Quarterly Journal of
Strategic Studies of Public Policy
Spring 2021, Volume 11, Number 38

Research Paper
Emergent Technologies' Acceptance: A Case Study

Naser Bagheri Moghaddam[1], Mohammad Khosravi[2], Mehdi Sahafzadeh[3], *Aida Mohajeri[2]

1. Faculty Member at National Reserach Institute for Sccience Policy (NRISP), Tehran, Iran.
2. PhD. Candidate Science and Technology Policy, Department of Information Technology Management, Faculty of Management and Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
3. PhD. Candidate in Technology Management, Faculty of Management and Accounting, Farabi Pardis, University of Tehran, Tehran, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation: Bagheri Moghaddam, N., Khosravi, M., Sahafzadeh, M., & Mohajeri, A. (2021). [Emergent Technologies' Acceptance: A Case Study (Persian)]. *Journal Strategic Studies of Public Policy, 11*(38), 84-111.

CC BY NC

Received: 09 Feb 2020
Accepted: 06 Oct 2020
Available Online: 01 May 2021

Keywords:
Technology acceptance, Emergent technologies, Ground source heat pump, Tehran, Heating and cooling systems

ABSTRACT

Currently, the emergence of novel technologies has generated significant alternations in the development's path. However, their emergence does not indicate their applicability. Besides, various factors affect their diffusion in each society. Technology acceptance by users is among the main characteristics; its non-accomplishment can therefore prevent technology diffusion. Regarding the remarkable share of energy consumption in buildings for heating and cooling systems in Iran, the creation and application of new technologies with higher efficiency and lower energy consumption has been among the major concerns among policymakers and researchers, in recent years. This paper assessed the adoption and acceptance of ground source heat pumps. This was a case study on novel heating and cooling technologies for application in new buildings in Tehran. For this purpose, we used a triangulation approach. Questionnaires, in-depth semi-structured interviews, and focus groups were implemented to collect the required data. The obtained results identified the initial cost, independence, and output air quality of the system as the main criteria for the acceptance of heating and cooling systems. Accordingly, in the current circumstances, the odds of technology acceptance for application in small and medium buildings were low. However, about large buildings, if the appropriate policies are implemented, acceptance is more probable.

*** Corresponding Author:**
Aida Mohajeri, PhD.
Address: Department of Information Technology Management, Faculty of Management and Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
E-mail: a.mohajeri7000@yahoo.com

مقاله پژوهشی

بررسی پذیرش فناوری‌های نوپدید؛ مطالعه موردی فناوری پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی در شهر تهران

ناصر باقری‌مقدم[۱]، محمد خسروی[۲]، مهدی صحاف‌زاده[۳]، *آیدا مهاجری[۲]

۱. عضو هیئت‌علمی مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور، تهران، ایران.
۲. دانشجوی دکتری، گروه سیاست‌گذاری علم و فناوری، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۳. دانشجوی دکتری، گروه مدیریت تکنولوژی، دانشکده مدیریت و حسابداری، پردیس فارابی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۲۰ بهمن ۱۳۹۸
تاریخ پذیرش: ۱۵ مهر ۱۳۹۹
تاریخ انتشار: ۱۳ اردیبهشت ۱۴۰۰

چکیده

امروزه، پدیدار شدن فناوری‌های نوین تحولات گسترده و عمیقی را در مسیر توسعه ایجاد کرده است، اما صرف معرفی و پدیداری این فناوری‌ها به معنای کاربردپذیری آن‌ها نیست، بلکه مجموعه‌ای از عوامل در انتشار آن‌ها در هر جامعه نقش دارند و یکی از مهم‌ترین این عوامل، پذیرش فناوری توسط شهروندان است که عدم تحقق آن می‌تواند اشاعه و به‌کارگیری فناوری را با شکست مواجه کند. در سال‌های اخیر، با توجه به مصرف انرژی قابل ملاحظه در ساختمان‌ها برای سرمایش و گرمایش و ایجاد پیک برق روزانه در تابستان، به‌کارگیری و کاربرد فناوری‌های جدید کاراتر و با مصرف کمتر مورد توجه سیاست‌گذاران توسعه شهری قرار گرفته است. در این بین، در این مقاله، پذیرش پمپ حرارتی زمین‌گرمایی به عنوان یک مطالعه موردی از فناوری‌های نوین سرمایشی و گرمایشی برای کاربرد در ساختمان‌های نوساز مسکونی کوچک، متوسط و بزرگ در شهر تهران مورد بررسی قرار گرفته است. رویکرد این پژوهش، رویکرد ترکیبی (آمیخته) تبیینی است که در آن از ابزارهای کیفی برای جبران کمبودهای ابزارهای کمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پژوهش، برای گردآوری داده‌ها، از ابزارهای پرسش‌نامه، مصاحبه عمیق نیمه‌ساختاریافته و گروه کانونی استفاده شده است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد هزینه اولیه، استقلال بهره‌برداری و کیفیت هوای خروجی، مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر پذیرش سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی است. بر این اساس، در شرایط کنونی، احتمال پذیرش فناوری پمپ حرارتی زمین گرمایی برای کاربرد در ساختمان‌های کوچک و متوسط ضعیف است، اما در صورت سیاست‌گذاری مناسب و کمک دولت، امکان پذیرش این فناوری برای ساختمان‌های بزرگ زیاد است.

کلیدواژه‌ها:
پذیرش فناوری، فناوری‌های نوپدید، پمپ حرارتی زمین گرمایی، تهران، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی

* نویسنده مسئول:
دکتر آیدا مهاجری
نشانی: تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مدیریت و اقتصاد، گروه سیاست‌گذاری علم و فناوری.
پست الکترونیکی: a.mohajeri7000@yahoo.com

مقدمه

با گسترش نیاز به فناوری در دهه‌های اخیر و شکست‌های پیاپی در فرایند پذیرش نوآوری‌های فناورانه[1]، پیش‌بینی کاربرد فناوری‌های جدید به یکی از زمینه‌های مورد علاقه پژوهشگران تبدیل شده است. انتشار[2] موفق یک فناوری تنها با تولید یک محصول جدید و یک راهبرد بازاریابی خوب امکان‌پذیر نیست. تصمیم مشتری (استفاده‌کننده) نیز در این میان نقش مهمی را ایفا می‌کند که در بسیاری از موارد، فهم عمیقی از فرایند و عوامل تأثیرگذار بر آن وجود ندارد (Sopha & Klöckner, 2011).

اهمیت ارزیابی و پیش‌بینی پذیرش[3] یک فناوری جدید و مسائل اجتماعی مربوط به آن، از آنجا ناشی می‌شود که در بسیاری از موارد، هزینه مطالعات و بررسی‌های اولیه، کمتر از هزینه‌هایی است که در اثر انتشار دیرهنگام فناوری به دلیل عدم توانایی در پوشش هم‌زمان چالش‌های اجتماعی و چالش‌های فناورانه به‌کارگیری یک فناوری جدید اتفاق می‌افتد (Assefa & Frostell, 2007).

در سال‌های اخیر، سرمایش و گرمایش، به یکی از بخش‌های مهم مصرف انرژی در ساختمان‌ها تبدیل شده است، به گونه‌ای که در نواحی گرمسیری، سرمایش و در نواحی سردسیری، گرمایش، بخش مهمی از مصرف انرژی را به خود اختصاص داده است. حتی در مناطق و کشورهایی که با بحران مصرف انرژی در ساختمان‌ها مواجه نیستند، راهبرد متنوع‌سازی[4] به عنوان متداول‌ترین راهکار برای کاهش وابستگی به یک منبع خاص انرژی به کار گرفته می‌شود.

1. Technological Innovations
2. Diffusion
3. Adoption
4. Diversification

البته با توجه به تغییرات آب‌وهوایی لازم است این متنوع‌سازی به گونه‌ای انجام گیرد که انتشار CO_2 در آن در کمترین حد ممکن باشد. بدین منظور ترکیبی از رویکردهای مختلف به کار گرفته می‌شود: ۱. توسعه و متنوع‌سازی تولید برق پایدار با استفاده از منابعی مانند خورشید، باد و آب و یا افزایش راندمان نیروگاه‌های موجود، ۲. افزایش کارایی انرژی در سمت مصرف‌کننده و کاهش تقاضای انرژی و ۳. استفاده از منابع گرمایی که منابع انرژی جایگزین را مورد استفاده قرار می‌دهد (Jamasb & Pollitt, 2008).

از این رو، برخی دولت‌ها، جایگزینی سیستم‌های گرمایشی و یا سرمایشی را با گزینه‌های بهتر مورد حمایت قرار می‌دهند تا از این طریق تقاضای برق را کاهش داده و منابع تأمین گرمایش / سرمایش در ساختمان‌ها را تنوع بخشند (Klöckner & Sopha, 2011). یکی از این منابع انرژی جایگزین، از نوع انرژی های تجدیدپذیر و سازگار با محیط زیست، انرژی زمین گرمایی است که فناوری‌های متنوع زمین‌گرمایی از آن استفاده می‌کنند (Villarino, Villarino, de Arteaga, Quinteros, & Alañón, 2019).

پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی[5] به عنوان یکی از فناوری‌های بدیل برای کاهش مصرف الکتریسیته و نیز کاهش هزینه انرژی در بسیاری از کشورها، ازجمله کشورهای اروپایی، ایالات متحده آمریکا، آفریقای جنوبی، چین و ژاپن مورد استفاده قرار می‌گیرند (Chokchai et al., 2018).

پمپ حرارتی زمین‌گرمایی یک سیستم گرمایشی و / یا سرمایشی مرکزی است که حرارت را از / به زمین منتقل می‌کند. در زمستان، این فناوری از

5. Ground Source Heat Pump (GSHP) / Geothermal Heat Pump

زمین به عنوان یک منبع حرارت استفاده می‌کند و در تابستان به عنوان یک گرماخور یا گرماگیر[6]. با توجه به اینکه دمای زمین در طول سال نسبتاً ثابت است، استفاده از زمین جهت تبادل گرما در طول سال، موجب افزایش کارایی و کاهش هزینه‌های عملیاتی این سیستم گرمایشی و سرمایشی می‌شود، به گونه‌ای که ضریب عملکرد[7] آن تا چهار و یا بیشتر نیز می‌رسد (von, 2012).

