

صلى الله عليه وسلم



گروه مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد

چشم انداز بازار برق با قراردادهای بلندمدت در آسیای میانه و افغانستان

نویسنده

سید بصیر رضوانی

استاد راهنما

دکتر مجید علومی بایگی

بهمن ۱۳۹۷

تعهدنامه

اینجانب سید بصیر رضوانی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق - قدرت دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد نویسنده پایان نامه «چشم انداز بازار برق با قراردادهای بلند مدت در آسیای میانه و افغانستان» تحت راهنمایی دکتر مجید علومی بایگی متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود و یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می باشد و مقالات مستخرج با نام "دانشگاه فردوسی مشهد" و یا "Ferdowsi University of Mashhad" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ ۱۳۹۷/۱۲/۳

سید بصیر رضوانی

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

تقدیر و تشکر

بعد از حمد خداوند (جل جلاله) به خاطر همه نعمت‌هایی که به من ارزانی داشته است، از استاد گرانقدرم آقای دکتر علومی برای زحمات‌هایی که صبورانه در طول مدت تهیه این پایان‌نامه کشیدند تشکر می‌کنم. دست پدر و مادرم را که در همه مراحل زندگانی با از خود گذشتگی فراوان وسایل رشد من در امور مادی و معنوی را فراهم کردند از روی اخلاص می‌بوسم و از همسر مهربان و صبورم به خاطر همراهی همه جانبه ایشان در طول مدت تحصیل سپاسگزارم.

چکیده

در منطقه آسیای میانه کشورهای تاجیکستان و قرقیزستان دارای منابع فراوان آب برای تولید برق هستند و به همین دلیل به دنبال فروش برق به کشورهای همجوار می‌باشند. در طرف دیگر کشورهای ازبکستان و قزاقستان از نیروگاه‌های حرارتی برای تولید برق استفاده می‌کنند و با توجه به فرسودگی نیروگاه‌ها، مجبور به استفاده از برق گران قیمت می‌باشد. علاوه بر این کشورهای جنوب آسیا مخصوصاً افغانستان و پاکستان به شدت با کمبود انرژی مواجه هستند. از این روی تلاش‌های بین‌المللی برای ایجاد بستر مبادله برق بین کشورهای آسیای میانه و آسیای جنوبی چند سالی است آغاز شده است. در این پژوهش تلاش شده است با استفاده از داده‌های موجود، چشم اندازی از وضعیت مبادلات برق بین کشورهای قرقیزستان، تاجیکستان، ازبکستان و افغانستان ارائه شود. برای این منظور ابتدا روشی برای محاسبه منحنی «هزینه تمام شده برق» برای هر یک از این کشورها معرفی می‌شود. سپس با فرض وجود بازاری با قراردادهای بلند مدت دو طرفه بین کشورها و وجود همکاری بین شرکت‌کنندگان، مسئله بهینه‌سازی بازار در دو حالت وجود قیدهای شبکه انتقال و عدم وجود قیدهای شبکه انتقال مدل می‌گردد. با استفاده از روش ارائه شده، منحنی هزینه تمام شده برق در سناریوهای مختلف برای کشورهای مورد مطالعه محاسبه و سپس شبیه‌سازی بازار در هر سناریو انجام گرفته است. در این سناریوها کشورهای تاجیکستان و قرقیزستان به عنوان فروشنده برق و کشورهای افغانستان و ازبکستان به عنوان خریدار در نظر گرفته شده‌اند. با توجه به تفاوت چشمگیر ظرفیت نیروگاه‌ها و تقاضای برق در شش ماه اول و دوم سال شبیه‌سازی‌ها برای دو فصل تابستان (شش ماه اول) و زمستان (شش ماه دوم) به صورت جداگانه انجام شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که مبادله برق بین این کشورها، به طور چشمگیری باعث کاهش هزینه‌های تولید برق همه شرکت‌کنندگان می‌شود. همچنین مشاهده می‌شود که ظرفیت برنامه ریزی شده خطوط انتقال بین کشورها برای انجام مبادلات بهینه کافی نیست و باعث از دست رفتن مقدار قابل توجهی از سود اقتصادی حاصل از این همکاری می‌گردد.

کلیدواژه‌ها: آسیای میانه، افغانستان، بازار برق منطقه‌ای، قرارداد بلند مدت دو طرفه، هزینه تمام شده برق

فهرست مطالب

فصل اول: طرح مسئله	۱
۱-۱- ضرورت انجام کار	۳
۲-۱- تعریف مسئله و فرضیات	۳
۳-۱- مروری بر ساختار پایان نامه	۴
فصل دوم: مرور پیشینه پژوهش	۵
۱-۲- مقدمه	۶
۲-۲- نمای کلی از وضعیت فعلی کشورهای مورد مطالعه	۷
۳-۲- وضعیت تولید برق در کشورهای مورد مطالعه	۹
۱-۳-۲- قرقیزستان	۹
۲-۳-۲- تاجیکستان	۱۰
۳-۳-۲- افغانستان	۱۱
۴-۳-۲- ازبکستان	۱۱
۴-۲- وضعیت فعلی و آینده اتصال شبکه انتقال کشورهای مورد مطالعه	۱۲
۵-۲- مطالعات مشابه در سایر مناطق جهان	۱۳
فصل سوم: مدل سازی بازار	۱۶
۱-۳-۱- منحنی هزینه تمام شده برق	۱۸
۱-۳-۱-۱- منحنی هزینه تمام شده برق برای کشورهای فروشنده	۱۸
۲-۳-۱-۲- منحنی هزینه تمام شده برق برای کشورهای خریدار	۲۲
۳-۱-۳- روش حل مسئله مشارکت واحدها	۲۴
۲-۳- مسئله بهینه سازی بازار	۲۴
۱-۲-۳- تابع هدف بهینه سازی	۲۵
۲-۲-۳- قیدهای بهینه سازی	۲۶

