بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده صنایع و مدیریت

رشته مدیریت کسب و کار(MBA)

پایان نامه کارشناسی ارشد

بهینه‌سازی سبد نیروگاه‌های تولید انرژی برق در ایران

نگارنده: سیده اسرا احمدی

اساتید راهنما

دکتر سید مجتبی میرلوحی

دکتر محمد حسین احمدی

استاد مشاور

مجید عامری

شهریور ۱۳۹۸

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند.

و سلام و درود بر حضرت محمّد و خاندان پاک او که وجودمان وامدار وجودشان است و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز...

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پربار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم.

والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم چرا که این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی ام بوده اند، دستم را گرفته اند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموخته اند. آموزگارانی که برایم زندگی، بودن و انسان بودن را معنا کردند.

حال این برگ سبزی است تحفه درویش تقدیم آنان....

تقدیم به خواهر کوچولوی عزیزم مدیسا

که با قلب مهربانش، همیشه موجب دلگرمی من بوده و هست.

و تقدیم به اساتید فرهیخته ای که در راه کسب علم و معرفت مرا یاری نمودند، پروردگار را حسن عاقبت، سلامت و سعادت را برای آنان مقدر فرما.

تقدیر و تشکر

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق» بسی شایسته است از اساتید فرهیخته و فرزانه‌ام **جناب آقای دکتر سید مجتبی میرلوحی** و **جناب آقای دکتر محمد حسین احمدی** که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را با راهنمایی‌های کارساز و سازنده بارور ساختند، تقدیر و تشکر نمایم.

معلما مقامت ز عرش برتر باد همیشه توسن اندیشه‌ات مظفر باد

به نکته‌های دلاویز و گفته‌های بلند صحیفه‌های سخن از تو علم پرور باد

همچنین از پدر و مادر عزیز، دلسوز و مهربانم که آرامش روحی و آسایش فکری فراهم نمودند تا با حمایت‌های همه جانبه در محیطی مطلوب، مراتب تحصیلی و نیز پایان نامه درسی را به نحو احسن به اتمام برسانم، سپاسگزاری نمایم.

شکر خدا که هر چه طلب کردم از خدا، بر منتهای همت خود کامران شدم

تعهد نامه

اینجانب **سیده اسرا احمدی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **MBA** دانشکده **مهندسی صنایع و مدیریت** دانشگاه **صنعتی شاهرود** نویسنده پایان‌نامه **بهینه‌سازی سبد نیروگاه‌های تولید برق در ایران** تحت راهنمائی جناب **آقای دکتر سید مجتبی میرلوحی و جناب آقای دکتر محمد حسین احمدی و** مشاوره **جناب آقای مجید عامری** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام‌شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورداستفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج بانام «دانشگاه شاهرود» و یا «Shahrood University» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده‌شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده‌شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- **کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به‌نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.**
- **استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.**

چکیده

فقدان سرمایه‌گذاری در بخش برق، تنگنای زیادی در جریان مداوم انرژی در بازار ایجاد کرده است و این امر مشکلات فراوانی برای رشد و توسعه پایدار جامعه مدرن ایجاد خواهد کرد. دلایل اصلی این کمبود سرمایه‌گذاری، ریسک سرمایه‌گذاری موجود در بخش برق است. بنابراین باید به دنبال راهی برای کاهش این ریسک بود. یکی از راه‌های کاهش ریسک سبد، متنوع‌سازی آن است. این تحقیق مفهوم بهینه‌سازی سبد را برای نشان دادن امکان استفاده بیشتر از انرژی‌های تجدیدپذیر(شامل فناوری‌های بادی، خورشیدی و برق‌آبی) اعمال می‌کند که سبب کاهش ریسک موجود در سرمایه‌گذاری بخش برق می‌شود. این تحقیق همچنین نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند ریسک مرتبط با کل هزینه‌های ورودی را جبران کند. چنین هزینه‌هایی از بی‌ثباتی قیمت سوخت‌های فسیلی، هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه تعمیرات و عملیات و هزینه‌های زیست‌محیطی ناشی می‌شود. برای مثال، این مطالعه موردی نشان می‌دهد که ایران می‌تواند به صورت نظری در حدود ۳۳ درصد عرضه برق خود را از منابع انرژی تجدیدپذیر در مقایسه با سهم ۱۵ درصدی کنونی آن تامین کند. این پژوهش پیشنهاد می‌کند که به جای هزینه، به پیش‌بینی میزان عرضه برق و حداقل سازی ریسک توجه شود که در نتیجه افزایش عرضه انرژی‌های تجدیدپذیر را در بازار به دنبال خواهد داشت.

کلیدواژه‌ها: ریسک سرمایه‌گذاری در بخش برق، بهینه‌سازی سبد، بهینه‌سازی ریسک سبد، انرژی‌های تجدیدپذیر

فهرست مطالب

فصل اول کلیات تحقیق ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱ - ۲ بیان مسئله ۳

۱ - ۳ ضرورت، اهمیت و توجیه انجام تحقیق ۶

۱-۴ هدف تحقیق ۸

۱-۵ سوال تحقیق ۸

۱-۶ نوع تحقیق ۸

۱-۷ اطلاعات مربوط به روش شناسی پژوهش ۸

۱-۷-۱ بهینه‌سازی با رویکرد شبیه‌سازی ۸

۱-۷-۲ ابزار گردآوری اطلاعات ۹

۱-۷-۳ روش تجزیه و تحلیل داده‌ها ۹

۱-۸ نهادها یا موسساتی که می‌توانند از یافته‌های این پژوهش بهره گیرند ۱۰

۱-۹ تعریف مختصر اصطلاحات، مفاهیم و واژه‌های تخصصی ۱۰

۱ - ۱۰ نوآوری و جنبه‌های جدید پژوهش ۱۰

۱ - ۱۱ ساختار پایان نامه ۱۱

فصل دوم ادبیات موضوع وپیشینه‌ی تحقیق ۱۳

۲ - ۱ مقدمه ۱۴

۲ - ۲ مفاهیم ۱۶

۲-۲-۱ پرتفوی ۱۶

۲ - ۲ - ۲ مدیریت پرتفوی ۱۶

۲ - ۲ - ۳ بازده ۱۶
۲ - ۲ - ۴ بازده مورد انتظار یک سهم ۱۶
۲ - ۲ - ۵ بازده مورد انتظار پرتفوی ۱۷
۲ - ۲ - ۶ ریسک ۱۷
۲ - ۲ - ۷ ریسک پرتفوی ۱۸
۲ - ۲ - ۸ کاهش ریسک ۱۸
۲ - ۳ مدل مارکویتز مدل اساسی تئوری پرتفوی ۱۹
۲ - ۳ - ۱ تعیین پرتفوی کارا ۲۰
۲ - ۳ - ۲ تئوری‌های پرتفوی ۲۰
۲ - ۳ - ۳ بهینه‌سازی کلاسیک (مدل مارکویتز) ۲۱
۲ - ۴ مدل انتخاب سبد سرمایه‌گذاری مارکویتز ۲۱
۲ - ۴ - ۱ مدل میانگین-واریانس مارکویتز ۲۱
۲ - ۴ - ۲ تعیین پرتفوی کارا ۳۰
۲ - ۴ - ۳ انتخاب یک پرتفوی بهینه ۳۲
۲-۴-۴ آنالیز میانگین- واریانس پرتفوی ۳۴
۲ - ۵ مدل نیم واریانس ۳۵
۲ - ۶ مدل انحراف مطلق نیمه میانگین فازی ۳۶
۲ - ۷ نقد و بررسی ادبیات ۳۸
۲ - ۷ - ۱ رویکرد میانگین-واریانس (مطالعات اولیه) ۳۸
۲ - ۷ - ۲ رویکرد میانگین-واریانس (مطالعات اخیر) ۳۸
۲ - ۷ - ۳ رویکردهای فازی ۴۵
۲ - ۷ - ۴ رویکردهای تلفیقی ۴۶
۲ - ۷ - ۵ برآورد ظاهرا غیرمرتبط ۵۰
۲ - ۷ - ۶ روش‌های جایگزین برای محاسبه ریسک و بازده ۵۰

۲ -۷-۷جمع‌بندی ۵۲

فصل سوم روش تحقیق..... ۵۵

۳ - ۱ مقدمه..... ۵۶

۳ - ۲ روش پژوهش ۵۶

۳ - ۳ قلمرو پژوهش ۵۶

۳ - ۳ - ۱ قلمرو موضوعی ۵۶

۳ - ۳ - ۲ قلمرو مکانی..... ۵۷

۳ - ۳ - ۳ قلمرو زمانی ۵۷

۳ - ۴ روش گردآوری اطلاعات ۵۷

۳ - ۵ فرایند پژوهش ۵۷

۳ - ۶ مفروضات اصلی ۵۹

۳ - ۶ - ۱ مدل بهینه‌سازی با رویکرد شبیه‌سازی ۶۰

۳ - ۶ - ۲ تکنیک شبیه سازی..... ۶۳

فصل چهارم نتایج ۶۵

۴ - ۱ مقدمه ۶۶

۴ - ۲ بررسی ریسک-بازده-هزینه سبد ۶۷

۴ - ۳ پیش بینی عرضه انرژی‌های تجدیدپذیر ۶۹

۴ - ۴ بهینه‌سازی با رویکرد شبیه‌سازی ریسک سبد ۷۱

۴ - ۴ - ۱ سناریوی پایه با حداقل عرضه انرژی تجدید پذیر ۷۲

۴ - ۴ - ۲ سناریوی قیمت بالای سوخت فسیلی..... ۷۳

۴ - ۴ - ۳ سناریو هزینه‌های بالای سرمایه عرضه انرژی تجدید پذیر (سناریو ۳)..... ۷۵

۴ - ۵ جمع‌بندی ۷۸

فصل پنجم: خلاصه، نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۷۹

۵ - ۱ مقدمه ۸۰
۵ - ۲ توصیه‌هایی برای سیاست‌گذاری و پیشنهاد برای مطالعات آینده ۸۲
۵ - ۳ محدودیت‌های تحقیق ۸۳
۵ - ۴ پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی..... ۸۳

فهرست اشکال

شکل ۱-۱: اطلس منابع انرژی‌های تجدیدپذیر- حوزه انرژی خورشیدی ۷
شکل ۱-۲ : اطلس منابع انرژی‌های تجدیدپذیر-حوزه انرژی باد ۷
شکل ۲-۱ الف: بازده مورد انتظار و ریسک گروهی از اوراق بهادار ب: مجموعه پرتفوی‌های کارا ۳۱
شکل ۲-۲: انتخاب پرتفلیو بهینه بر روی مرز کارا ۳۳
شکل ۲-۳: مدل میانگین- واریانس پرتفوی(مدلنر، ۲۰۱۱) ۳۵
شکل ۳-۱ :نمودار فرآیندمحاسبات در یک شبیه سازی مونت کارلو ۶۱
شکل ۴-۱: مرز کارای مسئله در مدل مارکویتز ۶۷
شکل ۴-۲: نمودار ریسک-هزینه (هزینه بر حسب میلیون ریال بر کیلووات ساعت) ۶۸
شکل ۴-۳: نمودار ریسک-بازده ۶۸
شکل ۴-۴: پیش‌بینی مقدار بهینه ریسک با در نظر گرفتن فن‌آوری تجدیدپذیر ۷۶
شکل۴-۵: پیش بینی هزینه مورد انتظار در سناریو ۱ ..... ۷۶
شکل۴-۶: پیش بینی سهم فن‌آوری‌های تجدیدپذیر در سناریوی۱ ..... ۷۶
شکل۴-۷: پیش بینی سهم فن‌آوری‌های تجدید پذیر در سناریوی۲ ..... ۷۷
شکل۴-۸: پیش بینی هزینه مورد انتظار در سناریوی۲ ..... ۷۷
شکل۴-۹: پیش بینی هزینه مورد انتظار در سناریوی۳ ..... ۷۷
شکل۴-۱۰: پیش‌بینی سهم فن‌آوری‌های تجدیدپذیر در سناریوی۳ ..... ۷۸

فهرست جداول

جدول ۱-۱: سهم نیروگاه‌های مختلف تولید برق کشور ۵

جدول ۱-۲: مصرف سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌ها ۵

جدول۴-۱: خصوصیات سبد فعلی فن‌آوری‌های تولید برق در ایران ۶۶

جدول ۴-۲: مقایسه ریسک و هزینه سبد در حالت با و بدون نیروگاه‌های تجدیدپذیر ۷۰

جدول ۴-۳: توابع توزیع و پارامترهای فن‌آوری‌های سبد ۷۱

جدول ۴-۴: سبد بهینه (سناریو۱) ۷۳

جدول ۴-۵: سبد بهینه (سناریو۲) ۷۴

جدول ۴-۶: سبد بهینه (سناریو ۳) ۷۵

جدول ۵-۱: مقایسه سناریوهای مختلف ۸۲

فصل اول کلیات تحقیق

۱ - ۱ مقدمه

رفاه جامعه مدرن به شدت به ثبات عرضه انرژی آن بستگی دارد. متاسفانه در جهان امروز، بیشتر کشورها صرف‌نظر از سطح توسعه خود، به‌طور فزاینده با چالش‌هایی مانند ثبات عرضه انرژی، به‌ویژه در بخش برق، مواجه هستند. فقدان سرمایه‌گذاری در بخش برق، تنگنای زیادی در جریان مداوم انرژی در بازار ایجاد کرده است و این امر مشکلات فراوانی برای رشد و توسعه پایدار جامعه مدرن ایجاد خواهد کرد .دلایل اصلی این کمبود سرمایه‌گذاری، ریسک سرمایه‌گذاری موجود در بخش برق است. در روش تولید برق از سوخت‌های فسیلی، تولید انرژی بر اساس فن‌آوری‌های کم هزینه است که در آن دستگاه‌ها پیشرفت تکنولوژیکی نسبتا کند (در مقایسه با رشد سریع پیشرفت فعلی) دارند. فن‌آوری‌های تولید انرژی، همگن و قیمت‌های انرژی پایدار هستند. امروزه با کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی در جهان، استفاده از انرژی‌های نو و تجدیدپذیرکه آلایندگی زیست‌محیطی هم به دنبال نداشته باشند، نقش پررنگی در سبد[1] انرژی کشورهای مختلف جهان به دست آورده است؛ زیرا راهکاری اساسی در جهت دستیابی به توسعه پایدار است و اگر انرژی به نحوی تولید و مصرف شود که توسعه را در بلندمدت در تمام ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی تأمین کند، مفهوم انرژی پایدار تحقق خواهد یافت. براین اساس می‌توان گفت تامین انرژی پایدار ضرورت توسعه پایدار است. به همین دلایل، در سال‌های اخیر کشورهای پیشرفته و درحال‌توسعه، توجه فزاینده‌ای به انرژی‌های تجدیدپذیر (انرژی خورشید، باد و غیره) برای ایجاد تنوع در استفاده از منابع انرژی،کاهش وابستگی به یک حامل انرژی و ملاحظات زیست‌محیطی در جهت دستیابی به انرژی پایدار معطوف داشته‌اند. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و روش‌های سازگار با محیط زیست برای تولید برق، یکی از اولویت‌های امروزکشورهای توسعه‌یافته به شمار می‌رود.

در دنیای امروز، برنامه‌ریزان انرژی با محیط‌های فوق‌العاده پیچیده، پر از عدم اطمینان و ریسک مواجه هستند. اگر موضوع از دید سرمایه‌گذاران بررسی شود، آن‌ها عموما با ریسک‌های گوناگون ازجمله ریسک نرخ بهره،

[1] Portfolio

ریسک تورم، ریسک نقد شوندگی، ریسک قدرت خرید و غیره مواجه هستند و به طور خاص در بخش برق با ریسک‌هایی ازجمله تغییرات قیمت سوخت[۲]، هزینه‌های سرمایه‌گذاری[۳]، مالیات‌های زیست‌محیطی[۴] و هزینه تعمیرات و عملیات[۵] روبه‌رو هستند که وجود این مسئله خود عاملی برای دلسردی و عدم انگیزه برای سرمایه‌گذاران است و درنتیجه باید به دنبال راهی برای کاهش این ریسک بود. در این فصل از پژوهش، به شرح و بیان مسئله مورد نظر و ضرورت انجام این پژوهش اشاره شده است و در ادامه اهداف و سوالات پژوهش مطرح شده است و در نهایت به شرح روش پژوهش و قلمرو آن و تعریف واژه‌های استفاده شده در پژوهش پرداخته شده است.

۱ - ۲ بیان مسئله

مسئله اصلی پژوهش، بهینه‌سازی سبد نیروگاه‌های تولید برق در ایران است. متنوع‌سازی سبد سرمایه‌گذاری یکی از روش‌های کاهش ریسک است. بنابراین اضافه کردن انرژی‌های تجدیدپذیر و استفاده از این فن‌آوری‌ها در کنار فن‌آوری‌های موجود، یعنی نیروگاه‌های سوخت‌های فسیلی، راه‌حلی منطقی به نظر می‌آید. بنابراین، در محیط‌های پیچیده و پر از ریسکی مانند محیط سرمایه‌گذاری، چگونگی تشکیل سبدهای بهینه با ریسک و بازده معقول و مناسب، مسئله اساسی است.

بدین منظور، به یک سری زمانی از هزینه‌های تولیدی با هریک از روش‌ها و فن‌آوری‌های تولید برق نیاز داریم. سپس همانند سایر مطالعات انجام شده در این زمینه که در فصل دوم به آن‌ها اشاره شده است، درصد تغییرات میزان تولید بر واحد هزینه هر سال را به عنوان معیار بازده و انحراف معیار استاندارد درصد تغییرات هزینه هر فن‌آوری را به عنوان معیار ریسک در نظر گرفته شده و با جایگذاری در مدل مارکویتز و رسم مرز کارا و مقایسه دو حالت پرتفوی با انرژی‌های تجدید پذیر و بدون آن به سوالات مسئله پژوهش پاسخ داده خواهد شد.

چالش‌های بخش انرژی کشور نظیر شدت مصرف بالا، کارایی و بهره‌وری پائین آن، بالا بودن هدررفت در

[2] Fuel costs
[3] Capital costs
[4] Co_2 Taxe
[5] Operation and Maintanence

بخش‌های مختلف تولید، تبدیل و توزیع انرژی کشور، به کارگیری فناوری‌های قدیمی و انرژی بر و بالا بودن نرخ انتشار گازهای گلخانه‌ای وآلاینده، توجه به استفاده از نیروگاه‌های تجدیدپذیر را در کشور ضروری می‌سازد. توجه به این فن‌آوری‌های انرژی، سبب ایجاد تنوع در منابع انرژی، توسعه پایدار و ایجاد امنیت انرژی در کشور می‌گردد. در سال۱۳۹۵، از کل ۷۶۴۸۳/۹ مگاوات ظرفیت نیروگاهی کشور، به ترتیب۱۱۸۳۶/۲ و ۲۵۶/۴ مگاوات به نیروگاه‌های تجدیدپذیر با احتساب نیروگاه‌های برق‌آبی و بدون احتساب نیروگاه‌های برق‌آبی تعلق داشت (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۵). با توجه به اهمیت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، قانون‌گذار در ماده ۵۰ قانون برنامه پنج ساله ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران، دولت را مکلف نموده است که سهم نیروگاه‌های تجدیدپذیر و پاک را با اولویت سرمایه‌گذاری بخش غیر دولتی (داخلی و خارجی) با حداکثر استفاده از ظرفیت داخلی، تا پایان اجرای قانون برنامه به حداقل ۵ درصد ظرفیت برق کشور برساند. در این سال، انرژی برق مورد نیاز کشور توسط نیروگاه‌های وابسته به وزارت نیرو، صنایع بزرگ و بخش خصوصی متشکل از ۲۰ نیروگاه بخاری، ۵۳ نیروگاه گازی، ۲۵ واحد تولید پراکنده[۶]، ۲۱ نیروگاه سیکل ترکیبی، ۴۶ نیروگاه دیزلی، ۵۶ نیروگاه آبی (بزرگ، متوسط، کوچک و مینی، ۲۳۹ توربین بادی، ۱۷ واحدفتوولتاییک، ۵ نیروگاه بیوگاز سوز و۲ نیروگاه بازیافت حرارتی تأمین شده است. از این تعداد نیروگاه، ۶ نیروگاه بخاری، ۲۸ نیروگاه گازی، ۲۵ واحد تولید پراکنده، ۱۷ نیروگاه سیکل ترکیبی، ۴ نیروگاه آبی، ۲۲۸ توربین بادی، ۱۱ واحدفتوولتائیک، ۵ نیروگاه بیوگازسوز و۲ نیروگاه بازیافت حرارتی تحت مالکیت بخش خصوصی می‌باشند. جدول۱-۱ سهم هر نیروگاه را در سبد نیروگاه‌های تولید برق کشور در سال ۱۳۹۵ نشان می‌دهد. همچنین جدول۱-۲، بیانگر مقدار مصرفی سوخت‌های فسیلی را در نیروگاه‌های کشور در سال ۱۳۹۵می‌باشد. با توجه به سیاست های اخیر مبنی بر استفاده هر چه بیشتر از گازطبیعی در نیروگاه‌ها و در پی اقدامات گسترده گازرسانی به نیروگاه‌ها، به دلایل مختلف از جمله سهولت بهره‌برداری و کاهش هزینه‌های تعمیرات و عملیات و کاهش اثرات سوء زیست‌محیطی تلاش شده که از این سوخت بیش از سایر سوخت‌ها استفاده شود.

[6] CHP-D

جدول ۱-۱: سهم نیروگاه‌های مختلف تولید برق کشور

	نوع فن‌آوری	سهم در سبد تولید برق (درصد)
نیروگاه‌های فسیلی	نیروگاه بخاری	۲۰/۷
	نیروگاه گازی	۳۶/۴
	نیروگاه سیکل ترکیبی	۲۵/۵
	نیروگاه دیزلی	۰/۶
	نیروگاه برق‌آبی	۱۵/۱
نیروگاه‌های تجدیدپذیر	نیروگاه بادی، خورشیدی	۱/۷

منبع: ترازنامه انرژی-۱۳۹۵

جدول ۱-۲: مصرف سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌ها

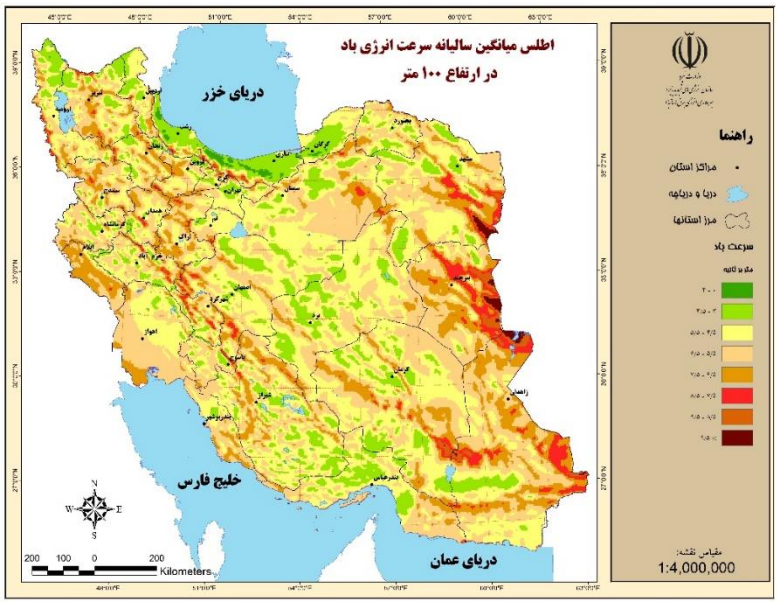
نوع سوخت	مقدار مصرف
گاز طبیعی	۶۱/۸ میلیارد متر مکعب
نفت کوره	۴/۵ میلیارد لیتر
نفت گاز	۹/۵ میلیارد لیتر
گاز کوره بلند	۲/۴ میلیارد متر مکعب
گاز کک	۹/۶ میلیون متر مکعب

منبع: ترازنامه انرژی-۱۳۹۵

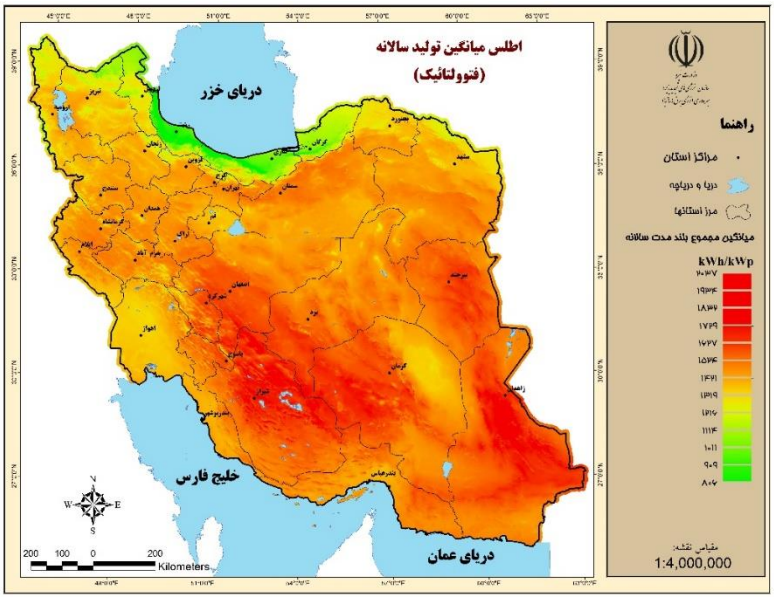
۱ - ۳ ضرورت، اهمیت و توجیه انجام تحقیق

همانطور که بررسی شد، ریسک موجود در بخش برق عاملی برای عدم انگیزه سرمایه‌گذاران جهت سرمایه‌گذاری در این بخش است. بنابراین باید به دنبال روشی برای کاهش این ریسک بود و آن روش، متنوع‌سازی سبد است. بر طبق آن‌چه که بیان شد، متنوع‌سازی سبد برق کشور با فن‌آوری‌های تجدیدپذیر که آلایندگی زیست‌محیطی هم به دنبال ندارند، راهی منطقی به نظر می‌آید. به این دلیل که ایران دارای پتانسیل غنی انرژی‌های تجدیدپذیر است. در این قسمت به طور خلاصه به ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران پرداخته می‌شود. انرژی خورشیدی قابلیت زیادی برای برآوردن نیاز جهان در آینده به عنوان یکی از منابع تجدیدپذیر دارد. کشور ایران به دلیل شرایط جغرافیایی خاص، ظرفیت‌های زیادی برای استفاده از انرژی‌های برق‌آبی، بادی و خورشیدی دارد (شکل۱-۱ و ۱-۲) و در صورت سرمایه‌گذاری‌های جدید می‌توان از این نعمت خدادادی به بهترین شکل بهره‌مند شد. کشورمان در منطقه‌ای واقع‌شده که با داشتن حدود ۳۰۰ روز آفتابی ازنظر دریافت انرژی خورشیدی در میان نقاط مختلف جهان در بالاترین رده‌ها قرار دارد. لذا استفاده از انرژی‌های خورشیدی و بادی به دلایل مختلف مانند دسترسی آسان و سهولت تبدیل‌شدن به انرژی الکتریکی، سازگاری با محیط زیست و تجدیدپذیری، از مطلوبیت زیادی برخوردار است. ایران در صورت تجهیز مساحت بیابانی خود به فن‌آوری‌های دریافت انرژی تابشی می‌تواند انرژی موردنیاز بخشی از منطقه را هم تامین کند و درزمینه‌ی صدور انرژی برق فعال شود. محدودیت منابع فسیلی، رشد بالای مصرف سالانه انواع انرژی در ایران، خارج شدن کشورمان از جرگه صادرکنندگان نفت از اواخر قرن حاضر و بالطبع قطع درآمدهای ناشی از صدور نفت، سبب می‌شود که در صورت نبود برنامه‌ریزی و پیشرفت‌های لازم، روند توسعه کشور به‌طورجدی تحت تأثیر قرار گیرد. سرمایه‌گذاری در صنعت برق خورشیدی، سرمایه‌گذاری برای استقلال انرژی است و کشورهایی که بتوانند زیرساخت‌های انرژی خورشیدی و شبکه برق خود را سریع‌تر گسترش دهند، در رقابت برای تولید برق و توسعه اقتصادی، یک گام جلوتر از رقیبان‌شان خواهند بود (قدیمی, سید علیرضا؛ سید رضا اسحاقی؛ پوریا نصرآبادی و هانا همتی، ۱۳۹۱) (لطفی, محمدجواد؛ محمدمهدی قیاسوند؛ سمانه زیبازاده و علیرضا رحیمی،

(۱۳۹۷



شکل ۱-۱: اطلس منابع انرژی‌های تجدیدپذیر- حوزه انرژی خورشیدی



شکل ۱-۲ : اطلس منابع انرژی‌های تجدیدپذیر-حوزه انرژی باد

۱-۴ هدف تحقیق

این تحقیق به دنبال یافتن پاسخ این سوال است که بهینه‌سازی سبد نیروگاه‌های تولید برق در ایران با استفاده از چه روشی امکان‌پذیر است؟

از این رو می‌توان اهداف تحقیق را به صورت زیر بیان داشت:

- بررسی امکان متنوع‌سازی سبد نیروگاه‌های تولید برق در ایران با اضافه کردن نیروگاه‌های تجدیدپذیر
- بررسی بهینه‌سازی سبد به لحاظ ریسک و بازده در اثر متنوع‌سازی با اضافه کردن نیروگاه‌های تجدیدپذیر

۱-۵ سوال تحقیق

در این پژوهش به دو سوال زیر پاسخ داده می‌شود:

- آیا افزایش تنوع در سبد فن‌آوری‌های تولید برق با اضافه کردن انرژی‌های تجدیدپذیر به آن موجب بهینه‌سازی سبد (افزایش بازده و کاهش ریسک) خواهد شد؟
- آیا اضافه کردن نیروگاه‌های تجدیدپذیر به سبد تولید برق کشور به لحاظ هزینه‌ای منطقی است؟

۱-۶ نوع تحقیق

پژوهش حاضر از نوع مدل‌سازی است که به لحاظ بعد کمی و کیفی یک مطالعه کمی می‌باشد و جزو مطالعات میدانی است. از نظر هدف، تحقیق کاربردی است.

