

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تربیت مدرس  
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

آقای علیرضا شیخی فیلی رساله ۲۴ واحدی خود را با عنوان برنامه ریزی توسعه منابع انرژی گسترده با در نظر گرفتن تاثیرات سیاستهای رگولاتور در تاریخ ۱۳۹۲/۷/۲۳ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده، پذیرش آنرا برای اخذ درجه دکتری قدرت پیشنهاد می کنند.

| عضو هیات داوران                      | نام و نام خانوادگی         | رتبه علمی | امضا |
|--------------------------------------|----------------------------|-----------|------|
| استاد راهنما                         | دکتر محسن پارسا مقدم       | استاد     |      |
| استاد مشاور                          | دکتر محمدکاظم شیخ الاسلامی | استادیار  |      |
| استاد ناظر                           | دکتر محمودرضا حقی فام      | استاد     |      |
| استاد ناظر                           | دکتر حسین سیفی             | استاد     |      |
| استاد ناظر                           | دکتر سید حسین حسینیان      | استاد     |      |
| استاد ناظر                           | دکتر محسن کلانتر           | استاد     |      |
| مدیر گروه<br>(یا نماینده گروه تخصصی) | دکتر حسین سیفی             | استاد     |      |



## آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری 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 هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عنوان پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

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

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه های مصوب انجام شود.

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

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب علیرضا شیخی فینی دانشجوی رشته مهندسی برق- قدرت ورودی سال تحصیلی ۱۳۸۹ مقطع دکتری دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان‌نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین‌نامه فوق‌الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا:



تاریخ: ۹۲/۹/۲۷

## آیین نامه چاپ پایان نامه (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 می شوند:

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

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

«کتاب حاضر، حاصل رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی برق - قدرت است که در سال ۱۳۹۲ در دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر محسن پارسا مقدم و مشاوره جناب آقای دکتر محمد کاظم شیخ الاسلامی از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

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

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد 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 علیرضا شیخی فینی دانشجوی رشته مهندسی برق - قدرت مقطع دکتری تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.



نام و نام خانوادگی: علیرضا شیخی فینی

تاریخ و امضا: ۹۲/۹/۲۷



دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

رساله دوره دکتری مهندسی برق - قدرت

# برنامه ریزی توسعه منابع انرژی گسترده با در نظر گرفتن تاثیرات سیاست‌های رگولاتور

**دانشجو:**

علیرضا شیخی فیینی

**استاد راهنما:**

دکتر محسن پارسا مقدم

**استاد مشاور:**

دکتر محمد کاظم شیخ‌الاسلامی

مهرماه ۱۳۹۲

## تشکر و قدردانی

منت فدای را عز و جل که طاعتش موجب قربتست و به شکر اندرش مزید نعمت.

بی تردید، زحمات بی‌شائبه جناب آقای دکتر پارسا مقدم در تمام مدت تحصیل و تحقیق و انتقال دانش و تبارب گرانقدرشان به اینجانب، شایان قدردانی و سپاس صمیمانه است. ضمن تشکر فراوان، سلامتی روزافزون را برای آن بزرگوار از خداوند خواستارم. بی‌گمان سپاسگزاری صمیمانه اینجانب از تلاشهای مستمر جناب آقای دکتر شیخ‌الاسلامی که در تمام مراحل تحقیق و تدوین این رساله نکات دقیق و ارزشمندی را به اینجانب یادآور شدند، یادآور کمترین پاسداشت آن همه همراهی خالصانه است. همچنین از تمام دوستانم در آزمایشگاه مدیریت انرژی که همواره یاور من بوده و اینجانب را از کمک‌های فکری خود بی‌نصیب نداشتند سپاسگزارم.

از تمامی اساتید مترم گروه قدرت به ویژه جناب آقای دکتر سیفی و جناب آقای دکتر حق‌فام به خاطر تمام آنچه به من آموخته‌اند کمال تشکر و سپاس دارم. از اساتید ارجمند جناب آقای دکتر سید حسین حسینیان و جناب آقای دکتر محسن کلاتر برای داوری این رساله کمال تشکر را دارم.

تحصیل در این دوره، جز با پشتیبانی، صبر و از خودگذشتگی همسر و فرزندم سروش امکان پذیر نبود. ضمن ابراز بالاترین مقام سپاس خود، از خداوند برای آنان بهترین‌ها را خواستارم.

علیرضا شینی فینی

**چکیده:** در این رساله، با استفاده از برنامه‌ریزی توسعه تولید و به منظور دستیابی به توسعه پایدار انرژی، سبدهایی برای حمایت از منابع انرژی گسترده تعریف شده است. انجام این تحقیق در دو مرحله صورت پذیرفته است که به ترتیب عبارتند از: ۱- ارایه چارچوب تصمیم‌گیری چند نهادی برای دستیابی به توسعه پایدار؛ ۲- ارایه چارچوبی برای مدل‌سازی تاثیر متقابل سیاست‌های حمایتی چند منبعی بر یکدیگر و بر نرخ نفوذ منابع و ارزیابی بلندمدت آن‌ها.

