از طرفین و به کارگیری مدل برای یک میدان واقعی به منظور رسیدن به نتایج کمی است. به این منظور از اطلاعات مربوط به قرارداد بیع متقابل طرح توسعه میادین نفتی سروش و نوروز استفاده شده است. نتایج به دست آمده در روش ایستا، حاکی از آن است که فقدان انعطاف‌پذیری بهینه در برابر تغییر شرایط و محدود بودن ابزارهای مالی از جمله نقاط ضعف قراردادهای بیع متقابل به شمار می‌روند. علت عمده این وضعیت را نیز می‌توان در برخی از مؤلفه‌های قرارداد همجون سقف هزینه‌های سرمایه‌ای، سقف ۶۰ یا ۵۰ درصدی بازپرداخت هزینه‌ها و دستمزد پیمانکار از محل درآمد میدان و حتی عاملی چون محدود بودن نرخ بازگشت سرمایه جستجو کرد. در کنار فقدان انعطاف‌پذیری بهینه قراردادهای بیع متقابل، کمرنگ بودن همگرایی منافع کارفرما و پیمانکار یکی دیگر از مهم‌ترین عناصر ناکارآمدی قراردادهای بیع‌متقابل محسوب می‌شود؛ در واقع در این قراردادها عایدی پیمانکار به نوعی با هزینه‌های صورت گرفته رابطه مستقیم دارد. به‌عبارت دیگر درآمد بیشتر برای پیمانکار مستلزم بالاتر بودن هزینه‌های پروژه است که سبب تعارض جدی منافع پیمانکار و دولت میزبان شده است. نتایج مربوط به روش پویا، که از مقایسه مسیر بهینه تولید در طرفین قرارداد بیع متقابل به دست آمده است، بیانگر آن است که در هر سه سناریو قیمتی، در طول دوره قرارداد، مسیر بهینه تولید شرکت بین‌المللی نفتی از مسیر بهینه تولید دولت میزبان بالاتر می‌باشد.

نظری (۱۳۹۹). با توجه به تأثیر غیرقابل انکار صنعت نفت به عنوان یکی از بخش‌های اصلی زنجیره تأمین انرژی در جهان که با تغییرات قیمت زیادی همراه است و همچنین اهمیت عملکرد بهینه اقتصادی صنایعی که نفت، خوراک اولیه آنهاست، نقش

مدلسازی و بهینه‌سازی صنایع فوق به منظور کاهش هزینه‌های طراحی فرایند و عملیات بهره برداری برجسته می‌شود. بالا بردن دقت مدل ها، موجب حصول پیش بینی‌های معتبرتر و به تبع آن فراهم آوردن اطمینان خاطر بیشتر سرمایه گذاران در صنعت می‌شود. همچنین مدل‌های دقیق، امکان بهینه‌سازی برای کارشناسان را طی طراحی فرایند و عملیات بهره برداری فراهم می‌آورد. در سال‌های اخیر، مدلسازی و شبیه سازی در صنعت نفت با رویکرد یکپارچه سازی مخزن و تأسیسات آماده سازی نفت و گاز، مورد توجه ویژه صنعت و دانشگاه قرار گرفته است. در این پژوهش، مدلسازی و شبیه سازی یکپارچه برای بخشی از یکی از میادین نفتی جنوب ایران، مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مدلسازی، بخش‌های مختلف فرایند تولید، از بالادست تا پایین دست مورد مطالعه قرار گرفته اند. مدل یکپارچه شامل مدل مخزن، چاه‌های تولیدی، شبکه خطوط لوله انتقال و منیفولدها و تأسیسات آماده سازی نفت مي‌باشد که هر کدام، یکی از بخش‌های زنجیره مدلسازی را تشکیل می‌دهند. پس از مدلسازی یکپارچه، نتایج پیش بینی‌های مدل با داده‌های واقعی گرفته شده از مخزن مقایسه شده و اعتبارسنجی مدل مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت برای نشان دادن قابلیت‌های مدلسازی یکپارچه، سناریوی فرضی تزریق گازهای جداشده در تأسیسات آماده سازی نفت به مخزن مطالعه می‌شود که تأثیر آن بر تولید مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

بازوکار (۱۴۰۱). نفت و گاز مهم ترین منابع تأمین انرژی بشر امروزی هستند؛ به‌طوری که نفت خام ۳۷ درصد و گاز طبیعی ۲۱ درصد انرژی دنیا را تأمین می‌کنند. از این رو نفت و گاز در معادلات اقتصادی سیاسی جهان اهمیت راهبردی دارند. امروزه سیستم اطلاعات مکانی (GIS) به برنامه ریزان این امکان را می‌دهد که بتوانند مکان‌های بهینه ای را برای توسعه ی زیرساخت‌های خطی شناسایی کنند. روش‌های معمول و سنتی مسیر یابی خطوط گاز در شرکت ملی گاز بر پایه استفاده از شیوه‌های به نسبت پرهزینه و زمانبر می‌باشد. تجزیه و تحلیل مسیر با کمترین هزینه در GIS از الگوریتم‌های کوتاهترین مسیر در محیط‌های برداری و شبکه ای استفاده می‌کند. در این تحقیق هدف، مکان یابی ایستگاه‌های فشار شکن گاز با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی‌در استان قم می‌باشد که تجزیه و تحلیل‌های مکانی آن بر اساس

مدل تلفیقی همپوشانی شاخص وزندار و فازی بوده است. برای تعیین مکانی بهینه داده‌های توپوگرافی و زمین شناسی منطقه بهمراه داده ماهواره ای سنتیننل ۲ اخذ شد و بعد از آماده سازی، فرایند تجزیه و تحلیل و تلفیق انجام شد. ملاحظه گردید که مکان یابی بر اساس نقشه بدست آمده از روش فازی و همپوشانی شاخص وزندار نتایج قابل قبولی داشته است. برای تایید نقشه تولیدی از نظر سه کارشناس استفاده گردید که نتایج و نقشه‌های نهایی توسط این کارشناسان دارای صحت ۶۶,۶ درصدی تعیین گردید.

آقای منصور زراع نژاد (سال ۱۴۰۱) به بررسی" تأثیر رشد اقتصادی، مصرف انرژی و شهرنشینی بر انتشار دی اکسید کربن در کشورهای منتخب عضو اوپک با رویکرد اقتصاد سنجی فضایی " می‌پردازد. در این مقاله تأثیر رشد اقتصادی مصرف انرژی و شهر نشینی بر انتشار دی اکسید کربن بررسی شده است. بدین منظور نمونه ای شامل ۸ کشور عضو سازمان اوپک برای دوره ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸ انتخاب شده است . با توجه به وجود اثر مجاورت از اقتصاد سنجی فضایی برای بررسی اثرات سرریز از کشورهای همسایه نیز بهره گرفته شده است. نتایج نشان داد که وابستگی فضایی در بین کشورهای بررسی شده وجود دارد. تجزیه و تحلیل سرریز فضایی به تفکیک نشان داد که هر دو اثر رشد اقتصادی و جمعیت شهری محلی (مستقیم) و سرریز فضایی (غیر مشتقیم) انتشار دی اکسید کربن در هر کشور و کشورهای همسایه را افزایش می‌دهد، ولی میزان اثر مستقیم بیش از میزان اثر غیر مستقیم بر کشورهای دیگر است. این واقعیت که آلودگی محیط زیست ناشی از رشد اقتصادی و توسعه مناطق شهری و افزایش مصرف انرژی‌های تجدید ناپذیر در هر کدام از این کشورهای مورد مطالعه بر کیفیت محیط زیست کشورهای همسایه نیز اثر می‌گذارد، زمینه همکاری را بین کشورهای عضو سازمان اوپک که در مجاورت یکدیگر قراردارند برای توسعه فناوری تولید انرژی‌های پاک (انواع انرژی‌های تجدید پذیر) را فراهم می‌کند.

آقای منصور نظری و همکاران (سال ۱۴۰۱) در مقاله ای با عنوان «مروری بر پارامترهای غربالگری روش‌های فرازآوری مصنوعی با هدف بهبود برداشت نفت» به بررسی بهبود برداشت نفت می‌پردازد. با گذشت مدت زمانی از شروع تولید به دلیل افت فشار مخزن یا کاهش تولید پذیری چاه و در نتیجه کاهش فشار جریانی ته چاه، انتقال

نفت به سطح با نرخ مطلوب به صورت طبیعی صورت نمی پذیرد. لذا در این شرایط، ضرورت دارد از روش هایی موسوم به فرازآوری مصنوعی (شامل فرازآوری با گاز و فرازآوری با پمپ) به منظور کمک به تولید سیال استفاده گردد. تصمیم گیری در مورد انتخاب روش فرازآوری مصنوعی برای سودآوری بلند مدت یک میدان از اهمیت خاصی برخوردار است. انتخاب روش بهینه (از نظر فنی) با در نظر گرفتن پارامترهای مرتبط با سیالات مخزن (نسبت گاز به مایع تولیدی، گرانروی نفت، چگالی نفت و خورندگی نفت و گاز)، تولید (دبی تولید، فشار ته چاهی، تولید شن و ذرات جامد، رسوب پارافین)، چاه (نوع از منظر خشکی یا دریا، عمق، اندازه دیواره، زاویه انحراف)، شرایط محیطی و عوامل اقتصادی (هزینه‌های سرمایه ای و عملیاتی) انجام می‌شود. انتخاب روش فرازآوری مصنوعی می‌تواند بر اساس ملاحظات دیگری نظیر موقعیت میدان، فاصله چاه‌ها، وضعیت مکانیکی چاه و تجربه عملیاتی تیمی که سیستم را انتخاب می‌کند نیز باشد. اکثر چاه‌ها می‌توانند توسط چند روش فرازآوری مصنوعی به طور رضایت بخشی تولید کنند. مطالعه حاضر با مرور منبع قبلی، ضمن بیان مزایا، معایب، محدودیت‌ها و شرایط به کارگیری هر کدام از انواع مختلف روش‌های فرازآوری مصنوعی، برنامه ای جامع به منظور غربالگری این روش‌ها را ارایه می‌دهد.

مقاله خانم فاطمه امیری (سال ۱۴۰۱) در رابطه با «استفاده از اطلاعات تست چاه جهت بررسی پتانسیل تولیدی سازند سروک در یکی از میادین غرب کارون» می‌باشد. این مطالعه بر روی یکی از میادین نفتی ایران در منطقه غرب کارون انجام شده که در آن تولیدی صورت نگرفته است. منطقه غرب کارون در بحث تولید نفت یک منطقه توسعه نیافته می‌باشد که برنامه توسعه آن در این سال‌ها مورد توجه وزارت نفت بوده است. به منظور به دست آوردن پتانسیل تولیدی میادینی که هنوز تولیدی از آن‌ها صورت نگرفته برآورد حجم نفت در جا می‌تواند کمک شایانی در حفر چاه‌های تولیدی در برنامه توسعه این میادین داشته باشد که در نهایت می‌تواند کاهش هزینه‌های حفاری و تولید را در بر داشته باشد. در این تحقیق به مطالعه خصوصیات مخزنی سازند سروک، بررسی پتانسیل تولیدی و تخمین میزان نفت در جای آن جهت برنامه ریزی‌های آتی پرداخته می‌شود. در این پژوهش، پس از اخذ اطلاعات مخزن و پیاده کردن داده‌های مربوط به آزمایش روی نمودار، می‌توان نمودار به دست آمده از مخزن

واقعی را با نمودارهای مدل منطبق کرد و بر اساس آن دیگر پارامترهای مهندسی مخزن (نفوذ پذیری، ضریب پوسته و...) را به دست آورده و یا در حالت عدم انطباق کامل با نمودارهای مدل، برخی از پارامترهای نمودار مدل را تغییر داده تا بهترین نمودار بیان کننده ی حالت واقعی مخزن را شناسایی کند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که سازند سروک میدان مورد مطالعه در غرب کارون دارای پتانسیل تولیدی مناسبی می‌باشد. از طرف دیگر در این سازند با کاهش فشار مواجه خواهیم بود که علت آن تولید از میادین مجاور این میدان می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد حجم کل نفت در جای سازند سروک ۲۲۸۱ میلیون بشکه، ضخامت سازند سروک ۶۴۲ متر می‌باشد.

