

دانشگاه آزاد اسلامی

فرم طرح تحقیق



درخواست تصویب پیشنهاد رساله

دکترای تخصصی و کارشناسی ارشد

عنوان تحقیق:

مدلسازی بهینه تبادل انرژی در شبکه‌های همتا به همتا ساختمان‌های مسکونی

هوشمند با رویکرد چندهدفه

دانشکده:

گروه:

رشته:

مقطع:

نام و نام خانوادگی دانشجو:

شماره دانشجویی (سازمان مرکزی): ۹.....

تعداد واحد پایان نامه:

بسمه تعالی



فرم طرح تحقیق

درخواست تصویب پیشنهاد رساله دکترای تخصصی

عنوان تحقیق به فارسی:

مدلسازی بهینه تبادل انرژی در شبکه‌های همتا به همتا ساختمان‌های مسکونی

هوشمند با رویکرد چندهدفه

عنوان تحقیق به انگلیسی:

Optimal Energy Exchange Modeling in Peer-to-Peer Networks of Smart Residential Buildings Using a Multi-Objective Approach

۱. اطلاعات مربوط به دانشجو

نام: میترا	نام خانوادگی: حق شناس	شماره دانشجویی: ۴۰۱۱۰۵۴۰۰۴۷۰۰۱
رشته تحصیلی: مهندسی برق	گرایش: برنامه‌ریزی و مدیریت سیستم‌های انرژی الکتریکی	
مقطع: کارشناسی ارشد ناپیوسته	سال ورود: ۱۴۰۱	دانشکده: فنی مهندسی گروه: برق
نشانی پستی:		
تلفن:		
نشانی پستی در شهر محل سکونت (ویژه دانشجویان غیر بومی):		
تلفن:		

امضاء دانشجو

۲ - اطلاعات مربوط به استاد راهنما

نام : طاهره	نام خانوادگی : دائمی	آخرین مدرک تحصیلی دانشگاهی / حوزوی : دکترا
نحوه همکاری : تمام وقت ■ نیمه وقت □ مدعو □	تلفن :	
نشانی :	سمت :	

۳ - اطلاعات مربوط به استاد راهنما ۲

نام :	نام خانوادگی :	آخرین مدرک تحصیلی دانشگاهی / حوزوی :
نحوه همکاری : تمام وقت □ نیمه وقت □ مدعو □	تلفن :	
نشانی :	سمت :	

۴ - اطلاعات مربوط به اساتید مشاور ۱

نام :	نام خانوادگی :	آخرین مدرک تحصیلی دانشگاهی / حوزوی :
نحوه همکاری : تمام وقت □ نیمه وقت □ مدعو □	تلفن :	
نشانی :	سمت :	

۵ - اطلاعات مربوط به اساتید مشاور ۲

نام :	نام خانوادگی :	آخرین مدرک تحصیلی دانشگاهی / حوزوی :
نحوه همکاری : تمام وقت □ نیمه وقت □ مدعو □	تلفن :	
نشانی :	سمت :	

الف : عنوان پایان نامه به فارسی:

مدلسازی بهینه تبادل انرژی در شبکه‌های هم‌تا به هم‌تا ساختمان‌های مسکونی هوشمند با رویکرد چندهدفه

ب : عنوان پایان نامه به انگلیسی:

Optimal Energy Exchange Modeling in Peer-to-Peer Networks of Smart Residential Buildings Using a Multi-Objective Approach

پ: نوع کار تحقیقاتی : بنیادی ۱ □ نظری ۲ □ کاربردی ۳ ■ عملی ۴ □

ت : تعداد واحد پایان نامه :

ث : پرسش اصلی تحقیق: چگونه می‌توان با استفاده از الگوریتم تکاملی چندهدفه مبتنی بر تجزیه (MOEA/D)، تبادل انرژی میان ساختمان‌های مسکونی هوشمند را در قالب شبکه هم‌تا به هم‌تا (P2P) به گونه‌ای بهینه‌سازی کرد که هم‌زمان اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی محقق شود؟

۷. بیان مسأله (تشریح ابعاد ، حدود مسأله ، معرفی دقیق مسأله ، بیان جنبه های مجهول و مبهم و متغیر های مربوط به پرسش های تحقیق ، منظور

تحقیق)

در سال‌های اخیر، تجارت انرژی هم‌تا به هم‌تا^۱ (P2P) به عنوان گزینه‌ای تحول‌آفرین در صنعت انرژی مطرح شده است که به تولید-مصرف‌کنندگان این امکان را می‌دهد تا به صورت فعال و پویا در بازار انرژی مشارکت داشته باشند. پیش‌تر، تولید-مصرف‌کنندگان که نه تنها انرژی مصرف می‌کردند بلکه خود نیز آن را تولید می‌نمودند، تنها می‌توانستند انرژی مورد نیاز خود را از شرکت‌های خدماتی خریداری کرده یا در چارچوب ریز شبکه‌ها به تبادل انرژی بپردازند. با این حال، توسعه تجارت P2P این فضا را دگرگون کرده و به تولید-مصرف‌کنندگان این قدرت را داده است که مازاد انرژی خود را مستقیماً با سایر شرکت‌کنندگان مبادله کنند؛ امری که منجر به افزایش منافع آنان و بهبود مزایای مصرف‌کنندگان نیز شده است. [۲،۱]

^۱ Peer-to-Peer

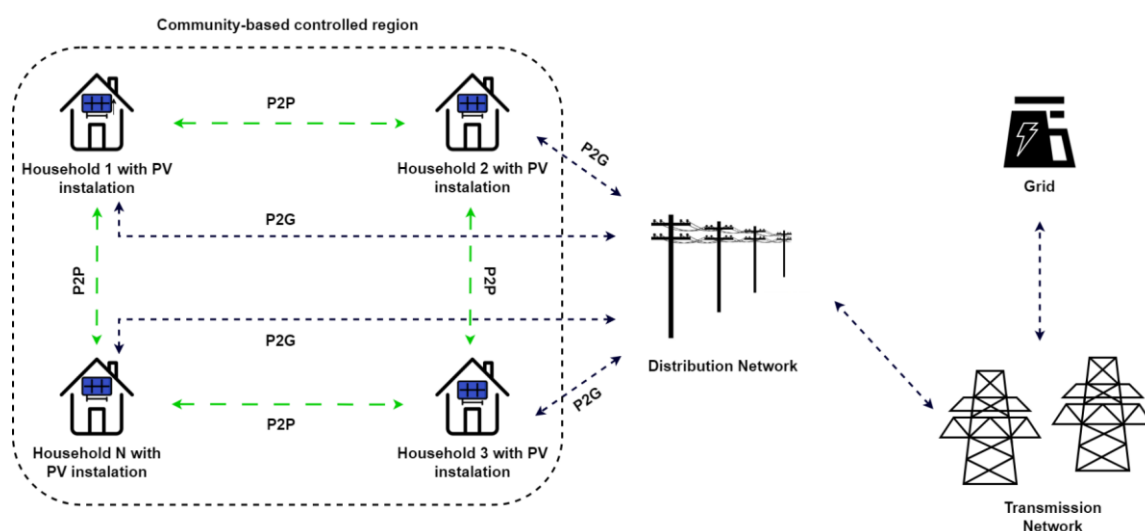
^۲ Prosumers؛ ترکیبی از تولیدکننده و مصرف‌کننده

^۳ Microgrid

این تغییرات پارادایمی توسط نوآوری‌های فناوری‌های فنوارانه‌ای مانند بلاک‌چین و سیستم‌های اندازه‌گیری هوشمند پشتیبانی می‌شود؛ فناوری‌هایی که امکان انجام معاملات انرژی به صورت ایمن و شفاف بین طرفین را فراهم می‌آورند. با بهره‌گیری از این فناوری‌ها، تجارت P2P از روش‌های سنتی توزیع انرژی که به صورت متمرکز انجام می‌شد، فراتر رفته و زمینه‌ساز شکل‌گیری یک اکوسیستم انرژی غیرمتمرکز با کارایی، تاب‌آوری و پایداری بالاتر می‌شود.

در سیستم‌های ریز شبکه، تولید-مصرف‌کنندگان می‌توانند با شرکت‌های خدماتی ارتباط برقرار کرده و انرژی خریداری نمایند یا آن را از دیگر تولید-مصرف‌کنندگان دریافت کنند، همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است. در این مدل فرض می‌شود که اطلاعات مورد نیاز از طریق ارسال پیام‌های سیگنال‌دهی به اطلاع شرکت‌کنندگان می‌رسد، امری که به لطف رویکردهای مشارکتی مبتنی بر کنترل‌کننده‌های اجتماعی ممکن شده است. در حقیقت، مسئله مورد حل شده، نوعی کنترل دسترسی به رسانه (MAC) در قالبی متفاوت است.

به عنوان مثال، زمانی که تولید-مصرف‌کنندگان قادر به تأمین کامل نیاز انرژی خود با ظرفیت‌های تولید کوچک‌مقیاس‌شان نباشند، می‌توانند انرژی مورد نیاز را از دیگر تولیدکنندگان خریداری یا قرض بگیرند. همچنین، در صورت وجود مازاد برق، می‌توانند آن را به سایر تولید-مصرف‌کنندگان بفروشند یا قرض دهند [۳]. این روند منجر به شکل‌گیری محیطی پویا می‌شود که در آن نه تنها نهادهای مرکزی بلکه تصمیمات و اقدامات افراد نیز در نحوه جریان انرژی در شبکه نقش دارند؛ موضوعی که خود سبب افزایش تاب‌آوری و پایداری شبکه خواهد شد.



