نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی ایران
سال یازدهم/ شماره سی و هفتم- ویژه نامه‌ی نیروگاههای تلمبه ذخیره‌ای/ بهار ۱۴۰۳

Journal of Iranian Dam and Hydroelectric PowerPlant
11th Year/ No. 37- Special Issue on Pumped Storage Power Plants/ June 2024

مدل مفهومی سیاست بازار محور توسعه واحدهای تلمبه ذخیره‌ای به منظور رفع ناپیوستگی تولید برق نیروگاه‌های برق تجدیدپذیر

سورنا نادری*[۱]
محمد ابراهیم رئیسی[۲]
حبیب سهیلی احمدی[۳]

چکیده

حرکت سیاست‌گذار انرژی در ایران به سوی توسعه‌ی ظرفیت تولید برق تجدیدپذیر در طی سال‌های اخیر باعث شده تا این احتمال وجود داشته باشد که در سال‌های آتی با افزایش این ظرفیت، به تدریج مشکلات ناشی از غیر پیوستگی برق تجدیدپذیر در شبکه برق ظهور پیدا کند. در نتیجه، می‌توان انتظار داشت که در آینده به منظور کاهش این مشکلات، افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی از طریق واحدهای تلمبه‌خیره‌ای نیز به تدریج، به یک نیاز تبدیل شود. با توجه به مشکلات ناشی از ریسک سرمایه‌گذاری و تأمین مالی طرح‌های تلمبه ذخیره‌ای، در این مطالعه، تلاش خواهد شد تا یک مدل مفهومی به منظور سیاست‌گذاری بازار محور به منظور تشویق سرمایه‌گذاری در واحدهای تلمبه ذخیره‌ای ارائه شود، به نحوی که این واحدها بتوانند عواید خود از محل ارائه‌ی خدمات جانبی و پیک‌سایی را افزایش بدهند و ریسک‌های درآمدی خود را کاهش بدهند. همچنین علاوه بر ارائه‌ی مدل مفهومی تلاش شده تا مجموعه‌ای از توصیه‌های سیاستی نظیر قیمت‌گذاری و ایجاد رتبه‌بندی تکنولوژی نیز به منظور بهبود عملکرد سیاست‌گذاری مورد ارائه قرار بگیرند.

واژه‌های کلیدی

بورس انرژی، پورتفولیوی استاندار تجدیدپذیر، خدمات جانبی، ذخیره‌سازی انرژی

[*۱] دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. آدرس پست الکترونیک: soorenanaderi@gmail.com
[۲] مدیر بخش بررسی‌های اقتصادی، شرکت مهندسین مشاور مهاب قدس. تهران، ایران
۳ استادیار دانشکده اقتصاد، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۲

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

۱- مقدمه

در ایران، به واسطه‌ی وجود منابع سرشار نفت و گاز، سیاست‌گذاران حوزه‌ی انرژی، تقریباً در تمامی ادوار تلاش کرده‌اند تا به منظور توسعه‌ی ظرفیت تولید برق، اقدام به سرمایه‌گذاری هر چه بیشتر در نیروگاه‌های حرارتی نمایند. اتخاذ این رویکرد باعث شد تا در طی سه دهه‌ی گذشته وابستگی صنعت برق به استخراج گاز با سهم بیشتر و فرآورده‌های نفتی نظیر گازوییل و مازوت با سهم کمتر به طور قابل توجهی افزایش پیدا کند و شرایطی را پدید آورد که در صورت بروز هر نوع اخلال در تأمین گاز و فرآورده‌های نفتی، توان صنعت برق در پاسخگویی به تقاضا به طور قابل توجهی کاهش پیدا کند. در چنین شرایطی، از نیمه‌ی دوّم دهه‌ی ۱۳۹۰ تا به امروز، مجموعه‌ای از عوامل مختلف، اعم از مستهلک شدن زیرساخت‌های استخراج نفت و گاز، افت فشار چاه‌ها در پارس جنوبی، فقدان زیرساخت‌های ذخیره‌سازی گاز و کمبود منابع تأمین مالی به منظور سرمایه‌گذاری در این زیرساخت‌ها دست به دست هم دادند و شرایطی را ایجاد کردند که تأمین گاز مورد نیاز صنایع نیروگاهی با اختلالات فراوانی روبرو بشود. از سوی دیگر، مستهلک شدن نیروگاه‌های حرارتی، پس از چندین دهه کارکرد مداوم نیز به افت راندمان این نیروگاه‌ها و ناتوانی‌شان در تأمین برق، بالاخص در اوقات پیک تقاضا منتهی شد و مشکلات موجود در تأمین برق را دوچندان کرد.

یک راهکار بالقوه برای حل مشکل وابستگی صنعت برق به گاز و فرآورده‌های نفتی، تولید برق از منابع تجدیدپذیر است که در عین داشتن آثار خارجی بسیار کم، از ناترازی گاز و فرآورده‌های نفتی نیز متأثر نمی‌باشد. با این حال، توسعه‌ی برق تجدیدپذیر علی‌رغم تمام مزایایی که به همراه دارد می‌تواند با چالش‌هایی نیز همراه باشد و توسعه‌ی صنایع نیروگاهی تجدیدپذیر نیز می‌بایست ضمن شناخت و مدیریت این چالش‌ها رخ بدهد. در حال حاضر دو چالش اصلی توسعه‌ی برق تجدیدپذیر در کشورهای مختلف عبارت‌اند از ۱. هزینه سرمایه‌گذاری بالا در عین عواید نسبتاً کم که به توجیه ناپذیر بودن طرح‌های سرمایه‌گذاری در نیروگاه‌های برق تجدیدپذیر منتهی می‌شود (برانسشویلر[1]، ۲۰۱۰؛ پینولی[2] و وولگموث[3]، ۲۰۲۱؛ ساکس[4] و همکاران، ۲۰۱۹) و ۲. غیر پیوستگی تولید برق که به معنی ناتوانی نیروگاه‌های برق تجدیدپذیر در تنظیم میزان عرضه‌ی برق با تقاضای آن در پی وقوع عواملی نظیر روز و شب و شرایط اقلیمی می‌باشد (ایوانز[5] و همکاران، ۲۰۱۲؛ یکینی سوبرو[6] و همکاران، ۲۰۱۴). امروزه اصلی‌ترین راه به منظور فائق آمدن بر مشکل عدم توجیه پذیری مالی طرح‌های توسعه نیروگاه‌های تجدیدپذیر، اتخاذ سیاست‌های اقتصادی به منظور تحریک سرمایه‌گذاری در این حوزه می‌باشد. در حال حاضر پر استفاده‌ترین سیاست در این زمینه سیاست خرید تضمینی[7] (یا FIT) است که در آن یک قیمت پرمیوم تعیین می‌شود و سپس شرکت‌های خدمات‌رسانی برق مکلّف می‌شوند تا برق تجدیدپذیر را به ازای آن نرخ خریداری نمایند (دونگ[8]، ۲۰۱۲؛ ندیریتو[9] و انگولا[10]، ۲۰۲۰؛ سون[11] و نی[12]، ۲۰۱۵). سیاست FIT ذاتا سیاستی غیر بازاری است که در آن توجهی به سیگنال‌های قیمتی نمی‌شود و بنابراین در بلند مدت این سیاست می‌تواند علاوه بر صرف هزینه‌های کلان از محل بودجه عمومی (میتالی[13] و همکاران، ۲۰۲۲) به تخصیص ناکارای منابع به سوی تکنولوژی‌های غیر بهینه نیز منتهی بشود (دونگ[8]، ۲۰۱۲؛ منانتیو[14] و همکاران، ۲۰۰۳؛ میشل[15]، ۲۰۰۰). در طرف مقابل، سیاست‌های پورتفولیوی استاندار تجدیدپذیر[16] (RPS) وجود دارند که

[1] Brunnschweiler
[2] Painuly
[3] Wohlgemuth
[4] Sachs
[5] Evans
[6] Yekini Suberu
[7] Feed-in Tariff
[8] Dong
[9] Ndiritu
[10] Engola
[11] Sun
[12] Nie
[13] Mitali
[14] Menanteau
[15] Mitchell
[16] Renewable Portfolio Standard

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

مبتنی بر اعمال محدودیت مقداری می‌باشند و مصرف‌کنندگان برق را مکلف می‌کند تا سهم مشخصی از برق مصرفی‌شان را از محل برق تجدیدپذیر تأمین نمایند (سون[11] و نی[12]، ۲۰۱۵؛ جاکارد[1]، ۲۰۰۴). سیاست‌های RPS، برخلاف سیاست‌های FIT ماهیتاً بازار محور می‌باشند و بدون نیاز به صرف منابع دولتی کلان، صرفاً یک حداقل سهم برای مصرف برق تجدیدپذیر تعیین می‌کنند و سپس انجام مبادلات و کشف قیمت را به بازار واگذار می‌کنند و از آنجایی که مبتنی بر مکانیزم بازار می‌باشند، واکنش بیشتری نیز به سیگنال‌های قیمتی نشان می‌دهند و در نتیجه تخصیص منابع نیز به شکل کاراتری رخ می‌دهد (بری[2] و جاکارد[3]، ۲۰۰۱؛ ژینگاگ[4] و همکاران، ۲۰۱۴).

