بسم الله الرحمن الرحیم

**دانشگاه تربیت مدرّس**

**دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر**

**پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد مهندسی برق–قدرت**

# ارزیابی اقتصادی هاب انرژی با در نظر گرفتن عدم‌قطعیت‌ها

**سید محسن هاشمی**

**استاد راهنما:**

**دکتر محمدکاظم شیخ‌الاسلامی**

**استاد مشاور:**

**دکتر محسن پارسا مقدم**

**تابستان ۱۳۹۲**

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

آقای سید محسن هاشمی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان ارزیابی اقتصادی هاب های انرژی با در نظر گرفتن عدم قطعیت ها در تاریخ ۱۳۹۲/۶/۲۶ ارائه کردند.
اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده، پذیرش آنرا برای اخذ درجه کارشناسی ارشد قدرت پیشنهاد می کنند.

| عضو هیات داوران | نام و نام خانوادگی | رتبه علمی | امضا |
|---|---|---|---|
| استاد راهنما | دکتر صمدکاظم شیخ الاسلامی | استادیار | |
| استاد مشاور | دکتر محسن پارسا مقدم | استاد | |
| استاد ناظر | دکتر محمودرضا حقی فام | استاد | |
| استاد ناظر | دکتر شهرام جدید | استاد | |
| مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی) | دکتر محمودرضا حقی فام | استاد | |

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه مورد تایید است

**دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس**

**مقدمه:** با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

**ماده ۱-** حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

**ماده ۲-** انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

**ماده ۳-** انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

**ماده ۴-** ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

**ماده ۵-** این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی: سیدمحسن هاشمی

**آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس**

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

**ماده ۱:** در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

**ماده ۲:** در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی برق گرایش قدرت است که در سال ۱۳۹۲ در دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر محمدکاظم شیخ‌الاسلامی از آن دفاع شده است.»

**ماده ۳:** به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

**ماده ۴:** در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

**ماده ۵:** دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

**ماده ۶:** اینجانب سیدمحسن هاشمی دانشجوی رشته مهندسی برق- قدرت مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: سیدمحسن هاشمی

تاریخ و امضا:

تقدیم به پدر و مادرم

که از نگاهشان صلابت، از رفتارشان محبت و از صبرشان ایستادگی را آموختم...

# تشکر و قدردانی

سپاس و ستایش خداوندی را سزاست که کسوت هستی را بر اندام موزون آفرینش بپوشانید و تجلیات قدرت لایزالی را در مظاهر و آثار طبیعت، نمایان گردانید. بارالها! من با یاد تو، به تو تقرّب می جویم و تو را به پیشگاه تو شفیع می آورم و از تو خواستارم، به کرمت، مرا به خودت نزدیک گردانی و یاد خود را به من الهام کنی و بر من رحمت آوری و به آنچه بهره و نصیب من ساخته‌ای، خشنودم قرار دهی و در همه حال به فروتنی‌ام وا داری.

بر خود لازم می دانم، از کلیه کسانی که بنده را در تدوین و نگارش این پایان نامه یاری نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم. به خصوص از استاد فرزانه، جناب آقای **دکتر محمدکاظم شیخ‌الاسلامی** که در کلیه مراحل انجام این پژوهش با خوشروئی، یاری و راهنمائی‌ام نمودند. همچنین از استاد فرهیخته جناب آقای **دکتر محسن پارسامقدم** که وقت خود را بی‌شائبه در اختیار من گذاشته و مشاوره‌ی لازم را در این خصوص ارائه نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم. همچنین، بر خود فرض می دانم، از دیگر اساتید محترم گروه قدرت دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس، آقایان **دکتر حسین سیفی**، **دکتر محمودرضا حقی فام**، **دکتر علی یزدیان** و **دکتر مصطفی محمیان** صمیمانه قدردانی نمایم.

# چکیده

در سال‌های اخیر، با توجه به نیاز روزافزون به انواع حامل‌های انرژی و لزوم مواردی همچون قابلیت اطمینان بالا در تامین انرژیِ مورد نیاز مصارف مختلف و استفاده‌ی بهینه و اقتصادی از منابع انرژی، مفهومی تحت عنوان سیستم چندگانه‌ی انرژی مطرح شده است. از مهمترین مسایل مطرح شده پیرامون این مفهوم، تاثیرات اقتصادی و مسایل بهینه‌سازی در حوزه‌های بهره‌برداری و برنامه‌ریزی هاب انرژی، به عنوان اصلی‌ترین بخش سیستم چندگانه‌ی انرژی، می‌باشد. در این پایان‌نامه، به ارزیابی اقتصادی هاب انرژی از دیدگاه بهره‌بردار هاب و در شرایطی که عدم‌قطعیت‌های متعددی وجود دارند، پرداخته شده است. تحقیقات پیشین، عموماً از مدل‌های کوتاه‌مدت در ارزیابی اقتصادی بهره برده و همچنین عدم‌قطعیت‌های محدودی را مورد بررسی قرار داده‌اند. این امر، علاوه بر افزایش خطای ارزیابی، پیچیدگی غیرضروری آن را نیز سبب شده است. مزیت تحقیق صورت گرفته نسبت به موارد پیشین عبارتنداز: اتخاذ نگاهی میان‌مدت به مسئله‌ی ارزیابی اقتصادی، ارائه‌ی چارچوبی با قابلیت دربرگیری انواع عدم‌قطعیت‌های موجود در پیش‌بینی داده‌های ورودی مسئله، لحاظ کردن سازوکارهایی همچون بازار انرژی و قراردادهای بلندمدت خرید و فروش انرژی در تعاملات اقتصادی و لحاظ نمودن میزان ریسک‌پذیری بهره‌بردار در اتخاذ تصمیمات. بر این اساس با استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی به تعریف تابع هدف که مرکب از سود سالانه‌ی بهره‌برداری و ریسک می‌باشد، پرداخته شده است.