در مرحله اول، ابتدا نقش سیاست‌ها و نهادها در توسعه پایدار بررسی شده است. سپس بر اساس آن، چارچوب تصمیم‌گیری چند نهادی ارایه شده است. با توجه به تعارض بین اهداف هر یک از نهادها در توسعه پایدار تولید، سطح تعارض راهبردها از دیدگاه نهادهای مختلف بررسی و با لحاظ کردن دیدگاه تمام نهادها، فرآیند برنامه‌ریزی توسعه تولید مدل‌سازی شده است. از روش AHP فازی برای تعیین وزن شاخص‌ها و از روش TOPSIS برای انتخاب بسته‌های حمایتی استفاده شده است. در این مرحله، برای سنجش دستیابی به توسعه پایدار، شاخص‌هایی در تمام ابعاد اجتماعی، زیست محیطی و اقتصادی ارایه شده است.

در مرحله دوم، برای توسعه منابع انرژی گسترده، سیاست‌های حمایتی چند منبعی پیشنهاد شده است که در چارچوب ارایه شده، تاثیر متقابل سیاست‌های حمایتی بر یکدیگر و بر روی رشد سایر منابع و همچنین تاثیر متقابل منابع بزرگ و مستقل بر روی منابع انرژی گسترده مدل‌سازی شده است. در این بخش از روش پویایی‌شناسی سیستم برای مدل‌سازی استفاده شده است و تصمیم‌گیری تولید با استفاده از روش تئوری بازی پیاده‌سازی شده است.

واژه‌های کلیدی: تصمیم‌گیری چند نهادی، روش تصمیم‌گیری چند شاخصه، منابع انرژی گسترده، برنامه‌ریزی توسعه تولید، توسعه پایدار، سیاست‌های حمایتی چند منبعی، تئوری بازی، پویایی‌شناسی سیستم.

## فهرست

### فصل اول: مقدمه

- ۱-۱- طرح مساله تحقیق ۱
- ۲-۱- ضرورت انجام تحقیق ۲
- ۳-۱- فرضیات تحقیق ۳
- ۴-۱- نوآوری‌های تحقیق ۴
- ۵-۱- ساختار رساله ۵

### فصل دوم: پیشینه تحقیق

- ۱-۲- مقدمه ۶
- ۲-۲- مبانی توسعه پایدار انرژی الکتریکی ۷
- ۳-۲- مطالعات توسعه پایدار انرژی الکتریکی ۹
- ۴-۲- منابع انرژی گسترده ۱۷
- ۱-۴-۲- مشخصات منابع انرژی گسترده ۱۸
- ۱-۴-۲-۱-۱- سبب منابع ۱۸
- ۱-۴-۲-۱-۱-۱- تولید پراکنده ۱۹
- ۱-۴-۲-۱-۱-۲- منابع پاسخگویی بار ۲۱
- ۲-۴-۲-۱-۲- مدل‌سازی منابع انرژی گسترده ۲۳
- ۳-۴-۲-۱-۲- مدل‌سازی عدم قطعیت منابع انرژی گسترده ۲۵
- ۴-۴-۲-۱-۲- سیاستهای حمایت از منابع انرژی گسترده ۲۶
- ۱-۴-۲-۱-۴-۲- مکانیزم تشویق (FIT) Feed in Tariff ۲۷
- ۲-۴-۱-۴-۲- مدل سهم مشخص و گواهینامه سبز ۲۷
- ۳-۴-۱-۴-۲- حراج ۲۸
- ۴-۴-۱-۴-۲- تشویق مالی و اعتبار مالیاتی ۲۸
- ۵-۴-۱-۴-۲- سیاستهای حمایت از منابع تولید همزمان برق و گرما ۲۸



|    |   |
|----|---|
| ۲۸ | ۲-۴-۱-۴-۶-سیاستهای حمایت از منابع پاسخگویی بار        |
| ۲۹ | ۲-۵- مبنای برنامه‌ریزی توسعه تولید منابع انرژی گسترده |
| ۳۱ | ۲-۶- ارزیابی بلند مدت توسعه منابع انرژی گسترده        |
| ۳۳ | ۲-۷-زمینه‌های بهبود تحقیقات انجام شده                 |

