

ارزیابی اقتصادی سرمایه‌گذاری تجاری در توسعه‌ی شبکه‌ی انتقال از دیدگاه یک شرکت تولید به عنوان سرمایه‌گذار

روزبه کارنده¹، مهرداد حجت² و محمدحسین جاویدی دشتبیاض³
¹دانشگاه فردوسی مشهد، ro.karandeh@stu-mail.um.ac.ir
²دانشگاه فردوسی مشهد، me.hojjat@stu-mail.um.ac.ir
³دانشگاه فردوسی مشهد، h-javidi@ferdowsi.um.ac.ir

چکیده - توسعه‌ی شبکه‌ی انتقال به منظور کاهش تراکم و افزایش میزان مبادله‌ی ایمن توان، یکی از مهم‌ترین مباحث در زمینه‌ی برنامه‌ریزی سیستم قدرت می‌باشد. سرمایه‌گذاری در توسعه‌ی شبکه انتقال می‌تواند مبتنی بر انگیزه‌های تجاری و اقتصادی باشد. در سیستم‌های تجدید ساختار یافته این نوع سرمایه‌گذاری توسط بخش خصوصی یا خود بازیگران بازار می‌تواند انجام شود. یکی از این بازیگران که می‌تواند انگیزه‌ی خوبی برای این کار داشته باشد، شرکت تولید یا GENCO می‌باشد. در این مقاله به ارزیابی اقتصادی سرمایه‌گذاری تجاری یک GENCO در توسعه‌ی شبکه‌ی انتقال، بررسی چگونگی کفایت، و یا ایجاد انگیزه‌ی سود حاصل از تولید در توپولوژی شبکه‌ی توسعه یافته در کنار درآمد حاصل از مکانیزم‌های جبران هزینه و مشوق‌های مالی برای GENCO، پرداخته می‌شود. کلید واژه: توسعه شبکه، سرمایه‌گذاری تجاری انتقال، دیدگاه سرمایه‌گذار، مکانیزم جبران هزینه‌های سرمایه‌گذاری، مشوق‌های مالی.

گذاری تجاری، نیروهای بازار، کلید سرمایه‌گذاری و توسعه‌ی شبکه‌ی انتقال می‌باشند. پرداخت تفاوت قیمت‌های حدی محلی (LMP) بین دو ناحیه و یا تخصیص حقوق مالی انتقال (FTR) به سرمایه‌گذاران انتقال، می‌تواند چارچوبی مفهومی را برای این رویکرد فراهم کند [1].

در مراجع [3و2]، استفاده از FTRهای افزایشی (Incremental FTRs) یا IFTRها به عنوان مشوقی مبتنی بر بازار برای این موضوع، پیشنهاد شده است. تحت این الگو، FTRهای اضافی حاصل از سرمایه‌گذاری برای سرمایه‌گذار صادر می‌شود. این رویکرد هم اکنون در CAISO، MISO و NYISO به کار برده می‌شود، در حالی که PJM و ISO-NE از حقوق منافع حراج افزایشی یا IARRها استفاده می‌کنند [4]. البته موانع زیادی بر سر راه این رویکرد وجود دارد که در این مرجع به آن اشاره شده است.

در مرجع [5] نشان داده شده که با در نظر گرفتن تعداد زیادی از جنبه‌های واقعی سیستم قدرت از جمله ناکامل بودن بازار و رقابت در حالت واقعی (وجود قدرت بازار و رفتار استراتژیک برخی از بازیگران)، و پیامدهای ناشی از پخش بار و قوانین فیزیکی حاکم بر آن، هزینه‌های انتقال نمی‌تواند توسط اینگونه ابزارهای مالی به طور کامل جبران گردد. در [6]

1- مقدمه

امروزه در سیستم‌های قدرت، عواملی چون دوری مراکز تولید انرژی از مراکز بار، رشد بار و تولید موجب افزایش پدیده‌ی تراکم و پیامدهای فنی و اقتصادی ناشی از آن شده است. در این شرایط برنامه‌ریزی برای توسعه شبکه، و اجرای آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار خواهد بود.

اجرای فرآیند توسعه نیاز به سرمایه دارد، لذا باید در این زمینه سرمایه‌گذاری هدفمند و با توجیه اقتصادی صورت گیرد. این کار در سیستم‌های سنتی توسط شرکت‌های برق یکپارچه‌ی عمودی، برای اطمینان از کفایت هماهنگی انجام می‌شد. اما در بازارهای رقابتی برق، این سرمایه‌گذاری باید توسط سرمایه‌گذاران خصوصی انتقال صورت گیرد، به صورتی که در نهایت منجر به بهره‌برداری کارا و توسعه‌ی سیستم با کمترین هزینه شود. سرمایه‌گذاری در شبکه‌ی انتقال می‌تواند به دو شکل صورت پذیرد؛ سرمایه‌گذاری در انتقال مبتنی بر انگیزه‌های نظارتی (تنظیمی) و سرمایه‌گذاری تجاری انتقال.

