

Investigating product innovation model components and complex systems in the virtual power plant industry using content analysis

Farid Kabir¹, Manouchehr Manteghi^{2*}, Mohammad Naghizadeh³

1. Islamic Azad University, South Tehran Branch, Faculty of Management and Accounting

2. Faculty member of Malek Ashtar University

3. Allameh Tabatabaie University

*. Corresponding Author: manteghi@guest.ut.ac.ir

Received: 20 September 2022

Revised: 31 December 2022

Accepted: 6 Mars 2023

Abstract

A virtual power plant is a new concept. Its central concept is based on distributed generators connected to each other and monitored through a control unit using the structure of information and communication technology. This study aims to identify the components of product innovation for the virtual power plant industry. The data collection tool was an interview, and the data analysis method was thematic analysis (TA). The sample size for the study was selected based on theoretical sampling and saturation, and eventually, it was attained via interviews with 12 experts. Interview analysis uncovered 77 fundamental conceptual codes. These are analyzed in later stages and, by their conceptual abstraction, the primary themes and central themes that make up the components, the research model is formed. The three main themes identified in the data were hub capability, network structure, and network coordination. The hub capability, network coordination, and network structure include four, seven, and four components, respectively.

Keywords: virtual power plant, innovation network, complex systems

Citation: Kabir, F., Manteghi, M., Naghizadeh, M., Investigating product innovation model components and complex systems in the virtual power plant industry using content analysis, *Journal of Technology Development Management*, 10(4), 133-160, <https://doi.org/10.22104/JTDM.2023.5693.3037>.

کاربست تحلیل مضمون در شناسایی عناصر شبکه نوآوری محصولات و سیستم‌های پیچیده در صنعت نیروگاه‌های مجازی

فرید کبیر^۱، منوچهر منطقی^{۲*}، محمد نقی زاده^۳

۱. دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد تهران جنوب، تهران، ایران

۲. عضو هیأت علمی دانشگاه مالک اشتر، تهران، ایران

۳. عضو هیأت علمی دانشکده حسابداری و مدیریت، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

*. نویسنده مسئول: manteghi@guest.ut.ac.ir

پذیرش: ۱۵ اسفند ۱۴۰۱

بازنگری: ۱۰ دی ۱۴۰۱

دریافت: ۲۹ شهریور ۱۴۰۱

چکیده

مفهوم اصلی نیروگاه برق مجازی بر پایه ژنراتورهای پراکنده‌ای است که به هم متصل بوده و به وسیله یک واحد کنترلی بهره‌گیرنده از ساختار تکنولوژی ارتباطی-اطلاعاتی کنترل و نظارت می‌شوند. به سبب وجود بازیگران مختلف که در گره‌های ارتباطی با همدیگر در تعامل قرار می‌گیرند؛ نیروگاه‌ها را می‌توان مصداق یک شبکه نوآوری دانست. هدف از مطالعه حاضر شناسایی عناصر شبکه نوآوری محصولات برای صنعت نیروگاه‌های مجازی است. ابزار گردآوری داده‌ها، مصاحبه و شیوه تجزیه و تحلیل داده‌ها، استفاده از روش تحلیل تماتیک (TA) بوده است. حجم نمونه پژوهش بر اساس نمونه‌گیری نظری و دستیابی به اشباع نظری تعیین شده و در نهایت پس از مصاحبه با ۱۲ نفر از خبرگان، اشباع نظری حاصل شد. تحلیل مصاحبه‌های انجام‌شده ۷۷ کد مفهومی اولیه را آشکار کرده است. این کدهای مفهومی اولیه در مراحل بعد تحلیل شده و با انتزاع مفهومی از این کدها؛ تم‌های اولیه و تم‌های محوری تشکیل‌دهنده عناصر مدل پژوهش شکل گرفته است. سه تم اصلی یا مقوله محوری آشکار شده در داده‌ها شامل توانمندی هاب، ساختار شبکه و هماهنگی شبکه بود. بر اساس یافته‌های تحقیق، چهار عنصر در موضوع توانمندی هاب، هفت عنصر در موضوع هماهنگی شبکه و چهار عنصر در موضوع ساختار شبکه شناسایی و تحلیل شدند.

کلمات کلیدی: نیروگاه برق مجازی، شبکه نوآوری، سیستم‌های پیچیده

۱- مقدمه

همراه با افزایش مصرف انرژی در جهان، فناوری‌های جدید بر نحوه تولید، توزیع و مصرف انرژی تأثیر می‌گذارند. در کنار رویکردهای دیگر، تولید انرژی پراکنده به یک روند اصلی در بسیاری از کشورها تبدیل شده است. نفوذ سریع منابع انرژی توزیع‌شده^۱ (DER) و روند مداوم به سمت یک بازار رقابتی تر برق، نیازمند فناوری‌ها و سیاست‌های جدید برای رسیدگی به مسائل فنی و اقتصادی نوظهور است. به‌منظور مدیریت تولید پراکنده و روند روبه‌رشد آن در بازارهای برق، ایده نیروگاه مجازی^۲ (VPP) پدیدآمده است و توسط بسیاری از محققان مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مفهوم از ترکیب واحدهای تولید توزیع‌شده با اندازه کوچک مختلف برای تشکیل یک «واحد تولید مجازی» تشکیل شده است (صبوری^۳ و همکاران، ۲۰۱۱). تعاریف متنوعی برای نیروگاه مجازی برق در ادبیات مربوط به این حوزه بیان شده است. از جمله VPP به‌عنوان یک ریزشبکه مستقل (موریس^۴ و همکاران، ۲۰۰۸)، تجمعی از انواع مختلف منابع توزیع‌شده که ممکن است در نقاط مختلف شبکه توزیع ولتاژ متوسط پراکنده شوند (بیگنوکولو^۵، ۲۰۰۶)، تعدادی فناوری مختلف با الگوهای عملیاتی و دسترسی مختلف که می‌توانند به نقاط مختلف شبکه توزیع متصل شوند (پوجیانو و همکاران^۶، ۲۰۰۷)، به‌عنوان یک موجودیت ناهمگن چند فناوری و چند سایت که ظرفیت بسیاری از DERهای متنوع را جمع می‌کند، یک پروفایل عملیاتی واحد از ترکیبی از پارامترهای مشخص‌کننده هر DER ایجاد می‌کند و می‌تواند تأثیر شبکه بر روی خروجی DERهای کل را در برگیرد به‌نحوی که یک نمایش انعطاف‌پذیر از مجموعه‌ای از DERها را ایجاد کند؛ تعریف شده است (صبوری و همکاران، ۲۰۱۱).

بسیاری از دولت‌ها از انرژی‌های تجدیدپذیر به دلایل زیست‌محیطی حمایت می‌کنند و آنها را از رقابت در بازار برق جهت تولید انرژی و اتصال به شبکه معاف کرده‌اند. نیروگاه مجازی مفهوم جدیدی را در صنعت برق جایگزین مفهوم سنتی نموده است. از دیگر مزایای نیروگاه‌های هوشمند، به‌طور کلی کاهش مصرف انرژی و افزایش راندمان شبکه، افزایش استفاده از انرژی تجدیدپذیر، افزایش اطمینان و امنیت سیستم انرژی برق است (هرناندز^۷، ۲۰۱۳).

1 . Distributed Energy Resources

2 . Virtual Power Plant

3 . Saboori

4 . Morais

5 . Bignucolo

6 . Pudjianto

7 . Hernández

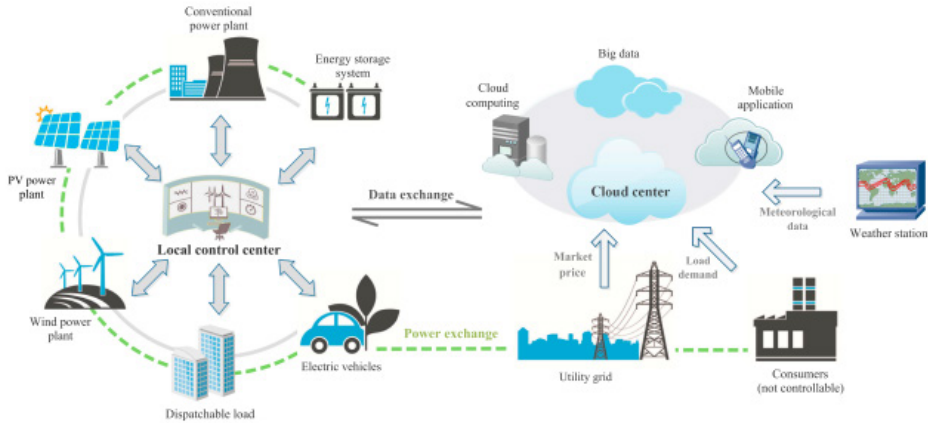
با وصف مزایای نیروگاه‌های مجازی باید توجه داشت که این نیروگاه‌ها شکلی از شبکه‌های نوآوری^۱ هستند. شبکه‌های نوآوری مجموعه‌ای از افراد، عوامل و کنشگرانی است که بین آنها گره‌های ارتباطی وجود دارد. نیروگاه‌های مجازی نیز نوعاً در زمره شبکه‌های نوآوری هستند که در آنها باید به تنوع نقش‌هایی همچون تولیدکننده‌های خرد، سیستم رگولاتوری، مدیریت بازیگران و هاب، بازیگران حوزه انتقال انرژی، تقاضای سمت مصرف‌کننده و مدیریت جریان اطلاعات که باید در کنار همدیگر قرار گیرند و باید به منافع این بازیگران، هماهنگی میان آنها، مقررات و تنظیمات فنی و حقوقی و مسائلی از این دست توجه شود. این اقتضات باید به صورت مناسبی مدیریت شوند تا بتوان به صورت پایدار، عملکرد بهینه آن را مدیریت نمود. مهم‌ترین موضوع در یک نیروگاه مجازی، چگونگی تشکیل ساختار و نحوه مدیریت این شبکه است. در همین راستا دغدغه اصلی این پژوهش شناخت شبکه محصولات و سیستم‌های پیچیده نیروگاه‌های مجازی است که نیازمند درک شبکه نوآوری و منطق حاکم بر تعاملات بازیگران این بخش است زیرا با درک شبکه نیروگاه‌های مجازی می‌توان عوامل تقویت‌کننده و بازدارنده نوآوری را شناسایی و راهکارهای سیاستی ارائه نمود و فعالیت‌های این صنعت را ارتقا بخشید. مبنای این شناخت، تحلیل شبکه نوآوری و شناسایی بازیگران نیروگاه‌های مجازی است. این مقاله تلاش دارد تا به این سؤال پاسخ دهد که بازیگران موجود در شبکه نوآوری سیستم‌های پیچیده نیروگاه مجازی چه موجودیت‌هایی هستند و هر کدام چه نقشی برعهده دارند. همچنین نحوه هماهنگی و مدیریت این شبکه بایستی به چه صورت باشد. در این مقاله، ضمن شناسایی اجزا، بازیگران و روابط کلیدی میان آنها، تلاش می‌شود تا یک شبکه نوآوری جهت ایجاد نیروگاه مجازی طراحی شود. در ادامه در بخش دوم مبانی پیشینه پژوهش بررسی و تحلیل می‌شود. در بخش سوم روش‌شناسی تحقیق و در ادامه یافته‌ها و نتیجه‌گیری بیان می‌شود.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲-۱- نیروگاه مجازی (VPP)

