پژوهشگاه نیرو

گزارش خلاصه نتایج راهبردی پروژه‌ی:

مطالعات امکان‌سنجی استفاده از کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا برای ایران در افق ۱۴۱۰

پژوهشگاه نیرو

مرکز توسعه فناوری سامانه‌های انتقال توان با ظرفیت بالا

مرداد ۱۳۹۶

پیشگفتار

آنچه که بطور اعم از مفهوم انتقال توان با ظرفیت بالا برداشت می‌شود، کریدورهای انتقال توان[1] در ظرفیت‌های گیگاواتی است که به عنوان شاهراه‌های تبادل توان در داخل کشور و همچنین بین کشورها عمل می‌کنند. تفاوت عمده‌ی این کریدورها با خطوط عادی انتقال توان، در نوع فناوری مورد نیاز برای پیاده‌سازی این کریدورهاست. فناوری انتقال توان با ظرفیت بالا را می‌توان به دو دسته‌ی خطوط با سطح ولتاژ فوق‌فشارقوی جریان متناوب UHVAC[2] و خطوط با سطح ولتاژ قوی جریان مستقیم (EHVDC[3] و UHVDC[4]) تقسیم نمود. این فناوری‌ها به‌طور گسترده در کشورهای مختلف دنیا از قبیل آمریکا، چین، هندوستان، برزیل، آفریقای جنوبی و اغلب کشورهای اروپایی به کار گرفته شده‌اند. از سوی دیگر اکثر کشورهای توسعه یافته، نقشه راه توسعه‌ی شبکه‌ی انتقال خود را بر اساس استفاده از این فناوری‌ها تدوین می‌نمایند.

فناوری‌های انتقال توان با ظرفیت بالا[5] در کشور ایران تاکنون مورد استفاده قرار نگرفته‌اند، لیکن کشور ایران ویژگی‌هایی نظیر "وسعت بالا"، "مصرف انرژی الکتریکی بالا و متمرکز در شهرهای بزرگ"، "وجود مزیت‌های نسبی تولید برق با حامل‌های اولیه در حجم انبوه" و "موقعیت راهبردی ممتاز در منطقه جهت ایفای نقش ترانزیت توان الکتریکی" دارد که می‌تواند استفاده از فناوری‌های انتقال توان با ظرفیت بالا را برای توسعه‌ی آینده‌ی شبکه به عنوان یکی از گزینه‌های جدی، مطرح نماید.

با توجه به این‌که پیش‌نیاز بهره‌گیری از فناوری‌های انتقال توان با ظرفیت بالا انجام مطالعات امکان‌سنجی استفاده از این فناوری‌ها و بررسی چالش‌های توسعه‌ی این فناوری‌ها در بخش‌های طراحی، پیاده‌سازی، اجرا و بهره‌برداری است، لازم است کشور ما نیز با بهره‌گیری از تجربیات و دانش فنی بدست آمده در این زمینه، مسیر را برای بکارگیری این فناوری در آینده هموار نماید. بهترین طریقه‌ی جریان‌سازی و توسعه‌ی بکارگیری از این فناوری‌ها، استفاده‌ی آزمایشی و به شکل پایلوت در مقیاس کوچک پیش از استفاده جدی و تاثیرگذار در شبکه است تا در کنار برنامه‌ریزی‌های پایه‌ای برای استفاده از کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا، به تدریج این فناوری وارد عرصه صنعت برق شده و با شناسایی و رفع چالش‌های آن در هر دو عرصه‌ی طراحی و بهره‌برداری شبکه، تجربه لازم در صنعت برق برای بکارگیری این فناوری ایجاد گردد.

مرکز توسعه فناوری سامانه‌های انتقال توان با ظرفیت بالا با هدف‌گذاری توسعه این فناوری در کشور، دو محور کلی "مطالعات امکان‌سنجی استفاده از کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا در شبکه‌ی برق ایران" و "جریان‌سازی استفاده از فناوری‌های انتقال توان با ظرفیت بالا با اجرای پروژه‌های پایلوت" را مدنظر قرار داده و با برنامه‌ریزی‌های انجام شده برای طرح‌های کلان و پروژه‌های عملیاتی و اجرایی آن، انتظار می‌رود در طی سال‌های آتی دستیابی به اهداف مرکز محقق گردد.

این گزارش، ماحصل مطالعاتی است که در راستای پروژه‌ای راهبردی تحت عنوان "مطالعات امکان‌سنجی استفاده از کریدورهای انتقال توان با ظرفییت بالا در شبکه‌ی برق ایران" صورت گرفته است و روند مطالعات و نتایج راهبردی آن در این گزارش ارائه می‌شود.

۱- مقدمه

بالا رفتن احجام توان‌های انتقالی در اثر رشد روزافزون نیاز مصرف، استفاده بهینه از منابع تولید انرژی الکتریکی و نتیجتاً دور شدن نسبی مراکز تولید از مصرف خصوصاً با ورود انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق، پهناوری کشورها و همچنین ایجاد بازارهای منطقه‌ای برق و لزوم اتصال شبکه‌های برق کشورها توسط اتصالات قوی و نیز انتقال توان‌های بالا، از جمله مهم‌ترین رویکردها به فناوری انتقال توان با ظرفیت بالا است.

در کشور ایران رشد جمعیت، افزایش رفاه اجتماعی و رشد صنایع مختلف انرژی‌بر، تقاضای انرژی الکتریکی را هر ساله افزایش می‌دهد. از طرفی ایران کشوری پهناور و وسیع محسوب می‌شود که انتقال انرژی الکتریکی از منابع تولید به مراکز مصرف، موضوعی مهم و در برخی موارد، چالش‌برانگیز است. خصوصاً با ورود اشکال جدید تولید انرژی الکتریکی نظیر نیروگاه‌های بادی و خورشیدی در مقیاس بالا و امکان تولید حجم بالایی از توان بنا به اقتضائات این دو منبع تولید، استفاده از فناوری‌های فعلی انتقال توان الکتریکی توسط خطوط انتقال AC و در سطوح ولتاژی ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت برای سال‌ها و دهه‌های آینده، ممکن است ناکارآمد باشد. از طرفی یکی از سیاست‌های زیربنایی وزارت نیرو در حال و برای سال‌های آینده، توسعه صادرات برق و تبادل انرژی الکتریکی با کشورهای همسایه و منطقه است. با توجه به لزوم در اختیار داشتن اتصالات محکم برای ایجاد ارتباط با کشورهای هم‌جوار و

---

[1] Electricity Power Corridors
[2] Ultra High Voltage AC
[3] Extra High Voltage DC
[4] Ultra High Voltage DC
[5] Bulk Power Transmission Technology

منطقه از یک سو و همچنین وجود برخی محدودیت‌های اتصال مستقیم شبکه برق ایران به شبکه‌های برق کشورهای همسایه از سوی دیگر، اتصال شبکه برق کشور به شبکه برق این کشورها و با فناوری فعلی انتقال برق با محدودیت‌های زیادی مواجه است. بنابراین لازم است استفاده از فناوری‌های به‌روز سامانه‌های انتقال توان الکتریکی با ظرفیت بالا در بخش توسعه تبادلات انرژی الکتریکی کشور مورد توجه جدی واقع شود.

۲- راهبرد استفاده از فناوری انتقال توان با ظرفیت بالا در توسعه‌ی شبکه برق کشور

با روند توسعه شبکه برق کشورهای مختلف، نیاز به انتقال احجام بالای توان الکتریکی از مراکز تولید به مراکز مصرف، پررنگ شدن مزیت‌های نسبی تولید برق از برخی منابع اولیه انرژی نظیر انرژی‌های تجدیدپذیر و دور شدن مراکز عمده تولید برق از مراکز مصرف و مناطق شهری به دلیل محدودیت‌های زیست‌محیطی، فناوری‌های انتقال توان با ظرفیت بالا در بسیاری از کشورهای پیشرفته دنیا، بسط و نفوذ قابل ملاحظه‌ای یافته است.