در سرمایه‌گذاری در انتقال مبتنی بر انگیزه‌های نظارتی فرض بر این است که شبکه‌ی انتقال یک کالای ذاتاً انحصاری بوده و در نتیجه باید تحت نظارت (تنظیم) باشد. اما در سرمایه-

امنیت آن ناحیه، تعیین می‌شوند. اینها پروژه‌هایی هستند که مالکین انتقال به ساخت آنها در تاریخ مقرر در برنامه‌ریزی ملزم می‌شوند. در طرف مقابل، الزامی برای مالکین انتقال برای اجرای پروژه‌های اقتصادی، وجود ندارد. این پروژه‌ها، پروژه‌های تجاری خواهند بود. و جبران هزینه، حداقل در تئوری باید از طرفی تأمین شود که از انرژی ارزان‌تر سود می‌برد. اما پیشبینی دقیق درآمد بخاطر نوسانات زیاد قیمت انرژی معمولاً میسر نیست. علاوه بر آن در بازارهای رقابتی، بارها می‌توانند تأمین‌کنندگان انرژی را خودشان انتخاب کنند. در نتیجه LSE ها تمایلی به مشارکت در سرمایه‌گذاری‌های بلندمدت انتقال نخواهند داشت. بنابراین، انگیزه و مکانیزم‌های مشوق جدید و کاراتری برای ترویج سرمایه‌گذاری‌های خصوصی مورد نیاز است [12 و 13].

2-1- هزینه‌های سرمایه‌گذاری و اثر صرفه مقیاس

هزینه‌های سرمایه‌گذاری در انتقال به دو بخش ثابت و متغیر تقسیم می‌شوند. هزینه‌ی متغیر (C_V) شامل آن بخش از هزینه‌هایی می‌باشد که وابسته به سطح ولتاژ، ظرفیت و توان نامی تجهیز انتقال است؛ نوع و طول هادی و ارتفاع ضروری دکل‌ها از این قبیل هزینه‌ها می‌باشند. اما بخش دیگری از هزینه‌ها مانند خرید حریم خط، هموار کردن زمین، احداث یا توسعه‌ی پست-های دو سر خط، هزینه‌های ثابت (C_F) خط محسوب می‌شوند و تنها در حالتی وجود خواهند داشت که بخواهیم خط جدیدی احداث کنیم. چراکه بخش عمده‌ای از توسعه‌ی شبکه شامل توسعه و افزایش ظرفیت تجهیزات موجود می‌باشد. اینجا محل در نظر گرفتن صرفه مقیاس می‌باشد. به این ترتیب که در توسعه‌ی تجهیزات موجود، بخش هزینه‌های ثابت از کل هزینه‌های سرمایه‌حذف می‌شود و با افزایش ظرفیت نامی (y)، هزینه‌ی متوسط سرمایه‌گذاری کاهش می‌یابد [1].

$$C(y) = C_V(y) + C_F \quad (1)$$

2-2- مکانیزم‌های جبران هزینه سرمایه‌گذاری و مشوق‌های مالی

مکانیزم اول: مکانیزم ساده و مرسوم نرخ مصوب انتقال که در صنعت برق ایالات متحده (FERC) استفاده می‌شود. برای این منظور در مرحله‌ی اول یک نرخ سالانه (AR) بر اساس بزرگترین پیک همزمان ناحیه ای (1CP) و درصدی از کل مبلغ سرمایه‌گذاری را به عنوان درآمد مورد نیاز سالانه (RR) محاسبه می‌-

نیز اشاره شده که ابزارهای مالی نمی‌توانند هزینه‌ی توسعه را جبران کنند. در مرجع [7] نیز ثابت شده که چطور قیمت‌گذاری حدی، قادر به جبران هزینه‌های انتقال نیست. انگیزه‌های اقتصادی همچون تخصیص هزینه، تخصیص حقوق منافع سالانه، حقوق مالی انتقال از دیگر مواردی بود که در تحقیقات دیگر بررسی شد. مثلاً به پیشنهاد مرجع [8] به سرمایه‌گذار انتقال، FGR های مالی تقویت شده‌ای تعلق می‌گیرد که ارزش برآمده از خط جدید، و تأثیر آن روی سایر خطوط را منعکس می‌کند. در مرجع [9] نیز تخصیص FTR های بلندمدت (LTFTR) به عنوان مشوق برای سرمایه‌گذاری تجاری انتقال در شبکه‌های دارای ابعاد کوچک پیشنهاد شد.