۱-۷ اطلاعات مربوط به روش شناسی پژوهش

۱-۷-۱ بهینه‌سازی با رویکرد شبیه‌سازی

روش‌های مونت کارلو در واقع جنبه کاربردی شبیه سازی ت صادفی با توجه به گ سترش و ر شد و پی شرفت رایانه‌ها اســـت. این روش‌ها با انجام تکرار بســـیار زیاد الگوریتم‌ها و محاســـبات رایانه‌ای همراه‌اند، که انجام آزمایش‌ها و محاســبات نظری بســیار پیچیده یا پر هزینه اســت. روش‌های مونت کارلو برای مســائل پیچیده

غیرخطی با درجه عدم قطعیت زیاد به کار می‌رود. هسته اصلی هر روش شبیه سازی تصادفی یا روش‌های مونت کارلو بر مبنای استفاده مداوم از اعداد تصادفی است. طبق تعریف ریاضی عدد تصادفی، عددی است که کاملا شانسی و بدون در نظر گرفتن قواعد خاصی معین می شود. در رایانه معمولا اعداد تصادفی بر مبنای قواعد ماشین تهیه می شود. بهینه سازی با رویکرد شبیه سازی می‌تواند تعداد بسیار بیشتری از سناریوها را نسبت به روش بهینه‌سازی سنتی بررسی کند و همچنین می‌تواند با عدم اطمینان‌هایی که در عوامل ورودی وجود دارد، مقابله کند. به همین دلیل است که برای تجزیه و تحلیل فعلی از این شیوه استفاده شده است.

۱-۷-۲ ابزار گردآوری اطلاعات

به منظور تهیه ادبیات موضوع، مبانی نظری و آگاهی از مفاهیم، تعاریف و ابزارها، استفاده از کتاب‌ها، مقالات مرتبط، پایگاه‌های اطلاعاتی اینترنتی و سایت‌های مرتبط با موضوع در دستور کار قرار گرفت.

به منظور اینکه یافته‌های پژوهش از قابلیت اطمینان بیشتری برخوردار باشند، داده‌های مورد نیاز بر اساس اطلاعات موجود در ترازنامه انرژی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۷، جمع‌آوری اطلاعات از وزارت نیرو، پژوهشکده نیرو و گزارش‌های منتشره از سایت‌های www.moe.gov.ir ، www.satba.gov.ir، www.irena.org، www.iea.org جمع‌آوری شد.

۱-۷-۳ روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

به طور کلی گام‌های اساسی در انجام تحقیق حاضر به شرح زیر است:

- پیش‌بینی سری زمانی برای ۱۰ سال آینده بر اساس داده‌های تاریخی
- تعریف شاخصی به نام HPR برای بازده و ریسک برای ورود به مدل مارکویتز
- محاسبه HPR برای سری‌های زمانی هر فن‌آوری
- محاسبه ماتریس واریانس-کوواریانس
- شبیه‌سازی با استفاده از نرم افزار Crystal Ball
- رسیدن به جواب بهینه

۱-۸ نهادها یا موسساتی که می‌توانند از یافته‌های این پژوهش بهره گیرند

- وزارت نیرو
- سازمان انرژی‌های تجدید پذیر و بهره‌وری انرژی (ساتبا)
- پژوهشکده نیرو
- تمامی شرکت‌ها، موسسات و نهادهایی که به نحوی با بازار برق کشور تعامل داشته و در آن فعالیت می‌نمایند.

۱-۹ تعریف مختصر اصطلاحات، مفاهیم و واژه‌های تخصصی

- همانطور که از عنوان این بخش نیز پیدا ست، تعاریف ارائه شده در این ق سمت، تا حد امکان خلاصه گردیده‌اند و صرفا جهت آشنایی کلی خوانندگانی است که برای ایشان، موضوع پژوهش کاملا نو می‌باشد. شرح گسترده این تعاریف، به همراه توضیحات جانبی و جزئیات بیشتر، در فصل دوم این پژوهش ارائه خواهد شد.
- **پرتفوی:** به عبارت ساده، به ترکیبی از دارایی‌ها گفته می‌شود که توسط یک سرمایه‌گذار برای سرمایه‌گذاری تشکیل می‌شود. این سرمایه‌گذار می‌تواند یک فرد یا یک موسسه باشد.
- **مدیریت پرتفوی:** مطالعه تمام جنبه‌های پرتفوی، مدیریت پرتفوی نام دارد. این واژه در برگیرنده مفاهیم تئوری پرتفوی است که بخش مهمی از سرمایه‌گذاری را شامل می‌شود.
- **بازده:** میانگین معکوس HPR سری زمانی هر فن‌آوری به عنوان بازده آن فن‌آوری تعریف شده است.
- **ریسک:** انحراف معیار استاندارد HPR سری زمانی هر فن‌آوری به عنوان ریسک آن فن‌آوری تعریف شده است.

۱ - ۱۰ نوآوری و جنبه‌های جدید پژوهش

جنبه نوآوری تحقیق انجام این پژوهش برای اولین بار در بخش تولید برق ایران است. به علاوه برای محاسبه

بازده از شاخص HPR[7] (بازده دوره نگهداری) استفاده شده است.

۱ - ۱۱ ساختار پایان نامه

در فصل اول، ضمن بیان مقدمه‌ای درباره اهمیت استفاده از نیروگاه‌های تجدید پذیر و تاثیر آن بر بهینه‌سازی سبد تولید برق ایران ،مسئله را شرح دادیم. در فصل بعد توضیحات بیشتر درباره‌ی ریسک سبد و روش‌های بهینه‌سازی آن، پیشینه‌ای از تحقیقات گذشته در این زمینه نیز مطرح می‌شود. سپس در فصل سوم، در مورد روش تحقیق، ابزار گردآوری اطلاعات و روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها توضیحاتی داده می‌شود. در فصل۴، داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند و پاسخ سوالات فوق داده می‌شود و در انتها، در مورد نتایج تحقیق بحث خواهد شد و ضمن بیان محدودیت‌های تحقیق، پیشنهاداتی در مورد تحقیقات آینده نیز مطرح می‌گردد.

[7] Holding Period Return

فصل دوم ادبیات موضوع و پیشینه‌ی تحقیق

۲ - ۱ مقدمه

در این بخش یک بررسی اجمالی از ادبیات نظری و کاربردی با هدف آنالیز میانگین-واریانس پرتفوی استفاده شده در مطالعات پرتفوی‌های کارای تولید برق، ارائه شده است. ادبیات مروری بر آنالیز مزایای کاهش ریسک پرتفوی متنوع‌سازی شده با فن‌آوری‌های مختلف در مقایسه با استفاده از یک نوع فن‌آوری و توجه به محدودیت‌های دنیای واقعی در محاسبات، تمرکز می‌کند. جدیدترین تحقیقات انجام شده با هدف شناسایی مزایای متنوع‌سازی فن‌آوری‌ها و پراکندگی جغرافیایی به عنوان عوامل کاهش ریسک بوده است. تعدادی از مطالعات، اطلاعات خاصی در خصوص تفاوت قوانین کشوری و پتانسیل منابع طبیعی را نیز در محاسبات در نظر گرفته اند. مطالعات دیگر بر تکنیک‌ها و جنبه‌های مرتبط با سیستم، نظیر محدودیت ارسال و محدودیت‌های پرتفوی که از محدودیت شبکه و منابع متناوب تولید با انرژی تجدید پذیر ناشی می‌شوند، تمرکز دارند. رویکردهای مکملی برای آنالیز میانگین-واریانس پرتفوی مانند آنالیز اختیارات واقعی[۸] و مدل‌سازی فازی و اندازه‌گیری ریسک مانند CVaR[۹]، VaR[۱۰] و غیره به طور خلاصه بحث شده‌اند. استفاده از نظریه پرتفوی مارکویتز، برای ارائه دیدگاه‌های جدید به تصمیم‌گیرندگان و سیاست‌گذاران در مورد نقش احتمالی و مزایای بالقوه نیروگاه‌های تجدیدپذیر برای تولید برق و تعیین مقدار بهینه تنوع نیروگاه‌ها مفید است و همچنین بین تنوع انرژی و سهم عرضه انرژی ارتباط ایجاد می‌کند. هدف از این فصل بررسی برخی ادبیات مربوطه و مطالعات اخیر است. به طور کلی این زمینه تحقیقی در سال‌های اخیر به سرعت در حال گسترش است. در این رابطه تلاش شده تا تعدادی از مقالاتی که اخیرا منتشر شده‌اند، اضافه شود. به عنوان مثال مورگان بازیلیان[۱۱] و فابیان روکس[۱۲] در سال ۲۰۰۸ ادبیات نوشته شده توسط اوربوچ، کسی که در زمینه بهینه سازی سبد انرژی مشهور است را ویرایش کردند. در بازارهای رقابتی برق، تولیدکنندگان با ریسک‌های زیادی از جمله تغییرات

[8] Real options analysis
[9] Conditional Value at Risk
[10] Value at Risk
[11] Morgan Bazilian
[12] FA Roques

قیمت سوخت، برق و قیمت دی اکسید کربن مواجه هستند. این امر مدیریت ریسک را به عنوان یکی از مهم‌ترین اهداف، یعنی فرآیند دستیابی به توازن بازده- ریسک مورد انتظار، با اقدامات استراتژیک، همچنین از ایجاد پرتفوی‌های ناکارامد دارایی‌های واقعی جلوگیری می‌کند. رویکردهای سنتی به اندازه کافی ریسک و عدم اطمینان را شامل نمی‌شوند و بنابراین باید با رویکردهایی که قادر به انجام آن هستند، تکمیل شود. علاوه بر این، این مسئله که ایجاد تنوع در برخی از ریسک‌ها امکان ناپذیر است، در چنین تحلیل‌هایی نادیده گرفته می‌شود. بخش عمده‌ای از تحقیقات نظری و کاربردی در مورد هزینه‌های پرتفوی از طریق تطبیق بازده و ریسک سرمایه‌گذاری مطابق با تصمیمات و ترجیحات سرمایه‌گذار است. در حالی که بحث کمتری در مورد اندازه‌گیری بازده مورد انتظار وجود دارد، بیشتر مطالعات بر مناسب‌ترین روش مدل‌سازی و اندازه‌گیری ریسک سرمایه‌گذاری تمرکز دارند. بیشتر ادبیات در بسیاری از حوزه‌های تصمیم‌گیری از رویکرد مارکویتز مطرح شده است که هر تصمیمی در شرایط عدم اطمینان می‌تواند از لحاظ ریسک و بازده بررسی شود(مارکویتز[۱۳]، ۱۹۵۲). اما چند سال بعد مارکویتز پی برد که اندازه‌گیری ریسک در شرایط عدم اطمینان همیشه نمی‌تواند با روش‌های دو طرفه مانند واریانس به دست آید (مارکویتز، ۱۹۵۹).

آنالیز میانگین-واریانس پرتفوی برای دیگر روش‌های موجود در مباحث مالی مانند مدل قیمت‌گذاری دارایی[۱۴] ،آنالیز اختیارات واقعی و غیره مکمل است. این روش معمولا به صورت استاتیک (تجزیه و تحلیل یک دوره) است، در حالی که روش‌های پویا هنوز آنچنان گسترش نیافته‌اند. اصول تئوری مالی در حوزه انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد و مفاهیم پرتفوهای کارا را بیان می‌کند (پذیرش حداقل ریسک در مقابل یک بازده معین و یا حداکثر بازده در مقابل سطح معینی از ریسک، توسط سرمایه‌گذار ریسک‌گریز است) (مارکویتز[۱۵]، ۱۹۵۲). با این وجود، تحقیقات بیشتری در خصوص ویژگی‌های دارایی‌های واقعی تولید برق (در مقابل دارایی‌های مالی) در بخش انرژی وجود دارد.

[13] Markowitz, H
[14] Capital Asset Pricing Model
[15] Markowitz, H

۲ - ۲مفاهیم

۲ - ۲ - ۱پرتفوی

به عبارت ساده، به ترکیبی از دارایی‌ها گفته می‌شود که توسط یک سرمایه‌گذار برای سرمایه‌گذاری تشکیل می‌شود. این سرمایه‌گذار می‌تواند یک فرد یا یک موسسه باشد. از نظر تکنیکی، یک پرتفوی در برگیرنده مجموعه‌ای از دارایی‌های واقعی یا مالی سرمایه‌گذاری شده توسط یک سرمایه‌گذار است. به عبارت دیگر می‌توان گفت، پرتفوی مجموعه دارایی‌های یک نفر یا یک سازمان است. معنی ساده واژه پرتفوی سرمایه‌گذاری، سبد سرمایه‌گذاری به طور عام و سبد دارایی یا سهام به طور خاص، عبارت است از ترکیب دارایی‌های سرمایه‌گذاری شده توسط یک سرمایه‌گذار اعم از فرد یا نهاد است. به لحاظ فنی، یک سبد سرمایه‌گذاری، مجموعه کامل دارایی‌های حقیقی و مالی سرمایه‌گذار را در بر می‌گیرید. اغلب مردم، از روی برنامه و علم، یا از روی تصمیم‌های غیر مرتبط به هم، سبدی از دارایی‌ها (هم حقیقی و هم مالی) دارند. به طور خلاصه، به مجموعه‌ای شامل چند دارایی، پرتفوی دارایی می‌گویند (پی جونز[16]، ۱۳۸۰).

۲ - ۲ - ۲ مدیریت پرتفوی

مطالعه تمام جنبه‌های پرتفوی، مدیریت پرتفوی نام دارد. این واژه در برگیرنده مفاهیم تئوری پرتفوی است که بخش مهمی از سرمایه‌گذاری را شامل می‌شود (همان منبع، ۱۳۸۰).

۲ - ۲ - ۳ بازده

بازده سرمایه‌گذاری در سهام، در یک دوره معین، شامل هرگونه وجوه نقدی دریافتی به اضافه‌ی تغییرات قیمت در طول دوره، تقسیم بر قیمت اوراق یا دارایی در زمان خرید است (همان منبع، ۱۳۸۰).

۲ - ۲ - ۴ بازده مورد انتظار یک سهم

سرمایه‌گذاران، سهام را به خاطر بازده آتی آن خریداری می‌کنند. از آنجا که این بازده غیرقطعی است، بازده

[16] Jones, charles Parker

مورد انتظار سهام درواقع قضاوت‌هایی احتمالی هستند. بنابراین جهت محاسبه بازده مورد انتظار یک سهم، سرمایه‌گذار به تخمین بازده واقعی قابل‌دستیابی سهم به‌علاوه احتمال وقوع هر بازده ممکن نیاز دارد که در واقع این دو مؤلفه‌های یک توزیع احتمال هستند (همان منبع، ۱۳۸۰).

۲ - ۲ - ۵ بازده مورد انتظار پرتفوی

بازده مورد انتظار برای مجموعه‌ای از اوراق بهادار که تشکیل پرتفوی می‌دهند، برابر با میانگین وزنی بازده مورد انتظار کلیه‌ی اوراق بهادار تشکیل دهنده‌ی پرتفوی می‌باشد. بازده مورد انتظار هر پرتفوی از طریق میانگین وزنی بازده مورد انتظار هر یک از اوراق بهادار به آسانی قابل محاسبه است. وزن‌هایی که برای میانگین مورد استفاده قرار می‌گیرد، نسبت‌هایی از وجوه قابل سرمایه‌گذاری است که در هر یک از اوراق بهادار سرمایه‌گذاری شده‌اند. وزن‌های ترکیب شده عبارت از مجموع ۱۰۰ درصد کل وجوه قابل سرمایه‌گذاری است (همان منبع، ۱۳۸۰).

۲ - ۲ - ۶ ریسک

ریسک به عنوان تغییرپذیری بازده تعریف می‌شود و اغلب می‌توان با تقریب خوبی از انحراف معیار بازده سال‌های گذشته به عنوان معیار ریسک استفاده کرد. در این تعریف نکته‌ای نهفته است و آن این است که بین ریسک و عدم اطمینان تفاوت وجود دارد. زمانی که صحبت از ریسک می‌کنیم، نسبت به احتمال وقوع نتایج مختلف آگاهی داریم ولی در شرایط عدم اطمینان هیچ اطلاعاتی در زمینه احتمالات بروز نتایج مختلف در دست نیست. تعریف مالی و مقداری ریسک، توزیع احتمال بازده هر سرمایه‌گذاری می‌باشد. هر نوع سرمایه‌گذاری با عدم اطمینان‌هایی مواجه می‌گردد که بازده سرمایه‌گذاری را در آینده مخاطره آمیز می‌سازد. ریسک یک دارایی سرمایه‌ای بدین خاطر است که این احتمال وجود دارد که بازده حاصل از دارایی کمتر از بازده مورد انتظار باشد. بنابراین ریسک عبارت است از احتمال تفاوت بین بازده واقعی و بازده پیش‌بینی شده و یا می‌توان گفت ریسک یک دارایی عبارت از تغییر احتمالی بازده آتی ناشی از آن دارایی است (همان منبع، ۱۳۸۰).

وستون و بریگام، ریسک یک دارایی نظیر اوراق بهادار را تغییر احتمال آتی ناشی از دارایی می‌دانند. بنابراین با معیار پراکندگی بازده دارایی، ریسک را می‌توان انحراف معیار نرخ بازده تعریف نمود. پس می‌توان پراکندگی بازده‌های ممکن از بازده مورد انتظار را با واریانس محاسبه و به عنوان یک معیار از ریسک تلقی نمود. به طور کلی با اندازه‌گیری بازده واقعی و بازده مورد انتظار می‌توان ریسک را به وسیله روش‌های آماری نظیر واریانس، نیم واریانس، شیب خط رگرسیون و واریانس مقادیر باقی مانده رگرسیون به دست آورد (عبده تبریزی و همکاران، ۱۳۸۲).

۲ - ۲ - ۷ ریسک پرتفوی

یکی دیگر از محاسبات اصلی مدل پرتفوی، محاسبه ریسک پرتفوی است. در مدل مارکویتز، ریسک توسط واریانس(انحراف معیار) بازده پرتفوی و همانند ریسک هر یک از اوراق بهادار اندازه‌گیری می‌شود. در این قسمت است که اساس تئوری پرتفوی مدرن ظاهر می‌شود و به صورت زیر بیان می‌گردد: بازده مورد انتظار پرتفوی عبارتست از میانگین وزنی بازده مورد انتظار تک‌تک اوراق بهادار موجود در پرتفوی، در حالی که ریسک (که توسط واریانس یا انحراف معیار اندازه‌گیری می‌شود) به تنهایی شامل میانگین وزنی ریسک تک‌تک اوراق بهادار موجود در پرتفوی نیست. سرمایه‌گذاران می‌توانند ریسک پرتفوی را کاهش دهند. ریسک پرتفوی نه تنها به میانگین وزنی ریسک تک تک اوراق بهادار تشکیل دهنده پرتفوی بستگی دارد، بلکه به کوواریانس یا روابط میان بازده اوراق بهادار تشکیل دهنده پرتفوی نیز بستگی دارد. ریسک پرتفوی تابعی از ریسک هر یک اوراق بهادار و کوواریانس میان بازده هر یک از اوراق بهادار است. واضح است که روابط میان بازده اوراق بهادار، هسته اصلی تئوری پرتفوی را تشکیل می‌دهد (پی جونز، ۱۳۸۰).

۲ - ۲ - ۸ کاهش ریسک

نکته قابل ذکر این است که چگونه ریسک را کم کنیم و آیا ریسک قابل کاهش است یا خیر؟ طبق تئوری پرتفوی بخشی از ریسک را می‌توان از طریق متنوع‌سازی حذف نمود و مزیت پرتفوی نیز در کاهش ریسک سرمایه‌گذاری می‌باشد. با در نظر گرفتن مزایای ناشی از متنوع‌سازی، متاسفانه نمی‌توان کل ریسک

سرمایه‌گذاری را از بین برد، به دلیل اینکه اوراق بهادار دارای ریسک سیستماتیک هم می‌باشند. در حالت کلی دو نوع ریسک وجود دارد:

ریسک غیر سیستماتیک: آن بخش از ریسک را که بتوان با افزایش تعداد سهام کاهش داد، ریسک غیرسیستماتیک یا کاهش پذیر می‌گویند(ریسک غیربازاری).

ریسک سیستماتیک: بخشی از ریسک را که نتوان از راه افزایش تعداد سهام کاهش داد، ریسک سیستماتیک یا کاهش ناپذیر می‌گویند (ریسک بازار) (همان منبع، ۱۳۸۰).

۲ - ۳ مدل مارکویتز مدل اساسی تئوری پرتفوی

در سال ۱۹۵۰ هری مارکویتز[17] مدل اساسی پرتفوی را ارائه کرد که مبنایی برای تئوری نوین پرتفوی قرار گرفت. قبل از مارکویتز سرمایه‌گذاران با مفاهیم ریسک و بازده آشنا بودند ولی معمولا نمی‌توانستند آن را اندازه‌گیری کنند. سرمایه‌گذاران از قبل می‌دانستند که ایجاد تنوع مناسب است و اصطلاحا نباید همه تخم مرغ‌ها را در یک سبد بگذارند. با این حال، مارکویتز، اولین کسی بود که مفهوم پرتفوی و ایجاد تنوع را به صورت روش علمی بیان کرد. او به صورت کمی نشان داد که چرا و چگونه متنوع‌سازی پرتفوی می‌تواند موجب کاهش ریسک پرتفوی یک سرمایه‌گذار شود. چرا ایجاد تنوع در سرمایه‌گذاری برای سرمایه‌گذاران مهم است؟ می‌توان گفت که قانون شماره یک مدیریت پرتفوی، ایجاد تنوع است. از آنجا که سرمایه‌گذاران نسبت به آینده مطمئن نیستند، باید برای کاهش ریسک دست به ایجاد تنوع در سرمایه‌گذاری خود بزنند. به عبارت دیگر تشکیل یک پرتفوی متنوع، میزان ریسک را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. مارکویتز درصدد برآمد تا روش‌ها و ایده‌های موجود را در قالب یک چارچوب رسمی سازماندهی کرده و به این سوال اساسی پاسخ دهد: آیا ریسک پرتفوی با مجموع ریسک اوراق بهادار منفرد، که در مجموع پرتفوی راتشکیل می‌دهند برابر است؟ مارکویتز با ارائه روش اندازه‌گیری ریسک پرتفوی به محاسبه ریسک و بازده مورد انتظار پرتفوی پرداخت. مدل او بر مبنای بازده مورد انتظار ویژگی‌های ریسک اوراق بهادار که چارچوب تئوریک برای تجزیه و تحلیل گزینه‌های ریسک

[17] Harry Markowitz

و بازده است، استوار شده است (مارکویتز، ۱۹۵۹).

مفروضات اساسی مارکویتز، مبنای مدل او را تشکیل می‌دهد. طبق مفروضات مارکویتز، سرمایه‌گذاران بازده را مطلوب دانسته و از ریسک‌گریزان هستند. به علاوه در تصمیم‌گیری، منطقی عمل می‌کنند و تصمیم‌هایی اتخاذ می‌کنند که باعث حداکثر کردن بازده مطلوب آن‌ها می‌شود. بنابراین مطلوبیت سرمایه‌گذاران، تابعی از بازده مورد انتظار و ریسک است که این دو عامل، پارامترهای اساسی تصمیمات مربوط به سرمایه‌گذاری هستند (همان منبع، ۱۹۵۹).

۲ - ۳ - ۱ تعیین پرتفوی کارا

با در دست داشتن جزئیات مربوط به بازده مورد انتظار و ریسک پرتفوی می‌توانیم به بررسی پرتفوی کارای مدل مارکوئیتز بپردازیم. این نکته حائز اهمیت است که تئوری پرتفوی با بازده‌های مورد انتظار که به آینده مربوط می‌شود سروکار دارد. در صورتی که این اوراق بهادار را در حالت‌های مختلف ترکیب کنیم تعداد نامحدودی از جایگزین‌های پرتفوی، امکان پذیر خواهد شد (همان منبع، ۱۹۵۹).

۲ - ۳ - ۲ تئوری‌های پرتفوی

تا قبل از مارکویتز، توجه اندکی بر روی بحث انتخاب پرتفوی صورت گرفته بود. تجزیه و تحلیل اوراق بهادار بیشتر برای شناسایی اوراق بهاداری بود که ارزش اسمی آنها زیر ارزش ذاتی باشد و پرتفوی نیز معمولا شامل مجموعه‌ای از این اوراق بهادار بود. مارکویتز اعلام کرد که اگر ریسک، یک ویژگی نامطلوب برای سرمایه‌گذاران باشد، در آن صورت انتخاب مجموعه‌ای از اوراق بهادار برتر، یک روش ضعیف در انتخاب پرتفوی خواهد بود برای این‌که در آن تاثیر پرتفوی بر روی ریسک لحاظ نشده است. بنابراین او این سوال را مطرح می‌کند: چگونه پرتفویی تشکیل دهیم که در آن مطلوبیت مورد انتظار سرمایه‌گذاران را در شرایطی که در آن سرمایه‌گذاران انتخاب خود را با توجه به بازده مورد انتظار پرتفوی و ریسک پرتفوی انجام دهند به حداکثر برسانیم. او مجموعه‌ای از پرتفوی‌های کارا را تعریف کرد که با توجه به واریانس دارای حداکثر بازده مورد انتظار و با توجه به بازده مورد انتظار دارای حداقل واریانس هستند. تجزیه و تحلیل میانگین–واریانس او مفهومی رسمی برای

بحث تنوع یعنی معیار مشارکت کوواریانس میان بازده اوراق بهادار به میزان ریسک پرتفوی و روش‌هایی برای ایجاد پرتفوی کارا به همراه دارد. تئوری پرتفوی بیان می‌کند که شرکت‌ها باید پرتفوی‌ها را دقیقا به روشی که سرمایه‌گذاران اوراق بهادار را ارزیابی می‌کنند، ارزیابی نمایند و فی نفسه هیچ پاداش یا جریمه‌ای مرتبط با تنوع شرکت وجود ندارد (البته متنوع سازی باید از طریق تاثیرگذاری بر هزینه مورد انتظار ورشکستگی و سپس بر جریانات نقدی خالص، بر ارزش شرکت تاثیر داشته باشد) (همان منبع، ۱۹۵۹).

۲ - ۳ - ۳ بهینه‌سازی کلاسیک (مدل مارکویتز)

مارکویتز اولین کسی بود که مفهوم تنوع بخشی در سبد سهام را معرفی کرد و آن را توسعه داد. او به طور کلی نشان داد که چگونه تنوع بخشی در سبد سرمایه، ریسک آن را برای سرمایه‌گذار کاهش می‌دهد. سرمایه‌گذاران می‌توانند سبد سهام کارا را به ازای یک بازده معین و از طریق کمینه کردن ریسک سبد سهام به دست آورند. در ادامه فرآیند فوق می‌تواند منجر به تشکیل سبدهای کارا شود که اصطلاحا مرز کارای میانگین- واریانس نامیده می‌شود (پی جونز، ۱۳۸۰).

