پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران
سال هفتم، شماره 26، بهار 1397، صفحات50-25

تأثیر نوسانات قیمت نفت بر ظرفیت برق بادی در کشورهای درحال توسعه با تأکید بر نقش یادگیری فنی و صرفه‌های ناشی از مقیاس

سعید شوال‌پور[1]
الهه کاویانی[2]

تاریخ پذیرش:1397/06/20 تاریخ دریافت:1396/12/22

چکیده:

هدف مقاله حاضر بررسی تاثیر تغییرات و شوک‌های قیمت نفت بر ظرفیت نصب شده انرژی بادی در کشورهای در حال توسعه و مقایسه تاثیر آن با تاثیر عوامل فناورانه یعنی افزایش مقیاس و یادگیری فنی است. برای این منظور با استفاده از روش رگرسیون غلتان و اطلاعات سال‌های 2003 تا 2015، نرخ‌های یادگیری فنی سالانه محاسبه شده و سپس با استفاده از روش رگرسیون داده‌های تابلویی و مدل خودرگرسیونی برداری مبتنی بر داده‌های تابلویی، به بررسی تاثیر تغییرات و شوک‌های قیمت نفت بر ظرفیت نصب شده انرژی بادی، به عنوان پیشروترین انرژی تجدیدپذیر، در کشورهای در حال توسعه پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات قیمت نفت در بلندمدت تاثیر مثبت ولی اندک بر توسعه انرژی تجدیدپذیر در کشورهای در حال توسعه دارد. شوک‌های قیمت نفت نیز اگر چه در کوتاه‌مدت و به واسطه تقویت انگیزه کشورهای در حال توسعه برای انتقال فناوری‌های با مقیاس بالاتر موجب توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر می‌شوند، در بلندمدت به تنهایی نمی‌تواند تضمین‌کننده توسعه انرژی تجدیدپذیر در این کشورها باشد.

طبقه‌بندی JEL : L72, D24,O33

کلید واژه‌ها: انرژی تجدیدپذیر، یادگیری فنی، صرفه‌های مقیاس، شوک قیمت نفت

---

1. استادیار گروه مهندسی پیشرفت اقتصادی، دانشگاه علم و صنعت (نویسنده مسئول)
shavvalpour@iust.ac.ir
2 .کارشناس ارشد مهندسی صنایع، سیستم‌های اقتصادی-اجتماعی، دانشگاه علم و صنعت
elakvn@gmail.com

1. مقدمه

نوسانات قیمت نفت و به تبع آن تغییر در قیمت حامل‌های انرژی فسیلی، یکی از انگیزه‌های اصلی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح جهانی به ویژه پس از شوک قیمت‌های نفت در سال 1973 بوده است. برای کشورهای وارد کننده نفت، افزایش قیمت نفت موجب جذابیت بیشتر انرژی‌های تجدیدپذیر می‌شود. این موضوع، دو اثر عمده به همراه دارد. از یک سو، موجب افزایش ظرفیت‌های نصب شده انرژی تجدیدپذیر شده و امکان برخورداری از صرفه‌های ناشی از مقیاس را فراهم می‌سازد و از سوی دیگر، به واسطه تولید بیشتر انرژی تجدیدپذیر، امکان یادگیری فنی را فراهم آورده، نرخ یادگیری این انرژی‌ها را متاثر می سازد.(ناچتیگال و رابلک[1]، 2016)

توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای در حال توسعه، تابع عوامل مختلفی از جمله میزان وفور منابع انرژی فسیلی، سطح درآمد این کشورها و نحوه سیاست‌گذاری انرژی است. با این حال، نمی‌توان تاثیر نوسانات قیمت نفت بر توسعه انرژی تجدیدپذیر در این کشورها را نادیده گرفت. (تروستر و همکاران[2]، 2018) واضح است که هرگونه کاهش هزینه سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح جهانی، توسعه این گونه انرژی‌ها را در کشورهای در حال توسعه جذابتر خواهد کرد و در کشورهای صادرکننده نفت، افزایش قیمت نفت، موجب افزایش درآمد و در نتیجه افزایش پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر خواهد شد. (حسین شاه و همکاران[3]، 2018)

به این ترتیب، با توجه به اینکه همچنان منابع انرژی فسیلی و به ویژه نفت، رقیب جدی برای انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح جهانی است، بررسی تاثیر نوسانات قیمت نفت بر ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر موضوع مهمی است. در میان انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی بادی سهم بالاتری را به خود اختصاص می‌هد. به طوری که بر اساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی در پایان سال 2016 میلادی، مجموع ظرفیت برق بادی در دنیا به 466

1. Nachtigall and Rübbelke (2016)
2.Troster et al. (2018)
3. Hussain Shah I. et al. (2018)

گیگاوات یعنی حدود 4 درصد کل ظرفیت نصب شده برق جهانی رسیده است. این در حالی است که برق خورشیدی با مجموع ظرفیت نصب شده 300 گیگاوات، در حدود یک درصد از ظرفیت نصب شده برق دنیا را شامل می شود. (IEA، 2018) علی رغم توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح جهانی، در حال حاضر تنها 54 مگاوات ظرفیت نصب شده تولید برق از محل پروژه‌های به بهره‌برداری رسیده نیروگاه‌های بادی در کشور وجود دارد. (ترازنامه انرژی ایران، 1393) به این ترتیب، سهم تولید برق از انرژی باد در سبد تولید برق کشور، با توجه به ظرفیت‌های به بهره‌برداری رسیده و در مدار تولید، فقط 7 صدم درصد است.

با توجه به اینکه یکی از مشکلات اساسی برای عدم توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و به ویژه انرژی بادی، بالاتر بودن هزینه برق تولیدی منابع تجدیدپذیر در مقایسه با نیروگاه‌های با سوخت فسیلی است، بررسی تاثیر یادگیری فنی و صرفه‌های مقیاس در رقابت‌پذیری انرژی های تجدیدپذیر اهمیت می‌یابد. بر این اساس، هدف این مقاله، بررسی تاثیر نوسانات قیمت نفت بر یادگیری فنی و صرفه‌های مقیاس نیروگاه‌های بادی در سطح جهانی است. با توجه به اینکه صرفه‌های مقیاس موجب کاهش هزینه‌های ایجاد هر واحد ظرفیت بادی می‌شود (گاتزنس[1] و همکاران، 2018) و از سوی دیگر، یادگیری فنی تاثیر تولید انباشته را بر هزینه‌های تولید نشان می‌دهد، دو سوال اصلی مطرح می‌شود: نخست آنکه، تاثیر نوسانات قیمت نفت بر ظرفیت نصب شده برق بادی در سطح جهانی چیست؟ و دوم آنکه، نوسانات قیمت نفت چه تاثیری بر نرخ یادگیری فنی برق بادی در سطح جهانی دارد؟

2. مبانی نظری

شوک قیمت‌های نفت در سال 1973 و افزایش هزینه انرژی در کشورهای واردکننده نفت، این کشورها را بر آن داشت که به سمت انرژی‌های جایگزین حرکت کنند. (گاتزنس و همکاران، 2018) در طول دهه اخیر، همواره در دوره‌های افزایش قیمت نفت،

1.Gotzens et al. (2018)

سرمایه‌گذاری در پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر افزایش یافته است. به عنوان مثال، بین سال‌های 2010 تا 2014 میانگین قیمت نفت جهانی به بیش از دو برابر سال‌های قبل آن افزایش یافت. در طی این سال‌ها، تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر به ویژه انرژی بادی و خورشیدی به صورت نمایی افزایش یافت. (IEA، 2018)