نیروگاه مجازی (VPP)، که ساختار آن در شکل شماره ۱ نشان داده شده است، یک نیروگاه توزیع شده مبتنی بر ابر است که قابلیت‌های منابع انرژی پراکنده ناهمگن (DER) را برای افزایش تولید برق و

همچنین تجارت یا فروش برق در بازار آزاد ترکیب می‌کند (یو^۱ و همکاران، ۲۰۱۹).



شکل ۱: نمای شماتیک یک نیروگاه مجازی (یو و همکاران، ۲۰۱۹)

نیروگاه مجازی شامل واحدهای تولید پراکنده^۲ (DG) با فناوری‌های مختلف است تا به‌عنوان یک نیروگاه واحد عمل کند که توانایی کنترل واحدهای تجمعی را دارد و در جهت مدیریت جریان انرژی الکتریکی بین این واحدها به‌منظور به‌دست‌آوردن عملکرد بهتر سیستم عمل می‌کند (پوجیانو و همکاران، ۲۰۱۷؛ الباکری و کلینگ^۳، ۲۰۱۰؛ تارازونا^۴ و همکاران، ۲۰۰۹؛ لومباردی^۵ و همکاران، ۲۰۰۹). محمود و همکاران (۲۰۲۰). نیروگاه مجازی VPP را به‌عنوان یک نیروگاه خودکار پیشرفته تعریف می‌کند که ژنراتورهای توزیع‌شده مختلف، واحدهای ذخیره باتری و پرموتورها را با قابلیت پاسخگویی به تقاضا ترکیب می‌کنند و در نتیجه یک نیروگاه استثنایی را تشکیل می‌دهند (ونگ^۶ و همکاران، ۲۰۲۰).

نیروگاه‌های برق مجازی می‌توانند بار قرار گرفته بر روی شبکه برق را کاهش دهند که دلیل آن تولید و مصرف برق به‌صورت محلی بدون فرستادن آن از طریق خطوط انتقال برای مناطق دوردست

- 1 . Yu
- 2 . Distributed Generations
- 3 . El Bakari and Kling
- 4 . Tarazona
- 5 . Lombardi
- 6 . Wang

است که این منجر به کاهش یا حتی حذف فاکتور تلفات انرژی می‌شود. همچنین در جهت کارکرد بهتر نیروگاه برق مجازی از سیستم ذخیره انرژی باید استفاده شود. حالت اوج میزان تقاضا برای برق نیز می‌تواند به وسیله اپراتورها (متصدیان) سیستم توزیع در حالت وجود یک نیروگاه برق مجازی بهینه‌سازی شود؛ زیرا نیروگاه برق مجازی برق را به صورت محلی تولید نموده و در کنار آن سیستم تولید مرکزی نیز می‌تواند در حالت‌های پایدارتری فعالیت نماید (هرناندز، ۲۰۱۳). با توجه به نفوذ بالای تولیدات پراکنده (DGs) در شبکه و رقابت در تمامی بازارهای انرژی الکتریکی، نیروگاه مجازی (VPP) به عنوان یک مفهوم جدید، با هدف مقابله با افزایش تعداد DGs در سیستم و مدیریت مؤثر رقابت در بازارهای برق ایجاد شده‌اند (قویدل و همکاران، ۲۰۱۶). VPP از سه جزء اصلی، منابع انرژی توزیع شده (DER)، عناصر ذخیره انرژی^۱ (ESES) و سیستم‌های اطلاعات و ارتباطات^۲ تشکیل شده است (عثمان^۳ و همکاران، ۲۰۱۷).

در کمتر از ده سال گذشته؛ مجموعه راهکارهایی که وزارت نیرو به منظور تولید برق در جوار صنایع کوچک به کار برده، از جمله اقداماتی است که در مسیر دستیابی به نیروگاه مجازی تعریف می‌شود. در این مسیر انجمن نیروگاه‌های مقیاس کوچک در سال ۱۳۹۱ تشکیل شد. وزارت نیرو در چند سال اخیر تلاش کرده است با هدف افزایش میزان تولید برق پراکنده، تسهیلاتی جهت راه‌اندازی نیروگاه‌های مقیاس کوچک در نظر بگیرد.

۲-۲- شبکه نوآوری

شبکه‌ها دارای ماهیتی متغیر در طول زمان هستند. شبکه‌های نوآوری را می‌توان شامل مجموعه سازمان‌هایی با روابط نسبتاً سست و کم عمق دانست که برای رسیدن به اهداف مشترک نوآورانه به صورت پیوسته با هم همکاری می‌کنند. این شبکه‌ها ممکن است شامل مجموعه‌هایی از دولت، دانشگاه و صنعت باشند (رampersad و همکاران^۴، ۲۰۱۰).

بر اساس تحقیقات انجام شده مزایای شبکه‌های نوآوری را می‌توان در دودسته خلاصه کرد. اول اشتراک‌گذاری منابع^۵ که در آن شرکت‌ها؛ مهارت‌ها، دانش و منابع و تجهیزات خود را به اشتراک

-
- 1 . energy storage elements
 - 2 . information and communication systems
 - 3 . Othman
 - 4 . Rampersad
 - 5 . Resource sharing

می‌گذارند. دومین مزیت حاصل از حضور در شبکه دسترسی به سرریز دانشی^۱ و اطلاعاتی است که به‌عنوان یک مجرای اطلاعاتی برای شرکت‌های عضو عمل می‌کند (آهوچا،^۲ ۲۰۰۰).

همچنین می‌توان به مزایای دیگری شامل تقسیم ریسک، دسترسی به بازارها و تکنولوژی‌های جدید، عرضه سریع محصولات به بازار، ادغام مهارت‌های مکمل، محافظت از مالکیت فکری و دسترسی به دانش خارجی اشاره نمود (پیتوی و همکاران^۳، ۲۰۰۴).

نقی‌زاده و همکاران^۴ (۲۰۱۷) با اشاره به اینکه تولید و نوآوری در CoPS با ورود تقاضا از طرف مشتری آغاز می‌شود و باتوجه‌به پیچیدگی و سایر ویژگی‌های ذکرشده برای این پروژه‌ها، آنها را فراتر از توانایی‌های یک شرکت می‌داند؛ بنابراین چنین پروژه‌های باید در یک شبکه نوآوری انجام شوند. از آنجایی که نوآوری در محصولات پیچیده در قالب مجموعه‌ای از روابط بین سازمان‌های مختلف در یک ساختار پروژه محور اتفاق می‌افتد، شبکه‌های نوآوری گزینه‌های مناسبی برای مدیریت و تبیین این پروژه‌ها می‌باشد.

۲-۳- نیروگاه مجازی به‌عنوان یک شبکه نوآوری

تمرکززدایی، شبکه‌سازی و هوشمندی در عصر انرژی‌های تجدیدپذیر به ماهیت جدایی‌ناپذیر این نوع انرژی‌ها تبدیل شده است. ادغام شدید جریان اطلاعات و جریان انرژی، امکانی را برای اشکال متنوع‌تر و انعطاف‌پذیرتر تولید، انتقال و استفاده از انرژی الکتریکی فراهم می‌کند (السید و لاکور^۵، ۲۰۱۳؛ یوان^۶ و همکاران، ۲۰۱۴). با توسعه کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر، ویژگی‌های جدیدی به حوزه انرژی همچون تمرکززدایی، شبکه‌سازی و هوشمندی اضافه شده است. ادغام جریان اطلاعات و جریان انرژی، امکانی را برای اشکال متنوع‌تر و انعطاف‌پذیرتر، تولید، انتقال و استفاده از انرژی الکتریکی فراهم کرده است (السید و لاکور، ۲۰۱۳).

