

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

سعید شوال پور<sup>1</sup>

الهه کاویانی<sup>2</sup>

تاریخ دریافت: 1396/12/22

تاریخ پذیرش: 1397/06/20

### 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 خودرگرسیون 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 می‌سازد. (ناچتیگال و رابلک<sup>1</sup>، 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<sup>2</sup>، 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<sup>3</sup>، 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 می‌دهد. 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 Rübhelke (2016)

2. Troster et al. (2018)

3. Hussain Shah I. et al. (2018)

تأثیر نوسانات قیمت نفت بر ظرفیت برق بادی... 27

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 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 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 انرژی‌های 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<sup>1</sup> 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

شوگ 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 می‌دهد، 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<sup>1</sup>، 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 می‌آیند. (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. (السبکی و همکاران<sup>2</sup>، 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<sup>3</sup>، 2015).

1. The European Wind Energy Association (EWEA)

2. Elsobki et al. (2009)

3. Kelevnas et al. (2015)

تأثیر نوسانات قیمت نفت بر ظرفیت برق بادی... 29

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 واردکننده نفت، همزمان با کاهش قیمت نفت، تمایل به استفاده از انرژی‌های فسیلی بیشتر از تجدیدپذیر خواهد بود. در این شرایط، افزایش تولید انرژی‌های تجدیدپذیر باعث کاهش رونق صنعت نیروگاه‌های با سوخت فسیلی شده و این موضوع، بیکاری و رشد منفی برای اقتصاد به همراه خواهد داشت. (اسمیتز<sup>1</sup>، 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<sup>2</sup> و همکاران، 2002). تاریخچه منحنی یادگیری به مطالعه توماس رایت<sup>3</sup> (1936) در موضوع هزینه تولید هواپیما به واسطه افزایش تولید جمعی و یا آنچه ظرفیت نصب‌شده می‌نامیم بر می‌گردد. از آن‌پس، اقتصاددانان علاقه‌مند به بررسی پتانسیل منحنی‌های یادگیری چه در تئوری و چه در عمل شدند. مطالعه (ارو<sup>4</sup>، 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 جمعی 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.

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

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

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

تراپی<sup>1</sup> و همکاران (2015) رابطه (1) را در صنعت برق بادی به صورت رابطه 4 نوشته اند:

$$C_t = \delta_0 Z_t^{\delta_L} \quad (4)$$

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.  $\delta_0$  عبارتست از هزینه یک واحد ظرفیت توربین بادی در سال اول و  $\delta_L$  کشش یادگیری فنی و یا به عبارتی درصد تغییر در هزینه هر واحد ظرفیت به ازای یک درصد افزایش در ظرفیت انباشته را نشان می‌دهد.

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  $\delta_L$  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)

تأثیر نوسانات قیمت نفت بر ظرفیت برق بادی... 31

تولید واحد بعدی نداشته باشد. به عبارت دیگر در تولید آینده از تجربه بیشتر در تولید گذشته پیروی می کند.

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

در رابطه فوق  $E_{CQ}$ ، کشش هزینه انباشته می باشد.  $C$  هزینه و  $Q$  مقدار تولید جمععی است. در رابطه با فناوری انرژی بادی می توان گفت  $C$  همان هزینه تولید و نصب توربین های بادی ساخته شده روی خشکی می باشد و  $Q$  ظرفیت انباشته توربین های 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 انجام شده و به طور کلی نشان داده است که نرخ یادگیری فنی نسبت به روند زمانی حساسیت نشان می دهد. چنین استدلالی را می توان برای دانش، R&D و اثرات مقیاس نیز ذکر کرد. (سودر هولم و کلاسن<sup>1</sup>، 2007). در جدول زیر نرخ های یادگیری استخراج شده در جهان و در دوره های زمانی متفاوت استخراج شده است.

جدول 1: نرخ های یادگیری استخراج شده در مناطق مختلف جهان و در دوره های 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<sup>2</sup> و همکاران، 2015.