## فصل سوم: ارایه چارچوب تصمیم‌گیری چند نهادی برای دستیابی به توسعه پایدار

|    |  |
|----|--|
| ۳۴ | ۳-۱- مقدمه   |
| ۳۵ | ۳-۲- نقش سیاست‌ها و نهادها در توسعه پایدار                     |
| ۳۷ | ۳-۳- روش پژوهش   |
| ۳۷ | ۳-۳-۱- روایی   |
| ۳۸ | ۳-۳-۲- پایایی  |
| ۳۹ | ۳-۳-۳- روش AHP فازی  |
| ۴۱ | ۳-۴- چارچوب تصمیم‌گیری چند نهادی                               |
| ۴۳ | ۳-۴-۱- سطح تعارض راهبردهای توسعه تولید از دیدگاه نهادهای مختلف |
| ۴۴ | ۳-۵- اولویت بندی سیاست‌های حمایتی                              |
| ۴۶ | ۳-۶- انتخاب چارچوب مناسب برای تعریف شاخص‌ها                    |
| ۴۷ | ۳-۷- پیشنهاد شاخص‌های توسعه پایدار مبتنی بر چارچوب DSR         |
| ۴۸ | ۳-۷-۱- شاخص‌های اجتماعی  |
| ۴۸ | ۳-۷-۱-۱- قابلیت اطمینان  |
| ۴۸ | ۳-۷-۱-۱-۱- مدل‌سازی منابع اتکاناپذیر در مطالعات قابلیت اطمینان |
| ۴۹ | ۳-۷-۱-۱-۲- عوامل تاثیر گذار بر قابلیت اطمینان منابع اتکاناپذیر |
| ۵۰ | ۳-۷-۱-۲- ایجاد اشتغال  |
| ۵۱ | ۳-۷-۱-۳- ریسک سبد فناوری‌های تولید                             |
| ۵۲ | ۳-۷-۱-۳-۱- ریسک هزینه فناوری                                   |
| ۵۲ | ۳-۷-۱-۳-۲- ریسک هزینه سوخت                                     |
| ۵۲ | ۳-۷-۱-۳-۳- ریسک هزینه تعمیر و نگهداری                          |

|    |  |
|----|--|
| ۵۳ | ۳-۷-۱-۳-۴- ضرایب همبستگی هزینه فناوری‌ها |
| ۵۳ | ۳-۷-۲- شاخص زیست محیطی                   |
| ۵۴ | ۳-۷-۳- شاخص اقتصادی                      |
| ۵۴ | ۳-۷-۳-۱- هزینه                           |
| ۵۵ | ۳-۷-۳-۲- سهم بازار                       |
| ۵۶ | ۳-۸- جمع‌بندی                            |

### فصل چهارم: توسعه منابع انرژی با استفاده از روش پویایی شناسی سیستم

|    |   |
|----|---|
| ۵۷ | ۴-۱- مقدمه  |
| ۵۸ | ۴-۲- روش ارزیابی بلند مدت                                   |
| ۵۹ | ۴-۳- سرمایه‌گذاری در منابع انرژی                            |
| ۶۰ | ۴-۴- مدل توسعه تولید با در نظر گرفتن منابع انرژی گسترده     |
| ۶۳ | ۴-۵- نیازمندی‌های مدل‌سازی                                  |
| ۶۳ | ۴-۵-۱- مدل‌سازی تولید فناوری‌های سنتی                       |
| ۶۳ | ۴-۵-۲- مدل‌سازی تقاضا                                       |
| ۶۴ | ۴-۵-۳- مدل قیمت برق   |
| ۶۵ | ۴-۶- مدل‌سازی پویای بازار رقابتی                            |
| ۶۹ | ۴-۷- منابع عدم قطعیت در برنامه‌ریزی توسعه تولید منابع انرژی |
| ۷۱ | ۴-۸- تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری                               |
| ۷۱ | ۴-۸-۱- تصمیم‌گیری فازی                                      |
| ۷۱ | ۴-۹- مدل‌سازی منابع پاسخگویی بار                            |
| ۷۸ | ۴-۱۰- بازی با اطلاعات ناقص                                  |
| ۷۸ | ۴-۱۰-۱- مدل بازی پویای کارنو برای مساله توسعه منابع انرژی   |
| ۸۴ | ۴-۱۰-۲- روش تخمین مونت کارلو                                |
| ۸۴ | ۴-۱۱- جمع‌بندی  |

## فصل پنجم: مطالعات عددی

|     |   |
|-----|---|
| ۸۶  | ۵-۱-مقدمه   |
| ۸۶  | ۵-۲-توصیف سیستم مورد مطالعه   |
| ۸۸  | ۵-۳-سبدهای حمایت از منابع انرژی   |
| ۹۲  | ۵-۴-ارزیابی سبد منابع   |
| ۹۵  | ۵-۵-مطالعات عددی و تحلیل نتایج، طراحی سیاست‌های حمایتی تشویق محور غیرمبتنی بر بازار |
| ۹۵  | ۵-۵-۱-طراحی سیاست تشویق محور غیر مبتنی بر بازار نوع اول                             |
| ۹۷  | ۵-۵-۲-طراحی سیاست تشویق محور غیر مبتنی بر بازار نوع دوم                             |
| ۹۸  | ۵-۶-مطالعات عددی و تحلیل نتایج، طراحی سیاست تشویقی بازار محور                       |
| ۹۸  | ۵-۶-۱-طراحی سیاست تشویقی بازار محور نوع اول   |
| ۱۰۰ | ۵-۶-۲-طراحی سیاست تشویقی بازار محور نوع دوم   |
| ۱۰۱ | ۵-۶-۳-طراحی سیاست تشویقی بازار محور نوع سوم   |
| ۱۰۲ | ۵-۷-طراحی سیاست تشویقی تعرفه گواهی سبز  |
| ۱۰۳ | ۵-۸-مطالعه عددی و تحلیل نتایج، طراحی سیاست اجباری مبتنی بر مدل سهم مشخص             |
| ۱۰۵ | ۵-۹-طراحی سیاست کاهش نرخ سود بانکی  |
| ۱۰۶ | ۵-۱۰-تحلیل نتایج  |
| ۱۱۷ | ۵-۱۱-جمع‌بندی   |

## فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

|     |                |
|-----|----------------|
| ۱۱۹ | ۷-۱-نتیجه‌گیری |
| ۱۲۲ | ۷-۲-پیشنهادها  |

- شکل (۱-۳): نقش نهادها و سیاستها در توسعه پایدار ..... ۳۶
- شکل (۲-۳): بزرگترین نقطه تقاطع بین  $\alpha_{S_i}$  و  $\alpha_{S_k}$  ..... ۴۱
- شکل (۳-۳): چارچوب تصمیم‌گیری چند نهادی برای توسعه پایدار ..... ۴۲
- شکل (۳-۳): درخت تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی چند نهادی ..... ۴۴
- شکل (۶-۳): چرخه عمر منابع تولید انرژی ..... ۵۴
- شکل (۱-۴): نمودار علی‌مساله توسعه منابع انرژی ..... ۶۱
- شکل (۲-۴): شکل‌گیری قیمت در بازار با در نظر گرفتن منابع پاسخگویی بار ..... ۶۵
- شکل (۳-۴): چارچوب ماژولار برای مساله توسعه منابع انرژی ..... ۶۷
- شکل (۴-۴): روندنمای توسعه پایدار منابع انرژی گسترده ..... ۶۸
- شکل (۲-۴): چارچوب پیش‌بینی نرخ نفوذ منابع پاسخگویی بار ..... ۷۴
- شکل (۳-۴): تابع احتمال وقوع شرایط بحرانی و تابع احتمال کشش‌پذیری قوسی ..... ۷۶
- شکل (۵-۴): چارچوب بازی پویا برای مساله توسعه منابع انرژی ..... ۸۰
- شکل (۱-۵): سیاست حمایتی FIT1 ..... ۸۹
- شکل (۲-۵): سیاست حمایتی FIT2 ..... ۸۹
- شکل (۳-۵): سیاست حمایتی FIT3 ..... ۹۰
- شکل (۴-۵): سیاست حمایتی FIT4 ..... ۹۰
- شکل (۵-۵): سیاست حمایتی FIT5 ..... ۹۱
- شکل (۶-۵): رابطه تغییرات نرخ نفوذ منابع انرژی پاک و تابع هدف توسعه پایدار ..... ۱۰۶
- شکل (۷-۵): میزان ظرفیت توسعه منابع بادی به ازای سیاست‌های حمایتی مورد مطالعه ..... ۱۰۸
- شکل (۸-۵): میزان ظرفیت توسعه منابع سیکل ترکیبی به ازای سیاست‌های حمایتی مورد مطالعه ..... ۱۰۸
- شکل (۹-۵): میزان ظرفیت توسعه منابع هسته‌ای به ازای سیاست‌های حمایتی مورد مطالعه ..... ۱۰۹
- شکل (۱۰-۵): میزان ظرفیت توسعه منابع گازی به ازای سیاست‌های حمایتی مورد مطالعه ..... ۱۰۹
- شکل (۱۱-۵): میزان ظرفیت توسعه منابع تولید همزمان برق و گرما به ازای سیاست‌های حمایتی مورد مطالعه ..... ۱۱۰
- شکل (۱۲-۵): میزان ظرفیت توسعه منابع خورشیدی به ازای سیاست‌های حمایتی مورد مطالعه ..... ۱۱۰
- شکل (۱۳-۵): میزان ظرفیت توسعه منابع پاسخگویی بار به ازای سیاست‌های حمایتی مورد مطالعه ..... ۱۱۱