۲۶	۱-۲-۲-۳- قیود مسئله بهینه‌سازی بدون در نظر گرفتن قیود شبکه
۲۷	۲-۲-۲-۳- قیود مسئله بهینه‌سازی با در نظر گرفتن قیود شبکه
۳۱	فصل چهارم: شبیه‌سازی و تحلیل نتایج
۳۲	۱-۴- منحنی LCoE کشورهای مورد مطالعه
۳۳	۱-۱-۴- منحنی LCoE کشورها در سناریوی اول
۳۷	۲-۱-۴- منحنی LCoE کشورها در سناریوی دوم
۴۱	۳-۱-۴- منحنی LCoE کشورها در سناریوی سوم
۴۵	۴-۱-۴- LCoE فروشندگان برق بدون صادرات
۴۵	۲-۴- نتایج شبیه‌سازی بازار
۴۶	۱-۲-۴- نتایج شبیه‌سازی بازار در سناریوی ۱-۱
۴۹	۲-۲-۴- نتایج شبیه‌سازی بازار در سناریوی ۲-۱
۵۱	۳-۲-۴- نتایج شبیه‌سازی بازار در سناریوی ۱-۲
۵۳	۴-۲-۴- نتایج شبیه‌سازی بازار در سناریوی ۲-۲
۵۶	۵-۲-۴- نتایج شبیه‌سازی بازار در سناریوی ۱-۳
۵۹	۶-۲-۴- نتایج شبیه‌سازی بازار در سناریوی ۲-۳
۶۲	۷-۲-۴- مشارکت کشور ایران در بازار برق آسیای میانه و افغانستان
۶۳	فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۶۳	۱-۵- نتیجه‌گیری
۶۵	۲-۵- پیشنهادات
۶۶	پیوست: اطلاعات شبکه برق کشورهای مورد مطالعه
۶۷	پ۱- اطلاعات نیروگاه‌های کشورهای مورد مطالعه
۷۱	پ۲- منحنی بار کشورهای مورد مطالعه
۷۴	پ۳- شماتیک خطوط انتقال بین کشورهای آسیای میانه
۷۶	پ۴- شماتیک طرح‌های منطقه‌ای اتصال شبکه برق کشورهای منطقه با محوریت افغانستان
۷۸	مراجع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۳-۱: منحنی بار هفتگی کشور فروشنده، پنج درصد از منحنی بار هفتگی کشور خریدار ۲۰
- شکل ۳-۲: منحنی هزینه تمام شده برق کشور تاجیکستان (فروشنده) در فصل تابستان ۲۰
- شکل ۳-۳: منحنی بار هفتگی اصلی کشور فروشنده برق و منحنی بار مورد استفاده در پله پنجم ۲۱
- شکل ۳-۴: منحنی هزینه تمام شده برق کشور تاجیکستان در فصل تابستان برای قرارداد نوع دوم ۲۲
- شکل ۳-۵: منحنی هزینه تمام شده برق کشور ازبکستان در فصل تابستان برای قرارداد نوع اول ۲۳
- شکل ۳-۶: منحنی بار هفتگی کشور خریدار ۲۳
- شکل ۳-۷: طرح‌واره و ظرفیت خطوط انتقال موجود بین کشورهای مورد مطالعه ۲۷
- شکل ۳-۸: منحنی بار کشور خریدار و منحنی فرضی توان انتقالی از کشور فروشنده به کشور خریدار ۲۹
- شکل ۴-۱: منحنی LCoE کشور تاجیکستان برای فصل تابستان در سناریوی اول ۳۴
- شکل ۴-۲: منحنی LCoE کشور تاجیکستان برای فصل زمستان در سناریوی اول ۳۴
- شکل ۴-۳: منحنی LCoE کشور قرقیزستان برای فصل تابستان در سناریوی اول ۳۵
- شکل ۴-۴: منحنی LCoE کشور قرقیزستان برای فصل زمستان در سناریوی اول ۳۵
- شکل ۴-۵: منحنی LCoE کشور افغانستان برای فصل تابستان در سناریوی اول ۳۶
- شکل ۴-۶: منحنی LCoE کشور افغانستان برای فصل زمستان در سناریوی اول ۳۶
- شکل ۴-۷: منحنی LCoE کشور تاجیکستان برای فصل تابستان در سناریوی دوم ۳۸
- شکل ۴-۸: منحنی LCoE کشور تاجیکستان برای فصل زمستان در سناریوی دوم ۳۸
- شکل ۴-۹: منحنی LCoE کشور قرقیزستان برای فصل تابستان در سناریوی دوم ۳۹
- شکل ۴-۱۰: منحنی LCoE کشور قرقیزستان برای فصل زمستان در سناریوی دوم ۳۹
- شکل ۴-۱۱: منحنی LCoE کشور ازبکستان برای فصل تابستان در سناریوی دوم ۴۰