از بحران انرژی دهه ۱۹۷۰ تاکنون، به‌ویژه در سال‌های اخیر، پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی به عنوان ابزاری جهت صرفه‌جویی و حفظ انرژی توجه زیادی را به خود جلب کرده (Majuri, 2016) و از طریق سیاست‌های دولتی در برخی از کشورها مورد حمایت قرار گرفته است. مهم‌ترین مزایای این فناوری که موجب ایجاد بازار و گسترش کاربرد آن شده است، هزینه عملیاتی پایین، عدم ایجاد گازهای آلاینده و عدم نیاز به شبکه گاز است (von, 2012).

ظرفیت نصب‌شده پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی در دنیا از ۱/۹ گیگاوات در سال ۱۹۹۵ به ۱۵ گیگاوات در ۲۰۰۵ و ۵۰ گیگاوات در ۲۰۱۵ افزایش یافته است که این مقدار برابر رشد متوسط سالیانه ۱۸ درصد است (Renewables 2016 Global sta-tus report, 2016).

با توجه به پیشرفت‌هایی که در سال‌های اخیر در زمینه افزایش بازدهی انرژی در منازل مسکونی ایجاد شده و همچنین هزینه اولیه بیشتر نصب و راه‌اندازی پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی، تمایل به استفاده از این فناوری در ساختمان‌های مسکونی کوچک، کمتر و در ساختمان‌های بزرگ و بسیار بزرگ، بیشتر شده است (Renewables 2014 Global Status Report, 2014).

در ایران، کاربرد پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی بسیار کم و موردی بوده و محدود به برخی کاربردهای پایلوت و آزمایشی می‌شود که بیشتر توسط سازمان انرژی‌های نو ایران در برخی شهرهای کشور اجرا شده است.

با توجه به اینکه در مطالعات انجام‌شده در داخل کشور در زمینه کاربرد و به‌کارگیری پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی عموماً در سطح فنی و مهندسی است (به عنوان مثال، بررسی دقیق همراه با جزئیات کاربرد فناوری در سطح یک ساختمان مشخص در یک منطقه مشخص از تهران) و نگاه کلانی نسبت به موضوع وجود ندارد و ثانیاً به موضوعات غیرفنی، از جمله عوامل فناورانه و اجتماعی مرتبط به فناوری پرداخته نشده، در این مطالعه پذیرش این فناوری، به عنوان نمونه‌ای از فناوری‌های نوپدید، توسط سازندگان مسکن برای کاربرد در ساختمان‌های کوچک (حداکثر چهار واحدی)، متوسط (حداکثر ده واحدی) و بزرگ (چهل واحدی) در تهران مورد بررسی قرار گیرد.

در بخش دوم، پیشینه مطالعات مشابه انجام‌شده داخلی و بین‌المللی مرور شده است. در بخش سوم، روش تحقیق مطالعه که روش تحقیق ترکیبی (آمیخته) است و مراحل انجام پژوهش و ابزارهای مورد استفاده توضیح داده شده است و در بخش بعدی، یافته‌های پژوهش ارائه شده است و در بخش آخر جمع‌بندی از نتایج پژوهش و راهکاری پیشنهادی سیاستی بیان شده است.

6. Heat Sink
7. Coefficient Of Performance (COP)

۱. ادبیات موضوع

در سال‌های اخیر، توجه قابل ملاحظه‌ای به پدیداری فناوری‌های نوین، به‌ویژه از منظر سیاست‌گذاری ایجاد شده و مطالعات متعددی درباره این فناوری‌ها انجام شده است. البته فهم و درک این فناوری‌ها تا حدودی به دیدگاه تحلیل‌گر نیز بستگی دارد. برای مثال، یک فناوری از یک دیدگاه می‌تواند به دلیل نوین بودن و اثرات اجتماعی ـ اقتصادی خاصی، نوپدید تلقی شود و از دیدگاهی دیگر، به عنوان توسعه و گسترش طبیعی یک فناوری موجود در نظر گرفته شود (Rotolo, Hicks & martin, 2015).

اما با وجودی که تعریف واحدی از فناوری‌های نوپدید وجود ندارد، به طور کلی می‌توان گفت که یک فناوری، زمانی نوپدید تلقی می‌شود که موجی ایجاد تغییر اساسی در کسب‌وکار، صنعت یا جامعه شود (Halaweh, 2013).

اغلب، به‌ویژه در مراحل آغازین توسعه فناوری‌های نوپدید، عدم قطعیت‌های زیادی در مورد موفقیت آینده این فناوری‌ها وجود دارد. شنیدن صدای مشتریان، به عنوان تصمیم‌گیرندگان نهایی پذیرش یا عدم پذیرش این فناوری‌ها می‌تواند در کاهش عدم قطعیت‌های یادشده مؤثر باشد (Kohl et al., 2018).

پذیرش نوآوری (یا یک فناوری جدید) مطابق تعریف عبارت است از «تصمیم فرد مبنی بر استفاده کامل از یک نوآوری به عنوان بهترین کار ممکن (von, ۲۰۱۲)». فهم اینکه فرایند انتخاب یک فناوری توسط استفاده‌کننده آن چگونه است و معیارهایی که بر اساس آن یک فناوری جدید مورد ارزیابی و انتخاب قرار می‌گیرد، یک پیش‌نیاز مهم برای سیاست‌گذاری در زمینه فناوری‌های جدید است (Sopha et al, 2010)، زیرا پذیرش این فناوری‌ها به عنوان یک عامل مهمی اثرگذار بر تصمیم نهایی مصرف‌کنندگان عمل می‌کند و آگاهی از آن، برای سیاست‌گذاران ضروری است (Taher-doost, 2018).

در این پژوهش، پذیرش فناوری پمپ حرارتی زمین‌گرمایی به عنوان نمونه‌ای از فناوری‌های نوپدید مورد تمرکز قرار گرفته است. درخصوص پذیرش فناوری‌های نوین سرمایشی و گرمایشی به طور عام و پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی به طور خاص، مطالعات زیادی تاکنون در سطح بین‌المللی صورت گرفته است که به طور خلاصه می‌توان این مطالعات را در چهار گروه دسته‌بندی کرد: دسته اول، به ارائه مدل یا تعیین معیارهای اثرگذار بر پذیرش فناوری‌ها پرداخته‌اند (برای نمونه: (سازمان انرژی‌های نو ایران)، (Wustenhagen et al, 2007)).

دسته دوم، تعیین میزان پذیرش فناوری یا فناوری‌هایی خاص یا مقایسه آن‌ها با هم را بررسی کرده‌اند (برای نمونه: (Mi-)، (Sopha et al, 2010)، (Mahapatra et al, 2009)، (chelsen & Madlener, 2010)).

دسته سوم به پیش‌بینی میزان پذیرش فناوری‌ها و یا آینده آن‌ها پرداخته‌اند (برای نمونه: (Maju-ri, 2016)، (Sopha et al, 2013) (von, 2012)، (Hlavinka et al, 2016)) و درنهایت دسته چهارم اقدام به مرور و بررسی انتقادی سایر مطالعات و یا نظریه‌پردازی کرده‌اند (برای نمونه: (Brohmann et al, 2007)، (Batel et al, 2013))، (Fawcett, 2011)).

به لحاظ روش و ابزار در این مطالعات از روش‌های مختلف کیفی و کمّی از قبیل پرسش‌نامه، مصاحبه،

تحلیل محتوا، شبیه‌سازی، تحلیل‌های آماری و اقتصادی و فراتحلیل استفاده شده؛ اگر چه روش‌های میدانی و به‌خصوص استفاده از پرسش‌نامه، بیشترین کاربرد را در این مطالعات داشته است (جدول ۱. نوع‌شناسی مطالعات پیشین).

در ایران به طور کلی مطالعات کمی درخصوص کاربرد پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی انجام شده است، اما در سال‌های اخیر، با توجه به افزایش بارهای سرمایشی، به‌خصوص در فصل تابستان و همچنین در دستور کار قرار گرفتن بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها، بررسی فناوری‌های جدید و کاراتر از لحاظ میزان مصرف انرژی مورد توجه پژوهشگران و سیاست‌گذاران قرار گرفته است.

از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به مطالعه منصف‌راد و جواهرده در تحلیل جامع اگزرژی یک پمپ حرارتی زمین‌گرمایی برای استفاده در رامسر اشاره کرد که این فناوری را از لحاظ فنی مورد بررسی قرار داده و نقاط ضعف آن را برای به‌کارگیری در ایران شناسایی کرده‌اند (منصف‌راد و جواهرده، ۱۳۹۱).

عتابی و همکاران نیز در مطالعه‌ای، به‌کارگیری پمپ حرارتی زمین‌گرمایی را در یک ساختمان در تهران از لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیده‌اند که به‌کارگیری این فناوری، هم از لحاظ اقتصادی و هم زیست‌محیطی در طولانی‌مدت به صرفه است (عتابی و دیگران، ۱۳۹۳).

در مطالعه دیگری، نوراللهی و همکاران، به‌کارگیری پمپ حرارتی زمین‌گرمایی برای تأمین گرمایش یک گلخانه در کرج را بررسی کرده و این گونه نتیجه گرفته‌اند که به‌کارگیری این فناوری در گلخانه‌ها در ایران از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست (Noorollahi et al, 2016)، اما در زمینه پذیرش پمپ حرارتی زمین‌گرمایی و به طور کلی فناوری‌های جدید سرمایشی و گرمایشی در ایران تا زمان انجام این پژوهش، مطالعه‌ای یافت نشد.

به طور کلی، پذیرش فناوری‌های نوین سرمایشی و گرمایشی را می‌توان از سه زاویه بررسی کرد. اولین رویکرد، بررسی مشخصه‌های فناوری به عنوان پیشران اصلی است. رویکرد دوم، تحلیل متغیرهای روان‌شناختی در رفتارهای فرد است. سومین رویکرد نیز تحلیل ارزش‌ها به عنوان پیش‌بینی کننده انتخاب است (Sopha & Klockner, 2011).

در بسیاری از مطالعاتی که در زمینه پذیرش فناوری‌ها انجام شده است، مشخصه‌های درک‌شده فناوری تعیین‌کننده پذیرش یا عدم پذیرش (رد) فناوری بوده است (برای نمونه، Jeyaraj et al, 2006).

راجرز با تأکید بر فرایند پذیرش، ضمن ارائه الگوی فرایند پذیرش نوآوری، انتشار فناوری را فرایندی توصیف می‌کند که از طریق آن شخص تصمیم‌گیرنده، با گذار از مرحله دانش نسبت به یک نوآوری، به مرحله گرایش به سمت آن نوآوری وارد می‌شود (Rogers, 2003).