یکی دیگر از جنبه‌هایی که در سرمایه‌گذاری انتقال مورد بحث قرار می‌گیرد، در نظر گرفتن مسئله‌ی سرمایه‌گذاری از دیدگاه سرمایه‌گذار است. در مراجع [10 و 11] به ترتیب از ارزیابی گزینه‌های واقعی (Real Options)، و مفهوم نظریه‌ی گزینه‌های دائمی (Perpetual Options)، برای تحلیل سرمایه‌گذاری تجاری انتقال و جبران آن از طریق یک نرخ مصوب می‌پردازند. در [11] ادعا می‌شود که به دلیل ماهیت غیر قطعی مصرف برق، نظریه‌ی گزینه‌های دائمی به سرمایه‌گذار این امکان را می‌دهد که بهترین زمان برای آغاز پروژه‌ی انتقال را، برای بدست آوردن حداکثر درآمد، تعیین کند.

در کارهای صورت گرفته در گذشته مکانیزم‌هایی برای جبران هزینه سرمایه‌گذاری و نیز ایجاد مشوق‌های مالی در این زمینه ارائه شده است. سرمایه‌گذاری تجاری انتقال به طور عمده از دیدگاه بهره‌بردار مستقل شبکه در نظر گرفته شده است. اما بررسی سرمایه‌گذاری از دیدگاه یکی از نیروهای بازار به عنوان سرمایه‌گذار، و انگیزه‌های مالی او به عنوان بازیگر بازار، مسئله‌ای است که به صورت دقیق مورد ارزیابی قرار نگرفته است.

در این مقاله به ارزیابی اقتصادی سرمایه‌گذاری تجاری یک GENCO در توسعه‌ی شبکه‌ی انتقال می‌پردازیم. اینکه آیا سود حاصل از تولید در توپولوژی شبکه‌ی توسعه یافته در کنار درآمد حاصل از مکانیزم‌های جبران هزینه و مشوق‌های مالی می‌تواند برای GENCO ایجاد انگیزه‌ی اقتصادی داشته باشد یا خیر.

2- سرمایه‌گذاری تجاری انتقال

در حالت کلی، دو نوع پروژه‌ی انتقال وجود دارد: اقتصادی و امنیتی. پروژه‌های امنیتی در چارچوب برنامه‌ریزی انتقال، توسط سازمان‌های انتقال ناحیه‌ای، و برای تأمین حد قابلیت اطمینان و

$$AR (\$/MW - year) = \frac{RR (\$/year)}{1CP (MW)} \quad (2)$$

این رویکرد نیز به احتمال زیاد ضرر زیادی را متوجه سرمایه‌گذار خواهد کرد، چراکه تنها خطوطی که دچار تراکم می‌شوند، منجر به سود برای سرمایه‌گذار خواهند شد.

در مرجع [12] اشاره شده که معمولاً نرخ مصوب انتقال به عنوان مکانیزم جبران هزینه، و یک حقوق یا ابزار مالی برای ایجاد مکانیزم مشوق مالی، در کنار هم استفاده می‌شوند.

فلسفه‌ی استفاده از این رابطه این است که شبکه باید در بار پیک ایمن باشد. در این صورت درآمد ساعتی از بار پیک به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$R_{AR}(t) = DDV(t) \times \left(\frac{AR}{8760}\right) \quad (3)$$

که در آن $DDV(t)$ مقدار پیک بار می‌باشد.

از مزایای این مکانیزم آن است که؛ با استفاده از آن ریسک ناشی از برنامه‌ریزی استراتژیک سایر بازیگران بازار کاهش می‌یابد، به این معنی که رفتار دیگر بازیگران بازار که بر قیمت‌های محلی و در نتیجه بر درآمد تراکم تأثیر می‌گذارند، در درآمد حاصل از این رویکرد، بی تأثیر است. همچنین جبران سرمایه‌ی یک پروژه تحت این مکانیزم، تابعی از سایر پروژه‌ها نخواهد بود و به صورت همزمان، چند پروژه می‌تواند توسط سرمایه‌گذار انتقال اجرا شود [12].