شکل ۱ مدل تجارت انرژی همتا به همتا (P2P)

پیکلو^۴ در بریتانیا، اجتماع زون^۵ در آلمان، و یلوه^۶ در بوستون آمریکا، نمونه‌هایی از پلتفرم‌های جهانی تجارت انرژی همتا به همتا (P2P) هستند. این پلتفرم‌ها با ارائه چندین مدل کسب‌وکار و نیز راه‌حل‌های نوآورانه برای تبادل برق به صورت P2P، نشان می‌دهند که این فناوری تا چه اندازه می‌تواند توازن انرژی موجود در جهان را دستخوش تغییر کند. این پلتفرم‌ها همچنین ظرفیت تجارت P2P را در کاهش ازدحام شبکه برق، افزایش امنیت انرژی، و ایجاد جریان‌های درآمدی جدید برای شرکت‌کنندگان از طریق تنظیم پویا و محلی قیمت انرژی بر اساس شرایط عرضه و تقاضا، به تصویر می‌کشند. [۴]

در ایران، ساختار متمرکز و انحصاری صنعت برق، به‌ویژه با محوریت شرکت توانیر و شرکت‌های توزیع نیروی برق، موجب شده است که تاکنون توسعه مدل‌های نوین کسب‌وکار در حوزه تجارت انرژی همتا به همتا (P2P) با محدودیت‌های جدی مواجه شود. با این حال، از نیمه دوم سال ۱۴۰۳، برخی نهادهای داخلی فعال در حوزه انرژی، مطالعاتی را با هدف امکان‌سنجی اجرای الگوهای نوین تبادل انرژی میان مصرف‌کنندگان در برخی مناطق کشور آغاز کرده‌اند. همچنین، نظام تعرفه‌گذاری برق در ایران بر پایه الگوی پلکانی و زمان مصرف طراحی شده است؛ در حالی که در کشور اخیراً الگوهایی مشابه نظام قیمت‌گذاری زمان‌مند (Time of Use - TOU)، که نرخ برق در ساعات اوج مصرف افزایش می‌یابد، در حال بررسی و آزمون است [۵،۶]. برای غلبه بر این چالش‌ها، این پژوهش چارچوبی برای تجارت انرژی P2P در بستر سیستم قیمت‌گذاری پله‌ای در کشور پیشنهاد می‌دهد. مدل سیستم پیشنهادی به گونه‌ای طراحی شده تا برنامه‌ای برای فعال‌سازی مجدد تجارت برق همتا به همتا در ایران از طریق توسعه یک مدل قیمت‌گذاری پله‌ای فراهم آورد. این پژوهش همچنین میانگین منافع تولید-مصرف‌کنندگان را به صورت یک سری زمانی ارائه می‌دهد، عوامل مؤثر بر مطلوبیت معاملات در مدل دقیق قیمت‌گذاری را شناسایی می‌کند، و سطح کاهش هزینه قبض برق مشتریان را قبل و بعد از پیاده‌سازی تجارت P2P در ایران نمایش می‌دهد. با این که این مطالعه به طور خاص برای سیستم قیمت‌گذاری پله‌ای برق در ایران طراحی خواهد شد، اما چارچوب آن قابلیت انطباق و کاربرد در سایر بازارهای جهانی را نیز دارد. هدف اصلی این پژوهش، دستیابی به منحنی پارتو از طریق یک تکنیک بهینه‌سازی چندهدفه با بهره‌گیری از الگوریتم تکاملی چندهدفه مبتنی بر تجزیه (MOEA/D) است. [۵،۶]

^۴ Piclo

^۵ Sonnen Community

^۶ Yeloha

بنابراین، این تحلیل می‌تواند راهبردی برای طراحی یک برنامه عملی جهت افزایش معاملات P2P در ایران - کشوری که زیر ساخت مشخصی برای این نوع تجارت ندارد - فراهم آورد. در نهایت، هدف این پژوهش آن است که نشان دهد چگونه می‌توان منافع تولید-مصرف‌کنندگان را به حداکثر رساند و هم‌زمان با ارتقای منافع کل سیستم، گامی مؤثر در جهت توسعه یک سیستم انرژی کارآمدتر و پایدارتر در ایران برداشت.

از سوی دیگر در دهه‌های اخیر، افزایش مصرف انرژی و نگرانی‌های مرتبط با تغییرات اقلیمی، سیستم‌های انرژی سنتی را با چالش‌های جدی مواجه کرده‌اند. رشد سریع شهرنشینی، توسعه فناوری‌های دیجیتال و افزایش تقاضا برای انرژی پاک و مقرون به صرفه، ضرورت بازنگری در نحوه تولید، توزیع و مصرف انرژی را دوچندان کرده است. در این میان، ظهور ساختمان‌های هوشمند که قادرند انرژی تولید کرده، ذخیره و مصرف نمایند، فرصت جدیدی برای تحول در سیستم‌های انرژی شهری فراهم آورده‌اند. یکی از راهکارهای نوین در مدیریت انرژی، شکل‌گیری شبکه‌های هم‌تا به هم‌تا (P2P) بین ساختمان‌های مسکونی هوشمند است. در این شبکه‌ها، هر ساختمان نه تنها مصرف‌کننده بلکه تولیدکننده و توزیع‌کننده انرژی نیز هست. این ویژگی، امکان تبادل مستقیم انرژی بین واحدهای ساختمانی مختلف را فراهم کرده و می‌تواند منجر به کاهش فشار بر شبکه‌های توزیع مرکزی، بهبود بهره‌وری انرژی و کاهش هزینه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی شود. [۷]

با این حال، بهره‌گیری بهینه از این قابلیت نیازمند مدل‌سازی دقیق و هوشمندانه تعاملات انرژی بین ساختمان‌ها است. برخلاف سیستم‌های متمرکز که کنترل آن‌ها از طریق یک نهاد مرکزی انجام می‌شود، در سیستم‌های هم‌تا به هم‌تا، تصمیم‌گیری توزیعی و تعاملی بوده و پیچیدگی بالایی دارد. همچنین، عوامل متعددی مانند عدم قطعیت در تولید انرژی تجدیدپذیر (مانند خورشیدی و بادی)، رفتار متغیر مصرف‌کنندگان، محدودیت‌های فنی ذخیره‌سازی و انتقال انرژی، و تفاوت در اولویت‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی مصرف‌کنندگان، بر کارایی این شبکه‌ها تأثیر می‌گذارند. بنابراین، نیاز به مدلی چندهدفه احساس می‌شود که بتواند به صورت هم‌زمان چندین معیار عملکردی متضاد (مانند حداقل‌سازی هزینه، بیشینه‌سازی بهره‌وری انرژی، و کاهش آلاینده‌ها) را در نظر گیرد. این مدل باید قادر باشد تصمیمات بهینه‌ای برای تولید، ذخیره‌سازی، مصرف و تبادل انرژی در شبکه P2P پیشنهاد دهد، به گونه‌ای که منافع همه مشارکت‌کنندگان تأمین شده و پایداری سیستم تضمین گردد. [۸]

از سوی دیگر، تعاملات اقتصادی در این شبکه‌ها مستلزم طراحی سازوکارهایی شفاف، منصفانه و مبتنی بر اعتماد است. برای مثال، قیمت‌گذاری انرژی بین ساختمان‌ها، قوانین تبادل، و پاداش یا جریمه برای رفتارهای خاص باید به گونه‌ای

تنظیم شوند که انگیزه مشارکت و همکاری را افزایش داده و از رفتارهای فرصت طلبانه جلوگیری کنند. در این راستا، ترکیب روش‌های بهینه‌سازی ریاضی، الگوریتم‌های فراابتکاری و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند ابزار مناسبی برای حل این مسئله پیچیده باشد.[۹]

با توجه به اهمیت موضوع، این پژوهش بر آن است تا با ارائه یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه برای تبادل انرژی در شبکه‌های هم‌تا به هم‌تای ساختمان‌های مسکونی هوشمند، گامی مؤثر در جهت ارتقاء پایداری، بهره‌وری و عدالت در سیستم‌های انرژی شهری بردارد. در این مدل، اهداف اقتصادی (مانند کاهش هزینه‌های انرژی)، زیست‌محیطی (مانند کاهش تولید کربن)، و فنی (مانند پایداری شبکه و بهره‌وری تجهیزات ذخیره‌سازی) به‌طور هم‌زمان مورد توجه قرار می‌گیرند. در نهایت، با توجه به روند رو به رشد توسعه فناوری‌های مرتبط با اینترنت اشیاء، شبکه‌های هوشمند، و انرژی‌های تجدیدپذیر، نتایج این تحقیق می‌تواند مبنایی برای طراحی پلتفرم‌های مدیریت انرژی هوشمند در مقیاس محلی و شهری باشد.

