



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



مدیر پروژه: محمد جعفریان

مجری: همایون برهمندپور

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

خلاصه مطالعات و نتایج حاصله پروژه
امکان‌سنجی استفاده از کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا
برای ایران در افق ۱۴۱۰

مدیر پروژه: محمد جعفریان

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

مجری: همایون برهمندپور

انتشارات پژوهشگاه نیرو

۱۴۰۰

کد گزارش: NRI-ER-1072-PPTPN01-00-L

DOI: 10.30503/nripress.2020.245

ایران. وزارت نیرو. پژوهشگاه نیرو. مرکز توسعه فناوری سامانه‌های انتقال توان با ظرفیت

بالا.

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

۱۴۱۰ / مدیر پروژه: جعفریان، محمد. تهران: پژوهشگاه نیرو، ۱۴۰۰.

۳۰ص: مصور، نمودار، جدول

۱. محمد جعفریان، جواد نظافت‌نمینی، امید شاه‌حسینی، احمد اسماعیلی؛ همکاران

پروژه. ۲. برهمندپور، همایون، مجری.



انتشارات پژوهشگاه نیرو

مرکز توسعه فناوری سامانه‌های انتقال توان با ظرفیت بالا

کلیه حقوق قانونی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای بلوار شهیددادمان، پژوهشگاه نیرو، کدپستی: ۱۴۶۸۶۱۳۱۱۳

تلفن: ۸۸۰۷۹۴۰۱-۹

نمابر: ۸۸۰۷۸۲۹۶

وبگاه: www.nri.ac.ir

پست الکترونیک انتشارات: publications@nri.ac.ir

فرم تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب همایون برهمندپور متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این گزارش حاصل کار پژوهشی محمد جعفریان و همکاران به شرح زیر است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مأخذ ذکر گردیده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

همکاران :

۱. محمد جعفریان

۲. جواد نظافت نمینی

۳. امید شاه‌حسینی

۴. احمد اسماعیلی

پیشگفتار

آنچه که بطور اعم از مفهوم انتقال توان با ظرفیت بالا برداشت می‌شود، کریدورهای انتقال توان^۱ 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 فوق فشارقوی جریان متناوب UC^۲ و خطوط با سطح ولتاژ قوی جریان مستقیم (EHVDC^۳ و UHVDC^۴) تقسیم نمود. این فناوری‌ها به‌طور گسترده در HVDC^۵ 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^۵ 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 این که 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.

^۱ Electricity Power Corridors

^۲ Ultra High Voltage AC

^۳ Extra High Voltage DC

^۴ Ultra High Voltage DC

^۵ Bulk Power Transmission Technology

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 پروژه‌های راهبردی تحت عنوان "مطالعات امکان‌سنجی استفاده از کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا در شبکه‌ی برق ایران" صورت گرفته است و روند مطالعات و نتایج راهبردی آن در این گزارش ارائه می‌شود.

فهرست مطالب

پیشگفتار	أ
۱- مقدمه	۱
۲- راهبرد استفاده از فناوری انتقال توان با ظرفیت بالا در توسعه‌ی شبکه برق کشور	۱
۳- رویکرد تعیین مسیر و نوع فناوری کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا	۲
۴- برآورد نیاز مصرف و ظرفیت تولید برق در ایران ۱۴۱۰	۳
۴-۱- پیش‌بینی نیاز مصرف برق مناطق ۱۶ گانه‌ی برق منطقه‌ای تا افق ۱۴۱۰	۴
۴-۲- پیش‌بینی ظرفیت تولید برق به تفکیک مناطق ۱۶ گانه‌ی برق منطقه‌ای تا افق ۱۴۱۰	۵
۴-۳- پیش‌بینی موازنه‌ی تولید و مصرف برق در مناطق ۱۶ گانه‌ی برق منطقه‌ای تا افق ۱۴۱۰	۶
۵- شناسایی مراکز مازاد تولید و مازاد مصرف برق در ایران ۱۴۱۰	۶
۷- تعیین نوع فناوری و مشخصات فنی کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا در ایران ۱۴۱۰	۱۱
۸- جمع‌بندی و ارائه نتایج تفصیلی	۱۵
مراجع	۱۸
پیوست: فهرست عناوین گزارشهای مراحل مختلف پروژه	۱۹