مکانیزم دوم: تخصیص حقوق مالی انتقال افزایشی (IFTR) به سرمایه‌گذار انتقال، برای دوره‌ی زمانی که دوره‌ی جبران هزینه‌ی سرمایه‌گذاری نام دارد. به این ترتیب به سرمایه‌گذار، بهایی معادل مقدار زیر تعلق خواهد گرفت:

$$R_{IFTR}(t) = q_{ij}(t) \times (p_i(t) - p_j(t)) \quad (4)$$

که در آن q_{ij} مقدار توان عبوری از خط جدید احداث شده بین دو باس i و j ، و p_i قیمت حدی محلی (LMP) انرژی در باس i می‌باشد [11].

از معایب این رویکرد، می‌توان به این اشاره کرد که با توسعه‌ی شبکه انتقال، تراکم در شبکه کاهش یافته و در نتیجه درآمد حاصل از این مکانیزم کاهش خواهد داشت. و نیز این رویکرد، موجب ایجاد انگیزه‌ی رفتار استراتژیک توسط بازیگران بازار، یا احتکار ظرفیت انتقال توسط مالک انتقال برای کسب سود بیشتر از حقوق مالی انتقال، شد.

مکانیزم سوم: مکانیزم حقوق دریچه‌ی عبور توان (FGR). که با استفاده از آن، مقدار تعلق گرفته به سرمایه‌گذار برابر است با حاصلضرب ظرفیت خط یا تجهیز متراکم شده (Q) در قیمت سایه‌ی آن:

$$R_{FGR}(t) = Q_{ij}(t) \times \mu_{ij}(t) \quad (5)$$

3- ساختار پیشنهادی

بازیگران متنوعی در محیط‌های تجدید ساختار یافته می‌توانند نقش سرمایه‌گذار را برای توسعه‌ی شبکه به عهده بگیرند. به عنوان مثال همانطور که در بخش دوم اشاره شد، شرکت‌های خدمات بار می‌توانند یکی از این سرمایه‌گذاران باشند. مالکان انتقال، بارهای صنعتی بزرگ و همینطور شرکت‌های تولید نیز از دیگر بازیگرانی هستند که بسته به انگیزه‌ها و اهداف مختلف می‌توانند سرمایه‌گذاران بالقوه در توسعه‌ی شبکه باشند. در این میان یک Genco به عنوان سرمایه‌گذار تجاری در توسعه‌ی شبکه می‌تواند انگیزه‌های مناسبی داشته باشد [5 و 14].

ساختار پیشنهادی این مقاله این است که سرمایه‌گذار توسعه‌ی شبکه یکی از نیروهای قدرتمند و ذینفع بازار یعنی Genco باشد، تا با توسعه‌ی بخش یا بخش‌هایی از شبکه‌ی انتقال که شامل خطوط متصل به باس‌های نیروگاه‌های آن Genco می‌باشد، اولاً با ایجاد لینک بین این باس‌ها و مراکز باری که قیمت انرژی در آنجا گران است، توان تولیدی خود را با قیمت بالاتری به فروش برساند. ثانیاً احتمالاً با توسعه‌ی ظرفیت انتقال مرتبط با باس‌های متصل، میزان بیشتری از توان تولیدی خود را به فروش می‌رساند. ثالثاً با جمع‌آوری بهای تراکم خطوط احداثی و یا دریافت نرخ‌های مصوب انتقال از بهره‌بردار شبکه، علاوه بر پوشش هزینه‌های سرمایه‌گذاری می‌تواند در بلند مدت سود تجاری مناسبی را بدست آورد.

در واقع ما به ارزیابی اقتصادی سرمایه‌گذاری تجاری یک Genco در شبکه‌ی انتقال می‌پردازیم. امکان‌سنجی و بررسی چگونگی اینکه آیا سود حاصل از تولید در توپولوژی جدید شبکه پس از توسعه‌ی برآمده از سرمایه‌گذاری تجاری (B_G)، در کنار هزینه‌های سرمایه‌گذاری (C_i) درآمدهای حاصل از مکانیزم‌های جبران هزینه و مشوق‌های مالی (R_C)، در افق برنامه‌ریزی بلند مدت، می‌تواند برای Genco مناسب و کافی باشد، یا اینکه Genco اگر در افق زمانی مورد نظر تنها به تولید بپردازد صرفه‌ی اقتصاد بیشتری خواهد داشت.

شده و پروژه‌هایی به عنوان گزینه‌های سرمایه‌گذاری برای سرمایه‌گذار تعیین شده است. این گزینه‌ها در جدول 1 آمده است [16]. در این جدول همچنین نوع پروژه مشخص شده است. به این معنی که پروژه حریم خطوط موجود قابل اجرا است یا اینکه نیاز به خرید حریم جدید است. هزینه سرمایه‌گذاری این تجهیزات را 200 (\$/MW-km) و هزینه حریم جدید را 2000 (\$/km) در نظر می‌گیریم.