- شکل ۴-۱۲: منحنی LCoE کشور ازبکستان برای فصل زمستان در سناریوی دوم ۴۰
- شکل ۴-۱۳: منحنی LCoE کشور تاجیکستان برای فصل تابستان در سناریوی سوم ۴۱
- شکل ۴-۱۴: منحنی LCoE کشور تاجیکستان برای فصل زمستان در سناریوی سوم ۴۲
- شکل ۴-۱۵: منحنی LCoE کشور قرقیزستان در فصل تابستان در سناریوی سوم ۴۲
- شکل ۴-۱۶: منحنی LCoE کشور قرقیزستان در فصل زمستان در سناریوی سوم ۴۳
- شکل ۴-۱۷: منحنی LCoE کشور ازبکستان در فصل تابستان در سناریوی سوم ۴۳
- شکل ۴-۱۸: منحنی LCoE کشور ازبکستان در فصل زمستان در سناریوی سوم ۴۴
- شکل ۴-۱۹: منحنی LCoE کشور افغانستان در فصل تابستان در سناریوی سوم ۴۴
- شکل ۴-۲۰: طرح‌واره و ظرفیت خطوط انتقال موجود بین کشورها در سناریوی اول ۴۹
- شکل ۴-۲۱: طرح‌واره و ظرفیت خطوط انتقال موجود بین کشورها در سناریوی دوم ۵۳
- شکل ۴-۲۲: طرح‌واره و ظرفیت خطوط انتقال موجود بین کشورها در سناریوی سوم ۵۹
- شکل پ ۲-۱: منحنی بار هفتگی پیشبینی شده برای فصل زمستان کشور قرقیزستان در سال ۲۰۳۲ [۹] ۷۲
- شکل پ ۲-۲: منحنی بار هفتگی پیشبینی شده برای فصل تابستان کشور قرقیزستان در سال ۲۰۳۲ [۹] ۷۲
- شکل پ ۲-۳: منحنی بار هفتگی پیشبینی شده برای فصل زمستان کشور تاجیکستان در سال ۲۰۳۲ [۹] ۷۲
- شکل پ ۲-۴: منحنی بار هفتگی پیشبینی شده برای فصل تابستان کشور تاجیکستان در سال ۲۰۳۲ [۹] ۷۲
- شکل پ ۲-۵: منحنی بار روزانه پیشبینی شده برای فصل زمستان کشور افغانستان در سال ۲۰۳۲ [۱۰] ۷۳
- شکل پ ۲-۶: منحنی بار روزانه پیشبینی شده برای فصل تابستان کشور افغانستان در سال ۲۰۳۲ [۱۰] ۷۳
- شکل پ ۲-۷: منحنی بار هفتگی پیشبینی شده برای فصل زمستان کشور ازبکستان در سال ۲۰۳۲ [۹] ۷۳
- شکل پ ۲-۸: منحنی بار هفتگی پیشبینی شده برای فصل تابستان کشور ازبکستان در سال ۲۰۳۲ [۹] ۷۳
- شکل پ ۲-۹: طرح‌واره خطوط انتقال میان کشورهای آسیای میانه تا سال ۲۰۳۲ [۹] ۷۵
- شکل پ ۴-۱: طرح‌واره پروژه های اتصال شبکه برق کشورهای منطقه با محوریت افغانستان [۲۳] ۷۷

فهرست جدول‌ها

جدول ۴-۱: سناریوهای مورد مطالعه و فرض‌های صورت گرفته در هر کدام	۴۶
جدول ۴-۲: بیشینه انرژی قابل تولید کشورهای مورد مطالعه در هر فصل در سناریوی اول	۴۷
جدول ۴-۳: انرژی تبادلی بین کشورها در بازار و قیمت تمام شده برق در سناریوی ۱-۱	۴۸
جدول ۴-۴: هزینه تمام شده برق بدون نصب ظرفیت مازاد و هزینه صرفه جویی شده برای هر کشور	۴۸
جدول ۴-۵: انرژی تبادلی بین کشورها در بازار و قیمت تمام شده برق در سناریوی ۲-۱	۵۱
جدول ۴-۶: هزینه تمام شده برق بدون نصب ظرفیت مازاد و هزینه صرفه جویی شده در سناریوی ۲-۱	۵۱
جدول ۴-۷: مقادیر بیشینه انرژی قابل تولید کشورها در هر فصل در سناریوی دوم	۵۲
جدول ۴-۸: انرژی تبادلی بین کشورها در بازار و قیمت تمام شده برق در سناریوی ۱-۲	۵۲
جدول ۴-۹: هزینه تمام شده برق بدون نصب ظرفیت مازاد و هزینه صرفه جویی شده در سناریوی ۱-۲	۵۳
جدول ۴-۱۰: انرژی تبادلی بین کشورها در بازار و قیمت تمام شده برق در سناریوی ۲-۲	۵۵
جدول ۴-۱۱: هزینه تمام شده برق بدون نصب ظرفیت مازاد و هزینه صرفه جویی شده در سناریوی ۲-۲	۵۵
جدول ۴-۱۲: مقادیر بیشینه انرژی تولیدی کشورها در هر فصل در سناریوی سوم	۵۶
جدول ۴-۱۳: انرژی تبادلی بین کشورها در بازار و قیمت تمام شده برق در سناریوی ۱-۳	۵۷
جدول ۴-۱۴: مقادیر هزینه تمام شده برق قبل و بعد از تشکیل بازار در سناریوی ۱-۳	۵۸
جدول ۴-۱۵: هزینه صرفه جویی شده بعد از تشکیل بازار در سناریوی ۱-۳	۵۸
جدول ۴-۱۶: انرژی تبادلی بین کشورها در بازار و قیمت تمام شده برق در سناریوی ۲-۳	۶۰
جدول ۴-۱۷: مقادیر هزینه تمام شده برق قبل و بعد از تشکیل بازار در سناریوی ۲-۳	۶۱
جدول ۴-۱۸: هزینه صرفه جویی شده بعد از تشکیل بازار در سناریوی ۲-۳	۶۱
جدول پ ۱-۱: مشخصات نیروگاههای کشور قرقیزستان تا سال ۲۰۳۲ [۹]	۶۷
جدول پ ۱-۲: مشخصات نیروگاههای کشور تاجیکستان تا سال ۲۰۳۲ [۹]	۶۸
جدول پ ۱-۳: مشخصات نیروگاههای کشور افغانستان تا سال ۲۰۳۲ [۱۰]	۶۹
جدول پ ۱-۴: مشخصات نیروگاههای کشور ازبکستان تا سال ۲۰۳۲ [۹]	۷۰