در بخش شبیه‌سازی عددی، با استفاده از اطلاعات مربوط به بازارهای نیویورک و اونتاریو، به اِعمال مدل‌سازی‌های صورت‌گرفته، بر یک هاب انرژی و تحلیل نتایج پرداخته شده است. نهایتاً با اعمال روش ارزیابی بر ساختارهای مختلف هاب، مقایسه و انتخاب بهترین ساختار صورت گرفته است.

**کلید واژه:** هاب انرژی، سیستم چندگانه‌ی انرژی، ارزیابی اقتصادی، عدم‌قطعیت، برنامه‌ریزی تصادفی

# فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


فهرست نمادها ..... د
فهرست جدول‌ها ..... ه
فهرست شکل‌ها ..... و

**فصل ۱- مقدمه ..... ۱**
۱-۱- پیشگفتار ..... ۱
۱-۲- تعریف مسئله مورد تحقیق و ضرورت انجام آن ..... ۳
۱-۳- نوآوری تحقیق ..... ۴
۱-۴- ساختار پایان‌نامه ..... ۵

**فصل ۲- هاب انرژی ..... ۶**
۲-۱- مقدمه ..... ۶
۲-۲- معرفی و تعریف ..... ۶
۲-۲-۱- مزایای سیستم چندگانه انرژی در مقایسه با سیستم‌های رایج انرژی ..... ۹
۲-۳- مدل‌سازی ریاضی ..... ۱۰
۲-۳-۱- مدلسازی مبدل‌های انرژی ..... ۱۰
۲-۳-۲- مدلسازی ذخیره‌سازهای انرژی ..... ۱۱
۲-۳-۲-۱- بهره‌گیری از ذخیره‌ساز در مدیریت بار ..... ۱۳
۲-۳-۳- مدل‌سازی شبکه انتقال انرژی ..... ۱۴
۲-۳-۳-۱- مدل پخش بار بدون در نظر گرفتن قیود شبکه ..... ۱۴
۲-۳-۳-۲- مدل کامل پخش بار ..... ۱۵
۲-۳-۴- ویژگی‌های مدل‌سازی بر اساس مفهوم هاب انرژی ..... ۱۵
۲-۴- جمع‌بندی ..... ۱۷

**فصل ۳- مروری بر آخرین تحقیقات در حوزه‌ی هاب انرژی ..... ۱۹**
۳-۱- مقدمه ..... ۱۹
۳-۲- بهینه‌سازی اقتصادی ..... ۲۰
۳-۲-۱- بهره‌برداری و برنامه‌ریزی بهینه هاب انرژی ..... ۲۰
۳-۲-۲- مسئله ارزیابی اقتصادی ..... ۲۱
۳-۳- بهینه‌سازی اقتصادی و زیست‌محیطی ..... ۲۲
۳-۴- کنترل سیستم‌های چندگانه انرژی ..... ۲۳
۳-۵- کاربرد مفهوم هاب انرژی در مدل‌سازی سیستم‌های مختلف انرژی ..... ۲۵
۳-۶- سیستم چندگانه انرژی و شبکه هوشمند ..... ۲۶
۳-۷- نقد و بررسی پژوهش‌ها در حوزه‌ی ارزیابی اقتصادی ..... ۲۹
۳-۷-۱-۱- نقایص پژوهش‌های حوزه‌ی ارزیابی اقتصادی هاب انرژی ..... ۳۱
۳-۸- جمع‌بندی ..... ۳۲

**فصل ۴- روش پیشنهادی برای ارزیابی اقتصادی هاب انرژی ..... ۳۴**
۴-۱- مقدمه ..... ۳۴
۴-۲- عدم‌قطعیت پیش‌بینی و تاثیرات آن ..... ۳۵
۴-۳- مدل‌سازی عدم‌قطعیت‌ها ..... ۳۵
۴-۳-۱- روش برنامه‌ریزی تصادفی[۵۶] ..... ۳۶
۴-۳-۱-۱- برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای ..... ۳۶
۴-۳-۱-۲- برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای ..... ۳۷
۴-۳-۱-۳- شاخص‌های کیفیت ..... ۳۹
۴-۳-۲- روند تولید سناریو ..... ۴۰
۴-۳-۳- تاثیرات متقابل عدم‌قطعیت‌ها ..... ۴۰
۴-۴- فرضیات تحقیق ..... ۴۱
۴-۴-۱- نحوه‌ی خرید انرژی از شبکه بالادست توسط بهره‌بردار هاب ..... ۴۱
۴-۴-۱-۱- بازار انرژی[۳]، [۵۷] ..... ۴۲
۴-۴-۱-۲- قراردادهای بلندمدت خرید انرژی[۳]، [۵۷] ..... ۴۲
۴-۴-۲- دوره‌های زمانی بهره‌برداری در افق تصمیم‌گیری ..... ۴۳
۴-۴-۳- نحوه‌ی فروش انرژی به مصرف‌کنندگان ..... ۴۳
۴-۴-۴- استفاده از مفهوم انرژی به جای توان ..... ۴۵
۴-۵- مدل‌های مورد استفاده مربوط به ساختار و آرایش هاب انرژی ..... ۴۵
۴-۵-۱- منابع تامین انرژی ..... ۴۶
۴-۵-۲- مبدل‌های انرژی ..... ۴۶
۴-۵-۳- ذخیره‌سازهای انرژی ..... ۴۷
۴-۵-۳-۱- ذخیره‌سازی بلندمدت انرژی ..... ۴۸
۴-۵-۳-۲- ذخیره‌سازی کوتاه‌مدت انرژی ..... ۴۸
۴-۵-۴- کنترل بار ..... ۵۰
۴-۶- هزینه‌ها و درآمدهای بهره‌بردار هاب انرژی ..... ۵۱
۴-۶-۱ هزینه بهره‌برداری ..... ۵۱
۴-۶-۱-۱- هزینه‌ی خرید از بازار انرژی ..... ۵۱
۴-۶-۱-۲- هزینه‌ی خرید انرژی از قراردادهای بلندمدت ..... ۵۱
۴-۶-۱-۳- هزینه‌ی خسارت ناشی از قطع بار ..... ۵۲
۴-۶-۲- هزینه‌ی سرمایه‌گذاری مربوط به افق تصمیم‌گیری ..... ۵۲
۴-۶-۳- درآمد فروش انرژی ..... ۵۳
۴-۷- معرفی تابع هدف ..... ۵۴
۴-۸- تابع هدف با لحاظ کردن میزان ریسک‌پذیری ..... ۵۶
۴-۸-۱- شاخص CVaR ..... ۵۷
۴-۸-۲- ضریب ریسک‌پذیری ..... ۵۸
۴-۹- جمع‌بندی ..... ۵۹