با گسترش فناوری‌های مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر، اینترنت اشیاء (IoT) و سیستم‌های مدیریت انرژی هوشمند، مدل‌های سنتی تولید و توزیع انرژی در حال تغییرند. یکی از رویکردهای نوظهور در این زمینه، تبادل انرژی به صورت هم‌تا به هم‌تا میان مصرف‌کنندگان فعال (Prosumer) است که در آن، مشترکان نه تنها مصرف‌کننده، بلکه تولیدکننده انرژی نیز هستند. این مدل در بستر شبکه‌های توزیع محلی، به‌ویژه در ساختمان‌های مسکونی هوشمند، می‌تواند نقش مهمی در بهبود بهره‌وری انرژی، کاهش بار پیک، و افزایش تاب‌آوری شبکه ایفا کند. با توجه به افزایش مصرف انرژی در بخش خانگی، خصوصاً در کلان‌شهرهای ایران، و همچنین گسترش نصب سامانه‌های خورشیدی پشت‌بامی، نیاز به چارچوب‌های بهینه برای مدیریت تبادل انرژی بین ساختمان‌ها بیش از پیش احساس می‌شود. مدل‌سازی بهینه این فرایند با در نظر گرفتن چندین هدف گوناگون – مانند کمینه‌سازی هزینه، کاهش آلاینده‌گی، و افزایش عدالت در تبادل انرژی – می‌تواند مسیر توسعه پایدار و هوشمند را هموار سازد. [۱۰]

به‌منظور افزایش ضریب نفوذ انرژی‌های پاک، بسیاری از ساختمان‌ها اقدام به نصب پنل‌های فتوولتائیک (PV) و سامانه‌های ذخیره‌سازی انرژی (ESS) نموده‌اند. ماژول‌های PV امکان تولید انرژی پاک را برای کاربران ساختمان فراهم می‌سازند و سامانه‌های ذخیره‌سازی خانگی نیز با مدیریت هوشمند بار، از طریق کاهش پیک مصرف و پر کردن کف بار، نقش مؤثری در بهینه‌سازی الگوی مصرف ایفا می‌کنند. با این حال، به دلیل تفاوت‌های جغرافیایی و اقلیمی، برخی ساختمان‌ها از تابش خورشیدی مطلوب‌تری برخوردار بوده و قادر به تولید مازاد برق از طریق PV هستند، در حالی که در برخی دیگر، تولید انرژی خورشیدی پاسخگوی تقاضای روزانه مصرف‌کنندگان نبوده و وابستگی به شبکه سراسری همچنان پابرجاست. این عدم توازن در تولید انرژی خورشیدی می‌تواند میزان بهره‌برداری از انرژی پاک را در سطح منطقه محدود نماید.

در این راستا، تجارت انرژی هم‌تا به هم‌تا به‌عنوان یکی از راهکارهای نوین و غیرمتمرکز در سال‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران و سیاست‌گذاران قرار گرفته است. در این مدل، کاربران بدون واسطه و به صورت مستقیم با یکدیگر تعامل دارند؛ به‌طوری‌که ساختمان‌های واقع در یک ریز شبکه محلی، ضمن مصرف انرژی، قادر به تولید و عرضه مازاد آن نیز هستند. به این دسته از کاربران اصطلاحاً «پرو سומר» (مصرف‌کننده-تولیدکننده) اطلاق می‌شود. در چنین چارچوبی، ساختمان‌هایی که تولید برق مازاد دارند، می‌توانند از طریق پلتفرم P2P، انرژی مازاد خود را با قیمت توافقی به ساختمان‌های هم‌جوار که دچار کمبود تولید هستند بفروشند. این در حالی است که قیمت خرید برای مصرف‌کنندگان

می‌تواند کمتر از تعرفه برق شبکه سراسری باشد. این نوع همکاری منجر به توافقی برد-برد میان ذی‌نفعان شده و بهره‌مندی همگانی از انرژی پاک را تسهیل می‌نماید. [۱۲,۱۱,۱۰]

در سال‌های اخیر، توسعه تجارت انرژی P2P با استقبال فزاینده‌ای مواجه شده است؛ چرا که هزینه‌های بالای تجهیزات و زیرساخت‌های انرژی تجدیدپذیر، مانعی جدی در مسیر توسعه آن‌ها در سطح ساختمان‌ها محسوب می‌شود. در این زمینه، پژوهش حاضر با الهام از سازوکارهای P2P، به طراحی یک مدل بهینه برای بهره‌برداری و تقسیم هزینه میان کاربران داوطلب در قالب یک ریزشبکه محلی پرداخته است. علاوه بر این، در ایران تاکنون مطالعات جامعی در زمینه پیاده‌سازی عملی و مدل‌سازی چندهدفه تبادل انرژی در قالب شبکه‌های P2P میان ساختمان‌های هوشمند صورت نگرفته است. این خلأ پژوهشی، ضرورت انجام تحقیقی هدفمند را برای طراحی، تحلیل و بهینه‌سازی این شبکه‌ها با شرایط بومی کشور، دوچندان می‌سازد. نتایج این تحقیق می‌تواند به عنوان مبنایی برای تدوین سیاست‌های حمایتی، تنظیم‌گری بازارهای محلی انرژی، و طراحی زیرساخت‌های فناورانه در حوزه انرژی‌های نو و هوشمندسازی شبکه توزیع به کار گرفته شود.

۹. مرور ادبیات و سوابق مربوط (بیان مختصر سابقه تحقیقات انجام شده درباره موضوع و نتایج به دست آمده در داخل و خارج از کشور نظر

های علمی موجود درباره موضوع تحقیق)

مطالعات متعددی با هدف بررسی ابعاد مختلف تجارت انرژی P2P انجام شده است. نویسندگان [۸] یک مدل قیمت‌گذاری جدید برای تجارت P2P در محیط ریزشبکه (microgrid) پیشنهاد کرده‌اند. آن‌ها یک سازوکار ارزیابی ارائه داده‌اند تا بهره‌وری بازار و نسبت درآمد خانوارها در ریزشبکه را بهبود دهند. این مطالعه در زمینه منابع انرژی توزیع‌شده پیشرفته (DER) و تحول نقش مصرف‌کنندگان به تولیدکننده-مصرف‌کننده انجام شده است. مدل قیمت‌گذاری مبتنی بر ارزش توسط یک چارچوب ارزیابی پشتیبانی می‌شود که بازخوردی از مصرف خدمات انرژی خانوارها فراهم می‌سازد. نقطه بهینه پیشنهاد قیمت انرژی شامل یک ضریب ارزیابی برای هر خانوار است که از نتایج ارزیابی‌های پیشین حاصل شده است. خانوارهایی که سطح بالاتری از خدمات را حفظ می‌کنند، ضریب ارزیابی بالاتری دارند و رتبه بهتری در مزایه دریافت می‌کنند. این طرح قیمت‌گذاری بر ارزیابی مبتنی بر عملکرد تکیه دارد و بر بهره‌وری و قابلیت اطمینان بازار اثرگذار است.

این رویکرد به خانوارهایی که عملکرد بهتری دارند، پاداش می‌دهد، موجب افزایش سطح خدمات شده و به توسعه بازار رقابتی انرژی در ریزشبکه کمک می‌کند.

تحقیقات بیشتری نیز به ارزیابی انواع مختلف تجارت برق نظیر خالص‌سنجی (Net Metering)، تعرفه تغذیه‌ای (FIT) و P2P پرداخته‌اند [۹]. پژوهشگران همچنین هزینه سطحی‌شده برق (LCOE) را برای هر نوع تجارت برآورد کرده‌اند و مشخص شد که P2P-Tier 1 کم‌هزینه‌ترین روش تجاری است. این تحقیق همچنین تعرفه‌های ماهانه برق را بر اساس ساختار قیمت‌گذاری پلکانی ارزیابی کرده و اثبات می‌کند که صرفه‌جویی قابل توجهی به دلیل بهبود شدت انرژی و بهره‌برداری مؤثر از کانال‌های تجاری حاصل می‌شود. در [۱۰]، تحلیل‌هایی بر حداکثر قیمت‌های معامله برق انجام شده که وابستگی بین میزان مصرف ماهانه، نرخ خرید برق و سودآوری فرآیند تجارت برق برای خریداران و فروشندگان را نشان می‌دهد. همچنین، نشان داده شده که مصرف بیشتر کمیته، حجم معاملات حداکثری را برای مصرف‌کنندگان در صورت مصرف بالاتر افزایش می‌دهد، در حالی که کمترین تعداد معاملات حداکثری زمانی رخ می‌دهد که نرخ خرید کمیته بالاتر باشد. به‌طور کلی، عملکرد تجارت بسته به فصل سال نوسان دارد، و تابستان تعرفه‌های پلکانی را با حق بیمه نسبتاً کمتری ارائه می‌دهد. این مطالعه با عمق و وسعت مناسب، چشم‌انداز جامعی از سازوکارهای آتی تجارت فراهم کرده و اطلاعات مورد نیاز برای شناسایی استراتژی‌های سودآور را در اختیار بازیگران بازار قرار می‌دهد.

منبع [۱۱] یک مدل برای یکپارچه‌سازی سیستم‌های فتوولتائیک (PV) و ذخیره‌ساز باتری در تجارت P2P ارائه داده که صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه‌ها ایجاد کرده و مشارکت بازار را از طریق استفاده مؤثر از انرژی تولیدشده محلی افزایش می‌دهد. این مدل موجب کاهش هزینه‌های برق خانوارها و کسب درآمد برای prosumer ها می‌شود. از نظر اجتماعی، این مدل به ماهیت غیرمتمرکز تحویل انرژی، کاهش بار مالی دولت برای زیرساخت‌های قدرت، و ترویج انرژی‌های تجدیدپذیر توزیع‌شده توجه دارد.