اتخاذ سیاست‌های اقتصادی حمایت از برق تجدیدپذیر در ایران نیز دارای سابقه می‌باشد و اولین تلاش‌ها در این زمینه، به حدود بیست سال قبل، در ابتدای دهه‌ی ۱۳۸۰ باز می‌گردد؛ زمانی که حمایت‌های دولتی از برق تجدیدپذیر در قالب سیاست خرید تضمینی برق با تصویب ماده (۶۲) قانون «تنظیم بخشی از مقررات مالی دولت» آغاز شد و تا به امروز نیز تداوم پیدا کرد. با این حال، روند کند توسعه نیروگاه‌های تجدیدپذیر در دهه‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ و همچنین وجود بورس انرژی سبب شد تا از ابتدای دهه‌ی ۱۴۰۰ اولین تلاش‌ها به منظور سرعت بخشیدن به فرآیند گذار انرژی و افزایش سهم برق تجدیدپذیر از کل تولید برق با استفاده از بستر بازار و در قالب یک بازار تطابق[5] آغاز شود تا بدین ترتیب اهدافی که پیشتر سیاست خرید تضمینی در تحقق آن‌ها ناکام مانده بود، از طریق سیاست‌های بازارمحور RPS محقق شوند. در این راستا، در سال ۱۴۰۲ انواعی از سیاست RPS از طریق وضع قوانینی نظیر ماده (۱۶) قانون «جهش تولید دانش‌بنیان» و مصوبه‌ی ۱۴۳۲۳۳ شورای عالی انرژی وارد فضای مدیریت صنعت برق کشور شدند و تابلوی سبز بورس انرژی نیز به منظور تبادل گواهی‌های انرژی تجدیدپذیر[6] (REC) شروع به کار کرد. بنابراین، در حال حاضر، در ایران، به موازات سیاست FIT، سیاست‌های RPS نیز در حال تشویق سرمایه‌گذاری در حوزه‌ی برق تجدیدپذیر می‌باشند. با این حال، این دو سیاست، اگرچه در صورت اجرای صحیح می‌توانند موانع مالی و اقتصادی پیش روی توسعه‌ی برق تجدیدپذیر را تا حد زیادی بر طرف کنند ولی مشکل غیر پیوستگی تولید و ناهمخوانی زمان تولید و تقاضای برق، همچنان بر سر راه توسعه‌ی صنعت برق تجدیدپذیر قرار دارد و باعث می‌شود تا در آینده، با افزایش هرچه بیشتر سهم نیروگاه‌های تجدیدپذیر، مدیریت شبکه نیز با مشکلات بیشتری روبرو شود. در نتیجه بدیهی است که علاوه بر اعمال سیاست‌هایی نظیر FIT و RPS، سیاست‌های دیگری نیز به منظور رفع مشکلات ناشی از غیرپیوستگی تولید برق تجدیدپذیر، می‌بایست اتخاذ شوند.

امروزه، یکی از اصلی‌ترین راهکارهای موجود به منظور رفع مشکل غیرپیوستگی تولید برق تجدیدپذیر، افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی برق می‌باشد؛ به طوری که در طی دهه‌های اخیر کشورهای مختلف ناگزیر بوده‌اند تا توسعه‌ی زیرساخت‌های ذخیره‌سازی برق را نیز به موازات توسعه‌ی برق تجدیدپذیر مدّ نظر قرار دهند (پوتائو[7] و همکاران، ۲۰۱۸) تا بتوانند برق تجدیدپذیر را در زمان مازاد عرضه، به شکل دیگری از انرژی تبدیل کنند و سپس آن را در حین مازاد تقاضا، مجدداً به انرژی الکتریکی تبدیل و به شبکه وارد نمایند (مک‌لارنون[8] و کایرنس[9]، ۱۹۸۹؛ یکینی سوبرو[10] و همکاران، ۲۰۱۴). امروزه، در میان انواع روش‌های ذخیره‌سازی برق، نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای[11] به علت برخورداری از ظرفیت ذخیره‌سازی بالا، عمر مفید نسبتاً طولانی و هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری نسبتاً کم، اصلی‌ترین و پر استفاده‌ترین، سیستم ذخیره‌سازی برق در

[1] Jaccard
[2] Berry
[3] Jaccard
[4] Xin-gang
[5] Compliance Market
[6] Renewable Energy Certificates
[7] Potau
[8] McLarnon
[9] Cairns
[10] Yekini Suberu
[11] Pumped storage

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

جهان بشمار می‌آیند[1] (میتالی و همکاران، ۲۰۲۲؛ یکینی سوبرو[2] و همکاران، ۲۰۱۴) که می‌توانند نقش مهمی در رفع مشکل غیرپیوستگی تولید برق تجدیدپذیر ایفا کنند (نیکولائوس[3] و همکاران، ۲۰۲۳). با این حال، علی‌رغم اهمیّت بالای واحدهای تلمبه ذخیره‌ای، تا بحال سرمایه‌گذاری‌های بسیار اندکی در احداث این واحدها در ایران انجام شده به طوری که در حال حاضر تنها یک واحد سیاه بیشه در فاز عملیاتی قرار دارد که آن نیز، به تنهائی قادر به پاسخگوئی به نیاز کشور در زمینه‌ی مدیریت ناپیوستگی برق تجدیدپذیر نخواهد بود و در نتیجه تحقق گذار انرژی در آینده مستلزم افزایش سطح سرمایه‌گذاری در واحدهای تلمبه ذخیره‌ای می‌باشد. از سوی دیگر، در شرایطی که منابع مالی عمومی با محدودیت‌های شدیدی روبرو هستند و دولت‌ها، عملاً توان تأمین مالی خود را تا حد زیادی از دست داده‌اند، توسعه‌ی واحدهای تلمبه ذخیره‌ای، بیش از هر چیز، نیازمند جذب سرمایه از سوی بخش خصوصی می‌باشد. با این حال واحدهای تلمبه ذخیره‌ای نیز، همانند نیروگاه‌های برق تجدیدپذیر، هزینه سرمایه‌گذاری اولیه‌ی بالایی دارند (دانلی[4]، ۲۰۲۳) و عواید اندک حاصل از مبادله برق در بازار عمده فروشی نیز باعث می‌شود تا در شرایط فعلی انگیزه‌های سرمایه‌گذاری در این واحدها، از سوی بخش خصوصی بسیار اندک باشد. به همین علت، در مسیر گذار انرژی و توسعه‌ی نیروگاه‌های برق تجدیدپذیر، علاوه بر سیاست‌های توسعه‌ی برق تجدیدپذیر، سیاست‌های اقتصادی مختلفی ، به منظور تشویق سرمایه‌گذاری در واحدهای تلمبه ذخیره‌ای می‌بایست مورد اتخاذ قرار بگیرند. با این حال، می‌دانیم که ایران تاکنون سابقه‌ی سیاست‌گذاری در حوزه‌ی ذخیره‌سازی برق را نداشته و معدود تجارب کشور در زمینه‌ی بکارگیری سیاست‌های بازارمحور در حوزه‌ی برق تجدیدپذیر نیز بسیار ابتدایی و در مراحل مقدماتی به سر می‌برند. در نتیجه، می‌توان انتظار داشت که در مقطع کنونی، درک شفاف و واضحی از نحوه‌ی بکارگیری سیاست‌های مرتبط به واحدهای تلمبه ذخیره‌ای و چالش‌های پیش روی آن، در کشور وجود نداشته باشد. به منظور رفع این خلاء، در این مطالعه، تلاش می‌شود تا با بهره‌گیری از تجارب بین-المللی، یک مدل مفهومی، با هدف سیاست‌گذاری در حوزه توسعه واحدهای تلمبه ذخیره‌ای طراحی و پیشنهاد شود به طوری که این سیاست نقش مکمل را برای سیاست RPS و مبادلات تابلوی سبز فراهم نماید و در هماهنگی با آنها مشکل ناپیوستگی تولید برق تجدیدپذیر را مرتفع نماید. با توجه به کمبود منابع مالی دولتی در شرایط کنونی، این مدل بازارمحور سعی خواهد کرد تا با کمترین نیاز به صرف منابع دولتی، دو منبع درآمدی اضافی برای واحدهای تلمبه ذخیره‌ای ایجاد بکند، یکی از محل ذخیره‌سازی برق و دیگری از محل ارائه خدمات جانبی[5]. در انتها نیز تلاش می‌شود تا با توجه به برخی تجارب پیشین، در سایر نقاط جهان، مجموعه‌ای از توصیه‌ها به منظور افزایش کارایی سیاست مذکور، از طریق مدیریت نوسانات قیمت و رتبه‌بندی تکنولوژی ارائه شوند.