فصل اول

طرح مسئله

تبدیل شدن برق به یک کالای تجاری در دنیای امروز مسائل جدیدی از دنیای اقتصاد و تجارت را وارد دنیای فنی برق کرده است. امروزه در اکثر نقاط دنیا بازارهایی برای مبادله برق با مکانیزم‌های مختلف شکل گرفته است و پژوهشگران دائماً به دنبال نزدیک‌تر کردن شرایط بازارهای برق به بازارهای موجود برای سایر کالاها می‌باشند، تا از این طریق بتوان به قیمت‌های واقعی و افزایش بازدهی بازار دست پیدا کرد [۱]. بازارهای برق موجود به دو صورت داخلی و بین‌المللی توسعه پیدا کرده‌اند و هر کدام مزایایی را به همراه داشته‌اند. تجربیات موفق پیاده‌سازی بازارهای بین‌المللی میان کشورهای همجوار در مناطقی چون اروپا، آمریکای شمالی و آفریقای جنوبی مزایای فنی و اقتصادی بسیاری به همراه داشته است. از جمله [۲-۶]:

- ۱- افزایش ضریب بار تولیدکنندگان از طریق صادرات برق در زمانهای دره مصرف و واردات در زمان قله مصرف، که بهره‌برداری بهینه از نیروگاهها را در بر دارد.
- ۲- افزایش قابلیت اطمینان سیستم و کاهش نیاز به ذخیره چرخان مورد نیاز در شبکه.
- ۳- کاهش نیاز به سرمایه گذاری برای احداث نیروگاههای جدید.
- ۴- امکان استفاده مشترک از نیروگاههای با ظرفیت بالا که در تنظیم فرکانس نقش مؤثری دارند.
- ۵- استفاده مشترک از نیروگاههای با هزینه متغیر کم که به کاهش قیمت برق می‌انجامد.

۶- اشتغال بیشتر به دلیل رونق اقتصادی در بخش تولید برق و صدور خدمات فنی و مهندسی و همچنین صادرات کالا و تجهیزات برقی به کشورهای عضو.

۷- گسترش همکاری‌های اقتصادی و فنی میان کشورهای عضو و فراهم شدن زمینه مناسب جهت نزدیکی بیشتر سیاسی.

با اینکه وجود بازارهای برق لحظه‌ای^۱ بین کشورها دارای مزایای اقتصادی و فنی بیشتری است، اما به دلیل نیاز به زیر ساخت‌های فنی، قانونی و سیاسی پیچیده همواره با چالش‌هایی برای ایجاد و عملکرد روبرو بوده است. از طرف دیگر قراردادهای بلند مدت دوطرفه بین کشورها به دلیل عدم نیاز به سازوکارهای اجرایی و قانونی پیچیده از مدت‌ها قبل بین کشورها رایج بوده و می‌تواند بستری برای ایجاد بازارهای لحظه‌ای بین‌المللی باشد [۷].

حضور کشورهایی چون تاجیکستان، قرقیزستان و ترکمنستان در منطقه آسیای میانه که دارای منابع خوبی برای تولید برق هستند و از طرف دیگر حضور کشورهای افغانستان و پاکستان در جنوب آسیا که در تأمین تقاضای برق داخلی دچار مشکل هستند، پتانسیل مناسبی برای ایجاد مبادلات برق بین این کشورها را معرفی می‌کند. از همین رو نهادهای توسعه‌ای بین‌المللی چون بانک جهانی و بانک توسعه آسیایی درصدد ایجاد بسترهای لازم برای مبادله برق بین این کشورها هستند. برای مثال پروژه «کاسا-۱۰۰۰»^۲ که توسط بانک جهانی ترتیب داده شده است، زمینه انتقال برق از کشورهای قرقیزستان و تاجیکستان به کشورهای افغانستان و پاکستان را فراهم می‌کند [۸]. هم‌زمان دو پروژه دیگر به نام «توتاپ»^۳ و «سارک»^۴ با پشتیبانی بانک آسیایی به دنبال سنکرون کردن مجدد کشورهای آسیای میانه و مهیا ساختن زمینه مبادله برق بین کشورهای آسیای میانه و افغانستان و پاکستان می‌باشند [۹-۱۱].

به دلیل عدم وجود زیرساخت‌های لازم برای ایجاد بازارهای لحظه‌ای برق بین کشورهای مذکور، انعقاد قراردادهای بلندمدت دوطرفه بین این کشورها محتمل و معقول به نظر می‌رسد. از این رو این پژوهش در صدد آن است که با ارائه مدلی برای بررسی قراردادهای بلندمدت میان این کشورها، چشم اندازی از آینده مبادلات برق در منطقه تصویر نماید. البته به دلیل محدودیت در دسترسی به اطلاعات مورد نیاز تنها موفق به بررسی کشورهای

^۱ Spot Market

^۲ CASA-1000 : Central Asia to South Asia

^۳ TUTAP: Turkmenistan, Uzbekistan, Tajikistan, Afghanistan, Pakistan Electricity Trade

^۴ CAREC: Central Asia Regional Economic Cooperation

قرقیزستان، تاجیکستان، ازبکستان و افغانستان شدیم. امید است که این پژوهش دریچه‌ای برای انجام مطالعات بعدی بر روی پتانسیل موجود در منطقه برای همکاری‌های بین‌المللی در زمینه مبادله برق باشد.