تاپانینن و دیگران (۲۰۰۹) نشان دادند که مشخصه‌های فناوری بر پذیرش فناوری گرمایش زیست‌توده از نوع گلوله چوب[8] در فنلاند تأثیر داشته است (Tapaninen et al, 2009).

همچنین مایکلسن و مادلنر (۲۰۱۰)، هزینه‌ها در قالب هزینه‌های سالیانه و هزینه سرمایه‌گذاری را عامل مهمی در پذیرش سیستم‌های گرمایشی

8. Wood Pellet Heating System

جدول ۱. نوع‌شناسی مطالعات پیشین

ردیف	منبع	عنوان	هدف	نوع تحقیق	روش و ابزار
ارائه مدل و تعیین معیارهای پذیرش فناوری‌ها	(Michelsen & Madlener, 2010)	Integrated Theoretical Framework for a Homeowner's Decision in Favor of an Innovative Residential Heating System	ارائه مدلی جهت بررسی پذیرش اجتماعی سیستم‌های گرمایشی در آلمان	کیفی	فراتحلیل
	(Assefa, G., & Frostell, 2007)	Social sustainability and social acceptance in technology assessment: A case study of energy technologies	ارائه رویکردی جهت بررسی پایداری سیستم‌های فنی شامل پایداری اجتماعی مورد مدیریت زباله	کمّی ـ کیفی	پرسش‌نامه تحلیل محتوا
	(Brohmann et al., 2007)	Factors influencing the societal acceptance of new, renewable and energy efficiency technologies	شناسایی عوامل زمینه‌ای و فرآیندی تأثیرگذار بر سطح پذیرش اجتماعی و موفقیت فنی ـ اقتصادی پروژه‌های فناوری‌های انرژی پایدار	کیفی	فراتحلیل بررسی گزارش‌ها و مصاحبه
	(Song, Kim & Han, 2013)	Risk communication in South Korea: Social acceptance of nuclear power plants (NPPs)	بررسی ارزیابی تأثیر کارایی، ریسک و کیفیت ارتباطات درک‌شده و اعتماد بر پذیرش اجتماعی	کمّی	پرسش‌نامه
تعیین میزان پذیرش فناوری	(Sopha et al, 2010)	Norwegian households' perception of wood pellet stove compared to air-to-air heat pump and electric heating	مقایسه پذیرش اجتماعی سه سیستم متداول گرمایشی	کمّی	پرسش‌نامه
	(Yuan, Zuo & Ma, 2011)	Social acceptance of solar energy technologies in China	بررسی پذیرش اجتماعی فناوری‌های خورشیدی در منازل از دید کاربران	کمّی	پرسش‌نامه
	(Moula et al., 2013)	Researching social acceptability of renewable energy technologies in Finland	اندازه‌گیری سطح فهم عمومی در پذیرش اجتماعی فناوری‌های تجدیدپذیر	کمّی	پرسش‌نامه ـ سه دسته سؤال: اطلاعات پیشین افراد، آگاهی آن‌ها از فناوری‌های تجدیدپذیر و میزان تمایل آن‌ها به سرمایه‌گذاری در این فناوری‌ها
	(Heras-Saizarbitoria, Zamanillo & Laskurain, 2013)	Social acceptance of ocean wave energy: A case study of an OWC shoreline plant	بررسی پذیریش اجتماعی تأسیسات تولید برق از امواج دریا	کیفی	مصاحبه محدود با افراد کلیدی با نمونه‌گیری غیرتصادفی

نوع	منبع	عنوان	هدف	نوع تحقیق	روش و ابزار
پیش‌بینی پذیرش سیستم‌های گرمایشی	(Devine-Wright, 2007)	Modeling the Diffusion of Innovative Heating Systems in Germany - Decision Criteria, Influence of Policy Instruments and Vintage Path Dependencies	پیش‌بینی آینده سیستم‌های گرمایشی در آلمان	کمّی ـ کیفی	شبیه‌سازی پرسش‌نامه از طریق اینترنت و نمونه‌گیری غیرتصادفی از کاربران در فروم‌های اینترنتی
	(Sopha et al., 2013)	Adoption and diffusion of heating systems in Norway: Coupling agent-based modeling with empirical research	پیش‌بینی آینده سیستم‌های گرمایشی در نروژ	کمّی ـ کیفی	پرسش‌نامه شبیه‌سازی Agent–based تحلیل کیفی و تجربی
	(Iniyan, Suganthi, & Samuel, 2001)	A survey of social acceptance in using renewable energy sources for the new millennium	مشخص کردن سطح پذیرش اجتماعی و مسائل به‌کارگیری منابع انرژی تجدیدپذیر در کاربردهای مختلف در آینده	کمّی	دلفی از طریق پرسش‌نامه
مرور و بررسی انتقادی سایر مطالعات	(Sahin, 2006)	Detailed review of Rogers' Diffusion of Innovations theory and educational technology-related studies based on Rogers' theory	معرفی خلاصه‌ای از مدل راجرز و تحقیقاتی که در این زمینه انجام شده	کیفی	بررسی محتوا
	(Rogers, Singhal & Quinlan 1999)	Diffusion of innovations An integrated approach to communication theory and research.	بررسی انتقادی تحقیقات انجام شده در زمینه اشاعه فناوری‌ها	کیفی	فراتحلیل کیفی
	(Devine-Wright, 2005)	Beyond NIMBYism: towards an Integrated Framework for Understanding Public Perceptions of Wind Energy	بررسی انتقادی مطالعات گذشته در زمینه پذیرش اجتماعی انرژی باد	کیفی	فراتحلیل بررسی مطالعات گذشته در این زمینه و تحلیل نقاط ضعف و قوت آن‌ها و استخراج و تحلیل یافته‌های مشترک آن‌ها

منبع: یافته‌های پژوهش

شناسایی کردند (Michelsen & Madlener, 2010).

در مطالعه دیگری، هزینه‌های سالانه، قابلیت اطمینان عملکردی، هزینه سرمایه‌گذاری و کیفیت هوای ایجادشده، مهم‌ترین معیارهای انتخاب یک سیستم گرمایشی در سوئد شناخته شد (Maha-patra et al, 2007).

در مطالعه دیگری، مشخصه‌هایی مانند راحتی درک‌شده، کارایی درک‌شده و قابلیت اطمینان، مهم‌ترین معیارهای رضایت از اجاق‌های چوبی شناخته شدند (Nyrud et al, 2008). در این مطالعه نیز، پذیرش فناوری پمپ حرارتی زمین‌گرمایی بر اساس مشخصه‌های این فناوری که رویکرد اصلی است بررسی خواهد شد و بر اساس مزیت نسبی این فناوری نسبت به فناوری‌های موجود، میزان پذیرش آن مشخص خواهد شد. از تأثیر متغیرهای روان‌شناختی و ارزشی در این مطالعه صرف نظر شده است.

در این پژوهش، هدف آن بوده که از منظر مصرف‌کننده و خرد به موضوع به‌کارگیری فناوری توجه شده؛ بنابر این از معیارهای پذیرش فناوری که مشتمل بر معیارهای اقتصادی، اجتماعی و فناورانه مهم برای کاربران توجه شده است و نه از منظر سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان کلان.

از این منظر اخیر، مدل‌های مختلفی مانند نظام‌های نوآوری فناورانه، تحلیل چندسطحی و مدیریت گذار در ادبیات مدیریت نوآوری توسعه داده شده است که در جای خود توسط محققین استفاده می‌شود.

۲. روش‌شناسی پژوهش

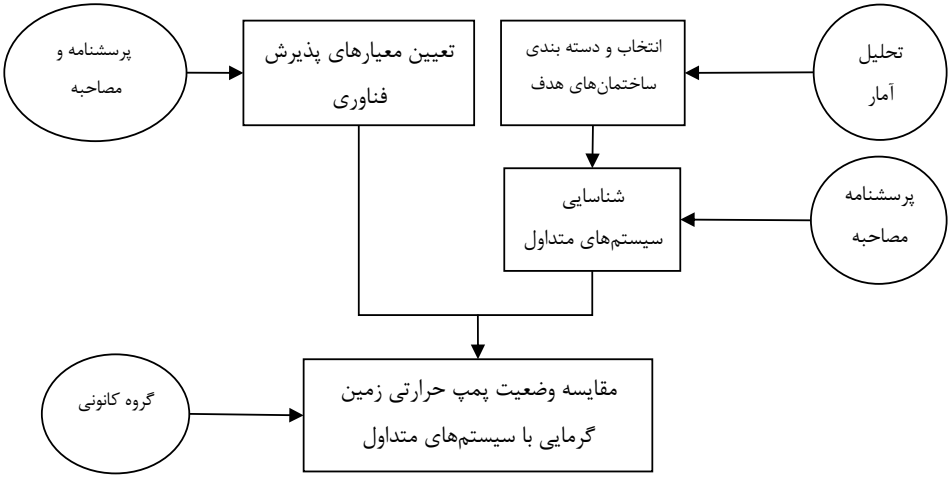
این مطالعه، پژوهشی کاربردی است که با روش ترکیبی (کمّی و کیفی) از نوع تبیینی انجام شده است. در طرح پژوهش ترکیبی تبیینی، پژوهشگر ابتدا داده‌های کمّی را گردآوری می‌کند و سپس برای پالایش نتایج داده‌های کمّی و تقویت آن از داده‌های کیفی استفاده می‌کند.

پژوهشگر داده‌های کمّی را از یک جامعه بزرگ گردآوری کرده و نتایج آن را از طریق نوعی موشکافی کیفی عمیق در مرحله دوم پالایش می‌کند (Kasanen & Lakshmanan, 1989).

استفاده از رویکرد ترکیبی زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که پژوهشگر قصد دارد که از نقاط قوت یک رویکرد برای جبران نقاط ضعف دیگری بهره برد. رویکرد کمّی بر اساس ابزار از پیش تعیین‌شده (مانند پرسش‌نامه) نتایج کمّی به دست می‌دهد.

در عین حال داده‌های کیفی با استفاده از شیوه‌های کیفی گردآوری داده‌ها مانند مصاحبه‌های عمیق و مشاهده، نگاه‌های متفاوت نسبت به موضوع را مطرح و تصویر پیچیده‌ای از پدیده ارائه می‌کند. ترکیب این دو با یکدیگر، تصویر بسیار قدرتمندی از پدیده مورد بررسی به دست خواهد داد (دانایی فرد، ۱۳۸۶).