۲ - ۴ مدل انتخاب سبد سرمایه‌گذاری مارکویتز

۲ - ۴ - ۱ مدل میانگین-واریانس مارکویتز

تجزیه و تحلیل مارکویتز با به کارگیری مجموعه‌ای از ورودی‌ها باعث شناسایی پرتفوی کارا می‌شود. این ورودی‌ها عبارتند از:

- بازده مورد انتظار، $E(R)$، برای هر ورق بهاداری که مد نظر است.
- انحراف معیار بازده‌ها، $SD(R)$، به عنوان معیار ریسک هریک از اوراق بهادار.
- کوواریانس میان نرخ بازده اوراق بهادار.

در این بخش، دو مورد اول را بررسی کرده و مورد سوم را پس از ارائه ملاحظاتی در خصوص پرتفوی بررسی خواهیم کرد (پی جونز، ۱۳۸۰).

۲ - ۴ - ۱ - ۱ بازده مورد انتظار یک ورق بهادار

سرمایه‌گذاران سهام را به منظور استفاده از بازده آتی آن خریداری می‌کنند. بنابراین مدل‌های پرتفوی بایستی

با توجه به وقایع آتی تنظیم شوند. به خاطر عدم اطمینانی که نسبت به آینده وجود دارد، قضاوت در مورد بازده اوراق بهادار، به صورت احتمالی در نظر گرفته می‌شود. برای محاسبه بازده مورد انتظار ورق بهادار i ، سرمایه‌گذار نیاز دارد تا بازده‌های محتمل اوراق بهادار، به اضافه وقوع هر یک از بازده‌های ممکن را برآورد کند. مجموع این احتمالات برابر ۱ است. بازده بالقوه، باید علاوه بر نشان دادن میانگین مقادیر گذشته، انتظارات آتی را منعکس کند. ولی به خاطر عدم اطمینان به آینده، تمامی سرمایه‌گذاران با بازده بالقوه و احتمالات مرتبط با آن موافق نیستند.

با توجه به توزیع احتمالات بازده‌های بالقوه برای هر ورق بهادار (که با حرف i نشان داده شده است) بازده مورد انتظار $E(R_i)$ را می‌توان به عنوان ارزش مورد انتظار توزیع احتمالات محاسبه نمود.

$$E(R_i) = \sum_{k=1}^{m} (P_k) PR_k \qquad ۲-۱$$

که در آن داریم:

$E(R_i)$= بازده مورد انتظار هر ورق بهادار مانند i

P_k= احتمال وقوع هر یک از نرخ‌های بازده بالقوه

PR_k= بازده‌های بالقوه برای اوراق بهادار

m= تعداد بازده‌های بالقوه برای هریک از اوراق بهادار

۲ - ۴ - ۱ - ۲ ریسک یک ورق بهادار

برای اندازه‌گیری ریسک هریک از اوراق بهادار، از واریانس(یا ریشه دوم آن، انحراف معیار) بازده‌های مورد انتظار استفاده می‌شود. از نظر آماری، واریانس، پراکندگی بازده سهام را نسبت به ارزش مورد انتظار اندازه‌گیری می‌کند. هرچه پراکندگی بازده‌ها بیشتر باشد، میزان ریسک و واریانس یا انحراف معیار بزرگ‌تر است. بنابراین، واریانس یک معیار منطقی و ثابت ریسک اوراق بهادار برای سرمایه‌گذاران است. برای محاسبه واریانس یا انحراف معیار مورد انتظار یک ورق بهادار از معادله‌های زیر می‌توان استفاده کرد:

$$V(R_i) = \sigma_i^2 = \sum_{k=1}^{m} (PR_k - E(R_i))^2 P_k \qquad ۲-۲$$

$$SD(R_i) = \sigma_i = \left[\sum_{k=1}^{m} (PR_k - E(R_i))^2 P_k\right]^{1/2} \qquad ۲-۳$$

در معادله بالا $V(R_i)$ عبارت است از واریانس بازده هر یک از اوراق بهادار و $SD(R_i)$ انحراف معیار بازده است (پی جونز، ۱۳۸۰).

۲ - ۴ - ۱ - ۳ بازده مورد انتظار پرتفوی

بازده مورد انتظار هر پرتفوی از طریق میانگین وزنی بازده مورد انتظار هریک از اوراق بهادار به آسانی قابل محاسبه است. وزن‌هایی که برای میانگین مورد استفاده قرار می‌گیرد، نسبت‌هایی از وجوه قابل سرمایه‌گذاری است که در هریک از اوراق بهادار سرمایه‌گذاری شده‌اند. وزن‌های ترکیب شده برابر است با مجموع ۱۰۰ درصد کل وجوه قابل سرمایه‌گذاری.

بازده مورد انتظار به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$E(R_p) = \sum_{i=1}^{n} W_i E(R_i) \qquad ۲-۴$$

$E(R_p)$= بازده مورد انتظار پرتفوی

W_i= سهم وجوه قابل سرمایه‌گذاری مربوط به اوراق بهادار i

$E(R_i)$= بازده مورد انتظار اوراق بهادار i

علامت i دلالت بر یک ورق بهادار خاص و علامت p دلالت بر یک پرتفوی دارد.

بدون توجه به تعداد دارایی‌های موجود در یک، یا سهم کل وجوه قابل سرمایه‌گذاری در هریک از دارایی‌ها، بازده مورد انتظار، همیشه میانگین وزنی بازده‌های مورد انتظار هر یک از دارایی‌ها در پرتفوی است (پی جونز،

.(۱۳۸۰

۲ - ۴ - ۱ - ۴ ریسک پرتفوی

یکی دیگر از محاسبات اصلی مدل پرتفوی، محاسبه ریسک پرتفوی است. در مدل مارکویتز، ریسک توسط واریانس(انحراف معیار) بازده پرتفوی و همانند محاسبه ریسک هریک از اوراق بهادار اندازه‌گیری می‌شود. در این قسمت است که اساس تئوری پرتفوی مدرن ظاهر می‌شود و به صورت زیر بیان می‌گردد:

بازده مورد انتظار پرتفوی عبارتست از میانگین وزنی بازده‌های مورد انتظار تک تک اوراق بهادار موجود در پرتفوی، در مورد ریسک (که توسط واریانس یا انحراف معیار اندازه‌گیری می شود) نیز شامل میانگین وزنی ریسک تک تک اوراق بهادار موجود در پرتفوی می‌باشد. این تعریف را می‌توان به صورت معادله‌های زیر نشان داد:

$$V(R_p) \neq \sum_{i=1}^{m} W_i V(R_i) \qquad ۲-۵$$

دقیقا به خاطر همین نابرابری در معادله ۳-۵ است که سرمایه‌گذاران می‌توانند ریسک پرتفوی را کاهش دهند. ریسک پرتفوی نه تنها به میانگین وزنی ریسک تک تک اوراق بهادار تشکیل دهنده پرتفوی، بلکه به کوواریانس یا روابط میان بازده‌های اوراق بهادار تشکیل دهنده پرتفوی بستگی دارد.

این مفهوم در عبارت واریانس زیر نشان داده شده است:

$$V(R_p) = \sum_{i=1}^{n} W_i^2 V(R_i) + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} W_i W_j COV(R_i, R_j) \qquad ۲-۶$$

در این معادله داریم:

$V(R_p)$= واریانس بازده پرتفوی

$V(R_i)$= واریانس بازده اوراق بهادار i

$COV(R_i, R_j)$= کوواریانس میان بازده‌های اوراق بهادار i و j

W_i= درصد وجوه قابل سرمایه‌گذاری شده ورق بهادار i در پرتفوی

$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}$ = علامت جمع دوگانه که نشان دهنده این است که تعداد n^2 باید به همدیگر اضافه شود (مانند تمامی زوج‌های ممکن مقادیر i و j)

واضح است که روابط میان بازده اوراق بهادار، هسته مرکزی تئوری پرتفوی را شکل می‌دهد. در بخش‌های قبل، در مورد ورودی‌های مورد نیاز مدل مارکویتز بیان شد که سومین ورودی این مدل، کوواریانس نرخ بازده هر جفت اوراق بهادار است. در اینجا به توضیح این ورودی که دربرگیرنده‌ی روابط میان اوراق بهادار به طور مشروح است، می‌پردازیم (پی جونز، ۱۳۸۰).

ضریب همبستگی: به منظور محاسبه‌ی تاثیر روابط میان بازده اوراق بهادار یک پرتفوی(که در عبارت دوم معادله ۳-۶ مطرح شد) لازم است ضریب همبستگی[18]میان هر جفت از اوراق بهادار i و j را برآورد کنیم. ضریب همبستگی (r_{ij}) یک معیار آماری است که میزان رابطه‌ی هردو ورق بهادار را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی، معیار نسبی از روابط است و محدوده آن از ۱+ تا ۱- به صورت زیر می‌باشد:

ضریب همبستگی	تفسیر
۱+	همبستگی به طورکامل مثبت
۰	فاقد همبستگی
۱-	همبستگی به طور کامل منفی

وقتی همبستگی کاملا منفی باشد، بازده اوراق بهادار دارای رابطه خطی کاملا معکوسی با یکدیگر می‌باشند. بنابراین، در این حالت اگر بازده یک ورق بهادار را بدانیم، می‌توانیم اطلاعات کاملی در مورد بازده ورق بهادار دوم کسب کنیم. به عبارت دیگر وقتی بازده یک ورق بهادار افزایش می‌یابد، بازده‌ی دیگری کاهش می‌یابد. وقتی همبستگی میان دو ورق بهادار صفر باشد، هیچ رابطه‌ای میان بازده دو ورق بهادار وجود نخواهد داشت و دانستن بازده یکی از اوراق بهادار هیچ کمکی به پیش‌بینی بازده ورق بهادار دیگر نخواهد کرد.

ترکیب اوراق بهاداری که همگی دارای همبستگی کاملا مثبت هستند هیچ تاثیری در کاهش ریسک پرتفوی ندارد. برای اینکه ریسک این گونه پرتفوی شامل میانگین وزنی ریسک هریک از اوراق بهادار است و حالت

[18] Correlation Coefficient

همبستگی کاملا مثبت، هر تعداد اوراق بهادار به پرتفوی اضافه شود بازهم ریسک پرتفوی شامل میانگین وزنی کلیه اوراق بهادار تشکیل دهنده پرتفوی خواهد بود و هیچ کاهشی در میزان ریسک وجود نخواهد داشت. ترکیب دو ورق بهاداری که دارای همبستگی صفر باشند، باعث کاهش ریسک پرتفوی می‌شود. وقتی اوراق بهادار زیادی که دارای عدم همبستگی میان بازده باشند به پرتفوی اضافه شوند، ریسک پرتفوی میتواند کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته باشد. با این حال، ریسک پرتفوی در این حالت کاملا حذف نمی شود. نهایتا اینکه، ترکیب دو ورق بهاداری که دارای همبستگی صفر باشند باعث کاهش ریسک پرتفوی می شود. وقتی اوراق بهادار زیادی که دارای عدم همبستگی میان بازده باشند به پرتفوی اضافه شوند، ریسک پرتفوی می‌تواند کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته باشد. با این حال، ریسک پرتفوی در این حالت کاملا حذف نمی‌شود. نهایتا اینکه، ترکیب دو ورق بهادار که دارای همبستگی کاملا منفی باشند،می‌تواند باعث حذف کامل ریسک پرتفوی شود. در دنیای واقعی، همبستگی‌های کامل به ندرت وجود دارد. تقریبا، اوراق بهادار معمولا با یکدیگر رابطه مثبتی دارند. بنابراین، اگرچه می‌توان ریسک را کاهش داد ولی نمی‌توان آن را کاملا حذف کرد. در صورتی که تمامی شرایط یکسان باشد، سرمایه‌گذاران به دنبال یافتن اوراق بهاداری هستند که کمترین همبستگی مثبت ممکن را داشته باشند. در حالت ایده‌آل سرمایه‌گذاران به دنبال اوراق بهاداری با همبستگی منفی یا همبستگی مثبت پایین هستند، با این حال سرمایه‌گذاران همواره با اوراق بهاداری که بازده‌ی آن‌ها دارای همبستگی مثبت است نیز رو به رو می‌شوند (پی جونز، ۱۳۸۰).

۲ - ۴ - ۱ - ۵ کوواریانس

همانطور که در معادله ۳-۶ مشاهده می‌کنید، برای اوراق بهادار موجود در یک پرتفوی نیاز به معیار کوواریانس[19] است. کوواریانس معیار مطلقی برای بیان میزان ارتباط میان بازده‌های هر جفت اوراق بهادار است. کوواریانس میزان تغییرات دو متغیر در طول زمان نشان می‌دهد. این متغیرها، بازده‌های(TR) مربوط به دو ورق بهادار است. کوواریانس می‌تواند به صورت یکی از موارد سه‌گانه زیر باشد:

حالت مثبت، که نشان می‌دهد بازده‌های مربوط به دو ورق بهادار به صورت همزمان در یک جهت حرکت

[19] covariance

می‌کنند، به عبارت دیگر وقتی بازده یکی افزایش(کاهش) یابد، بازده دیگری نیز به همان صورت عمل می‌کند. حالت منفی، که نشـــان می‌دهد بازده‌های مربوط به دو ورق بهادار به صـــورت معکوس حرکت می‌کنند، به عبارت دیگر وقتی بازده یکی افزایش (کاهش) می‌یابد، بازده دیگری کاهش (افزایش) می‌یابد.

حالت صفر، که نشان می‌دهد بازده‌های دو ورق بهادار مستقل از هم عمل می‌کنند و هیچ دلیلی وجود ندارد که بازده دو ورق بهادار در یک جهت و یا در جهت عکس هم حرکت نمایند(پی جونز، ۱۳۸۰).

نحوه محاسبه کوواریانس به صورت زیر است:

$$COV(R_i,R_j) = E\big([PR_i - E(R_i)]\big[PR_j - E(R_j)\big]\big) \qquad ۲-۷$$

$$= \sum_{k=1}^{m} P_k\big([PR_i - E(R_i)]\big[PR_j - E(R_j)\big]\big)$$

اگر احتمال وقوع هریک از بازده‌ها یکسان باشد در آن صورت کوواریانس برابر است با:

$$= \frac{1}{m}\sum_{k=1}^{m} P_k\big([PR_i - E(R_i)]\big[PR_j - E(R_j)\big]\big)$$

$COV(R_i,R_j)$= کوواریانس میان اوراق بهادار i وj

PR_i= بازده بالقوه اوراق بهادار i

$E(R_i)$= ارزش مورد انتظار بازده اوراق بهادار i

m= تعداد پیامدهای محتمل برای یک ورق بهادار در یک دوره

۲ - ۴ - ۱ - ۶ ایجاد ارتباط میان ضریب همبستگی و کوواریانس

کوواریانس و ضریب همبستگی به صورت زیر باهم مرتبط هستند (همان منبع، ۱۳۸۰):

$$COV(R_i,R_j) = r_{ij} \times SD(R_i)SD(R_j) \qquad ۲-۸$$

بنابراین معادله ۳-۷ را می‌توان به صورت یک عبارت مربوط با معادله ۳-۸ به صورت زیر (معادله ۹-۳) نوشت:

$$V(R_p) = \sum_{i=1}^{n} W_i^2\, V(R_i) + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} (W_i)(W_j)(r_{ij})SD(R_i)SD(R_j) \qquad ۲-۹$$

وقتی کوواریانس را به دست آوردیم، به آسانی می‌توانیم ضریب همبستگی را از طریق مرتب ساختن مجدد

معادله‌های ۳-۸ و ۳-۹ محاسبه کنیم:

$$r_{ij} = \frac{COV_{ij}}{SD_i SD_j} \qquad ۲-۱۰$$

۲ - ۴ - ۱ - ۷ مفهوم ریسک پرتفوی

پس از این که ضـریب همبسـتگی و واریانس را که بیان کننده‌ی رابطه‌ی میان بازده اوراق بهادار اسـت بیان کردیم بهتر می‌توانیم مفهوم ریسک پرتفوی را بفهمیم. قبلا گفتیم که برای محاسبه ریسک پرتفوی باید دو عامل را محاسبه کنیم (از معادله ۳-۶):

ریسک موزون برای هریک از اوراق بهادار (مانند واریانس هریک از اوراق بهادار)

روابط موزون میان اوراق بهادار (مانند کوواریانس میان بازده اوراق بهادار)

حالا بهتر می‌توانیم معادله ۳-۶ یا ۳-۹ را بفهمیم. یکی از اظهارات مهم مارکویتز در تئوری پرتفوی، بینش او نسبت به اهمیت نسبی این دو عامل است. هرچه تعداد اوراق بهادار موجود در یک پرتفوی افزایش یابد، از اهمیت ریسک (واریانس) هریک از اوراق بهادار کاسته می‌شود، در حالی که اهمیت روابط کوواریانس افزایش می‌یابد. برای مثال، در پرتفویی که شامل ۵۰۰ ورق بهادار باشد، سهم ریسک هریک از اوراق بهادار، نسبت به ریسک کل اوراق بهادار بی‌نهایت کوچک خواهد بود و ریسک پرتفوی شامل کل ریسک کوواریانس میان اوراق بهادار است.

به منظور فهم این مطلب، عبارت اول معادله ۳-۶ و ۳-۹ را در نظر بگیرید:

$$\sum_{i=1}^{n} W_i^2 \, V(R_i)$$

فرض کنید که مقادیر سرمایه‌گذاری در هریک از اوراق بهادار، یکسان است. در این صورت سهم یا وزن هریک از آن‌ها به صورت $\frac{1}{n}$ خواهد بود. بنابراین با در نظر گرفتن این حالت، عبارت زیر را خواهیم داشت:

$$\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{1}{n}\right)^2 V(R_i) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left[{}^{V(R_i)}/_{n} \right]$$

عبارت درون براکت نشان دهنده میانگین-واریانس مربوط به سهم‌های موجود در پرتفوی است. هرچه مقدار

n بزرگ‌تر باشـــد میانگین-واریانس کوچک‌تر می‌شـــود، به گونه‌ای که وقتی مقدار n خیلی بزرگ می‌شـــود میانگین-واریانس به صفر نزدیک‌تر می‌شود. بنابراین، ریسک مربوط به یک پرتفوی با تنوع خوب تا حد زیادی بستگی به عبارت دوم معادله ۳-۶ یا معادله ۳-۹ دارد.

معادله ۳-۶ را می‌توانیم به صورت مختصر به شکل زیر بنویسیم:

$$V(R_p) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}(W_i)(W_j)COV(R_i, R_j) \qquad ۲-۱۱$$

$$V(R_p) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}(W_i)(W_j)r_{ij}SD(R_i)SD(R_j) \qquad ۲-۱۲$$

این معادلات هم برای واریانس و هم برای کوواریانس مورد استفاده قرار می‌گیرد، برای این که وقتی i=j باشد واریانس محاسبه می‌شود و هنگامی که i≠j، کوواریانس مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

برای محاسبه ریسک پرتفوی با استفاده از معادلات ۳-۱۱ و ۳-۱۲، ما نیاز به برآورد واریانس هریک از اوراق بهادار و همچنین برآورد ضریب همبستگی کوواریانس‌ها داریم. هم واریانس و ضریب همبستگی را می‌توان با اســـتفاده از داده‌های مربوط به گذشـــته و همچنین داده‌های مربوط به آینده مورد محاســـبه قرار داد. هرگاه تحلیلگری برای محاسبه ضریب همبستگی یا کوواریانس از داده‌های مربوط به گذشته استفاده کند و سپس از این برآوردها در مدل مارکویتز اســـتفاده نماید در این صـــورت فرض خواهیم کرد رابطه‌ای که در گذشـــته وجود داشته است به آینده تسری خواهد کرد. این حالت در مورد واریانس نیز مصداق دارد. اگر فرض کنیم که داده‌های گذشته مربوط به واریانس، برآورد خوبی از واریانس مورد انتظار آینده است این برآورد باید مورد استفاده قرار گیرد، با این حال باید در نظر داشت که وایانس و ضریب همبستگی می‌تواند در طول زمان تغییر یابد. بعد از محاســـبه (برآورد) واریانس مربوط به هریک از اوراق بهادار و کوواریانس برای هر جفت از اوراق بهادار، می‌توان ریسک پرتفوی را محاسبه کرد.

حالت دو ورق بهادار: ریسک پرتفوی که توسط انحراف معیار بازده‌ها اندازه‌گیری می‌شود، برای دو ورق بهادار X و Y به صورت زیر است(پی جونز، ۱۳۸۰):

$$SD(R_p) = \left[W_x^2 V(R_x) + W_y^2 V(R_y) + 2(W_x)(W_y)(r_{x,y}) SD(R_x) SD(R_y)\right]^{\frac{1}{2}}$$

۲ - ۴ - ۱ - ۸ نتایجی در خصوص ریسک پرتفوی

خلاصه نتایج مربوط به ریسک پرتفوی را می‌توان در سه حالت زیر مطرح کرد:

ریسک پرتفوی نه تنها دربرگیرنده ریسک هریک از اوراق بهادار است، بلکه شامل کوواریانس میان هرجفت از اوراق بهادار نیز هست.

همانطور که در پرتفوی متشکل از دو ورق بهادار در بالا نشان داده شد، اهمیت عبارت کوواریانس می‌تواند با اهمیت مجموع ریسک هریک از اوراق بهادار برابر باشد. بنابراین، وقتی اوراق بهاداری به پرتفوی اضافه می‌شود، متوسط کوواریانس میان این اوراق بهادار و سایر اوراق بهادار موجود در پرتفوی خیلی مهم‌تر از ریسک خود اوراق بهادار است.

ریسک پرتفوی به سه عامل زیر بستگی دارد:

-واریانس هریک از اوراق بهادار

-کوواریانس میان اوراق بهادار

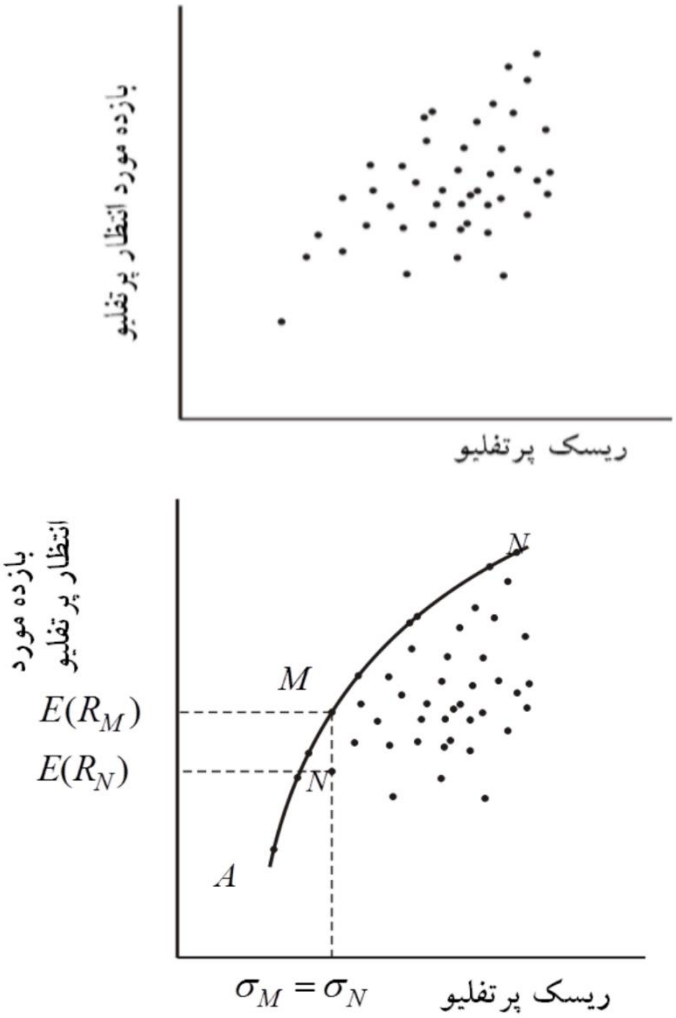
-وزن(درصد وجوه قابل سرمایه‌گذاری) داده شده به هریک از اوراق بهادار.

حالت پرتفوی با دو ورق بهادار را می‌توان به پرتفوی با چند اوراق بهادار عمومیت داد. با ترکیب اوراق بهاداری که همبستگی مثبت آن‌ها کمتر است می‌توان ریسک پرتفوی را کاهش داد. بنابراین هرچه همبستگی مثبت، کوچکتر باشد بهتر است (پی جونز، ۱۳۸۰).

۲ - ۴ - ۲تعیین پرتفوی کارا

با در دست داشتن جزییات مربوط به بازده مورد انتظار و ریسک پرتفوی می‌توانیم به بررسی پرتفوی‌های کارای مدل مارکویتز بپردازیم. در شکل ۴ الف و ب، مفاهیم اصلی یک مجموعه پرتفوی کارا ارائه شده است. توجه داشته باشید که محور عمودی، بازده مورد انتظار و محور افقی، ریسک است که توسط انحراف معیار نشان داده شده است. این نکته حائز اهمیت است که تئوری پرتفوی با بازده‌های مورد انتظار که به آینده مرتبط می‌شود،

سروکار دارد. در شکل ۴ الف، بازده مورد انتظار و ریسک یک گروه فرضی اوراق بهادار ترسیم شده است. در صورتی که این اوراق بهادار را در حالت‌های مختلف ترکیب کنیم تعداد نامحدودی از جایگزین‌های پرتفوی امکان‌پذیر خواهد شد. این گزینه‌های نامحدود در شکل ۴ ب، نشان داده شده است و شامل تمامی مناطق سایه‌دار است و نشان دهنده ترکیبات زیادی از بازده مورد انتظار و ریسکی است که از طریق تشکیل پرتفوی قابل دستیابی است. در تئوری پرتفوی، به این مناطق، مناطق قابل دسترسی پرتفوی گفته می‌شود. این پرتفوی‌ها امکان‌پذیر هستند ولی ضرورتا قابل ترجیح نیستند (پی جونز، ۱۳۸۰).



شکل ۲-۱ الف: بازده مورد انتظار و ریسک گروهی از اوراق بهادار ب: مجموعه پرتفوی‌های کارا

منحنی AB مجموعه‌ای کارا از پرتفوی را نشان می‌دهد. این مجموعه کارا که بر روی منحنی AB واقع شده

است، به تمامی پرتفوی‌های داخل منحنی اولویت دارد. برای اینکه با توجه به ریسک، دارای بازده مورد انتظار بیشتری می‌باشد و یا ریسک آن‌ها با توجه به بازده مورد انتظار، کمترین است. به عنوان مثال، پرتفوی M بر روی مرز منحنی AB و پرتفوی N در داخل منحنی AB را در نظر بگیرید. اگر چه هر دو پرتفوی دارای ریسک یکسانی هستند ولی بازده مورد انتظار پرتفوی X بیشتر است. بنابراین پرتفوی M بر پرتفوی N برتری دارد و سرمایه‌گذاران پرتفوی M را ترجیح خواهند داد. مواردی از این قبیل پرتفوی‌ها را می‌توان نشان داد که دارای نتایج مشابهی هستند. مجموعه‌ای کارا از پرتفوی‌ها، همان مجموعه‌ی بهینه از پرتفوی‌ها هستند (پی جونز، ۱۳۸۰).

مدل اصلی مارکویتز از طریق تکنیک پیچیده‌ای که برنامه‌ریزی معادلات درجه دوم[20] نام دارد، حل می‌شود. چون این مدل به آسانی از طریق کامپیوتر حل می‌شود، لازم نیست که به جزئیات آن بپردازیم. با این حال، باید توجه داشته باشیم که در این راه حل باید وزن‌های پرتفوی یا درصد وجوه قابل سرمایه‌گذاری در هر یک از اوراق بهادار، مشخص شوند. به عبارت دیگر، با داشتن ورودی‌های بازده مورد انتظار، انحراف معیار و همبستگی اوراق بهادار مورد بررسی، این تنها متغیری است که برای حل مسائل پرتفوی می‌توان آن را تغییر داد (پی جونز، ۱۳۸۰).