1. Soderholm and Klaassen (2013)

2. Rubin, et al. (2015)

همان طور که مشاهده می شود، نرخ های یادگیری برای مناطق جغرافیایی و دوره های زمانی مختلف، متفاوت است. این موضوع، ناشی از تفاوت هایی است که میان مناطق مختلف دنیا در زمینه میزان ظرفیت نصب شده، تولید انباشته و توانمندی های یادگیری وجود دارد. علاوه بر این، این تفاوت ها 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 می دهد. در دراز مدت، همه عوامل تولید متغیر هستند و در معرض یک افزایش در مقیاس می باشند. وقتی که اقتصاد مقیاس اثر افزایش سطح خروجی را در هزینه های واحد نشان می دهد، بازده مقیاس تنها تمرکزش بر روی ارتباط بین کمیت های ورودی و خروجی می باشد. به عنوان یک تئوری اقتصاد مقیاس همان اثربخشی ناشی از افزایش یک مقیاس در تولید است. به روشنی واضح است که تنوع هزینه های نصب انرژی بادی شامل هزینه های انتخاب محل، شناسایی خاک جاده جهت حمل و نقل و سائل نقلیه سنگین، احداث و فونداسیون و مسافت جهت انتقال انرژی به شبکه می باشد. این هزینه ها در بلندمدت با افزایش ظرفیت تولیدی کاهش می یابند. یکی از عوامل افزایش ظرفیت تولید انرژی بادی افزایش ظرفیت توربین می باشد. سه دلیل برای افزایش ظرفیت توربین بادی قابل ارائه است:

الف: صرفه های ناشی از مقیاس (ظرفیت) توربینهای بادی: به این مفهوم که توربینهای بزرگتر توانایی انتقال الکتریسیته بیشتر در هزینه های کمتر نسبت به دستگاههای کوچکتر دارند. چرا که، هزینه های ثابت مانند هزینه ایجاد زیرساخت، احداث جاده، شبکه انتقال و برخی از بخشهای توربین از جمله 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 می‌یابد، توان تولید آن در مقایسه با توربین‌های کوچکتری که در خشکی نصب می‌شوند، بیشتر می‌شود.

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 هزینه‌های ثابت کاهش می‌یابد. به این ترتیب هر چه ظرفیت یک توربین افزایش یابد، ظرفیت برق تولیدی از یک مزرعه بادی افزایش یافته و هزینه‌های برق روندی کاهشی خواهد یافت.

### 3. پیشینه پژوهش

مطالعات انجام‌شده مرتبط با موضوع این مقاله را می‌توان به حوزه‌های یادگیری، صرفه‌های مقیاس، قیمت نفت و انرژی‌های تجدیدپذیر تقسیم کرد. لیتن و والش<sup>1</sup> (2013)، مدل‌های موجود برای منحنی یادگیری را تنها قابل پیاده‌سازی در تکنولوژی‌هایی که به اندازه 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 و در حال رشد بسط دادند. کرون<sup>2</sup> 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 می‌کند. 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 اسمیت<sup>3</sup> (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 و سودر هولم<sup>1</sup> (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، می‌بایست به اندازه تعامل بین یادگیری تکنولوژی و تحقیق و توسعه در این زمینه مورد توجه قرار گیرد. در مطالعه دیگری از لنتن و والش<sup>2</sup> (2013)، به این موضوع پرداخته می‌شود که چگونه منحنی یادگیری منجر به کاهش هزینه، گسترش بازارهای موجود و ایجاد بازارهای جدید می‌شود. لی<sup>3</sup> و همکاران (2014)، در مطالعه‌ای با به کارگیری 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 سیاست‌گذاری در زمینه این انرژی‌ها بحث شده و کمتر به تأثیر یادگیری و صرفه‌های حاصل از مقیاس پرداخته شده 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)

تأثیر نوسانات قیمت نفت بر ظرفیت برق بادی... 35

وهمکاران (1390)، به مطالعه انواع انرژی‌های تجدیدپذیر و میزان کاربری آن‌ها پرداخته‌اند 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 می‌دهد. تحقیقات فانی و همکاران (1393) نشان می‌دهد که افزایش قیمت نفت تأثیر مستقیمی روی شدت مصرف انرژی در بخشهای مختلف اقتصادی می‌گذارد و می‌توان با هدفمندسازی مصرف انرژی باعث رشد اقتصاد کشور شد.