شبکه‌های نوآوری زمانی به‌عنوان اشکال سازمانی رشد می‌کنند که منابع فنی صنعت به طور گسترده پراکنده شده و پایگاه دانش، پیچیده و در حال گسترش باشد. منطق اساسی وجود چنین سازمان یا

1 . Knowledge spillovers

2 . Ahuja

3 . Pittaway

4 . Naghizadeh

5 . Elsayed and Lacor

6 . Yuan

مجموعه‌ای از سازمان‌ها این است که در عین حفظ موجودیت مستقل، شرکت/تولیدکنندگان به‌جای تشکیل یک وحدت سلسله‌مراتبی فرماندهی، در سراسر شبکه توزیع شده‌اند و منابع در سراسر مرزهای سازمانی قابل‌دسترس هستند و سپس به روش‌های مختلف ترکیب و به کار گرفته می‌شوند؛ بنابراین، مزایای شبکه می‌تواند جایگزین مزایای انحصاری شرکت‌های غول‌پیکر شود که توسط شومپتر^۱ (۱۹۴۲) به‌عنوان موتورهای منحصربه‌فرد کارآمد نوآوری فرض شده است. در اینجا، خروجی نوآورانه همان چیزی را می‌طلبد که هارگادون و ساتون^۲ آن را واسطه‌گری فناوری^۳ می‌نامند: ایده‌های یک گروه ممکن است مشکلات گروهی دیگر را حل کند، اما تنها در صورتی که بتوان ارتباط بین راه‌حل‌ها و مشکلات موجود را فراتر از مرزهای بین آنها ایجاد کرد. هنگامی که چنین ارتباطاتی ایجاد می‌شود، ایده‌های موجود اغلب با تغییر شکل، جدید و خلاقانه به نظر می‌رسند و با ایده‌های دیگر ترکیب می‌شوند تا نیازهای کاربران جدید را برآورده کنند. این ترکیبات جدید مفاهیم یا اشیاء عینی جدیدی هستند؛ زیرا از ایده‌های موجود اما قبلاً نامرتب ساخته شده‌اند (دهاناراج و پارخه، ۲۰۰۶).

چارچوب سه بخشی شبکه‌های نوآوری؛ ایده‌ها (سطح مفهوم)، افراد (سطح فردی) و ساختارهای اجتماعی (سطح اجتماعی-سازمانی) و تعاملات بین این سطوح را در برمی‌گیرد. در سطح مفهوم، ایده‌های جدید؛ گره‌هایی هستند که ایجاد شده و در رابطه با همدیگر عمل می‌کنند، برای بررسی بیشتر باز نگه داشته می‌شوند یا اگر توسط بازیگران در سطوح فردی یا سازمانی حل شوند بسته می‌شوند. در سطح فردی، گره‌ها بازیگرانی هستند که توسط جهان‌بینی‌های مشترک (بر اساس پیش‌زمینه‌های مشترک حرفه‌ای، آموزشی و منافع) به هم مرتبط شده‌اند که سازنده سطح مفهومی هستند. در سطح سازمانی-اجتماعی، گره‌ها سازمان‌ها/تولیدکنندگان و شرکت‌هایی هستند که با تلاش‌های مشترک در یک پروژه معین (به‌عنوان مثال در این زمینه بخصوص تولید انرژی) به هم مرتبط شده‌اند که به دلیل مالکیت معنوی یا قوانین حاکمیتی، اقدامات افراد (در سطح فردی) یا ایده‌ها (در سطح مفهومی) را محدود می‌کنند (آریلر و کانه، ۲۰۱۳). این سه سطح ضرورت شناخت ساختار، بازیگران، تنظیم‌کنندگان، هماهنگ‌کنندگان و عناصری از این دست را در شبکه نوآوری نیروگاه‌های مجازی روشن می‌کند. این چارچوب شامل هاب به‌عنوان تنظیم‌کننده، طراحی، یکپارچه‌سازی و خروجی شبکه است. در این شکل شبکه‌های نوآوری به‌عنوان سیستم‌هایی که به طور آزادانه مرتبط با شرکت‌های مستقل

1 . Schumpeter

2 . Hargadon and Sutton

3 . technology brokering

در نظر گرفته می‌شوند، مفروض گرفته شده است. شرکت‌های هاب، فعالیت‌های شبکه را برای اطمینان از ایجاد و استخراج ارزش، بدون بهره‌مندی از اختیارات سلسله‌مراتبی، سازماندهی می‌کنند و فرایند یکپارچه‌سازی شامل تحرک دانش، قابلیت نوآوری و ثبات شبکه است (دهاناراج و پارخه^۱، ۲۰۰۶). با وجود این مزایا همگراکردن فعالیت‌های اعضای شبکه همواره به‌عنوان یک موضوع چالش برانگیز در این شبکه‌ها مطرح بوده است (نقی‌زاده، منطقی، & نقی‌زاده، ۲۰۱۵). می‌توان گفت نتیجه‌ی فعالیت یک شبکه به همان اندازه که به ساختار شبکه وابسته است به کنش‌های متقابل بین اعضای مستقل آن شبکه هم بستگی دارد (Leven, Holmströma, & Mathiassen, 2014) در این مقاله تلاش می‌شود تا با تئوری شبکه‌های نوآوری موضوع نیروگاه مجازی مورد بررسی قرار گیرد. تعداد زیاد بازیگران، تنوع آنها و ضرورت جریان تسهیل‌شده‌ی دانش میان آنها و همچنین هماهنگی و هم‌افزایی بازیگران رویکرد شبکه نوآوری را برای بررسی این موضوع توجیه می‌نماید. در این چارچوب در ابتدا بایستی بازیگر(ان) اصلی که نقش اتصال سایر بازیگران را دارند شناسایی شوند و سپس مشخص شود برای ایفای نقش خود چه توانمندی‌هایی را لازم دارند. همچنین در ابتدا بایستی در مورد ساختار شبکه از منظر ترکیب اعضا، میزان استقلال و خودمختاری آنها و همچنین نحوه تعامل اجزای شبکه با هم تصمیم گرفته شود. در نهایت موضوع هم‌نوایی در شبکه است که بایستی مورد توجه قرار گیرد. اینکه بازیگران مختلف چطور بایستی با یکدیگر هم‌نوا شوند و ابزارهای مربوط به آن چه می‌باشند. به‌صورت خلاصه می‌توان چارچوب مفهومی تحقیق برای پاسخگویی به سؤالات را در قالب جدول شماره ۱ مشاهده نمود.

جدول ۱: سؤالات چارچوب مفهومی تحقیق

توانمندی هاب	ساختار شبکه	هم‌نوایی ^۲ در شبکه
توانمندی‌های موردنیاز مجموعه(ها)ی هاب برای مدیریت شبکه نوآوری نیروگاه مجازی چیست؟	ساختار شبکه از منظر ترکیب اعضا، استقلال و مدل ارتباطی گره‌ها چگونه باید باشد؟	هماهنگی و هم‌نوایی میان اجزای شبکه شامل چه مواردی است؟

1 . Dhanaraj and Parkhe

2 . Orchestration

۳- روش پژوهش

مطالعه حاضر یک پژوهش اکتشافی-کیفی در بین جمعیتی از خبرگان در حوزه صنعت نیروگاه‌های مجازی و سیاست‌گذاران حوزه فناوری و صنعت برق بود که به شیوه میدانی انجام شد. بر اساس مطالعات انجام‌شده و با در نظر گرفتن یک دیدگاه هم‌زمان خرد و کلان سه دسته کلی برای این عوامل طبقه‌بندی شد. این سه دسته شامل توانمندی هاب، ساختار شبکه و هماهنگی شبکه هستند.

در ادامه در جهت تعمیق این عوامل و بررسی ریشه‌ای عوامل مؤثر شبکه نوآوری محصولات برای صنعت نیروگاه‌های مجازی، گردآوری و تحلیل داده‌های کیفی مستخرج از مصاحبه‌های عمیق و نیمه‌باز با خبرگان این حوزه انجام شد. نمونه خبرگان به شیوه قضاوتی هدفمند انتخاب شدند به این معنی که افرادی در مطالعه مشارکت کردند که انتظار می‌رفت سطح بالایی از دانش در حیطه مورد بررسی را داشته باشند. ابزار گردآوری داده‌ها، مصاحبه و شیوه تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده از روش تحلیل تماتیک^۱ (TA) بود. خبرگان این حوزه شامل افراد متخصص در زمینه توسعه پلنت‌های نیروگاهی و سیاست‌گذاری در صنعت برق ایران که دارای حداقل ۱۰ سال سابقه تخصصی در این حوزه می‌باشند. این افراد شامل متخصصین فعال در صنعت نیروگاهی مانند شرکت مپنا، شرکت مادر تخصصی برق حرارتی، شرکت‌های خصوصی فعال در صنعت تولید انرژی تجدیدپذیر و همچنین متخصصین دانشگاهی در حوزه مفاهیم همکاری‌های فناورانه و همچنین افراد با سابقه در بدنه حاکمیتی و سیاست‌گذار در زمینه انرژی بوده‌اند. با در نظر گرفتن اشباع نظری و امکان دسترسی مجموعاً با ۱۲ نفر از خبرگان مصاحبه عمیق و نیمه‌باز انجام شد. تجربه و دانش این افراد در حوزه تولید برق به صورت پراکنده مانند CHP یکی از معیارهای دیگر انتخاب این افراد بود. تمامی مصاحبه‌ها ضبط و پیاده‌سازی شده است و با ادبیات تحقیق تطابق داده شده است و فرایند جمع‌آوری مستمر داده‌ها به صورت رفت و برگشتی مرتباً پیگیری شد (Miles and Huberman, 1984). علاوه بر اطلاعات و مستندات فنی که از مصاحبه‌ها استخراج شد، حجم زیادی از اطلاعات در قالب مستندات ثانویه مانند مقالات منتشرشده، مستندات فنی و ارائه‌ها، و فصلنامه‌ها و خبرنامه‌های صنعت نیروگاهی جمع‌آوری و بررسی گردید. این اطلاعات امکان بررسی‌های دقیق‌تر را به تیم محققین داد. جهت دستیابی به قابلیت اعتماد تلاش شد تا با طراحی یک چارچوب مفهومی به‌عنوان راهنمای گردآوری و تحلیل داده‌ها، تهیه یک رهنمود (پروتکل) مصاحبه‌های پژوهش کیفی شامل جزئیات روش تحقیق و ایجاد یک پایگاه داده