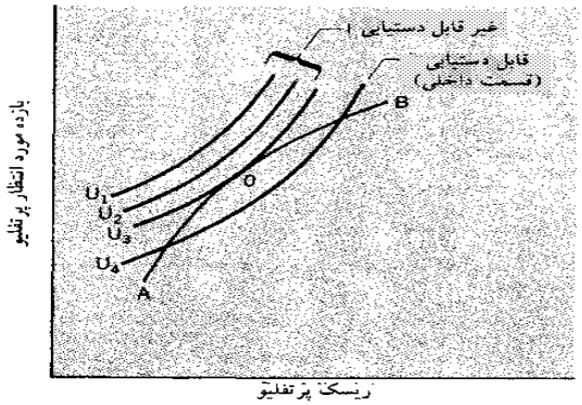
۲ - ۴ - ۳ انتخاب یک پرتفوی بهینه

بعد از این که مجموعه‌ی پرتفوی کارا از طریق مدل مارکویتز تعیین شد، سرمایه‌گذاران باید از میان این مجموعه پرتفوی کارا، یک پرتفوی مناسب را انتخاب کنند. مدل مارکویتز، یک پرتفوی بهینه را مشخص نمی‌کند بلکه مجموعه‌ای از پرتفوی‌های کارا را بر روی منحنی مشخص می‌کند که همگی با توجه به ریسک و بازده مورد انتظار، پرتفوی‌های بهینه هستند. برای انتخاب یک ترکیب ریسک و بازده مورد انتظار که انتظارات فردی سرمایه‌گذاران را پوشش دهد از منحنی بی تفاوتی[21] استفاده می‌شود. این منحنی‌ها که در شکل ۳-۲ و

[20] Quadratic Programming

[21] Indifference Curve

در چهار منحنی نشان داده شده است، ترجیحات سرمایه‌گذاران را نشان می‌دهد، به گونه‌ای که منحنی ۱ به منحنی ۲، منحنی ۲ به منحنی ۳ و منحنی ۳ به منحنی ۴ ارجحیت دارد. پرتفوی بهینه برای هر سرمایه‌گذاری در نقطه تلاقی میان بالاترین منحنی بی تفاوتی سرمایه‌گذاران و منحنی کارایی (مرز کارایی)، اتفاق می‌افتد. در شکل۳-۲، این تلاقی در نقطه‌ی صفر اتفاق افتاده است. در این نقطه(پرتفوی)، مطلوبیت سرمایه‌گذاران به حداکثر می‌رسد. برای اینکه منحنی بی تفاوتی، ترجیحات مطلوب و بهینه سرمایه‌گذاران را منعکس می‌کند. توجه داشته باشید که منحنی‌های U_1 و U_2 غیرقابل دسترسی هستند، بنابراین منحنی U_3 بالاترین منحنی بی تفاوتی برای این سرمایه‌گذار است که با منحنی کارایی (مرز کارایی) در تماس است. از طرف دیگر اگرچه U_4 قابل دسترسی است ولی نسبت به U_3 که در عین حال با همان ریسک، دارای بازده مورد انتظار بیشتری است و در نتیجه مطلوبیت آن بیشتر است، در درون واقع شده است. توجه داشته باشید که در عمل، سرمایه‌گذاران محافظه‌کار بر روی منحنی کارایی AB، پرتفوی‌های سمت چپ را انتخاب می‌کنند، برای اینکه این پرتفوی دارای ریسک کمتری هستند (و البته بازده مورد انتظار آن‌ها هم کم است). برعکس، سرمایه‌گذاران جسور، پرتفوی‌هایی را که به سمت نقطه B هستند انتخاب می‌کنند برای اینکه بازده مورد انتظار این پرتفوی‌ها بیشتر است (اگرچه ریسک آن‌ها هم بیشتر است) (پی جونز، ۱۳۸۰).



شکل ۲-۲: انتخاب پرتفلیو بهینه بر روی مرز کارا

۲ - ۴ - ۴ آنالیز میانگین- واریانس پرتفوی

رویکرد آنالیز میانگین-واریانس پرتفوی نشان می‌دهد که چگونه سرمایه‌گذاران عقلایی می‌توانند مزایای کاهش ریسک ناشی از متنوع‌سازی را به دست آورند و پرتفوی خود را کارا سازند (مارکویتز، ۱۹۵۲). بر طبق این روش احتمالاتی، بازده مورد انتظار و ریسک یک سهم به صورت تکی، مخصوصا هنگام سرمایه‌گذاری در بیش از یک دارایی کافی نیست. تنوع جزء اصلی رویکرد میانگین-واریانس پرتفوی است و رابطه بین بازده و ریسک مورد انتظار بخشی جدایی ناپذیر از این رویکرد است. با این حال در تئوری مدرن پرتفوی برخی از فرضیه‌های قوی در مورد سرمایه‌گذاران با انتقاد مواجه شده‌اند(التون و گروبر[۲۲]، ۱۹۹۷) (فبوزی، گوپتا و مارکویتز[۲۳]، ۲۰۰۲). به طور خاص فرض می‌شود که هر کلاس دارایی به اندازه کافی برای از بین بردن هرگونه ریسک بازار متنوع است. مدل انتخابی میانگین- واریانس پرتفوی می‌تواند به صورت زیر تعریف شود:

$$V(R_p) \rightarrow min$$

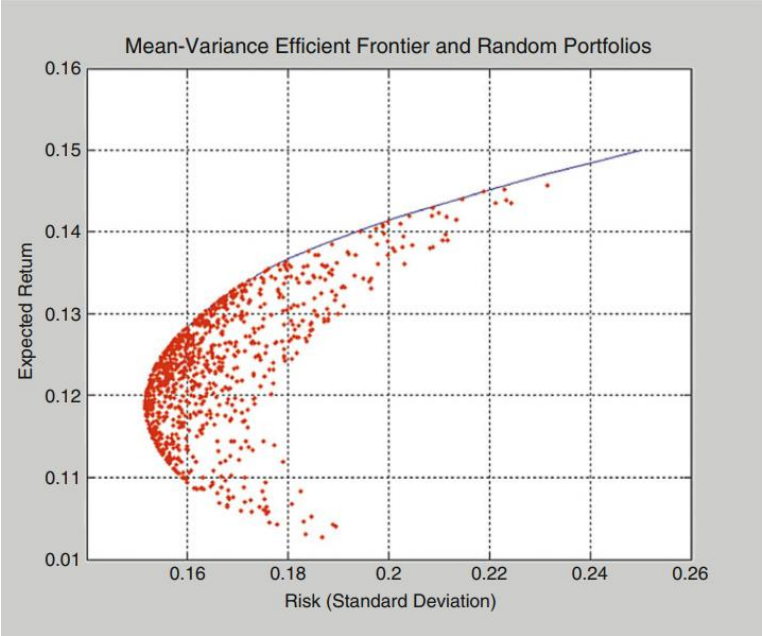
$$E(R_p) = \sum_{i=1}^{n} R_i x_i \quad with \;\; 0 \leq x_i \leq x_{i,max} \quad and \;\; \sum_{i=1}^{n} x_i = 1$$

که در آن $E(R_p)$ بازده مورد انتظار پرتفوی، R_i بازده مورد انتظار دارایی i ام و x_i سهم دارایی i ام در پرتفوی و $V(R_p)$ ریسک پرتفوی است. ریسک پرتفوی می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

$$V(R_p) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} x_i x_j \sigma_i \sigma_j \rho_{ij}}$$

[22] Elton, E. J., & Gruber, M. J

[23] Fabozzi, F. J., Gupta, F., & Markowitz, H. M



شکل ۲-۳: مدل میانگین- واریانس پرتفوی(مدلنر، ۲۰۱۱)

۲ - ۵ مدل نیم واریانس

کنو و یامازاکی مدل نیم واریانس را پیشنهاد دادند که جایگزینی جالب برای مدل مارکویتز است. به غیر از مشکل خطی بودن، که می‌تواند به راحتی با مساله درجه دوم حل شود، یکی دیگر از مزایای مدل نیم واریانس این است که می‌توان آن را برای مقابله با مسائل بزرگ در جایی که ماتریس کوواریانس چگالی[۲۴]رخ می‌دهد مورد استفاده قرار داد و هیچ توزیع بازده خاصی مورد نیاز نیست (کنو و یامازاکی[۲۵]،۱۹۹۱). کنو و کوشیزوکا[۲۶] برخی ویژگی‌های مهم مدل بهینه‌سازی نیم واریانس پرتفوی را بررسی کردند و اعلام کردند که از لحاظ نظری و محاسباتی، رویکرد میانگین-واریانس برتر است (کنو و کوشیزوکا، ۲۰۰۵). به طور رسمی، ارزش پرتفوی در مدل نیم واریانس بسیار شبیه به رویکرد انتخاب میانگین-واریانس مارکویتز است. به طور خاص، تعریف ریسک پرتفوی w_p به عنوان مقدار پیش‌بینی شده از میانگین انحراف مطلق بین تحقق نرخ بازده پرتفوی و ارزش مورد

[24] Dense Covariance Matrix
[25] Konno, H., & Yamazaki, H
[26] Konno, H. and T. Koshizuka

انتظار آن، به صورت زیر مطرح شده است:

$$w_p = E\left[\left|\sum_{i=1}^{n}(R_i x_i) - E\left[\sum_{i=1}^{n} R_i x_i\right]\right|\right]$$

$$E\left[\left|\sum_{i=1}^{n}(R_i x_i) - E\left[\sum_{i=1}^{n} R_i x_i\right]\right|\right] \rightarrow min$$

$$\sum_{i=1}^{n} E(R_i)x_i \rightarrow max$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_i = 1 \text{ ، } x_i \geq 0$$

به این صـــورت، می‌توان مدل تخمین انحراف مطلق نیمه میانگین[۲۷] را به دســـت آورد که معیار ریســـک به و سیله میانگین انحراف مطلق نرخ بازده پرتفوی‌های کمتر از میانگین تعریف می شود (فقط ریسک نزولی به سرمایه‌گذار مرتبط است):

$$w_p = E\left[\left|\sum_{i=1}^{n}(R_i x_i) - E\left[\sum_{i=1}^{n} R_i x_i\right]\right|\right]$$

$$E\left[\left|\sum_{i=1}^{n}(R_i x_i) - E\left[\sum_{i=1}^{n} R_i x_i\right]\right|\right] \rightarrow min$$

$$\sum_{i=1}^{n} E(R_i)x_i \rightarrow max$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_i = 1 \text{ ، } x_i \geq 0$$

۲ - ۶ مدل انحراف مطلق نیمه میانگین فازی

بیشتر کارهای اخیر در مورد بهینه‌سازی پرتفوی دارایی‌های تولید انرژی، به طور فزاینده‌ای بر اقدامات جایگزین

[27] semi-mean absolute deviation

ریسک و به این ترتیب جایگزین کردن به جای روش مارکویتز تمرکز کرده است (گلنسک و مدلنر[۲۸]، ۲۰۱۱). رویکردهای VaR و CVaR توجه خاصی را به خود جلب کرده‌اند. در نهایت، با نظریه مجموعه‌های فازی، نیم واریانس و انحراف مطلق نیمه میانگین نیز ترکیب شده‌اند، که منجر به یک روش انحراف مطلق نیمه میانگین فازی[۲۹] می‌شود (گلنسک و مدلنر، ۲۰۱۰). مدل انحراف میانگین یک جایگزین برای مدل میانگین-واریانس کلاسیک است که اندازه‌گیری ریسک با انحراف مطلق جایگزین می‌شود. این روش توسط کننو و یامازاکی (کننو و یامازاکی،۱۹۹۱) و کننو و کوشیزوکا (کننو و کوشیزوکا، ۲۰۰۵) پیشنهاد شده است. در این روش جایگزین، تعریف جدیدی از ریسک ارائه شده است. باز هم، همانطور که برای مدل انحراف مطلق نیمه میانگین، چون انحراف‌های مثبت سرمایه‌گذاری از مقدار متوسط مفید است، تنها انحراف منفی به عنوان ریسک تعریف می‌شود. با توجه به نظریه فازی، که در آن سطح بازده سرمایه و ریسک سرمایه‌گذاران توسط توابع عضویت کافی نشان داده می‌شود، مدل انتخاب پرتفوی با روش نیم میانگین فازی[۳۰] پیشنهاد شده است:

$$\Lambda \to max$$

$$\alpha_R \sum_{i=1}^{n} R_i x_i - \Lambda \geq \alpha_R R_M$$

$$\alpha_w \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{n} d_t + \Lambda \geq \alpha_w w_M \quad \Lambda \geq 0$$

$$d_t + \sum_{i=1}^{n} (R_{it} - R_i) x_i \geq 0 \quad d_{t \geq 0}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_i = 1 \text{ ، } \quad 0 \leq x_i \leq x_{i.max}$$

که در آن $\Lambda = \log \lambda / 1 - \lambda$ (λ نشان دهنده ارزش عملکرد عضویت برای بازده مورد انتظار و ریسک است). پارامترهای R_M و w_M نقاط میانی هستند که در آن مقدار تابع عضویت λ برابر با ۰/۵ است و پارامترهای α_R

[28] Glensk, B & Madlener, R

[29] FSMAD

[30] fuzzy semi-mean absolute deviation

و α_w شکل این توابع عضویت را تعیین می‌کنند[۳۱]. متغیر d_t یک متغیر زمانی است که با انحراف مطلق نیمه میانگین مرتبط است، R_{it} نشان دهنده مقدار بازده برای دارایی i در زمان t است (مدلنر، گلنسک و وبر[۳۲]، ۲۰۱۱).

۲ - ۷ نقد و بررسی ادبیات

۲ - ۷ - ۱ رویکرد میانگین-واریانس (مطالعات اولیه)

اولین بار استفاده از بهینه‌سازی با رویکرد میانگین-واریانس در زمینه انرژی برق به طور گسترده توسط بار-لو و کتز[۳۳] انجام شد. با استفاده از متنوع‌سازی مارکویتز، نویسندگان یک مرز کارا برای پرتفوی سوخت فسیلی ترسیم کردند و با تغییرات پیش فرض هزینه‌ها و ریسک، فرصت‌های مختلف سرمایه‌گذاری را بررسی کردند. نویسندگان نتیجه‌گیری کردند که مطلوبیت مورد نظر سرمایه‌گذاران، به طور موثر با متنوع‌سازی فراهم می‌شود (بار-لو و کتز، ۱۹۷۶).

هومفریز و مک کلاین[۳۴] از تئوری میانگین-واریانس پرتفوی برای نشان دادن لزوم ایجاد پرتفوی انرژی در ایالات متحده و برای دنبال کردن هدف ملی و کاهش ریسک ناشی از شوک‌های قیمت در بخش انرژی، استفاده کردند. آن‌ها استدلال کردند که صنعت برق از دهه ۱۹۸۰ به سمت بهره‌وری تولید حرکت کرده است و حرکت صنعت به سمت افزایش استفاده از گاز طبیعی در دهه ۱۹۹۰ ممکن است شی از افزایش بازده سرمایه‌گذاری‌های انرژی باشد (هومفریز و مک کلاین، ۱۹۹۸).

۲ - ۷ - ۲ رویکرد میانگین-واریانس (مطالعات اخیر)

استفاده از رویکرد میانگین-واریانس پرتفوی در حوزه انرژی و با تمرکز ویژه‌ای بر نقش سودمند انرژی‌های نو در پرتفوی تولید انرژی به وسیله اقتصاددان مالی و تحلیلگر انرژی، شیمون اوربوچ احیا شد. اوربوچ[۳۵]، با بررسی تاثیر نیروگاه خورشیدی فتوولتاییک در بهینه‌سازی سبد، نشان داد که مزایای رویکردهایی مانند

[۳۱] اطلاعات بیشتر در مورد این مدل و سایر مشکلات بهینه سازی نمونه فازی پیشنهاد شده و تحلیل شده در Glensk و Madlener یافت می شود.
[32] Madlener, R., Glensk, B., & Weber, V
[33] Bar-Lev, D., & Katz, S
[34] Humphreys, H. B., & McClain, K. T
[35] Awerbuch, S

بهینه‌سازی میانگین-واریانس و مدل قیمت‌گذاری دارایی، مقدار واقعی ریسک و سرمایه فشرده فن‌آوری‌ها را به در ستی ن شان می‌دهد. او خوا ستار گ سترش افق تحلیلی سیا ست‌گذاران برای گنجاندن مدل‌های جدید ارزش‌گذاری و مفاهیمی اســت که می‌توانند منعکس کننده ویژگی‌های منحصــر به فرد ریســک و بازده فن آوری‌های جدید مانند صفحات خورشیدی باشند (اوربوچ، ۲۰۰۰).

اوربوچ و برگر[۳۶] اولین کسانی هستند که رویکرد میانگین-واریانس پرتفوی را در سبد تولید بازارهای تنظیم شده برق اعمال کردند و آن را در سبد تولید برق اتحادیه اروپا پیاده سازی کردند (اوربوچ و برگر، ۲۰۰۳). در مقابل بار-لو وکتز، از مدل پرتفوی کارامدتری استفاده کردند که نشان دهنده ریسک مربوط به هزینه‌های تولید مانند هزینه‌های ساخت و ساز، هزینه عملیات و تعمیرات و هزینه‌های سوخت بود. بر ا ساس این مدل، آن‌ها تاثیر استفاده از فن‌آوری‌های مختلف تولید را بررسی کردند. نتایج نشان داد که با اضافه کردن انرژی باد یا فن‌آوری‌های انرژی تجدیدپذیر در کنار فن‌آوری سـوخت فسـیلی، بازده کل سـبد بهبود می‌یابد. اوربوچ به بررســی توانایی کاهش نوســانات قیمت ســوخت فســیلی با بهینه‌ســازی ســبد پرداخت. وی نشــان داد که فن‌آوری‌های انرژی تجدیدپذیر، صرف نظر از توان بالقوه خود برای افزایش سهام انرژی، می‌توانند هزینه‌های تولیدکننده را کاهش دهند، حتی اگر هزینه‌های به نســبت بیشــتری را شــامل شــوند. این نتیجه در ابتدا غیرمنطقی به نظر می‌رسد، اما کاملا با نظریه‌های مالی همخوانی دارد.

دوهرتی و همکاران از رویکرد میانگین-واریانس پرتفوی و برنامه ریزی منابع یکپارچه[۳۷] برای بررســی نقش تولید انرژی باد در پرتفوی تولید آینده ا ستفاده کردند که شامل ویژگی های بار باد[۳۸]، تولید و بهره‌برداری از نیروگاه می‌شـود. تجزیه و تحلیل حسـاسـیت برای نرخ تنزیل، مالیات بر کربن و قیمت سـوخت انجام شـد و مشــخص شــد که قدرت باد در بازیافت انرژی آینده ایرلند نقش قابل توجهی ایفا می‌کند (دوهرتی، اوترد و اومالی[۳۹]، ۲۰۰۶). در یک مقاله مرتبط، دوهرتی و همکاران بررســی کردند که چگونه مجموعه پرتفوی ایرلند

[36] Awerbuch, S., & Berger, M
[37] Integrated Resource Planning
[38] Wind load
[39] Doherty, R., Outhred, H & O'Malley, M

ممکن است تا سال ۲۰۲۰ تکامل یابد. تمرکز اصلی بر قیمت کربن و انرژی باد بود، اما این بار نیز در طراحی سیاست، با هدف آن‌ها اطلاع دادن به سیاست‌گذاران درباره این‌که چگونه ابزارهای سیاست به منظور رفع ریسک ناشی از نوسان قیمت سوخت توسط یک پرتفوی آزمایشی متنوع طراحی می‌شود، بود (دوهرتی، اوترد و اومالی، ۲۰۰۵).

کری و زویفل[40] با استفاده از نظریه میانگین-واریانس، پرتفوی تولید برق را برای سوئیس و ایالات متحده بررسی کردند. آن‌ها، شوک‌های مرتبط با هزینه‌های تولید برق را با استفاده از روش رگرسیون ظاهرا غیر مرتبط[41]محاسبه کردند. در انجام این کار، جزء سیستماتیک ماتریس کوواریانس در مورد تغییرات هزینه حذف می‌شود و بنابراین می‌توان ماتریس همبستگی را بدست آورد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که اگر ظرفیت ذخیره‌سازی از نیروگاه‌های آبی و نیروگاه‌های هسته‌ای و خورشیدی بیشتر شود، حداکثر بازده مورد انتظار از پرتفوی در سوئیس می‌تواند افزایش یابد (کری و زویفل، ۲۰۰۶). در دو مقاله مربوطه نویسندگان تجزیه و تحلیل را به دیدگاه کاربر فعلی (بازده انتظاری بیان شده به صورت کیلووات ساعت بر دلار) و دیدگاه سرمایه‌گذار (بازده انتظاری بیان شده به صورت تغییر در کیلووات ساعت بر دلار) گسترش دادند، بنابراین دیدگاه‌ها و ترجیحات مختلف سرمایه‌گذاران درگیر در بازار ممکن است به پرتفوی‌های مختلفی منجر شود (کری و زویفل، ۲۰۰۶) (کری و همکاران، ۲۰۰۸).

بورچرت و شم[42] نظریه پرتفوی مارکویتز را برای ارزیابی گزینه‌های سرمایه‌گذاری درانرژی باد اعمال کردند. آن‌ها متغیرهای هدف برای تحقیق در مورد پروژه‌های انرژی باد آلمان به عنوان بازده مورد انتظار از سرمایه‌گذاری و ارزش شرطی در معرض ریسک[43]را به عنوان پارامتر ریسک در نظر گرفتند. آن‌ها نتیجه گرفتند که طرح ارتقاء فعلی برای برق از انرژی‌های تجدیدپذیر در آلمان (بر اساس تعرفه‌های تضمین شده) تنها منجر به تنوع جزئی می‌شود (بورچرت و شم، ۲۰۰۷).

---

[40] Krey, B., & Zweifel, P
[41] Seemingly unrelated regression
[42] Borchert, J., & Schemm, R
[43] CVaR

دراکه و هوباکک[۴۴]با استفاده از یک رویکرد ریسک و بازده پرتفوی، توانایی کاهش تغییرات انرژی باد در انگلستان را با پراکندگی جغرافیایی مکان‌های مزارع بادی بررسی کردند. تحقیق برای دو سناریو باد حاصل از داده‌های سرعت باد است. این تجزیه و تحلیل برای یک مکان واحد (یک مزرعه بادی متمرکز با ۲/۷ گیگاوات از ظرفیت نصب شده) انجام شد، در مقایسه با وضعیتی که این ظرفیت در چهار مکان مختلف گسترش می‌یابد. نویسندگان نتیجه‌گیری کردند که در اثر توزیع فضایی ظرفیت انرژی باد، کاهش تغییرات انرژی باد در حدود ۳۶ درصد می‌تواند حاصل شود (دراکه و هوباکک، ۲۰۰۷).

جانسن و بورسکنس[۴۵] نتایج حاصل از اعمال رویکرد میانگین-واریانس پرتفوی بر پرتفوی نیروگاه‌های تولید برق آینده هلند در سال ۲۰۳۰ (برای دو مورد ترکیب مختلف از پرتفوی و سناریوهای مختلف) با تأکید ویژه بر نقش نیروگاه‌های تجدید پذیر گزارش کردند. آنها دریافتند که تنوع در فن آوری‌های تجدید پذیر ممکن است برای کاهش قابل توجه ریسک بدون هیچ هزینه‌ی اضافی موثر باشد و اینکه نیروگاه‌های بادی دریایی می‌توانند ریسک و هزینه تولیدی پرتفوی هلند را کاهش دهند و تاثیری مطلوب بر قیمت برق هلند در سال ۲۰۳۰ داشته باشند (جانسن و بورسکنس، ۲۰۱۳).

کینزل و اندرسون[۴۶] رویکرد میانگین-واریانس پرتفوی را به پرتفوی تولید چندین نوع انرژی مانند برق، گرمایش و یا سرمایش، گسترش دادند. آن‌ها به جای استفاده از ابزارها و واریانس‌هایی که از داده‌های سری زمانی تاریخی استفاده می‌شود از مجموعه‌ای از سناریوهای انرژی استفاده کرده‌اند (کینزل و اندرسون، ۲۰۰۸). مدل توسعه یافته برای مجموعه‌ای از فن‌آوری‌های تولید برق و حرارت اجرا شد. در یک مقاله مرتبط، نویسندگان نشان دادند که چگونه می‌توان یک برنامه‌ریزی یکپارچه برای شبکه‌های چندگانه که مبتنی بر نظریه میانگین-واریانس پرتفوی است، برای تعیین یک پرتفوی کارآمد از تولید برق که شامل تصمیم‌گیری‌های مکان و ریسک‌های احتمالی نیز باشد، انجام داد (فیور، کینزل و اندرسون[۴۷]، ۲۰۱۰).

---

[44] Drake, B., & Hubacek, K

[45] Jansen, J. C., & Beurskens, L. W. M

[46] Kienzle, F., & Andersson, G

[47] Favre-Perrod, P., Kienzle, F., & Andersson, G

کاستان و داگلاس[۴۸] از رویکرد میانگین-واریانس برای بررسی ارزش محلی دارایی‌های تولید برق استفاده کردند. سرمایه‌گذاران ریسک گریز حداکثر مقدار مورد انتظار میانگین وزنی قیمت محاشیه محلی[۴۹] را در سبد خود به حداکثر می‌رسانند و واریانس آن را به حداقل می‌رسانند. برای یک شبکه باس[۵۰] شبیه‌سازی شده (نوع IEEE68-) شبیه به سیستم نیویورک، نویسندگان می‌دانند که توپولوژی شبکه یک معیار مهم تصمیم سرمایه‌گذاری است، زیرا خطوط تأمین برق برخی گره‌ها را در طول اوج بار دشوار می‌کند (کاستان و داگلاس، ۲۰۰۸).

مدلنر و ونک[۵۱] در مورد توسعه آینده سبد تولید در سوئیس تحقیق کردند و هدف آن‌ها شناسایی گزینه های سرمایه‌گذاری کارآمد برای بخش تأمین برق بود. با استفاده از تئوری MVP ، مطالعه آنها فن آوری های تولید برق در حال حاضر در حال بهره برداری و همچنین گزینه های جدید مانند تجدیدپذیرهای جدید (باد، فتوولتائیک) و توربین های گازی سیکل ترکیبی ، و مقاوم سازی نیروگاه های انتقال آب رودخانه و ذخیره سازی را شامل می شود. با انجام این کار ، آنها به صراحت اختلاف در زمان ساخت و ساز و توزیع نامتقارن در متغیرهای تصادفی را نشان دادند، صریحا بین فن آوری های بار پایه و اوج بار تمایز قائل شدند و میانگین بازده تنظیم شده با طول عمر و واریانس خاص بازده را به عنوان متغیرهای هدف، مقایسه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که پرتفوی تولید فعلی برای بار پایه در سوئیس بسیار نزدیک به مرز کارآمد است و برای بهینه سازی بیشتر فقط محدودیت کمی را در اختیار شما قرار می‌دهد، در حالی که پرتفوی اوج بار هنوز هم می تواند از منظر ریسک بازگشت بهبود بخشد (مدلنر و ونک، ۲۰۰۸).

مونوز و همکاران یک مدل برای پرتفوی سرمایه‌گذاری بهینه ارائه دادند که حاوی انواع مختلف انرژی‌های

---

[48] Kotsan, S., & Douglas, S

[49] locational marginal price

[۵۰] توپولوژی شبکه خطی نوعی از معماری شبکه است که در آن مجموعه‌ای از کلاینت‌ها از طریق یک خط ارتباطی مشترک که معمولاً باس خوانده می‌شود، به یکدیگر متصل می‌شوند. در دنیای کامپیوتر تعداد متعددی از معماری باس وجود دارد. برای مثال در معماری مادربورد نیز ما همین مدل را می‌بینیم.

[51] Madlener, R., & Wenk, C

تجدیدپذیر است. نویسندگان مدلی را اجرا کردند که شامل یک سیستم معادلات خطی است که تمام فن آوری‌ها و انرژی‌های موجود را در اختیار دارد، به مطالعات مختلفی که در اسپانیا در برنامه انرژی‌های تجدیدپذیر (۲۰۱۰-۲۰۰۵) انجام شده است و همچنین تأثیر انواع مختلف مالیات را مورد بررسی قرار می‌دهد (مونوز و همکاران[۵۲]، ۲۰۰۹). ساندرک و همکاران یک رویکرد تحلیلی را پیشنهاد کردند که ترکیبی از عناصر قیمت‌گذاری پیک بار و نظریه میانگین-واریانس پرتفوی برای به دست آوردن فن آوری‌های تولید مطلوب انرژی در صورت عدم اطمینان در قیمت‌های سوخت است (ساندرک و وبر[۵۳]، ۲۰۰۹). در مدل بهینه سازی استاتیک، نویسندگان، شرایط بهینه‌سازی مشتق شده از لحاظ تحلیلی را که در مقایسه با روش‌های عددی موجود وجود دارد، به دست می‌آورند و چارچوب پیشنهاد شده برای مورد آلمان را اعمال کردند.

فن و ژو تئوری میانگین-واریانس پرتفوی را به برنامه‌های میان مدت (۲۰۲۰) چین در مورد چهار فن‌آوری تولید انرژی‌های مختلف زغال سنگ، گاز طبیعی، هسته‌ای و باد اعمال کردند و پیامدهای کربن دی اکسید، سناریوهای محدود کننده انتشار کربن دی اکسید و آنالیز پیامدهای سیاست‌گذاری را مطالعه کردند. نویسندگان دریافتند که پرتفوی تولید انرژی در سال ۲۰۲۰ ریسک بیشتری نسبت به پرتفوی سال ۲۰۰۵ دارد و افزایش سهم انرژی هسته‌ای به طور موثر می‌تواند ریسک پرتفوی را کاهش دهد. آن‌ها همچنین نتیجه گرفتند که با توجه به هزینه نسبی تولید بالا، سیاست‌گذاری‌هایی برای ترویج توسعه تولید برق از منابع انرژی تجدید پذیر مورد نیاز است (فن و ژو[۵۴]، ۲۰۱۰).