هر چند یکی از نمودهای اصلی افزایش ظرفیت انتقال برق، بالا رفتن سطوح ولتاژ انتقال است، لکن در کنار آن استفاده از سایر فناوری‌های انتقال توان در ظرفیت بالا نظیر استفاده از هادی‌های موازی بیشتر در خطوط انتقال (چه به صورت افزایش مدارهای موازی و چه به صورت افزایش هادی‌های گروهی (باندل))، استفاده از هادی‌های پرظرفیت و استفاده از فناوری ظرفیت دینامیک خطوط نیز در استفاده بهینه از کریدور ایجاد شده بسیار جدی شده است.

دیدگاه کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا، یکی از نگرش‌های نوین در توسعه شبکه برق کشور و ایجاد زیرساخت‌های مستحکم برای آن در طی دهه‌های بعدی می‌باشد. این دیدگاه از چند سال پیش در طرح‌های توسعه شبکه در شرکت توانیر موجود بوده لکن تاکنون بطور جدی در مورد آن مطالعه و برنامه‌ریزی نشده است.

در این پروژه طرح توسعه بلندمدت شبکه‌ی برق کشورهای صاحب‌نام در زمینه بکارگیری این فناوری نظیر آمریکا [۱ و ۲]، برزیل [۳-۵]، چین [۶-۸]، هندوستان [۹-۱۲]، روسیه [۱۳]، اوکراین [۱۴-۱۶]، اروپا [۱۷]، آرژانتین [۱۸] و کانادا [۱۹-۲۱] مطالعه گردیدند. می‌توان گفت در تمامی این کشورها، پیاده‌سازی زیرساخت اصلی شبکه انتقال در آینده با استفاده از کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا بوده است. در ادامه به عنوان مثال برنامه بلندمدت هندوستان برای توسعه‌ی بلندمدت زیرساخت شبکه انتقال بیان می‌گردد.

کشور هندوستان مشابه ایران دارای افزایش چشمگیر در تقاضای انرژی الکتریکی است. برای پاسخگویی به این نیاز مصرف، توسعه واحدهای بزرگ تولید برق حرارتی و آبی در مناطق شمالی، شرقی و شمال‌شرقی این کشور پیش‌بینی شده است. همچنین با توجه به وسعت و گستردگی این کشور، نیاز به فناوری انتقال توان با ظرفیت بالا و مسافت طولانی در این کشور کاملاً احساس شده است. هم‌اکنون در این کشور، خطوط انتقال AC در سطح ۸۰۰ کیلوولت و DC در سطح ۸۰۰± کیلوولت در دست بهره‌برداری است. همچنین راه‌اندازی خط انتقال با ولتاژ ۱۲۰۰ کیلوولت در دست اقدام است [۹-۱۲].

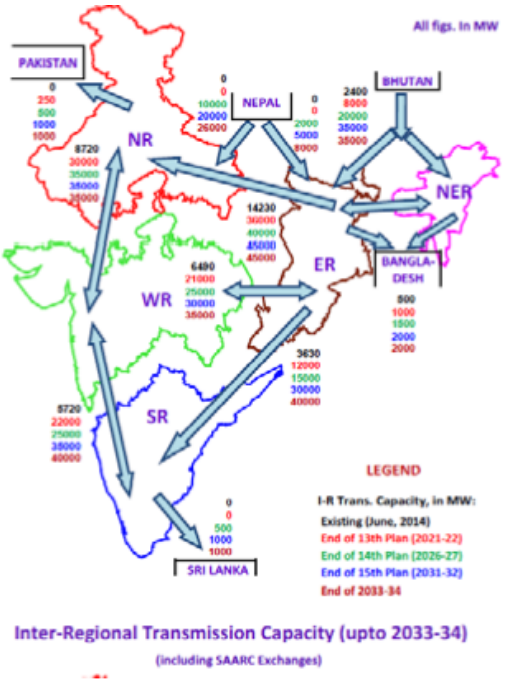
شکل ۲-۱ برنامه‌ریزی توسعه شبکه‌ی انتقال برق در کشور هندوستان را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل مشخص است، کشور هندوستان ساختار اصلی شبکه‌ی خود را بر اساس استفاده از فناوری‌های انتقال توان با ظرفیت بالا نگاشته است و برنامه‌ی جامعی برای توسعه‌ی این فناوری‌ها در شبکه برای دهه‌های آینده تدوین نموده است [۹].

ایران نیز باید در کنار برنامه‌های توسعه میان‌مدت خود در افق‌های پنج‌ساله و ده ساله، برنامه‌های بلندمدت دیگری را در افق‌های یک یا دو دهه آتی پیش‌بینی کند تا توسط آن بتواند زیرساخت‌های مناسب برای انتقال توان از مبادی تولید به مقاصد مصرف را اجرایی نماید. لازمه پیاده‌سازی زیرساخت‌های انتقال توان با ظرفیت بالا، بکارگیری فناوری‌های مربوطه است که با برنامه‌ریزی‌های مناسب می‌تواند زیرساخت مستحکمی را برای شبکه برق کشور طی سال‌های آتی فراهم آورد.

۳- رویکرد تعیین مسیر و نوع فناوری کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا

در این پروژه با مطالعه و الگوبرداری از راهبرد پیاده‌سازی شده در کشورهای پیشرفته نظیر آمریکا، چین، هند، برزیل و آرژانتین در زمینه‌ی استفاده از فناوری انتقال توان با ظرفیت بالا در توسعه‌ی شبکه‌ی برق، رویکرد تعیین مسیر و نوع فناوری کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا در ایران به‌صورت مراحل زیر تدوین گردید:

۱. در ابتدا نیاز مصرف برق و ظرفیت نیروگاهی به تفکیک مناطق جغرافیایی تا سال افقِ مطالعه پیش‌بینی گردید.
۲. در ادامه مراکز مازاد تولید و مصرف برق تا سال افقِ مطالعه شناسایی گردیدند.
۳. با شناسایی مراکز مازاد تولید و مصرف برق، سناریوهای پیشنهادی برای مسیر و ظرفیت کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا در ایران در سال افقِ مطالعه ارائه گردید.



شکل (۲-۱): برنامه‌ریزی بلندمدت کشور هند برای توسعه کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا [۹]

۴. در انتها با لحاظ کردن ملاحظات فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی، نوع فناوری هر یک از کریدورهای انتقال توان و مشخصات فنی آن‌ها (از قبیل ولتاژ و ظرفیت و نیز تعداد مدارهای خط انتقال) تعیین گردید.

با توجه به این‌که مطالعات برنامه‌ریزی توسعه‌ی کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا به‌طور معمول در بازه‌ی مطالعاتی بلند مدتِ ۱۰ تا ۱۵ سال صورت می‌گیرد، سال افقِ مطالعه در این پروژه، ۱۴۱۰ فرض گردید.

۴- برآورد نیاز مصرف و ظرفیت تولید برق در ایران ۱۴۱۰

کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا به‌طور معمول به‌منظور انتقال برق از مراکز مازاد تولید به مراکز عمده مصرف به‌کار می‌روند. شناسایی مراکز مازاد تولید و مراکز عمده مصرف برق نیازمند پیش‌بینی نیاز مصرف و ظرفیت تولید برق در نواحی جغرافیایی مختلف، به‌صورت تفکیک‌شده می‌باشد. به‌طور معمول برای برنامه‌ریزی‌های بلندمدت در صنعت برق، مقدار پیک سالانه‌ی مصرف برق به‌عنوان شاخص مصرف و ظرفیت تولید سالانه به‌عنوان شاخص تولید مدنظر قرار می‌گیرد.