در [۱۲] پژوهشی با هدف، طرح قیمت‌گذاری برای تجارت انرژی هم‌تا به هم‌تا مبتنی بر مکانیسم ارزیابی در ریزشبکه بازاری‌سازی برق انجام شده است. در این پژوهش، یک طرح قیمت‌گذاری جدید مبتنی بر مکانیسم ارزیابی پیشنهاد شده است که یک طرح بازارمحور برای هدایت تجارت انرژی نظیر به نظیر هم‌تا به هم‌تا و بهینه‌سازی درآمد آینده‌نگر برای همه خانوارها ارائه می‌دهد. طبق نتایج شبیه‌سازی، هرچه تعداد پیشنهاددهندگان در حراج بیشتر باشد، درآمد آینده‌نگر

کمتر است. علاوه بر این، وقتی تعداد پیشنهاددهندگان یکسان باشد، ضریب ارزیابی پایین‌تر، درآمد آینده‌نگر بالاتر است از یک روش بهینه‌سازی چندهدفه برای تعیین اندازه بهینه یک ریزشبکه هیبریدی شامل سیستم‌های PV، توربین‌های بادی، ژنراتورهای دیزلی و باتری استفاده شده است. در این مطالعه، احتمال از دست دادن تأمین برق، هزینه برق، و شاخص‌های انرژی تجدیدپذیر به عنوان توابع هدف اصلی در نظر گرفته شده‌اند. در [۱۳]، در این مطالعه، به بررسی امکان‌سنجی اقتصادی تجارت برق هم‌تا به هم‌تا (در میان خانوارهای مجهز به سامانه‌های تولید برق خورشیدی پرداخته است. در این پژوهش، با دسته‌بندی ساختمان‌های مسکونی به سه نوع خانه‌های موجود، خانه‌های جدید و خانه‌های انرژی صفر به مقایسه مدل‌های مختلف مبادله برق از جمله تعرفه تغذیه، اندازه‌گیری خالص و تجارت هم‌تا به هم‌تا پرداخته شد. یافته‌ها نشان دادند که مدل P2P، به‌ویژه در شرایط وجود تعرفه‌های مترقی، می‌تواند از لحاظ اقتصادی مقرون‌به‌صرفه‌تر باشد، به‌ویژه در ساختمان‌هایی که از کارایی انرژی بالاتری برخوردارند. این نتایج نشان‌دهنده اهمیت بهینه‌سازی مصرف و افزایش بهره‌وری انرژی به عنوان پیش‌نیازهای موفقیت اقتصادی در تجارت انرژی غیرمتمرکز الگوریتم ژنتیک و روش بهینه‌سازی بادمحور پیشنهاد و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج نشان‌دهنده کاهش ۲۹٪ در هزینه قبض و کاهش ۳۶،۲٪ در نسبت پیک به میانگین است.

مرجع [۱۴] نسخه اصلاح‌شده‌ای از الگوریتم MOEA/D را برای حل مسئله جریان توان بهینه چندهدفه (OPF) توسعه داده است. این الگوریتم اهداف متضادی مانند هزینه سوخت، آلاینده‌گی، تلفات توان و انحراف ولتاژ را به‌طور هم‌زمان بهینه‌سازی می‌کند. در مطالعات [۱۵]، الگوریتم MOEA/D برای اهدافی مانند حداقل‌سازی زمان تکمیل، بار ماشین، مصرف انرژی و تعداد ابزارهای موردنیاز استفاده شده است. همچنین، برای بهینه‌سازی اهداف متضادی مانند مصرف انرژی، هزینه و راحتی کاربر، یک چارچوب چندعاملی بر پایه MOEA/D توسعه یافته است. [16]

علاوه بر این، مطالعات دیگری از روش‌های محاسباتی پیشرفته مانند نظریه بازی‌ها و یادگیری ماشین در تجارت انرژی P2P استفاده کرده‌اند [۱۷]. در [۱۸]، راهکارهایی بر پایه نظریه بازی‌ها بررسی شده‌اند که شامل تضمین سهم برابر سود برای prosumer ها، کاهش تبادل داده و بهبود همگرایی در پلتفرم‌های غیرمتمرکز، و افزایش سوددهی بازارهای خودسازمان‌یافته با کمک یادگیری عمیق تقویتی (DQL) هستند. همچنین، رژیم‌های هم‌تا به شبکه (P2G) به‌طور هماهنگ با پروتکل‌های P2P ادغام شده‌اند تا این موضوعات را مدیریت کنند، و استفاده هوشمند از باتری و پاسخ به تقاضا ارزش قابل توجهی ایجاد می‌کند. مطالعات به تحلیل مشکلات کلیدی مرتبط با تجارت انرژی مبتنی بر فروشندگان

خارجی و خدمات جانبی پرداخته‌اند و نشان داده‌اند که این روش‌ها باعث افزایش درآمد اجتماعی و بهره‌وری عملیاتی می‌شوند. این تکنیک‌ها در روش‌های مبتنی بر عامل برای بهینه‌سازی اشتراک انرژی و کنترل اعزامی به کار رفته‌اند و موجب کاهش هزینه‌ها و افزایش قابلیت اطمینان شده‌اند.

مرجع [۱۹] دو نوع اصلی سازوکار قیمت‌گذاری را بررسی می‌کند: قیمت‌گذاری انرژی و قیمت‌گذاری خدمات شبکه (NSP). با وجود تحقیقات گسترده در زمینه قیمت‌گذاری انرژی، توجه کمی به NSP شده است. علیرغم رشد فزاینده تحقیقات در این دو حوزه، مطالعه‌ای که تضادها و روابط مالی بین این دو نوع قیمت‌گذاری را مقایسه کند، هنوز کمبود دارد. نویسندگان [۱۹] پیشنهاد می‌کنند که ادغام هر دو نوع سازوکار قیمت‌گذاری می‌تواند بینش‌های ارزشمندی برای توسعه یک بازار جامع P2P فراهم کند و در نهایت به ایجاد بخشی از انرژی پایدارتر و مقرون‌به‌صرفه‌تر کمک نماید.

در ادامه، نویسندگان [۲۰] در تلاش‌اند تا بهره‌وری انرژی و صرفه‌جویی در هزینه‌ها را از طریق تسهیل معاملات مستقیم انرژی بین خانوارهای دارای سیستم PV و سایر خانوارها ارتقا دهند. آن‌ها سه روش اصلی را بررسی می‌کنند: تکنیک‌های قیمت‌گذاری مانند تقسیم صورت‌حساب، نرخ میان‌بازار، و قیمت‌گذاری مبتنی بر مزایده که در دسته دوم استراتژی‌های قیمت‌گذاری قرار می‌گیرند. هدف مطالعه، ساختن یک سیستم قدرت مقاوم‌تر و بهینه‌تر از نظر منابع با بهره‌گیری از تولید و مصرف محلی است، به گونه‌ای که تمرکز کمتری بر تلفات بالای انرژی که معمولاً هنگام انتقال در مسافت‌های طولانی رخ می‌دهد، وجود دارد.

رویکرد نوآورانه‌ای در [۲۱] ارائه شده که روش «ضرب‌کننده جهت متناوب (ADMM)» نام دارد، روشی برای بهینه‌سازی توزیع‌شده. متدولوژی مقاله شامل مدل‌سازی توابع سودمندی prosumer ها و مصرف‌کنندگان، ایجاد یک اپراتور بازار P2P (P2PMO) برای تعادل عرضه و تقاضا، و حل مسئله قیمت‌گذاری به صورت غیرمتمرکز است. رویکرد ADMM برای حل مسئله بهینه‌سازی استفاده شده و اطمینان می‌دهد که هر prosumer یا مصرف‌کننده اهداف خود را به صورت مستقل بهینه‌سازی کند و در نهایت به یک حالت تعادل در بازار برسد.

رویکرد دیگری مبتنی بر ADMM در [۲۲] ارائه شده که چارچوبی غیرمتمرکز برای تجارت انرژی P2P را معرفی می‌کند و محدودیت‌های شبکه توزیع را در نظر گرفته و در عین حال استقلال شرکت‌کنندگان را حفظ می‌کند. نویسندگان از ADMM برای هماهنگی بین عامل‌ها استفاده می‌کنند تا تبادل حداقلی اطلاعات و امنیت شبکه حفظ شود. با استفاده

از رویکردی مبتنی بر حساسیت، محدودیت‌های ولتاژ و جریان به مسائل بهینه‌سازی محلی عامل‌ها وارد شده و سلامت شبکه در طول معاملات P2P حفظ می‌شود. این چارچوب نقش اپراتور سیستم توزیع (DSO) را کاهش داده و به prosumerها اجازه می‌دهد تا به صورت مستقل در معاملات ایمن انرژی شرکت کنند. نتایج نشان می‌دهد که مدل در مدیریت محدودیت‌های ولتاژ و جریان شبکه در کاربردهای عملی کارایی دارد و راه‌حلی برای ادغام منابع تجدیدپذیر غیرمتمرکز در شبکه‌های موجود فراهم می‌کند. این چارچوب به دلیل کارایی محاسباتی بالای خود برجسته است و حتی در شرایط پیچیده شبکه نیز همگرایی سریع دارد.

