Journal of Iran Futures Studies

Print ISSN: 6365-2423
Online ISSN: 2676-6183

Futures Studies of Energy Imbalance and Its Implications for Regional Energy Security: A Scenario-Based Approach in Yazd Province

Ali Naderi
MSc., Faculty of Art and Architecture, Department of Urban Planning, Yazd University, Yazd, Iran, alinaderi@stu.yazd.ac.ir
Kamal Khoshnevis
MSc., Faculty of Art and Architecture, Department of Urban Planning, Yazd University, Yazd, Iran, kamalkhoshnevis7799@gmail.com
Mohsen Rafieian*
Department of Urban planning, Faculty of Art and Architecture, Yazd university, Yazd, Iran, mrafian@yazd.ac.ir

Abstract

Objective: Energy security, as one of the pillars of sustainable development, faces serious challenges in Iran due to its heavy dependence on fossil resources, international sanctions, and imbalances in energy supply and demand. This study aims to explore the future of energy imbalance and its implications for energy security to forecast future scenarios and propose strategies that guide Yazd Province toward sustainable energy security and reduced regional disparities.

Method: The research adopts a mixed descriptive-analytical and foresight approach, utilizing data from official reports of the Statistical Center of Iran and provincial documents. Analytical tools such as MATLAB software and linear regression are employed for trend analysis and scenario writing.

Results: Analyzing eight-year trends indicates that Yazd Province faces energy imbalance and an uneven distribution of energy production and consumption. Investment in renewable energy sources and strengthening regional cooperation can enhance energy security and reduce disparities.

Conclusion: Energy imbalance poses a threat to regional security that will intensify without sustainable measures. The development of technology and balanced energy distribution will improve resilience and energy security.

Key Words: Energy Imbalance, Energy Security, Regional Planning, Sustainability, Futures Studies.

Research Article

Cite this article: Naderi, Khoshnevis & Rafieian.(2025) Futures Studies of Energy Imbalance and Its Implications for Regional Energy Security: A Scenario-Based Approach in Yazd Province,Volume 10, NO.1 Spring & Summer 2025,271-290
DOI : 10.30479/jfs.2026.21794.1621
Received on: 14 March 2025 **Accepted on:** 5 January 2026
Copyright© 2025, The Author(s).
Publisher: Imam Khomeini International University
Corresponding AuthorE-mail: Mohsen Rafieian (mrafian@yazd.ac.ir)

فصلنامه آینده پژوهی ایران
شاپای چاپی :۲۴۲۳-۶۳۶۳
شاپای الکترونیکی : ۶۱۸۳-۷۶۲۶

آینده‌پژوهی ناترازی انرژی و پیامدهای آن بر امنیت انرژی منطقه‌ای:رویکردی مبتنی بر سناریونگاری در استان یزد

علی نادری
کارشناس ارشد، گروه شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه یزد، یزد، ایران، alinaderi@stu.yazd.ac.ir
کمال خوشنویس
کارشناس ارشد، گروه شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه یزد، یزد، ایران، kamalkhoshnevis7799@gmail.com
محسن رفیعیان*
گروه شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه یزد، یزد، ایران ،mrafian@yazd.ac.ir

چکیده

هدف: امنیت انرژی به‌عنوان یکی از ارکان توسعه پایدار، در ایران به دلیل وابستگی شدید به منابع فسیلی، تحریم‌های بین‌المللی و ناترازی عرضه و تقاضای انرژی با چالش‌های جدی مواجه است. هدف این پژوهش، آینده‌پژوهی ناترازی انرژی و پیامدهای آن بر امنیت انرژی، برای پیش‌بینی سناریوهای آینده و ارائه پیشنهادهایی که استان یزد را به سمت امنیت انرژی پایدار و کاهش نابرابری‌های منطقه‌ای هدایت کند، است.

روش: روش پژوهش مبتنی بر رویکرد ترکیبی توصیفی-تحلیلی و آینده‌پژوهی است که از داده‌هایی شامل گزارش‌های رسمی مرکزآمار ایران واسناد استانی و ابزارهایی مانند نرم افزار MATLAB و رگرسیون خطی، برای تحلیل روند و سناریونویسی بهره می‌برد.

یافته‌های پژوهش: تحلیل روندهای هشت‌ساله نشان می‌دهد که استان یزد با ناترازی انرژی و توزیع نامتعادل تولید و مصرف مواجه است. سرمایه‌گذاری در منابع تجدیدپذیر و تقویت همکاری‌های منطقه‌ای می‌تواند امنیت انرژی را بهبود بخشد و نابرابری‌ها را کاهش دهد.

نتیجه گیری: ناترازی انرژی تهدیدی برای امنیت منطقه‌ای است که بدون اقدامات پایدار تشدید می‌شود. توسعه فناوری و توزیع متعادل، تاب‌آوری و امنیت انرژی را افزایش می‌دهد.

واژگان کلیدی: ناترازی انرژی، امنیت انرژی، برنامه‌ریزی منطقه‌ای، پایداری، آینده‌پژوهی.

مقاله پژوهشی

*استناد: نادری، خوشنویس و رفیعیان (۱۴۰۴)آینده‌پژوهی ناترازی انرژی و پیامدهای آن بر امنیت انرژی منطقه‌ای:رویکردی مبتنی بر سناریونگاری در استان یزد. دو فصلنامه علمی آینده پژوهی ایران، مقاله پژوهشی، دوره۱۰، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۴، ۲۷۱-۲۹۰.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۲۴ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۱۰/۱۵
ناشر: دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

مقدمه

امنیت انرژی، که به دسترسی پایدار و مقرون‌به‌صرفه به منابع انرژی برای تأمین نیازهای جوامع اشاره دارد، در دهه‌های اخیر به یکی از مهم‌ترین چالش‌های جهانی تبدیل شده است (Lee et al., 2022) این مفهوم، فراتر از عرضه صرف انرژی، شامل ابعاد زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی است که با رشد تقاضا و محدودیت منابع، اهمیت آن دوچندان شده است (Banna et al., 2023a; Doğan et al., 2023). امنیت انرژی به عنوان عرضه یا تقاضای ثابت انرژی با قیمت ارزان انرژی نیز، تعریف می‌شود (Aydin & Azhgaliyeva, 2019). ناترازی انرژی یکی از دغدغه‌های اصلی سیاست انرژی برای امنیت انرژی و رشد اقتصادهای جنوب جهانی است (Tayyab Ayaz et al., 2024). ناترازی انرژی به وضعیتی اشاره دارد که در آن تعادل بین تولید و مصرف انرژی مختل می‌شود، به‌گونه‌ای که تولید قادر به پاسخگویی به تقاضای موجود نیست (He et al., 2022) که می‌تواند ناشی از عواملی مانند رشد سریع تقاضا، محدودیت‌های تولید، ناکارآمدی در توزیع و مصرف و عدم تنوع در منابع انرژی باشد (Dhungana & Bulut, 2021; Müller et al., 2017). ناترازی انرژی، که به‌صورت قطعی برق، کمبود سوخت و نابرابری در دسترسی به منابع در مناطق مختلف بروز می‌کند، نه‌تنها امنیت انرژی را تهدید می‌کند، بلکه پایداری منطقه‌ای را نیز به مخاطره می‌اندازد. در ایران، امنیت انرژی به‌عنوان یکی از ستون‌های توسعه پایدار، تحت تأثیر چالش‌هایی چون وابستگی به منابع فسیلی، تحریم‌های بین‌المللی و ناترازی عرضه و تقاضا قرار دارد. که این ناترازی تهدیدی جدی برای پایداری منطقه‌ای است. در عین حال، تنوع جغرافیایی و اقلیمی ایران، فرصتی بی‌نظیر برای بهره‌برداری از منابع تجدیدپذیر و کاهش این ناترازی فراهم می‌کند. این پژوهش با هدف آینده‌پژوهی ناترازی انرژی و پیامدهای آن بر امنیت انرژی، برای پیش‌بینی سناریوهای آینده، به‌دنبال پاسخ به این پرسش است که در ۱۰ سال آینده، ناترازی انرژی در استان چگونه امنیت انرژی و توسعه پایدار منطقه‌ای را تحت تأثیر قرار خواهد داد؟

چهارچوب نظری و پیشینه پژوهش

امنیت انرژی: مفهوم و ابعاد

تاکنون مطالعات گوناگونی در حوزه امنیت انرژی و بررسی ابعاد و مفاهیم آن صورت گرفته است. در ادامه به برخی از این مطالعات که درچهارچوب موضوعی این پژوهش قرار دارند پرداخته می‌شود. در (Banna et al., 2023b) ، امنیت انرژی به توانایی تأمین پایدار و مقرون‌به‌صرفه انرژی در برابر اختلالات، از جمله نوسانات قیمتی و ریسک‌های ژئوپلیتیک، اشاره دارد. این مفهوم شامل ابعاد کلیدی مانند دسترسی‌پذیری و ثبات عرضه، قابلیت پرداخت با توجه به قیمت‌های انرژی، پایداری از طریق تنوع منابع و مقاومت در برابر تهدیدات خارجی مانند جنگ است. در (Okorie, 2025) ، امنیت انرژی به دسترسی پایدار و مقرون‌به‌صرفه به منابع انرژی برای پشتیبانی از توسعه و رفاه جوامع اشاره دارد. این مفهوم دربرگیرنده ابعاد کلیدی مانند دسترسی‌پذیری به انرژی، قابلیت