با توجه به اهمیت تامین انرژی موردنیاز از انرژی‌های تجدیدپذیر، آزادی‌راد و حیدری (1393)، به بررسی روند فراگیر شدن 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 توربین‌ها را در جهان مورد بررسی قرار داده‌اند و به نقش ایران به‌عنوان کشور در حال توسعه در این 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 انرژی‌های تجدیدپذیر در طول زمان مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها سرمایه‌گذاری در صنعت انرژی بادی را مناسبترین انتخاب برای بهره‌برداری در کشورهای در حال توسعه به خصوص ایران می‌دانند. جدول (2) به مقایسه رویکرد مطالعات پیشین و مطالعه حاضر پرداخته است.

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

مطالعه	ارزیابی اقتصادی	الترات شوکهای نفتی	انرژی های تجدیدپذیر	تکنولوژی انرژی	صرفه های مقیاس	یادگیری
مطالعه حاضر	✓	✓	✓	✓	✓	✓
وایت <sup>1</sup> ، 1936	✓					
استویاچ و تونسد <sup>2</sup> ، 1975						
پورتر <sup>3</sup> ، 1986	✓				✓	
آمیت <sup>4</sup> ، 1986						
پیندایک و همکاران <sup>5</sup> ، 1997	✓				✓	
گودن <sup>6</sup> ، 2002						
لینتون و والش <sup>7</sup> ، 2004				✓		
دافی <sup>8</sup> ، 2005						
نمت <sup>9</sup> ، 2005			فوتولتائیک			
جاماسب و کولر <sup>10</sup> ، 2007				✓		
اسمیتز <sup>11</sup> ، 2009		✓	✓		✓	
لیندمن و والش <sup>12</sup> ، 2013	✓					
لیندمن و سودرholm <sup>13</sup> ، 2011	✓		انرژی بادی			
تور و همکاران <sup>14</sup> ، 2013	✓		✓			
هیونتر و همکاران <sup>15</sup> ، 2014	✓		✓	✓		
لی و همکاران <sup>16</sup> ، 2014	✓					
گروس و همکاران <sup>17</sup> ، 2015	✓					
وایتاچوسکی و بالتویکس <sup>18</sup> ، 2015			✓	✓		
شریفی و همکاران، 1388	✓		✓	✓		
اسدآباد و همکاران، 1390	✓		✓			
فدایی و همکاران، 1390			✓	✓		
مقبلی و نهبانندی، 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 علی‌رغم 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 نشان‌دهنده 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 می‌یابد.

#### 4. روش پژوهش

بر اساس مبانی نظری ارائه شده، یادگیری فنی و صرفه‌های مقیاس تاثیر مستقیم بر افزایش ظرفیت برق بادی (توربین‌های بادی) دارند. در حالی که جمع‌بندی مطالعات پیشین نشان می‌دهد 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 می‌شود:

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 خودرگرسیون برداری مبتنی بر داده‌های 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 می‌شود:

$$Cap = F(EOS, LR, OilP)$$
$$gCap_{it} = c_0 + c_1.gEOS_{it} + c_2.gLR_{it} + c_3.gOilP_{it} + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

که در آن Cap، ظرفیت نصب‌شده توربین‌های بادی در کشورهای در حال توسعه

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 شده است.