با استفاده از $dcopf$ ، قیمت‌های حدی محلی و توان تولیدی GENCO ها، در نتیجه درآمد و هزینه آنها در افق زمانی برنامه‌ریزی بدست می‌آید. به عنوان مثال، GENCO باس 7 (شکل 1) را به عنوان سرمایه‌گذار در نظر می‌گیریم و از دیدگاه این GENCO به مسئله سرمایه‌گذاری تجاری نگاه می‌کنیم. برای شبکه سه سطح بار در نظر می‌گیریم؛ پرباری، میان‌باری و کم‌باری، و $dcopf$ را به این سطوح بار اعمال می‌کنیم.

جدول 1: اطلاعات پروژه‌های قابل انتخاب برای سرمایه‌گذاری

طول (km)	گزینه پروژه	نوع پروژه انتقال
31	3-9	خط - موجود
50	3-24	خط و ترانس - موجود
18	6-8	خط - جدید
16	6-10	خط - موجود
16	7-8	خط - موجود
50	10-11	خط و ترانس - موجود
27	14-16	خط - موجود
18	20-22	خط - جدید

سناریوی اول: GENCO مورد نظر، در هیچ پروژه تجاری از موارد پیشنهاد شده در جدول 1 سرمایه‌گذاری نمی‌کند. فرض می‌کنیم در طول ده سال آینده هیچ کدام از پروژه‌های فوق اجرا نمی‌شوند. آنگاه با احتساب رشد بار و تولید بیان شده، ارزش فعلی سود حاصل از تولید این GENCO، با احتساب نرخ بهره‌ی (i) 13% پس از ده سال برابر خواهد بود با \$2885457.

سناریوی دوم: فرض می‌کنیم تحت شرایطی دقیقاً مشابه شرایط فوق، GENCO مورد نظر تصمیم می‌گیرد در سرمایه‌گذاری تجاری انتقال مشارکت داشته باشد. در این سناریو، GENCO می‌داند که بهره‌بردار مستقل شبکه به سرمایه‌گذار تجاری انتقال، تنها نرخ مصوب انتقال را برای بازایی هزینه‌های سرمایه‌گذاری اختصاص می‌دهد. دو فرض را در نظر می‌گیریم؛ فرض اول اینکه یک GENCO این اختیار را از سوی بهره

اگر برای پارامترهای مسئله اندیس kt ؛ سال t ام از افق برنامه‌ریزی در نظر گرفته شده، سطح بار k ام از سطوح بار منحنی تداوم بار (در صورتی که منحنی تداوم بار را برای سادگی به چندین سطح بار تقسیم کنیم)، و نهایتاً توپولوژی شبکه‌ی توسعه یافته‌ی t ام را نشان دهد (مقدار آن برای m گزینه‌ی توسعه‌ی ارائه شده توسط ISO برابر $1-2^m$ است)، با استفاده از روابط (3)، (4) و (5)، R_C اینگونه بیان می‌شود:

$$R_{C,jkt} = R_{AR,jkt} + R_{IFTR,jkt} + R_{FGR,jkt} \quad (6)$$

که بسته به اینکه از طریق کدام مکانیزم، هزینه‌های سرمایه‌گذاری جبران می‌شود، اجزای این رابطه دارای خواص خواهد شد. اگر رابطه سود حاصل تولید را به صورت زیر بنویسیم:

$$B_{G,jkt}(P) = R_{G,jkt}(P) - C_{G,jkt}(P) \quad (7)$$

که در آن $R_G(P)$ درآمد GENCO از تولید P MW توان، و $C_G(P)$ نیز هزینه تولید این مقدار P MW می‌باشد. آنگاه تابع هدف ما برای حل مسئله بهینه‌سازی این ارزیابی اقتصادی، به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\max \sum_t \sum_k \sum_j (B_{G,jkt} + R_{C,jkt})(P|F,i,t) - C_{I,j} \quad (8)$$

در این تابع هدف، ارزش خالص فعلی (NPV) سود حاصل از تولید شرکت تولید در کنار درآمد حاصل از مکانیزم‌های جبران هزینه و مشوق‌های مالی باید حداکثر شود (با نرخ بهره‌ی i). همچنین فرض می‌شود هزینه سرمایه‌گذاری در آغاز اجرای پروژه بصورت یکجا پرداخت می‌گردد.