دلارو و همکاران یک مدل میانگین- واریانس پرتفوی را معرفی کردند که بین ظرفیت نصب شده انرژی برق و تحویل قدرت واقعی لحظه‌ای تمایز قائل می‌شود. به این ترتیب، محدودیت‌های کوادراتیک و تعطیلی نیروگاه‌های سوخت‌های فسیلی و نیز تغییرات نیروی باد به طور مناسب در بهینه‌سازی سرمایه‌گذاری هدایت شده توسط پرتفوی مورد توجه قرار می‌گیرد. نتایج حاکی از آن است که افزودن فن‌آوری بادی می‌تواند ریسک

[52] Muñoz, J.I., et al
[53] Sunderkötter, M., & Weber, C
[54] Zhu, L., & Fan, Y

مالی مربوط به هزینه های تولید را کاهش دهد (دلارو، همکاران[۵۵]، ۲۰۱۱).

لنگ و مدلنر، تاثیر کاهش ریسک اعتبار را با استفاده از حاشیه (یعنی سپرده اجباری اوراق قرضه خارجی توسط شرکت اوراق بهادار مبادله آتی) در ارزش نیروگاه در یک چارچوب بهینه‌سازی میانگین-واریانس پرتفوی تحلیل کردند. نویسندگان دریافتند که در نظر گرفتن آشکار الزامات حاشیه‌ای که توسط ECC [۵۶] تعریف می شود، می تواند ترکیب مناسب پرتفوی‌ها را تغییر دهد (لنگ و مدلنر[۵۷]، ۲۰۱۰).

مدلنر و گلنسک، تئوری میانگین-واریانس پرتفوی در دارایی‌های تولید برق در سه کشور اروپایی (آلمان، سوئد و انگلستان) پیاده سازی کردند. نویسندگان ابتدا مرز کارا را برای هر دو وضع حال و آینده مشخص کردند. علاوه بر این، آن‌ها تجزیه و تحلیل کردند که اخیرا طرح‌های سرمایه‌گذاری خاص باعث افزایش یا کاهش کارایی پرتفوی تولید برق شده است. به عنوان معیارهای ریسک و بازده، آنها از ارزش فعلی برای هر واحد ظرفیت نصب شده و انحراف استاندارد مربوطه استفاده کردند. مدل بهینه سازی پرتفوی محدود حاوی پرتفوی تولید نسبتا متنوع در هر سه بازار است. فن آوری‌های جدید انرژی تجدیدپذیر، تاثیر مثبتی بر روی پرتفوی موجود دارند (مدلنر و گلسنک، ۲۰۱۰).

روکس و همکاران، تجزیه و تحلیل مربوط به تنوع جغرافیایی مزارع باد در اروپا را با رویکرد مدل‌سازی میانگین-واریانس پرتفوی، با استفاده از داده‌های تاریخی تولید با انرژی باد از پنج کشور عضو اتحادیه اروپا (اتریش، دانمارک، فرانسه، آلمان و اسپانیا) انجام دادند. برای پرتفوی بدون محدودیت، آن‌ها دریافتند کشورهایی که بهترین منابع انرژی باد را در جهت هموار کردن تغییرات تولید در کشور دارند، پرتفوی بهینه‌تری دارند. در بهینه‌سازی با در نظر گرفتن محدودیت، آنها از پتانسیل منابع باد و محدودیت‌های انتقال استفاده کردند و دریافتند که افزایش بهره‌وری با گوناگونی جغرافیایی کاهش می‌یابد، اما با این حال همچنان نسبت به هر دو پرتفوی واقعی و پیش بینی شده در سال ۲۰۲۰ برتری قابل توجهی دارد. نویسندگان از این مطالعه نتیجه

[55] Delarue, E., De Jonghe, C., Belmans, R., & D'haeseleer, W

[56] European Commodity Clearing AG

[57] Lang, J., & Madlener, R

گرفتند که افزایش ظرفیت اتصال بین‌المللی، هماهنگی بیشتر سیاست‌های حمایت از انرژی‌های تجدیدپذیر در اروپا و طرح‌های انگیزشی که در مکانیسم‌های حمایت از طرح‌های بازار برق اجرا می‌شود، یک راه حل برای حل ناهماهنگی بین پرتفوی‌های انرژی باد و کارامدی رویکرد پراکندگی جغرافیایی است (روکس و همکاران[۵۸]، ۲۰۱۰).

۲ - ۷ - ۳رویکردهای فازی

فینگر و نگوئن، از نظریه مجموعه فازی برای بررسی گزینه‌های استراتژیک در تامین برق برای سوئیس استفاده کردند. عملکرد اقتصادی برای افق‌های زمانی مختلف محاسبه شد. نویسندگان نشان دادند که سود مورد انتظار نه تنها به انتظارات یک سرمایه‌گذار، بلکه همچنین به متغیرهای مورد استفاده نیز بستگی دارد. این روش براساس پنج مرحله عمده است: (۱) غربالگری متغیرها؛ (۲) مدل سازی متغیرهای توضیحی؛ (۳) تعریف و ساخت استراتژی؛ (۴) ساختن سناریوها؛ و (۵) ارزیابی استراتژی‌ها (فینگر و نگوئن[۵۹]، ۲۰۰۷).

گلنسک و مدلنر، یک مرور کلی از مدل پرتفوی فازی ارائه دادند که در آن نرخ بازده و همچنین سطوح مورد انتظار سرمایه‌گذاران از بازده سهام و ریسک به عنوان متغیرهای فازی محسوب شده‌اند. ریسک پرتفوی به عنوان یک ریسک نزولی تعریف شده است. علاوه بر این، نویسندگان یک مدل پرتفوی انحراف مطلیق نیم میانگین[۶۰] را انتخاب کردند که برای انتخاب ترکیب‌های تولید انرژی در آلمان مورد استفاده قرار گرفت (گلنسک و مدلنر، ۲۰۱۰).

مدلنر و همکاران، بررسی کردند که چگونه بهینه‌سازی پرتفوی فازی و اقدامات ریسک جایگزین می‌تواند برای بهینه سازی پرتفوی در نیروگاه‌های بادی در آلمان شامل پنج مزرعه بادی استفاده شود. نویسندگان توازن بین ارزش سهام در بازارهای مالی و برنامه‌ریزی سرمایه‌گذاری برای پروژه‌ها را نشان دادند. نتایج تجزیه و تحلیل تجربی نشان داد که بازده و ریسک برای مدل انحراف مطلق نیمه میانگین بسیار گسترده‌تر از نسخه

[58] Roques, F., Hiroux, C., & Saguan, M

[59] Nguene, G. N., & Finger, M

[60] Semi Mean Absolute Deviation (SMAD)

مدل فازی[۶۱] آن هستند، در حالی که بیشترین بازده پرتفوی‌ها با استفاده از مدل FSMAD تولید می شود (مدلنر و همکاران، ۲۰۱۱). علاوه بر این، بهینه‌سازی پرتفوی براساس مدل FSMAD انتخاب‌های کوچکتری از فرصت‌های پرتفوی را ارائه می‌دهد که می‌تواند گزینه انتخابی یک نمونه خاص را تسهیل کند و منعکس کننده یک مزیت عمده است که اغلب در مورد بهینه‌سازی مبتنی بر نظریه مجموعه‌های فازی برای بهتر منعکس کردن ترجیحات تصمیم گیرنده و شرایط دنیای واقعی، ارائه شده است.

۲ - ۷ - ۴ رویکردهای تلفیقی

یو، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح میانگین- واریانس فاصله‌ای [۶۲] (MIP) را برای تجزیه و تحلیل کوتاه مدت ریسک در بازارهای برق معرفی کرد. کاراکتر فضایی با همبستگی بازارهای جدا شده از لحاظ جغرافیایی و مدیریت فروش در نظر گرفته شد. علاوه بر این، هزینه‌های معامله و سایر محدودیت‌های عملیاتی در مدل گنجانده شد. جالب توجه است که مرز کارای تعیین شده از مدل در این مطالعه موردی نه تخت و نه مقعر است. در نهایت، امکان توسعه مدل به بازارهای انرژی دیگر مورد بررسی قرار گرفت (یو[۶۳]، ۲۰۰۳).

روکس، ارزش انعطاف پذیری عملیات و توافقنامه های قراردادی را در چارچوب فن‌آوری انتخاب بازارهای جدید واردشده در بازار آزاد بررسی کرد. برای نمونه قراردادهای مختلف انتقال ریسک، توربین‌های گاز ترکیبی به دلیل انعطاف پذیری کارایی و همبستگی بالا بین قیمت برق و گاز، به ویژه برای تازه واردان، در مقایسه با نیروگاه‌های زغال سنگ و نیروگاه هسته ای(روکس[۶۴]، ۲۰۰۸). روکس و همکاران، به جای تمرکز تحقیقات خود بر پرتفوی تولید فعلی، روی سرمایه‌گذاری در فن آوری تولید جدید تمرکز کردند. به طور خاص، آنها بر روی سه فن‌آوری گاز، ذغال سنگ و هسته ای تمرکز کردند و ارزش فعلی خالص (NPV) و انحراف استاندارد آن را به عنوان متغیرهای هدف در نظر گرفتند. یکی از نتایج تحقیقات که در بازار انرژی در انگلستان متمرکز است این است که همبستگی بالا بین قیمت گاز و برق، ریسک نیروگاه‌های گاز را کاهش

[61] Fuzzy Semi Mean Absolute Deviation (FSMAD)
[62] spatial mean-variance mixed integer programming
[63] Yu, Z
[64] Roques, F. A

می‌دهد و باعث جذابیت آن‌ها می‌شـــود که توســـط ســـهم بالای گاز تحت ســـلطه قرار می‌گیرند (روکس و همکاران[۶۵]، ۲۰۰۸) (روکس و همکاران[۶۶]، ۲۰۰۸).

دونالت و همکاران، بررســـی اثر تنوع انرژی باد برای کاهش ریســـک کمبود جریان آب برای تولید برق آبی، با اســـتفاده از مدل‌ســـازی وابســـتگی بین دو منبع انرژی مورد مطالعه قرار گرفت. داده‌های مورد اســـتفاده برای استان کبک، با دوره زمانی ۱۹۵۸-۲۰۰۳ بود. نتایج نشان داد که برای هر سناریوی در نظر گرفته شده، سهم باد تا ۳۰ در صد، م شخ صات ری سک تولید کمپانی یک سی ستم هیدرولیک را بهبود می بخ شد (دونالت و همکاران[۶۷]، ۲۰۰۹).

پیندوریا و همکاران، مدل چولگی میانگین واریانس (MVS)[۶۸] جهت گسترش یک پرتفوی کارا مدل واریانس کلاسیک برای تخصیص پرتفوی تولید انرژی، معرفی کردند. راه حل غیر مستقیم بهینه پارتو براساس روش بهینه‌سازی چند هدفه ذرات (MOPSO)[۶۹] از روش فرا ابتکاری بدست می‌آید. آنها دریافتند که رویکرد MVPبه پرتفوی‌های غیرمتمرکز منجر می‌شود و رویکرد آن‌ها می‌تواند راه حل‌های بسیار خوبی را در شرایطی که توزیع غیرنرمال برای دارایی‌ها برای معاملات وجود دارد، فراهم کند (پیندوریا و همکاران[۷۰]، ۲۰۱۰).

فوس و همکاران، ترکیب تجزیه و تحلیل پرتفوی با مدل سازی گزینه‌های واقعی، با تمرکز بر نقش انرژی زیستی در تغییرات اقلیمی و کاهش شدید ریسک‌های زیست محیطی درازمدت را بررسی کردند. در تجزیه و تحلیل سطح نیروگاه، نویسندگان به بررسی تأثیر عدم قطعیت در تصمیم‌گیری‌های سرمایه گذاری، با استفاده از سناریوهای مختلف اقتصادی و اجتماعی برای طیف وسیعی از اهداف تثبیت آب و هوا پرداختند. نویسندگان همچنین تأثیرات ریسک جایگزین را بر نتایج حاصل از آن بررسی کردند (فوس و همکاران[۷۱]، ۲۰۱۲).

هیکی و همکاران، نقاط قوت و ضعف رویکردهای جایگزین را برای تو سعه پرتفوی مطلوب گزینه‌های عر ضه

---

[65] Roques, F. A., Newbery, D. M., & Nuttall, W. J

[66] Roques, R. A., Newbery, D. M., & Nuttall, W. J.

[67] Denault, M., Dupuis, D., & Couture-Cardinal, S

[68] mean-variance-skewness

[69] multipleobjective particle swarm optimization

[70] Pindoriya, N. M., Singh, S. N., & Singh, S. K

[71] Fuss, S., Szolgayová, J., Khabarov, N., & Obersteiner, M

برق (تئوری پرتفوی، نظریه گزینه‌های واقعی و شـــاخص‌های تنوع) و تعدادی از محدودیت‌هایی که در هنگام بهینه‌سازی باید رضایت بخشی را بررسی کنند. آنها نتیجه گرفتند که از رویکردهای مقایسه شده و متناقض، مفهوم تنوع مناسب ترین است. در یک پرتفوی تجربی برای هر دو ایالت ایلینویز و ایالات متحده، نشان دادند که چگونه شاخص شانون-وینر برای ارزیابی اوراق بهادار اعمال می‌شود (هیکی و همکاران[۷۲]، ۲۰۱۰).

لیو و وو[۷۳]، مدیریت ریســـک را در بازارهای رقابتی برق از طریق متنوع‌ســـازی با اســـتفاده از یک مســـئله بهینه‌سازی درجه دوم به طور کلی، مدیریت می‌کنند. رویکرد آن‌ها، تخصیص انرژی را بین بازارهای نقطه‌ای و قراردادهای دوجانبه، با دارایی ریسکی محسوب می‌کند. این روش برای داده‌های تاریخی از بازار برق PJM نشان داده شده است (لیو و وو، ۲۰۰۷).

هویسمان و همکاران از نظر تئوری MVP برای بررسی تخصیص بهینه قراردادهای صعودی و نزولی برای یک خریدار برق عقلایی که هدف آن حفظ کردن هر دو معیار ریسک و بازده است، اعمال می‌شود. در یک روش دو مرحله‌ای، نویسندگان ابتدا نشان دادند که تخصیص بهینه (و ریسک مستقل) نسبت به قراردادهای غیرقابل رقابت مورد بررسی قرار می‌گیرد و چگونه از تفاوت در بازده هزینه هدر دادن نسبت به هر دو قرارداد سود می‌برد. دوم، تخصیص دقیق بین قراردادهای حداکثر و پائین، بر اساس درجه ریسک‌گریزی انتخاب شده است (هویسمان و همکاران[۷۴]، ۲۰۰۹). در یک مقاله مرتبط، هویسمان و همکاران، در معرض ریسک قرار گرفتن قیمت برق در یک چارچوب ارزش در معرض ریسک (VaR) را مورد بررسی قرار دادند، در صورتی که خریدار قراردادهای پیشین، هزینه‌های مورد انتظار از تصویب را به حداقل برساند، با توجه به حد مجاز پیش بینی با توجه به VaR نتایج نشان می‌دهد که یک بازیگر خطرآفرین می‌تواند در مقایسه با یک بازیگر خطرآفرین، هزینه های مورد انتظار را کاهش دهد. رفتار ریسک پذیری با هزینه های پیش بینی شده کمتری به دست می آید، که دلیل آن سود حاصل از تفاوت در بهره وری استرداد استفاده از قراردادهای بار پایه و بار حداکثر است

[72] Hickey, E. A., Carlson, J. L., & Loomis, D

[73] Liu MK, W.F

[74] Huisman, R., Mahieu, R., & Schlichter, F

(هویسمان و همکاران، ۲۰۰۷).

گالوانی و پلورده در تحقیقات خود در مورد کالاهای انرژی کانادا مشاهده نمودند که آینده برای نفت خام، گاز طبیعی و بنزین بدون سرب، قادر به افزایش عملکرد نمایندگی‌های انرژی با توجه به بازده و ریسک نیست، اما می‌تواند به کاهش کلی سطح ارزش در معرض ریسک توسط سرمایه‌گذاران منفعل منجر شود. آن‌ها متوجه شدند که قراردادهای آتی انرژی برای شرکت‌هایی که علاقه مند به نوسانات قیمت در بازارهای انرژی با استفاده از استراتژی‌های خرید و نگهداری هستند، ارزشمند هستند.. به طور خاص، نویسندگان نتیجه گیری می‌کنند که بازده به عوامل به حداکثر ریسک بعید است که از انرژی آینده تجارت انرژی علاوه بر سهام انرژی بهره‌مند شوند (گالوانی و پلورده[۷۵] ،۲۰۱۰). د اولیوریا و همکاران یک رویکرد جدید برای تنظیم معیار ارزش افزوده شرطی (CVaR) برای ترکیب قراردادهای بازار انرژی با استفاده از روش طراحی آزمایش‌های مخلوط (MDE) ارائه کردند. در این استراتژی آزمایشی، عوامل طراحی مربوطه به عنوان نسبت به یک سیستم مخلوط که برای بررسی اوراق بهادار مورد استفاده قرار می‌گیرد، مورد بررسی قرار گرفتند. در مقایسه با رویکرد مشترک استفاده از برنامه نویسی خطی، به اصطلاح توابع مطلوبیت به جای استفاده از توابع هدف چند پاسخ، غیر خطی برای میانگین، با واریانس یک نمونه خاص از طریق MDE استفاده شد. حداکثر سازی تابع مطلوبیت در بهینه‌سازی پرتفوی نشان داده شده است و مرز کارا را تولید می‌کند. این مقاله به ادبیات کمک می‌کند که راه را برای ردیابی ریسک در روال بهینه‌سازی، با ارزیابی تعامل قرارداد و نشان دادن چگونگی کاهش تلاش‌های محاسباتی مورد نیاز برای حل مشکل بهینه‌سازی غیر خطی محدود، کمک کند. مطالعه موردی برای بازار انرژی در برزیل است (د اولیویا و همکاران[۷۶]، ۲۰۱۱).

در این بخش به طور خلا صه سه م سئله روش شناختی مهم مربوط به (۱) برآورد ماتریس کوواریانس مورد بحث قرار می‌گیرد؛ (۲) ا ستفاده از معیارهای جایگزین ریسک و (۳) ا ستفاده از معیارهای جایگزین محا سبه

[75]Galvani, V., & Plourde, A

[76] De Oliveira, F. A., De Paiva, A. P., Lima, J. W. M., Balestrassi, P. P., & Mendes, R. R. A

بازده دارایی‌های تولید برق.

۲ - ۷ - ۵ برآورد ظاهرا غیرمرتبط[۷۷]

کری و زویفل، بر استفاده از روش برآورد غیرمرتبط (SUR) برای رفع مشکل ماتریس همبستگی زمان و اشتباهات حاصل از آن تاکید کردند. مشکل این است که ریسک پرتفوی بستگی به ریسک تک تک دارایی‌ها و ضریب همبستگی بین آن‌ها دارد. برآوردهای ماتریس کوواریانس باید مستقل از زمان باشند. هنگامی که ریسک دارایی‌ها به طور قابل توجهی در منابع انرژی مورد بررسی در بهینه سازی پرتفوی همبستگی دارند، کارایی برآورد با استفاده از این اطلاعات افزایش می‌یابد و شیوه برآورد تخمینی مربعات نامناسب است. برآورد SURاجازه می‌دهد تا تخمین بازده مورد انتظار از تمام معادلات (به عنوان مثال تعداد فن‌آوری‌های تولید برق) در یک رگرسیون، با توجه به همبستگی احتمالی بین شرایط خطا در معادلات مورد بررسی قرار گیرد (کری و زویفل[۷۸]، ۲۰۰۶) (کری و زویفل[۷۹]، ۲۰۰۸) (کری و زویفل[۸۰]، ۲۰۰۸).

۲ - ۷ - ۶ روش‌های جایگزین برای محاسبه ریسک و بازده ریسک

در سال‌های اخیر، جایگزین‌های معروف اندازه‌گیری ریسک مثل MAD، VaR، نقصان مورد انتظار[۸۱] یا نیم واریانس رشد یافته اند. در این بخش در مورد بحث‌های توسعه یافته در مورد روش‌های مختلف اندازه‌گیری و آنالیز ریسک پرتفوی بحث می‌شود. یک مطالعه مفید در این حوزه، کروخمال است (کروخمال[۸۲]، ۲۰۰۲). مدل‌های ریسک نزولی مشهور گشتاور جزیی پایین[۸۳] یا ندامت مورد انتظار[۸۴] هستند. در برنامه‌ریزی تصادفی

[77] Semingly Unrelated Regression
[78] Krey, B., & Zweifel, P
[79] Krey, B., Zweifel, P., Bazilian, M., & Roques, F
[80] Krey, B., & Zweifel, P
[81] Expected Shortfall
[82] Krokhmal, P., Palmquist, J., & Uryasev, S
[83] Lower partial moment
[84] Expected regret

نیز به عنوان مدل محدودیت تغییر مجدد اشاره شده است (باوا[85]، ۱۹۵۷) (دمبو و روزن[86] ، ۱۹۹۹) (تستوری و اوریاسیو[87]، ۲۰۰۴) (هانورلد، استروتکرت و وندرولرک[88]، ۲۰۱۰). در مالی معیار VaR به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. با وجود این، با توجه به معیار VaR با توجه به متغیر تصمیم در نظر گرفته شده، به حداقل رساندن ریسک با استفاده از معیار VaR اغلب روشی شناختی و دشوار است (دوفی و پن[89]، ۱۹۹۷) (جوریون[90]، ۲۰۰۶) (مورگان[91]، ۱۹۹۴). به عنوان یک نتیجه یک معیار دیگر که بسیار مشابه است و نقص های VaR را جبران می‌کند مدل CVaR است بسیاری از اندازه‌گیری‌های دیگر که مشابه CVaR هستند وجود دارد. در سال‌های اخیر تلاش‌هایی برای توسعه رویکردهایی برای تعریف و اندازه‌گیری ریسک به صورت منسجم صورت گرفته است (آرتزنر، دلبائن، ابر و هیث[92]، ۱۹۹۹). در حالی که نظریه‌های اندازه‌گیری ریسک به طور طیفی(آکربی[93]، ۲۰۰۲) و همچنین اندازه گیری انحراف گسترش یافته است (راکفلر، اوریاسیو و زابارانکین[94]، ۲۰۰۶).

بالاخره تلاش‌های قابل ملاحظه‌ای برای توسعه مدل‌های بهینه‌سازی ریسک-بازده و اقدامات ریسک انجام شده است که با حداکثر رساندن سود مورد انتظار سازگار است. در شرایط خاص نشان داده شده است که MVPA حتی با تئوری ابزار فون نویمان- مورگنسترن هماهنگ است (کرول، لوی و مارکویتز[95]، ۱۹۸۴).

کننو و یامازاکی مدل MAD را به عنوان یک مدل خطی برای انتخاب پرتفوی پیشنهاد کرده و آن را در بازار بورس توکیو اعمال کردند. مدل MAD یک جایگزین جالب برای مدل مارکویتز درجه دوم است که پرتفوی مطلوب را به همان نسبت به ارمغان می‌آورد (کننو و یامازاکی، ۱۹۹۱). بدیهی است که یک مدل خطی را

---

[85] Bawa, V. S
[86] Dembo, R., & Rosen, D
[87] Testuri, C. E., & Uryasev, S
[88] Haneveld, W. K. K., Streutker, M. H., & Van Der Vlerk, M. H
[89] Duffie, D., & Pan, J
[90] Jorion P
[91] Morgan, J. P
[92] Artzner, P., Delbaen, F., Eber, J. M., & Heath, D
[93] Acerbi, C
[94] Rockafellar, R. T., Uryasev, S., & Zabarankin, M
[95] Kroll, Y., Levy, H., & Markowitz, H. M

می‌توان راحت تر از یک مدل درجه دوم حل کرد. همچنین مدل MAD را می‌توان برای مقابله با مسائل بزرگ در جایی که یک ماتریس کوواریانس چگال می‌تواند رخ دهد اعمال کرد. یکی دیگر از مزایا این است که نیازی به نوع خاصی از توزیع بازده ندارد اما همه ویژگی های روش MVP را شامل می‌شود.

بازده

بسیاری از مطالعات بهینه سازی پرتفوی برای تولید برق، به خصوص در سال‌های اخیر، از معیار میزان تولید بر هزینه (کیلووات ساعت بر دلار) یا بهره‌وری برای بازده پرتفوی استفاده کرده‌اند. در بازارهای آزاد برق، می‌توان استدلال کرد که توجه به معیار هزینه به تنهایی کافی نیست، زیرا نیروگاه‌ها حداکثر کردن سود را مد نظر قرار می‌دهند.

یک معیار دیگر برای بازده نیروگاه، روش ارزش خالص فعلی است که بر اساس تکنیک تنزیل جریان‌های نقد پایه ریزی شده‌است. جریانات نقدی که برای نیروگاه‌ها تخمین زده می‌شود از یک طرف به درآمدهای نیروگاه و از طرف دیگر هزینه‌هایی شامل هزینه سوخت، قیمت کربن، هزینه عملیات، هزینه سرمایه‌ای و هزینه استهلاک بستگی دارد.

یک جایگزین برای روش ارزش خالص فعلی، استفاده از بازده سالانه است که در مقایسه با روش ارزش خالص فعلی یک روش استاتیک است. به عنوان مثال، وسترنر و مدلنر از هر دو روش ارزش خالص فعلی (NPV) و بازده سالیانه مورد انتظار به منظور مقایسه نتایج با یکدیگر استفاده کردند (وسترنر و مدلنر[۹۶]، ۲۰۰۹) (وسترنز و مدلنر، ۲۰۱۰). در نهایت دراکه و هوباکک از میانگین میزان تولید بر حسب مگاوات بر ساعت که یک شاخص غیر پولی است، به عنوان بازده پرتفوی استفاده کردند (دراکه و هوباکک، ۲۰۰۷).

۲ - ۷ - ۷ جمع‌بندی

در این فصل ادبیات مربوط به بهینه‌سازی پرتفوی از دارایی‌های تولید برق با استفاده از تحلیل پرتفوی میانگین-واریانس و روش‌های مربوطه مورد بحث قرار داده شد. در مورد رویکرد میانگین-واریانس پرتفوی که

[96] Westner, G., & Madlener, R

هم در تئوری و هم در کاربرد در زمینه تولید و تجارت انرژی ا ستفاده می شود، بحث شد. همچنین برخی از مدل‌های جدید بر اساس نظریه فازی، شامل توزیع غیر عادی، و تحلیل ریسک یک طرفه بررسی شد. به توزیع کنندگان انرژی و سیاست‌گذاران این بخش به خوبی توصیه می شود که تصمیمات سرمایه‌گذاری تک فن‌آوری را کنار بگذارند و به جای آن از همبستگی بین فن‌آوری‌های تولید برای کاهش ریسک استفاده کنند. این بررسی نشان می‌دهد که ادبیات موجود در چندین رویکرد متفاوت در مورد کاربرد رویکرد میانگین-واریانس پرتفوی تولید برق ارائه می‌دهد. به طور کلی، علاقه متخصصان به پژوهش در این زمینه روز به روز درحال افزایش ا ست. تفاوت عمده بین مقالات پژوه شی مورد بحث در معیارهای مورد ا ستفاده برای برر سی عملکرد پرتفوی می باشد.

از این فصل نتیجه می‌گیریم که استفاده از بهینه‌سازی پرتفوی در زمینه تولید برق و مسائل مربوط به آن در تجزیه و تحلیل بخش انرژی، یک زمینه جدید پررونق و امیدوار کننده برای تحقیقات نظری و کاربردی به خصوص در شرایط نیاز به سرمایه‌گذاری عظیم در بخش انرژی و به ویژه در بخش انرژی برق، به منظور حفاظت از عرضه پایدار انرژی در سال‌های آینده است.

فصل سوم روش تحقیق

۳ - ۱ مقدمه

پس از مطالعه فرآیند پژوهش با چارچوب نظری پیرامون موضوع و پژوهش‌های مرتبط با موضوع ارائه خواهد شد. به طور کلی منظور از پژوهش، ارائه مهارت‌ها و تجربه‌هایی است که دستیابی به اهداف را آسان‌تر و عملی‌تر می‌سازد یا بهتر می‌توان گفت مسیری است که پدیده‌های علمی مختلف را با اعتبار و پشتوانه‌های علمی مورد بررسی قرار می‌دهد. پژوهشگر باید توجه داشته باشد که نتایج به دست آمده به شدت تحت تاثیر روشی است که برگزیده است، لذا این فصل در پژوهش از اهمیت بالایی برخوردار است و روش شناختی درست پژوهش، موجب به کارگیری ابزار و روش‌های معتبر علمی در فرآیند بررسی واقعیت‌ها، کشف مجهولات و حل مشکلات است.