جدول 3: معرفی نمادهای مورد استفاده در پژوهش و واحد آن‌ها

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

منبع: یافته‌های پژوهش

اطلاعات لازم برای انجام این تحلیل به روش اسنادی و از پایگاه‌های معتبر بین‌المللی همچون گزارشهای سالانه IEA، IRENA، GWEC، IRENA، و IISD استخراج شده است. این اطلاعات عبارت‌اند از: قیمت نفت در بازارهای جهانی، ظرفیت نصب شده انرژی بادی، هزینه ایجاد ظرفیت برق بادی. کلیه داده‌های مرتبط با ظرفیت بادی برای تعداد 20 کشور در حال توسعه در طی سالهای 2003 تا 2015 که دارای این فناوری می‌باشند استخراج شده است. همچنین هزینه‌های نصب توربین بادی به علت در دسترس نبودن تعدادی از مقادیر در سال‌های مورد نظر از میانگین کلیه داده‌های در دسترس 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 قرار می‌گیرد. 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 می‌شود. 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 عوامل اقتصادی انتظارات خود را در قبال بروز این تحولات تغییر نمی‌دهند. اما در دنیای واقعی، انتظارات عوامل اقتصادی با بروز تحولات، در طول زمان تغییر خواهد کرد. بنابراین بررسی تغییرات پارامترها در طول دوره‌های مختلف استفاده می‌شود. استفاده از روش رگرسیون غلتان می‌تواند تاثیر تغییر در انتظارات را بر ضریب رگرسیون اندازه می‌گیرد.

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

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

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 در واقع 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 می‌شود. در این بخش مدل‌های خود رگرسیون برداری (VAR) را بررسی می‌شود 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.

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

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

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

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  $\square_{it}$  ها همبستگی دارند.

## 5. نتایج تجربی

نتایج حاصل از روش رگرسیون غلتان جهت محاسبه ضریب  $\square_L$  در معادله (5) به شرح زیر می باشد:

جدول 4: 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: یافته های پژوهش

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



تأثیر نوسانات قیمت نفت بر ظرفیت برق بادی... 41

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 نرخ های یادگیری برآورد شده در مطالعات خارجی و مطالعه حاضر

مطالعه / نرخ یادگیری	تا سال 2004	تا سال 2006	تا سال 2009
مطالعه لیندن و سودر هولم، 2012	7%	14%	24%
مطالعه حاضر	8%	13%	22.5%

منبع: یافته های 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 می پردازیم. به این منظور، ابتدا پایایی متغیرهای مدل آزمون می شود.

جدول 6: نتایج آزمون ریشه واحد متغیرها

ردیف	متغیر	نام اختصاری	مقدار آماره (احتمال آزمون لیندن 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	اقتصاد مقیاس	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: یافته های 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

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

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 می‌توان رابطه بلندمدت میان این متغیرها را برآورد نمود. پیش از برآورد مدل‌های مبتنی بر داده‌های تابلویی لازم است آزمون‌های لازم درباره قابلیت تخمین مدل به صورت داده‌های تلفیقی و همچنین آزمون اثرات ثابت در مقابل اثرات تصادفی انجام شود. مقدار آماره F لیمر برای فرضیه صفر امکان برآورد مدل به صورت داده‌های 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 می‌دهد:

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 معنی‌داری میان سه متغیر مستقل مورد نظر و متغیر ظرفیت انرژی بادی در کشورهای در حال توسعه وجود دارد. مقایسه ضرایب محاسبه شده نشان می‌دهد که در نمونه مورد مطالعه، بالاترین تاثیر مربوط به صرفه‌های

تأثیر نوسانات قیمت نفت بر ظرفیت برق بادی... 43

مقیاس است. یعنی افزایش مقیاس هر یک از توربین های بادی تأثیر 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، تأثیر بهبود نرخ یادگیری بر توسعه انرژی بادی مثبت ولی اندک برآورد شده است. مشابه این نتیجه را می توان در مطالعات قبلی و نهاوندی (1395) و شریفی و همکاران (1388) یافت. علت آن است که معمولاً یادگیری در کشورهای توسعه یافته به وقوع می پیوندد و تأثیر آن بر توان نصب شده کشورهای در حال توسعه کمتر است. در نهایت، افزایش قیمت نفت نیز تأثیری 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.

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

با توجه به اینکه ممکن است افزایش و یا کاهش تدریجی و اندک قیمت نفت تأثیر 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، تأثیری 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 می شود. 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.

