فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی/ سال هفدهم / شماره ۶۸/ بهار ۱۴۰۰/ صفحات ۲۵۳-۲۲۷

# سنجش ظرفیت جذب تکنولوژی ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی به کمک نظریه سیستم‌های خاکستری

**تورج کریمی**[۱]
**استادیار گروه مدیریت صنعتی، پردیس فارابی دانشگاه تهران، tkarimi@ut.ac.ir**

**زهرا شهسواری**
**کارشناس ارشد مدیریت تکنولوژی، پردیس فارابی دانشگاه تهران،**
**Zahra.shahsavari@ut.ac.ir**

**مجتبی بهرامی گرو**
**کارشناس ارشد مدیریت تکنولوژی، پردیس فارابی دانشگاه تهران،**
**mojtaba.bahrami@ut.ac.ir**
**تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۱۸**

## چکیده

اگرچه انرژی خورشیدی یکی از مهم‌ترین انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران است که در اکثر مناطق کشور به‌ویژه کویر مرکزی قابل استفاده است، اما ماهیت تصادفی این نوع انرژی امکان پیش‌بینی توان خروجی تولیدی آن را دشوار ساخته و سبب بروز مشکلاتی در عملکرد سیستم‌های تغذیه‌کننده از این انرژی می‌شود. به همین دلیل به‌کارگیری سیستم‌های ذخیره انرژی برای بازه‌های زمانی که تولید کم‌تر از مصرف است، جهت تعادل بین تولید و مصرف ضروری می‌باشد. تکنولوژی‌های متنوعی جهت ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی وجود دارد اما قبل از استفاده از آن‌ها در ایران لازم است ظرفیت جذب این تکنولوژی‌ها در شرکت‌های ایرانی بررسی شده و براساس آن تصمیم‌گیری شود. در این پژوهش سعی شده ظرفیت جذب تکنولوژی‌های موجود جهت ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی با استفاده از مدل تودوروا و دوریسین بررسی شده و به کمک تحلیل رابطه خاکستری، تکنولوژی دارای اولویت بالاتر جهت انتقال انتخاب شود. به‌این منظور ابتدا پنج شرکت اصلی در زمینه انرژی خورشیدی از استان‌های مختلف انتخاب شدند و با استفاده از پرسشنامه، اطلاعات مورد نیاز جمع‌آوری گردید. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که تکنولوژی ذخیره‌سازی «مواد تغییر فازدهنده» نسبت به سایر تکنولوژی‌های ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی دارای ظرفیت جذب بالاتری در ایران است.

**طبقه‌بندی JEL** : Q2 ,Q4, Q27,O14, D89

**کلید واژه‌ها:** انرژی پاک، انرژی خورشیدی، ظرفیت جذب تکنولوژی، ذخیره‌سازی انرژی، تحلیل روابط خاکستری، تصمیم‌گیری خاکستری

---

۱. نویسنده مسئول

[ Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27 ]

**۱- مقدمه**

در عصر حاضر محیط‌زیست به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های اصلی زندگی اقتصادی و اجتماعی بشر، سیاست‌های جهانی و بسیاری از مناسبات دیگر از قبیل قدرت سیاسی، اقتصادی و نظامی را تحت تأثیر قرار داده است. محدودیت و درعین حال عدم مرغوبیت انرژی‌های فسیلی و پیامدها و مشکلات زیست محیطی ناشی از بهره‌برداری از این منابع از یک طرف و افزایش جمعیت کره زمین و نیازهای بشر به استفاده از حامل‌های انرژی از طرف دیگر، سبب می‌شود که انرژی‌های فسیلی در آینده جوابگوی نیاز انرژی جهان برای بقا، تکامل و توسعه پایدار نباشند. بنابراین، توجه و تأکید بر ضرورت محافظت از منابع طبیعی و محیط‌زیست بشری در راستای الزامات توسعه پایدار اقتضاء می‌نماید که استفاده بهینه از انرژی و بهره‌برداری از منابع انرژی پاک و کم کربن در دستور کار اصلی سیاست‌گذاران بخش انرژی و دولت‌ها قرار گیرد (حیدری و همکاران، ۱۳۹۹). به همان اندازه که گرمایش جهانی مسئله‌ای مهم است، امنیت عرضه انرژی نیز برای کشورهای واردکننده انرژی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (هیدناس[1]، ۲۰۱۰). انرژی به‌عنوان نیروی محرکه فعالیت‌های تولیدی، زیربنای اساسی فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی هر کشوری به شمار می‌رود (اسدزاده و جلیلی، ۱۳۹۴). انرژی با مفهوم توسعه پایدار ارتباط مستقیم دارد و جنبه‌های مختلف تمدن و پیشرفت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به بیان‌دیگر، عملکرد فعلی جوامع نباید استانداردهای فرهنگی و زندگی جوامع و نسل‌های دیگر را به خطر بیندازد (فیلیپین، لارسن و مرکادو[2]، ۲۰۱۱).

انرژی‌های تجدیدپذیر به‌عنوان انرژی‌های پاک و عاری از آلودگی زیست‌محیطی می‌توانند در کاهش انتشار گازهای آلاینده نقش مهمی ایفا کنند. سازگاری با محیط‌زیست، کاهش آلودگی هوا، تجدیدپذی و گستردگی آن‌ها در تمام جهان، باعث شده این نوع انرژی‌ها روزبه‌روز سهم بیشتری در تأمین انرژی جهان برعهده بگیرند (اسدزاده و جلیلی، ۱۳۹۴). انرژی خورشیدی نسبت به سایر منابع تجدیدپذیر امکان استفاده در گستره وسیع‌تری از کشور را داشته و هزینه تعمیرات و نگهداری آن بسیار پایین است. اگرچه انرژی خورشیدی از نظر محیط‌زیستی بی‌خطر است اما

1. Hedenus
2. Filippin, C., Larsen, S.F. & Mercado, V.

[ Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27 ]

محدودیت‌های فنی نظیر شدت انرژی کم و هوای نامنظم؛ محدودیت‌های بنیادین نظیر تغییرپذیری برنامه‌های تشویقی دولت؛ محدودیت‌های فرهنگی- اجتماعی نظیر تغییر در روش زندگی برای حداکثر استفاده از منابع انرژی‌های نو؛ محدودیت‌های آموزشی نظیر ضعف دانش و تجربیات محدود متخصصان؛ محدودیت‌های اقتصادی و مالی نظیر قیمت ارزان سوخت‌های محلی و هزینه‌های سرمایه‌ای بالا برای سیستم‌های خورشیدی، باعث شده تا سرمایه‌گذاری در حوزه‌این نوع انرژی‌ها با مشکل روبرو گردد (مشهدیزاده و همکاران، ۱۳۹۸).

نیروگاه‌های خورشیدی مناسب‌ترین فناوری‌های تجدیدپذیر برای تولید الکتریسیته بوده و نصب آن‌ها به سرعت در حال افزایش است (پاولوویک و همکاران[1]، ۲۰۱۲). ازجمله مزایای این نیروگاه‌ها، می‌توان به منبع نامحدود انرژی آن و قابلیت ترکیب آن‌ها با نیروگاه‌های سنتی اشاره نمود. بهترین مکان‌ها برای احداث این نیروگاه‌ها، بیابان‌ها و نقاط بایر بوده (لاراین و اسکوبار[2]، ۲۰۱۲) و هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالا و تابش‌های خورشیدی متغیر و نامطمئن، از عمده‌ترین مشکلات استفاده از سیستم‌های خورشیدی محسوب می‌شوند (بارینگو وهمکاران[3]، ۲۰۱۲). استفاده از سیستم‌های ذخیره‌سازی گرما می‌تواند به حل مشکلات ذکر شده و کاهش هزینه‌ها کمک مؤثری بنماید.

رشد فزاینده تقاضای جهانی انرژی، اتمام منابع سوخت‌های فسیلی طی چند دهه آینده و مشکلات زیست‌محیطی مرتبط با مصرف سوخت‌های فسیلی توجه ویژه به منابع انرژی تجدیدپذیر را ضروری ساخته است (مهدی زاده و همکاران ۱۳۹۴). کشورها به‌منظور حرکت به سمت یک اقتصاد با انرژی سبز مؤثر و قدرتمند و ایجاد وضعیت مناسبی از شاخص‌های آن، لازم است انتشار دی اکسید کربن و سایر آلاینده‌های زیست‌محیطی را در تمام بخش‌های تولیدی، صنعتی، کشاورزی و.. به حداقل برسانند. در این راستا ضرورت دارد با تدوین و اعمال بسته‌های سیاستی مناسب و هم‌چنین حمایت مؤثر از فعالیت‌های فناورانه و کارآفرینی، زمینه لازم برای خلق و به‌کارگیری تکنولوژی‌هایی با کم‌ترین میزان انتشار دی اکسیدکربن در فرآیند کسب و کارهای اقتصادی در لایه‌های مختلف تولید، توزیع و مصرف فراهم نمایند (حیدری و همکاران،

1. PavloviIc
2. T. Larraín, R. Escobar
3. Baringo

[ Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27 ]

۱۳۹۹). با توجه به موارد گفته شده هدف اصلی این مقاله یافتن تکنولوژی مناسب جهت ذخیره انرژی خورشیدی است که در ایران زمینه به‌کار بستن آن وجود داشته و جذب آن با بالاترین بازدهی میسر باشد. به همین دلیل در این پژوهش، به سنجش ظرفیت شرکت‌های ایرانی برای جذب و بهره‌برداری از تکنولوژی‌های ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی پرداخته شده است. در بخش بعدی، ادبیات نظری ظرفیت جذب، تکنولوژی‌های ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی و نظریه خاکستری و پیشینه تحقیقات در حوزه ظرفیت جذب مرور خواهد شد. پس از آن مدل مفهومی تحقیق ارائه می‌گردد. به‌این منظور، ابتدا مدل‌های مربوط به ظرفیت جذب ارائه و از بین آن‌ها مدل مناسب برای این پژوهش انتخاب شده است. پس از آن، ارزیابی ظرفیت جذب تکنولوژی‌های مختلف به کمک نظریه سیستم‌های خاکستری صورت گرفته است. در انتها، ابتدا یافته‌های تحقیق و پیشنهادها تشریح شده و پس از آن بخش نتیجه‌گیری ارائه گردیده است.