قندی و لین (۲۰۱۸).[1] کارایی اقتصادی قراردادهای نفتی را در قراردادهای بیع متقابل، خرید خدمات فنی و مشارکت در تولید مورد بررسی قرار دادند ایشان مسأله بهینه‌سازی را در قالب یک مدل پویا و با استفاده از معادله بلمن پسرو بر روی میدان نفتی رامیلا عراق مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که بیشترین کارایی اقتصادی به ترتیب مربوط به قرارداد مشارکت در تولید، خرید خدمات فنی و بیع متقابل می‌باشد که البته با ترکیب و اضافه کردن برخی از مشخصه های(همچون سقف تولید، سقف بازپرداخت مخارج سرمایه ای، قیمت ثابت تعیین شده در قرارداد برای تعیین درآمد ناخالص) یک قرارداد به قرارداد دیگر میتوان کارایی اقتصادی را افزایش یا کاهش داد.

محمدی و همکاران (۲۰۲۳) [2]در مقاله «طراحی شاخص امنیت انرژی با رویکرد توسعه دنباله دار برای کشورهای صادر کننده انرژی با استفاده از متد BWM» اهمیت کمی سازی عدم قطعیت در پیش بینی‌های تولید هیدروکربن در صنعت نفت را مورد بحث قرار دادند و یک رویکرد بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند هدفی را برای تطبیق تاریخچه مخزن معرفی کردند که امکان سرعت همگرایی سریع تر و تطابق تاریخچه بهتر را در مقایسه با رویکرد تک هدفی فراهم می‌کند.

«بهینه‌سازی دستگاه‌های چند مرحله ای تولید نفت خام بر اساس شبیه‌سازی – فرآیند ارزیابی اقتصادی و تصمیم گیری مربوطه» عنوان مقاله ای است که آقای سلیمان مصلح و همکاران (سال ۲۰۲۲) ارایه داده اند. تحقیق فوق اقدام به کنکاش رویکردی

1. Ghandi ,A. and Lin, C.
2. Mohammadi and Etal

مبتنی بر شبیه سازی می‌نماید تا دستگاه چند مرحله ای تولید نفت خام را بهینه‌سازد. این بهینه‌سازی اینگونه انجام می‌شود که میزان و فشار بهینه ی جداکننده تعیین می‌گردد تا میزان تولید نفت و انعطاف پذیری عملیاتی حداکثر شود و در عین حال هزینه‌های ثابت و عملیاتی و مصرف برق کمپرسورها حداقل گردد. فرآیند تصمیم گیری در این خصوص جهت دو مورد مربوط به شرکت ملی نفت جنوب ایران انجام شد. نتایج شبیه سازی، فشار چاه تولیدی را ۸/۲۷ مگا پاسکال برای سال ۲۰۳۰پیش بینی کرد. برآوردها حاکی از آن بودند که هزینه‌های ثابت پروژه برای فشار مخزن ۷/۵۸ مگا پاسکال به میزان ۱۱,۹۶۵,۳۰۷ دلار کاهش خواهد یافت و در نتیجه تولید نفت به میزان حدود ۲۰ بشکه در روز کاهش خواهد داشت و به تبع آن ۵۸/۴ میلیون دلار کاهش در درآمد طی بیست سال آتی را موجب خواهد شد. بنابراین انتظار می‌رفت که فشار بهینه مخزن حدود ۶/۸۹ پاسکال باشد.

«ارزیابی اقتصادی پروژه‌های نفت و گاز، توجیه راه حل‌های مهندسی در اجرای پروژه‌های توسعه میدان» عنوان مقاله تاتیانا پونومارنکو، یوجین مارین، سرگی گالوسکی (۲۰۲۲) [1]می باشد. مقصود این تحقیق تدوین رویکردی متدولوژیک، جهت ارزیابی اقتصادی پروژه‌های نفت و گاز است، که شامل انتخاب و اثبات مستند انتخاب راه حل‌های مهندسی می‌باشد، که می‌توانند برای اتخاذ تصمیمات درباره سرمایه گذاری متعاقب استفاده شوند. از این رو، تحلیل مقایسه ای انواع روش‌های تحلیل افتصادی جهت پروژه‌های نفت و گاز انجام شد. مولفین این تحقیق، با در نظر گرفتن ویژگی‌های خاص پروژه‌های نفت و گاز، علت اصلی استفاده از نرخ بدون ریسک، برای محاسبه جریان‌های پروژه را به همراه ترکیبی از نرخ‌های معکوس برای محاسبه جریان‌ها ارایه می‌کنند. علاوه بر آن، نظریه انتخاب‌های واقعی، جهت سنجش و لحاظ ریسک‌های زمین شناختی و فنی استفاده شد. این ریسک‌ها، هنگام اتخاذ تصمیمات مهندسی، تغییرات در میزان تولید را موجب می‌شوند. شرکت‌های نفت و گاز، با استفاده از رویکرد متدولوژیک پیشنهادی، قادرند راه حل‌های مهندسی را با جزییات بیشتری ارزیابی کرده و تأثیر آنها بر ارزش خالص فعلی پروژه توضیح دهند. و این امر، نتیجه ملاحظه بهتر

1. Ponomarenko and Etal

ریسک‌های زمین شناختی و فنی است. شایان ذکر است که رویکرد پیشنهادی، پیش از اجرای پروژه و در خلال تولید وارد است.

«توسعه بهینه میدان نفتی اشباع شده» عنوان مقاله جان پرکینز (۲۰۲۲)[1] می‌باشد.. این پروژه راهکار بهینه توسعه بالقوه جهت مخزنی اشباع شده و دارای کلاهک گازی را تحقیق و بررسی می‌کند. و به تبع آن ماندگاری سه روش تولید سنجش شد که عبارتند از : رانش گاز محصول (تخلیه اولیه)، تزریق آب و تزریق گاز با استفاده از تعداد مختلفی از چاه‌های تزریقی. علاوه بر آن، تحلیل حساسیت در خصوص این میدان انجام شد و چنین نتیجه بدست آمد که توسعه یک چاه مطالعاتی دیگر، می‌تواند دقت محاسبه ی ارزش خالص فعلی (NPV) [2] را به نحوی چشمگیر بهبود بخشد. به علاوه، این پروژه، روش بازیابی بهینه ی بازیابی اولیه رانش گاز محلول را بر اساس شبیه سازی‌های عددی تولید و مدلسازی اقتصادی اثبات کرد. در این روش، فشار مخزن با فشار نقطه جوش برابر می‌شود و در این نقطه امکان استفاده از سه دستگاه تزریق آب میسر می‌گردد که در بازه‌های شش ماهه، برای حداکثر سازی تولید و در عین حال محدود سازی مخارج سرمایه ای (CAPEX) [3] و مخارج عملیاتی (OPEX)[4] ایجاد می‌شوند.

در این ارتباط، با عنایت به حجم ذخیره نفت درجای میدان نفتی مورد بررسی به میزان ۴۶ میلیارد بشکه و با فرض براینکه : ۱) مسیر تولید کنونی منطبق بر مسیر تولید بهینه است و۲) طرح تزریق گاز، قابل گسترش به سایر میادین نفتی است، این موضوع مورد تحقیق و بررسی قرار می‌گیرد.

۳- روش تحقیق

تحقیق فوق در قالب پنج مرحله انجام گردیده است:

مرحله یک) از روش کتابخانه‌ای مبانی نظری مرتبط با موضوع تحقیق از منابع داخلی و خارجی استفاده شده است. مقالات، کتب و تحقیقاتی که در گذشته انجام شده

1. John Perkins
2. Net Present Value
3. Capital Expenditures
4. Operating Expenses

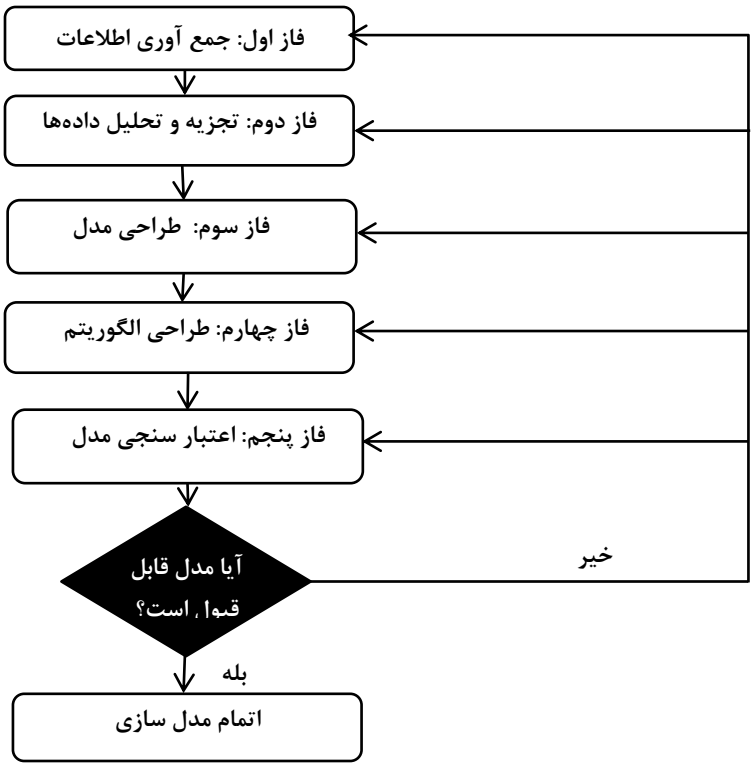
در زمینه بررسی شاخص‌های کلیدی برآورد مسیر بهینه تولید نفت و تزریق گاز مورد مطالعه قرار گرفته و اطلاعات میدان نفتی مورد نظر در جهت شناسایی عوامل مؤثر در افزایش سود حاصل از برداشت، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مرحله دو) شاخص‌های مورد بررسی به منظور طراحی مدلی در راستای بهبود عملکرد از جمله پارامترها و متغیرهای موثر در مدل‌سازی مشخص می‌شود.

مرحله سه) مدلی در جهت افزایش سود حاصل از برداشت از میدان نفتی طراحی می‌شود. بدین منظور از بهینه‌سازی استفاده می‌شود.

مرحله چهار) با روش‌ها و نرم افزارهای گوناگون اعتبارسنجی مدل بررسی می‌شود. در این تحقیق پس از طراحی مدل، روش مورد استفاده مشخص می‌شود.

مرحله پنج) نتایج و مقایسه عملکردهای بهینه و مطلوب، تجزیه و تحلیل می‌شود و راهبردها و پیشنهادات به منظور پیاده سازی مدل در شبکه مورد نظر ارایه می‌شود.



شکل ۱. مراحل ایجاد مدل

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها در مرحله دوم از روش مدل‌سازی ریاضی برای بیان روابط میان پارامترها و متغیرها استفاده شده است. سپس در مرحله سوم نسبت به بهینه‌سازی مدل طراحی شده با استفاده از روش بهینه‌سازی اقدام می‌گردد.

هدف از مطالعه حاضر، حداکثر سازی ارزش حال مجموع سود حاصل از برداشت از یک میدان نفتی است. به منظور برآورد تابع سود یک بنگاه، از توابع درآمد و هزینه استفاده می‌شود.

۳-۱- طراحی مدل ریاضی

در مدل ریاضی پژوهش از دو متغییر برونزای قیمت نفت و نرخ تنزیل استفاده شده است. برای نرخ تنزیل، نرخ‌های ۱۵ و ۲۵ درصد با توجه به متغییر هزینه تولید نفت با استفاده از تحلیل حساسیت مورد محاسبه قرار گرفته و نرخ‌های بدست آمده مورد تحلیل قرار می‌گیرد. برای قیمت نیز سه سناریوی قیمتی مرجع، سناریوی قیمتی بالا و سناریوی قیمتی پایین و با لحاظ کردن تزریق گاز و روش‌های بهبود بازیافت درنظر گرفته می‌شود.