**فصل ۵- شبیه‌سازی عددی ..... ۶۱**
۵-۱- مقدمه ..... ۶۱
۵-۲- منابع تامین انرژی ورودی ..... ۶۱
۵-۲-۱- قیمت حامل‌های ورودی از شبکه در بازار برق ..... ۶۱
۵-۲-۲- قراردادهای بلندمدت خرید انرژی ..... ۶۳

۵-۲-۳- ظرفیت در دسترس واحدهای تولید تصادفی ۶۴
۵-۳- انرژی مصرفی در خروجی هاب ۶۴
۵-۳-۱- قراردادهای فروش انرژی ۶۵
۵-۳-۲- بار مصرفی هاب ۶۶
۵-۴- ساختار هاب انرژی مورد بررسی ۶۷
۵-۴-۱- مبدل‌های انرژی ۶۷
۵-۴-۲- ذخیره‌سازهای انرژی ۶۹
۵-۴-۳- امکان کنترل بار ۷۰
۵-۵- حل مسئله بهینه‌سازی ۷۱
۵-۵-۱- حل مسئله‌ی بهینه‌سازی بدون توجه به ریسک ۷۱
۵-۵-۱-۱- ذخیره‌سازی بلندمدت انرژی ۷۲
۵-۵-۱-۲- ذخیره‌سازی کوتاه‌مدت انرژی ۷۳
۵-۵-۱-۳- تبدیل انرژی ۷۶
۵-۵-۲- شاخص کیفیت ۷۸
۵-۵-۲-۱- شاخص VSS ۷۹
۵-۵-۲-۲- شاخص EVPI ۷۹
۵-۵-۳- تاثیر میزان ریسک‌پذیری بهره‌بردار در اتخاذ تصمیمات ۷۹
۵-۶- تحلیل حساسیت ۸۱
۵-۶-۱- تاثیر افزایش بازدهی و ظرفیت تجهیزات ۸۱
۵-۶-۲- تاثیر شدت عدم‌قطعیت پیش‌بینی‌ها ۸۴
۵-۷- مقایسه ساختارهای مختلف هاب انرژی ۸۵
۵-۸- جمع‌بندی ۸۹
**فصل ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۹۰**
۶-۱- نتیجه‌گیری پژوهش ۹۰
۶-۲- پیشنهادات برای پژوهش‌های آتی ۹۲
**مراجع ۹۳**
**واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ۹۷**
**واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ۹۸**

# فهرست نمادها

| عنوان | علامت اختصاری |
|---|---|
| احتمال رخداد سناریوی $\omega$ | $\pi_{\omega}$ |
| ماتریس توان متوسط ورودی هاب در دوره $t$ و سناریوی $\omega$ | $\underline{P_{t,\omega}^{input}}$ |
| ماتریس توان متوسط ذخیره‌سازی در ورودی هاب در دوره $t$ و سناریوی $\omega$ | $\underline{P_{t,\omega}^{storage}}$ |
| ماتریس توان متوسط ذخیره‌سازی در خروجی هاب در دوره $t$ و سناریوی $\omega$ | $\underline{L_{t,\omega}^{storage}}$ |
| بار مصرفی هاب در دوره $t$ و سناریوی $\omega$ | $\underline{L_{t,\omega}}$ |
| توان تولیدی واحد تجدیدپذیر در دوره‌ی $t$ و سناریوی $\omega$ | $\underline{P_{t,\omega}^{renewable}}$ |
| محتوای انرژی ذخیره‌سازها در دوره‌ی $t$ و سناریوی $\omega$ | $E_{t,\omega}$ |
| ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی ذخیره‌سازها | $E^{\max}$ |
| حداکثر درصد مجاز قطع بار در فرایند کنترل بار | $\underline{D^{\max}}$ |
| ماتریس درصد کاهش بار در فرایند کنترل بار | $\underline{D_{t,\omega}}$ |
| ماتریس ظرفیت تجهیزات مبدل انرژی | $\underline{P^{conv,\max}}$ |
| ضریب اطمینان در محاسبه شاخص $CVaR$ | $\alpha$ |
| ضریب ریسک پذیری | $\beta$ |
| درآمد سناریوی $\omega$ | $Revenue_{\omega}$ |
| طول دوره‌ی زمانی $t$ | $Dur_t$ |
| قیمت حامل انرژی مصرفی $g$ در دوره‌ی زمانی $t$ و سناریوی $\omega$، با افزایش مصرف از حد آستانه | $\psi_{g,t,\omega}^{p}$ |
| قیمت متوسط حامل انرژی مصرفی $g$ در دوره زمانی $t$ | $\psi_{g,t}^{E}$ |