نویسندگان [۲۳] یک سیستم مدیریت انرژی غیرمتمرکز برای ریزشبکه‌های اجتماعی P2P معرفی کرده‌اند که تمرکز آن بر بهینه‌سازی رفاه اجتماعی همراه با حفظ حریم خصوصی و کارایی ارتباطات است. این سیستم برنامه‌های پاسخ به تقاضا (DR) و تجارت انرژی P2P را در یک چارچوب غیرمتمرکز ادغام می‌کند که در آن prosumerها و مصرف‌کنندگان انرژی مازاد را مبادله می‌کنند. با استفاده از روش جدیدی به نام ADMM بخش‌بندی شده توزیع شده (SBD-ADMM)، نویسندگان برنامه‌ریزی انرژی را بهینه کرده و هزینه کلی برق برای مصرف‌کنندگان و prosumerها را کاهش داده‌اند. ماهیت غیرمتمرکز سیستم موجب حفظ حریم خصوصی و کاهش تعداد ارتباطات موردنیاز برای تجارت بهینه انرژی شده و راه‌حلی مقیاس‌پذیر برای ریزشبکه‌های اجتماعی مدرن فراهم می‌کند. شبیه‌سازی‌ها کارایی این روش را در کاهش هزینه برق، ادغام بهتر انرژی تجدیدپذیر و پایداری انرژی در سطح جامعه اثبات می‌کنند.

همان‌گونه که ذکر شد، مقالات بسیاری از روش‌های مذکور برای مدیریت چالش‌ها و بهره‌برداری از فرصت‌های تجارت انرژی P2P استفاده کرده‌اند. از این‌رو، این پژوهش نیز در پی دستیابی به اهداف یادشده از طریق توسعه یک چارچوب مناسب برای اجرای تجارت انرژی P2P در کره جنوبی است. برخلاف سایر مطالعات، این پژوهش یک چارچوب جدید بهینه‌سازی چندهدفه برای تجارت P2P در یک سیستم قیمت‌گذاری پلکانی و تنظیم‌شده ارائه می‌دهد که کاستی‌های کلیدی مطالعات قبلی را رفع می‌کند. در حالی که بیشتر چارچوب‌های P2P تنها بر صرفه‌جویی در هزینه یا منافع prosumer تمرکز دارند، این مطالعه مصالحه‌های پیچیده موردنیاز در ساختار قیمت‌گذاری پلکانی را در نظر می‌گیرد. با به کارگیری الگوریتم MOEA/D، این تحقیق به بهینه‌سازی جامع اهداف چندگانه از جمله حداقل‌سازی هزینه، حداکثرسازی درآمد و بهره‌برداری انرژی دست یافته و سازگاری آن را با بازارهای تنظیم‌شده اثبات می‌کند. افزون‌براین، این مطالعه چارچوب پیشنهادی را با استفاده از داده‌های واقعی ریزشبکه در کره جنوبی اعتبارسنجی کرده و کاربرد عملی

آن را در یک بازار انرژی انحصاری به نمایش می‌گذارد. برخلاف مدل‌های قبلی که عمدتاً بر سناریوهای نظری یا بازارهای بدون محدودیت استوار بودند، این رویکرد پیشرفت‌های قابل‌سنجشی مانند صرفه‌جویی در هزینه و افزایش مصرف انرژی محلی را بر اساس الگوهای واقعی مصرف و تولید ارائه می‌دهد.

۱۰. جنبه جدید بودن و نوآوری در تحقیق

پژوهش حاضر با تمرکز بر مدلسازی بهینه تبادلات انرژی در شبکه‌های همتا به همتا (P2P) میان ساختمان‌های مسکونی هوشمند با رویکرد چندهدفه، واجد نوآوری‌های قابل‌توجهی از منظر مدلسازی، روش حل، و بومی‌سازی کاربردی در شرایط ایران است. مهم‌ترین جنبه‌های جدید بودن این تحقیق عبارت‌اند از:

(۱) استفاده از الگوریتم تکاملی چندهدفه مبتنی بر تجزیه (MOEA/D) برخلاف بسیاری از مطالعات پیشین که از الگوریتم‌های سنتی یا روش‌های بهینه‌سازی تک‌هدفه استفاده کرده‌اند، در این پژوهش از MOEA/D به‌عنوان یک الگوریتم پیشرفته تکاملی برای حل همزمان چند تابع هدف استفاده شده است. این الگوریتم با تفکیک فضای هدف به زیرمسائل ساده‌تر، امکان یافتن جبهه پارتویی متنوع، پایدار و دقیق‌تری را فراهم می‌سازد و برای مسائل پیچیده‌ای مانند تبادلات انرژی در شبکه‌های P2P، بسیار مناسب است.

(۲) تلفیق همزمان چندین هدف کلیدی در مدلسازی تبادلات انرژی: مدل پیشنهادی به‌گونه‌ای طراحی شده است که همزمان بهینه‌سازی سه هدف اصلی را دنبال می‌کند: کاهش هزینه برق، کاهش آلاینده‌گی ناشی از مصرف انرژی، و افزایش عدالت و تعادل در تبادلات انرژی میان کاربران. این رویکرد چندهدفه، تصمیم‌گیری را به سمت گزینه‌های متوازن و پایدار سوق می‌دهد که کمتر در ادبیات داخلی و خارجی دیده شده است.

۳) طراحی چارچوب مفهومی برای تبادل انرژی P2P در سطح ساختمان‌های مسکونی هوشمند: تحقیق حاضر با تمرکز بر سناریوهای واقعی ساختمان‌های مسکونی مجهز به سامانه‌های تولید و ذخیره انرژی (مانند پنل خورشیدی و باتری)، یک ساختار عملیاتی برای پیاده‌سازی شبکه‌های P2P ارائه می‌دهد. این چارچوب به‌طور خاص قابلیت پیاده‌سازی در مناطق شهری ایران را دارا بوده و مبتنی بر ظرفیت واقعی کاربران پروسومر طراحی شده است.

۴) بومی‌سازی مدل با در نظر گرفتن محدودیت‌های تعرفه‌ای، اقلیمی و زیرساختی ایران: برخلاف بسیاری از پژوهش‌ها که در کشورهای دارای بازار برق آزاد و قیمت‌گذاری مبتنی بر زمان (TOU) انجام شده‌اند، در این تحقیق مدل پیشنهادی با توجه به ساختار تعرفه‌ای پلکانی ایران، عدم وجود بازار رقابتی برق، و شرایط خاص اقلیمی و مصرفی ساختمان‌های مسکونی ایرانی طراحی و اعتبارسنجی شده است.

۵) ارائه ابزار تصمیم‌یار برای سیاست‌گذاران انرژی شهری: خروجی مدل پیشنهادی می‌تواند به‌عنوان یک ابزار تصمیم‌یار برای طراحان شهری، شرکت‌های توزیع برق و نهادهای تنظیم‌گر انرژی مورد استفاده قرار گیرد تا چارچوب‌های حمایت‌گر از تجارت انرژی P2P در مناطق شهری تدوین شود.

۱۱. کلمات کلیدی به فارسی

تبادل انرژی همتا به همتا، ساختمان‌های مسکونی هوشمند، پروسومر، بهینه‌سازی چندهدفه، الگوریتم MOEA/D، انرژی خورشیدی، سیستم ذخیره‌سازی انرژی، ریزشبکه، کاهش هزینه و آلاینده‌گی.

۱۲. کلمات کلیدی به انگلیسی

Peer-to-Peer Energy Trading, Smart Residential Buildings, Prosumer, Multi-Objective Optimization, MOEA/D Algorithm, Solar Energy, Energy Storage System, Microgrid, Cost and Emission Reduction.

۱۳. اهداف تحقیق (شامل اهداف علمی، کاربردی و ضرورت‌های خاص انجام تحقیق)

تحقیق حاضر با هدف توسعه چارچوبی برای تبادل انرژی در شبکه‌های همتا به همتا (P2P) میان ساختمان‌های مسکونی هوشمند، بر مبنای الگوریتم‌های پیشرفته بهینه‌سازی چندهدفه، طراحی شده است. اهداف این پژوهش را می‌توان در سه دسته کلی زیر طبقه‌بندی کرد:

اهداف علمی

- توسعه و پیاده‌سازی یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه برای مدیریت تبادل انرژی در ریزشبکه‌های P2P با بهره‌گیری از الگوریتم تکاملی مبتنی بر تجزیه.
- تحلیل رفتار پروسورها در شرایط مختلف تولید و مصرف انرژی و شبیه‌سازی سناریوهای متنوع بهره‌برداری از انرژی تجدیدپذیر در مقیاس ساختمان‌های هوشمند.
- دستیابی به جبهه پارتویی بهینه برای چندین تابع هدف از جمله کمینه‌سازی هزینه برق، کاهش آلاینده‌گی زیست‌محیطی و حداکثرسازی عدالت در تبادل انرژی.
- بررسی تأثیر ساختار تعرفه‌ای، اقلیم منطقه‌ای و ویژگی‌های شبکه توزیع بر عملکرد مدل پیشنهادی.