پرداخت از طریق کاهش هزینه‌ها، پایداری با بهره‌گیری از منابع تجدیدپذیر و ظرفیت تولید و عرضه برای پاسخگویی به نیازها است. در (Jean et al., 2025) امنیت انرژی، مفهومی چندوجهی است که به معنای تضمین دسترسی بی‌وقفه و مطمئن به منابع انرژی با قیمتی در دسترس تعریف می‌شود. این مفهوم نه‌تنها به وجود فیزیکی انرژی، بلکه به توانایی پرداخت هزینه‌ها، ثبات عرضه، کاهش اثرات زیست‌محیطی و ایستادگی در برابر تهدیدات گوناگون وابسته است. در (Iyke, 2024) ، امنیت انرژی، به‌عنوان سپری در برابر ریسک‌های چندجانبه، از پایداری اقتصادی، ژئوپلیتیکی، زیست‌محیطی و اطمینان عرضه انرژی نشئت می‌گیرد. تغییرات اقلیمی این سپر را شکننده می‌کند، اما سرمایه‌گذاری در انرژی پاک می‌تواند این تهدید را مهار کند. در (Kenneth Ifeanyi Ibekwe et al., 2024)، امنیت انرژی، سنگ‌بنای ثبات در جهانی پرآشوب، به دسترسی مطمئن و مقرون‌به‌صرفه به منابع انرژی وابسته است، در حالی که پایداری زیست‌محیطی و مقاومت در برابر تکانه‌های ژئوپلیتیکی را تضمین می‌کند. در (Strojny et al., 2023)

امنیت انرژی به‌عنوان مفهومی چندبعدی شامل دسترسی، قابلیت تأمین مالی، پذیرش اجتماعی، پاسخگویی، تاب‌آوری و پایداری معرفی شده است. این مطالعه همچنین نشان می‌دهد که مفهوم سنتی امنیت انرژی که بر تأمین منابع فسیلی متمرکز بود، جای خود را به رویکرد سیستمی داده است که در آن امنیت انرژی به‌عنوان عاملی در تحول الگوهای مصرف و تغییرات اقتصادی مورد توجه قرار می‌گیرد. به بیان دیگر امنیت انرژی، فراتر از تأمین صرف، به‌عنوان محرکی برای بازسازی جامعه و اقتصاد، در جهانی در حال تحول تعریف می‌شود که دسترسی پایدار، هزینه‌های قابل تحمل و رقابت‌پذیری اقتصادی را با پایداری پیوند می‌زند. در (Axon & Darton, 2021)، امنیت انرژی، فراتر از تأمین، چتری است که دسترسی بی‌وقفه، هزینه‌های قابل تحمل و آینده‌ای سبز را در بر می‌گیرد و با ریسک‌های چندلایه درهم‌تنیده است. در (Rabbi et al., 2022)، امنیت انرژی شامل ابعادی همچون تنوع منابع انرژی، بهبود بهره‌وری، کاهش اتلاف انرژی و افزایش تولید انرژی‌های تجدیدپذیر معرفی شده است. این مطالعه تأکید دارد که امنیت انرژی و گذار انرژی به سمت منابع کم‌کربن نیازمند سیاست‌هایی برای کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و بهبود تاب‌آوری سیستم‌های انرژی است.

جدول۱. ابعاد و مولفه‌های امنیت انرژی

منبع	ابعاد	مولفه‌ها	تمرکز اصلی
(Banna et al., 2023b)	دسترسی‌پذیری، قابلیت پرداخت، پایداری، مقاومت	دسترسی و ثبات عرضه، قیمت‌های انرژی، تنوع منابع، مقاومت در برابر تهدیدات خارجی (جنگ، ژئوپلیتیک)	مدیریت ریسک و تأمین پایدار
(Okorie, 2025)	دسترسی‌پذیری، قابلیت پرداخت، پایداری، ظرفیت تولید	دسترسی پایدار، کاهش هزینه‌ها، منابع تجدیدپذیر، پاسخگویی به نیازها	توسعه و رفاه اجتماعی
(Jean et al., 2025)	دسترسی‌پذیری، قابلیت پرداخت، ثبات، پایداری، مقاومت	دسترسی بی‌وقفه، هزینه‌های قابل تحمل، ثبات عرضه، کاهش اثرات زیست‌محیطی، ایستادگی در برابر تهدیدات	رویکرد چندوجهی و زیست‌محیطی
(Iyke, 2024)	پایداری اقتصادی، ژئوپلیتیکی، زیست‌محیطی، اطمینان عرضه	پایداری اقتصادی، مقاومت ژئوپلیتیکی، پایداری زیست‌محیطی، سرمایه‌گذاری در انرژی پاک	کاهش شکنندگی اقلیمی
(Kenneth Ifeanyi Ibekwe et al., 2024)	دسترسی‌پذیری، قابلیت پرداخت، پایداری، مقاومت ژئوپلیتیکی	دسترسی مطمئن، هزینه‌های مقرون‌به‌صرفه، پایداری زیست‌محیطی، مقاومت در برابر تکانه‌ها	ثبات در شرایط آشوب‌زده
(Strojny et al., 2023)	دسترسی، قابلیت تأمین مالی، پذیرش اجتماعی، پاسخگویی، تاب‌آوری، پایداری	دسترسی پایدار، هزینه‌های قابل تحمل، پذیرش اجتماعی، تاب‌آوری، تحول الگوهای مصرف	تحول سیستمی و اجتماعی، جایگزینی مفهوم سنتی با رویکرد سیستماتیک
(Axon & Darton, 2021)	دسترسی‌پذیری، قابلیت پرداخت، پایداری زیست‌محیطی	دسترسی بی‌وقفه، هزینه‌های قابل تحمل، آینده سبز، مدیریت ریسک‌های چندلایه	چتر محافظتی و آینده‌نگری، به‌عنوان ابزاری برای ایجاد آینده‌ای پایدار
(Rabbi et al., 2022)	تنوع، بهره‌وری، کاهش اتلاف، پایداری	تنوع منابع، بهبود بهره‌وری، کاهش اتلاف، تولید تجدیدپذیر، تاب‌آوری سیستم‌ها	گذار انرژی و کاهش وابستگی فسیلی

بر اساس مطالعات انجام‌شده و جدول۱، امنیت انرژی به‌عنوان مفهومی چندبعدی و پویا تعریف می‌شود که از پایداری عرضه، دسترسی‌پذیری، قابلیت پرداخت، مقاومت در برابر ریسک‌ها و بهره‌گیری از منابع متنوع و کارآمد نشئت می‌گیرد. این مطالعات (جدول1) نشان می‌دهند که امنیت انرژی نه‌تنها به تأمین فیزیکی انرژی وابسته است، بلکه شامل جنبه‌های اقتصادی (کاهش هزینه‌ها و قیمت‌های مقرون‌به‌صرفه)، زیست‌محیطی (پایداری و کاهش اثرات منفی) و اجتماعی (پاسخگویی به نیازها و تحول الگوهای مصرف) نیز می‌شود. مؤلفه‌هایی مانند دسترسی بی‌وقفه، ثبات عرضه، تنوع منابع و تاب‌آوری در برابر تهدیدات ژئوپلیتیکی و اقلیمی، هسته مشترک این تعاریف را تشکیل می‌دهند، در حالی که برخی مطالعات بر تحول سیستمی و گذار به انرژی پاک تأکید دارند. ارتباط مبانی‌نظری پژوهش با موضوع مقاله حاضر، در اینجاست که ناترازی انرژی در یزد – از جمله قطعی برق، کمبود سوخت فصلی و وابستگی شدید به منابع فسیلی–مستقیماً به ضعف در ابعاد دسترسی‌پذیری، ثبات عرضه و پایداری زیست‌محیطی اشاره‌شده در جدول ربط دارد. برای مثال، نوسانات عرضه و زیرساخت‌های ناکافی (مطرح در (Banna et al., 2023b) و (Jean et al., 2025)) مصداق بارز ناترازی در یزد است، در حالی که عدم تنوع منابع و اتلاف انرژی (مطرح در (Rabbi et al., 2022)) پایداری بلندمدت را تهدید می‌کند. از سوی دیگر، مؤلفه‌هایی مانند

سرمایه‌گذاری در انرژی پاک (Iyke, 2024) و بهبود بهره‌وری (Rabbi et al., 2022) راهکارهایی عملی برای کاهش ناترازی و تقویت پایداری منطقه‌ای ارائه می‌دهند. این چارچوب مفهومی، با تکیه بر تحلیل روندها، می‌تواند به سیاست‌گذاری در استان یزد کمک کند تا با تقویت دسترسی منطقه‌ای، کاهش هزینه‌ها و افزایش تاب‌آوری، تعادل بین عرضه و تقاضا را بهبود بخشد و توسعه پایدار را در سطح محلی و ملی تضمین کند.