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| جدول (۱-۲)  | مروری بر مراجع توسعه پایدار انرژی  | ۱۲  |
| جدول (۲-۲)  | مقادیر نامی سلول‌های خورشیدی نوعی  | ۲۴  |
| جدول (۳-۲)  | عدم قطعیت‌های مدل‌سازی شده برای منابع خورشیدی  | ۲۶  |
| جدول (۴-۲)  | سیاست‌های جهانی حمایت از منابع انرژی گسترده  | ۲۹  |
| جدول (۱-۳)  | اعداد فازی و عبارتهای کلامی در AHP   | ۳۹  |
| جدول (۱-۴)  | پارامترهای موثر بر مشارکت مشترکین در برنامه‌های پاسخگویی بار                           | ۷۸  |
| جدول (۱-۵)  | بار در فصول مختلف و مدت زمانهای آن در ابتدای دوره برنامه ریزی                          | ۸۷  |
| جدول (۲-۵)  | وزن نهادهای حاکمیتی  | ۹۱  |
| جدول (۳-۵)  | ماتریس مقایسه اهمیت بین نهادها   | ۹۱  |
| جدول (۴-۵)  | وزن هر یک از نهادهای مورد نظر در تصمیم‌گیری  | ۹۲  |
| جدول (۵-۵)  | وزن هر یک از شاخص‌ها   | ۹۲  |
| جدول (۶-۵)  | وزن هر یک از محورها  | ۹۲  |
| جدول (۷-۵)  | وزن نهایی شاخص‌ها  | ۹۲  |
| جدول (۸-۵)  | مشخصات منابع انرژی   | ۹۳  |
| جدول (۹-۵)  | مشخصات ریسک منابع انرژی  | ۹۳  |
| جدول (۱۰-۵) | ماتریس ضرایب همبستگی برای سوخت   | ۹۴  |
| جدول (۱۱-۵) | ماتریس ضرایب همبستگی برای تعمیر و نگهداری  | ۹۴  |
| جدول (۱۲-۵) | ماتریس کوواریانس بین منابع در حالت موجود   | ۹۵  |
| جدول (۱۳-۵) | ماتریس کوواریانس بین منابع در حالت جدید  | ۹۵  |
| جدول (۱۴-۵) | ظرفیت توسعه منابع در حالت سیاست حمایتی تشویق محور غیرمبتنی بر بازار نوع اول            | ۹۶  |
| جدول (۱۵-۵) | اندازه شاخص‌های توسعه پایدار در حالت سیاست حمایتی تشویق محور غیرمبتنی بر بازار نوع اول | ۹۶  |
| جدول (۱۶-۵) | ظرفیت توسعه منابع در حالت سیاست حمایتی تشویق محور غیرمبتنی بر بازار نوع دوم            | ۹۷  |
| جدول (۱۷-۵) | اندازه شاخص‌های توسعه پایدار در حالت سیاست حمایتی تشویق محور غیرمبتنی بر بازار نوع دوم | ۹۸  |
| جدول (۱۸-۵) | ظرفیت توسعه منابع در حالت سیاست حمایتی تشویق محور مبتنی بر بازار نوع اول               | ۹۹  |
| جدول (۱۹-۵) | مقادیر شاخص‌ها در حالت سیاست حمایتی تشویق محور مبتنی بر بازار نوع اول                  | ۹۹  |
| جدول (۲۰-۵) | ظرفیت توسعه منابع در حالت سیاست حمایتی تشویق محور مبتنی بر بازار نوع دوم               | ۱۰۰ |
| جدول (۲۱-۵) | مقادیر شاخص‌ها در حالت سیاست حمایتی تشویق محور مبتنی بر بازار نوع دوم                  | ۱۰۰ |
| جدول (۲۲-۵) | ظرفیت توسعه منابع در حالت سیاست حمایتی تشویق محور مبتنی بر بازار نوع سوم               | ۱۰۱ |

- جدول (۲۳-۵) مقادیر شاخص‌ها در حالت سیاست حمایتی تشویق‌محور مبتنی بر بازار نوع سوم ..... ۱۰۱
- جدول (۲۴-۵) ظرفیت توسعه منابع در حالت سیاست حمایتی تعرفه گواهی سبز ..... ۱۰۳
- جدول (۲۵-۵) مقادیر شاخص‌ها در حالت سیاست حمایتی تعرفه گواهی سبز ..... ۱۰۳
- جدول (۲۶-۵) ظرفیت توسعه منابع در حالت سیاست اجباری مبتنی بر مدل سهم مشخص ..... ۱۰۴
- جدول (۲۷-۵) مقادیر شاخص‌ها در حالت سیاست اجباری مبتنی بر مدل سهم مشخص ..... ۱۰۴
- جدول (۲۸-۵) ظرفیت توسعه منابع در حالت سیاست کاهش نرخ سود بانکی ..... ۱۰۵
- جدول (۲۹-۵) مقادیر شاخص‌ها در حالت سیاست کاهش نرخ سود بانکی ..... ۱۰۵
- جدول (۳۰-۵) شاخص نسبی برای میانگین ۱۰ سال ..... ۱۰۷
- جدول (۳۱-۵) بازه تغییرات شاخص‌ها ..... ۱۱۲
- جدول (۳۲-۵) فرصت‌ها و تهدیدها ..... ۱۱۳
- جدول (۳۳-۵) اثرات سیاست‌ها بر نرخ نفوذ منابع ..... ۱۱۳
- جدول (۳۴-۵) رتبه‌بندی سیاست‌های حمایتی به صورت سالانه ..... ۱۱۵
- جدول (۳۵-۵) رتبه‌بندی سیاست‌های حمایتی به صورت میانگین ده ساله ..... ۱۱۶
- جدول (۳۶-۵) سیاست حمایتی ترکیبی نوع دوم ..... ۱۱۷