اهداف کاربردی

- ارائه یک ابزار تصمیم‌یار برای سیاست‌گذاران و شرکت‌های توزیع برق جهت مدیریت هوشمند انرژی در بافت‌های مسکونی.
- افزایش بهره‌وری و تاب‌آوری شبکه‌های محلی از طریق تشویق مشارکت کاربران در تولید و تبادل انرژی پاک.
- فراهم‌سازی بستری جهت پیاده‌سازی سازوکارهای تجاری انرژی محلی به صورت غیرمتمرکز و عادلانه.
- کمک به کاهش وابستگی مصرف‌کنندگان به شبکه برق سراسری و کاهش بار پیک شهری با تکیه بر منابع تجدیدپذیر محلی.

ضرورت‌های خاص انجام تحقیق

۱) فقدان چارچوب‌های بومی‌سازی‌شده برای تبادل انرژی P2P در ساختار تعرفه‌ای و بازار غیررقابتی برق ایران.

۲) رشد روزافزون سامانه‌های خورشیدی پشت‌بامی در کشور و عدم وجود مدل‌های کارآمد برای استفاده جمعی و مشارکتی از انرژی مازاد تولیدی.

۳) نیاز به توسعه مدل‌هایی که بتوانند در راستای سیاست‌های مدیریت تقاضا، کاهش آلودگی هوا، و توسعه پایدار شهری نقش مؤثر ایفا کنند.

۴) کمبود پژوهش‌های داخلی با رویکرد بهینه‌سازی چندهدفه که هم‌زمان به جنبه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی تبادل انرژی توجه داشته باشند.

۱۴. در صورت داشتن هدف کاربردی بیان نام بهره‌وران (اعم از مؤسسات آموزشی و اجرایی و غیره) :

- پژوهشگران، مراکز دانشگاهی
- مراکز تحقیقاتی، متخصصان انرژی
- کاربران خانگی (پروسومرها)، شرکت‌های برق
- شرکت‌های توزیع برق، شهرداری‌ها، وزارت نیرو
- ساکنین ساختمان‌های مسکونی، شرکت‌های خدمات انرژی
- نهادهای سیاست‌گذار اجتماعی-زیست‌محیطی

خروجی مورد انتظار	بهره‌وران	ابزار / روش	هدف	ردیف
چارچوب تحلیلی دقیق برای تبادل انرژی در ساختمان‌های هوشمند	پژوهشگران، مراکز دانشگاهی	مدلسازی ریاضی چندهدفه	مدل‌سازی بهینه تبادل انرژی در شبکه P2P با اهداف اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی	۱
الگوریتم بهینه با کارایی بالا برای مسائل چندهدفه در انرژی	مراکز تحقیقاتی، متخصصان انرژی	الگوریتم MOEA/D	حل مدل با رویکرد تکاملی برای رسیدن به جبهه پارتویی متنوع و پایدار	۲

۳	شبیه‌سازی و تحلیل رفتار پروسومرها در سناریوهای مختلف مصرف و تولید	طراحی سناریو، شبیه‌سازی عددی	کاربران خانگی (پروسومرها)، شرکت‌های برق	بهینه‌سازی مصرف/تولید انرژی در سطح محلی
۴	ارائه سازوکار تصمیم‌یار برای به‌کارگیری تبادل انرژی در مناطق شهری	تحلیل نتایج مدل، استنتاج سیاستی	شرکت‌های توزیع برق، شهرداری‌ها، وزارت نیرو	توصیه‌های اجرایی برای طراحی بازار محلی انرژی در ایران
۵	حمایت از توسعه انرژی خورشیدی پشت‌بامی و بهره‌گیری مشارکتی از آن	مدل تبادل انرژی مبتنی بر مشارکت	ساکنین ساختمان‌های مسکونی، شرکت‌های خدمات انرژی	راهکار بومی برای توزیع عادلانه انرژی تولیدی در محله‌ها
۶	ارتقای عدالت انرژی و کاهش نابرابری در دسترسی به منابع پاک	شاخص عدالت در مدل بهینه‌سازی	نهادهای سیاست‌گذار اجتماعی-زیست‌محیطی	کاهش تمرکز مصرف انرژی سنتی و گسترش بهره‌وری عادلانه

۱۵. سوال های تحقیق

سوال اصلی تحقیق

چگونه می‌توان با استفاده از الگوریتم تکاملی چندهدفه مبتنی بر تجزیه (MOEA/D)، تبادل انرژی میان ساختمان‌های مسکونی هوشمند را در قالب شبکه هم‌تا به هم‌تا (P2P) به‌گونه‌ای بهینه‌سازی کرد که هم‌زمان اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی محقق شود؟

سوالات فرعی تحقیق

(۱) چه تابع‌های هدفی برای مدل‌سازی تبادل انرژی در شبکه‌های P2P باید در نظر گرفته شود تا بین هزینه، آلاینده‌گی و عدالت انرژی تعادل برقرار گردد؟

- ۲) الگوریتم MOEA/D چگونه در مقایسه با سایر روش‌های بهینه‌سازی می‌تواند عملکرد بهتری در حل مسائل چندهدفه تبادل انرژی ارائه دهد؟
- ۳) چه عواملی (از جمله میزان تابش خورشید، ظرفیت ذخیره‌سازی، الگوی مصرف و تعرفه برق) بیشترین تأثیر را بر نتایج مدل پیشنهادی دارند؟
- ۴) چگونه می‌توان عدالت در تبادل انرژی میان پروسومرها با توانمندی‌های تولیدی متفاوت را در مدل لحاظ کرد؟
- ۵) نتایج مدل پیشنهادی چگونه می‌تواند در تصمیم‌سازی برای نهادهای اجرایی و شرکت‌های توزیع برق جهت پیاده‌سازی سیستم‌های P2P در ایران مورد استفاده قرار گیرد؟

۱۶. فرضیه های تحقیق

- ۱) استفاده از الگوریتم تکاملی چندهدفه مبتنی بر تجزیه (MOEA/D) منجر به یافتن جبهه پارتویی متنوع‌تری در مسئله تبادل انرژی هم‌تا به هم‌تا نسبت به سایر الگوریتم‌های متداول می‌شود.
- ۲) تبادل انرژی میان ساختمان‌های مسکونی هوشمند در قالب شبکه P2P باعث کاهش هزینه کلی برق مصرفی کاربران نسبت به سناریوهای بدون تبادل می‌شود.
- ۳) مدل بهینه‌سازی چندهدفه قادر است به‌طور هم‌زمان آلاینده‌گی ناشی از مصرف انرژی فسیلی را کاهش دهد و عدالت در دسترسی به انرژی پاک را افزایش دهد.
- ۴) افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی و بهبود شرایط تولید خورشیدی منجر به بهبود عملکرد سیستم تبادل P2P و افزایش رضایت پروسومرها می‌شود.
- ۵) در نظر گرفتن شاخص عدالت انرژی در مدل، منجر به توزیع منصفانه‌تر منابع انرژی میان پروسومرهایی با توان تولیدی متفاوت خواهد شد.
- ۶) پیاده‌سازی مدل تبادل انرژی P2P در مناطق شهری ایران با شرایط تعرفه‌ای و اقلیمی خاص کشور امکان‌پذیر بوده و می‌تواند به کاهش بار شبکه سراسری کمک کند.

۱۷. تعریف واژه ها و اصطلاحات فنی و تخصصی

واژه/اصطلاح	تعریف
تبادل انرژی همتا به همتا (Peer-to-Peer Energy Trading)	روشی غیرمتمرکز برای مبادله انرژی که در آن مصرف کنندگان و تولید کنندگان کوچک (پروسومرها) بدون واسطه از طریق یک پلتفرم مشترک به تبادل انرژی با یکدیگر می پردازند.
ساختمان هوشمند (Smart Building)	ساختمانی مجهز به فناوری های خودکارسازی و مدیریت انرژی، که توانایی نظارت و کنترل بهینه مصرف، تولید و ذخیره انرژی را دارد.
پروسومر (Prosumer)	ترکیبی از دو واژه Producer (تولید کننده) و Consumer (مصرف کننده) است و به کاربری اطلاق می شود که همزمان مصرف کننده و تولید کننده انرژی است، معمولاً از طریق سامانه های خورشیدی.
ریز شبکه (Microgrid)	شبکه ای کوچک از منابع تولید، ذخیره و مصرف انرژی که می تواند به صورت مستقل یا متصل به شبکه اصلی عمل کند.
انرژی خورشیدی (Solar Energy)	انرژی حاصل از تابش خورشید که از طریق سامانه های فتوولتائیک (PV) به برق تبدیل می شود.
سامانه ذخیره سازی انرژی (Energy Storage System - ESS)	دستگاهی برای ذخیره برق (معمولاً باتری ها) که به بهینه سازی مصرف، کاهش پیک بار و استفاده مؤثر از انرژی تولیدی کمک می کند.
الگوریتم تکاملی چند هدفه مبتنی بر تجزیه (MOEA/D)	یک الگوریتم هوشمند و تکاملی برای حل مسائل چند هدفه، که با تجزیه مسئله به زیرمسائل ساده تر، راه حل های متنوع و بهینه تولید می کند.
بهینه سازی چند هدفه (Multi-objective Optimization)	فرآیندی برای یافتن بهترین راه حل ها در مسائلی که بیش از یک تابع هدف (گاهی متضاد) باید به صورت همزمان بهینه شوند.
جبهه پارتو (Pareto Front)	مجموعه ای از راه حل های غیرقابل غلبه در یک مسئله چند هدفه که در آن بهبود یک هدف منجر به تضعیف حداقل یک هدف دیگر می شود.