## ۲- مروری بر ادبیات موضوع

انتقال تکنولوژی عبارتست از انتقال و کاربرد موفق تکنولوژی‌هایی که تاکنون درکشور موجود نبوده است، اعم از تجهیزات مربوطه، مهارت‌های مورد نیاز و یا فنون مناسب (محمدی و همکاران، ۱۳۹۶). آنچه در کشورهای درحال‌توسعه می‌توان مشاهده کرد، وضعیت نامناسب انتقال تکنولوژی و تنوع بیش‌از حد تکنولوژی است، زیرا در این کشورها استراتژی‌های مشخصی برای انتقال تکنولوژی و درنهایت توسعه آن وجود نداشته و این روند جز وابستگی تکنولوژیک و کند شدن تحرک و قدرت پویایی برای صنایع چیزی در برنداشته است (کاباران زاد، ۱۳۸۸). درحالیکه کشورهای درحال توسعه می‌توانند تکنولوژی خود را خلق نمایند، کشورهای در حال توسعه می‌توانند تکنولوژی خود را از طرق گوناگون مانند کپی برداری یا واردات از کشورهای توسعه یافته تأمین نمایند (نجاتی و اکبری فرد، ۱۳۹۷). نگاهی به پروژه‌های انتقال تکنولوژی کشور نشان می‌دهد که نسبت به موضوع ظرفیت جذب تکنولوژی در پروژه‌های انتقال تکنولوژی تا حد زیادی غفلت شده است. جذب تکنولوژی، فعالیت بسیار پرهزینه و دشواری است که سرمایه‌گذاری در توانمندی‌های داخلی را می‌طلبد. بدون حداقلی از

[ Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27 ]

سرمایه‌گذاری در این حوزه، شکاف تکنولوژی آن‌قدر زیاد خواهد بود که احتمال عقب افتادن هر چه بیشتر از صاحبان تکنولوژی بسیار بیشتر از نزدیک شدن به آن‌ها خواهد بود (هو[1]، ۲۰۰۳). ظرفیت جذب را می‌توان توانایی یک بنگاه برای تشخیص ارزش پدیده‌های جدید، اطلاعات بیرونی و جذب و منطبق‌سازی آنها در جهت اهداف تجاری تعریف کرد (کوهن و لوینتال، ۱۹۸۹). ظرفیت جذب بنگاه به افرادی بستگی دارد که در محل تقاطع بنگاه و محیط بیرونی قرارگرفته‌اند (آندره و همکاران[2]، ۲۰۱۰). مؤلفه‌ای که توان جذب تکنولوژی در شرکت‌ها، صنایع و حتی کشورها با آن سنجیده می‌شود، اصطلاحاً "ظرفیت جذب" نامیده می‌شود که منظور از آن، توان شناسایی، جذب و به‌کارگیری دانش از محیط است (کوهن و لوینتال، ۱۹۸۹).

پس از بحران‌های انرژی که عمده‌ترین آن‌ها در دهه ۱۹۷۰ به وقوع پیوست، توجه بسیاری از کشورهای دنیا به استفاده از انرژی‌های نو نظیر انرژی باد، انرژی‌های خورشیدی، زمین‌گرمایی و سایر منابع تجدیدپذیر جلب شده است (عشقی و رضایی، ۱۳۹۴). اجرای برنامه‌های رشد و توسعه کشور، افزایش تقاضای سالانه انرژی برابر با دو تا سه هزار مگاوات برق جدید به‌وجود می‌آورد، که برای پاسخگویی به آن لازم است ظرفیت تولید برق کشور تا سال ۲۰۲۰ به ۹۰ هزار مگاوات برسد. درحال حاضر حدود ۹۸ درصد ظرفیت تولید نیروگاه‌های برق کشور متکی به سوخت‌های فسیلی است که با توجه به رشد مصرف داخلی و وابستگی اقتصاد به صادرات نفت؛ اعمال محدودیت‌هایی در جهت کاهش وابستگی به آنها را اجتناب‌ناپذیر می‌کند (تمری و همکاران، ۱۳۹۴).

در میان انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی مهم‌ترین جایگاه را در شرایط اقلیمی ایران به خود اختصاص داده است. با توجه به اینکه ایران در بین مدارهای ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی قرار دارد، به لحاظ دریافت انرژی خورشیدی در بین مناطق مختلف جهان در بالاترین رده‌ها قرارگرفته است (افراخته و همکاران، ۱۳۹۳). یکی از مزایایی که انرژی خورشیدی را از سایر منابع متمایز می‌کند، فراوانی و دسترسی آسان به آن است. انرژی خورشید می‌تواند همانند سایر انرژی‌ها به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم به دیگر اشکال انرژی همانند گرما و الکتریسیته تبدیل شود، ولی موانعی شامل ضعف

1. Hu, A.
2. Andre Spithoven

[ Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27 ]

علمی و تکنیکی در تبدیل، متغیر و متناوب بودن مقدار انرژی به‌دلیل تغییرات جوی و فصول سال وجهت تابش، محدوده توزیع بسیار وسیع و ... موجب شده است که نتوان استفاده مناسبی از این موهبت خدایی داشت (درویشی بلورانی و همکاران، ۱۳۹۲). به علت مشکلات پیش روی منابع تجدیدپذیر، به‌کارگیری تکنولوژی‌های ذخیره انرژی در نقاط مختلف سیستم قدرت ضروری است تا تعادل بین تولید و مصرف برقرار گردد و یا اینکه برای بازه‌های زمانی که تولید کم‌تر از مصرف است، بتوان ذخیره‌سازی انجام داد (عشقی و رضایی ۱۳۹۴). تکنولوژی در جهان امروز عامل اساسی ایجاد قدرت و ثروت ملت‌هاست. تکنولوژی به‌عنوان روش‌ها، فرایندها و سیستم‌ها و مهارت‌های استفاده شده در جهت انتقال منابع به محصولات می‌باشد (بتمن و شل[1]، ۲۰۰۲). برای استفاده از تکنولوژی‌های ذخیره‌سازی انرژی باید به بررسی وضعیت کشور از منظر توانایی جذب و انتقال تکنولوژی پرداخته شود. در سال‌های اخیر به دنبال افزایش هزینه حامل‌های انرژی و گسترش گازهای گلخانه‌ای، محققان توجه خاصی به روش‌های بهینه‌سازی تولید، ذخیره و مصرف انرژی داشته‌اند. در این راستا مطالعات و تحقیقات بسیاری در ارائه روش‌های نوین و بهبود عملکرد ذخیره‌سازی انرژی صورت گرفته است. در مواردی که منبع انرژی به‌طور یکنواخت در دسترس نیست (نظیر روش‌های تأمین انرژی از خورشید) و یا در دستگاه‌هایی که مصرف انرژی در ساعات مختلف شبانه‌روز متغیر است (نظیر زیر سیستم‌های تهویه مطبوع) ذخیره انرژی می‌تواند نیاز به ساعات کمبود انرژی را پاسخگو باشد (امیر عبداللهیان و جان‌نثاری ۱۳۹۶). با وجود اینکه سهم الکتریسیته در مصرف انرژی بشر تا سال ۲۰۳۰، به ۴۰ تا ۵۰ درصد خواهد رسید، اما واردکردن مستقیم برق تولیدی از منابع تجدید پذیر به شبکه برق، ممکن است باعث ناپایداری در شبکه شود. به‌منظور مدیریت انرژی به شیوه‌ای کارآمد، وجود یک راه‌کار جهت ایجاد توازن در تقاضای انرژی ضروری است (اعتمادی، ۱۳۹۳). این موضوع محققان را برآن داشته است تا با نگاهی به تجربیات بشر و پیش‌زمینه ذخیره‌سازی از دیرباز، در اندیشه ذخیره کردن انرژی الکتریکی باشند. در همه سامانه‌هایی که از انرژی خورشیدی بهره می‌گیرند، استفاده از یک روش ذخیره‌سازی برای داشتن سیستم پایدار انرژی الزامی

1. Bateman, Shell

[ Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27 ]