تصویر شماره ۱ مراحل انجام مطالعه و ابزارهای مورد استفاده در هر مرحله را نشان می‌دهد. ابتدا با توجه به اینکه مشخصه‌های فناوری سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی از قبیل هزینه اولیه و الزامات فنی به‌کارگیری، بسته به اینکه در چه ساختمانی از لحاظ تعداد واحد مورد استفاده قرار می‌گیرد، متفاوت است، نوع ساختمان‌های هدف مشخص شد. برای این کار با تحلیل آمار و ارقام موجود، سه دسته ساختمان چهار واحدی، ده واحدی و چهل واحدی به عنوان نماینده ساختمان‌های کوچک، متوسط و بزرگ شهر تهران انتخاب شد.



تصویر ۱. مراحل انجام پژوهش و ابزارهای مورداستفاده پژوهش

سپس سیستم‌های متداول مورد استفاده در ساختمان‌های هدف و مهم‌ترین معیارهای انتخاب سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی ساختمان با استفاده از پرسش‌نامه توسط طراحان و سازندگان تکمیل شده و سپس با استفاده از مصاحبه‌های عمیق نیمه‌ساختاریافته با تعدادی از ایشان نتایج تدقیق و تکمیل شد.

علاوه بر آن، نتایج پرسش‌نامه‌ها و مصاحبه‌ها برای تحلیل نتایج در اختیار گروه کانونی[9] قرار گرفت. این گروه کانونی متشکل از هشت نفر از خبرگان صنعت و دانشگاه شامل سه نفر از تولیدکنندگان سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی و سه نفر از استادان دانشگاه در رشته‌های فنی مرتبط و دو نفر از استادان دانشگاه در رشته مدیریت فناوری بود که در زمینه پمپ حرارتی زمین‌گرمایی تخصص کافی داشتند.

گروه کانونی، یک روش کیفی است که بین روش مصاحبه شخصی و یا انفرادی با روش مشارکتی قرار دارد. هدف در این روش، روشن کردن تمام بخش‌ها و ابعاد مسئله و تحلیل نتایج به‌دست‌آمده از پرسش‌نامه‌ها و مصاحبه‌های انجام شده است.

این روش به عنوان یک روش علمی دارای ارزش عملی و نظری به صورت توأمان است. کاربرد عملی این روش، معمولاً برای تصمیم‌سازی است و کاربرد نظری آن با هدف توسعه نظریه و یا تأیید آن و یا تعمیم نتایج یک پژوهش موردی با هدف کاربرد نظری است (دانایی‌فرد، ۱۳۸۶).

پرسش‌نامه‌ها شامل دو بخش و ۲۳ سؤال می‌شد. بخش اول، به تعیین سیستم‌های گرمایشی (بخاری گازی، پکیج، گرمایش مرکزی بویلر (شوفاژ متصل به موتورخانه)، اسپلیت و سایر) و سرمایشی (کولر آبی، کولر گازی، اسپلیت، چیلر، سایر) مورد استفاده توسط در هر دسته از ساختمان‌ها اختصاص داشت

9. Focus Group

جدول ۲. مشخصات افراد مصاحبه‌شونده (سازندگان ساختمان)

نوع ساختمان	منطقه فعالیت	تعداد	نوع ساختمان	منطقه فعالیت	تعداد
برج	شمال تهران	۲	متوسط	میانی و شمال تهران	۳
متوسط	شمال تهران	۱	متوسط	کل تهران	۱
متوسط و کوچک	مناطق میانی و جنوب تهران	۱	متوسط و برج	میانی و شمال تهران	۱
متوسط و کوچک	کل تهران	۱	کوچک	جنوب تهران و شهر ری	۱

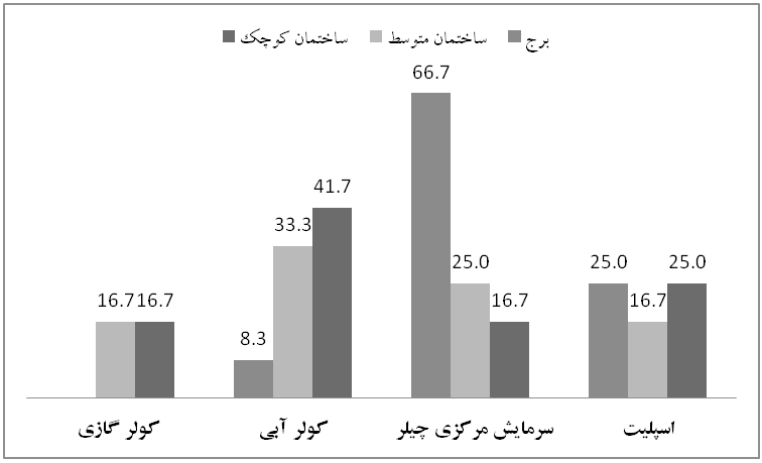
منبع: یافته‌های پژوهش

که شامل شش سؤال می‌شد (سه سؤال برای تعیین سیستم‌های گرمایشی و سه سؤال برای تعیین سیستم‌های سرمایشی).

بخش دوم نیز شامل هفده سؤال جهت تعیین میزان اهمیت هریک از معیارها در انتخاب سیستم سرمایشی و گرمایشی می‌شد که در هر معیار پاسخ‌دهنده می‌بایست اهمیت آن معیار را در یک طیف چهار بخشی از «بی‌اهمیت» تا «اهمیت زیاد» مشخص کند. روایی پرسش‌نامه توسط تأیید خبرگان با روش دلفی و پایایی آن از طریق محاسبه آلفای کرونباخ (برابر ۰/۸۱) مورد تأیید قرار گرفت.

تجزیه و تحلیل داده‌های پرسش‌نامه به صورت کمّی و آماری با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و Spss نسخه 19 انجام شده است. همچنین همه داده‌ها اعم از کمّی و کیفی مورد تجزیه و تحلیل کیفی قرار گرفته است.

تصویر ۲. سیستم‌های گرمایشی متداول در ساختمان‌های نوساز (درصد)



تصویر ۳. سیستم‌های سرمایشی متداول در ساختمان‌های نوساز (درصد)

۱.۲. جامعه و نمونه آماری

در بیشتر مطالعات بین‌المللی که درباره پذیرش فناوری‌های سرمایشی و گرمایشی انجام شده، جامعه آماری استفاده‌کنندگان و کاربران نهایی این سیستم‌ها شامل خانوارها و مالکین ساختمان‌ها هستند، اما در ایران، استفاده‌کنندگان نهایی ساختمان‌ها، عموماً تصمیم‌گیرنده اصلی در زمینه انتخاب سیستم سرمایشی و گرمایشی ساختمان نیستند و توان و یا تمایل ایجاد تغییرات چندانی در سیستم‌های اولیه‌ای که توسط طراح و سازنده ساختمان طراحی و زیرساخت آن فراهم شده است، ندارند.

بنابراین با توجه به اینکه ملاک انتخاب جامعه آماری، تصمیم‌گیرنده[10] است (حافظنیا، ۱۳۹۳)، سازندگان و طراحان ساختمان‌ها به عنوان جامعه آماری این مطالعه انتخاب شدند. مطالعه اولیه انجام‌شده توسط پژوهشگران نیز این مطلب را تأیید کرد. به طوری که یک پرسش‌نامه مخصوص کاربران و مالکین ساختمان‌ها و یک پرسش‌نامه مخصوص

10. Decider

جدول ۳. سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی متداول

نوع ساختمان	سیستم گرمایشی متداول	سیستم سرمایشی متداول
کوچک (چهار واحدی)	پکیج	کولر آبی
متوسط (ده واحدی)	پکیج	کولر آبی
بزرگ (چهل واحدی)	گرمایش مرکزی بویلر	سرمایش مرکزی چیلر

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۴. معیارهای موردبررسی در مطالعات پیشین

معیار موردمطالعه	نمونه منابع
هزینه اولیه	(ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۰، ۱۳۹۲)، (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۴)، (اطلاعات پروانه‌های ساختمانی صادرشده توسط شهرداری‌های کشور پاییز ۱۳۹۴)، (von, 2012)، (Michelsen & Madlener, 2010)
هزینه عملیاتی	(Sopha, Klöckner, & Hertwicha, 2013)، (Krushna Mahapatra, Gustavsson, & Nair, 2009)، (Michelsen & Madlener, 2010)، (Michelsen & Madlener, 2012)، (von, 2012)، (Kasanen & Lakshmanan, 1989)، (K Mahapatra, Gustavsson, & Madlener, 2007)، (Sopha, Klockner, Skjevrak, & Hertwich, 2010)
هزینه سوخت مصرفی	(Sopha et al., 2013)، (Krushna Mahapatra et al., 2009)، (Michelsen & Madlener, 2010)، (Michelsen & Madlener, 2012)
قابلیت اطمینان عملکردی	(Heiskanen, Matschoss, Kuusi, & Centre, 2014)، (Sopha et al., 2013)، (K Mahapatra et al., 2007)، (Nyrud, Roos, & Sande, 2008)
پیشنهاد توسط دیگران	(Michelsen, 2012 & Madlener, Homeowners)
کیفیت هوای ایجادشده	(Sopha et al., 2010)، (Krushna Mahapatra et al., 2009)، (K Mahapatra et al., 2007)، (Sopha, Klöckner, & Hertwicha, 2013)، (Nyrud et al., 2008)، (Sopha et al., 2010)
سادگی و سهولت استفاده	(Krushna Mahapatra et al., 2009)
تطابق با زیرساخت انرژی موجود	(Nyrud et al., 2008)
فضا و زیرساخت مورد نیاز	(Michelsen & Madlener, 2010)
میزان خودکار بودن سیستم	(Michelsen & Madlener, 2010)
نوع سوخت مصرفی	(Michelsen & Madlener, 2010)
تأثیر زیست‌محیطی	(Michelsen & Madlener, 2010)، (Michelsen & Madlener, 2012)، (Michelsen & Madlener, 2010)
پیشنهاد و نظر دیگران	(Michelsen & Madlener, 2010)
نگهداری و تعمیرات مورد نیاز	(Krushna Mahapatra et al., 2009)
در دسترس بودن سوخت مورد نیاز	(Michelsen & Madlener, 2010)
ایجاد راحتی بیشتر	(Sopha et al., 2010)
هزینه ـ منفعت	(Sopha et al., 2010)
یارانه و سیاست‌های حمایتی دولت	(Heiskanen et al., 2014)، (Heiskanen et al., 2014)
کار مورد نیاز برای استقرار سیستم	(Sopha, Klöckner, 2013, & Hertwicha)
تأثیر بر ارزش ساختمان	(von, 2012)

منبع: یافته‌های پژوهش

طراحان و سازندگان ساختمان طراحی شد و نمونه اولیه‌ای از هر دو دسته انتخاب شد و نتایج مورد مقایسه قرار گرفت.