آنچه رقابت‌پذیری نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر را در مقایسه با نیروگاه‌های رایج افزایش می دهد، کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و به تبع آن کاهش قیمت برق تولیدی از این نیروگاه‌هاست. در طول سال‌های اخیر هزینه نصب توربین‌های بادی رو به کاهش بوده است. به طوری که بر اساس گزارش انجمن انرژی باد اروپا[1] ، هزینه هر واحد ظرفیت نیروگاه بادی از 9/2 یوروسنت در دهه 1980 میلادی به 5/3 یوروسنت در سال 2008 کاهش یافته است. پیشرفت تکنولوژی و افزایش ظرفیت تولید از عوامل این کاهش به شمار می آیند. (EWEA، 2009) دو عامل مهم برای رقابتی شدن قیمت برق تجدیدپذیر عبارتند از الف) افزایش مقیاس نیروگاه‌های تجدیدپذیر و به تبع آن صرفه‌های ناشی از مقیاس و ب) یادگیری فنی ناشی از کسب تجربه در تولید برق از این نیروگاه‌ها در طول زمان است. (السابکی و همکاران[2]، 2009)

2-1. تاثیر تغییرات قیمت نفت بر توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر

در زمینه نحوه تأثیرگذاری قیمت نفت بر توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، دو رویکرد قابل ارائه است: در رویکرد اول، افزایش قیمت نفت، کشورها را به سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر تشویق می‌کند. از سوی دیگر، روش‌های بهتر تولید، افزایش قابل توجه تقاضا و همچنین استفاده بیشتر از انرژی‌های تجدیدپذیر باعث ترغیب پیشرفت تولید این نوع انرژی شده که این نیز خود باعث ایجاد اشتغال و تولید و فروش تکنولوژی بومی این نوع انرژی می‌شود(کلوناس و همکاران[3]، 2015).

1.The European Wind EnergyAssossiation (EWEA)
2.Elsobki et al. (2009)
3.Kelevnas et al. (2015)

در رویکرد دوم، کاهش قیمتهای جهانی نفت موجب افزایش سرمایه‌گذاری در توسعه ظرفیت نیروگاه‌های با سوخت فسیلی می‌شود. چرا که، صنعت انرژی‌های فسیلی در دنیا به یک پیشرفت نسبی رسیده و با کاهش قیمت نفت، هزینه‌های تولید برق از نیروگاه‌هایی که انرژی‌های فسیلی مصرف می‌کنند، کاهش می‌یابد. در نتیجه با این نگاه، حتی در کشورهای وارد کننده نفت، همزمان با کاهش قیمت نفت، تمایل به استفاده از انرژی‌های فسیلی بیشتر از تجدیدپذیر خواهد بود. در این شرایط، افزایش تولید انرژی‌های تجدید پذیر باعث کاهش رونق صنعت نیروگاه‌های با سوخت فسیلی شده و این موضوع، بیکاری و رشد منفی برای اقتصاد به همراه خواهد داشت. (اسمیتز[1]، 2009).

2-2. اثر یادگیری فنی و صرفه‌های مقیاس بر توسعه تجدیدپذیرها

منطق حاکم بر تئوری منحنی یادگیری، افزایش بهره‌وری یا کاهش ساعت کاری موردنیاز برای تولید یک واحد محصول است (گودن[2] و همکاران، 2002). تاریخچه منحنی یادگیری به مطالعه توماس رایت[3] (1936) در موضوع هزینه تولید هواپیما به واسطه افزایش تولید تجمعی و یا آنچه ظرفیت نصب‌شده می نامیم بر می‌گردد. ازآن‌پس، اقتصاددانان علاقه‌مند به بررسی پتانسیل منحنی‌های یادگیری چه در تئوری و چه در عمل شدند. مطالعه (ارو[4]، 1962)، را می‌توان پایه و اساس مفهوم منحنی یادگیری در اقتصاد دانست. وی در مطالعه خود از مفهوم یادگیری فنی در نظریه رشد درون‌زا برای توضیح اثر نوآوری و تغییرات فنی استفاده کرده است.

2-3. کاربرد یادگیری فنی در تبیین توسعه انرژی بادی

منحنی یادگیری، ارتباط بین ظرفیت تجمعی و هزینه هر واحد تولید را نشان می‌دهد. این ارتباط ممکن است با توابع مختلفی بیان شود. یکی از توابع مرسوم، تابع نمایی-خطی (رابطه 1) است. پارامتر اصلی در این تابع، پارامتر b است که به آن ضریب(توان) یادگیری

1.Schmitz (2009)
2. Gooden, et al (2002)
3. Wright (1936)
4. Arrow (1962)

گفته می‌شود. با استفاده از منحنی یادگیری، نسبت پیشرفت فنی (رابطه 2) و نرخ یادگیری فنی (رابطه 3) تعریف می‌شود. نسبت پیشرفت فنی، میزان کاهش در هزینه‌های هر واحد تولید را به ازای دو برابر شدن تولید انباشته نشان می‌دهد و بر این اساس نرخ یادگیری فنی قابل محاسبه است.

$$C_1 = C_0\left(\frac{q_1}{q_0}\right)^{-b} \quad (1)$$

$$PR = 2^{-b} \quad (2)$$

$$LR = (1 - PR) \quad (3)$$

تراپی[1] و همکاران (2015) رابطه (1) را در صنعت برق بادی به صورت رابطه 4 نوشته اند:

$$C_t = \delta_\circ Z_t^{\delta_L} \quad (4)$$

در رابطه فوق، Z_t : ظرفیت تجمعی نیروگاه‌های بادی است. C_t هزینه هر واحد ظرفیت برق بادی است که در این مطالعه، هزینه هر واحد ظرفیت توربین بادی به عنوان جایگزین در نظر گرفته شده است. $\delta_\circ$ عبارتست از هزینه یک واحد ظرفیت توربین بادی در سال اول و δ_L کشش یادگیری فنی و یا به عبارتی درصد تغییر در هزینه هر واحد ظرفیت به ازای یک درصد افزایش در ظرفیت انباشته را نشان می دهد.

با در نظر گرفتن لگاریتم رابطه (4)، مدل خطی به دست می‌آید که می‌توان از طریق آن مدل اقتصادسنجی آن را برآورد کرد و تخمینی از آن را به دست آورد.

$$\ln C_t = \ln\delta_0 + \delta_L \ln Z_t + \varepsilon_t \quad (5)$$

به این ترتیب، نرخ یادگیری فنی، توسط معادله $1-2^{\delta_L}$ شناسایی می‌شود. که δ_L در این معادله به یادگیری مثبت اشاره دارد. زمانی که ظرفیت تجمعی را دو برابر کنیم این معادله میزان درصد تغییر در هزینه را نشان می‌دهد.