ناترازی انرژی: تهدیدی برای امنیت و پایداری

ناترازی انرژی به وضعیتی اطلاق می‌شود که در آن تقاضای انرژی از عرضه فراتر رود یا وابستگی به منابع محدود و غیرقابل‌اتکا افزایش یابد (International Energy Agency, 2023). این ناترازی می‌تواند به دلیل کمبود منابع، وابستگی به واردات، ضعف در زیرساخت‌های توزیع، یا عدم توسعه فناوری‌های پایدار ایجاد شود و امنیت انرژی و پایداری زیست‌محیطی را به خطر بیندازد (Narula, 2019). ناترازی انرژی می‌تواند تهدیدی جدی برای امنیت انرژی و توسعه پایدار باشد (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2022). برخی از پیامدهای اصلی این ناترازی شامل موارد زیر است:

۱. افزایش آسیب‌پذیری اقتصادی و اجتماعی: کشورهای وابسته به واردات انرژی با خطرات ناشی از نوسانات قیمت و محدودیت‌های تجاری مواجه هستند. این امر بر اقتصاد ملی، رشد صنعتی و رفاه عمومی تأثیر منفی دارد (Farah, 2020). ۲. تشدید بحران‌های زیست‌محیطی: استفاده بیش‌ازحد از منابع فسیلی به دلیل ناترازی عرضه و تقاضا باعث افزایش آلودگی هوا، تغییرات اقلیمی و کاهش منابع طبیعی می‌شود. توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر یکی از راهکارهای کلیدی برای کاهش این تأثیرات است (Hafezi & Alipour, 2020). ۳. ضعف در توسعه پایدار: ناترازی انرژی می‌تواند منجر به عدم دسترسی کافی به انرژی در مناطق محروم شود و روند توسعه پایدار را مختل کند. این موضوع به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه که منابع محدودی دارند، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (Allaeva, 2023). راهکارهای کاهش ناترازی انرژی شامل بهینه‌سازی مصرف، توسعه فناوری‌های نوین تولید و ذخیره‌سازی انرژی، افزایش بهره‌وری انرژی و سرمایه‌گذاری در منابع تجدیدپذیر است. برای رسیدن به امنیت انرژی و پایداری، لازم است سیاست‌های انرژی به سمت توسعه پایدار و کاهش وابستگی به منابع ناپایدار سوق داده شود (Gitelman et al., 2023). ناترازی انرژی زمانی رخ می‌دهد که تقاضای انرژی از عرضه پیشی بگیرد یا منابع انرژی قابل اتکا کاهش یابند (European Commission, 2023; Gilgen & Ohmura, 1999). این ناترازی می‌تواند منجر به بحران‌های اقتصادی، بی‌ثباتی ژئوپلیتیکی و آسیب‌های زیست‌محیطی شود(Bui & Tseng, 2021a). بسیاری از کشورها با چالش‌هایی همچون وابستگی به منابع انرژی محدود، ناکارآمدی زیرساخت‌ها و عدم تطبیق سیاست‌های انرژی با نیازهای آینده مواجه هستند. برای کاهش اثرات ناترازی انرژی، رویکردهای متعددی پیشنهاد شده است. از جمله این راهکارها می‌توان به توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، سرمایه‌گذاری در

زیرساخت‌های انرژی و بهینه‌سازی مصرف انرژی اشاره کرد (Mikkola et al., 2017) کشورهایی که سیاست‌های انرژی خود را بر اساس پایداری و امنیت انرژی طراحی کرده‌اند، نه‌تنها توانسته‌اند وابستگی خود را به منابع محدود کاهش دهند، بلکه مسیر توسعه اقتصادی پایدار را نیز هموار کرده‌اند (Shen et al., 2013). همچنین، کمبود سرمایه‌گذاری در توسعه زیرساخت‌های انرژی، عدم تعادل بین تولید و توزیع انرژی را تشدید کرده و منجر به افزایش قطعی‌های مکرر برق در برخی مناطق می‌شود (Hu et al., 2012). علاوه بر این، توسعه ناکافی فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی یکی دیگر از عوامل ناترازی در تأمین پایدار انرژی محسوب می‌شود (Bui & Tseng, 2021b). علاوه بر این، توسعه همکاری‌های منطقه‌ای و تجارت انرژی بین کشورها می‌تواند به کاهش عدم تعادل در عرضه و تقاضای انرژی کمک کند. تحقیقات نشان داده‌اند که همکاری‌های فرامرزی در حوزه تبادل انرژی و انتقال فناوری‌های نوین می‌تواند نقشی کلیدی در افزایش پایداری انرژی ایفا کند (Leal-Arcas, 2019). در نتیجه، مدیریت ناترازی انرژی نیازمند یک رویکرد چندجانبه است که شامل تدوین سیاست‌های پایدار، افزایش سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین انرژی و تقویت همکاری‌های بین‌المللی برای کاهش وابستگی به منابع انرژی محدود می‌شود.

جدول۲. ابعاد و مولفه‌های ناترازی انرژی

منبع	ابعاد	مولفه‌ها	تمرکز اصلی
(Narula, 2019) (Bui & Tseng, 2021a)	پایداری محیط‌زیست	ضعف زیرساخت‌ها، استفاده از منابع فسیلی، آلودگی هوا و تغییرات اقلیمی، بی‌ثباتی ژئوپلیتیکی	کاهش اثرات زیست‌محیطی ناترازی
(Farah, 2020) (Allaeva, 2023)	توسعه اقتصادی و اجتماعی	آسیب‌پذیری اقتصادی، عدم دسترسی مناطق محروم، تأثیر بر رفاه عمومی	ارتباط ناترازی با رشد اقتصادی و عدالت اجتماعی
(Gitelman et al., 2023) (Mikkola et al., 2017)	فناوری و نوآوری	توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، بهینه‌سازی مصرف، فناوری‌های ذخیره‌سازی	نقش فناوری در کاهش ناترازی و ارتقای پایداری
(Shen et al., 2013) (Hu et al., 2012)	زیرساخت‌ها و سیاست‌گذاری	کمبود سرمایه‌گذاری، ناکارآمدی توزیع، سیاست‌های پایدار	اهمیت زیرساخت و سیاست در مدیریت انرژی
(Bui & Tseng, 2021b)	مدیریت منابع انرژی	عدم تعادل تولید و توزیع، توسعه ناکافی فناوری ذخیره‌سازی	تأمین پایدار انرژی از طریق مدیریت منابع
(Leal-Arcas, 2019)	همکاری‌های منطقه‌ای	تجارت انرژی، انتقال فناوری، کاهش عدم تعادل عرضه و تقاضا	تقویت پایداری از طریق همکاری‌های بین‌المللی

پایداری منطقه‌ای: پیوند با توسعه پایدار

پایداری منطقه‌ای را می‌توان به عنوان فرآیندی تعریف کرد که به توسعه اقتصادی و اجتماعی مناطق مختلف کشور به گونه‌ای کمک می‌کند که منابع طبیعی حفظ شده و نابرابری‌های منطقه‌ای کاهش یابد (Tóthné & Nándori, 2010). پایداری منطقه‌ای مفهومی است که به توسعه متوازن و هماهنگ در سطح مناطق مختلف یک کشور اشاره دارد، به‌گونه‌ای که جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به صورت همزمان مورد توجه قرار گیرند (Heisler, 2014). این مفهوم ارتباط تنگاتنگی با توسعه پایدار دارد، چراکه بدون پایداری در سطح منطقه‌ای، تحقق اهداف توسعه پایدار در سطح کلان امکان‌پذیر نخواهد بود (Serebrova, 2023). پایداری منطقه‌ای شامل ابعاد مختلفی از جمله عدالت اجتماعی، استفاده کارآمد از منابع، حفظ محیط‌زیست و توسعه اقتصادی متوازن

است (Johnson, 2015). مطالعات نشان می‌دهند که یکی از چالش‌های اصلی در این حوزه، عدم تعادل در توزیع منابع و امکانات میان مناطق مختلف است که می‌تواند منجر به تشدید نابرابری‌ها شود (Veckalne & Tambovceva, 2022). همچنین، در برخی مناطق، عدم دسترسی به زیرساخت‌های مناسب و ضعف در مدیریت منابع، منجر به بهره‌برداری ناپایدار از منابع طبیعی و افزایش فشارهای زیست‌محیطی شده است (Panchenko et al., 2021). اتخاذ سیاست‌های مبتنی بر توسعه پایدار، مانند تشویق سرمایه‌گذاری‌های سبز و بهینه‌سازی مصرف منابع، می‌تواند نقش کلیدی در بهبود پایداری منطقه‌ای ایفا کند (Porrini & Striani, 2017). علاوه بر این، همکاری‌های منطقه‌ای و بین‌المللی می‌توانند نقش بسزایی در ایجاد تعادل میان توسعه اقتصادی و حفاظت از محیط‌زیست ایفا کنند (Siegel, 2016). برنامه‌ریزی منطقه‌ای می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد برای تقویت همگرایی بین سیاست‌های توسعه‌ای و زیست‌محیطی عمل کند و موجب افزایش پایداری در مقیاس کلان شود. در مجموع، تحقق پایداری منطقه‌ای نیازمند سیاست‌گذاری هوشمندانه، همکاری‌های بین‌بخشی و استفاده بهینه از منابع طبیعی و انسانی است که می‌تواند به تحقق توسعه پایدار در سطح ملی و بین‌المللی کمک کند.

تحلیل ناترازی انرژی و اثرات آن بر استان یزد نشان می‌دهد که ابعاد پایداری و عدالت منطقه‌ای نه تنها در شناسایی نابرابری‌های دسترسی و بهره‌وری منابع لحاظ شده‌اند، بلکه با نظریه‌های فضایی و منطقه‌ای پیوند داده شده‌اند. برای مثال، بازتوزیع منابع انرژی و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، بر اساس اصول توسعه متوازن و عدالت منطقه‌ای طراحی شده است تا مناطقی با کسری انرژی بتوانند به توسعه پایدار دست یابند. این رویکرد با چارچوب مفهومی آمایش سرزمین و تحلیل فضایی همسو است و نشان می‌دهد چگونه سیاست‌گذاری هوشمندانه می‌تواند نابرابری‌های منطقه‌ای را کاهش داده و پایداری بلندمدت را تضمین کند.