در کشور ایران به منظور تفکیک مناطق و مدیریت بهتر ساختار برق در کشور، شبکه‌ی سراسری کشور تحت پوشش شانزده شرکت برق منطقه‌ای می‌باشد. این تقسیم‌بندی بر اساس مقدار توان تولیدی و مصرفی و ساختار شبکه در هر قسمت انجام شده است. در این پروژه تفکیک نواحی جغرافیایی ایران نیز منطبق بر مناطق تحت پوشش شرکت‌های برق منطقه‌ای است و پیش‌بینی نیاز مصرف و ظرفیت تولید برای این مناطق به‌صورت تفکیک‌شده صورت می‌گیرد.

۴-۱- پیش‌بینی نیاز مصرف برق مناطق ۱۶گانه‌ی برق منطقه‌ای تا افق ۱۴۱۰

در این پروژه برای پیش‌بینی نیاز مصرف برق سالانه‌ی مناطق ۱۶گانه (پیک سالانه‌ی مصرف برق)، مراحل زیر پیاده‌سازی شد:

۱. در گام اول پیش‌بینی مصرف انرژی برق به تفکیک شرکت‌های برق منطقه‌ای تا افق ۱۴۱۰ با استفاده از مدل لین[۶] صورت گرفت؛
۲. در گام بعد با اضافه کردن مقدار پیش‌بینی شده‌ی سهم تلفات، نیاز تولید انرژی الکتریکی محاسبه گردید.
۳. در انتها با لحاظ کردن مقادیر پیش‌بینی شده‌ی ضریب بار، مقدار نیاز توان مصرفی برق (پیک سالانه‌ی مصرف برق) مناطق تحت پوشش هر یک از شرکت‌های برق منطقه‌ای تا افق ۱۴۱۰ محاسبه گردید.

همان‌گونه که ذکر شد، برای پیش‌بینی مصرف انرژی برق مناطق ۱۶گانه، در این پروژه از مدل لین استفاده گردید. کارایی این مدل در پیش بینی تقاضا در مراجع مختلف مورد تائید قرار گرفته است.

در این مدل فرض می‌گردد انرژی برق مصرفی سالانه‌ی هر منطقه متناسب با جمعیت و تولید ناخالص ملی (GDP) آن منطقه باشد. بنابراین برای پیش‌بینی مصرف انرژی مناطق ۱۶گانه، در ابتدا می‌بایست جمعیت و GDP این مناطق پیش‌بینی گردد.

در این پروژه برای پیش‌بینی جمعیت مناطق ۱۶گانه از اطلاعات مرکز ایران استفاده گردید. در این مرکز چهار سناریو در ارتباط با نحوه‌ی تغییرات جمعیتی در کشور (کاهش باروری، تثبیت باروری، افزایش تا سطح جانشینی، افزایش بالاتر از سطح جانشینی) مفروض و جمعیت تا سال ۱۴۲۰ پیش‌بینی گردیده است.

برای پیش‌بینی GDP مناطق ۱۶گانه از اطلاعات گزارش‌های مستخرج از پروژه‌های انجام شده در گروه انرژی و مدیریت مصرف پژوهشگاه نیرو استفاده گردید. در گزارش مورد استناد، سه سناریو در ارتباط با چگونگی رشد تولید ناخالص ملی (مرجع، خوش‌بینانه و بدبینانه) مفروض و GPD استان‌های ایران تا افق ۱۴۲۰ پیش‌بینی شده است.

---

[6] Lean Model

با توجه به وجود ۴ سناریو برای پیش‌بینی جمعیت و ۳ سناریو برای پیش‌بینی GPD، در این پروژه ۱۲ سناریو برای پیش‌بینی نیاز مصرف برق مناطق ۱۶گانه درنظر گرفته شده است.

۴-۲- پیش‌بینی ظرفیت تولید برق به تفکیک مناطق ۱۶گانه‌ی برق منطقه‌ای تا افق ۱۴۱۰

برای پیش‌بینی ظرفیت تولید برق تا افق ۱۴۱۰، نیاز است این ظرفیت به اجزای آن به‌صورت تفکیک گردد:

۱. ظرفیت تولید برق فعلی
۲. کاهش ظرفیت نیروگاه‌های فعلی به‌علت بازنشستگی تا افق ۱۴۱۰
۳. ظرفیت برنامه‌ریزی شده نیروگاهی ایران تا سال ۱۳۹۸ (تنها برنامه مصوب در این زمینه)
۴. ظرفیت‌های پیش‌بینی شده در زمینه‌ی تجدیدپذیر، تولیدپراکنده، تولید همزمان برق و حرارت، تولید برق از منابع داخلی زغال‌سنگ و اورانیوم
۵. ظرفیت‌های منتج از ارتباطات الکتریکی با کشورهای همسایه
۶. ظرفیت نیروگاه‌های حرارتی مورد نیاز برای پوشش پیک مصرف

اجزای ۱، ۲ و ۳ با توجه به اطلاعات موجود قابل محاسبه هستند؛ برای پیش‌بینی اجزای ۴ و ۵، در این پروژه از اطلاعات موجود در گزارش تهیه شده در پژوهشکده تولید پژوهشگاه نیرو استفاده گردید. برای پیش‌بینی جزء ششم ظرفیت تولید برق، یعنی "ظرفیت نیروگاه‌های حرارتی مورد نیاز برای پوشش پیک مصرف" در این پروژه از رویکرد زیر استفاده گردید:

۱. در ابتدا نیاز ظرفیت تولید برق کشور تا افق ۱۴۱۰ با استفاده از نیاز مصرف تولید برق پیش‌بینی شده در قسمت ۴-۱، پیش‌بینی گردید (با این فرض که ظرفیت تولید برق کشور می‌بایست ۱۰٪ بالاتر از نیاز مصرف برق در هر سال باشد).
۲. در گام بعد مجموع ظرفیت اجزای ۱ تا ۵ محاسبه گردید.
۳. در انتها با کاستن مجموع ظرفیت اجزای ۱ تا ۵ از نیاز ظرفیت تولید برق کشور، ظرفیت نیروگاه‌های حرارتی مورد نیاز تا افق ۱۴۱۰ پیش‌بینی گردید.

باید توجه نمود که این ظرفیت پیش‌بینی شده برای کل کشور ایران است و ظرفیت هر برق منطقه‌ای می‌بایست تفکیک گردد. برای تخصیص "ظرفیت نیروگاه‌های حرارتی مورد نیاز برای پوشش پیک مصرف" در مناطق ۱۶ گانه، سه سناریو مفروض گردید:

۱. سناریوی کفایت هر برق منطقه‌ای در تامین برق خود (تقسیم ظرفیت مورد نیاز مابین شرکت‌های برق منطقه‌ای به نسبت ظرفیت نیروگاهی موجود در این شرکت‌ها تا پایان سال ۱۳۹۴)
۲. سناریوی ارجحیت تولید برق در نزدیکی میادین گاز (تخصیص ۲۰٪ از "ظرفیت نیروگاه‌های حرارتی مورد نیاز برای پوشش پیک مصرف" به سه شرکت برق منطقه‌ای خوزستان، فارس و هرمزگان به نسبت میزان گاز قابل برداشت از میادین گازی موجود در مناطق تحت پوشش این شرکت‌ها و تقسیم ۸۰٪ باقیمانده مابین سایر شرکت‌های برق منطقه‌ای به نسبت ظرفیت نیروگاهی موجود در این شرکت‌ها تا پایان سال ۱۳۹۴)
۳. سناریوی اولویت تولید برق در نزدیکی میادین گاز و مناطق ساحلی به‌منظور سهولت در تامین آب مصرفی نیروگاه حرارتی (تخصیص ۳۰٪ از "ظرفیت نیروگاه‌های حرارتی مورد نیاز برای پوشش پیک مصرف" به سه شرکت برق منطقه‌ای خوزستان، فارس و هرمزگان به نسبت میزان گاز قابل برداشت از میادین گازی موجود در مناطق تحت پوشش این شرکت‌ها، اختصاص ۱۰٪ از ظرفیت مورد نیاز به دو شرکت برق منطقه‌ای مازندران و گیلان به نسبت ظرفیت نیروگاهی موجود در این شرکت‌ها تا پایان سال ۱۳۹۴و تقسیم ۶۰٪ باقیمانده مابین سایر شرکت‌های برق منطقه‌ای به نسبت ظرفیت نیروگاهی موجود در این شرکت‌ها تا پایان سال ۱۳۹۴)