است (کالگریوس[1]، ۲۰۱۳). روش ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی می‌تواند به‌صورت ذخیره‌سازی مکانیکی، ذخیره‌سازی الکتروشیمیایی و ذخیره‌سازی حرارتی باشد (خارتچنکو[2]، ۲۰۱۳). از انواع روش‌های ذخیره‌سازی مکانیکی می‌توان به ذخیره‌سازی قدرت آب پمپاژ شده[3]، ذخیره‌سازی انرژی هوای متراکم[4] و چرخ‌های طیار اشاره کرد. روش ذخیره‌سازی قدرت آب پمپاژ شده که براساس ذخیره‌سازی انرژی پتانسیل است، ازجمله اقتصادی‌ترین روش‌های ذخیره‌سازی انرژی در تأسیسات الکتریکی است. ذخیره‌سازی انرژی هوای فشرده یا CAES از دیگر انواع ذخیره‌سازی انرژی پتانسیل است. در CAES انرژی الکتریکی تولیدی مازاد بر تقاضا، برای متراکم کردن هوا استفاده می‌شود که در یک منبع برای استفاده بعدی در یک توربین گاز (برای تولید الکتریسیته) ذخیره می‌شود. چرخ‌های طیار انرژی الکتریکی را به انرژی جنبشی ذخیره شده در یک چرخ طیار در حال چرخش در سرعت‌های بالا تبدیل می‌کند. از این روش ذخیره‌سازی می‌توان در خودروهای خورشیدی به‌خوبی بهره گرفت. در ذخیره‌سازی الکتروشیمیایی، انرژی خورشیدی طی فرآیندی شیمیایی در یک ماده ذخیره می‌شود. متداول‌ترین شکل ذخیره‌سازی شیمیایی انرژی خورشیدی، باتری‌ها هستند. باتری‌ها برای میزان شارژ و دشارژ مشخصی طراحی می‌شوند (خارتچنکو، ۲۰۱۳). از مهم‌ترین خصوصیات باتری‌های مورد استفاده در ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی، طول عمر بالای باتری است. به‌طورکلی طول عمر هر باطری برحسب تعداد سیکل شارژ و دشارژ و میزان سطح دشارژ باتری بیان می‌شود. در روش‌های خورشیدی، باتری‌ها در طول روز شارژ و در طول شب یا مواقع ابری به‌وسیله مصرف‌کننده دشارژ می‌شوند. لذا هر شبانه‌روز یک سیکل شارژ و دشارژ باتری محسوب می‌شود (کالگریوس، ۲۰۱۳). از بین انواع باطری‌های شارژ شدنی، باتری‌های سرب اسید خشک به علت صرفه اقتصادی، بیشتر استفاده می‌شوند. تنها در معدود مواردی از باتری‌های نیکل کادمیوم یا انواع دیگر آن برای ذخیره انرژی استفاده می‌شود که کاربردهای خاص دارند (رابرت ایورت، ۲۰۱۲).[5]

1. Kalogirou
2. Khartchenko
3. Pump hydro power stroag, PHPS
4. Air energy storage, CAES
5. Robert

[ Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27 ]

ذخیره‌سازی حرارتی متداول‌ترین روش ذخیره‌سازی انرژی در نیروگاه‌های خورشیدی است. ذخیره‌سازی حرارتی در سامانه‌های خورشیدی به سه دسته اصلی ذخیره‌سازی حرارتی گرمای محسوس، ذخیره‌سازی حرارتی گرمای نهان و ذخیره‌سازی گرمایی ترموشیمیایی تقسیم می‌شوند (کالگریوس، ۲۰۱۳). از روش ذخیره‌سازی بر مبنای مواد تغییر فاز دهنده نیز می‌توان در نیروگاه‌های خورشیدی استفاده کرد. مواد اوتکتیک[1] از متداول‌ترین انواع مواد تغییر فاز دهنده مورد استفاده در این‌چنین کاربردهایی هستند.

براساس نوع کارکرد سامانه گرمایشی سرمایشی موردنظر، روش ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی می‌تواند به‌صورت کوتاه‌مدت (ساعتی و یا روزانه) و یا طولانی‌مدت (فصلی) طراحی شود. از انواع سامانه‌های کوتاه‌مدت ذخیره‌سازی گرمایی خورشیدی می‌توان انواع آبگرمکن‌ها در ابعاد مختلف را نام برد. در کنار آبگرمکن‌ها که از انواع روش‌های ذخیره‌سازی انرژی حرارتی گرمای محسوس به شمار می‌آید، می‌توان از مواد تغییر فازدهنده به مثابه ذخیره‌سازی انرژی حرارتی گرمای نهان نیز بهره گرفت. از متداول‌ترین کاربرد سامانه‌های کوتاه‌مدت ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی، می‌توان به استفاده از آن در مصارف گرمایشی و سرمایشی خانگی و ساختمان‌های اداری در مقیاس‌های کوچک اشاره کرد (کالگریوس، ۲۰۱۳). دسته دیگر از روش‌های ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی که برای تعادل در تأمین انرژی موردنیاز در طول سال استفاده می‌شوند، ذخیره‌سازی انرژی گرمایی فصلی هستند. از مهم‌ترین انواع این روش‌ها می‌توان به روش ذخیره‌سازی زیرزمینی اشاره کرد. در این روش‌ها، انرژی گرمایی تأمین شده از طریق انرژی خورشیدی به کمک سفره‌های آب‌های زیرزمینی و یا چاه‌های گرمایی در فصول گرم، ذخیره و از آن در فصول سرد استفاده می‌شود (تویدل و ویر، ۱۹۹۸). علاوه بر موارد عنوان شده، برخی تکنولوژی‌های نوین ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی در ادامه به‌طور مختصر توضیح داده شده است:

**تبدیل انرژی خورشیدی به هیدروژن توسط الکترولیز آب:** در این ایده از الکتریسیته‌ای که توسط انرژی خورشیدی (پنل‌های خورشیدی) به‌دست می‌آید برای تجزیه مولکول‌های آب به اکسیژن و هیدروژن استفاده می‌شود. سپس هیدروژن خالص را می‌توان به‌عنوان منبع انرژی الکتریسیته و یا یک منبع سوختی استفاده کرد. این

1. Eutectic

[ Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27 ]

روش بسیار ناپایدار و گران است و صرفاً برای استفاده‌های تجاری دارای صرفه است. با این وجود، به‌عنوان رویکرد جدیدی توسط محققانِ سوئیسی عرضه شده است (کوی دانش، ۱۳۹۵).

**باتری ارگانیک:** گروهی از محققان دانشگاه هاروارد موفق به ساخت باتری ارگانیک پرظرفیت و ارزان قیمتی شده‌اند که به‌جای فلز، از مواد پایه کربن به‌عنوان الکترولیت استفاده می‌کند. این فناوری قادر است با فراهم ساختن توان ذخیره‌سازی بالای انرژی‌های تجدیدپذیر، مشکلات مربوط به منابع انرژی‌های تجدیدپذیر غیردائمی مانند انرژی خورشیدی و انرژی باد را حل کند. این باتری توان ذخیره‌سازی بالایی را که خارج از توانایی باتری‌های حالت جامد است، با هزینه‌ای به‌مراتب کم‌تر از فناوری باتری‌های جریانی امروزی فراهم می‌آورد. انرژی باتری‌های جریانی، درون سیال موجود در مخازن خارجی آن‌ها ذخیره می‌شود؛ بنابراین ظرفیت ذخیره‌سازی آن‌ها تنها توسط اندازه مخزن باتری محدود می‌شود. درنتیجه، این باتری‌ها می‌توانند مقادیر انرژی بیشتری در مقایسه با باتری‌های الکترود جامد متداول در خود ذخیره کنند. با این‌وجود، فناوری باتری‌های جریانی موجود، مبتنی بر فلزات گران‌قیمتی مانند وانادیوم یا پلاتین به‌عنوان الکترولیت است. درنتیجه هزینه بالایی برای ذخیره‌سازی هر کیلووات انرژی صرف می‌شود. از سوی دیگر محققان دانشگاه استنفورد آمریکا نوعی باتری جدید مبتنی بر آب ساختند که امکان ذخیره انرژی خورشید و باد را با هزینه بسیار اندک فراهم می‌کند. نمونه اولیه این باتری منگنز- هیدروژن فقط ۷/۵ سانتیمتر ارتفاع دارد و ۲۰ میلی وات ساعت الکتریسیته تولید می‌کند. باوجود خروجی اندک این باتری محققان معتقدند این فناوری قابلیت بهره‌برداری صنعتی را دارد و می‌توان آن را به‌گونه‌ای توسعه داد که علاوه بر تولید خروجی مناسب امکان ۱۰ هزار بار شارژ و طول عمری بیش از ۱۰ سال را داشته باشد.

**جذب و ذخیره هم‌زمان انرژی خورشیدی با پنل خورشیدی**: اخیراً محققان دانشگاه ویسکونسین مادیسون پنل خورشیدی طراحی کرده‌اند که قادر است انرژی خورشیدی را جذب کرده و آن را ذخیره کند. ایده ساخت این سیستم از فرایند تولید لنزی خاص توسط مؤسسه ملی سلامت گرفته شده است. این لنز دارای قابلیت خود

[ Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27 ]

متمرکز شوندگی است و برای چشم بیماران مبتلا به پرسبیوپیا[۱] استفاده می‌شود. این دستگاه به نحوی طراحی شده که می‌تواند به‌صورت خودکار انرژی خورشیدی را گرفته و برای مصرف بعدی ذخیره‌سازی کند. این سیستم بازده چهاردرصدی دارد که ۲۰ درصد کم‌تر از پنل‌های خورشیدی رایج در بازار است.