فهرست اشکال

- شکل (۱-۲): برنامه‌ریزی بلندمدت کشور هند برای توسعه کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا [۹] ۳
- شکل (۱-۵): مراکز مازاد تولید در سناریوی محتمل ۷
- شکل (۲-۵): مراکز مازاد مصرف در سناریوی محتمل ۸
- شکل (۳-۵): مراکز مازاد تولید در سناریوی خوش‌بینانه ۸
- شکل (۴-۵): مراکز مازاد مصرف در سناریوی خوش‌بینانه ۸
- شکل (۵-۵): مراکز مازاد تولید در سناریوی بدبینانه ۹
- شکل (۶-۵): مراکز مازاد تولید در سناریوی بدبینانه ۹
- شکل (۱-۶): زیرساخت اصلی شبکه به عنوان نقشه راه توسعه خطوط انتقالی برای افق‌های بالاتر از ۱۴۱۰ ۱۰
- شکل (۲-۶): کریدورهای انتقال توان ایران ۱۴۱۰ در سناریوی محتمل ۱۱
- شکل (۳-۶): کریدورهای انتقال توان ایران ۱۴۱۰ در سناریوی خوش‌بینانه ۱۱
- شکل (۴-۶): کریدورهای انتقال توان ایران ۱۴۱۰ در سناریوی بدبینانه ۱۱
- شکل (۱-۷): مسیر، نوع فناوری و مشخصات فنی کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا در ایران ۱۴۱۰ ۱۵

فهرست جداول

جدول (۷-۱): نتایج حاصل از مطالعات فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی برای انتخاب نوع فناوری کریدورهای انتقال توان در ایران ۱۴۱۰ ۱۳

جدول (۷-۲): مسیر، نوع فناوری و مشخصات فنی کریدورهای انتقال توان در ایران ۱۴۱۰ ۱۴

شکل (۷-۱): مسیر، نوع فناوری و مشخصات فنی کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا در ایران ۱۴۱۰ ۱۵

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 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 توسعه 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 نمونه‌های 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 پرفریت 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 شمال شرقی 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 ۱-۲ 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:

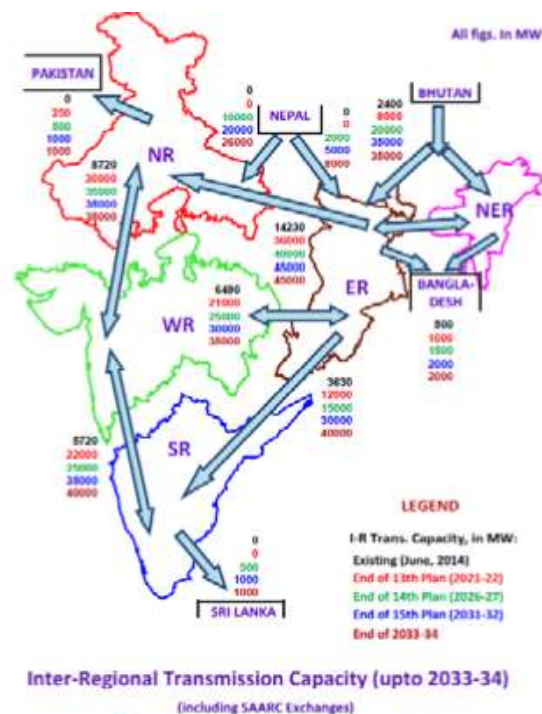
۱- در ابتدا نیاز مصرف برق و ظرفیت نیروگاهی به تفکیک مناطق جغرافیایی تا سال افق مطالعه پیش‌بینی گردید.

۲- در ادامه مراکز مازاد تولید و مصرف برق تا سال افق 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 افق مطالعه ارائه گردید.

- 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 این که مطالعات برنامه‌ریزی توسعه‌ی کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا به‌طور معمول در بازه‌ی مطالعاتی بلند مدت ۱۰ تا ۱۵ سال صورت می‌گیرد، سال افق مطالعه در این پروژه، ۱۴۱۰ فرض گردید.