برای تحقیق، فرایند تحقیق، قابل بررسی، ردگیری و حتی تکرار توسط فرد ثالث باشد. استفاده از رویکرد سه جبهه‌ای^۱ (Golafshani, 2003; Patton, 2002) نیز از ابزارهای دیگر استفاده شده برای افزایش کیفیت تحقیق حاضر است. در رویکرد سه جبهه‌ای به داده‌ها سعی شد نظرات ذی‌نفعان در سه بخش خبرگان، مستندات و مشاهدات استفاده شود. در این بخش ابتدا مستندات به دقت مورد بررسی قرار می‌گرفت. همچنین تجربه نمونه‌هایی که در قالب تولید برق پراکنده، تا حدودی به مفهوم نیروگاه مجازی نزدیک‌تر بودند مشاهده و بررسی شد و سپس مصاحبه با خبرگان صورت می‌پذیرفت. در نهایت برای تقویت مباحث، تمامی موارد توسط گروه مستقلاً از متخصصان که از اشراف مناسب به موضوعات صنعت برق و شبکه‌های نوآوری داشتند، بررسی می‌شد. همچنین در مرحله تهیه طرح تحقیق از گروهی از افراد مطلع و صاحب‌نظر برای بررسی و اظهارنظر در مورد جامع‌ومانع بودن طرح تهیه‌شده، استفاده شد. در مرحله جمع‌آوری داده‌ها پس از انجام مشاهدات و انجام مصاحبه‌ها، متن ثبت و درک‌شده توسط محقق به تأیید مصاحبه‌شونده می‌رسید و در نهایت در مرحله تحلیل و تفسیر داده‌ها پانلی از متخصصین اعم از صاحب‌نظران و افراد مطلع در مورد موضوع تحقیق برای بحث و اظهارنظر در مورد گزارش نهایی تحقیق حاضر تشکیل شد. نهایتاً این مصاحبه‌ها پیاده‌سازی و از طریق روش تحلیل تم در محیط نرم افزار Maxqda مورد تحلیل قرار گرفت. تحلیل مصاحبه‌های انجام شده ۷۷ کد مفهومی اولیه را آشکار کرد. کدهای محوری از ادبیات استخراج شد اما کدهای باز از مصاحبه‌ها احصا شد.

۴- تجزیه و تحلیل داده‌ها

تحلیل مصاحبه‌های انجام شده ۷۷ کد مفهومی اولیه را آشکار کرده است. این کدهای مفهومی اولیه در مراحل بعد تحلیل شده و با انتزاع مفهومی از این کدها؛ تم‌های اولیه و تم‌های محوری تشکیل‌دهنده عناصر مدل پژوهش شکل گرفته است. توانمندی ارتباطی کد مفهومی اولیه است که بیشترین فراوانی را در میان کدهای مفهومی تحلیل شده با ۹ مورد مقوله شماری داشته است. همچنین هماهنگ کردن اقدامات بازیگران و ایجاد جذابیت‌های سمت تقاضا جهت سرمایه‌گذاری از دیگر کدهای مفهومی پرسامد در مصاحبه‌های انجام شده بوده است که هر کدام ۸ بار در تحلیل داده‌ها ظاهر شده‌اند. در شکل ۲ ابر کدهای مفهومی بیانی گرافیکی از کدهای مفهومی اولیه را نشان می‌دهد که

برجستگی و بسامد کدهای مفهومی مستخرج را در مصاحبه با خبرگان پژوهش نشان می‌دهد به این معنا که مصاحبه‌شوندگان بر برخی از مفاهیم تأکید بیشتری داشته و در مصاحبه‌های مختلفی این داده‌ها آشکار شده است حال آنکه به‌عنوان مثال اشاره به کنترل‌کننده یا ذخیره‌سازها تنها در یک مورد و به‌منظور اشاره به بازیگران نیروگاه‌های مجازی مورد اشاره قرار گرفته است. توانمندی ارتباطی به‌عنوان برجسته‌ترین کد مفهومی در ترسیم شکلی از ابر کدهای مفهومی اولیه نیز برجسته‌تر از سایر کدهای مفهومی ترسیم شده است.



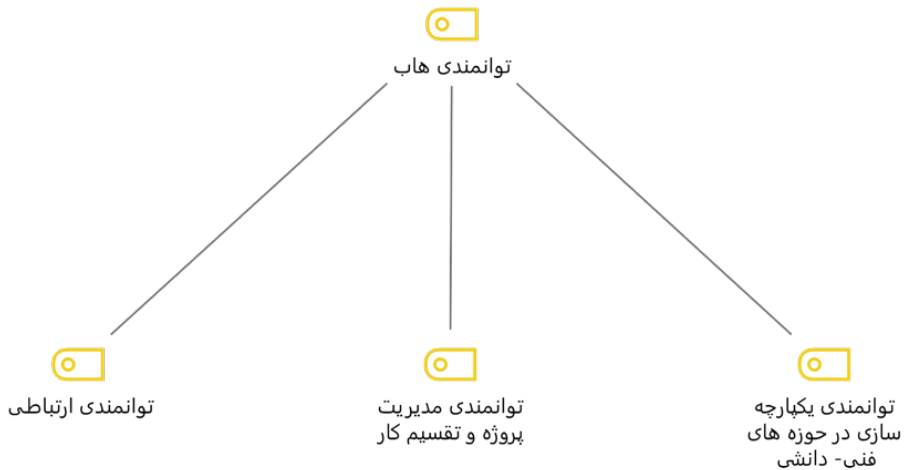
شکل ۲: ابر کدهای مفهومی اولیه

تم‌های محوری در نتیجه انتزاع از کدهای مفهومی اولیه انجام شده‌اند. ذکر این نکته ضروری است که تم‌های محوری بر مبنای درک محقق در مساله و همچنین محتوای گزاره‌های توضیحی که مصاحبه‌شوندگان به آنها اشاره کرده‌اند؛ شکل گرفته‌اند و بیانگر انتزاع کدهای مفهومی مستقل ذیل یک مقوله محوری تر هستند. در این بخش، جملاتی که مرتبط با موضوع نیروگاه مجازی بود از هر مصاحبه احصا می‌شد و سپس بر اساس رویکردهای اصلی طرح‌شده در تحقیقات مرتبط با شبکه‌های نوآوری، کدهای اولیه یا باز تخصیص داده می‌شد. سپس مجموعه کدهای باز که از نظر مفهومی دارای

همگرایی بودند در قالب یک کد محوری یا تم طبقه‌بندی می شدند.

۴-۱- توانمندی هاب

برای هاب به‌عنوان یکی از اجزای اصلی موضوعیت محوری، نگاه خبرگان پژوهش بر روی توانمندی هاب در راستای (۱) یکپارچه‌سازی در حوزه‌های فنی-دانشی، (۲) مدیریت پروژه و تقسیم کار و (۳) ارتباطی تأکید داشته است. تم اصلی و تم‌های اولیه توانمندی هاب در شکل ۳ ترسیم شده است و در ادامه نیز عناصر این مقوله اصلی تشریح شده است.



شکل ۳: تم اصلی و تم‌های اولیه توانمندی هاب

در جدول شماره ۲ کد محوری، کدهای اولیه و گزاره‌های مفهومی مربوط به توانمندی هاب ارائه شده است.

جدول ۲: عوامل مربوط به توانمندی هاب

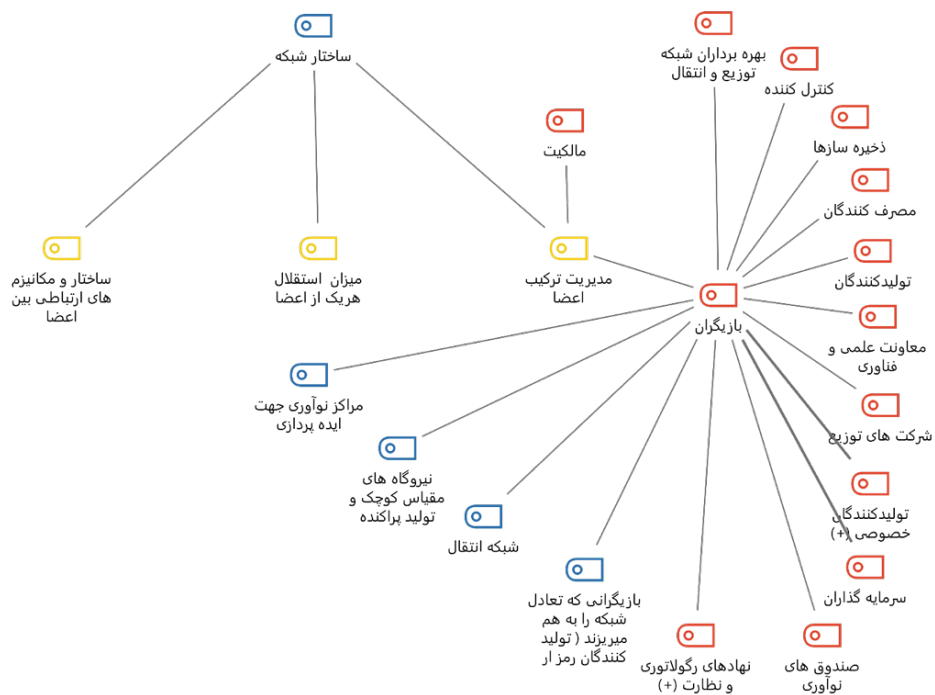
گزاره‌های مفهومی (برخی از نکات مطرح شده در مصاحبه)	کدهای اولیه و باز (مفاهیم و مضامین خرد)	کدهای محوری (تم‌ها یا مفاهیم کلی)
<ul style="list-style-type: none"> - هاب‌ها با هم ارتباط می‌گیرند و اینکه اعضا با هم ارتباط بگیرند امکان‌پذیر نیست. مثل چند تا ستاره کنار هم که مراکز ستاره‌ها با هم در ارتباط هستند (int 5). - ارتباطات بین هاب‌های توزیع، تولید و حاکمیت هست. در اطراف هر هاب هم بازیگرانشان قرار دارند (int 10). - [در صورت توانمندی هاب] همه بازیگران می‌توانند با هم در ارتباط باشند (int4). - یکی از کاربردهای ویژه هاب این است که در آن تسهیم (share) کردن اطلاعات مهم است (int7). - همکاری فناورانه بین شرکت‌های کوچک و بزرگ (مثل مینا) (int6). 	توانمندی یکپارچه‌سازی در حوزه های فنی - دانشی	توانمندی هاب
<ul style="list-style-type: none"> - هاب نباید تصمیم‌گیر باشد، باید تسهیل‌ساز باشد (int 11). - هاب باید نقش coordinator در اکوسیستم داشته باشد (int3). 	توانمندی مدیریت پروژه و تقسیم کار	
<ul style="list-style-type: none"> - لازم است روابط مشخصی داشته باشند. اگر برای شکل‌گیری نبروگاه مجازی یک کنسرسیوم تشکیل شود، بحث اعتماد مهم است (int7). 	توانمندی ارتباطی	