### مقدمه

#### ۱-۱- طرح مساله تحقیق

در این رساله به منظور دستیابی به توسعه پایدار، سبد حمایتی برای منابع انرژی گسترده طراحی شده است. این مطالعه بر مبنای حل مساله برنامه‌ریزی توسعه تولید و با در نظر گرفتن منابع انرژی گسترده در کنار منابع انرژی مستقل و بزرگ صورت پذیرفته است.

توسعه پایدار عبارتست از توسعه‌ای که نیازهای کنونی جهان را تامین نماید بدون اینکه توانایی نسل‌های آتی را در برآوردن نیازهای خود به مخاطره بیفکند. از آنجا که در بحث توسعه پایدار، نهادهای متعددی موثر می‌باشند، لذا در این رساله یک چارچوب تصمیم‌گیری چند نهادی پیشنهاد شده است که نظر تمام نهادهای موثر در توسعه پایدار را تامین می‌نماید. همچنین شاخص‌هایی برای سنجش میزان دستیابی به توسعه پایدار تعریف شده است.

از سوی دیگر، توسعه منابع انرژی گسترده نیازمند اعمال سیاست‌های حمایتی و مداخلات سیاستگذار می‌باشد، از اینرو سبدهای حمایتی چند منبعی برای حمایت از این منابع طراحی شده است و تاثیر این سیاست‌ها بر روی شاخص‌های توسعه پایدار بررسی شده است.

چارچوب ارایه شده ابزار مناسبی برای تصمیم‌گیری در سطح سیاست‌گذار کلان جامعه است تا بتوان کارایی بلندمدت سیاست‌های حمایتی را در راستای دستیابی به توسعه پایدار ارزیابی نمود.

## ۱-۲ - ضرورت انجام تحقیق

با توجه به افزایش نگرانی‌ها و چاره‌اندیشی در خصوص مسایل زیست محیطی، اثرات سیاسی-اجتماعی و اقتصادی توسعه منابع انرژی، مفهومی تحت عنوان توسعه پایدار انرژی شکل گرفته است. از اینرو، تمایل برنامه‌ریزان سیستم قدرت برای مطالعات بلندمدت تولید و انتقال با هدف توسعه پایدار افزایش یافته است. یکی از بهترین ابزارها برای دستیابی به توسعه پایدار، توسعه منابع انرژی گسترده است. لیکن، دو چالش در این میان وجود دارد. اول اینکه چارچوب توسعه پایدار انرژی، چارچوبی است که نهادهای مختلفی در آن اثر دارند و فقط یک نهاد متولی و تصمیم‌گیر در این ارتباط نیست. نهادهای موثر عبارتند از نهادهای حاکمیتی، سرمایه‌گذاران و مشترکین. لذا لازم است تعامل بین این نهادها مدل‌سازی گردد تا اجماع نهایی بر روی نحوه توسعه تولید شکل بگیرد.

چالش دوم، این است که با توجه به اینکه برای سرمایه‌گذاری بر روی توسعه منابع انرژی گسترده به حمایت نیاز است؛ برای مدل‌سازی برنامه‌ریزی منابع انرژی با توجه به اینکه از چند منبع به صورت همزمان حمایت به عمل خواهد آمد، نتیجه این حمایت چند منبعی<sup>۱</sup> مشخص نیست و برهمکنش و اثر متقابل این حمایت‌ها بر یکدیگر باید بررسی شود.

به منظور مواجهه با چالش اول، یک چارچوب تصمیم‌گیری چند نهادی ارائه شده است که تعامل بین نهادها را مدل‌سازی می‌کند و علاوه بر آن با توجه به اینکه چندین شاخص در ابعاد مختلف اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی برای دستیابی به توسعه پایدار تعریف شده است؛ در این چارچوب، تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ای نیز مدل‌سازی شده است.

در مواجهه با چالش دوم، چارچوبی طراحی شده است که با استفاده از آن می‌توان برهمکنش سیاست‌های حمایتی چند منبعی را بریکدیگر و بر نرخ نفوذ سایر منابع مدل‌سازی کرد.