اثرات یادگیری زمانی تأثیرگذار است که خروجی تجمعی در زمان قبل، ارتباطی با هزینه

1.Trappey, et al. (2015)

تولید واحد بعدی نداشته باشد. به‌عبارت دیگر در تولید آینده از تجربه بیشتر در تولید گذشته پیروی می‌کند.

$$E_{CQ} = \frac{\Delta C / C}{\Delta Q / Q} < 0 \qquad (6)$$

در رابطه فوق E_{QC} ، کشش هزینه انباشته می‌باشد. C هزینه و Q مقدار تولید تجمعی است. در رابطه با فناوری انرژی بادی می‌توان گفت C همان هزینه تولید و نصب توربین‌های بادی ساخته‌شده روی خشکی می‌باشد و Q ظرفیت انباشته توربین‌های بادی است. در مدل یادگیری، جدا کردن یادگیری فنی ناشی از تغییرات فنی برون‌زا، کاری مشکل است. یک راه ساده برای آزمون این امکان، گنجاندن یک روند زمانی در معادله یادگیری است. این آزمون در برخی از مطالعات قبلی مربوط به نرخ یادگیری در انرژی بادی انجام‌شده و به‌طور کلی نشان داده است که نرخ یادگیری فنی نسبت به روند زمانی حساسیت نشان می‌دهد. چنین استدلالی را می‌توان برای دانش، R&D و اثرات مقیاس نیز ذکر کرد.(سودرهولم و کلاسن[1]، 2007). در جدول زیر نرخ‌های یادگیری استخراج‌شده در جهان و در دوره‌های زمانی متفاوت استخراج‌شده است.

جدول 1: نرخ‌های یادگیری استخراج‌شده در مناطق مختلف جهان و در دوره‌های زمانی متفاوت

منطقه	دوره زمانی	درصد نرخ یادگیری
جهان	1982–2004	14
جهان	1982–2010	8
چین	2003–2007	4
دانمارک	1981–2000	8
آلمان	1987–2000	6
اسپانیا	1984–2000	9
سوئد	1994–2000	4
انگلیس	1991–1999	25.1
امریکا	1985–1994	32
تایوان	2001-2011	5.6
OECD	1981-1995	17

منبع: روبین [2] و همکاران ،2015

1.Soderholm and Klaassen (2013)

2.Rubin, et al. (2015)

همان طور که مشاهده می شود، نرخ‌های یادگیری برای مناطق جغرافیایی و دوره های زمانی مختلف، متفاوت است. این موضوع، ناشی از تفاوت‌هایی است که میان مناطق مختلف دنیا در زمینه میزان ظرفیت نصب شده، تولید انباشته و توانمندی‌های یادگیری وجود دارد. علاوه بر این، این تفاوت‌ها نشان دهنده اثر روند زمانی بر روی نرخ یادگیری است.

2-4. اقتصاد مقیاس و تاثیر آن بر توسعه انرژی های تجدیدپذیر

اقتصاد مقیاس، میزان افزایش در خروجی(تولید)، نسبت به افزایش در ورودی (عوامل تولید) در دراز مدت را توضیح می‌دهد. در دراز مدت، همه عوامل تولید متغیر هستند و در معرض یک افزایش در مقیاس می‌باشند. وقتی که اقتصاد مقیاس اثر افزایش سطح خروجی را در هزینه‌های واحد نشان می‌دهد، بازده مقیاس تنها تمرکزش بر روی ارتباط بین کمیت‌های ورودی و خروجی می‌باشد. به‌عنوان یک تئوری اقتصاد مقیاس همان اثربخشی ناشی از افزایش یک مقیاس در تولید است. به روشنی واضح است که تنوع هزینه‌های نصب انرژی بادی شامل هزینه‌های انتخاب محل، شناسایی خاک جاده جهت حمل‌ونقل وسائل نقلیه سنگین، احداث و فونداسیون و مسافت جهت انتقال انرژی به شبکه می‌باشد. این هزینه‌ها در بلندمدت با افزایش ظرفیت تولیدی کاهش می‌یابند. یکی از عوامل افزایش ظرفیت تولید انرژی بادی افزایش ظرفیت توربین می‌باشد. سه دلیل برای افزایش ظرفیت توربین بادی قابل ارائه است:

الف: صرفه‌های ناشی از مقیاس (ظرفیت) توربینهای بادی: به این مفهوم که توربینهای بزرگتر توانایی انتقال الکتریسیته بیشتر در هزینه‌های کمتر نسبت به دستگاههای کوچکتر دارند. چرا که، هزینه‌های ثابت مانند هزینه ایجاد زیرساخت، احداث جاده، شبکه انتقال و برخی از بخشهای توربین ازجمله سیستم کنترل برق آن مستقل از اندازه دستگاه‌ها هستند و در نتیجه هر چه توان تولید توربین بالاتر باشد، هزینه هر واحد برق تولیدی کاهش خواهد یافت.

ب: امکان نصب توربین‌های بزرگتر در دریا: در مجموع به دلیل وزش بیشتر باد در دریا و سرعت بالاتر آن، توان تولید برق در دریا بالاتر از خشکی است. لذا هر چه ظرفیت توربین افزایش می یابد، توان تولید آن در مقایسه با توربین های کوچکتری که در خشکی نصب می شوند، بیشتر می شود.

ج: هزینه زمین برای نصب توربینهای بادی: هر چه تعداد توربینها بیشتر باشد، هزینه زمین برای نصب آنها افزایش خواهد یافت در نتیجه با افزایش ظرفیت هر یک از توربینها هزینه زمین به عنوان یکی از هزینه های ثابت کاهش می یابد. به این ترتیب هر چه ظرفیت یک توربین افزایش یابد، ظرفیت برق تولیدی از یک مزرعه بادی افزایش یافته و هزینه های برق روندی کاهشی خواهد یافت.

3. پیشینه پژوهش

مطالعات انجام‌شده مرتبط با موضوع این مقاله را می توان به حوزه های یادگیری، صرفه های مقیاس، قیمت نفت و انرژی‌های تجدیدپذیر تقسیم کرد. لینتن و والش[1] (2013)، مدل‌های موجود برای منحنی یادگیری را تنها قابل پیاده سازی در تکنولوژی‌هایی که به‌اندازه کافی رشد یافته‌اند می‌دانند و با ادغام تئوری منحنی یادگیری با مفاهیم مرتبط با خلاقیت و خط سیر فناورانه، نظریه‌ای جهت مدلسازی منحنی یادگیری برای فناوریهای نوظهور ودرحال رشد بسط دادند. کرون[2] و همکاران (2006) در مطالعه خود به برآورد این موضوع پرداختند که اگر روند 50 سال اخیر تداوم یابد، تولید انرژی بادی ضررهای ناشی از کاهش تولید ناخالص داخلی بخش نفت به واسطه افزایش سهم تجدیدپذیرها را جبران می کند. آن‌ها دریافتند که با جایگزین کردن نفت یا گاز، یک افزایش ده درصدی در سهم تولید برق تجدیدپذیر می‌تواند 75 تا 140 میلیارد یورو ضررهای تولید ناخالص داخلی بخش نفت را جبران کند. پژوهش اسمیتز[3] (2009)، با استفاده از روش مدل‌سازی

1.Linton and Walsh (2004)
2.Rohn, et al. (2006)
3.Schmitz (2009)

CAPM-GARCH به بررسی ارتباط بین بازگشت سرمایه نفت و انرژی‌های جایگزین پرداخته است.