| عنوان | علامت اختصاری |
|---|---|
| درصد تغییر بار در اثر تعیین حد آستانه تغییر قیمت | $\zeta$ |
| حد مصرفی تغییر قیمت حامل $g$ در دوره $t$ | $x_{g,t}$ |
| حداکثر تغییر بار در اثر تعیین حد آستانه تغییر قیمت | $m$ |
| ماتریس تبدیل | $C$ |
| ماتریس ضریب پخش انرژی در دوره‌ی $t$ و سناریو $\omega$ | $\underline{V_{t,\omega}}$ |
| ماتریس بازدهی مبدل‌ها | $A$ |
| نماد سناریو | $\omega$ |
| هزینه خرید انرژی از بازار در سناریوی $\omega$ | $Cost_{m,\omega}$ |
| قیمت حامل ورودی $i$ در دوره‌ی $t$ و در سناریوی $\omega$ | $\lambda_{i,t,\omega}^{p}$ |
| توان خریداری شده از بازار از نوع حامل $i$ در دوره $t$ در سناریوی $\omega$ | $P_{i,t,\omega}^{market}$ |
| هزینه خرید از قرارداد بلندمدت | $Cost_c$ |
| قیمت حامل انرژی ورودی $i$ در قرارداد $f$ | $\lambda_{i,f}^{c}$ |
| توان خریداری شده از نوع $i$ در قرارداد $f$ | $P_{i,f}^{contract}$ |
| حداکثر توان $i$ قابل خرید از قرارداد $f$ | $P_{i,f}^{c,\max}$ |
| هزینه قطع بار در سناریوی $\omega$ | $Cost_{d,\omega}$ |
| خسارت قطع حامل انرژی مصرفی $g$ در دوره‌ی $t$ (سنت بر کیلووات) | $PF_{g,t}$ |
| هزینه سرمایه‌گذاری | $Cost_I$ |
| نرخ بهره بانکی | $r$ |

# فهرست جدول‌ها

**عنوان** **صفحه**


جدول ۳-۱: تفاوت روش‌های کنترل متمرکز و غیرمتمرکز [۴۸] ..... ۲۴
جدول ۳-۲: نقایص پژوهش‌های حوزه‌ی ارزیابی اقتصادی هاب و پیشنهادات پایان‌نامه برای رفع آن‌ها ..... ۳۳
جدول ۵-۱: ساعات کم‌باری، میان‌باری و پرباری در فصول مختلف سال در بازار نیویورک ..... ۶۳
جدول ۵-۲: قیمت گاز(سنت/مترمکعب) و سناریوهای قیمت برق (سنت/کیلووات‌ساعت)در دوره‌های مختلف ..... ۶۳
جدول ۵-۳: مشخصات قراردادهای بلندمدت خرید برق ..... ۶۳
جدول ۵-۴: سناریوهای ظرفیت در دسترس واحد بادی (کیلووات) ..... ۶۴
جدول ۵-۵: قیمت فروش حرارت در خروجی هاب ..... ۶۵
جدول ۵-۶: سناریوهای بار الکتریکی و حرارتی (کیلووات) ..... ۶۶
جدول ۵-۷: مشخصات مبدل‌های انرژی ..... ۶۸
جدول ۵-۸: مشخصات ذخیره‌سازهای انرژی ..... ۶۹
جدول ۵-۹: سود و ریسک بهره‌برداری در روش‌ها مختلف حل ..... ۷۹
جدول ۵-۱۰: نسبت اوقات بارگذاری کامل به کل دوره‌های بارگذاری ..... ۸۳

# فهرست شکل‌ها

**عنوان** **صفحه**


شکل ۲-۱: افق زمانی پیش‌رو تا اجرایی شدن پروژه VOFEN[۸] ۷
شکل ۲-۲: سیستم چندگانه‌ی انرژی متشکل از هاب انرژی و سیستم انتقال انرژی[۹] ۷
شکل ۲-۳: نمونه‌ای از یک هاب انرژی شامل: ترانسفورماتور، توربین گاز، مبدل حرارتی، باتری، مخزن ذخیره آب‌گرم و چیلر جذبی[۱۱] ۹
شکل ۲-۴: مدل یک تجهیز ذخیره‌ساز انرژی [۱۱] ۱۲
شکل ۲-۵: مدلسازی یک تجهیز ذخیره‌ساز انرژی در هاب انرژی[۱۱] ۱۳
شکل ۲-۶: مدل خط انتقال انرژی؛ $F_{mn\alpha}$ و $F_{nm\alpha}$ توان های جاری در خط، $\Delta F$ تلفات خط[۴] ۱۵
شکل ۲-۷: مدلسازی خودروی هیبریدی قابل اتصال به شبکه برق، به صورت یک هاب انرژی[۲۹] ۱۶
شکل ۲-۸: مدل یک ناحیه‌ی جغرافیای بر اساس مفهوم هاب انرژی[۳۰] ۱۷
شکل ۳-۱: کنترل متمرکز شبکه به‌هم‌پیوسته‌ی هاب‌های انرژی [۴۷] ۲۴
شکل ۳-۲: ساختار کنترل متمرکز و غیرمتمرکز شبکه‌ی چندگانه‌ی انرژی [۴۸] ۲۵
شکل ۳-۳: نمای کلی از سیستم مدیریت هاب‌های انرژی (EHMS) [۵۴] ۲۶
شکل ۳-۴: ساختار میکروهاب هوشمند خانگی [۵۴] ۲۸
شکل ۳-۵: نمایی از نحوه‌ی عملکرد کنترل‌کننده‌ی مرکزی میکروهاب مورد نظر[۵۴] ۲۸
شکل ۳-۶: قیمت حامل‌های مختلف انرژی در یکی از روندهای قیمتی [۶] ۳۰
شکل ۳-۷: نحوه‌ی بهره‌گیری از روش مونت کارلو در تحلیل سود در یک هاب انرژی [۶] ۳۱
شکل ۴-۱: درخت سناریو در مسئله‌ی تصمیم‌گیری دو مرحله‌ای[۵۶] ۳۷
شکل ۴-۲: درخت سناریو در مسئله تصمیم‌گیری چندمرحله‌ای[۵۶] ۳۸
شکل ۴-۳: تابع پذیرش، نشان‌دهنده‌ی تاثیر آستانه‌ی قیمتی فروش بر بار مصرفی ۴۴
شکل ۴-۴: مدل پیشنهادی جهت مدل‌سازی مبدل‌های انرژی ۴۶
شکل ۴-۵: جایگاه ذخیره‌سازی بلندمدت و کوتاه‌مدت انرژی در هاب انرژی ۴۹
شکل ۴-۶: هزینه تامین انرژی در اوقات مختلف روز در دو حالت مفروض ۴۹
شکل ۴-۷: تاثیر احتمالی منحنی قیمت روزانه بر راهبرد ذخیره‌سازی کوتاه‌مدت انرژی ۴۹
شکل ۴-۸: منحنی معادل بار و ذخیره‌سازی با ادغام ذخیره‌سازی کوتاه‌مدت و بار مصرفی برای حالت۱ ۵۰
شکل ۴-۹: منحنی معادل بار و ذخیره‌سازی با ادغام ذخیره‌سازی کوتاه‌مدت و بار مصرفی برای حالت۲ ۵۰
شکل ۴-۱۰: دیاگرام نحوه‌ی پخش توان در بخش‌های مختلف هاب انرژی ۵۵
شکل ۴-۱۱: تفاوت VaR و CVaR در یک تابع توزیع مفروض ۵۷
شکل ۴-۱۲: نمایش جبهه‌ی «ریسک-سود انتظاری» با استفاده از ضریب ریسک‌پذیری[۵۶] ۵۸
شکل ۵-۱: قیمت ساعتی برق در یک روز نوعی در بازار نیویورک[۶۰] ۶۲
شکل ۵-۲: منحنی تابع پذیرش، نشان‌دهنده‌ی درصد تغییر بار الکتریکی با تغییر حد آستانه‌ی مصرفی ۶۶
شکل ۵-۳: آرایش تجهیزاتی هاب انرژی در ساختار چهارم ۶۷
شکل ۵-۴: هزینه نصب واحد تولید همزمان در ظرفیت‌های مختلف (ظرفیت برحسب کیلووات) ۶۸
شکل ۵-۵: هزینه نصب ترانسفورماتور در ظرفیت‌های مختلف (ظرفیت برحسب کیلووات) ۶۸
شکل ۵-۶: هزینه نصب کوره گازسوز در ظرفیت‌های مختلف (ظرفیت برحسب کیلووات) ۶۸
شکل ۵-۷: هزینه نصب مخزن گاز در ظرفیت‌های مختلف (مترمکعب) ۷۰