به عنوان جمع‌بندی، این رساله به دنبال یافتن پاسخی برای سوالات اساسی ذیل می‌باشد:

- چرا باید برای دستیابی به توسعه پایدار، منابع انرژی گسترده را در کنار منابع تولید بزرگ و مستقل توسعه داد؟
- چرا برای سرمایه‌گذاری بر روی توسعه منابع انرژی گسترده، باید از این منابع حمایت به عمل آید؟



- آیا حمایت‌های تک منبعی مفیدتر و کم‌هزینه‌ترند یا سبدهای حمایتی چند منبعی؟
  - در صورت انتخاب سبد حمایتی چند منبعی، آیا ضرورتی وجود دارد که برهمکنش حمایت‌ها را بر هم در نظر بگیریم؟
  - اثر این حمایت‌ها بر شاخص‌های توسعه پایدار و میزان دستیابی به توسعه پایدار چیست؟
- همانگونه که در قسمت قبل عنوان شد، هدف از انجام این رساله، طراحی سیاست‌های حمایتی به منظور دستیابی به توسعه پایدار انرژی است.

### ۱-۳- فرضیات تحقیق

- برای مشخص شدن چارچوب تحقیق، فرضیات زیر در نظر گرفته شده است:
- ۱- از آنجا که مطالعات در محیط بازار صورت گرفته است، بازار در نظر گرفته شده در موضوع پیشنهادی از نوع یکپارچه<sup>۲</sup> خواهد بود.
  - ۲- منابع انرژی در نظر گرفته شده برای توسعه عبارتند از منابع بزرگ و مستقل نظیر منابع سیکل ترکیبی و هسته‌ای و منابع انرژی گسترده شامل منابع انرژی گسترده سوخت فسیلی، منابع انرژی گسترده تجدید پذیر و برنامه‌های پاسخگویی بار.
  - ۳- مدلسازی بلندمدت بازار در تعیین استراتژی توسعه منابع انرژی، با توجه به قوانین بازار، رفتار متغیرها (همانند قیمت انرژی، قیمت سوخت و...) و رفتار بازیگران انجام خواهد شد.
  - ۴- برنامه‌های پاسخگویی بار در نظر گرفته شده شامل برنامه‌های قطع بار مستقیم یا برنامه‌های مبتنی بر قیمت خواهد بود.
  - ۵- عدم قطعیت‌هایی که در این رساله در نظر گرفته شده است به سه دسته عدم قطعیت‌های تصادفی، عدم قطعیت‌های غیر تصادفی و داده‌های مبهم تقسیم شده است:

منبع عدم قطعیت‌های تصادفی در این تحقیق عبارتند از:

- بار
- توان تولیدی برخی از منابع انرژی (مانند بادی و فتوولتاییک)
- عدم قطعیت استراتژیک بازیگران

منبع عدم قطعیت غیر تصادفی در این تحقیق عبارتند از:

- هزینه سرمایه‌گذاری منابع انرژی پاک

عدم قطعیت در داده‌های مبهم نیز از روش فازی مدل‌سازی می‌شود:

- درجه اهمیت نهادهای مورد نظر در تصمیم‌گیری
- درجه اهمیت شاخص‌های برنامه‌ریزی از دیدگاه هر نهاد
- درجه اهمیت محورهای توسعه پایدار

#### ۱-۴- نوآوری‌های تحقیق

تحقیقات زیادی در خصوص توسعه تولید انجام شده است. لیکن هدف این تحقیق توسعه پایدار انرژی است. با توجه به اینکه نهادهای موثر در توسعه پایدار متعدد می‌باشند و بعضاً دارای منافع متضاد می‌باشند؛ از یک چارچوب تصمیم‌گیری چند نهادی برای بررسی میزان دستیابی به توسعه پایدار استفاده شده است. از طرف دیگر تحقیقاتی روی تاثیر سیاستهای حمایتی رگولاتور بر توسعه تولید منابع انرژی گسترده تمرکز نموده‌اند؛ لیکن این حمایتها به صورت تک منبعی در نظر گرفته شده‌اند و حمایتهای چند منبعی به صورت همزمان مطالعه نشده است. تاثیر متقابل این سیاستها بر روی منابع دیگر و همچنین سیاستهای حمایتی سایر منابع در نظر گرفته نشده است. از آنجا که در این رساله سبدي از منابع انرژی گسترده مورد استفاده قرار گرفته است که برخی از آنها نیاز به حمایت دارند، این حمایتها بر روی یکدیگر تاثیر متقابل خواهند داشت. لذا در این رساله با مطالعه حمایت چند منبعی، سبدي حمایتی مناسب برای منابع انرژی ارایه خواهد شد تا توسعه پایدار انجام شود.

برای سنجش میزان دستیابی به توسعه پایدار به شاخص‌هایی نیاز است که در این رساله چند شاخص برای این منظور استخراج شده است.

برای بررسی تاثیر سیاستهای حمایتی چند منبعی بر پویایی سرمایه‌گذاری و ارزیابی پایداری بلند مدت بازار از روش پویایی شناسی سیستم‌ها استفاده شده است.