۲- وضع موجود سیاست توسعه‌ی برق تجدیدپذیر

همانطور که پیش‌تر گفته شد، در این مطالعه، تلاش می‌شود تا سیاست‌های بازار محور توسعه‌ی ظرفیت واحدهای تلمبه ذخیره‌ای به گونه‌ای طراحی شوند که در ترکیب با سیاست‌های توسعه‌ی برق تجدیدپذیر باشند، به نحوی که ترکیب این دو بتواند علاوه بر تحقق گذار انرژی، پیامدهای منفی ناشی از ناپیوستگی تولید برق تجدیدپذیر را نیز، تقلیل دهند. در این راستا، در این بخش، ابتدا به تشریح وضع موجود سیاست‌گذاری بازارمحور در زمینه‌ی توسعه‌ی برق تجدیدپذیر پرداخته می‌شود و سپس در بخش‌های بعدی چارچوب فعلی سیاست‌گذاری به نحوی توسعه داده می‌شود که سیاست‌های معطوف به توسعه واحدهای تلمبه ذخیره‌ای نیز در آن جای گیرند.

[1] سایر روش‌های ذخیره‌سازی برق عمدتا مبتنی بر تکنولوژی باطری و یا تکنولوژی پیل سوختی هستند که در برابر نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای سهم بسیار ناچیزی در ذخیره‌سازی برق دارند.

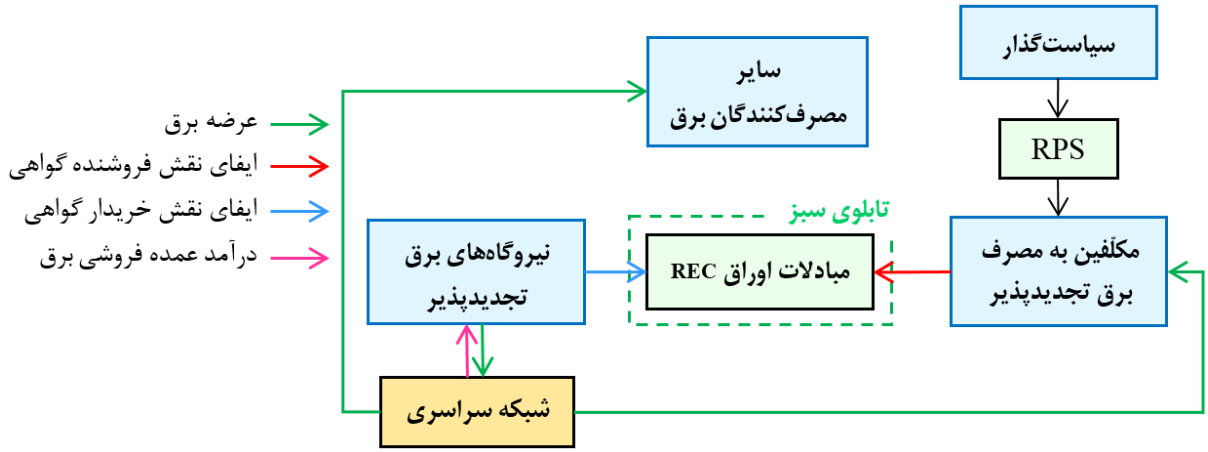
[2] Yekini Suberu
[3] Nikolaos
[4] Donnelly
[5] Ancillary Services

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

در حال حاضر، بر اساس ماده (۱۶) قانون جهش تولید دانش بیان و مصوبه‌ی شماره ۱۴۳۲۳۳ شورای عالی انرژی حالت‌های اولیه‌ای از سیاست RPS در ایران طراحی و پیاده‌سازی شده‌اند که تلاش می‌شود در افق‌های زمانی مشخص، سهم برق تجدیدپذیر را در گروه‌های خاصی از مصرف کنندگان برق افزایش دهند. به عنوان مثال، ماده‌ی (۱۶) قانون جهش تولید دانش‌بنیان، صنایع با مصرف انرژی بیش از ۱ مگاوات ساعت در سال را مکلف کرده که تا سال ۱۴۰۶ حداقل ۵ درصد از برق مصرفی خود را از محل نیروگاه‌های برق تجدیدپذیر تأمین نمایند. صنایع مذکور نیز، به منظور اثبات پایبندی‌شان به این اهداف، می‌بایست اقدام به خرید گواهی‌های REC، در بستر تابلوی سبز بورس انرژی نمایند، به طوری که مجموع RECهایی که خریداری کرده‌اند، معادل مقدار تکلیفشان به مصرف برق تجدیدپذیر باشد. گواهی‌های REC نیز، گواهی‌هایی هستند که نیروگاه‌های برق تجدیدپذیر، به ازای هر یک واحد برقی که تولید کرده‌اند، دریافت می‌کنند و سپس، با به فروش رساندن آن‌ها در تابلوی سبز بورس انرژی، یک جریان درآمدی ثانویه در کنار درآمدهای حاصل از عمده‌فروشی برق کسب می‌کنند. در شکل (۱) تلاش شده تا ساختار فعلی سیاست RPS و جایگاه تابلوی سبز در آن نشان داده شود.

ساختار و کارکرد واحدهای تلمبه ذخیره‌ای

بدیهی است که سیاست‌گذاری در زمینه‌ی توسعه واحدهای تلمبه ذخیره‌ای ارتباط تنگاتنگی با ماهیت، مکانیزم کارکرد و خدمات مختلف ارائه شده توسط این واحدها دارد. به همین سبب، در این بخش، تلاش می‌شود تا پیش از پرداختن به مدل مفهومی سیاست‌گذاری، ابتدا کلیاتی از عملکرد و خدمات واحدهای تلمبه ذخیره‌ای، مورد بررسی قرار گیرند. واحدهای تلمبه ذخیره‌ای، سازه‌هایی هستند که از یک مخزن آب در ارتفاع پایین و یک مخزن آب دیگر در ارتفاع بالا، تشکیل شده‌اند و این دو مخزن از طریق یک کانال انتقال مجهز به دستگاه پمپاژ و توربین به یکدیگر متصل هستند. این واحدها، برق را در زمان مازاد عرضه، از شبکه دریافت می‌کنند و با استفاده از آن آب را از مخزن تحتانی به سمت مخزن فوقانی پمپاژ می‌کنند و بدین ترتیب انرژی الکتریکی را موقتاً به انرژی پتانسیل تبدیل می‌کنند. سپس در زمان پیک تقاضا، آبی که در مخزن فوقانی ذخیره شده را به روش ثقلی رهاسازی می‌کنند تا به مخزن پایینی سرازیر شود و در طول مسیرش با برخورد به توربین، انرژی پتانسیل را مجدداً به انرژی الکتریکی تبدیل نمایند. واحدهای تلمبه ذخیره‌ای، بسته به نحوه دسترسی داشتن مخازن تحتانی و فوقانی‌شان به جریان‌های آب سطحی به سه دسته‌ی حلقه بسته[1]، حلقه باز[2] و وابسته به آب دریا[3] طبقه‌بندی می‌شوند که هریک از آن‌ها از نظر هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری و اثرات خارجی با یکدیگر متفاوت هستند.



شکل (۱): مدل فعلی سیاست RPS و عملکرد تابلوی سبز در ایران

[1] Closed loop
[2] Open loop
[3] Seawater Pumped Storage

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

یکی از مهم‌ترین عواملی که در طراحی سیاست در حوزه توسعه واحدهای تلمبه ذخیره‌ای می‌بایست مد نظر قرار بگیرد ماهیت دوگانه‌ی تولیدکننده-مصرف‌کننده‌ی[1] این واحدها است. در واقع، درحالی که نیروگاه‌های مرسوم، اعم از حرارتی، هسته‌ای و تجدیدپذیر، همگی صرفاً نقش تولید کننده‌ی برق را ایفا می‌کنند، واحدهای تلمبه ذخیره‌ای، ماهیّتی کاملا دوگانه دارند و به طور همزمان هم تولید کننده و هم مصرف کننده‌ی برق، بحساب می‌آیند. زیرا اساساً مکانیزم عملکردشان مبتنی بر دریافت برق از شبکه و سپس عرضه مجدد آن در زمانی دیگر می‌باشد. این نقش‌آفرینی دوگانه، باعث می‌شود تا واحدهای تلمبه ذخیره‌ای بتوانند دو خدمت مختلف را به شبکه ارائه نمایند:

۱. پیک‌سایی و پاسخگویی به تقاضا: به معنی ذخیره‌سازی برق حین مازاد عرضه و سپس عرضه‌ی مجدد آن به شبکه در هنگام مازاد تقاضا (به این عمل اصطلاحا آربیتراژ انرژی نیز گفته می‌شود). ارائه‌ی این خدمت از سوی واحدهای تلمبه ذخیره‌ای، می‌تواند نقش مهمی در پیک‌سایی داشته باشد و ناتوانی‌های احتمالی نیروگاه‌های بادی و خورشیدی در انجام پیک‌سایی را تا حد زیادی بر طرف نماید.

۲. خدمات جانبی: واحدهای تلمبه ذخیره‌ای نه تنها قابلیت ایفای همزمان دو نقش مصرف کننده و تولید کننده‌ی برق را دارند، بلکه سرعت بالایی نیز در شروع به ایفای هریک از این دو نقش دارند به طوری که در صورت لزوم می‌توانند در مدت زمان بسیار کمی، شروع به پمپاژ آب به مخزن فوقانی نمایند و یا در زمان کوتاهی با باز کردن دریچه‌های مخزن فوقانی شروع به تولید برق کنند. این موضوع باعث شده تا این واحدها بتوانند خدمات جانبی متعددی نیز به شبکه ارائه دهند که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از کنترل فرکانس[2] و بلک استارت[3] (الا[4] و همکاران، ۲۰۱۳).