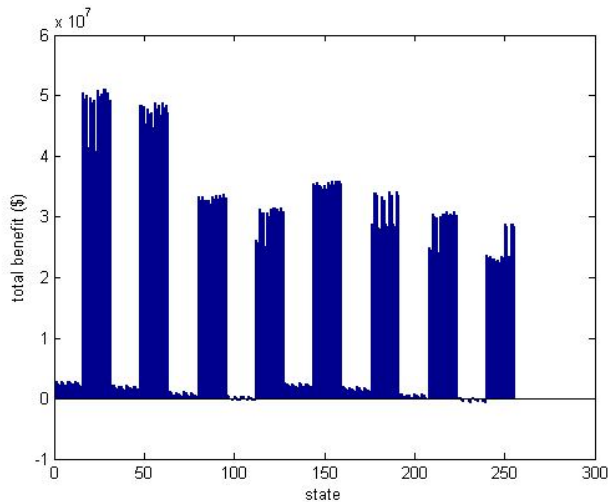
4- شبکه‌ی مورد مطالعه

ساختار ارائه شده، روی شبکه‌ی 24 باسه استاندارد IEEE، در محیط MATLAB، با استفاده از تابع پخش بار بهینه‌ی dc جعبه ابزار MATPOWER، پیاده‌سازی شده است. اطلاعات این شبکه در مرجع [15] آورده شده است (شکل 1). افق برنامه‌ریزی را ده ساله در نظر می‌گیریم و فرض می‌کنیم بار سالانه 8 درصد رشد داشته باشد و تولید برای تأمین ایمن بار به فراخور آن رشد یابد. در واقع در اینجا برای سادگی همه‌ی پارامترهای شبکه (بار، رشد بار، نرخ بهره، دسترس‌پذیری تجهیزات شبکه، برنامه‌ی توسعه‌ی تولید و غیره) را قطعی در نظر می‌گیریم. همچنین فرض می‌کنیم برنامه‌ریزی توسعه‌ی انتقال برای این شبکه انجام

صدور توان از GENCO مورد نظر شده و سود حاصل از تولید و در نتیجه سود کل آن را به مقدار قابل توجهی افزایش می‌دهند. این شکل همچنین نشان می‌دهد که سود کل در برخی حالت‌های سرمایه‌گذاری صفر و منفی هم می‌شود.

جدول 3: اجزای تشکیل دهنده سود مجموع سناریوی دوم

فرض اول	فرض دوم	
51420899	50520116	سود حاصل از تولید (\$)
1831899	486191	درآمد حاصل از نرخ مصوب (\$)
2110000	560000	هزینه‌ی سرمایه‌گذاری (\$)



شکل 2: نمودار ارزش فعلی سود ده ساله‌ی GENCO در 255 حالت ممکن

سناریوی سوم: با حفظ تمامی شرایط سناریوی قبل، و با این تفاوت که بهره‌بردار شبکه به سرمایه‌گذار تجاری انتقال، تنها IFTR اختصاص می‌دهد. همانطور که جدول 4 نشان می‌دهد، در این حالت ترکیب بهینه‌ی پروژه‌ها برای ماکزیمم سود کل، با سناریوی قبل متفاوت است. سود کل ماکزیمم و سود کل حاصل از سرمایه‌گذاری در خط 7-8، نسبت به سناریوی قبل کمتر است. لذا پر واضح است که به احتمال زیاد درآمد حاصل از IFTRها نیز به تنهایی قادر به جبران کامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری نیست و سود حاصل از تولید علاوه بر جبران زیان ناشی از سرمایه‌گذاری، عامل اصلی در سود کل است.

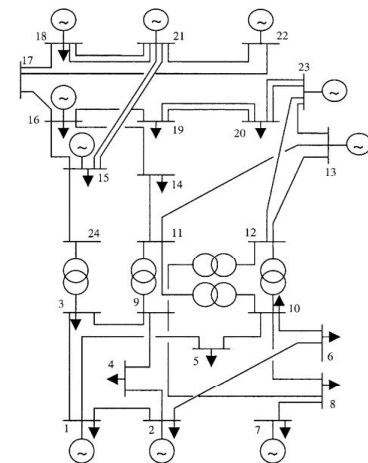
جدول 4: نتایج سناریوی سوم؛ جبران با IFTR

پروژه یا پروژه‌های انتقال احداث شده	ارزش فعلی سود در افق ده ساله (\$)	
7-8, 6-10	50645846	فرض اول
7-8	50071529	فرض دوم

شبکه داشته باشد تا بتواند روی هر 8 پروژه‌ی پیشنهادی سرمایه‌گذاری کند. آنگاه GENCO با یک مسئله‌ی بهینه‌سازی در میان 255 حالت ممکن، روبروست. اینکه چه ترکیبی از این 8 پروژه‌ی تجاری، پس از 10 سال برای او بیشترین سود را دارد.