مطالعات این پژوهشگران نشان می‌دهد که از لحاظ آماری، افزایش قیمت نفت، تأثیر مثبت و مهمی بر روی بازگشت سرمایه انرژی‌های جایگزین دارد. مطالعه لیندمن وسودرهولم[1] (2012)، به بررسی رابطه کمی میان تجربیات انباشته در رابطه با یک تکنولوژی خاص و هزینه‌های آن پرداخته است. نتایج این تحقیقات نشان داد که مطالعات آینده در مورد یادگیری و دانش در زمینه انرژی‌های تجدید پذیر، می بایست به‌اندازه تعامل بین یادگیری تکنولوژی و تحقیق و توسعه در این زمینه موردتوجه قرارگیرد. در مطالعه دیگری از لینتن و والش[2] (2013)، به این موضوع پرداخته می شود که چگونه منحنی یادگیری منجر به کاهش هزینه، گسترش بازارهای موجود و ایجاد بازارهای جدید می‌شود. لی[3] و همکاران (2014)، در مطالعه‌ای با به‌کارگیری منحنی یادگیری بر روی یک زنجیره تأمین دو-دوره‌ای غیرمتمرکز، به بررسی تأثیر نرخ یادگیری متوسط و میزان تغییرپذیری نرخ یادگیری بر روی استراتژیهای قیمت‌گذاری، تصمیمات تولیدی تولیدکننده و تصمیمات خرید و تدارکات خرده‌فروش پرداخته و نشان داده‌اند که هرچه نرخ یادگیری متوسط و میزان تغییرپذیری نرخ یادگیری افزایش یابد، به کاهش بازدهی بیشتر در زنجیره منجر می‌گردد.

در تحقیقات انجام‌شده در ایران اغلب مطالعات در حوزه وضعیت انرژی‌های تجدیدپذیر، موانع موجود برای استفاده و توسعه آن‌ها و سیاست گذاری در زمینه این انرژی ها بحث شده و کمتر به تأثیر یادگیری و صرفه های حاصل از مقیاس پرداخته‌شده است. به‌طور نمونه تنها مطالعه شریفی و همکاران (1388)، به بررسی تأثیر یادگیری فنی در انرژی‌های تجدیدپذیر، به ویژه انرژی بادی و خورشیدی در تولید برق کشور در شرایط یارانه‌ای بودن قیمت‌های انرژی و در صورت حذف یارانه‌ها پرداخته است. اسدآباد

1.Lindman and Soderholm (2011)

2.Linton and Walsh (2013)

3.Li et al. (2014)

وهمکاران (1390)، به مطالعه انواع انرژی‌های تجدیدپذیر و میزان کاربری آن‌ها پرداخته اند و با پیشنهاد استفاده ترکیبی از سه انرژی بادی، خورشیدی و هیدروالکتریک راهکار مناسبی برای ایجاد هماهنگی دینامیکی بین نوسانات تولید و مصرف انرژی برای این سه نوع انرژی ارائه می دهد. تحقیقات فانی و همکاران (1393) نشان می دهد که افزایش قیمت نفت تأثیر مستقیمی روی شدت مصرف انرژی در بخشهای مختلف اقتصادی می‌گذارد و می‌توان با هدفمند سازی مصرف انرژی باعث رشد اقتصاد کشور شد.

با توجه به اهمیت تامین انرژی موردنیاز از انرژی‌های تجدیدپذیر، آزادی‌راد و حیدری (1393)، به بررسی روند فراگیرشدن انرژی بادی از گذشته تا به امروز پرداخته‌اند و با مقایسه بازارهای کنونی این انرژی در کشورهای مختلف جهان از نظر ظرفیت نصب‌شده نیروگاهی توربین‌های بادی، سهم تولیدکنندگان برتر این نوع توربین ها را در جهان مورد بررسی قرارداده‌اند و به نقش ایران به‌عنوان کشوردرحال‌توسعه دراین بازارها پرداخته‌اند. مقبلی و نهاوندی(1395)، با مقایسه هزینه‌های تولید انرژی به ازای هر کیلووات و با در نظر گرفتن شرایط موثر بر هزینه، روند توسعه و رشد فناوری انرژی بادی با سایر انرژی های تجدید پذیر در طول زمان مورد بررسی قرار داده اند. آن‌ها سرمایه‌گذاری در صنعت انرژی بادی را مناسبترین انتخاب برای بهره برداری درکشورهای درحال‌توسعه به خصوص ایران می‌دانند. جدول (2) به مقایسه رویکرد مطالعات پیشین و مطالعه حاضر پرداخته است.

جدول 2: مقایسه مباحث موردمطالعه محققان در حوزه انرژی و مطالعه حاضر

مطالعه	ارزیابی اقتصادی	اثرات شوکهای نفتی	انرژی های تجدیدپذیر	تکنولوژی انرژی	صرفه های مقیاس	یادگیری
مطالعه حاضر	✓	✓	✓	✓	✓	✓
وایت[1]، 1936	✓					✓
استوباغ و تونسند[2]، 1975						✓
پورتر[3]، 1986	✓				✓	
آمیت[4]، 1986						✓
پیندایک و همکاران[5]، 1997	✓				✓	✓
گودن[6]، 2002						✓
لینتون و والش[7]، 2013				✓		✓
دافی[8]، 2005						✓
نمت[9]، 2005			فتولتائیک			✓
جاماسب و کهلر[10]، 2007				✓		✓
اسمیتز[11]، 2009		✓	✓		✓	
لیندمن و والش[12]، 2013	✓					✓
لیندمن و سودرهولم[13]، 2011	✓		انرژی بادی			✓
تور و همکاران[14]، 2013	✓		✓			✓
هیونتلر و همکاران[15]، 2014	✓		✓	✓		✓
لی و همکاران[16]، 2014	✓					✓
گروس و همکاران[17]، 2015						✓
وایتاجوسکی و بالتویکس[18]، 2015			✓	✓		✓
شریفی و همکاران، 1388	✓		✓	✓		✓
اسدآباد و همکاران، 1390	✓		✓			
فدایی و همکاران، 1390			✓	✓		
مقبلی و نهاوندی، 1395	✓		✓			

منبع: یافته‌های پژوهش

1.White (1936)
2.Stobaugh and Townsend (1975)
3.Porter (1986)
4.Amit (1986)
5.Pindyck et al. (1997)
6 Gooden (2002)
7. Linton and Walsh (2004)
8.Duffy (2005)
9.Nemet (2005)
10.Jamasb and Kohler (2007)
11.Schmitz (2009)
12.Lindman and Walsh (2013)
13.Lindman and Soderholm (2011)
14.Tour et al. (2013)
15.Huenteler et al. (2014)
16.Li et al. (2014)
17.Gross et al. (2015)
18.Witajewski.Baltviks et al. (2015)

همان طور که مشاهده می‌شود، مطالعات اندکی می‌توان یافت که به طور همزمان به موضوع تغییرات قیمت نفت، انرژی‌های تجدیدپذیر و یادگیری فنی پرداخته‌اند. همچنین علی رغم تنوع مقالاتی که به موضوع یادگیری فنی پرداخته‌اند، مطالعاتی که موضوع یادگیری فنی را در کنار صرفه‌های مقیاس مورد توجه قرار داده باشند، اندک هستند. به این ترتیب، جدول فوق نشان‌هنده شکاف تحقیقات در زمینه تاثیر شوک‌های نفتی بر توسعه ظرفیت‌های انرژی تجدیدپذیر با توجه به دو پدیده یادگیری فنی و صرفه‌های مقیاس است. با توجه به اهمیت انرژی فسیلی به عنوان جایگزین قدرتمند انرژی‌های تجدیدپذیر، تمرکز هر چه بیشتر مطالعات در این زمینه اهمیت می یابد.