شکل ۵-۸: هزینه نصب باتری در ظرفیت‌های مختلف (کیلووات‌ساعت) ۷۰
شکل ۵-۹: هزینه نصب مخزن ذخیره آب گرم در ظرفیت‌های مختلف (لیتر) ۷۰
شکل ۵-۱۰: مقداراولیه بار الکتریکی در سناریوی سوم و تغییرات آن با تعیین سطح آستانه‌ی تغییر قیمت(کیلووات) ۷۲
شکل ۵-۱۱: راهبرد ذخیره‌سازی گاز در تمامی ترکیبات سناریوها (متر مکعب) ۷۲
شکل ۵-۱۲: راهبرد ذخیره‌سازی کوتاه‌مدت برق در ترکیب (۳،۳،۳) برحسب (کیلووات‌ساعت) ۷۳
شکل ۵-۱۳: راهبرد ذخیره‌سازی حرارت در ترکیب (۴،۳،۵) بر حسب کیلووات‌ساعت ۷۴
شکل ۵-۱۴: بار حرارتی هاب در ترکیب (۴،۳،۵) بر حسب کیلووات ۷۴
شکل ۵-۱۵: درصد بارگذاری کوره‌ی گازسوز در عدم‌حضور ذخیره‌ساز حرارتی در ترکیب (۴،۳،۵) ۷۵
شکل ۵-۱۶: میزان قطع بار در حضور و عدم‌حضور ذخیره‌ساز حرارتی (کیلووات) ۷۵
شکل ۵-۱۷: راهبرد ذخیره‌سازی برق در ترکیب (۲،۴،۳) بر حسب کیلووات‌ساعت ۷۶
شکل ۵-۱۸: قیمت برق در ترکیبات سناریوی (۱،۱،۱) و (۲،۱،۱) بر حسب (سنت/کیلووات) ۷۷
شکل ۵-۱۹: توان تولیدی واحد تولید همزمان در ترکیبات سناریوی (۱،۱،۱) و (۲،۱،۱) بر حسب کیلووات ۷۷
شکل ۵-۲۰: توان تولیدی توسط ترانسفورماتور در ترکیبات سناریوی (۱،۱،۱) و (۲،۱،۱) بر حسب کیلووات ۷۸
شکل ۵-۲۱: توان تولیدی توسط کوره گازسوز در ترکیبات سناریوی (۱،۱،۱) و (۲،۱،۱) بر حسب کیلووات ۷۸
شکل ۵-۲۲: جبهه «سود انتظاری-ریسک» برای سطوح مختلف ریسک‌پذیری ۸۰
شکل ۵-۲۳: مجموع خرید انرژی سالانه از قرارداد بلندمدت با افزایش ضریب ریسک‌پذیری (با فرض x=130) ۸۰
شکل ۵-۲۴: راهبرد تعیین حد آستانه با کاهش ریسک پذیری و در مقدار ثابتی از قراردادهای بلندمدت ۸۱
شکل ۵-۲۵: درصد تغییر سود انتظاری و شاخص ریسک با افزایش یک درصدی بازده مبدل‌ها ۸۲
شکل ۵-۲۶: متوسط انرژی تولیدی سالانه توسط مبدل‌های انرژی ۸۲
شکل ۵-۲۷: درصد تغییر سود انتظاری و شاخص ریسک با افزایش ده درصدی ظرفیت عناصر و حد کنترل بار ۸۳
شکل ۵-۲۸: افزایش هزینه خرید تجهیزات با افزایش ده درصدی ظرفیت آن‌ها ۸۴
شکل۵-۲۹: سود انتظاری و ریسک به ازای مقادیر مختلف واریانس برای سناریوهای قیمت برق ۸۴
شکل ۵-۳۰: جبهه «سود انتظاری-ریسک» برای ساختار اول و سطوح مختلف ریسک‌پذیری ۸۶
شکل ۵-۳۱: جبهه «سود انتظاری-ریسک» برای ساختار دوم و سطوح مختلف ریسک‌پذیری ۸۶
شکل ۵-۳۲: جبهه «سود انتظاری-ریسک» برای ساختار سوم و سطوح مختلف ریسک‌پذیری ۸۷
شکل ۵-۳۳: جبهه «سود انتظاری-ریسک» برای ساختار چهارم و سطوح مختلف ریسک‌پذیری ۸۷
شکل ۵-۳۴: مقایسه‌ی ساختارهای مختلف بر اساس درصد سود آوری سالانه نسبت به هزینه سرمایه‌گذاری ۸۸
شکل ۵-۳۵: مقایسه‌ی ساختارهای مختلف بر اساس درصد سودآوری سالانه نسبت به کل هزینه‌ها ۸۹