۳-۱-۱- چارچوب مدل پیشنهادی (تابع هدف)

$$\pi = maxq_t \sum_{t=0}^{T} \beta^t [P_t q_t - C\left(q_t, g_t, S_t\right)] \qquad (۱)$$

۳-۱-۲- پارامترها

پارامتر	مفهوم
t	*شاخص* دوره زمانی جاری
π	مجموع سود حاصل از فروش نفت از میدان در دوره زمانی ۴۰ ساله
P_t	قیمت نفت خام ایران در دوره زمانیt
q_t	تولید سالانه نفت از میدان(میلیون بشکه نفت خام) در دوره زمانی t
S_t	حجم ذخیره اثبات شده (قابل استحصال) در دوره زمانی t
g_t	میزان تزریق گاز (معادل میلیون بشکه نفت خام) در دوره زمانی t
D	مجموع ذخایر نفتی اولیه و ثانویه میدان
ω	حداکثر نرخ تخلیه کارا

β عامل تنزیل

C هزینه تولید نفت از میدان

φ نسبت تزریق گاز به حجم ذخیره قابل استحصال

α نسبت تولید نفت به هزینه‌های تولید

γ نسبت میزان ذخایر باقیمانده قابل استحصال به هزینه تولید نفت در هر دوره زمانی

θ نسبت میزان تزریق گاز به هزینه تولید نفت

MC هزینه تولید یک بشکه نفت اضافی در بازیافت ثانویه

AC متوسط هزینه تولید نفت

۳-۱-۳- قیدها

$$S_{t+1} = S_t - q_t + \varphi g_t \quad (۲)$$

$$S = D \quad (۳)$$

$$\sum_{t=0}^{T} q_t \leq D \quad (۴)$$

$$q_t \leq q_{max} \quad (۵)$$

$$S_t \geq 0 \quad (۶)$$

$$q_t \geq 0 \quad (۷)$$

$$g_t \geq 0 \quad (۸)$$

$$P_t \geq 0 \quad (۹)$$

معادله (۱) برابر با تابع هدف و بیانگر مجموع سود بهره برداری از میدان در طول عمر آن طی یک دوره چهل ساله را نشان می‌دهد. پارامتر βنیز که بیانگرعامل تنزیل و ρ نرخ تنزیل است بر اساس رابطه (۱۰) تعریف می‌شود.

$$\beta = \frac{1}{1+\rho} \quad (۱۰)$$

تابع C نیز بیانگر هزینه تولید نفت از میدان می‌باشد که تابعی از تولید نفت، میزان تزریق گاز و حجم ذخایر اثبات شده در دوره t می‌باشد.[۱]

۱. برای دستیابی به اطلاعات بیشتر به مقاله نویسنده در همین فصلنامه سال نوزدهم شماره ۸۰ صفحات ۱۴۰تا ۱۴۵ مراجعه نمایید.

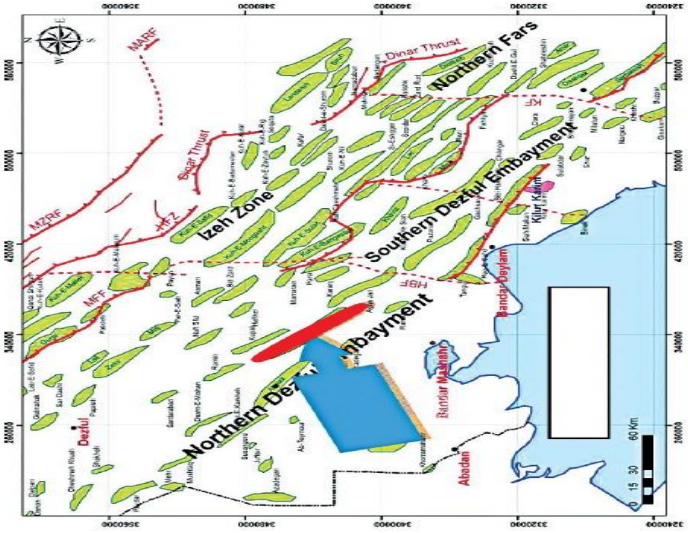
تابع درآمد بنگاه متشکل از قیمت و میزان تولید می‌باشد و بر اساس سناریوهای قیمتی جهانی برآورد می‌گردد. تابع تولید بنگاه بر اساس محدودیتهای فنی برداشت از مخازن هیدروکربوری، در نظر گرفته می‌شود.

پس از آن تابع سود به دست آمده و با اعمال عامل تنزیل در هر دوره، ارزش حال مجموع سود حاصل از فعالیت بنگاه در دوره چهل ساله (سال ۱۳۸۱ تا ۱۴۲۰) به دست می‌آید و تابع هدف نهایی مدل تشکیل می‌شود. این تابع هدف نیز بایستی با اعمال قیود فنی و اقتصادی متناسب با شرایط بنگاه، به صورت مقید، بیشینه شود. لازم به ذکر است که داده‌های فنی مورد استفاده از پژوهش‌های صورت گرفته در انتشارات فراملی (بین المللی) و داخلی و اطلاعات محرمانه شرکت ملی نفت ایران استخراج خواهد شد. همچنین داده‌های اقتصادی مورد استفاده در این پژوهش نیز از منابعی همچون مرکز آمار ایران، تراز نامه انرژی، گزارشات اوپک و سایت بانک مرکزی طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۴۲۰ گردآوری خواهد شد.

۴- برآورد مدل و تجزیه و تحلیل داده‌ها

۴-۱- میدان مورد نظر

میدان نفتی مورد بررسی، از میدان‌های بزرگ نفتی ایران است که در جنوب فروافتادگی دزفول واقع شده است. این میدان با حفر اولین چاه در سال ۱۳۴۲ خورشیدی کشف شد و از سه مخزن آسماری، بنگستان و خامی تشکیل شده است که مخازن آسماری و بنگستان آن نفتی و مخزن خامی آن گازی می‌باشد. مخزن آسماری به طول ۶۷ کیلومتر و عرض متوسط ۵/۵ کیلومتر است. حجم ذخیره نفت در جای میدان ۴۶ میلیارد بشکه می‌باشد. در شکل ۴-۱، موقعیت جغرافیایی سازند مورد نظر ارایه شده است.



شکل ۱. مشخصات جغرافیایی سازند مورد بررسی

۴-۲- برآورد قیمت نفت

برابر داده‌های انرژی سال ۲۰۲۳ که توسط اداره اطلاعات انرژی امریکا منتشر شده است، می‌توان مدل قیمت نفت را در سه سناریوی قیمتی متفاوت، یعنی قیمت مرجع، قیمت بالای نفت و قیمت پایین نفت پیش بینی نمود. قیمت نفت ایران در طول ۴۰ سال گذشته به طور متوسط ۳ دلار برای هر بشکه، کمتر از قیمت نفت شاخص برنت بوده، بنابراین با کم کردن این مبلغ از قیمت پیش بینی شده برای برنت، قیمت نفت ایران در سه سناریو با تقریب به دست می‌آید.

جدول ۱. قیمت تخمینی نفت بر اساس سه سناریوی قیمتی(قیمت به دلار)

سال	قیمت پایین به ازای هر بشکه	قیمت مرجع به ازای هر بشکه	قیمت بالا به ازای هر بشکه
۱۳۸۱	۱۰۸/۴۶	۱۰۸/۴۶	۱۰۸/۴۶
۱۳۸۲	۱۰۸/۸۳	۱۰۸/۸۳	۱۰۸/۸۳
۱۳۸۳	۱۰۵/۷۶	۱۰۵/۷۶	۱۰۵/۷۶
۱۳۸۴	۹۶/۱۷	۹۶/۱۷	۹۶/۱۷
۱۳۸۵	۴۹/۵۲	۴۹/۵۲	۴۹/۵۲
۱۳۸۶	۶۹/۶۴	۶۹/۶۴	۶۹/۶۴
۱۳۸۷	۹۴/۱۴	۹۴/۱۴	۹۴/۱۴
۱۳۸۸	۵۸/۹۴	۵۸/۹۴	۵۸/۹۴

سال	قیمت پایین به ازای هر بشکه	قیمت مرجع به ازای هر بشکه	قیمت بالا به ازای هر بشکه
۱۳۸۹	۷۶/۸۱	۷۶/۸۱	۷۶/۸۱
۱۳۹۰	۱۰۸/۴۶	۱۰۸/۴۶	۱۰۸/۴۶
۱۳۹۱	۱۰۸/۸۳	۱۰۸/۸۳	۱۰۸/۸۳
۱۳۹۲	۱۰۵/۷۶	۱۰۵/۷۶	۱۰۵/۷۶
۱۳۹۳	۹۶/۱۷	۹۶/۱۷	۹۶/۱۷
۱۳۹۴	۴۹/۵۲	۴۹/۵۲	۴۹/۵۲
۱۳۹۵	۴۰/۸۴	۴۰/۸۴	۴۰/۸۴
۱۳۹۶	۵۱/۳۳	۵۱/۳۳	۵۱/۳۳
۱۳۹۷	۶۸/۵۴	۶۴/۵۴	۶۸/۵۴
۱۳۹۸	۶۱/۰۵	۶۱/۰۵	۶۱/۰۵
۱۳۹۹	۳۹/۱۶	۳۹/۱۶	۳۹/۱۶
۱۴۰۰	۶۸/۰۶	۶۸/۰۶	۶۸/۰۶
۱۴۰۱	۹۸/۱۳	۹۸/۱۳	۹۸/۱۳
۱۴۰۲	۹۲/۲۵	۹۲/۵۳	۱۶۳/۳۲
۱۴۰۳	۹۳/۸۹	۹۵/۹۱	۱۶۲/۴۰
۱۴۰۴	۹۱/۰۱	۹۲/۰۸	۱۶۴/۹۸
۱۴۰۵	۹۴/۴۰	۹۵/۰۳	۱۶۴/۴۷
۱۴۰۶	۹۵/۴۱	۹۷/۶۳	۱۶۴/۵۴
۱۴۰۷	۹۶/۶۴	۱۰۰/۴۶	۱۶۳/۱۳
۱۴۰۸	۹۷/۵۱	۱۰۳/۴۳	۱۶۲/۱۶
۱۴۰۹	۹۷/۴۲	۱۰۶/۶۴	۱۶۳/۸۹
۱۴۱۰	۹۹/۱۲	۱۰۹/۸۴	۱۶۶/۰۹
۱۴۱۱	۱۰۱/۴۳	۱۱۳/۴۷	۱۶۵/۲۰
۱۴۱۲	۱۰۲/۴۲	۱۱۶/۸۲	۱۶۶/۸۳
۱۴۱۳	۱۰۶/۱۰	۱۲۰/۶۰	۱۶۹/۷۷
۱۴۱۴	۱۰۹/۷۲	۱۲۴/۶۶	۱۶۹/۹۵
۱۴۱۵	۱۱۳/۹۷	۱۲۸/۴۲	۱۶۹/۴۱
۱۴۱۶	۱۱۷/۷۳	۱۳۲/۲۸	۱۷۱/۸۸
۱۴۱۷	۱۲۰/۱۳	۱۳۶/۰۵	۱۷۰/۱۳
۱۴۱۸	۱۲۵/۳۶	۱۳۹/۹۰	۱۷۰/۷۴
۱۴۱۹	۱۲۹/۰۸	۱۴۳/۸۸	۱۷۱/۴۱
۱۴۲۰	۱۳۱/۱۰	۱۴۸/۰۲	۱۷۳/۴۴

منبع: اداره اطلاعات انرژی آمریکا

۴-۳- هزینه‌های استخراج نفت

به منظور گردآوری داده‌های مربوط به هزینه‌های استخراج نفت، از دو منبع زیر استفاده شده است : ۱) تقریب‌های معتبر مورد استفاده در مطالعات پیشین ۲) نظر کارشناسان و مهندسان فعال در میدان مورد بررسی.

هزینه استخراج نفت شامل هزینه‌های اکتشاف، توسعه و تولید می‌باشد که در یک بسته بندی کلی می‌توان آنها را به هزینه‌های سرمایه ای و عملیاتی تقسیم کرد. هزینه‌های سرمایه ای به طور عمده در مرحله اکتشاف و توسعه صورت می‌گیرد. اکتشاف در اولین مرحله از زنجیره تولید قرار دارد و هزینه فعالیت‌های اکتشافی شامل هزینه‌های لرزه نگاری، ژئوفیزیک، چاه‌های اکتشافی و چاه‌های ارزیابی است. ازآنجاکه میدان مورد مطالعه در این تحقیق قدیمی است، هزینه‌های اکتشاف آن از نظر حسابداری مستهلک شده و در محاسبات در نظر گرفته نمی شود. هزینه‌های سرمایه ای نیز شامل دو گروه هزینه چاه و هزینه زیرساخت‌ها است.

۴-۴- هزینه‌های تزریق گاز

هزینه‌های تزریق گاز همانند هزینه استخراج به هزینه‌های سرمایه ای و هزینه‌های عملیاتی تقسیم بندی می‌شوند.

هزینه‌های سرمایه ای شامل هزینه‌های زیر است :

الف) هزینه چاه‌های تزریق که شامل هزینه‌های مهندسی چاه تزریق، هزینه مواد اولیه مورد نیاز حفاری و خدمات مورد نیاز در طول حفاری می‌باشد.

ب) هزینه کمپرسور تزریق گاز که تابعی از توان مورد نیاز برای تزریق است.