در سامانه‌های توزیع هوشمند نیروی برق که نیروگاه‌های مجازی نیز شکلی از این سامانه‌ها هستند؛ علاوه بر اینکه داده‌ها به صورت دوسویه از شبکه به مشترک و بالعکس منتقل می‌گردند، همچنین جریان انرژی نیز دوسویه است و شبکه می‌تواند متشکل از صدها تولیدکننده و فروشنده خرد برق باشد. این فروشندگان از طریق منابع تجدیدپذیر انرژی مانند سلول‌های خورشیدی، گرمای زمین و یا از طریق ذخیره انرژی در ساعات و یا ایام کم‌بار و البته ارزان (و فروش آن در ساعات پربار و صد البته گران) وارد بازار خرده‌فروشی برق می‌شوند (پرواز^۱ و همکاران، ۲۰۱۵). در چنین شرایطی هاب، تامین‌کننده ارتباط عناصر مختلف این شبکه به همدیگر است و مسئولیت ایجاد هماهنگی را بر عهده دارد. بر اساس تعریفی که از هاب وجود دارد؛ عملکرد آن ناظر بر نقطه اتصال بودن است که در آن داده‌ها از جهات مختلف همگرا شده و سپس در جهات مختلف به دستگاه‌های مربوطه ارسال می‌شوند.

در این مورد هاب باید بتواند هوشمندانه نقش‌های مدیریت پروژه و تقسیم کار را پیاده‌سازی کند. لذا توانمندی هاب وابسته به این است که تا چه اندازه در راستای مدیریت پروژه و تقسیم کار به‌درستی عمل کند چرا که هاب می‌تواند روابط را تعریف و تنظیم کند. همچنین ضروری است که هاب بتواند ظرفیت‌ها و توانمندی‌ها را در یک فرایند و نظام مشخص، یکپارچه سازد.

۴-۲- ساختار شبکه

ساختار شبکه مبتنی بر مدیریت ترکیب اعضا، میزان استقلال هر یک از اعضا و ساختار و مکانیزم‌های ارتباطی بین اعضا است. ساختار شبکه بیانگر این واقعیت است که بازیگران مختلف در یک نیروگاه مجازی به واسطه مجموعه‌ای از روابط، هنجارها و اختیارات با یکدیگر در تعامل قرار دارند و این تعامل می‌بایست بر اساس شکلی از تقسیم اختیارات، ترکیب معینی از اعضا و ارتباطات در کنار همدیگر قرار گیرند. مدیریت ترکیب اعضا از نظر خبرگان به‌عنوان یکی از مقولات ساختار شبکه خود شامل دو زیر مقوله مالکیت و بازیگران است.



شکل ۴: تم اصلی و تم‌های اولیه ساختار شبکه

در جدول ۳ کد محوری ساختار شبکه به همراه کدهای اولیه و تعدادی از گزاره‌های مفهومی توصیف‌کننده که این کدهای اولیه از آن استخراج شده است؛ ارائه شده‌اند.

جدول ۳: عوامل مربوط به ساختار شبکه

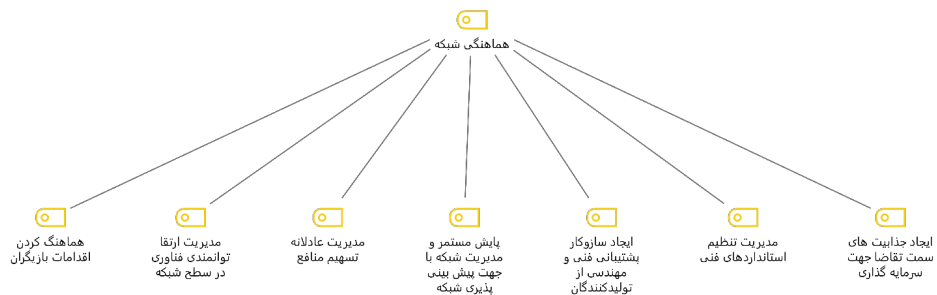
گزاره‌های مفهومی (برخی از نکات مطرح شده در مصاحبه)	کدهای اولیه و باز (مفاهیم و مضامین خرد)	کدهای محوری (تم‌ها یا مفاهیم کلی)
- گروه‌های زیادی در شبکه حضور دارند و شبکه شامل بازیگران مختلفی هست که در یک ساختار باید کنار همدیگر قرار بگیرند (int4).	مدیریت ترکیب اعضا	ساختار شبکه
- این نیازمند این هست که به روشنی روابط بین این اعضا مشخص شود. میزان وابستگی آنها به همدیگر و میزان استقلال آنها از همدیگر. یک طراحی خوب در این زمینه مستلزم و نیازمند مشخص کردن درجه‌هایی از استقلال و وابستگی اعضای شبکه به همدیگر هست (in8).	میزان استقلال هر یک از اعضا	
- دولت طوری رگولیت کند که شبکه برای تولیدکننده و توزیع‌کننده جذاب باشد به گونه‌ای که تولیدکننده بتواند این بازی راز لحاظ فنی و مالی و ... توسعه دهد و برای توزیع‌کننده؛ مصرف حاصل از نیروگاه مجازی قابل رصد باشد (int9).	ساختار و مکانیزم‌های ارتباطی بی اعضا	

با بررسی مصاحبه‌ها مشخص می‌شود که باتوجه به تعدد بازیگران در یک نیروگاه مجازی یکی از لوازم و ضرورت‌های عملکرد بهینه چنین سیستمی ارتباط میان اعضای شبکه و قواعد حاکم بر آن است. این موضوع نیاز به یک رگولاتور یا هماهنگ‌کننده را ضروری می‌کند. همچنین باید میزان وابستگی بازیگران به هم میزان اختیارات و استقلال هر یک مشخص شود. نیروگاه مجازی از اعضای مختلفی تشکیل شده است که تحت یک مالکیت مشخص باید فعالیت کنند؛ لذا در کلیت شبکه باید میان حضور اعضای مختلف تعادل وجود داشته باشد. مدیریت این ترکیب یکی از اجزای اصلی ساختاری در شبکه است.

۳-۴- هماهنگی شبکه

نیروگاه برق مجازی می‌تواند در جهت ورود و دسترسی به بازار برق، با در نظر گرفتن ریسک بسیار

بالای یک ژنراتور پراکنده، مورد استفاده قرار گیرد. برای سهیم شدن در بازار برق، یک توان نامی حداقل مورد نیاز است و مشکل بزرگ بر سر راه منابع تولید پراکنده، موجود بودن و متغیر بودن منابع انرژی اولیه آنهاست (مهاجر و محمدی^۱، ۲۰۱۴). در چنین شرایطی هماهنگی شبکه می‌تواند تا حد زیادی از مسائل مربوط به معضل پراکندگی و ریسک نوسان انرژی در کل شبکه بکاهد؛ لذا با توجه به تعدد بازیگران و همچنین الزامات فنی، اقتصادی و اجتماعی شبکه یکی از ضرورت‌ها و عناصر اصلی نوآوری در محصولات و سیستم نیروگاه مجازی؛ هماهنگی شبکه است. این تم اصلی خود مشتمل بر هفت تم اولیه بوده است. تم‌های اولیه تشکیل دهنده هماهنگی شبکه شامل (۱) ایجاد جذابیت‌های سمت تقاضا جهت سرمایه‌گذاری، (۲) مدیریت تنظیم استانداردهای فنی، (۳) ایجاد سازوکارهای پشتیبانی از تولیدکنندگان، (۴) پایش مستمر و مدیریت شبکه با جهت پیش‌بینی‌پذیری شبکه، (۵) مدیریت عادلانه تسهیم منافع، (۶) مدیریت ارتقای توانمندی فناوری در سطح شبکه و (۷) هماهنگ کردن اقدامات بازیگران به شرح شکل ۵ بوده است.



شکل ۵: تم اصلی و تم‌های اولیه هماهنگی شبکه

در جدول ۴ کد محوری هماهنگی شبکه به همراه کدهای اولیه و تعدادی از گزاره‌های مفهومی توصیف‌کننده که این کدهای اولیه از آن استخراج شده است؛ ارائه شده‌اند.