# فصل ۱–  مقدمه

## ۱–۱–  پیشگفتار

با توجه به جایگاه انرژی در دنیای امروز و به عنوان یکی از مهمترین موضوعات مورد بحث در سال‌های اخیر، تحقیقات متعددی با محوریت انرژی صورت پذیرفته است. مباحثی همچون قابلیت اطمینان تامین انرژی، اقتصاد انرژی و بازار انرژی از این موارد هستند. سیستم قدرت به عنوان یکی از بزرگترین زیرساخت‌های تامین انرژی، دارای ساختار به‌هم‌پیوسته‌ای است، که امکان تولید و مصرف انرژی را در گستره‌ی جغرافیایی بزرگی فراهم می‌نماید. الگوی تولید انرژی به ویژه در سال‌های دورتر، به‌صورت متمرکز بوده است. به عبارت دیگر، تولید انرژی در مقیاس بزرگ و توسط نیروگاه‌هایی با سوخت فسیلی یا هسته‌ای و با ظرفیت‌های چند صد تا چندین هزار مگاوات صورت می‌گرفته است. در سال‌های اخیر، با توجه به عواملی همچون: آلودگی محیط زیستی نیروگاه‌ها، ارتقای جایگاه انرژی و توجه بیشتر به بازدهی تولید انرژی که منجر به نفوذ گسترده‌ی منابع تولید انرژی تجدیدپذیر و واحدهای تولید همزمان برق و حرارت شده‌اند، تغییرات بسیاری در سیستم قدرت ایجاد شده است، که مهم‌ترین آن‌ها حضور منابع تولید انرژی محلی برای تامین مصارف مختلف انرژی و در مراکز بار می‌باشد. قابل ذکر است، این عدم‌تمرکز در تولید انرژی، بهبودهایی را نیز از دیدگاه قابلیت اطمینان فراهم آورده است.

علاوه بر سیستم قدرت، زیرساخت‌های تولید و انتقال انرژی دیگری نیز وجود دارند، که نقشی اساسی را در تامین انواع حامل‌های انرژی مورد نیاز مصرف‌کنندگان، ایفا می‌کنند. از مهمترینِ این زیرساخت‌ها می‌توان به شبکه گاز اشاره نمود. در حال حاضر، زیرساخت‌های رایج انرژی همانند شبکه برق و شبکه گاز از یکدیگر مستقل بوده و جداگانه مورد بهره‌برداری و برنامه‌ریزی قرار می‌گیرند. اخیراً مطالعاتی در خصوص ساختار آینده‌ی شبکه‌های انرژی در حال انجام است، که دیدگاه مجتمعی را از زیرساخت‌های انرژی ارائه می‌دهد. این شبکه‌ها، دربردارنده‌ی حامل‌های مختلف انرژی از قبیل برق، گاز طبیعی و حرارت ناحیه‌ای بوده و به یک حامل انرژی محدود نمی‌شوند. یکی از دلایل مطرح شدن این سیستم‌ها، افزایش روزافزون استفاده از انواع تجهیزات تولید پراکنده، به‌خصوص نیروگاه‌های تولید همزمان برق و حرارت [۱] و واحدهای تولید همزمان برق، حرارت و برودت [۲] می‌باشد.

در سیستم چندگانه‌ی انرژی[1]، نقاطی فیزیکی وجود دارند که محل تحویل انرژی به مصرف‌کننده بوده و امکان تبدیل و ذخیره‌سازی انرژی را نیز دارند. این نقاط که هاب انرژی[2] نامیده می‌شوند، از مهمترین بخش‌های شبکه‌ی انرژی هستند.

هاب انرژی، از لحاظ فیزیکی مجموعه‌ایست متشکل از مبدل‌ها و ذخیره‌کننده‌های انرژی که غالباً دریافت‌کننده‌ی انرژی از شبکه‌ی بالادست بوده و در پایین‌دست با مصرف‌کنندگان نهایی انرژی در ارتباط است. از دیدگاه اقتصادی، هاب انرژی مجموعه‌ایست تحت مالکیت بهره‌بردار هاب که به عنوان خریدار بازار عمده‌فروشی[3] فعالیت نموده و همچنین به عنوان فروشنده با بازار خرده‌فروشی[4] انرژی در ارتباط است. فعالیت بهره‌بردار هاب در بازارهای بالادستی و پایین دستی انرژی با هدف کسب سود صورت می‌گیرد. به عبارت دیگر، بهره‌بردار به‌دنبال کاهش هزینه‌های خرید انرژی از بالادست و افزایش درآمد ناشی از فروش آن به مصرف‌کنندگان می‌باشد. از آنجا که قراردادهای فروش انرژی غالباً در دوره‌های میان‌مدت و یا بلندمدت منعقد شده و در بسیاری موارد با تعرفه ثابت تعیین می‌گردند، درآمد فروش انرژی به میزان بار مصرفی وابسته بوده و بهره‌بردار به جز در مرحله‌ی تنظیم قراردادهای فروش، کنترل چندانی بر قیمت فروش ندارد. از سوی دیگر، تعامل با بازار عمده‌فروشی، ریسک ناشی از نوسانات قیمت در بازار را در پی دارد. این نوسانات قیمت برای بهره‌بردار که عموماً به عنوان واسطی در تامین بار تلقی شده و سود او عمدتاً با نوسانات بازار و دیگر عدم‌قطعیت‌ها در ارتباط است، چندان هم نامطلوب نیست [۳]. البته سطح ریسک‌پذیری بهره‌بردار، میزان پذیرش عدم‌قطعیت‌ها را تعیین می‌کند. ضمن اینکه خرید انرژی با استفاده از قراردادهای بلندمدت، امکانی است که بهره‌بردار می‌تواند در جهت کنترل ریسک مورد استفاده قرار دهد.