فرض دوم اینکه بهره‌بردار تنها اجازه‌ی ساخت تجهیز انتقال متصل به باس آن GENCO را به او بدهد. نتیجه‌ی فرض اول یعنی ترکیب بهینه‌ی پروژه‌ها جهت حداکثر سود کل، و نیز نتیجه‌ی فرض دوم، در جدول 2 آمده است.

توضیح اینکه بنا بر تجربیات بخش صنعت، هنگامی که همه‌ی فاکتورهای اقتصادی از قبیل تورم، نزول ارزش پول، مالیات، و مخارج تعمیرات و بهره‌برداری در نظر گرفته شود، درآمد سالانه‌ی مورد نیاز (RR) برابر 16% از کل هزینه‌ی سرمایه‌گذاری در نظر گرفته می‌شود [۱۲].



شکل 1: شبکه 24 باسه استاندارد IEEE

جدول 2: نتایج سناریوی دوم؛ جبران با نرخ مصوب انتقال

پروژه یا پروژه‌های انتقال احداث شده	ارزش فعلی سود در افق ده ساله (\$)	
7-8, 6-8, 6-10	51142798	فرض اول
7-8	50446307	فرض دوم

همانطور که در جدول 2 مشاهده می‌شود، این GENCO سرمایه‌گذاری در خطوط یا خط تعیین شده، علی‌رغم اینکه توسط درآمد حاصل از نرخ مصوب (جدول 3) قادر به جبران کامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری نیست، اما ارزش فعلی سود ده ساله‌اش در این حالات، در مقایسه با حالتی که خط یا خطوط تجاری احداث نمی‌شوند، بسیار بیشتر است. جدول 3 نشان می‌دهد که قسمت اعظم این سود، حاصل از تولید می‌باشد.

شکل 2 نیز نشان می‌دهد که در حالت‌هایی که پروژه‌های خطوط 7-8، 6-8 و 6-10 به طریقی حضور دارند، موجب افزایش

درآمدهای حاصل از مکانیزم‌های جبران هزینه و مشوق مالی، در افق برنامه‌ریزی بلند مدت، می‌تواند برای GENCO مناسب و کافی باشد. همچنین نتایج حاکی از آن بود که اگر سرمایه‌گذار سودی از تولید عایدش نشود، با احتمال مناسبی مکانیزم نرخ مصوب انتقال در کنار تخصیص حقوق مالی انتقال به سرمایه‌گذار می‌تواند برای جبران هزینه‌های سرمایه‌گذاری او کافی باشد.

مراجع

- [1] گوران استریک، دنیل اس. کرشن، " مبانی اقتصاد سیستم قدرت"، ترجمه‌ی کارشناسان دبیرخانه‌ی هیأت تنظیم بازار برق ایران، چاپ 1386.
- [2] W. Hogan, "Financial Transmission Rights Formulations", *mimeo, Center for Business and Government, JFK School of Government, Harvard University, 2002.*
- [3] J. B. Bushnell and S. E. Stoft, "Improving Private Incentives for Electric Grid Investment," *Res. Energy Econ., vol. 19, no. 1-2, pp. 85-108, Mar. 1997.*
- [4] [Online]. Available: www.ferc.gov
- [5] P. Joskow, "Merchant Transmission Investment," *Journal of Industrial Economics, vol. 53, no. 2, pp. 233-264. Jun. 2005.*
- [6] J. B. Bushnell, S. S. Stoft, "Electric Grid Investment Under a Contract Network Regime," *Journal of Regulatory Economics, vol. 10, no. 1, pp. 61-79. July. 1996.*
- [7] I. J. Perez-Arriaga, F.J. Rubio, J.F. Puerta, J. Arceluz, and J. Marin, "Marginal Pricing of Transmission Services: an Analysis of Cost Recovery," *IEEE Trans. on Power Syst., vol. 15, no. 1, pp. 546-553, Feb. 1995.*
- [8] P. R. Gribik, D. Shirmohammadi, J. S. Graves, and J. G. Kritikson, "Transmission Rights and Transmission Expansions," *IEEE Trans. Power Syst., vol. 20, no. 4, pp. 1728-1737, Nov. 2005.*
- [9] T. Kristiansen, "Allocation of Long-Term Financial Transmission Rights For Transmission Expansion", *European Journal of Operational Research Volume 184, Issue 3, 1 February 2008, Pages 1122-1139.*
- [10] K. W. Hedman, F. Gao, G.B. Sheblé, "Overview of Transmission Expansion Planning Using Real Options Analysis," *presented at the Proceedings of the 37th Annual North American Power Symposium 2005, pp. 497-502.*
- [11] V. Sarkar, S. A. Khaparde, "A Comprehensive Assessment of the Evolution of Financial Transmission Rights", *IEEE Trans. Power Syst, Vol. 23, No. 4, November 2008*
- [12] H. Salazar, C. C. Liu, R. F. Chu, "Decision Analysis of Merchant Transmission Investment by Perpetual Options Theory", *IEEE Trans. Power Syst., Vol. 22, No. 3, August 2007.*
- [13] H. Salazar, C. C. Liu, R. F. Chu, "Market-Based Rate Design for Recovering Merchant Transmission Investment", *IEEE Trans. Power Syst., Vol. 25, No. 1, February 2010.*
- [14] E. Sauma, S. Oren, "Do Generation firms in Restructured Electricity Markets Have Incentives to Support Social-Welfare-Improving Transmission Investments?" *2009 Elsevier Energy Economics 31 676-689.*
- [15] Reliability Test System Task Force of the Application of Probability Methods subcommittee, IEEE Reliability Test System, "IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-98, no. 6, pp. 2047-2054, Nov./Dec. 1979.
- [16] P. Maghouli, S. H. Hosseini, M. Oloomi Buygi, M. Shahidehpour, "A Multi-Objective Framework for Transmission Expansion Planning in Deregulated Environments" *IEEE Trans. Power Syst., Vol. 24, No. 2, May 2009.*