پ) هزینه خطوط لوله که بستگی به فاصله میان منبع تامین گاز و محل تزریق گاز دارد. هزینه خطوط لوله شامل هزینه مواد اولیه (خطوط لوله) و راه اندازی آن است.

هزینه‌های اصلی عملیاتی تزریق شامل نیروی انسانی و لوله‌های انتقال گاز است.

۴-۵- تزریق گاز به میدان نفتی

روش تزریق گاز به عنوان یکی از روش‌های افزایش برداشت در مخازن نفتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش، گاز به صورت فشرده به مخزن تزریق می‌شود تا فشار درون مخزن افزایش یابد و نفت به سمت چاه حرکت کند.

تزریق گاز می‌تواند به چند روش انجام شود:

۱. تزریق گاز طبیعی: در این روش، گاز طبیعی که در مخازن گازی یا نفتی موجود است، به مخزن نفتی تزریق می‌شود. گاز طبیعی شامل متان، اتان، پروپان، بوتان و... است. این روش در مخازنی با فشار متوسط و بالا به کار می‌رود.

۲. تزریق گاز مایع: در این روش، گاز مایع مانند گاز پروپان به صورت فشرده به مخزن تزریق می‌شود. این روش در مخازنی با فشار پایین تر به کار می‌رود.

۳. تزریق گاز ترکیبی: در این روش، گاز طبیعی و گاز مایع با یکدیگر ترکیب شده و به مخزن تزریق می‌شود. این روش در مخازنی با فشار و دمای متوسط به کار می‌رود. در میدان نفتی مور مطالعه از روش تزریق گاز مایع استفاده شده است. گاز تزریقی باعث کاهش ویسکوزیته نفت می‌شود و این باعث می‌شود که نفت به راحتی جابجا شود و برداشت آن ساده‌تر شود.

تزریق گاز به عنوان یک روش افزایش برداشت در مخزن نفتی، هزینه بر است. برای انجام این روش، نیاز به تجهیزات و فضای کافی برای نگهداری گاز تزریقی و همچنین تزریق گاز به مخزن و نظارت و کنترل بر روی فرایند تزریق است.هزینه تزریق گاز به مخزن به دلیل نیاز به گاز تزریقی و هزینه‌های مربوط به تجهیزات و فضای نگهداری، بسته به شرایط و ویژگی‌های مخزن و همچنین، هزینه‌های مربوط به عملیات پس از تزریق گاز، مانند جمع‌آوری و پالایش گاز تزریقی می‌تواند بسیار زیاد باشد..

شرایط لازم برای تزریق گاز به مخزن نفتی مورد بررسی :

۱. وجود فضای کافی برای ذخیره‌سازی گاز تزریقی در سطح مخزن.

۲. وجود فشار کافی در مخزن برای جابجایی نفت به سمت چاه.

۳. ویژگی‌های خاصی از جمله ویسکوزیته، چگالی و اندازه دانه‌های نفت در مخزن.

۴. عدم وجود ترک‌ها و شکستگی‌ها در مخزن که موجب نشت گاز و کاهش اثربخشی تزریق می‌شوند.

۵. میزان نفت موجود در مخزن که باید به اندازه کافی بالا باشد تا افزایش برداشت از طریق تزریق گاز به صرفه باشد، که این شرایط برای میدان نفتی مورد نظر صادق است.

مهمترین محدودیت تزریق گاز به میدان نفتی، افزایش مصرف گاز خانگی در فصل سرما است. توقف ویا عدم اختصاص میزان مناسب گاز یا طولانی شدن مدت زمان تزریق گاز نیز باعث طلانی تر شدن برداشت از ذخایر ثانویه، کاهش تولید مخازن نفتی و به دنبال آن کاهش درآمد کشور، فرسوده شدن تجهیزات گران قیمت تزریق، لزوم تعمیر چاه‌ها و حفر چاه‌های جدید و صرف هزینه و خسارت‌های ناشی از آن می‌شود.

بنابراین، برای استفاده از روش تزریق گاز در مخازن نفتی، باید شرایط لازم برای این روش در مخزن و در محیط اطراف آن فراهم شده باشد. به همین دلیل، استفاده از این روش در همه مخازن نفتی به صرفه نیست و باید با توجه به ویژگی‌های هر مخزن، سنجیده شود .در مخازنی که دارای فشار بالا هستند، تزریق گاز ممکن است منجر به کاهش فشار درون مخزن شود و برداشت نفت را کاهش دهد. به همین دلیل، در این نوع مخازن، از روش‌های دیگری برای افزایش برداشت نفت استفاده می‌شود.چون میدان مورد بررسی دارای فشار بالا نیست بنابراین تزریق گاز برای مخزن نفتی با فشار بالا از دایره بحث ما خارج است. علاوه بر این، در مخازنی که خصوصیات نفتی خاصی دارند، مانند ویسکوزیته بالا، تزریق گاز ممکن است تأثیر چشمگیری در برداشت نفت ایجاد نکند. در چنین مواردی، از روش‌های دیگری مانند تزریق آب یا تزریق مواد شیمیایی استفاده می‌شود.

۴-۶- روش‌های تزریق گاز برای ازدیاد برداشت در مخازن نفتی

۱. تزریق گاز برای بهبود ویژگی‌های نفت: در این روش، گاز تزریقی به مخزن نفتی تزریق می‌شود تا ویژگی‌های نفت را بهبود بخشد. برای مثال، تزریق گاز به مخازن نفتی با ویسکوزیته بالا می‌تواند موجب کاهش ویسکوزیته نفت و افزایش جریان آن شود.

۲. تزریق گاز برای تثبیت فشار: در این روش، گاز تزریقی به مخزن تزریق می‌شود تا فشار درون مخزن حفظ شود و برداشت نفت بهبود یابد. این روش بیشتر در مخازنی با فشار پایین به‌کار می‌رود.

۳. تزریق گاز برای افزایش تخلیه نفت: در این روش، گاز تزریقی به مخزن تزریق می‌شود تا جریان نفت را به سمت چاه افزایش دهد. این روش بیشتر در مخازنی با ویژگی‌های خاصی مانند خصوصیات نفتی مناسب و فشار متوسط به‌کار می‌رود.

۴. تزریق گاز برای جایگزینی نفت: در این روش، گاز تزریقی به مخزن تزریق می‌شود تا نفت را به سمت چاه جایگزین کند. این روش بیشتر در مخازنی با ویژگی‌های خاصی مانند نفتی با ویسکوزیته بالا و فشار پایین به‌کار می‌رود.

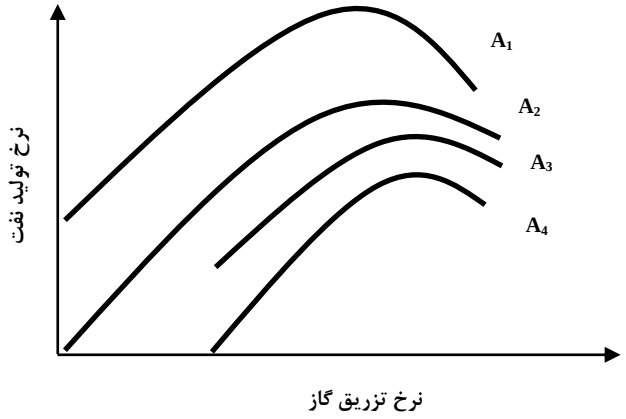
از روش‌های فوق روش ۲ و ۳ برای میدان نفتی مورد نظر استفاده شده است.

ابتدا مخازن به طور طبیعی تولید می‌کنند، بعد از مدتی به دلیل افت فشار مخزن، دبی تولیدی کاهش می‌یابد برای افزایش عمر تولید مخزن می‌توان از روش‌های مخزن محور (مانند تزریق پلیمر، ژل، یا سورفکتانت) و چاه محور (مانند فرازآوری مصنوعی) استفاده نمود. شناخته شده ترین آن‌ها پمپ‌های میله مکنده، فرازآوری با گاز، پمپ‌های حفره ای پیشرونده و... می‌باشند. به کمک روش‌های فرازآوری با گاز، توانایی سیال افزایش می‌یابد و تولید به سطح صورت می‌پذیرد. اغلب میزان گاز موجود در روش فرازآوری با گاز محدود است بنابراین تخصیص مناسب گاز در دسترس به چاه ها، یک مسأله مهم در روش فرازآوری با گاز به شمار میرود. بهینه‌سازی فرازآوری با گاز نقش مهمی در تولید و به حداکثر رساندن ارزش فعلی خالص دارد. فرازآوری با گاز به دو دسته پیوسته و ناپیوسته تقسیم می‌شود. تزریق ناپیوسته گاز به داخل چاه در دوره‌های زمانی خاص و تا حد امکان در پایین ترین نقطه چاه در زیر ستون مایع انجام می‌شود. بدین ترتیب ستون مایع به سطح آورده ً می‌شود و دوباره با تشکیل ستون جدید نفت، تزریق گاز درچاه انجام می‌شود. در میدان نفتی مورد بررسی فرض بر این است که فرازآوری با گاز یه صورت یوسته انجام شده است.

۴-۷- بهینه‌سازی فرازآوری با گاز

در مسایل بهینه‌سازی، هدف بهینه کردن متغیرها برای رسیدن به تابع هدف با درنظر گرفتن محدودیت‌ها است. تابع هدف می‌تواند به حداکثر رساندن و یا به حداقل رساندن بخش مهمی مانند گاز در دسترس باشد.در فرازآوری با گاز به دلیل نبود مقدار کافی گاز در دسترس اغلب، هدف، بهینه‌سازی نرخ گاز برای تزریق گروهی از چاه‌ها به منظور رسیدن به حداکثر تولید یا حداکثر سود می‌باشد. در فرازآوری با گاز، با افزایش گاز تزریقی به دلیل کاهش چگالی و نیز سبک شدن نفت، افت فشار

هیدروستاتیکی کاهش می‌یابد اما با افزایش زیاد گاز تزریقی، به دلیل افزایش سرعت گاز و نیز اصطکاک بین آن ها، افت فشار اصطکاکی نیز افزایش می‌یابد. این پدیده معکوس منجر به ایجاد رابطه گنبدی شکل بین تولید نفت و نرخ تزریق گاز می‌شود که به آن منحنی عملکرد گاز در فرازآوری با گاز می‌گویند.



شکل۴-۲ : انواع معمولی منحنی عملکرد گاز در فرازآوری با گاز (منبع : عاملی ۱۴۰۲ صفحه ۴۳)

در منحنی A_1 یک چاه با نرخ تولید نفت به صورت غیراقتصادی را نشان میدهد در این حالت چاه تولید طبیعی دارد اما با انجام عملیات فرازآوری با گاز مقدار تولید و درنتیجه سود افزایش پیدا می‌کند. منحنی A_2 مربوط به چاهی است که تولید آن متوقف شده و بدون سامانه فرازآوری با گاز نمی تواند تولید کند. منحنی A_3 و A_4 مانند چاه هایی عمل می‌کند که بدون مقدار اولیه گاز تولید نمی کنند، اما در این نقطه، چاه A_3 مقداری تولید نفت در نرخ تزریق گاز اولیه دارد.(عاملی، ۱۴۰۲). برخی اوقات از یک مخزن نفتی و یک مخزن گازی به صورت همزمان تولید می‌شود به طوری که از گاز تولید شده برای گاز مورد نیاز فرازآوری، به صورت خودکار و تحت کنترل استفاده می‌کنند، این نوع فرایند به فرازآوری طبیعی با گاز مرسوم است