همان‌گونه که بیان شد، کاهش هزینه‌های تامین بار مصرف‌کنندگان، موثرترین روش در افزایش سودآوری هاب انرژی است. این کاهش هزینه‌ها در دو مرحله قابل پیگیری می‌باشد:

۱- در مرحله‌ی تعیین آرایش تجهیزاتی هاب انرژی و به عبارت دیگر از دیدگاه برنامه‌ریزی؛

۲- با فرض یک هاب انرژی با آرایش تجهیزاتی مشخص و در مرحله‌ی بهره‌برداری.

رویکرد عمده‌ی این تحقیق، بر مورد دوم بوده و در عین حال برخی از تاثیرات مورد اول بررسی می‌گردند. با توجه به مطالب فوق، می‌توان دریافت که ارزیابی اقتصادی هاب انرژی در حضور

[1] Multi-carrier energy system
[2] Energy hub
[3] Wholesale market
[4] Retail market

عدم‌قطعیت‌های مختلف، از اساسی‌ترین نیازمندی‌های بهره‌بردار هاب به منظور پیش‌بینی سود و ریسک فعالیت اقتصادی خود و اتخاذ تصمیمات بلندمدت، می‌باشد.

## ۱-۲- تعریف مسئله مورد تحقیق و ضرورت انجام آن

بهره‌بردار هاب انرژی، همواره نیازمند یک ارزیابی سالانه از فعالیت اقتصادی خود می‌باشد. داده‌های موجود برای انجام این ارزیابی اقتصادی بر اساس اطلاعات پیش‌بینی شده‌ی یک سالِ پیش‌رو بوده و بهره‌بردار می‌بایست، بر اساس این پیش‌بینی‌ها تصمیمات مناسبی با هدف دستیابی به حداکثر سود اتخاذ نماید. تصمیماتی از قبیل: مقدار خرید انرژی از قراردادهای بلندمدت، راهبرد خرید از بازار انرژی، راهبرد استفاده از تجهیزات مبدل و ذخیره‌ساز انرژی، نحوه‌ی کنترل سودآور بار و تنظیم قراردادهای فروش انرژی از جمله مواردی هستند که در ارزیابی اقتصادی موردتوجه قرار می‌گیرند. در واقع آنچه در اینجا با عنوان ارزیابی اقتصادی مطرح شده است، تحلیل هزینه‌ها و درآمدهای بهره‌بردار، از احداث هاب می‌باشد. با این توضیح که رفتار سودمحورانه‌ی بهره‌بردار نیز در این ارزیابی مدل‌سازی شده و ارزیابی اقتصادی را با یک مسئله‌ی بیشینه‌سازی سود همراه نموده است. پرداختن به این موضوع، با توجه به این نکته اهمیت می‌یابد که تمامی پیش‌بینی‌های یک سال پیش رو، با عدم‌قطعیت همراه است و برخی از آن‌ها همچون عدم‌قطعیت در پیش‌بینی قیمت در بازار انرژی، بار مصرفی و ظرفیت در دسترس واحدهای تولید تصادفی ، تاثیرات غیرقابل انکاری در نتایج ارزیابی و اتخاذ تصمیمات دارند. با توجه به توضیحات فوق می‌توان یکی از مهمترین بخش‌های این ارزیابی را حل یک مسئله بهینه‌سازی با در نظر گرفتن عدم‌قطعیت‌ها دانست که روش برنامه‌ریزی تصادفی برای مدلسازی این‌گونه مسایل بسیار مناسب است. با توجه به اتخاذ این روش، عدم‌قطعیت در داده‌ها بر اساس سناریوهایی با احتمال رخداد مشخص، مدلسازی می‌شوند. می‌توان کلیت مسئله‌ی تصمیم‌گیریِ موجود در فرایند ارزیابی را اینگونه تبیین نمود: بهره‌بردار که متعهد به تامین بار الکتریکی و حرارتی در خروجی هاب شده است، دو گزینه برای خرید انرژی از شبکه بالادست پیش‌روی خود دارد که عبارتند از: خرید از بازار انرژی و انعقاد قراردادهای بلندمدت خرید انرژی. از طرفی، تصمیم مربوط به انعقاد قرارداد باید در ابتدای دوره‌ی یک‌ساله و درحالیکه هیچ اطلاعی از شرایط دقیق بار، قیمت و پیش‌بینی‌های دیگر وجود ندارد، اتخاذ گردد. در واقع تصمیم میزان خرید از قرارداد بلندمدت، مرحله‌ی اول تصمیم‌گیری را تشکیل داده و با سپری شدن زمان و قطعی شدن داده‌های دارای عدم‌قطعیت، تصمیم‌گیری مرحله‌ی دوم که خرید از بازار انرژی است، صورت می‌پذیرد. با توجه به اینکه تعریف سناریوها به منظور بیان محتمل‌ترین صورت‌های قطعیت یافتنِ اطلاعات غیرقطعی می‌باشد، در فرایند انتخاب سناریوها باید به این مورد توجه داشت. لازم به ذکر است، علاوه بر قراردادهای بلندمدت خرید انرژی، تنظیم قراردادهای فروش انرژی به مصرف‌کنندگان نیز با توجه به مفهوم تابع

پذیرش[1] که در فصول آتی بررسی می‌گردد، بر سود بهره‌بردار تاثیرگذار بوده و می‌بایست در ابتدای دوره و به عنوان یکی از تصمیمات مرحله اول، صورت گیرد.