مطالعات جهانی اخیر

یافته‌های اخیر در حوزه ناترازی انرژی و امنیت انرژی منطقه‌ای، بر اهمیت انرژی‌های تجدیدپذیر و ضرورت سیاست‌های هماهنگ و نوآوری‌های فناورانه تأکید دارند. پژوهش (Reiljan, 2014) نقش حیاتی انرژی‌های تجدیدپذیر در دستیابی به آینده‌ای کم‌کربن را برجسته کرده و بر لزوم اقدام مشترک میان دانشگاه، صنعت و سیاست‌گذاران برای پیشبرد سیستم‌های انرژی یکپارچه و راهکارهای ذخیره‌سازی حرارتی تأکید می‌کنند. همچنین آن‌ها به اثربخشی سیاست‌های انرژی در زمینه‌های ملی مختلف در ترویج پایداری زیست‌محیطی و پرداختن به رابطه چندبعدی تغییر اقلیم و امنیت انرژی پرداخته‌اند. از نظر تحولات منطقه‌ای مشخص، (Widodo & Riwanto, 2023) با بهره‌گیری از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (Principal Component Analysis) و رگرسیون داده‌های پانل با روش Feasible Generalized Least Square، اثر امنیت انرژی بر رشد اقتصادی آسه‌آن (ASEAN) را تحلیل کرده‌اند و اثرات مثبت ابعاد مختلف امنیت انرژی ـ به جز بُعد کارایی ـ را شناسایی نموده‌اند. آن‌ها همچنین بر ضرورت تمرکز دولت‌های منطقه بر تنوع‌بخشی انرژی و

افزایش تولید انرژی‌های تجدیدپذیر تأکید کرده‌اند. علاوه بر این، (Koravos, 2024) همکاری راهبردی میان استرالیا و ژاپن در تأمین گاز طبیعی مایع و توسعه فناوری‌های هیدروژنی را بررسی می‌کند؛ همکاری‌ای که برای تضمین امنیت انرژی و پایداری در منطقه هند ـ اقیانوس آرام حیاتی است. این همکاری بخشی از راهبرد گسترده‌تر ژاپن در قالب «طرح جدید برای یک هند ـ اقیانوس آرام آزاد و باز[1]» است که با هدف تنوع‌بخشی به منابع انرژی و کربن‌زدایی از زنجیره تأمین تدوین شده است. این نمونه‌ها تلاش‌ها و ابتکارات راهبردی جاری را برای مقابله با ناترازی انرژی و ارتقای امنیت انرژی منطقه‌ای از طریق راه‌حل‌های پایدار و نوآورانه نشان می‌دهند.

عوامل کلیدی و عدم قطعیت‌های آینده

عدم‌قطعیت‌ها متغیرهای نامشخصی هستند که مسیر آینده را تحت تأثیر قرار می‌دهند، در حالی که عوامل کلیدی، عناصر اصلی امنیت انرژی و ناترازی محسوب می‌شوند. اقلیم و جغرافیای یزد، پتانسیل استفاده از انرژی خورشیدی را فراهم می‌کند، اما وابستگی به سوخت‌های فسیلی و ضعف زیرساخت‌ها پایداری عرضه را تهدید می‌کند. سیاست‌های انرژی دولت و میزان سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین، در کاهش ناترازی نقش دارند. تحریم‌های بین‌المللی می‌توانند دسترسی به منابع را محدود یا فرصت همکاری‌های منطقه‌ای را فراهم کنند. تغییرات تقاضای انرژی، رشد صنعتی و توسعه فناوری‌های ذخیره‌سازی نیز آینده امنیت انرژی را شکل می‌دهند. این عوامل مبنای تحلیل سناریوهای آینده هستند و در جدول ۳ ارائه شده‌اند.

جدول۳. عوامل کلیدی و عدم‌قطعیت‌های آینده

عنوان	شرح	نوع	منبع در مقاله
تنوع اقلیمی و جغرافیایی	پتانسیل بالای استان برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر	عامل کلیدی	چکیده، مقدمه
وابستگی به منابع فسیلی	اتکای شدید به سوخت‌های فسیلی که عرضه پایدار را شکننده می‌کند	عامل کلیدی	چکیده، مقدمه، ناترازی انرژی
سیاست‌های انرژی دولت	میزان سرمایه‌گذاری در تجدیدپذیرها، بهینه‌سازی مصرف، و توسعه زیرساخت‌ها	عامل کلیدی	ناترازی انرژی، پایداری منطقه‌ای
زیرساخت‌های توزیع	ضعف یا توسعه زیرساخت‌ها که بر تعادل تولید و مصرف تأثیر می‌گذارد	عامل کلیدی	ناترازی انرژی، ادبیات پژوهش
تحریم‌های بین‌المللی	شدت تحریم‌ها (شدید یا خفیف) که دسترسی به منابع، فناوری و همکاری‌های منطقه‌ای را تغییر می‌دهد	عدم‌قطعیت	چکیده، مقدمه
تقاضای انرژی	افزایش یا کاهش تقاضا به دلیل رشد جمعیت، صنعتی‌شدن یا تغییر الگوهای مصرف	عدم‌قطعیت	ناترازی انرژی، ادبیات پژوهش
توسعه فناوری	سرعت پیشرفت فناوری‌های ذخیره‌سازی و تجدیدپذیرها که بر پایداری انرژی اثر دارد	عدم‌قطعیت	ناترازی انرژی، ادبیات پژوهش
همکاری‌های منطقه‌ای	سطح همکاری با کشورهای همسایه در تجارت انرژی و انتقال فناوری که ناترازی را کاهش می‌دهد	عدم‌قطعیت	ناترازی انرژی، پایداری منطقه‌ای

در مجموع، عوامل کلیدی مانند تنوع اقلیمی، وابستگی به فسیلی، سیاست‌های انرژی و زیرساخت‌ها، پایه‌های اصلی امنیت انرژی ایران و در پی آن، استان یزد را تشکیل می‌دهند.

1.New Plan for a Free and Open Indo-Pacific

عدم‌قطعیت‌هایی چون تحریم‌ها، تقاضای انرژی، توسعه فناوری و همکاری‌های منطقه‌ای، آینده ناترازی را نامشخص می‌کنند. این عوامل و عدم‌قطعیت‌ها مبنای تحلیل سناریوهای آینده هستند. هدف، تدوین استراتژی‌هایی برای پایداری منطقه‌ای و کاهش نابرابری‌هاست.

روش پژوهش

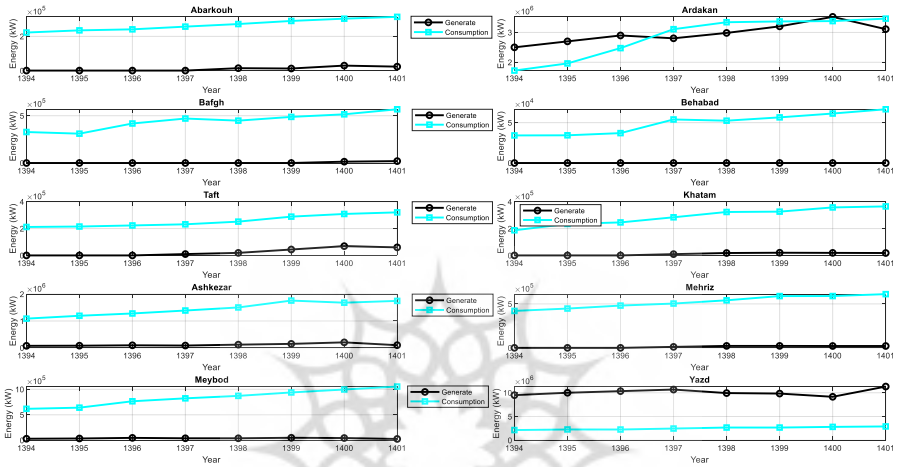
این مطالعه با رویکرد ترکیبی توصیفی-تحلیلی و آینده‌پژوهی، به بررسی ناترازی انرژی در یزد، پیش‌بینی آینده‌های محتمل و تدوین راهبردهای پایداری می‌پردازد. تحلیل ناترازی در سطح شهرستانی انجام شده و داده‌های مورد نیاز از منابعی شامل گزارش‌های رسمی وزارت نیرو، مرکز آمار ایران-سالنامه‌های آماری، طرح‌های توسعه استانی، مطالعات علمی پیشین و گزارش‌های بین‌المللی مرتبط با امنیت انرژی گردآوری شده‌اند. برای جبران کمبود داده‌های تولید انرژی (۱۳۹۴-۱۳۹۵)، از روش‌های تخمین روند استفاده شده است. ابزارهای پژوهش شامل نرم افزار MATLAB برای تحلیل روندهای تاریخی و پیش‌بینی با استفاده از روش رگرسیون خطی، جداول و نمودارها برای مقایسه منطقه‌ای، و روش ماتریس ۲×۲ برای تدوین سناریوهای آینده است. تمرکز اصلی مطالعه بر مناطقی با ناترازی شدید یا ظرفیت‌های بلااستفاده منابع فسیلی و تجدیدپذیر است.