۱-۱ ضرورت انجام کار

طبق پیش‌بینی‌های انجام شده [۹-۱۱]، کشورهای تاجیکستان و قرقیزستان به خصوص در فصل تابستان، دارای مقدار قابل توجهی مازاد انرژی هستند، که این انرژی از منابع ارزان آبی تولید می‌شود. در طرف دیگر کشور افغانستان در فصل زمستان دچار کمبود شدید انرژی است و در فصل تابستان نیز برای تأمین انرژی مورد نیاز خود مجبور به استفاده از منابع حرارتی گران برای تولید برق می‌باشد. کشور ازبکستان نیز در هر دو فصل تابستان و زمستان دچار کمبود انرژی است و منابع تولید داخلی این کشور، از نوع حرارتی می‌باشند و به دلیل فرسودگی، هزینه بهره‌برداری بالایی دارند.

وضعیت پیش‌بینی شده برای این کشورها نوید دهنده وجود مبادلات گسترده برق بین کشورهای منطقه آسیای میانه و جنوب آسیا در آینده نه چندان دور می‌باشد. داشتن چشم اندازی از وضعیت این کشورها در آینده و نوع تعامل آن‌ها با یکدیگر، هم به وضوح بیشتر پتانسیل‌های موجود برای مبادله برق بین کشورها کمک می‌کند، و هم به کشورهای دخیل کمک می‌کند تا جایگاه خود در این مبادلات را به درستی بشناسند و به دنبال آن تصمیمات راهبردی درستی در زمینه مبادله برق با یکدیگر اتخاذ کنند.

۱-۲ تعریف مسئله و فرضیات

در این پژوهش به دنبال ارائه چشم اندازی از وضعیت مبادله برق بین کشورهای قرقیزستان، تاجیکستان، افغانستان و ازبکستان در سال ۲۰۳۲ هستیم. دلیل انتخاب سال ۲۰۳۲ به عنوان سال هدف مطالعه، دسترسی به برنامه‌ریزی انجام شده تا این سال برای کشورهای مورد مطالعه در [۹] و [۱۰] است. کشور ترکمنستان به دلیل عدم دسترسی به اطلاعات تولید و مصرف این کشور مورد مطالعه قرار نگرفته است.

اکثر منابع تولید برق در سه کشور افغانستان، تاجیکستان و قرقیزستان از نوع آبی و ظرفیت تولید آن‌ها وابسته به وضعیت آب می‌باشد. معمولاً این کشورها در فصول بهار و تابستان که برف کوهها آب می‌شوند، ظرفیت بهتری برای تولید برق دارند و برعکس در فصول پاییز و زمستان ظرفیت تولید کمتری دارند. کشور ازبکستان عمدتاً از منابع

گازی و ذغال سنگ برای تولید برق استفاده می کند و ظرفیت تولید این کشور خیلی وابسته به فصول سال و وضعیت آب نیست.

از طرف دیگر با رسم منحنی بار سالیانه این کشورها مشاهده می شود که اگر منحنی بار هفتگی را در نظر بگیریم، این منحنی در طول شش ماه اول سال، برای همه هفته ها تقریباً یکسان می باشد. به همین ترتیب منحنی بار هفتگی هر کدام از این کشورها برای شش ماه دوم سال نیز تقریباً یکسان است. به دلیل اینکه وضعیت تولید و مصرف برق در این کشورها در طول شش ماه اول سال تقریباً یکسان، و در طول شش ماه دوم نیز تقریباً یکسان می باشد، در این پژوهش هر سال به دو فصل شش ماهه تقسیم و به صورت مجزا بررسی شده است. شش ماهه نخست فصل به عنوان تابستان و شش ماهه دوم به عنوان زمستان در نظر گرفته شده است.

در این پژوهش منحنی بار کشورهای مورد مطالعه مطابق پیش بینی انجام شده در [۹] و [۱۰] در نظر گرفته می شود. همچنین فرض می شود که واحدهای تولیدی این کشورها در سال ۲۰۳۲ مطابق آنچه در این مراجع ارائه شده است، به بهره برداری رسیده باشند. همچنین فرض می شود که این کشورها با عقد قراردادهای بلند مدت دوطرفه به مبادله برق بپردازند و در یک همکاری به دنبال تأمین برق مورد نیاز منطقه به ارزان ترین شکل ممکن باشند. قراردادهای مذکور برای دوره های زمانی شش ماهه منعقد می گردند.

۱-۳ مروری بر ساختار پایان نامه

در فصل دوم مطالعات انجام شده بر روی کشورهای منطقه و پژوهش های انجام شده مشابه در مناطق دیگر جهان بررسی می گردند. همچنین در این فصل اطلاعات کلی از وضعیت تولید و تقاضای برق کشورهای مورد مطالعه ارائه می شود. در فصل سوم روشی برای محاسبه منحنی قیمت تمام شده برق کشورهای مختلف براساس اطلاعات موجود، و سپس یک مدل برای بازاری با قراردادهای دو طرفه بلند مدت با مشارکت این کشورها ارائه می گردد. در فصل چهارم نتایج حاصل از شبیه سازی بازار در سناریوهای مختلف، ارائه و تحلیل می شود. در فصل پنجم نتایج کلی حاصل از این پژوهش بیان و پیشنهاداتی برای ادامه کار مطرح می گردد.