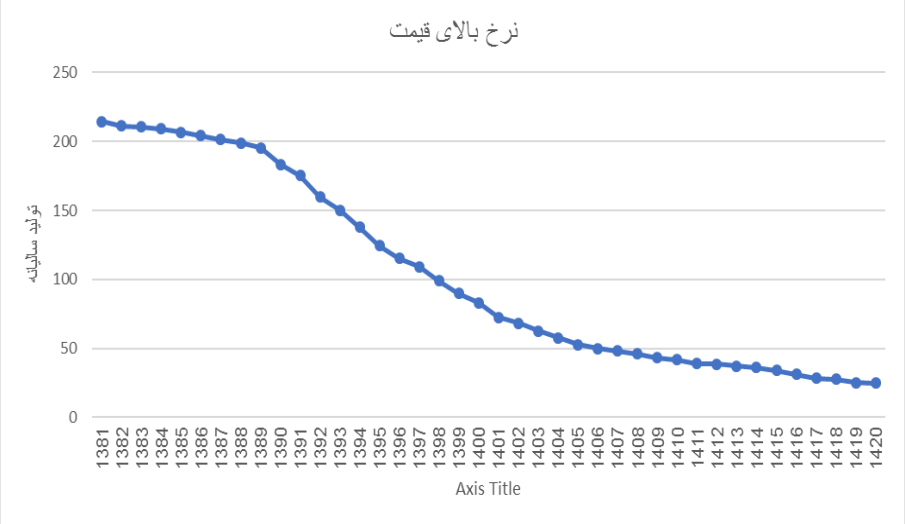
۴-۸- ارایه نتایج

پیش بینی اداره اطلاعات انرژی آمریکا (EIA)[1] بر اساس سه سناریوی مرجع، سناریو قیمتی بالا و سناریو قیمتی پایین می‌باشد. در سناریو مرجع فرض شده است که وضعیت سیاسی، رشد اقتصادی و تولید بدون تغییر ادامه خواهد داشت. در سناریو کاهشی، افزایش قابل توجه در تولید و افزایش سهم اوپک و در سناریو افزایشی نیز افزایش قابل توجه در تقاضا و رشد اقتصادی منظور شده است. در این بخش، با مشخص بودن توابع هزینه، برآورد قیمت نفت خام در سه سناریوی قیمتی که از سایت EIA-2023 استخراج گردیده و دو عامل تنزیل۱۵ درصد و ۲۵ درصد، به برآورد مسیر بهینه تولید نفت از میدان نفتی مورد نظر بر اساس ۶ سناریوی معرفی شده پرداخته می‌شود. مطالعات در این زمینه نشان داده که به طور معمول نرخ تنزیل برای کشورهای کمترتوسعه یافته و تولید کننده نفت همانند ایران به دلیل ریسک هایی چون وابستگی بالای بودجه به درآمدهای نفتی، وابستگی واردات به درآمدهای نفتی، نداشتن درآمدی جایگزین برای درآمدهای نفت و...، بالاتر است. در این چارچوب، ادلمن (۱۹۸۶) نشان داده که نرخ تنزیل مناسب برای ایالات متحده ۱۰ درصد ولی برای کشوری مانند عربستان ۲۰ درصد و حتی بالاتر هم می‌تواند باشد. در تحلیل ادلمن، کشورهای کمتر توسعه یافته و تولید کننده نفت علاوه بر در نظر داشتن هزینه فرصت سرمایه، با ریسک‌های فوق مواجه بوده که در نهایت منجر به بالاتر شدن نرخ تنزیل آنها می‌شود. با توجه به آنکه برای این کشورها اهدافی غیر از تامین هزینه فرصت سرمایه (همانند اشتغال) اهمیت بیشتری دارد، بنابراین، این کشورها هزینه فرصت سرمایه را در تنزیل ارزش‌های پولی آینده در نظر نمی گیرند و تنها ریسک‌های موجود در زمان حال است که منجر به رجحان زمانی آنها می‌شود. از این رو نرخ رجحان زمانی در این کشورها تنها نشات گرفته از ریسک‌های وابستگی به درآمد نفتی است.

در این میدان نفتی فرض بر این است که همزمان با تولید، تزریق گاز نیز به میدان صورت گرفته است. همچنین فرض بر اینست که تزریق گاز با اختلال مواجه نشده است. به عبارت دیگر تزریق گاز به دلیل افزایش مصرف گاز مصرفی خانگی در فصل سرما دچار کاهش و یا توقف نشده است. که در این حالت با تزریق روزانه ۹۰ میلیون متر

1. Energy Information Administration

مکعب گاز به این میدان در طول دوره چهل ساله ۱۳۸۱ تا ۱۴۲۰ و به کارگیری روش فرا ابتکاری الگوریتم ازدحام ذرات، مدل حل شده و نتایج سود حاصل از فروش نفت در جداول و نمودارهای زیر ارایه شده است.

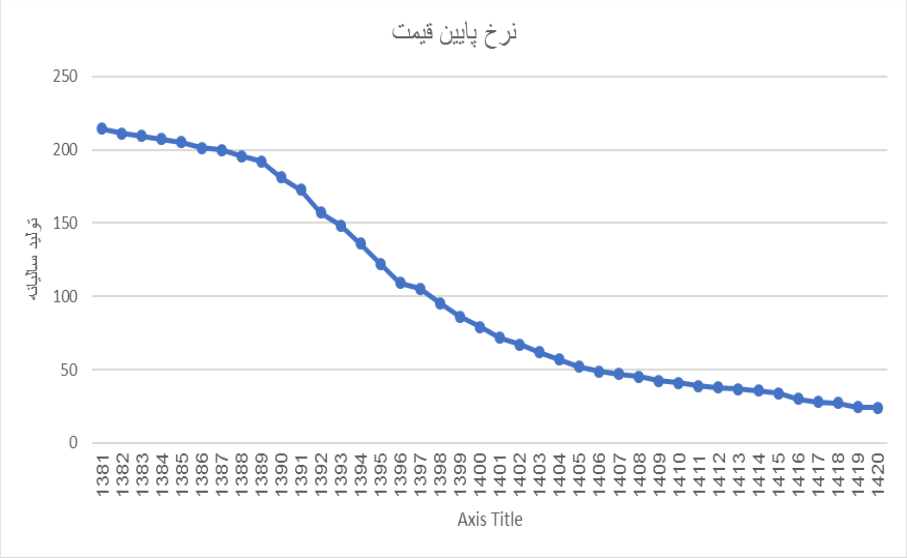


نمودار ۱. روند تولید بهینه در نرخ تنزیل ۱۵ درصد (سناریوی قیمتی قیمت بالای نفت)

منبع: محاسبات محقق و با استفاده از نرم افزار Matlab و الگوریتمPSO

نمودار ۲. روند تولید بهینه در نرخ تنزیل ۱۵ درصد (سناریوی قیمتی قیمت مرجع نفت)

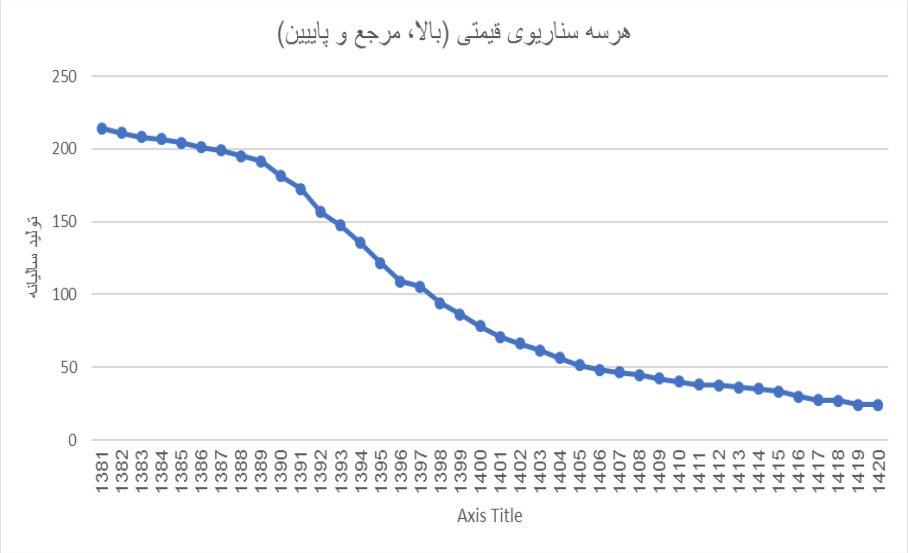
منبع: محاسبات محقق و با استفاده از نرم افزار Matlab و الگوریتمPSO



نمودار ۳. روند تولید بهینه در نرخ تنزیل ۱۵ درصد (سناریوی قیمتی قیمت پایین نفت)

منبع: محاسبات محقق و با استفاده از نرم افزار Matlab و الگوریتمPSO

در نمودارهای ۱ تا ۳ روند تولید بهینه در عامل تنزیل ۰,۸۷ به ترتیب با سه سناریوی قیمتی قیمت بالای نفت، قیمت مرجع و قیمت پایین نفت نشان داده شده است. در نرخ تنزیل ۱۵ درصد، سه سناریوی قیمتی توانسته‌اند نتایج متفاوتی را نشان دهند. نرخ برداشت بهینه حداکثری برای هر سه سناریوی قیمتی همچنان در ابتدای دوره قرار دارد اما نرخ تولید بهینه در انتهای دوره در سناریوی قیمتی بالا، بیشتر از دو سناریوی دیگر است. با وجود این، همچنان تفاوت اندکی میان تولید بهینه سه سناریو وجود دارد که ناشی از اعمال محدودیت‌های فیزیکی میدان بر مدل می‌باشد.



نمودار۴. روند تولید بهینه در نرخ تنزیل ۲۵ درصد (هر سه سناریوی قیمتی نفت)

منبع: محاسبات محقق و با استفاده از نرم افزار Matlab و الگوریتمPSO

در نمودار۴ در نرخ تنزیل ۲۵ درصد، مسیر بهینه تولید پیشنهادی مدل در هر سه گزینه قیمت های انتظاری یکسان است به عبارت دیگر وقتی نرخ تنزیل بالاست مدل ما به تغییر سطح قیمت های انتظاری، واکنشی نشان نمی دهد اما در نرخ تنزیل پایین تر مدل واکنش بیشتری را نشان می دهد. اگرچه قاعده کلی مسیر بهینه پیشنهادی مدل مبنی بر برداشت سریعتر در دوره نزدیک و برداشت کمتر در سال های دورتر تغییر معناداری نمی کند.

جدول ۲. مجموع سود حاصل از فروش نفت در دوره چهل ساله بر اساس نرخ تنزیل ۱۵ و۲۵ درصد

سال	تولید بهینه سه سناریوی قیمتی در نرخ تنزیل ۲۵%	تولید بهینه سناریوی قیمتی مرجع در نرخ تنزیل ۱۵%	تولید بهینه سناریوی قیمتی بالا در نرخ تنزیل ۱۵%	تولید بهینه سناریوی قیمتی پایین در نرخ تنزیل ۱۵%
۱۳۸۱	۲۱۴/۳۱	۲۱۴/۳۱	۲۱۴/۳۱	۲۱۴/۳۱
۱۳۸۲	۲۱۱/۰۱	۲۱۱/۲۸	۲۱۱/۰۱	۲۱۱/۰۱
۱۳۸۳	۲۰۸/۱۸	۲۱۰/۴۱	۲۰۹/۷۷	۲۰۹/۴۷
۱۳۸۴	۲۰۶/۶۱	۲۰۹/۱۶	۲۰۷/۹۲	۲۰۷/۱۴
۱۳۸۵	۲۰۴/۱۷	۲۰۶/۷۲	۲۰۶/۳۴	۲۰۵/۲۱