۴-۳- پیش‌بینی موازنه‌ی تولید و مصرف برق در مناطق ۱۶گانه‌ی برق منطقه‌ای تا افق ۱۴۱۰

با توجه به وجود ۱۲ سناریو برای پیش‌بینی نیاز مصرف برق و ۳ سناریو برای پیش‌بینی ظرفیت تولید برق در مناطق ۱۶گانه‌ی برق منطقه‌ای، در کل ۳۶ سناریو برای پیش‌بینی موازنه‌ی تولید و مصرف برق در مناطق ۱۶گانه‌ی برق منطقه‌ای تا افق ۱۴۱۰ حاصل گردید که از تفاضل ظرفیت تولید برق و نیاز مصرف برق قابل محاسبه است.

۵- شناسایی مراکز مازاد تولید و مازاد مصرف برق در ایران ۱۴۱۰

همان‌گونه که قبلا بیان گردید، کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا به‌طور معمول به‌منظور انتقال انرژی الکتریکی از مراکز مازاد تولید به مراکز عمده مصرف به‌کار می‌روند. بنابراین برای تعیین مسیر و ظرفیت کریدورها لازم است مراکز مازاد تولید و مراکز عمده مصرف برق در ایران ۱۴۱۰ شناسایی گردند.

الگوریتمی که در این پروژه برای شناسایی مراکز مازاد تولید به‌کار گرفته شد، به این صورت است که در هر مرحله به ترتیب تمامی دو برق منطقه‌ای همسایه با یکدیگر ترکیب می‌شوند.

حالتی که در آن موازنه‌ی توان دو برق منطقه‌ای ترکیب شده، اختلاف بیش‌تری با سایر موارد داشته باشد به عنوان حالت مطلوب در تعیین قطب مازاد تولید شناسایی می‌گردد و در این حالت، این دو برق منطقه‌ای با هم ترکیب شده و منطقه‌ی جدیدی به‌وجود می‌آورند و در مراحل بعدی قابل ترکیب با برق‌های منطقه‌ای جدید می‌شوند. ترکیب برق‌های منطقه‌ای تا حدی ادامه می‌یابد که مناطق مجزا از یکدیگر تشکیل شوند. شناسایی مراکز عمده مصرف نیز الگوریتمی مشابه با این الگوریتم دارد، با این تفاوت که در ترکیب برق‌های منطقه‌ای همجوار، کم‌ترین میزان موازنه‌ی توان مدنظر قرار می‌گیرد.

مشخص گردید مراکز مازاد تولید و مازاد مصرف به‌دست آمده در سناریوهای ۳۶گانه یکسان نیستند؛ بنابراین به‌منظور دستیابی به مراکز مازاد تولید و مصرفی که بتواند به‌طور یکپارچه نماینده‌ی تمامی سناریوها باشد، مراکز مازاد تولید و مصرفی انتخاب گردید که دارای بیش‌ترین فراوانی در سناریوهای ۳۶گانه باشند.

با شناسایی مراکز مازاد تولید و مصرف، با توجه به این‌که تحلیل ۳۶ سناریو سبب تولید حجم انبوه اطلاعاتی می‌گردد که تحلیل آن جواب دقیقی به دست نمی‌دهد، لازم است در این مرحله تعداد سناریوها کاهش یابد. برای این کار بدترین سناریوی ممکن از دید شبکه (که در آن مقدار اختلاف موزانه‌ی توان بزرگترین قطب مازاد تولید و بزرگ‌ترین قطب مازاد مصرف بیش‌ترین مقدار را دارد و لذا نیاز به ایجاد بیش‌ترین ظرفیت انتقالی است) به عنوان سناریوی بدبینانه، به‌ترین سناریوی ممکن از دید شبکه (که در آن مقدار اختلاف موزانه‌ی توان بزرگ‌ترین قطب مازاد تولید و بزرگ‌ترین قطب مازاد مصرف کم‌ترین مقدار را دارد و لذا نیاز به ایجاد کم‌ترین ظرفیت انتقالی است) به عنوان سناریوی خوش‌بینانه و میانگین سناریوهای ۳۶گانه به عنوان سناریو محتمل مدنظر قرار گرفت و در ادامه تحلیل‌های شبکه صرفاً بر اساس این سه سناریو صورت گرفت. واضح است که این سه سناریو، کلیه‌ی حالت‌های سناریوهای ۳۶گانه را پوشش خواهند داد.

شکل‌های ۵-۱ و ۵-۲ به‌ترتیب مراکز مازاد تولید و مازاد مصرف و موازنه‌ی توان این مراکز را برای سناریوی محتمل، شکل‌های ۵-۳ و ۵-۴ به‌ترتیب مراکز مازاد تولید و مازاد مصرف و موازنه‌ی توان این مراکز را برای سناریوی خوش‌بینانه و شکل‌های ۵-۵ و ۵-۶ به‌ترتیب مراکز مازاد تولید و مازاد مصرف و موازنه‌ی توان این مراکز را برای سناریوی بدبینانه نشان می‌دهد.

۶- شناسایی مسیر و ظرفیت کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا در ایران ۱۴۱۰

با توجه به شناسایی مراکز مازاد تولید و مصرف در فصل قبل، می‌توان زیرساخت اصلی[7] شبکه را تعیین نمود.

این زیرساخت اصلی تمامی راه‌های ارتباطی را که می‌تواند مابین مراکز مازاد تولید و مصرف باشد، مشخص می‌کند. تمامی این مسیرها لزوماً مسیر کریدورها برای افق ۱۴۱۰ نخواهد بود، ولی مسیر کریدورهای پیشنهاد شده برای سال ۱۴۱۰ از بین آنها انتخاب می‌شود. در حقیقت این زیرساخت اصلی می‌تواند نقشه راهی برای توسعه آینده شبکه برق ایران حتی در افق‌های بیش‌تر از سال ۱۴۱۰ باشد. شکل ۶-۱ نمای این زیرساخت اصلی را نشان می‌دهد.

همان‌گونه که در بخش قبل ذکر شد، انتخاب‌های متعددی برای مسیر کریدور انتقال توان با ظرفیت بالا در کشور وجود خواهند داشت. لکن واضح است که برای انتقال توان در افق ۱۴۱۰، نیازی به تمامی این مسیرها نخواهد بود. بر این اساس باید روندی برای انتخاب بهینه مسیرها مدنظر قرار گیرد. برای این منظور، شاخص کم‌ترین هزینه‌ی پیاده‌سازی کریدورها منظور گردید، با این شرط که بار همه‌ی مراکز مازاد مصرف با استفاده از کریدورهای به دست آمده پوشش داده شوند. با توجه به این‌که به‌طور تقریبی هزینه‌ی احداث هر کریدور انتقال متناسب با حاصل‌ضرب طول در ظرفیت آن است، می‌توان مجموع حاصلضرب طول در ظرفیت کریدورها را مطابق رابطه‌ی ۶-۱ به‌عنوان شاخص انتخاب کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا در نظر گرفت.