4. روش پژوهش

بر اساس مبانی نظری ارائه شده، یادگیری فنی و صرفه های مقیاس تاثیر مستقیم بر افزایش ظرفیت برق بادی (توربین های بادی) دارند. در حالی که جمع‌بندی مطالعات پیشین نشان می دهد که تاثیر افزایش قیمت نفت و یا شوکهای نفتی بر ظرفیت این انرژی مبهم ارزیابی شده است. به این منظور، مدلسازی در دو مرحله انجام می شود:

مرحله اول: برآورد نرخ‌های یادگیری سالانه با استفاده از روش رگرسیون غلتان

مرحله دوم: برآورد تاثیر نرخ‌های یادگیری بدست آمده از مرحله قبل و صرفه‌های مقیاس بر ظرفیت برق بادی با استفاده از روش رگرسیون داده‌های تابلویی. علاوه بر این به منظور تاثیر وقوع شوک‌های نفتی بر ظرفیت انرژی بادی از روش مدل خودرگرسیونی برداری مبتنی بر داده های تابلویی. بر اساس مبانی نظری، مدل مورد استفاده جهت بررسی ارتباط بین نرخ یادگیری، صرفه‌های مقیاس و قیمت نفت بر ظرفیت تولید انرژی بادی به صورت زیر پیشنهاد می شود:

$$Cap = F\left(EOS, LR, OilP\right)$$

$$gCap_{it} = c_0 + c_1.gEOS_{it} + c_2.gLR_{it} + c_3.gOilP_{it} + \varepsilon_{it} \qquad (7)$$

که در آن Cap، ظرفیت نصب‌شده توربینهای بادی درکشورهای درحال‌توسعه

می‌باشد که در این مدل تابعی از EOS اندازه مقیاس، LR نرخ‌های یادگیری سالانه توسعه انرژی بادی در جهان و Oilp قیمت‌های جهانی نفت در نظر گرفته شده‌است.

جدول 3: معرفی نمادهای مورداستفاده در پژوهش و واحد آن‌ها

مدل	توصیف متغیر	علامت اختصاری	واحد اندازه گیری
رگرسیون غلتان	هزینه نصب توربین‌های بادی (هزینه توسعه)	Cost	USD/kwh
	ظرفیت تجمعی کل دنیا	Cucap	Megawatt
مدل داده های تابلویی و خودرگرسیون برداری	ظرفیت نصب‌شده توربینهای بادی در کشورهای مورد مطالعه	Cap	Megawatts
	نرخ‌های یادگیری سالانه توسعه انرژی بادی در جهان	LR	%
	قیمت‌های جهانی نفت	Oilprice	$/bbl (us dollar per barrel)
	اندازه مقیاس	EOS	Megawatt

منبع: یافته‌های پژوهش

اطلاعات لازم برای انجام این تحلیل به روش اسنادی و از پایگاه‌های معتبر بین‌المللی همچون گزارشهای سالانه IEA، IRENA، GWEC، IRENAو IISD استخراج‌شده است. این اطلاعات عبارت‌اند از: قیمت نفت در بازارهای جهانی، ظرفیت نصب‌شده انرژی بادی، هزینه ایجاد ظرفیت برق بادی. کلیه داده‌های مرتبط با ظرفیت بادی برای تعداد 20 کشور درحال‌توسعه در طی سالهای 2003 تا 2015 که دارای این فناوری می‌باشند استخراج‌شده‌است. همچنین هزینه‌های نصب توربین بادی به علت در دسترس نبودن تعدادی از مقادیر در سال‌های مورد نظر از میانگین کلیه داده‌های دردسترس در هر سال استفاده شده است. قیمت‌های نفت نیز به‌طور سالانه برای تمامی کشورهای جهان دارای مقدار واحد می‌باشد.

این مدل ارائه دهنده ارتباط بین نرخ‌های یادگیری و صرفه‌های مقیاس و قیمتهای جهانی نفت بر ظرفیت تولید انرژی بادی که به عنوان شاخص توسعه پایدار در فناوری‌های بادی در نظر گرفته شده است، می‌باشد. این روابط از طریق مدلهای رگرسیونی داده‌های تابلویی مورد بررسی قرارمی‌گیرد. برای اجتناب از کاذب بودن رگرسیون برآوردی

می‌بایست از پایایی تمام متغیرها اطمینان حاصل شود.

همچنین به منظور برآورد نرخ یادگیری از مدل به کار گرفته شده توسط تراپی و همکاران (2015) که در روابط 4 و 5 ارائه شده است، استفاده می شود. یکی از رهیافتهایی که می‌توان تغییرات تدریجی یک متغیر را در طی زمان به صورت خطی استخراج کرد، روش رگرسیون خطی غلتان یا همان رگرسیون بازگشتی معکوس است. در مدلهای رگرسیون خطی، پارامترها در طول زمان ثابت در نظر گرفته می‌شوند. بدان مفهوم که با بروز تحولات سیاسی، اقتصادی و ... (بطور کلی بروز تغییرات ساختاری)، پارامترها تغییر نمی‌کنند. به عبارتی عاملان اقتصادی انتظارات خود را در قبال بروز این تحولات تغییر نمی‌دهند. اما در دنیای واقعی، انتظارات عاملان اقتصادی با بروز تحولات، در طول زمان تغییر خواهد کرد. بنابراین بررسی تغییرات پارامترها در طول دوره های مختلف استفاده می‌شود. استفاده از روش رگرسیون غلتان می تواند تاثیر تغییر در انتظارات را بر ضریب رگرسیون اندازه می گیرد.

همچنین با توجه به اینکه مدلسازی تاثیر قیمت نفت بر صرفه های ناشی از مقیاس و نرخ یادگیری فنی برای گروهی از کشورها انجام می شود، روش مورد استفاده پژوهش برای مدلسازی، روش داده های تابلویی است. برای بررسی داده‌های تابلویی، معادله رگرسیون زیر موردمطالعه قرار می‌گیرد.

$$Y_{it} = \beta X_{it} + \alpha Z_i + \varepsilon_{it} \qquad (10)$$

که در آن X_{it} متغیر توضیحی است که هم در طول زمان و هم در بین گروه‌ها تغییر می‌کند. Z_i خصوصیات ویژه هر فرد یا گروه را نشان می‌دهد که درواقع ناهمگنی‌های بین گروهی را منعکس می‌کند.

جهت بررسی تحلیل شوکهای قیمت نفت که از اهداف این مطالعه می‌باشد از مدل VAR استفاده می‌شود. مدل AR شامل یک متغیر است که روی مقادیر گذشته خود، برازش می شود. در این بخش مدل‌های خود رگرسیون برداری(VAR) را بررسی می شود که شامل چندمتغیر است. در فرم ساختاری VAR علاوه بر مقادیر زمانهای

گذشته(Yt-j) مقادیر جاری متغیرها (Yt) نیز در هریک از معادلات وارد می شود.

$$\theta Y_t = \rho_0 + \rho_1 Y_{t-1} + \rho_2 Y_{t-2} + ... + \rho_p Y_{t-p} + u_t \quad (12)$$

معمولا آنچه که به عنوان مدل‌های VAR معروف شده است، فرم حل شده VAR می‌باشد که طبق آن، مقادیر جاری یک متغیر بر حسب مقادیر گذشته آن متغیر و سایر متغیرها نوشته می‌شود. بدین منظور می توان با ضرب طرفین معادله قبل در θ^{-1}، فرم حل شده VAR را به دست آورد.

$$Y_t = A_0 + A_1 Y_{t-1} + A_2 Y_{t-2} + ... + A_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (13)$$

در سیستم معادلات فوق، هریک از جملات خطا، ترکیبی از جملات خطای VAR ساختاری(u_t) است. بنابراین درحالی که u_{it} ها با یکدیگر همبستگی ندارند، ولی ε_{it} ها همبستگی دارند.