یافته‌ها و نتایج

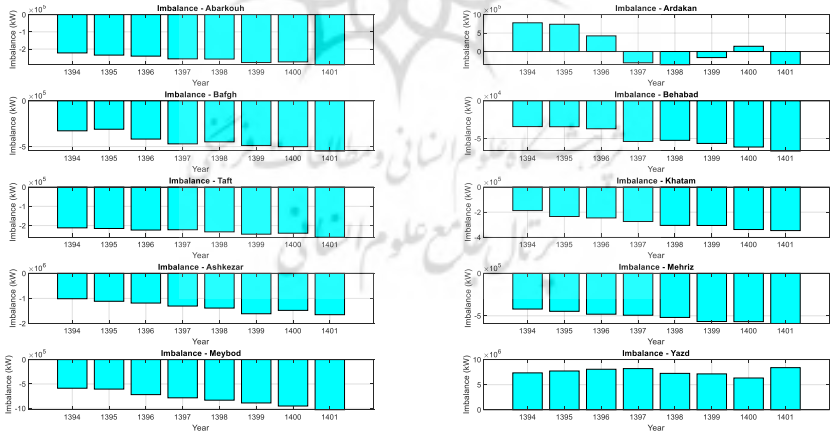
وضعیت ناترازی انرژی در استان یزد در هشت سال گذشته

نمودارهای مقایسه تولید و مصرف انرژی در شهرستان‌های استان یزد(شکل۱) طی بازه زمانی ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۱، تنوع قابل‌توجهی در الگوهای منطقه‌ای را آشکار می‌سازد. در این دوره، شهرستان یزد با تولید اولیه ۹/۵ میلیون واحد در سال ۱۳۹۴ و افزایش آن به ۱۱/۳ میلیون واحد در سال ۱۴۰۱، به‌عنوان قطب اصلی تولید انرژی در استان شناخته می‌شود، که رشدی متوسط سالانه حدود ۲/۵٪ را نشان می‌دهد. این رشد عمدتاً به دلیل بهره‌وری از منابع فسیلی و پروژه‌های مقطعی بوده است. شهرستان اردکان نیز با تولید ۲/۵ میلیون واحد در سال ۱۳۹۴ و رسیدن به ۳/۱۱ میلیون واحد در سال ۱۴۰۱، با نرخ رشد سالانه حدود۳٪، دومین تولیدکننده مهم است. در مقابل، شهرستان‌هایی مانند بهاباد و بافق در کل دوره، تولید قابل‌توجهی نداشته‌اند (صفر یا نزدیک به صفر)، که نشان‌دهنده عدم توسعه زیرساخت‌های تولید در این مناطق و وابستگی کامل آن‌ها به انتقال انرژی از مناطق دیگر است. از سوی دیگر، مصرف انرژی در همه شهرستان‌ها روندی صعودی داشته است. برای مثال، مصرف در یزد از ۲/۱۵ میلیون واحد در سال ۱۳۹۴ به ۲/۹۱ میلیون واحد در سال ۱۴۰۱ افزایش یافته (رشد سالانه حدود ۴٪)، که با رشد جمعیت و فعالیت‌های صنعتی مرتبط است. در اردکان، مصرف از ۱/۷۲ میلیون واحد به ۳/۴۶ میلیون واحد رسیده (رشد سالانه حدود ۱۰٪)، که نشان‌دهنده فشار شدید تقاضا به دلیل توسعه صنعتی است. شهرستان‌هایی مانند تفت و خاتم نیز مصرفی در محدوده ۲۰۰،۰۰۰ تا ۳۰۰،۰۰۰ واحد داشته‌اند که

با رشد تدریجی همراه بوده است. با این حال، در شهرستان اشکذر، تولید از ۷۵،۰۰۰ واحد در سال ۱۳۹۴ به ۲۰۴،۰۰۰ واحد در سال ۱۴۰۰ جهش یافته (رشد بیش از ۱۷۰٪ در برخی سال‌ها)، که احتمالاً به دلیل راه‌اندازی پروژه‌های تجدیدپذیر است، اما این رشد در سال ۱۴۰۱ با کاهش به ۹۹،۰۰۰ واحد همراه شده، که ممکن است به مشکلات نگهداری یا کاهش سرمایه‌گذاری اشاره کند. این نمودارها ناترازی منطقه‌ای را برجسته می‌کنند؛ مناطق تولیدکننده مانند یزد و اردکان با مازاد انرژی مواجه‌اند، در حالی که مناطق کم‌تولید مانند بهاباد با کمبود روبه‌رو هستند، که لزوم برنامه‌ریزی منطقه‌ای برای توزیع عادلانه منابع را نشان می‌دهد.



شکل.۱. نمودارهای مقایسه تولید و مصرف انرژی به تفکیک شهرستان در بازه هشت ساله استان یزد



شکل.۲. نمودارهای ناترازی انرژی به تفکیک شهرستان در بازه هشت ساله استان یزد

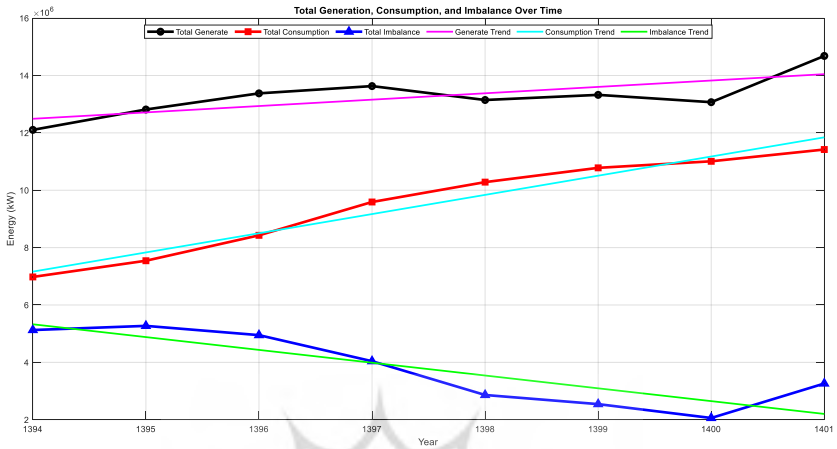
شکل۲ ناترازی انرژی به تفکیک شهرستان در بازه هشت ساله استان یزد را نشان می‌دهد. نمودارهای ناترازی انرژی در شهرستان‌های استان یزد طی دوره ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۱، وضعیت تعادل عرضه و تقاضا را در سطح منطقه‌ای به‌صورت دقیق و متفاوتی برای هر شهرستان آشکار می‌سازد. ناترازی انرژی، که به‌عنوان شاخص کلیدی امنیت انرژی و پایداری منطقه‌ای عمل می‌کند، در این

دوره نوسانات قابل‌توجهی را نشان می‌دهد که به عوامل مختلفی از جمله توسعه زیرساخت‌ها، الگوهای مصرف و پتانسیل‌های محلی وابسته است. ناترازی انرژی در استان یزد طی این دوره، الگویی از نابرابری شدید منطقه‌ای را نشان می‌دهد. یزد با مازاد قابل‌توجه (تا ۸/۴ میلیون واحد در سال ۱۴۰۱) به‌عنوان تأمین‌کننده اصلی عمل می‌کند، که امنیت انرژی منطقه را تقویت می‌کند. در مقابل، شهرستان‌هایی مانند اشکذر (۱/۶۵- میلیون واحد)، میبد (۱/۰۳- میلیون واحد) و بافق (۵۴۸،۱۲۲- واحد) با کسری‌های عمیق مواجه‌اند، که نشان‌دهنده وابستگی شدید به انتقال انرژی و ضعف تولید محلی است. کاهش نسبی کسری در اردکان (از ۷۷۸،۲۸۱ به ۳۵۲،۴۱۰-) و افزایش کسری در مناطق دیگر (مثل اشکذر) نشان‌دهنده ناپایداری سیستم است. رگرسیون خطی پیش‌بینی می‌کند که ناترازی مثبت یزد تا ۱۴۱۱ به حدود ۱۰ میلیون واحد برسد، در حالی که کسری مناطق دیگر ممکن است با رشد ۵-۱۰٪ سالانه تشدید شود، مگر اینکه سرمایه‌گذاری در تجدیدپذیرها (مثل خورشیدی) و بهینه‌سازی مصرف انجام گیرد. این ناترازی، امنیت انرژی را در مناطق وابسته تهدید می‌کند و پایداری منطقه‌ای را با چالش نابرابری و فشار زیست‌محیطی (وابستگی به فسیلی) مواجه می‌سازد، که نیازمند برنامه‌ریزی فضایی و توسعه متوازن است.