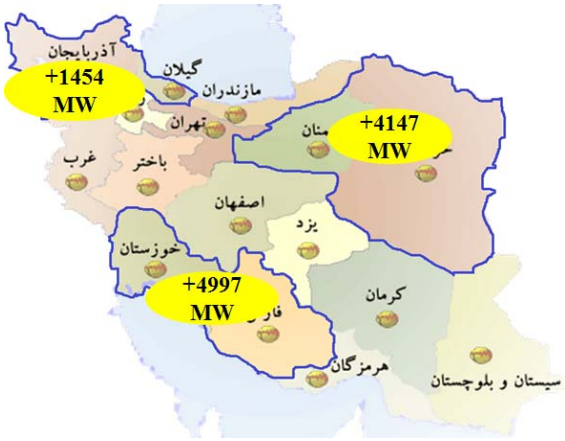
$$\text{Evaluation Index} = \sum_{j=1}^{3}\sum_{i=1}^{n} L_i \cdot P_i \qquad (۱-۶)$$

در رابطه‌ی فوق L طول کریدور، P ظرفیت کریدور، n تعداد کل کریدورها، i شمارنده‌ی کریدور و j نشان دهنده‌ی شماره‌ی سناریو (۱-محتمل، ۲-خوش‌بینانه و ۳-بدبینانه) است.

بنابراین در هر سناریو، کلیه‌ی حالات ممکن کریدورها که قید پوشش بار همه‌ی مراکز مازاد مصرف را رعایت می‌نمودند شبیه‌سازی شده و شاخص فوق برای آن‌ها محاسبه گردید. حالتی که پایین‌ترین مقدار شاخص را داشته باشد به‌عنوان کریدورهای پیشنهادی انتخاب می‌گردد.

با انجام بهینه‌سازی فوق، مسیر کریدورهای پیشنهادی مشخص شده و طول کریدور و ظرفیت آن برای سناریوهای محتمل، خوش‌بینانه و بدبینانه تعیین گردید که به‌ترتیب در شکل‌های ۶-۲، ۶-۳ و ۶-۴ نمایش داده شده‌اند.

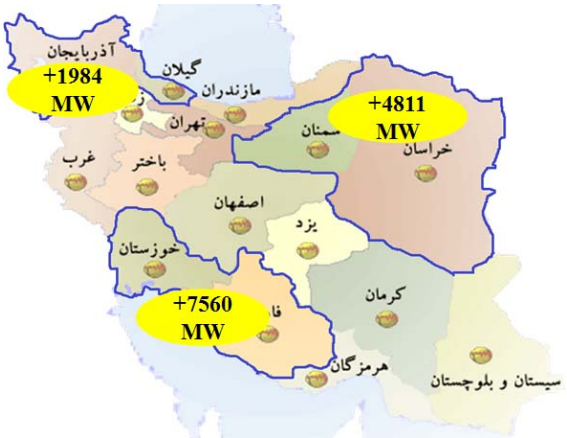
[7] Backbone



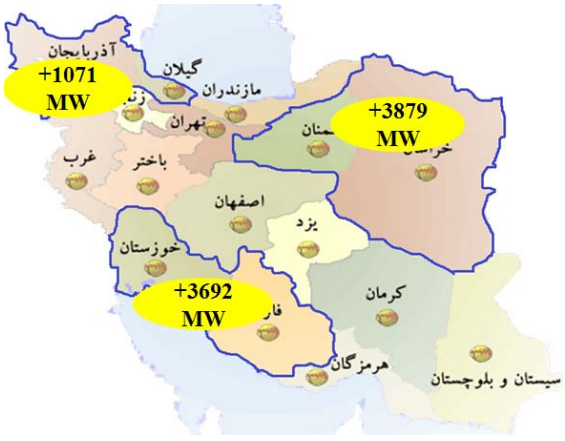
شکل (۵-۱): مراکز مازاد تولید در سناریوی محتمل

شکل (۵-۴): مراکز مازاد مصرف در سناریوی خوش‌بینانه

شکل (۵-۲): مراکز مازاد مصرف در سناریوی محتمل



شکل (۵-۵): مراکز مازاد تولید در سناریوی بدبینانه



شکل (۵-۳): مراکز مازاد تولید در سناریوی خوش‌بینانه

شکل (۵-۶): مراکز مازاد تولید در سناریوی بدبینانه

شکل (۶-۱): زیرساخت اصلی شبکه به عنوان نقشه راه توسعه خطوط انتقالی برای افق‌های بالاتر از ۱۴۱۰

شکل (۶-۲): کریدورهای انتقال توان ایران ۱۴۱۰ در سناریوی محتمل

شکل (۶-۳): کریدورهای انتقال توان ایران ۱۴۱۰ در سناریوی خوش‌بینانه

شکل (۶-۴): کریدورهای انتقال توان ایران ۱۴۱۰ در سناریوی بدبینانه

۷- تعیین نوع فناوری و مشخصات فنی کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا در ایران ۱۴۱۰

در قدم بعد و با تعیین مسیر و ظرفیت کریدورهای انتقال توان در ایران ۱۴۱۰، نوع فناوری پیاده‌سازی کریدورها و مشخصات فنی این کریدورها باید تعیین گردد. فناوری‌هایی که برای پیاده‌سازی کریدورهای انتقال توان در این پروژه مدنظر قرار گرفت عبارت است از:

۱. فناوری انتقال توان AC با ولتاژ ۴۰۰ کیلوولت؛
۲. فناوری انتقال توان AC با ولتاژ ۷۶۵ کیلوولت؛
۳. فناوری HVDC با سطح ولتاژ ۵۰۰ کیلوولت؛
۴. فناوری HVDC با سطح ولتاژ ۸۰۰ کیلوولت؛

در این پروژه برای تعیین نوع فناوری ملاحظات فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی مدنظر قرار گرفت. در ملاحظات فنی، پایداری زاویه‌ای و پایداری ولتاژ سیستم با انواع فناوری‌ها برای هر یک از کریدورها شبیه‌سازی شده و تعداد مدارهای لازم برای پیاده‌سازی هر فناوری تعیین گردید. در ادامه مطالعات قابلیت اطمینان برای هر یک از کریدورها صورت گرفت و شاخص انرژی تامین نشده‌ی مورد انتظار[8] برای هر کریدور و هر نوع فناوری محاسبه شد.

در ملاحظات زیست‌محیطی، شاخص حریم مورد نیاز برای کریدورها مدنظر قرار گرفت و برای هر یک از کریدورها و هر یک از فناوری‌ها این شاخص محاسبه گردید.

در ملاحظات اقتصادی، مجموع سه هزینه‌ی احداث پست، احداث خط و بهره‌برداری بر اساس شاخص اقتصادی ارزش حال[9] برای هر کریدور و با انواع فناوری‌ها محاسبه شد و در

[8] EENS
[9] Net Present Value (NPV)

پایان مجموع این سه هزینه به عنوان شاخص اقتصادی تعیین گردید.

با توجه به مطالب فوق، با انجام مطالعات فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی، سه شاخص تصمیم‌ساز زیر برای انتخاب نوع فناوری انتخاب شد:

۱. مجموع هزینه پیاده‌سازی،
۲. EENS،
۳. میزان حریم مورد نیاز.

این سه شاخص، شاخص‌های اصلی برای تعیین نوع فناوری برتر برای هر یک از کریدورها هستند. باید اذعان داشت که شاخص حریم جایی مورد توجه است که مسیر کریدور از منطقه‌ی جنگلی عبور می‌کند (کریدورهای زنجان-گیلان و سمنان- مازندران). جدول ۷-۱ نتایج حاصل از مطالعات فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی را برای کریدورهای مختلف و انواع فناوری‌ها نشان می‌دهد.