۴-مدل مفهومی سیاست‌گذاری واحدهای توسعه‌ی تلمبه‌ذخیره‌ای

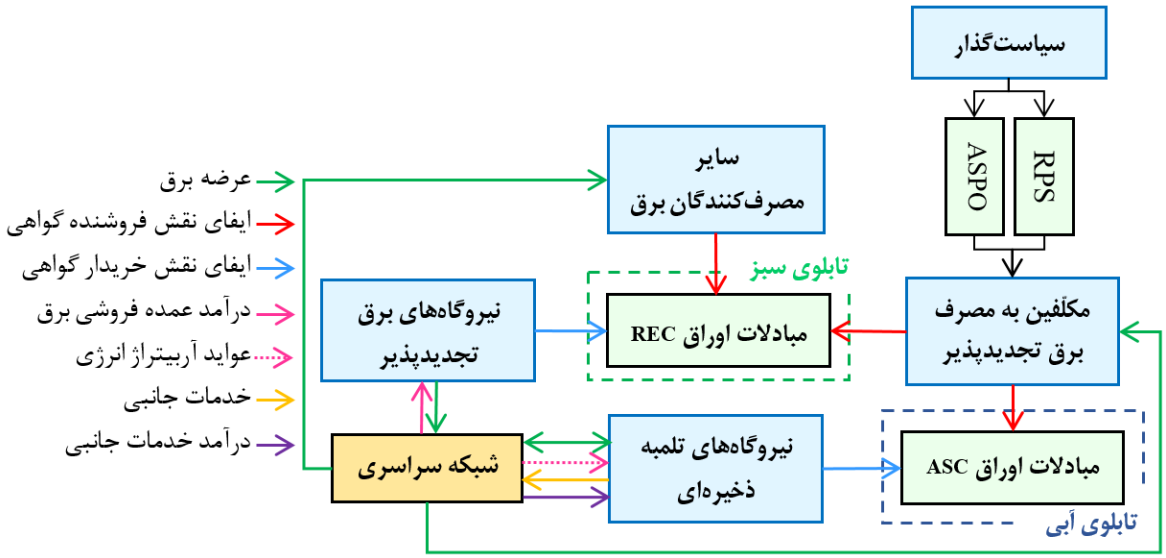
در حال حاضر یک واحد تلمبه ذخیره‌ای در ایران می‌تواند از محل ارائه‌ی هر دو خدمت ذخیره‌سازی برق و خدمات جانبی درآمد کسب کند به طوری که آربیتراژ انرژی را در بازار عمده فروشی برق انجام می‌دهد و خدمات جانبی خود را نیز در بازار خدمات جانبی ارائه می‌کند و به ازای هر دو خدمت مذکور، جریان درآمدی بدست می‌آورد. حال به منظور افزایش این درآمدها و به تبع آن، کاهش ریسک‌های سرمایه‌گذاری و دوره بازگشت سرمایه، لازم است تا عواید حاصل از ارائه این خدمات از طریق سیاست‌های بازار محوری نظیر RPS افزایش پیدا کنند. به این منظور در بخش ۴-۱ مدل فعلی سیاست‌گذاری بازارمحور در حوزه‌ی برق تجدیدپذیر از طریق سیاستی موسوم به تکلیف خریداری خدمات جانبی (یا ASPO[5]) به نحوی ارتقاء می‌یابد که واحدهای تلمبه ذخیره‌ای، بتوانند از طریق آن، اقدام به کسب عواید اضافی از محل ارائه خدمات جانبی خود نمایند. سپس در بخش ۴-۲ سیاست دیگری موسوم به تکلیف ذخیره‌سازی انرژی تجدیدپذیر (یا RESO[6]) نیز به مدل قبلی اضافه می‌شود تا این امکان را به واحدهای تلمبه ذخیره‌ای بدهد که از محل ذخیره‌سازی برق نیز عواید اضافه‌تری بدست بیاورند.

۴-۱- تابلوی آبی و گواهی‌های خدمات جانبی

یک روش بالقوه به منظور افزایش عواید مالی واحدهای تلمبه ذخیره‌ای، ایجاد یک درآمد اضافی برای آن‌ها از محل عرضه‌ی خدمات جانبی به شبکه می‌باشد. به این منظور سیاست‌گذار ابتدا می‌بایست به طور مشابه با سیاست‌های RPS طیفی از مصرف‌کنندگان برق را مکلف به خرید خدمات جانبی واحدهای تلمبه ذخیره‌ای کند. سپس واحدهای تلمبه ذخیره‌ای به ازای هر واحد عرضه‌ی خدمات جانبی به شبکه، گواهی‌هایی به نام گواهی عرضه‌ی خدمات جانبی (ASC) را از نهاد متولی اجرای سیاست دریافت می‌نمایند. کارکرد ASC نیز مشابه با REC می‌باشد و نشان

[1] Prosumer
[2] Frequency control
[3] Black Start
[4] Ela
[5] Ancillary Services Purchase Obligations
[6] Renewable Energy Saving Obligations

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]



شکل (۲): مدل مفهومی توسعه بازار گواهی خدمات جانبی و سیاست ASPO برای واحدهای تلمبه ذخیره‌ای

دهنده‌ی یک واحد عرضه‌ی خدمات جانبی به شبکه می‌باشد. سپس این اوراق، از سوی واحدهای تلمبه ذخیره‌ای در بازاری مشابه با تابلوی سبز که در شکل (۲) به آن تابلوی آبی گفته شده به فروش می‌رسند و مکلفین به خرید خدمات جانبی به منظور اثبات عمل به تعهدات ASPO آن‌ها را خریداری می‌کنند. با پیاده‌سازی چنین رویکردی، واحدهای تلمبه ذخیره‌ای با عرضه‌ی هر واحد خدمات جانبی هم عایدی حاصل از فروش آن در بازار خدمات جانبی را دریافت می‌کنند و هم عواید حاصل از فروش ASC را و در نتیجه نسبت به سایر رقبای خود که صرفاً در بازار خدمات جانبی فعالیت می‌کنند، از جریان درآمدی بالاتری برخوردار می‌شوند.

۴-۲- توسعه‌ی تابلوی سبز و گواهی‌های ذخیره‌سازی برق تجدیدپذیر

در نظر اول ممکن است اینطور به نظر برسد که به منظور افزایش عواید واحدهای تلمبه ذخیره‌ای، از محل ذخیره‌سازی برق، می‌توان آن‌ها را همانند نیروگاه‌های برق تجدیدپذیر تحت سیاست RPS قرار داد و سپس به آن‌ها اجازه داد که REC حاصل از عرضه‌ی برق به شبکه‌ی سراسری را در کنار REC سایر نیروگاه‌های برق تجدیدپذیر، به فروش برسانند. با این حال، چنین استنباطی از سیاست‌گذاری در خصوص توسعه‌ی واحدهای تلمبه ذخیره‌ای با ذات این واحدها همخوانی ندارد و پیاده‌سازی چنین رویکردی، نه تنها می‌تواند سیاست‌های کلان در حوزه برق تجدیدپذیر را به طور کلی از اهدافشان منحرف کند بلکه حتی می‌تواند دورنمای سرمایه‌گذاری در نیروگاه‌های تجدیدپذیر را نیز مخدوش نماید. این موضوع، عمدتاً ناشی از دو مشکل ۱. دریافت نامحدود گواهی ذخیره‌سازی از طریق آربیتراژ و ۲. مسئله‌ی دوباره‌شماری می‌باشد که هر دو، برآمده از ماهیت باطری مانند واحدهای تلمبه ذخیره‌ای هستند. در ادامه‌ی این بخش، تلاش می‌شود تا این دو مشکل مورد بررسی قرار گیرند تا نهایتاً بتوان مدل مفهومی توسعه ظرفیت ذخیره‌سازی را به گونه‌ای طراحی کرد که در آن دو مشکل فوق مجال بروز پیدا نکنند.

۴-۲-۱- مسئله‌ی دریافت نامحدود گواهی ذخیره‌سازی از طریق آربیتراژ

همانطور که پیشتر نیز اشاره شد، نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای، عملاً هم دریافت کننده و هم عرضه کننده‌ی برق بحساب می‌آیند و در مدت زمان کمی می‌توانند بین این دو نقش حرکت نمایند. این ویژگی، باعث می‌شود که واحدهای تلمبه‌ذخیره‌ای از نظر فنی بتوانند در بازه‌های زمانی نسبتاً کوتاه، اقدام به دریافت و سپس عرضه‌ی برق به شبکه کنند و این کار را به دفعات بسیار زیادی تکرار نمایند. با این حال، از آنجایی که عرضه‌ی برق، توسط واحدهای تلمبه ذخیره‌ای

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

به معنی تولید برق جدید نمی‌باشد، بنابراین این واحدها هرچقدر هم اقدام به آربیترا انرژی کنند، در نهایت کل مقدار برق عرضه شده به شبکه، در یک بازه‌ی زمانی خاص، افزایش نمی‌یابد. در چنین شرایطی اگر سیاست‌گذار به ازای هر واحد برقی که این واحدها به شبکه عرضه کرده‌اند، برای آن‌ها گواهی صادر کند، آنگاه این واحدها، عملاً می‌توانند با انجام دادن آربیتراژ انرژی، به شکل پی در پی، تعداد نامحدودی گواهی دریافت کنند که این موضوع، بسته به نوع بازار گواهی‌ها می‌تواند به رشد انفجاری درآمد این واحدها و یا مازاد عرضه و سقوط قیمت گواهی‌ها منتهی شود. در هر دو حالت نیز سیاست‌گذار از هدف بلند مدت خود که توسعه‌ی نقش آفرینی واحدهای تلمبه ذخیره‌ای در راستای بهبود عملکرد شبکه و تسریع گذار انرژی می‌باشد دور می‌شود.