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

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 به صورت تفکیک شده صورت می‌گیرد.

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

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

در گام اول پیش‌بینی مصرف انرژی برق به تفکیک شرکت‌های برق منطقه‌ای تا افق ۱۴۱۰ با استفاده از مدل لین^۶ صورت گرفت؛

در گام بعد با اضافه کردن مقدار پیش‌بینی شده‌ی سهم تلفات، نیاز تولید انرژی الکتریکی محاسبه گردید.

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 ۱۶ گانه، در این پروژه از مدل لین استفاده گردید. کارایی این مدل در پیش‌بینی تقاضا در مراجع مختلف مورد تأیید 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 ۱۶ گانه، در ابتدا می‌بایست جمعیت و GDP این مناطق پیش‌بینی گردد.

در این پروژه برای پیش‌بینی جمعیت مناطق ۱۶ گانه 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 ۱۶ گانه 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 GDP استان‌های ایران تا افق ۱۴۲۰ پیش‌بینی شده است.

^۶ Lean Model

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

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

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

ظرفیت تولید برق فعلی

کاهش ظرفیت نیروگاه‌های فعلی به علت بازنشستگی تا افق ۱۴۱۰

ظرفیت برنامه‌ریزی شده نیروگاهی ایران تا سال ۱۳۹۸ (تنها برنامه مصوب در این زمینه)

ظرفیت‌های پیش‌بینی شده در زمینه‌ی تجدیدپذیر، تولیدپراکنده، تولید همزمان برق و حرارت، تولید برق از منابع داخلی زغال‌سنگ و اورانیوم

ظرفیت‌های منتج از ارتباطات الکتریکی با کشورهای همسایه

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:

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).

در گام بعد مجموع ظرفیت اجزای ۱ تا ۵ محاسبه گردید.

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:

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)

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)

سناریوی اولویت تولید برق در نزدیکی میادین گاز و مناطق ساحلی به منظور 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 ۱۳۹۴ و تقسیم ۶۰٪ باقیمانده مابین سایر شرکت‌های برق منطقه‌ای به نسبت ظرفیت نیروگاهی موجود در این شرکت‌ها تا پایان سال ۱۳۹۴)

۳-۴- پیش‌بینی موازنه‌ی تولید و مصرف برق در مناطق ۱۶ گانه‌ی 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 ۱۶ گانه‌ی برق منطقه‌ای، در کل ۳۶ سناریو برای پیش‌بینی موازنه‌ی تولید و مصرف برق در مناطق ۱۶ گانه‌ی 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 قبلاً 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.



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



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



شکل (۴-۶): 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:

فناوری انتقال توان AC با ولتاژ ۴۰۰ کیلوولت؛

فناوری انتقال توان AC با ولتاژ ۷۶۵ کیلوولت؛

فناوری HVDC با سطح ولتاژ ۵۰۰ کیلوولت؛

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^۸ 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^۹ برای هر کریدور و با انواع فناوری‌ها محاسبه شد و در 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:

مجموع هزینه پیاده‌سازی،

EENS،

میزان حریم مورد نیاز.

^۸ EENS

^۹ Net Present Value (NPV)

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

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

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

با بررسی دقیق‌تر جدول ۷-۱ مشاهده می‌شود که در رابطه با کربدورهای اصفهان-تهران و سمنان تفاوت فاحشی بین مجموع هزینه‌های فناوری‌های EHVAC و HVDC نمی‌باشد. با توجه به این موضوع و با در نظر این نکته که توسعه و پیاده‌سازی هر دو فناوری EHVAC و HVDC در کشور ایران اقتصادی و به صلاح نبوده و نیاز است توسعه‌ی یکی از این دو فناوری مدنظر قرار گیرد و همچنین با توجه به این که 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 کربدورهای اصفهان-تهران و 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 کربدورهای انتقال توان مورد نیاز برای پیاده‌سازی در ایران ۱۴۱۰ را نشان می‌دهد. شکل ۷-۱ مسیر این کربدورها را در نقشه‌ی ایران نشان می‌دهد.