سال	تولید بهینه سه سناریوی قیمتی در نرخ تنزیل ۲۵%	تولید بهینه سناریوی قیمتی مرجع در نرخ تنزیل ۱۵%	تولید بهینه سناریوی قیمتی بالا در نرخ تنزیل ۱۵%	تولید بهینه سناریوی قیمتی پایین در نرخ تنزیل ۱۵%
۱۳۸۶	۲۰۱/۰۳	۲۰۴/۱۴	۲۰۲/۲۲	۲۰۱/۳۶
۱۳۸۷	۱۹۸/۸۲	۲۰۱/۱۸	۲۰۰/۸۲	۱۹۹/۷۱
۱۳۸۸	۱۹۵/۱۵	۱۹۸/۸۲	۱۹۷/۷۶	۱۹۵/۷۶
۱۳۸۹	۱۹۱/۶۳	۱۹۵/۲۲	۱۹۳/۱۶	۱۹۱/۹۲
۱۳۹۰	۱۸۱/۱۶	۱۸۳/۳۱	۱۸۱/۵۴	۱۸۱/۲۸
۱۳۹۱	۱۷۲/۳۳	۱۷۵/۱۱	۱۷۷/۷۱	۱۷۲/۴۹
۱۳۹۲	۱۵۶/۷۶	۱۵۹/۶۶	۱۵۷/۱۴	۱۵۶/۹۸
۱۳۹۳	۱۴۷/۴۸	۱۵۰/۱۵	۱۴۹/۷۳	۱۴۸/۲۴
۱۳۹۴	۱۳۵/۵۲	۱۳۷/۷۷	۱۳۶/۹۲	۱۳۶/۱۱
۱۳۹۵	۱۲۱/۷۱	۱۲۴/۴۱	۱۲۴/۱۲	۱۲۲/۱۶
۱۳۹۶	۱۰۹/۱۱	۱۱۵/۲۳	۱۱۲/۷۲	۱۰۹/۱۸
۱۳۹۷	۱۰۵/۲۹	۱۰۹/۲۱	۱۰۷/۷۸	۱۰۵/۲۲
۱۳۹۸	۹۴/۲۸	۹۹/۱۱	۹۶/۸۱	۹۵/۳۶
۱۳۹۹	۸۶/۱۹	۸۹/۶۴	۸۸/۸۲	۸۶/۲۹
۱۴۰۰	۷۸/۱۶	۸۳/۱۵	۸۱/۵۱	۷۹/۱۶
۱۴۰۱	۷۰/۷۲	۷۲/۳۶	۷۱/۸۱	۷۱/۶۲
۱۴۰۲	۶۶/۱۳	۶۸/۱۳	۶۷/۵۴	۶۷/۱۹
۱۴۰۳	۶۱/۷۱	۶۲/۵۱	۶۲/۱۹	۶۱/۸۲
۱۴۰۴	۵۶/۱۹	۵۷/۸۲	۵۷/۴۶	۵۶/۸۸
۱۴۰۵	۵۱/۴۲	۵۲/۸۳	۵۲/۱۹	۵۲/۰۳
۱۴۰۶	۴۸/۳۷	۴۹/۸۲	۴۹/۷۱	۴۸/۶۱
۱۴۰۷	۴۶/۵۵	۴۸/۰۶	۴۷/۱۹	۴۷/۱۱
۱۴۰۸	۴۴/۶۵	۴۶/۱۶	۴۵/۸۱	۴۵/۱۶
۱۴۰۹	۴۲/۳۱	۴۳/۲۴	۴۲/۷۲	۴۲/۴۹
۱۴۱۰	۴۰/۰۱	۴۱/۷۹	۴۱/۳۵	۴۰/۸۸
۱۴۱۱	۳۸/۱۲	۳۸/۸۵	۳۸/۴۱	۳۸/۷۲
۱۴۱۲	۳۷/۷۸	۳۸/۴۵	۳۸/۱۳	۳۷/۹۱
۱۴۱۳	۳۶/۲۴	۳۷/۱۲	۳۶/۹۳	۳۶/۵۹
۱۴۱۴	۳۵/۲۸	۳۶/۱۹	۳۵/۷۱	۳۵/۷۱
۱۴۱۵	۳۳/۴۹	۳۴/۱۶	۳۴/۰۲	۳۳/۸۵
۱۴۱۶	۲۹/۸۱	۳۱/۲۷	۳۰/۶۲	۳۰/۱۱
۱۴۱۷	۲۷/۴۲	۲۸/۵۱	۲۸/۱۱	۲۷/۸۲

سال	تولید بهینه سه سناریوی قیمتی در نرخ تنزیل ۲۵%	تولید بهینه سناریوی قیمتی مرجع در نرخ تنزیل ۱۵%	تولید بهینه سناریوی قیمتی بالا در نرخ تنزیل ۱۵%	تولید بهینه سناریوی قیمتی پایین در نرخ تنزیل ۱۵%
۱۴۱۸	۲۶/۸۹	۲۷/۷۱	۲۷/۱۳	۲۷/۱۱
۱۴۱۹	۲۴/۱۸	۲۵/۱۴	۲۵/۶۱	۲۴/۴۵
۱۴۲۰	۲۴/۰۵	۲۴/۸۸	۲۴/۴۵	۲۴/۱۹
مجموع	۴۰۶۰/۲۲	۴۱۴۲/۹۹	۴۱۱۵/۲	۴۰۷۸/۷۲

منبع: محاسبات محقق

برابر نتایج جدول، با افزایش نرخ تنزیل، میزان سود حاصل از فروش نفت در دوره چهل ساله کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، با افزایش قیمت نفت خام، میزان سود حاصل از فروش نیز افزایش یافته است. در نرخ تنزیل ۲۵ درصد، تولید بهینه برای هر سه سناریوی قیمتی، روندی مشابه دارد. در این سناریو، به لحاظ فنی فرض شده است که در سال ۱۳۹۴، میدان به طور کامل توسعه یافته و تزریق گاز نیز همزمان با تولید از میدان با تزریق روزانه ۹۰ میلیون متر مکعب، اجرا می‌گردد که براین اساس، حداکثر تولید سالیانه به ۶۹ میلیون بشکه رسیده و سود تجمعی نیز حدود۴۰۶۰ میلیون بشکه خواهد بود. در یک نگاه کلی، می‌توان استنباط کرد که سود حاصل از فروش نفت در دوره چهل ساله با نرخ تنزیل رابطه معکوس و با قیمت نفت خام، رابطه مستقیم دارد. در صورت افزایش قیمت در آینده بیش از سناریو قیمتی بالای نفت، میزان برداشت بین دوره ای تحت تأثیر قرار خواهد گرفت و ممکن است منجر به برداشت حداکثری در سال‌های اولیه و برداشت حداقلی در سال‌های انتهایی نشود.

۴-۹- خروجی تحقیق

خروجی تحقیق شامل موارد زیر است:

۱- تزریق روزانه ۹۰ میلیون متر مکعب گاز در دوره چهل ساله حجمی معادل ۲۷۶۰ میلیون بشکه نفت خام اضافی به حجم ذخایر قابل استحصال میدان اضافه می‌گردد که این میزان در سال برابر ۶۹ میلیون بشکه خواهد بود.

۲- تا قبل از این تحقیق تصور بر این بود (سعیدی ۱۳۸۸) که تزریق به میادین نفتی به طور صددرصد منجر به افزایش میزان برداشت از مخازن نفتی تا بیشتر از دو برابر می‌شود (پوریا شکری برای میدان نفتی آزادگان جنوبی) ولی با این تحقیق به این

نتیجه رسیدیم که این امر ممکن است همیشه و برای همه میدان‌های نفتی به طور صددرصد صادق نباشد.

۳- از یافته‌های تحقیق چنین بر می‌آیدکه از نرخ تنزیل ۱۵ درصد به بالا، (عامل تنزیل ۰/۸۷) تولید بهینه پیشنهادی به سه سناریوی (گزینه‌ی) قیمتی وابستگی ندارد.

۴ – کاهش وابستگی بودجه دولت به منابع نفتی، الگوی بهینه را به سمت استخراج متعادل از میدان همانند نرخ تنزیل ۱۵ درصد هدایت می‌کند. در غیر اینصورت به استخراج بیشتر در سال‌های اول و برداشت کمتر در سال‌های آخر عمر میدان همانند نرخ تنزیل ۲۵ درصد خواهد انجامید.

۵- حالت اول نظریه هتلینگ در این میدان نفتی به عنوان تفکر غالب و مستتر مطرح است. به عبارت دیگر وقتی بازدهی منبع در زیر زمین بیشتر از بازدهی استخراج است، منبع نگهداری می‌شود.

۵- جمع بندی و پیشنهادات

در این پژوهش، تأثیر طرح تزریق گاز در بهینه‌سازی ضریب برداشت از یک میدان نفتی در جنوب ایران طی یک دوره چهل ساله (از سال ۱۳۸۱ تا ۱۴۲۰) مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور مدل بهینه‌یابی پویایی بر اساس حداکثرسازی ارزش حال سود حاصل از فروش نفت میدان در طول دوره شبیه‌سازی، تعریف شد که شامل تابع هدف، تابع درآمد، تابع سود، معادله حرکت مدل و نیز قیودی بر اساس محدودیت‌های فیزیکی متناسب با ویژگی‌های فنی مخازن میدان بود تا بتواند ضمن حصول به بیشینه سود اکتسابی از محل فروش نفت میدان، تضمین کننده تولید صیانتی از میدان و به دنبال آن تأمین نسبی منافع ملی نیز باشد. در مدل پیشنهادی از سه سناریوی مختلف قیمت مرجع، قیمت پایین و قیمت بالای نفت خام استفاده شده است. نکته‌ای که می‌بایست به آن اشاره کرد این است که این قیمت‌ها از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۳ بسیار مشابه می‌باشند. اما از سال ۱۳۹۴ به بعد دارای تفاوت هستند که این تفاوت به ۱۲۹ دلار نیز می‌رسد. با توجه به اینکه در این پژوهش از سه سناریوی قیمت نفت و شرایط مختلف نرخ تنزیل (۱۵ درصد و ۲۵ درصد) استفاده شده است، در مجموع ۶ حالت مختلف اتخاذ و مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان استدلال کرد که با افزایش نرخ تنزیل، میزان سود حاصل از فروش نفت در دوره چهل ساله

کاهش و با افزایش قیمت نفت خام، میزان سود حاصل از فروش افزایش یافته است. از طرف دیگر، با افزایش نرخ تنزیل ۲۵ درصدی، تولید بهینه برای هر سه سناریوی قیمتی، روندی مشابه داشته است. در سال ۱۳۹۴، میدان به طور کامل توسعه‌یافته و تزریق گاز نیز همزمان با تولید از میدان، اجرا گردیده است که بر این اساس، حداکثر تولید سالیانه به ۶۹ میلیون بشکه رسیده و سود تجمعی نیز حدود۴۰۶۰ میلیون بشکه شده است. در نتیجه، سود حاصل از فروش نفت در دوره چهل ساله با نرخ تنزیل رابطه معکوس و با قیمت نفت خام، رابطه مستقیم دارد.

۵-۱- پیشنهادات

با توجه به نتایج به دست آمده، به منظور بهبود فرآیند انجام کار، موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

۱. با توجه به افزایش برنامه تولید تجمعی بهینه در میدان مورد بررسی (۴۰۶۰ میلیون بشکه) نسبت به تولید برنامه ریزی شده کنونی (۳۲۶۳ میلیون بشکه) به میزان بیشتر از ۲۰ درصد، با وجود تامین نسبی منافع ملی، از نظر محقق انجام مراحل بهره برداری بهینه برای میدان مورد بررسی پیشنهاد نمی شود. در مقابل، می‌توان پیشنهاد نمود هزینه‌های انجام این کار برای تاسیس و ایجاد نیروگاههای هسته ای و انرژی خورشیدی در دستور کار قرار گیرد که می‌تواند هم جایگزینی برای منابع نفتی پایان پذیر باشند و هم حفاظت از منافع محیط زیست را عهده دار گردند که به نوعی سهم نسل‌های آتی از منابع محفوظ خواهد ماند. همچنین این امر می‌تواند با توجه به تحریم‌های موجود به عنوان یک فرصت تلقی گردد تا وابستگی اقتصاد به نفت را لااقل برای این میدان نفتی تعدیل نماییم. همانطور که گفته شد هزینه‌های انجام این کار برای میدان نفتی فوق، برای تاسیس نیروگاههای هسته ای و انرژی خورشیدی حتی در مقیاس کوچک می‌تواند به عنوان بررسی و هدف مطالعه مد نظر قرار گیرد.

۲. با توجه به استفاده از گازهای همراه و گازهای میادین مجاور برای تزریق، پیشنهاد می‌شود گازهای همراه در اولویت قرار گیرد.

۳. در مقاله‌های مشابه صادرات گاز پیشنهاد نمی شد ولی در این میدان مورد بررسی حجم ذخایر قابل استحصال به میزان قابل توجه در دوره شبیه سازی نبوده، بنابراین سیاست رویه قبل به طور صد درصد (تزریق گاز به همه میدان‌های نفتی) پیشنهاد نمی شود. در نتیجه سیاست تک بعدی وزارت نفت نیز در خصوص مصارف خانگی (گرمایشی) (فقط از طریق گاز) نیاز به تعدیل دارد.

۴. این موضوع که تزریق گاز به مخزن نفتی مورد نظر در اولویت قرار بگیرد و یا صادرات آن، بستگی به شرایط کشور (از دید تحریم‌های گسترده) دارد. با توجه به افزایش مصرف انرژی چنانچه تحریم‌های اعمال شده مشکلی در صادرات گاز ایجاد نکند، صادرات گاز با توجه به مطالب گفته شده بهتر از تزریق گاز است.

۵-۲- پیشنهادات برای محققین بعدی

همان گونه که پیش تر نیز گفته شد، هزینه‌های انجام تزریق گاز برای میدان نفتی مورد بررسی می‌تواند برای تاسیس و ایجاد نیروگاههای هسته ای و انرژی خورشیدی حتی در مقیاس کوچک به عنوان هدف مطالعه مد نظر محققین قرار گیرد.