ملاحظه شد که کاربران نهایی و مالکین ساختمان‌ها عموماً به گونه‌ای ایده‌آل‌گرایانه اقدام به تکمیل پرسش‌نامه و اولویت‌بندی معیارها کرده بودند و نتایج با واقعیات بیرونی اتفاق افتاده در ساختمان‌ها هماهنگی چندانی نداشت.

نمونه‌گیری با استفاده از روش غیرتصادفی گلوله برفی انجام شده است. بدین صورت که تعدادی از سازندگان و طراحان مسکن که در مناطق مختلف شهر تهران در مقیاس مختلف مشغول فعالیت بودند، انتخاب شدند و پرسش‌نامه به صورت فیزیکی یا به صورت رایانامه برای آن‌ها ارسال شد.

همچنین از آن‌ها خواسته شد که همکاران دیگری را که توان و تمایل تکمیل پرسش‌نامه را داشتند معرفی کنند تا پرسش‌نامه برای ایشان نیز ارسال شود. در مجموع تعداد ۳۲ پرسش‌نامه کامل دریافت شد. از لحاظ جمعیت‌شناختی تمامی پاسخ‌دهندگان مرد بوده و ۶۹ درصد دارای تحصیلات لیسانس و ۳۱ درصد فوق لیسانس یا بالاتر داشتند و ۱۹ درصد کمتر از پنج سال، ۵۳ درصد بین پنج تا ده سال و ۲۸ درصد بیش از ده سال دارای سابقه بودند.

برای انتخاب افراد به منظور مصاحبه عمیق از بین تکمیل‌کنندگان پرسش‌نامه نیز سعی شد افرادی انتخاب شوند که دارای سابقه طولانی (حداقل ده سال) در زمینه ساخت‌وساز بوده و در مقیاس مختلف (کوچک، متوسط و برج) مشغول فعالیت باشند. تعداد افراد مصاحبه‌شونده یازده نفر بودند که مشخصات آن‌ها در جدول ۲. مشخصات افراد مصاحبه‌شونده (سازندگان ساختمان) ارائه شده است.

مهم‌ترین سؤالاتی که در مصاحبه نیمه‌ساختاریافته مطرح شد، عبارت‌اند از:

- سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی که در ساختمان‌های کوچک استفاده می‌کنید، کدام است (آیا نتایج به‌دست‌آمده از پرسش‌نامه سازندگان و طراحان را تأیید می‌کنید)؟
- سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی که در ساختمان‌های متوسط استفاده می‌کنید، کدام است (آیا نتایج به‌دست‌آمده از پرسش‌نامه سازندگان و طراحان را تأیید می‌کنید)؟
- سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی که در ساختمان‌های بزرگ استفاده می‌کنید، کدام است (آیا نتایج به‌دست‌آمده از پرسش‌نامه سازندگان و طراحان را تأیید می‌کنید)؟
- چه معیارهایی را برای انتخاب سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی در ساختمان‌ها مورد نظر قرار می‌دهید (آیا نتایج به‌دست‌آمده از پرسش‌نامه سازندگان و طراحان را تأیید می‌کنید)؟
- با توجه به ویژگی‌های پمپ حرارتی زمین‌گرمایی، در چه صورت حاضرید از آن در ساختمان‌هایی که می‌سازید یا طراحی می‌کنید استفاده کنید؟ چه موانعی برای به‌کارگیری این سیستم‌ها در ساختمان‌های نوساز تهران می‌بینید؟

هریک از مصاحبه‌ها بین ۳۰ تا ۶۰ دقیقه به طول انجامید و مصاحبه‌شوندگان برای پاسخ به سؤالات محدودیتی نداشتند.

جدول ۵. معیارهای اولیه

ردیف	معیار
۱	هزینه اولیه (قیمت، هزینه نصب و راه‌اندازی و غیره)
۲	در دسترس بودن سوخت و یا انرژی مصرفی سیستم
۳	هزینه نگهداری و تعمیرات
۴	میزان مصرف برق
۵	میزان مصرف گاز
۶	میزان مصرف آب
۷	قوانین و مقررات (منع یا الزام)
۸	تطابق با زیرساخت‌های صنعتی کشور (وجود صنایع داخلی مرتبط)
۹	کیفیت هوای ایجادشده
۱۰	سادگی و سهولت استفاده
۱۱	تأثیر بر محیط زیست
۱۲	استفاده وسیع توسط دیگران
۱۳	میزان استفاده از فضای مفید ساختمان
۱۴	ایمنی
۱۵	در دسترس بودن خدمات مرتبط (مانند نصب، راه‌اندازی، خدمات پس از فروش، فروش قطعات و غیره)
۱۶	میزان تبلیغات رسانه‌ای
۱۷	هم‌خوانی با عادات، هنجارها و سبک زندگی

منبع: یافته‌های پژوهش

۳. یافته‌های پژوهش

در این بخش به تبیین یافته‌های پژوهش پرداخته می‌شود.

۱.۳. انتخاب نوع ساختمان

در انتخاب نوع ساختمان جهت بررسی با توجه به اینکه بخش خانگی در حدود ۳۰ درصد از مصرف برق و ۴۰ درصد از مصرف گاز طبیعی کشور را به خود اختصاص داده است، ساختمان‌های مسکونی

جدول ۶. معیارهای مهم از دید پاسخ‌دهندگان

ردیف	معیار	فراوانی (درصد)
۱	هزینه اولیه	۸۱
۲	کیفیت هوای خروجی	۶۳
۳	سادگی و سهولت استفاده	۳۸
۴	میزان استفاده از فضای مفید ساختمان	۳۸
۵	مصرف گاز	۲۸
۶	هزینه نگهداری و تعمیرات	۲۸
۷	مصرف برق	۱۹
۸	استفاده وسیع توسط دیگران	۱۹
۹	دسترسی به خدمات مرتبط	۱۹
۱۰	ایمنی	۹
۱۱	مصرف آب	۹
۱۲	تطابق با زیرساخت‌های صنعتی کشور	۹
۱۳	تبلیغات رسانه‌ای	۹
۱۴	در دسترس بودن سوخت و یا انرژی مصرفی سیستم	۹
۱۵	قوانین و مقررات (منع یا الزام)	۹
۱۶	تأثیر بر محیط زیست	۹
۱۷	هم‌خوانی با عادات، هنجارها و سبک زندگی	۶

منبع: یافته‌های پژوهش

جهت بررسی انتخاب شد. همچنین با توجه به اینکه استان تهران به عنوان بزرگ‌ترین مرکز جمعیتی کشور با داشتن بیشترین تعداد واحد مسکونی (ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۰، ۱۳۹۲) بیشترین «میزان» و «سرانه» مصرف برق و گاز طبیعی در بخش خانگی را به خود اختصاص داده است (چکیده یافته‌های طرح آمارگیری از مصرف حامل‌های انرژی در بخش خانوار در نقاط شهری- ۱۳۹۰، ۱۳۹۱) و همچنین شباهت اقلیمی زیاد آن با بخش وسیعی از نواحی مرکزی و شرقی کشور، این استان به عنوان ناحیه جغرافیایی مورد بررسی انتخاب شد.

جدول ۷. شاخص قابل مقایسه معیارها

معیار	شاخص قابل مقایسه
هزینه اولیه	هزینه سرمایه‌گذاری اولیه
استقلال بهره‌برداری	استقلال در بهره‌برداری تأسیسات و تجهیزات، کنترل سیستم و مصرف انرژی میان واحدهای یک ساختمان
کیفیت هوای خروجی	شاخص‌های آسایش حرارتی و کیفیت هوای داخلی

منبع: یافته‌های پژوهش

از لحاظ نوساز و یا موجود بودن ساختمان‌های مورد بررسی نیز بایستی به این نکته توجه کرد که از لحاظ فنی استقرار سیستم پمپ حرارتی زمین‌گرمایی در ساختمان‌های موجود در بخش عمده‌ای از تهران به دلیل تراکم زیاد با مشکلات متعددی از قبیل انتقال و استفاده از تجهیزات حفاری همراه است، به طوری که عملاً استفاده از این سیستم‌ها را در ساختمان‌های موجود، به‌ویژه آپارتمان‌ها غیرممکن و یا بسیار پرهزینه و مشکل می‌کند.

بنابراین تمرکز مطالعه بر ساختمان‌های نوساز قرار داده شد. قابل ذکر است در سال ۱۳۹۴ شهر تهران به تنهایی ۲۳ درصد از کل پروانه‌های ساخت واحدهای مسکونی در نقاط شهری کشور را به خود اختصاص داده است.

همچنین با توجه به در دسترس نبودن آمار دقیق توزیع تعداد واحدهای مسکونی در ساختمان‌ها، به منظور سهولت در محاسبات، ساختمان‌های چهار واحدی به عنوان ساختمان کوچک، ساختمان‌های ده واحدی به عنوان ساختمان متوسط و ساختمان‌های چهل واحدی به عنوان ساختمان بزرگ مورد بررسی قرار گرفت.

۲.۳. سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی متداول

نسبت سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی مورد استفاده توسط سازندگان و طراحان پاسخ‌دهنده در تهران در تصاویر شماره ۲ و ۳ نشان داده شده است. سیستم گرمایشی متداول در برج‌ها، گرمایش مرکزی بویلر و در ساختمان‌های متوسط و کوچک پکیج است (تصویر شماره ۲). متداول‌ترین سیستم سرمایشی نیز در برج‌ها، سرمایش مرکزی چیلر و در ساختمان‌های متوسط و کوچک کولر آبی است (تصویر شماره ۳).

با توجه به تأیید نتایج توسط مصاحبه‌شوندگان، پمپ حرارتی زمین‌گرمایی در ساختمان‌های هدف با سیستم‌های ذیل (جدول ۳. سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی متداول) مقایسه شد.

۳.۳. تعیین معیارها

برای تعیین معیارهای انتخاب سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی در تهران ابتدا معیارهایی که در مطالعات پیشین مورد استفاده قرار گرفته‌اند، استخراج شد (جدول ۴. معیارهای موردبررسی در مطالعات پیشین.