با مشاهده‌ی نتایج جدول ۷-۱ مشخص گردید برای هر کریدور، مقدار EENS با انواع فناوری‌های دیگر تفاوت فاحشی ندارد و بنابراین این شاخص در انتخاب نوع فناوری تاثیر زیادی ندارد. از طرفی در مورد کریدورهای زنجان-گیلان و سمنان-مازندران کم‌ترین حریم متعلق به فناوری با کم‌ترین هزینه است و لذا برای دو کریدور مذکور شاخص‌های تصمیم‌ساز شامل مجموع هزینه‌ها و حریم همراستا هستند. بنابراین مهم‌ترین شاخص برای تعیین نوع فناوری کریدورها، مجموع هزینه‌ها است که در جدول ۷-۱ فناوری منتخب برای هر یک از کریدورها نشان داده شده است.

مطابق جدول ۷-۱، فناوری منتخب کریدورهای تبریز-زنجان، زنجان-گیلان و سمنان-مازندران و تهران-سمنان به‌صورت خطوط ۴۰۰ کیلوولت AC است، که با توجه به این‌که در وضعیت فعلی شبکه نیز این خطوط موجود می‌باشند، به عنوان کریدورهای جدید شناخته نمی‌شوند و می‌توان این نتایج را از فهرست کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا حذف نمود. مطابق نتایج جدول ۷-۱ فناوری منتخب کریدورهای بوشهر-اصفهان، خوزستان-تهران و طبس-سمنان خطوط HVDC با ولتاژ ۸۰۰ کیلوولت بوده و فناوری منتخب کریدورهای اصفهان-طبس و تهران-سمنان خطوط EHVAC با ولتاژ ۷۶۵ خواهد بود.

با بررسی دقیق‌تر جدول ۷-۱ مشاهده می‌شود که در رابطه با کریدورهای اصفهان-طبس و تهران- سمنان تفاوت فاحشی بین مجموع هزینه‌های فناوری‌های EHVAC و HVDC نمی‌باشد. با توجه به این موضوع و با درنظر این نکته که توسعه و پیاده‌سازی هر دو فناوری EHVAC و HVDC در کشور ایران اقتصادی و به‌صلاح نبوده و نیاز است توسعه‌ی یکی از این دو فناوری مدنظر قرار گیرد و همچنین با توجه به این‌که با بررسی‌های جامع صورت گرفته چشم‌انداز و آینده‌ی فناوری HVDC در رابطه با انتقال توان با ظرفیت بالا بسیار روشن‌تر از فناوری EHVAC ارزیابی گردید، ارجح است کریدورهای اصفهان-طبس و تهران-سمنان نیز با استفاده از فناوری HVDC پیاده‌سازی گردد.

جدول ۷-۲ مسیر، طول، ظرفیت نامی، ظرفیت عملیاتی (مورد نیاز در افق ۱۴۱۰)، نوع فناوری و تعداد مدار کریدورهای انتقال توان مورد نیاز برای پیاده‌سازی در ایران ۱۴۱۰ را نشان می‌دهد. شکل ۷-۱ مسیر این کریدورها را در نقشه‌ی ایران نشان می‌دهد.

۸- نتیجه‌گیری

این گزارش، به تشریح نتایج راهبردی پروژه‌ی "مطالعات امکان‌سنجی استفاده از کریدورهای انتقال توان با ظرفییت بالا در شبکه‌ی برق ایران" که در مرکز توسعه فناوری سامانه‌های انتقال توان با ظرفیت بالا اجرا شده است می‌پردازد.

با مطالعات صورت گرفته در این پروژه مشخص گردید که در اکثر کشورهای پیشرفته که وسعت جغرافیایی و حجم مصرف انرژی الکتریکی مشابه با ایران دارند، برنامه‌ی توسعه‌ی شبکه‌ی برق با رویکرد استفاده از کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا صورت می‌گیرد. بستر پیاده‌سازی این کریدورها به‌طور معمول فناوری‌های UHVAC، EHVDC و UHVDC می‌باشد. هدف اصلی از انجام این پروژه امکان‌سنجی استفاده از این رویکرد در برنامه‌ریزی توسعه‌ی شبکه‌ی برق ایران است. با توجه به این‌که مطالعات برنامه‌ریزی توسعه‌ی کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا به‌طور معمول در بازه‌ی مطالعاتی بلند مدتِ ۱۰ تا ۱۵ سال صورت می‌گیرد، سال افقِ مطالعه در این پروژه، ۱۴۱۰ فرض گردید.

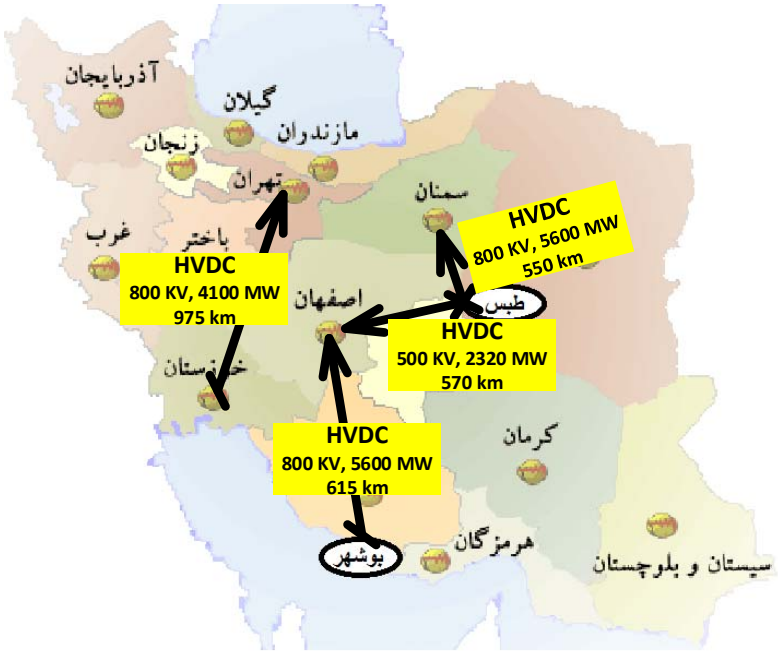
در راستای بکارگیری رویکرد استفاده از کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا، با توجه به این‌که این کریدورها برای انتقال انرژی الکتریکی از مراکز تولید برق به مراکز مصرف برق به‌کار می‌روند، در گام اول می‌بایست مراکز مازاد تولید و مصرف برق در ایران شناسایی شوند. در این راستا ۳۶ سناریوی تعریف گردید و با پیش‌بینی تولید و مصرف برق در برق‌های منطقه‌ای ۱۶گانه‌ی ایران تا سال ۱۴۱۰، مشخص گردید که در غالب این سناریوها مناطق شمال-شرق، شمال-غرب و جنوب-غرب مراکز مازاد تولید برق بوده و استان‌های تهران، اصفهان و زنجان مراکز مصرف برق هستند.