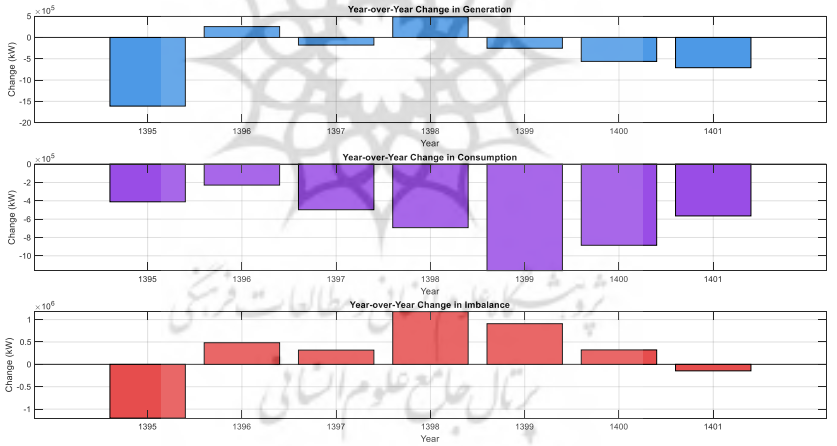
روندها و نشانه‌های کلیدی

شکل ۴، نشان می‌دهد که در هر سال، تغییرات در تولید، مصرف و ناترازی چقدر بوده است. مقادیر مثبت نشان‌دهنده افزایش و مقادیر منفی نشان‌دهنده کاهش هستند. شکل۳، نمودار روند تولید، مصرف و ناترازی انرژی، همچنین تولید، مصرف و ناترازی کل در استان یزد از ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۱ را نشان می‌دهد. نمودارهای تولید از ۱۲/۱میلیون واحد در ۱۳۹۴ با نوساناتی به ۱۴/۶ میلیون واحد در ۱۴۰۱ رسیده (رشد سالانه حدود ۲٪/۶۲)، با جهش در ۱۳۹۷ (۱۳/۶ میلیون) و افت در ۱۴۰۰ (۱۳/۰۷ میلیون)، که نشان‌دهنده ناپایداری تولید است. مصرف از ۶/۹ میلیون واحد در ۱۳۹۴ به ۱۱/۴ میلیون واحد در ۱۴۰۱ افزایش یافته (رشد سالانه ۶/۴۷٪)، با رشد سریع از ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹، فشار تقاضای صنعتی و جمعیتی را منعکس می‌کند. ناترازی از ۵/۱ میلیون واحد در ۱۳۹۴ به ۳/۲ میلیون واحد در ۱۴۰۱ کاهش یافته (کاهش سالانه ۴/۴۳٪)، با اوج ۵/۲ میلیون در ۱۳۹۵، که نشان‌دهنده کاهش ناترازی به دلیل رشد نیروگاه‌های تجدیدپذیر است. به طور کلی خطوط رگرسیون خطی در شکل۳ که بارنگ‌های بنفش برای روند مصرف، فیروزه‌ای برای روند تولید و سبز برای روند ناترازی انرژی نشان داده شده‌اند، به ترتیب نمایانگر روند افزایشی تولید و مصرف در سال‌های گذشته و همچنین روند کاهشی برای ناترازی انرژی برای کل استان هستند. که نشان دهنده سرمایه‌گذاری استان در توسعه نیروگاه‌های تجدیدپذیر است. با این حال ناترازی به تفکیک هر شهرستان همچنان به قوت خود باقی است و نیازمند مدیریت ناحیه‌ای و بهینه‌سازی مصرف می‌باشد. این روندها، امنیت انرژی استان را با ناترازی مثبت فعلی (به‌ویژه مازاد یزد با ۸/۴ میلیون واحد) تقویت می‌کنند، اما کاهش ناترازی و وابستگی مناطق کم‌تولید شکنندگی سیستم را نشان می‌دهد. نوسانات تولید و مصرف، تأثیر عوامل خارجی (مانند تحریم‌ها) و داخلی (مدیریت

ناکارآمد) را برجسته می‌کند، که پایداری منطقه‌ای را با نابرابری دسترسی تهدید می‌کند. برای کاهش ناترازی، سرمایه‌گذاری در تجدیدپذیرها و بهینه‌سازی مصرف ضروری است. برنامه‌ریزی فضایی برای توزیع عادلانه منابع و توسعه متوازن، امنیت انرژی و پایداری منطقه‌ای را تا ۱۴۱۱ و فراتر از آن تضمین خواهد کرد.



شکل.۳. روندهای کلی مصرف، تولید و ناترازی انرژی



شکل.۴. تغییرات سال به سال مصرف، تولید و ناترازی انرژی

تحلیل روندهای کلی تولید، مصرف و ناترازی انرژی در استان یزد از سال ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۱ با استفاده از رگرسیون خطی، مبنایی برای پیش‌بینی این متغیرها تا افق ۱۴۱۱ فراهم کرده است. تولید انرژی که از ۱۲/۱ میلیون واحد در سال ۱۳۹۴ به ۱۴/۶ میلیون واحد در سال ۱۴۰۱ رسیده (رشد سالانه ۲/۶۲٪)، با ادامه این روند تا سال ۱۴۱۱ به حدود ۱۸/۹۱ میلیون واحد خواهد رسید، که نشان‌دهنده افزایش کلی ۲۹/۵٪ طی ۱۰ سال آینده است. در مقابل، مصرف انرژی با رشد سریع‌تر (۶/۴۷٪ سالانه) از ۶/۹ میلیون واحد در سال ۱۳۹۴ به ۱۱/۴ میلیون واحد در سال ۱۴۰۱ رسیده

و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۱۴۱۱ به ۲۱/۳۲ میلیون واحد افزایش یابد (رشد کلی ۸۷٪)، که فشار تقاضای صنعتی و جمعیتی را منعکس می‌کند. ناترازی انرژی نیز که از ۵/۱ میلیون واحد در سال ۱۳۹۴ به ۳/۲ میلیون واحد در سال ۱۴۰۱ کاهش یافته (کاهش سالانه ۴/۴۳٪)، با ادامه این روند تا سال ۱۴۱۱ به حدود ۲/۰۳ میلیون واحد خواهد رسید (کاهش کلی ۳۶/۵٪)، اما محاسبه مستقیم تفاضل تولید و مصرف (۱۸/۹۱ – ۲۱/۳۲) ناترازی منفی ۲/۴ میلیون واحد را نشان می‌دهد، که زنگ خطری برای کسری انرژی در آینده است. این پیش‌بینی‌ها، با وجود تقویت امنیت انرژی در حال حاضر به دلیل ناترازی مثبت (به‌ویژه مازاد یزد با ۸/۴ میلیون واحد)، شکنندگی سیستم را در برابر رشد سریع مصرف و نابرابری منطقه‌ای نشان می‌دهند و ضرورت سرمایه‌گذاری در منابع تجدیدپذیر، بهینه‌سازی مصرف و برنامه‌ریزی فضایی برای توزیع عادلانه منابع را تا افق ۱۴۱۱ و فراتر از آن برجسته می‌کنند.

سناریوهای آینده امنیت انرژی

سناریونویسی به‌عنوان ابزاری در آینده‌پژوهی، امکان بررسی مسیرهای محتمل ناترازی انرژی در استان یزد تا افق ۱۴۱۱ را فراهم می‌کند. این بخش با استفاده از تحلیل روندهای گذشته (مانند افزایش تولید از ۱۲/۱ میلیون واحد در ۱۳۹۴ به ۱۴/۶ میلیون واحد در ۱۴۰۱ با رشد سالانه ۲/۶۲٪ و مصرف از ۶/۹ میلیون واحد به ۱۱/۴ میلیون واحد با رشد سالانه ۶/۴۷٪) و عدم‌قطعیت‌های کلیدی از جدول ۳، چهار سناریوی آینده را با روش ماتریس ۲×۲ تدوین می‌کند. دو متغیر اصلی عدم‌قطعیت شامل شدت تحریم‌های بین‌المللی (خفیف در صورت کاهش محدودیت‌ها و افزایش همکاری‌ها در مقابل شدید در صورت تداوم یا تشدید تحریم‌ها) و سرعت توسعه فناوری‌های انرژی (کند با سرمایه‌گذاری محدود در تجدیدپذیرها و ذخیره‌سازی در مقابل سریع با رشد فناوری‌های پاک و بهینه‌سازی) انتخاب شده‌اند. این سناریوها بر اساس پیش‌بینی‌های رگرسیون خطی (تولید تا ۱۴۱۱ به ۱۸/۹۱ میلیون، مصرف به ۲۱/۳۲ میلیون و ناترازی به ۲/۴۱- میلیون واحد) و فرض‌های منطقی تا ۱۰ سال آینده گسترش یافته‌اند و تأثیر آن‌ها بر امنیت انرژی (دسترسی، ثبات، قابلیت پرداخت) و پایداری منطقه‌ای (کاهش نابرابری، بهره‌وری منابع) بررسی می‌شود. در ادامه، در جدول ۴، دو متغیر کلیدی در یک ماتریس ۲×۲ قرار گرفته‌اند که چهار سناریو را تولید می‌کند:

جدول۴. تولید سناریو براساس دو متغیر کلیدی

	تحریم خفیف	تحریم شدید
توسعه فناوری کند	سناریوی رشد متعادل	سناریوی بحران انرژی
توسعه فناوری سریع	سناریوی پایداری سبز	سناریوی نوآوری محدود

انتخاب دو متغیر کلیدی شدت تحریم‌های بین‌المللی و سرعت توسعه فناوری‌های انرژی برای ماتریس ۲×۲ در بخش سناریوهای آینده امنیت انرژی، بر اساس تحلیل جامع عوامل کلیدی و عدم‌قطعیت‌های شناسایی‌شده در جدول ۳ و ارتباط آن‌ها با اهداف پژوهش انجام شده است. این دو متغیر به دلیل ترکیب عدم‌قطعیت بالا و تأثیرگذاری گسترده انتخاب شدند. تحریم‌ها به‌عنوان یک

عامل خارجی، محدودیت‌های کلان اقتصادی و سیاسی را تعیین می‌کنند، در حالی که توسعه فناوری به‌عنوان یک عامل داخلی، ظرفیت‌های فنی و نوآورانه را شکل می‌دهد. ترکیب این دو، چهار سناریوی متنوع (پایداری سبز، نوآوری محدود، رشد متعادل، بحران انرژی) را ایجاد می‌کند که طیف وسیعی از احتمالات آینده را پوشش می‌دهد. سایر عوامل مانند تقاضای انرژی و همکاری‌های منطقه‌ای نیز مهم هستند، اما تقاضا بیشتر به رشد جمعیتی و صنعتی وابسته است که پیش‌بینی آن با داده‌های موجود (رشد ۶/۴۷٪ سالانه مصرف) امکان‌پذیر است و همکاری‌های منطقه‌ای به شدت به میزان تحریم‌ها وابسته است و به‌عنوان متغیر فرعی در نظر گرفته شد. همچنین، انتخاب این متغیرها با پیش‌بینی‌های رگرسیون خطی (تولید ۱۸/۹۱ میلیون، مصرف ۲۱/۳۲ میلیون، ناترازی ۲/۴۱- میلیون تا ۱۴۱۱) و نابرابری‌های منطقه‌ای هم‌راستا است. تحریم‌ها می‌توانند رشد تولید را محدود کنند و فناوری می‌تواند این محدودیت را جبران کند، که مستقیماً به اهداف کاهش ناترازی و پایداری منطقه‌ای مرتبط است. در نهایت، انتخاب شدت تحریم‌های بین‌المللی و سرعت توسعه فناوری‌های انرژی به دلیل تأثیرگذاری بالا، عدم‌قطعیت قابل‌توجه و قابلیت ترکیب در ماتریس ۲×۲ برای ایجاد سناریوهای متنوع و مرتبط با شرایط یزد انجام شده است. این انتخاب، تحلیل را از توصیف وضعیت موجود به پیش‌بینی آینده‌محور و سیاست‌محور ارتقا داده و با چارچوب آینده‌پژوهی و داده‌های پژوهش هم‌خوانی دارد. در ادامه به تشریح و اثرات سناریوهای محتمل در جدول ۵ پرداخته شده است.