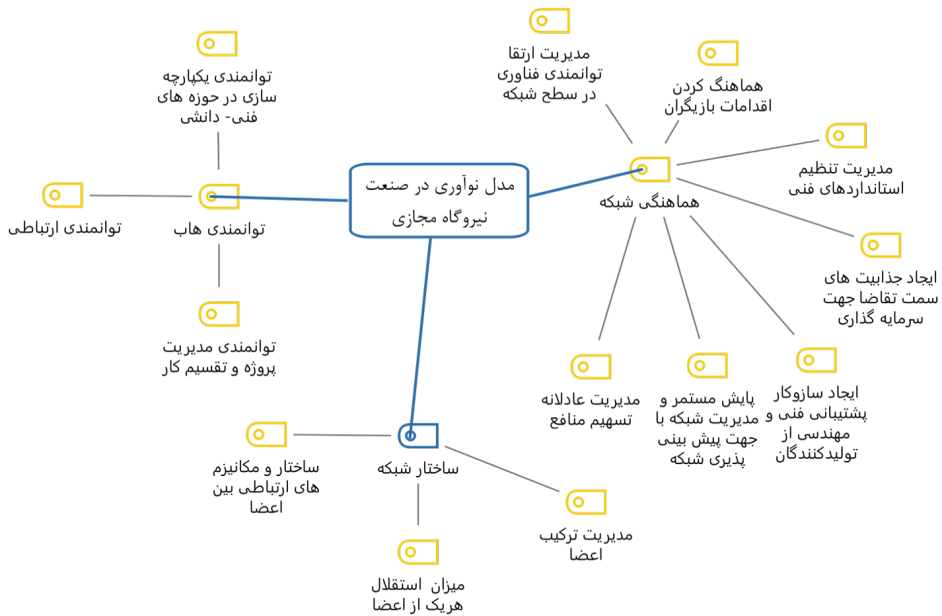
جدول ۴: عوامل مربوط به ساختار شبکه

گزاره‌های مفهومی (برخی از نکات مطرح شده در مصاحبه)	کدهای اولیه و باز (مفاهیم و مضامین خرد)	کدهای محوری (تم‌ها یا مفاهیم کلی)
<ul style="list-style-type: none"> - برای واحدهای تولیدی باید حتماً سود مالی در نظر گرفته شود تا سرمایه‌گذاری‌های آتی تسهیل شود (int6). - مدل اقتصادی برای تولیدکننده و مصرف‌کننده نهایی توجیه‌پذیر باشد (int1). 	<ul style="list-style-type: none"> ایجاد جذابیت سمت تقاضا جهت سرمایه‌گذاری 	
<ul style="list-style-type: none"> - استانداردهای لازم تدوین شود (int9). - نهاد تصمیم‌گیر مشخص باشد (int12). 	<ul style="list-style-type: none"> مدیریت تنظیم استانداردهای فنی 	
<ul style="list-style-type: none"> - تولیدکنندگان از سطح فنی و دانشی یکسانی برخوردار نیستند. با درک اهمیت این نکته که به هر میزان تولیدکنندگان از دانش فنی بالاتری برخوردار باشند، عملکرد بهتری در شبکه از خود بروز می‌دهند، ضروری است تا سازوکارهای لازم برای ارتقای فنی و پشتیبانی‌های تخصصی در نظر گرفته شود. (int11). 	<ul style="list-style-type: none"> ایجاد سازوکارهای پشتیبانی فنی و مهندسی از تولیدکنندگان 	
<ul style="list-style-type: none"> - لازم است میزان تولید و میزان مصرف بررسی شود. نیازهای کشور در آینده پیش‌بینی و پتانسیل‌های تولید در نیروگاه‌های برق مجازی به‌درستی تخمین زده شود. همچنین نیاز به برآورد دقیق و زمان‌بندی شده بارهای تولیدی و مصرفی در شبکه وجود دارد (int2). 	<ul style="list-style-type: none"> پایش مستمر و مدیریت شبکه در جهت پیش‌بینی‌پذیری شبکه 	همه‌انگهی شبکه
<ul style="list-style-type: none"> - [آپایداری شبکه در صورتی حاصل می‌شود که] که ارزش بیشتری از حالت منفرد آنها ایجاد کند. ارزش شامل افزایش درآمد و کاهش ریسک و کاهش هزینه می‌شود. زمانی که ارزش خلق شده را بتواند به‌خوبی بین بازیگران تقسیم کند. (int2). - منافع اقتصادی سرمایه‌گذاران و تولیدکنندگان تأمین شود (int7). 	<ul style="list-style-type: none"> مدیریت عادلانه تسهیم منافع 	
<ul style="list-style-type: none"> - در دو بخش مالی و فنی عملکرد مناسبی داشته باشد به این معنا که در بخش فنی؛ الزامات شبکه برق کشور را تأمین نماید و در بخش مالی هم امنیت مالی سرمایه‌گذاران تأمین شود (int7). 	<ul style="list-style-type: none"> مدیریت ارتقا توانمندی فناورانه 	

گزاره‌های مفهومی (برخی از نکات مطرح شده در مصاحبه)	کدهای اولیه و باز (مفاهیم و مضامین خرد)	کدهای محوری (تم‌ها یا مفاهیم کلی)
<ul style="list-style-type: none"> - نیروگاه‌هایی که بالای ۲۵ مگاوات تولید داشته باشند به شبکه اصلی برق متصل خواهند شد. نیروگاه‌هایی که زیر ۲۵ مگاوات تولید داشته باشند به صورت مستقیم به شبکه متصل نمی‌شوند و برقشان را به شرکت‌های توزیع می‌فروشند. یک مشکل بحث رویت‌پذیری هست (عدم وجود کنترل مناسب) و تفاوت بحث ولتاژ به دلیل وجود این مشکلات لازم است یک نیروگاه مجازی شکل بگیرد؛ مثلاً شامل ۲۰ نیروگاه تجدیدپذیر که بتوان بهتر مدیریت کرد و مثل سایر نیروگاه‌ها با آن رفتار کرد. (int11). - برای نیروگاه مجازی وجود مجموعه مقررات‌گذاری لازم است. نهاد رگولاتور برای مدیریت هاب کفایت می‌کند. خود تولیدکنندگان لازم است یک سری قرارداد با هم داشته باشند (int12). - دولت (حاکمیت): رگولیشن؛ تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان بزرگ: شکل‌دهی، قوام شبکه، تأمین مالی و بازیگران کوچک (صنعتی و خانگی): توسعه فرهنگ، گسترش شبکه را بر عهده دارند (int4). 	همانگ کردن اقدامات بازیگران	همانگی شبکه

۴-۴- جمع‌بندی

افزایش گرایش به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر و تولید برق و حرارت در نزدیکی بار، در کنار امکان ذخیره‌سازی و مدیریت تقاضا، به تغییرات قابل توجهی در عملکرد سیستم منتج شده است که در آن سهم قابل توجهی از برق به وسیله تکنولوژی‌های مرتبط با تولید پراکنده تولید می‌شود. با وجود مزایای آشکار پیوستن تجهیزات و تولید پراکنده به شبکه‌های توزیع، معمول سازی (آشناسازی) آنها با شبکه‌های توزیع سنتی، آنها را با چالش‌های جدیدی در عملکرد سیستم مواجه کرده است (مهاجر و محمدی، ۲۰۱۴) و همین موضوع ضرورت طراحی شبکه‌های نوآوری برای این نیروگاه‌ها را ایجاب کرده است که در پژوهش حاضر تلاش شده است عناصر شبکه نوآوری محصولات و سیستم‌های پیچیده در صنعت نیروگاه‌های مجازی شناسایی شود. نتایج مطالعه حاضر ۷۷ کد مفهومی، ۳ تم اصلی یا محوری و ۱۳ مقوله یا مؤلفه انضمامی را آشکار کرد که عناصر و اجزای شبکه به شرح شکل ۶ را تشکیل دادند.



شکل ۶: ساختار شبکه نوآوری در صنعت نیروگاه مجازی

سه تم اصلی یا مقوله محوری آشکار شده در داده‌ها شامل توانمندی هاب، ساختار شبکه و هماهنگی شبکه بود. اگر چه به نظر می‌رسد عنصر «هماهنگی شبکه» ارتباط تنگاتنگی با عنصر «توانمندی هاب» دارد، به نحوی که می‌توان آن را زیرمجموعه عنصر هاب تلقی کرد؛ اما باید توجه داشت که هاب تنها بخشی از عناصر مربوط به هماهنگی شبکه را در برمی‌گیرد و از آنجاکه هماهنگی شبکه عام‌تر از بحث کارویژه‌های هاب بوده است ذیل یک عنصر اصلی در ساختار شبکه تعریف شده است. در بحث توانمندی هاب عناصر تشکیل‌دهنده شامل توانمندی ارتباطی، توانمندی مدیریت پروژه و تقسیم کار و توانمندی یکپارچه‌سازی در حوزه‌های فنی و دانشی بود. عناصر تشکیل‌دهنده شبکه ذیل مقوله محوری هماهنگی شبکه شامل هفت تم اولیه هماهنگ کردن اقدامات بازیگران، مدیریت ارتقا توانمندی فناوری در سطح شبکه، مدیریت عادلانه تسهیم منافع، پایش مستمر و مدیریت شبکه در جهت پیش‌بینی‌پذیری، ایجاد سازوکار پشتیبانی فنی و مهندسی از تولیدکنندگان، مدیریت تنظیم استانداردهای فنی و ایجاد جذابیت‌های سمت تقاضا جهت سرمایه‌گذاری بودند. در نهایت عناصر تشکیل‌دهنده ساختار شبکه شامل مدیریت ترکیب اعضا، تعیین میزان استقلال هر یک از اعضا و

ساختار و مکانیزم‌های ارتباطی بین اعضا بود. مدل منتج از نتایج پژوهش در هر سه سطح ایده‌ها، افراد و ساختارهای اجتماعی مبتنی بر مدل آرویلر و کانه (۲۰۱۳) عناصری از شبکه نوآوری برای نیروگاه‌های مجازی را شناسایی کرده است. به‌عنوان مثال در سطح ایده‌ها جذابیت‌های سطح تقاضا و مدیریت عادلانه تسهیم منافع و یا در سطح افراد؛ تنوع بازیگران و هماهنگ کردن بازیگران و در سطح ساختار؛ هماهنگ کردن و مدیریت بازیگران سطوح مختلفی از شبکه نوآوری نیروگاه‌های مجازی بوده‌اند که مدل نهایی تحقیق حاصل شده‌اند. با این‌همه توجه به این نکته ضروری است که برخلاف مدل آرویلر و کانه (۲۰۱۳) البته نه در تعارض با آن مدل این پژوهش بیش از آنکه مفهومی باشد، عملیاتی است و لذا در سه زیر سطح عناصر اصلی مدل، مؤلفه‌هایی از ایده‌ها، افراد و ساختارهای اجتماعی ممکن است مشاهده شود.