سناریوی چهارم: در این سناریو، همه‌ی شرایط فوق حفظ شده، با این تفاوت که به سرمایه‌گذار، حقوق مالی به همراه نرخ مصوب اختصاص می‌یابد. با توجه به جدول 5، نتایج بدست آمده از بهینه‌سازی حاکی از تفاوت حالتی است که در آن سود کل ماکزیمم می‌شود. نسبت به سناریوی دوم، خط 3-9 و خط 3-24 ترانس اضافه شد. همچنین مشاهده‌ی نتایج جدول 6 به طور شفاف نشان می‌دهد که ترکیب حقوق مالی و نرخ مصوب انتقال در کنار هم، می‌تواند به طور کامل هزینه‌ی سرمایه‌گذاری را در افق ده ساله جبران کند. از این موضوع می‌توان به این نتیجه رسید که در صورتی که سرمایه‌گذار سودی از تولید عایدش نشود، به احتمال زیاد تنها این مکانیزم جبران هزینه می‌تواند برای او انگیزه‌ی کافی برای سرمایه‌گذاری را فراهم کند.

جدول 5: نتایج سناریوی چهارم؛ جبران با نرخ مصوب انتقال و IFTR

ارزش فعلی سود در افق ده ساله	پروژه یا پروژه‌های انتقال احداث شده	فرض اول	فرض دوم
54176677	7-8, 6-8, 6-10, 3-9, 3-24		
50557721	7-8		

جدول 6: اجزای تشکیل دهنده‌ی سود مجموع سناریوی چهارم

سود حاصل از تولید (\$)	فرض اول	فرض دوم
50108424		50520116
11263252 (\$)		597604
هزینه‌ی سرمایه‌گذاری	7195000	560000

5- نتیجه‌گیری

توسعه‌ی شبکه‌ی انتقال یکی از اساسی‌ترین مباحث برنامه‌ریزی سیستم قدرت می‌باشد که اجرای آن نیاز به سرمایه و در نتیجه نیاز به سرمایه‌گذار دارد. در سیستم‌های تجدید ساختار یافته، در کنار سرمایه‌گذاری مبتنی بر انگیزه‌های نظارتی (تنظیمی)، سرمایه‌گذاری بر اساس انگیزه‌های تجاری و اقتصادی می‌تواند وجود داشته باشد، که این نوع سرمایه‌گذاری می‌تواند توسط بخش خصوصی یا یکی از نیروهای ذینفع شبکه و بازار صورت پذیرد. در این مقاله سعی شد تا انگیزه‌های یکی از بازیگران قدرتمند شبکه، یعنی GENCO برای سرمایه‌گذاری در توسعه‌ی شبکه‌ی انتقال مورد بررسی قرار گیرد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها - بدون در نظر گرفتن ماهیت غیر قطعی پارامترهای ورودی - و بهینه‌سازی‌ها نشان داد که سود حاصل از تولید در توپولوژی جدید شبکه پس از توسعه‌ی برآمده از سرمایه‌گذاری تجاری، در کنار هزینه‌های سرمایه‌گذاری و