جدول۵. بررسی سناریوهای محتمل

سناریو		توضیحات
سناریوی پایداری سبز	شرح:	کاهش تحریم‌ها امکان همکاری‌های منطقه‌ای و جذب سرمایه‌گذاری خارجی را فراهم می‌کند و سرعت بالای توسعه فناوری (مانند ذخیره‌سازی پیشرفته و تجدیدپذیرها) تولید را تا ۱۴۱۱ به ۲۰ میلیون واحد می‌رساند. مصرف با بهینه‌سازی (رشد سالانه ۴٪) به ۱۶ میلیون واحد محدود می‌شود. ناترازی مثبت (حدود ۴ میلیون واحد) باقی می‌ماند.
	تاثیرات:	امنیت انرژی با تنوع منابع و ثبات عرضه تقویت می‌شود. پایداری منطقه‌ای از طریق کاهش نابرابری (توسعه محلی در اشکذر، بافق، بهاباد و... با انرژی خورشیدی) و بهره‌وری منابع بهبود می‌یابد.
سناریوی نوآوری محدود	شرح:	با وجود پیشرفت فناوری، تحریم‌ها دسترسی به بازارها را محدود می‌کند. تولید تا ۱۴۱۱ به ۱۹ میلیون واحد می‌رسد، اما مصرف با رشد ۶٪ به ۲۱/۵ میلیون واحد افزایش می‌یابد، که ناترازی را به ۲/۵- میلیون واحد می‌رساند.
	تاثیرات:	امنیت انرژی به دلیل محدودیت‌های مالی و توزیعی، شکننده می‌ماند. پایداری منطقه‌ای تحت فشار قرار می‌گیرد، اما نوآوری داخلی (مثل ذخیره‌سازی محلی) می‌تواند نابرابری را تا حدی کاهش دهد.
سناریوی رشد متعادل	شرح:	کاهش تحریم‌ها همکاری را تسهیل می‌کند، اما کندی فناوری (رشد تولید ۳٪) تولید را به ۱۸/۵ میلیون واحد می‌رساند. مصرف با رشد ۵٪ به ۱۹ میلیون واحد می‌رسد، که ناترازی را به ۰/۵- میلیون واحد کاهش می‌دهد.
	تاثیرات:	امنیت انرژی با ثبات نسبی عرضه حفظ می‌شود، اما پایداری منطقه‌ای به دلیل عدم بهره‌وری کافی و نابرابری در دسترسی (مثل کسری در میبد) در معرض خطر است.
سناریوی بحران انرژی	شرح:	تداوم تحریم‌ها و کندی فناوری، تولید را تا ۱۴۱۱ به ۱۷ میلیون واحد محدود می‌کند. مصرف با رشد ۷٪ به ۲۲ میلیون واحد می‌رسد، که ناترازی را به ۵- میلیون واحد تشدید می‌کند.
	تاثیرات:	امنیت انرژی به شدت تهدید می‌شود (قطعی برق، کمبود سوخت). پایداری منطقه‌ای با افزایش نابرابری (وابستگی شدید بهاباد و بافق) و فشار زیست‌محیطی (وابستگی بیشتر به فسیلی) مختل می‌شود.

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که ناترازی انرژی در استان یزد پدیده‌ای فراتر از یک گزاره کلی و همواره‌درست درباره رابطه عرضه و تقاضای انرژی است و واجد ویژگی‌های فضایی، نهادی و ساختاری خاصی است که آن را به یک مسئله برنامه‌ریزی منطقه‌ای تبدیل می‌کند. برخلاف تصور رایج که ناترازی انرژی را ناشی از کمبود مطلق تولید می‌داند، نتایج این مطالعه آشکار می‌سازد که مسئله اصلی استان یزد، ناهم‌ترازی فضایی تولید و مصرف در سطح شهرستان‌ها است. در حالی‌که شهرستان‌هایی مانند یزد و اردکان طی دوره ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۱ به‌طور پایدار مازاد انرژی داشته‌اند، شهرستان‌هایی نظیر اشکذر، میبد، بهاباد و بافق با کسری‌های ساختاری و وابستگی مزمن به انتقال انرژی مواجه بوده‌اند. این الگو بیانگر آن است که ناترازی انرژی در یزد نه یک پدیده یکنواخت، بلکه نتیجه تمرکز زیرساخت‌های تولید، استقرار نامتوازن صنایع انرژی‌بر و ضعف سیاست‌گذاری فضایی انرژی است. تحلیل روندهای زمانی نشان می‌دهد که اگرچه تولید انرژی در سطح استان با نرخ متوسط سالانه حدود ۲٫۶٪ افزایش یافته، اما رشد سریع‌تر مصرف (حدود ۶٫۴٪ سالانه) موجب شده است که به‌رغم وضعیت فعلی مازاد انرژی، استان در افق ۱۴۱۱ با کسری حدود ۲٫۴ میلیون واحد مواجه شود. این نتیجه، یک نکته تحلیلی کلیدی را روشن می‌سازد: حتی استان‌هایی با مزیت نسبی تولید انرژی، در صورت فقدان مدیریت فضایی تقاضا و استقرار فعالیت‌ها، به‌تدریج وارد مسیر شکنندگی امنیت انرژی می‌شوند. بنابراین، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که امنیت انرژی نه صرفاً تابع ظرفیت تولید، بلکه وابسته به چگونگی توزیع فضایی تولید و مصرف است.

مقایسه نتایج این مطالعه با ادبیات بین‌المللی نیز بر اهمیت این تمایز تأکید می‌کند. مطالعه Widodo & Riwanto (۲۰۲۳) در کشورهای آسه‌آن نشان می‌دهد که تنوع منابع و کارایی توزیع انرژی می‌تواند رشد اقتصادی و امنیت انرژی را تقویت کند. با این حال، یافته‌های استان یزد نشان می‌دهد که حتی در شرایط وجود پتانسیل بالای انرژی‌های تجدیدپذیر (به‌ویژه خورشیدی)، تمرکز فضایی زیرساخت‌ها و عدم هم‌راستایی توسعه صنعتی با ظرفیت‌های محلی، می‌تواند اثرات مثبت تنوع منابع را تضعیف کند. به بیان دیگر، تجربه یزد نشان می‌دهد که امنیت انرژی بدون عدالت فضایی انرژی تحقق‌پذیر نیست. از منظر نهادی، نتایج این پژوهش با دیدگاه Reiljan (۲۰۱۴) هم‌راستا است که آینده امنیت انرژی را در گرو همگرایی میان دانشگاه، صنعت و سیاست‌گذاری می‌داند. در استان یزد، توسعه نامتوازن انرژی‌های تجدیدپذیر و تداوم کسری در شهرستان‌های کم‌برخوردار، نشان‌دهنده خلأ نهادی در هدایت سرمایه‌گذاری‌ها و ضعف هماهنگی میان سطوح تصمیم‌گیری است. همچنین تجربه همکاری‌های انرژی استرالیا و ژاپن در حوزه LNG و هیدروژن که توسط Koravos (۲۰۲۴) بررسی شده، اهمیت همکاری‌های فرامنطقه‌ای و انتقال فناوری را برجسته می‌کند؛ موضوعی که برای ایران و استان یزد می‌تواند در قالب دیپلماسی انرژی، اتصال به شبکه‌های سراسری و توسعه زنجیره‌های فناوری بومی بازتفسیر شود.

تحلیل سناریوهای آینده نشان می‌دهد که مسیر امنیت انرژی استان یزد به‌شدت تحت تأثیر دو عدم‌قطعیت کلیدی یعنی شدت تحریم‌ها و سرعت توسعه فناوری‌های انرژی، قرار دارد. در سناریوی «پایداری سبز»، ترکیب کاهش محدودیت‌های خارجی با توسعه سریع فناوری، امکان بازتوزیع فضایی ظرفیت‌های تولید، کاهش نابرابری میان شهرستان‌ها و ارتقای تاب‌آوری منطقه‌ای را فراهم می‌کند. در مقابل، سناریوی «بحران انرژی» نشان می‌دهد که تداوم وضعیت فعلی همراه با کندی نوآوری، می‌تواند کسری انرژی را تشدید کرده و شهرستان‌های دارای ناترازی منفی را به کانون‌های بحران اقتصادی و اجتماعی تبدیل کند. این نتایج تأکید می‌کند که آینده انرژی یزد نه صرفاً محصول روندهای کلان ملی، بلکه تابع تصمیمات فضایی هدفمند در مقیاس منطقه‌ای است. بر این اساس، یافته‌های پژوهش دارای دلالت‌های سیاستی مشخصی است که آن را از گزاره‌های کلی و بدیهی متمایز می‌سازد: (۱) ضرورت تدوین نقشه فضایی انرژی استان یزد با تمرکز بر بازتخصیص تولید و مدیریت ناترازی در سطح شهرستان‌ها؛ (۲) اولویت‌دهی به توسعه نیروگاه‌های خورشیدی و سامانه‌های ذخیره‌سازی انرژی در شهرستان‌های دارای کسری مزمن مانند بهاباد، بافق و اشکذر؛ (۳) هم‌راستاسازی استقرار صنایع انرژی‌بر با ظرفیت زیرساختی و اکولوژیک هر شهرستان؛ (۴) تقویت نهادهای تنظیم‌گر و ایجاد سازوکار همگرایی میان دانشگاه، دولت و صنعت، در راستای توصیه‌های Reiljan (۲۰۱۴)؛ (۵) بهره‌گیری هدفمند از تجارب همکاری‌های انرژی منطقه‌ای و انتقال فناوری، مشابه الگوهای تحلیل‌شده در Koravos (۲۰۲۴).