5. نتایج تجربی

نتایج حاصل از روش رگرسیون غلتان جهت محاسبه ضریب λ_L در معادله (5) به شرح زیر می‌باشد:

جدول4: نتایج تابع میانگین هزینه توسعه جهت برآورد نرخ یادگیری

نام متغیر	ضرایب	انحراف معیار	آماره t	احتمال
C	12/23	0/69	17/55	0/0000
Log(Cucap)	-0/54	0/07	-6/92	0/0000

منبع: یافته‌های پژوهش

بر اساس نتایج مورد انتظار از تئوری منحنی یادگیری، رابطه معکوس و معنی داری بین ظرفیت تجمعی و میانگین هزینه‌های توسعه فناوری‌های بادی وجود دارد. به منظور اعتبارسنجی نتایج بدست آمده از مطالعه حاضر، این نتایج با نرخ‌های یادگیری برآورد شده در مطالعات دیگر مطابق جدول (5) مقایسه شده است. همان طور که مشاهده می شود،

اختلاف زیادی میان نتایج در سه مقطع زمانی یاد شده وجود ندارد و در نتیجه، نرخ های یادگیری محاسبه شده برای سالهای مختلف به عنوان یک متغیر مستقل، در مدل مرحله دوم وارد می شوند.

جدول 5: مقایسه نرخ‌های یادگیری برآوردشده درمطالعات خارجی و مطالعه حاضر

مطالعه / نرخ یادگیری	تا سال 2004	تاسال 2006	تا سال 2009
مطالعه لیندمن و سودرهولم،2012	%7	%14	%24
مطالعه حاضر	%8	%13	%22.5

منبع: یافته‌های پژوهش

پس از برآورد نرخ های یادگیری سالانه، به مدلسازی تاثیر تغییر در نرخ یادگیری، صرفه های ناشی از مقیاس و قیمت نفت بر توسعه ظرفیت انرژی بادی در کشورهای در حال توسعه می‌پردازیم. به این منظور، ابتدا پایایی متغیرهای مدل آزمون می‌شود.

جدول 6: نتایج آزمون ریشه واحد متغیرها

ردیف	متغیر	نام اختصاری	مقدار آماره (احتمال آزمون لوین و همکاران)	مقدار آماره (احتمال آزمون ADF)	مقدار آماره (احتمال آزمون pp)	وضعیت پایایی
1	ظرفیت تولید	Cap	6/31	52/21	7/21	ناپایا
2	اقتصادمقیاس	EOS	3/72	5/47	0/00034	ناپایا
3	نرخ یادگیری فنی	LR	7/12	2/11	0/03	ناپایا
4	قیمت نفت	Oilp	-1/14	20/1	21/52	ناپایا

منبع: یافته‌های پژوهش

با توجه به اینکه بر اساس جدول 6، ناپایایی هیچ یک از متغیرهای معادله رد نمی شود، به منظور آزمون برقراری رابطه بلندمدت میان متغیرها از آزمون همگرایی متقابل استفاده می شود.

جدول 7: نتایج آزمون همگرایی متغیرها در بلندمدت

نتایج آزمون	Pedroni Test			Kao Test
	Rho	PP	ADF	
احتمال آزمون	0/12	0/23	0/42	0/045

منبع: یافته‌های پژوهش

با توجه به آنکه احتمال آزمون Kao کمتر از 5% محاسبه شده است، فرضیه صفر عدم وجود همگرایی بلندمدت میان متغیرهای پژوهش رد می‌شود و در نتیجه می توان رابطه بلندمدت میان این متغیرها را برآورد نمود. پیش از برآورد مدل های مبتنی بر داده های تابلویی لازم است آزمون های لازم درباره قابلیت تخمین مدل به صورت داده های تلفیقی و همچنین آزمون اثرات ثابت در مقابل اثرات تصادفی انجام شود. مقدار آماره F لیمر برای فرضیه صفر امکان برآورد مدل به صورت داده های تلفیقی برابر با 31/250 برآورد شد. در نتیجه این فرضیه رد شد. سپس، آزمون هاسمن برای بررسی برآورد مدل به صورت اثرات تصادفی مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به مقدار آماره F این آزمون (2/436)، فرضیه صفر کاراتر بودن مدل اثرات تصادفی در مقابل اثرات ثابت رد نشد و مدل به صورت اثرات تصادفی برآورد شد. جدول (8) نتایج برآورد مدل را نشان می دهد:

جدول 8: تخمین پارامترهای تابع ظرفیت تولید برق بادی

ردیف	متغیر	ضریب	مقدار آماره t	احتمال
1	C	-16/44	-1/412	0/232
2	Eos	0/854	2/611	0/023
3	Lr	0/005	3/112	0/000
4	Oilp	0/002	2/701	0/007

منبع: یافته‌های پژوهش

بر اساس نتایج بدست آمده، ارتباط مثبت و معنی داری میان سه متغیر مستقل مورد نظر و متغیر ظرفیت انرژی بادی در کشورهای در حال توسعه وجود دارد. مقایسه ضرایب محاسبه شده نشان می دهد که در نمونه مورد مطالعه، بالاترین تاثیر مربوط به صرفه های

مقیاس است. یعنی افزایش مقیاس هر یک از توربین های بادی تاثیر بالایی بر ظرفیت نصب شده انرژی بادی در کشورهای در حال توسعه به همراه داشته است. این موضوع پیش از این در مقاله لی و همکاران (2014) نیز تایید شده است. همچنین، تاثیر بهبود نرخ یادگیری بر توسعه انرژی بادی مثبت ولی اندک برآورد شده است. مشابه این نتیجه را می توان در مطالعات مقبلی و نهاوندی (1395) و شریفی و همکاران (1388) یافت. علت آن است که معمولاً یادگیری در کشورهای توسعه یافته به وقوع می پیوندد و تاثیر آن بر توان نصب شده کشورهای در حال توسعه کمتر است. در نهایت، افزایش قیمت نفت نیز تاثیری مثبت ولی اندک بر توسعه برق بادی در کشورهای در حال توسعه داشته است. چرا که در صورت افزایش قیمت نفت، تمایل به توسعه صنعت انرژی های فسیلی نیز در کشورهای در حال توسعه بیشتر می شود و به دلیل الزامات غیرسختگیرانه زیست محیطی، رقابت میان دو گروه انرژی فسیلی و تجدیدپذیر در این کشورها بالاست.

1-5. بررسی تاثیر شوکهای نفتی با استفاده از مدل خودرگرسیون برداری (VAR)

با توجه به اینکه ممکن است افزایش و یا کاهش تدریجی و اندک قیمت نفت تاثیر چندانی بر تمایل کشورها به استفاده از انرژی تجدیدپذیر نداشته باشد، لازم است اثر وقوع شوک قیمت نفت را بر توسعه انرژی های تجدیدپذیر مورد مطالعه قرار دهیم. نتایج فوق نشان داد که قیمت نفت به خودی خود، تاثیری مثبت ولی اندک بر روی ظرفیت نصب شده برق بادی در کشورهای در حال توسعه داشته است. پیش از برآورد مدل VAR لازم است، وقفه بهینه مدل انتخاب شود. در این راستا از معیارهای تعیین وقفه بهینه و به ویژه معیار شوارتز استفاده می‌شود. نتایج تعیین وقفه بهینه در جدول (9) ارائه شده است. این جدول، وقفه 2 را برای مدل مناسب تشخیص داده است. همچنین، آزمون پایداری مدل با استفاده از ریشه های مشخصه انجام شد. با توجه به اینکه ریشه ها درون دایره واحد جای گرفتند، پایداری مدل مورد تایید قرار گرفت.