به منظور رفع این مشکل، صدور گواهی برای عرضه‌ی برق، توسط واحدهای تلمبه ذخیره‌ای، می‌بایست صرفاً به مواردی محدود شود که این واحدها، مازاد عرضه‌ی برق تجدیدپذیر را در اوقات غیر پیک دریافت می‌کنند و سپس آن را در زمان پیک، به شبکه، عرضه می‌کنند. در این صورت، واحدهای تلمبه ذخیره‌ای، تنها در صورتی برای ذخیره‌سازی انرژی تشویق می‌شوند که با انجام این کار، در تقلیل غیر پیوستگی برق تجدیدپذیر نقش ایفا کرده باشند.

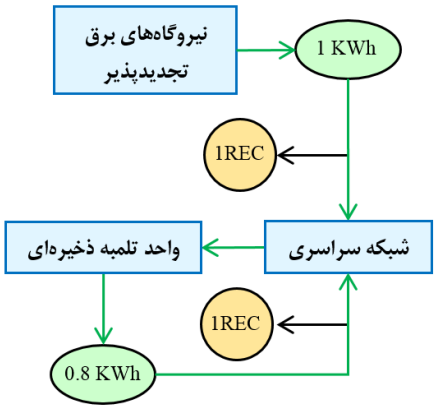
۲-۲-۴- مسئله‌ی دوباره‌شماری

مسئله‌ی دوباره‌شماره، به معنی صدور بیش از یک گواهی، برای یک واحد برق تأمین شده در شبکه می‌باشد که به طور بالقوه، می‌تواند در صورت دخالت دادن واحدهای تلمبه ذخیره‌ای در ساختار RPS و بازار REC، بروز پیدا کند. به منظور درک بهتر مسئله‌ی دوباره‌شماری، سعی شده تا فرآیند اتفاق افتادن این مشکل در شکل (۳) ارائه شود. در شکل (۳) می‌توان مشاهده کرد که ابتدا یک نیروگاه برق تجدیدپذیر یک کیلووات ساعت برق تجدیدپذیر را در ساعت افت تقاضا تولید و به شبکه ارائه می‌کند و طبیعتاً به ازای عرضه‌ی آن، یک واحد REC دریافت می‌کند. سپس واحد تلمبه ذخیره‌ای این یک کیلووات ساعت برق را از شبکه دریافت می‌کند و با فرض راندمان ۸۰ درصدی، در زمان پیک تقاضا، ۰.۸ کیلووات ساعت از آن را به شبکه عرضه می‌نماید. با این فرض که متولی اجرای سیاست RPS گواهی‌های REC را بر اساس مقدار عرضه برق، بدون کسر میزان هدررفت صادر می‌کند، آنگاه واحد تلمبه ذخیره‌ای نیز یک عدد REC دریافت می‌کند. به این ترتیب، در انتهای این فرآیند، مجموعا ۰.۸ کیلووات ساعت برق (و یا در حالت ایده‌آل با فرض راندمان ۱۰۰ درصدی، یک کیلووات ساعت برق) به شبکه عرضه شده در حالی که به ازای آن دو عدد REC صادر شده است.

وقوع پدیده‌ی دوباره‌شماری در وهله‌ی اول باعث انحراف هدف‌گذاری‌های سیاست RPS می‌شود، زیرا به عنوان مثال، اگر هدف از اعمال RPS افزایش مصرف برق تجدیدپذیر به اندازه‌ی ۱۰ کیلووات ساعت باشد، در آن صورت، وقوع دوباره‌شماری باعث می‌شود تا مقدار گواهی‌های REC صادر شده معادل ۱۰ کیلووات ساعت برق باشند. در حالی که در عمل کمتر از این مقدار، برق تجدیدپذیر، تولید و عرضه شده است. در نتیجه، دوباره‌شماری عملاً باعث می‌شود تا اهداف RPS به شکل کاذب و غیر واقعی محقق شوند. علاوه بر این وقوع دوباره‌شماری باعث می‌شود تا نیروگاه‌های برق تجدیدپذیر بدون آنکه تولید برقشان کم شود، به تدریج سهم خود از بازار REC را از دست بدهند و در عوض واحدهای تلمبه ذخیره‌ای سهم آن‌ها را به خود اختصاص دهند. وقوع چنین شرایطی، انگیزه‌های سرمایه‌گذاری در نیروگاه‌های تجدیدپذیر را کاهش می‌دهد و این درحالی است که اساساً هدف اصلی سیاست‌های RPS و توسعه‌ی ظرفیت ذخیره‌سازی، افزایش انگیزه‌های سرمایه‌گذاری در همین نیروگاه‌ها است.

با توجه به مشکل دوباره‌شماری، در صورتی که قرار باشد حمایت از توسعه‌ی نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای از طریق سیاست‌های RPS انجام شود، در آن صورت، حتماً می‌بایست نحوه‌ی اعمال سیاست RPS، با تعیین یک زیرطبقه‌ی مجزا، برای سهم نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]



شکل (۳): نحوه وقوع پدیده‌ی دوباره‌شماری در شرایط وجود واحد تلمبه ذخیره‌ای در سیاست‌گذاری RPS

انجام شود (ایجاد زیر طبقه در بخش ۲-۵ توضیح داده خواهد شد) تا بدین ترتیب، نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای نتوانند سهم نیروگاه‌های تجدیدپذیر در بازار REC را تصاحب کنند. از سوی دیگر، مقدار هدف‌گذاری سیاست RPS نیز می‌بایست افزایش یابد تا بدین ترتیب، بخشی از مشکلات ناشی از صدور بیش از یک REC برای هر واحد برق تجدیدپذیر را جبران نماید. با این وجود، راهکار دیگر و احتمالاً بهتری نیز به منظور پیشگیری از وقوع مسئله دوباره‌شماری وجود دارد و آن، جدا کردن کامل سیاست RPS از سیاست‌های مربوط به ذخیره‌سازی برق توسط واحدهای تلمبه ذخیره‌ای می‌باشد که می‌تواند تبعات ناشی از دوباره‌شماری را به طور کامل برطرف نماید.

۳-۲-۴- گواهی‌های ذخیره‌سازی انرژی بدون بروز مشکلات ناشی از آربیتراژ انرژی و دوباره شماری

با توجه به دو مشکل دریافت نامحدود گواهی ذخیره‌سازی از طریق آربیتراژ و دوباره‌شماری که در بخش‌های قبل به آن‌ها اشاره شد، در ادامه‌ی این بخش، تلاش می‌شود تا مدل مفهومی ارائه شده در شکل (۲)، به گونه‌ای توسعه داده شود که در آن، واحدهای تلمبه ذخیره‌ای، بتوانند به ازای نقشی که در کمک به رفع ناپیوستگی تولید برق تجدیدپذیر و پیک‌سایی از طریق ذخیره‌سازی آن انجام می‌دهند، درآمدی اضافه‌تر از درآمدهای حاصل از عمده فروشی برق نیز کسب نمایند ولی در عین حال مشکلات ناشی از آربیتراژ و دوباره‌شماری نیز بروز پیدا نکند. مدل مفهومی چنین سیاستی در شکل (۴) ارائه شده و در ادامه، به تشریح جزئیات آن پرداخته می‌شود.

همانطور که در شکل (۴) نیز نشان داده شده است به منظور افزایش عواید واحدهای تلمبه ذخیره‌ای از محل ذخیره‌سازی برق تجدیدپذیر و کمک به پیکسایی از طریق آن، ابتدا می‌بایست اقدام به ایجاد یک RPS اختصاصی، برای ذخیره‌سازی برق به نام RESO شود که بر اساس آن، سیاست‌گذار گروهی مصرف کنندگان برق را مکلف می‌کند تا در بازه‌های زمانی مشخص، اقدام به ذخیره‌سازی مقدار مشخصی از انرژی تجدیدپذیر کنند. از آنجایی که در حال حاضر، صنایع انرژی‌بر، آسیب‌پذیر ترین مصرف‌کنندگان برق در حین قطعی در زمان پیک می‌باشند، بنابراین می‌توان انتظار داشت که این صنایع، اصلی‌ترین مکلفین به ذخیره‌سازی انرژی در سیاست RESO بحساب بیایند. زیرا بدیهی است که در صورت پیک‌سایی توسط واحدهای تلمبه ذخیره‌ای، بیشترین نفع نیز، عاید همین صنایع می‌شود. البته بدیهی است که RESO، نمی‌بایست صرفاً یک سیاست جهت الزام صنایع به پرداخت پول بیشتر به منظور ذخیره‌ی برق تجدیدپذیر باشد، بلکه می‌بایست از سوی نهاد سیاست‌گذاری، ضمانت‌هایی نیز به این صنایع داده شود مبنی بر اینکه در صورت پایبند بودن به تعهدات RESO، نه تنها جریمه نقدی نمی‌شوند، بلکه با قطعی برق در زمان پیک مصرف نیز، روبرو نخواهند شد. علاوه بر واحدهای صنعتی، نیروگاه‌های برق تجدیدپذیر نیز می‌توانند جزء مکلفین به

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

ذخیره‌سازی برق تجدیدپذیر باشند، زیرا طبیعتاً فعالیت واحدهای تلمبه ذخیره‌ای ذیل سیاست RESO، نهایتاً در راستای انتفاع و توسعه‌ی همین نیروگاه‌ها می‌باشد.