در این فصل که زیربنای پژوهش است تلاش می‌شود تا روش پژوهش مورد بررسی قرار گیرد. به همین منظور سعی می‌شود که شرح کوتاهی در مورد روش انجام پژوهش، جامعه آماری، شیوه نمونه‌گیری، ابزار گردآوری داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد نیاز در انجام پژوهش مورد بررسی قرار گیرد.

۳ - ۲ روش پژوهش

پژوهش حاضر از لحاظ هدف، تحلیلی کاربردی است، چرا که تاثیر فن‌آوری‌های تجدیدپذیر را در پرتفوی تولید برق کشور ایران بررسی کرده و از نتایج آن در حل مسائل پیشرو استفاده می‌شود. با توجه به روش اجرا از نوع مطالعات پس رویدادی مبتنی بر مطالعات پرتفوی است و نتایج این کار برای تصمیم‌گیری درست در بخش برق استفاده می‌شود. در این پژوهش اطلاعات مورد نیاز از ترازنامه انرژی کشور، وزارت نیرو و سازمان انرژی‌های تجدید پذیر و بهره‌وری انرژی استخراج شده است.

۳ - ۳ قلمرو پژوهش

قلمرو پژوهش بسته به ابعاد آن در سه حیطه قلمرو موضوعی، مکانی و زمانی به شرح زیر تنظیم شده است.

۳ - ۳ - ۱ قلمرو موضوعی

قلمرو موضوعی در حوزه سرمایه‌گذاری و تحلیل بنیادی قرار دارد که این موضوع در حیطه مدیریت مالی است.

۳ - ۳ - ۲ قلمرو مکانی

قلمرو مکانی، کلیه نیروگاه‌های ایران اعم از تجدیدپذیر و فسیلی انتخاب شده است.

۳ - ۳ - ۳ قلمرو زمانی

قلمرو زمانی، مربوط به اطلاعات هزینه‌ای و مالی دوره‌های یک ساله از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۷ است.

۳ - ۴ روش گردآوری اطلاعات

در این پژوهش برای گردآوری داده‌ها از شیوه‌های زیر استفاده شده است:

- برای مبانی نظری و پیشینه پژوهش که در فصل دوم ذکر شد، از روش کتابخانه‌ای با بهره‌گیری از کتب و مقالات تخصصی فارسی و لاتین و پایان نامه‌ها استفاده شده است.
- داده‌های ورودی تحقیق به صورت سالانه از ترازنامه انرژی وزارت نیرو و همچنین پژوهشگاه نیرو و سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا)، با روش کتابخانه‌ای گردآوری شده است.

۳ - ۵ فرایند پژوهش

مسئله اصلی این پژوهش، بررسی امکان بهینه‌سازی ریسک سبد نیروگاه‌های تولید برق با اضافه کردن نیروگاه‌های تجدیدپذیر به سبد است. برای انجام این پژوهش، به داده‌های هزینه‌ای نیروگاه‌های فسیلی و تجدیدپذیر تولید برق در کشور نیاز است. نیروگاه‌های سوخت فسیلی در کشور شامل نیروگاه سیکل ترکیبی، نیروگاه بخاری (حرارتی)، نیروگاه گازی و نیروگاه دیزلی است که بر طبق گزارش‌های دریافتی از وزارت نیرو مبنی بر، کنار گذاشتن نیروگاه‌های بخاری در سال‌های آینده، داده‌های مربوط به این نیروگاه در محاسبات لحاظ نشده‌اند. نیروگاه‌های تجدیدپذیر شامل نیروگاه برق‌آبی، بادی و خورشیدی است و نیروگاه‌های زمین گرمایی و بیوماس و هیدروژن خورشیدی به دلیل ناچیز بودن سهم آن‌ها در پرتفوی در محاسبات لحاظ نشده‌اند. با شرایطی که در قسمت‌های قبل توصیف شد، چهار منبع مهم برای ریسک که سرمایه‌گذاران در بخش برق با آن مواجه هستند، شامل: هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های سوخت، هزینه‌های عملیات و تعمیرات و هزینه های زیست‌محیطی است. با توجه به اینکه پژوهش به دنبال مقایسه این هزینه‌ها در

نیروگاه‌های سوخت‌های فسیلی و تجدیدپذیر است هزینه‌های سرمایه‌گذاری فقط برای نیروگاه‌های تجدیدپذیر محاسبه شده و هزینه‌های سوخت و زیست‌محیطی هم فقط برای نیروگاه‌های سوخت فسیلی قابل تعریف است. براساس ماده ۳۸ قانون مالیات بر ارزش افزوده، واحد های آلاینده محیط زیست که استانداردها و ضوابط حفاظت از محیط زیست را رعایت نمی نمایند و همچنین پالایشگاه‌ها و واحدهای پتروشیمی علاوه بر مالیات و عوارض متعلق موضوع این قانون، مشمول پرداخت ۱ ٪ از قیمت فروش به عنوان عوارض آلایندگی (مالیات سبز) می باشند.

داده‌های تاریخی از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۷ از هزینه‌های سوخت، هزینه تعمیرات و عملیات، هزینه زیست‌محیطی و هزینه سرمایه‌گذاری اولیه برای هر فن‌آوری تولید انرژی برق به صورت سالانه و بر حسب ریال بر کیلو وات ساعت استخراج شد. در مرحله بعد چون برای ورود به مدل مارکویتز به بازده و ریسک نیاز است، بنابراین شاخصی به نام HPR[۹۷] تعریف شد.

این شاخص به صورت زیر تعریف شده است:

$$HPR= (EV-BV)/BV$$

EV[۹۸]: هزینه کل تولید در دوره t+1

BV[۹۹]: هزینه کل تولید در دوره t

در قدم اول داده‌های تاریخی وارد نرم افزار Easy Fit شد و توزیع مناسب و پارامترهای آن برای هر فن‌آوری محاسبه شد. در قدم دوم، این اطلاعات استخراج شده وارد نرم افزار Crystal ball شد و با استفاده از گزینه‌ی Define Assumption توزیع مناسب سری‌های زمانی جریان‌های هزینه‌ای هر فن‌آوری تعریف گردید و سپس با استفاده از گزینه‌ی Predictor، برای ۱۰ سال آینده هزینه‌های گفته شده در قسمت قبل پیش‌بینی گردید. در قدم سوم، HPR برای هر فن‌آوری بر اساس پیش‌بینی‌ها محاسبه شد و میانگین

[97] Holding Period Return

[98] Ending Value

[99] Beginning Value

معکوس HPR به عنوان معیار بازده برای هر فن‌آوری به صورت ا ستاتیک و انحراف معیار ا ستاندارد آن برای هر فن‌آوری به عنوان ریسک به صورت ا ستاتیک تعریف و محا سبه شد. سپس ماتریس واریانس- کوواریانس محا سبه شد و داده‌ها برای ورود به مدل مارکویتز کامل شد. در قدم بعدی، با ا ستفاده از گزینه OptQuest نرم افزار Crystal ball متغیرها، محدودیت‌ها و تابع هدف مسئله تعریف گردید و بر اساس روش شبیه‌سازی مونت کارلو در ۱۰۰۰ تکرار جواب بهینه محاسبه شد و نتایج به دست آمد. برای رسم مرز کارای این مسئله، یک بار دیگر مسئله را در حالتی که تابع هدف ماکزیمم سازی باشد حل کردیم و سپس با استفاده از ۸ نقطه بین مقادیر مینیمم و ماکزیمم و اتصال نقاط به هم مرز کارا را رسم نموده و سپس وضعیت قرارگیری فن‌آوری‌ها در نمودار بازده- ریسک نسبت به مرز کارا سنجیده شد.

نظریه سبد دارایی‌ها معمولا در بستر اوراق بهادار مالی مورد استفاده قرار می‌گیرد تا برآورد ریسک احتمالی سهام و بازده بر مبنای تنوع سالیانه باشد. در مورد سبد تولید برق، هزینه‌ها به عنوان هزینه‌های تولید محاسبه می‌شوند (ریال بر کیلووات ساعت) (بازیلیان و روکس، ۲۰۰۸). در این تحلیل از مفهوم مشابهی از هزینه‌های سبد دارایی‌ها (فن‌آوری‌ها) و بازده و سهم آن‌ها در ریسک کلی سبد استفاده شده است.

هرچه ρ_{ij} در میان دارایی‌های سبد کم باشد، تنوع بیشتر است که در نهایت باعث کاهش ریسک مورد انتظار $E(\sigma_p)$ می‌شود. به عبارت دیگر، افزایش تنوع سبد با افزودن فن‌آوری‌های بیشتر می‌تواند ریسک سرمایه‌گذاری را کاهش دهد که می‌تواند ناشی از عدم همبستگی در میان اجزاء سبد باشد. علاوه بر این، این مفهوم را تایید می‌کند که اضافه کردن انرژی‌های تجدیدپذیر به سبد فن‌آوری‌های بدون ریسک هزینه سوخت و هزینه زیست‌محیطی می‌تواند در واقع ریسک مورد انتظار عرضه برق را کاهش دهد.

۳ - ۶ مفروضات اصلی

بر اساس ساختار فعلی تولید برق در ایران، یک سبد تجربی با استفاده از سهم هر فن‌آوری از سبد موجود به پرتفوی برق که از سال ۱۳۹۵ وجود داشته، ایجاد شده است. در مجموعه سبد آزمایشی، هر فن‌آوری سوخت فسیلی با طیف وسیعی از سهم و الگوی توزیع بر اساس سهم تاریخی آن در طول ۱۸ سال گذشته تعیین

می‌شود. در نهایت، با استفاده از داده‌های تاریخی، بهترین توزیع برای هر فن‌آوری با استفاده از مکانیسم محاسبات آماری استاندارد نرم افزار شبیه سازی کریستال بال[100] تخمین زده شده است.

۳ - ۶ - ۱ مدل بهینه‌سازی با رویکرد شبیه‌سازی

۳ - ۶ - ۱ - ۱ روش‌های شبیه‌سازی مونت کارلو

روش‌های مونت کارلو در واقع جنبه کاربردی شبیه‌سازی تصادفی با توجه به گسترش و رشد و پیشرفت رایانه‌ها است. این روش‌ها با انجام تکرار بسیار زیاد الگوریتم‌ها و محاسبات رایانه‌ای همراه‌اند، که انجام آزمایش‌ها و محاسبات نظری بسیار پیچیده یا پر هزینه است. روش‌های مونت کارلو برای مسائل پیچیده غیرخطی با درجه عدم قطعیت زیاد به کار می‌رود. جدیدترین استفاده از روش‌های شبیه‌سازی تصادفی و به ویژه روش مونت کارلو سعی در تجزیه و تحلیل نوسانات قیمت در بازار سهام و مهندسی مالی است. هدف آن پیش بینی وضعیت آتی قیمت‌های سهام با توجه به نمودار تغییرات قیمت در گذشته و در نظر گرفتن پدیده یا پدیده‌هایی است که هرکدام با یک توزیع احتمال خاص می‌توانند روی قیمت اثر بگذارند.

۳ - ۶ - ۱ - ۲اجزای اصلی روش شبیه‌سازی مونت کارلو

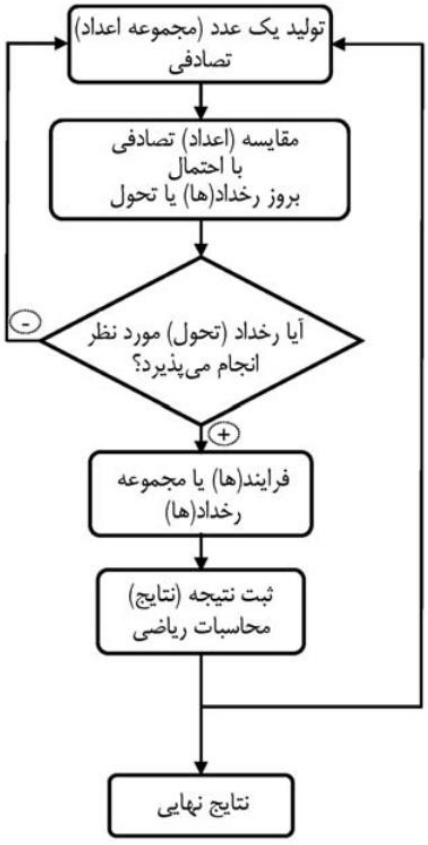
هر الگوریتم محاسباتی و شبیه‌سازی مونت کارلو در شکل ساده یا پیچیده شامل چند جزء اصلی است. این اجزا می‌توانند بیش از یک بار، به طور مستقل یا متداخل و در بخش‌های مختلف الگوریتم تکرار شوند. این اجزا عبارتند از اعداد تصادفی، تابع توزیع احتمال، قواعد نمونه‌برداری، تخمین خطا و کاهش انحراف معیار پراکندگی، موازی سازی- بردارسازی محاسباتی و غیره هستند.

۳ - ۶ - ۱ - ۳اعداد تصادفی

هسته اصلی هر روش شبیه‌سازی تصادفی یا روش‌های مونت کارلو بر مبنای استفاده مداوم از اعداد تصادفی است. طبق تعریف ریاضی عدد تصادفی، عددی است که کاملا شانسی و بدون در نظر گرفتن قواعد خاصی معین می‌شود. در رایانه معمولا اعداد تصادفی بر مبنای قواعد ماشین تهیه می‌شود. بدین معنی که بر مبنای استفاده از فرمول‌های خاص تولید کننده اعداد، در هر بار فراخوان، یک عدد حقیقی در دامنه بین صفر و یک

[100] Oracle Crystal Ball

تولید می‌شود. به این نوع اعداد شبه تصادفی و به برنامه تولید آن‌ها مولد اعداد تصادفی می‌گویند. امروزه، الگوریتم‌های بسیار متعدد و پیچیده برای ارائه و تولید اعداد تصادفی با اطمینان قرار می‌گیرد. از آنجا که اعداد بر مبنای فرمول ریاضی تولید می‌شوند، لازم است اطمینان حاصل شود که دنباله اعداد تولید شده تکراری نباشد. این مسئله به معنای تضمین برای تولید احتمال یکسان برای اتفاقات متوالی است. امروزه مولدهای اعداد تصادفی آنقدر پیشرفت کرده اند که دنباله اعداد پس از 10^{28} تولید یا فراخوان، ممکن است عدد تصادفی مشابه تولید کنند.



شکل ۳-۱ :نمودار فرآیندمحاسبات در یک شبیه سازی مونت کارلو

بهینه‌سازی با رویکرد شبیه‌سازی می‌تواند تعداد بسیار بیشتری از سناریوها را نسبت به روش بهینه‌سازی سنتی بررسی کند و همچنین می‌تواند با عدم اطمینان‌هایی که در عوامل ورودی وجود دارد، مقابله کند. به همین دلیل است که برای تجزیه و تحلیل فعلی از این شیوه استفاده شده است. بهینه‌سازی با اتکا به شبیه‌سازی

می‌تواند ارزش واقعی تابع هدف را با مقایسه منابع مختلف عدم قطعیت و تنوع در پیش بینی، که می‌تواند عملکرد فرآیند بهینه‌سازی را تحت تاثیر قرار دهد، تخمین بزند (اوربوچ و برگر، ۲۰۰۳). به عبارتی دو تابع جداگانه وجود دارند که در یک ترتیب منطقی رخ می‌دهند تا خروجی آماری قابل ملاحظه‌ای را ارائه دهند. روش بهینه سازی، بر اساس الگوریتم جستجوی فرا ابتکاری[۱۰۱]، از خروجی‌های مدل شبیه سازی در حال اجرا به صورت موازی استفاده می‌کند. این شبیه‌سازی که می‌تواند یک ارزیابی سیستم نامیده شود، شایستگی[۱۰۲] عوامل ورودی را براساس توزیع احتمالی از پیش تعیین شده خود می‌سنجد و بهترین خروجی را برای بهینه‌ساز تولید می‌کند. سپس بهینه ساز مقدار جدیدی از مقادیر ورودی را تولید می‌کند و سپس توسط مدل شبیه‌سازی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این روند تقریبا ۱۰۰۰ بار در هر بار با یک عدد تصادفی منحصر به فرد توسط مدل شبیه‌سازی تولید شده، تا زمانی که به جواب بهینه جهانی[۱۰۳] برسد. با توجه به عدم قطعیت‌های موجود در مقادیر ورودی و پیچیدگی فرم عملیاتی هدف، قضاوت در مورد فضای راه حل این نوع مشکل بهینه‌سازی با استفاده از فرآیندهای بهینه‌سازی معمولی بسیار دشوار است. با استفاده از بهینه‌سازی سنتی، فرایند به احتمال زیاد در بهینه محلی متوقف می شود. از سوی دیگر، استفاده از بهینه‌سازی فرا ابتکاری می‌تواند با استفاده از حافظه تطبیقی[۱۰۴] و تکنیک های جمعیت نمونه برداری[۱۰۵]، بر این مشکل غلبه کند. برای این منظور از گزینه آپت‌کوئست[۱۰۶] در نرم افزارکریستال بال استفاده شده است، زیرا این ویژگی‌ها را برای انجام بهینه‌سازی شبیه‌سازی شده در بالا ارائه می‌دهد.

تابع هدف به حداقل رساندن ریسک سرمایه‌گذاری در سبد به عنوان $E(\sigma_p)$ تحت محدودیت‌های داده شده از تخصیص متناسب فن‌آوری‌های مختلف تولید برق در سبد است. با فرض اینکه n فن‌آوری مختلف در سبد وجود دارد، مسئله بهینه‌سازی به صورت زیر قابل توصیف است:

[101] Metaheuristic
[102] Merit
[103] global optima
[104] Adaptive memory
[105] population sampling techniques
[106] OptQuest

$$\text{Minimize}\left(\mathrm{E}(\sigma_p)\right) = \text{Min}\sqrt{\left[\sum \mathrm{w_i^2}\sigma_i^2 + \sum\left(\mathrm{w_i w_j cov_{ij}}\right)\right]}$$

$$\text{where} \quad \mathrm{i} \neq \mathrm{j}, \mathrm{i} = 1,2,3,\dots,\mathrm{n} \quad \text{and} \; \mathrm{j} = 1,2,3,\dots,\mathrm{n}$$

$$\text{subject to} \sum \mathrm{w_i} = 1 \quad \text{and} \quad \mathrm{i} = 1,2,3,\dots,\mathrm{n}$$

$$\mathrm{w_i^{min}} \leq \mathrm{w_i} \leq \mathrm{w_i^{max}}$$

$$\sum \mathrm{w_i^{RE}} \geq 0/15$$

که $\mathrm{w_i}$ سهم فن‌آوری i ام در سبد است. w_i^{min} و w_i^{max} محدودیت‌های پایین‌تر و بالاتر از نسبت فن‌آوری i در سبد است. $\sum w_i^{RE}$ کل تخصیص انرژی تجدید پذیر سبد است.[۱۰۷] به عنوان یک محدودیت برای این مسئله بهینه‌سازی با اتکا به شبیه‌سازی عمل می‌کند. در اینجا شبیه‌سازی با توجه به نیاز به عرضه انرژی تجدیدپذیر در مقایسه با سناریوی پایه، حداقل ۱۵٪ (در سال ۱۳۹۵ تنها ۱۵٪ از کل عرضه برق در ایران از انرژی تجدیدپذیر بوده است) برای اطمینان از افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد تولید برق در نظر گرفته شده است. محدودیت سهم‌های فن‌آوری‌های مختلف در سبد براساس اطلاعات مربوط به سهم تاریخی موجود در ترازنامه انرژی و داده‌های اخذ شده از وزارت نیرو تعیین شده است . هدف اصلی این محدودیت، تعیین ارزش بهینه در برنامه ملی تولید برق در ایران است.

۳ - ۶ - ۲ تکنیک شبیه سازی

در این مدل تجزیه و تحلیل ریسک مبتنی بر صفحه گسترده، از هر دو محاسبه صفحه گسترده و یک روش شبیه‌سازی برای تحلیل اثرات ورودی‌های مختلف به خروجی‌های سیستم استفاده می‌شود. ورودی های مختلف با توزیع آماری آن‌ها تعیین می‌شود. در اینجا از روش شبیه‌سازی مونت کارلو[۱۰۸] با گزینه نمونه برداری لاتین هایپرکیوب[۱۰۹] استفاده شده است. شبیه سازی مونت کارلو به طور تصادفی و بارها مقادیر نامشخص را برای

---

[107] RE: Renewable Energy

[108] Monte Carlo Simulation

[۱۰۹] Hypercube: در این روش نمونه برداری، نرم افزار کریستال بال هر توزیع احتمالی مفروض را به چند بخش تقسیم میکند که از انتخاب نمونه‌های تکراری جلوگیری می‌کند. در طول اجرای شبیه‌سازی، نرم افزار یک فرض تصادفی از هر بخش را با توجه به توزیع احتمالی آن بخش انتخاب می کند. مزیت عمده این روش نمونه برداری نیاز به تکرار کمتر برای دستیابی به تقریب نزدیک ترین تابع هدف است.

شبیه سازی یک مدل، تولید می‌کند. مقادیر توزیع احتمال برای هر فرض (ورودی‌های مختلف) به طور تصادفی و کاملا مستقل هستند. مقدار تصادفی انتخاب شده برای یک تکرار هیچ تاثیری بر مقدار بعدی متغیر تصادفی ندارد. کریستال بال شبیه‌سازی مونت کارلو را با استفاده از مقادیر صفحه گسترده با پیش فرض‌های خاص انجام می‌دهد و اهداف را در یک فرایند سه مرحله‌ای پیش بینی می‌کند. سه مرحله در این فرآیند عبارت است از، تولید یک عدد تصادفی بر اساس توزیع احتمال در نظر گرفته شده ، محاسبه و در نهایت تولید یک مقدار پیش بینی شده در سلول تعیین شده است. این فرایند تکرار می شود مگر اینکه شبیه سازی به معیار متوقف شدن برسد. در حقیقت، برای هر محاسبه صفحه گسترده از ۱۰۰۰ تکرار استفاده شده است.

فصل چهارم نتایج

۴ - ۱مقدمه

تجزیه و تحلیل اطلاعات به عنوان بخشی از فرآیند روش پژوهش علمی، یکی از پایه‌های اصلی مطالعه و بررسی است. به عبارتی دیگر در این فصل، پژوهشگر در راستای پاسخ‌گویی به مسئله پژوهش، به جمع‌آوری داده‌های خام و پردازش نشده پرداخته، از روش‌های مختلف به تجزیه و تحلیل داده‌ها می‌پردازد. در این فصل مدل پژوهش مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

در ابتدای آزمایش، هر فناوری در سبد آزمایشی، در نمودارهای جداگانه ریسک-هزینه (شکل ۴-۲) و ریسک-بازده (شکل ۴-۳) طراحی شد تا به طور کلی موقعیت نسبی هر فناوری در زمینه ویژگی‌های ریسک، هزینه و بازده روشن شود. شبیه‌سازی برای پیش‌بینی محدوده درصد سهم انرژی تجدیدپذیر (درون پرتفوی آزمایشی از تولید برق) در شرایط معین با توجه به هزینه‌های تولید و ریسک انجام شد. در نهایت، بهینه‌سازی با اتکا به شبیه‌سازی برای به حداقل رساندن ریسک سبد، انجام شد.

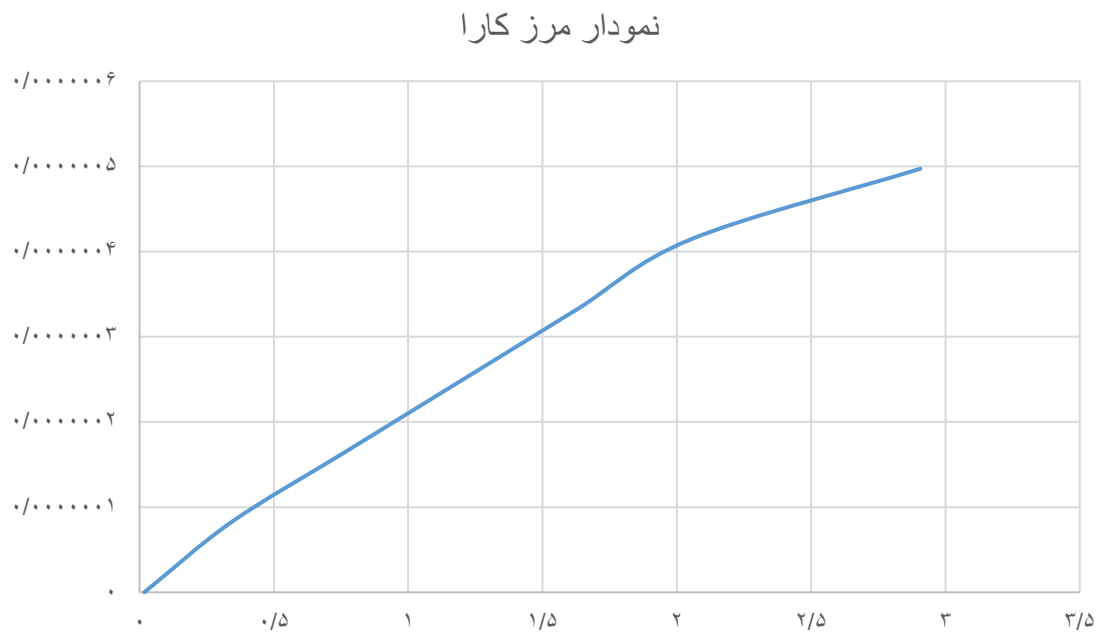
جدول ۱-۴، خصوصیات سبد فعلی فن‌آوری‌های تولید برق در ایران را به لحاظ هزینه مورد انتظار، ریسک و درصد هر فن‌آوری را در پرتفوی تولید برق کشور نشان می‌دهد.

جدول۴-۱: خصوصیات سبد فعلی فن‌آوری‌های تولید برق در ایران

نوع فن‌آوری	$E(c_i)$ (ریال بر کیلووات ساعت)	$E(\sigma_p)$ (درصد)	سهم هر فن‌آوری در سبد (درصد)
سیکل ترکیبی	۱۶۸۳۳/۹۶۱۸	۰/۳۸	۲۵/۵
بخاری[۱۱۰]	۹۰۵۲۳۹/۲۲۵۸	۲۱/۷۵	۲۰/۷
گازی	۷۹۶۷۴۳۴۱۷۹	۴/۱۳	۳۶/۴
دیزلی	۲۶۵۵۸۵۰۷۸۰۵	۴/۱۳	۰/۶
برق آبی	۲۹۶۹۳۳۶۸/۷۵	۴/۵۷	۱۵/۱
بادی	۲۸۱۸۱۱۸۹	۴/۸۰	۱/۱
خورشیدی	۲۹۴۲۸۸۷/۵	۴/۳۹	۰/۶

منبع:یافته‌های پژوهش

[۱۱۰] به دلیل اطلاعات دریافتی از وزارت نیرو و ساتبا (سازمان انرژی های تجدیدپذیر و بهره وری انرژی برق متولی امر توسعه انرژی های تجدید پذیر در ایران) مبنی بر برکناری نیروگاه‌های حرارتی (بخاری) در سال‌های آینده، این نوع از فن‌آوری تولید برق در پیش بینی‌ها لحاظ نشده است.

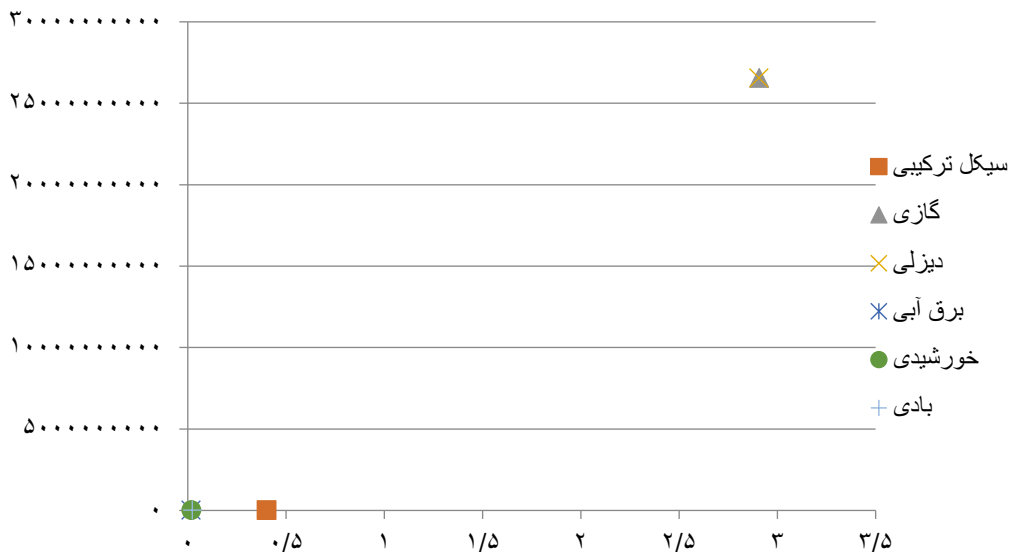


شکل ۴-۱: مرز کارای مسئله در مدل مارکویتز

شکل ۱-۴، مرز کارای به دست آمده از مدل مارکویتز را نشان می‌دهد. محور افقی ریسک و محور عمودی بازده مورد انتظار را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، بین ریسک و بازده رابطه‌ی مستقیمی وجود دارد و به ازای ریسک بیشتر بازده بیشتر و برعکس به دست می‌آید.