جدول (۷-۱): نتایج حاصل از مطالعات فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی برای انتخاب نوع فناوری کریدورهای انتقال توان در ایران ۱۴۱۰

مشخصات کریدور					مشخصات فنی کریدور				هزینه‌ها (MUSD)			متغیرهای تصمیم‌ساز			فناوری منتخب
شماره کریدور	مبدا	مقصد	طول (km)	ظرفیت عملیاتی (MW)	فناوری	سطح ولتاژ (kV)	تعداد مدار	احداث پست	احداث خط	بهره‌برداری	مجموع هزینه‌ها (MUSD)	EENS (MWh/yr)	حریم (m)	
۱	تبریز	زنجان	۳۱۵	۷۱۵	HVAC	۴۰۰	۱	۷۴	۲۷۰	۳۳	۳۷۷	۸۱.۵	۲۸	۴۰۰ کیلوولت AC (HVAC)
					EHVAC	۷۶۵	۱	۱۲۵	۵۱۰	۶۳	۶۹۸	۸۱.۵	۵۰	
					HVDC	۵۰۰	۱	۵۰۵	۲۱۹	۱۴۴	۸۶۸	۸۴.۷	۵۲	
۲	زنجان	گیلان	۲۵۰	۱۲۶۸	HVAC	۴۰۰	۲	۷۸	۳۳۹	۴۱	۴۵۸	۱۴۶.۹	۲۸	۴۰۰ کیلوولت AC (HVAC)
					EHVAC	۷۶۵	۱	۱۰۵	۴۱۶	۵۲	۵۷۳	۱۴۳.۸	۵۰	
					HVDC	۵۰۰	۲	۵۰۹	۲۳۸	۱۴۹	۸۹۶	۱۵۴.۷	۵۶	
۳	بوشهر	اصفهان	۶۱۵	۵۱۹۶	HVAC	۴۰۰	۱۲	۵۱۵	۵۰۲۰	۵۵۳	۶۰۸۸	۶۹۵.۷	۱۶۸	۸۰۰ کیلوولت DC (HVDC)
					EHVAC	۷۶۵	۳	۴۲۴	۲۶۶۸	۳۰۹	۳۴۰۱	۶۲۷.۴	۱۰۰	
					HVDC	۸۰۰	۲	۷۱۹	۷۶۴	۲۹۶	۱۷۷۹	۶۶۲.۵	۸۸	
۴	خوزستان	تهران	۹۷۵	۲۸۷۸	HVAC	۴۰۰	۹	۴۶۰	۶۱۳۷	۶۵۹	۷۲۵۶	۳۸۶.۲	۱۴۰	۸۰۰ کیلوولت DC (HVDC)
					EHVAC	۷۶۵	۳	۴۷۰	۴۲۲۷	۴۶۹	۵۱۶۶	۳۵۸.۸	۱۰۰	
					HVDC	۸۰۰	۲	۷۱۹	۱۲۱۰	۳۸۵	۳۳۱۴	۳۸۲.۷	۸۸	
۵	اصفهان	طبس	۵۷۰	۱۹۶۱	HVAC	۴۰۰	۵	۳۱۰	۲۰۳۹	۲۴۰	۲۵۸۹	۲۴۱.۸	۸۴	۷۶۵ کیلوولت AC و ۵۰۰کیلوولت DC
					EHVAC	۷۶۵	۱	۲۱۶	۸۹۵	۱۱۱	۱۲۲۲	۲۲۶.۸	۵۰	
					HVDC	۵۰۰	۲	۵۲۹	۵۴۷	۲۱۵	۱۲۹۱	۲۴۹	۵۶	
۶	طبس	سمنان	۵۵۰	۳۰۳۷	HVAC	۴۰۰	۶	۲۹۵	۲۲۴۰	۲۷۱	۲۸۹۳	۳۷۹.۷	۸۴	۸۰۰ کیلوولت DC (HVDC)
					EHVAC	۷۶۵	۲	۳۳۴	۱۴۶۶	۱۸۰	۱۹۸۰	۳۶۳.۵	۵۰	
					HVDC	۸۰۰	۲	۷۲۰	۶۸۲	۲۸۰	۱۶۸۲	۳۸۵.۶	۸۸	
۷	تهران	سمنان	۲۲۰	۲۷۰۹	HVAC	۴۰۰	۳	۹۸	۴۸۶	۵۸	۶۴۲	۳۱۵.۵	۵۶	۷۶۵ کیلوولت AC و ۴۰۰ کیلوولت AC
					EHVAC	۷۶۵	۱	۱۰۵	۳۶۵	۴۷	۵۱۷	۳۰۶.۶	۵۰	
					HVDC	۸۰۰	۱	۶۹۰	۲۰۴	۱۷۸	۱۰۷۲	۳۱۸.۴	۸۰	
۸	سمنان	مازندران	۲۳۵	۱۸۴۰	HVAC	۴۰۰	۲	۹۸	۳۲۰	۴۲	۴۶۰	۲۱۳	۲۸	۴۰۰ کیلوولت AC (HVAC)
					EHVAC	۷۶۵	۱	۱۰۵	۳۹۲	۴۹	۵۴۶	۲۰۸.۴	۵۰	
					HVDC	۵۰۰	۲	۵۲۰	۲۲۴	۱۴۸	۸۹۲	۲۲۴.۴	۵۶	

جدول (۷-۲): مسیر، نوع فناوری و مشخصات فنی کریدورهای انتقال توان در ایران ۱۴۱۰

اولویت	مبدا	مقصد	طول (km)	فناوری منتخب	تعداد مدار	ظرفیت نامی (MW)	ظرفیت عملیاتی (MW)
۱	بوشهر	اصفهان	۶۱۵	۸۰۰ کیلوولت DC	۲	۵۶۰۰	۵۱۹۶
۲	خوزستان	تهران	۹۷۵	۸۰۰ کیلوولت DC	۲	۴۱۰۰	۲۸۷۸
۳	طبس	سمنان	۵۵۰	۸۰۰ کیلوولت DC	۲	۵۶۰۰	۳۰۳۷
۴	اصفهان	طبس	۵۷۰	۵۰۰ کیلوولت DC	۲	۲۳۲۰	۱۹۶۱



شکل (۷-۱): مسیر، نوع فناوری و مشخصات فنی کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا در ایران ۱۴۱۰

برای نتیجه‌گیری به‌تر و تحلیل‌های دقیق‌تر، سه سناریوی خوشبینانه، بدبینانه و محتمل تعریف گردید که تمامی حالات سناریوهای ۳۶گانه را پوشش دهند.

تمامی مسیرهای بین مراکز مازاد تولید و مصرف برق گزینه‌های احداث کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا می‌باشند، لیکن پیاده‌سازی تمامی آن‌ها به‌صرفه و منطقی نمی‌باشد. بنابراین در این پروژه الگوریتمی تدوین گردید که ضمن تایید قید برآورده شدن نیاز تمامی مراکز مصرف از طریق کریدورها، کم‌تریم هزینه‌ی احداث کریدورها محقق گردد. با اجرای این الگوریتم ۸ کریدور تبریز–زنجان، زنجان–گیلان، بوشهر–اصفهان، خوزستان–تهران، اصفهان–طبس، طبس–سمنان، تهران–سمنان و سمنان–مازندران در ایران شناسایی گردیدند.

گام بعدی، تعیین نوع فناوری و تعیین مشخصات فنی کریدورهای شناسایی شده است. برای این‌کار ملاحظات فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی مدنظر قرار گرفتند و سه شاخص EENS، میزان حریم و مجموع هزینه‌های احداث کریدور به عنوان شاخص‌های تصمیم‌ساز استخراج گردیدند.

فناوری‌هایی که برای پیاده‌سازی کریدورهای انتقال توان در این پروژه مدنظر قرار گرفت عبارت است از:

۱. فناوری انتقال توان AC با ولتاژ ۴۰۰ کیلوولت؛
۲. فناوری انتقال توان AC با ولتاژ ۷۶۵ کیلوولت؛
۳. فناوری HVDC با سطح ولتاژ ۵۰۰ کیلوولت؛
۴. فناوری HVDC با سطح ولتاژ ۸۰۰ کیلوولت؛

با بررسی شاخص‌های تصمیم‌ساز در رابطه با ۸ کریدور شناسایی شده مشخص گردید که فناوری منتخب در رابطه با کریدورهای تبریز–زنجان، زنجان–گیلان، سمنان–مازندران و تهران–سمنان خطوط ۴۰۰ کیلوولت AC است که با توجه به این‌که در وضعیت فعلی شبکه نیز این خطوط موجود می‌باشند، به عنوان کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا شناخته نمی‌شوند و از نتایج حذف گردیدند. فناوری منتخب کریدورهای اصفهان–طبس و تهران–سمنان خطوط AC با ولتاژ ۷۶۵ کیلوولت و فناوری منتخب کریدورهای بوشهر–اصفهان و خوزستان–تهران به‌صورت خطوط HVDC با ولتاژ ۸۰۰ کیلوولت تعیین گردیدند.