تئوری‌های مختلفی برای مطالعه مسائلی که دارای عدم اطمینان، داده‌های اندک و اطلاعات محدود هستند ارائه شده است که یکی از کاربردی‌ترین آنها تئوری مجموعه‌های خاکستری می‌باشد. این تئوری جدید، کمک می‌کند تا بتوان سیستم‌هایی را که اطلاعات کمی از آنها در دسترس بوده و یا قسمتی از اطلاعات آن‌ها مشخص و قسمتی نامشخص است، بررسی نمود (لئو، فارست و والی[۲]، ۲۰۰۹). از نظر تکنیکی، ریاضیات فازی اساسا به مسائلی می‌پردازد که دارای عدم قطعیت شناختی بوده و بر تجربه انسانی مبتنی هستند. آمار و احتمال نیز نیازمند استخراج یک توزیع احتمال مشخص بوده و تعداد نمونه‌ها در آن باید نسبتا زیاد باشد تا نتایج معتبری حاصل شود. اما در شرایطی که ما نه تجربه گذشته کافی داریم و نه توزیع احتمال را میشناسیم و نه داده‌های کافی و نمونه بزرگی داریم، این دو تئوری از کارایی لازم برخوردار نیستند. برای چنین سیستم‌های غیرقطعی، آقای دنگ در سال ۱۹۸۲ و پس از تحقیقات گسترده، تئوری جدیدی با نام GST[۳] را پیشنهاد کرده است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۲). این تئوری جدید، کمک می‌کند تا بتوان سیستم‌هایی را که اطلاعات کمی از آنها در دسترس بوده و یا قسمتی از اطلاعات آن‌ها مشخص و قسمتی نامشخص است، بررسی نمود و برخلاف بسیاری از تئوری‌های بین‌رشته‌ای دیگر، به زمینه‌ی تحقیقاتی قدرتمندی در کاربردهای عملی تبدیل شده است (لئو، فارست و والی، ۲۰۰۹).

در هر سیستم عمومی عوامل متعددی مؤثر هستند که تأثیر متقابل آن‌ها وضعیت و روند رشد و توسعه سیستم را تعیین می‌کنند. غالبا در تجزیه‌وتحلیل سیستم‌ها تلاش می‌شود، عوامل دارای اهمیت بالاتر شناسایی شوند، اما در عمل همیشه در هر سیستم، عوامل ناشناخته و یا کم‌تر شناخته شده‌ای نیز وجود دارند. یکی از روش‌هایی که برای

---

۱. Presbyopia (پرسبیوپیا [پیرچشمی] کاهش طبیعی توانایی تمرکز بر فاصله نزدیک است که بر اثر افزایش سن بروز می‌کند.)

2. Liu, S, Forrest, J. & Vallee, R.
3. Grey systems theory

[ Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27 ]

مواجهه با این‌گونه سیستم‌ها استفاده می‌شود تحلیل رابطه خاکستری است که از اجزاء مهم نظریه سیستم خاکستری به شمار می‌رود. ایده اصلی تحلیل رابطه خاکستری به‌عنوان یک روش آنالیز کمی، بر این نکته بنا شده است که مقدار نزدیکی و همبستگی رابطه بین دو عامل مختلف در یک فرآیند پویای در حال رشد، باید براساس میزان شباهت منحنی‌های آنان سنجیده شود. هرچقدر میزان این شباهت بیشتر باشد؛ یعنی درجه بالاتری از رابطه بین سری‌ها وجود دارد و برعکس (کو و همکاران[1]، ۲۰۰۸؛ چانگ و همکاران[2]، ۲۰۰۵). تحلیل رابطه خاکستری شاخه مهمی از تئوری خاکستری است و اساس تجزیه و تحلیل، مدل‌سازی، پیش‌بینی و تصمیم‌گیری در سیستم‌های خاکستری می‌باشد(کریمی و حجتی،۲۰۲۰). تحلیل روابط خاکستری می‌تواند نواقص موجود در روش‌های آماری تحلیل سیستم‌ها را جبران کند. هنگام استفاده از روش‌های آماری برای تحلیل سیستم‌ها، باید داده‌های زیادی دردست باشد تا بتوان نتایج آماری معنادار و قابل اعتمادی استخراج نمود. هم‌چنین باید تمام نمونه‌ها یا جامعه، توزیع احتمال مشخصی داشته باشند و رابطه‌ی بین شاخص‌های اساسی تقریباً خطی باشد که در دنیای واقعی برآورده کردن این دو شرط بسیار مشکل است. این روش‌ها به محاسبات سنگین و پیچیده‌ای نیاز داشته و معمولاً نتایج کمی با نتایج کیفی هم‌راستا نمی‌باشند. تحلیل روابط خاکستری امکان استفاده از تعداد داده‌های کم برای تحلیل عوامل زیاد را فراهم می‌کند و نسبت به روش‌های سنتی آماری نظیر رگرسیون که به داده‌های بسیار و توزیع نرمال نیاز دارند، مناسب‌تر می‌باشند (لئو و لین، ۲۰۱۰).[3] استفاده از تحلیل روابط خاکستری عموماً تناقض بین یافته‌های حاصل از تحلیل‌های کمی و کیفی را باعث نمی‌شود. تفاوت تحلیل رابطه خاکستری و تحلیل‌های ریاضی کلاسیک آن است که تحلیل رابطه خاکستری قادر است نمایشی از چارچوب رفتاری سیستم ارائه داده و در زمان‌هایی که تعداد داده‌ها اندک است نیز دارای قدرت تحلیل بالا می‌باشد (کریمی و صادقی مقدم، ۱۳۹۳). فرض کنید $X_i$ یکی از عوامل سیستم بوده، و مقادیر مشاهدات آن در موقعیت ترتیبی[4] $k$ به‌صورت $X_i(k),\ k=1,2,...,n$ آنگاه

1. Kuo
2. Zhang
3. Liu & Lin
4. Ordinal position

[ Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27 ]

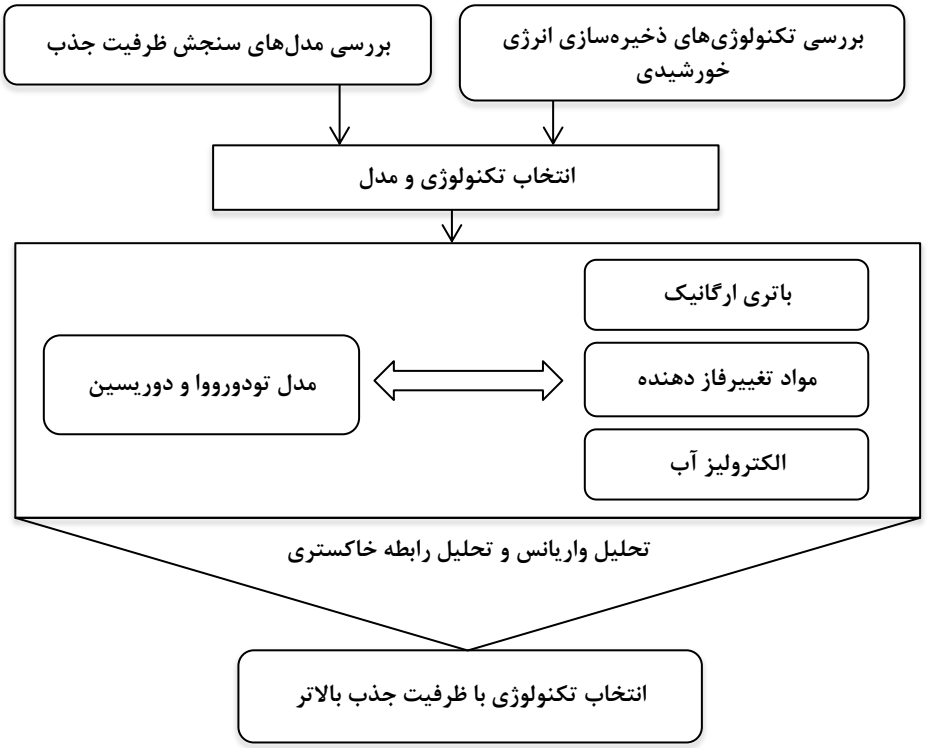
$X_i = (x_i(۱), x_i(۲), ..., x_i(n))$ توالی رفتاری عامل $X_i$ خوانده می‌شود. اگر $k$ نشان‌دهنده ترتیب زمانی[1] باشد، آنگاه $x_i(k)$ عبارت است از مقدار مشاهده شده عامل $X_i$ در لحظه $k$، و $X_i = (x_i(۱), x_i(۲), ..., x_i(n))$ توالی زمانی رفتار $X_i$ نامیده می‌شود. اگر $k$ نشان‌دهنده عدد ترتیبی باشد و $X_i(k)$ مقدار مشاهده شده $k$ امین نمونه را نشان دهد، آنگاه $X_i = (x_i(۱), x_i(۲), ..., x_i(n))$ توالی افقی رفتار عامل $X_i$ نامیده می‌شود. برای مثال، اگر $X_i$ یک عامل اقتصادی، $k$ زمان، و $X_i(k)$ ارزش مشاهده شده عامل $X_i$ در لحظه $k$ باشد، آنگاه $X_i = (x_i(۱), x_i(۲), ..., x_i(n))$ یک توالی زمانی برای رفتار اقتصادی خواهد بود. اگر $k$ عدد ترتیبی یک شاخص باشد، آنگاه $X_i = (x_i(۱), x_i(۲), ..., x_i(n))$ توالی شاخص یک رفتار اقتصادی را نشان خواهد داد. اگر $k$ نشانگر عدد ترتیبی مناطق یا بخش‌های اقتصادی مختلف باشد، آنگاه $X_i = (x_i(۱), x_i(۲), ..., x_i(n))$ یک توالی افقی برای رفتار اقتصادی خواهد بود. هر نوع توالی داده‌ای که در دسترس باشد، می‌تواند برای تحلیل رابطه خاکستری به‌کار گرفته شود (کریمی و شهبازی، ۱۳۹۷).