۴ - ۲ بررسی ریسک-بازده-هزینه سبد

همانطور که پیشتر مورد بحث قرار گرفت، میانگین معکوس HPR به عنوان بازده، و ریسک مربوط به هر فن‌آوری، انحراف استاندارد تغییرات سالانه HPR هر جزء هزینه ورودی است که نشان می‌دهد چگونه ترکیبی از فناوری‌ها در یک سبد می‌توانند از لحاظ کاهش ریسک و افزایش بازده رفتار کنند.



شکل ۴-۲: نمودار ریسک-هزینه (هزینه بر حسب میلیون ریال بر کیلووات ساعت)

شکل ۴-۳: نمودار ریسک-بازده

شکل ۴-۲ فن‌آوری‌های مختلف را به لحاظ ریسک-هزینه با یکدیگر مقایسه می‌کند. محور عمودی هزینه و ومحور افقی ریسک را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، فن‌آوری‌های خورشیدی، برق‌آبی و بادی دارای کمترین مقدار ریسک و هزینه نسبت به سایر فن‌آوری‌ها هستند. همچنین فن‌آوری سیکل ترکیبی از هزینه کمی برخوردار است اما نسبت به فن‌آوری‌های تجدید پذیر ریسک بالاتری دارد. فن‌آوری‌های گازی و دیزلی بیشترین مقدار ریسک و هزینه را دارند.

شکل۴-۳ نشان دهنده ریسک-بازده فن‌آوری‌های مختلف است. همانطور که مشاهده می‌شود فن‌آوری‌های بادی و خورشیدی کمترین ریسک را دارند اما از طرفی کمترین بازده را هم دارا می‌باشند. فن‌آوری برق‌آبی دارای ریسک مشابه اما بازده به نسبت بیشتری هستند. فن‌آوری سیکل ترکیبی ریسک بیشتری نسبت به فن‌آوری‌های خورشیدی و بادی دارد و همچنین بازده یکسانی در مقایسه با این فن‌آوری‌ها دارد. اما فن‌آوری‌های گازی و دیزلی دارای بیشترین ریسک و بازده هستند.

از مقایسه نتایج به دست آمده از شکل‌های ۴-۲ و ۴-۳، می‌توان گفت که از بین فن‌آوری‌های موجود فن‌آوری‌های تجدیدپذیر به لحاظ هزینه و ریسک مناسب‌تر و بیشترین بازده در بین آن‌ها مربوط به فن‌آوری برق‌آبی است.

۴ - ۳ پیش بینی عرضه انرژی‌های تجدیدپذیر

شبیه سازی‌ها دارای سه هدف ا ست. هدف اول آن پیش‌بینی میزان عر ضه انرژی تجدیدپذیر درایران بدون هیچگونه محدودیت فنی، مالی و زیست‌محیطی است. هدف دوم ایجاد دو مرز مجزا برای عرضه انرژی تجدیدپذیر است که به ترتیب مربوط به ریسک و بازده مورد انتظار است. در نهایت، هدف آن نشان دادن تأثیر انرژی تجدیدپذیر در سبد فناوری عرضه برق از نظر ریسک و هزینه مورد انتظار در ایران است. جدول۴-۲ ریسک و هزیه سبد را در دو حالت با نیروگاه تجدیدپذیر و بدون آن مقایسه می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که ریسک سبد با نیروگاه‌های تجدیدپذیر در مقایسه با حالت بدون آن ۳۷ درصد کاهش داشته است. همچنین هزینه سبد به میزان ۶۸۱۷۰۴۰۳۸/۷ ریال افزایش داشته است.

جدول ۴-۲: مقایسه ریسک و هزینه سبد در حالت با و بدون نیروگاه‌های تجدیدپذیر

	ریسک سبد	هزینه مورد انتظار سبد (ریال بر کیلووات ساعت)
سبد بدون فن‌آوری‌های تجدیدپذیر(فقط فسیلی)	۰/۳۹۲۴	۷۴۸۳۱۱۵۹/۶
سبد متنوع‌سازی شده با فن‌آوری‌های تجدید پذیر(فسیلی و تجدیدپذیر	۰/۰۱۷۴	۶۶۶۰۷۵۵۷/۹۶

منبع:یافته‌های پژوهش

همانطور که در جدول۴-۳، مشاهده می‌شود، با به دست آوردن توابع توزیع جریان‌های هزینه‌ای فن‌آوری‌های سبد تولید برق آزمایشی، سری‌های زمانی جریان‌های هزینه‌ای برای ۱۰ سال آینده و بر اساس توزیع‌های به دست آمده محاسبه شد.

جدول ۴-۳: توابع توزیع و پارامترهای فن‌آوری‌های سبد

فن‌آوری	تابع توزیع	پارامترها
سیکل ترکیبی	Lognormal	Location: 0.73 Mean: 2.56 St.Dev: 11.99
گازی	Normal	Mean: 1.71 St.Dev: 4.14
دیزلی	Wiebull	Location: -0.87 Scale: 1.91 Shape: 0.65164
برق آبی	Lognormal	Location: 1.02 Mean: 0.9 St.Dev: 2.27
خورشیدی	Wiebull	Location: -0.89 Scale: 1.46 Shape: 0.57159
بادی	Wiebull	Location: -0.88 Scale: 1.38 Shape: 0.54277

منبع: یافته‌های پژوهش

۴ - ۴بهینه‌سازی با رویکرد شبیه‌سازی ریسک سبد

تاکنون در مورد اهمیت ریسک سبد تولید برق و چگونگی تاثیر آن بر عرضه برق بحث شد. همچنین دیده شد که سبد مبتنی بر تجزیه و تحلیل ریسک اجازه می‌دهد تا انرژی های تجدیدپذیر بیشتری در سبد، نسبت به سبد مبتنی بر هزینه باشد. در سومین مجموعه از شبیه‌سازی‌ها، یک آزمایش بهینه‌سازی با اتکا به شبیه‌سازی ریسک سبد آزمایشی، با هدف برآورد حداقل ریسک مورد انتظار سبد انجام شد. این آزمایش در سه موقعیت مختلف محدود، به منظور تحلیل حساسیت ادامه یافت. فرض شده است که سه محدودیت اصلی وجود دارد که می‌تواند الگوی ریسک یک سبد تولید انرژی برق با انرژی‌های تجدیدپذیر را در ایران تحت تاثیر قرار دهد. بر اساس بررسی ادبیات، شناسایی شد که قیمت سوخت فسیلی، هزینه‌های سرمایه‌ای برای

تولید انرژی تجدیدپذی (ایدا[111]، ۲۰۰۲) (ایتو، موریتا، یاناگیساوا، سوئهیرو ، کومیاما و شن[112]، ۲۰۰۶) و هزینه زیست‌محیطی (تاکاسه و سوزوکی[113]، ۲۰۱۱) می‌توانند به عنوان سه عامل کلیدی بر ریسک و هزینه های فناوری‌ها تأثیر بگذارند. از این رو نیاز به تحلیل حساسیت ریسک سبد با استفاده از این سه عامل ورودی اصلی است. بهینه سازی با اتکا به شبیه سازی با محدودیت نیاز به عرضه انرژی تجدید پذیر بیش از ۱۵٪ انجام شد، تا سناریوی پایه ایجاد شود. سپس این شبیه‌سازی با دو سناریوی متفاوت دنبال شد تا اثرات این محدودیت‌ها را بر عملکرد هدف، یعنی ریسک سرمایه‌گذاری مورد انتظار، و متغیرهای مربوطه مانند هزینه سبد مورد بررسی قرار دهد. در نهایت، با استفاده از این سه شبیه‌سازی، سه سطح ریسک بهینه برای یک سبد تجربی ارزیابی شد. نتایج شبیه‌سازی تک تک سناریوها در زیر بحث شده است:

۴ - ۴ - ۱ سناریوی پایه با حداقل عرضه انرژی تجدید پذیر

سناریوی پایه (سناریو۱) با بهینه‌سازی ریسک سرمایه‌گذاری مورد انتظار $E(\sigma p)$ و محدودیت تعهد حداقل عرضه انرژی تجدیدپذیر۱۵٪ است. این نتیجه نشان می‌دهد که حداقل ریسک ۰/۰۲ است. شبیه‌سازی نیز تخمین زده است که برای ایران، درصد عرضه انرژی تجدید پذیر در فاصله اطمینان ۹۵٪ می‌تواند بین ۰/۰۵تا ۰/۱۵ از کل عرضه ملی باشد. جدول ۴-۴ نتایج بهینه‌سازی را نشان می‌دهد. این نتیجه نشان می‌دهد که عملکرد بخش انرژی تجدیدپذیر در بازار برق ایران کم است. در حال حاضر، سبد تولید برق ایران دارای ریسک ۰/۰۱۷ و عرضه انرژی تجدیدپذیر ۱۵٪ است.

[111] Iida

[112] Ito, K., Morita, Y., Yanagisawa, A., Suehiro, S., Komiyama, R., & Shen, Z

[113] Takase, K., & Suzuki, T

جدول ۴-۴: سبد بهینه (سناریو۱)

متغیرها	نوع تابع هدف	مقدار بهینه
تابع هدف: ریسک مورد انتظار سبد	حداقل سازی	۰/۰۲
محدودیت: حداقل عرضه فن‌آوری تجدید پذیر	RE≥۰/۱۵	در فاصله اطمینان۹۵٪ حدبالا:۰/۱۵ حد پایین: ۰/۰۵
هزینه مورد انتظار سبد		در فاصله اطمینان۹۵٪ حدبالا:۵۶۰۵۲۱۶۸/۷۱ حدپایین: ۸۳۶۸۳۴۹۳/۷ (ریال بر کیلووات ساعت)

منبع: یافته‌های پژوهش

۴ - ۴ - ۲ سناریوی قیمت بالای سوخت فسیلی

شبیه‌سازی سناریوی ۲ یک تحلیل حساسیت است که تاثیر قیمت سوخت فسیلی بالا را بر ریسک و هزینه‌های احتمالی سرمایه‌گذاری و تأثیر آن بر میزان عرضه انرژی تجدیدپذیر مورد بررسی قرار می‌دهد. این سناریو با افزایش ۱۰ درصدی قیمت سوخت فسیلی، در مقایسه با سناریوی اولیه، شبیه‌سازی شده است. نتیجه، افزایش اندکی در ریسک سرمایه‌گذاری مورد انتظار در مقایسه با سناریو۱ نشان می‌دهد، همچنین تغییرات کمی در میزان عرضه انرژی تجدیدپذیر مربوطه دیده شد. این نتیجه نشان می‌دهد که افزایش در قیمت سوخت فسیلی تغییر چندانی در ریسک سرمایه‌گذاری در پی نخواهد داشت و همچنین ممکن است عرضه انرژی تجدیدپذیر را چندان افزایش ندهد. دلیل اصلی چنین رفتاری می‌تواند ماهیت کوتاه مدت و غیر قابل پیش‌بینی بودن چنین قیمت‌هایی باشد، که امکان کافی برای سرمایه‌گذاران برای تغییر فن‌آوری‌های انرژی تجدیدپذیر نیست. به عنوان یک واقعیت، از لحاظ تاریخی مشاهده شده است در دوره‌هایی که قیمت سوخت‌های فسیلی زیاد

است، سرمایه‌گذاری در فعالیت‌های تحقیق و توسعه انرژی تجدیدپذیر به طور قابل توجهی افزایش یافته است، اما متاسفانه در عرضه واقعی انرژی چنین نیست. دلایل این اتفاق می‌تواند دوره نسبتا طولانی مدتی باشد که برای راه اندازی نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر از زمان کاهش قیمت سوخت‌های فسیلی و همچنین تاثیر ناچیزی بر کاهش بار مالی اضافی ناشی از افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی خواهد داشت. دلیل دیگر ممکن است این واقعیت باشد که سیاست‌گذاران و سرمایه‌گذاران از مزایای کلی انرژی‌های تجدید پذیر بی اطلاع هستند که سیاست‌گذاری‌های دولت‌ها و قانون‌گذاران برای ایجاد سیاست‌های با دوام برای توسعه انرژی تجدیدپذیر می‌تواند عاملی برای ایجاد انگیزه در سرمایه‌گذاران باشد. جدول ۴-۵ نتایج شبیه‌سازی را نشان می دهد.

جدول ۴-۵: سبد بهینه (سناریو۲)

متغیرها	نوع تابع هدف	مقدار بهینه
تابع هدف: ریسک مورد انتظار سبد	حداقل سازی	۰/۰۱۷۴۱۸۴۴
محدودیت: حداقل عرضه فن‌آوری تجدید پذیر	RE≥۰/۱۵	در فاصله اطمینان۹۵٪
	افزایش ۱۰٪ قیمت سوخت‌های فسیلی	حدبالا: ۰/۰۹
		حد پایین: ۰/۰۵
هزینه مورد انتظار سبد		در فاصله اطمینان۹۵٪
		حدبالا:۲۱۲۸۹۷۶۲۳/۲۹
		حدپایین: ۱۳۵۹۰۰۳۰۱/۹۲
		(ریال بر کیلووات ساعت)

منبع: یافته‌های پژوهش

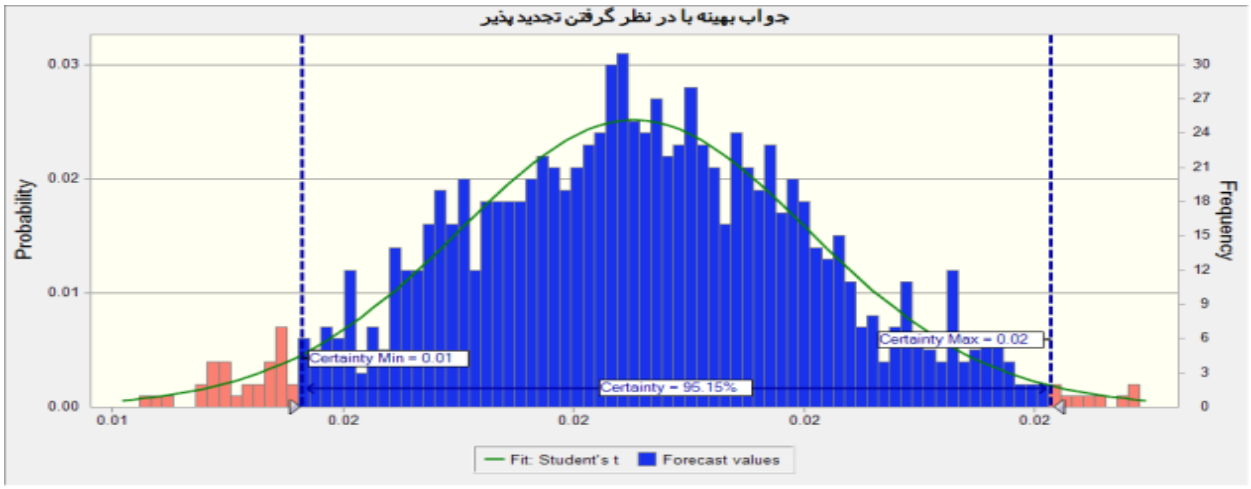
۴ - ۴ - ۳ سناریو هزینه‌های بالای سرمایه عرضه انرژی تجدید پذیر (سناریو ۳).

شبیه سازی سناریوی۳ نشان دهنده تأثیرات مختلف افزایش هزینه‌های سرمایه تولید انرژی تجدیدپذیر بر ریسک و هزینه‌های مورد انتظار است. در ایران، تولید با فن‌آوری خورشیدی هنوز بسیار گران است، گرچه با ریسک بسیار کم همراه است. بنابراین، به رغم مزیت ریسک کم، فناوری‌های خورشیدی و باد نیازمند سرمایه‌گذاری قابل توجهی است. در این سناریو، تلاش شده است تا اثرات افزایش ۱۰ درصدی هزینه‌های سرمایه‌ای تولید انرژی تجدیدپذیر در رابطه با ریسک سرمایه‌گذاری مورد انتظار اندازه‌گیری شود. جدول ۴-۶ نتایج بهینه پارامترهای کلیدی را نشان می‌دهد. نتیجه شبیه‌سازی نشان می‌دهد که انتظار می‌رود هزینه تولید مورد انتظار ۳۳ درصد افزایش یابد و عرضه انرژی تجدیدپذیر ۱۸درصد نسبت به سناریوی پایه افزایش یابد. دلیل اصلی چنین ریسکی می‌تواند به دلیل وابستگی بیشتر سرمایه‌گذاران به سوخت‌های فسیلی نسبت به انرژی‌های تجدیدپذیر باشد تا از هزینه‌های بیشتر جلوگیری شود.

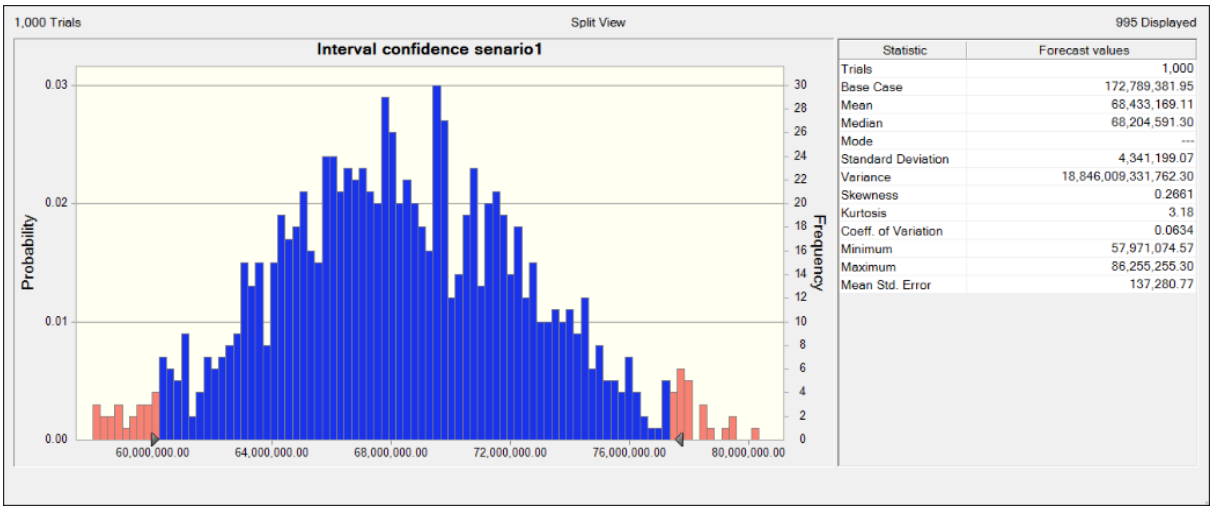
جدول ۴-۶: سبد بهینه (سناریو ۳)

متغیرها	نوع تابع هدف	مقدار بهینه
تابع هدف: ریسک مورد انتظار سبد	حداقل سازی	۰/۰۱۵۳۱۱۰۷
محدودیت: حداقل عرضه فن‌آوری تجدید پذیر	RE≥۰/۱۵ افزایش ۱۰٪ هزینه سرمایه‌گذاری در فن‌آوری‌های تجدید پذیر	در فاصله اطمینان۹۵٪ حدبالا: ۰/۳۳ حد پایین: ۰/۱۶
هزینه مورد انتظار سبد		در فاصله اطمینان۹۵٪ حدبالا: ۱۸۵۶۸۴۲۱۰۹/۶ حدپایین:۵۵۵۸۸۶۵۹۱/۹۴ (ریال بر کیلووات ساعت)

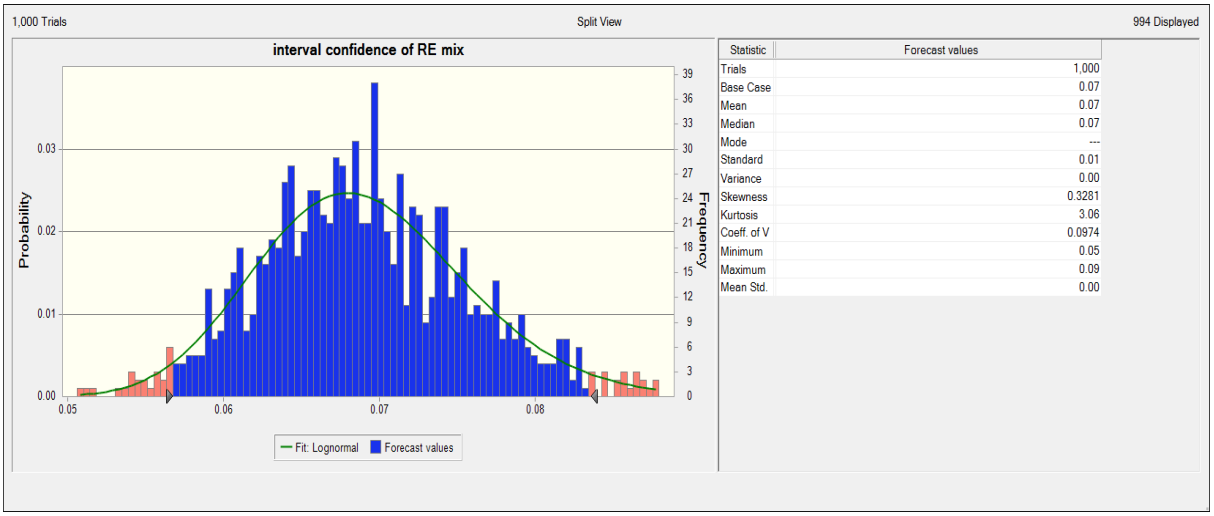
منبع: یافته‌های پژوهش



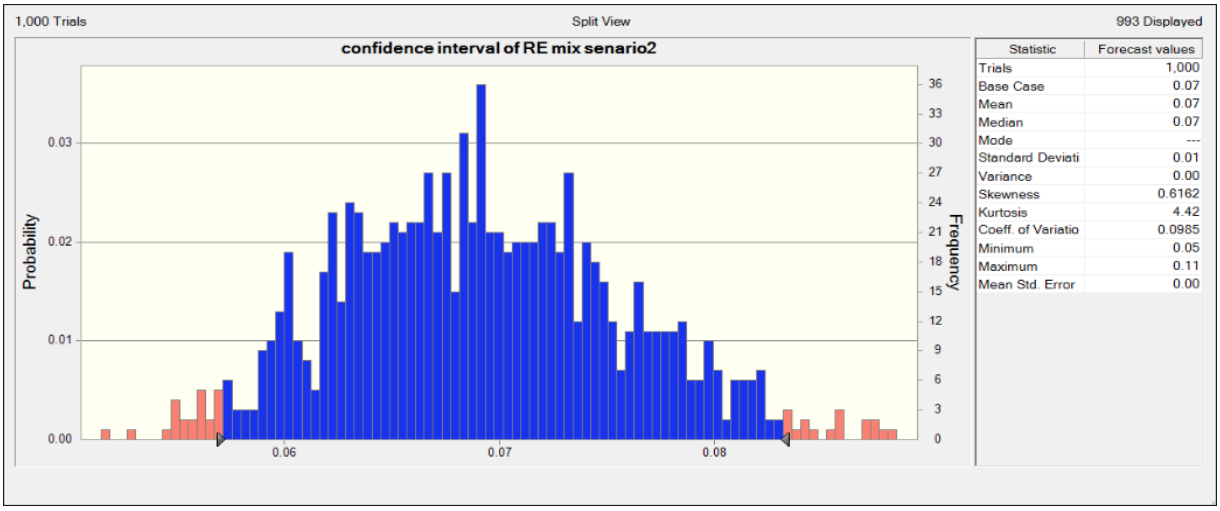
شکل ۴-۴: پیش‌بینی مقدار بهینه ریسک با در نظر گرفتن فن‌آوری تجدیدپذیر



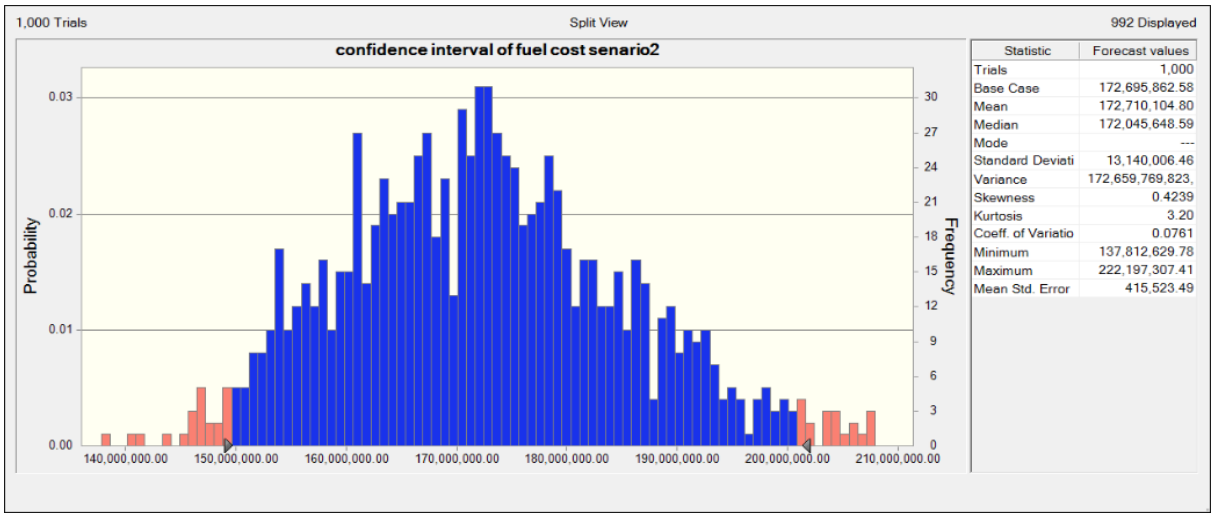
شکل۴-۵: پیش بینی هزینه مورد انتظار در سناریو ۱



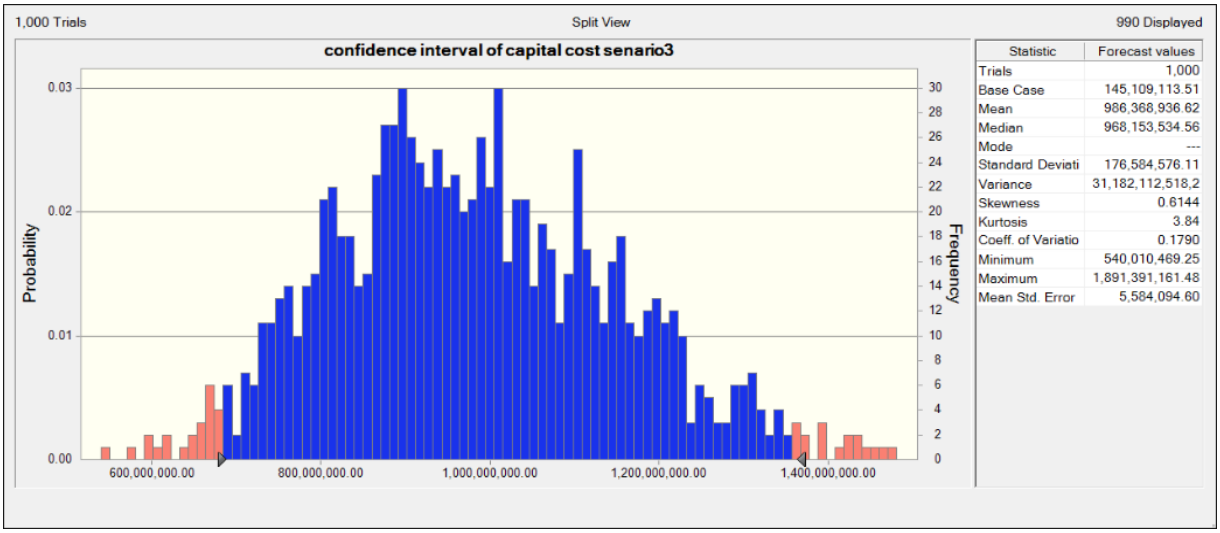
شکل۴-۶: پیش بینی سهم فن‌آوری‌های تجدیدپذیر در سناریوی۱



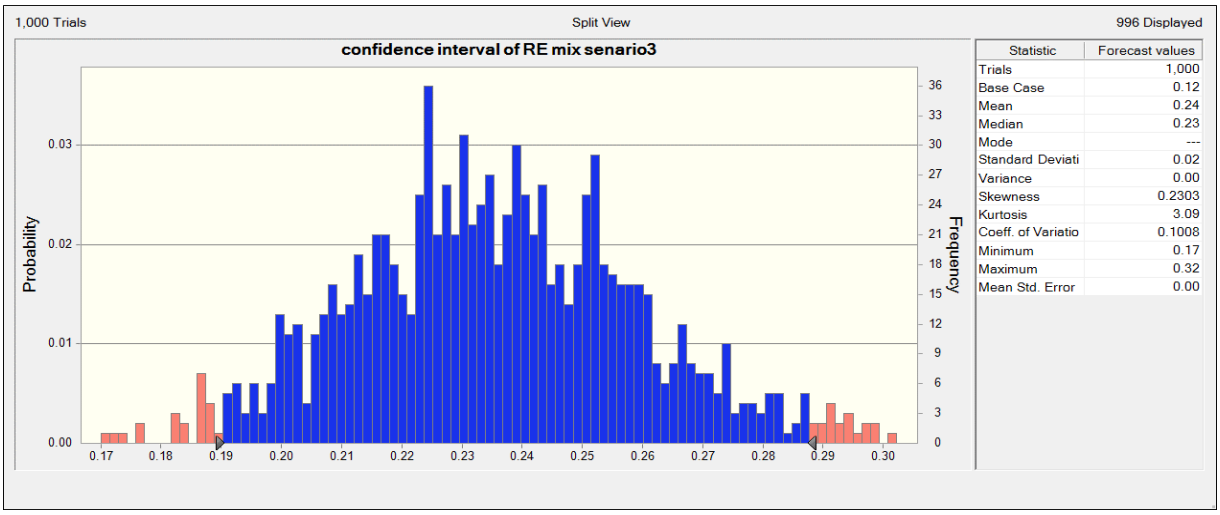
شکل۴-۷: پیش بینی سهم فن‌آوری‌های تجدید پذیر در سناریوی۲



شکل۴-۸: پیش بینی هزینه مورد انتظار در سناریوی۲



شکل۴-۹: پیش بینی هزینه مورد انتظار در سناریوی۳



شکل۴-۱۰: پیش‌بینی سهم فن‌آوری‌های تجدیدپذیر در سناریوی۳

۴ - ۵ جمع‌بندی

طبق نمودارهایی که در بالا آمد، پیش‌بینی درصد سهم فن‌آوری‌های تجدید پذیر در پرتفوی و هزینه مورد انتظار در سناریوهای مختلف محاسبه شد. بر اساس نتایج مشاهده گردید که بر حسب سناریو سهم فن‌آوری‌های تجدیدپذیر در پرتفوی می‌تواند از ۵ تا ۳۳ درصد متغیر باشد. همچنین، هزینه‌های مربوط به سبد متناسب با سناریو تا ۳۳ درصد افزایش می‌یابد.