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

فناوری منتخب	مشخصات فنی			هزینه‌ها (MUSD)			مشخصات فنی				مشخصات فنی			
	مجموع هزینه‌ها (MUSD)	EENS (MWh/yr)	حريم (m)	بهره‌برداری	احداث خط	احداث پست	تعداد مدار	سطح ولتاژ (kV)	فناوری	ظرفیت عملیاتی (MW)	طول (km)	مقصد	مبدا	شماره کريدور
۴۰۰ کیلوولت AC (HVAC)	۳۷۷	۸۱.۵	۲۸	۳۳	۳۷۰	۷۴	۱	۴۰۰	HVAC	۷۱۵	۳۱۵	زنجان	تبریز	۱
	۶۹۸	۸۱.۵	۵۰	۶۳	۵۱۰	۱۲۵	۱	۷۶۵	EHVAC					
	۸۶۸	۸۴.۷	۵۲	۱۴۴	۲۱۹	۵۰۵	۱	۵۰۰	HVDC					
۴۰۰ کیلوولت AC (HVAC)	۴۵۸	۱۴۴.۹	۲۸	۴۱	۳۳۹	۷۸	۲	۴۰۰	HVAC	۱۲۶۸	۲۵۰	گیلان	زنجان	۲
	۵۷۳	۱۴۳.۸	۵۰	۵۲	۴۱۶	۱۰۵	۱	۷۶۵	EHVAC					
	۸۹۶	۱۵۴.۷	۵۶	۱۴۹	۲۳۸	۵۰۹	۲	۵۰۰	HVDC					
۸۰۰ کیلوولت DC (HVDC)	۶۰۸۸	۶۹۵.۷	۱۶۸	۵۵۳	۵۰۲۰	۵۱۵	۱۲	۴۰۰	HVAC	۵۱۹۶	۶۱۵	اصفهان	بوشهر	۳
	۳۴۰۱	۶۲۷.۴	۱۰۰	۳۰۹	۲۶۶۸	۴۲۴	۳	۷۶۵	EHVAC					
	۱۷۷۹	۶۶۳.۵	۸۸	۳۹۶	۷۶۴	۷۱۹	۲	۸۰۰	HVDC					
۸۰۰ کیلوولت DC (HVDC)	۷۲۵۶	۳۸۶.۲	۱۴۰	۶۵۹	۶۱۳۷	۴۶۰	۹	۴۰۰	HVAC	۲۸۷۸	۹۷۵	تهران	خوزستان	۴
	۵۱۶۶	۳۵۸.۸	۱۰۰	۴۶۹	۴۲۲۷	۴۷۰	۳	۷۶۵	EHVAC					
	۳۳۱۴	۳۸۲.۷	۸۸	۳۸۵	۱۲۱۰	۷۱۹	۲	۸۰۰	HVDC					
۷۶۵ کیلوولت AC و ۵۰۰ کیلوولت DC	۲۳۹	۳۳۱.۸	۸۴	۲۴۰	۲۰۳۹	۳۱۰	۵	۴۰۰	HVAC	۱۹۶۱	۵۷۰	طیس	اصفهان	۵
	۱۲۳۲	۳۳۶.۱	۵۰	۱۱۱	۸۹۵	۲۱۶	۱	۷۶۵	EHVAC					
	۱۲۹۱	۲۴۹	۵۶	۲۱۵	۵۴۷	۵۲۹	۲	۵۰۰	HVDC					
۸۰۰ کیلوولت DC (HVDC)	۲۸۹۳	۳۳۹.۷	۸۴	۳۷۱	۲۳۴۰	۲۹۵	۶	۴۰۰	HVAC	۳۰۳۷	۵۵۰	سمنان	طیس	۶
	۱۹۸۰	۳۳۳.۵	۵۰	۱۸۰	۱۴۶۶	۳۳۴	۲	۷۶۵	EHVAC					
	۱۶۸۲	۳۸۵.۶	۸۸	۲۸۰	۶۸۲	۷۲۰	۲	۸۰۰	HVDC					
۷۶۵ کیلوولت AC و ۴۰۰ کیلوولت AC	۶۴۲	۳۱۵.۵	۵۶	۵۸	۴۸۶	۹۸	۳	۴۰۰	HVAC	۲۷۰۹	۲۲۰	سمنان	تهران	۷
	۵۱۷	۳۰۶.۶	۵۰	۴۷	۳۶۵	۱۰۵	۱	۷۶۵	EHVAC					
	۱۰۷۲	۳۱۸.۴	۸۰	۱۷۸	۲۰۴	۶۹۰	۱	۸۰۰	HVDC					
۴۰۰ کیلوولت AC (HVAC)	۴۶۰	۲۱۳	۲۸	۳۲	۳۲۰	۹۸	۲	۴۰۰	HVAC	۱۸۴۰	۲۳۵	مازندران	سمنان	۸
	۵۴۶	۲۰۸.۴	۵۰	۴۹	۳۹۲	۱۰۵	۱	۷۶۵	EHVAC					
	۸۹۲	۲۲۴.۴	۵۶	۱۴۸	۲۲۴	۵۲۰	۲	۵۰۰	HVDC					