## ۳- مدل مفهومی پژوهش

به‌منظور ارزیابی ظرفیت جذب تکنولوژی‌های مختلف ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی، براساس شکل (۱) اقدام گردید.

1. Time order

[ Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27 ]




منبع: یافته‌های تحقیق

**شکل ۱. مدل پژوهش**

براساس شکل بالا، ابتدا با بررسی تکنولوژی‌های ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی، تکنولوژی‌هایی که به مرحله تجاری سازی نرسیده‌اند و تکنولوژی‌های قدیمی که کارایی پایین دارند حذف شده و به ارزیابی ظرفیت جذب سه تکنولوژی باتری ارگانیک، تبدیل انرژی خورشیدی به هیدروژن توسط الکترولیز آب و مواد تغییر فازدهنده پرداخته شد. به‌منظور سنجش ظرفیت جذب تکنولوژی، مدل‌های متعددی ارائه شده است که در هر مدل، ابعاد مختلفی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در جدول (۱) برخی مدل‌های ظرفیت جذب ارائه شده است.

[ Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27 ]

**جدول ۱. مدل‌های ظرفیت جذب**

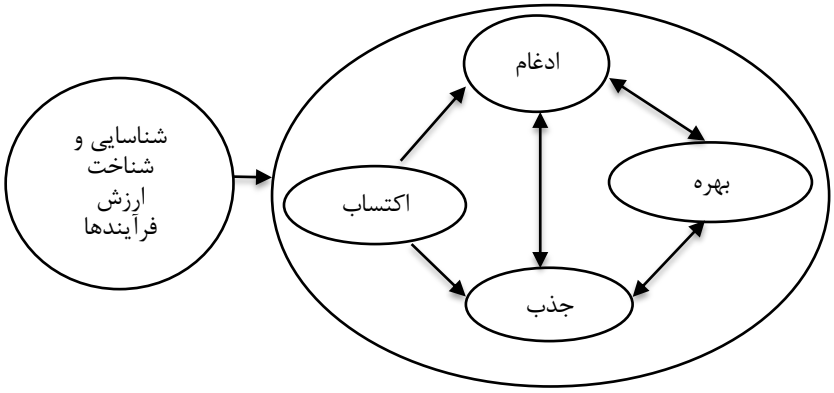
| نظریه‌پردازان | ابعاد ظرفیت جذب | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| کوهن و لوینتال (۱۹۹۰) | ارزش‌گذاری | جذب | به‌کارگیری | | |
| کیم[1] (۱۹۹۸) | دانش پیشین | شدت تلاش‌ها | | | |
| زهرا و جورج (۲۰۰۲) | ظرفیت جذب بالقوه | | ظرفیت جذب بالفعل و قابل بهره‌برداری | | |
| | اکتساب | جذب و درونی سازی | تبدیل | به‌کارگیری | |
| لین و همکاران[2] (۲۰۰۶) | یادگیری اکتشافی (شناخت و فهمیدن) | یادگیری تبدیلی (جذب) | یادگیری بهره‌برداری | | |
| مدل تودوروا و دوریسین[3] (۲۰۰۷) | بالقوه | | بالفعل | | |
| | شناختن | به‌دست آوردن | همانند ساختن | بهره‌برداری | |
| موروچ و پرودان[4] (۲۰۰۸) | تحقیق و توسعه داخلی | تحقیق و توسعه خارجی | آموزش پرسنل | همکاری‌های نوآورانه | دیدگاه به تغییر |
| لیختنتالر[5] (۲۰۰۹) | یادگیری اکتشافی، اکتساب، جذب | یادگیری تبدیلی، نگهداری، بازآوری مجدد | یادگیری بهره‌برداری،ت بدیل، به‌کارگیری | | |
| کاستوپولوس[6] (۲۰۱۱) | اکتساب | شبیه‌سازی | تبدیل | استخراج دانش | |
| بورچارت[7] و همکاران (۲۰۱۴) | تشخیص ارزش | جذب | تبدیل | بهره‌برداری | |

منبع: فرتاش ، کیارش ؛ سلامی ، رضا و داودی ، سید مهدی موسوی

1. kim
2. lane
3. Elitsa Todorova & Durisin
4. murovec and prodan
5. Lichtenthaler
6. Kostopoulos, K
7. Burcharth et al

[ Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27 ]

براساس شکل (۱)، با توجه به نظر خبرگان حوزه صنعت و تکنولوژی، براساس جامعیت و قابلیت پیاده‌سازی مدل‌های مختلف سنجش ظرفیت جذب، مدل تودوروا و دوریسین به‌منظور سنجش ظرفیت جذب تکنولوژی‌های ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی انتخاب گردید. مدل تودوروا و دوریسین (۲۰۰۷) در واقع مدل زهرا و جورج (۲۰۰۲) را کامل کرده و ظرفیت جذب را، توانایی شناسایی و درک ارزش دانش جدید خارجی تعریف نمودند که در شکل (۲) نمایش داده شده است.




**شکل ۲. شکل مدل تودوروا**

Van der Hiden, P., chirstine, P., Mansor, sh., van Genderen, J.

براساس مطالعات پیشین و با کمک نظرخبرگان حوزه تکنولوژی و حوزه انرژی، شاخص‌های مدل منتخب استخراج و غربال گردید. درنهایت ۱۸ شاخص مرتبط به ۴ بعد مدل شامل بعد شناخت (۴ شاخص)، بعد جذب (۶ شاخص)، بعد اکتساب (۵ شاخص) و بعد بهره‌برداری (۳ شاخص) قطعی شد که مشخصات هر یک از شاخص‌ها در جدول (۲) آمده است.

جامعه آماری در این پژوهش شرکت‌های فعال در زمینه انرژی خورشیدی می‌باشند که روش نمونه‌گیری آن‌ها به‌وسیله روش نمونه‌گیری گلوله برفی است. براین اساس پنج شرکت مستقر در شهرهای قم، تهران و اصفهان انتخاب شدند. مصاحبه با شرکت‌های مستقر در شهرهای قم و تهران به‌صورت حضوری انجام شده و نظر مدیران شرکت‌های واقع در اصفهان از طریق تماس تلفنی و ارائه پرسشنامه اخذ گردید. برای جمع‌آوری داده‌های این تحقیق از پرسشنامه‌ای ترکیبی، استاندارد کامیسون و فورس (۲۰۱۰)[1] و

1. Camison, Beatriz

[ Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27 ]

محقق ساخته استفاده شد. با توجه به‌اینکه در این تحقیق، مهم‌ترین ابزار جمع‌آوری اطلاعات و اندازه‌گیری متغیرها پرسشنامه است، روایی محتوایی پرسشنامه‌ها توسط پنج تن از اساتید حوزه انرژی و تکنولوژی مورد تأیید قرار گرفت. برای اندازه‌گیری پایایی نیز آلفای کرونباخ محاسبه شد که مقدار آن برای بعد شناخت ۰/۷۱ بعد اکتساب ۰/۸۶ بعد جذب ۰/۷۵ و بعد بهره‌برداری ۰/۷۸ به‌دست آمد. در ادامه یافته‌های حاصل از تحقیق تشریح شده است

**جدول ۲. ابعاد و شاخص‌های ظرفیت جذب براساس مدل تودوروا و دوریسین**

| ابعاد جذب تکنولوژی | علامت اختصاری | شاخص‌ها | توضیح |
|---|---|---|---|
| **شناخت** | C1 | جستجوی اطلاعات | میزان تجسس برای فهمیدن اطلاعات و داده‌های جدید |
| | C2 | بررسی روندها و جزییات فناوری در محیط | توجه به فناوری‌ها و بررسی جز به‌جز تغییرات آن‌ها |
| | C3 | وجود زیرساخت‌های شناسایی | وجود سازوکاری برای شناسایی دانش و فناوری موجود در محیط |
| | C4 | سازگاری فرهنگی سازمان | میزان هماهنگ شدن با تکنولوژی جدید بافرهنگ سازمانی موجود |
| | C5 | شناسایی دانش و فناوری جدید | میزان ارتباطات بیرونی برای شناسایی دانش و فناوری جدید |
| **اکتساب** | C6 | دانش رقابت | ظرفیت به‌دست آوردن اطلاعات مداوم، به‌روز، مناسب و دانش رقبای فعلی و بالقوه |
| | C7 | باز بودن نسبت به محیط | میزان گرایش مدیریت به این که صبر کند و ببیند چه اتفاقی روی می‌دهد. به‌جای سروکار داشتن و آشنایی با محیط تا فرصت‌ها را پیوسته رصد نموده و فرصت‌های جدید قابل‌دستیابی را شناسایی کند |
| | C8 | همکاری در تحقیق و توسعه | تناوب و اهمیت همکاری با سازمان‌های تحقیقاتی، دانشگاه‌ها، پژوهشکده‌ها به‌عنوان یک عضو یا پشتیبان برای تولید دانش و خلق |
| | C9 | توسعه درونی | کارایی برنامه‌های توسعه درونی شرکت برای |

[ Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27 ]

| ابعاد جذب تکنولوژی | علامت اختصاری | شاخص‌ها | توضیح |
|---|---|---|---|
| | | شایستگی‌های تکنولوژیکی | اکتساب شایستگی‌های تکنولوژیکی از مراکز تحقیقاتی، تأمین‌کنندگان و مشتریان |
| **جذب** | C10 | جذب نوآوری | ظرفیت جذب نوآوری‌ها و تکنولوژی‌های جدید که سودمندند |
| | C11 | منابع انسانی | توانایی استفاده از دانش، تجربه و شایستگی‌های کارکنان در جذب و تفسیر دانش جدید |
| | C12 | الگوبرداری صنعتی | مزایای بنگاه ناشی از جذب تکنولوژی و دانش کلیدی کسب‌وکار برگرفته از تجربیات موفق کسب‌وکار در صنعت مشابه |
| | C13 | دخیل شدن در انتشار | میزان شرکت کارکنان و ارائه مقاله در کنفرانس‌ها |
| | C14 | شرکت در دوره‌های آموزشی | حضور در دوره‌های آموزشی، نمایشگاه‌های تجاری و نشست‌ها |
| | C15 | مدیریت دانش | توانایی توسعه برنامه‌های مدیریت دانش که ظرفیت بنگاه برای فهم و تحلیل دقیق دانش و تکنولوژی از سایر سازمان‌ها را تضمین می‌کند |
| **بهره‌برداری** | C16 | استفاده از دانش جدید | ظرفیت سازمانی استفاده و بهره‌برداری از دانش جدید در محیط کار برای پاسخ سریع |
| | C17 | به‌کارگیری تجربه‌ها | درجه به‌کارگیری دانش و توجه کسب شده در زمینه‌های اولویت‌دار تکنولوژی و کسب‌وکار براساس استراتژی بنگاه که آن را قادر می‌سازد تا در موقعیت رهبری تکنولوژی قرار بگیرد |
| | C18 | پیشتازی تکنولوژی | توانایی پاسخ‌گویی به نیازهای طرف تقاضا یا فشارهای رقابتی به‌جای نوآوری کردن |

Camisón, C & Forés, B. (2010). Knowledge absorptive capacity: new

## ۴- یافته‌های تحقیق

در ابتدا به‌منظور بررسی وجود اختلاف ظرفیت جذب سه تکنولوژی منتخب از آزمون واریانس استفاده شد. نتیجه آزمون ANOVA در جدول (۳) نشان داده شده است.

[ Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27 ]

**جدول ۳. آزمون ANOVA مربوط به تفاوت معنادار بین تکنولوژی‌ها**

| | مجموع مربعات | درجه آزادی | میانگین مربعات | آماره F | آزمون معناداری |
|---|---|---|---|---|---|
| **اختلاف بین گروه‌ها** | ۲/۷۹۶ | ۲ | ۱/۳۹۸ | ۶/۳۳۳ | ۰/۰۰۳ |
| **اختلاف داخل گروه‌ها** | ۱۱/۲۵۷ | ۵۱ | ۰/۲۲۱ | | |
| **مجموع** | ۱۴/۰۵۳ | ۵۳ | | | |

منبع: یافته‌های تحقیق

با توجه به نتایج این آزمون با سطح اطمینان ۹۵ درصد می‌توان گفت که تفاوت معناداری بین سه تکنولوژی از نظر ظرفیت جذب در ایران وجود دارد.

در ادامه به‌منظور انتخاب تکنولوژی با بالاترین ظرفیت جذب، از تحلیل روابط خاکستری استفاده شد. به‌این منظور ابتدا وزن معیارها به کمک روش آنتروپی شانون استخراج شده و گام‌های تحلیل خاکستری به شرح زیر اجرا گردید (کریمی و شهبازی ۱۳۹۷):

گام ۱: با توجه به نوع توالی رفتاری، تصویر ابتدایی یا تصویر میانگین هر یک از توالی‌ها را به‌دست می‌آوریم یعنی:

$$X'_i = \frac{X_i}{x_i(1)} = \left(x'_i(1), x'_i(2), ..., x'_i(n)\right),\ i = 0,1,2,...,m$$

$$\bar{X}_i(k) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i(k) \quad ,\ X'_i = \frac{x_i(k)}{\bar{X}_i} = \left(x'_i(1), x'_i(2), ..., x'_i(n)\right),\ i = 0,1,2,...,m$$

گام ۲: تفاضل توالی‌ها را به شکل زیر به‌دست می‌آوریم:

$$\Delta_i(k) = \left|x'_.(k) - x'_i(k)\right| \ ,$$

$$\Delta_i = \left(\Delta_i(1), \Delta_i(2), ..., \Delta_i(n)\right),\ i = 0,1,2,...,m$$

گام سوم: حداکثر مقدار تفاضل و حداقل مقدار تفاضل را به شکل زیر محاسبه می‌کنیم:

$$M = \max_i \max_k \Delta_i(k) \quad ,\quad m = \min_i \min_k \Delta_i(k)$$

گام چهارم: مقدار همبستگی را به‌صورت زیرمحاسبه می‌کنیم:

$$\gamma_{.i}(k) = \frac{m + \xi M}{\Delta_i(k) + \xi M} \ ,\ \xi \in (0,1) \ ,\ i = 0,1,2,...,m \ ,\ k = 1,2,...,n$$

گام پنجم: اندازه رابطه خاکستری را به شکل ذیل به‌دست می‌آوریم:

[ Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27 ]

$$\gamma_{\cdot i} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\gamma_{\cdot i}(k)$$

عبارت $\gamma(X_{\cdot}, X_i)$ درجه رابطه خاکستری[1] بین $X_{\cdot}$ و $X_i$ را نشان می‌دهد. در گام‌های فوق، مقدار $\xi$ به‌عنوان ضریب تمایز[2] شناخته می‌شود و جهت گسترش یا محدود ساختن دامنه ضریب رابطه خاکستری استفاده می‌شود. ضریب تشخیص که گاهی با $\rho$ یا $\xi$ نیز نمایش داده می‌شود مقداری بین (۰و۱) است و معمولاً ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود. براساس مطالعه تحلیل حساسیت چانگ و لین (۱۹۹۹) مقدار ۰/۵ یک ضریب تمایز متعادل بوده و از ثبات خوبی برخوردار است (حبیبی، ۱۳۹۷).

در جدول (۴)، مقدار $\gamma_{\cdot i}(k)$ محاسبه شده برای هر یک از تکنولوژی‌ها (i) و هر یک از از معیارها (k) نشان داده شده است. در جدول (۵) مقدار $\gamma_{\cdot i}$ محاسبه شده برای هر یک از تکنولوژی‌ها نمایش داده شده است.

**جدول ۴. رتبه بندی گزینه‌ها**

| شاخص‌ها | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| وزن معیارها | ۰/۰۵۳۵۴ | ۰/۱۶۶۸۱ | ۰/۰۶۱۴۷ | ۰/۰۶۶۱۱ | ۰/۰۱۵۹۳ | ۰/۰۷۷۱۱ | ۰/۰۱۵۹۳ | ۰/۰۱۵۹۳ | ۰/۰۱۱۴ |
| باتری ارگانیک | ۰/۰۳۲۱۳ | ۰/۰۵۵۶ | ۰/۰۳۴۱۵ | ۰/۰۲۲۰۴ | ۰/۰۰۵۳۱ | ۰/۰۳۳۰۵ | ۰/۰۰۷۹۶ | ۰/۰۱۱۳۸ | ۰۰۷۶/۰ |
| مواد تغییر فازدهنده | ۰/۰۵۳۵۴ | ۰/۱۶۶۸۱ | ۰/۰۶۱۴۷ | ۰/۰۶۶۱۱ | ۰/۰۱۵۹۳ | ۰/۰۷۷۱۱ | ۰/۰۱۵۹۳ | ۰/۰۱۵۹۳ | ۰/۰۱۱۴ |
| الکترولیز آب | ۰/۰۱۷۸۵ | ۰/۱۶۶۸۱ | ۰/۰۲۰۴۹ | ۰/۰۳۳۰۵ | ۰/۰۰۵۳۱ | ۰/۰۲۵۷ | ۰/۰۰۵۳۱ | ۰/۰۰۵۳۱ | ۰/۰۰۳۸ |
| **شاخص‌ها** | **C10** | **C11** | **C12** | **C13** | **C14** | **C15** | **C16** | **C17** | **C18** |
| وزن معیارها | ۰/۰۴۷۰۶ | ۰/۰۵۳۵۴ | ۰/۰۱۲۱۴ | ۰/۰۱۸۵۲ | ۰/۰۶۶۱۱ | ۰/۰۶۶۱۱ | ۰/۱۳۳۵۳ | ۰/۰۵۷۳ | ۰/۰۶۱۴۷ |
| باتری ارگانیک | ۰/۰۲۳۵۳ | ۰/۰۱۷۸۵ | ۰/۰۰۷۲۸ | ۰/۰۱۸۵۲ | ۰/۰۶۶۱۱ | ۰/۰۲۲۰۴ | ۰/۰۵۳۴۱ | ۰/۰۳۶۴۶ | ۰/۰۳۹۱۲ |
| مواد تغییر فازدهنده | ۰/۰۴۷۰۶ | ۰/۰۵۳۵۴ | ۰/۰۱۲۱۴ | ۰/۰۰۶۱۷ | ۰/۰۲۲۰۴ | ۰/۰۶۶۱۱ | ۰/۱۳۳۵۳ | ۰/۰۵۷۳ | ۰/۰۶۱۴۷ |
| الکترولیز آب | ۰/۰۱۵۶۹ | ۰/۰۱۷۸۵ | ۰/۰۰۴۰۵ | ۰/۰۱۸۵۲ | ۰/۰۳۳۰۵ | ۰/۰۳۳۰۵ | ۰/۰۴۴۵۱ | ۰/۰۱۹۱ | ۰/۰۲۰۴۹ |