فصل دوم

مرور پیشینه پژوهش

۲-۱- مقدمه

همانطور که در فصل اول اشاره شد، کمبود انرژی در کشورهای پاکستان و افغانستان از یک طرف و وجود منابع انرژی اضافی در کشورهای تاجیکستان، قرقیزستان و ترکمنستان در طرف دیگر موجب شده است که کشورهای منطقه به کمک نهادهای بین‌المللی به دنبال ایجاد بستری برای تبادل انرژی بین این کشورها باشند. تا کنون مطالعات مختلفی در منطقه برای بررسی دقیق‌تر پتانسیل‌های موجود و همچنین امکان سنجی برخی از پروژه‌های منطقه‌ای انجام گرفته است. انتقال برق و همچنین گاز طبیعی در حال حاضر رایج‌ترین راه‌های انتقال انرژی در دنیا هستند. در این منطقه نیز مطالعاتی برای انتقال برق و گاز بین کشورهای منطقه انجام شده و بر اساس همین مطالعات چند پروژه انتقال برق و گاز در منطقه تعریف شده است، که برخی از آنها در حال حاضر در مراحل اجرایی قرار دارند.

در این بین کشور افغانستان هم به عنوان یک مصرف‌کننده و هم به عنوان مسیری برای ترانزیت انرژی بین کشورهای آسیای میانه و جنوب آسیا از اهمیت خاصی برخوردار است. متأسفانه جنگ طولانی مدت در این کشور نه تنها باعث عدم توسعه زیرساخت‌ها، بلکه باعث از بین رفتن زیرساخت‌های قبلی موجود در این کشور شده است. به همین دلیل در کنار تلاش‌هایی که در جهت امنیت این کشور صورت می‌گیرد، پروژه‌هایی برای ایجاد زیربنای لازم برای توسعه این کشور نیز از سوی نهادهای بین‌المللی تأمین شده و در حال انجام است.

یکی از کارهای انجام شده برای کشور افغانستان، تهیه برنامه جامع توسعه سیستم برق این کشور توسط شرکت فیشر^۱ و با حمایت بانک توسعه آسیایی در سال ۲۰۱۳ می‌باشد [۱۰]. این برنامه‌ریزی با هدف برق‌رسانی به مناطق مختلف کشور افغانستان و ایجاد بستری برای انتقال برق بین کشورهای منطقه با کمترین هزینه^۲ ممکن انجام شده است. همچنین در سال ۲۰۱۴ الحاقیه‌ای توسط همین شرکت برای این سند تهیه شده است که در آن اثر برخی پروژه‌های منطقه‌ای بر افغانستان مورد بررسی قرار گرفته است [۱۱]. در مجموع توسعه شبکه برق افغانستان بخشی از پروژه بزرگ «توتاپ» است که هدف آن ایجاد بسترهای لازم برای مبادله آزاد برق بین کشورهای تاجیکستان، ازبکستان، ترکمنستان، افغانستان و پاکستان می‌باشد.

شرکت کانادایی اس‌ان‌سی-لاوالین^۳ در سال ۲۰۱۱ به سفارش بانک جهانی، امکان انتقال برق از کشورهای قرقیزستان و تاجیکستان به کشورهای افغانستان و پاکستان را بررسی کرده است [۸]. این پروژه با نام «کاسا-۱۰۰۰» به منظور انتقال برق از کشورهای قرقیزستان و تاجیکستان، به افغانستان و پاکستان کلید خورده و در حال حاضر در مراحل اجرایی قرار دارد. قرار است این پروژه امکان انتقال ۱۳۰۰ مگاوات برق از کشورهای تاجیکستان و قرقیزستان به افغانستان (۳۰۰ مگاوات) و پاکستان (۱۰۰۰ مگاوات) را فراهم کند.

در سال ۲۰۰۹ شرکت اسپانیایی مرکادوس از طرف بانک جهانی مأموریت گرفت که وضعیت فعلی شبکه برق کشورهای آسیای میانه، امکان اتصال مجدد شبکه برق آنها به یکدیگر و منافع حاصل از این کار را بررسی کند [۱۲]. در این گزارش، هزینه بهره‌برداری در کوتاه مدت و هزینه توسعه تولید و انتقال در بلندمدت، در دو حالت مورد بررسی قرار گرفته است. در حالت اول کشورهای منطقه به صورت جداگانه و با شبکه برق مجزا، و در حالت دوم این کشورها به صورت هماهنگ و با شبکه متصل به یکدیگر مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

در این گزارش از مدلی به نام اردنا^۴ برای انجام بهینه‌سازی مربوط به بهره‌برداری و توسعه استفاده شده است. این مدل با در نظر گرفتن منابع تولید آبی، حرارتی و تجدیدپذیر و همچنین قراردادهای واردات و صادرات برق در یک منطقه متشکل از کشورهای مختلف، برنامه‌ریزی با حداقل هزینه را برای کشورهای منطقه انجام می‌دهد. در این مدل هزینه‌های مربوط به سرمایه‌گذاری اولیه و همچنین هزینه‌های مربوط به بهره‌برداری و هزینه انرژی تأمین نشده

^۱ FICHTNER GmbH

^۲ Least Cost Planning

^۳ SNC-Lavalin

^۴ ORDENA

در نظر گرفته می‌شود. در این مدل می‌توان قیودی نظیر قیود مربوط به قابلیت اطمینان و مسائل زیست محیطی را نیز اعمال کرد. نتایج این گزارش نشان می‌دهد شرایط برای اتصال مجدد شبکه برق این کشورها مهیاست و این کار منافع زیادی در کوتاه مدت و بلند مدت در بر خواهد داشت.