پس از ایجاد RESO، به منظور اندازه‌گیری میزان پایبندی مکلفین به اهداف تعیین شده در آن و همچنین درآمدزایی برای واحدهای تلمبه ذخیره‌ای، لازم است تا گواهی‌هایی نظیر گواهی‌های REC به نام RESC[1] نیز ذیل این سیاست بوجود بیایند و به ازای هر یک واحد برق تجدیدپذیری که واحدهای تلمبه ذخیره‌ای، ذخیره‌سازی و در زمان پیک به شبکه عرضه کرده‌اند به آن‌ها اعطا بشود. سپس واحدهای تلمبه ذخیره‌ای می‌بایست قادر باشند تا این گواهی‌ها را در بستر یک بازار به متقاضیان آن‌ها که همان مکلفین به ذخیره‌سازی برق تجدیدپذیر هستند، به فروش برسانند تا بدین ترتیب هم واحدهای تلمبه ذخیره‌ای از یک جریان درآمدی برخوردار بشوند و هم مکلفین بتوانند پایبندی‌شان به اهداف RESO را به اثبات برسانند.

لازم به ذکر است که چون RESC صرفا در پی کمک به رفع ناپیوستگی تولید برق تجدیدپذیر به واحدهای تلمبه ذخیره‌ای اعطا می‌شود بنابراین این واحدها نخواهند توانست تا صرفا از طریق انجام آربیتراژ انرژی اقدام به دریافت RESC نمایند و در نتیجه مشکلات ناشی از آربیتراژ انرژی که پیشتر به آن اشاره شد در اینجا بروز پیدا نخواهد کرد. همچنین مشکلات ناشی از دوباره‌شماری نیز به علّت مجزا بودن RESO از RPS و همچنین متفاوت بودن REC از RESC رخ نخواهند داد.

۵- توصیه‌هایی به منظور بهبود بستر مبادلات

در بخش‌های قبل به بررسی کلیّات سیاست‌های RESO و ASPO پرداخته شد. حال در ادامه‌ی این بخش برخی جزئیات مربوط به اجرای چنین سیاست‌هایی مورد بررسی قرار می‌گیرد که در آینده می‌توانند به ارتقاء کیفیّت سیاست‌گذاری کمک نمایند و تحقق اهداف این سیاست‌ها را تسهیل نمایند.

۵-۱- مدیریّت نوسانات قیمت

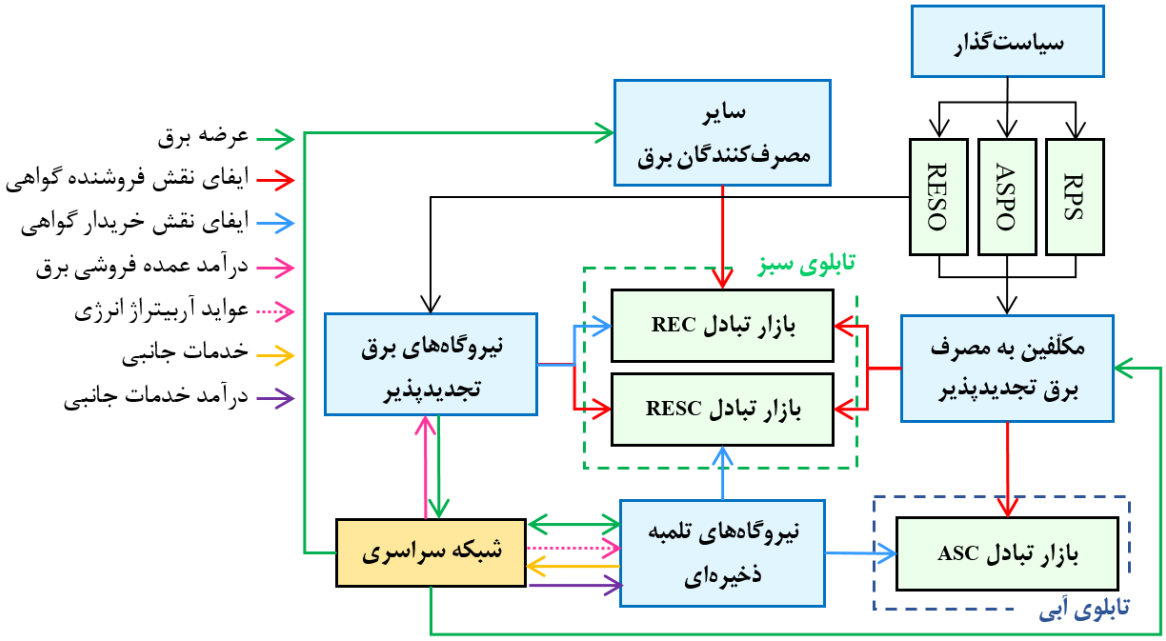
از آنجایی که RESO و ASPO هر دو سیاست‌هایی بازار محور و مبتنی بر مبادله‌ی ASC و RESC می‌باشند بنابراین یکی از اصلی‌ترین موضوعاتی که می‌تواند پیرامون آن‌ها وجود داشته باشد روندها و نوسانات قیمتی می‌باشد. اگرچه صرف وجود روندها و تغییرات قیمت در بازارهای مالی و کالایی به خودی خود امری طبیعی بحساب می‌آید ولی نوسانات شدید قیمت و یا سطوح بسیار بالا یا پایین آن می‌تواند به پاره‌ای از مشکلات اعم از افزایش عدم قطعیّت و پیشبینی‌ناپذیری بازار و کاهش درآمد واحدهای تلمبه ذخیره‌ای منتهی بشود که در نتیجه‌ی وقوع این عوامل ریسک سرمایه‌گذاری در این حوزه افزایش پیدا می‌کند (آموندسن[2] و همکاران، ۲۰۰۶؛ کولون[3] و همکاران، ۲۰۱۵؛ هوستویت[4] و همکاران، ۲۰۱۷؛ کیم[5]، ۲۰۲۰؛ لوتی[6] و ووستنهاگن[7]، ۲۰۱۲). به همین علّت نیز علی‌رغم طبیعی بودن روندهای قیمتی، نوسانات قیمت و یا وقوع قیمت‌های بسیار بالا و یا پایین می‌بایست مورد مدیریت قرار بگیرند.

در حال حاضر یکی از راهکارهای مدیریت نوسانات قیمت در بازارهای مشابه با بازار RESC و ASC (نظیر بازار REC در بسیاری از کشورها) بکارگیری سیاست کف قیمت[8] می‌باشد (آموندسن[1] و همکاران، ۲۰۰۶؛ گوئررا[9] و همکاران، ۲۰۲۱). اعمال این سیاست ریسک ناشی از افت قیمت گواهی‌ها را کاهش می‌دهد و برای سرمایه‌گذاران امکان محاسبه‌ی یک حداقل عایدی را فراهم می‌آورد که البته در صورت تجاوز قیمت از آن عواید سرمایه‌گذاری نیز قطعا افزایش می‌یابند. با این وجود اعمال کف قیمت ممکن است به افزایش نرخ تورّم تولیدکننده منتهی بشود و قیمت کالاهای نهایی را نیز تحت تاثیر قرار بدهد. همچنین اعمال سیاست کف قیمت

---

[1] Renewable Energy Saving Certificates
[2] Amundsen
[3] Coulon
[4] Hustveit
[5] Kim
[6] Lüthi
[7] Wüstenhagen
[8] Price floor
[9] Guerra

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]



شکل (۴): مدل مفهومی توسعه برق تجدیدپذیر و ظرفیّت ذخیره‌سازی

اگرچه می‌تواند یک حداقل عایدی را برای دارندگان گواهی‌ها تضمین کند ولی لزوما رشد تقاضا برای ذخیره‌سازی انرژی و یا خدمات جانبی را تضمین نمی‌کند، در حالی که هدف اصلی سیاست‌های RESO و ASPO افزایش تقاضا برای ذخیره‌سازی برق تجدیدپذیر و خدمات جانبی می‌باشد و نه صرفا افزایش درآمد واحدهای تلمبه ذخیره‌ای (هولت[1] و همکاران، ۲۰۱۱).