منبع: یافته‌های تحقیق

براساس نتایج تحلیل رابطه خاکستری، تکنولوژی که مقدار درجه خاکستری بزرگ‌تری داشته باشد از ظرفیت جذب بالاتری برخوردار است. بنابراین با توجه به داده‌های جدول (۵) می‌توان نتیجه گرفت که تکنولوژی «مواد تغییر فاز دهنده» ظرفیت

1. Grey incidence
2. Distinguishing Coefficient

[ Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27 ]

جذب بالاتری نسبت به سایر تکنولوژی‌ها داشته و سرمایه‌گذاری بر روی آن توصیه می‌شود.

**جدول ۵. امتیاز نهایی گزینه‌ها**

| گزینه‌ها | امتیاز |
|---|---|
| باتری ارگانیک | ۰/۴۹۳۵۳۲ |
| مواد تغییر فاز دهنده | ۰/۹۴۳۵۷۹ |
| تبدیل انرژی خورشیدی به هیدروژن توسط الکترولیز آب | ۰/۴۸۹۹۴۳ |

منبع: یافته‌های تحقیق

می‌توان گفت یکی از دلایلی که‌این تکنولوژی، رتبه بالاتری کسب کرده، آشنا بودن مدیران شرکت‌های ذخیره‌سازی انرژی و خبرگان دانشگاهی با تکنولوژی است. هم‌چنین وجود زیرساخت‌های لازم برای استفاده از تکنولوژی مواد تغییر فاز دهنده باعث شده است که این تکنولوژی دارای ظرفیت جذب بالاتری باشد. از طرفی دو تکنولوژی دیگر نوظهور بوده و به شکل انحصاری در دست یک یا دو کشور هستند و زیرساخت‌های لازم برای انتقال و استفاده از آن‌ها فراهم نمی‌باشد. سوی دیگر می‌توان گفت که هزینه توسعه و به‌کارگیری تکنولوژی مواد تغییر فاز دهنده بسیار پایین‌تر از دو تکنولوژی دیگر بوده و این موجب امتیاز بالاتر تکنولوژی مواد تغییر فاز دهنده نسبت به دو تکنولوژی دیگر شده است.

با توجه به نتایج این پژوهش به نظر می‌رسد که در انتقال تکنولوژی‌های ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی عنایت لازم به ملاحظات بومی مؤثر بر ارتقای ظرفیت جذب دانش فناورانه از منابع و ظرفیت‌های بیرونی، صورت نپذیرفته است لذا در تعاملات برون سازمانی خصوصاً همکاری‌های فناورانه خارجی عموماً فرآیند اکتساب فناوری به‌طور کامل انجام نشده و در برخی پروژه‌های انتقال فناوری، شاهد انتقال صرف تجهیزات و ماشین‌آلات بوده و در پایان همکاری، گلوگاه‌های فناورانه برجای مانده است. این در حالی است که در فرآیند انتقال و جذب فناوری، مهم‌ترین موضوع یادگیری دانش فناوری است که عوامل و شایستگی‌های عمومی سازمانی بر فرآیند اجرای صحیح و مؤثر آن تأثیر مستقیم دارد. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، به مسئولین شرکت‌های مورد

[ Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27 ]

مطالعه پیشنهاد می‌گردد تا این نتایج را مورد استفاده قرار داده و از آن به‌عنوان راهنمایی جهت ارتقاء ظرفیت جذب تکنولوژی «مواد تغییر فاز دهنده» استفاده نمایند.

هر یک از ابعاد گفته شده در این پژوهش خود به تنهایی می‌توانند در مورد دانش و یا تکنولوژی خاصی مورد بررسی و پژوهش قرار بگیرند که با توجه به نبود اطلاعات کافی در بسیاری از زمینه‌های مورد نظر، پژوهش‌های مشابه را میتوان با استفاده از سایر تئوری‌های عدم قطعیت نظیر مجموعه‌های فازی، سیستم‌های خاکستری و مجموعه‌های را بررسی نمود.

## ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به روند جهانی‌شدن، اگرصنایع نتوانند همگام با تغییرات تکنولوژیک، عملاً از عرصه رقابت خارج خواهند شد. تغییرات تکنولوژی موفق، نیازمند سنجش ظرفیت جذب تکنولوژی می‌باشد تا قبل از انتقال تکنولوژی، از پذیرش آن اطمینان حاصل شود. نتایج تحقیقات در حوزه انتقال تکنولوژی در ایران نشان می‌دهد که عموماً فرآیند اکتساب فناوری به‌طورکامل انجام نشده و در برخی پروژه‌های انتقال فناوری، شاهد انتقال صرف تجهیزات و ماشین‌آلات بوده و در پایان همکاری، گلوگاه‌های فناورانه برجای مانده است. این در حالی است که در فرآیند انتقال و جذب فناوری مهم‌ترین موضوع یادگیری دانش فناوری است که عوامل و شایستگی‌های عمومی سازمانی بر فرآیند اجرای صحیح و مؤثر آن تأثیر مستقیم دارد. در این تحقیق، به‌منظور سنجش ظرفیت جذب تکنولوژی‌های ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی، براساس نظر خبرگان و میزان جامعیت و همسویی مدل‌های مختلف با شرایط کشور، مدل تودوروا انتخاب گردید. این مدل شامل چهار بعد شناخت، اکتساب، جذب و بهره‌برداری است و هریک از این ابعاد دارای چندین شاخص بوده و جمعاً ۱۸ شاخص برای این مدل تعیین و براساس آن پرسشنامه طراحی شد. مقدار هر یک از این شاخص‌ها برای سه تکنولوژی منتخب، توسط مدیران پنج شرکت پیشرو در صنعت ذخیره‌سازی انرژی مشخص گردید. براساس نتایج حاصل از پرسشنامه‌ها ابتدا تفاوت ظرفیت جذب بین این سه تکنولوژی توسط آزمون ANOVA مورد سنجش قرار گرفت. نتایج این آزمون نشان داد که اختلاف معناداری بین سه تکنولوژی از منظر ظرفیت جذب وجود دارد. در ادامه، به کمک تصمیم‌گیری

[ Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27 ]

خاکستری مشخص شد که تکنولوژی مواد تغییر فاز دهنده در ایران به‌دلیل وجود زیرساخت‌های لازم ظرفیت جذب بالاتری نسبت به دو تکنولوژی دیگر دارد. نتایج نشان داد که ظرفیت جذب تکنولوژی مواد تغییر فاز دهنده ۰/۹۴، تکنولوژی باتری ارگانیک ۰/۴۹ و تکنولوژی تبدیل انرژی خورشیدی به هیدروژن ۰/۴۸ می‌باشد.

## منابع


اسدزاده، احمد و جلیلی، زهرا (۱۳۹۴). تأثیر رشد اقتصادی بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای پیشرفته :شواهدی از هم انباشتگی پانلی و برآوردگر CUP-FM. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال یازدهم، شماره ۴۷، ص ۱۶۱-۱۸۰.

اعتمادی، مینا (۱۳۹۳). برگرفته از مقاله سید محسن موسوی احتشامی، کاربرد هیدروژن. نشریه هیدروژن و پیل سوختی سال نهم، شماره ۹۲.

افراخته، حسن؛ احمدآبادی، فرشته و احمدآبادی، حسن (۱۳۹۳). بهره‌برداری از انرژی خورشیدی در مناطق روستایی (مطالعه موردی: دهستان عشق‌آباد، شهرستان نیشابور). پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دورهٔ ۴۶، شمارهٔ ۱،ص ۱۵-۳۰.

امیر عبداللهیان، سعید و جان‌نثاری، حمید (۱۳۹۶). بهبود عملکرد ذخیره‌سازهای حرارتی نهایی به کمک تغییر مسیر جریان‌های جابجایی طبیعی. مجله مهندسی مکانیک مدرس، دوره ۱۷، شماره ۵، ص۲۶۷-۲۷۵.

تمری، اقلیم، سحابی، بهرام و صادقی،حسین (۱۳۹۴). سبد استاندارد انرژی تجدیدپذیر (RPS) و دستیابی به ترکیب بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال دهم، شماره‌ی ۴۵، ص ۸۱-۵۱.