برای شروع کار از میان معیارهای فوق به‌دست‌آمده

جدول ۸. مقایسه هزینه اولیه سیستم‌ها

نوع ساختمان	چهار واحدی	ده واحدی	چهل واحدی
هزینه اولیه سیستم سرمایشی	برای هر واحد یک دستگاه کولر آبی آبسال مدل ACDC۸۰ به قیمت ۱,۱۸۸,۰۰۰ تومان	برای هر واحد یک دستگاه کولرآبی آبسال مدل ACDC۸۰ به قیمت ۱,۱۸۸,۰۰۰ تومان	چیلر شرکت زهش مدل ۱۴۲B به مبلغ ۱۲۰,۰۰۰,۰۰۰ تومان
هزینه اولیه سیستم گرمایشی	برای هر واحد یک دستگاه پکیج Bosch مدل Classic ۲۴FF به قیمت ۲,۴۸۰,۰۰۰ تومان	برای هر واحد یک دستگاه پکیج Bosch مدل Classic ۲۴FF به قیمت ۲,۴۸۰,۰۰۰ تومان	برای کل ساختمان دو دستگاه بویلر شرکت آرمنکو مدل Arm.H.۲۰۰ هریک به مبلغ ۱۲,۹۰۰,۰۰۰ تومان دو مشعل بوتان هریک به مبلغ ۱,۹۰۰,۰۰۰ تومان، هزینه کل سیستم با احتساب مالیات بر ارزش افزوده ۲۹,۶۰۰,۰۰۰ تومان
مجموع	۱۴,۶۷۲,۰۰۰ تومان	۳۶,۶۸۰,۰۰۰ تومان	۴۱۶,۰۰۰,۰۰۰ تومان
هزینه اولیه پمپ حرارتی زمین‌گرمایی	۱۰۲,۰۰۰,۰۰۰ تومان	۱۹۸,۰۰۰,۰۰۰ تومان	۶۸۰,۰۰۰,۰۰۰ تومان
نسبت پمپ حرارتی به سیستم متداول	تقریباً ۷ برابر	تقریباً ۵ برابر	۱,۶ برابر

منبع: یافته‌های پژوهش (هزینه‌ها به قیمت پایه سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ است)

از ادبیات، تیم تحقیق با بررسی شرایط بومی کشور و بررسی احتمال وجود داده‌های قابل اطمینان در فرایند تحقیق، معیارهایی را انتخاب و پرسش‌نامه اولیه‌ای را طراحی کرد و سپس با کمک تعدادی از متخصصان بخش زمین‌گرمایی سازمان ساتبا، آن را در یک فرایند رفت و برگشتی تصحیح و تکمیل کرد. درنهایت هفده معیار به عنوان معیارهای اولیه جهت استفاده در مطالعه میدانی انتخاب شد (جدول ۵. معیارهای اولیه).

جدول ۹. مقایسه وضعیت پمپ حرارتی زمین‌گرمایی با سیستم‌های متداول

سیستم رقیب	وضعیت پمپ حرارتی زمین‌گرمایی در مقایسه با سیستم رقیب		
	هزینه اولیه	استقلال بهره‌برداری	کیفیت هوای خروجی
کولر آبی	ضعیف‌تر	ضعیف‌تر	برتر
پکیج	ضعیف‌تر	ضعیف‌تر	برتر
چیلر	ضعیف‌تر	برتر	برتر
بویلر	ضعیف‌تر	برتر	برتر

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۱۰. موانع مهم پذیرش فناوری پمپ حرارتی زمین‌گرمایی

ردیف	مانع
۱	هزینه اولیه بالا
۲	ناشناخته بودن سیستم
۳	عدم اطمینان کارکردی
۴	پیچیدگی فناوری
۵	مشکلات حفاری
۶	مشکلات نصب و نگهداری
۷	عدم وجود نیروی ماهر

منبع: یافته‌های پژوهش

این معیارها در پرسش‌نامه طراحان و سازندگان مسکن مورد بررسی و اولویت‌بندی قرار گرفت تا مشخص شود چه معیارهایی در انتخاب سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی در تهران از منظر پاسخ‌دهندگان بیشترین تأثیر را دارند.

در جدول ۶. معیارهای مهم از دید پاسخ‌دهندگان، اولویت‌بندی معیارها بر اساس درصد افرادی که هر معیار را به عنوان معیار «با اهمیت زیاد» انتخاب کرده‌اند، نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، معیارهای «هزینه اولیه» و «کیفیت هوای خروجی» معیارهایی هستند که با فاصله زیادی بیشترین اهمیت را از دیدگاه پاسخ‌دهندگان دارد.

از طرفی هیچ یک از معیارهای دیگر نیز از نظر حداقل ۵۰ درصد پاسخ‌دهندگان دارای «اهمیت زیاد» نیست؛ بنابراین می‌توان گفت تنها دو معیار هزینه اولیه و کیفیت هوای خروجی از نظر پاسخ‌دهندگان دارای اهمیت زیاد است.

با ارائه نتایج به مصاحبه‌شوندگان که تعدادی از سازندگان با سابقه‌ای بودند و در پاسخ به پرسش‌نامه‌ها هم مشارکت داشتند، هشت نفر از آنان نتایج پرسش‌نامه را مورد تأیید قرار دادند، اما تأکید کردند که در شهرهای بزرگ ایران مانند تهران به دلیل شرایط فرهنگی و ضعف فرهنگ آپارتمان‌نشینی، «مستقل بودن بهره‌برداری» سیستم، ازجمله معیارهای بسیار مهم است.

بدین معنی که مصرف، کنترل و هزینه‌های سیستم در هر واحد، مستقل از سایر واحدهای مسکونی موجود در ساختمان انجام و محاسبه شود؛ بنابراین سازندگان نیز ناچارند این معیار را به عنوان یکی از مهم‌ترین معیارها در انتخاب سیستم‌ها مورد نظر قرار دهند.

سه نفر دیگر از مصاحبه‌شوندگان عنوان کردند که معیارهای هزینه اولیه و استقلال بهره‌برداری سیستم مهم هستند، اما کیفیت هوای خروجی را تنها درخصوص ساختمان‌های گران‌قیمت مورد تأکید قرار می‌دهند و تأکید کردند «میزان استفاده

از فضای مفید ساختمان» معیار مهم‌تری نسبت به «کیفیت هوای خروجی» برای ساختمان‌های کوچک است.

بدین ترتیب درنهایت سه معیار هزینه اولیه، استقلال بهره‌برداری و کیفیت هوای خروجی به عنوان مهم‌ترین معیارهای تأثیرگذار بر انتخاب سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی انتخاب شدند.

۴.۳. تعیین وضعیت پمپ حرارتی زمین‌گرمایی در مقایسه با سیستم‌های متداول کنونی

برای اینکه یک فناوری سرمایشی و گرمایشی جدید بتواند در وضعیت کنونی توسط سازندگان و طراحان مسکن مورد پذیرش قرار گیرد، لازم است در معیارهای اصلی شناسایی‌شده برای انتخاب این سیستم‌ها وضعیتی بالاتر و یا مشابه با سیستم‌های متداول داشته باشد.

بنابراین اگر پمپ حرارتی زمین‌گرمایی از نظر هزینه اولیه، استقلال بهره‌برداری و کیفیت هوای خروجی وضعیتی بهتر یا برابر با هریک از سیستم‌های متداول داشته باشد، می‌توان انتظار داشت که مورد پذیرش قرار گیرد. به منظور مقایسه پمپ حرارتی زمین‌گرمایی با فناوری‌های متداول، شاخص قابل مقایسه معیارهای فوق مطابق با جدول ۷. شاخص قابل مقایسه معیارها در نظر گرفته شد.

هزینه اولیه: جدول ۸. مقایسه هزینه اولیه سیستم‌ها میزان هزینه اولیه برای پمپ حرارتی زمین‌گرمایی و هریک از سیستم‌های متداول در هر دسته از ساختمان‌ها را نشان می‌دهد[۱۱].

برآورد هزینه پمپ حرارتی زمین‌گرمایی با استعلام از یکی از شرکت‌های داخلی مجری این سیستم‌ها برآورد شده است. قیمت ارائه‌شده توسط این شرکت با در نظر گرفتن متوسط جنس زمین و متراژ واحدهای مسکونی در تهران و شامل هزینه پمپ حرارتی، حفاری، لوله‌گذاری، مبدل زمینی و نصب و راه‌اندازی است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در ساختمان‌های کوچک و متوسط تفاوت هزینه اولیه بسیار زیاد است، اما در ساختمان‌های بزرگ تفاوت کمتر و در حدود ۶۰ درصد است. در هر صورت در همه ساختمان‌ها هزینه اولیه پمپ حرارتی زمین‌گرمایی بیشتر از سیستم‌های متداول است.

این نتیجه غیرطبیعی نیست، چراکه در مناطقی از دنیا که پمپ حرارتی زمین‌گرمایی به عنوان یک سیستم متداول مورد استفاده قرار می‌گیرد نیز این سیستم جزو سیستم‌های با هزینه اولیه بالا، اما هزینه عملیاتی و مصرف کم در مقایسه با سایر سیستم‌ها پذیرفته شده است (برای نمونه Michelsen, 2010 & Madlener) در مورد کشور آلمان).

استقلال بهره‌برداری: کولرهای آبی و پکیج‌ها به گونه‌ای هستند که برای هر واحد از ساختمان به طور کاملاً مجزا نصب و بهره‌برداری می‌شوند و تقریباً هیچ‌گونه اشتراکی از لحاظ مصرف و کنترل با سایر واحدهای ساختمان ندارند، اما بویلر و چیلر دارای زیرساخت‌های مشترک برای کل ساختمان هستند.

در این سیستم‌ها گرما یا سرما در یک نقطه مرکزی تولید می‌شود، اما کنترل مصرف در هر واحد از ساختمان مجزا انجام می‌گیرد. در مورد سیستم پمپ حرارتی این امکان وجود دارد که کل ساختمان فقط در مبدل زمینی مشترک باشند و برای هر واحد از ساختمان از پمپ حرارتی مجزایی

۱۱. برآوردها بر اساس قیمت‌های سال ۱۳۹۴ است.

استفاده کرد؛ بنابراین از لحاظ استقلال بهره‌برداری در جایی پایین‌تر از کولر آبی و پکیج و بالاتر از چیلر و بویلر قرار دارد.

کیفیت هوای خروجی: کیفیت هوای خروجی یک سیستم سرمایشی / گرمایشی و تهویه مطبوع با ارزیابی شاخص‌هایی مانند آسایش حرارتی و کیفیت هوای داخلی ایجادشده توسط آن ارزیابی می‌شود. با توجه به اینکه مطالعه‌ای درخصوص مقایسه کیفیت هوای خروجی پمپ حرارتی زمین‌گرمایی با سایر سیستم‌های متداول در ایران انجام نشده است، برای انجام مقایسه از اعضای گروه کانونی به علاوه چهار نفر دیگر از استادان دانشگاه در حوزه طراحی تأسیسات سرمایشی و گرمایشی نظرخواهی شد.