آنچه تا به این جا در مورد ارزیابی اقتصادی بیان شد، تنها به رفتار سودمحورانه‌ی بهره‌بردار در اتخاذ تصمیمات اشاره دارد. این درحالیست که عدم‌قطعیت داده‌های مورد استفاده، مفهوم ریسک را مطرح می‌کند. به عبارت دیگر، به دلیل وجود عدم‌قطعیت، تضمینی در دستیابی به سود موردانتظار وجود ندارد. بنابراین تصمیمات بهره‌بردار در فضای غیرقطعی تنها بر اساس بیشینه‌سازی سود نبوده و کاهش ریسک تصمیمات، از دیگر معیارهای تصمیم‌گیری است که باید لحاظ گردد. در واقع می‌توان مسئله‌ی پیش‌رِو را «تصمیم‌گیری بهینه‌ی چندهدفه» نامید. در مسایل بهینه‌سازی چندهدفه، عموماً از جبهه کارآمد[2] برای نمایش تاثیر تصمیمات بر اهداف مسئله استفاده می‌شود. در اینجا نیز برای نمایش تاثیرات متقابل سود و ریسک، بر اساس جبهه‌ی «سود انتظاری-ریسک» عمل می‌شود.

در نهایت می‌توان از ابزار ارائه شده تحت عنوان ارزیابی اقتصادی، در جهت مقایسه‌ی ساختارهای مختلف هاب انرژی نیز بهره برد. به عبارت دیگر تعیین اینکه چه ساختار و آرایشی از هاب مناسب‌ترین نتایج را با توجه به عدم‌قطعیت‌های موجود و از دیدگاه سود و ریسک در پی دارد، به عنوان یکی از کاربردهای ارزیابی اقتصادی، حائز اهمیت است.

## ۱-۳- نوآوری تحقیق

در تحقیقات متعددی به بهینه‌سازی اقتصادی هاب انرژی در حوزه‌های بهره‌برداری و برنامه‌ریزی پرداخته شده‌است. تمایز و نوآوری این پژوهش در مقایسه با تحقیقات پیشین، ارائه‌ی چارچوبی مدون، به منظور ارزیابی اقتصادی هاب انرژی در حضور عدم‌قطعیت‌ها می‌باشد. در این چارچوب، عدم‌قطعیت‌های مختلفی در ورودی‌های مسئله‌ی بهینه‌سازی لحاظ شده و با اتخاذ دیدگاهی بلندمدت، به مدل‌سازی مسئله پرداخته شده است. در ساختار ارائه شده، بهره‌بردار و یا مالک هاب انرژی علاوه بر خرید از بازار انرژی، امکان استفاده از قراردادهای بلندمدت خرید انرژی را نیز دارد. همچنین، تاثیر قیمت قراردادهای فروش انرژی بر مقدار بار، به عنوان یکی از متغیرهای تصمیم لحاظ شده است. از دیگر نوآوری‌های این پژوهش، توجه به تاثیر ریسک‌پذیری بهره‌بردار در اتخاذ تصمیمات، و مدل‌سازی آن در قالب یک مسئله‌ی بهینه سازی چندهدفه می‌باشد.

[1] Acceptance function
[2] Efficient frontier

به منظور تبیین نوآوری‌ها، موارد ذکر شده، با آخرین پژوهش‌های صورت گرفته در حوزه‌ی هاب انرژی مقایسه می‌گردند. در مراجع [۴]، [۵] و [۶] که مهمترین پژوهش‌ها در حوزه‌ی ارزیابی اقتصادی هاب انرژی هستند، تنها عدم‌قطعیت قیمت مدل‌سازی شده است. در این مراجع، مسئله بهینه‌سازی نهفته در فرایند ارزیابی، در تمام ساعات سال حل شده است که پیچیدگی غیرضروری مسئله را درپی دارد. از دیگر نقایص این پژوهش‌ها، لحاظ کردن سود به عنوان تنها معیار تصمیم‌گیری و چشم‌پوشی از میزان ریسک‌پذیری تصمیم‌گیر می‌باشد. مقایسه‌ی دقیق‌تر پژوهش این پایان‌نامه با موارد پیشین در فصول بعد صورت می‌گیرد.

## ۱-۴- ساختار پایان‌نامه

در این فصل، کلیاتی از انگیزه‌ی انجام تحقیق، نمای کلی روند انجام کار و نوآوری پژوهش ارائه شد. در ادامه و در فصل دوم، مفاهیم و روابط پایه در سیستم چندگانه‌ی انرژی موردتوجه قرار می‌گیرند. این فصل مبنای ارائه‌ی مدل‌سازی‌های پیشنهادی در این پایان‌نامه تشکیل می‌دهد. در فصل سوم، آخرین پژوهش‌های صورت گرفته در حوزه‌ی سیستم چندگانه‌ی انرژی معرفی شده و پژوهش‌های مرتبط با حوزه‌ی تحقیقاتی پایان‌نامه مورد نقد و بررسی قرار می‌گیرند. در فصل چهارم، روش پیشنهادی و نوآوری تحقیق، با بیان تحلیلی روابط و مدل‌سازی‌ها بیان می‌شود. در فصل پنجم، با مطالعه‌ی عددی روش پیشنهادی و اعمال آن بر یک مورد نمونه به تحلیل نتایج خواهیم پرداخت. نهایتاً در فصل ششم، بابیان دستاوردها و نتایج تحقیق، پیشنهاداتی جهت انجام تحقیقات آتی در این حوزه ارائه می‌گردد.