در مطالعه‌ای دیگر در سال ۲۰۱۲ که با حمایت بانک توسعه آسیایی صورت گرفته، شرکت فیشنر وضعیت فعلی شبکه برق کشورهای تاجیکستان، قزاقستان، ازبکستان و قرقیزستان را بررسی کرده، و برنامه توسعه تولید و انتقال هر کشور را مورد ارزیابی قرار داده است [۹]. در این گزارش بهره‌برداری شبکه برق کشورهای مورد مطالعه در دو حالت برای سال‌های آینده شبیه‌سازی شده است. در حالت اول شبکه برق کشورها به صورت مجزا از یکدیگر بهره‌برداری می‌گردند و در حالت دوم شبکه برق کشورها از طریق خطوط انتقال ۵۰۰ کیلوولت موجود و برنامه‌ریزی شده، به یکدیگر متصل هستند. همچنین در حالت دوم فرض شده است که در مدار قرار گرفتن نیروگاه‌های همه کشورها به صورت متمرکز انجام می‌گردد. نتایج این شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که در کوتاه مدت هزینه بهره‌برداری و میزان تقاضای تأمین نشده کاهش می‌یابد و مشکل منابع آب برای کشاورزی مرتفع خواهد شد. در بلند مدت علاوه بر مزایای قبلی، کشور ازبکستان می‌تواند از احداث بخشی از نیروگاه‌های حرارتی برنامه‌ریزی شده جلوگیری کند.

در ادامه این فصل ابتدا به ارائه خلاصه‌ای از وضعیت کشورهای مورد مطالعه در این پژوهش و نتایج مطالعات صورت گرفته قبلی می‌پردازیم، سپس تعدادی از مطالعات انجام شده مشابه در سایر مناطق جهان را مرور می‌کنیم.

۲-۲- نمای کلی از وضعیت فعلی کشورهای مورد مطالعه

تجهیزات کشورهای آسیای میانه عمدتاً باقی مانده از شوروی سابق هستند. زیرساخت‌های شوروی سابق بدون نظر گرفتن مرزهای جغرافیایی فعلی بنا شده بوده است و بعد از استقلال این کشورها، امکانات باقی مانده و همچنین منابع طبیعی در هر کشور متعلق به همان کشور شد.

در زمان شوروی سابق کشورهای آسیای میانه دارای یک سیستم برق یکپارچه و همچنین یک سیستم کشاورزی پیچیده بودند. این سیستم کشاورزی دارای ذخایر اصلی آب در قرقیزستان و تاجیکستان بود، که ازبکستان و قزاقستان نیز از آن استفاده می‌کردند.

در آن زمان هزینه‌های اصلی حامل‌های انرژی، از جمله تولید و انتقال برق، در نظر گرفته نمی‌شد، زیرا سیستم اقتصادی یک سیستم متمرکز بود. اما بعد از استقلال از شوروی سابق، این کشورها با هزینه‌های واقعی تأمین

انرژی مواجه شدند. هزینه های بالای تأمین انرژی باعث شد کشورهای تاجیکستان و قرقیزستان با کمبود گاز و ذغال سنگ روبرو شوند و این مسئله مشکل تأمین برق در زمستان را برای این دو کشور ایجاد کرده است.

همانطور که اشاره شد، قبلاً شبکه برق آسیای مرکزی (CAPS)^۱ یک شبکه یکپارچه بدون در نظر داشت مرزهای سیاسی فعلی بوده است، اما با توجه به اینکه این کشورها بعد از جدایی از شوروی سابق، در پی استقلال کامل از یکدیگر بوده اند، هر کدام به طرف افزایش تولید داخلی از منابع موجود حرکت کرده اند. مثلاً کشور تاجیکستان در سال ۲۰۱۰ به طور کلی از سیستم یکپارچه CAPS، خارج شده است. همچنین کشور ترکمنستان، که در این مطالعات مورد بررسی قرار نگرفته نیز در سال ۲۰۰۳ از این سیستم جدا شده است.

عملکرد مجزای این کشورها در تأمین انرژی هزینه هایی را برای همه کشورهای دخیل بدنبال داشته است. مثلاً جدایی کشور تاجیکستان از این سیستم باعث افزایش هزینه تنظیم فرکانس برای کشورهای باقیمانده شده است. زیرا پیش از آن، تاجیکستان بوسیله نیروگاههای آبی خود این کار را انجام می داده است، اما بعد از جدایی این کشور، ازبکستان بوسیله نیروگاههای حرارتی این کار را انجام می دهد، که موجب افزایش هزینه و همچنین استرس بیشتر بر تجهیزات نیروگاهی این کشور شده است. از طرف دیگر جدایی تاجیکستان باعث شده است که این کشور نتواند از تمام ظرفیت نیروگاههای آبی خود در فصل تابستان استفاده کند، و آب پشت سدها سر ریز می شود. همچنین فرسودگی نیروگاهها یک مشکل عمومی برای کشورهای آسیای میانه است و باعث بالا رفتن هزینه تولید برق به خصوص برای نیروگاههای حرارتی شده است.

در طرف دیگر کشور افغانستان، فعلاً فاقد یک سیستم یکپارچه برق رسانی داخلی است و به لحاظ تأمین برق کاملاً متکی به کشورهای همسایه می باشد. این کشور حدود ۷۰٪ از برق مصرفی خود را از کشورهای ایران، ازبکستان، تاجیکستان و ترکمنستان تأمین می کند. موقعیت جغرافیایی این کشور باعث شده، علاوه بر اینکه خود مشتری برق کشورهای آسیای میانه است، پتانسیل خوبی برای ترانزیت برق بین کشورهای آسیای میانه و کشورهای جنوب آسیا داشته باشد.