این افراد کیفیت هوای ایجادشده توسط پمپ حرارتی زمین‌گرمایی را در مقایسه با کولرآبی، پکیج، بویلر و چیلر برتر ارزیابی کردند. خلاصه وضعیت پمپ حرارتی زمین‌گرمایی در مقایسه با سیستم‌های متداول در جدول شماره ۹ نشان داده شده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، پمپ حرارتی زمین‌گرمایی در ساختمان‌های کوچک و متوسط تنها در کیفیت هوای خروجی بر سیستم‌های متداول برتری دارد. در صورتی که در ساختمان‌های بزرگ تنها در هزینه اولیه با تفاوتی بسیار کمتر از ساختمان‌های کوچک و متوسط نسبت به سیستم‌های متداول ضعیف‌تر است و در دو معیار دیگر برتری دارد.

این بدان معنی است که با توجه به سرشکن شدن هزینه اولیه بخش‌های مشترک در ساختمان‌های بزرگ به واحدها، اگر تفاوت هزینه به گونه‌ای جبران شود و یا در ساختمان‌های گران‌قیمت بزرگ، می‌توان انتظار داشت حتی در شرایط فعلی نیز این فناوری برای کاربرد در ساختمان‌های بزرگ مورد پذیرش قرار گیرد.

البته صرف برتری در سه معیار مورد بررسی موجب پذیرش قطعی فناوری نخواهد شد. معیارهای سه‌گانه یادشده، مهم‌ترین معیارها هستند که وجود برتری در آن‌ها می‌تواند فرایند پذیرش و انتشار فناوری را هموار کند. علاوه بر آن، لازم است سایر موانعی که در مسیر پذیرش و انتشار فناوری وجود دارد نیز برطرف شود.

در مصاحبه با سازندگان مسکن معرفی مختصری از پمپ حرارتی زمین‌گرمایی انجام شد و از آن‌ها پرسیده شد آیا حاضرند از چنین سیستمی در ساختمان‌های خود استفاده کنند؟ شش نفر از مصاحبه‌شوندگان در پاسخ عنوان کردند چنانچه دغدغه‌های موجود در مورد کاربرد این فناوری برطرف شود، حاضر به استفاده از آن هستند.

در جدول ۱۰. موانع مهم پذیرش فناوری پمپ حرارتی زمین‌گرماییمهم‌ترین موانع و دغدغه‌هایی که برای پذیرش این فناوری از نظر سازندگان مسکن وجود دارد، آورده شده است.

٤. بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه، با هدف بررسی پذیرش فناوری‌های نوپدید، پذیرش فناوری پمپ حرارتی زمین‌گرمایی در شهر تهران، به عنوان یک مطالعه موردی انتخاب شد. در این راستا، مهم‌ترین معیارهای پذیرش سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی در ساختمان‌های مسکونی، شناسایی و با توجه به آن، وضعیت پمپ حرارتی زمین‌گرمایی نسبت به سیستم‌های متداول کنونی مورد بررسی قرار گرفت.

پمپ حرارتی زمین‌گرمایی به عنوان یک فناوری با هزینه اولیه زیاد و هزینه عملیاتی و مصرف انرژی

کم در دنیا شناخته شده است، اما در ایران با توجه به اینکه سازندگان مسکن، تصمیم‌گیرنده اصلی در زمینه انتخاب سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی هستند و این افراد به هزینه اولیه (و یا نسبت هزینه اولیه به ارزش‌افزوده آن روی قیمت ساختمان) بیش از هر چیزی اهمیت می‌دهند، در وضعیت کنونی هزینه عملیاتی و مصرف انرژی کم آن، تأثیر چندانی در پذیرش این فناوری در ساختمان‌های مسکونی ندارد.

بنابراین هزینه اولیه بالا مهم‌ترین مانع پذیرش این فناوری در شرایط فعلی است. بنابر نتایج این پژوهش، به‌کارگیری این فناوری در ساختمان‌های کوچک و متوسط در شرایط کنونی شانس زیادی برای پذیرش ندارد، اما در ساختمان‌های بزرگ، با توجه به برتری در کیفیت هوای خروجی و مزیت استقلال بهره‌برداری در ساختمان‌های بزرگ، از امکان پذیرش بالایی برخوردار است.

البته برای گسترش به‌کارگیری موانعی از قبیل مشکلات حفاری و آموزش نیروی ماهر و مانند آن نیاز است که در سیاست‌های حمایتی دولتی به آن توجه کرد و حمایت و یارانه دولتی در کنار شرکت‌های نوآور و صاحبان / سازندگان ساختمان عوامل پیشران اصلی هستند. همچنین دانش مورد نیاز و مهارت‌ها بایستی توسعه یابد (Heiskanen, Matschoss, Kuusi, & Centre, 2014).

چنانچه تفاوت هزینه اولیه از طریق کمک‌های دولتی جبران شود (مانند آنچه در برخی از کشورهای دیگر در حال انجام است)، می‌توان انتظار داشت تمایل سازندگان مسکن به پمپ حرارتی زمین‌گرمایی بسیار بیشتر شود.

مثلاً دولت چین برای توسعه فناوری پمپ حرارتی زمین‌گرمایی در این کشور، هزینه اولیه آن را برای کاربرد در ساختمان‌های عمومی مانند مدارس، بیمارستان‌ها و ادارات دولتی تأمین می‌کند. برای سایر ساختمان‌ها نیز بخشی از هزینه اولیه را به صورت یارانه به ازای هر مترمربع زیربنا تأمین می‌کند (Navigant Consulting, Inc., 2009).

همچنین تجربه‌های اولیه و پروژه‌های نمونه از به‌کارگیری فناوری مهم هستند و تجربه‌های اولیه منفی می‌تواند فرایند پذیرش فناوری را متوقف کند (Heiskanen et al., 2014). برای جلوگیری از این مسئله، نمونه‌های اولیه می‌تواند توسط دولت و با مطالعه کافی و کاملاً کاربردی طراحی و اجرا شود.

دولت چین در سال‌های اولیه معرفی این فناوری در این کشور چند پروژه بزرگ را به تنهایی و یا با کمک‌های بین‌المللی، ازجمله نصب و راه‌اندازی پمپ حرارتی زمین‌گرمایی در یک مجتمع آپارتمانی با ۵۰۱ واحد مسکونی در پکن (National Renewable Energy Laboratory) و تهویه مطبوع حدود ۳۳۰۰ متر مربع از دهکده المپیک در المپیک ۲۰۰۸ (Zheng, 2010) اجرا کرد.

نکته‌ای که در بازارسازی برای فناوری‌های بهینه‌ساز مصرف انرژی نظیر پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی هم توسط سیاست‌گذاران و هم تولیدکنندگان این فناوری‌ها بایستی مد نظر قرار گیرد، درک مردم نسبت به این نوع فناوری‌ها و به طور کلی میزان دغدغه عمومی نسبت به مسائل زیست‌محیطی است (Nyrud, Roos, & Sande, 2008).

با افزایش دغدغه عمومی نسبت به مسائل زیست‌محیطی، تقاضا برای ساختمان‌های با مصرف کم انرژی افزایش پیدا خواهد کرد. در این مطالعه، ساختمان‌های نوساز در شهر تهران بررسی شد. با

توجه به اهمیت شرایط اقلیمی در هزینه اولیه نصب و راه‌اندازی پمپ حرارتی زمین‌گرمایی و همچنین متفاوت بودن سیستم‌های متداول گرمایشی و سرمایشی در برخی مناطق اقلیمی دیگر کشور، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های بعدی در آن مناطق نیز وضعیت این فناوری مورد بررسی قرار گیرد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

تمامی اصول اخلاق پژوهش در این مقاله رعایت شده است.

حامی مالی

این پژوهش با حمایت مالی سازمان انرژی‌های نو و بهره‌وری ایران (ساتبا) انجام شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان به یک اندازه در نگارش مقاله مشارکت داشته‌اند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

از حمایت‌های سازمان انرژی‌های نو و بهره‌وری ایران (ساتبا) در انجام این پژوهش قدردانی می‌شود.

منابع فارسی

حافظ‌نیا، م. ر. (۱۳۹۳). *مقدمه‌ای بر روش تحقیق در علوم انسانی*. تهران: سمت.

دانایی‌فرد، ح. (۱۳۸۶). هم‌سازی شیوه‌های کمّی و کیفی در پژوهش‌های سازمانی: تأملی بر استراتژی پژوهش ترکیبی. *حوزه و دانشگاه*، *۱۳*(۵۳)، ۶۳-۳۵. http://method.rihu.ac.ir/article_448.html

دفتر آمارهای صنعت، معدن و زیربنایی. (۱۳۹۴). *اطلاعات پروانه‌های ساختمانی صادر شده توسط شهرداری‌های کشور*. تهران: مرکز آمار ایران.

دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی وزارت نیرو. (۱۳۹۱). ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۰، وزارت نیرو، معاونت امور برق و انرژی. قابل دسترسی در https://irandataportal.syr.edu/wp-content/uploads/1391.pdf

سازمان انرژی های نو ایران. (۱۳۹۵). *پمپ حرارتی زمین‌گرمایی. بازیابی در ۱۳۹۵*. تهران: سازمان انرژی‌های نو ایران.

عتابی، ف.، هیبتی، س. م. ر.، و مهرخو، س. (۱۳۹۳). امکان‌سنجی فنی ـ اقتصادی و زیست‌محیطی استفاده از پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، *۱۶*(۴)، ۷۵-۶۱. https://jest.srbiau.ac.ir/article_6075.html

گل، م .ع.، و محمدبیگی، ا. (۱۳۹۳). بررسی تمایل پزشکان بخش خصوصی نسبت به مشارکت در برنامه پزشک خانواده با استفاده از مدل انتشار نوآوری، قم سال ۱۳۹۱. *مجله دانشگاه علوم پزشکی قم*، *۸*(۱)، ۳۴-۲۷. http://journal.muq.ac.ir/article-1-167-fa.html

مرکز آمار ایران .(۱۳۹۰). *نتایج آمارگیری از مصرف حامل‌های انرژی در بخش خانوار شهری*. تهران: مرکز آمار ایران، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی.

مرکز آمار ایران (۱۳۹۱). *چکیده یافته‌های طرح آمارگیری از مصرف حامل‌های انرژی در بخش خانوار در نقاط شهری- ۱۳۹۰*. تهران: دفتر صنعت، معدن و زیربنایی.