۱۸. روش کار

الف - شرح کامل روش تحقیق بر حسب هدف، نوع داده ها و نحوه اجراء (شامل مواد، تجهیزات و استانداردهای
مورد استفاده در قالب مراحل اجرایی تحقیق به تفکیک)

روش این تحقیق از نوع کاربردی-توسعه‌ای است؛ زیرا ضمن توسعه مدل‌های علمی برای بهینه‌سازی تبادل انرژی در
شبکه‌های همتا به همتا (P2P)، هدف آن پاسخ‌گویی به یک نیاز واقعی در مدیریت انرژی ساختمان‌های مسکونی
هوشمند است. در عین حال، این تحقیق از نظر ساختار تحلیلی و مدل‌سازی، تحقیقی تحلیلی-مدل‌سازی محسوب می‌شود.
این پژوهش مبتنی بر داده‌های شبیه‌سازی شده و ثانویه است:

- داده‌های تابش خورشیدی، الگوهای مصرف برق خانگی، تعرفه‌های برق، و مشخصات تجهیزات فتوولتائیک (PV)
و ذخیره‌سازی انرژی (ESS) از منابع معتبر نظیر آمارهای وزارت نیرو، داده‌های تجربی پروژه‌های مشابه، یا
پایگاه‌های بین‌المللی استخراج می‌شوند.
- داده‌های مرتبط با پارامترهای مدل‌سازی (مانند راندمان تجهیزات، نرخ تخلیه باتری، ضریب آلودگی، هزینه تولید
و...) نیز از مقالات علمی و اسناد فنی استخراج شده و در مدل اعمال می‌گردند.

روش اجرایی تحقیق شامل مراحل زیر است:

مرحله اول: طراحی مدل ریاضی

- تدوین یک مدل چندهدفه برای بهینه‌سازی تبادل انرژی میان پروسومرهای موجود در یک ریزشبکه مسکونی.
- اهداف مدل: (۱) حداقل‌سازی هزینه، (۲) حداقل‌سازی آلایندگی، و (۳) حداکثرسازی عدالت انرژی.
- محدودیت‌ها: ظرفیت تولید PV، محدودیت باتری، تعادل انرژی، نرخ تبادل، و موارد فنی دیگر.

مرحله دوم: پیاده‌سازی الگوریتم بهینه‌سازی

- استفاده از الگوریتم تکاملی چندهدفه مبتنی بر تجزیه (MOEA/D) برای حل مدل.
- کدنویسی و اجرای الگوریتم در محیط MATLAB
- تعیین پارامترهای الگوریتم (مانند اندازه جمعیت، نرخ جهش، تابع تجزیه، روش انتخاب).

مرحله سوم: تحلیل و ارزیابی نتایج

- تحلیل نتایج جبهه پارتو به دست آمده و استخراج راه‌حل‌های مناسب بر اساس اولویت سیاست‌گذار یا کاربران.
- مقایسه عملکرد الگوریتم MOEA/D با سایر الگوریتم‌های مرجع (در صورت نیاز).
- تحلیل سناریوهای مختلف (مثلاً تغییر شرایط آب‌وهوایی، تعرفه‌ها، یا تعداد پروسورها).

مرحله چهارم: ارائه پیشنهادات کاربردی

- ارائه توصیه‌هایی برای پیاده‌سازی مدل در محیط واقعی (در ایران)، با در نظر گرفتن محدودیت‌های فنی، اقتصادی و قانونی.
- تحلیل قابلیت اجرای مدل در سیاست‌گذاری انرژی شهری و طراحی بازارهای محلی انرژی.

ب- جامعه آماری، روش نمونه‌گیری و حجم نمونه (در صورت وجود و امکان)

این پژوهش فاقد جامعه آماری است.

ت. روش گردآوری اطلاعات (میدانی ، کتابخانه ای و غیره و ابزار مشاهده و آزمون، پرسشنامه، مصاحبه، فیش برداری و غیره گردآوری داده‌ها)

در این تحقیق، از دو روش اصلی کتابخانه‌ای و شبیه‌سازی داده‌محور برای گردآوری اطلاعات استفاده شده است:

۱. روش کتابخانه‌ای

در مرحله تدوین مبانی نظری، مرور ادبیات موضوع و استخراج پارامترهای فنی و اقتصادی مدل، از روش مطالعه کتابخانه‌ای استفاده شده است. منابع مورد استفاده شامل:

- مقالات علمی معتبر (ISI و Scopus)،
- گزارش‌ها و استانداردهای بین‌المللی مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر و ساختمان‌های هوشمند،
- پایان‌نامه‌ها و کتب تخصصی حوزه انرژی،
- اسناد منتشرشده از سوی نهادهای رسمی مانند وزارت نیرو، IRENA، IEEE، و سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر ایران (ساتبا) هستند.

اطلاعات به روش فیش‌برداری و دسته‌بندی موضوعی گردآوری شده‌اند.

۲. روش شبیه‌سازی و داده‌محور

در بخش مدل‌سازی و تحلیل، از داده‌های عددی و پارامترهای فنی برای اجرای مدل استفاده شده که از طریق منابع زیر گردآوری شده‌اند:

- داده‌های استاندارد تابش خورشیدی (از سایت‌های هواشناسی و پایگاه‌های داده بین‌المللی مانند NASA/POWER یا PVGIS)،
- تعرفه‌های برق خانگی در ایران (بر اساس اطلاعات شرکت توانیر)،
- مشخصات فنی تجهیزات PV و ESS از کاتالوگ‌های سازندگان یا مقالات علمی،
- داده‌های فرضی برای تولید و مصرف برق کاربران، متناسب با شرایط اقلیمی و رفتاری در ایران.

اطلاعات مذکور در نرم‌افزار MATLAB وارد شده و در قالب سناریوهای شبیه‌سازی مدل‌سازی می‌شوند. در این مرحله از ابزار شبیه‌سازی، کدنویسی، و تحلیل الگوریتمی استفاده شده است، نه ابزارهایی مانند پرسشنامه یا مصاحبه.

در این پژوهش، داده‌های گردآوری‌شده شامل اطلاعات عددی و پارامترهای فنی مرتبط با تولید و مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی هوشمند هستند. به منظور تجزیه و تحلیل این داده‌ها، از روش‌های مدل‌سازی ریاضی، بهینه‌سازی چندهدفه و تحلیل جبهه پارتو استفاده شده است.

۱. مدل‌سازی ریاضی

ابتدا روابط ریاضی حاکم بر تولید، مصرف، ذخیره‌سازی و تبادل انرژی میان پروسورها تدوین شده است. اهداف مدل شامل حداقل‌سازی هزینه، حداقل‌سازی آلاینده‌گی و حداکثرسازی عدالت انرژی هستند. قیود مدل شامل محدودیت‌های فنی PV، ESS، توازن انرژی، محدودیت تبادل و ظرفیت‌های مجاز تعریف شده‌اند.

۲. الگوریتم بهینه‌سازی

از الگوریتم تکاملی چندهدفه مبتنی بر تجزیه (MOEA/D) برای حل مدل استفاده شده است. این الگوریتم قابلیت ارائه جبهه پارتو شامل مجموعه‌ای از راه‌حل‌های بهینه غیرغالب را دارد که تعادل بین اهداف مختلف را نشان می‌دهد.

الگوریتم در نرم‌افزار MATLAB پیاده‌سازی شده و بر اساس سناریوهای مختلف اجرا شده است.

۳. تحلیل جبهه پارتو و انتخاب راه‌حل

خروجی الگوریتم شامل نقاط جبهه پارتو است که هریک بیانگر ترکیبی از اهداف با کارایی بالا می‌باشد.

برای تحلیل نتایج از روش‌هایی نظیر شاخص تنوع (Diversity Metric) و شاخص نزدیکی به جواب ایده‌آل (Ideal Distance) استفاده شده است.

۴. ابزارها

تحلیل نتایج و ترسیم نمودارهای پارتو، پروفایل تبادل انرژی و هزینه‌ها: از ابزارهای ترسیمی موجود در MATLAB استفاده شده است.