روش دیگری که می‌توان از طریق آن؛ علاوه بر مدیریت نوسانات قیمت، تقاضا برای ذخیره‌سازی برق تجدیدپذیر را نیز افزایش داد، توسعه‌ی قراردادهای خرید توان[2] و یا PPA در حوزه ذخیره‌سازی برق می‌باشد. امروزه، قراردادهای PPA، عموماً در زمینه‌ی خرید برق فیزیکی از صنایع نیروگاهی موضوعیت دارند و به واسطه‌ی آن‌ها، تولید کننده‌ی برق، متعهد می‌شود تا در یک بازه زمانی بلند مدت، تمام و یا بخشی از برق مورد نیاز مصرف کننده‌ی طرف قرارداد خود را در قیمت مشخص تولید و تأمین نماید (بانک جهانی[3]، ۲۰۲۰). در صورتی که تولید کننده‌ی برق از نوع تجدیدپذیر باشد، آنگاه مصرف کننده، می‌تواند به منظور تأمین اهداف TRPS به ازای برقی که از طریق PPA، خریداری کرده، REC نیز دریافت نماید. با توجه به اینکه در سیاست RESO نیز، مصرف کنندگان عمده‌ی برق مکلف به خرید برق ذخیره‌سازی شده و خدمات جانبی از واحدهای تلمبه ذخیره‌ای هستند، بنابراین می‌توان انتظار داشت که قراردادهای PPA قابلیت انعقاد میان مصرف کنندگان عمده و واحدهای تلمبه ذخیره‌ای را نیز داشته باشند، به طوری که واحدهای تلمبه ذخیره‌ای طبق یک PPA، متعهد می‌شوند تا برق مورد نیاز یک مصرف کننده در زمان پیک را با ذخیره‌سازی برق تجدیدپذیر در زمان مازاد عرضه تأمین نمایند. گواهی‌های RESC نیز به ازای مقدار برق ذخیره‌سازی شده ذیل قرارداد TPPA بر اساس قیمت از پیش تعیین شده به مصرف‌کننده برق داده می‌شود تا بتواند از طریق آن، تحقق اهداف RESO را به اثبات برساند. توسعه‌ی قراردادهای PPA، از طریق اعطای تعرفه و یا اعطای معافیت‌های مالیاتی، می‌تواند علاوه بر تضمین تقاضای بلندمدت برای ذخیره‌سازی برق و خدمات جانبی، نوسانات موجود در قیمت RESC را نیز محدود کند و ریسک‌های سرمایه‌گذاری در توسعه واحدهای تلمبه ذخیره‌ای را کاهش بدهد.

[1] Holt
[2] Power Purchase Agreement
[3] World Bank

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

در آینده، در صورتی که سیاست‌های RESO و ASPO در ایران پیاده‌سازی بشوند، در مراحل ابتدایی اجرای آن‌ها که ظرفیت واحدهای تلمبه ذخیره‌ای اندک و عمق بازارهای RESC و ASC کم است، سیاست‌های محدودیت قیمت، خصوصاً، سیاست کف قیمت، می‌توانند یک راهکار کوتاه‌مدت موثر به منظور مدیریت نوسانات قیمت، در این دو بازار باشد. با این وجود، در میان‌مدت و بلندمدت، توسعه‌ی قراردادهای PPA و یا نظایر آن نیز می‌بایست در این حوزه، توسعه پیدا کنند تا بدین ترتیب، مدیریت نوسانات قیمت، وابستگی کمتری به سیاست‌های کف و سقف قیمت داشته باشد و تقاضای بلندمدت نیز با اطمینان بیشتری تأمین بشود.

۲-۵- رتبه‌بندی تکنولوژی

امروزه یکی از موضوعات مهم، در طراحی و هدف‌گذاری سیاست‌هایی نظیر RPS و نظایر آن، در جهان رتبه‌بندی تکنولوژی می‌باشد، فرآیندی که در آن، سیاست‌گذار، بسته به شرایط اقلیمی، اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی، توسعه‌ی یک تکنولوژی خاص را نسبت به سایر تکنولوژی‌های موجود، در اولویت قرار می‌دهد[۱]. این کار، باعث سوق دادن منابع سرمایه‌گذاری، به سوی تکنولوژی‌های پیشرفته‌تری می‌شود که به علت داشتن هزینه‌های بالاتر، در حالت عادی، توسط سرمایه‌گذاران انتخاب نمی‌شوند و بدین ترتیب، از راکد ماندن سطح تکنولوژی و گرایش به سوی تکنولوژی‌های سطح پایین، جلوگیری می‌شود (چو[۲] و همکاران، ۲۰۲۱). تجربیات کشور هند (گوپتا[۳] و پورهویت[۴]، ۲۰۱۳) و تجربیات ۲۱ ایالات آمریکا (هولت[۵] و همکاران، ۲۰۱۱) در کنار نتایج طیفی از مطالعات مختلف (کو[۶] و همکاران، ۲۰۱۹)، همگی نشان داده‌اند که عملکرد سیاست‌های بازار محور، نظیر RPS در شرایط وجود رتبه‌بندی تکنولوژی، به طور قابل توجهی، افزایش می‌یابد. در حال حاضر با توجه به اینکه واحدهای تلمبه ذخیره‌ای نیز، مشتمل بر تکنولوژی‌های مختلف با مزایا و معایب مختص خود هستند، بنابراین می‌توان انتظار داشت که انجام رتبه‌بندی تکنولوژی در بازار RESO و ASPO نیز، در آینده بتواند بستر کاراتری به منظور توسعه‌ی ظرفیت ذخیره‌سازی در ایران، فراهم آورد. به عنوان مثال، سیاست‌گذار، بسته به ملاحظات محیط‌زیستی، ممکن است تمایلی به توسعه‌ی واحدهای حلقه‌باز، نداشته باشد و یا به منظور حداقل کردن آثار خارجی ناشی از احداث این واحدها، در درون سرزمین ایران، بخواهد تا واحدهای متکی بر آب دریا را در نواحی ساحلی، توسعه بخشد. یکی از راه‌های دستیابی به چنین اهدافی، رتبه‌بندی تکنولوژی در پیاده سازی سیاست‌های RESO و ASPO می‌باشد.

امروزه، دو روش اصلی، به منظور رتبه‌بندی تکنولوژی در جهان وجود دارد. روش اول اعمال ضریب[۷] بر روی گواهی‌هایی، نظیر RESC و یا ASC می‌باشد که در آن، هر یک واحد خدمات ارائه شده توسط واحدهای دارای اولویت، بیش از یک عدد گواهی دریافت می‌کند (Cho et al., 2024). به عنوان مثال، اگر اولویت سیاست‌گذار، توسعه‌ی واحدهای وابسته به آب دریا باشد، در آن صورت، اعمال ضریب ۱.۸ بر روی RESC و یا ASC صادره برای این واحدها، باعث می‌شود تا هر یک واحد خدمات ارائه شده توسط این واحدها، عملاً ۱.۸ برابر حالت عادی گواهی دریافت کند. روش دیگر، به منظور رتبه‌بندی، ایجاد مجموعه‌ای از زیر طبقات[۸]، برای سیاست RESO و یا ASPO می‌باشد، به طوری که هر یک از این زیر طبقات، عملاً همانند یک سیاست RESO و یا ASPO فرعی ذیل سیاست اصلی، بشمار می‌روند که درصد خاصی از اهداف سیاست اصلی را صرفاً به یک تکنولوژی خاص معطوف می‌کنند (سائینی[۹] و همکاران، ۲۰۲۲). به عنوان مثال، اگر

[۱] البته در حال حاضر در ایران اینگونه نمی‌باشد و سیاست RPS تمایزی میان تکنولوژی‌ها قائل نیست و این موضوع یک انتقاد مهم به سیاست‌گذاری برق تجدیدپذیر در ایران بحساب می‌آید.

[2] Cho
[3] Gupta
[4] Purohit
[5] Holt
[6] Ko
[7] Multiplier
[8] Sub tiers
[9] Saini

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

هدف کلی سیاست RESO، ذخیره‌سازی ۳ درصد از کل برق تجدیدپذیر تولید شده در هر سال توسط واحدهای تلمبه ذخیره‌ای باشد، در آن صورت، به منظور ارجحیت بخشیدن به واحدهای دارای توربین سرعت متغیر، می‌توان یک زیرطبقه، برای سیاست اصلی ایجاد کرد و در آن عنوان کرد که لااقل ۴۵ درصد از آن ۳ درصد، منحصراً می‌بایست توسط واحدهای دارای توربین سرعت متغیر تأمین شوند. بدین ترتیب، مقدار مشخصی از بازار RESC و یا ASC، منحصراً در اختیار یک تکنولوژی خاص قرار می‌گیرد.

۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

با توجه به شروع اعمال قوانین RPS در ایران، با هدف افزایش سهم برق تجدیدپذیر از کل تولید برق، انتظار می‌رود که این نوع از برق، در آینده، نقش بیشتری در صنعت برق کشور ایفا نماید. با توجه به مشکل ناپیوستگی تولید برق تجدیدپذیر و عدم امکان انطباق عرضه‌ی این نوع برق با تقاضای برق، می‌توان انتظار داشت که در آینده، در صورت افزایش سهم برق تجدیدپذیر در کل تولید، مدیریت شبکه و انطباق عرضه و تقاضا نیز به تدریج با مجموعه‌ای مشکلات مواجه شود. یک راهکار بالقوه، به منظور رفع این مشکل، افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی برق از طریق احداث واحدهای تلمبه ذخیره‌ای می‌باشد. ولی در حال حاضر، اولاً واحدهای تلمبه ذخیره‌ای در ایران بسیار محدود می‌باشند و ساخت واحدهای بیشتر، نیازمند جذب سرمایه‌های بخش خصوصی می‌باشد و دوماً احداث این واحدها از جذابیت مالی بسیار کمی برای جذب سرمایه‌های بخش خصوصی برخوردار می‌باشد. در نتیجه، در شرایطی که نیاز به افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی، به برای تسهیل فرآیند گذار انرژی وجود دارد، این واحدها از جذابیت کافی جذب منابع سرمایه‌گذاری برخوردار نمی‌باشند. در این مطالعه، تلاش شد تا به منظور حل این مشکل، یک مدل مفهومی سیاست‌گذاری بازار محور، مشابه با سیاست‌های RPS فعلی، طراحی و ارائه شود، به نحوی که اجرای آن در کنار اجرای سیاست‌های RPS، بتواند عواید حاصل از کارکردهای مختلف واحدهای تلمبه ذخیره‌ای، اعم از ارائه‌ی خدمات جانبی و ذخیره‌سازی برق تجدیدپذیر را افزایش دهد و بدین ترتیب، سرمایه‌گذاری در احداث این واحدها تشویق شود. در انتها نیز تلاش شد تا بر اساس تجربیات جهانی، برخی توصیه‌ها نظیر اعمال کف قیمت، انعقاد قراردادهای خرید توان و رتبه‌بندی تکنولوژی به منظور بهبود عملکرد سیاست توسعه واحدهای تلمبه ذخیره‌ای ارائه شوند.

مراجع

1. Amundsen, E. S., Baldursson, F. M., & Mortensen, J. B. (2006). Price Volatility and Banking in Green Certificate Markets. Environmental and Resource Economics, 35(4), 259–287.
2. Berry, T., & Jaccard, M. (2001). The renewable portfolio standard: Design considerations and an implementation survey. Energy Policy, 29(4), 263–277.
3. Brunnschweiler, C. N. (2010). Finance for renewable energy: an empirical analysis of developing and transition economies. Environment and Development Economics, 15(3), 241–274.
4. Cho, S., Kim, J., & Lim, D. (2024). Optimal design of renewable energy certificate multipliers using an LCOE-Integrated AHP model: A case study of South Korea. Renewable Energy, 226, 120386.
5. Coulon, M., Khazaei, J., & Powell, W. B. (2015). SMART-SREC: A stochastic model of the New Jersey solar renewable energy certificate market. Journal of Environmental Economics and Management, 73, 13–31.
6. Dong, C. G. (2012). Feed-in tariff vs. renewable portfolio standard: An empirical test of their relative effectiveness in promoting wind capacity development. Energy Policy, 42, 476–485.
7. Donnelly, K. B. (2023). Storing the future of energy: Navigating energy storage policy to promote clean energy generation. Environmental Progress & Sustainable Energy, 42(2).
8. Ela, B., Kirby, B., Milostan, C., Botterud, A., Krad, I., & Koritarov, V. (2013). The Role of Pumped Storage Hydro Resources in Electricity Markets and System Operation. NREL.
9. Evans, A., Strezov, V., & Evans, T. J. (2012). Assessment of utility energy storage options for increased renewable energy penetration. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(6), 4141–4147.
10. Guerra, O. J., Eichman, J., & Denholm, P. (2021). Optimal energy storage portfolio for high and ultrahigh carbon-free and renewable power systems. Energy & Environmental Science, 14(10), 5132–5146.
11. Gupta, S. K., & Purohit, P. (2013). Renewable energy certificate mechanism in India: A preliminary assessment. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 22, 380–392.
12. Holt, E., Sumner, J., & Bird, L. (2011). The Role of Renewable Energy Certificates in Developing New Renewable Energy Projects.
13. Hustveit, M., Frogner, J. S., & Fleten, S.-E. (2017). Tradable green certificates for renewable support: The role of expectations and uncertainty. Energy, 141, 1717–1727.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

14. Jaccard, M. (2004). Renewable Portfolio Standard. In Encyclopedia of Energy (pp. 413–421). Elsevier.
15. Kim, J. (2020). Uncertainty regarding REC Prices and Investments in Renewable Energy: Evidence from Korea. SSRN Electronic Journal.
16. Ko, W., Lee, J., & Kim, J. (2019). The Effect of a Renewable Energy Certificate Incentive on Mitigating Wind Power Fluctuations: A Case Study of Jeju Island. Applied Sciences, 9(8), 1647.
17. Lüthi, S., & Wüstenhagen, R. (2012). The price of policy risk — Empirical insights from choice experiments with European photovoltaic project developers. Energy Economics, 34(4), 1001–1011.
18. McLarnon, F. R., & Cairns, E. J. (1989). Energy Storage. Annual Review of Energy, 14(1), 241–271.
19. Menanteau, P., Finon, D., & Lamy, M.-L. (2003). Prices versus quantities: choosing policies for promoting the development of renewable energy. Energy Policy, 31(8), 799–812.
20. Mitali, J., Dhinakaran, S., & Mohamad, A. A. (2022). Energy storage systems: a review. Energy Storage and Saving, 1(3), 166–216.
21. Mitchell, C. (2000). The England and Wales non-fossil fuel obligation: history and lessons. Annual Review of Energy and the Environment, 25(1), 285–312.
22. Ndiritu, S. W., & Engola, M. K. (2020). The effectiveness of feed-in-tariff policy in promoting power generation from renewable energy in Kenya. Renewable Energy, 161, 593–605.
23. Nikolaos, P. C., Marios, F., & Dimitris, K. (2023). A Review of Pumped Hydro Storage Systems. Energies, 16(11), 4516.
24. Painuly, J. P., & Wohlgemuth, N. (2021). Renewable energy technologies: barriers and policy implications. In Renewable-Energy-Driven Future (pp. 539–562). Elsevier.
25. Potau, X., Leistner, S., & Morrison, G. (2018). Battery Promoting Policies in Selected Member States (5; Batstorm Work Package).
26. Sachs, J. D., Woo, W. T., Yoshino, N., & Taghizadeh-Hesary, F. (2019). Why Is Green Finance Important? SSRN Electronic Journal.
27. Saini, K. C., Verma, S., Chandra, G. M. S., Usman, K., Kundra, H., & Agarwal, M. (2022). Renewable Energy Certificate (REC) Mechanism as an enabler of Renewable energy penetration in India: Looking back and way forward. 2022 22nd National Power Systems Conference (NPSC), 82–87.
28. Sun, P., & Nie, P. (2015). A comparative study of feed-in tariff and renewable portfolio standard policy in renewable energy industry. Renewable Energy, 74, 255–262.
29. World Bank. (2020). Understanding Power Purchase Agreements.
30. Xin-gang, Z., Tian-tian, F., Lu, C., & Xia, F. (2014). The barriers and institutional arrangements of the implementation of renewable portfolio standard: A perspective of China. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 30, 371–380.
31. Yekini Suberu, M., Wazir Mustafa, M., & Bashir, N. (2014). Energy storage systems for renewable energy power sector integration and mitigation of intermittency. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 35, 499–514.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی ایران
سال یازدهم/ شماره سی و هفتم- ویژه نامه‌ی نیروگاههای تلمبه ذخیره‌ای/ بهار ۱۴۰۳

Journal of Iranian Dam and Hydroelectric PowerPlant
11th Year/ No. 37- Special Issue on Pumped Storage Power Plants/ June 2024

A Conceptual Model of Market-Based Policy for Developing Pumped Storage Facilities to Alleviate Intermittency of Power Generation of Renewable Power Plants

Soorena Naderi[1*]
Mohammad Ebrahim Raesi[2]
Habib Soheyli Ahmadi[3]

Abstract

In recent years, the orientation of the energy policy maker in Iran towards the development of renewable electricity generation capacity has made it possible that in the coming years, with the increase of this capacity, problems caused by the non-continuity of renewable electricity in the electricity network will gradually appear. Consequently, it can be expected that in the future, a gradual increase in storage capacity through pumped-storage hydroelectricity units will turn to a necessity to alleviate such issues. Considering the challenges associated with investment risk and the financing of pumped-storage projects, this study endeavors to propose a market-based conceptual model for policy-making in order to foster investing in pumped-storage units. In a way that such a model would enable these units to increase their revenues through the provision of ancillary services and peak shaving and reducing their income risks. Additionally, beyond presenting the conceptual model, efforts have been made to offer a set of policy recommendations, such as pricing policies and technology ranking, to improve the performance of policy-making.

Keywords

Ancillary Service, Energy Exchange, Energy Storage, Renewable Portfolio Standard

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-05-20]

[1*] MSc Graduate of Agricultural Economics, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj. E-mail address: soorenanaderi@gmail.com
[2] Head of Economics Analysis Section, Mahab Ghodss consulting Engineering Co.
[3] Assistant Professor, Economics of Public Affairs Department, Faculty of Economics, Kharazmi University, Tehran, Iran.

Received: 2024/06/25 Accepted: 2024/07/02