منابع

- بازوکار، محمد، " مکان یابی ایستگاه‌های فشار شکن گاز با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی، مطالعه موردی: استان قم"، سال ۱۴۰۱، کارشناسی ارشد، موسسه آموزش عالی حکمت.
- جلالی، محسن، " افزایش تولید نفت در میدان آزادگان با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی بی درنگ "، سال۱۳۹۸، کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- جعفریان، مریم، صفرایی، محمود رضا، یاوری، مظاهر." تولید صیانتی و مدیریت مخازن نفتی و نقش آن در حفاظت از مخازن نفتی " ، زمستان ۱۴۰۲، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، شماره ۷۹ جلد ۱۹ صفحات ۷۲-۹۳.
- رجبی، اسماعیل، امام وردی، قدرت الله، اسماعیل نیا کتابی، علی اصغر، دامن کشیده، مرجان، "برآوردمسیربهینه‌تولیدنفت دریکی‌ازمیادین‌جنوب‌کشور"، بهار ۱۴۰۳، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، شماره۸۰، صفحات۱۶۱-۱۳۱.
- شکری، پوریا. فرید زاد، علی. تکلیف، عاطفه. دهقانی، تورج، "برآورد مسیر بهینه تولید میدان نفتی آزادگان جنوبی با تاکید بر تولید صیانتی بر اساس الگوریتم تکاملی بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)"، سال ۱۳۹۶، پژوهش نامه اقتصاد انرژی ایران، سال ششم، شماره ۲۲، ص ۱۰۸ – ۷۵.
- صادقی ویله، محسن، روستایی، رسول، " الگوریتم‌های فرا ابتکاری ترکیبی مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات "، سال ۱۳۹۵، سومین همایش ملی مهندسی رایانه و مدیریت فناوری اطلاعات، تهران.
- طاهری فرد، علی. سلیمی فر، مصطفی. " بهینه‌سازی فرآیند تولید نفت خام در یک مدل تصادفی و مقایسه آن با تولید در چارچوب قراردادهای بیع متقابل – مطالعه موردی میدان درود "، سال۱۳۹۳، فصل نامه مطالعات اقتصاد انرژی، شماره ۴۴، ص ۱۷۸ – ۱۵۳.
- طونی، محمد، فتحی، بهرام، انیسی، مجید، خرسند، محمد،" اندازه گیری کارایی انرژی، اقتصادی و زیست محیطی با تلفیق تحلیل پوششی داده‌ها و بازی چانه زنی " بهار ۱۴۰۳، فصل نامه مطالعات اقتصاد انرژی، شماره ۸۰، ص ۳۲-۱.

- عاملی، فروغ، زین العابدینی، لیلا، " مروری بر مطالعات روش‌های محاسباتی و بهینه‌سازی تزریق گاز در فرازآوری مصنوعی "، زمستان ۱۴۰۲، نشریه مهندسی گاز ایران، شماره دوم، صفحات ۴۲-۶۰.
- کاوسی، شراره، "مدل‌سازی برای تحلیل مقایسه ای مسیر بهینه تولید نفت طرفین قراردادهای بیع متقابل: مطالعه موردی یکی از میادین نفتی فلات قاره ایران"، سال ۱۳۹۹، دکتری تخصصی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- کریمی، معصومه، " کاربرد تکنیک‌های زمین‌آماری بر روی داده‌های اکتشافی به منظور تعیین محل و مسیر مناسب حفر چاه‌های نفت و گاز"، سال ۱۳۹۸، کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد.
- موسیوند، نوید، کاکویی، علی اکبر، "بهینه‌سازی تولید با استفاده از الگوریتم تکاملی در چاه‌های هوشمند "، سال ۱۳۹۷، دومین کنگره بین المللی علوم و مهندسی، تهران.
- محمودی، محمد. اسماعیل نیا کتابی، علی اصغر. مومنی وصالیان، هوشنگ. دامن کشیده، مرجان."بررسی عامل زمان در توسعه میادین مشترک در قالب قراردادهای Buy back و IPC مطالعه موردی میدان یادآوران "، پاییز ۱۴۰۱، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، شماره ۷۴ جلد ۱۸، صفحات ۱۸۳-۲۱۱.
- نظری، محمد جواد، "مدلسازی و شبیه سازی یکپارچه مخازن هیدروکربنی و فرایندهای بهره برداری سطحی در یکی از حوزه‌های نفتخیز ایران"، سال ، ۱۳۹۹، دانشگاه فردوسی مشهد.
- نظری، منصور و همکاران، " مروری بر پارامترهای غربالگری روش‌های فرازآوری مصنوعی با هدف بهبود برداشت نفت "، سال ۱۴۰۱، ماهنامه اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره ۲۰۶.
- Ghandi, A. and Lin , C. (2018), On the Economic Efficiency of Oil Production Contracts : A Dynamic Model of the Rumaila Oil Field in Iraq , Working Paper , Cornell university , available in clinlawell. Dyson. Cornell. Edu, pp. 55-73 .
- John Perkins, Journal of Analytical Sciences Methods and Instrumentation , " Optimum Development of a Saturated Oil Filed ",March 2022

- Mohammadi, F., Nabi Bidhendi, G., & Aslani, A. (2023). "Designing an energy security index with a sustainable development approach for energy-exporting countries using fuzzy BWM method". Environmental Science and Pollution Research, 30(3), 7427-7445
- M. Fitri Ramli, M.Shahrul M. Long, Amol Nmol Nivrutti Pote; Khairul AzriIshak,International Petroleum Technology Conference, virtual, March 2021.
- Saidi ,A.M.," Twenty Years of Gas Injection History into Well Fractured Haft Kel Field (Iran), " SPE paper 35 - 309 , presented at SPE Meeting Held in Villahermosa, Mexico, March. 3-7 , 1996.
- Tatiana Ponomarenko, Eugene Marin and Sergey Galevskiy ," Economic Evaluation of Oil and Gas Projects :Justification of Engineering Solutions in the Implementation of Field Development Projects". Economics, Organization and Management Department, Saint Petersburg Mining University, 199106 Saint Petersburg, Russia; ponomarenko_tv@pers.spmi.ru (T.P.); galevskiy_sg@pers.spmi.ru (S.G.) Correspondence: eugeniy.a.marin@gmail.com or s195093@stud.spmi.ru; Tel.: +7-911-266-22-56 . April 2022.

Research of gas injection pattern effect in optimization of recovery coeffient of oil field in the south of Iran

Esmaeel Rajabi
student of oil and gas economics, Department of Economics, Faculty of Economics and Accounting, Central Tehran Branch , Islamic Azad University, Tehran, Iran, (esmaeelrajabi5@gmail.com)

Ghodratollah Emamverdi [1]
Assistant Professor of Economics, Department of Economics, Faculty of Economics and Accounting, Central Tehran Branch , Islamic Azad University, Tehran, Iran, (ghemamverdi2@gmail.com)

Ali Asghar Esmaeel nia
Assistant Professor of Economics, Department of Economics, Faculty of Economics and Accounting, Central Tehran Branch , Islamic Azad University, Tehran, Iran, (aeketabi@gmail.com)

Marjan Daman Keshideh
Assistant Professor of Economics, Department of Economics, Faculty of Economics and Accounting, Central Tehran Branch , Islamic Azad University, Tehran, Iran, (m.damankeshideh@yahoo.com)

Received: 2024/07/31 Accepted: 2025/02/02

Abstract

Gas injection is a method considered part of Enhanced Oil Recovery (EOR) techniques. This method is utilized to prevent the decline in oil pressure, stabilize it, and increase the volume and pressure of the fluid within the reservoir, thereby stabilizing the oil extraction rate over time. Since the 1950s, this method has been used and welcomed internationally due to its lower cost compared to drilling new wells. The ultimate goal of gas injection is the achievement of a higher recovery factor for an oil field compared to primary and conventional methods. In this method, due to the property of miscibility, capillarity is minimized by injecting gas. Consequently, the crude oil adhering to the reservoir walls is displaced by the injected dry gas, allowing the desired oil to be recovered from the wellhead under appropriate pressure. The problem is simulated using the MATLAB software over a forty-year period from 2002 to 2041 for one of the oil fields located in the southern part of the country (Iran). Given the results, it is argued that with an increase in the discount rate, the profit from oil sales during the studied period decreases, while an increase in crude oil prices leads to an increase in the profit from oil sales. Furthermore, with a daily injection of 90 million cubic meters of gas over the aforementioned period, an additional volume of 2,760 million barrels of crude oil will be added to the recoverable reserves of the field, translating to an annual increment of 69 million barrels.

JEL Classification: A19, A23, C61, Q19 , Q29

Keywords: Oil recovery coefficient, Gas injection, Optimization ,Profit,Oil field in the south.

1. Corresponding Author

Impulse Response Analysis of the Long Rum Effects of Oil Revenue and Exchange Rate shocks on Iran's Trade Deficit

Mahbube Al-Sadat Amir Shakrami
PhD student in economics, Isfahan (Khorasgan) branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran, (mahboob.shahkarami@gmail.com)

Hossein Sharifi Renani [1]
Associate Professor, Department of Economics, Isfahan (Khorasgan) branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran, (h.sharifi@khuisf.ac.ir)

Sara Ghobadi
Assistant Professor, Department of Economics, Isfahan (Khorasgan) branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran, (sghobadi@iau.ac.ir)

Received: 2024/11/26 Accepted: 2025/01/13

Abstract

Trade deficit is a widely discussed topic in the world of economics and international trade, and it is the difference between the value of a country's total imports and its total exports. While some see the trade deficit as a negative phenomenon that indicates a country's inability to compete globally, others argue that it can be beneficial under certain circumstances. In general, the trade deficit is a complex issue with positive and negative consequences, and its impact on the economy of a country depends on various factors, including the size and duration of the budget deficit, as well as the overall health of the economy. Foreign trade plays a very important role in the economy of various countries, especially in developing countries. The foreign trade sector is one of the most important sectors of the economy, which affects other sectors and is also affected by them. Given the importance of the foreign sector and the country's trade balance, the aim of this study is to analyze and investigate the long run effects of shocks of oil revenues and exchange rates on Iran's trade deficit using seasonal data during the period 2014-2023 using the Impulse Response Function technique (IRF). The results showed that based on Johansen's estimate, the long run relationship in the model is based on GDP, which indicates the total supply. The IRF also revealed that the shock of oil revenues in the short, medium and long run has a negative and significant effect on the current account. Also, the exchange rate shock has a positive and significant effect on the current account in the short, medium and long run.

JEL Classification: F19, F32.

Keywords: Impulse Response Analysis, Oil Revenue, Exchange Rate shocks, current account.

1. Corresponding Author

The Role of Renewable Energies in Achieving Sustainable Energy Security for the Iranian Economy: A System Dynamics Approach

Ali Hossein Ostadzad [1]
Assistant Professor of Energy engineering Group, University of Larestan, Lar, Iran, (a.ostadzad@lar.ac.ir)

Received: 2024/09/08 Accepted: 2025/01/13

Abstract

Supply of renewable energy has been a critical concern for developing nations in the world. The study tries to explore the potential of renewable energies to enhance sustainable energy security in the Iranian economic sector and endeavors to provide solutions to the question of what policies should the government implement to raise the percentage of renewable energy to 47 percent by the year 1430, as targeted by the International Energy Agency. Here, the system dynamics approach is employed to simulate the complex relationships between renewable energy use, dependence on fossil fuel resources, and energy security. Six scenarios of the development of renewable energies have been discussed and analyzed. The outcomes indicate that through the imposition of correct policy and fostering the advancement of renewable energy, it would be possible to attain a 47 percent proportion of such resources in electricity generation by the year 1430. By delivering a dynamic model, this study gives policymakers a more informed grasp of interactive influences of differing parameters, making more informed decision-making feasible within the energy market. Based on the best and most hopeful scenario for the development of renewable technology, the estimate made through the extended model presented in the study indicates that 47.31% of the power will be generated by renewable energies in the year 1430.

JEL Classification: ??????????????

Keywords: Renewables energy, system dynamics model, energy security, energy demand.

1. Corresponding Author

Factors Affecting the Consumption of Renewable Energy (Emphasis on the Income Inequality): Evidence from Developed and Developing Countries (ARDL-PMG Model Approach)

Mehdi MohammadiRaz
Department of Economics, Faculty of Management, Accounting and Economics, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran, (mmraz3041@chmail.ir)

Maryam Sharifnezhad [1]
Department of Economics, Faculty of Management, Accounting and Economics, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran, (m_sharifnejad2006@yahoo.com)

Mohammad Hassan Fotros
Department of Economics, Faculty of Economic and Social Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, (fotros@basu.ac.ir)

Received: 2024/10/11 Accepted: 2025/03/09

Abstract

The Environmental issues due to the productive activities, has been raised the necessity of pay serious attention to the externalities effects of fossil energy consumption and the exigency to replacement non-renewable fossil energy by green energy more than has already. so, recognition the factors affect the consumption of renewable energy can help to make a more successful policy to develop this alternative.This paper studies the effect of macroeconomic variables on renewable energy consumption in selected developed and developing countries for the period of 1990-2022 using panel data with the ARDL-PMG econometric approach. According to the results, the income inequality in both groups of countries has a negative effect on clean energy consumption, but the effects of other variables are different. Therefore, it is recommended that governments pay special attention to the importance of reducing income inequality in their economic development policies.