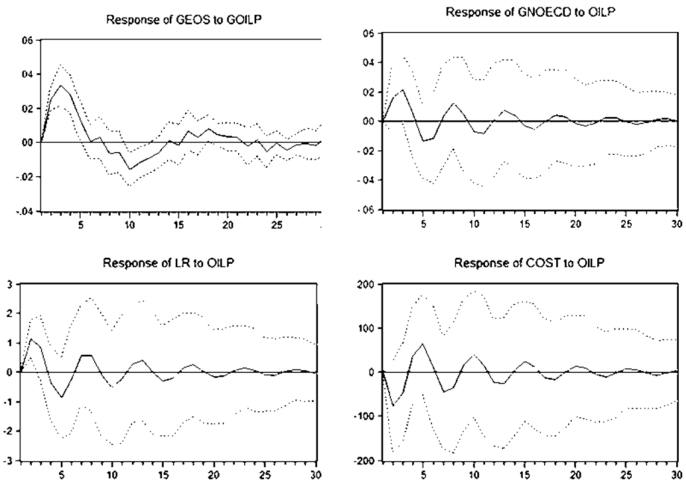
جدول 9: تعیین وقفه بهینه برای مدل VAR کشورهای درحال‌توسعه

مقدار شوارتز	تعداد وقفه
1/649854	0
-0/852420	1
*-4/32878	2

منبع : یافته‌های پژوهش

2-5. بررسی تاثیر شوک نفتی با استفاده از توابع واکنش

توابع واکنش بیانگر آن است که هریک از متغیرهای مدل VAR چگونه به شوک ها عکس‌العمل نشان می‌دهند. شوکها شامل تغییرات تصادفی هستند که وارد مدل می‌شوند. هرشوکی که به یک متغیر وارد شود، سایر متغیرها را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. به همین دلیل، علاوه بر تاثیر شوک نفتی بر ظرفیت نصب شده برق بادی در کشورهای در حال توسعه، اثر آن بر دیگر متغیرهای مدل نیز بررسی می شود. شکل(1)، نمودارهای واکنش متغیرهای ظرفیت برق بادی، اندازه مقیاس تولید و نرخ‌های یادگیری فنی را نسبت به شوک قیمت نفت، نشان می دهد.



شکل 1: تأثیر شوک قیمت نفت بر نرخ یادگیری در کشورهای درحال توسعه

منبع: یافته‌های پژوهش

نتایج نشان می دهد که پس از شوک نفتی مثبت، مقیاس توربین های بادی افزایش می یابد. دلیل این موضوع برای کشورهای صادرکننده نفت، افزایش درآمد نفتی و لذا افزایش توانایی انتقال تکنولوژی های با مقیاس بالاتر است. در نتیجه این کشورها می‌توانند توربینهای با مقیاس بالاتری را از کشورهای توسعه یافته وارد نمایند. بدیهی است با فروکش کردن شوک نفتی، افزایش مقیاس نیز کمتر می شود و به مسیر بلندمدت افزایش ظرفیت برمی گردد. به عبارت دیگر، به دلیل وابسته بودن کشورهای در حال توسعه به فناوری های کشورهای توسعه یافته، شوک نفتی نمی تواند تاثیر دائمی بر افزایش مقیاس تولید در کشورهای در حال توسعه داشته باشد. در کشورهای در حال توسعه فاقد نفت نیز شوک نفتی، تمایل به توسعه ظرفیت برق بادی را افزایش می دهد. اما مجدداً وابستگی فناورانه این کشورها مانع از تدوام سرمایه گذاری بر توسعه ظرفیت توربین بادی می شود. چرا که توسعه ظرفیت علاوه بر سرمایه گذاری نیازمند دانش فنی و فناوری است.

شوک نفتی مثبت، باعث افزایش نرخ یادگیری در کوتاه مدت می شود. این موضوع ناشی از ورود ظرفیت های بالاتر توربین های بادی و در نتیجه افزایش تولید برق و در نتیجه

افزایش ظرفیت انباشته می شود. اما به تدریج و به دلیل ثابت ماندن مقیاس توربین های بادی، این یادگیری با کاهش مواجه می شود و از آن پس با یک حرکت نوسانی مسیر کاهش را ادامه می دهد. همین موضوع در زمینه کل ظرفیت نصب شده برق بادی در کشورهای در حال توسعه نیز مشهود است. به عبارت دیگر، شوکهای نفتی در مجموع اثرات کوتاه مدت بر ظرفیت نصب شده برق بادی در کشورهای در حال توسعه داشته و به مرور، اثر این شوک خنثی می شود. دلیل اصلی این موضوع، عدم وجود توانمندی های پویای توسعه فناوری در این کشورهاست.

6. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

انرژی‌های فسیلی و به ویژه نفت و مشتقات آن، همچنان به عنوان رقیب جدی انرژیهای تجدیدپذیر در دنیا به شمار می آیند. بررسی ها نشان می دهد که علی رغم انتظار تاثیر مهم قیمت نفت بر توسعه انرژی های تجدیدپذیر، مطالعات اندکی در سطح جهانی به بررسی این ارتباط پرداخته اند. از سوی دیگر، توسعه فناوری و یادگیری فنی از جمله عواملی است که موجب می شود هزینه تولید برق از منابع تجدیدپذیر روز به روز کاهش یافته و خود را به هزینه تولید برق از منابع فسیلی نزدیک نماید.

در این مطالعه، تاثیر قیمت نفت در کنار دو متغیر یادگیری فنی و افزایش مقیاس توربین های بادی بر ظرفیت نصب شده این توربینها در کشورهای در حال توسعه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در بلندمدت، تغییرات قیمت نفت، تاثیری مثبت ولی اندک بر ظرفیت نصب شده برق بادی دارد. این تاثیر اندک در دو گروه کشورهای دارنده منابع فسیلی و سایر کشورهای در حال توسعه قابل تامل است. در کشورهای نفتی، افزایش قیمت نفت، تمایل به اجرای پروژه های انتقال فناوری برق بادی را تقویت می کند ولی به دلیل زمانبر بودن پروژه های انتقال فناوری، احداث و بهره برداری از نیروگاه های بادی ممکن است به ثمر ننشیند و مجدداً با کاهش قیمت نفت و سطح درآمد ملی، توان سرمایه گذاری کشور در حال توسعه کاهش یابد. برای کشورهای در حال توسعه فاقد منابع فسیلی،

افزایش قیمت نفت به منزله افزایش هزینه های تامین انرژی بوده و این کشورها را به سمت انرژی بادی سوق می دهد ولی مجدداً به دلیل وابستگی این کشورها به فناوری های وارداتی، در صورت کاهش قیمت نفت می تواند روی انگیزه این کشورها تاثیر منفی داشته باشد. لذا در بلندمدت اگر چه افزایش قیمت نفت، انگیزه سرمایه گذاری در کشورهای در حال توسعه افزایش می دهد، این تاثیر اندک است.