ثقلینی، صنم (۱۳۹۵). ارائه مدل رابطه استراتژی‌های مدیریت دانش با نوآوری و عملکرد سازمان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. رشته مدیریت MBA گرایش استراتژی. دانشگاه تهران.

حبیبی، آرش (۱۳۹۷). کاربرد تئوری خاکستری در مدیریت بازاریابی. فصلنامه اختصاصی تبلیغات و بازاریابی پارس مدیر، شماره ۱۲، ص ۳۷-۵۱.


[ Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27 ]

حیدری، ابراهیم، رنجبری، فروغ و پارسا، حجت(۱۳۹۹). اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل شاخص‌های اقتصاد انرژی سبز در ایران (سنجش میزان و کشش انتشار دی اکسید کربن). فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال شانزدهم، شماره ۶۴، ص ۲۵۱-۲۱۷.

درویشی بلورانی، علی؛ پاک‌طینت، هادی و ابراهیمی، آرش (۱۳۹۲). برآورد ارزش اقتصادی تنظیم زاویه‌ی تیلت پنل‌های خورشیدی بر مقدار بهینه با استفاده از داده‌های سنجش از دور. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال دهم، شماره ۴۰، ص ۹۵-۱۰۹.

رحمان سرشت، حسین و هاشمی، سیدکمال (۱۳۸۷). فرآیند و استراتژی نوآوری در شرکت‌های عمرانی ایران. فصلنامه چشم‌انداز مدیریت، شماره ۲۹، ص۲۷۵-۲۹۷.

عشقی، امیرحسین و مهدی رضایی، محمد (۱۳۹۴). بررسی روش‌های ذخیره‌سازی انرژی و مطالعه اثرات روش ذخیره‌سازی انرژی هوای فشرده. همایش ملی انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی‌شهر.

کاباران زاد قدیم، محمدرضا (۱۳۸۸). شناسایی عوامل مؤثر در ارزیابی و انتخاب شیوه مطلوب انتقال تکنولوژی در شرکت گاز تهران بزرگ. مجله مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، دانشکده علوم انسانی، سال چهارم، شماره ۷.

کریمی، تورج؛ رضوی، سید مصطفی؛ شکوری گنجوی، حامد و مهرگان، محمدرضا (۱۳۹۲). اولویت بندی متغیرهای اثرگذار در مصرف انرژی ساختمان‌های اداری به کمک تئوری مجموعه‌های خاکستری. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال دهم، شماره ۳۶، ص ۱۳۹-۱۶۴.

کریمی، تورج و شهبازی، میثم (۱۳۹۷). نظریه سیستم‌های خاکستری و کاربردهای آن (پیش‌بینی، خوشه بندی و تصمیم‌گیری). تهران: انتشارات نگاه دانش.

کریمی، تورج و صادقی مقدم، محمدرضا (۱۳۹۳). مجموعه‌های راف و مجموعه‌های خاکستری (مبانی، کاربرد، نرم‌افزار). تهران: مؤسسه کتاب مهربان نشر.

محمدی، سیده مریم؛ منطقی، منوچهر؛ محمدی، زهرا؛ گرشاسبی‌نیا، ندا (۱۳۹۶). تحلیل فرایند انتقال تکنولوژی درقراردادهای نفتی ایران مطالعه موردی تحلیل مدل

[ Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27 ]

جدید (IPC). فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال سیزدهم، شماره ۵۴، ص ۱۷۲-۱۳۵.

مشهدیزاده، محمد؛ دستگیر، محسن و سلحشور، سهیل (۱۳۹۸). ارزیابی اقتصادی پروژه‌های خورشیدی در شرایط عدم اطمینان با رویکرد اختیار واقعی فازی – مطالعه موردی: نیروگاه برق فتوولتاییک ۲ مگاواتی جنوب اصفهان، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال شانزدهم، شماره ۶۵، تابستان ۹۹، ص ۲۶۳-۲۲۱.

مهدی‌زاده، بهاره، دادرس، حسن، سعیدی، سید مهدی، ظفری، فاطمه و گودرزی پور، محدثه (۱۳۹۴). انرژی‌های نو در معماری. همایش ملی عمران و معماری با رویکردی بر توسعه پایدار، مؤسسه آموزش عالی مهرآیین بندرانزلی.

نجاتی، مهدی و اکبری فرد، حسین (۱۳۹۷). ارزیابی اثرات سرریز تکنولوژی حاصل از صادرات بر بهره‌وری کل عوامل تولید در بخش صنعت : مورد ایران. مجله اقتصاد و تجارت نوین، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، سال سیزدهم، شماره اول، ص ۱۶۶-۱۴۱.

Camisón, C. & Forés, B. (2010). Knowledge absorptive capacity: new insights for its conceptualization and measurement. *Journal of Business Research*,Volume 63,Issue7, pp707-715.

Cohen, W. M & Levinthal, D. A. (1989). Innovation and learning: The two faces of R&D. *Economic Journal*, pp 569-596.

Everett,B., Boyle,G., peake,S & Ramage,J. (2012). Energy systems and sustainability: power for a sustainable future.*Oxford university Press*.

Filippin, C. , Larsen, S. F & Mercado, V. (2011). Winter energy behaviour in multi-family block buildings in a temperate-cold climate in Argentina. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 15,1,pp 203-219.

Hedenus, F., Azar, C., & Johansson, D.J.A. (2010). Energys ecurity policies in EU-25- the expected cost of oil supply disruptions. Energy Policy, Volume 38, pp1241–1250.

Hu, A., Jefferson, GH & Jinchang, Q. (2003). R&D and Technology Transfer: firm Level Evidence from Chinese Industry. *Review of Economics and statistic*s, February.

[ Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27 ]

Kalogirou, S.A. (2013). solar energy engineering: processes and systems. *Academic press is an imprint of elsevier* .

Karimi ,T & Hojati, A. (2020). "Designing a medical rule model system by using rough–grey modeling", *Grey Systems: Theory and Application*, Volume 10, No 4, pp. 513-527.

Khartchenko, N.V& khartchenko,V.M. ,(2013). advanced energy systems. *CRC press*.

Kuo, Y. , Yang, T & Hung, G-w. (2008). The use of grey relational analysis in solving nultipile attribute decision making problems. *Computers and Industrial Engineering*, volume 55,Issue 1,pp 80-93.

Larraín,T & Escobar, R. (2012). Net energy analysis for concentrated solar power Plants in northern Chile. *Renew Energy* , volume 41, pp. 123-133.

Liu, S., Forrest, J & Vallee, R. (2009). Emergence and development of grey systems theory. Kybernetes, Volume 38, no7/8, pp 1246-1256.

Liu, S & Yi-Lin, J. (2010). Grey Systems Theory and Applications. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*.

PavloviIc, T.M. , Radonji´c,I.S. , Milosavljevi´c,D. D & Panti´c, L.S. (2012). review Of concentrating solar power plants in the world and their potential use In Serbia.*Renewable and Sustainable Energy Reviews* , volume 16,Issue 6, pp 3891-3902.

Spithoven,A., Clarysse, B &Knockaert, M. (2010). Building absorptive capacity to organi inbound open innovation in traditional *industries. Journal of Technovation*, Volume 30, Issue 2, pp 130-141.

Todorova,G& Durisin,B. (2007). absorptive capacity: Valuing a Reconceptualization. *Academy of management Re-view*, Volume 32, No.3 ,pp 774-786.

Twidell, J & weir, A.D. (1998).renewable energy resourced. *Publisher E and FN SPON*.

Baringo ,l., Dominguez, R& Conejo, A.J. (2012). Optimal offering strategy forConcentrating solar power plant .*Applied Energy* , volume 98, pp 316.

Zhang, J., Desheng, Wu& Olson, D.L. (2005). The method of grey related analysis to multiple attribute decision making problems with interval numbers. *Mathematical and Computer Modeling*, volume 42,Issues 9-10,pp 991-998.

[ Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27 ]

# Measuring the Absorption Capacity of Solar Energy Storage Technology Using Grey System Theory

**Tooraj Karimi[1*], Zahra Shahsavari[2], Mojtaba Bahrami Gero[3]**

**1. Assistant Professor of Industrial Management, Farabi Campus, University of Tehran tkarimi@ut.ac.ir**

**2. Master of Technology Management, Farabi Campus University of Tehran Zahra.shahsavari@ut.ac.ir**

**3. Master of Technology Management, Farabi Campus, University of Tehran mojtaba.bahrami@ut.ac.ir**

**Received: 2020/02/01 Accepted: 2020/12/08**

## Abstract

Although solar energy is one of the most important renewable energies in Iran with substantial potential throughout the country, notably in the Central Desert, its use is constained by variability of output over time. This problem can be overcome through storing extra electricity during peak production periods for use during periods when consumption exceeds production. In order to choose amongst a variety of electricity storage systems we need to study the capacity of Iranian companies for absorbing the related technology. In this study we use Grey Relational Analysis to investigate the absorption capacity of Iranian firms for optimal use of existing solar energy storage technologies. We used the snowball method to choose 5 solare energy companies from different provinces. The results indicate that "phase change material storage technology" has the highest potential for absorption by local firms and should be prioritized over other technologies.

**JEL Classification**: Q2, Q4, Q27, O14, D89

**Keywords**: clean energy, solar energy, technology absorption capacity, energy storage, gray decision making

*. Corresponding Author

[ Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27 ]