JEL Classification: Q42, Q56, Q58, C82, C23.
Keywords: renewable energy consumption, income inequality, ARDL-PMG

1. Corresponding Author

Modeling Household Electricity Demand in Tehran Province: A Structural Time Series Approach

Mir Hossein Mousavi [1]
Associate professor, Department of Economics, Faculty of Social Sciences and Economics, Alzahra University, Tehran, Iran, (hmousavi@alzahra.ac.ir)

Esmaeel Safarzadeh
Assistance professor, Department of Economics, Faculty of Social Sciences and Economics, Alzahra University, Tehran, Iran. (e.safarzadeh@alzahra.ac.ir)

Farid Dehghani
Instructor, Department of Energy, Industry and Mining, Parliament Research Center, Tehran, Iran, (fdehghani1979@gmail.com)

Received: 2024/12/25 Accepted: 2025/01/19

Abstract

The imbalance between electricity supply and demand has caused a disequilibrium in the power grid. One of the solutions to address this imbalance is the reform of electricity tariffs, aimed at encouraging energy efficiency and private investment. However, this approach significantly impacts household welfare. In this article, by introducing the concept of the underlying trend and its role in electricity demand, we model household electricity demand in Tehran province using the structural time series method. For this purpose, time series data for the period 1982–2022 were utilized. The results indicate that the nature of the underlying trend in household electricity demand is stochastic and follows a smooth trend. The short-term and long-term own-price elasticities of electricity demand are -0.029 and -0.39, respectively, which indicate that electricity demand is inelastic to price changes. This reaction is greater in the long term than in the short term. The income elasticity of demand in the short term and long term is 0.38 and 0.5, respectively, meaning that electricity is a normal necessity good in the household consumption basket. Natural gas also serves as a substitute for electricity in the household sector, though the degree of substitution between them is low. Moreover, electricity demand is elastic with respect to the number of subscribers in both the short term and the long term.

JEL Classification: E32, L94, D12, Q41, D50.
Keywords: minimum subsistence, energy, Linear Expenditure System, seemingly unrelated regressions.

1. Corresponding Author

Factors Affecting Gasoline Demand in the Rail Transportation Sector (Case Study: Tehran and Khorasan Razavi Provinces)

Farshad karam [1]
Master's student, Faculty of Economics and Political Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, (farshadkarm@gmail.com)

Vida Varahrami
Associate Professor, Faculty of Economics and Political Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, (V_varahrami@sbu.ac.ir)

Received: 2024/12/25 Accepted: 2025/02/11

Abstract

One of the major consumers of energy (petroleum product) among the sectors that consume energy in all societies is the transportation sector.Therefore, the growth and prosperity of the transportation sector, especially public transportation, will improve the relative well-being of the society by influencing the direct and indirect costs. Therefore, the purpose of this research is to investigate the factors affecting gasoline demand in the rail transportation sector (passenger cargo) (case study: Tehran and Razavi Khorasan provinces) using the seemingly unrelated regression method in the period of 1996-2021. The obtained results in this research show that the gross domestic product and the creation of new lines in the studied provinces will have the greatest impact on the demand for gasoline, and the price of the energy carrier (gasoline) will have the least effect on fuel demand in the rail transport sector in Tehran and Khorasan Razavi provinces. In general, it is suggested that the government will increase the demand for rail transportation in the mentioned provinces with price discrimination policies and fuel price increase in Razavi Khorasan Province and reduction of price tariffs in the rail transportation sector of Tehran Province.

JEL Classification: Q.43 Q.41 O.18 R41

Keywords: Gasoline demand, rail transportation, Tehran and Khorasan Razavi provinces.

1. Corresponding Author

Investigating the Relationship Between Energy Transition and Iran's Environmental Indicators Using a Dynamic Model

Amirreza Khalili
Master's student in energy economics, Faculty of Management and Economics, Shahid Bahonar, Kerman, Iran, (amirreza.khalili@aem.uk.ac.ir)

Mojtaba Bahmani [1]
Associate Professor, Department of Economics, Management and Economics, Shahid Bahonar, Kerman, Iran, (mbahmani@uk.ac.ir)

Mehdi Nejati
Associate Professor, Department of Economics, Management and Economics, Shahid Bahonar, Kerman, Iran, (mnejati@uk.ac.ir)

Received: 2024/10/02 Accepted: 2025/01/09

Abstract

our choices today have a significant impact on the world we will live in tomorrow, the result of our past elections up to today, the long-term and massive accumulation of carbon dioxide and severe changes in the Earth's climate system that have led to the formation of the energy transition in today's world. Given the importance of carbon emissions and the energy transition in today's world, this article, by creating a dynamic model during the period of 1374 to 1440, has evaluated the environmental indicators on the energy transition in Iran, which first addresses a summary of the global situation in the field of energy and then addresses the energy situation in Iran, the research findings indicate an inverse relationship between the two variables of the ratio of clean energy to total energy and the amount of CO2 emissions, and the results also show that with the acceleration of this transition, we can witness a sharp decrease in CO2 emissions, which shows that in today's world, it is necessary for renewable energies to exist as the primary energy source in order to reduce carbon emissions to the environment; since the energy transition occurs to limit environmental impacts, ensure energy security, etc. If policymakers implement policies such as limiting the use of fossil fuels, reducing fossil fuel subsidies to increase the cost-effectiveness of clean energy, so that the share of renewable energy use increases and carbon dioxide emissions decrease, we can witness the acceleration of the energy transition in Iran.

JEL Classification: Q00, Q4, Q50, Q53.

Keywords: dynamic systems, energy transition, renewable energy, clean energy.

1. Corresponding Author

Identifying and Prioritizing Factors Affecting Investment in Renewable Energy in the Industry of Yazd Province

Afarin Akhavan [1]
Associate Professor, Science and Arts University, (akhavan@sau.ac.ir)

Ebrahim Zakeri Zarch
??????????????????????, (e.zakeri.z@gmail.com)

Received: 2024/07/12 Accepted: 2025/01/12

Abstract

Today, environmental issues and the escalating cost of fossil fuels have led many countries to invest in new energy sources. Therefore, governments are seeking to encourage investors in renewable energy. This research focuses on identifying and prioritizing the factors influencing investment in renewable energy in the industry of Yazd Province. The present study is of an exploratory mixed-methods nature. In the first phase, a qualitative method was used with the technique of qualitative content analysis, and in the second phase, a quantitative method and the Best-Worst Method (BWM) for decision-making were employed. The data collection tools were a combination of interviews and questionnaires. The statistical sample was selected by a purposeful judgmental method and by the snowball sampling method. The expert community for this research in the qualitative section and the Delphi technique consists of 14 managers from the Strategic Research Department of the Ministry of Energy, who were responsible for conducting feasibility studies for investments in renewable energy in the industrial sector, as well as experts and managers from the Fuel Consumption Optimization Company in Yazd Province. In the quantitative section, the Best-Worst Method was utilized based on the opinions of three experts. After solving 22 mathematical models, the results of the research indicated that the main factors influencing investment in renewable energy in the industry of Yazd Province can be categorized into six priority groups: reliability, social acceptance, human resources, technical aspects, environmental considerations, and economic factors. Based on the evaluation conducted, 15 key components and 41 indicators were introduced within these six dimensions.

JEL Classification: Q2, G11, C58, R11.

Keywords: renewable energies, investment, effective factors, industry sector, Yazd, Best-Worst Method.

1. Corresponding Author

Quarterly
Energy Economics Review

Volume 21, Number 85, Sammer 2025

Proprietor: Institute for International Energy Studies
Responsible in Charge: Ali Vakili (Ph.D)
Editor in Chief: MohammadHossein MahdaviAdeli (PH.D)
Managing Editor: Seyed Jafar Hejazi
Persian Editor: Lila Ghorbani
Art Editor: Saeed Parvar

Editor Board:
- Abbaspour, Majid (Professor, Sharif University)
- Abrishami, Hamid (Professor, University of Tehran)
- Emami Maybodi Ali (Professor of Economics, Allame Tabatabiie University)
- Eslamlouiian Karim (Professor of Economic, Shiraz University)
- Mostafa Salimifar (Professor of Economic, Ferdowsi Mashhad University)
- Ghasemi AbdolRasoul (Associate Professor of Economic, Allame Tabatabiie University)
- KordBache Hamid (Associate Professor of Economic, AlZahra University)
- Ebrahimi Mohsen (Associate Professor of Economic, Kharazmi University)
- Jalali Naiieni S.AhmadReza (Associate Professor of Economic) , (IMPS)
- Emamzadeh, Seyed Abolghasem (Associate Professor, Petroleum Industry University)
- Asadollah Farzinvash (Associate Professor, University of Tehran)
- Heshmatzadeh, Mohammad-bagher (Associate Professor, Shahid Beheshti University)
- Morteza Mohammadi-Ardehali, (Professor, Amirkabir University of Technology)
- Panjeshahi, Mohammad Hassan (Professor, University of Tehran)
-

Consultants:
Mehdi Ahrari (Ph.D), Mehran Amir Moieni (Ph.D), Feraydoun Barkeshly (Ph.D), Morteza Behrouzifar (Ph.D), Hojatollah Ghanimifard (Ph.D), S.Mohammad Ali HajiMirzaiie (Ph.D), Afshin Javaan (Ph.D), Mohammad Sadegh Jokar (Ph.D), Shahla Khaleghi, Mohammad Mazrati (Ph.D), Saieed Moshiri (Ph.D), Mehdi Nouri (Ph.D), Daryoush VafiNajaar (Ph.D)

Referees:
Shahla Khaleghi, Mohsen Ebrahimi (PH.D), Mohamad Hossein Pournik, Saieed Moshiri (PH.D), MohammadHossein MahdaviAdeli (PH.D), Vida Varahrami (PH.D), Mohammad Hassan Fotros (PH.D), Samaneh Abedi (PH.D), Saieed Rasekhi (PH.D), Zohreh Tabatabii-Nasab, Daryoush Vafi (PH.D), Lili Niakan (PH.D), Hojatollah Ghanimifard (PH.D), Mohsen Mehrara (PH.D), Ali EmamiMaybodi (PH.D)

Quarterly
Energy Economics Review

Volume 21, Number 85, Summer 2025

CONTENTS

Identifying and Prioritizing Factors Affecting Investment in Renewable Energy in the Industry of Yazd Province *Afarin Akhavan, Ebrahim Zakeri Zarch*	**1**
Investigating the Relationship Between Energy Transition and Iran's Environmental Indicators Using a Dynamic Model *Amirreza Khalili, Mojtaba Bahmani, Mehdi Nejati*	**2**
Factors Affecting Gasoline Demand in the Rail Transportation Sector (Case Study: Tehran and Khorasan Razavi Provinces) *Farshad karam, Vida Varahrami*	**3**
Modeling Household Electricity Demand in Tehran Province: A Structural Time Series Approach *Mir Hossein Mousavi, Esmaeel Safarzadeh, Farid Dehghani*	**4**
Factors Affecting the Consumption of Renewable Energy (Emphasis on the Income Inequality): Evidence from Developed and Developing Countries (ARDL-PMG Model Approach) *Mehdi MohammadiRaz, Maryam Sharifnezhad, Mohammad Hassan Fotros*	**5**
The Role of Renewable Energies in Achieving Sustainable Energy Security for the Iranian Economy: A System Dynamics Approach *Ali Hossein Ostadzad*	**6**
Impulse Response Analysis of the Long Rum Effects of Oil Revenue and Exchange Rate shocks on Iran's Trade Deficit *Mahbube Al-Sadat Amir Shakrami, Hossein Sharifi Renani, Sara Ghobadi*	**7**
Research of gas injection pattern effect in optimization of recovery coeffient of oil field in the south of Iran *Esmaeel Rajabi, Ghodratollah Emamverdi, Ali Asghar Esmaeel nia, Marjan Daman Keshideh*	**8**

INSTITUTE FOR INTERNATIONAL ENERGY STUDIES
www.iies.org