در جمع‌بندی نهایی، این پژوهش نشان می‌دهد که ناترازی انرژی در استان یزد نه یک گزاره عمومی و همواره صادق، بلکه یک مسئله مکان‌مند، ساختاری و آینده‌محور است که در صورت تداوم روندهای فعلی، می‌تواند تا افق ۱۴۱۱ به یک چالش جدی برای امنیت انرژی و پایداری منطقه‌ای تبدیل شود. نوآوری اصلی این مطالعه در نشان دادن نقش تعیین‌کننده برنامه‌ریزی فضایی انرژی و سناریونویسی آینده‌نگر در مدیریت ناترازی است؛ رویکردی که می‌تواند به‌عنوان الگویی تحلیلی برای سایر مناطق خشک و صنعتی کشور نیز مورد استفاده قرار گیرد.

References

Allaeva, G. (2023). The role of energy security in forming the foundations for sustainable development of fuel and energy complex enterprises. E3S Web of Conferences, 461, 01061. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346101061

Axon, C. J., & Darton, R. C. (2021). Sustainability and risk – a review of energy security. Sustainable Production and Consumption, 27, 1195–1204. https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.01.018

Aydin, U., & Azhgaliyeva, D. (2019). ASSESSING ENERGY SECURITY IN THE CASPIAN REGION: THE GEOPOLITICAL IMPLICATIONS TO EUROPEAN ENERGY STRATEGY. In Achieving Energy Security in Asia (pp. 257–290). WORLD SCIENTIFIC. https://doi.org/10.1142/9789811204210_0009

Banna, H., Alam, A., Chen, X. H., & Alam, A. W. (2023a). Energy security and economic stability: The role of inflation and war. Energy Economics, 126, 106949. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106949

Banna, H., Alam, A., Chen, X. H., & Alam, A. W. (2023b). Energy security and economic stability: The role of inflation and war. Energy Economics, 126, 106949. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106949

Bui, T. D., & Tseng, M.-L. (2021a). A Data-Driven Analysis on Sustainable Energy Security. Journal of Global Information Management, 30(6), 1–38. https://doi.org/10.4018/JGIM.287608

Bui, T. D., & Tseng, M.-L. (2021b). A Data-Driven Analysis on Sustainable Energy Security. Journal of Global Information Management, 30(6), 1–38. https://doi.org/10.4018/JGIM.287608

Dhungana, A., & Bulut, E. (2021). Energy balancing in mobile opportunistic networks with wireless charging: Single and multi-hop approaches. Ad Hoc Networks, 111, 102342. https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2020.102342

Doğan, B., Shahbaz, M., Bashir, M. F., Abbas, S., & Ghosh, S. (2023). Formulating energy security strategies for a sustainable environment: Evidence from the newly industrialized economies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 184, 113551. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113551

European Commission. (2023). Energy balance - new methodology. Https://Ec.Europa.Eu/Eurostat/Statistics-Explained/Index.Php?Title=Energy_balance_-_new_methodology.

Farah, P. D. (2020). Strategies to Balance Energy Security, Business, Trade and Sustainable Development. SSRN Electronic Journal. https://doi.org/10.2139/ssrn.3658668

Gilgen, H., & Ohmura, A. (1999). The Global Energy Balance Archive. Bulletin of the American Meteorological Society.

Gitelman, L., Magaril, E., & Kozhevnikov, M. (2023). Energy Security: New Threats and Solutions. Energies, 16(6), 2869. https://doi.org/10.3390/en16062869

Hafezi, R., & Alipour, M. (2020). Energy Security and Sustainable Development (pp. 1–12). https://doi.org/10.1007/978-3-319-71057-0_103-1

He, Y., Zhou, Y., Liu, J., Liu, Z., & Zhang, G. (2022). An inter-city energy migration framework for regional energy balance through daily commuting fuel-cell vehicles. Applied Energy, 324, 119714. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119714

Heisler, K. (2014). Sustainable Regional Development. In Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research (pp. 6513–6514). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0753-5_2954

Hu, J., Sun, J. H., Yan, J. M., Liu, Z., & Shi, Y. R. (2012). Regional Energy Security Evaluation in China Based on Fuzzy Integral Method. Advanced Materials Research, 608–609, 1487–1491. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.608-609.1487

International Energy Agency. (2023). World Energy Balances. Https://Www.Iea.Org/Data-and-Statistics/Data-Product/World-Energy-Balances.

Iyke, B. N. (2024). Climate change, energy security risk, and clean energy investment. Energy Economics, 129, 107225. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.107225

Jean, W., Bursztyn, M., Oliveira, E. S., Lopes, J., Sátiro, G., Filho, S. R., Lindoso, D., Rocha, J. D., Bernal, N., & Nogueira, D. (2025). Energy security assessment in rural communities in Brazil: A contribution to public policies. Energy Nexus, 17, 100350. https://doi.org/10.1016/j.nexus.2024.100350

Johnson, D. A. (2015). Regional Planning, History of. In International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences (pp. 141–145). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.74069-4

Kenneth Ifeanyi Ibekwe, Emmanuel Augustine Etukudoh, Zamathula Queen Sikhakhane Nwokediegwu, Aniekan Akpan Umoh, Adedayo Adefemi, & Valentine Ikenna Ilojianya. (2024). ENERGY SECURITY IN THE GLOBAL CONTEXT: A COMPREHENSIVE REVIEW OF GEOPOLITICAL DYNAMICS AND POLICIES. Engineering Science & Technology Journal, 5(1), 152–168. https://doi.org/10.51594/estj.v5i1.741

Koravos, C. (2024). Australia–Japan energy partnerships for regional security and decarbonisation. Australian Energy Producers Journal, 64(2), S563–S566. https://doi.org/10.1071/EP23230

Leal-Arcas, R. (2019). Trading Sustainable Energy (pp. 183–197). https://doi.org/10.1007/978-3-030-23933-6_5

Lee, C.-C., Xing, W., & Lee, C.-C. (2022). The impact of energy security on income inequality: The key role of economic development. Energy, 248, 123564. https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123564

Mikkola, M., Jussila, A., & Ryynänen, T. (2017). Collaboration in Regional Energy-Efficiency Development (pp. 55–66). https://doi.org/10.1007/978-3-319-44899-2_4

Müller, J., Levien, R., Mazurana, M., Alba, D., Conte, O., & Zulpo, L. (2017). Energy balance in crop-farming system under soil management and cover crops. Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences, 12(3), 348–353. https://doi.org/10.5039/agraria.v12i3a5463

Narula, K. (2019). Energy Security and Sustainability (pp. 3–22). https://doi.org/10.1007/978-981-13-1589-3_1

Okorie, D. I. (2025). Making hay while the sun shines: Energy security pathway for Africa. Energy Policy, 198, 114512. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2025.114512

Panchenko, V. Y., Makarchuk, I. Y., Pastukhova, N. B., Albertian, A. P., Shitova, T. V, & Pchelkina, G. I. (2021). Regional agriculture in the context of sustainable development: legal and social issues. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 723(2), 022076. https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022076

Porrini, D., & Striani, F. (2017). Sustainable Development as a Macro-Regional Goal. Journal of Reviews on Global Economics, 6, 87–97. https://doi.org/10.6000/1929-7092.2017.06.07

Rabbi, M. F., Popp, J., Máté, D., & Kovács, S. (2022). Energy Security and Energy Transition to Achieve Carbon Neutrality. Energies, 15(21), 8126. https://doi.org/10.3390/en15218126

Reiljan, J. (2014). Regional Development Sustainability Analysis Concept. SSRN Electronic Journal. https://doi.org/10.2139/ssrn.2493019

Serebrova, T. V. (2023). MANAGING SUSTAINABLE REGIONAL DEVELOPMENT. EKONOMIKA I UPRAVLENIE: PROBLEMY, RESHENIYA, 11/3(140), 84–90. https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2023.11.03.010

Shen, Y., Yang, X., & Guo, X. (2013). Study on the Risk of Regional Energy Security Cooperation. Energy and Power Engineering, 05(04), 1440–1444. https://doi.org/10.4236/epe.2013.54B273

Siegel, K. M. (2016). Can Regional Cooperation Promote Sustainable Development? In The Palgrave Handbook of International Development (pp. 713–730). Palgrave Macmillan UK. https://doi.org/10.1057/978-1-137-42724-3_39

Strojny, J., Krakowiak-Bal, A., Knaga, J., & Kacorzyk, P. (2023). Energy Security: A Conceptual Overview. Energies, 16(13), 5042. https://doi.org/10.3390/en16135042

Tayyab Ayaz, M., Prodromou, T., Le, T., & Nepal, R. (2024). Energy security dimensions and economic growth in Non-OECD Asia: An analysis on the role of institutional quality with energy policy implications. Energy Policy, 188, 114090. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114090

Tóthné, K. S., & Nándori, E. S. (2010). A Regional Evaluation of Sustainability with Special Regard to Social Aspect. Theory, Methodology, Practice–Review of Business and Management, 5(01), 75–80.

United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2022). Commodity and energy balances. In Energy Statistics Compilers' Manual (81–119). https://doi.org/10.18356/9789210601405c009

Veckalne, R., & Tambovceva, T. (2022, May 23). SUSTAINABLE REGIONAL DEVELOPMENT PLANNING. https://doi.org/10.3846/bm.2022.799

Widodo, A. T., & Riwanto, A. (2023). Harmonizing Regional Spatial Arrangements As Effort To Improve Law Number 11 Of 2020 On Job Creation To Optimize Regional Development. Jurnal Dinamika Hukum, 23(2), 286. https://doi.org/10.20884/1.jdh.2023.23.2.3289