۵ - نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر یک پژوهش اکتشافی-کیفی در بین جمعیتی از خبرگان در حوزه صنعت نیروگاه‌های مجازی به‌منظور شناسایی عناصر شبکه نوآوری در صنعت نیروگاه‌های مجازی بود. خبرگان این حوزه شامل افراد متخصص در زمینه توسعه پلنت‌های نیروگاهی و سیاست‌گذاری در صنعت برق ایران با حداقل ۱۰ سال سابقه تخصصی در این حوزه بودند. مصاحبه‌ها پیاده‌سازی شده و از طریق روش تحلیل تم مورد تحلیل قرار گرفت. تحلیل مصاحبه‌های انجام‌شده ۷۷ کد مفهومی اولیه را آشکار کرد که انتزاع این مفاهیم سه عامل اصلی ساختار شبکه، توانمندی هاب و هماهنگی شبکه و ۱۳ مؤلفه فرعی مربوط به این عوامل را آشکار کرد (جدول شماره ۵).

جدول ۵: عناصر شبکه نوآوری محصولات و سیستم‌های پیچیده در صنعت نیروگاه‌های مجازی

ساختار شبکه	توانمندی هاب	هماهنگی شبکه
ترکیب اعضا	توانمندی ارتباطی	هماهنگی بازیگران
ساختار ارتباطی	توانمندی مدیریت پروژه	تسهیم منافع
استقلال اعضا	توانمندی یکپارچه‌سازی علمی و فنی	پایدارسازی شبکه از طریق مدیریت تنظیم استانداردهای فنی، ایجاد جذابیت سرمایه‌گذاری، سازوکارهای پشتیبانی فنی، پایش مستمر شبکه، مدیریت عادلانه منابع و...

این عناصر و مؤلفه‌ها می‌توانند در راستای مدیریت نیروگاه‌های مجازی مورد استفاده و توجه قرار بگیرند. این در حالی است که بسیاری از مطالعات در حوزه نیروگاه‌های برق مجازی بر جنبه‌های صرفاً فنی مانند کنترل شبکه هوشمند (محمود^۱ و همکاران، ۲۰۱۷؛ شی^۲ و همکاران، ۲۰۲۰؛ یاو^۳ و همکاران، ۲۰۱۵)، ساختار VPP، و کیفیت و پشتیبانی بار بر اساس ذخیره انرژی توزیع شده (توشار^۴ و همکاران، ۲۰۱۷) متمرکز شده‌اند. با این حال در مطالعات پیشین برخی جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی همچون انگیزش‌های مالی که در پژوهش حاضر تحت عنوان مقولاتی همچون ایجاد جذابیت‌های سمت تقاضا برای سرمایه‌گذاری و مدیریت عادلانه تسهیم منافع برخی از جنبه‌های مهم برای موفقیت پروژه را امکان‌پذیر می‌کنند؛ نادیده گرفته شده است. در واقع، بدون سود اقتصادی، یک VPP نمی‌تواند انعطاف‌های فنی خود را به کار گیرد. ضمن اینکه باید توجه داشت از نظر تحلیل‌های اقتصادی VPP نیز بیشتر مطالعات باهدف به حداکثر رساندن سود VPP‌های شرکت‌کننده در بازار انرژی انجام شده است (لی و همکاران ۲۰۲۱؛ لوپنر و همکاران، ۲۰۱۷). پیرامون یافته‌های این مقاله در حوزه شبکه‌های نوآوری می‌توان بیان داشت که این مقاله بیشتر بر بعد سازمانی در میان سه بعد کلیدی مورد اشاره آرویلر و کانه (۲۰۱۳) تأکید کرده است و همچنین در مقایسه با مقاله لون و همکاران^۵ (۲۰۱۴)، بخش توانمندی‌های هاب را به‌صورت کامل‌تری در سه قالب توانمندی ارتباطی، توانمندی مدیریت پروژه و توانمندی یکپارچه‌سازی علمی و فنی تشریح نموده است. البته مواردی مانند توانمندی ارتباطی و شبکه‌سازی هاب در مقالات دیگری نیز مورد اشاره قرار گرفته است (Safardoust et al, 2023). همچنین در بخش هماهنگی شبکه بر مفهوم تسهیم منافع تأکید کرده است که مفهومی عام‌تر نسبت به صیانت‌پذیری نوآوری می‌باشد. البته این موضوع با توجه به ساختار نظام مالکیت معنوی در ایران و همچنین ویژگی‌های نیروگاه‌های مجازی به‌عنوان یک شبکه نوآوری می‌تواند توضیح داده شود. همچنین تشریح مفاهیمی مانند مدیریت ثبات شبکه در قالب یک نمونه و ارائه مصادیقی مانند استانداردهای سازی یا سازوکارهای پشتیبانی فنی نظام‌مند از جمله مشارکت‌های این تحقیق در ادبیات شبکه‌های نوآوری است. با این وصف مطالعات در حیطه مدیریتی نیروگاه‌های مجازی اندک است و این مطالعه تلاش نموده است بخشی از خلأ تحقیقاتی موجود در این زمینه را پوشش دهد. یکی

1 . Mahmood

2 . Shi

3 . Yao

4 . Tushar

5 . (Leven, Holmströma, & Mathiassen, 2014)

از جنبه‌های ارزشمند مطالعه حاضر تمرکز بر طراحی یک شبکه نوآوری محصولات پیچیده به‌منظور توسعه نیروگاهی است و مرور مطالعات هدف موردنظر تحقیق حاضر را برجسته‌تر کرده است. یافته‌های این تحقیق بیان می‌دارد که برای توسعه شبکه‌های نوآوری در بخش نیروگاه مجازی هاب بایستی دارای سه ویژگی اصلی توانمندی ارتباطی، یکپارچه‌سازی فنی و مدیریت پروژه باشد تا بتواند ضمن ایجاد تعادل بین بازیگران مختلف، توانمندی‌های سایر بازیگران را در یک مسیر هدفمند ترکیب نماید که این هم‌زمان نیازمند دو عنصر توانمندی مدیریت پروژه و یکپارچه‌سازی فنی است. همچنین ضروری است تا در ابتدای شکل‌دهی شبکه نوآوری، در مورد ترکیب، استقلال و مدل همکاری تصمیم گرفته شود. در نهایت نیز موضوع تسهیم عادلانه منافع به همراه پایدارسازی شبکه از طریق مدیریت تنظیم استانداردهای فنی، ایجاد جذابیت سرمایه‌گذاری، سازوکارهای پشتیبانی فنی، پایش مستمر شبکه و مدیریت عادلانه منابع است که عمدتاً از وظایف تشکیل‌دهنده شبکه و هاب (ها) مربوطه است. برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود تا موضوع روابط میان بازیگران و ترکیبات مختلف بازیگران مورد بررسی دقیق و جامع قرار گیرد و نوع‌شناسی‌هایی متناسب با شرایط شبکه‌های نوآوری ارائه شود.

۶-منابع

- Ahrweiler, P., & Keane, M. T. (2013). Innovation networks. *Mind & Society*, 12(1), 73-90. <https://doi.org/10.1007/s11299-013-0123-7>
- Ahuja, G. (2000). Collaboration Networks, Structural Holes, and Innovation: A Longitudinal Study. *Administrative Science Quarterly*, 45(3), 425-455. <https://doi.org/10.2307/2667105>
- Bignucolo, F., Caldon, R., Prandoni, V., Spelta, S., & Vezzola, M. (2006, September). The voltage control on MV distribution networks with aggregated DG units (VPP). In *Proceedings of the 41st International Universities Power Engineering Conference* (Vol. 1, pp. 187-192). IEEE. DOI:10.1109/UPEC.2006.367741
- Corsaro, D., Cantù, C., & Tunisini, A. (2012). Actors' heterogeneity in innovation networks. *Industrial Marketing Management*, 41(5), 780-789. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indmarman.2012.06.005>
- Dhanaraj, C., & Parkhe, A. (2006). Orchestrating innovation networks. *Academy of Management Review*, 31(3), 659-669. <https://doi.org/10.5465/amr.2006.21318923>
- Dodgson, M., & Bessant, J. R. (1996). *Effective innovation policy: a new approach*. International Thomson Business Press. dx.doi.org/10.1016/j.respol.2010.10.013
- El Bakari, K., & Kling, W. L. (2010, October). Virtual power plants: An answer to increasing distributed generation. In *2010 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe)* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISGTEUROPE.2010.5638984>
- Elsayed, K., & Lacor, C. (2013). CFD modeling and multi-objective optimization of cyclone geometry using desirability function, artificial neural networks and genetic algorithms. *Applied Mathematical Modelling*, 37(8), 5680-5704. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.11.010>
- Faraz, R., Mehraban, M.S., & Hoshdarpour, R. (2015). Investigating smart distribution networks and using its boards in smart power systems. *International conference on research in science and technology*. [in Persian]. <https://civilica.com/doc/446523/>
- Ghavidel, S., Li, L., Aghaei, J., Yu, T., & Zhu, J. (2016, September). A review on the virtual power plant: Components and operation systems. In *2016 IEEE international conference on power system technology (POWERCON)* (pp. 1-6). IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/POWERCON.2016.7754037>