^۱ Central Asia Power System

۲-۳- وضعیت تولید برق در کشورهای مورد مطالعه

۲-۳-۱- قرقیزستان

تولید برق در قرقیزستان کاملاً متکی به وضعیت آب در کشور می باشد. بخش اعظم نیروگاههای موجود در این کشور، از نوع آبی می باشد و اتکای تولید برق این کشور به وضعیت آب باعث بروز مشکلاتی در زمستان برای تولید برق و بخش کشاورزی می شود. وجود نیروگاههای آبی بزرگ در این کشور مزایای فراوانی از جمله هزینه پایین تولید برق، میزان کم تولید دی اکسید کربن و توانایی مشارکت در تنظیم فرکانس را به همراه دارد. از طرف دیگر این اتکا به تولیدات آبی باعث بروز مشکلاتی در سالهای کم آبی و همچنین در فصل زمستان می شود. بنابراین ایجاد نیروگاههای حرارتی به بهبود وضعیت تولید در قرقیزستان کمک فراوانی خواهد کرد.

به دلیل فرسودگی نیروگاههای موجود در این کشور برنامه توسعه تولید آن به دو بخش بازسازی نیروگاههای قدیمی و ساخت نیروگاههای جدید تقسیم می شود. نیروگاههای جدید برنامه ریزی شده تا سال ۲۰۳۲ برای کشور قرقیزستان بیشتر از نوع آبی است، و دلیل این امر پتانسیل بالای منابع آبی این کشور می باشد. از طرفی کمبود برق در زمستان و مشکلات آبی مربوط به آن در بهار، باعث گنجاندن نیروگاه حرارتی ۱۲۰۰ مگاوات در برنامه این کشور شده است. در مجموع باید در نظر داشت، برنامه ریزی نیروگاهها در کشور قرقیزستان با فرض امکان صادرات برق انجام شده است در غیر اینصورت این کشور برای تأمین نیازهای داخلی نیازی به این تعداد نیروگاه ندارد.

طبق برنامه ریزی انجام شده ظرفیت تولید برق این کشور در فصل تابستان سال ۲۰۳۲، ۷۰۸۷ مگاوات می باشد که ۵۷۸۲ مگاوات آن آبی و ۱۳۰۵ مگاوات آن حرارتی است. لازم به ذکر است که ظرفیت تولید نیروگاههای آبی این کشور در فصل زمستان به ۴۱۸۸ مگاوات کاهش می یابد. پیک بار این کشور در فصل زمستان ۳۳۱۴ مگاوات و در فصل تابستان ۱۵۸۳ مگاوات برای سال ۲۰۳۲ پیش بینی شده است. جدول پ ۱-۱ در پیوست نیروگاههای موجود و برنامه ریزی شده این کشور تا سال ۲۰۳۲ را نمایش می دهد.

۲-۳-۲- تاجیکستان

این کشور نیز مانند کشور قرقیزستان در تولید برق به وضعیت آب وابسته است. بیشترین تولید در این کشور توسط نیروگاههای آبی، بخصوص نیروگاه ۳۰۰۰ مگاواتی نورک^۱ انجام می شود. این نیروگاه ۶۵٪ برق کل کشور را تأمین می کند و از این لحاظ تأمین برق به شدت تحت تأثیر وضعیت این نیروگاه می باشد.

بیشترین مقدار تولید برق تاجیکستان در سالهای قبل از جدا شدن این کشور از سیستم برق آسیای میانه در فصل تابستان بوده است. اما بعد از آن با توجه به اینکه تقاضای داخلی تاجیکستان در فصل تابستان کم تر از میزان تولید نیروگاههای آبی است، این کشور مجبور شده است سطح تولید نیروگاهها را کم کند، در نتیجه آب ذخیره شده در پشت سدها سرریز می شوند. به همین دلیل این کشور بدنبال ایجاد ظرفیت های تازه برای صادرات برق به کشورهای همجوار مثل افغانستان می باشد.

وابستگی تولید به آب در این کشور علاوه بر مزایا و معایبی که در مورد کشور قرقیزستان مطرح شد، به دلیل وجود نیروگاه نورک که ذخیره آبی بزرگ و ظرفیت تولید بالایی دارد، پتانسیل تأمین پیک بار در زمستان را برای این کشور ایجاد میکند. گفتنی است نیروگاههای موجود در این کشور از لحاظ طول عمر، در اواخر دوره عمر مفید خود قرار داشته و نیاز به تعمیر و بازسازی اساسی دارند.

برنامه ریزی توسعه تولید این کشور نیز شامل دو بخش بازسازی نیروگاههای قدیمی و ساخت نیروگاههای جدید می شود. نیروگاههای جدید برنامه ریزی شده شامل نیروگاههای آبی به جهت افزایش توان صادرات برق در فصول پربابی و نیروگاههای حرارتی جهت رفع مشکل تأمین برق در زمستان می باشد. طبق برنامه ریزی انجام شده ظرفیت تولید برق این کشور در فصل تابستان سال ۲۰۳۲، ۹۴۶۰ مگاوات می باشد که ۸۶۶۷ مگاوات آن آبی و ۷۹۱ مگاوات آن حرارتی است. ظرفیت تولید نیروگاههای آبی این کشور در فصل زمستان به ۶۱۹۸ مگاوات کاهش می یابد. پیک بار این کشور در فصل زمستان ۴۴۸۹ مگاوات و در فصل تابستان ۴۱۴۳ مگاوات برای سال ۲۰۳۲ پیش بینی شده است. جدول پ ۱-۲ در پیوست نیروگاههای موجود و برنامه ریزی شده این کشور تا سال ۲۰۳۲ را نمایش می دهد.

^۱ Nurek