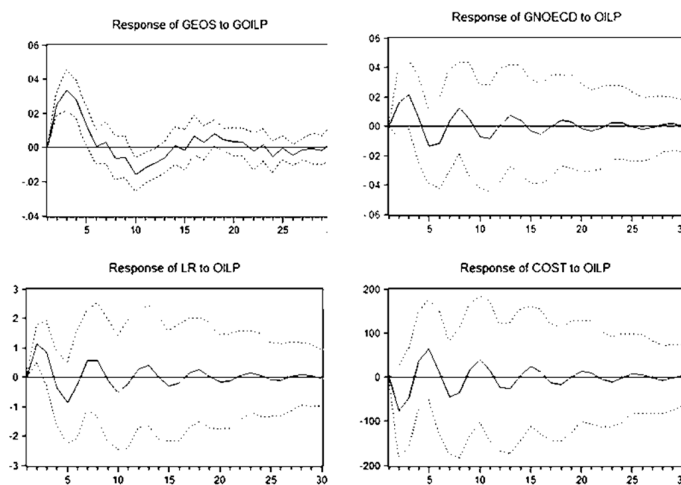
جدول 9: تعیین وقفه بهینه برای مدل VAR کشورهای درحال توسعه

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

منبع: یافته‌های پژوهش

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

توابع واکنش بیانگر آن است که هر یک از متغیرهای مدل VAR چگونه به شوک‌ها عکس‌العمل نشان می‌دهند. شوک‌ها شامل تغییرات تصادفی هستند که وارد مدل می‌شوند. هر شوکی 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 می‌شود. شکل (1)، نمودارهای واکنش متغیرهای ظرفیت برق بادی، اندازه مقیاس تولید و نرخ‌های یادگیری فنی را نسبت به شوک قیمت نفت، نشان می‌دهد.



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

منبع: یافته‌های پژوهش

نتایج نشان می‌دهد که پس از شوک نفتی مثبت، مقیاس توربین‌های بادی افزایش می‌یابد. دلیل این موضوع برای کشورهای صادرکننده نفت، افزایش درآمد نفتی و لذا افزایش توانایی انتقال تکنولوژی‌های 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 می‌شود و به مسیر بلندمدت افزایش ظرفیت برمی‌گردد. به عبارت دیگر، به دلیل وابسته بودن کشورهای در حال توسعه به فناوری‌های کشورهای توسعه یافته، شوک نفتی نمی‌تواند تأثیر 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 می‌دهد. اما مجدداً وابستگی فناورانه این کشورها مانع از تدوam سرمایه‌گذاری بر توسعه ظرفیت توربین بادی می‌شود. چرا که توسعه ظرفیت علاوه بر سرمایه‌گذاری نیازمند دانش فنی و فناوری است.

شوک نفتی مثبت، باعث افزایش نرخ یادگیری در کوتاه مدت می‌شود. این موضوع ناشی از ورود ظرفیت‌های بالاتر توربین‌های 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. جمع بندی و نتیجه گیری

انرژی های فسیلی و به ویژه نفت و مشتقات آن، همچنان به عنوان رقیب جدی انرژی های 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 نرسند 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،

تأثیر نوسانات قیمت نفت بر ظرفیت برق بادی... 47

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 تأثیر منفی داشته باشد. لذا در بلندمدت اگر چه افزایش قیمت نفت، انگیزه سرمایه گذاری در کشورهای در حال توسعه افزایش می دهد، این تأثیر 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). انرژی های تجدیدشونده و بررسی پتانسیل کاربردی آنها، همایش ملی مدیریت کشاورزی، تهران، صص 412-425.

ترازنامه انرژی ایران (1393)، دفتر برنامه ریزی 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 امروز با 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). تاثیر یادگیری فنی بر توسعه ی فناوری های انرژی های تجدیدپذیر در بخش برق ایران در شرایط اختلالات قیمت انرژی. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، شماره 21، صص. 137-160.

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. 630-621.

(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 Kehler, 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](http://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 Rübhelke 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](http://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.

Archive of SID