از طرفی با توجه به این موضوع که در رابطه با کریدورهای اصفهان–طبس و تهران–سمنان تفاوت فاحشی بین مجموع هزینه‌های فناوری‌های EHVAC و HVDC نمی‌باشد و با درنظر گرفتن این نکته که توسعه و پیاده‌سازی هر دو فناوری EHVAC و HVDC در کشور ایران اقتصادی و به‌صلاح نبوده و نیاز است توسعه‌ی یکی از این دو فناوری مدنظر قرار گیرد؛ همچنین با توجه به این‌که با بررسی‌های جامع صورت گرفته چشم‌انداز فناوری HVDC در رابطه با انتقال توان با ظرفیت بالا بسیار روشن‌تر از فناوری EHVAC ارزیابی گردید، ارجح است کریدورهای اصفهان–طبس و تهران–سمنان نیز با استفاده از فناوری HVDC پیاده‌سازی گردد.

کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا در کشور ایران و نوع فناوری و مشخصات فنی آن‌ها به شرح زیر شناسایی گردید:

۱.کریدور بوشهر–اصفهان
- نوع فناوری: HVDC با ولتاژ ۸۰۰ کیلوولت
- تعداد مدار: ۲
- طول: ۶۱۵ کیلومتر
- ظرفیت نامی: ۵۶۰۰ مگاوات
- ظرفیت مورد نیاز (عملیاتی): ۵۱۹۶ مگاوات

۲.کریدور خوزستان–تهران
- نوع فناوری: HVDC با ولتاژ ۸۰۰ کیلوولت
- تعداد مدار: ۲
- طول: ۹۷۵ کیلومتر
- ظرفیت نامی: ۴۱۰۰ مگاوات
- ظرفیت مورد نیاز (عملیاتی): ۲۸۷۸ مگاوات

۳.کریدور طبس–سمنان
- نوع فناوری: HVDC با ولتاژ ۸۰۰ کیلوولت
- تعداد مدار: ۲
- طول: ۵۵۰ کیلومتر
- ظرفیت نامی: ۵۶۰۰ مگاوات
- ظرفیت مورد نیاز (عملیاتی): ۳۰۳۷ مگاوات

۴.کریدور اصفهان–طبس
- نوع فناوری: HVDC با ولتاژ ۵۰۰ کیلوولت
- تعداد مدار: ۲
- طول: ۵۷۰ کیلومتر
- ظرفیت نامی: ۲۳۲۰ مگاوات
- ظرفیت مورد نیاز (عملیاتی): ۱۹۶۱ مگاوات

مراجع

[1] http://www.chicagotribune.com/chi-proposed-clean-energy-transmission-lines-20141003-htmlstory.html

[2] Edison Electric Institute (EEI), "Transmission Projects: At A Glance", March 2015

[3] Meisen, P. and Hubert, J., "Renewable energy potential of Brazil, Global Energy Network Institute (GENI)", 2010

[4] ONS – National Grid Operator, information available under http://www.ons.org.br

[5] Graham, J., Santo, S.E. and Kumar, A., "Comparison of the performance of HVDC and HVAC overhead transmission lines for the Itaipu system", CIGRE India Journal, 3, 1, pp.16-21, 2014
[6] Yanny Fu, "Long distance bulk transmission", seminars in KEMA Consulting, October 2010
[7] L. Yao B. Li, E. Zaima, K. Uehara, Y. Shirasaka, B. Bhowmick, "Recent situation of UHV AC transmission systems and TC122 Activity", 2016 CIGRE-IEC Colloquium, 2016
[8] Global Energy Network Institute (GENI), "Map of Chinese's Electricity Grid", 2009
[9] V Ramakrishna, Subir Sen, "Development of 1200 kV Transmission System in India", 2012
[10] SUBIR SEN, and S C SRIVASTAVA, "Review Article: Electrical Power Transmission and Energy Management System", Proc Indian Natn Sci Acad 81, No. 4, pp. 1049-106, September 2015
[11] Ghanshyam Ghanshyam Prasad, "Indian Power Sector", SAARC Perspective Workshop on Past, Present & Future of High Voltage DC (HVDC) Power Transmission, 2015
[12] 'POWERGRID An illuminated saga of success", 2006-2011
[13] https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_HVDC_projects
[14] http://www.eib.org/attachments/pipeline/20090117_esia_en.pdf
[15] http://bankwatch.org/our-work/projects/second-backbone-corridor-high-voltage-electricity-transmission-lines-ukraine
[16] http://www.uself.com.ua/fileadmin/uself-ser-en/3/E%20-%20Transmission.pdf
[17] http://www.dlr.de/tt/en/Portaldata/41/Resources/dokumente/st/DLR_Stuttgart_BETTER-Studie_English.pdf
[18] http://www.geni.org/globalenergy/library/national_energy_grid/argentina/argentiniannationalelectricitygrid.shtml
[19] http://dialogue-can.ca/points-de-mire-our-focus/sujets-dinteret-issues/pan-canadian-power-grid/
[20] http://www.watershedsentinel.ca/content/high-voltage-spin-and-lies-global-energy-grid
[21] http://www.energy.siemens.com/us/pool/hq/power-transmission/HVDC/HVDC-Classic/HVDC-Classic_Transmission_References_en.pdf

پیوست ۱: معرفی تیم اجرایی پروژه

مجری پروژه: مهندس همایون برهمندپور، رییس مرکز توسعه فناوری سامانه‌های انتقال توان با ظرفیت بالا

مدیر پروژه: دکتر محمد جعفریان، عضو هیات علمی پژوهشگاه نیرو و معاون مرکز مرکز توسعه فناوری سامانه‌های انتقال توان با ظرفیت بالا

کارشناسان پروژه: مهندس جواد نظافت، مهندس امید شاه‌حسینی، مهندس احمد اسماعیلی، مهندس علی آرانی‌زاده، مهندس سعید اسمعیلی، مهندس صالح فرزام‌کیا، مهندس فائقه ایران‌نژاد، مهندس محمدعلی امینی، مهندس کریم دین‌پرست، مهندس سیدمحسن محمدی حسین‌نژاد و مهندس حامد میرسعیدی.

پیوست ۲: فهرست عناوین گزارشات پروژه

مرحله‌ی اول: بررسی ظرفیت‌های تولید برق ایران در افق ۱۴۱۰

مرحله‌ی دوم: بررسی پیش‌بینی بار شبکه برق ایران در افق ۱۴۱۰ به تفکیک شرکت‌های برق منطقه‌ای و تعیین توازن منطقه‌ای تولید و مصرف انرژی الکتریکی شبکه

مرحله‌ی سوم: بررسی رویه‌ی برنامه‌ریزی شبکه با رویکرد کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا در کشورهای پیشرو در استفاده از این رویکرد

مرحله‌ی چهارم: بررسی ساختار سامانه‌های انتقال توان با ظرفیت بالا و چالش‌های بکارگیری از آن‌ها در شبکه‌ی برق کشور

مرحله‌ی پنجم: تعیین کریدورهای انتقال توان الکتریکی با ظرفیت بالا برای پاسخ به نیازهای انتقال توان از مراکز تولید به مصرف در افق ۱۴۱۰

مرحله‌ی ششم: تعیین نوع فناوری و مشخصات آن برای کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالای شبکه‌ی ایران در افق ۱۴۱۰