منصف‌راد، س. م، و جواهرده، ک. (۱۳۹۱). تحلیل جامع اگزرژی یک پمپ حرارتی زمین‌گرمایی دما پایین برای استفاده در شرایط اقلیمی رامسر. *مهندسی مدیریت انرژی (مدیریت انرژی)*، *۲*(۱)، ۵۷-۴۸. http://energy.kashanu.ac.ir/article-1-49-fa.html

References

Assefa, G., & Frostell, B. (2007). Social sustainability and social acceptance in technology assessment: A case study of energy technologies. *Technology in Society, 29*(1), 63-78. [DOI:10.1016/j.techsoc.2006.10.007]

Batel, S., Devine-Wright, P., & Tangeland, T. (2013). Social acceptance of low carbon energy and associated infrastructures: A critical discussion. *Energy Policy, 58*, 1-5.[DOI:10.1016/j.enpol.2013.03.018]

Brohmann, B., Feenstra, Y., & Heiskanen, E. (2007). Factors influencing the societal acceptance of new, renewable and energy efficiency technologies: Meta-analysis of recent European projects. Paper presented at European Roundtable for Sustainable Consumption and Production, Basel, June 20-22 2007. https://media.africaportal.org/documents/07Brohmann_et_al-_Meta-analysis.pdf

Devine-Wright, P. (2007). Reconsidering public attitudes and public acceptance of renewable energy technologies: A critical review. Beyond Nimbyism: A multidisciplinary investigation of public engagement with renewable energy technologies. Manchester: University of Manchester. http://geography.exeter.ac.uk/beyond_nimbyism/deliverables/bn_wp1_4.pdf

Devine-Wright, P. (2005). Beyond NIMBYism: towards an integrated framework for understanding public perceptions of wind energy. *Wind Energy: An International Journal for Progress and Applications in Wind Power Conversion Technology, 8*(2), 125-139. [DOI:10.1002/we.124]

Fawcett, T. (2011). *The future role of heat pumps in the domestic sector*. University of Oxford: Environmental Change Institute. https://www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Summer_Studies/2011/6-innovations-in-buildings-and-appliances/the-future-role-of-heat-pumps-in-the-domestic-sector/

Halaweh, M. (2013). Emerging technology: What is it. *Journal of Technology Management & Innovation.* 8(3), 108-15. [DOI:10.4067/S0718-27242013000400010]

Heiskanen, E., Matschoss, K., & Kuusi, H. (2013). Report on specific features of public and social acceptance and perception of nearly zero-energy buildings and renewable heating and cooling in Europe with a specific focus on the target countries. Report in the frame of the IEE project ENTRANZE. https://www.entranze.eu/files/downloads/ENTRANZE_D2_6_Final_version.pdf

Heras-Saizarbitoria, I., Zamanillo, I., & Laskurain, I. (2013). Social acceptance of ocean wave energy: A case study of an OWC shoreline plant. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 27, 515-24. [DOI:10.1016/j.rser.2013.07.032]

Hlavinka, A. N., Mjelde, J. W., Dharmasena, S., & Holland, C. (2016). Forecasting the adoption of residential ductless heat pumps. *Energy Economics, 54*, 60-7. [DOI:10.1016/j.eneco.2015.11.020]

Iniyan, S., Suganthi, L., & Samuel, A. A. (2001). A survey of social acceptance in using renewable energy sources for the new millennium. Renewable Energy, 24(3-4), 657-61. [DOI:10.1016/S0960-1481(01)00052-0]

Jamasb, T., & Pollitt, M. (2008). Security of supply and regulation of energy networks. *Energy Policy, 36*(12), 4584-4589. [DOI:10.1016/j.enpol.2008.09.007]

Jeyaraj, A., Rottman, J. W., & Lacity, M. C. (2006). A review of the predictors, linkages, and biases in IT innovation adoption research. *Journal of Information Technology, 21*(1), 1-23. [DOI:10.1057/palgrave.jit.2000056]

Kasanen, P., & Lakshmanan, T. R. (1989). Residential heating choices of Finnish households. *Economic Geography, 65*(2), 130-145. [DOI:10.2307/143777]

Kohl, C., Knigge, M., Baader, G., Böhm, M., & Krcmar, H. (2018). Anticipating acceptance of emerging technologies using twitter: the case of self-driving cars. *Journal of Business Economics.* 88(5), 617-642. [DOI:10.1007/s11573-018-0897-5]

Mahapatra, K., Gustavsson, L., & Madlener, R. (2007). Bioenergy innovations: The case of wood pellet systems in Sweden. *Technology Analysis & Strategic Management, 19*(1), 99-125. [DOI:10.1080/09537320601065423]

Mahapatra, K., Gustavsson, L., & Nair, G. (2009, June). Swedish homeowners' perceptions of innovative heating systems–results of three surveys [Internet]. Retrieved from https://www.eceee.org/static/media/uploads/site-2/library/conference_proceedings/eceee_Summer_Studies/2009/Panel_8/8.008/paper.pdf

Majuri, P. (2016). Ground source heat pumps and environmental policy–The Finnish practitioner's point of view. *Journal of Cleaner Production, 139*, 740-749. [DOI:10.1016/j.jclepro.2016.08.017]

Michelsen, C. C., & Madlener, R. (2010). Integrated theoretical framework for a homeowner's decision in favor of an innovative residential heating system. *FCN Working Paper, 2*, 41. [DOI:10.2139/ssrn.1620520]

Michelsen, C. C., & Madlener, R. (2011). Homeowners' preferences for adopting residential heating systems: A discrete choice analysis for Germany. *FCN Working Paper, 9*, 42. [DOI:10.1016/j.eneco.2012.06.009]

Moula, M. M. E., Maula, J., Hamdy, M., Fang, T., Jung, N., & Lahdelma, R. (2013). Researching social acceptability of renewable energy technologies in Finland. *International Journal of Sustainable Built Environment*. 2(1), 89-98. [DOI:10.1016/j.ijsbe.2013.10.001]

Lund, H. (2014). *Renewable energy systems: A smart energy systems approach to the choice and modeling of 100% renewable solutions*. Cambridge, Massachusetts: Academic Press. https://books.google.com/books?hl=

Goetzler, W., Zogg, R., Lisle, H., & Burgos, J. (2009). *Ground-source heat pumps. Overview of market status, barriers to adoption, and options for overcoming barriers*. Chicago, IL: Navigant Consulting, Inc. https://www.osti.gov/biblio/1219308

Noorollahi, Y., Bigdelou, P., Pourfayaz, F., & Yousefi, H. (2016). Numerical modeling and economic analysis of a ground source heat pump for supplying energy for a greenhouse in Alborz province, Iran. *Journal of Cleaner Production, 131*, 145-54. [DOI:10.1016/j.jclepro.2016.05.059]

Nyrud, A. Q., Roos, A., & Sande, J. B. (2008). Residential bioenergy heating: A study of consumer perceptions of improved woodstoves. *Energy Policy, 36*(8), 3169-76. [DOI:10.1016/j.enpol.2008.04.019]

Secretariat, R. (2012). *Renewables 2012 global status report*. Rep Paris: REN12. https://www.eqmagpro.com/wp-content/uploads/2020/06/gsr_2020_presentation_compressed-1-10.pdf

Stacks, D. W., & Salwen, M. B. (Eds.). (2014). An integrated approach to communication theory and research. Milton Park: Routledge. https://books.google.com/books?hl=en&lr=

Rogers, E. M. (2003). *Diffusioin of Innovations.* New York: Free Press.

Rotolo, D., Hicks, D., & Martin, B. R. (2015). What is an emerging technology? *Research Policy.* 44(10), 1827-43. [DOI:10.1016/j.respol.2015.06.006]

Sahin, I. (2006). Detailed review of Rogers' diffusion of innovations theory and educational technology-related studies based on Rogers' theory. *Turkish Online Journal of Educational Technology-TOJET, 5*(2), 14-23. https://eric.ed.gov/?id=EJ1102473

Song, Y., Kim, D., & Han, D. (2013). Risk communication in South Korea: Social acceptance of nuclear power plants (NPPs). *Public Relations Review.* 39(1), 55-6. [DOI:10.1016/j.pubrev.2012.10.002]

Sopha, B. M., & Klöckner, C. A. (2011). Psychological factors in the diffusion of sustainable technology: A study of Norwegian households' adoption of wood pellet heating. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15*(6), 2756-2765. [DOI:10.1016/j.rser.2011.03.027]

Sopha, B. M., Klöckner, C. A., & Hertwich, E. G. (2013). Adoption and diffusion of heating systems in Norway: Coupling agent-based modeling with empirical research. *Environmental Innovation and Societal Transitions, 8*, 42-61. [DOI:10.1016/j.eist.2013.06.001]

Sopha, B. M., Klöckner, C. A., Skjevrak, G., & Hertwich, E. G. (2010). Norwegian households' perception of wood pellet stove compared to air-to-air heat pump and electric heating. *Energy Policy, 38*(7), 3744-54. [DOI:10.1016/j.enpol.2010.02.052]

Taherdoost, H. (2018). A review of technology acceptance and adoption models and theories. *Procedia Manufacturing.* 22, 960-967. [DOI:10.1016/j.promfg.2018.03.137]

Tapaninen, A., Seppanen, M., & Makinen, S. (2009). Characteristics of innovation: A customer-centric view of barriers to the adoption of a renewable energy system. *International Journal of Agile Systems and Management, 4*(1-2), 98-113. [DOI:10.1504/IJASM.2009.023250]

Henkel, J. (2012). Modelling the diffusion of innovative heating systems in Germany–decision criteria, influence of policy instruments and vintage path dependencies [PhD. Dissertation]. Berlin: Technische Universität Berlin. https://www.depositonce.tu-berlin.de/handle/11303/3486

Wikipedia. (2016). *Geothermal heat pump* [Internet]. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Geothermal_heat_pump

Wüstenhagen, R., Wolsink, M., & Bürer, M. J. (2007). Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept. *Energy Policy, 35(*5), 2683-91. [DOI:10.1016/j.enpol.2006.12.001]

Yuan, X., Zuo, J., & Ma, C. (2011). Social acceptance of solar energy technologies in China—End users' perspective. *Energy Policy, 39*(3), 1031-6.[DOI:10.1016/j.enpol.2011.01.003]

Zheng, K. (2010). Growth of the use of geothermal heat pumps in China. Paper presented at: World Geothermal, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010. https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2010/2937.pdf