- Hernández, L., Baladron, C., Aguiar, J. M., Carro, B., Sanchez-Esguevillas, A., Lloret, J., ... & Cook, D. (2013). A multi-agent system architecture for smart grid management and forecasting of energy demand in virtual power plants. *IEEE Communications Magazine*, 51(1), 106-113. <http://dx.doi.org/10.1109/MCOM.2013.6400446>
- Hobday, M. (2000). The project-based organisation: an ideal form for managing complex products and systems? *Research Policy*, 29(7-8), 871-893. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(00\)00110-4](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(00)00110-4)
- Hobday, M., Rush, H., & Tidd, J. (2000). Innovation in complex products and system. *Research Policy*, 29(7-8), 793-804. [http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7333\(00\)00105-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7333(00)00105-0)
- Igel, B., & Wei, Z. (2002). A framework to analyse the competence to innovate complex product systems in the stored program control switchboard industry. *International Journal of Entrepreneurship and Innovation Management*, 2(6), 537-556. <http://dx.doi.org/10.1504/IJEIM.2002.000500>
- Leven, P., Holmströma, J., & Mathiassen, L. (2014). Managing research and innovation networks: Evidence from a government sponsored cross-industry program. *Research Policy*, 43(1), 156-168. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2013.08.004>
- Lin, J., Zhang, S., Yang, B., Li, W., & Yi, Y. (2021, August). Customer-side Energy Management Considering the Availability of Renewable Virtual Power Plants. In *The Sixth International Conference on Information Management and Technology* (pp. 1-5). <http://dx.doi.org/10.1145/3465631.3465997>
- Lombardi, P., Powalko, M., & Rudion, K. (2009, July). Optimal operation of a virtual power plant. In *2009 IEEE Power & Energy Society General Meeting* (pp. 1-6). IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/PES.2009.5275995>
- Mahmood, A., Butt, A. R., Mussadiq, U., Nawaz, R., Zafar, R., & Razzaq, S. (2017, April). Energy sharing and management for prosumers in smart grid with integration of storage system. In *2017 5th International Istanbul Smart Grid and Cities Congress and Fair (ICSG)* (pp. 153-156). IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/SGCF.2017.7947623>
- Mahmud, K., Khan, B., Ravishankar, J., Ahmadi, A., & Siano, P. (2020). An internet of energy framework with distributed energy resources, prosumers and small-scale virtual power plants: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 127, 109840. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2020.109840>
- Mohajer, A., and Mohammadi, P. (2014). Distributed generation and virtual power

- plants. *National Conference of New Researches in Science and Technology*. [in Persian]. <https://www.sid.ir/paper/821878/fa>
- Morais, H., Kádár, P., Cardoso, M., Vale, Z. A., & Khodr, H. (2008, July). VPP operating in the isolated grid. In *2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting- Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century* (pp. 1-6). IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/PES.2008.4596716>
- Naghizadeh, M., Manteghi, M., & Naghizadeh, R. (2015). Convergence Among Science and Technology Capabilities of Different Players in Aviation Complex Product Systems. *Journal of Technology Development Management*, 3(3), 27-54. <https://doi.org/10.22104/jtdm.2016.367>
- Naghizadeh, M., Manteghi, M., Ranga, M., & Naghizadeh, R. (2017). Managing integration in complex product systems: The experience of the IR-150 aircraft design program. *Technological forecasting and social change*, 122, 253-261. <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2016.06.002>
- Necoechea-Mondragón, H., Pineda-Domínguez, D., Pérez-Reveles, L., & Soto-Flores, R. (2017). Critical factors for participation in global innovation networks. Empirical evidence from the Mexican nanotechnology sector. *Technological Forecasting and Social Change*, 114, 293-312. <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.027>
- Othman, M. M., Hegazy, Y. G., & Abdelaziz, A. Y. (2017). Electrical energy management in unbalanced distribution networks using virtual power plant concept. *Electric Power Systems Research*, 145, 157-165. <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsr.2017.01.004>
- Park, T.-Y., & Park, T. (2013). How a latecomer succeeded in a complex product system industry: three case studies in the Korean telecommunication systems. *Industrial and corporate change*, 22(2), 363-396. <http://dx.doi.org/10.1093/icc/dts014>
- Pittaway, L., Robertson, M., Munir, K., Denyer, D., & Neely, A. (2004). Networking and innovation: a systematic review of the evidence. *International Journal of Management Reviews*, 5(3-4), 137-168. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1460-8545.2004.00101.x>
- Pudjianto, D., Ramsay, C., & Strbac, G. (2007). Virtual power plant and system integration of distributed energy resources. *IET Renewable power generation*, 1(1), 10-16. <http://dx.doi.org/10.1049/iet-rpg:20060023>
- Rampersad, G., Quester, P., & Troshani, I. (2010). Managing innovation networks: Exploratory evidence from ICT, biotechnology and nanotechnology networks. *Industrial marketing management*, 39(5), 793-805.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.indmarman.2009.07.002>

Saboori, H., Mohammadi, M., & Taghe, R. (2011, March). Virtual power plant (VPP), definition, concept, components and types. In *2011 Asia-Pacific power and energy engineering conference* (pp. 1-4). IEEE.

<http://dx.doi.org/10.1109/APPEEC.2011.5749026>

Safardoust, A., Ghazinori, S. S., Manteghi, M., Naghizadeh, M., & Bamdad Soofi, J. (2023). Networking capabilities of large companies in technological fields: components, antecedents and consequences (case study: biopharmaceutical field). *Science and Technology Policy Letters*.

https://stpl.ristip.sharif.ir/article_23145.html?lang=en

Shi, Z., Yao, W., Li, Z., Zeng, L., Zhao, Y., Zhang, R., ... & Wen, J. (2020). Artificial intelligence techniques for stability analysis and control in smart grids: Methodologies, applications, challenges and future directions. *Applied Energy*, 278, 115733.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115733>

Shimon, A., & Preston, A. (1997). *The virtual utility*. Boston, MA: Springer, 409.

<https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6167-5>

Tarazona, C., Muscholl, M., Lopez, R., & Passelergue, J. C. (2009, September). Integration of distributed energy resources in the operation of energy management systems. In *2009 IEEE PES/IAS Conference on Sustainable Alternative Energy (SAE)* (pp. 1-5). IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/SAE.2009.5534858>

Tushar, M. H. K., Zeineddine, A. W., & Assi, C. (2017). Demand-side management by regulating charging and discharging of the EV, ESS, and utilizing renewable energy. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(1), 117-126.

<http://dx.doi.org/10.1109/TII.2017.2755465>

Wang, H., Riaz, S., & Mancarella, P. (2020). Integrated techno-economic modeling, flexibility analysis, and business case assessment of an urban virtual power plant with multi-market co-optimization. *Applied Energy*, 259, 114142.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114142>

Wang, Y., Gao, W., Qian, F., & Li, Y. (2021). Evaluation of economic benefits of virtual power plant between demand and plant sides based on cooperative game theory. *Energy Conversion and Management*, 238, 114180.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114180>

Yao, E., Samadi, P., Wong, V. W., & Schober, R. (2015). Residential demand side

management under high penetration of rooftop photovoltaic units. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 7(3), 1597-1608. <http://dx.doi.org/10.1109/TSG.2015.2472523>

Yu, S., Fang, F., Liu, Y., & Liu, J. (2019). Uncertainties of virtual power plant: Problems and countermeasures. *Applied energy*, 239, 454-470.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.224>

Yuan, Y., Wei, Z., Sun, G., Sun, Y., & Wang, D. (2014). A real-time optimal generation cost control method for virtual power plant. *Neurocomputing*, 143, 322-330.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.neucom.2014.05.060>

ضمیمه - سؤالات مصاحبه :

سؤال	ردیف	حوزه
چه بازیگرانی باید در شبکه عضو شوند؟ و چه ویژگی‌هایی باید داشته باشند؟	۱	طراحی
بازیگران به تفکیک چه نقش‌هایی باید ایفا کنند؟	۲	
ساختار شبکه و نوع روابط باید چگونه باشد؟	۳	
ارتباط هر یک از بازیگران با یکدیگر چگونه باشد؟	۴	
بسترها (شرایط زمینه‌ای) طراحی و توسعه شبکه نوآوری محصولات پیچیده در صنعت نیروگاه مجازی کدامند؟	۵	
شرکت هاب یا هماهنگ‌کننده باید چه ویژگی‌هایی داشته باشد و چه نقش‌هایی ایفا کند؟	۱	هاب
مدل یادگیری اعضای شبکه جهت ارتقا بهره‌وری شبکه به چه صورت باید باشد؟	۲	
سهم اعضای شبکه از منافع آتی حاصل از شکل‌گیری شبکه به چه صورت باید تعیین شود؟	۳	
چگونه می‌توان ثبات شبکه را حفظ نماییم و شبکه پایدار بماند؟	۱	فرایند یکپارچه‌سازی
برای یک نیروگاه مجازی چه خروجی‌هایی باید در نظر گرفته شود؟	۲	
چه زمانی و با چه شرایطی می‌توان گفت که یک نیروگاه مجازی خوب است (درست کار می‌کند)؟	۳	