ابزار	روش مورد استفاده	مرحله تحلیل
تحلیل نمادین ریاضی	فرموله‌سازی توابع هدف و قیود	مدل‌سازی ریاضی
MATLAB	MOEA/D (الگوریتم تکاملی چندهدفه)	بهینه‌سازی
جدول‌ها، نمودارها	تحلیل جبهه پارتو، شاخص‌های تصمیم‌گیری	تحلیل نتایج

۱۹- جدول متغیرها

واحد	نوع متغیر	عنوان متغیر	ردیف
کیلووات (kW)	متغیر وابسته	توان تولیدی سیستم فتوولتائیک ساختمان i در زمان t	1
کیلووات (kW)	متغیر وابسته	توان مصرفی ساختمان i در زمان t	2
کیلووات (kW)	متغیر وابسته	توان ورودی/خروجی سیستم ذخیره‌سازی ساختمان i در زمان t	3
درصد (%)	متغیر وابسته	سطح شارژ باتری ساختمان i در زمان t	4
کیلووات (kW)	متغیر تصمیم	توان تبادل شده بین ساختمان i و شبکه سراسری در زمان t	5
کیلووات (kW)	متغیر تصمیم	توان تبادل شده بین ساختمان i و از طریق P2P	6
ریال یا دلار	تابع هدف	هزینه کلی پرداختی ساختمان i	7

8	میزان انتشار آلاینده ناشی از مصرف انرژی توسط ساختمان i	تابع هدف	کیلوگرم CO ₂
9	شاخص عدالت در دسترسی به انرژی بین پروسورها	تابع هدف	بدون بعد
10	راندمان سیستم PV	پارامتر ثابت	درصد (%)
11	راندمان سیستم ذخیره‌سازی انرژی	پارامتر ثابت	درصد (%)
12	ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی ساختمان i	پارامتر	کیلووات‌ساعت (kWh)
13	بازه‌های زمانی تحلیل (مثلاً ساعات شبانه‌روز)	پارامتر	ساعت

۲۰. فهرست منابع و مآخذ (فارسی و غیر فارسی) مورد استفاده در پایان نامه به شرح زیر : (حداقل ۱۰ مورد)

1. Kharatovi, L.; Gantassi, R.; Masood, Z.; Choi, Y. A Multi-Objective Optimization Framework for Peer-to-Peer Energy Trading in South Korea's Tiered Pricing System. Appl. Sci. **2024**, *14*, 11071.
2. Uddin N, Wu Y, Islam MS, Zakaria KM. An optimized decentralized peer-to-peer energy trading system for smart grids incorporating uncertain renewable energy sources through fuzzy optimization. Electric Power Systems Research. Jan **2025**, *1*;238:111154.
3. He J, Feng T, Wei R. A dynamic framework for optimizing peer-to-peer energy sharing: Enhancing local consumption and reducing power losses in smart grids. Electric Power Systems Research. **2025** Feb *1*;239:111215.
4. Qi X, Ju L, Yang S, Gan W, Li G, Bai X. A bi-level peer-to-peer interactive trading optimization model and distributed solution algorithm for rural distributed energy system group based on Stackelberg-Nash game strategy. Energy. **2025** Mar *1*;318:134767.
5. Soto, E.A.; Bosman, L.B.; Wollega, E.; Leon-Salas, W.D. Peer-to-peer energy trading: A review of the literature. Appl. Energy **2021**, *283*, 116268.
6. Gantassi, R.; Gouissem, B.B.; Othman, J.B. Combination of MDC and K-means to improve LEACH. In Proceedings of the ICC 2021—IEEE International Conference on Communications, Montreal, QC, Canada, 14–23 June 2021; pp. 1–5.

7. Luo, Y.; Itaya, S.; Nakamura, S.; Davis, P. Autonomous cooperative energy trading between prosumers for microgrid systems. In Proceedings of the 39th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks Workshops, Edmonton, AB, Canada, 8–11 September 2014; pp. 693–696.
8. Park, C.; Yong, T. Comparative review and discussion on P2P electricity trading. *Energy Procedia* **2017**, 128, 3–9.
9. Ho-Huu, V.; Hartjes, S.; Visser, H.G.; Curran, R. An improved MOEA/D algorithm for bi-objective optimization problems with complex Pareto fronts and its application to structural optimization. *Expert Syst. Appl.* **2018**, 92, 430–446. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
10. Ishibuchi, H.; Doi, K.; Nojima, Y. On the effect of normalization in MOEA/D for multi-objective and many-objective optimization. *Complex Intell. Syst.* **2017**, 3, 279–294. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
11. Gantassi, R.; Gouissem, B.B.; Othman, J.B. The use of Grid-sizes Clustering and K-means Algorithms to enhance the QoS in LEACH protocol. In Proceedings of the ICC 2021—IEEE International Conference on Communications, Montreal, QC, Canada, 14–23 June 2021; pp. 1–6. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
12. Wang, D.; Su, P.; Yang, Q. A novel pricing scheme for peer-to-peer energy trading based on evaluation mechanism in microgrid. In Proceedings of the 2019 IEEE Innovative Smart Grid Technologies—Asia (ISGT Asia), Chengdu, China, 21–24 May 2019; pp. 4318–4322. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
13. Chung, M.H. Comparison of economic feasibility for efficient peer-to-peer electricity trading of PV-equipped residential house in Korea. *Energies* **2020**, 13, 3568. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
14. An, J.; Lee, M.; Yeom, S.; Hong, T. Determining the Peer-to-Peer electricity trading price and strategy for energy prosumers and consumers within a microgrid. *Appl. Energy* **2020**, 261, 114335. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
15. Huang, H.; Nie, S.; Lin, J.; Wang, Y.; Dong, J. Optimization of peer-to-peer power trading in a microgrid with distributed PV and battery energy storage systems. *Sustainability* **2020**, 12, 923. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
16. Ramli, M.A.M.; Boucekara, H.R.E.H.; Alghamdi, A.S. Optimal sizing of PV/wind/diesel hybrid microgrid system using multi-objective self-adaptive differential evolution algorithm. *Renew. Energy* **2018**, 121, 400–411. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
17. Jiang, X.; Xiao, C. Household energy demand management strategy based on operating power by Genetic Algorithm. *IEEE Access* **2019**, 7, 96414–96423. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
18. Zhang, J.; Tang, Q.; Li, P.; Deng, D.; Chen, Y. A modified MOEA/D approach to the solution of multi-objective optimal power flow problem. *Appl. Soft Comput.* **2016**, 47, 494–514. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

19. Xiao, B.; Zhao, Z.; Wu, Y.; Zhu, X.; Peng, S.; Su, H. An improved MOEA/D for multi-objective flexible job shop scheduling by considering efficiency and cost. *Comput. Oper. Res.* **2024**, 167, 106674. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
20. Guo, W.; Dong, Y. Enhancing energy-efficient building design: A multi-agent-assisted MOEA/D approach for multi-objective optimization. *Energy Inform.* **2024**, 7, 102. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
21. Shafique, T.; Gantassi, R.; Soliman, A.H.; Amjad, A.; Hui, Z.Q.; Choi, Y. A review of energy hole mitigating techniques in multi-hop many to one communication and its significance in IoT-oriented smart city infrastructure. *IEEE Access* **2023**, 11, 121340–121367. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
22. Zhou, Y.; Lund, P.D. Peer-to-peer energy sharing and trading of renewable energy in smart communities trading pricing models, decision-making and agent-based collaboration. *Renew. Energy* **2023**, 207, 177–193. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
23. Das, A.; Peu, S.D.; Akanda, M.A.M.; Islam, A.R.M.T. Peer-to-peer energy trading pricing mechanisms: Towards a comprehensive analysis of energy and network service pricing (NSP) mechanisms to get sustainable enviro-economical energy sector. *Energies* **2023**, 16, 2198. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

۲۱- تأییدات

الف : تایید استادان راهنما و مشاور

امضاء	تاریخ	نام و نام خانوادگی استاد راهنما ۱:
امضاء	تاریخ	نام و نام خانوادگی استاد راهنما ۲:
امضاء	تاریخ	نام و نام خانوادگی استاد مشاور ۱:

امضاء	تاریخ	نام و نام خانوادگی استاد مشاور ۲:

ب. نظریه کمیته تخصصی گروه درباره

۱. ارتباط داشتن موضوع تحقیق با رشته تحصیلی دانشجو :		
☐ ارتباط دارد	☐ ارتباط فرعی دارد	☐ ارتباط ندارد
۲. جدید بودن موضوع :		
☐ بلی	☐ در ایران بلی	☐ خیر
۳. اهداف بنیادی و کاربردی :		
☐ قابل دسترسی است	☐ قابل دسترسی نیست	☐ مطلوب نیست
۴. تعریف مسأله :		
☐ رسا است	☐ رسا نیست	

۵. فرضیات :

درست تدوین شده است ☐ درست تدوین نشده است و ناقص است ☐

۶. روش تحقیق دانشجو :

مناسب است ☐ مناسب نیست ☐

۷. محتوا و چارچوب طرح :

از انسجام برخوردار است ☐ از انسجام برخوردار نیست ☐

پ. تأیید نهایی

ردیف	نام و نام خانوادگی	سمت و تخصص	نوع رأی	امضاء
۱				
۲				
۳				
۴				
۵				

موضوع تحقیق پایان نامه خانم / آقای : دانشجوی مقطع دکترای تخصصی رشته :

تحت عنوان فارسی:

و عنوان انگلیسی:

در جلسه مورخ کمیته تخصصی مطرح شد و به اتفاق آراء ☐ یا ☐ با تعداد رأی از رأی مورد تصویب

اعضاء قرار گرفت ☐ قرار نگرفت . ☐

ت . نظریه شورای پژوهشی دانشکده :

موضوع و طرح تحقیق رساله آقای / خانم دانشجوی مقطع : دکتری تخصصی

رشته که به تصویب کمیته تخصصی مربوط رسیده بود در جلسه مورخ : شورای پژوهشی

دانشکده مطرح شد و پس از بحث و تبادل نظر مورد تصویب اکثریت اعضاء (تعداد نفر) قرار گرفت/ نگرفت.

جدول تاییدیه اعضای شورای پژوهشی دانشکده علوم انسانی

ردیف	نام و نام خانوادگی	نوع رأی (موافق یا مخالف)	امضا	توضیحات
۱				
۲				
۳				
۴				
۵				
۶				
۷				
۸				
۹				

نام و نام خانوادگی معاون پژوهش و فناوری واحد	تاریخ	امضا
--	-------	------

		دکتر نوید نصیری زاده
	تاریخ ثبت	شماره ثبت در امور پژوهشی واحد