به همین ترتیب، شوکهای نفتی نیز در کوتاه مدت، تمایل کشورهای در حال توسعه به انتقال توربین های با مقیاس بالاتر و در نتیجه ظرفیت نصب شده را بیشتر می کند ولی نهایتاً به دلیل وابستگی فناورانه این کشورها به کشورهای توسعه یافته، پس از گذشت زمانی از شوک نفتی، مسیر توسعه ظرفیت نصب شده در کشورهای در حال توسعه به مسیر بلندمدت خود باز می گردد.

7. منابع

الف) فارسی

اسدی اسدآباد، محمدرضا؛ چگینی، حمید و کاکه زاده، هیوا (1390). انرژی‌های تجدیدشونده و بررسی پتانسیل کاربردی آن‌ها، همایش ملی مدیریت کشاورزی، تهران، صص 412-425.

ترازنامه انرژی ایران (1393)، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، وزارت نیرو، تهران.

آزادی راد، بهنام و حیدری، پیام (1393). نگاهی به روند بهره گیری از انرژی باد از گذشته تا به امروزبا رویکرد اقتصادانرژی، اولین همایش ملی پژوهشهای کاربردی در نگهداشت محیط زیست، آب و منابع طبیعی، تهران، صص. 142-153.

فانی، مریم؛ اکبری، مسلم و پورمحمد، یسنا (1393). تأثیر قیمت نفت خام بر مصرف انرژی در بخشهای مختلف در ایران، کنفرانس ملی اقتصاد، توانمندسازی اصلاح رفتارهای اقتصاد، شیراز. صص. 432-441.

شریفی، علیمراد؛ آقایی، کیومرث؛ صادقی، مهدی؛ دلالی اصفهانی، رحیم و شوال‌پور؛ سعید (1388). تاثیریادگیری فنی بر توسعه ی فناوری های انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش برق ایران درشرایط اختلالات قیمت انرژی. *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، شماره 21، صص. 160-137.

مقبلی، حسن؛ مقبلی و نهاوندی، رامین (1395). روند توسعه انرژی بادی نسبت به سایر انرژیها تجدیدپذیر در ایران و جهان، نهمین همایش ملی انرژی تجدیدپذیر پاک و کارآمد، تهران. صص. 621-630.

ب) انگلیسی

Amit, R. (1986). Cost Leadership Strategy and Experience Curves, *Strategic Management Journal*, Vol. 7, pp. 281-292.

Arrow, K. (1963). the Economic Implications of Learning-by-Doing. *Review of Economic Studies*, Vol. 29, pp. 155-173.

Duffey, R. (2005). Predicting Tragedies, Accidents, Errors and Failures using a Learning Environment, *Science and Technology of Advanced Materials*, Vol. 6, pp. 878-882.

Elsobki, M., Wooders P. and Sherif, Y. (2009). *Clean Energy Investment in Developing Countries: Wind power in Egypt*, International institute for Sustainable Development (IISD), www.iisd.org, pp. 45-51

EWEA (2009). *The Economics of Wind Energy*, The European Energy Association, Belgium, www.ewea.org, pp. 27-32

Gooden, E. (2002) Learning Curves Tutorial, *Journal of Operations Management*, Vol. 41, pp. 124-129.

Gotzens F., Heidi Heinrichs H., Hake J.F. and Allelein H.J. (2018) The Influence of Continued Reductions in Renewable Energy Cost on the European Electricity System, *Energy Strategy Reviews*, Vol. 21, pp. 71-81.

Grosse, E., Glock, Ch. and Müller, S. (2015). Production Economics and the Learning Curve: A Meta-Analysis, *International Journal of Production Economics*, Vol. 170, pp. 401-412.

Huenteler, J., Niebuhr, CH. and Schmidt, T. (2014). The Effect of Local and Global Learning on the Cost of Renewable Energy in Developing Countries, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 128, pp. 6-21.

IEA (2018), *World Energy Outlook*, International Energy Agency, www.iea.org, pp. 214-225.

Jamasb, T. and K□hler, J. (2007), Learning Curves for Energy Technology: a Critical Assessment, University of Cambridge, Faculty of economics, https://doi.org/10.17863/CAM.5144, pp. 4-12.

Klevnäs P., Stern N., and Frejova J. (2015). Oil Prices and the New Climate Economy, The global commission on the climate and economy, www.newclimateeconomy.net, pp. 5-14.

Li, T., Sethi, S. P. and He, X. (2014) Dynamic Pricing, Production, and Channel Coordination with Stochastic Learning, *Production and Operations Management*, Vol. 24, pp. 1-26.

Lindman, A. and Sodelholm, P. (2012), Wind Power Learning Rates: A Conceptual Review and Meta-Analysis, *Energy Economics*, Vol.34, pp. 754–761

Linton, J. and Walsh, S. (2013), Extracting Value from Learning Curves: Integrating Theory and Practice, *Creativity and Innovation Management*, Vol. 22, pp. 10-25.

Nemet, G. (2005), Beyond the Learning Curve: Factors Influencing Cost Reductions in Photovoltaics, *Energy Policy*, Vol.34, pp. 3218-3232.

Hussain Shah I., Hiles C. and Morley B. (2018), How Do Oil Prices, Macroeconomic Factors and Policies Affect the Market for Renewable energy?, *Applied Energy*, Vol.215, pp. 87-97

Nachtigall D. and Rübbelke D. (2016), The Green Paradox and Learning-by-Doing in the Renewable Energy Sector, *Resource and Energy Economics*, Vol.43, pp. 74-92.

Porter, M. (1986), Changing Patterns of International Competition, *California Management Review*, Vol. 28, pp. 9-40.

Pindyck R.S. and Rubinfeld, D. L. (1997) *Microeconomics*, London, Prentice Hall.

Rubin E.S. (2015), A Review of Learning Rates for Electricity Supply technologies, *Energy Policy*, Vol.86, pp.198–218

Schmitz, A. (2009), Effect of Oil Prices on Returns to Alternative Energy Investments, a Thesis Presented to the Academic Faculty, Georgia Institute of Technology. pp. 65-75.

Soderholm, P. and Klaassen, G. (2007), Wind Power in Europe: a Simultaneous Innovation-Diffusion Model, *Environmental and Resource Economics*, Vol. 36, pp. 163–190.

Stobaugh, R. and Townsend, Ph. (1975), Price Forecasting and Strategic Planning: The Case of Petrochemicals, *Journal of Marketing Research*, Vol.1, pp. 19-29.

Tour, A., Glachant, M. and Meniere, Y. (2013), What Cost for Photovoltaic Modules in 2020? Lessons from Experience Curve Models, HAL, www.archives-ouvertes.fr, hal-00805668v2, pp. 11-14

Trappey A.J.C., Trappey C.V., Tan H., Liu P.H.Y., Li S.J. and Lin L-C. (2015), The Determinants of Photovoltaic System Costs: an Evaluation Using a Hierarchical Learning Curve Model", *Journal of Cleaner Production*, Vol.112, pp. 1709-1716.

Troster V., Shahbaz M. and Salah Uddin G. (2018), Renewable Energy, Oil Prices, and Economic Activity: a Granger-Causality in Quantiles analysis, *Energy Economics*, Vol.70, pp. 440-452.

Wright, T. P. (1936), Factors Affecting the Cost of Airplanes, *Journal of Aeronautical Sciences*, Vol.3, pp. 213-219.

Witajewski-Baltvilks, J., Verdolini E., and Tavoni M. (2015), Bending the Learning Curve, *Energy Economics*, Vol.52, pp. 86-99.