فصل پنجم: خلاصه، نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵ - ۱مقدمه

بر اساس نتایج فصل قبل، مشاهده شد که ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد تولید برق می‌تواند سبب کاهش ریسک سرمایه‌گذاری مورد انتظار شود. همانطور که دیده شد، ریسک سبد آزمایشی با اضافه کردن نیروگاه‌های تجدیدپذیر در مقایسه با حالت بدون استفاده از آن‌ها، ۳۷ درصد کاهش داشته که تغییر چشم‌گیری است. اما می‌تواند هزینه‌های تولیدی مورد انتظار و بازده مورد انتظار سرمایه‌گذاری را افزایش دهد. در سناریوی پایه که در آن محدودیت قابل ملاحظه‌ای وجود ندارد، ریسک مورد انتظار سرمایه‌گذاری در مقایسه با وضعیت فعلی کاهش یافته است. این موضوع نشان دهنده اهمیت دو تصمیم سیاست‌گذاری مهم در زمینه سرمایه‌گذاری در بخش انرژی است. اولا، بر مزیت کاهش ریسک سبد سرمایه‌گذاری برای سرمایه‌گذاران تاکید دارد. ثانیا، بیانگر این نکته است که استفاده از تمامی منابع انرژی در دسترس و متنوع‌سازی آن می‌تواند به کاهش ریسک کمک کند. به دلیل سطح بالای عدم اطمینان در بازار، سرمایه‌گذاری در بخش انرژی در جهان امروز با ریسک زیادی همراه است. اقدامات حفاظت از محیط‌زیست و اضافه شدن سیاست‌های دیگر این وضعیت را پیچیده‌تر می‌کند. تا به امروز، در زمینه برنامه‌ریزی بخش انرژی، پارادایم غالب بر حداقل کردن هزینه و حداقل کردن ریسک به صورت ضمنی بوده است که در واقع ریسک در برآوردها منعکس می‌شد. هدف از این مطالعه نشان دادن اهمیت ریسک آشکار سبد و همچنین نشان دادن این نکته است که ریسک می‌تواند از طریق استفاده از نیروگاه‌های تجدیدپذیر در پرتفوی کاهش یابد. نتایج مدل‌سازی نیز نشان می‌دهد که ریسک سبد با مولفه انرژی تجدیدپذیر به تغییرات در جریان‌های هزینه ورودی حساس است و در نتیجه، ریسک سبد همراه با هر گونه افزایش در هزینه‌ها، افزایش می‌یابد. در اصل، کلید تعیین ریسک یک سبد، انحراف استاندارد نوسانات قیمت است. از نتایج شبیه‌سازی مشاهده شد که پرتفوی به تغییر قیمت سوخت فسیلی حساس نیست و در قیمت کل تأثیر نمی‌گذارد. یک نتیجه مهم می‌تواند این باشد که حتی در زمان پایین بودن قیمت سوخت فسیلی، اگر نوسان قیمت بالا باشد، ریسک سرمایه‌گذاری همچنان بالا خواهد بود که می‌تواند سرمایه‌گذاری را در نیروگاه‌های تجدیدپذیر کاهش دهد و به تبع آن ریسک سرمایه‌گذاری کاهش می‌یابد. این یکی از بهترین ویژگی‌های

استفاده از ریسک سرمایه‌گذاری است که باعث می‌شود سرمایه‌گذاران به ارزش مطلق هزینه‌های ورودی خنثی شوند اما آگاهی آن‌ها را از نوسانات قیمت افزایش می‌دهد. این امر اعتبار بیشتری را برای سیاست‌هایی که برای تثبیت نوسانات هزینه‌های ورودی مورد استفاده قرار می‌گیرد، افزایش می دهد و در این راستا نیروگاه‌های تجدیدپذیر می‌توانند نقش مهمی ایفا کنند. در واقع، عدم ریسک صریح و آشکار در بخش برق ایران به این معنی است که سبد تولید برق خود را در مدت زمان بسیار طولانی در معرض ریسک قرار داده است. این مطالعه موردی بیشتر این یافته را تایید می‌کند و پیش بینی می‌کند که ایران در حالی که ریسک سرمایه‌گذاری در تامین برق را کاهش می‌دهد، می‌تواند عرضه انرژی تجدیدپذیر حدود ۹ درصد را با افزایش متوسط در هزینه عرضه به دست آورد. تجزیه و تحلیل حساسیت علاوه بر این نشان می‌دهد که با تغییر ۱۰ درصدی در عوامل هزینه ورودی، درصد عرضه انرژی تجدیدپذیر تنها به طور جزئی تحت تأثیر قرار می‌گیرد، اما هزینه‌های مربوط به سبد متناسب با سناریو ۵-۳۲ درصد تغییر می‌کند. بدیهی است که انتخاب یک سبد تولید برق برای ایران که بتواند سهم انرژی تجدیدپذیر را افزایش دهد، حتی با بهینه‌سازی ریسک سبد یک چالش است. بنابراین، مدیریت سه موضوع مهم هزینه، ریسک و میزان عرضه، مستلزم حمایت مستمر دولت است. برای نتیجه گیری، خلاصه‌ای از یافته‌ها در زیر آمده است:

- اضافه کردن نیروگاه‌های تجدیدپذیر به سبد می‌تواند هزینه تولید سبد را افزایش دهد، اما همچنین می‌تواند ریسک سرمایه‌گذاری و هزینه مربوط به آن را کاهش دهد. بنابراین یکی از روش‌هایی که دولت می‌تواند در پیش گیرد، حذف یارانه از قیمت سوخت نیروگاه‌های فسیلی است تا به سمت استفاده از فن‌آوری‌های تجدیدپذیر گرایش پیدا کنند.
- نوسانات قیمت، دلیل اصلی ریسک سرمایه‌گذاری است. بنابراین سیاست‌گذاری باید برای تثبیت چنین نوساناتی طراحی شود.
- تغییر در هزینه‌های زیست‌محیطی تاثیر ناچیزی بر ریسک سهام و عرضه انرژی تجدیدپذیر دارد. بنابراین، افزایش هزینه زیست‌محیطی، سرمایه‌گذاران را برای سرمایه گذاری در انرژی‌های تجدید

پذیر تشـــویق نمی‌کند. افزایش مالیات زیســـت محیطی می‌تواند عاملی برای تغییر فن‌آوری از نیروگاه‌های فسیلی به تجدیدپذیر باشد.

جدول ۵-۱: مقایسه سناریوهای مختلف

سناریو	ریسک مورد انتظار	سهم انرژی تجدیدپذیر(درصد)	هزینه مورد انتظار(ریال بر کیلووات ساعت)
سبد بدون نیروگاه‌های تجدیدپذیر	۰/۳۹۲۴	صفر	۷۲۷۳۲۴۷۶۶/۵
سناریوپایه (سناریو۱)	۰/۰۱۷۴۱۰۶۴	۵-۱۵	۵۶۰۵۲۱۶۸/۷۱ (۸۳۶۸۳۴۹۳/۵۷)
سناریو۲	۰/۰۱۷۴۱۸۴۴	۵-۹	۲۱۲۸۹۷۶۲۳/۲۹ (۱۳۵۹۰۰۳۰۱/۹۲)
سناریو۳	۰/۰۱۵۳۱۱۰۷	۱۶-۳۳	۱۸۵۶۸۴۲۱۰۹/۷۶(۵۵۵۸۸۶۵۹۱/۹۴)

منبع:یافته‌های پژوهش

۵ - ۲ توصیه‌هایی برای سیاست‌گذاری و پیشنهاد برای مطالعات آینده

مجموعه اول مربوط به سیاست‌گذاری‌های دولتی است که می‌تواند نقش کلیدی در ایجاد یک محیط توانمند برای حمایت از سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر و تولید مستمر با این روش ایفا کند. با توجه به نتایج کاهش تاثیر هزینه‌های سوخت فسیلی بر تولید انرژی تجدید پذیر، دولت باید بدون توجه به شرایط بازار، اقدامات سیاست بی قید و شرط را برای بالا بردن سهم نیروگاه‌های تجدید پذیر در نظر بگیرد. مجموعه دوم توصیه‌های سیاستی به سرمایه‌گذاران اختصاص دارد که باید دو مسئله کلیدی را مورد توجه قرار دهند: اول اینکه ریسک سرمایه‌گذاری را در سرمایه‌گذاری‌های خود در نظر بگیرند و دوم اینکه ریسک سرمایه‌گذاری خود را از راه متنوع‌سازی با انرژی‌های تجدیدپذیر کاهش دهند. علاوه بر این، در سطح ملی، دولت همچنین می‌تواند با رعایت برخی از سیاست‌های نظارتی برای کنترل قیمت‌های دولتی برای تهیه سوخت‌های فسیلی، یارانه‌ها و غیره، تاثیرات مستقیم بر حساسیت سرمایه‌گذاری در داخل کشور را افزایش دهد.

۵ - ۳محدودیت‌های تحقیق

از محدودیت‌های موجود می‌توان به، بروز نبودن ترازنامه انرژی که برخی از داده‌ها از آن استخراج شده، اشاره کرد. آخرین ترازنامه انرژی منتشر شده مربوط به سال ۹۵ است و این مسئله می‌تواند روی نتایج پژوهش و دقیق بودن آن تاثیر بگذارد.

۵ - ۴ پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی

در این مطالعه، ریسک ذاتی مربوط به تولید انرژی تجدید پذیر که به طور بالقوه هدف از استفاده انرژی‌های تجدید پذیر را تحت تأثیر قرار می‌دهد نادیده گرفته شد و جنبه‌های مثبت بیشتر برجسته شد و به سیاست‌گذاران و همچنین سرمایه‌گذاران پیشنهاد شد تا جزئیات بیشتری در مورد ارتقاء انرژی های تجدیدپذیر در نظر بگیرند. تجزیه و تحلیل ریسک جامع از انرژی‌های تجدید پذیر تحت اصل غلبه بر بازار، یک موضوع جالب برای پژوهش‌های آینده است.

در این پژوهش از شاخص تغییرات هزینه‌ای برای اندازه‌گیری ریسک استفاده شد، که برای مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود از سایر روش‌های جایگزین مانند روش‌های VaR و CVaR و روش‌های جایگزین برای اندازه‌گیری بازده مانند خالص ارزش فعلی(NPV) یا بازده مورد انتظار سالیانه و غیره استفاده کرد. همچنین سایر روش‌های بهینه‌سازی پرتفوی مانند نیم واریانس، بهینه‌سازی فازی و غیره می‌تواند مورد مطالعه قرار گیرد.

منابع

فهرست منابع

منابع فارسی

۱- پی.جونز، ۱۳۸۰، مدیریت سرمایه‌گذاری، رضا تهرانی . عسگر نوربخش، نگاه دانش، تهران، ص۲۱۶-۲۱۸

۲- عبده تبریزی, حسین، سعید اسلامی بیدگلی و ابوذر سروش، ۱۳۸۲، مدیریت مالی. جلد اول، انتشارات پیشبرد

۳- قدیمی, سید علیرضا؛ سید رضا اسحاقی؛ پوریا نصرآبادی و هانا همتی، ۱۳۹۱، بررسی انواع انرژیهای نو و تجدید پذیر در ایران، *دومین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست*، تهران، دانشگاه تهران، https://www.civilica.com/Paper-ESPME02-ESPME02_484.html

۴- لطفی, محمدجواد؛ محمدمهدی قیاسوند؛ سمانه زیبازاده و علیرضا رحیمی، ۱۳۹۷، پتانسیل انرژی های تجدید پذیر در ایران، *یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران*، همدان، دانشگاه بوعلی سینا - انجمن مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون، https://www.civilica.com/Paper-NCAMEM11-NCAMEM11_277.html

۵- مجدزاده طباطبایی, شراره, هادیان,زیبایی. (۲۰۱۶). تعیین میزان یارانه منا سب جهت تو سعه انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران با استفاده از یک الگوی تعادل عمومی قابل محاسبه با رهیافت تلفیقی .*پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران* , ۵(۱۷)، ۱۶۷-۱۲۹.

منابع لاتین

1- Acerbi, C. (2002) "Spectral measures of risk: A coherent representation of subjective risk aversion" *Journal of Banking & Finance*, *26*(7), pp 1505-1518.

2- Artzner, P., Delbaen, F., Eber, J. M., & Heath, D. (1999) " Coherent measures of risk" *Mathematical finance*, *9*(3), pp 203-228.

3- Awerbuch, S, (2000) "Investing in photovoltaics: risk, accounting and the value of new technology" *Energy Policy*, *28*(14), pp1023-1035.

4- Awerbuch, S., & Berger, M, (2003) "Applying portfolio theory to EU electricity planning and policy-making" *IEA/EET working paper*, *3*, 69.

5- Awerbuch, S., & Berger, M. (2003) "Energy security and diversity in the EU: a mean-variance portfolio approach" *IEA Research Paper*.

6- Bawa, V. S. (1975) "Optimal rules for ordering uncertain prospects" J. financ. econ., *2*(1), pp 95-121.

7- Bar-Lev, D., & Katz, S, (1976). "A portfolio approach to fossil fuel procurement in the electric utility industry". *JOF*, *31*(3), pp 933-947.

8- Better, M., Glover, F., Kochenberger, G., & Wang, H. (2008) "Simulation optimization: Applications in risk management" *Int.J. Mak Decis. Technol*, *7*(04), PP 571-587.

9- Borchert, J., & Schemm, R. (2007). "Einsatz der Portfoliotheorie im Asset Allokations-Prozess am Beispiel eines fiktiven Anlageraumes von Windkraftstandorten".

10- Bazilian, M., & Roques, F. (2008) "Using portfolio theory to value power generation investments" *Analytical Methods for Energy Diversity and Security*, PP 61-69

11- Bhattacharya, A., & Kojima, S. (2012) "Power sector investment risk and renewable energy:

A Japanese case study using portfolio risk optimization method" *Energy Policy*, *40*, 69-80.
12- Cornell, J. A. (2002) "Experiments with Mixtures", John Wiley&Sons. *Inc, New York*.
13- De Oliveira, F. A., De Paiva, A. P., Lima, J. W. M., Balestrassi, P. P., & Mendes, R. R. A. (2011). "Portfolio optimization using Mixture Design of Experiments: Scheduling trades within electricity markets. *Energy Economics*", *33*(1), pp 24-32.
14- Doherty, R., Outhred, H., & O'Malley, M. (2006) "Establishing the role that wind generation may have in future generation portfolios" *IEEE Transactions on Power Systems*, *21*(3), pp1415-1422.
15- Doherty, R., Outhred, H., & O'Malley, M. O. (2005, November) "Generation portfolio analysis for a carbon constrained and uncertain future". In *2005 International Conference on Future Power Systems* (pp. 6-pp). IEEE.
16- Drake, B., & Hubacek, K. (2007) "What to expect from a greater geographic dispersion of wind farms?—A risk portfolio approach" *Energy Policy*, *35*(8), pp 3999-4008.
17- Denault, M., Dupuis, D., & Couture-Cardinal, S. (2009) "Complementarity of hydro and wind power: Improving the risk profile of energy inflows" *Energy Policy*, *37*(12), pp5376-5384.
18- Delarue, E., De Jonghe, C., Belmans, R., & D'haeseleer, W. (2011) "Applying portfolio theory to the electricity sector: Energy versus power". *Energy Economics*, *33*(1), pp12-23.
19- Dembo, R., & Rosen, D. (1999) "The practice of portfolio replication. A practical overview of forward and inverse problems". *Annals of Operations Research*, *85*, pp 267-284.
20- Duffie, D., & Pan, J. (1997) "An overview of value at risk" *Journal of derivatives*, *4*(3), pp7-49.
21- Elton, E. J., & Gruber, M. J. (1997) "Modern portfolio theory", 1950 to date. *JBF*, *21*(11-12), pp 1743-1759.
22- Fuss, S., Szolgayová, J., Khabarov, N., & Obersteiner, M. (2012) "Renewables and climate change mitigation: Irreversible energy investment under uncertainty and portfolio effects" *Energy Policy*, *40*, pp 59-68.
23- Favre-Perrod, P., Kienzle, F., & Andersson, G. (2010) "Modeling and design of future multi-energy generation and transmission systems". *European transactions on electrical power*, *20*(8), pp 994-1008.
24- Fabozzi, F. J., Gupta, F., & Markowitz, H. M. (2002) "The legacy of modern portfolio theory" *JOI*, *11*(3), pp 7-22.
25- Glensk, B., & Madlener, R. (2011) "*Portfolio selection methods and their empirical applicability to real assets in energy markets*" (No. 11/2011). E. ON Energy Research Center, Future Energy Consumer Needs and Behavior (FCN).
26- Glensk, B., & Madlener, R. (2010) "Fuzzy Portfolio Optimization of Power Generation Assets". *Optimisation Models and Methods in Energy Systems*, 70.
27- Galvani, V., & Plourde, A. (2010) "Portfolio diversification in energy markets" *Energy Econ*, *32*(2), pp 257-268.
28- Haneveld, W. K. K., Streutker, M. H., & Van Der Vlerk, M. H. (2010) "An ALM model for pension funds using integrated chance constraints" *Annals of Operations Research*, *177*(1), pp47-62.
29- Humphreys, H. B., & McClain, K. T, (1998) "Reducing the impacts of energy price volatility through dynamic portfolio selection" *Energy J.*, pp107-131.
30- Hickey, E. A., Carlson, J. L., & Loomis, D. (2010) "Issues in the determination of the optimal portfolio of electricity supply options" *Energy Policy*, *38*(5), pp 2198-2207.
31- Huisman, R., Mahieu, R., & Schlichter, F. (2009) "Electricity portfolio management:

Optimal peak/off-peak allocations" *Energy Econ*, *31*(1), pp 169-174.
32- Huisman, R., Mahieu, R., & Schlichter, F. (2007) "Hedging exposure to electricity price risk in a value at risk framework" *ERIM Report Series Reference No. ERS-2007-013-F&A*.
33- Iida, T. (2002) "Greening energy policy in Japan: Building a coalition for renewable energy" *Energy market restructuring and the environment: governance and public goods in globally integrated markets. University Press of America, Maryland*, PP 181-196.
34- Ito, K., Morita, Y., Yanagisawa, A., Suehiro, S., Komiyama, R., & Shen, Z. (2006) "Japan Long-Term Energy Outlook" *A Projection up to, 2030*.
35- Jansen, J. C., & Beurskens, L. W. M. (2013) "Portfolio analysis of the future Dutch generating mix". *Policy Studies, 2012*, 2011.
36- Jorion P (2006) "Value at risk: the benchmark for controlling market risk", 3rd edn. McGraw Hill, Maidenhead
37- Kroll, Y., Levy, H., & Markowitz, H. M. (1984) "Mean-variance versus direct utility maximization". *JOF*, *39*(1), pp 47-61.
38- Konno, H., & Yamazaki, H, (1991) "Mean-absolute deviation portfolio optimization model and its applications to Tokyo stock market" *Manag.sci*, *37*(5), pp 519-531.
39- Konno, H. and T. Koshizuka, (2005) *"Mean-absolute deviation model.* Iie Transactions", 37(10): pp 893-900
40- Krey, B., & Zweifel, P. (2006) " *Efficient electricity portfolios for Switzerland and the United States*" (No. 0602). Working Paper.
41- Krey, B., et al., (2008) *Efficient and secure power for the United States and Switzerland.* Global Energy Policy and Economics, 2008(12): p. pp 193-218.
42- Kienzle, F., & Andersson, G. (2008, March). Efficient multi-energy generation portfolios for the future. In *4th Annual Carnegie Mellon Conference on the Electricity Industry*.
43- Kotsan, S., & Douglas, S. (2008)." Application of mean-variance analysis to locational value of generation assets". *op cit*, pp263-274.
44- Krey, B., & Zweifel, P. (2006) "*Efficient electricity portfolios for Switzerland and the United States*" (No. 0602). Working Paper.
45- Krey, B., Zweifel, P., Bazilian, M., & Roques, F. (2008) "Efficient and secure power for the United States and Switzerland" *Global Energy Policy and Economics*, (12), pp 193-218.
46- Krey, B., & Zweifel, P. (2008) "The impact of liberalization on the scope of efficiency improvement in electricity-generating portfolios for the United States and Switzerland" *Zeitschrift für Energiewirtschaft*, *32*(3), pp 203-209.
47- Krokhmal, P., Palmquist, J., & Uryasev, S. (2002) "Portfolio optimization with conditional value-at-risk objective and constraints". *J. Risk Res.*, *4*, pp43-68.
48- Lang, J., & Madlener, R. (2010) "Portfolio optimization for power plants: the impact of credit risk mitigation and margining".
49- Liu MK, W.F. (2007) "*Portfolio optimization in electricity markets"*. ELECTR POW SYST RES, 77(8): pp 1000-1009
50- Markowitz, H. (1952) "Portfolio selection" *JOF*, *7*(1), pp 77-91.
51- Markowitz, H. (1959). "Portfolio Selection", New York: Wiley & Sons.
52- Madlener, R., Glensk, B., & Weber, V. (2011)"Fuzzy portfolio optimization of onshore wind power plants".
53- Madlener, R., & Wenk, C. (2008)." Efficient investment portfolios for the Swiss electricity supply sector".
54- Muñoz, J.I., et al., (2009) *"Optimal investment portfolio in renewable energy: The Spanish case"*. Energy Policy,. 37(12): p. pp 5273-5284

55- Morgan, J. P. (1994) "Introduction to riskmetrics" *New York: JP Morgan*.
56- Madlener, R., & Glensk, B. (2010) "*Portfolio Impact of New Power Generation Investments of E. ON in the UK, Sweden and Germany* "(No. 17/2010). E. ON Energy Research Center, Future Energy Consumer Needs and Behavior (FCN).
57- Nguene, G. N., & Finger, M. (2007) "A fuzzy-based approach for strategic choices in electric energy supply" The case of a Swiss power provider on the eve of electricity market opening. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *20*(1), pp37-48.
58- Pindoriya, N. M., Singh, S. N., & Singh, S. K. (2010) "Multi-objective mean–variance–skewness model for generation portfolio allocation in electricity markets" *Electric Power Systems Research*, *80*(10), pp 1314-1321.
59- Philippe, J. (2001) "Value at risk: the new benchmark for managing financial risk" *NY:*
60- Rockafellar, R. T., & Uryasev, S. (2000) "Optimization of conditional value-at-risk" *Journal of risk*, *2*, pp21-42.
61- Rockafellar, R. T., Uryasev, S., & Zabarankin, M. (2006) "Generalized deviations in risk analysis" *Finance and Stochastics*, *10*(1), pp 51-74.
62- Roques, F. A. (2008) "Technology choices for new entrants in liberalized markets: The value of operating flexibility and contractual arrangements" *Utilities Policy*, *16*(4), pp 245-253.
63- Roques, F., Hiroux, C., & Saguan, M. (2010) "Optimal wind power deployment in Europe—A portfolio approach" *Energy policy*, *38*(7), pp 3245-3256.
64- Roques, F. A., Newbery, D. M., & Nuttall, W. J. (2008) "Fuel mix diversification incentives in liberalized electricity markets: A Mean–Variance Portfolio theory approach" *Energy Economics*, *30*(4), pp 1831-1849.
65- Roques, R. A., Newbery, D. M., & Nuttall, W. J. (2008) "Portfolio optimization and utilities' investments in liberalized power markets".
66- Sunderkötter, M., & Weber, C. (2009). Valuing fuel diversification in optimal investment policies for electricity generation portfolios. *Available at SSRN 1657055*.
67- Scheffe H (1958) "Experiments with mixtures" J Roy Stat Soc B 20(2):pp344–360
68- Testuri, C. E., & Uryasev, S. (2004). On Relation Betweeen Expected Regret and Conditional Value-at-Risk. In *Handbook of computational and numerical methods in finance* (pp. 361-372). Birkhäuser, Boston, MA.
69- Takase, K., & Suzuki, T. (2011) "The Japanese energy sector: current situation, and future paths" *Energy Policy*, *39*(11), PP 6731-6744.
70- Westner, G., & Madlener, R. (2009) "Development of cogeneration in Germany: A dynamic portfolio analysis based on the new regulatory framework".
71- Westner, G., & Madlener, R. (2010) "The benefit of regional diversification of cogeneration investments in Europe: A mean-variance portfolio analysis" *Energy Policy*, *38*(12), pp 7911-7920.
72- Yu, Z. (2003) "A spatial mean-variance MIP model for energy market risk analysis" *Energy economics*, *25*(3), pp 255-268.
73- Zhu, L., & Fan, Y. (2010). "Optimization of China's generating portfolio and policy implications based on portfolio theory". *Energy*, *35*(3), pp 1391-1402.

Abstract

The lack of investment in the electricity sector has created a major bottleneck in the continuous flow of energy in the market, which will create many problems for the sustainable growth and development of modern society. The main reasons for this lack of investment are the investment risk in the electricity sector. So we must look for a way to reduce this risk. One of the ways to reduce portfolio risk is to diversify it. This study applies the concept of portfolio optimization to demonstrate the potential for greater use of renewable energy (including wind, solar and hydro technologies), which reduces the risk involved in investing in the electricity sector. The research also shows that investing in renewable energies can offset the risk associated with total input costs. Such costs stem from the volatility of fossil fuel prices, investment costs, repair and operation costs, and environmental costs. For example, this case study shows that Iran could theoretically supply about 33 percent of its electricity supply from renewable energy sources compared to its current 15 percent share. The study suggests that instead of costing, consider the forecast of electricity supply and risk minimization that will result in an increased supply of renewable energy in the market.

Keywords: Portfolio Optimization, Portfolio Risk Optimization, Renewable Energy

Faculty of Industrial Engineering and Management

M.Sc. Thesis in Master of Business Administration

Portfolio Optimization of Power Plants in Iran

By: Seyedeh Asra Ahmadi

Supervisors

Dr. Seyed Mojtaba Mirlohi

Dr. Mohammad Hosein Ahmadi

Advisor

Majid Ameri

September2019