جدول (۷-۲): مسیر، نوع فناوری و مشخصات فنی کريدورهای 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	طیس	سمنان	۵۵۰	۸۰۰ کیلوولت DC	۲	۵۶۰۰	۳۰۳۷
۴	اصفهان	طیس	۵۷۰	۵۰۰ کیلوولت DC	۲	۲۳۲۰	۱۹۶۱

برای نتیجه‌گیری بهتر و تحلیل‌های دقیق‌تر، سه سناریوی خوشبینانه، بدبینانه و محتمل تعریف گردید که تمامی حالات سناریوهای ۳۶ گانه 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 به صرفه و منطقی نمی‌باشد. بنابراین در این پروژه الگوریتمی تدوین گردید که ضمن تایید قید برآورده شدن نیاز تمامی مراکز مصرف از طریق کریدورها، کم‌ترین هزینه‌ی احداث کریدورها محقق گردد. با اجرای این الگوریتم ۸ کریدور تبریز-زنجان، زنجان-گیلان، بوشهر-اصفهان، خوزستان-تهران، اصفهان-طیس، طیس-سمنان، تهران-سمنان و سمنان-مازندران در ایران شناسایی گردیدند.

گام بعدی، تعیین نوع فناوری و تعیین مشخصات فنی کریدورهای شناسایی شده است. برای این کار 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 این که 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-طیس و تهران-سمنان خطوط AC با ولتاژ ۷۶۵ کیلوولت و فناوری منتخب کریدورهای بوشهر-اصفهان و خوزستان-تهران به صورت خطوط HVDC با ولتاژ ۸۰۰ کیلوولت تعیین گردیدند.

از طرفی با توجه به این موضوع که در رابطه با کریدورهای اصفهان-طیس و تهران-سمنان تفاوت فاحشی بین مجموع هزینه‌های فناوری‌های EHVAC و HVDC نمی‌باشد و با در نظر گرفتن این نکته که توسعه و پیاده‌سازی هر دو فناوری EHVAC و HVDC در کشور ایران اقتصادی و به صلاح نبوده و نیاز است توسعه‌ی یکی از این دو فناوری مدنظر قرار گیرد؛ همچنین با توجه به این که 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-طیس 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/argentiannationalelectricitygrid.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: فهرست عناوین گزارشهای مراحل مختلف پروژه

مرحله ی اول: بررسی ظرفیت های تولید برق ایران در افق ۱۴۱۰

مرحله ی دوم: بررسی پیش بینی بار شبکه برق ایران در افق ۱۴۱۰ به تفکیک شرکت های برق منطقه ای و تعیین توازن منطقه ای تولید و مصرف انرژی الکتریکی شبکه

مرحله ی سوم: بررسی رویه ی برنامه ریزی شبکه با رویکرد کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالا در کشورهای پیشرو در استفاده از این رویکرد

مرحله ی چهارم: بررسی ساختار سامانه های انتقال توان با ظرفیت بالا و چالش های بکارگیری از آنها در شبکه ی برق کشور

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

مرحله ی ششم: تعیین نوع فناوری و مشخصات آن برای کریدورهای انتقال توان با ظرفیت بالای شبکه ی ایران در افق ۱۴۱۰