به طور خلاصه نوآوری‌های این رساله که آن را از مطالعات قبلی متمایز ساخته است عبارتند از:

- ❖ ارایه رویکرد توسعه منابع انرژی الکتریکی در سیستمهای چند نهادی
- ❖ ارایه شاخص‌های سنجش توسعه پایدار
- ❖ مدل‌سازی اثرات سیاستهای حمایتی چند منبعی سیاستگذار بر توسعه پایدار و شبیه‌سازی تاثیر

متقابل آنها

- ❖ تعیین سیاست‌های مناسب با توجه به تحلیل و ارزیابی اثرات سیاست‌گذاری‌ها در جهت رسیدن به اهداف توسعه پایدار از دیدگاه نهادهای مورد نظر
- ❖ مدلسازی عدم قطعیت منابع پاسخگویی بار

## ۱-۵- ساختار رساله

این رساله در ۶ فصل تنظیم شده است. فصل حاضر، رساله را معرفی می‌نماید. در این فصل، مساله اصلی رساله، ضرورت انجام آن، فرضیات تحقیق و نوآوری آن بیان شده است.

فصل دوم ابتدا مبانی توسعه پایدار مطرح شده است. سپس مطالعاتی که در این خصوص انجام شده است بررسی شده. در ادامه، پس از معرفی منابع انرژی گسترده، زیر بخش‌های آن شامل مشخصات سبد منابع، مدل‌سازی و عدم قطعیت آن‌ها و سیاست‌های حمایتی موجود بررسی شده است. در ادامه فصل مروری بر مبانی برنامه‌ریزی توسعه تولید منابع انرژی گسترده، ارزیابی بلندمدت توسعه تولید آمده است. سپس زمینه‌های بهبود تحقیقات انجام شده، مطرح شده است. در فصل سوم، چارچوب تصمیم‌گیری چند نهادی برای دستیابی به توسعه پایدار بحث شده است. ابتدا نقش سیاست‌ها و نهادها در توسعه پایدار مطرح شده است. پس از معرفی روش پژوهش در این رساله، چارچوب تصمیم‌گیری چند نهادی برای حل مسئله توسعه پایدار ارائه شده است. مبانی و روش وزن‌دهی و اولویت بندی سیاست‌ها نیز بحث شده و در ادامه، شاخص‌های ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی استخراج شده است. فصل چهارم به توسعه منابع انرژی با استفاده از روش پویایی شناسی سیستم اختصاص دارد. ابتدا منابع عدم قطعیت در برنامه‌ریزی توسعه منابع انرژی عنوان شده است. پس از بررسی روش ارزیابی بلند مدت، مدل توسعه تولید با در نظر گرفتن منابع انرژی گسترده ارائه شده است. منابع پاسخگویی بار در برنامه‌ریزی توسعه منابع مدل‌سازی شده و در انتها مدل بازی پویای کارنو برای مساله توسعه منابع انرژی آورده شده است. فصل پنجم مطالعات عددی را در بر دارد. در این فصل ابتدا سبدهای حمایتی معرفی شده و به ازای هر سبد حمایتی، میزان توسعه منابع انرژی به دست آمده است. تحلیل نتایج برای تصمیم‌گیری چند نهادی در دو حالت تصمیم‌گیری تک معیاره و چند معیاره ارائه شده است. در انتها، در فصل ششم نتیجه‌گیری و پیشنهادات بیان شده است.

### پیشینه تحقیق

#### ۲-۱- مقدمه

در این رساله مسئله برنامه‌ریزی توسعه تولید با ارائه سبد حمایتی از منابع انرژی گسترده و به منظور دستیابی به توسعه پایدار مدل‌سازی شده است. در این فصل ابتدا مبانی توسعه پایدار معرفی شده و سپس مطالعات انجام شده در زمینه توسعه پایدار انرژی الکتریکی مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه منابع انرژی گسترده و نحوه مدل‌سازی و ویژگی آن‌ها از جمله عدم قطعیت‌ها و سیاست‌های حمایتی از این منابع تشریح شده است.

به‌طور کلی برنامه‌ریزی توسعه تولید با حضور منابع انرژی گسترده در سیستم قدرت را می‌توان از دو دیدگاه سیاستگذار و سرمایه‌گذار مورد بررسی قرار داد. در محیط‌های رقابتی بر خلاف سیستم‌های متمرکز که مسئولیت تصمیم‌گیری در مورد سرمایه‌گذاری بر عهده یک نهاد واحد بود، سرمایه‌گذاری در زمینه توسعه منابع جدید توسط سرمایه‌گذاران به صورت مستقل مورد بررسی قرار می‌گیرد؛ علاوه بر این سیاستگذار با وضع مقررات حاکم بر بازار، نقش نظارتی بر سیستم ایفا کرده و معیارهای قابلیت اطمینان، مسائل زیست محیطی و قیود فنی را در نظر می‌گیرد. در محیط رقابتی، هدف اصلی شرکت‌ها بیشینه کردن سود خود با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها می‌باشد. از جمله عدم قطعیت‌های مهم در مسئله برنامه‌ریزی توسعه تولید در